

港湾技術研究所報告

REPORT OF PORT AND HARBOUR TECHNICAL RESEARCH
INSTITUTE MINISTRY OF TRANSPORTATION, JAPAN

第3卷 6号

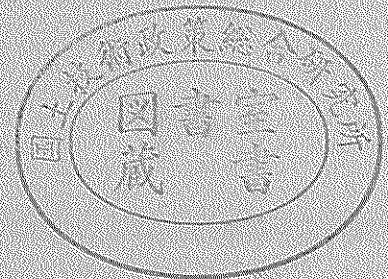
Vol. 3 No. 6

資料保
文庫複写
禁持出

注入モルタルに関する基礎研究..... 赤塚雄三

1964年11月

運輸省港湾技術研究所



注入モルタルに関する研究

目 次

要 旨 (英文)	1
§. 1 緒 論	8
§. 2 使用材料	10
§. 3 注入モルタルの諸性質の試験方法	13
3. 1 概 要	13
3. 2 供試モルタルの練りませ方法	13
3. 3 注入モルタルに関する試験方法	14
a) 流動性試験	14
b) 膨張率試験	15
c) ブリージング率試験	15
d) 保水性試験	15
e) 凝結試験	16
f) 単位容積重量および空気量試験	16
g) 強度試験	17
h) 乾燥収縮試験	17
3. 4 注入モルタルの自由水量係数	17
a) 粉末微粒子の保水係数について	17
b) 各種粉末微粒子懸濁液のブリージング試験結果	18
c) 保水係数の試験値について	22
d) 注入モルタルの自由水量係数の計算	22
§. 4 配合比の変化が注入モルタルの諸性質におよぼす影響	24
4. 1 概 要	24
4. 2 水セメント比 $W/(C+F)$ の変化が注入モルタルの諸性質におよぼす影響	24
a) 流動性におよぼす影響	25
b) ブリージング率におよぼす影響	26
c) 保水性におよぼす影響ならびにブリージング率と保水性との相関性について	28
d) 凝結時間におよぼす影響	30
e) 曲げおよび圧縮強度におよぼす影響	31
f) 乾燥収縮におよぼす影響	35
(1) 乾燥収縮試験の概要	35
(2) 試験結果の考察	35
4. 3 フライアッシュ混和率 $F/(C+F)$ の変化が注入モルタルの諸性質におよぼす影響	37
a) 流動性におよぼす影響	37
b) ブリージング率におよぼす影響	40
c) 保水性におよぼす影響	44

d) 凝結時間におよぼす影響	44
(1) フライアッシュ混入ペーストの凝結時間	44
(2) 注入モルタルの凝結時間	46
e) 曲げおよび圧縮強度におよぼす影響	47
f) 乾燥収縮におよぼす影響	55
4. 4 砂セメント比 $S/(C+F)$ の変化が注入モルタルの諸性質におよぼす影響	56
a) 所要セメント比におよぼす影響	56
b) ブリージング率におよぼす影響	61
c) 保水性におよぼす影響	66
d) 曲げおよび圧縮強度におよぼす影響	68
e) 乾燥収縮におよぼす影響	69
4. 5 実験結果の注入モルタルの配合設計および施工管理に対する適用	70
a) 水セメント比について	70
b) フライアッシュ混和率について	70
c) 砂セメント比について	71
§. 5 使用材料の品質等が注入モルタルの諸性質におよぼす影響	72
5. 1 概 要	72
5. 2 セメントおよびフライアッシュの品質の相違が注入モルタルの諸性質におよぼす影響	72
5.2.1 普通セメントと高炉セメントの比較	72
a) 所要水セメント比におよぼす影響	73
b) 保水性におよぼす影響	74
c) ブリージング率におよぼす影響	75
d) 空気量におよぼす影響	76
e) 圧縮および曲げ強度におよぼす影響	76
5.2.2 普通セメントとフライアッシュセメントの比較	78
5.2.3 数種の普通セメントの比較	79
5.2.4 フライアッシュと鉱石微粉末との比較	80
5.2.5 セメントの風化が注入モルタルの諸性質におよぼす影響	81
5.2.6 各種セメントならびにフライアッシュの比較試験結果の要約	82
5. 3 細骨材の粒度が注入モルタルの流動性におよぼす影響	83
5. 4 セメント分散剤の種類と使用量が注入モルタルの諸性質におよぼす影響	85
5.4.1 使用したセメント分散剤について	85
5.4.2 使用材料, 注入モルタルの配合ならびに試験結果	86
5.4.3 試験結果の検討	97
a) 所要水セメント比におよぼす影響	97
b) ブリージング率におよぼす影響	101
c) 保水性におよぼす影響	102
d) 空気量におよぼす影響	106
e) 圧縮および曲げ強度におよぼす影響	107

5.4.4	セメント分散剤ならびにAE剤の影響について	117
5.5	アルミニウム粉末の種類と使用量が注入モルタルの諸性質におよぼす影響	119
5.5.1	使用したアルミニウム粉末について	119
5.5.2	アルミニウム粉末の種類が注入モルタルの諸性質におよぼす影響を 調べるための試験（Ⅰ）	120
5.5.3	アルミニウム粉末の種類が注入モルタルの諸性質におよぼす影響を 調べるための試験（Ⅱ）	124
5.5.4	アルミニウム粉末の種類と使用量が注入モルタルの諸性質におよぼす影響について	131
§. 6	練りませ方法が注入モルタルの諸性質におよぼす影響	133
6.1	概 要	133
6.2	供 試 ミ キ サ	135
6.3	温度が注入モルタルの諸性質におよぼす影響	135
6.4	練りませ速度が注入モルタルの流動性におよぼす影響	141
6.5	練りませ時間が注入モルタルの諸性質におよぼす影響	144
§. 7	注入モルタルの配合ならびに諸性質がプレバクド・コンクリートの 諸性質におよぼす影響	149
7.1	概 要	149
7.2	注入モルタルの配合、練りませ方法および強度試験供試体の製作方法	149
7.3	粗骨材の物理的性質ならびにプレバクド・コンクリート供試体の 製作方法およびその試験方法	150
7.4	試 験 結 果	151
7.5	注入モルタルの配合がプレバクド・コンクリートの諸性質におよぼす影響	156
a)	セメント水比 (C+F)/Wの影響	156
b)	フライアッシュ混和率の影響	164
c)	砂セメント比の影響	165
d)	分散剤率 DA/(C+F)の影響	166
e)	発泡剤率 Al/(C+F)の影響	169
7.6	注入モルタルならびにプレバクド・コンクリートの諸強度の相関性	170
a)	注入モルタルの曲げ強度と圧縮強度との関係	170
b)	注入モルタルの圧縮強度とプレバクド・コンクリートの圧縮強度との関係	170
c)	プレバクド・コンクリートの圧縮強度と動弾性係数との関係	175
d)	注入モルタルならびにプレバクド・コンクリートの材令と諸強度との関係	176
7.7	プレバクド・コンクリートの品質管理に対する注入モルタルおよび プレバクド・コンクリートの諸性質の相関性の適用	177
§. 8	結 論	178
8.1	注入モルタルの配合がその諸性質におよぼす影響について	178
8.2	使用材料の品質等が注入モルタルの諸性質におよぼす影響について	181
8.3	練りませ方法が注入モルタルの諸性質におよぼす影響について	182

8. 4 注入モルタルの配合ならびに諸性質がプレバッド・コンクリートの 諸性質におよぼす影響について.....	183
引用文献.....	185

注入モルタルに関する研究

赤 塚 雄 三*

BASIC STUDY ON INTRUSION MORTAR

by Yuzo Akatsuka, B. Sc., M. Sc.,**

Reported herein are the results of study on properties of intrusion mortar for prepacked concrete and on relationships between properties of intrusion mortar and those of prepacked concrete. The study was carried out as a part of the research project on the methods of under-water-concreting in Materials Laboratory during the period from April 1957 to March 1964.

To obtain prepacked concrete of reliable quality, the intrusion mortar is required to have such properties as medium flowability, proper expansibility, the minimum tendency of segregation and proper time of setting before hardening and required strengths, high durability and the minimum volume change after hardened. As well known, these properties are affected more or less by the type and quality of materials to be employed, mix proportion, mixing and curing conditions, and other factors, however, the relationships among the mortar properties and these factors as mentioned above have not necessarily been made clear although some have been already proved. In this study, therefore, investigated were the influences of type and quality of mortar making materials as cement, flyash, sand, cement dispersing agents, and powdered aluminum, mix proportions and mixing conditions of intrusion mortar. Also, proportions and properties of intrusion mortar upon properties of prepacked concrete were investigated and discussed.

At first, the effects of mix proportions upon the properties of intrusion mortar were studied. Investigated were the relations between each of ratios as water cement ratio $W/(C+F)$, flyash content $F/(C+F)$, sand cement ratio $S/(C+F)$, dosage of cement dispersing agent $CDA/(C+F)$, and dosage of powdered aluminum $Al/(C+F)$ and each of mortar properties as flowability, expansibility, bleeding, water retentivity, time of setting, flexural and compressive strengths, and drying shrinkage of mortar. Based on these relations proved, the conditions to be taken into consideration in proportioning intrusion mortar were then discussed. Next, effects of type and quality of mortar making materials upon the properties of mortar were investigated and then the influences of temperature, mixing speed and mixing time were tested and the requirements for the field mixing of mortar were discussed. Finally the interrelations among the properties of intrusion mortar and those of prepacked concrete were brought to light.

In analyzing the relationships between the mix proportions and the properties of mortar, the concept of movable water factor was brought in as a fundamental quantity proper to a certain mix proportion and the author showed that the variation of flowability, bleeding and water retentivity of intrusion mortar due to a change in mix proportion are basically attributed to the variation of the movable water factor of the mix. This concept of movable water factor was contrived from the following hypothesis.

It has been proved by T. C. Powers¹⁹⁾ and H. H. Steinour²⁰⁾ in their theory on bleeding of cement

* 構造部, 材料施工研究室長

** Chief Research Engineer, Materials Laboratory, Soil and Structure Division

paste that a part of the unit water content of the paste is adsorbed chemically or physically to the surface of fine cement particles and is ineffective to the flowability of the paste, i. e., only the rest of water deducted the adsorbed water from the unit water content is effective to flowability and bleeding of the paste. K. Yamazaki¹⁷⁾ has proved the theory to be applicable to the paste of cement blended with flyash or mineral fines. Assuming the theory is also applicable to intrusion mortar and the amount of water adsorbed to mineral fines in the mortar is known, the change in flowability, bleeding and water retentivity of mortar due to a change in mix proportion can be analyzed in terms of the amount of water, only which is considered effective to these properties of mortar. Immobile water factor is known as an index of the amount of water adsorbed to the mineral fines, which is considered proper to the type of the mineral fines, and the rest of water deducted the amount equivalent to the immobile water factor from the unit water content has been named as movable water content by T. C. Powers. Since the immobile water factor, however, is neither a factor per unit volume nor unit weight of paste, the definition of this movable water content is not so clear and it seems no further efforts have been made to express it quantitatively. The author defined the movable water factor by the amount of water deducted unit immobile water content from the unit water content of mortar, assuming the immobile water content is proportional to the immobile water factor and to the solid volume of cement, flyash and sand, which can be easily justified. The unit immobile water content is the amount of water which is adsorbed on the surface of fine particles as cement, flyash and sand in unit volume of mortar, and it can be reduced from the immobile water factors of cement, flyash and sand and solid volumes of these particles providing they are known through tests, mix proportion and their specific gravities.

From the study on the properties of intrusion mortar as stated above, the author concludes as follows.

I. On the Effects of Mix Proportions upon the Properties of intrusion mortar,

- 1.) The test results show that each of flowability, bleeding, water retentivity, time of setting, and flexural and compressive strengths are remarkably influenced by water cement ratio, flyash content, and sand cement ratio. Although the relations between the individual ratio of these three and the mortar properties are not necessarily consistent with each other, it is obvious that each of these ratios must be in a certain range to obtain the intrusion mortar of required flowability, bleeding, time of setting, and flexural and compressive strengths. In other words, the mortar provided with required properties can be secured through proper combination of these basic ratios of water cement ratio, flyash content and sand cement ratio.
- 2.) To evaluate flowability of intrusion mortar, the funnel like measure as illustrated in Fig. 3.3 is widely employed in field, with which the efflux value of 1,725 ml. of mortar is measured and used as an index to express flowability of mortar. In this case, the appropriate range of efflux value, within which flowability of intrusion mortar is properly evaluated, is 12 to 26 seconds. Usually wet mixes yield large flowability but are naturally unfavourable to bleeding, water retentivity, strengths, drying shrinkage and other properties of mortar, therefore, stiff mixes will yield good results. As a measure of quality control of intrusion mortar, its efflux value is required to have sharp response to the variation in mix proportion and for this purpose the range of efflux of 16 to 22 seconds is considered appropriate, since in this range variation of $\pm 1/2$ percent of water cement ratio $W/(C+F)$ is reflected in a change of ∓ 1 second in efflux value. From this point of view, the allowance of efflux value of 18 ± 2 seconds to 20 ± 2 seconds, which are generally em-

ployed in many actual jobs, are considered adequate.

3.) The relations between water cement ratio $W/(C+F)$ and mortar properties are quite evident and its increase generally affect mortar properties unfavourably. That is, flowability, bleeding, and drying shrinkage increase proportionally and water retentivity decreases nearly linearly to an increase in water cement ratio, and also time of setting is delayed. Compressive strength is proportional to cement water ratio $(C+F)/W$. Therefore, it is quite important to minimize water cement ratio, provided required flowability of mortar is secured.

4.) When water cement ratio $W/(C+F)$ and sand cement ratio $S/(C+F)$ are maintained constant, admixing flyash with cement usually increases flowability and bleeding, decreases water retentivity almost linearly and delays time of setting remarkably. The flexural and compressive strengths at the ages of one to four weeks decreases linearly to flyash content $F/(C+F)$ but the 13 week strengths become the maximum around $F/(C+F)=20$ to 30 percent. When flyash is added to intrusion mortar providing the flowability is maintained constant through reducing water cement ratio, bleeding and water retentivity become constant, delay of time of setting is a little shortened, and reduction in 1 to 4 week strengths becomes a little smaller, i. e., the decrease of compressive strength is about 10 per cent per an increase of $F/(C+F)=10$ percent. On the other hand, increase of the maximum compressive strength at later ages is slightly amplified. Drying shrinkage decreases by 8.5 percent almost linearly to an increase of $F/(C+F)=10$ percent. Considering the relations between flyash content and the properties of mortar as stated above, flyash is to be added providing water cement ratio and flyash content is to be determined so as to yield the maximum strengths at later ages. In this study, the optimum flyash content is considered around $F/(C+F)=20$ to 30 percent.

5.) Provided flowability of mortar is maintained constant, required water cement ratio is linearly proportional to sand cement ratio $S/(C+F)$. Therefore, bleeding increases and water retentivity, strengths and drying shrinkage decrease almost linearly to $S/(C+F)$. The unit water content of mortar is at the maximum value when $S/(C+F)=0$, decreases as the ratio increases up to $S/(C+F)=1.0$ and then it becomes approximately constant between $S/(C+F)=1.0$ and 2.0.

6.) According to the theory on bleeding of cement paste, the immobile water factor of cement is obtained as unit water content of the paste at the ultimate state when the bleeding of paste becomes equal to zero. Since the immobile water factor is considered proportional to the solid volume of cement particles at the ultimate state of the paste, the immobile water content per unit solid volume of cement can be easily reduced by simple proportion. Applying the same procedure as stated above, the immobile water content per unit volume of flyash and sand may be obtained. Knowing these unit immobile water contents and the solid volumes of cement, flyash and sand in unit volume of intrusion mortar, the movable water factor of any mix can be obtained by deducting the immobile water content from the unit water content. The findings on the relations between the mix proportion and the movable water factor of intrusion mortar are as follows.

When $F/(C+F)$ and $S/(C+F)$ or $W/(C+F)$ and $S/(C+F)$ are maintained constant, the movable water factor is linearly proportional to $W/(C+F)$ or $F/(C+F)$, and when $S/(C+F)$ and flowability of mortar are maintained constant, the movable water factor is constant irrespective of $F/(C+F)$. But when only flowability of mortar is kept unchanged, the movable water factor is nearly proportional to $S/(C+F)$.

Providing $S/(C+F)$ is maintained constant, the flowability of mortar is linearly proportional to the movable water factor. The bleeding of mortar is linearly proportional to the movable water factor regardless of $W/(C+F)$, $F/(C+F)$, and $S/(C+F)$. The water retentivity of mortar dec-

reases linearly as the movable water factor increases, irrespective of $W/(C+F)$, $F/(C+F)$ and $S/(C+F)$.

These relations as stated above are considered to justify the author's hypotheses, from which the concept of movable water factor has been contrived, and suggest that the movable water factor defined in this study is not far from the real value of the movable water content. When sand cement ratio varies, the movable water factor is not constant even when the flowability is maintained constant. The cause of this exceptional case may be attributed principally to physical differences between sand and cement or flyash which affect interparticle friction when mortar is flowing. The fact the movable water factor is linearly interrelated with bleeding and water retentivity of mortar irrespective of $S/(C+F)$ when mortar is not flowing will support the above explanation.

II. On the Effects of Type and Quality of Mortar Making Materials upon the Properties of Intrusion Mortar

1.) The properties of intrusion mortar are more or less influenced by the type and quality of cement and flyash.

The water requirement of portland blast furnace slag cement of B-Type (hereafter abbreviated as slag cement-B) was equivalent to that of normal portland cement admixed with quality flyash by the same amount as in slag cement when employed in intrusion mortar, and no obvious difference was recognized between the water retentivity or bleeding of these two mixes. Although 1-week strengths of the former mix is nearly equivalent to the latter, 4-week strengths are considerably larger than those of the latter, and at the age of 13-weeks the former shows rather higher strengths than those of the mix without flyash. When high early strengths are not required, therefore, the slag cement may be advantageously employed.

Comparing two mixes of intrusion mortar, the one with portland flyash cement of B-Type (hereafter abbreviated as flyash cement-B) and the other with normal portland cement blended with flyash at the mixing process by the same amount as in flyash cement, no difference was observed in water requirement but the former mix yielded higher water retentivity and expansibility and also less bleeding than the latter. The early strengths at 3 days to 4 weeks are also higher than the latter. Taking the merit of simpler batching process in using flyash cement than cement and flyash, therefore, flyash cement may be employed with considerable advantages.

Results of comparison test demonstrate there are considerable differences in flowability or water requirement and compressive and flexural strengths among three normal portland cements manufactured in different factories when employed in intrusion mortar. For example, the maximum difference of compressive strength among these three mixes was about 20 percent of the average strength. This will suggest that the quality test of materials prior to use is quite important.

Flyash and calcinated pulverized shale were tested and compared on their suitability as pozzolanic admixtures for intrusion mortar, and the latter required higher water cement ratio to give the same flowability, yielded slightly higher strengths in early ages but far lower ones in later ages than the former. These results will suggest at least pulverized pozzolanic materials are not more advantageous than flyash.

When employed in intrusion mortar, aerated cement decreases flowability remarkably and increases water requirement, consequently resulting in reduction of water retentivity, expansibility, and strengths and increase in bleeding. These unfavourable effects of aerated cement

upon the properties of mortar seem to develop as the aeration of cement progresses.

2.) The flowability of intrusion mortar is approximately proportional to fineness modulus of sand regardless of its grading, if an excessive amount of particles coarser than 2.5 mm or finer than 0.15 mm is not contained. When particles coarser than 2.5 mm or finer than 0.15 mm are contained by an excessive amount, the sand is not suitable as fine aggregate for intrusion mortar, since, the former has remarkable tendency of segregation and the latter increases water requirement excessively.

When the standard efflux value of mortar is 20 seconds and the average of fineness modulus of sand is 2.0, change of fineness modulus of sand ± 0.1 requires change in ratio $W/(C+F) = \mp 1.0$ percent to maintain the same flowability of mortar. Therefore, it will be adequate to allow ± 0.1 in fineness modulus of sand for the variation of its grading for practical purposes.

3.) Investigation on the effects of six water reducing agents upon the properties of intrusion mortar were carried out, four of which were cement dispersing agents, i. e., nonionic, anionic, cationic and biionic surface activating agents and the rest were air entraining agents. The result show that the effects of these agents are not necessarily stable as generally expected, that is, the effects vary considerably depending upon the type and dosage of the agents, type of cement, mix proportions and the curing conditions.

Only one among six agents showed remarkable water reducing effect regardless of type of cement, one showed the same effect only for the mixes containing normal portland cement, and the other four did not show the effect or even increased water requirement. Water retentivity of the mixes containing agents with water reducing effect increased but that of the mixes containing the agents without water reducing effect decreased and their bleeding increased on the contrary. Since air content of intrusion mortar containing any of six agents is negligibly small, i. e., less than one percent at most, it is obviously impossible to expect reduction of water requirement due to entrained air.

The optimum dosage of the agents may be estimated through the dosage, with which the maximum strengths of intrusion mortar are obtained, although they are variable in some degree depending upon the type of cement and age of mortar. In general, water requirement, bleeding and water retentivity vary monotonously with the dosage of agents or do not vary irrespective of the dosage, therefore, it is difficult to evaluate the optimum dosage from these factors. In this study, the optimum dosages evaluated from the strengths test results are 1.0R for four agents, 0.5R for one and 1.5R for the other, where R is the standard dosage for plain concretes recommended by the manufacturers and are generally expressed in terms of weight percent to the total of cement and flyash, i. e., $AD/(C+F)$ in percent.

According to strength test results on the mixes containing agents at their optimum dosage, the compressive strength of the mixes containing agents with the evident water reducing effects increases stably, that of the mixes including agents with negative water reducing effect decreases considerably, and the influence of the agents without positive water reducing effect upon the compressive strength is quite unstable. Although it seems difficult to establish evident correlation-ship between the water reducing effect of admixture and strengths of intrusion mortar, it is considered necessary for any admixture to have recognizable water reducing effect to improve strengths of mortar with it.

The author believes the six admixtures investigated in this study have been widely employed and their effects also have been recognized for conventional concretes at least. However, this investigation reveals only one agent has reliable effects as an admixture for intrusion mortar, the other one has the equivalent effects but for a particular type of cement, and the effects of the other

four are not trustworthy. Hence, the author suggests that the effects of admixture for intrusion mortar should be evaluated through the tests on intrusion mortar using job materials.

4.) It has been proved that the expansibility of intrusion mortar is decidedly affected by the particle shape of powdered aluminum; the powdered aluminum of flaky particle is exclusively effective and those of grain, needle-shaped or atomized particles are ineffective for expansion of intrusion mortar. In this study, therefore, ten types of aluminum powder of flaky shape particles were tested. The results show that the expansibility of mortar is affected also by the fineness, purity and stearic acid content considerably. Consequently to expect perfect effect of expansion of mortar, it is recommended to employ the powdered aluminum of high purity (higher than 99 percent), 100 percent passing the standard sieve 44μ and stearic acid content of around 2 percent.

III. On the Effect of Mixing Conditions upon the Properties of Intrusion Mortar

1.) The properties of intrusion mortar such as consistency, bleeding and expansibility are considerably affected by mixing temperature as well as room temperature.

Flowability of mortar decreases as mixing temperature rises and the stiffer the mix and the higher the temperature, the tendency becomes more remarkable, probably due to hydration of cement paste.

Water retentivity of intrusion mortar shows an increasing tendency as mixing temperature rises, although in the range of 18 to 26°C the tendency is not so prominent.

Expansibility and bleeding of intrusion mortar are affected not only by mixing temperature but also by room temperature, since both of expansion and bleeding of mortar are naturally influenced by the rate of reaction of powdered aluminum, time of setting of mortar and rate of absorption of bled water by hydrated cement paste.

In the range of 18 to 26°C of the mixing temperature, the expansibilities of mortar at 3 and 24 hours after mixing decrease as the mixing temperature rises and this trend is observed irrespective of room temperature and dosage of powdered aluminum. The expansibility at 3 hours after mixing is linearly proportional to the room temperature, but the expansibility at 24 hours after mixing decreases as the room temperature rises when mixing temperature is low and dosage of powdered aluminum is comparatively small and it slightly increases as the room temperature rises when dosage of powdered aluminum is adequate.

The bleeding of mortar at 3 hours after mixing decreases as the mixing temperature rises nearly irrespective of the room temperature. The bleeding at 24 hours after mixing is obviously affected both by mixing and room temperatures and it decreases as the temperatures rise.

2.) The flowability of intrusion mortar increases as the mixing speed increases when such a mixer is used for mixing as the mixing rod is placed eccentrically in a mixing container so that the rotation of the propellers attached to the rod cause upward and downward movements of mortar as well as rotating movements. When mixing speed is excessively high, temperature rise of mortar is caused at the same time due to internal friction which obviously decreases the flowability and cancels the flowability gain by high speed mixing. The flowability gain by high speed mixing is considered due to mechanical dispersing of cement and flyash particles, therefore, it is quite advantageous for reducing water requirement to employ high speed mixing with a water reducing admixture.

3.) The flowability of intrusion mortar increases as the mixing time is elongated but too long mixing causes an excessive temperature rise which decreases the flowability. The optimum

mixing time, at which the maximum flowability is obtained, depends upon the structure of mixer, mixing speed, mix proportion of mortar and a batch volume, but in general the higher the mixing speed and the smaller the water cement ratio, the shorter the optimum mixing time becomes. The long time mixing at high speed should be avoided since it cause an excessive temperature rise of mortar which reduce the flowability and causes too early reaction of powdered aluminum with cement paste. The long time mixing at comparatively low speed also decrease flowability, expansibility and bleeding of mortar and has tendency to increase compressive strengths of mortar. Therefore, the long time mixing is not always detrimental to the properties of mortar but it is a better practice to avoid it, since the decrease in flowability and expansibility may cause pressure rise in grouting unnecessarily, imperfect permeation of mortar into the voids of coarse aggregate and imperfect bond between mortar and coarse aggregate.

IV. On the Effects of Mortar Properties upon Properties of Prepacked Concrete

1.) Provided the quality and density of coarse aggregate are maintained constant, the compressive strength and dynamic modulus of elasticity of prepacked concrete depend upon the proportion of intrusion mortar.

The compressive strength and dynamic modulus of elasticity of prepacked concrete are linearly proportional to cement water ratio $(C+F)/W$ of intrusion mortar, although the dynamic modulus shows the tendency to approach to a certain value irrespective of the cement water ratio at the later age of 13 to 26 weeks.

Admixing proper amount of flyash with cement improves the later strengths of prepacked concrete considerably but with an excessive amount they are rather reduced. The optimum flyash content to increase 13 to 26 week strengths are considered around $F/(C+F)=20$ to 30 percent in this study. The dynamic modulus of elasticity of prepacked concrete is not very much affected but admixing too much flyash will decrease it by several percent.

The compressive strength and dynamic modulus of elasticity of prepacked concrete decrease linearly as the sand cement ratio $S/(C+F)$ of intrusion mortar increases and the reduction is nearly proportional to that of cement water ratio due to the change in sand cement ratio.

Adding Pozzolite No. 8 by Pozz. $S/(C+F)=0.25$ to 0.375 percent increased the compressive strength of prepacked concrete about 10 percent but it did not cause any recognizable effect upon dynamic modulus of elasticity at the later ages.

To add powdered aluminum of proper dosage into intrusion mortar is effective in improving the compressive strength of prepacked concrete by several percent in comparing with the mix without powdered aluminum, but it is not influential to the dynamic modulus of elasticity. There exists an evident correlation between flexural strength σ_{mf} and compressive strength σ_{mc} of intrusion mortar and σ_{mf}/σ_{mc} decreases linearly as σ_{mc} increases.

The compressive strength of prepacked concrete σ_{pc} is linearly proportional to that of intrusion mortar σ_{mc} and the relationship between them can be expressed by an equation $\sigma_{pc}=p\sigma_{mc}+q$, where p and q are constants.

The dynamic modulus of elasticity of prepacked concrete E_d is considered as a function of compressive strength of prepacked concrete and can be expressed by a linear equation $E_d=p\sigma_{pc}+q$ at the range between $\sigma_{pc}=50$ and 450 kg/cm², where E_d ranges from 3.0 to 4.5×10^5 kg/cm², and q is nearly 3.0 .

As for the relations between strength and age of intrusion mortar and prepacked concrete, the

compressive strength of prepacked concrete develops in nearly equal rate to that of intrusion mortar, which is approximately equivalent to the developing rate of conventional concrete. The developing rate of the dynamic modulus of elasticity of prepacked concrete is quite small which may suggest that the modulus is considerably affected by the factors as quality and density of coarse aggregate irrespective of age.

§. 1 緒 論

プレパックド・コンクリート工法は予め型枠もしくはコンクリートの施工個所に粗骨材を填充し、その間に特殊な性状のモルタルを注入してコンクリート構造物を形成する工法であるが、この工法が普通のコンクリート施工方法と著しく異なる点は

- (i) モルタルと粗骨材とを分離して用いること、
- (ii) モルタルが注入に適した性状を備えていること。

の2点に要約されると思われる。第2の点は特に重要であり、流動性が大きく、適度な膨脹性を有し、材料の分離が少く、凝結時間が適当な範囲内にあり、かつ硬化後に所要の強度ならびに耐久性を有し、また乾湿による容積変化の少ないものであることが信頼度の高いプレパックド・コンクリートを得るための前提の条件である。上述のような注入モルタルの性状は、その流動性、膨脹率、ブリージング率、保水性、凝結時間、強度、乾燥収縮等の諸性質を測定することによって、これを評価することができる。しかし、これらの諸性質は使用材料や配合比等によつて著しく変化し、更に個々の性質と使用材料ないし配合比との関係は相互に矛盾せぬもののみとは限らない。たとえば、水セメント比の大きい配合のモルタルの流動性は一般に大きく、注入作業は比較的容易となるが、材料の分離も著しく、また高強度を期待することができない。したがつて、注入モルタルの配合設計を合理的に行ない、所要の性質を備えた経済的なプレパックド・コンクリートを得るためには、注入モルタルの諸性質とこれに影響をおよぼす諸要素との関係を明らかにすることが極めて大切である。

プレパックド・コンクリート工法が水中コンクリートの最も有力な施工方法の一つとして我が国に導入されて以来、既に10年に近い月日が経過し、この間における施工例は数多く、その基礎的ないし応用的研究の成果も相当の水準に達している。著者等の調査によると、工事報告や実験研究報告などのプレパックド・コンクリートおよびこれに関連した課題について内外で発表された文献や資料は既に150篇を越えている。^{1~5}しかしながらプレパックド・コンクリート工法上最も重要と考えられる注入モルタルの諸性質について基礎的な研究を行なつた例は少く、特に有益と考えられる論文^{6~16}も注入モルタルの諸性質の中で特定の性質、たとえば、流動性、膨脹率、ブリージング率などに検討を加えた程度に止まつて居り、注入モルタルの配合設計を合理的に行なうための基礎資料が充分に提出されているとは云い難い。したがつて、注入モルタルの諸性質について組織的な研究を行ない、その配合設計に関する資料を提出することはプレパックド・コンクリート工法の発展に寄与するものと考えられる。

注入モルタルの諸性質に影響をおよぼす要素は極めて多く、セメント、フライアッシュ、砂、混和剤、水等の使用材料の種類および性質、これらの使用材料の配合比、注入モルタルの練りませ方法、養生条件等が挙げられる。一般に、ある特定の施工条件の下では、使用材料の選択は地理的ないし経済的な条件によつて行なわれる場合が多い。また、コンクリートの施工量が数千 m^3 以下の工事が大部分を占めるプレパックド・コンクリート工事においては養生条件や練りませ方法を大巾に変更する余地のある場合は比較的少い。換言すれば、注入モルタルの配合比の選択の仕方によつてその諸性質が支配される場合が極めて多い。

本報告では上に述べた観点から最初に配合比の変化が注入モルタルの諸性質におよぼす影響について検討を加えた。すなわち、注入モルタルの配合を構成する水セメント比 $W/(C+F)$ 、フライアッシュ混和率 $F/(C+F)$ 、

砂セメント比 $S/(C+F)$ 、セメント分散剤率 $DA/(C+F)$ および発泡剤率 $Al/(C+F)$ (発泡剤としてアルミニウム粉末を使用した) のそれぞれの比と流動性、膨張率、ブリージング率、保水性、凝結時間、曲げおよび圧縮強度、乾縮収縮等の諸性質との関係を明らかにし、注入モルタルの配合設計において特に考慮すべき条件について論じた。

次いで、セメント、フライアッシュ、砂、セメント分散剤、アルミニウム粉末の種類を変えた場合、その変化によつて注入モルタルの諸性質の受ける影響について調査した。一般にこれらの諸材料の種類と品質との関係は必ずしも明瞭でない。そこで、本実験では市販の製品から幾つかの典型的な製品を取上げて相互に比較検討する方法を採用した。したがつて、本実験結果より普遍的な結論を導くことは困難であるが、注入モルタルの幾つかの性質は使用材料の種類によつて著しい影響を受け、使用材料を選択する場合に適切な比較試験を行なう必要があることを明らかにした。

注入モルタルの練りませ方法に関しては、練りませ温度、練りませ速度および練りませ時間の影響を、主として注入モルタルの流動性、ブリージング率および強度の点から検討し、その結果に基いて施工用ミキサの備えるべき条件および練りませ方法について考察を加えた。

本実験では以上に述べたように注入モルタルの諸性質とこれに影響をおよぼす諸要素との関係について検討を加えると共に、注入モルタルの性質とプレバクド・コンクリートの性質との相関性を明らかにすることを試みた。すなわち、硬化後のコンクリートの最も重要と考えられる性質として強度を取上げ、注入モルタルの諸配合比とプレバクド・コンクリートの諸強度との関係、注入モルタルの諸強度とプレバクド・コンクリートの諸強度の関係等について検討を加え、注入モルタルとプレバクド・コンクリートの諸強度との間および注入モルタルとプレバクド・コンクリートの諸強度相互間に密接な相関関係の成立することを確かめ、更にこれらの諸関係を適用することによつてプレバクド・コンクリートの品質管理のための簡単で効果的な間接方法を見出せる可能性について論じた。

本研究では先に述べた配合比と注入モルタルの諸性質との関係を解析するに当つて、ある特定の配合に固有の基本的な量として自由水量係数なる量を考え、注入モルタルの流動性、ブリージング率、保水性等の配合比の変化に基く変化は基本的には自由水量係数の変化によつて説明される事を示した。この自由水量係数なる量は次のような考え方から導かれたものである。

単位容積のモルタルはセメント、フライアッシュ、砂などの固体粒子によつて占められる固相部分と水および空隙によつて占められる液相および気相部分に分けて考えることができる。注入モルタルに連行される空気量は、特に起泡力の強力な混和剤を使用する場合を除くと、一般に極微量であり、またアルミニウム粉末のような発泡剤による気泡の容積は膨張の抑制の割合によつて変化し、膨張を完全に抑制する場合およびモルタルの練りませ直後にはこれを無視することができる。このような条件下では上述の液相および気相部分の容積は近似的に単位水量に等しい。固相部分を構成する各固体微粉末粒子の表面には、微粉末粒子と化学的に結合し、あるいは物理的に吸着されて移動せず、したがつてペーストの流動性には関係しない水量が存在することが明らかにされ、¹⁷⁾ この量に関係する係数は微粉末の保水係数 (immobile water factor) として知られて居り、セメントペーストの単位水量から保水係数に相当する量を差引いた残りの水量は T. C. Powers 氏によつて movable water content¹⁸⁾ と呼ばれている。しかし、保水係数は単位量として表示された値でないため、movable water content の定義は必ずしも明らかにされず、また、これを量的に表示する試みもなされてなかつたものようである。著者はセメント、フライアッシュおよび砂の保水係数を用いて単位容積のモルタルに含まれる固相部分に保持される水量、すなわち単位保水量 (unit immobile water content) を近似的に求め、単位水量 (unit water content) より単位保水量を減じた水量を以て自由水量係数 (movable water factor) とした。

本研究は1957年4月より1964年3月に亘つて、運輸省港湾技術研究所において行なつたもので、同研究所におけるプレバッド・コンクリート工法に関する基礎的研究の一環をなすものである。本研究の実施に当つては、東京大学教授、国分博士の御指導を仰ぎ、自由水量係数は国分博士の御命名によるものである。また、セメントならびにフライアッシュの保水係数に関して、日本セメント研究所主任研究員、山崎博士より貴重な御教示を頂いた外、港湾技術研究所各位の協力を得た。本研究は以上の方々に負う所が極めて大きく、ここに心から御礼申上げる次第である。

§. 2 使用材料

実験に用いた注入モルタル材料は大別して2群に分けられる。

第1群は配合比の変化が注入モルタルの諸性質におよぼす影響に関する諸試験に使用したもので、実験の性質上使用材料を一定とした。すなわち、水セメント比、フライアッシュ混和率、砂セメント比等の影響に関する実験(4.2~4.5)にはN社N工場製普通ポルトランドセメント、U社U工場製フライアッシュおよび豊浦標準砂を用い、セメント分散剤およびアルミニウム粉末の種類と使用量の影響に関する実験(5.4~5.5)にはセメントのみをO社O工場製の普通ポルトランドセメントに変え、セメント分散剤としてはポゾリス No. 8 等6種の界面活性剤を、アルミニウム粉末としてはFおよびY金属社の鱗片状粉末10種を用いた。

第2群は使用材料の種類の影響等の諸試験 (§. 5~§. 7)に用いたのもで、この場合にはセメント、フライアッシュ、砂、セメント分散剤およびアルミニウム粉末のいずれも数種の製品を使用した。すなわち、セメントとしては数社の普通ポルトランドセメントの他に、早強ポルトランドセメント、高炉セメント、フライアッシュセメントを使用し、フライアッシュにはU、N、J各社の製品およびO鉱業社の鉱石微粉末を取上げた。また細骨材には豊浦標準砂の他に海浜砂2種および川砂1種を用いた。セメント分散剤としては界面活性剤の型に応じて4種(非イオン、陽イオン、陰イオン、両性界面活性剤各1種)を取上げた他、AE剤を2種比較試験に供した。また、アルミニウム粉末としてはF、Y金属両社の製品より粉末度およびステアリン酸含有量の異なるものを合計10種取上げて比較した。この種の試験では調査対象の材料のみを変え、その他の材料は一定として試験を行なつた。幾つかの材料の相乗作用は全く無い訳ではないが、その影響の程度は比較的少いので本実験ではこれに関する試験を省いたのである。このように、§5~§7に述べる試験には各種のセメント、フライアッシュ、砂、セメント分散剤およびアルミニウム粉末を使用した。ある特定の使用材料の影響を調べる場合を除いては一連の試験には一定の材料を使用した。試験結果に基づく結論が各種の材料を用いたことによつて著しく影響されることはないものと思われる。以下では本文中に特に断わらない場合にはセメント、フライアッシュ、砂はそれぞれN社N工場製普通セメント、U社U工場製フライアッシュ、および豊浦標準砂を指す。

上述の諸材料の試験結果を表—2.1~2.5に示す。

表-2. 1 各種セメントの試験結果

	普通ポルトランドセメント						フライアッシュセメント(B)	高炉セメント(B)
	N社工場	O社工場	O社工場	H社工場	I社工場	I社工場	Y社工場	Y社工場
比重	3.18	3.18	3.16	3.15	3.16	2.95	2.99	
粉末度 (cm ² /gr)	3,200	3,380	3,290	3,130	3,130	3,370	3,810	
水量 (%)	26.3	-	27.2	26.2	-	-	29.5	
凝結	始発(時分)	2-15	3-07	2-23	2-47	2-09	2-38	4-20
	終結(")	3-44	4-05	3-32	3-49	3-05	3-32	5-55
安定性	良	良	良	良	良	良	良	
フロー値	237	255	243	232	236	278	241	
曲げ強度 (kg/cm ²)	3日	23.2	32.4	32.9	32.7	32.8	28.4	25.6
	7日	39.6	51.5	47.2	49.5	47.7	44.7	36.3
	28日	66.2	70.1	69.1	70.7	70.6	66.9	60.7
圧縮強度 (kg/cm ²)	3日	108	145	138	125	131	112	73
	7日	204	241	227	221	228	182	149
	28日	405	409	400	407	409	367	387
化学成分 (%)	Loss	0.67	0.85	0.66	0.6	0.5	0.4	1.03
	Insol.	0.55	0.07	0.22	0.6	0.8	17.4	0.80
	SiO ₂	22.84	22.47	22.61	21.8	21.1	18.0	27.80
	Al ₂ O ₃	5.37	4.74	5.37	5.0	5.9	5.6	12.46
	Fe ₂ O ₃	2.95	3.12	2.95	3.2	3.3	2.7	2.20
	CaO	64.28	65.46	64.52	64.7	64.2	52.0	50.32
	MgO	1.54	1.28	1.33	1.3	1.7	1.4	3.49
So ₃	1.49	1.54	1.76	2.0	1.7	1.6	1.82	

表-2. 2 各種ポゾランの試験結果

	フライアッシュ			ポゾラン*	
	U社工場	J電力社**	N社	O鉱業社	
比重	2.07	2.14	2.17	2.73	
粉末度 (cm ² /gr)	3,410	3,000	3,820	4,840	
単位水量 (%)	92.9	81.1	96.0	96.9	
比圧縮強度比(%)	7日	84	80	73	-
	28日	87	94	78	69
	91日	119	130	102	67
曲げ強度比(%)	7日	87	86	-	-
	28日	84	94	-	82
	91日	114	120	-	97
化学成分 (%)	H ₂ O	0.19	0.09	0.3	0.04
	Loss	0.88	0.10	2.4	11.12
	S ₂ ・O ₂	58.52	62.03	56.5	49.02
	Al ₂ O ₃	24.53	26.13	26.3	13.67
	Fe ₂ O ₃	5.75	3.62	4.3	6.49
	CaO	4.15	4.50	5.7	12.95
	MgO	1.12	1.03	1.6	2.79
SO ₃	0.48	0.21	0.5	1.15	

* 頁岩を焼成微粉砕せるもの

** I社フライアッシュセメントの原料フライアッシュ

表-2.3 細骨材の試験成績

産地	豊浦標準砂	平市浜街海岸	藤沢市鶴沼海岸	利根川
比重	2.64	2.63	2.64	2.56
吸水	—	0.51	2.45	2.86
粒に留る百分率 (フルイ)	5 mm	0	0	0
	2.5	0	4	0
	1.2	0	32	1
	0.6	0	53	10
	0.3	0	75	59
	0.15	92	99	83
	Pan	100	100	100
粗粒率	0.92	2.63	1.73	1.64

表-2.4 使用したセメント分散剤およびAE剤

記号	主成分ないし主原料	種別	備考
C 剤	アルキル・アシル・ポリエチレン・グリコール・オキサイド	非イオン界面活性剤	国産T油脂KK
L 剤	リグニン+可溶性珪酸塩	陽イオン界面活性剤	国産K材料KK
P 剤	リグニン・スルホン酸・カルシウム	陰イオン界面活性剤	国産N. M. KK
N 剤	カルボン酸	両性イオン界面活性剤	国産T製油KK
V 剤	松脂	AE剤	輸入H Powder Co.
D 剤	トリエタノール・アミン	AE剤	輸入D Chemical Co.

(A) 表-2.5 アルミニウム粉末の試験結果

試料番号	仕様	成分 (%)					備考
		Al	Si	Fe	Cu	油脂分*	
A ₁	AA 10	99.2	0.11	0.01	0.21	2.75	F金属社
A ₂	AA 12	99.2	0.11	0.01	0.21	2.12	"
A ₃	AA 15	99.2	0.11	0.01	0.21	1.83	"
A ₄	AA 39	99.2	0.11	0.01	0.21	0.84	"
A ₅	No. 300	99	—	—	—	2.50	Y金属社
A ₆	YP 580	99.4	0.259	0.322	0.018	2.23	"
A ₇	YP 2000	99.4	0.259	0.322	0.018	2.68	"
A ₈	YP 1000	99.4	0.259	0.322	0.018	2.62	"
A ₉	P 120	>99.5	<0.25	<0.20		0.75	"
A ₁₀	P 250	>99.5	<0.25	<0.20		1.95	"

* 油脂分測定は JIS K 5906—1951 の溶剤溶物測定法による。

(B)

試料番号	粒度分布(重量百分率)(粒子寸法: μ)*											有効径 (μ)**
	>30.3	30.3 ~21.5	21.5 ~17.6	17.6 ~15.2	15.2 ~13.5	13.5 ~12.4	12.4 ~11.5	11.5 ~10.7	10.7 ~9.5	9.5 ~9.2	<9.2	
A ₁	—	—	—	—	>13.5 10.0	6.0	9.0	4.4	6.0	6.0	58.6	7.84
A ₂	—	>21.5 27.2	8.6	5.0	10.0	4.0	4.0	13.0	<10.7 28.2	—	—	13.97
A ₃	6.7	16.0	10.0	13.3	10.0	15.0	29.0	—	—	—	—	15.28
A ₄	45.6	25.0	6.2	<17.6 23.2	—	—	—	—	—	—	—	25.28
A ₅	—	>21.5 3.2	6.4	12.9	12.9	10.0	5.0	10.0	<10.7 39.6	—	—	13.75
A ₆	—	>21.5 3.0	9.3	11.0	9.3	11.0	9.3	11.0	<10.7 36.1	—	—	13.85
A ₇	—	—	—	—	—	>12.4 7.0	7.0	7.0	25.0	7.0	47.0	8.09
A ₈	—	—	>17.6 7.0	13.3	7.0	11.7	10.0	7.0	3.3	<9.5 40.7	—	11.47
A ₉	51.0	14.8	8.0	6.0	<15.2 21.0	—	—	—	—	—	—	24.94
A ₁₀	—	>21.5 17.6	14.5	12.0	9.0	12.0	<12.4 34.9	—	—	—	—	15.03

* 島津製作所自動粒度測定器で測定。 ** 有効径の定義は次による⁴³⁾。

$$\frac{1}{d} = \sum \frac{\Delta_{12}}{d_{12}} ; \frac{1}{d_{12}} = \frac{1}{3} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{2}{d_1 + d_2} + \frac{1}{d_2} \right)$$

Δ_{12} = フライ目 d_1 と d_2 の間に留る試料の重量百分率

d = 有効径 (μ)

§. 3 注入モルタルの諸性質の試験方法

3. 1 概 要

注入モルタルの諸性質の試験方法に関しては未だ標準的な方法が確立されず、幾つかの方法が提案されている段階にある。本実験では主として著者の提案する方法を用いた。この方法は注入モルタルおよびこれに類似した性状のセメント・ペーストやプレストレスト・コンクリート用注入グラウトなどに関する試験方法の内外の規格や規準を調査し、その注入モルタルの試験方法としての適用性について試験研究ならびに施工管理上の観点から検討を加えた結果^{19~21)}に基いたものである。この他注入モルタルの膨張率試験には樋口氏の提案するポリエチレン袋を用いる方法¹⁴⁾、乾燥収縮の測定にはコンパレータ方法(J I S A 1125—1957)を適用し、また強度試験にはセメントの物理試験方法の規定による方法(J I S R 5201—1956)をも準用した。

セメント、フライアッシュ、砂などの粒子の保水係数を求める試験にはメスシリンダーを用いてそれぞれの粒子の懸濁液の沈降速度を測定し、沈降速度 Q 、懸濁液のポロシティ ϵ 、および保水係数 w_i との間の $\sqrt{Q(1-\epsilon)}$ = $B(\epsilon - w_i)$ (B は定数)なる関係を用いて、 w_i を図式的に求める方法を採用した。

3. 2 供試モルタルの練りませ方法

既に猪股代や著者等^{21, 22)}によつて指摘されているように、注入モルタルやPCグラウトの流動性などは試料の練りませ方法によつて著しい影響を受ける。したがつて各種配合の比較試験を行なう場合には標準的な練りませ方法による必要がある。本実験で図—3.1に示したような仕様の試験用注入モルタル・ミキサ(港研改良型)²⁰⁾を使用して練りませた。最初に所定の水量を攪拌槽に入れ、これにセメント分散剤を溶解した後にアルミニウム粉末を投入する。次いで1,500rpmで攪拌羽根を回転しながらセメントおよびフライアッシュを2分間に亘つて投入する。セメントとフライアッシュの投入を終えたら回転数を3,000rpmに増加し、砂を2分間に亘つて投入する。砂の投入終了後更に6分間攪拌を続け、合計10分間の攪拌で練りませを終了した。回転数の調整は直読型の電気回転計によつて行ない、また攪拌羽根は磨耗の程度に応じて適時更新し、磨耗による攪拌羽根の形

状変化の影響が最小となるように留意した。練りませ方法の影響に関する試験(\$6)では上述の標準方法の他に各種の練りませ速度や時間および構造の異なるミキサを用いて行なつたが、この方法については\$6で詳述する。

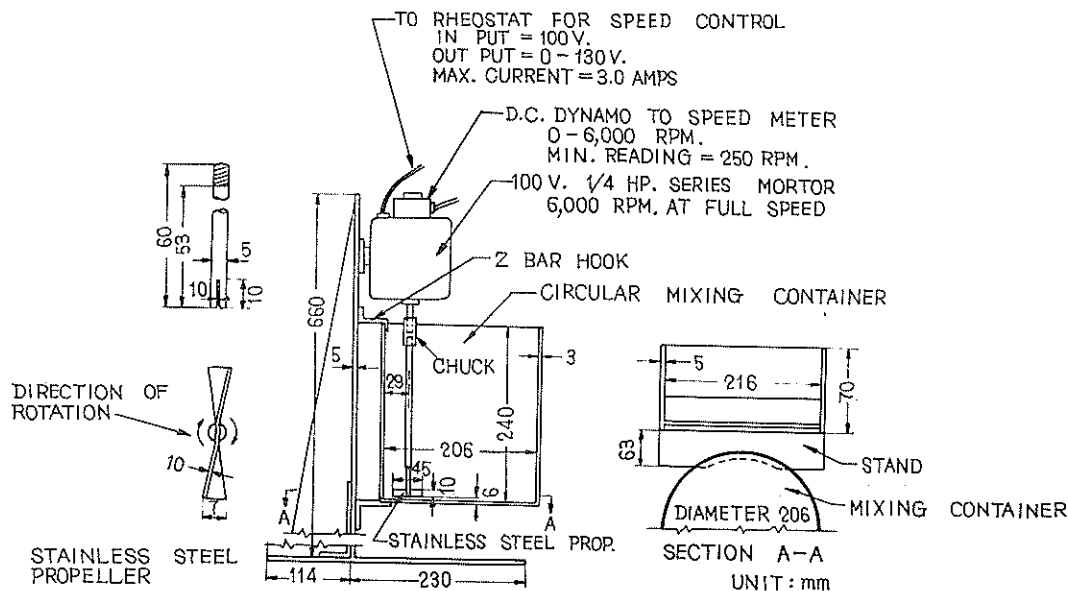


図-3. 1 試験用注入モルタルミキサ (改良型, 練りませ容量 5ℓ)
Intrusion Mortar Mixer for Laboratory Test (Revised Type, Capacity=5 liters)

3. 3 注入モルタルに関する試験方法

a) 流動性試験

直管の吐出管を下端に備えた漏斗状の水槽に流体を満たし、これを自由に流出させる場合には、その流出に要する時間は流体の粘性、すなわち、流動性の逆数に近似的に比例する。^{19, 21)} 本実験に用いた流動性試験用の漏斗はその断面が図-3. 2に示したような形状ならびに寸法を備えたものである。吐出管の下端を指で塞ぎ、1,725ccの試料モルタルを満たした後、吐出管より自由に流出させてその所要時間をストップウォッチで測定し、流出時間 x 秒として表示した。

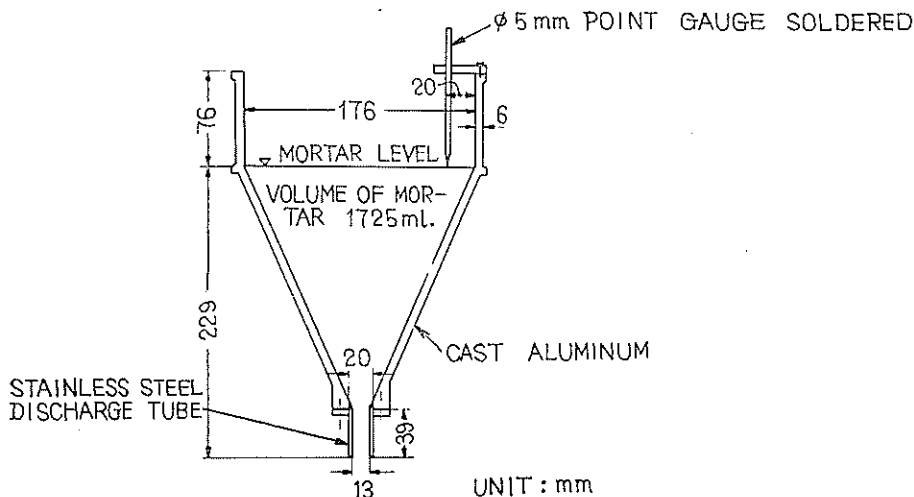


図-3. 2 注モルタルの流動性試験用漏斗
Funnel for Consistency Test on Intrusion Mortar

b) 膨張率試験

プレストレスト・コンクリート用グラウトのブリージング率および膨張率試験方法(体積方法)²³⁾を準用した。この方法は試料を入れた場合にその直径が約5cmとなるようなポリエチレン製の袋を試料容器とするもので、試料を高さが約20cmとなるように満した後に袋の上端を緊結して適当な個所に吊し、試料の練りませ後3時間および20時間後に膨張量を測定する。試料容積の測定は予め適量の水を入れた1,000ccのメスシリンダーに試料を袋ごと挿入し、メスシリンダー内の水面が袋内の試料面と一致する時の水面の読みから最初の水量を減ずることによつて求める。試験結果は試料の膨張量を原試料容積に対する百分率で表示し、これを膨張率とする。

c) ブリージング率試験

ブリージング率の測定は原則としてメスシリンダーを用いて行ない、膨張率をも併せて試験する場合には前述のグラウトのブリージング率および膨張率試験方法(体積方法)を用いた。メスシリンダーを用いて行なう場合には、容量50ccメスシリンダーに試料を45cc程度満し、所定の時間々隔で水面と沈降したモルタル面の読みを取り、両者の差をブリージング水量とし、これよりブリージング率を計算する。試料の数は、バッチについて3個とし、そのブリージング水量の平均値を用いて、“ブリージング水量～時間曲線”を画き、ブリージング水量が最大となる時間を以てブリージング終了と認め、この時のブリージング水量よりブリージング率を次式で求めた。

$$\text{ブリージング率} = \frac{V}{V_w} \times 100(\%) \dots\dots\dots (3.1)$$

$$V_w = \frac{V_o}{V_s} \times W_w \dots\dots\dots (3.2)$$

$$\text{ここで、 } V_s = \frac{1}{\rho_m} (W_c + W_f + W_s + W_w) \dots\dots\dots (3.3)$$

ρ_m : 試料モルタルの単位容積重量 (gr/cc)

W_c, W_f, W_s, W_w : セメント, フライアッシュ, 砂および水のそれぞれのバッチ使用量 (gr)

V_s : 供試モルタル1バッチの容積 (cc)

V_o : 試料モルタル3個の平均容積 (cc)

V_w : 試料モルタル中の水量の平均値 (cc)

V : 最大ブリージング水量の平均値 (cc)

d) 保水性試験

保水性試験は注入モルタルの保水能力、云い換えれば、ブリージングのような材料分離の生じ難さの程度を測定しようとするもので、著者の提案する試みの一つである。従来、この種の試験としてASTMの左官用セメントならびに消石灰の規格に規定された保水量試験 (water retention test)²⁴⁾ およびプレバクト・コンクリート一般仕様書²⁵⁾に規定された保水性試験 (water retentivity test) が行なわれている。本実験における保水性試験はこれらの試験方法で用いるものとはほぼ同じ機構を備えた装置を用いて試験するものであるが被測定量は全く異なる。すなわち、ASTMの保水量試験では水分吸出装置を用いて水分吸出を行なう前後のフローテーブルによるフロー値の変化を測定し、プレバクト・コンクリート一般仕様書の保水性試験では定量のモルタル試料から一定量の水分を吸出するに要する時間を以て保水性とする。これに対して本実験では図—3.3に示したような装置を用い、有孔板容器 (容積500cc) に満したモルタル試料より71cmHgの圧力の下で水分を吸出し、水分吸出を行なう前後における試料中の水量を求め、両者の比率を百分率で表示して保水性とした。保水性の計算は次式によつて行なう。

$$\text{保水性} = \left(1 - \frac{V_e}{V_w} \right) \times 100(\%) \dots\dots\dots (3.4)$$

$$V_w = \frac{W_w}{V_s} \times 500(\text{cc}) \dots\dots\dots (3.5)$$

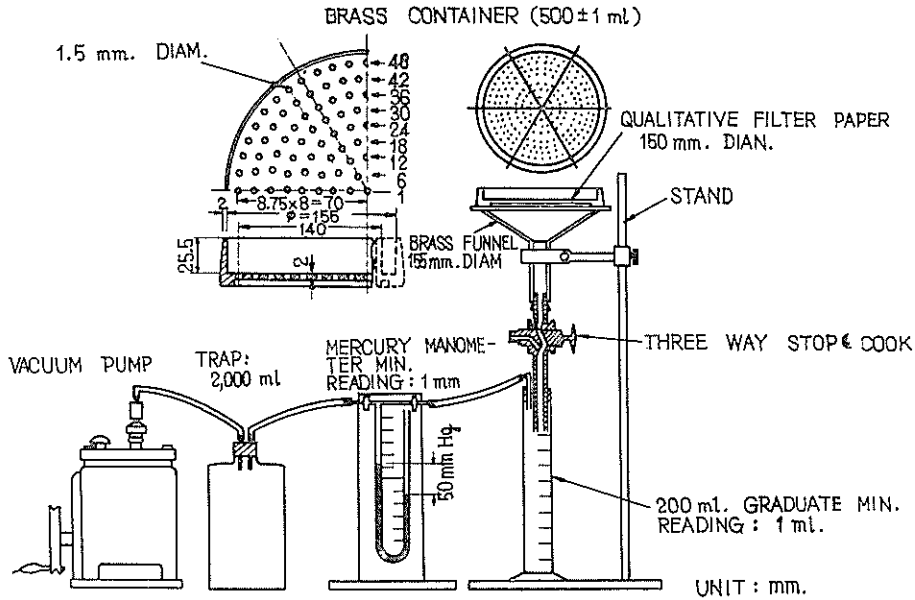


図-3. 3 注入モルタルの保水性試験装置
Apparatus Assembly for Water Retentivity Test on Intrusion Mortar

$$V_s = \frac{1}{\rho_m} (W_c + W_f + W_s + W_w) \dots \dots \dots (3.6)$$

ここで

- ρ_m : 試料モルタルの単位容積重量 (gr/cc)
- W_c, W_f, W_s, W_w : セメント, フライアッシュ, 砂および水のそれぞれのバッチ使用量 (gr)
- V_s : 供試モルタル1パッチの容積 (cc)
- V_w : 吸出前の試料モルタル中の水量 (cc)
- V_c : 試料モルタル500ccより吸出された水量 (cc)

上述の方法によつて求められる保水性と、c)の方法によるブリージング率との間には明瞭な相関々係（一次的逆相関）が認められ、15,20,21) 本方法による注入モルタルの保水性がその材料分離の生じ難さの程度を示す量として適当である事を示唆している。

e) 凝結試験

凝結試験にはビカー針装置を使用するセメントの凝結試験方法（J I S R5201—1956）を用いた。すなわち、所定の方法で練りませを終了した試料モルタルをセメント・ペースト容器に満たし、セメントの凝結始発および終結時間を測定する場合と同じ要領で測定した時間を以て、それぞれ注入モルタルの凝結始発および終結時間とした。

f) 単位容積重量および空気量試験

この方法は鋼製の円筒容器（20°Cの容積400±1 cc）を用いてモルタルの単位容積重量を試験し、空気量は気泡追出し前後の単位容積重量差から算出するものである。空気量を求める必要のない場合には、試料モルタルを容器に満たし、その重量 W_0 gr を測定する。容器重量 T gr および容器の容積 V_0 cc は予め測定して置き、単位容積重量は次式によつて求める。

$$\text{単位容積重量 } \rho_m = \frac{W_0 - T}{V_0} (\text{gr/cc}) \dots \dots \dots (3.7)$$

空気量を求める場合には次の要領で試験する。試料モルタルを容器の約1/2程度満たし、磨きガラス板で覆い、その重量を測定する。次いで試料の上に静かに水を注ぎ気泡が残らぬようにガラス板で覆い、その重量 W_1 grを測定する。次にガラス板を密着させたまま容器を激しく振つて試料モルタル中の気泡を追い出した後、これに水を加え、再び気泡が中に残らぬようにガラス板を載せて、その重量 W_2 grを測定する。空気量は次式によつて計算する。

$$\text{空気量} = \frac{\rho_m^{\circ} - \rho_m}{\rho_m^{\circ}} \times 100 (\%) \dots \dots \dots (3.8)$$

$$\text{気泡追出し前の単位容積重量 } \rho_m = \frac{W - T}{V_0 + W - W_1} (\text{gr/cc}) \dots \dots (3.9)$$

$$\text{気泡追出し後の単位容積重量 } \rho_m^{\circ} = \frac{W - T}{V_0 + W - W_2} (\text{gr/cc}) \dots \dots (3.10)$$

g) 強度試験

強度試験としてはセメントの物理試験方法の規定に準じた方法（J I S R5201—1956）で曲げおよび圧縮強度を試験した他、 $\phi 5 \times 10 \text{cm}$ の円柱形供試体を用いてコンクリートの圧縮強度試験方法（J I S A1108—19）に準じて試験した。4×4×16cm角柱形供試体の製作に当つてはモルタルの膨張およびブリージング水による影響を規制するために次のような方法を用いた。すなわち、4×4×16cm 3連形型枠と同一断面を有し、厚さ5mmの補助枠を型枠に載せて、試料モルタルを補助枠上面で均し、この上をキャッピング用の磨きガラス板で覆い、ガラス板上には13kg程度の重錘を載せてモルタルの膨張を抑制した。この状態で24時間21°Cで養生した後、補助枠を取外し、型枠上面に突出した部分をストレートエッジで削り取り、4×4×16cmの寸法に仕上げ、21°Cの水中に浸漬し、所定の材令まで養生した。 $\phi 5 \times 10 \text{cm}$ 円柱形供試体の製作に当つては特に補助枠は用いず、試料モルタルを型枠上面で均した後、ガラス板で覆い、その上に4kg程度の重錘を載せてモルタルの膨張を抑制した。養生条件は4×4×16cm供試体と同様である。キャッピングは圧縮強度試験に先立つて石膏ペーストを用いて行なつた。

h) 乾燥収縮試験

注入モルタルの乾燥収縮特性が配合比によつていかに変化するかを調べるためにコンパレーター方法（J I S A1125—1957）に準じて、長さ変化を測定した。供試体の製作方法はg)に述べた供試体の製作方法に準ずる。供試体は1週間の標準養生を行なつた後に21±1°Cおよび60±5% R. H.の恒温恒湿槽に保存し、保存期間が0および1日および1, 2, 4, 8, 13, 26, 52の各週となる日に取出して、その長さ変化を測定した。

3. 4 注入モルタルの自由水量係数

a) 粉末微粒子の保水係数について

セメント、フライアッシュ、砂等の保水係数はそれぞれの粒子の懸濁液を作り、その沈降速度を測定する事によつて求めた。粉末微粒子に関する既往の研究としては T. C. Powers, H. H. Steinour, 山崎寛司氏等の研究(17, 18, 26)があり、Powers, Steinour 両氏はセメント・ペーストのブリージングに関する研究においてセメント粒子の保水係数に言及し、ブリージング速度について次式を得ている。

$$Q = \frac{K_0 g (d_c - d_f)}{\zeta (d_c \sigma)^2} \cdot \frac{(\epsilon - w_i)^3}{1 - \epsilon} \dots \dots \dots (3.11)$$

ここで、

Q : ブリージング速度

g : 重力加速度

d_c : 粉体の比重

d_f : 液体の比重

ζ : 液体の粘性係数

σ : 粉体の比表面積

ε : ベーストの単位容積中の液の容積, すなわち, 単位水量 (=ポロンチー

w_i : ベースト中の粉末表面に止つて動かない液の量 (=保水係数)

K_0 : 定数

山崎氏は上式をセメント以外の鉱物質微粉末に適用して微粉末の保水係数を求め、これによつて鉱物質微粉末がコンクリートのウォーカビリティーにおよぼす影響について説明を試みて居る。¹⁷⁾ (3.11) 式において、用いる粉末と液が一定ならば

$$\sqrt[3]{Q(1-\varepsilon)} = B(\varepsilon - w_i) \dots\dots\dots(3.12)$$

B : 定数

となつて、 $\sqrt[3]{Q(1-\varepsilon)}$ とベースト中の単位水量 ε との関係はほぼ直線で表示される。(3.12) 式で $w_i = \varepsilon$ の場合には $Q = 0$ であるから、試験結果を延長して $\sqrt[3]{Q(1-\varepsilon)} = 0$ のときの ε を求めると、これが w_i に相当する。

Powers 氏は (3.11) 式における $(\varepsilon - w_i)$, すなわち単位水量から保水係数を減じた水量を mobile water content と呼んでいる。本研究では単位容積のモルタル中にあつてこれに相当する水量を以て自由水量係数とし、この値と注入モルタルの流動性、ブリージング率および保水性との関係を調べたものである。

前述のように粉末粒子の保水係数を求めるにはそれぞれの粉末を用いて濃度の異なる懸濁液を作り、ブリージング速度もしくは沈降速度を求め、これと (3.12) 式の関係を用いて図式的に w_i を求めることができる。

セメントおよびフライアッシュ・ペーストの練りまぜに用いたミキサはモルタルの練りまぜに用いたものである。1回の練りまぜ量は約 2 ℓ とし、最初に攪拌槽に水を入れ、2,000rpm で回転しながら約 30 秒に亘つてセメントもしくはフライアッシュを投入し、投入終了後更に 2 分 30 秒間攪拌を続け、合計 3 分間練りまぜた。練りまぜを終了したペーストは直ちに内径 48mm, 容量 500cc のガラス製メスシリンダーに 500cc の目盛まで満たし、時間経過に伴うブリージング水量の変化をメスシリンダーの目盛で読み取つた。

細骨材の沈降速度はこれをセメントやフライアッシュの場合と比較すると極めて大きく、前述の方法でこれを試験することは不適当であり、以下に述べるような方法によつて行なつた。すなわち、500cc のメスシリンダーに砂と水の容積の和が 500cc となるように計量した砂と水を最初に入れて栓をする。次いでメスシリンダーを横に倒して激しく振動して砂粒子を懸濁させる。振動を終了すると同時にこれを垂直に立て、静止させ、これと共にストップウォッチを始動して沈降時間の計測を始める。砂層の上面を示す明瞭な線が次第に沈降し、一定の目盛を通過する瞬間までの所要時間を測定し、これより沈降速度を計算した。沈降速度と単位水量とを用いて保水係数を求める過程はセメントやフライアッシュの場合と同様である。

b) 各種粉末微粒子懸濁液のブリージング試験結果

3.4. a) で述べたようにセメント、フライアッシュおよび砂の保水係数を求めるためにそれぞれの粒子を用いて各種の濃度の懸濁液を作り、ブリージング速度もしくは沈降速度を測定した。図—3.4~3.6 はセメントおよびフライアッシュ・ペーストのブリージング試験結果である。図—3.4 から明らかなようにセメントのブリージング速度は必ずしも一定ではなく、初期の 30~40 分間はほぼ一定の速度でブリージングが進行するが、次の段階にあつては水和作用などの影響を受けその速度は次第に減少する。保水係数はどの段階のブリージング速度を採用するかによつて異なるが、本実験では初期の段階、すなわちブリージング水量が経過時間にほぼ比例する範囲の値から平均ブリージング速度を求め、これを保水係数の計算に用いた。図—3.5, 3.6 はフライアッシュ・ペーストのブリージング試験結果であるが、前者は混合液として水道水を用いた場合、後者はセメントペーストの上澄液

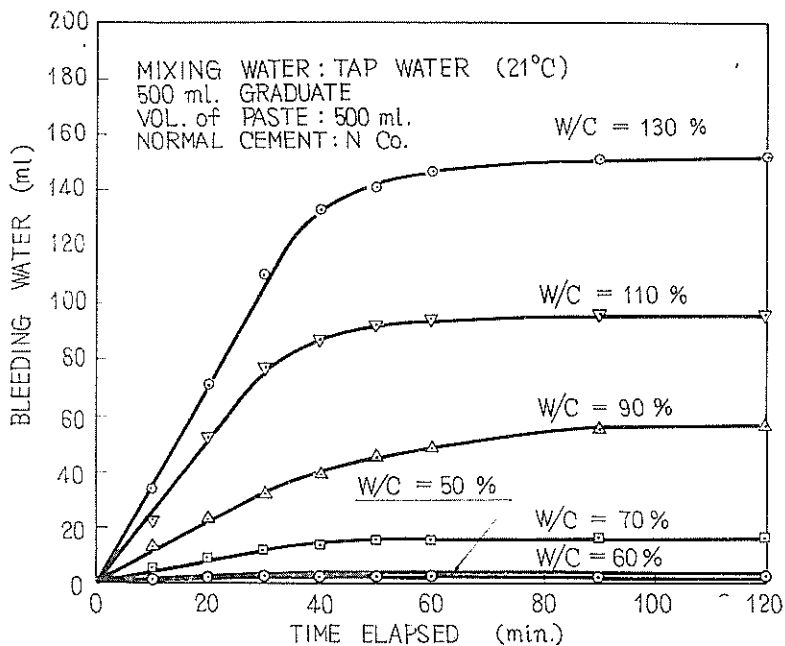


図-3. 4 セメント・ペーストのブリージング速度
 Bleeding Speed of Cement Paste

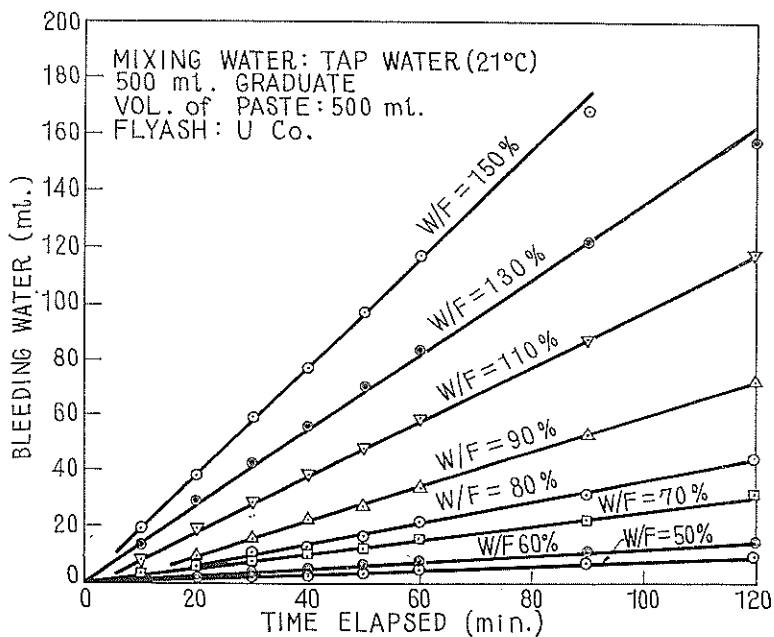


図-3. 5 フライアッシュ・ペーストのブリージング速度
 Bleeding Speed of Flyash Paste

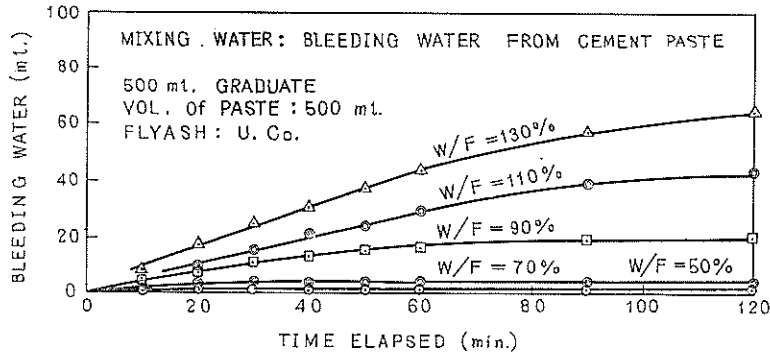


図-3. 5 フライアッシュ・ペーストのブリージング速度
Bleeding Speed of Flyash Paste

を用いた場合である。水道水を用いた場合にはブリージング速度はほぼ一定であるが、セメントペーストの上澄液を用いた場合にはセメントペーストのブリージングに類似した現象を示している。これはセメント溶出液中に存在する電解質の作用によつてフライアッシュがフロク (Flock) を形成するためと考えられる。砂の沈降速度は極めて大きく、これを経過時間と沈降量との関係において調べる事は困難であり、沈降量が一定の値となる時間を測定して沈降速度を算出した。表-3. 1~3. 3は以上のブリージングないし沈降試験結果より算出したブリージングないし沈降速度 Q と単位水量 ϵ を用いて $\sqrt[3]{Q(1-\epsilon)}$ を求めたものである。

以上に述べたようにして得られた $\sqrt[3]{Q(1-\epsilon)}$ を ϵ と対比して図示すると図-3. 7, 3. 8が得られる。これらの図において直線を点線のように延長して、これが軸と交わる点の値が保水係数となり、セメントについては0.52, フライアッシュについては0.32 (水道水) および0.23 (セメント溶出液) が得られ、豊浦標準砂については水道水の場合は0に近く、セメント溶出液の場合は0.02程度と推定された。

表-3. 1 セメントのブリージング速度

W/C (%)	単位水量 ϵ (cm ³ /cm ³)	ブリージング速度 Q (cc/min)	$\sqrt[3]{Q(1-\epsilon)}$
50	0.612	0.062	0.288
60	0.654	0.108	0.334
70	0.688	0.396	0.498
90	0.740	1.122	0.663
110	0.777	2.604	0.834
130	0.804	3.361	0.870

表-3. 2 フライアッシュのブリージング速度

W/F (%)	ϵ	水道水の場合		セメント・ペーストの上澄液の場合	
		Q	$\sqrt[3]{Q(1-\epsilon)}$	Q	$\sqrt[3]{Q(1-\epsilon)}$
50	0.514	0.091	0.353	0.075	0.331
60	0.559	0.141	0.396	-	-
70	0.597	0.264	0.474	0.169	0.408
80	0.628	0.391	0.526	-	-
90	0.655	0.630	0.601	0.364	0.510
113	0.699	0.996	0.670	0.483	0.526
130	0.733	1.354	0.713	0.803	0.598

表3. 3 豊浦標準砂のブリージング速度

W/S (%)	ε	水道水の場合		セメント・ペーストの上澄液の場合	
		Q	$\sqrt[3]{Q(1-\varepsilon)}$	Q	$\sqrt[3]{Q(1-\varepsilon)}$
40	0.515	197	4.57	181	4.45
60	0.613	332	5.05	350	5.14
00	0.678	657	5.96	624	5.86
100	0.725	802	6.04	798	5.99
120	0.760	1,200	6.60	1,100	6.40

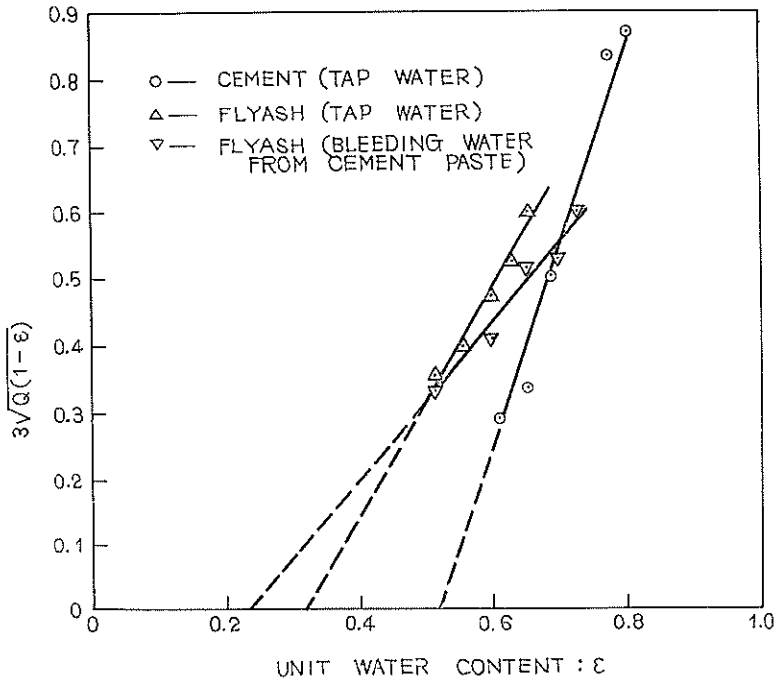


図-3. 7 セメントおよびフライアッシュの $\sqrt[3]{Q(1-\varepsilon)}$ 関係
 ε vs. $\sqrt[3]{Q(1-\varepsilon)}$ of Cement and Flyash where Q is Bleeding Speed

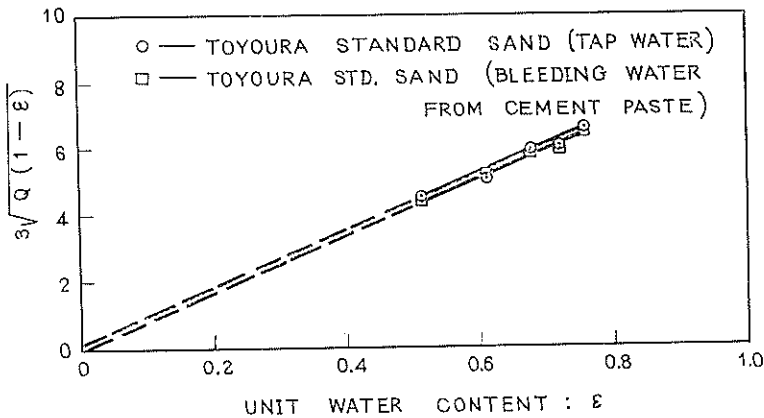


図-3. 8 豊浦標準砂の $\varepsilon \sim \sqrt[3]{Q(1-\varepsilon)}$ 関係
 ε vs. $\sqrt[3]{Q(1-\varepsilon)}$ of Toyoura Sand where Q is Bleeding Speed

c) 保水係数の試験値について

本実験で得られたセメントおよびフライアッシュの保水係数を既往の研究成果と比較するとかなりの相違が認められる。Powers および Steinour 両氏は多くのセメントについて試験を行ない、ポルトランドセメントの保水係数として0.23~0.35, 平均0.27を得て居り, 18, 26) また山崎氏は2種の普通ポルトランドセメントについて試験を行ない, その係数として0.41を得て居る。更に, 同氏は数種のフライアッシュについて試験した結果0.11~0.24の値が得られたと報告している。17) これらの結果と本実験で得られた値との間にはかなり相違が認められるが, その原因として試験容器の形状および寸法の相違, 試験容液の性質の相違などが考えられる。すなわち, Powers 氏等は $\phi 10 \times 10$ cmの直円筒容器を用い, 山崎氏は内径6cm, 容量1,000cc (ペースト高さ33cm) のメスシリンダーを使用したのに対し, 本実験では内径4.8cm, 容量500cc (ペースト高さ27cm) を使用した。ブリージングは容器の寸法と壁面の状態によつて影響を受け, ガラス製メスシリンダーの場合には内径の大きいもの程ブリージング率, したがつて速度も大きな値となる傾向が認められた。一定の ε に対する Q が大きくなると $\varepsilon \sim \sqrt[3]{Q(1-\varepsilon)}$ 直線の勾配は小となり, これに応じて保水係数も小となる事は明らかである。

ペーストの練りませ方法の相違に関しては, たとえば, 山崎氏は最高7,000rpm で練りませて居り, 本実験の2,000rpm に比較するとかなり大きい。この練りませ方法の相違はセメントあるいはフライアッシュ粒子の分散の程度に影響することは明らかであり, ブリージング速度にも影響するものと考えられる。

試験溶液の相違による影響も見逃し得ない要素である。粒子の分散の状態は粒子相互間に働く力の状態によつて異なり, 粒子間に働く力としては Van der Waals の力および静電力が考えられている。したがつて, 分散の状態は分散質粒子の表面の電荷, 分散媒の電解質の濃度などによつても異なる。本実験では注入モルタルの混合水として水道水を使用しているので保水係数の試験にも水道水を使用した, 山崎氏等は電解質を含まない純水を使用している。この相違が粒子のフロキュレーションの程度の相違となつて表われ, これが保水係数の測定値にも影響するものと考えられる。このことは水道水を用いた場合とセメント溶出液を用いた場合とでフライアッシュの保水係数が異なつていることから容易に推定される。

以上に考察するように, 各粉末微粒子の保水係数の値はその試験方法によつて異なるが, 本実験では保水係数を求めるための試験条件を注入モルタルの試験条件にできるだけ近似せしめることによつて, 保水係数の試験方法の相違が自由水量係数におよぼす影響を最小ならしめるように試みた。

d) 注入モルタルの自由水量係数の計算

保水係数はこれを求めた過程からも明らかのように, 粉末微粒子懸濁液のブリージング率が0となるような極限状態における単位水量として求められ, 微粉末の単位量についての値ではない。たとえば, ある種の微粉末の保水係数が0.25cc/ccであつたと仮定すると, この微粉末の固体量は $1 - 0.25 = 0.75$ cc であり, 保水係数が相違するとその固体量も当然相違する。

単位容積の注入モルタル中の全水量すなわち単位水量より, 各種微粉末の保水量を減ずれば, 全水量のうち流動性などに有効な水量を求めることができる。しかし実際にはc) で考察するように, 保水係数の値が試験方法によつて異なり, また注入モルタルの配合が変化すると, これに含まれる微粉末の固体量, したがつてその保水量も変化するが, 固体量と保水量との関係は必ずしも明らかでなく, 絶対的に正確な保水量を求めることは困難である。ここでは, 試験によつて得られた保水係数が正しい値であり, また保水量が微粉末の固体量(容積)に比例するものと仮定して, 前述の有効水量を求め, これを自由水量係数としたのである。

以上に述べた考え方によつてセメントおよびフライアッシュの保水係数について検討を加えてみる。試験値はそれぞれ0.50および0.23(セメント溶出液の場合)であつた。セメントの保水係数からこの値が得られた状態のペーストの水セメント重量比を計算すると,

$$(0.5 \times 1.00) \div (0.5 \times 3.15) \times 100 = 31.7 (\%)$$

また、フライアッシュの場合には

$$(0.23 \times 1.00) \div (0.77 \times 2.11) \times 100 = 14.1 (\%)$$

これよりセメントの保水係数0.50は正しい値よりやや大きく、またフライアッシュのそれは多少小さ過ぎるが、いずれも正しいと思われる値にかなり近似した値であることが分る。また、注入モルタル中の微粉末の保水量と固体量との関係についても、保水量はその性質上微粉末の表面積の和に比例すると考えられるが、微粉末の粉末度が一定である場合にはその表面積の和は固体量に比例し、保水量が固体量に比例するとして差支えないと思われる。したがって、前段に述べたような仮定の下で自由水量を係数を求めることで大きな誤りを犯す可能性は少いと判断してよい。

そこで、上述の考え方による自由水量係数の計算方法を以下に例示する。

((計算例—1))

保水係数

セメント.....0.50 (比重=3.15)

フライアッシュ.....0.23 (＃ =2.11)

豊浦標準砂.....0.02 (＃ =2.64)

注入モルタルの配合

$$F/(C+F) = 0\%, S/(C+F) = 1.0, W/(C+F) = 50\%$$

	セメント	フライアッシュ	砂	水	計
セメント単位量に対する容積	$\frac{1.00}{3.15} = 0.318$	—	$\frac{1.00}{2.64} = 0.379$	0.500	1.197
単位モルタル量に対する容積	$\frac{0.318}{1.197} = 0.266$	—	$\frac{0.379}{1.197} = 0.316$	$\frac{0.500}{1.197} = 0.418$	1.000
単位モルタル量内の保水量	$0.266 \times \frac{0.50}{1-0.50} = 0.266$	—	$0.316 \times \frac{0.02}{1-0.02} = 0.006$	—	0.272
自由水量係数(cc/cc)	—	—	—	$0.418 - 0.272 = 0.146$	0.146

((計算例—2))

注入モルタルの配合

$$F/(C+F) = 30\%, S/(C+F) = 1.5, W/(C+F) = 55\%$$

	セメント	フライアッシュ	砂	水	計
セメント単位量に対する容積	$\frac{0.70}{3.15} = 0.222$	$\frac{0.30}{2.11} = 0.142$	$\frac{1.50}{2.64} = 0.568$	0.55	1.482
単位モルタル量に対する容積	$\frac{0.222}{1.482} = 0.150$	$\frac{0.142}{1.482} = 0.096$	$\frac{0.568}{1.482} = 0.383$	$\frac{0.550}{1.482} = 0.371$	1.000
単位モルタル量内の保水量	$0.150 \times \frac{0.50}{1-0.50} = 0.150$	$0.096 \times \frac{0.23}{1-0.23} = 0.029$	$0.383 \times \frac{0.02}{1-0.02} = 0.008$	—	0.187
自由水量係数(cc/cc)	—	—	—	$0.371 - 0.187 = 0.184$	0.184

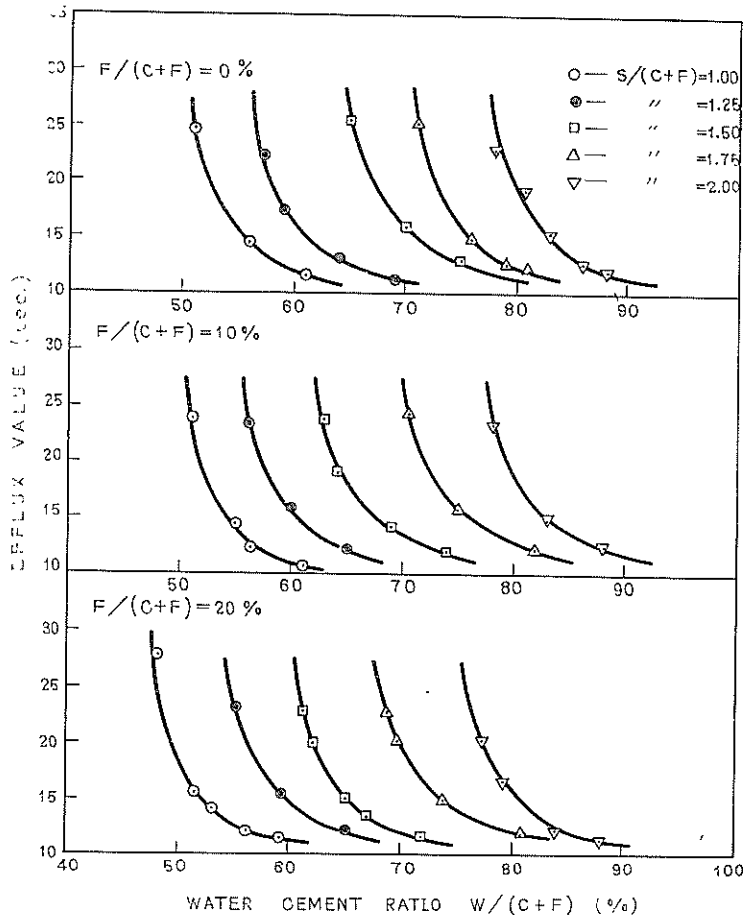
上例から明らかなように、注入モルタルの自由水量係数は、使用材料が一定の場合には、その配合によつて定まる係数であり、配合に固有の特性値とみなすこともできる。また単位モルタル量内の保水量の中の大部分はセメントおよびフライアッシュに集中し、砂粒子に附着する量は極めて少く全体の数%以下である。砂粒子の固体量が全固体量の50%以上を占める反面、その保水量がこのように少いことは砂粒子の微粉末としての機能がセメントないしフライアッシュのそれとは全く異なることによるもので、自由水量係数の計算においては砂粒子の保水量を無視してもよいことを示唆するものと思われる。

§. 4 配合比の変化が注入モルタルの諸性質におよぼす影響

4. 1 概 要

緒論において論じたように、注入モルタルの諸性質はその配合比の選択によつて著しく変化すると考えられているが、両者の関係は必ずしも明らかにされていない。本章では諸配合比、すなわち、水セメント比 $W/(C+F)$ 、フライアッシュ混和率 $F/(C+F)$ 、砂セメント比 $S/(C+F)$ 、分散剤率 $DA/(C+F)$ 、および発泡剤率 $AI/(C+F)$ のうち、 $W/(C+F)$ 、 $F/(C+F)$ および $S/(C+F)$ を取上げ、これらの配合比と諸性質との関係について行なつた一連の試験結果を取纏め、配合比の変化が諸性質におよぼす影響について論じたものである。 $DA/(C+F)$ および $AI/(C+F)$ の影響に関しては §5 において使用材料の品質との関連において述べる。

4. 2 水セメント比 $W/(C+F)$ の変化が注入モルタルの諸性質におよぼす影響



図—4. 1 水セメント比と流動性との関係
Water Cement Ratio vs. Consistency of Intrusion Mortar

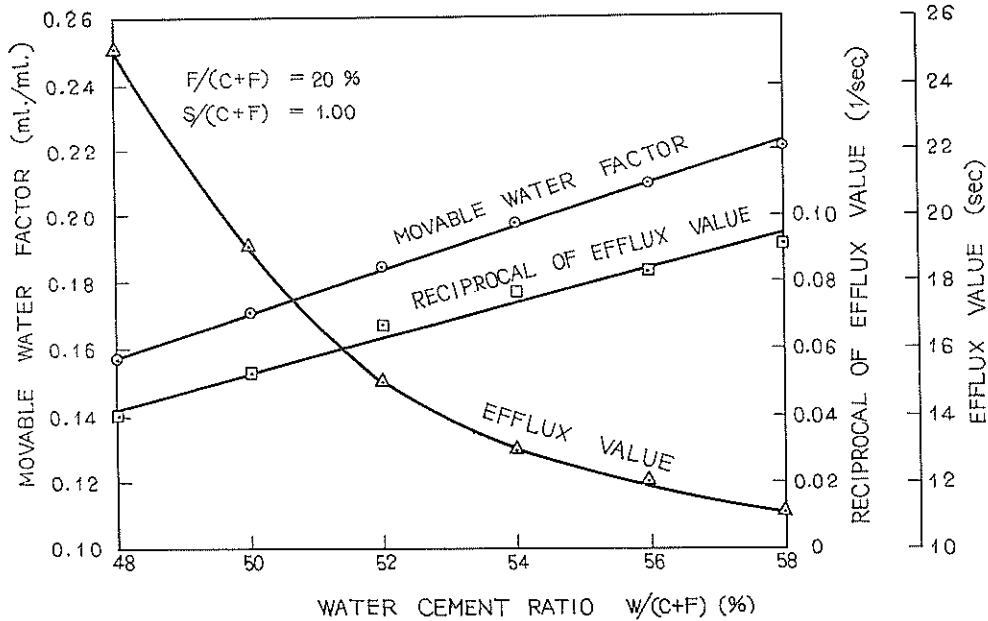


図-4. 2 水セメント比, 自由水量係数, 流動性の関係
Relations among Water Cement Ratio, Movable Water Factor, and Consistency of Intrusion Mortar

a) 流動性におよぼす影響

$F/(C+F)$ および $S/(C+F)$ を一定として $W/(C+F)$ のみを変化させる場合には, $W/(C+F)$ と流出時間との間に図-4.1 示したような関係が得られる。本図より明らかなように, 一定の流動性を得るに必要な $W/(C+F)$ は $F/(C+F)$ と $S/(C+F)$ の値によつて相違するが, 特定の値の $F/(C+F)$ と $S/(C+F)$ とに対しては $W/(C+F)$ と流出時間との間には一定の傾向が認められる。すなわち, 流出時間は $W/(C+F)$ の増加に応じて減少する。この関係は既報の試験結果¹²⁾ともよく一致し, 次のような実験式が求められた。

$$y = c_1 \left(\frac{x - c_2}{c_3} \right)^{-0.3} \dots \dots \dots (4.1)$$

ここで,

y = 試料モルタルの流出時間 (sec)

$x = W/(C+F)$,

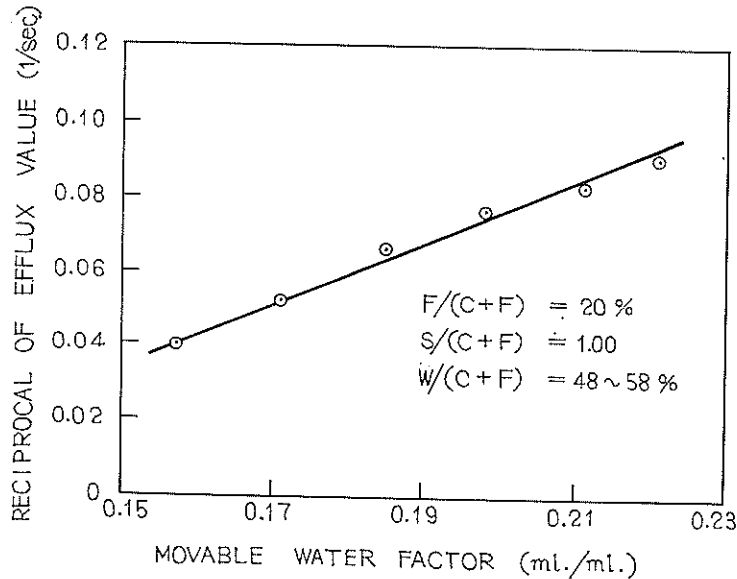
c_1 = 試料モルタルと同温度の水の流出時間, 本実験では $c_1 = 7.5$ sec,

$c_2, c_3 = F/(C+F)$ および $S/(C+F)$ によつて決まる定数

図-4.1 に示した $W/(C+F)$ と流出時間との関係について 3.4 に述べた自由水量係数の考え方を適用して考察を加えてみよう。

一例として 図-4.1 より $F/(C+F) = 20\%$, $S/(C+F) = 1.0$ の配合を取出し, $W/(C+F) = 48 \sim 58\%$ のそれぞれの場合の自由水量係数を求め, これを $W/(C+F)$ と対比すると 図-4.2 に示した関係が得られる。本図は自由水量係数および流出時間の逆数が $W/(C+F)$ に比例することを示している。本実験で用いたような形状の濾斗による流出時間は試料の流動性に近似的に反比例することが確められて居り,¹⁹⁾ したがつて, 図-4.2 の関係は注入モルタルの流動性が $W/(C+F)$ および自由水量係数に比例することを示すものと考えてよい。自由水量係数を横軸にとり, 流出時間の逆数を縦軸にとると 図-4.3 が得られ, 上に述べ関係が極めて明瞭である。この関

係は $W/(C+F)$ の増減に伴う注入モルタルの流動性の変化は基本的には自由水量係数の変化によつて説明されることを示唆するものと思われる。



図—4. 3 自由水量係数と流動性との関係
Movable Water Factor vs. Consistency of Intrusion Mortar

図—4.1 に示した曲線群の形状からも明らかなように、ある値の $F/(C+F)$ と $S/(C+F)$ に対しては $W/(C+F)$ を変化し得る実用的な範囲には一定の限界が認められる。すなわち、 $W/(C+F)$ を次第に減少すると $W/(C+F)$ がある値に接近するに伴つて流出時間は急激に増大し、最後には流出時間の測定が不可能な程度の硬練りモルタルとなり、注入目的に供し得なくなる。一方、 $W/(C+F)$ を次第に増加すると、流出時間がある値に接近し、このような段階では $W/(C+F)$ の変化は流出時間にほとんど反映されず、またモルタルの材料の分離が著しくなつて前とは違つた意味で注入モルタルとしての用を果さなくなる。このような観点から“ $W/(C+F)$ ~ 流出時間”の関係を示す曲線は流動性試験用漏斗の特性曲線とも云える。本実験に使用した漏斗による流動性測定の有効範囲は12~26sec 程度であり、逆にこの範囲内で増減し得る $W/(C+F)$ の巾は10%程度である。

プレバッド・コンクリートの施工に際して品質管理のための最も重要な試験の一つとして注入モルタルの流動性試験が一般に行なわれている。その流動性の許容範囲は工事仕様書によつて相違するが、 18 ± 2 ないし 20 ± 2 sec としている例が多い。“ $W/(C+F)$ ~ 流出時間” 曲線は16~22 sec の範囲では、これを近似的に直線とみなすことができ、その勾配は-2 sec/(%)程度である。云い換えれば、 ± 2 sec の流出時間の許容範囲は $W/(C+F)$ を $\pm 1\%$ の範囲で許容していることになる。後述のように、 $W/(C+F)$ の増減が注入モルタルの流動性以外の諸性質に好ましくない影響をおよぼすことを考慮すると、 $W/(C+F) = \pm 1\%$ の許容範囲は適当なものと云い得る。したがつて、プレバッド・コンクリートの品質管理試験の一つとして注入モルタルの流動性試験を行なう場合に、流出時間の許容範囲を 18 ± 2 ないし 20 ± 2 sec とすることは適当であると考えられる。

b) ブリージング率におよぼす影響

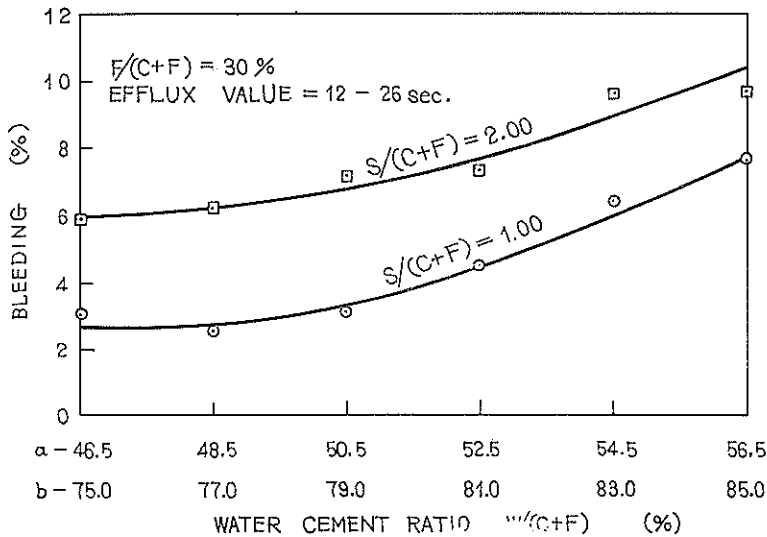
表—4.1, 図—4.4に $F/(C+F)$ と $S/(C+F)$ とを一定として $W/(C+F)$ を増減した場合のブリージング試験結果を示した。この試験では流出時間は $W/(C+F)$ の増減に応じて変化し、 $S/(C+F) = 1.0$ の場合には12~21 sec, $S/(C+F) = 2.0$ の場合には12~25 sec に亘つている。セメントペーストやコンクリートのブリージングが水セメント比の増加に応じて増大することは一般に経験されている所であるが、本実験結果は注入モルタル

の場合も例外でないことを示している。

図—4.4の関係について、それぞれの配合の自由水量係数を求め、これをブリージング率と対比すると図—4.5に示した関係が求められ、ブリージング率が自由水量係数にほぼ比例することが分る。注入モルタルの単位水量からセメントやフライアッシュ等の微粒子表面に吸着されて動かないと考えられる水量を差引いた残りの水量、すなわち、自由水量が多くなればブリージングも当然増加する筈であり、両者の間に密接な相関関係の存在することは容易に考えられる所であつた。この点に関連して、山崎氏は数種の鉱物質微粉末を混入したセメントペーストを用いて比較試験を行ない、微粉末の保水係数が小さいもの程ブリージングが多くなることを確め、この現象を保水係数の点から定性的な説明を試みて居り、⁷¹⁾ 本実験結果はこれを多成分系混合体である注入モルタルの領域に拡大し、定量的に確めたものである。

表—4.1 水セメント比、ブリージング率、自由水量係数の関係

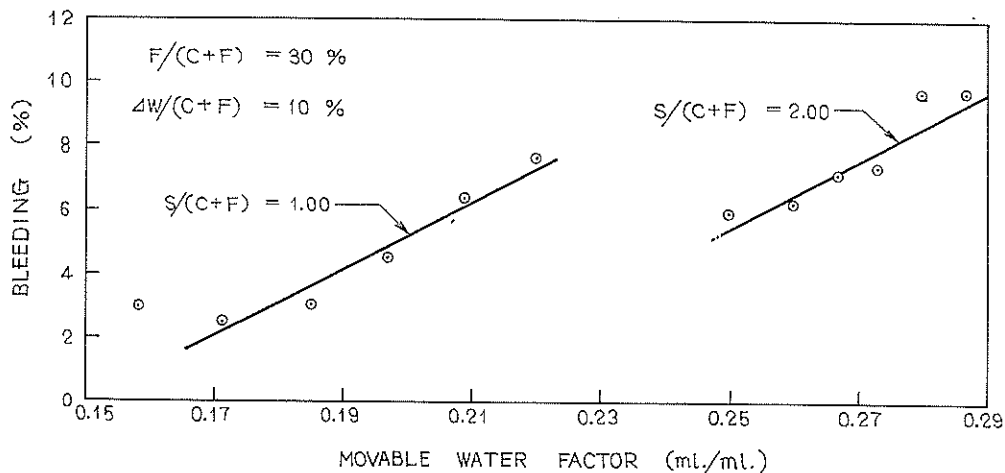
$F/(C+F)$ (%)	$S/(C+F)$	$W/(C+F)$ (%)	流出時間 (sec)	ブリージング率 (%)	単位水量 (cc/cc)	自由水量係数 (cc/cc)
30	1.00	46.5	26.3	3.0	0.384	0.158
		48.5	18.5	2.5	0.394	0.171
		50.5	15.8	3.1	0.404	0.185
		52.5	13.8	4.5	0.414	0.197
		54.5	12.4	6.4	0.423	0.209
		56.5	11.8	7.6	0.432	0.220
30	2.00	75.0	25.0	5.9	0.402	0.250
		77.0	17.4	6.2	0.407	0.260
		79.0	15.5	7.1	0.413	0.267
		81.0	13.7	7.3	0.419	0.273
		83.0	12.5	9.6	0.426	0.280
		85.0	12.2	9.6	0.431	0.287



○— $S/(C+F) = 1.00$

□— $S/(C+F) = 2.00$

図—4.4 水セメント比とブリージング率との関係
Water Cement Ratio vs. Bleeding of Intrusion Mortar

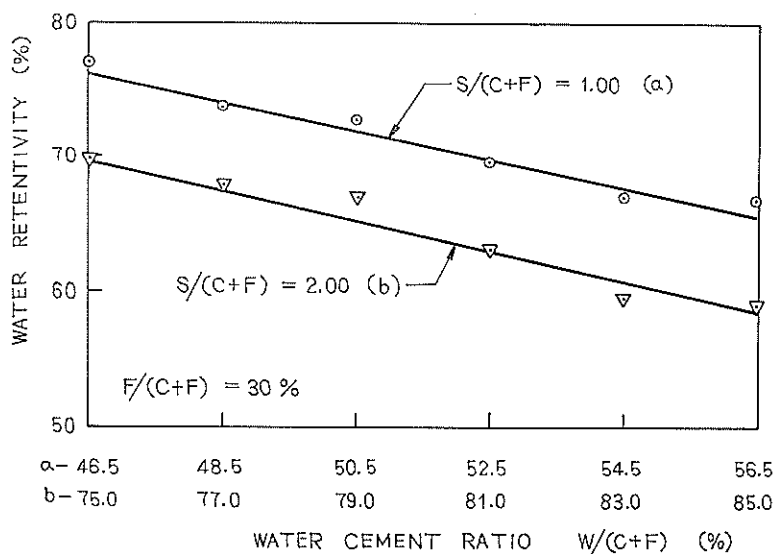


図—4. 5 自由水量係数とブリージング率との関係（水セメント比を変化した場合）
Movable Water Factor vs. Bleeding of Intrusion Mortar
(Water Cement Ratio is Variable)

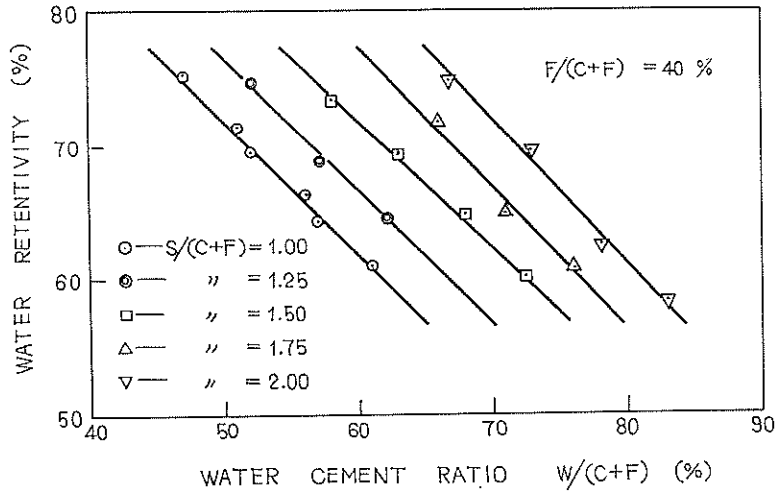
c) 保水性におよぼす影響ならびにブリージング率と保水性との相関性について

注入モルタルの保水性と $W/(C+F)$ との関係については著者等によつて既にある程度明らかにされ、保水性は $W/(C+F)$ の増加に応じてほぼ直線的に減少するとされている。^{13,20,21} 本実験はこれを追認したもので、図—4. 6, 4. 7に示したような試験結果が得られた。この結果によつて保水性と $W/(C+F)$ との直線的な関係はフライアッシュ混和率や砂セメント比によつてほとんど影響されず、また保水性は $W/(C+F)=10\%$ の増加について平均10%程度減少することが確められた。

保水性が $W/(C+F)$ の増加に応じて一次的に減少する現象はブリージング率の増加する現象とはほぼ同様に説明される。ブリージングは重力の作用によつて固体粒子が沈澱し、水が相対的に分離上昇する現象と解され、ブ



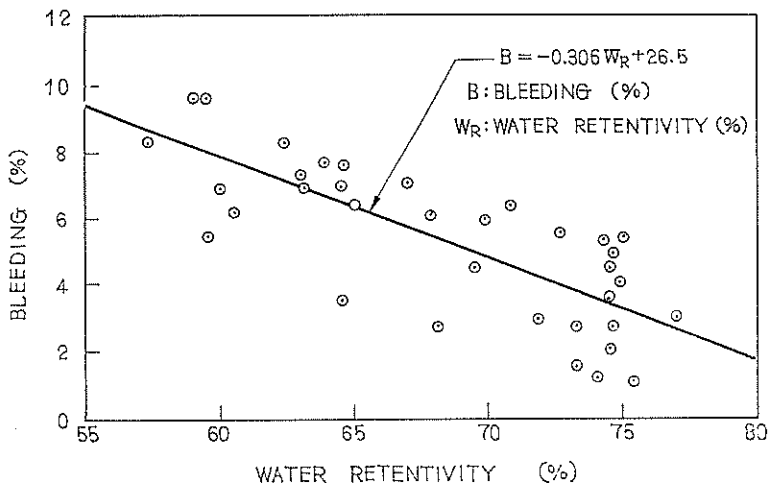
図—4. 6 水セメント比と保水性との関係
Water Cement Ratio vs. Water Retentivity of Intrusion Mortar



図—4. 7 水セメント比と保水性との関係
Water Cement Ratio vs. Water Retentivity of Intrusion Mortar

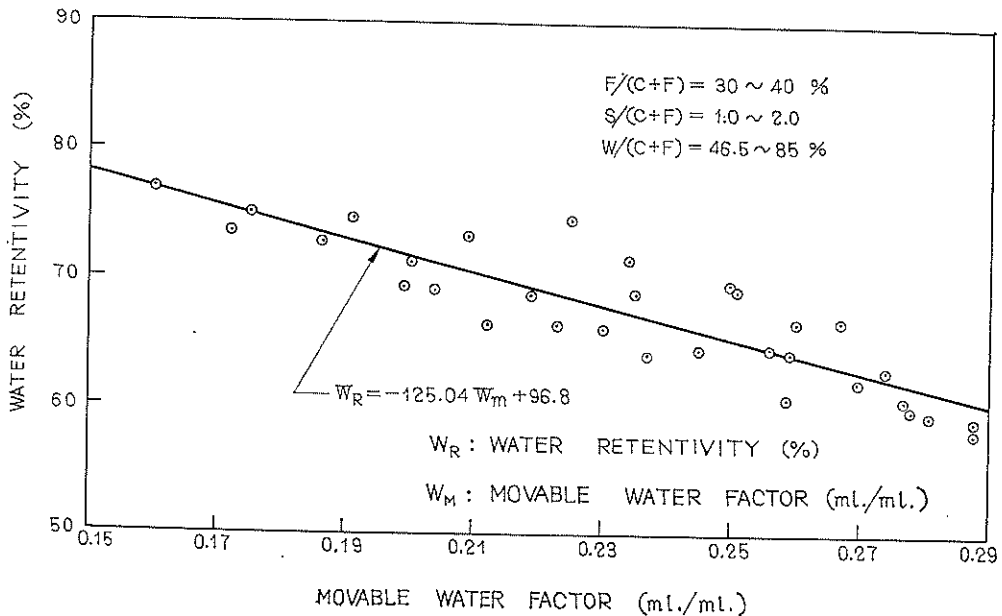
リージング率はモルタル面に留まつた水量の試料に最初に含まれていた水量に対する百分率で定義される。これに対して、保水性は試料に更に一定の外力を加えて水分を強制的に分離し、分離終了後に残つた水量の最初に含まれていた水量に対する百分率で定義される。もし加える外力が適当なもので、試料に均等に作用するものであれば吸出される水量の比率はブリージング率にほぼ比例し、したがつて保水性はブリージング率と一次的逆相関係にある筈である。この関係は同一配合のモルタル試料について保水性とブリージング率を同時に試験することによつて確かめられる。図—4. 8 は各種配合の試料についての試験結果を取り纏めたもので、これより上述の推論がほぼ間違いないことが観察される。試験値のバラツキが比較的大きいことには幾つかの原因も考えられ、保水性が物理的な要因のみに基く量であるのに対し、ブリージング率は化学的要因の影響を受ける量であることも無視し得ない原因の一つであろうと思われる。

図—4. 6, 4. 7に示した試験結果について自由水量係数を計算し、これと保水性との関係を調べてみよう。前節においてブリージング率と自由水量係数との間には一次的順相関々係が成立ち、また本節においてブリージング



図—4. 8 保水性とブリージング率との関係
Water Retentivity vs. Bleeding of Intrusion Mortar

率と保水性との間には一次的逆相関関係の成立つことが確められた。これより保水性と自由水量係数との間には一次的逆相関関係の成立することが容易に想像される。実際に図—4.6, 4.7に示した試験値について自由水量係数を計算し、これを保水性と対比すると図—4.9 が得られ、上述の推論の正しいことを確認できる。ここで注目すべきは図—4.9 に示した関係では $W/(C+F)$, $F/(C+F)$ あるいは $S/(C+F)$ の諸比が一定ではないことである。云え換れば、保水性と自由水量係数との直線的な関係にはこれらの配合比が一定であることを要せず、注入モルタルの保水性は自由水量係数の増加に伴って直線的に減少することを意味する。このことはブリージン率と自由水量係数との関係にも適用できるもので、この点については 4.3 および 4.4 で述べる。



図—4.9 自由水量係数と保水性との関係 (試験値は図—4.6, 4.7)
Movable Water Factor vs. Water Retentivity of Intrusion Mortar (Refer to Fig.-4.6, 4.7)

d) 凝結時間におよぼす影響

表—4.2 は $W/(C+F)$ および $F/(C+F)$ を変化させた場合の注入モルタルの凝結試験結果である。供試モルタルの流動性は配合によつて多少変化するが流出時間12~29 sec の範囲にあり、各フライアッシュ混和率ごとに流出時間が15~16 sec となるような水セメント比を決め、これを中央値として5%だけ増減した値を以て供試モルタルの配合としたものである。試験結果には多少の変動が認められるが、凝結始発および終結時間共に $W/(C+F)=10\%$ の増加によつて 1/2~1 時間程度遅延するものようである。しかし、この程度の遅延は始発ないし終結時間に比較して特に大きいものではなく、施工用のモルタルには凝結遅延効果を有する混和剤 (たとえばポゾリス No.8 あるいはイントルージョンエイドなど) を混入することが一般に行なわれて居り、施工上問題となることはほとんどないものと考えられる。

セメントの凝結試験を行なう場合、標準軟度のセメントペーストを供試体として使用することが原則となつて居る。これは凝結時間がある程度任意的に定められた量 (始発針または終結針の貫入抵抗ないし支圧抵抗が一定となるようなペーストの軟度) であることによるものと考えられる。しかし、このような凝結試験方法を注入モルタルのような試料に適用する場合にはペーストの標準軟度に相当する量をモルタルのような試料に求める事は必ずしも適当でない。たとえば注入モルタルの場合、施工に適した流動性は施工条件によつて変化し得るからである。本実験では特に流動性を規制しないモルタルを試料として用い、その結果は試料の凝結時間の推定にある

表-4. 2 注入モルタルの凝結試験結果 $\{S/(C+F)=1.0\}$ *

W/(C+F) (%)	F/(C+F) (%)	凝 結 始 発			凝 結 終 結		
		平 均 (時・分)	標準偏差 (分)	変動係数 (%)	平 均 (時・分)	標準偏差 (分)	変動係数 (%)
51	0	3.51	1.4	0.6	5.47	1.3	3.7
56		3.30	0	0	6.08	29.6	8.0
61		4.13	18.9	7.5	6.30	4.1	1.1
50	10	4.18	4.7	1.8	6.27	5.0	1.3
55		4.36	8.5	3.1	6.38	6.0	1.5
60		4.45	8.6	3.0	6.50	19.2	4.7
49	20	4.41	3.3	1.2	6.47	4.2	1.0
54		5.28	18.4	5.1	7.12	18.7	4.3
59		5.56	12.9	3.6	7.36	4.7	1.0
48	30	5.47	3.7	1.1	7.46	3.6	0.8
53		5.48	13.9	4.0	7.22	7.8	1.8
58		6.02	6.2	3.2	8.09	3.7	0.8
47	40	6.23	17.0	4.4	8.13	16.7	3.4
52		6.12	8.5	2.3	7.58	13.6	2.8
57		6.37	16.3	4.1	8.34	10.7	2.1
46	50	7.15	6.9	1.6	8.55	8.5	1.6
51		7.45	4.3	0.9	9.25	7.1	1.3
56		8.26	15.2	3.0	10.11	14.5	2.4

* 試験値はいずれも3個の平均値

程度有効であつたと判断される。港湾工事等においては海水を混合水として用いる例が珍らしくなく、凝結時間が施工上の問題となる例も多い。このような場合には海用を使用した標準軟度セメントペーストによる凝結試験も一つの試験方法であると考えられるが、施工に用いる配合の試料について試験を行なう方がより実際的である。本実験結果は以上のような意味で、今後検討さるべき試験方法についての一つの資料を提出するものである。

e) 曲げおよび圧縮強度におよぼす影響

一般にコンクリートの配合と強度の間には水セメント比法則ないしセメント水比法則として知られている関係が成立つ。これはコンクリートの強度はそのセメントペーストの強度によつて支配され、セメントペーストの強度は水セメント比ないしセメント水比によつて決まるとする考え方に立つもので、コンクリートの圧縮強度がそのセメント水比に比例することは実験的にも確かめられている。注入モルタルの圧縮強度についての試験結果はセメント水比法則が注入モルタルの場合にもほぼ完全に成立することを示している。

表-4.3 A~Cは $F/(C+F)=0\sim50\%$, $S/(C+F)=1.0\sim2.0$, $W/(C+F)=45\sim88\%$ の範囲の90種の配合の注入モルタルの曲げおよび圧縮強度を試験した結果である。表-4.3の試験結果より、たとえば $F/(C+F)=30\%$ の場合を取上げて、そのセメント水比 $(C+F)/W$ と圧縮強度との関係を図示すると図-4.10が得られる。図示した値は $S/(C+F)$ が 1.0, 1.5 および 2.0 の場合だけであるが、表-4.2の試験結果を注意深く検討すれば $S/(C+F)=1.25$ および 1.75 の場合の試験値も図-4.10の直線に載ることが容易に観察される。言い換えれば、注入モルタルのセメント水比とその圧縮強度の間にはセメント水比法則とほぼ同等の比例関係の成立することは極めて明らかである。この関係は一般に

$$\sigma_a = k_1 \left(\frac{C+F}{W} \right) - k_2 \dots \dots \dots (4.2)$$

表-4. 3A 注入モルタルの曲げおよび圧縮強度試験結果

S/(C+F)	F/(C+F) (%)	W/(C+F) (%)	(C+F)/W	流出時間 (sec)	曲げ強度(kg/cm ²)*			圧縮強度(kg/cm ²)**			
					7 日	28 日	91 日	7 日	28 日	91 日	
1.00	0	51	1.96	24.4	79.1	92.6	85.5	384	649	683	
	10	50	2.00	25.8	59.8	89.6	100.4	347	583	725	
	20	49	2.04	27.7	57.7	90.9	102.1	315	558	758	
	30	48	2.08	28.6	50.5	83.9	100.5	265	516	757	
	40	46	2.17	22.8	44.9	85.9	105.3	207	423	684	
	50	45	2.22	28.5	36.3	64.4	76.8	163	396	637	
	0	56	1.79	14.3	63.2	89.3	84.4	328	549	615	
	10	55	1.82	14.3	32.9	58.2	93.4	277	510	615	
	20	54	1.85	14.2	53.1	80.1	94.7	248	486	640	
	30	53	1.89	15.4	46.8	78.7	92.9	205	418	654	
	40	51	1.96	14.3	44.9	75.6	98.3	186	402	678	
	50	50	2.00	14.3	28.1	57.5	68.4	132	316	542	
	0	61	1.64	11.5	63.3	78.9	95.0	297	513	597	
	10	60	1.67	12.1	52.3	70.2	74.2	272	467	577	
	20	59	1.69	11.6	46.2	80.4	91.1	216	448	609	
	30	58	1.72	12.0	43.3	68.7	68.8	171	376	570	
	40	56	1.79	11.5	36.3	68.2	78.2	135	325	541	
	50	55	1.81	11.7	30.3	61.6	73.6	115	319	510	
	1.25	0	55	1.82	22.0	62.6	93.2	91.4	308	543	630
		10	55	1.82	27.8	57.0	88.5	88.1	291	517	600
20		53	1.89	23.0	53.2	84.9	102.4	244	473	655	
30		54	1.85	23.4	42.4	73.6	100.0	190	399	626	
40		52	1.92	27.8	36.6	67.7	84.5	160	352	590	
50		51	1.96	21.8	31.5	63.5	61.8	131	318	567	
0		60	1.67	14.6	57.9	89.3	84.6	254	492	576	
10		60	1.67	14.4	47.9	68.4	80.9	213	429	540	
20		58	1.72	14.6	60.1	79.1	82.0	216	423	602	
30		59	1.69	14.2	36.0	67.8	81.0	161	356	549	
40		57	1.75	15.8	35.9	64.7	84.2	145	314	552	
50		56	1.79	14.2	29.2	55.5	65.4	111	271	500	
0		65	1.54	11.3	45.7	69.7	62.2	226	435	501	
10		65	1.54	12.2	49.9	77.4	90.2	214	406	514	
20		63	1.59	11.7	38.6	76.0	85.7	182	366	519	
30		64	1.56	12.0	31.1	63.6	88.0	154	309	498	
40		62	1.61	12.3	31.3	60.1	81.7	121	273	478	
50		61	1.64	11.6	26.3	50.0	73.6	96	235	446	
1.50		0	65	1.54	25.5	52.3	68.5	78.9	242	444	498
		10	61	1.64	23.8	50.8	78.5	87.8	225	444	580
	20	59	1.69	22.6	48.2	78.2	91.9	206	405	618	
	30	58	1.72	22.7	41.9	71.3	93.8	168	360	590	
	40	58	1.72	21.3	33.7	60.2	86.3	137	230	541	
	50	63	1.59	23.7	20.6	39.2	81.7	86	173	364	

表—4. 3B 注入モルタルの曲げおよび圧縮強度試験結果

S/(C+F)	F/(C+F) (%)	W/(C+F) (%)	(C+F)/W	流出時間 (sec)	曲げ強度(kg/cm ²)*			圧縮強度(kg/cm ²)**			
					7 日	28 日	91 日	7 日	28 日	91 日	
1.50	0	70	1.43	15.8	46.6	72.5	81.0	191	402	470	
	10	66	1.52	14.5	46.0	79.3	75.7	196	385	524	
	20	64	1.56	14.8	44.6	71.0	80.8	177	356	527	
	30	63	1.59	14.7	37.4	68.1	84.2	148	306	541	
	40	63	1.59	14.3	31.1	60.4	79.6	110	251	481	
	50	68	1.47	14.8	19.3	36.3	75.4	73	149	327	
	0	75	1.33	12.4	45.8	68.4	71.8	224	364	411	
	10	71	1.41	11.7	41.7	71.1	80.7	172	344	474	
	20	69	1.45	11.9	39.5	70.0	78.3	153	326	507	
	30	68	1.47	12.1	32.6	62.5	67.1	125	264	464	
	40	68	1.47	11.5	28.6	55.7	82.5	104	235	445	
	50	73	1.37	12.2	17.9	30.8	69.5	63	127	287	
	1.75	0	69	1.45	25.1	45.0	80.2	82.5	208	409	445
		10	72	1.39	24.3	36.1	69.1	78.6	157	328	448
20		71	1.41	22.4	34.1	63.5	76.4	133	286	432	
30		70	1.43	25.0	28.9	55.9	76.8	114	247	419	
40		69	1.45	23.6	23.2	45.7	74.0	84	199	378	
50		69	1.45	24.7	16.8	39.1	71.1	64	161	329	
0		74	1.35	15.0	47.1	78.5	81.7	180	363	511	
10		77	1.30	15.6	37.2	64.7	70.4	142	285	396	
20		76	1.32	14.7	30.5	56.2	73.0	114	247	386	
30		75	1.33	15.5	25.7	50.8	75.4	94	213	372	
40		74	1.35	15.6	21.1	42.7	66.4	74	170	333	
50		74	1.35	16.1	14.0	33.6	66.3	51	135	289	
0		79	1.26	12.3	41.3	72.1	76.5	160	319	456	
10		82	1.22	12.1	32.8	61.9	67.2	121	260	356	
20	81	1.23	12.0	28.8	57.3	68.8	103	218	331		
30	80	1.25	11.9	24.7	48.0	65.8	87	191	340		
40	79	1.27	12.5	20.4	38.9	69.9	69	159	315		
50	79	1.27	12.5	13.4	31.6	67.9	47	122	263		
2.00	0	78	1.28	22.7	38.2	69.0	74.8	167	328	404	
	10	78	1.28	23.2	39.3	62.3	75.4	140	282	391	
	20	74	1.35	23.1	36.4	62.3	77.0	131	285	462	
	30	71	1.41	23.3	23.9	53.8	70.7	88	244	428	
	40	70	1.43	21.1	26.1	45.1	72.6	94	204	402	
	50	68	1.47	21.8	19.9	31.3	71.0	70	133	376	
	0	83	1.20	15.0	39.0	71.7	78.8	144	301	385	
	10	83	1.20	14.9	29.6	57.2	69.2	122	247	357	
	20	79	1.26	14.5	29.5	58.3	67.9	110	252	403	
	30	76	1.32	15.3	24.4	52.6	75.7	98	221	401	
	40	75	1.33	14.7	26.3	44.6	69.8	84	187	380	
	50	73	1.37	14.6	17.6	35.3	66.1	64	161	352	
	0	88	1.14	12.1	33.7	62.9	71.7	128	273	351	

表-4. 3C 注入モルタルの曲げおよび圧縮強度試験結果

S/(C+F)	F/(C+F) (%)	W/(C+F) (%)	(C+F)/W	流出時間 (sec)	曲げ強度(kg/cm ²)*			圧縮強度(kg/cm ²)**		
					7 日	28 日	91 日	7 日	28 日	91 日
2.00	10	88	1.14	12.4	28.2	55.7	71.2	106	221	321
	20	84	1.19	11.6	28.3	56.4	65.8	104	220	375
	30	81	1.23	12.2	29.4	46.5	73.2	114	188	354
	40	80	1.25	12.0	20.5	39.9	71.9	73	169	358
	50	78	1.28	12.3	16.5	37.1	63.7	53	172	307

* 4×4×16cm供試体 3 個の平均値

** 4×4×16cm供試体折片 6 個の平均値

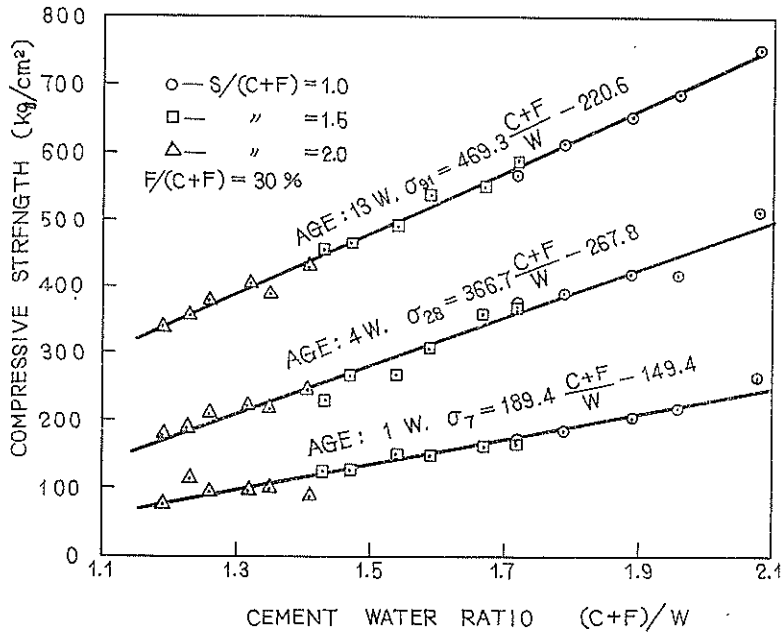


図-4.10 セメント水比と圧縮強度との関係
Cement Water Ratio vs. Compressive Strength of Intrusion Mortar

なる一次式で表わされるが、表-4.2の試験結果について最小自乗法により係数 k_1 および k_2 を求めると、次の式が得られた。

$$\sigma_7 = 189.4 \frac{C+F}{W} - 149.4 \dots \dots \dots (4.3)$$

$$\sigma_{28} = 366.7 \frac{C+F}{W} - 267.8 \dots \dots \dots (4.4)$$

$$\sigma_{91} = 469.3 \frac{C+F}{W} - 220.6 \dots \dots \dots (4.5)$$

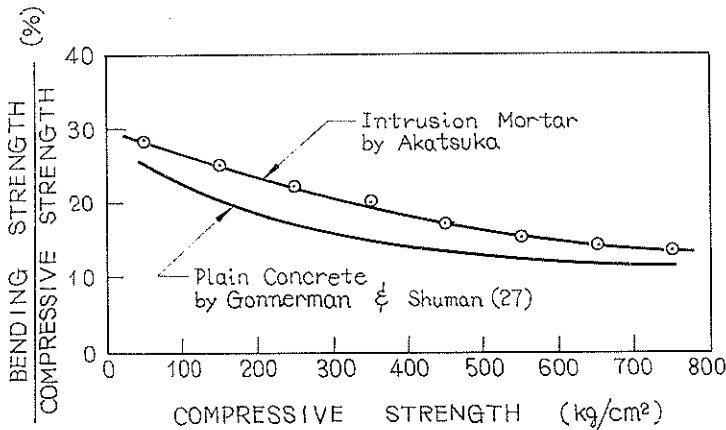
曲げ強度については試験値のバラツキが較的大きく、必ずしも圧縮強度について得られたようなセメント水比との直線関係を導くことは容易でない。しかし圧縮強度との比を求めると、これが圧縮強度の大きさに応じてほぼ一定の範囲内にあることが分る。表-4.4 は表-4.3 の曲げ強度を対応する配合と材令の圧縮強度で除した値を百分率で表示したもので、曲げ強度は圧縮強度の14~28%の範囲にあり、その比率は圧縮強度の大きいもの程小さくなっている。この関係を Gonnerman, Shuman 氏等²⁷⁾ がコンクリートについて得た関係 (11~23%) と

比較すると上下限共に数%大きい。この差はコンクリートの曲げ強度が粗骨材の表面状態によつてかなり影響される点などを考慮することによつて説明される。図—4. 11は以上に述べた圧縮強度を曲げ強度との関係を図示したもので、縦軸の値は曲げ強度の圧縮強度に対する百分率を表わす。

表—4. 4 注入モルタルの曲げ強度の圧縮強度に対する比率 (%)

圧縮強度の範囲 (kg/cm ²)	0~100	101~200	201~300	301~400	401~500	501~600	601~700	701~800
試験値の数*	20	63	45	52	40	32	15	3
最小値 (%)	23.9	21.2	19.1	16.3	13.1	10.9	12.1	13.3
最大値 (%)	31.3	28.2	27.8	23.8	20.3	17.5	16.0	13.9
平均値 (%)	27.9	28.4	22.4	20.1	17.4	14.9	14.4	13.6

* 表—4. 3A~Cより算出せるもので、4×4×16cm供試体3個による曲げ強度の平均値をその折片6個の供試体による圧縮強度の平均値で除した値を本表における試験値1個とした。



図—4. 11 圧縮強度と曲げ強度との関係
Compressive Strength vs. Flexural Strength of Intrusion Mortar

f) 乾燥収縮におよぼす影響

(1) 乾燥収縮試験の概要

本試験は注入モルタルの乾燥収縮特性が配合諸条件によつていかに変化するかを調べるために行なつたもので、 $S/(C+F)$ 、 $F/(C+F)$ 、 $W/(C+F)$ を適当に組合せた90種の配合の供試体を準備し、一週間の標準養生 ($20 \pm 1^\circ\text{C}$ の水中に浸漬)を行なつた後に一定の乾燥条件下に保存し、その乾燥による長さ変化率を測定した。標準試験方法 (J I S A1124, 1125)では乾燥条件として $21 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $45 \pm 3\%$ R. H. に推奨しているが、本試験では $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $60 \pm 5\%$ R. H.とした。これは恒温恒湿設備の機能により定まつたもので、標準条件より相対湿度が多少高いが、全試験に共通であり比較の目的は達せられたと判断される。試験結果は保存期間52週における長さ変化率で表わし、表—4. 5 に示す通りである。また保存期間中における各配合の長さ変化率の時間的变化はいずれもほぼ同様な傾向を示し、図—4. 12はその一例である。

(2) 試験結果の考察

ここでは水セメント比の影響のみについて考察を加え、フライアッシュ混和率ならびに砂セメント比の影響に関しては4. 3および4. 4において検討する。

一般にセメントペーストならびにコンクリートの乾燥収縮に影響をおよぼす最も大きな要因の一つとして水セメント比が挙げられ、乾燥収縮は水セメント比の増加に応じて増加すると考えられている。たとえば Carlson⁽²⁸⁾

表-4. 5 注入モルタルの乾燥収縮試験結果 (単位: 10^{-6})
 $20 \pm 1^\circ \text{C}$, $60 \pm 5\%$ R. H. における保存期間52週*

$F/(C+F)$ (%)	$S/(C+F)=1.000$			$S/(C+F)=1.25$			$S/(C+F)=1.5$			$S/(C+F)=1.75$			$S/(C+F)=2.00$		
	$\frac{F}{C+F}$ (%)	流出時間 (秒)	長さ 変化率	$\frac{F}{C+F}$ (%)	流出時間 (秒)	長さ 変化率	$\frac{F}{C+F}$ (%)	流出時間 (秒)	長さ 変化率	$\frac{F}{C+F}$ (%)	流出時間 (秒)	長さ 変化率	$\frac{F}{C+F}$ (%)	流出時間 (秒)	長さ 変化率
0	51	24.4	2,828	59	27.2	2,267	65	25.5	2,478	71	30.0	2,305	76	25.3	2,064
10	50	25.8	2,478	55	27.8	1,844	64	29.1	2,379	72	24.3	2,050	78	23.2	1,950
20	49	27.7	2,338	55	22.0	1,828	62	28.9	2,012	71	22.4	2,041	78	26.8	1,572
30	48	28.6	1,874	54	23.4	1,707	60	20.0	1,695	70	25.0	1,425	74	28.9	1,571
40	47	23.6	1,507	52	27.8	1,566	63	25.2	1,343	69	23.6	1,298	73	29.6	1,343
50	46	20.7	1,581	51	24.2	1,198	63	23.7	1,348	69	24.7	1,293	71	29.1	1,226
0	56	14.3	3,407	64	13.1	2,483	70	15.8	2,119	76	14.8	2,022	81	15.2	2,436
10	55	14.3	2,833	60	14.4	2,243	69	14.2	2,010	77	15.6	1,971	83	14.9	1,652
20	54	14.2	2,152	60	15.5	1,981	67	14.5	1,995	76	14.7	1,875	83	14.6	1,516
30	53	15.0	2,083	59	14.2	1,857	65	14.7	1,800	75	15.5	1,684	79	14.5	1,510
40	52	16.1	1,643	57	15.8	1,776	68	16.0	1,481	74	15.6	1,441	78	13.4	1,312
50	51	16.5	1,767	56	16.2	1,736	68	14.8	1,538	74	16.1	1,297	76	13.7	1,200
0	61	11.5	2,607	69	11.2	2,231	75	12.4	2,202	81	12.3	2,352	86	12.4	2,245
10	60	12.1	2,712	65	12.2	1,983	74	12.0	2,600	82	12.2	2,071	88	12.4	1,710
20	59	11.6	1,950	65	12.3	1,655	72	11.6	1,743	81	12.0	2,043	88	12.2	1,676
30	58	12.0	2,038	64	12.0	1,728	70	11.7	1,988	80	11.9	1,698	84	11.8	1,588
40	57	12.3	1,836	62	12.3	2,160	73	12.4	1,898	79	12.5	1,317	83	11.5	1,426
50	56	12.5	1,726	61	12.9	1,719	73	12.2	1,612	79	12.5	1,545	81	11.6	1,247

* 標準養生1週, $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ の供試体3個の平均値

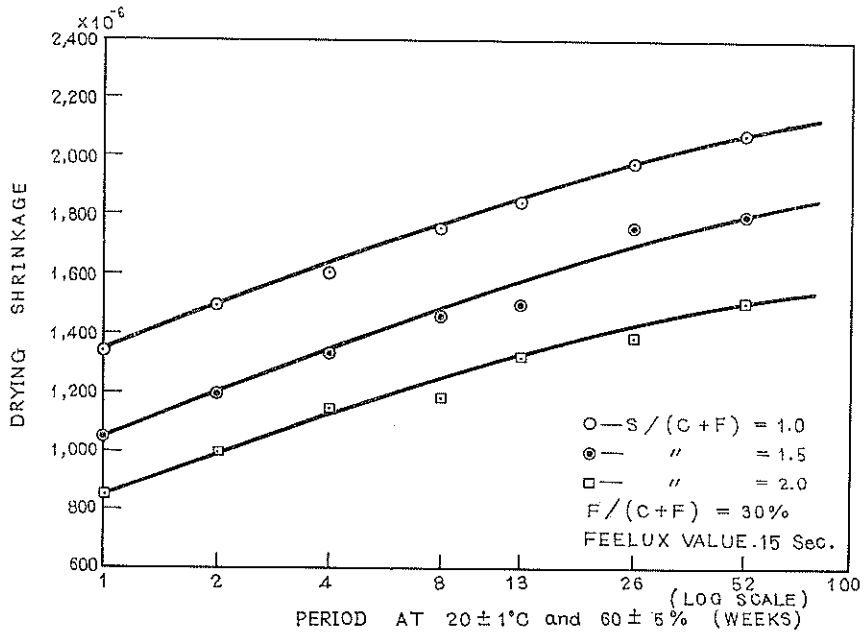


図-4.12 乾燥による長さ変化率の時間的変化
 Drying Shrinkage vs. Period of Drying

は通常の乾燥収縮特性を有するセメントを使用する場合にはセメントペーストの乾燥収縮は水セメント比 (W/C) にほぼ比例することを実験的に確かめている。

表-4.5 の試験結果より $F/(C+F)$ および $S/(C+F)$ を一定とし、 $W/(C+F)$ を変化させた配合を選び出して $W/(C+F)$ と長さ変化率との関係を調べると、かなりの変動も認められるが全体の傾向としては注入モルタルの乾燥収縮は $W/(C+F)$ の増加に応じて増加することが観察される。 $W/(C+F)=10\%$ の増加についての長さ変化率の増加率を求めると、 $F/(C+F)$ および $S/(C+F)$ の値によつて異なるが総平均は 7.5% である。本試験では中間の値の $W/(C+F)$ についての測定例が少ないので、これから注入モルタルの $W/(C+F)$ とその乾燥収縮との関係を断定することは困難である。しかしモルタルはその組成上ペーストとコンクリートの中間物に相当して居り、これと上述の試験結果とを合わせて考えれば、注入モルタルの $W/(C+F)$ とその乾燥収縮との間にも前段で述べたような比例関係が成立するものと考えられる。

4. 3 フライアッシュ混和率 $F/(C+F)$ の変化が注入モルタルの諸性質におよぼす影響

a) 流動性におよぼす影響

セメントの一部をフライアッシュで置き換えたコンクリートのコンシステンシーはその混和率に応じて変化すると考えられて居り、この考え方は注入モルタルの場合にも適用できることが明らかにされている。¹⁷⁾ ここではこれを確かめた試験結果について述べ、更にフライアッシュ混入による注入モルタルの流動性の変化の機構について自由水量係数の点から検討を試みた。

図-4.13は $W/(C+F)$ よび $S/(C+F)$ 一定とした場合の $F/(C+F)$ と流出時間との関係についての試験結果である。フライアッシュを混入したモルタルの流出時間はその混入率の増加に応じて減少する。言い換えれば流動性は増加する傾向にあり、流出時間の減少は硬練りのもの程著しい。図-4.14は流動性および $S/(C+F)$ を一定とした場合の $F/(C+F)$ と所要の $W/(C+F)$ との関係を示すもので、両者の関係はほぼ直線的であり、所要の $W/(C+F)$ は $F/(C+F)$ の増加に応じて減少して居る。所要の $W/(C+F)$ の減少の割合は $S/(C+F)$ の大小によつて多少相違し、 $S/(C+F)$ が大きいもの程、言い換えれば貧配合のもの程大きく、 $F/$

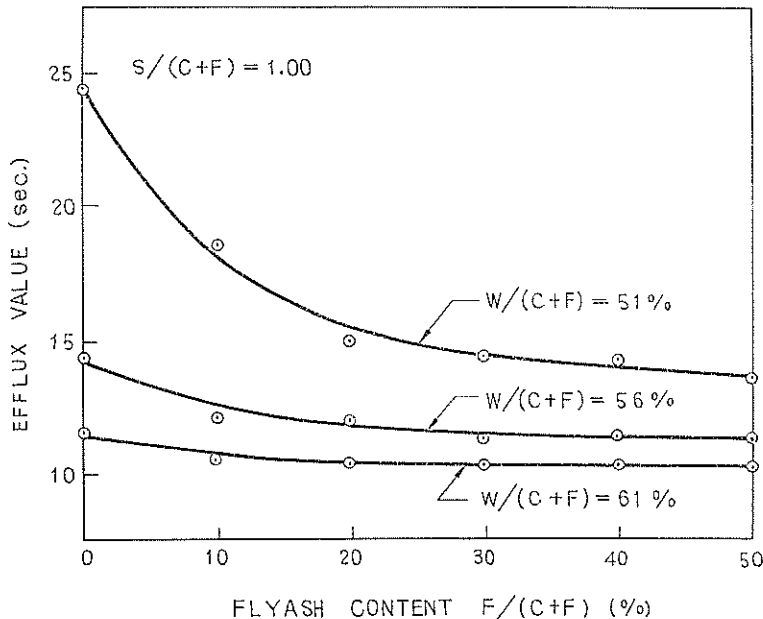
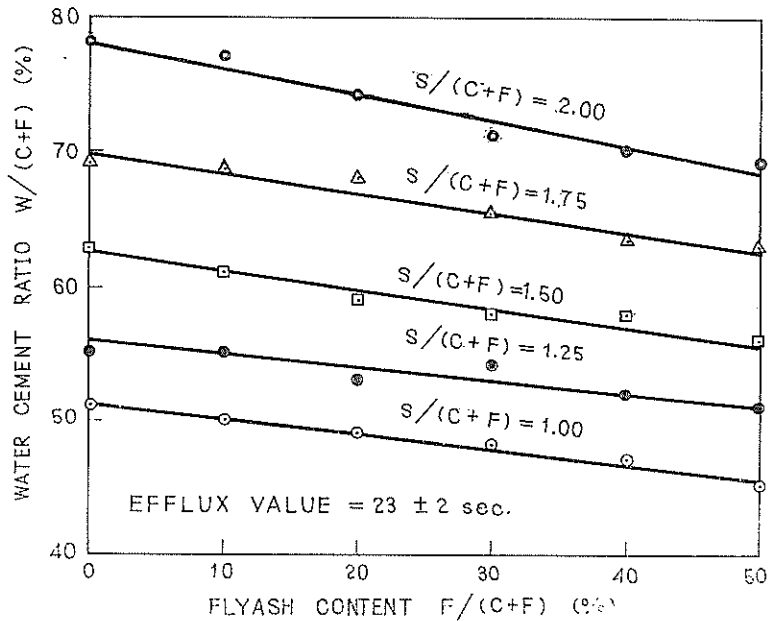


図-4.13 フライアッシュ混和率と流動性との関係

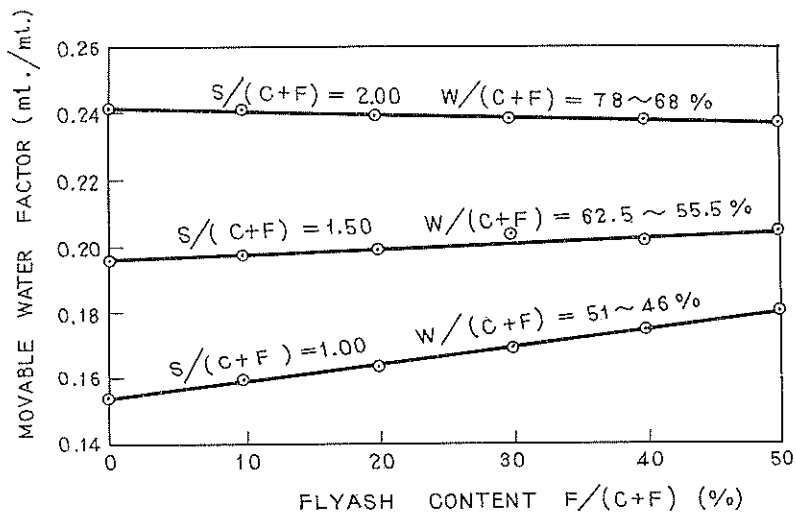
Flyash Content vs. Consistency of Intrusion Mortar

(C+F)=10%の増加について減少する $W/(C+F)$ は1.0~2.0%の範囲にあり、平均は1.4%程度である。図一4.14に示した関係は流出時間を 23 ± 2 sec として得られたものであるが、基準とする流出時間が変化してもほぼ同様の関係が得られる。

図一4.14に示したフライアッシュ混和率と所要水セメント比との関係について自由水量係数の点から検討を加えてみよう。図一4.14に示したそれぞれの配合の自由水量係数を計算し、これを $F/(C+F)$ と対比すると図一



図一4.14 流動性を一定とした場合のフライアッシュ混和率と水セメント比との関係
Flyash Content vs. Water Requirement of Intrusion Mortar
(Consistency=const.)



図一4.15 流動性を一定とした注入モルタルのフライアッシュ混和率と自由水量係数との関係(水セメント比=不定)
Flyash Content vs. Movable Water Factor of Intrusion Mortar
(Consistency=const)

4.15が得られ、自由水量係数は $S/(C+F)=1.5$ および 2.0 の場合には $F/(C+F)$ に関りなくほぼ一定であることが分る。しかし $S/(C+F)=1.0$ の場合には自由水量係数は $F/(C+F)$ の増加に応じて僅かながら増加し、その増加量は $F/(C+F)=50\%$ について $0.027cc/cc$ (17.5%) である。3.4 d) で述べたように本実験で得られたフライアッシュの保水係数は実際の値より幾分小さいと推定される。一方、単位容積の注入モルタル内で占めるフライアッシュの絶対容積は著しく変化し、 $S/(C+F)=1.0, 1.5, 2.0$ 、に対しそれぞれ $0.237, 0.156, 0.129$

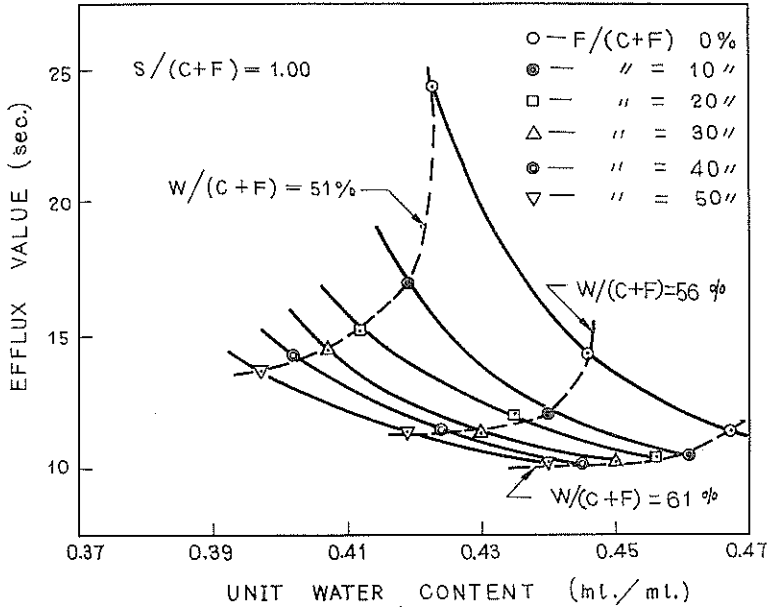


図-4.16 単位水量と流動性との関係
Unit Water Content vs. Consistency of Intrusion Mortar

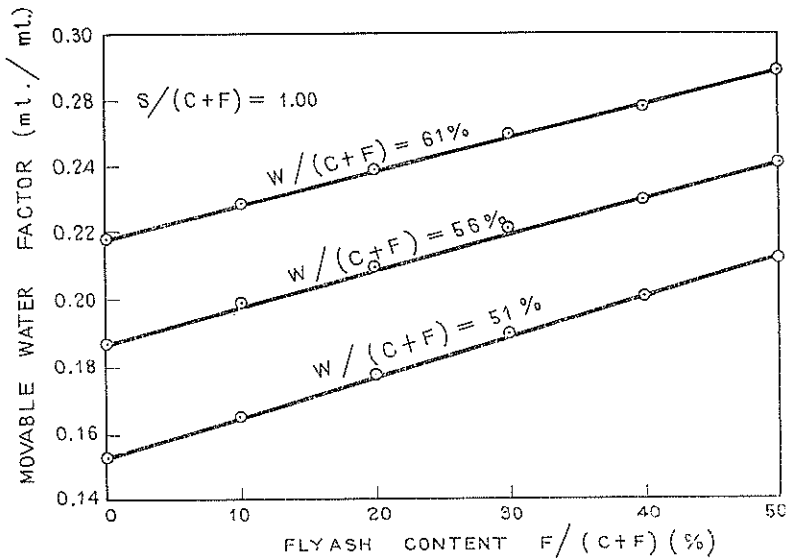


図-4.17 水セメント比、砂セメント比を一定とした場合のフライアッシュ混和率と自由水量係数との関係
Flyash Content vs. Movable Water Factor of Intrusion Mortar
(Water Cement Ratio and Sand Cement Ratio are Constant.)

cc/cc である。したがって、もしくはフライアッシュの保水係数試験によつて得られた値よりも僅か大きく、たとえば0.05cc/cc程度大きいものと仮定すると、図—4.15における自由水量係数が $F/(C+F)$ の値に関わりなくほぼ一定となることは計算によつて容易に確かめられる。この事は、セメントやフライアッシュの保水係数が正確に求められるならば、流動性を一定とした注入モルタルの自由水量係数はフライアッシュ混和率ないし水セメント比の変化に関わりなく一定となることを示唆するものと考えられる。

$W/(C+F)$ と $S/(C+F)$ とを一定とした場合の $F/(C+F)$ と流動性との関係は図—4.13 に示した通りであるが、この試験結果について各配合の単位水量を計算して単位水量と流出時間との関係を調べると図—4.16が求められる。すなわち、 $W/(C+F)$ と $S/(C+F)$ とを一定とする場合には $F/(C+F)$ の増加に応じて流出時間が減少し、流動性が増加するが、単位水量もこれと同時に減少することが認められ、単位水量自体は流出時間と直接の関係がないことが分る。同じ試験結果について各配合の自由水量係数を計算してこれと $F/(C+F)$ との関係を探ると図—4.17のようになり自由水量係数が $F/(C+F)$ に比例して増加することが観察される。すなわち、フライアッシュの混入は図—4.16に示したように単位水量の減少をもたらすが、セメント、フライアッシュや砂などのそれぞれの保水係数の相違から注入モルタルの自由水量係数は逆に増加し、これによつてその流動性も増加するものと考えられる。

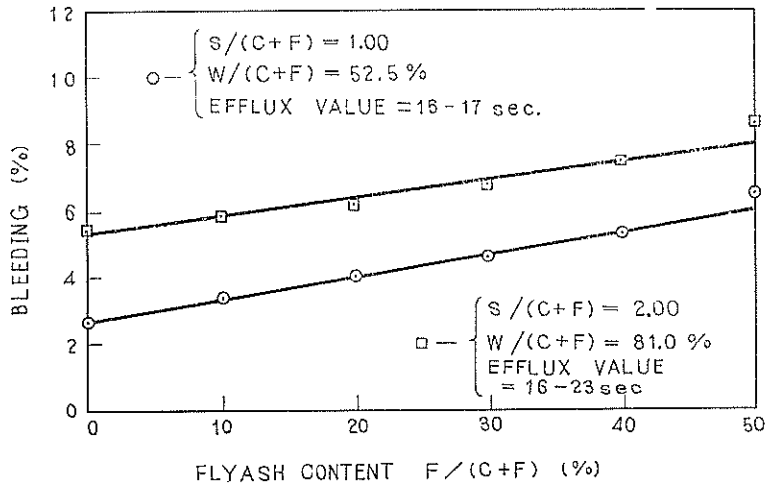
4.2 a) で水セメント比と流動性との関係について、 $S/(C+F)$ と $F/(C+F)$ とが一定の場合には流動性は $W/(C+F)$ に比例することを確かめ、かつ流動性と自由水量係数との間にも比例関係が成立つことを指摘した。本節では、流動性を一定とする場合には自由水量係数は $W/(C+F)$ および $F/(C+F)$ の変化に関わりなくほぼ一定となり、 $W/(C+F)$ および $S/(C+F)$ を一定とする場合には流動性は $F/(C+F)$ の増加に応じて増加し、この場合には自由水量係数も $F/(C+F)$ に比例して増加することを明らかにした。以上に述べた自由水量係数についての幾つかの関係を総括すると次の結論が導かれる。すなわち、注入モルタルの流動性はその自由水量係数に一次的に比例し、この関係は $F/(C+F)$ および $W/(C+F)$ の大小に関わりなく成立つ。

上に述べた結論を換言すれば、砂セメント比が一定の場合には水セメント比もしくはフライアッシュ混和率、あるいはその両比の変化に伴う注入モルタルの流動性の変化は基本的には自由水量係数の変化を考慮することによつて説明される。たとえば、図—4.13に示した注入モルタルの流出時間と $F/(C+F)$ との関係は、モルタルが硬練りである程 $F/(C+F)$ の増加に伴う流出時間の減少が大きいことを示している。これについて $F/(C+F)=50\%$ の増加に対する自由水量係数の増加量を求めると、0.059~0.051cc/cc、平均0.054cc/ccとなつて $W/(C+F)$ の大小による相違は比較的少い。しかし、これをフライアッシュを混入しない場合 ($F/(C+F)=0$ の場合) と比較すると $W/(C+F)=51, 56, 61\%$ のそれぞれの配合について自由水量係数の増加率は39, 29, 23%となり、 $W/(C+F)$ が小さいもの程増加率が大きく、いわゆる硬練りの場合程フライアッシュ混入による流出時間減少の効果が大きいことが理解される。

b) ブリージング率におよぼす影響

$S/(C+F)$ および $W/(C+F)$ を一定とした場合のブリージング率と $F/(C+F)$ との関係について試験した結果は図—4.18、表—4.6 に示した通りであり、注入モルタルのブリージング率がフライアッシュ混和率の増加に伴なつて増大することは極めて明瞭である。

ポゾラン物質 (Pozzalanic material) 混入の効果に関して、微粉末ポゾランの混入によつて注入モルタルのブリージングおよび材料分離は減少する傾向があると云われている。²⁹⁾ 上述の試験結果は単に注入モルタルのみでなくコンクリートの場合にも、フライアッシュの混入がそのブリージングにおよぼす影響に関する従来の説と明らかに矛盾するものようである。ここではこの点について考察を加え、フライアッシュの混入がブリージングに与える効果について論ずる。



図—4.18 フライアッシュ混和率とブリージング率との関係（水セメント比および砂セメント比を一定とする場合）
Flyash Content vs. Bleeding of Intrusion Mortar (Water Ratio Cement and Sand Cement Ratio are Constant.)

表—4.6 フライアッシュ混和率，自由水量係数，ブリージング率の関係

$S/(C+F)$	$F/(C+F)$ (%)	$W/(C+F)$ (%)	ブリージング率 (%)	単位水量 (cc/cc)	自由水量係数 (cc/cc)
1.00	0	52.5	2.7	0.429	0.161
	10		3.4	0.424	0.173
	20		4.1	0.419	0.185
	30		4.7	0.419	0.198
	40		5.4	0.404	0.208
	50		6.5	0.404	0.220
2.00	0	81.0	5.4	0.430	0.253
	10		5.8	0.426	0.261
	20		6.2	0.422	0.267
	30		6.7	0.420	0.274
	40		7.5	0.415	0.281
	50		8.6	0.412	0.287

山崎氏はコンクリート混和材料としての鉱物質微粉末に関する基礎的研究の中で、フライアッシュの混入がコンクリートのブリージングにおよぼす影響について言及し、これがブリージングを増加する場合もあることを指摘し、フライアッシュの保水係数の考え方をを用いてブリージング増加の機構を説明して居る。¹⁹⁾すなわち、用いるフライアッシュの保水係数がセメントのそれに比較して小さい場合には、セメントの一部をフライアッシュで置き換えることによつてセメントやフライアッシュの各粒子表面に附着して動かないと考えられる水量（保水量）は減少する。一方、フライアッシュの混入によつてセメントとフライアッシュの比重の相違から単位水量も相対的に減少する。上述の保水量の減少量が単位水量の減少量を上廻る場合には自由に動き得る水量、すなわち自由水量は相対的に増加してブリージングは必然的に増加することになる。

図—4.18の試験結果について、それぞれの配合の自由水量係数を求め、これとブリージング率との関係を調べ

ると図-4.19 が得られ、ブリージング率が自由水量係数にほぼ比例して増加することは極めて明瞭であり、前段に述べたライアッシュ混入によるブリージング増加についての説明を裏付けるものと解される。しかし、図-4.19の関係は、もし自由水量係数が一定ならばブリージング率も一定となることをも示している。既に4.3a)で明らかにしたように、注入モルタルの流動性を一定とする場合にはその自由水量係数はライアッシュ混入率の大小に関係なくほぼ一定となる。したがってライアッシュの混入は、これが注入モルタルの流動性を一定とする条件の下に行なわれる限りにおいて、必ずしもブリージング率の増加をもたらすものではない。言い換えれば、セメントの一部をライアッシュで置き換えることはブリージング率を増加するか、もしくはライアッシュを混入しないものとほぼ同等に保つ効果を有するものであつて、少くともこれを減少するものとは考えられない。したがって、微粉末ボゾラン物質、たとえばライアッシュの混入によつてブリージングが減少する傾向があるとする従来の説には再検討を加える余地があると考えられる。

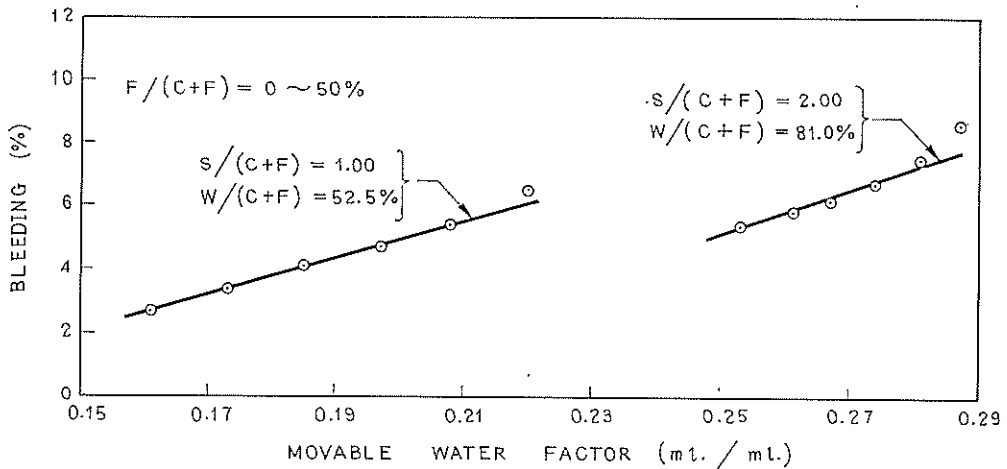


図-4.19 注入モルタルの自由水量係数とブリージング率との関係 (水セメント比および砂セメント比を一定した場合)
Movable Water Factor vs. Bleeding of Intrusion Mortar (Water Cement Ratio and Sand Cement Ratio are Constant.)

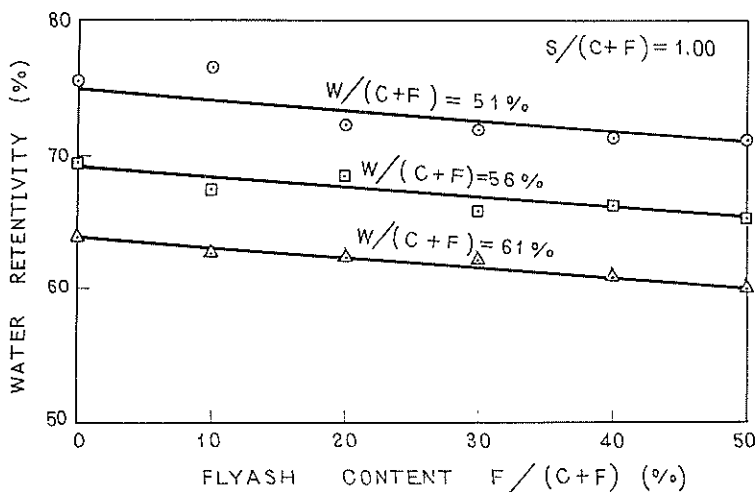
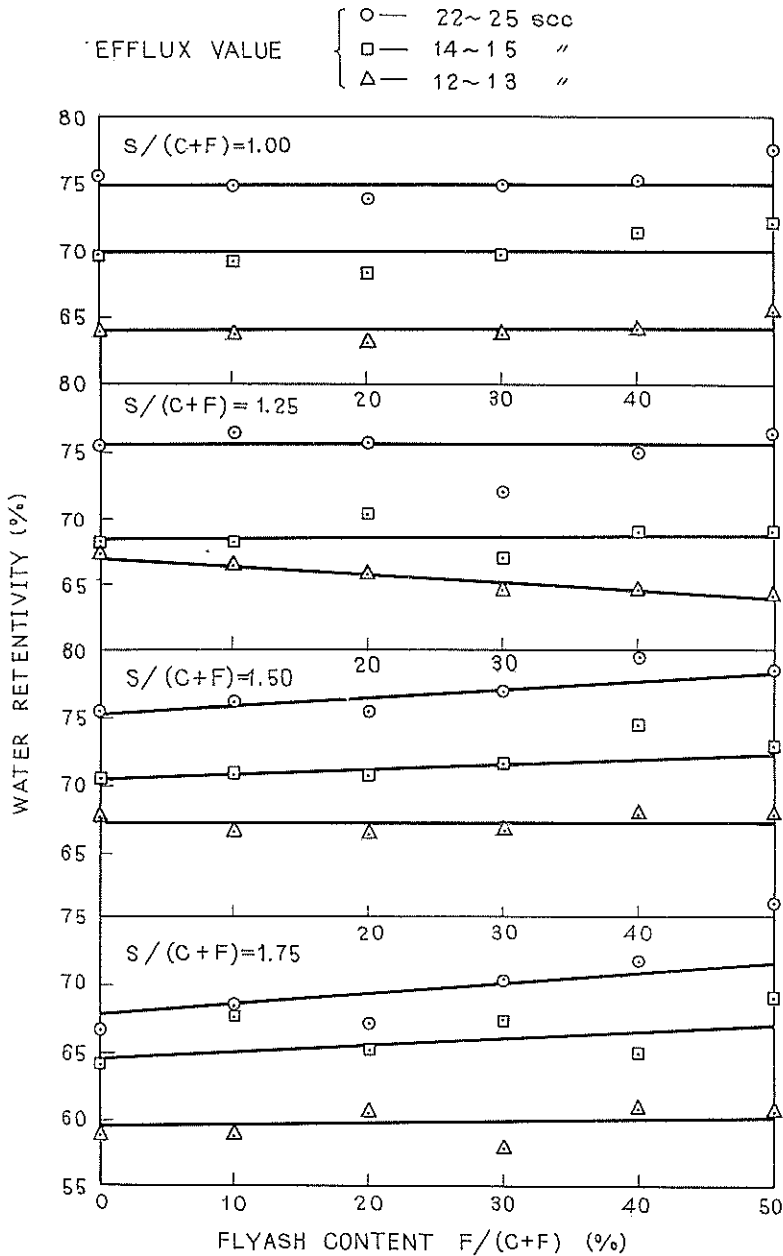


図-4.20 フライアッシュ混入率と保水性との関係 (砂セメント比と水セメント比とを一定とした場合)
Flyash Content vs. Water Retentivity of Intrusion Mortar (Water Cement Ratio are Constant.)

観点を交えて、フライアッシュで砂の一部を置き換える場合にはフライアッシュの保水係数は砂のそれに比してかなり大きく、ブリージング率も相当減少することは容易に理解できる。また、フライアッシュの保水係数がセメントのそれに比較して余り相違ないか、あるいは逆に前者が後者より大きい場合にはフライアッシュ混入による流動性ないしブリージング率の変化も今迄に述べたものとは異なつたものとなる。しかし、このような場合にはフライアッシュの混入によつて流動性を改善し、あるいは所要水量を減少することはほとんど期待できないものと思われる。

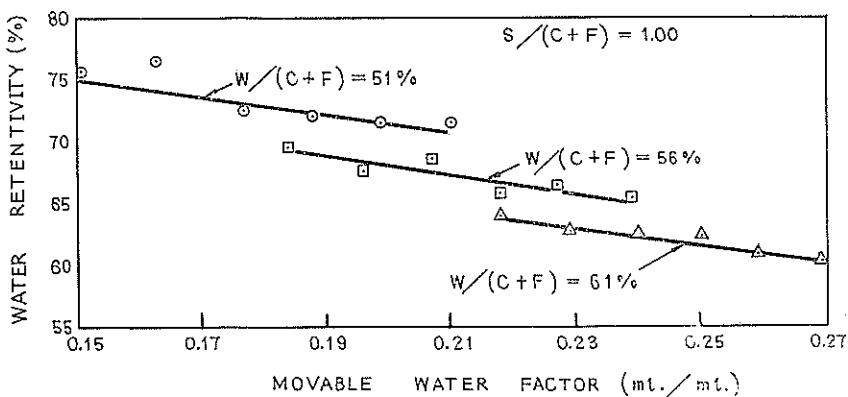


図—4.21 フライアッシュ混和率と保水性との関係（砂セメント比および流動性を一定とした場合）
Flyash Content vs. Water Retentivity of Intrusion Mortar
(Sand Cement Ratio and Consistency are Constant.)

c) 保水性におよぼす影響

フライアッシュの混入が注入モルタルの流動性ならびにブリージング率におよぼす効果は主として自由係数の変化によるものであることを 4.3 a), b) において論じた。図—4. 20, 21に示した保水性とフライアッシュ混和率との関係についての試験結果も同様に説明されることを示唆している。

図—4. 20は $W/(C+F)$ と $S/(C+F)$ とを一定とした場合の $F/(C+F)$ と保水性との関係を示すものである。 $W/(C+F)$ と $S/(C+F)$ とを一定とする場合には注入モルタルの自由水量係数は図—4. 17に示したように $F/(C+F)$ にほぼ比例する。一方、保水性が自由水量係数の増加に伴って一次的に減少することは 4.2 c) において明らかにされている。したがって保水性が $F/(C+F)$ の増加に伴って一次的に減少することは自ら明らかであろう。試みに図—4. 20に示した試験結果について自由水量係数を算出し、これと保水性との関係を求めると図—4. 22に示した関係が得られ、保水性が自由水量係数と一次的逆相関の関係にあることが分る。



図—4. 22 注入モルタルの保水性と自由水量係数との関係 (水セメント比と砂セメント比を一定とした場合、図—4. 19参照)
Movable Water Factor vs. Water Retentivity of Intrusion Mortar (Water Cement Ratio and Sand Cement Ratio are Constant, Refer to Fig.-4. 19)

図—4. 21は $S/(C+F)$ および流動性を一定とした場合の $F/(C+F)$ と保水性との関係を試験した結果である。フライアッシュ混入による流動性の変化は $W/(C+F)$ を増減して調整した。試験値に多少の変動は認められるが、この場合には保水性は $F/(C+F)$ の大小に関わりなくほぼ一定であることが分る。4.3 a) で述べたように $S/(C+F)$ および流動性を一定とする場合には注入モルタルの自由水量係数は $F/(C+F)$ の変化によらずほぼ一定となる。自由水量係数が一定であれば保水性もまた一定となることは 4.3 a), b) で論じた所より容易に導かれる。以上の関係はまた 4.2 c) に述べたブリージング率と保水性との相関関係を考慮することによつても自ら明らかであろう。

d) 凝結時間におよぼす影響

(1) フライアッシュ混入ペーストの凝結時間

フライアッシュの混入が注入モルタルの凝結時間におよぼす影響に関する予備調査としてフライアッシュ混入セメントペーストの凝結時間を試験した。試験にはピカー針装置を用いるセメントの凝結試験方法 (J I S R 5, 201, セメントの物理試験方法) を適用し、フライアッシュ混和率とペーストの凝結時間との関係を調べたもので、表—4. 7 はその結果である。

本試験では標準軟度を得られる附近の $W/(C+F)$ 微小変化を調べるために $W/(C+F) = 26 \sim 28\%$ の範囲で、5種の $W/(C+F)$ を選び、それぞれについて $F/(C+F)$ を $0 \sim 50\%$ に変化させた30種の配合について試

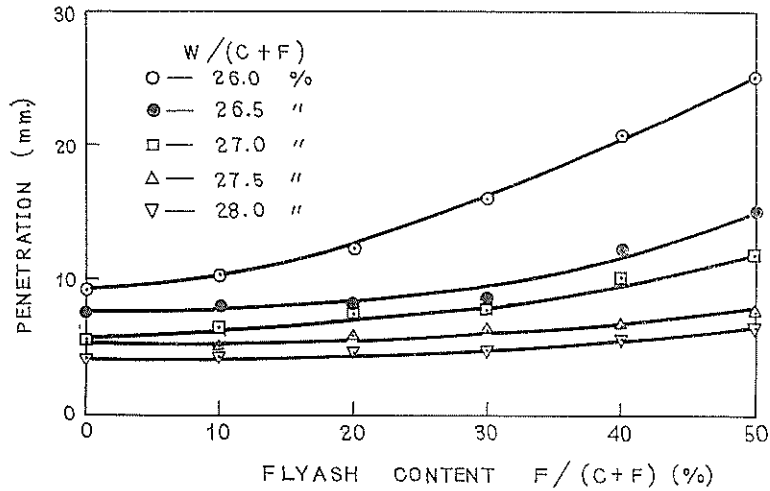
験した。表—4.7 の結果から $F/(C+F)$ と標準軟度棒の貫入量との関係を求めると図—4.23に示した通りで、 $F/(C+F)$ の増加に応じて貫入量も増加する。この関係は $W/(C+F)$ を一定とした注入モルタルの $F/(C+F)$ とその流動性との関係に極めて類似して居り、フライアッシュの混入がモルタルの流動性におよぼす効果について4.3a)において述べたと全く同様に説明できる。

表—4.7 フライアッシュ混入セメントペーストの凝結試験結果*

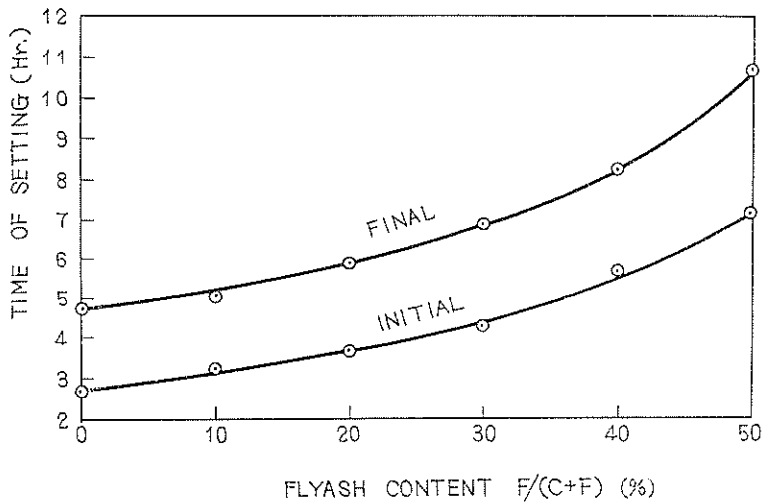
$F/(C+F)$ (%)	$W/(C+F)$ (%)	標準軟度 棒貫入量 (mm)	始			終			結		
			平 均 (時・分)	標準偏差 (分)	変動係数 (%)	平 均 (時・分)	標準偏差 (分)	変動係数 (%)	平 均 (時・分)	標準偏差 (分)	変動係数 (%)
0	26.0	9.2	2.37	14.4	9.2	4.25	18.7	7.1			
10		10.2	2.55	14.1	8.1	5.02	15.5	5.1			
20		12.2	3.22	10.0	4.9	5.33	14.4	4.3			
30		16.0	4.03	19.3	7.1	6.30	18.7	4.8			
40		20.8	4.57	2.4	0.8	7.53	6.3	1.3			
50		25.0	6.43	25.0	6.2	8.10	24.5	4.4			
0	26.5	7.5	2.43	8.4	4.0	4.35	17.8	6.5			
10		8.1	3.18	8.5	4.3	5.02	2.4	0.8			
20		8.3	3.17	5.7	1.2	5.38	16.5	4.9			
30		8.7	4.05	14.7	6.0	6.37	11.8	3.0			
40		13.0	5.00	32.5	10.9	7.43	11.8	2.5			
50		15.0	6.40	16.3	4.1	9.53	6.3	1.1			
0	27.0	5.5	2.38	12.5	7.9	4.42	22.5	8.0			
10		6.3	3.15	7.1	3.6	5.02	18.9	6.2			
20		7.3	3.27	6.3	3.0	5.50	17.8	5.1			
30		7.7	4.13	16.5	6.5	6.55	21.6	5.3			
40		10.0	5.15	13.2	4.2	8.03	2.4	0.5			
50		11.7	7.08	6.3	1.5	10.08	10.3	1.7			
0	27.5	5.2	2.45	0	0	4.40	14.1	5.1			
10		5.0	3.05	4.1	2.2	5.20	10.8	3.3			
20		5.9	3.42	10.9	4.9	5.53	16.5	4.7			
30		6.4	4.18	17.0	6.6	6.55	10.8	2.6			
40		6.6	5.12	18.9	6.1	8.23	2.4	0.5			
50		7.7	7.30	22.7	5.0	10.17	15.5	2.5			
0	28.0	4.1	2.53	7.6	4.3	5.00	0	0			
10		4.3	3.17	9.4	4.8	5.18	14.5	4.6			
20		4.6	3.35	18.7	8.7	6.00	17.8	4.9			
30		4.8	4.28	8.5	3.2	7.12	14.4	3.3			
40		5.5	5.42	16.5	4.8	8.17	11.8	2.4			
50		6.4	7.10	62.7	5.3	10.40	10.8	1.7			

* 3個の試験値の平均

図—4.23より $F/(C+F)=0\sim 50\%$ のそれぞれの混和率について、ペーストの標準軟度水量を図式的に求め、この $W/(C+F)$ を有するペーストの凝結時間を表—4.5の試験結果より内挿法によつて推定した結果は図—4.24に示す通りである。同図より、凝結の始発ならびに終結時間が $F/(C+F)$ の増加に応じて遅延する関係が極めて明瞭に観察できる。遅延の割合が $F/(C+F)$ が大となる程増大することは当然予想された所で、たとえば $F/(C+F)$ が100%の場合にはペーストは全く凝結しない点からも容易に理解される。また $W/(C+F)$ の影響に



図—4.23 フライアッシュ混入セメント・ペーストの軟度とフライアッシュ混和率との関係
Flyash Content vs. Penetration of Cement-Flyash Paste



図—4.24 標準軟度水量におけるフライアッシュ混入セメントペーストの凝結時間
Time of Setting of Cement-Flyash Paste of Standard Consistency

ついてはその変化範囲が2%に過ぎないため、試験結果から明確な結論を導き出すことは困難である。しかし、一般的な傾向としては凝結時間は $W/(C+F)$ の増加に応じて遅延するものようである。たとえば、始発時間については $W/(C+F)=26\%$ と 28% の間に13~35minの遅延が認められ、終結時間の遅延は16~90minであった。

(2) 注入モルタルの凝結時間

フライアッシュの混入が注入モルタルの凝結時間におよぼす影響を調査するに当つてはモルタルの流動性を一定とすることを以て比較の基準とした。用いた $S/(C+F)$ は1.0の場合のみとし、その試験結果は表—4.8に示す通りである。これを凝結時間と $F/(C+F)$ との関係で図示すると図—4.25が得られる。

注入モルタルの凝結時間がフライアッシュの混入によつて遅延する関係はセメントペーストの場合とほとんど同様である。ペーストの場合と特に相違する点は混和率の増加に伴う遅延の割合が後者の場合程著しくないことであろう。これはフライアッシュ混入による $W/(C+F)$ の減少がペーストの場合に比較してかなり多いこと、

およびモルタル内で占めるセメント量が相対的に少いことなどに基くものと判断される。 $W/(C+F)$ の増加による凝結時間の遅延は4.2. d) において10%について $1/2 \sim 1$ 時間程度と推定されている。 $F/(C+F)=50\%$ の増加による遅延は3~4時間である。したがって、もし $W/(C+F)$ を一定として $F/(C+F)$ のみを増加すればこの場合の遅延は、4~5時間程度となつてペーストの場合とほとんど一致する。このことはフライアッシュを所定の割合で混入したセメントペーストの凝結時間を測定することによつて注入モルタルのそれをほぼ適確に推定し得ることを示唆するものと考えられる。またピカー針装置によるモルタルの凝結試験の試験値の変動に関してはペーストの場合と比較して優劣の差はほとんど認められず、試験値の再現性の点ではセメントの凝結試験方法が注入モルタルの凝結試験にも適用し得ることを示すものと思われる。

表—4. 8 注入モルタルの凝結試験結果*($S/(C+F)=1.00$)

$F/(C+F)$	$W/(C+F)$ (%)	流出時間 (sec)	始			終		
			平均 (時・分)	標準偏差 (分)	変動係数 (%)	平均 (時・分)	標準偏差 (分)	変動係数 (%)
0	51		3.51	1.4	0.6	5.47	1.3	3.7
10	50		4.18	4.7	1.8	6.27	5.0	1.3
20	49	24	4.41	3.3	1.2	6.47	4.2	1.0
30	48	29	5.47	3.7	1.1	7.46	3.6	0.8
40	47		6.23	17.0	4.4	8.13	16.7	3.4
50	46		7.15	6.9	1.6	8.55	8.5	1.6
0	56		3.30	0	0	6.08	29.6	8.0
10	55		4.36	8.5	3.1	6.38	6.0	1.5
20	54	14	5.28	18.4	5.1	7.12	18.7	4.3
30	53	16	5.48	13.9	4.0	7.22	7.8	1.3
40	52		6.12	8.5	2.3	7.58	13.6	2.8
50	51		7.45	4.3	0.9	9.25	7.1	1.3
0	61		4.13	18.9	7.5	6.30	4.1	1.1
10	60		4.45	8.6	3.0	6.50	19.2	4.7
20	59	12	5.56	12.9	3.6	7.36	4.7	1.0
30	58	13	6.02	6.2	3.2	8.09	3.7	0.8
40	57		6.37	16.3	4.1	8.34	10.7	2.1
50	56		8.26	15.2	3.0	10.11	14.5	2.4

* 3個の試験値の平均

e) 曲げおよび圧縮強度におよぼす影響

表—4.3A~Cより $S/(C+F)$ および $W/(C+F)$ を一定として $F/(C+F)$ のみを換えた配合の強度試験結果を選び出すと、たとえば $S/(C+F)=1.00$ については表—4.9 が得られ、これから $W/(C+F)=56\%$ の場合を取上げて図示すると図—4.26に示した関係が求められる。これらの結果から容易に観察できるように、一般的な傾向としてフライアッシュの混入は曲げおよび圧縮強度の低下となつて現われ、この傾向は特に材令1週ないし4週強度の場合に明瞭である。すなわち、曲げおよび圧縮強度のいずれもフライアッシュ混和率の増加に応じて漸減し、その関係は近似的には直線とみなし得る。強度の減少率を計算すると $F/(C+F)=10\%$ の増加について、1週曲げ強度9~11%、4週曲げ強度8~9%、1週圧縮強度13~17%、4週圧縮強度8~10%となつて配合と材令によつて多少異なるが、配合設計のための計算などには材令1~4週における強度減少率を $F/(C+F)=10\%$ の増加について圧縮強度の場合13%程度、曲げ強度の場合10%程度をめやすとすることができる。しかし長

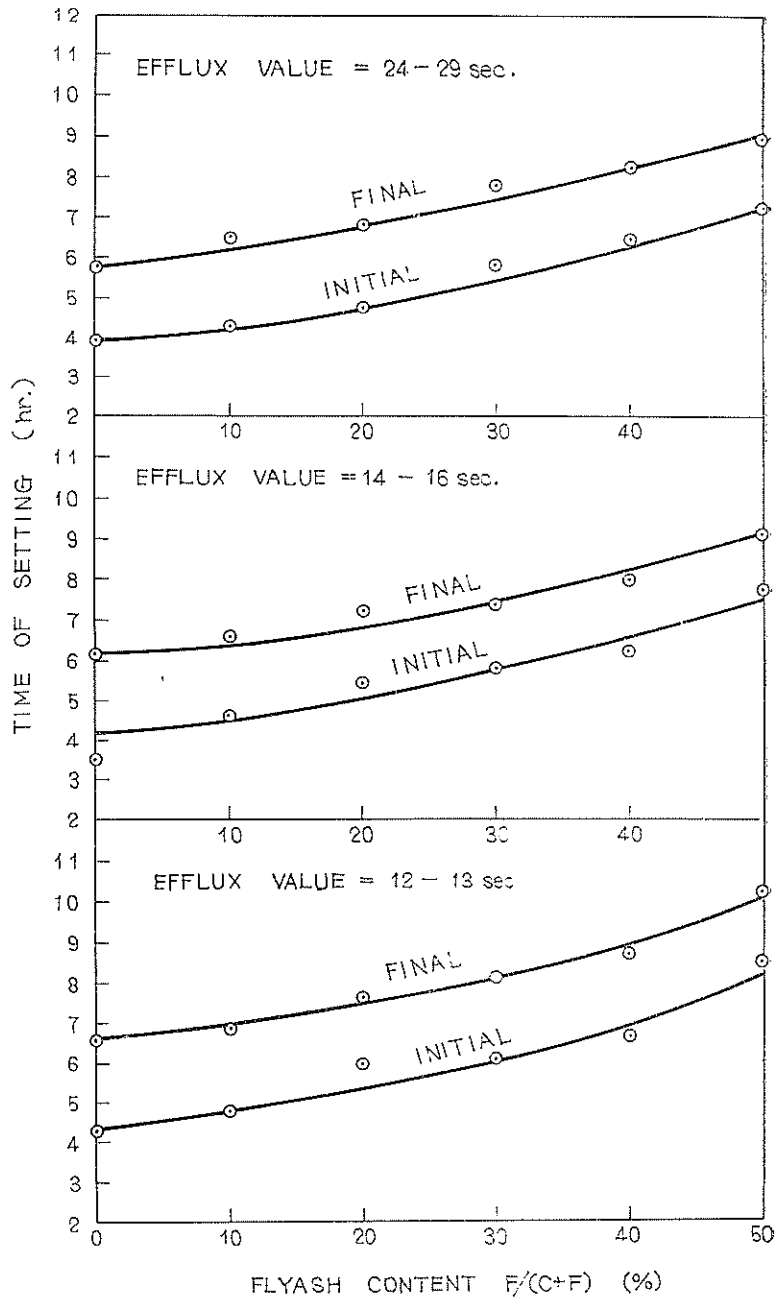


図-4.25 フライアッシュ混和率と注入モルタルの凝結時間との関係
Flyash Content vs. Time of Setting of Intrusion Mortar
of Various Consistency

表—4. 9 フライアッシュ混和率を変えた場合の強度試験結果

S/(C+F)	W/(C+F) (%)	F/(C+F) (%)	流出時間 (sec)	曲げ強度(kg/cm ²)*			圧縮強度(kg/cm ²)**			
				7 日	28 日	91 日	7 日	28 日	91 日	日
1.00	51	0	24.4	79.1	92.6	85.5	384	649	683	
		10	23.9	74.0	99.2	100.2	361	605	736	
		20	15.1	53.0	85.8	105.2	288	517	726	
		30	14.5	45.9	82.4	104.1	218	421	690	
		40	14.3	44.5	75.6	98.3	186	402	678	
		50	13.6	40.6	62.2	78.0	122	308	553	
1.00	56	0	14.3	63.2	89.3	84.4	328	549	615	
		10	12.1	56.2	84.9	101.6	247	475	617	
		20	12.0	52.0	81.0	94.5	216	392	570	
		30	11.3	41.7	80.0	96.7	185	391	615	
		40	11.5	36.3	68.2	78.2	135	325	541	
		50	11.3	27.3	52.7	70.4	103	268	508	
1.00	61	0	11.5	63.3	78.9	95.0	297	513	597	
		10	10.5	73.6	69.1	104.0	289	502	677	
		20	10.4	53.7	85.9	96.6	197	426	613	
		30	10.3	42.3	67.9	92.8	175	378	606	
		40	10.3	33.6	64.0	83.5	114	271	511	
		50	10.4	29.2	58.0	78.9	104	260	484	

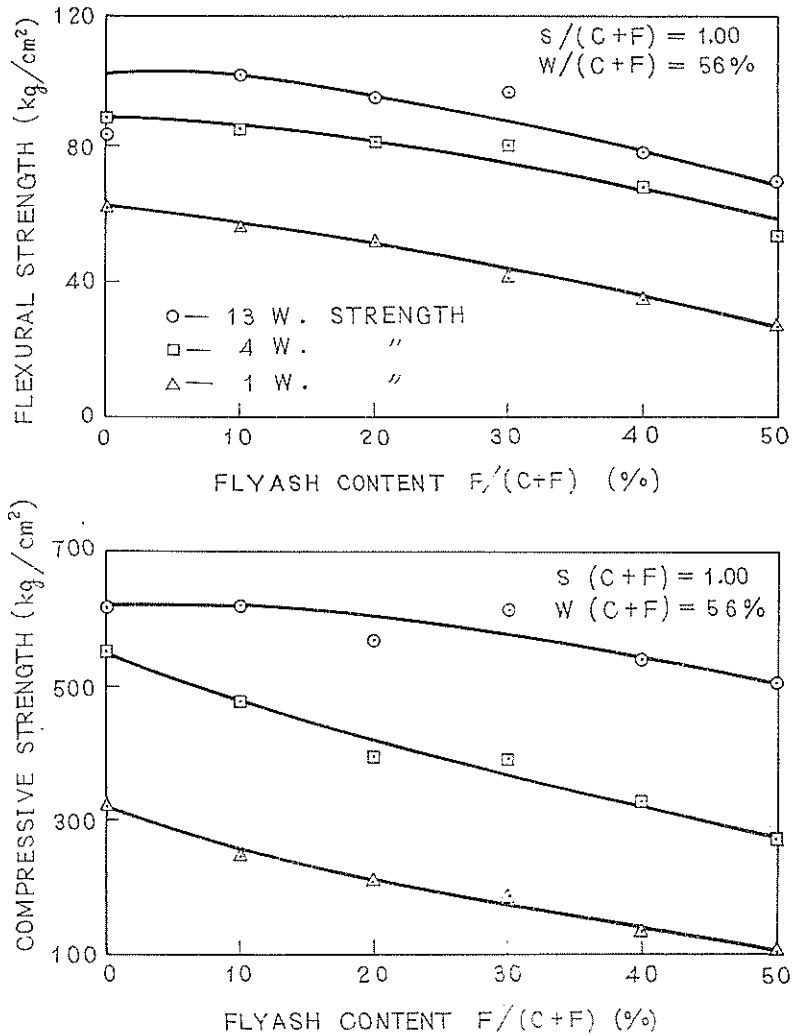
* 4×4×16cm供試体 3 個の平均値

** 4×4×16cm供試体折片 6 個の平均値

期材令における強度は上述とは異なつた傾向を示し、 $F/(C+F)=0\sim30\%$ の範囲では多少増加し、混和率がこの範囲を越えると再び漸減する。

材令の長短によるフライアッシュ混和率と強度との関係の以上に述べたような相違は主としてフライアッシュの化学的な作用に基づくものと考えられる。フライアッシュなどのボゾラン物質の化学的な作用に関しては多くの研究成果が発表されているが、セメントペースト中の遊離石灰との結合に最も有効なフライアッシュ混和率に関しては未だに定説が発表されていない。ボゾランの品質が必ずしも一定していないこと、およびペースト中の微粉末のフロキュレーションの影響のように一律には規制し難い要因がこれに加わることなどによるものと考えられる。本試験結果は供試フライアッシュと同程度の品質のものを用いる場合には $F/(C+F)=20\sim30\%$ の付近で長期強度が最大となることを示している。

表—4.3A～Cは $S/(C+F)$ および $F/(C+F)$ の変化に対応して $W/(C+F)$ を調整して流動性がほぼ一定となるようにした注入モルタルの強度試験結果である。これより、たとえば平均流出時間が24 sec の場合を取出して $F/(C+F)$ と強度との関係を調べると図—4.27, 28が得られる。これらの結果より分るように、流動性を一定とする場合にフライアッシュの混入による強度の減少は $S/(C+F)$ および $W/(C+F)$ を一定とした場合程著しくない。これはフライアッシュの混入による $W/(C+F)$ の減少がフライアッシュ混入による強度の減少をある程度相殺することによるものである。図—4.27, 28が示しているように、材令1週および4週においては曲げおよび圧縮強度のいずれも $F/(C+F)$ の増加に応じてほぼ直線的に減少する。減少の割合を $F/(C+F)=10\%$ について計算すると表—4.10に示したようになり、10～11%を中心に数%の中の範囲内に平均に分布し、平均減少率は曲げおよび圧縮強度のいずれも10%程度である。表—4.11は13週強度について、 $F/(C+F)=0\%$ とときの値を100として各混和率における曲げおよび圧縮強度を比較した結果である。本表によると曲げ強度比の変



図—4.26 砂セメント比および水セメント比を一定とした注入モルタルの
フライアッシュ混和率と曲げおよび圧縮強度との関係
Flyash Content vs. Flexural and Compressive Strengths (Water
Cement Ratio and Sand Cement Ratio are Constant.)

動は比較的大きく、必ずしも一定の傾向を示すとは云い難いが、圧縮強度比は $F/(C+F)=20\sim30\%$ において最大値が得られ、フライアッシュの混入が長期強度におよぼす影響はこの範囲においても最も効果的であることが分る。

先にも述べたように、長期強度の点から考えられるフライアッシュの最適混和率については、これに影響をおよぼす要素も多く必ずしも一定の値に固定することはできない。しかし実際の施工例では $F/(C+F)=10\sim30\%$ ($C:F=1:0.11\sim1:0.43$) の場合が多数を占めている。これを上述の実験結果と合わせて考えると、従来ある程度経験的に採用されているフライアッシュ混和率はほぼ妥当な値であると考えられる。

プレバクド・コンクリート部材の設計では普通コンクリートの場合と同じように4週強度を以て基準とする場合が多い。このような場合にはプレバクド・コンクリートの配合設計における所要強度も材令4週を以て基準とし、上述の長期材令における強度増進を計算に入れることは適当でない。図—4.29は表—4.3A～Cより材令4週の圧縮強度を取り出し、 $F/(C+F)$ をパラメータとして $(C+F)/W$ と圧縮強度とを対比したものである。

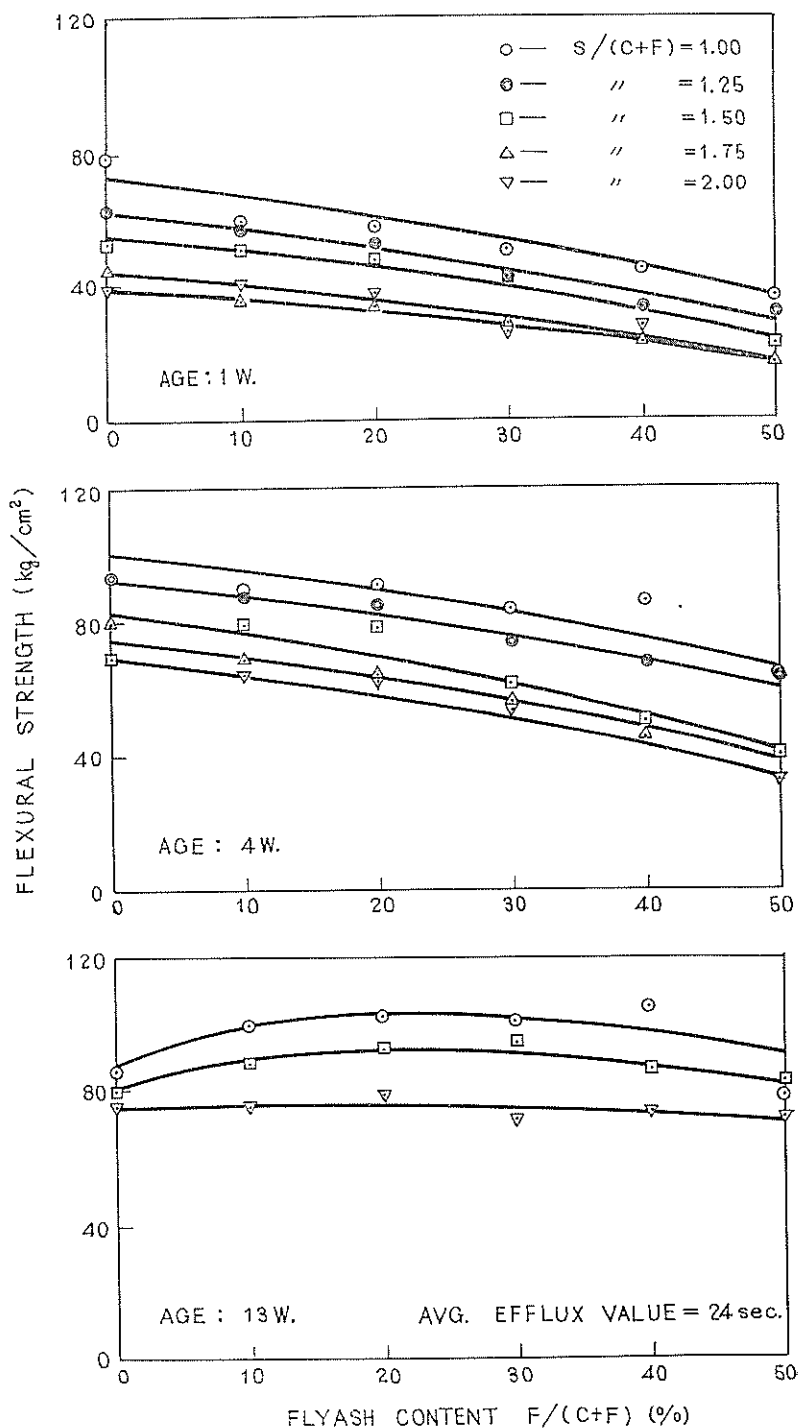


図-4.27 流動性をほぼ一定とした注入モルタルのフライアッシュ混和率と
 曲げ強度との関係
 Flyash Content vs. Flexural Strength of Intrusion Mortar
 (Consistency=Constant.)

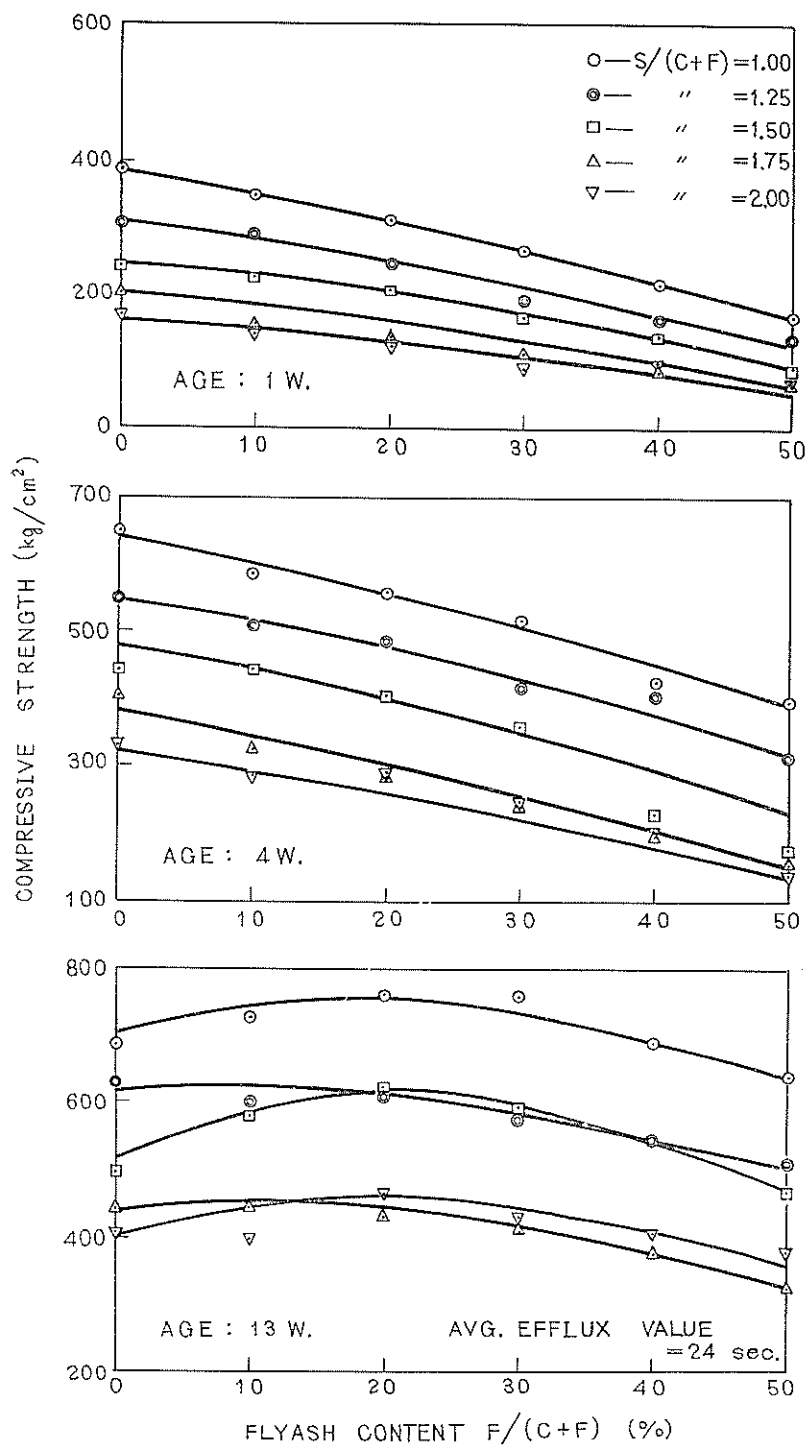


図-4.28 流動性をほぼ一定とした注入モルタルのフライアッシュ混和率と圧縮強度との関係
Flyash Content vs. Compressive Strength of Intrusion Mortar
(Consistency=Constant.)

表-4.10 流動性一定とした注入モルタルの $F/(C+F)=10\%$ の増加に対する強度減少百分率*

$S/(C+F)$	平均流出時間 (sec)	7 日 強 度		28 日 強 度	
		曲 げ	圧 縮	曲 げ	圧 縮
1.00	24	10.8	11.5	6.1	7.5
	15	11.1	12.0	7.1	8.5
	12	10.4	12.3	4.3	7.6
1.25	24	9.9	11.5	6.4	8.3
	15	9.9	11.3	7.6	9.0
	12	8.5	11.5	5.7	9.2
1.50	24	12.1	12.9	8.6	12.2
	15	11.7	12.4	10.0	12.0
	12	12.2	14.4	11.0	13.0
1.75	24	12.6	13.9	12.7	12.1
	15	14.1	14.3	11.4	12.6
	12	13.5	14.1	11.2	12.3
2.00	24	9.6	11.6	10.9	11.9
	15	11.0	11.1	10.2	9.3
	12	10.2	11.7	8.2	7.4
1.00~2.00	24	9.6~12.6	11.5~13.1	6.1~12.7	7.8~12.2
	15	11.0~14.1	11.1~14.3	7.1~11.4	8.5~12.6
	12	8.5~13.5	11.5~14.4	4.3~11.2	7.4~13.0
平 均		11.2	12.4	8.6	10.3

* $\Delta F/(C+F)=10\%$ についての強度の減少量を混和率 0 の場合の強度に対する百分率で表示

表-4.11 流動性を一定とした注入モルタルの13週強度比の $F/(C+F)$ による変化*

$S/(C+F)$	$F/(C+F)$ (%)	圧 縮 強 度				曲 げ 強 度			
		平均流出時間(sec)				平均流出時間(sec)			
		24	15	12	平 均	24	15	12	平 均
1.00	0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	10	106.2	100.0	96.6	100.9	117.4	65.2	89.0	90.5
	20	111.0	104.1	102.0	105.7	119.4	89.7	101.9	103.7
	30	110.8	106.3	95.5	104.2	117.6	88.1	87.1	97.6
	40	100.1	110.2	90.6	100.3	123.2	84.7	86.4	98.1
	50	93.3	88.1	85.4	88.9	89.8	64.4	78.1	77.4
1.25	0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	10	95.2	93.7	102.6	97.2	96.4	76.6	111.0	94.7
	20	104.0	104.5	103.6	104.0	112.0	88.6	109.0	103.2
	30	99.4	95.3	99.4	98.0	109.4	75.9	91.3	92.2
	40	93.6	95.8	95.4	94.9	92.4	72.5	86.2	83.7
	50	90.0	86.8	89.0	88.6	67.6	62.1	71.7	67.1
1.50	0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	10	116.5	111.5	115.3	114.4	111.3	93.5	112.4	105.7
	20	124.1	112.1	123.4	119.9	116.5	98.8	109.1	108.1
	30	118.5	115.1	112.9	115.5	118.9	104.0	93.5	105.5
	40	108.6	102.3	108.3	106.4	109.4	98.3	114.9	107.5
	50	73.1	69.6	69.8	70.8	103.6	93.1	96.8	97.8

S/(C+F)	F/(C+F) (%)	圧 縮 強 度				曲 げ 強 度			
		平 均 流 出 時 間 (sec)				平 均 流 出 時 間 (sec)			
		24	15	12	平 均	24	15	12	平 均
1.75	0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	10	100.7	77.5	78.1	85.4	95.3	86.2	87.8	89.8
	20	97.1	75.5	72.6	81.7	92.6	89.3	89.9	90.6
	30	94.2	72.8	74.6	80.5	93.1	92.3	86.0	90.5
	40	84.9	65.1	69.1	73.0	89.7	81.3	91.4	87.5
	50	73.9	56.5	57.7	62.7	86.2	81.1	88.8	85.4
2.00	0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	10	96.8	92.7	91.4	93.6	100.8	87.8	99.3	96.0
	20	114.4	104.7	106.8	108.6	102.9	86.2	91.8	93.6
	30	105.9	104.2	100.9	103.7	94.5	96.1	102.1	97.6
	40	100.5	98.7	102.0	100.4	97.1	88.6	100.3	95.3
	50	93.1	91.4	87.5	90.7	94.9	83.9	88.8	89.2
1.00 2.00	0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	10	105.1	91.8	94.7	97.1	104.2	81.9	99.9	95.3
	20	116.9	100.3	102.8	106.6	108.7	90.5	100.3	99.8
	30	109.6	97.9	94.4	100.6	106.7	91.3	92.0	96.7
	40	95.9	90.7	88.5	91.7	102.4	85.1	95.8	94.4
	50	74.5	64.1	63.1	67.2	88.4	76.9	84.8	83.4

* F/(C+F)=0%の場合を100として表示した強度比

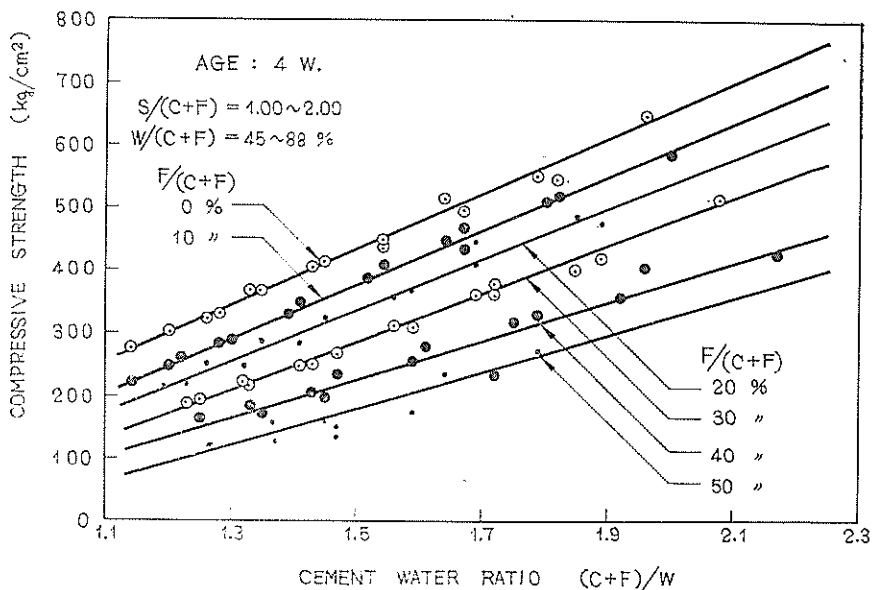


図-4.29 注入モルタルのセメント水比と圧縮強度との関係
 Cement Water Ratio vs. Compressive Strength of
 Intrusion Mortar

それぞれのフライアッシュ混和率について最小自乗法により実験式を求めると次式が得られる。

$$F/(C+F) = 0 \% ; \quad \sigma_{28} = 442x - 235 \dots \dots \dots (4.6)$$

$$\begin{aligned}
 F/(C+F) &= 10\%; & \sigma_{28} &= 424x - 259 \dots\dots\dots (4.7) \\
 F/(C+F) &= 20\%; & \sigma_{28} &= 414x - 284 \dots\dots\dots (4.8) \\
 F/(C+F) &= 30\%; & \sigma_{28} &= 379x - 288 \dots\dots\dots (4.9) \\
 F/(C+F) &= 40\%; & \sigma_{28} &= 308x - 234 \dots\dots\dots (4.10) \\
 F/(C+F) &= 50\%; & \sigma_{28} &= 291x - 254 \dots\dots\dots (4.11)
 \end{aligned}$$

フライアッシュ混和率 i % に対しては

$$F/(C+F) = 2\%; \quad \sigma_{28} = k_{1i} x - k_{2i} \dots\dots\dots (4.12)$$

ここで、 $x = (C+F)/W$

(4.12) 式における k_{1i} および k_{2i} は近似的に i の一次式で表わすことができる。これを (4.6)~(4.11) 式の x の係数および定数から最小自乗法により求めると

$$k_{1i} = 458 - 3.3i \dots\dots\dots (4.13)$$

$$k_{2i} = 259 \dots\dots\dots (4.14)$$

(4.13), (4.14) 式を (4.12) 式に代入すると、

$$\sigma_{28} = (458 - 3.3i)x - 259 \dots\dots\dots (4.15)$$

(4.15) 式を用いて計算した σ_{28} と試験値とを比較した結果は本式の精度がかなり高いことを示して居り、試算の一例を挙げると表-4.12 のようである。

表-4.12 (4.15) 式と試験値の比較の一例

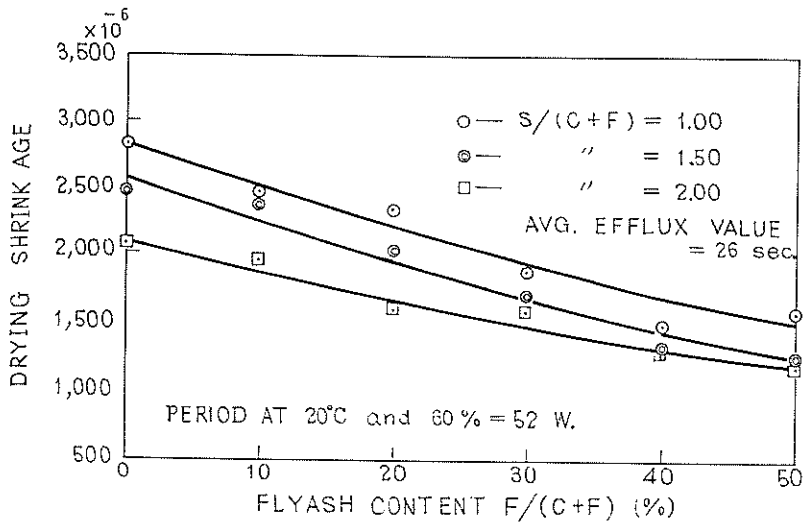
$F/(C+F)$ (%)	$S/(C+F)$	$W/(C+F)$ (%)	$(C+F)/W$	σ_{28} 計算値 (kg/cm ²) ①	σ_{28} 試験値 (kg/cm ²) ②	$\frac{①-②}{①} \times 100(\%)$
0	1.00	51	1.96	635	649	- 2.2
10	1.25	55	1.82	515	517	- 0.4
20	1.50	64	1.56	353	356	- 0.8
30	1.50	68	1.47	269	264	+ 1.9
40	1.75	69	1.45	214	199	+ 7.5
50	2.00	73	1.37	143	161	-11.2

(4.15) 式は $4 \times 4 \times 16$ cm 供試体による注入モルタルの材令28日圧縮強度であるが、注入モルタルの圧縮強度とプレバッド・コンクリートの圧縮強度との間には密接な相関性が認められ^{15,21,30)}、良質な粗骨材を用いる場合には後者は前者の50~70%の範囲内にあり、平均60%程度である。この関係を用いれば、プレバッド・コンクリート部材の設計基準強度より注入モルタルの配合設計における所要強度を推定することは容易であり、更に図-4.28ないし(4.15)式などを用いて試験配合に必要な水セメント比 $W/(C+F)$ およびフライアッシュ混和率 $F/(C+F)$ についてめやすを樹てることも可能となる。

f) 乾燥収縮におよぼす影響

フライアッシュの混入は注入モルタルの乾燥収縮を減少せしめるものようである。図-4.30は流動性を一定とした場合の $F/(C+F)$ と長さ変化率との関係を示すもので、変化率は $F/(C+F)$ の増加に応じてほぼ直線的に減少し、その割合は $F/(C+F)=10\%$ について6~11%、平均8.5%程度である。フライアッシュを混入したモルタルの乾燥収縮試験例としては、たとえば中条氏の実験³¹⁾ があるが、減少率としては6.5%が得られている。この実験では中層熱ポルトランドセメント、フライアッシュおよび豊浦標準砂を用い、その配合比は $W/(C+F)=65\%$, $S/(C+F)=2.00$, $F/(C+F)=0 \sim 40\%$ である。また、乾燥条件は20°C, 44% R. H. であつた。本試験で得られた値は上例と比較するとやや大きい、その相違は試験の諸条件の相違によつて説明し得る範囲にあ

り、本試験結果がほぼ妥当な値であることを示している。



図—4.30 フライアッシュの混入が注入モルタルの乾燥収縮におよぼす影響
Flyash Content vs. Drying Shrinkage of Intrusion Mortar

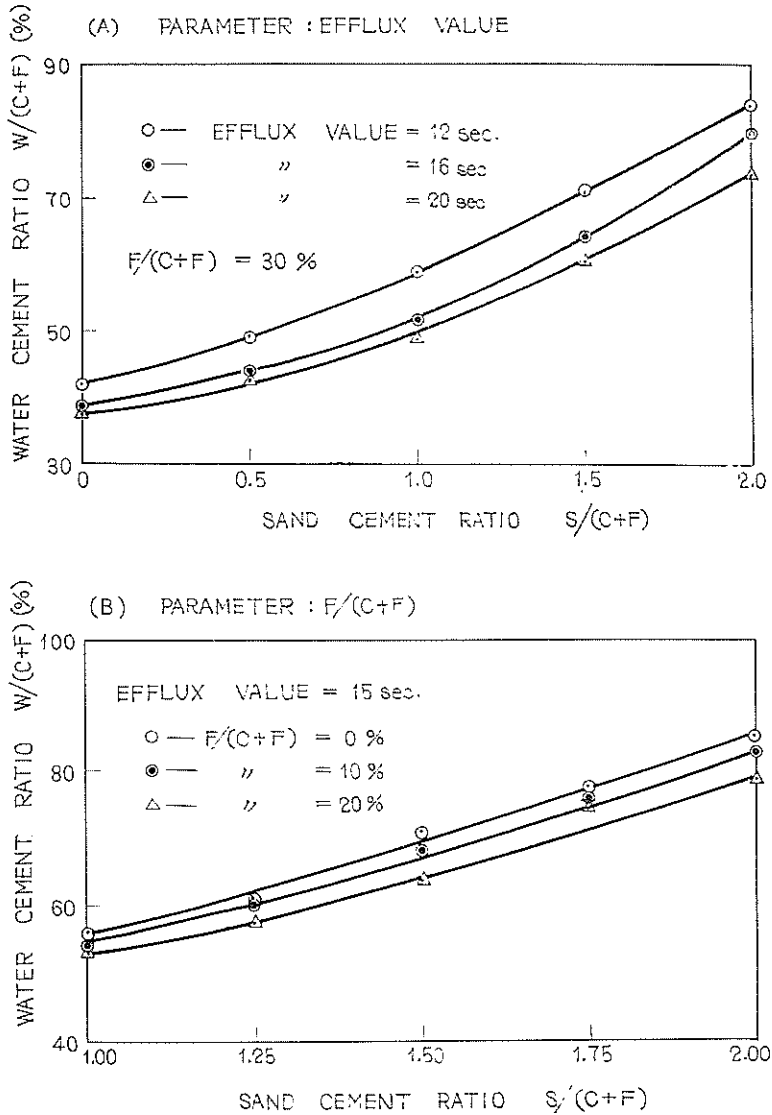
4. 4 砂セメント比 $S/(C+F)$ の変化が注入モルタルの諸性質におよぼす影響

a) 所要水セメント比におよぼす影響

注入モルタルの $S/(C+F)$ を変える場合に流動性が一定となるように $W/(C+F)$ を変化せしめると、 $S/(C+F)$ と所要の $W/(C+F)$ との間には図—4.31に示したような関係が得られる。すなわち、所要の $W/(C+F)$ は $S/(C+F)$ の増大に応じて増加し、両者の関係はほぼ直線的である。これを直線と仮定して比例定数を求めると $S/(C+F)=0.1$ の増加について $W/(C+F)=2.7\%$ 程度の増加に相当する。しかし、所要の水セメント比の増加は必ずしも単位水量の増加を伴うものではなく、図—4.32に示したように、 $S/(C+F)$ がある範囲で単位水量は $S/(C+F)$ の増加に応じて著しく減少する。図—4.32は図—4.31に示した各種の配合の単位水量を求め、これを $S/(C+F)$ と対比したもので、 $S/(C+F)<1.0$ では単位水量は著しく減少し、 $S/(C+F)>1.0$ ではむしろ増加する傾向さえ認められ、 $S/(C+F)=1.0$ は一種の限界点となつている。単位水量の少ないモルタルは一般に高密度コンクリートをもたらし、強度のみでなく乾燥収縮や水密性などの諸性質に好ましい影響をおよぼすことは明らかであり、所要の流動性が得られる範囲内で単位水量を最小に保つことは水セメント比を最小することと並んで注入モルタルの配合設計における基本的な条件である。このような意味で、上述のように単位水量が最小となるような $S/(C+F)$ の範囲が存在することは注入モルタルの配合設計において $S/(C+F)$ の選択に一つの条件を附与するものと考えられる。

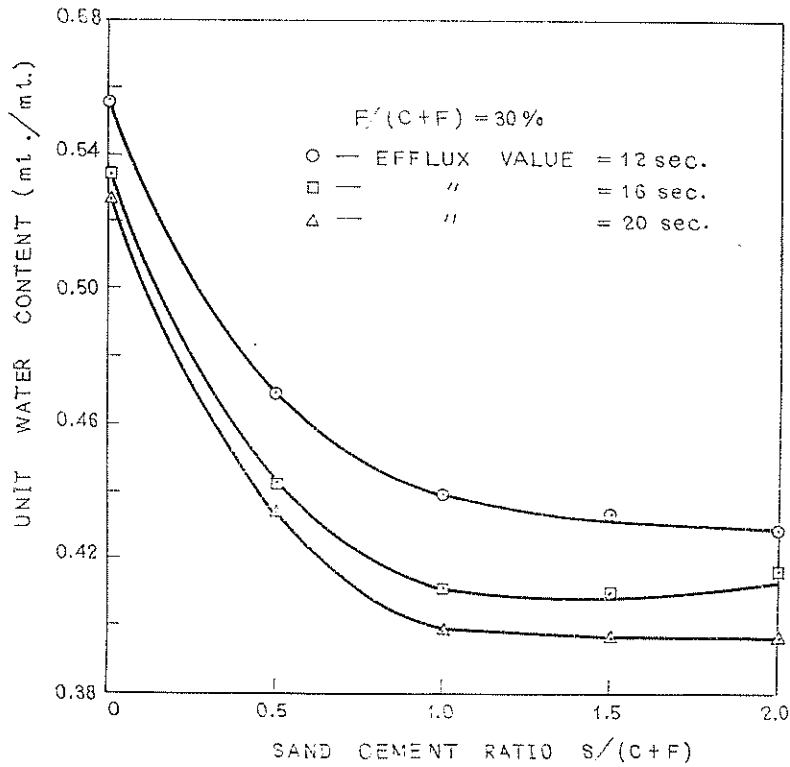
図—4.31Bの試験結果について、各配合の自由水量係数を求め、これと $S/(C+F)$ との関係と調べると図—4.33が得られ、流動性を一定とした注入モルタルの自由水量係数は $S/(C+F)$ にほぼ比例して増加することが分る。この関係は4.2 a) および4.3 a) に述べた $S/(C+F)$ を一定とした注入モルタルの流動性と自由水量係数との関係と著しく相違するが、この点について次のようなことが考察される。

流動状態の注入モルタルはこれを一種の粘性流体とみなし得るが、³²⁾ この流体の粘性を構成する要素は、水の粘性、水と注入モルタルを構成する各種微粒子間の摩擦抵抗、および各種微粒子相互間の摩擦抵抗等である。しかし、セメントとフライアッシュはその物理的性質が類似して居り、これを水と十分に練りまぜることによつて

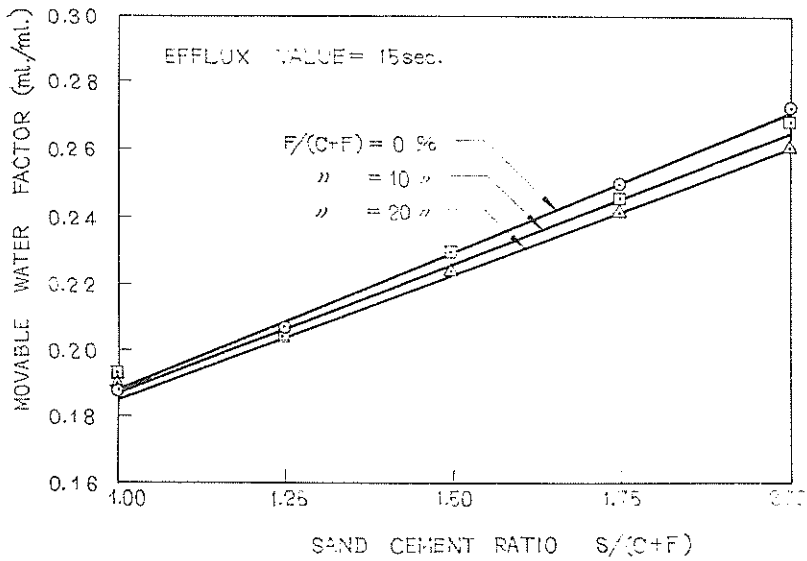


図—4.31 流動性を一定とした注入モルタルの砂セメント比との関係
Sand Cement Ratio vs. Water Requirement of Intrusion
Mortar (Consistency=Const.)

ほぼ均質なペーストが得られるので、モルタルの粘性はペーストの粘性、ペーストと砂粒子間の摩擦抵抗および砂粒子相互間の摩擦抵抗の総和と考えることができる。したがって、もし単位容積の注入モルタルの中で砂粒子の占める容積が一定ならば砂粒子とペースト間および砂粒子相互間の摩擦抵抗はほぼ一定となり、注入モルタルの粘性はペーストの粘性によつて支配される。表—4.13A~Cからも明らかのように、 $S/(C+F)$ を一定として $W/(C+F)$, $F/(C+F)$ あるいはその両比を変化せしめる場合には砂粒子によつて占められる絶対容積はほぼ一定である。このような条件の下では注入モルタルの流動性の変化はペーストの流動性の変化によるもので、4.3a) で述べたように流動性と自由水量係数との間には一次的比例関係が成立する。しかし、 $S/(C+F)$ が変化する場合にはこれに応じて V_s も著しく変化する。たとえば、 $S/(C+F)$ を1.0から2.0に増すと V_s は30~33%増加し(表—4.13D参照)、これに応じて砂粒子表面積の総和も増加し平均粒径が一定であれば砂粒子表面積も V_s と同じ割合で増加する。したがって、 $W/(C+F)$ および $F/(C+F)$ を一定として $S/(C+F)$ のみを



図—4.32 流動性を一定とした注入モルタルの砂セメント比と単位水量との関係
 Sand Cement Ratio vs. Unit Water Content of Intrusion Mortar
 (Consistency=Const.)



図—4.33 流動性を一定とした注入モルタルの砂セメント比と自由水量係数との関係
 Sand Cement Ratio vs. Movable Water Factor of Intrusion Mortar
 (Consistency=Const.)

表-4.13 各種配合の注入モルタルの微粒子絶対容積、保水量および自由水量係数

(A) 図-4.2 参照

配 合 比			単位モルタル量当りの 絶対容積cc/cc				各粒子に保水される量cc/cc				自由水量 係数
$F/(C+F)$	$S/(C+F)$	$W/(C+F)$	V_C	V_F	V_S	V_W	W_{iC}	W_{iF}	W_{iS}	ΣW_i	cc/cc W_m
0.20	1.00	0.48	0.210	0.079	0.314	0.397	0.210	0.024	0.006	0.240	0.157
		0.50	0.207	0.077	0.308	0.302	0.207	0.023	0.006	0.236	0.171
		0.52	0.203	0.076	0.304	0.417	0.203	0.023	0.006	0.232	0.185
		0.54	0.200	0.075	0.229	0.426	0.200	0.022	0.006	0.228	0.198
		0.56	0.197	0.074	0.294	0.435	0.197	0.022	0.006	0.225	0.210
		0.58	0.194	0.073	0.290	0.443	0.194	0.022	0.006	0.222	0.221

(b) 図-4.15参照

配 合 比			単位モルタル量当りの 絶対容積cc/cc				各粒子に保水される量cc/cc				自由水量 係数
$F/(C+F)$	$S/(C+F)$	$W/(C+F)$	V_C	V_F	V_S	V_W	W_{iC}	W_{iF}	W_{iS}	ΣW_i	cc/cc W_m
0	1.00	0.510	0.263	0	0.314	0.423	0.263	0	0.006	0.269	0.154
0.1		0.500	0.236	0.038	0.313	0.413	0.236	0.011	0.006	0.253	0.160
0.2		0.490	0.209	0.078	0.311	0.402	0.209	0.023	0.006	0.238	0.164
0.3		0.480	0.181	0.116	0.310	0.392	0.181	0.035	0.006	0.222	0.170
0.4		0.470	0.155	0.155	0.308	0.382	0.155	0.046	0.006	0.207	0.175
0.5		0.460	0.129	0.192	0.307	0.373	0.129	0.057	0.006	0.192	0.181
0	1.50	0.625	0.210	0	0.376	0.414	0.210	0	0.008	0.218	0.196
0.1		0.610	0.189	0.031	0.376	0.404	0.189	0.009	0.008	0.206	0.198
0.2		0.595	0.168	0.063	0.376	0.394	0.168	0.019	0.008	0.195	0.199
0.3		0.585	0.146	0.094	0.374	0.386	0.146	0.028	0.008	0.182	0.204
0.4		0.570	0.126	0.125	0.374	0.375	0.126	0.039	0.008	0.173	0.202
0.5		0.555	0.105	0.156	0.374	0.365	0.105	0.047	0.008	0.160	0.205
0	2.00	0.780	0.171	0	0.408	0.420	0.171	0	0.008	0.179	0.241
0.1		0.760	0.155	0.025	0.409	0.411	0.155	0.007	0.008	0.170	0.241
0.2		0.740	0.138	0.052	0.410	0.401	0.138	0.016	0.008	0.162	0.239
0.3		0.720	0.121	0.076	0.412	0.391	0.121	0.023	0.008	0.152	0.239
0.4		0.700	0.104	0.103	0.412	0.381	0.104	0.031	0.008	0.143	0.238
0.5		0.680	0.087	0.129	0.413	0.371	0.087	0.039	0.008	0.134	0.237

(c) 図-4.22参照

配 合 比			単位モルタル量当りの 絶対容積cc/cc				各粒子に保水される量cc/cc				自由水量 係数
$F/(C+F)$	$S/(C+F)$	$W/(C+F)$	V_C	V_F	V_S	V_W	W_{iC}	W_{iF}	W_{iS}	ΣW_i	cc/cc W_m
0	1.00	0.51	0.264	0	0.314	0.423	0.264	0	0.006	0.270	0.153
0.1		0.234	0.038	0.310	0.417	0.234	0.011	0.006	0.251	0.166	
0.2		0.205	0.077	0.306	0.412	0.205	0.013	0.006	0.234	0.178	
0.3		0.177	0.113	0.302	0.407	0.177	0.034	0.006	0.217	0.190	
0.4		0.150	0.150	0.298	0.402	0.150	0.045	0.006	0.201	0.201	
0.5		0.124	0.184	0.295	0.397	0.124	0.055	0.006	0.185	0.212	
0	1.00	0.56	0.253	0	0.302	0.446	0.253	0	0.006	0.259	0.187
0.1		0.225	0.037	0.298	0.441	0.225	0.011	0.006	0.242	0.199	
0.2		0.197	0.074	0.294	0.435	0.197	0.022	0.006	0.225	0.210	
0.3		0.170	0.109	0.291	0.430	0.170	0.033	0.006	0.209	0.221	
0.4		0.145	0.144	0.287	0.424	0.145	0.043	0.006	0.194	0.230	
0.5		0.119	0.178	0.284	0.419	0.119	0.053	0.006	0.178	0.241	
0	1.00	0.61	0.243	0	0.290	0.467	0.243	0	0.006	0.249	0.218
0.1		0.216	0.036	0.287	0.462	0.216	0.011	0.006	0.233	0.229	
0.2		0.190	0.071	0.283	0.456	0.190	0.021	0.006	0.217	0.239	
0.3		0.164	0.105	0.280	0.451	0.164	0.031	0.006	0.201	0.250	
0.4		0.139	0.139	0.277	0.445	0.139	0.042	0.006	0.187	0.258	
0.5		0.115	0.171	0.274	0.441	0.115	0.051	0.006	0.172	0.269	

(D) 図-4.33B参照

配 合 比			単位モルタル量当りの 絶対容積cc/cc				各粒子に保水される水量cc/cc				自由水量 係 cc/cc W_m
$F/(C+F)$	$S/(C+F)$	$W/(C+F)$	V_C	V_F	V_S	V_W	W_{iC}	W_{iF}	W_{iS}	ΣW_i	
0	1.00	0.56	0.253	0	0.302	0.446	0.253	0	0.006	0.259	0.187
	1.25	0.62	0.225	0	0.336	0.439	0.225	0	0.007	0.232	0.207
	1.50	0.69	0.202	0	0.360	0.438	0.202	0	0.007	0.209	0.229
	1.75	0.77	0.182	0	0.379	0.440	0.182	0	0.008	0.190	0.250
	2.00	0.86	0.164	0	0.392	0.444	0.164	0	0.008	0.172	0.272
0.1	1.00	0.55	0.227	0.037	0.300	0.436	0.227	0.011	0.006	0.244	0.192
	1.25	0.60	0.203	0.033	0.337	0.426	0.203	0.010	0.007	0.220	0.206
	1.50	0.67	0.182	0.030	0.362	0.427	0.182	0.009	0.007	0.198	0.229
	1.75	0.74	0.165	0.027	0.382	0.426	0.165	0.008	0.008	0.181	0.245
	2.00	0.83	0.149	0.025	0.395	0.432	0.149	0.007	0.008	0.164	0.268
0.2	1.00	0.53	0.202	0.076	0.301	0.421	0.202	0.023	0.006	0.231	0.190
	1.25	0.58	0.181	0.068	0.338	0.413	0.181	0.020	0.007	0.208	0.205
	1.50	0.64	0.163	0.061	0.365	0.411	0.163	0.018	0.007	0.188	0.223
	1.75	0.71	0.148	0.055	0.385	0.413	0.148	0.016	0.008	0.172	0.241
	2.00	0.79	0.134	0.050	0.400	0.417	0.134	0.015	0.008	0.157	0.260

増加する場合には注入モルタルの流動性は当然減少することが予想され、これは実験的にも容易に確かめられる。逆に $S/(C+F)$ を増加し、しかも流動性を一定に保つにはペーストの粘性を減少して増加した摩擦抵抗を相殺することが必要となる。ペーストの水による稀釈、すなわち $W/(C+F)$ の増加はこれに相当する。ペーストと砂粒子間および砂粒子相互間の摩擦抵抗は砂粒子表面積の総和に比例するものと仮定すると $S/(C+F)$ を 1.00 から 2.00 に増すことによる摩擦抵抗の増加は $F/(C+F)=0, 10, 20\%$ のそれぞれに対し 30, 32, 33% である。一方、この場合のペースト濃度の減少はそれぞれ 35, 34, 33% であり、これは摩擦抵抗の増加率とほぼ等しく、以上に述べた考察結果を裏付けるものと解される。

表-4.14 砂セメント比、単位水量、自由水量係数の関係

$F/(C+F)$ (%)	$S/(C+F)$	$W/(C+F)$ (%)	流出時間 (sec)	ブリージング率 (%)	単位水量 (cc/cc)	自由水量係数 (cc/cc)
30	0	42.0	11.8	2.7	0.536	0.199
	0.5	49.0	11.7	3.5	0.469	0.212
	1.0	59.0	11.6	6.0	0.444	0.239
	1.5	71.5	11.6	8.3	0.434	0.266
	2.0	84.0	11.5	10.4	0.428	0.285
30	0	38.5	16.1	1.2	0.514	0.161
	0.5	44.0	15.6	1.5	0.443	0.172
	1.0	51.5	15.9	2.9	0.410	0.193
	1.5	64.5	15.6	5.5	0.409	0.234
	2.0	79.5	15.8	3.0	0.415	0.269
30	0	37.5	19.1	0.8	0.507	0.151
	0.5	42.5	19.2	1.0	0.434	0.161
	1.0	49.0	20.4	2.4	0.398	0.177
	1.5	61.0	20.1	4.9	0.396	0.216
	2.0	73.5	19.8	7.4	0.396	0.245

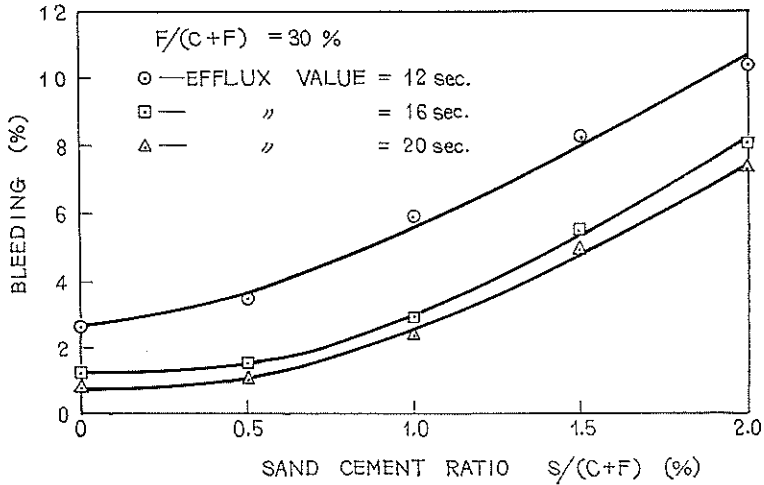


図-4.34 流動性を一定とした注入モルタルの砂セメント比とブリージング率との関係
Sand Cement Ratio vs. Bleeding of Intrusion Mortar (Consistency=Const.)

b) ブリージング率におよぼす影響

表-4.14は流動性を一定とした注入モルタルのブリージング試験結果で、 $F/(C+F)=30\%$ の場合である。これより $S/(C+F)$ とブリージング率との関係を求めると図-4.34が得られ、ブリージング率が $S/(C+F)$ の増加に応じて増大することが分る。ブリージング率の増大が必ずしも単位水量の増加によるものでないことは図-4.35に示した単位水量とブリージング率との関係よりも明らかである。たとえば、流出時間が16および20secの場合には $S/(C+F)=0\sim 1.0$ の範囲では単位水量は著しく減少するが、ブリージング率にはほとんど変化がない。しかし、 $S/(C+F)=1.0\sim 2.0$ の範囲では単位水量はほぼ一定となり、ブリージング率は $S/(C+F)$ の増加に伴って著しく増加している。一方、同図の実線が示すように、 $S/(C+F)$ が一定であればブリージング率は単位水量にほぼ比例して増加する。これらのことは単位水量とブリージング率との関係が前提とする条件次第で全く相反する関係になり得ることを示している。

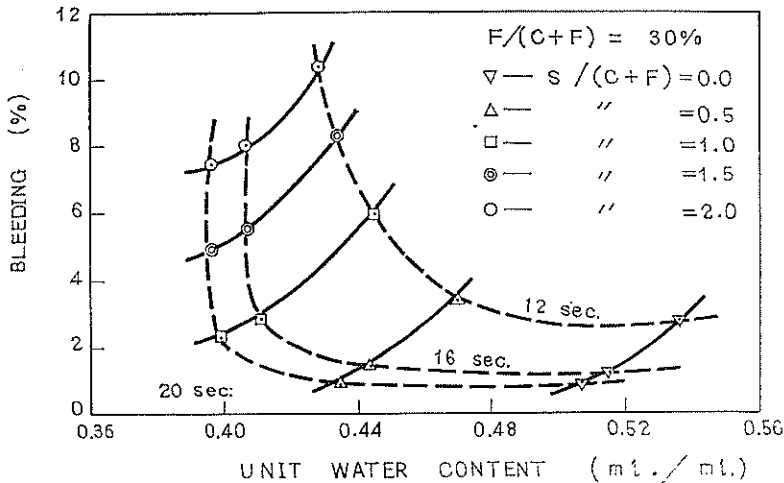
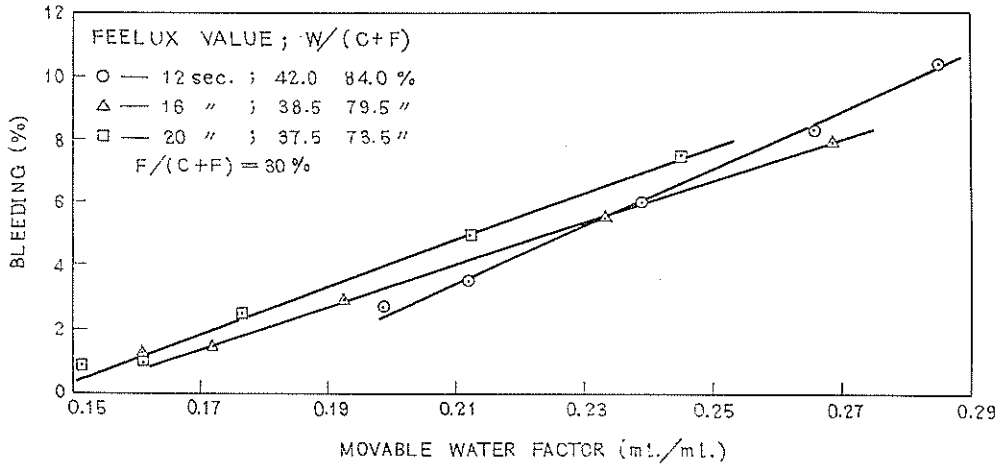
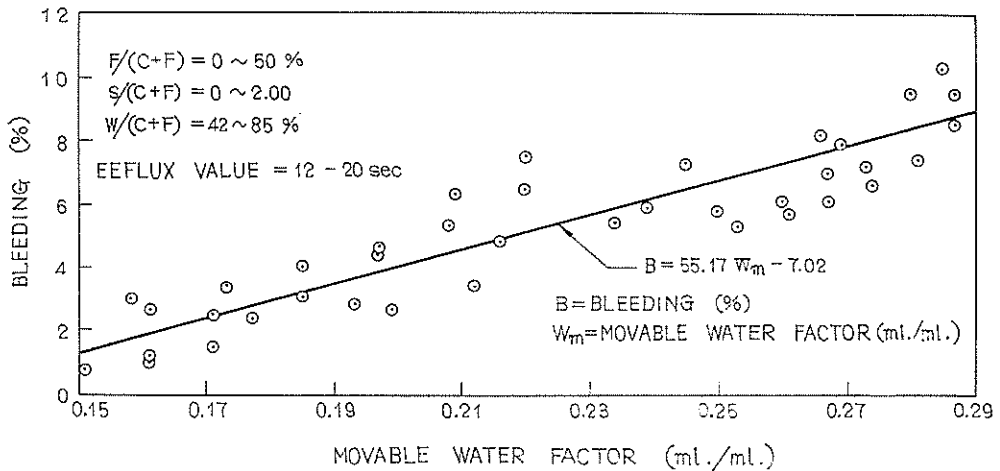


図-4.35 流動性を一定とした注入モルタルの単位水量とブリージング率との関係
(点線は同一流出時間を示す)
Unit Water Content vs. Bleeding of Intrusion Mortar (Consistency=const.)



図—4.36 流動性を一定とした注入モルタルの自由水量係数とブリージング率との関係（砂セメント比を変えた場合，表—4.14参照）
Movable Water Factor vs. Bleeding of Intrusion Mortar (Consistency=const., Refer to Table-4.14)



図—4.37 自由水量係数とブリージング率との関係（表—4.1, 4.6, 4.14参照）
Movable Water Factor vs. Bleeding of Intrusion Mortar
(Refer to Tables-4.1, 4.6, 4.14)

図—4.34に示した結果について各配合の自由水量係数を求め、ブリージング率との関係を調べると図—4.36が得られ、ブリージング率が自由水量係数にほぼ比例することが分る。この場合、注入モルタルの流動性が一定であつても、ブリージング率が $S/(C+F)$ を一定とした場合と違ってブリージング率は一定とならない。これは4.4 a)に考察したような理由により自由水量係数が $S/(C+F)$ に比例して増加することによるものである。4.2 b) および4.3 b) においてはそれぞれ $W/(C+F)$ および $F/(C+F)$ が注入モルタルのブリージング率におよぼす影響について検討を加え、いずれの場合にもブリージング率は自由水量係数に比例することが明らかにした。そこで、 $F/(C+F)$ 、 $W/(C+F)$ 、 $S/(C+F)$ あるいは流出時間のいずれかを一定とすることを条件として求められた自由水量係数とブリージング率との関係（表—4.1, 4.6, 4.14）について、これらの条件を無視し、同種の試験結果として整理すると図—4.37が得られる。すなわち、ブリージング率と自由水量係数との間には—

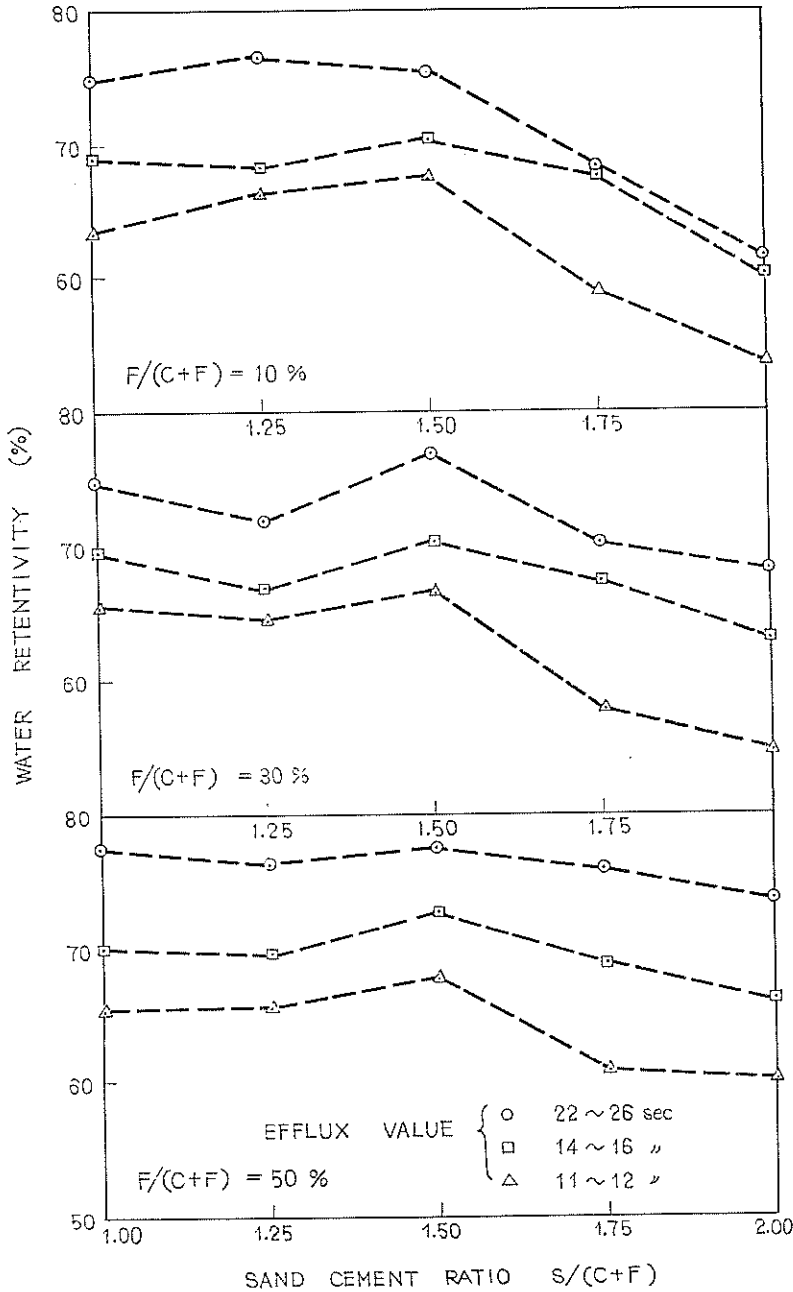
表—4.15A 砂セメント比を変えた場合の保水性試験結果と自由水量係数

(流出時間ならびに保水性は3個の試験値の平均)

$F/(C+F)$ (%)	$S/(C+F)$	$W/(C+F)$ (%)	流出時間 (sec)	保水性 (%)	単位水量 (cc/cc)	自由水量係数 (cc/cc)
0	1.00	51	24.4	75.5	0.423	0.151
	1.25	54	24.9	79.1	0.405	0.115
	1.50	65	25.5	75.5	0.423	0.205
	1.75	71	25.0	70.4	0.420	0.220
	2.00	78	22.7	61.0	0.420	0.237
0	1.00	56	14.3	69.3	0.446	0.187
	1.25	60	14.6	72.1	0.431	0.196
	1.50	70	15.8	70.4	0.441	0.233
	1.75	76	14.8	64.0	0.437	0.246
	2.00	83	15.0	56.8	0.435	0.260
0	1.00	61	11.5	63.8	0.467	0.218
	1.25	64	13.1	68.1	0.447	0.218
	1.50	75	12.4	67.8	0.458	0.257
	1.75	81	12.3	58.7	0.425	0.266
	2.00	88	12.1	53.3	0.450	0.279
10	1.00	50	25.8	74.8	0.413	0.159
	1.25	55	27.8	76.5	0.405	0.177
	1.50	65	25.5	75.5	0.149	0.219
	1.75	72	24.3	68.5	0.420	0.237
	2.00	78	23.2	61.5	0.417	0.249
10	1.00	55	14.3	69.1	0.436	0.192
	1.25	60	14.4	68.2	0.426	0.206
	1.50	70	15.8	70.4	0.437	0.242
	1.75	77	15.6	67.7	0.436	0.258
	2.00	83	14.9	59.9	0.432	0.268
10	1.00	60	12.1	63.6	0.457	0.222
	1.25	65	12.2	66.4	0.446	0.023
	1.50	75	12.4	67.8	0.454	0.266
	1.75	82	12.2	58.8	0.452	0.280
	2.00	88	12.4	53.5	0.446	0.286
20	1.00	49	27.7	73.5	0.402	0.164
	1.25	53	23.0	75.8	0.392	0.176
	1.50	59	22.6	75.4	0.392	0.196
	1.75	71	22.4	67.0	0.412	0.240
	2.00	74	20.1	64.2	0.401	0.240
20	1.00	54	14.2	68.1	0.425	0.197
	1.25	60	15.5	71.1	0.422	0.217
	1.50	64	14.8	70.7	0.411	0.223
	1.75	76	14.7	65.0	0.429	0.262
	2.00	79	14.5	59.0	0.416	0.257
20	1.00	59	11.6	63.1	0.448	0.227
	1.25	63	11.7	66.3	0.434	0.233
	1.50	69	11.9	66.0	0.429	0.246
	1.75	81	12.0	60.4	0.445	0.283
	2.00	84	11.6	54.0	0.481	0.287

表-4.15B 砂セメント比を変えた場合の保水性試験結果と自由水量係数
(流出時間ならびに保水性は3個の試験値の平均)

$F/(C+F)$ (%)	$S/(C+F)$	$W/(C+F)$ (%)	流出時間 (sec)	保水性 (%)	単位水量 (cc/cc)	自由水量係数 (cc/cc)
30	1.00	48	28.6	74.8	0.392	0.170
	1.25	54	23.4	71.9	0.392	0.193
	1.50	58	22.7	76.9	0.384	0.201
	1.75	70	25.0	70.2	0.405	0.243
	2.00	71	23.3	68.2	0.388	0.236
30	1.00	53	1.50	69.5	0.416	0.203
	1.25	59	14.2	66.7	0.413	0.221
	1.50	63	14.7	70.4	0.403	0.227
	1.75	75	15.5	67.2	0.422	0.265
	2.00	79	14.5	63.1	0.414	0.268
30	1.00	56	11.3	65.6	0.430	0.221
	1.25	64	12.0	64.5	0.433	0.247
	1.50	68	12.1	66.6	0.422	0.251
	1.75	80	11.9	57.7	0.438	0.286
	2.00	81	12.2	54.7	0.419	0.274
40	1.00	47	23.6	75.1	0.382	0.175
	1.25	52	27.8	74.9	0.739	0.190
	1.50	58	24.3	73.3	0.379	0.209
	1.75	69	23.6	71.7	0.398	0.247
	2.00	70	21.1	70.3	0.381	0.240
40	1.00	51	14.3	71.3	0.402	0.201
	1.25	57	15.8	68.9	0.400	0.219
	1.50	63	14.3	69.1	0.399	0.235
	1.75	74	15.6	64.8	0.415	0.268
	2.00	75	14.7	63.2	0.397	0.258
40	1.00	56	11.5	66.2	0.424	0.230
	1.25	62	12.3	64.6	0.420	0.244
	1.50	68	11.5	64.7	0.417	0.258
	1.75	79	12.5	60.7	0.431	0.289
	2.00	83	11.5	58.1	0.422	0.288
50	1.00	45	28.5	77.6	0.367	0.173
	1.25	51	21.8	76.4	0.370	0.197
	1.50	63	23.7	77.6	0.395	0.243
	1.75	69	24.7	76.0	0.395	0.255
	2.00	68	20.8	73.7	0.371	0.237
50	1.00	51	16.5	70.0	0.397	0.212
	1.25	56	16.2	69.5	0.392	0.224
	1.50	68	14.8	72.9	0.414	0.267
	1.75	74	16.1	68.8	0.411	0.276
	2.00	76	14.7	65.8	0.397	0.269
50	1.00	55	11.7	65.4	0.415	0.235
	1.25	61	12.9	65.2	0.412	0.250
	1.50	73	12.2	97.8	0.431	0.288
	1.75	79	12.5	60.6	0.427	0.296
	2.00	81	11.6	59.9	0.412	0.287

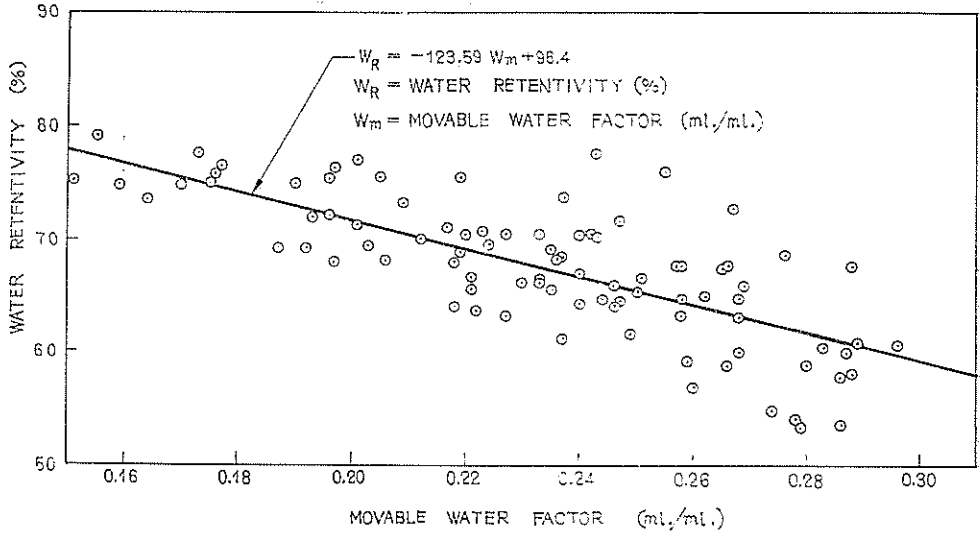


図—4.38 流動性を一定とした注入モルタルの砂セメント比と保水性との関係
 Sand Cement Ratio vs. Water Retentivity of Intrusion Mortar
 (Consistency=const.)

次の順相関々係（相関係数=0.909）が成立し、両者の間には

$$B=55.17W_m-7.02 \dots \dots \dots (4.16)$$

なる式関係が求められた。ここで、 B はブリージング率(%), W_m は自由水量係数(cc/cc)を表わし、この関係は $F/(C+F)$, $S/(C+F)$ および $W/(C+F)$ の大小に関わりなく成立する。云い換えれば、注入モルタルのブリージング率は単位水量よりセメント、フライアッシュ、砂などの微粉末粒子表面に物理的ないし化学的に吸着され



図—4. 39 注入モルタルの保水性と自由水量係数との関係(表—4. 15参照)
Movable Water Factor vs. Water Retentivity of Intrusion
Mortar (Refer to Table-4. 15)

て動かないと考えられる水量，すなわち保水量を差引いた残りの水量(自由水量)に比例すると考えてよい。

c) 保水性におよぼす影響

表—4. 15A, Bは $F/(C+F)$ と流動性を一定として $S/(C+F)$ を変えた場合の保水性試験結果で，同表には単位水量および自由水量係数の計算結果も示されている。表—4. 15の試験結果の一部を図示すると図—4. 38が得られ，保水性は $S/(C+F)$ の増加に伴って減少する傾向にあることが分る。両者の関係は必ずしも単調ではないが，これは試験値の変動によるものと考えられる。 $S/(C+F)$ の増加に伴う保水性の減少はブリージング率の増加とほぼ同様な機構によるもので， $S/(C+F)$ にほぼ比例して自由水量係数が増加することに起因すると考えられる。図—4. 39は表—4. 15より保水性と自由水量係数との関係を求めたもので，保水性は自由水量係数の増加に伴って一次的に減少し，両者の間には次のような実験式が得られた。

$$W_R = -123.59 W_m + 96.4 \quad (\%) \dots\dots\dots (4. 17)$$

ここで， W_R は保水性(%)を， W_m は自由水量係数を表わす。

ここで4. 2c)述べた保水性とブリージング率との関係について検討してみよう。

4. 2c)では保水性とブリージング率の関係式として(4. 18)式が得られている。

$$B = -0.306 W_R + 26.5 \quad (\%) \dots\dots\dots (4. 18)$$

4. 4b)では自由水量係数とブリージング率の間には(4. 16)式が得られ，これは一般に(4. 19)式で表わされる。

$$B = 55.17 W_m - 7.02 \quad (\%) \dots\dots\dots (4. 16)$$

$$B = p W_m - q \quad (\%) \dots\dots\dots (4. 19)$$

一方，保水性と自由水量係数の間には一次的逆相関の関係が成立し，4. 4c)では(4. 17)式が得られ，4. 2c)では(4. 20)式が得られた。

$$W_R = -125.04 W_m + 96.8 \quad (\%) \dots\dots\dots (4. 20)$$

したがって，保水性と自由水量係数との間には(4. 21)式のような一般式が成立する。

$$W_R = -p' W_m + q' \quad (\%) \dots\dots\dots (4. 21)$$

ここで p , q , および p' , q' はそれぞれ定数である。(4.19) および (4.21) 式から W_m を消去すると保水性とブリージング率 B との間には

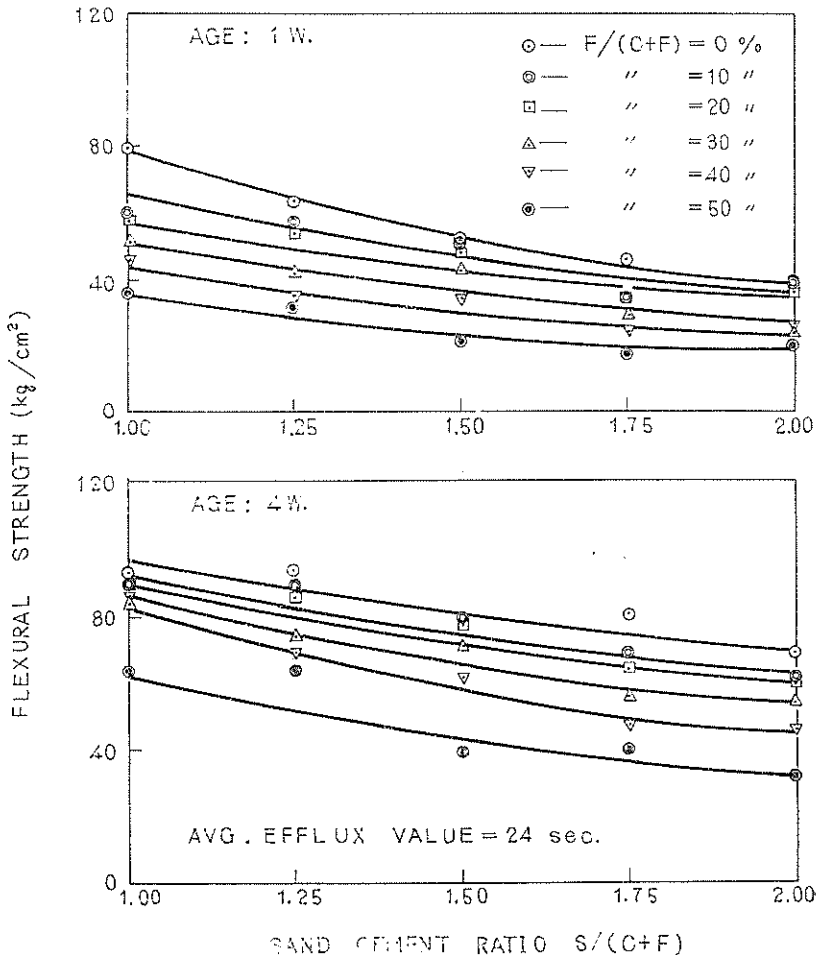
$$B = -\frac{p}{p'} W_R + \frac{1}{p'} (pq' - p'q) (\%) \dots\dots\dots(4.22)$$

なる関係が成立し、 B は W_R についての一次式で表わされる。(4.22) 式において、たとえば $p=55.17$, $q=7.02$, $p'=125.04$, $q'=96.8$ 代入すると、

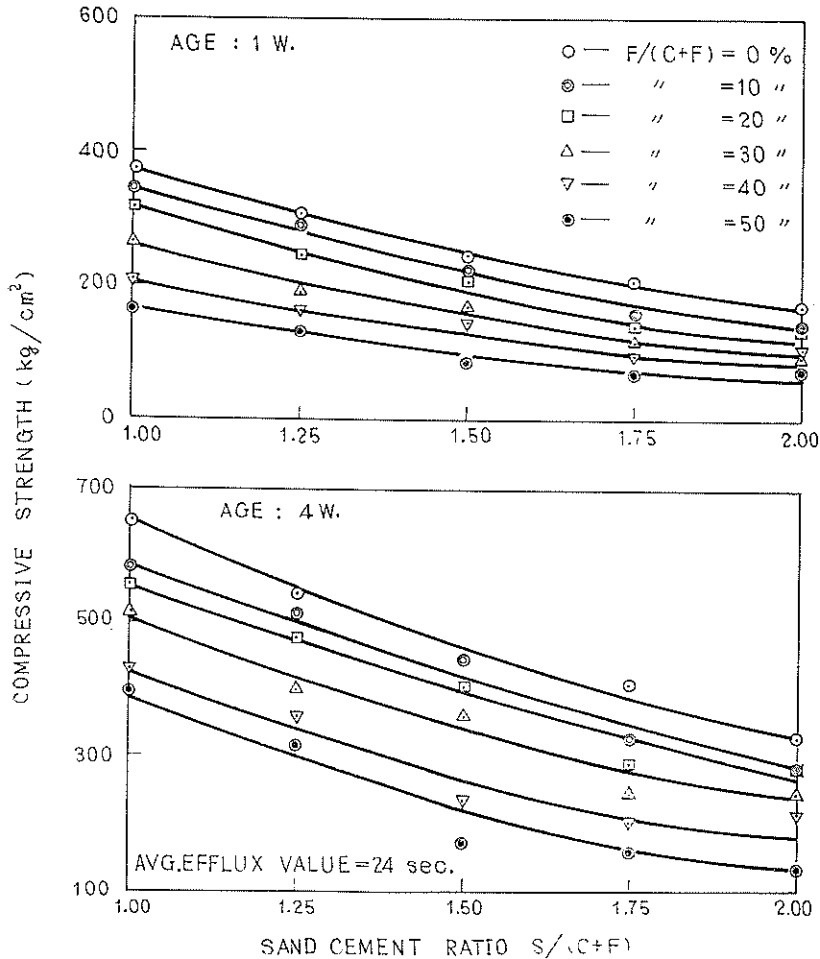
$$B = -0.441 W_R + 35.7 \dots\dots\dots(4.23)$$

となつて、実験式 (4.18) に比較的近似した式が得られる。このことはブリージング率および保水性についての自由水量係数の概念による機構的な説明の妥当性を実験的に裏付けるものと解され、同時に本研究において定義した所の注入モルタルの保水性なる量が、モルタルの材料分離の生じ難さの程度を示す指数としてほぼ適当なものであることを実証するものと考えられる。

一般に知られているように、プレバッド・コンクリートの最も大きな欠点の一つとして打上り面附近における強度の減少が挙げられる。これはブリージング水が上部に集中することや上部におけるモルタル膨張拘束の程度の減少などによるものであるが、特にブリージング水の影響が大きい。^{16,20} これは普通のコンクリートの場合にも生ずるもので、プレバッド・コンクリートのみならず、プレバッド・コンクリートの場合



図—4.40 流動性を一定とした注入モルタルの砂セメント比と曲げ強度との関係
 Sand Cement Ratio vs. Flexural Strength of Intrusion Mortar
 (Consistency=const.)



図—4.41 流動性を一定とした注入モルタルの砂セメント比と圧縮強度との関係
Sand Cement Ratio vs. Compressive Strength of Intrusion Mortar
(Consistency=const.)

にはその程度が多少大きいものようである。その対策として幾つかの表面処理方法が行われているがいずれも完全なものではなく、保水性が大きく、ブリージング率の少ない配合のモルタルを注入することが最も重要である。この点に関して $S/(C+F)$ と保水性ないしブリージング率との関係は注入モルタルの配合設計における $S/(C+F)$ 選択の基準を与えるものの一つであると考えられる。

d) 曲げおよび圧縮強度におよぼす影響

$F/(C+F)$ を一定とし、更に流動性が一定となるように $W/(C+F)$ を変えた場合の $S/(C+F)$ と曲げおよび圧縮強度との関係は図—4.40および図—4.41に示した通りである。これらは平均流出時間が 24sec で材令が 1 週および 4 週の場合であるが、基準とする流出時間ないし材令が変わってもほぼ同様な関係が得られることは表—4.3A, Bより容易に観察できる。

これらの関係は注入モルタルの曲げおよび圧縮強度のいずれも $S/(C+F)$ の増加に伴って減少することを示し、両者の関係はほぼ直線的である。これより $S/(C+F)=0.1$ の増加に対する強度の減少率を求めると表—4.16が得られ、圧縮強度の減少率は 4~6%, 曲げ強度のそれは 2~5%の範囲にある。 $S/(C+F)$ の増加に伴うセメント水比の変化量から $A(C+F)/W$ を求め、これを 4.2e) に述べた圧縮強度~ $(C+F)/W$ の関係に代入して強度の減少率を計算すると、当然のことながら、その値は表—4.16の値とほぼ一致する。このことは図—

4.40, 41に示した砂セメント比～強度の関係はみかけのものであつて、基本的には砂セメント比の変化に伴う水セメント比の変化に帰着されることを意味する。云い換えれば、注入モルタルの強度は、流動性一定の条件下では水セメント比およびフライアッシュ混和率によつて定まると云つてよい。

表-4.16 砂セメント比の増加0.1についての強度減少率(%) (砂セメント比1.00の場合を基準とした場合)

$F/(C+F)$ (%)	平均流出時間 (sec)	$\Delta(C+F)/W$	曲 げ			圧 縮			
			7 日	28 日	91 日	7 日	28 日	91 日	
0	24	0.067	3.9	2.6	1.8	5.7	4.9	4.1	
	15	0.059	3.8	2.0	0.7	5.6	4.5	3.9	
	12	0.050	4.7	2.0	2.5	5.7	4.7	4.1	
10	24	0.071	4.0	3.1	2.5	6.0	5.2	4.6	
	15	0.062	3.8	2.8	2.6	5.6	5.2	4.2	
	12	0.053	4.6	2.8	2.6	6.1	5.3	4.4	
20	24	0.069	4.1	3.1	2.5	5.8	4.9	4.3	
	15	0.058	4.5	2.7	2.8	5.6	4.9	4.0	
	12	0.050	3.9	3.0	2.8	5.2	5.1	4.6	
30	24	0.067	4.7	3.6	2.9	5.7	5.4	4.5	
	15	0.057	4.8	3.5	1.9	5.4	4.9	4.3	
	12	0.049	4.3	3.0	2.5	4.9	5.0	4.0	
40	24	0.074	4.3	4.8	3.1	5.9	5.3	5.5	
	15	0.063	5.3	4.4	3.2	6.0	5.8	5.1	
	12	0.054	4.4	4.3	1.5	4.9	5.1	5.2	
50	24	0.075	5.5	5.1	2.4	6.1	6.6	4.8	
	15	0.063	5.2	4.2	1.2	6.1	5.7	4.7	
	12	0.053	5.6	4.9	1.3	5.9	6.2	4.8	
最 最 平	大小均 値	—	0.075	5.6	5.1	3.2	6.1	6.6	5.1
	—	—	0.050	3.8	2.0	0.7	4.9	4.5	3.9
	—	—	0.061	4.5	3.4	2.3	5.7	5.3	4.4

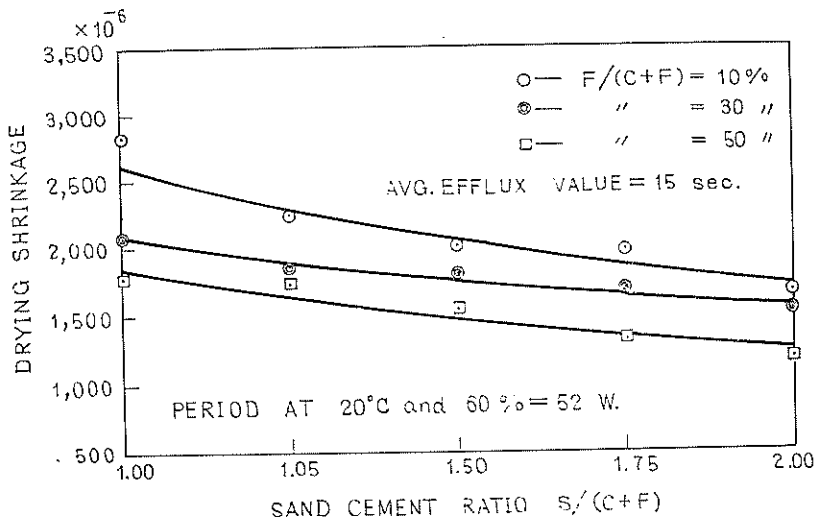


図-4.42 砂セメント比変化が乾燥収縮におよぼす影響
Sand Cement Ratio vs. Drying Shrinkage of Intrusion Mortar

e) 乾燥収縮におよぼす影響

流動性を一定として $S/(C+F)$ を増加する場合には所要の $W/(C+F)$ は、4.4 a) で明らかにしたように、 $S/(C+F)$ にほぼ比例して増加するが、単位水量自体は $S/(C+F)=1.0\sim 2.0$ の範囲ではほとんど変化しない。一方、単位セメント量は表-4.13Dから観察されるように、 $S/(C+F)$ の増加に応じてほぼ一次的に減少する。し

たがって流動性を一定として $S/(C+F)$ を増加する場合、注入モルタルの乾燥収縮は $S/(C+F)$ の増加に応じて減少するものと考えられる。図-4.42 は $S/(C+F)$ と長さ変化率との関係についての試験結果であるが、長さ変化率は $S/(C+F)$ の増加に伴ってほぼ一次的に減少することを示している。この場合の単位セメント量の減少は $S/(C+F)$ の変化量 1.0 について 33% 程度であり、これに対する長さ変化率の減少は 27~36%, 平均 32% となつて両者はほぼ一致する。この点に関して、ASTM C 9 委員会はその“コンクリートおよびコンクリート用骨材の試験および諸性質の意義に関する報告”³³⁾ の中で単位セメント量の増加は一般に乾燥収縮を増加し、その影響の程度はニートペースト、モルタル、コンクリートの順にほぼ 5 : 2 : 1 であると指摘し、更にコンクリートの乾燥収縮は単位セメント量にほぼ比例して増加し、その割合は単位セメント量増加率の $\frac{1}{2}$ 程度であると報告している。本試験結果を単位セメント量の変化の点から検討すると、先にも述べたように長さ変化率の減少率は単位セメント量のそれとはほぼ等しく、上述の報告と極めてよく一致している。

4. 5 実験結果の注入モルタルの配合設計および施工管理に対する適用

4.2~4.4において注入モルタルの配合比の中で、水セメント比、フライアッシュ混和率および砂セメント比と諸性質との関係について検討した。その結果よりこれらの配合比の変化によつて注入モルタルの諸性質がかなり広範囲に亘つて変化することが明らかにされた。このことはこれらの配合比を適当に組合わせることによつて所要の性質を備えた注入モルタルが得られることを示すものと云える。以下で、これらの結果を総括し、これについて注入モルタルの配合設計ならびに施工管理の観点から考察を加えてみよう。

a) 水セメント比について

注入モルタルの流動性を表示する方法として、一般に特定寸法の漏斗状水槽からの流出時間を以て表示する方法が採用されて居り、本研究で用いた試験装置もその一種であるが、これによる場合には注入モルタルの流動性の変化を適正に評価できる流出時間の範囲は 12~26sec 程度である。プレバクド・コンクリートの施工においてモルタル注入の容易さのみを問題とする場合には流出時間は短いもの程有利となるが、これは一般に他の諸性質と矛盾する。すなわち、同率のフライアッシュ混和率および砂セメント比を用いる限りにおいては、上述の流出時間の下限に近づくに従つてより大きな水セメント比を必要とし、このような配合はブリージング率、保水性、強度および乾燥収縮を増大する傾向にある。他方、流動性を除く他の諸性質を基準として配合比を定める場合には流出時間はできるだけ大きい値が望ましい。云い換えれば、施工上必要とされる流動性を定めるための絶対的な基準は存在しない。施工管理の観点からは配合比の変化が適当な鋭感性を以て流出時間の変化として反映されるような範囲の流動性であることが必要となる。実験結果は 16~22sec の範囲では、配合比の変化を水セメント比の変化のみに限定すれば、流出時間の変化 $\pm 1 \text{ sec}$ は $\frac{W}{C+F} = \frac{1}{2}\%$ に相当することを示している。実際の施工例では $18 \pm 2 \text{ sec}$ ないし $20 \pm 2 \text{ sec}$ としている例が多く、施工管理の点からはほぼ妥当な値と考えられる。

先にも述べたように、水セメント比の増加は一般に好ましくない影響をもたらす。すなわち、流動性、ブリージング率および乾燥収縮は水セメント比にほぼ比例して増加し、保水性は水セメント比の増加に応じて一次的に減少し、また凝結時間は遅延する。水セメント比の逆数、すなわち、セメント水比と圧縮強度の間には一次的比例関係が認められ、水セメント比の増加は圧縮強度の減少をもたらす。したがって適当とされる流動性が得られる範囲で水セメント比を最小にすることは注入モルタルの配合設計上最も大切な条件となる。

b) フライアッシュ混和率について

セメントにフライアッシュを混入する場合、水セメント比および砂セメント比一定の下では注入モルタルの流動性はフライアッシュ混和率の増加に応じて増大するが、これは同時にブリージング率の増加、保水性の減少をもたらす。これらの関係はいずれも直線的である。凝結時間は混和率の増加に応じてかなり遅延する。圧縮強度および曲げ強度に関しては、材令 1~4 週では強度は混和率の増加に応じてほぼ直線的に減少するが、材令 13 週

では混和率10～30%の範囲で最大に達した。

フライアッシュの混入による流動性の増加を水セメント比の減少によつて相殺して、フライアッシュを用いる場合には水セメント比減少の効果も表われ、ブリージング率および保水性はフライアッシュの混入によつてほとんど影響されない。一方1～4週強度の減少率も多少小さくなり、混和率10%の増加は強度を約10%減少する。13週強度の増加率は幾分顕著になり、混和率20～30%で最大値が得られ、圧縮強度を例にとるとフライアッシュを全く混入せぬものに比較すると107%程度であつた。凝結時間の遅延はやや短縮し、混和率50%における遅延時間は混入せぬものと比較して3～4時間程度である。乾燥収縮は混和率の増加に応じてほぼ直線的に減少し、その割合は混和率10%について8.5%程度である。

したがつて、フライアッシュの混入はその減水効果を十分に利用することを条件として行なうことが適當であり、また適正な混和率は長期強度増進の観点から定めるべきものと思われる。本実験ではこれが20～30%の範囲であつたが、これは従来の施工例で最も多く採用されている範囲とほぼ一致している。

c) 砂セメント比について

流動性を一定として砂セメント比を変えると、所要水セメント比は砂セメント比にほぼ比例して変化し、その割合は砂セメント比0.1について水セメント比2.7%程度である。流動性以外の諸性質はこれによつて著しく影響され、ブリージング率は砂セメント比にほぼ比例して増加し、保水性および強度は砂セメント比の増加に応じてほぼ直線的に減少する。乾燥収縮は水セメント比の増加にも拘わらず減少するが、これは単位セメント量の減少によるもので、砂セメント比の増加に応じてほぼ直線的に減少する。

単位水量と砂セメント比の間には注目すべき関係が認められ、砂セメント比が0～1.0の範囲では単位水量は砂セメント比の増加に応じて急激に減少するが、1.0～2.0の範囲ではほとんど変化せず、1.25～1.50附近で最小値に達し、その値は0.40～0.44cc/cc程度となる。単位水量のこのような変化は砂セメント比の選択に一定の限界を与えるもので、密度が大きく、水密性および耐久性に富むプレバクド・コンクリートを得るためには同比が1.0～2.0の範囲で選択さるべきことを示唆するものと云える。更に前述のような砂セメント比とブリージング率、保水性および強度との関係を考慮すれば同比が1.0～2.0の範囲で下限に近い値であることが望ましい。しかし、その選択は配合設計において基準とする諸性質の許容限界ないし目標値によつても異なるもので、一般に1.0～1.5はの範囲が適當と考えられる。

§ 5 使用材料の品質等が注入モルタルの諸性質におよぼす影響

5. 1 概 要

§4においては注入モルタルの配合を構成する諸配合比の中の $W/(C+F)$, $F/(C+F)$ および $S/(C+F)$ に関して、これらの配合比が注入モルタルの諸性質におよぼす影響について論じた。一般にコンクリートやモルタル等のセメント混合物がセメント、フライアッシュや混和剤の品質によつてかなり影響されることはしばしば経験される所で、注入モルタルも例外ではあり得ない。本章ではこのような使用材料の品質が注入モルタルの諸性質におよぼす影響について論じ、また混和剤としてのセメント分散剤ならびにアルミニウム粉末の使用量と諸性質との関係について述べる。

使用材料の品質の影響を論ずる場合、その品質を何等かの方法で規定する必要がある。たとえば、セメントの場合にはこれをその種別（規格による種別）によつて分類することも一方法であらう。しかし、セメントの組成はかなり複雑で同一種別のセメント、たとえば普通ポルトランドセメントでも製造会社や工場によつて多少の相違が認められ、これを規定することは問題を複雑にするのみで、実験結果の施工への適用上は必ずしも意味のあることではない。フライアッシュ、セメント分散剤あるいはアルミニウム粉末等の混和材料についても同様のことが云える。そこで本実験では、それぞれの代表的な製品を数種づつ選択し、その間における比較試験によつて品質の相違の影響を調査する方法を採用したのである。

5. 2 セメントおよびフライアッシュの品質の相違が注入モルタルの諸性質におよぼす影響

5. 2.1 普通セメントと高炉セメントの比較

表—5. 1はO社O工場製普通ポルトランドセメントとY社高炉セメント（B種）を用いて注入モルタルの諸性質を比較試験した結果である。用いた高炉セメントの高炉スラグ混和率は40%であり、これとの比較を容易にするため普通ポルトランドセメント（以下普通セメントと略称）にはU社のフライアッシュを混入したもの（ $F/(C+F)=20\%$ および40%）も同時に試験した。本試験では $S/(C+F)=1.0, 1.5, 2.0$ の3種にポゾリス No. 8 を $Pozz. 8/(C+F)=0, 0.125, 0.25, 0.375\%$ の4種を組合わせた12種の配合について、流出時間が $16 \pm 0.5 \text{ sec}$ となるように水セメント比を調整し、その流出時間、保水性、ブリージング率、空気量、曲げ強度および圧縮強度を測定した。

表—5. 1 普通ポルトランドセメント、フライアッシュ混入普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントの比較試験結果

配合番号	配合比		所要水セメント比(%)				流出時間(sec)				保水性(%)			
	S (C+F)	P _{o. 8} (C+F) (%)	普通セメント+フライアッシュ(F/(C+F))			高炉セメント	普通セメント+フライアッシュ(F/(C+F))			高炉セメント	普通セメント+フライアッシュ(F/(C+F))			高炉セメント
			0%	20%	40%		0%	20%	40%		0%	20%	40%	
1	1.0	0	53.0	51.0	50.0	54.0	15.9	16.3	16.0	16.1	72.8	72.2	77.3	71.4
2	1.5	0	66.5	64.0	63.0	66.0	16.1	15.7	15.4	15.7	72.8	72.1	71.1	73.4
3	2.0	0	80.0	78.5	76.5	79.5	16.2	15.6	15.8	16.4	61.5	66.2	68.2	67.1
4	1.0	0.125	51.0	50.5	49.5	50.8	16.0	15.8	15.6	16.3	74.5	75.5	72.5	74.0
5	1.5	0.125	65.5	61.5	61.5	62.4	15.7	16.3	16.0	15.9	73.7	71.8	71.4	77.3
6	2.0	0.125	82.0	79.5	75.8	77.0	15.7	15.5	16.2	15.7	67.0	66.1	68.4	69.5
7	1.0	0.25	51.8	50.0	48.0	49.5	16.2	16.0	16.0	16.1	78.9	75.4	74.7	76.1
8	1.5	0.25	65.5	63.0	60.0	61.0	15.3	15.9	16.2	16.1	76.5	74.7	73.8	75.4
9	2.0	0.25	82.0	76.5	72.5	76.0	15.6	15.6	15.6	15.7	69.1	69.0	69.9	70.6
10	1.0	0.375	50.0	46.5	47.5	49.0	15.9	16.1	16.0	15.6	77.8	77.6	78.2	76.6
11	1.5	0.375	61.5	60.0	58.0	60.5	15.7	15.6	15.6	15.6	74.7	74.0	74.9	74.1
12	2.0	0.375	75.5	74.5	71.5	75.5	16.1	15.5	15.8	16.1	72.8	73.8	74.3	74.1

(B)

配合 番号	ブリージング率(%)				空気量(%)				7日曲げ強度(kg/cm ²)				28日曲げ強度(kg/cm ²)			
	普通セメント+ フライアッシュ (F/(C+F))			高炉セ メント	普通セメント+ フライアッシュ (F/(C+F))			高炉セ メント	普通セメント+ フライアッシュ (F/(C+F))			高炉セ メント	普通セメント+ フライアッシュ (F/(C+F))			高炉セ メント
	0%	20%	40%		0%	20%	40%		0%	20%	40%		0%	20%	40%	
1	3.9	4.5	5.0	3.6	0.15	0.23	0.26	0.12	70.4	58.9	45.2	44.9	92.0	82.8	62.9	65.3
2	5.7	5.8	6.7	4.3	0.19	0.17	0.20	0.10	57.6	50.6	33.7	36.5	68.9	69.6	53.2	59.1
3	7.5	9.3	9.6	8.2	0.17	0.18	0.12	0.09	46.6	36.0	22.6	29.9	72.5	55.6	37.7	60.3
4	3.9	4.1	7.2	4.0	0.29	0.23	0.22	0.10	82.1	59.5	45.0	54.9	85.3	80.2	66.0	86.8
5	5.4	6.0	9.1	5.4	0.26	0.18	0.27	0.15	63.1	58.0	34.6	43.5	59.2	67.8	54.1	69.5
6	6.6	9.1	8.4	6.8	0.20	0.23	0.23	0.13	46.6	33.4	22.0	37.3	71.8	55.4	42.6	54.1
7	2.1	3.3	4.9	2.8	0.43	0.27	0.22	0.17	64.2	59.5	43.9	44.1	69.5	67.6	59.8	83.0
8	4.6	5.1	6.6	5.5	0.26	0.20	0.22	0.13	58.5	49.7	34.6	47.6	67.9	65.1	54.9	67.6
9	5.8	7.0	12.7	7.7	0.20	0.20	0.22	0.11	49.4	37.0	30.3	34.0	67.3	55.6	50.5	64.6
10	2.0	2.9	3.7	2.3	0.46	0.36	0.42	0.18	56.5	52.7	42.5	47.7	77.3	77.5	54.7	78.1
11	5.0	5.2	4.7	3.6	0.24	0.28	0.23	0.15	54.7	48.7	31.3	43.7	54.7	68.2	59.1	72.3
12	6.5	6.7	5.6	5.4	0.22	0.25	0.28	0.16	46.5	41.1	25.0	35.9	68.2	59.4	46.5	61.3

(C)

配合 番号	91日曲げ強度(kg/cm ²)				7日圧縮強度(kg/cm ²)				28日圧縮強度(kg/cm ²)				91日圧縮強度(kg/cm ²)			
	普通セメント+ フライアッシュ (F/(C+F))			高炉セ メント	普通セメント+ フライアッシュ (F/(C+F))			高炉セ メント	普通セメント+ フライアッシュ (F/(C+F))			高炉セ メント	普通セメント+ フライアッシュ (F/(C+F))			高炉セ メント
	0%	20%	40%		0%	20%	40%		0%	20%	40%		0%	20%	40%	
1	87.7	88.5	94.8	81.6	378	278	200	202	619	515	351	454	744	698	577	702
2	68.8	86.2	83.1	76.5	278	215	149	155	484	364	236	397	564	541	424	649
3	75.7	77.5	62.5	68.9	208	147	98	108	391	252	156	312	454	380	300	496
4	96.1	94.6	95.0	80.2	404	268	186	242	605	478	380	541	744	707	636	756
5	81.1	80.9	81.9	75.4	284	247	130	183	426	374	280	438	550	590	474	704
6	81.9	72.8	63.7	73.4	185	117	88	146	326	239	182	377	419	387	334	579
7	67.9	91.9	80.0	97.6	380	299	201	265	561	492	373	581	643	622	569	745
8	76.0	76.7	75.9	90.7	295	207	140	207	480	387	270	472	523	533	467	676
9	70.1	70.0	58.3	78.5	201	158	118	138	341	290	236	360	377	407	419	566
10	59.0	92.7	92.3	82.7	374	283	192	223	566	504	322	549	636	647	609	734
11	44.0	72.6	72.7	73.5	282	214	135	193	458	415	296	473	518	605	490	694
12	55.3	74.9	68.8	71.3	202	174	97	132	370	316	200	357	431	464	366	557

* 1) 0社0工場製普通ポルトランドセメント, U社U工場製フライアッシュ, Y社製高炉セメントB種,
(高炉スラグ混和率 $F/(C+F)=40\%$)

- 2) 流出時間, 保水性, ブリージング率および空気量はそれぞれ異なるバッチより採取せる3個の試料の
平均値
- 3) 曲げ強度は同一バッチより採取せる $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ 供試体3個の平均値, 圧縮強度は曲げ強度試験折片
6個の平均値
- 4) セメント分散剤はボゾリス No. 8

a) 所要水セメント比におよぼす影響

表一5.1の試験結果より所要水セメント比について普通セメントと高炉セメントとを比較すると次のようなこ
とが観察される。

高炉セメントを用いた配合の所要水セメント比は普通セメント ($F/(C+F)=0$) の場合に比較して多少減少

し、減少量は $W/(C+F)=0\sim 6.0\%$ の範囲にあり、平均1.8%程度である。これに対してフライアッシュを混入した配合では $F/(C+F)=20\%$ の場合の減少は0.5~5.5%で平均2.4%、 $F/(C+F)=40\%$ の場合には1.5~9.5%で平均4.2%、となり、高炉セメントの場合よりも大きい。ポゾラン物質の混和率が同等の場合でもフライアッシュ混入の場合の所要水セメント比が僅かながら小さいことはセメント原料の相違と共に混和材料としてのフライアッシュと高炉スラグの品質の相違によるものと考えられる。フライアッシュの混入量が多い $F/(C+F)=40\%$ の配合の所要水セメント比が最小であることは、4.3で論じた所より容易に説明できる。

また、セメントの種類による分散剤の効果の変動を調べるために分散剤率と所要水セメント比の減少量を求めると図-5.1が得られる。使用した分散剤はポゾリス No. 8 で、分散剤率としては一般の使用量 ($Pozz. 8/(C+F)=0.25\%$)を規準として50%増減した値を採用している。図-5.1は所要水セメント比に関しては効果的な分散剤率がセメントの種類等によつて著しく相違し、コンクリート一般に用いられているポゾリス率 $Pozz. 8/(C+F)=0.25\%$ は高炉セメントにはかなり有効であるが、普通セメントには必ずしも有効とは云えず、減水効果から判断する限りではこれを一律に用いることは合理性を欠くものと考えられる。ポゾリス率を50%増しとした $Pozz. 8/(C+F)=0.375\%$ の場合にはセメントの種別およびフライアッシュ混和率にほとんど関係なく最大の減少量が得られ、減水効果の点からは最適値がこの附近にあることを示唆している。

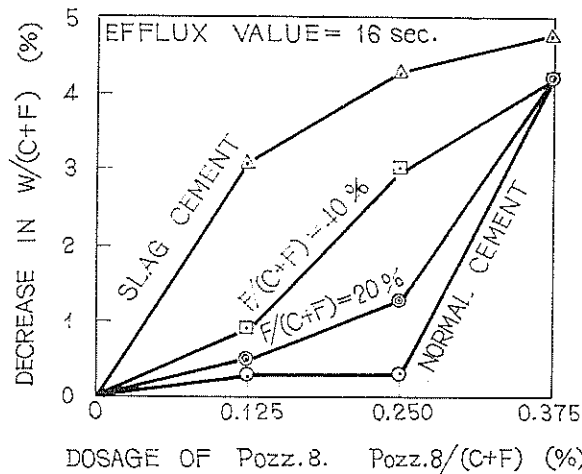


図-5.1 セメントの種別と分散剤率が所要水セメント比におよぼす影響
Effects of Type of Cement and Dosage of Pozzolith No. 8 upon Water Requirement of Intrusion Mortar

b) 保水性におよぼす影響

表-5.1の試験結果よりセメントの種別ないしフライアッシュ混和率の相違による保水性の変化を調べると、配合によつて多少のバラツキはあるがその差は極めて少い。たとえば12種の配合の平均値を求めると、 $F/(C+F)=20, 40\%$ および高炉セメントを用いたモルタルの保水性は普通セメントの保水性と比較して、それぞれ-0.3, +0.2, +0.3%の増減に過ぎない。これらの配合は流動性を一定としているので、 $F/(C+F)=20$ および40%の間に相違が認められぬことは4.4c)の結論より当然である。また高炉セメントと普通セメントの所要水セメント比の相違は前節で明らかにしたように平均1.8%程度であつて、このことは両セメントの保水係数に大差ないことを示すものであり、したがつて両セメントを用いたモルタルの流動性、保水性およびブリージング率にも明瞭な相違が認められぬものと考えられる。

ポゾリスの使用が保水性におよぼす効果は所要水セメント比について認められたように、 $Pozz. 8/(C+F)=$

の間ではセメントの種類によつて著しく変化することは図-5.2より明らかであろう。しかし $\text{Pozz. 8}/(\text{C}+\text{F}) = 0.375\%$ の場合にはセメントの種類による保水性増加量の相違はかなり小さくなつてゐる。

C) ブリージング率におよぼす影響

前節で保水性について述べたとほぼ同様のことが、セメントの種類ないしフライアッシュ混入セメントのブリージング率におよぼす影響についても云い得る。普通セメントの場合を基準にとると、ブリージング率の平均は $\text{F}/(\text{C}+\text{F})=20$ 、40%および高炉セメントの場合のそれについて、0.8、2.1、0.05%の増加となつてセメントの種類等による影響は極めて少い。

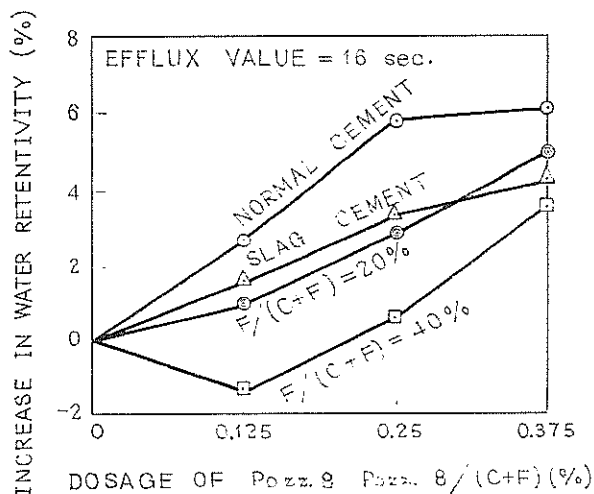


図-5.2 セメントの種類と分散剤率が保水性におよぼす影響
Effects of Type of Cement and Dosage of Pozzolith No. 8 upon Water Retentivity of Intrusion Mortar

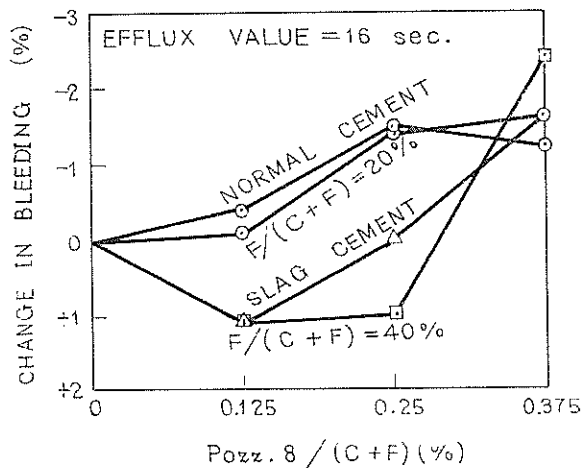


図-5.3 セメントの種類と分散剤率がブリージング率におよぼす影響
Effect of Type of Cement and Dosage of Pozzolith No. 8 upon Bleeding of Intrusion Mortar

ポゾリス混入の効果に関しても、図—5.3 に示したように、 $Pozz. 8/(C+F)=0.125\sim 0.25\%$ の間ではセメントの種別等による影響が著しいが、 0.375% の場合には差が狭い範囲に限定され、ポゾリスの最適使用率に関して検討を加える余地のあることを示している。

d) 空気量におよぼす影響

注入モルタルに含まれる気泡には練りませ等の過程で混入する空気泡、セメント分散剤ないしAE剤によつて進行される空気泡の他に、発泡剤の反応によつて生ずる水素ガスがある。発泡剤による水素ガスの量はモルタルの膨張抑制の程度によつて相違し、膨張抑制が不完全な場合や全く抑制しない場合には5~10%程度に達する。しかし、このような水素ガスが混和剤による進行空気と同じように注入モルタルないしプレバクド・コンクリートの耐久性に効果的であるか否かは全く別問題である。本節では発泡剤を含まないモルタルについて空気量を試験し、いわゆるエントラップド・エア (Entrapped Air) とエントレインド・エア (Entrained Air) のそれぞれがどの程度に変化するかを調べたものである。

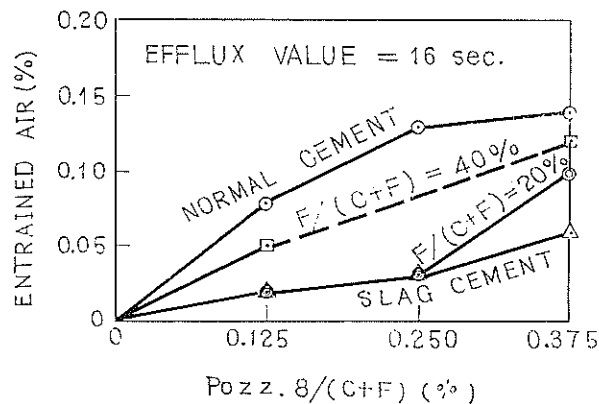
注入モルタルのエントラップド・エアおよびエントレインド・エアの量は概して微量である。エントレインド・エアは混和剤および細骨材の種別や流動性などによつても相違すると考えられるが、ポゾリス No. 8 を用いた本試験結果は $0.1\sim 0.4\%$ 程度である。これは注入モルタルの容積に対するものであり、たとえば40%の空隙率の粗骨材に注入する場合、コンクリートの空気量としてはこの量の $1/2.5$ になり、普通のAEコンクリートの空気量に比較すればほとんど無視し得る程度の量である。

表—5.1 の試験結果は空気量がセメントの種別やフライアッシュ混和率などによつても相違することを示して居り、フライアッシュを混入したものおよび高炉セメントを用いた場合の空気量は普通セメントを用いた場合よりも一般に少く、特にセメント分散剤を用いた配合については高炉セメントの空気量は普通セメントのその $1/2$ 程度である。

分散剤率との関係を調べると、空気量はいずれの場合にも分散剤率の増加に応じて増加する傾向を示しているが、絶対量としては極微量の増加に過ぎない。図—5.4 はエントレインド・エアと分散剤率との関係を示すものである。

e) 圧縮および曲げ強度におよぼす影響

セメントの一部をフライアッシュで置き換える場合、これを用いたモルタルの短期材令における圧縮強度がフライアッシュ混和率の増加に応じて低減することは4.3 e) において明らかにした所である。高炉セメントはそ



図—5.4 セメントの種別および分散剤率とエントレインド・エアとの関係
Effects of Type of Cement and Dosage of Pozzolith No. 8 upon Air Content of Intrusion Motar

の一部を高炉スラグで置き換えたものに相当し、したがって普通セメントと比較して短期材令の強度が減少することは当然予想される。表—5.1 の試験結果より、普通セメントの圧縮強度を 100 として 12 種の配合の強度変化率を計算し、その平均値を求めると表—5.2 に示したようにほぼ予測したような結果が得られた。高炉セメント

表—5.2 セメントの種類による圧縮強度変化率（普通セメントの場合=100）*

セメントの種類	材 令 7 日		材 令 28 日		材 令 91 日	
	平均値	範 囲	平均値	範 囲	平均値	範 囲
F/(C+F)=20%	-24.7	-36.8~-13.0	-1.79	-35.6~-9.4	+0.9	-16.3~+16.8
F/(C+F)=40%	-50.1	-54.2~-46.4	-41.9	-60.1~-30.8	-13.5	-33.9~+11.1
高 炉 セ メ ン ト	-36.2	-46.6~-21.1	-4.4	-26.7~+15.6	+21.7	-5.6~+50.1

* +印は増加を、-印は減少を表す。

を用いた配合の 7 日強度は同等のポズラン混和率を有する F/(C+F)=40% の場合より僅か多い程度であるが、その反面強度の増進率は極めて大きく、28 日強度は普通セメントの場合と比較して大差なく、91 日強度は逆に大きくなって、初期に高強度を必要としない構造物には高炉セメントがかなり有利であることを示している。

曲げ強度については試験の性質上、試験値のバラツキの範囲もやや大きいですが、圧縮強度の場合とほぼ同様な傾向が認められる。表—5.3 は強度変化率の計算結果である。

表—5.3 セメントの種別による曲げ強度変化率（普通セメントの場合=100）

セメントの種類	材 令 7 日		材 令 28 日		材 令 91 日	
	平均値	範 囲	平均値	範 囲	平均値	範 囲
F/(C+F)=20%	-15.9	-28.3~-6.7	-4.9	-23.3~+24.7	+17.5	-11.1~+65.0
F/(C+F)=40%	-41.1	-52.8~-24.8	-25.1	-40.7~-8.0	+11.4	-22.2~+65.2
高 炉 セ メ ン ト	-31.1	-78.8~-15.6	-2.3	-29.0~+32.2	+14.0	-16.6~+67.1

ポズリスの効果についてその使用量ならびにセメントの種別の影響を調べるために各分散剤率ごとに強度の変化率を計算すると表—5.4 に示した値が得られる。表示した値はセメントの種別ごとにポズリスを用いない時の

表—5.4 セメント分散剤率と曲げおよび圧縮強度の変化率との関係*

材 令 (日)	Pozz. 8 (C+F) (%)	曲 げ 強 度				圧 縮 強 度			
		普 通 セメント	F/(C+ F)=20%	F/(C+ F)=40%	高 炉 セメント	普通セ メント	F/(C+F)=20%	F/(C+ F)=40%	普通セ メント
7	0.125	-2.3	+3.0	-0.1	+22.1	-0.6	-3.0	-10.0	+24.3
	0.250	-0.4	+0.7	+11.3	+14.1	+1.1	+3.8	+4.9	+30.7
	0.375	-8.3	0	-0.8	+15.3	-0.9	+6.6	-4.8	+19.0
28	0.125	-7.5	-2.0	+3.3	+13.4	-10.3	-3.2	+12.5	+16.7
	0.250	-11.1	-8.3	+10.8	+16.2	-7.7	+2.3	+24.0	+20.8
	0.375	-14.2	-0.5	+7.1	+14.5	-7.1	+12.4	+15.1	+18.2
91	0.125	+11.9	-1.8	+0.2	+1.1	-3.4	+4.1	+11.3	+11.0
	0.250	-6.5	-5.9	-10.3	+17.4	-12.6	-1.8	+17.1	+8.1
	0.375	-32.3	-4.8	-1.7	+0.3	-9.3	+8.6	+14.4	+7.9

* Pozz. 8/(C+F)=0%, 普通セメントの場合を 100 とした値

値を基準とし、これに対する増減率を百分率で表わしたもので、最高強度が得られるポゾリス率は強度、材令およびセメントの種別によつてかなり相違するが強度の増減率については $Pozz. 8/(C+F)=0.25\%$ と 0.375% の間には顕著な相違は認められない。図—5.1~5.3から明らかなように流動性を一定とする場合、所要水セメント比、保水性およびブリージング率はポゾリス率によつてかなり影響され、 $Pozz. 8/(C+F)=0.25\%$ は必ずしも最適使用量とは言い難く、 0.375% の場合にセメントの種別によらずよりよい結果が得られている。これと上述の結果とを併せて考慮すると、注入モルタルの場合には、 $Pozz. 8/(C+F)$ を一般に用いられている 0.25% を多少増加することが適當のように思われる。

5.2.2 普通セメントとフライアッシュセメントの比較

表—5.5 は I 社 Y 工場製フライアッシュセメントと U 社 U 工場製フライアッシュを混入した I 社 Y 工場製普通セメントとの比較試験の結果である。フライアッシュセメントは B 種でフライアッシュの混和率は $F/(C+F)=20\%$ である。一方、比較試験に供した普通セメントには $F/(C+F)=15\%$ のフライアッシュを混入した。この試験では流動性がほぼ一定となるように $W/(C+F)$ を定めた 3 種の配合について、それぞれ流出時間、保水性、ブリージング率、膨張率および圧縮強度を測定した。

表—5.5 フライアッシュ混入普通セメントとフライアッシュセメントの比較*

試験項目	種別 S/(C+F)	フライアッシュセメント(B種) F/(C+F)=20%			普通セメント+フライアッシュ F/(C+F)=15%		
		1.00	1.25	1.50	1.00	1.25	1.50
水セメント比 W/(C+F) (%)		38.0	40.0	42.0	38.5	41.0	42.5
流出時間 (sec) **		19.0	18.0	17.8	20.4	17.1	17.6
保水性 (%) ***		81.3	80.9	80.2	76.8	—	71.4
ブリージング率 (%) (内径48mm試料高さ20cm) (3個の平均)	**** { 3 時間	2.30	1.49	2.09	2.66	4.48	5.29
	{ 6 時間	3.52	2.00	4.45	6.70	8.19	9.40
	{ 8 時間	2.92	1.80	3.78	7.68	9.51	10.33
膨張率 (%) (内径48mm試料高さ20cm) (3個の平均)	**** { 3 時間	11.1	7.7	6.8	7.2	7.4	5.7
	{ 6 時間	10.8	7.2	5.8	5.3	5.7	4.7
	{ 22 時間	10.0	6.8	5.5	4.3	4.6	3.1
圧縮強度 (kg/cm ²)	3 日 { 平均	169	223	218	157	192	204
		{ 標準偏差	21.5	25.6	15.3	29.8	13.1
	7 日 { 平均	184	263	250	193	222	165
		{ 標準偏差	41.7	46.8	24.3	35.5	11.5
	14 日 { 平均	264	253	318	238	243	313
		{ 標準偏差	25.2	11.3	38.4	25.7	15.1
28 日 { 平均	322	355	275	338	265	381	
	{ 標準偏差	64.4	6.90	67.8	58.3	61.4	21.1

* I 社 Y 工場フライアッシュセメント (B 種) と U 社 U 工場フライアッシュ + I 社 Y 工場普通セメント, S = 平市浜街海岸砂, $Pozz. 8/(C+F)=0.25\%$, $Al/(C+F)=0.015\%$, $Al=F$ 金属箔粉 K.K. A A 12,

** 4 個の平均値 *** 2 個の平均値 **** 容器としてポリエチレン袋を使用

§4において明らかにしたように、流動性を一定とする場合、保水性やブリージング率は $F/(C+F)$ によつてはほとんど影響されないで、この点について両セメントを比較すると、フライアッシュセメントを用いた配合の保水性は大きく、ブリージング率は小さい。両セメントの特に著しい相違はブリージング継続時間に表われて居り、フライアッシュセメントの場合にはブリージングは試験開始後 6 時間附近で最大となり、以降は再吸水の形で減少し、開始後 22 時間で完全に再吸水されている。これに対し普通セメントを用いた場合には 8 時間前後で

最大となり、22時間後にも2%程度のブリージング水の存在が認められた。

膨張率は一般にフライアッシュセメントを用いた配合が大きく、またS/(C+F)の大小による膨張率の変化も著しい。すなわち、S/(C+F)=1.00と1.50とを比較すると、前者は後者の2倍程度の膨張率となり、普通セメントの場合と較べてかなり大きな相違である。

圧縮強度に関しては両セメントの平均値を比較すると普通セメントの方が概して小さく、平均してフライアッシュセメントの94%程度である。しかし、表—5.5より容易に分るように、圧縮強度に関しては試験値のバラツキが比較的大きく、平均値の差は必ずしも有意であるとは言い難い。4.3e)において明らかにしたように、普通セメントにフライアッシュを混入する場合には注入モルタルの圧縮強度はF/(C+F)=10%の増加について1週では、13~17%、4週では8~10%程度減少する。セメント強度と注入モルタルの強度とは厳密には比例しないことは容易に想像される所であるが、表—2.1に示したI社Y工場製普通セメントの圧縮強度に上述の強度減少率を適用するとI社フライアッシュセメントの強度にはほぼ近似した値が得られ、前述の両セメントによる注入モルタル強度にはほとんど相違のないことが理解できる。

5.2.3 数種の普通セメントの比較

普通セメントとしてO社T工場、I社Y工場およびH社H工場の製品を取上げ、配合を一定として、その流出時間および曲げおよび圧縮強度を試験した結果を表—5.6に示す。

表—5.6 各種普通セメントの比較試験結果*

セメントの種別	流出時間 (sec)	曲げ強度 (kg/cm ²)			圧 縮 強 度 (kg/cm ²)						
		4 × 4 × 16cm			4 × 4 × 16cm			φ5 × 10cm			
		3 日	7 日	14 日	3 日	7 日	14 日	3 日	7 日	14 日	
O社 T工場	平均値	18.2	42.1	64.1	58.3	171	277	294	123	214	267
	標準偏差	0.35	3.05	3.50	0.08	11.7	29.5	18.5	1.7	25.9	17.5
I社 I工場	平均値	19.0	52.4	69.3	64.1	239	357	359	129	230	252
	標準偏差	0.35	11.05	19.10	0.41	1.9	20.6	20.9	9.2	93.4	12.0
H社 H	平均値	15.4	42.5	63.4	68.3	150	227	298	100	187	222
	標準偏差	0.20	0.80	1.28	1.00	2.7	7.6	10.6	15.4	2.9	27.4

* F/(C+F)=0, S/(C+F)=1.0, W/(C+F)=45%, Al/(C+F)=0.015%, Pozz. S/(C+F)=0.25%, S=豊浦標準砂, Al=F金属箔箱KK製AA12

流出時間について3種のセメントを比較すると、O社セメントとI社セメントの間には相違を認め難いが、H社セメントの流動性はかなり大きく、前2者と同等の流出時間を得るためには水セメント比を2~3%減少する必要がある。一方、強度は供試体の形状および材令によつて多少の変化はあるが、概してI社セメントが最も大きく、H社セメントが最も小さい。すなわち、O社セメントによる強度を100として比較すると、I社セメントの曲げ強度は108~123%、平均113%、圧縮強度は122~140%、平均130%(4×4×16cmの場合)、94~108%、平均102%(φ5×10cmの場合)であるのに対し、H社セメントを用いた場合には曲げ強度は99~117%、平均105%、圧縮強度は82~101%、平均90%(4×4×16cmの場合)および81~87%、平均84%(φ5×10cmの場合)である。もちろん、H社セメントを用いる場合には前述のように流動性を一定にすることにより水セメント比を数%減少することが可能となり、これに応じて強度も増加し、上述の強度差もある程度減少するものと思われる。

以上に述べたようなセメントの種別によるモルタル強度の差はセメント自体の強度の相違によるものでないことは表—2.1の規格試験結果より自ら明らかであり、セメントの保水係数を測定することによつてほぼ予測し得る流動性の相違とはやや異なつた性質のものようである。言い換えれば、同一規格種のセメントの種別が注入モ

ルタルの強度におよぼす影響に関しては、現在の段階では一般的な法則性を見出すことは極めて困難であり、各社各工場の特定期に製造されたセメントの固有の性質によるものと考えられ、使用に先立つ試験の重要性を示唆している。

5.2.4 フライアッシュと鉱石微粉末との比較

ボゾラン物質としてU社U工場製フライアッシュおよび頁岩を焼成した後微粉砕したO鉱業社ボゾランの比較試験結果を表—5.7, 5.8に示す。

表—5.7 フライアッシュと鉱石微粉末との比較試験結果
W/(C+F)=66.5%, S/(C+F)=1.50の場合*

		セメントのみ		O鉱業社ボゾラン混入		U社フライアッシュ混入		
F/(C+F)	(%)	0	0	25	25	25	25	
Pozz. 8/(C+F)	(%)	0	0.25	0	0.25	0	0.25	
流出時間	(sec)	14.4	11.0	16.4	11.2	13.1	11.0	
曲げ強度 (kg/cm ²)	7日	平均	61.2	60.5	48.9	50.4	45.0	41.7
		標準偏差	2.8	5.9	2.2	0.1	0.5	1.7
	28日	平均	73.4	77.0	81.3	72.2	65.8	64.5
		標準偏差	5.5	7.8	1.9	3.4	3.7	3.6
圧縮強度 (kg/cm ²)	7日	平均	300	293	221	190	194	167
		標準偏差	18.4	20.3	20.2	7.3	9.7	4.0
	28日	平均	439	414	332	292	317	261
		標準偏差	10.8	13.5	11.8	5.8	14.5	3.3

* C=O社T工場普通セメント, S=豊浦標準砂

表—5.8 フライアッシュと鉱石微粉末との比較試験結果
S/(C+F)=1.50*

		セメントのみ		O鉱業社ボゾラン混入				U社フライアッシュ混入				
F/(C+F)	(%)	0	0	20	20	40	40	20	20	40	40	
Pozz. 8/(C+F)	(%)	0	0.25	0	0.25	0	0.25	0	0.25	0	0.25	
W/(C+F)	(%)	66.5	66.5	64.0	63.0	63.0	60.0	64.0	63.0	63.0	60.0	
流出時間	(sec)	14.4	10.2	19.9	13.7	26.4	18.6	14.9	12.4	14.4	13.7	
曲げ強度 (kg/cm ²)	7日	平均	69.0	59.0	50.3	54.8	37.3	35.2	48.9	48.4	32.9	29.6
		標準偏差	2.7	2.0	3.4	5.9	1.6	3.3	5.4	1.1	0.9	1.9
	28日	平均	86.7	76.4	78.8	85.7	54.7	64.4	69.8	71.1	50.9	46.7
		標準偏差	2.5	2.8	0.8	5.2	5.9	3.7	1.3	12.1	3.8	4.5
91日	平均	89.8	89.0	88.3	91.4	72.5	71.9	89.8	92.9	74.5	68.9	
	標準偏差	4.5	2.5	2.4	3.7	6.0	4.2	4.2	3.7	1.9	2.9	
圧縮強度 (kg/cm ²)	7日	平均	274	240	204	218	142	133	198	193	126	114
		標準偏差	15.2	8.0	3.5	15.7	10.3	3.8	22.1	9.5	5.8	5.5
	28日	平均	483	385	361	343	242	222	359	378	236	207
		標準偏差	9.3	13.2	16.8	23.8	19.5	9.3	17.9	18.5	13.4	19.0
91日	平均	529	404	429	409	286	273	497	477	403	352	
	標準偏差	21.3	20.8	10.7	15.3	13.2	7.0	40.6	28.7	21.3	29.8	

* C=O社T工場普通セメント, S=豊浦標準砂

表—5.7 は水セメント比を一定とした場合の試験結果で、ボゾランの混和率を25%とし、更にボゾリス No.8を混入せぬ場合と混入した場合とに分けて比較したものである。また、表—5.8 はセメントのみを用いた配合は表

—5.7の場合と全く同一としたが、フライアッシュを混入した場合の流出時間がセメントのみを用いた配合(ポズリスを混入せしぬもの)と同等になるように水セメント比を調整し、この水セメント比をO鉱業社ポズラン混入の配合にも適用して比較した結果である。

表—5.7 より次のようなことが観察される。

ポズランを混入しないものと諸配合比を同一に保つ場合にはフライアッシュを混入したモルタルの流動性は多少増加するが、頁岩を焼成粉碎したポズランであるO社ポズランを混入したものは逆に減少する。しかし、1週および4週強度に関してはO社ポズランを混入したものがU社フライアッシュを混入したものより大きく、曲げ強度では前者が後者の平均14%増、圧縮強度では平均11%増である。ポズランを混入しないものの強度と比較するとポズランを混入したものの強度はかなり減少し、たとえば圧縮強度に関しては、O社ポズランを混入したものは69~73%程度、U社フライアッシュを混入したものは61~68%程度である。また、ポズリスを使用した配合を使用せぬ配合と比較すると、使用した配合の強度は多少減少し、セメントのみの場合3%程度、O社ポズランおよびU社フライアッシュの場合10%程度の減少が認められる。本試験ではセメント分散剤としての減水効果の有無に関わりなく同一水セメント比を採用したため、ポズリスの使用によつて強度はむしろ減少したが、強度減少率にはポズラン混入の有無によつて著しい相違が現われて居り、単に減水効果だけでなく、セメントないしポズラン粒子の分散効果の点からも検討する必要があることを示唆している。

表—5.8 より観察されることは本質的には表—5.7 より観察された所とはほぼ同様である。すなわち、同一水セメント比に対してO社ポズランを混入したモルタルの流動性は減少し、この傾向はポズランの混和率が大となる程著しい。これは主としてポズランの粉末形状、したがつて保水係数の相違に基くものと考えられる。1~4週強度に関してはO社ポズランを混入したものはU社フライアッシュ混入のものより大きく、曲げ強度は平均16%増、圧縮強度は平均10%増となつて前段に述べた所とほぼ一致する。しかし、13週強度に関しては、この関係は逆転し、それぞれ平均5%および20%減となつてポズラン反応の効果の点で両者の間に著しい相違があることを示している。O社ポズランないしU社フライアッシュの混入による1~4週強度の減少はその混和率によつて異なるが、たとえば $F/(C+F)=10\%$ に対する減少率はほぼ等しく、表—5.7の試験結果より得られる値よりも小さい。これは水セメント比を減少したことによるものである。 $F/(C+F)=20\%$ の場合の13週強度は上述と多少異なつた傾向を示し、O社ポズラン混入のものは混入せぬものに比較して平均7%減少しているが、U社フライアッシュ混入のものは平均7%増加している。ポズリス使用の有無については前段に述べた所とほぼ同じ結果が得られている。

5.2.5 セメントの風化が注入モルタルの諸性質におよぼす影響

風化したセメントを用いたコンクリートの強度が風化しないセメントを用いたものに比較してかなり低下することは一般に経験されている所であるが、同様のことが注入モルタルの場合にも成立し、¹⁵⁾ 単に強度の低下を招くのみでなく、その他の諸性質にも好ましくない影響をおよぼすものようである。表—5.9 は一定期間湿気中に曝露して吸湿させ、風化を促進したセメントを用いた注入モルタルの流動性ならびに圧縮強度を試験した結果である。試料セメントの重量は吸湿により曝露期間の長さに応じて増加し、また、このセメントを用いたモルタルの流動性は曝露期間の長いもの程急激に減少する。この試験では水セメント比を一定としたが、実際には吸湿量のみでなく増加して居り、しかも流動性は逆に減少する。圧縮強度は試験値のバラツキが比較的大きく、必ずしも規則的な傾向を示していないが、概して曝露期間の長いもの程、また材令の大なるもの程圧縮強度の減少が著しい。表—5.10は表—5.9に示したと同じ条件で風化せしめたセメントを用いて流動性一定の注入モルタルを作り、その所要水セメント比、保水性、ブリージング率、膨張率および圧縮強度を試験した結果である。これより、所要の水セメント比およびブリージング率は風化の程度が増大するに応じて増加し、これとは反対に、保水

表—5.9 セメントの風化が流動性および圧縮強度におよぼす影響

曝露期間 (日)*	0	1	3	7	
吸湿量 (%)**	0	0.25	0.65	1.30	
流出時間 (sec)	24.1	30.4	45.0	76.0	

圧縮強度 (kg/cm ²)	3 日	164	122	115	127
		167	128	116	145
		176	139	133	190
	7 日	220	180	161	161
		266	197	195	182
		292	203	196	206
14 日	268	228	263	170	
	281	283	301	182	
	291	307	311	191	

* 21±°C, 85±5%の湿気中に厚さ2cmの層に拡げて曝露した期間

** 曝露による重量増加, セメント原重量に対する百分率

*** φ5×10cmによる試験値

○社T工場セメント, 豊浦標準砂, ポゾリス No. 8, F金属社アルミ粉末使用

C/S=1.0, W/C=45%, Pozz. 8/C=0.25%, Al/C=0.015%

性, 膨張率および圧縮強度はかなり減少することが分る, 云い換えれば, これらの試験結果はセメントの風化が, 単にモルタルの圧縮強度のみでなく, 他の諸性質にもかなり有害な影響を与えることを示すものである。したがって, 風化したセメントないし風化のおそれのあるセメントを使用してならないことは極めて明白である。

表—5.10 セメントの風化が注入モルタルの諸性質におよぼす影響*

曝露期間(日)	0	1	3	7	14
所要水セメント(%)	48.0	50.0	52.0	54.0	58.5
流出時間(sec)	15.8	15.3	15.5	15.9	15.9
保水性(%)	75.1	69.5	72.2	72.9	72.0
ブリージング率 (%) 3 時間	7.6	9.2	11.7	14.3	19.7
	8.9	9.4	11.7	14.8	19.7
	—	9.4	14.5	15.5	20.2
膨張率 (%) 3 時間	9.3	7.6	6.9	6.4	6.1
	9.4	7.8	7.4	7.0	6.4
	—	8.7	7.5	7.3	6.6
7 日 圧縮強度 (kg/cm ²)**	181	127	190	169	135
	183	135	195	174	140
	185	176	—	184	156

* 使用材料および水セメント比を除く配合比は表—5.9 に示したものと同一。

** モルタルの膨張を全く拘束せぬ状態で硬化せしめた供試体 φ4.8×9.6cmを使用

5.2.6 各種セメントならびにフライアッシュの比較試験結果の要約

5.2.1~5.2.5において各種セメントの比較試験結果ならびにフライアッシュと頁岩粉砕ポゾランの比較試験結果について述べた。セメントおよびフライアッシュないしポゾランの品質は製品によつて多少異なり, これが注

入モルタルに用いる場合にも固有の影響を与えるものようである。限定された数の製品について試験を行なった本実験の結果より一般的な結論を導くことは困難であるが、本実験の範囲内ではセメントならびにフライアッシュの品質の注入モルタルの諸性質におよぼす影響に関して次のことが云えると思われる。

B種高炉セメントを用いる場合、所要の流動性を得るに必要な水セメント比は普通セメントに較べて僅かながら減少するが、普通セメントに良質のフライアッシュを高炉スラグと同率だけ混入したものと比較するとほぼ同等であり、保水性およびブリージング率について明瞭な相違は認められない。高炉セメントを用いたモルタルの7日強度は高炉スラグと同率のフライアッシュを混入した普通セメントと比較すると僅か大きい程度であるが、強度の増進は比較的大きく、28日においてフライアッシュを混入せぬものとはほぼ同等の強度を示し、91日において20%程度の増加が認められ、早期高強度を必要としない構造物には極めて効果的である。

B種フライアッシュセメントを用いた注入モルタルは、普通セメントにフライアッシュを混入したものと比較すると、フライアッシュ混和率がほぼ同等の場合には、所要水セメント比には著しい相違は認められない。しかし、保水性、ブリージング率および膨張率はかなり相違し、フライアッシュセメントを用いた配合の保水性および膨張率は相当に大きく、またブリージング率は $\frac{1}{2}$ 以下である。更に、材令3日ないし28日の短期圧縮強度も概して大きく、フライアッシュセメントが注入モルタル材料としてかなり有利なことが分る。

セメント自体の物理的ないし化学的性質に関しては大差ないと考えられる三社の普通セメントを取上げ、一定の配合の下に流出時間ならびに曲げおよび圧縮強度に関して比較試験した結果はセメントの種別によつてかなり相違することが認められた。その最大値と最小値との差は、たとえば圧縮強度については20%程度に達して居り、このようなセメントの種別による注入モルタルの性質の相違はセメント製品の固有の性質に基くものと解され、使用に先立つて試験を行なうことの重要性と示すものと云えよう。

頁岩を焼成微粉砕したボゾランとフライアッシュとを配合一定の条件の下で比較試験した結果は、前者を用いたモルタルの流動性はかなり減少するが、材令7～28日の短期強度はフライアッシュを用いたものに較べて数%程度増加することが認められた。これは主として微粉末の粒子形状に基くものと考えられる。しかし、材令91日の長期強度については逆にフライアッシュを混入したものの方が十数%程度大きくなって居る。両者を流動性一定の条件の下で比較する場合には、フライアッシュの減水効果により短期強度の差はかなり減少し、長期強度の差は更に大きくなるものと考えられ、頁岩等の鉱石を微粉砕せるボゾラン物質はフライアッシュに比較して有利であるとは云い難い。

セメントの風化がコンクリートの強度に有害な影響を与えることは一般に経験される所であるが、注入モルタルについても同様である。すなわち、風化したセメントを用いる場合、風化しないセメントに比較して流動性は著しく減少し、所要の水セメント比は風化の程度が増大するに伴なつて増加する。また、保水性および膨張率は減少し、ブリージング率は逆に増加する。更に圧縮強度は風化の進行したもの程、および材令の大きいもの程減少することが確かめられた。

5.3 細骨材の粒度が注入モルタルの流動性におよぼす影響

注入モルタルの諸性質に大きな影響をおよぼす要素の一つとして細骨材の品質が考えられる。細骨材の品質を構成する要素には比重、粒度分布、粒子形状、粒子表面組織、鉱物組成等が挙げられ、それぞれ注入モルタルの諸性質に影響をおよぼすものと思われる。しかし、一般のコンクリート工事においては施工現場において経済的に入手可能な砂を採取して細骨材として使用することを前提として居り、その品質を入為的に調整し、あるいは理想的な品質のものを遠距離より搬入する例は極めて少い。プレバッド・コンクリート工事もその例外でないが、注入工法の性質上、砂より粗粒子を除去することは絶対的に必要であり、また砂の粒度分布の変化に応じてモルタルの配合を変えた例もない訳ではない。ここでは細骨材として鶴沼海岸産の砂を選び、その粒度分布を表

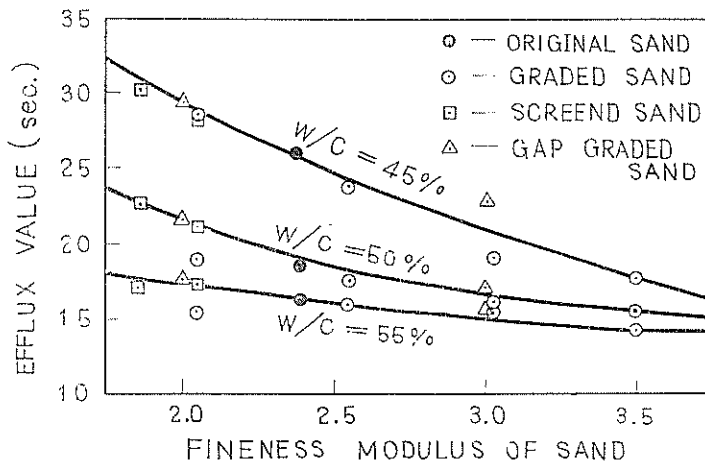
に示したように調整し、細骨材の粒度分布と注入モルタルの流動性との関係について試験した結果について述べる。

粒度分布の調整は産出状態のままのものを原砂とし、これより粗粒子のみを除去したもの（0.6mm以下および0.3mm以下）、2.5~0.15mmの篩を用いて5種に級別し、これを再結合したもの（粗粒率3.50、3.06、2.60、2.11の4種）、および単独粒径のもの（1.2mm篩を通過し0.6mm篩に留まるものおよび0.6mm篩を通過し0.3mm篩に留まるもの）、合計9種が得られるように行なった。

表—5.11 試験に用いた砂の粒度分布（原砂，神奈川県鶴沼海岸産，S—1）

試料番号	S—1	S—2	S—3	S—4	S—5	S—6	S—7	S—8	S—9
篩重に量百分率のもの	5.0 mm	1	—	—	—	—	—	—	—
	2.5	10	—	—	33	18	10	2	—
	1.2	20	11	—	55	38	21	8	—
	0.6	34	27	18	72	63	49	30	100
	0.3	76	74	71	90	87	80	71	100
	0.15	98	98	98	100	100	100	100	100
粗粒率	2.39	2.10	1.87	3.50	3.06	2.60	2.11	3.00	2.00

以上のように粒度を調整した細骨材を用いて、注入モルタルの流動性を試験した結果は図—5.5に示した通りである。すなわち、細骨材の粗粒率が増加するに伴なつて流動性も増加し、粗粒率が同等であれば粒度分布の状態の相違は流動性にはほとんど影響せぬものようである。粗粒率は骨材が留まる一組の篩の中の平均の篩を示すものとされて居り、³⁴⁾粗粒率が同じであれば細骨材の平均粒径も近似的に等しいとしてよい。したがつて、細骨材の粗粒率の増加はその比表面積の減少をもちよすことは明らかで、注入モルタルの配合が一定であつても §4.4 aで考察したと同じような理由によつて流動性の増加に帰着するものと考えられる。



図—5.5 細骨材の粒度と流出時間との関係

O社T工場セメント，ポゾリス No. 8，F金属社アルミ粉末 AA12 使用 S/C=1.50，Poz. 8/C=0.25%，Al/C=0.015%

Effect of Grading of Sand upon Consistency of Intrusion Mortar

Normal Portland Cement, Pozzolith No. 8, Powdered Aluminum AA12

S/C=1.50, Pozz. 8/C=0.25%, Al/C=0.015%

本実験では表—5. 11に示した以外に、粒径が2. 5mm以上の粗粒をかなり含む砂および粒径が0. 15mm以下の細粒を多量に含む砂についても測定を試みた。しかし、前者の場合には粗粒子の沈澱分離が著しく流動性の測定が不能となり、また後者の場合には適当な粗粒率を有する砂と比較してモルタルの粘糊性が増し、同じ流動性を得るに必要な水セメント比が極端に大きくなることが認められ、2. 5mm以上および0. 15mm以下のものを多量に含む砂は注入モルタル用細骨材として不適當であることが分つた。

図—5. 5はモルタルの配合を一定とした場合の試験結果であるが、実際の施工では細骨材の粒度を調整することが困難であり、細骨材の粒度が変化する場合には、これに応じてモルタルの水セメント比を増減して流動性を仕様の範囲内に調節することが往々にして行なわれている。このような場合を考慮して、標準とする流出時間を20sec.、平均の粗粒率を2. 0として粗粒率の変化 $\pm 0. 1$ に対する水セメント比の変化を図—5. 5より求めると、 $W/C = 干1\%$ が得られ、プレバッド・コンクリートの施工における細骨材の粗粒率の変化の許容範囲としては $\pm 0. 1$ 程度が適當と思われる。

5. 4 セメント分散剤の種類と使用量が注入モルタルの諸性質におよぼす影響

5. 4. 1 使用したセメント分散剤について

注入モルタルにセメント分散剤ないしこれとほぼ同等の効果を有する混和剤を用いることが原則的に行なわれているが、これらの混和剤の効果ならびに使用方法については十分に明らかにされているとは云い難く、混和剤の選択が習慣的に行なわれている例も多い。一方、セメント分散剤あるいはA E剤等の混和剤として市販されている製品の数30種に近く、中には混和剤としての効果が疑わしいものもあると報告されている。^{13, 35)}したがって、混和剤の選択に際してはその効果ならびに使用方法について予め十分に検討して置く必要がある。

セメント分散剤は周知のように、その界面活性剤としての作用、すなわち、水の表面張力の低下、洗滌、乳化、滲透、湿潤、起泡、分散等の作用を利用して、セメントやフライアッシュ微粒子を分散させ、かつ湿潤にしてその水和作用あるいはボラン反応を促進させ、またモルタルないしコンクリートのウォーカビリチーを増加し、更に微細な空気を連行して、これによつてもウォーカビリチーを増大することを目的とした混和剤である。その基本的分子構造として、分子内に親水基と疎水基があり、この両者が適当にバランスしていることが特徴となつて居り、親水基の種類によつて表—2. 4に示したように4種に大別される。すなわち、

① 陰イオン界面活性剤

イオン性親水基を有し、水中に解離して陰イオンになるもの

② 陽イオン界面活性剤

イオン性親水基を有し、水中に解離して陽イオンになるもの。

③ 両性イオン界面活性剤

陰イオン性および陽イオン性の親水基を有するもの。

④ 非イオン界面活性剤

イオン性親水基を有せず、したがってほとんどイオン解離せず、その水和作用により親水性の機能を有するもの
の4種である。

本実験は、セメント分散剤として市販されている製品19種の中の主成分ないし主原料が明らかにされているもの13種（非イオン系4種、陽イオン系2種、陰イオン系6種、両性イオン系1種）³⁵⁾より各種活性剤ごとに1種選択し、更に比較のために市販A E剤2種を加えた合計6種の混和剤を用いて、これが注入モルタルの諸性質におよぼす影響を調べたもので、その結果の一部は既に報告されている。¹³⁾試験はこれらの混和剤を混入した注入モルタルの流動性、保水性、ブリージング率、空気量、曲げおよび圧縮強度、等について行ない、混和剤の使用量

表—5.12 使用したセメント分散剤およびA E剤

記号	主成分ないし原料	種別	製造会社	標準使用量* ×(C+F)(%)
C 剤	アルキル・アリル・ポリエチレン・グリコール・オキサライド	非イオン界面活性剤	国産 T 油脂 KK	0.05
L 剤	リグニン+可溶性珪酸塩	陽イオン界面活性剤	国産 K 材料 KK	0.15
P 剤	リグニン・スルホン酸・カルシウム	陰イオン界面活性剤	国産 N. M. KK	0.25
N 剤	カルボン酸	両性イオン界面活性剤	国産 T 製油 KK	0.10
V 剤	松脂	A E剤	輸入 H Powder Co.	0.06
D 剤	トリエタノール・アミン	A E剤	輸入 D Chemical Co.	0.04

* 製造者によつて推奨されている普通コンクリートの場合の使用量

はそれぞれの製造者によつて普通コンクリートに対して推奨されている使用量（セメントおよびフライアッシュに対する重量比）を標準の値（R）として0.5R, 1.0R, 1.5Rの3種を選び、これを混和剤を全く用いないものと比較した。それぞれの混和剤の標準使用量を表—5.12に示す。

5.4.2 使用材料、注入モルタルの配合ならびに試験結果

試験にはO社O工場普通セメント、Y社高炉セメントB種、U社フライアッシュ、豊浦標準砂および表—5.12に示した6種の混和剤を使用し、練りませには水道水を使用した。

注入モルタルの配合は大別して4群に分けられる。第1群は普通セメントを用いた実験のシリーズで、フライアッシュ混和率3種（ $F/(C+F)=0, 20, 40\%$ ）、砂セメント比3種（ $S/(C+F)=1.0, 1.5, 2.0$ ）および混和剤使用量4種（ $DA/(C+F)=0, 0.5R, 1.0R, 1.5R$ 、Rは普通コンクリートの場合の標準使用量として製造者によつて推奨されている値）を組合わせた36種の配合で、水セメント比は流出時間が $16\pm 0.5\text{sec}$ となるように試験によつて定めたものである。第2群は高炉セメントを用いた実験のシリーズで、砂セメント比3種と混和剤使用量4種を組合わせた12種の配合で、水セメント比は第1群と同様にして定められた。第3群は練りませ時間の影響を調べるために行なつたもので、フライアッシュ混和率2種（ $F/(C+F)=0, 40\%$ ）と砂セメント比1種（ $S/(C+S)=1.5$ ）および練りませ時間3種を組合わせた6種である。水セメント比は $F/(C+F)$ のそれぞれについて一定とし、混和剤使用量は6種の組合せを通じて1.0Rを用いた。第4群は水セメント比を変えた場合の影響を調べるために行なつたもので、フライアッシュ混和率2種（ $F/(C+F)=0, 40\%$ ）と水セメント比6種（流出時間が適当に変化するようにならぬように $W/(C+F)$ を2%ごとに変えた場合）と組合わせた12種の配合で、混和剤使用量は1.0R、砂セメント比は $S/(C+F)=1.5$ として12種の配合に共通である。以上の4群の配合を表示すると表—5.13～5.16のような因子配列表が得られる。

本実験は表—5.12に掲げた6種の混和剤のそれぞれについて、表—5.13～5.16に示した66種の配合を用い、注入モルタルの諸性質を試験したのであるが、長期間に亘つて膨大な試験数を消化するこのような実験計画の下では測定値に偏りが生ずることは当然予想された。測定値の偏りは表面上あたかも上述のモルタルの諸性質の変化のような観を呈するもので、特に試験者による測定値の偏りについては注意する必要があると思われる。そこで本実験においては、港湾技術研究所（試験実施当時は運輸技術研究所）の他に2港湾建設局調査設計事務所（試験実施当時は材料検査場）の参加を求め、計3試験所でそれぞれ2種の混和剤を表—5.17に示したように分担して試験を実施し試験者による測定値の変動を調査することも試みた。このようにして行なわれた試験の測定値を評価し、これよりモルタルの諸性質の変化を推定することには多くの問題が含まれる。同一試験所内における測定値の誤差の分散が試験所以外の諸因子の変化による変動の範囲を越えるならば、同一試験所内においてもモルタルの性質を比較することは困難となり、また試験所間の分散が有意であれば異なる試験所の担当した混和剤につい

表-5.13 因子配列表 (4-1)

配合番号	セメントの種類	$F/(C+F)$ (%)	$S/(C+F)$	$DA/(C+F)$	練り混ぜ時間 (min)
a-0-10-0	普通セメント	0	1.0	0	10
a-0-15-0	"	"	1.5	"	"
a-0-20-0	"	"	2.0	"	"
a-2-10-0	"	20	1.0	"	"
a-2-15-0	"	"	1.5	"	"
a-2-20-0	"	"	2.0	"	"
a-4-10-0	"	40	1.0	"	"
a-4-15-0	"	"	1.5	"	"
a-4-20-0	"	"	2.0	"	"
a-0-10-5	普通セメント	0	1.0	0.5R	10
a-0-15-5	"	"	1.5	"	"
a-0-20-5	"	"	2.0	"	"
a-2-10-5	"	20	1.0	"	"
a-2-15-5	"	"	1.5	"	"
a-2-20-5	"	"	2.0	"	"
a-4-10-5	"	40	1.0	"	"
a-4-15-5	"	"	1.5	"	"
a-4-20-5	"	"	2.0	"	"
a-0-10-10	普通セメント	0	1.0	1.0R	10
a-0-15-10	"	"	1.5	"	"
a-0-20-10	"	"	2.0	"	"
a-2-10-10	"	20	1.0	"	"
a-2-15-10	"	"	1.5	"	"
a-2-20-10	"	"	2.0	"	"
a-4-10-10	"	20	1.0	"	"
a-4-15-10	"	"	1.5	"	"
a-4-20-10	"	"	2.0	"	"
a-0-10-15	普通セメント	0	1.0	1.5R	10
a-0-15-15	"	"	1.5	"	"
a-0-20-15	"	"	2.0	"	"
a-2-10-15	"	20	1.0	"	"
a-2-15-15	"	"	1.5	"	"
a-2-20-15	"	"	2.0	"	"
a-4-10-15	"	40	1.0	"	"
a-4-15-15	"	"	1.5	"	"
a-4-20-15	"	"	2.0	"	"

$W/(C+F)$ は流出時間が 16 ± 0.5 sec となるように試験により定める。

表-5.14 因子配列表 (4-2)

配合番号	セメントの種類	$F/(C+F)$ (%)	$S/(C+F)$	$DA/(C+F)$	練り混ぜ時間 (min)
b-10-0	高炉セメント	0	1.0	0	10
b-15-0	"	"	1.5	"	"
b-20-0	"	"	2.0	"	"
b-10-5	"	"	1.0	0.5R	"
b-15-5	"	"	1.5	"	"
b-20-5	"	"	2.0	"	"
b-10-10	"	"	1.0	1.0R	"
b-15-10	"	"	1.5	"	"
b-20-10	"	"	2.0	"	"
b-10-15	"	"	1.0	1.5R	"
b-15-15	"	"	1.5	"	"
b-20-15	"	"	2.0	"	"

$W/(C+F)$ は流出時間が 16 ± 0.5 sec となるように試験により定める。

表—5.15 因 子 配 列 (4—3)

配合番号	セメントの種 類	$F/(C+F)$ (%)	$S/(C+F)$	$DA/(C+F)$	$W/(C+F)$ (%)	練りませ時間 (min)
c—0—5	普通セメント	0	15	1.0R	q_1	5
c—0—10	"	"	"	"	"	10
c—0—20	"	"	"	"	"	20
c—4—5	"	40	"	"	q_2	5
c—4—10	"	"	"	"	"	10
c—4—20	"	"	"	"	"	20

q_1, q_2 はそれぞれ練りませ時間が10minのとき流出時間が 16 ± 0.5 secとなるように定めた水セメント比(%)

表—5.16 因 子 配 列 表 (4—4)

配合番号	セメントの種 類	$F/(C+F)$ (%)	$(S/C+F)$	$DA/(C+F)$	$W/(C+F)$ (%)	練りませ時間 (min)
d—0—0	普通セメント	0	1.5	1.0R	q_3-4	10
d—0—2	"	"	"	"	q_3-2	"
d—0—4	"	"	"	"	q_3	"
d—0—6	"	"	"	"	q_3+2	"
d—0—8	"	"	"	"	q_3+4	"
d—0—10	"	"	"	"	q_3+6	"
d—0—0	"	40	"	"	q_4-4	"
d—0—2	"	"	"	"	q_4-2	"
d—0—4	"	"	"	"	q_4	"
d—0—6	"	"	"	"	q_4+2	"
d—0—8	"	"	"	"	q_4+4	"
d—0—10	"	"	"	"	q_4+6	"

q_3, q_4 はそれぞれ流出時間が 16 ± 0.5 sec となるように定めた水セメント比 (%)

表—5.17 各試験所による混和剤の分担

試 験 所	所 在 地	種 別	混 和 剤 記 号
港 湾 技 術 研 究 所 (旧運輸技術研究所)	横 須 賀 市	分 散 剤	P 剤
		A E 剤	V 剤
神 戸 調 査 設 計 事 務 所 (旧神戸材料検査場)	神 戸 市	分 散 剤	L 剤
小 倉 調 査 設 計 事 務 所 (旧小倉材料検査場)	北 九 州 市	分 散 剤	N 剤
		A E 剤	C 剤 D 散

での測定値を直接比較することは誤った結論を導く危険が多い。このため、本実験では、たとえば表—5.13の a—0—10—0 ~ a—4—20—0 および表—5.14の b—10—0 ~ b—20—0 のように混和剤を含まない各試験所間に共通の配合を設け、更に予備実験の段階において共通の混和剤としてボゾリス No. 8 を取上げ表—5.13 に示した因子配列表の全配合について共通試験を行なつて試験所内の誤差の分散を検定すると共に、試験所間についても分散分析を行つた。試験所内の誤差の検定ないし試験所間の分散分析の結果の詳細は既に報告した¹³⁾ので、ここではその結論のみを紹介する。すなわち、同一試験所内に関する限り、各測定項目の測定値からモルタルの性質を比較しても、その測定誤差によつて誤った判断を導く危険は少い。しかし、保水性ならびに圧縮強度に関しては試験所による有意差が認められ、試験所を異にした測定値からモルタルの性質を直接比較することは危険である。

上述の分析結果に基づき、次節以下で諸因子がモルタルの諸性質におよぼす影響を検討するに当つては、測定値そのものを直接比較することを避け、因子配列の群ごとおよび試験別ごとに一つの基準となるような標本を選び、各測定値をこの基準標本の測定値と比較することによつて試験所の別による偏りを除くことを試みたのである。もちろん、配合決定の基準とした流出時間についてはこの限りではない。

表—5.18~5.25は以上に述べた要領で行なつた試験結果である。表示した流出時間、ブリージング率および空気量のそれぞれの値はいずれも異なるバッチより採取した3個の試料について得られた測定値の平均値である。強度試験の供試体としては4×4×16cm供試体を用い、各バッチごとに3連型枠を使用して同時に3個づつ製作し、各材令の供試体に各バッチのものが1個づつ含まれるように採取したもので、表示した曲げ強度は以上の3個についての平均値であり、圧縮強度は曲げ強度試験の折片6個についての平均値である。

表—5.18 混和剤が注入モルタルの諸性質におよぼす影響 (8—1)

配合番号	セメント 種類	配合比			練りま ぜ時間 (min)	所要水セメント比W/(C+F)(%)*						ブリージング率** (%)	
		F C+F (%)	S C+F	DA C+F		セメント分散剤				A E 剤		分散剤	A E 剤
						C 剤	L 剤	P 剤	N 剤	V 剤	D 剤		
a—0—10—0	普通セメント	0	1.0	0	10	52.0	—	53.0	51.0	—	52.0	3.9	—
a—0—15—0	"	"	1.5	"	"	65.0	—	66.5	63.5	—	65.0	5.7	—
a—0—20—0	"	"	2.0	"	"	81.0	—	80.0	79.0	—	80.0	7.5	—
a—2—10—0	"	20	1.0	"	"	50.0	—	51.0	50.0	—	50.0	4.5	—
a—2—15—0	"	"	1.5	"	"	63.0	—	64.0	62.0	—	63.0	5.8	—
a—2—20—0	"	"	2.0	"	"	78.0	—	78.5	75.5	—	78.0	9.3	—
a—4—10—0	"	40	1.0	"	"	50.0	—	50.0	49.0	—	50.0	5.0	—
a—4—15—0	"	"	1.5	"	"	61.0	—	63.0	59.5	—	61.0	6.7	—
a—4—20—0	"	"	2.0	"	"	75.0	—	76.0	74.0	—	75.0	9.6	—
a—0—10—5	普通セメント	0	1.0	0.5R	10	51.0	50.5	50.7	51.5	52.3	52.0	3.9	1.7
a—0—15—5	"	"	1.5	"	"	65.0	62.5	64.5	64.0	65.8	65.0	5.4	2.2
a—0—20—5	"	"	2.0	"	"	81.0	79.0	80.0	79.0	80.3	81.0	6.6	6.4
a—2—10—5	"	20	1.0	"	"	50.0	49.5	49.8	51.0	51.3	50.0	4.1	2.4
a—2—15—5	"	"	1.5	"	"	63.0	61.5	61.7	62.5	62.8	63.0	6.0	4.1
a—2—20—5	"	"	2.0	"	"	77.0	75.0	77.8	76.0	77.2	77.0	9.1	7.5
a—4—10—5	"	20	1.0	"	"	49.0	49.5	49.3	51.5	50.3	49.0	7.2	2.7
a—4—15—5	"	"	1.5	"	"	61.0	60.5	59.7	62.0	61.8	61.0	9.1	3.8
a—4—20—5	"	"	2.0	"	"	75.0	73.0	74.1	75.0	74.3	75.0	8.4	7.8
a—0—10—10	普通セメント	0	1.0	1.0R	10	51.0	50.5	50.3	51.5	52.1	52.0	2.1	1.5
a—0—15—10	"	"	1.5	"	"	65.0	63.0	63.8	63.5	65.1	65.0	4.6	3.2
a—0—20—10	"	"	2.0	"	"	81.0	79.0	80.0	77.5	81.1	81.0	5.8	4.1
a—2—10—10	"	20	1.0	"	"	50.0	49.5	49.0	50.5	51.5	50.0	3.3	3.0
a—2—15—10	"	"	1.5	"	"	63.0	61.0	61.3	61.5	61.6	63.0	5.1	4.0
a—2—20—10	"	"	2.0	"	"	77.0	76.0	76.0	74.0	77.1	77.0	7.0	6.7
a—4—10—10	"	40	1.0	"	"	50.0	49.0	47.3	49.5	50.4	50.0	4.9	2.3
a—4—15—10	"	"	1.5	"	"	61.0	60.0	59.0	59.5	61.6	61.0	6.6	4.3
a—4—20—10	"	"	2.0	"	"	76.0	73.5	73.2	72.5	73.6	75.0	12.7	6.2
a—0—10—15	普通セメント	0	1.0	1.5R	10	51.0	51.5	49.7	51.5	52.4	52.0	2.0	1.6
a—0—15—15	"	"	1.5	"	"	65.0	64.5	62.5	63.5	64.9	65.0	5.0	3.4
a—0—20—15	"	"	2.0	"	"	81.0	79.5	77.5	78.5	79.4	81.0	6.5	6.3
a—2—10—15	"	20	1.0	"	"	50.0	50.5	47.3	50.0	50.9	51.0	2.9	1.5
a—2—15—15	"	"	1.5	"	"	63.0	62.0	59.8	61.5	62.9	63.0	5.2	2.8
a—2—20—15	"	"	2.0	"	"	77.0	77.0	74.7	75.5	76.7	77.0	6.7	5.1
a—4—10—15	"	40	1.0	"	"	50.0	49.5	46.8	49.5	50.7	50.0	3.7	2.5
a—4—15—15	"	"	1.5	"	"	61.0	60.0	58.0	60.0	61.4	61.0	4.7	3.7
a—4—20—15	"	"	2.0	"	"	74.0	73.0	72.0	73.0	76.0	75.0	5.6	7.0

*. ** 表—5.19 注参照

表-5.19 混和剤が注入モルタルの諸性質におよぼす影響 (8-2)

配合番号	セメント の種類	配合比			練りま ぜ時間 (min)	所要水セメント比 $W/(C+F)$ (%)*						フリージング率** (%)	
		$\frac{F}{C+F}$ (%)	$\frac{S}{C+F}$	$\frac{DA}{C+F}$		セメント分散剤				A E 剤		分散剤 P 剤	A E 剤 V 剤
						C 剤	L 剤	P 剤	N 剤	V 剤	D 剤2		
b-10-0	高 炉 セメント	0	1.0	0	10	54.0	53.0	54.0	53.5	54.0	54.0	3.6	3.4
b-15-0	"	"	1.5	"	"	67.0	64.5	66.0	65.0	65.8	66.0	4.3	5.4
b-20-0	"	"	2.0	"	"	82.0	77.0	79.5	80.0	80.5	81.0	8.2	6.5
b-10-5	"	"	1.0	0.5R	"	54.0	53.0	50.8	54.5	53.8	54.0	4.0	3.4
b-15-5	"	"	1.5	"	"	67.0	64.0	62.4	65.5	66.1	66.0	5.4	4.1
b-20-5	"	"	2.0	"	"	82.0	79.5	77.0	80.0	79.8	81.0	6.8	6.7
b-10-10	高 炉 セメント	0	1.0	1.0R	10	54.0	53.0	49.5	54.0	54.1	54.0	2.8	2.9
b-15-10	"	"	1.5	"	"	66.0	65.0	61.0	65.5	65.6	66.0	5.5	6.5
b-20-10	"	"	2.0	"	"	81.0	79.5	76.0	81.0	79.6	81.0	7.7	6.6
b-10-15	"	"	1.0	1.5R	"	54.0	53.0	49.0	53.5	54.4	54.0	2.3	5.0
b-15-15	"	"	1.5	"	"	66.0	64.5	60.5	65.0	65.4	66.0	3.6	3.9
b-20-15	"	"	2.0	"	"	81.0	79.5	75.0	75.5	79.9	81.0	5.4	7.0
c-0-5	普 通 セメント	0	1.5	1.0R	5	65.0	64.0	64.0	64.5	64.6	65.0	4.8	2.7
c-0-10	"	"	"	"	10	65.0	64.0	64.0	64.5	64.6	65.0	2.7	2.6
c-0-20	"	"	"	"	20	65.0	64.0	64.0	64.5	64.6	65.0	3.4	2.6
c-4-5	"	40	"	"	5	60.0	59.0	59.4	61.0	61.6	62.0	5.7	5.5
c-4-10	"	"	"	"	10	60.0	59.0	59.4	61.0	61.6	62.0	4.6	—
c-4-20	"	"	"	"	20	60.0	59.0	59.4	61.8	61.6	62.0	3.1	3.2
d-0-0	普 通 セメント	0	1.5	1.0R	10	59.0	60.0	60.0	60.5	60.6	61.0	2.4	3.2
d-0-2	"	"	"	"	"	61.0	62.0	62.0	62.5	62.6	63.0	2.5	2.1
d-0-4	"	"	"	"	"	63.0	64.0	64.0	64.5	64.6	65.0	2.8	2.7
d-0-6	"	"	"	"	"	65.0	66.0	66.0	66.5	66.6	67.0	3.5	3.0
d-0-8	"	"	"	"	"	67.0	68.0	68.0	68.5	68.6	69.0	3.8	3.5
d-0-10	"	"	"	"	"	69.0	70.0	70.0	70.5	70.6	71.0	4.8	6.2
d-4-0	普 通 セメント	40	1.5	1.0R	10	56.0	58.0	55.4	57.0	57.6	58.0	7.0	3.4
d-4-2	"	"	"	"	"	58.0	60.0	57.4	59.0	59.6	60.0	3.6	4.1
d-4-4	"	"	"	"	"	60.0	62.0	59.4	61.0	61.6	62.0	4.1	4.6
d-4-6	"	"	"	"	"	62.0	64.0	61.4	63.0	63.6	64.0	7.9	4.6
d-4-8	"	"	"	"	"	64.0	66.0	63.4	65.0	65.6	66.0	6.5	6.2
d-4-10	"	"	"	"	"	66.0	68.0	64.4	67.0	67.6	68.0	6.6	8.5

* バッチの相違する試料を用いて流動性試験を3回行ない、流出時間の平均値が $16 \pm 0.5 \text{sec}$ となるように定めた水セメント比

** 異なるバッチより採取した試料3個についての平均値

表-5.20 混和剤が注入モルタルの諸性質におよぼす影響 (8~3)

配合番号	流出時間 (sec) *						保水性 (%) *						空気量 (%) *					
	セメント分散剤			AE剤			セメント分散剤			AE剤			セメント分散剤			AE剤		
	C剤	L剤	P剤	N剤	V剤	D剤	C剤	L剤	P剤	N剤	V剤	D剤	C剤	L剤	P剤	N剤	V剤	N剤
a-0-10-0	16.1	—	15.9	15.9	—	16.0	75.3	—	72.8	75.1	—	75.3	0.22	—	0.15	0.10	—	0.13
a-0-15-0	15.9	—	16.1	16.1	—	15.7	73.3	—	72.8	76.0	—	75.4	0.12	—	0.19	0.08	—	0.15
a-0-20-0	16.1	—	16.2	15.9	—	16.1	61.8	—	61.5	61.7	—	68.5	0.10	—	0.17	0.10	—	0.16
a-2-10-0	16.5	—	16.3	16.5	—	16.6	73.3	—	72.2	74.8	—	74.8	0.10	—	0.23	0.08	—	0.15
a-2-15-0	15.9	—	15.7	15.8	—	15.5	73.2	—	72.1	75.5	—	74.4	0.15	—	0.17	0.12	—	0.08
a-2-20-0	16.1	—	15.6	15.9	—	15.5	61.1	—	66.2	65.6	—	69.5	0.07	—	0.18	0.12	—	0.18
a-4-10-0	16.0	—	16.0	16.6	—	16.2	73.1	—	77.3	75.7	—	74.6	0.08	—	0.26	0.08	—	0.22
a-4-15-0	16.1	—	15.4	16.5	—	15.7	73.1	—	71.1	75.0	—	73.1	0.13	—	0.20	0.12	—	0.13
a-4-20-0	16.2	—	15.8	15.7	—	15.6	68.7	—	68.2	69.8	—	70.5	0.20	—	0.12	0.10	—	0.12
a-0-10-5	15.9	15.8	16.3	16.1	16.2	16.1	72.5	75.9	75.7	74.9	75.1	74.7	0.18	0.14	0.14	0.11	0.31	0.18
a-0-15-5	15.9	16.1	16.2	15.9	16.1	16.0	69.6	75.2	75.2	74.8	75.6	75.1	0.36	0.11	0.13	0.16	0.22	0.19
a-0-20-5	15.6	15.6	15.9	15.9	15.6	15.8	58.5	63.2	65.7	64.0	63.2	64.1	0.70	0.12	0.16	0.15	0.72	0.20
a-2-10-5	16.5	16.3	15.8	16.4	15.9	16.4	72.9	75.9	75.6	74.4	73.3	0.18	0.08	0.15	0.25	0.35	0.16	
a-2-15-5	15.7	15.9	16.0	15.7	15.5	16.2	71.5	75.6	74.0	74.9	73.3	0.28	0.10	0.11	0.23	0.64	0.21	
a-2-20-5	15.8	16.3	15.5	16.4	16.1	15.7	57.2	68.0	65.8	65.4	65.2	68.8	0.40	0.08	0.20	0.25	0.45	0.30
a-4-10-5	16.2	16.5	15.9	15.9	15.8	16.1	73.0	74.7	74.3	74.2	72.9	0.12	0.13	0.16	0.23	0.27	0.23	
a-4-15-5	15.9	16.1	15.9	15.8	15.5	16.4	71.7	75.6	73.5	74.9	72.6	0.30	0.08	0.16	0.23	0.17	0.30	
a-4-20-5	15.7	16.5	16.0	15.6	16.1	16.3	57.9	71.0	66.1	70.5	70.0	0.47	0.12	0.17	0.18	0.28	0.23	
a-0-10-10	16.3	16.3	16.4	15.6	15.9	16.1	73.7	77.5	97.8	574.9	75.3	374.5	0.33	0.11	0.29	0.24	0.45	0.26
a-0-15-10	16.2	16.1	15.7	15.6	15.5	15.7	68.6	76.2	76.6	75.3	73.0	0.37	0.13	0.14	0.40	0.34	0.29	
a-0-20-10	16.1	16.2	16.2	16.2	15.6	15.7	57.7	76.3	166.4	63.9	66.5	64.3	0.97	0.26	0.13	0.52	0.38	0.49
a-0-10-10	16.4	16.4	15.9	15.9	15.5	16.6	72.3	75.9	76.4	75.0	72.3	0.22	0.13	0.15	0.23	0.38	0.29	
a-0-15-10	16.0	16.4	16.0	16.0	15.8	15.7	69.2	75.6	76.0	75.3	73.7	0.33	0.13	0.15	0.28	0.38	0.38	
a-0-20-10	16.2	15.8	15.7	16.0	15.9	16.0	57.7	76.4	567.8	64.4	65.8	67.5	0.67	0.12	0.16	0.70	0.59	0.28
a-0-10-10	16.0	16.5	15.9	15.6	16.0	15.9	73.0	75.7	77.5	0.73	872.9	73.2	0.42	0.13	0.18	0.35	0.32	0.23
a-0-15-10	16.1	16.3	16.1	16.2	15.5	16.0	71.7	77.5	174.7	74.6	72.8	0.23	0.12	0.14	0.43	0.37	0.22	
a-0-20-10	15.8	15.9	15.6	15.8	16.4	16.1	56.4	70.4	471.7	66.6	67.1	0.54	0.20	0.14	0.13	0.53	0.32	
a-0-10-10	15.4	16.3	16.2	15.7	15.6	16.3	69.3	76.5	579.5	75.6	674.2	0.42	0.11	0.24	0.30	0.45	0.35	
a-0-15-10	16.5	16.1	15.7	16.1	15.8	15.8	67.6	75.0	0.76	575.5	574.1	173.8	0.65	0.10	0.15	0.43	0.64	0.39
a-0-20-10	15.8	16.0	16.0	16.0	15.6	15.6	58.4	64.5	569.7	62.1	162.4	61.5	0.97	0.10	0.17	0.62	1.34	0.71
a-2-10-10	16.1	16.3	16.0	16.3	15.6	16.0	72.3	75.6	678.8	75.0	74.0	0.20	0.12	0.23	0.48	0.52	0.23	
a-2-15-10	16.2	16.6	15.8	15.8	15.7	16.5	70.5	72.5	576.1	75.2	73.6	0.25	0.07	0.16	0.49	0.91	0.26	
a-2-20-10	16.1	16.3	15.7	15.7	16.1	15.8	58.0	64.8	872.6	60.3	369.3	67.5	0.72	0.08	0.16	0.66	0.75	0.45
a-4-10-10	16.4	16.3	16.1	15.6	16.0	16.0	72.1	75.2	78.5	73.5	73.3	0.32	0.12	0.24	0.48	0.68	0.28	
a-4-15-10	15.8	15.8	15.9	16.4	16.1	15.8	70.6	74.7	776.3	74.2	272.5	0.38	0.13	0.19	0.85	1.14	0.32	
a-4-20-10	15.8	15.7	15.9	16.3	16.1	16.2	58.0	72.0	0.76	0.63	369.8	68.6	0.14	0.12	0.28	0.97	0.54	0.45

* 表-5.21 注参照

表-5.21 混和剤が注入モルタルの諸性質におよぼす影響 (8~4)

配合番号	流出時間 (sec) *						保水性 (%) *						空気量 (%) *					
	セメント分散剤			A E 剤			セメント分散剤			A E 剤			セメント分散剤			A E 剤		
	C 剤	L 剤	P 剤	N 剤	V 剤	D 剤	C 剤	L 剤	P 剤	N 剤	V 剤	D 剤	C 剤	L 剤	P 剤	N 剤	V 剤	D 剤
b-10-0	15.6	15.8	16.1	15.8	16.0	15.5	73.2	74.9	71.4	74.8	74.4	73.2	0.13	0.10	0.12	0.10	0.18	0.20
b-15-0	15.8	16.4	15.7	16.1	16.0	15.8	74.0	76.1	73.4	74.8	75.6	74.4	0.15	0.08	0.10	0.15	0.13	0.17
b-20-0	16.3	16.3	16.4	16.1	16.0	15.9	62.3	67.8	67.1	67.9	68.2	69.8	0.12	0.15	0.09	0.17	0.13	0.21
b-10-5	15.7	16.4	16.3	15.9	15.9	16.3	73.4	75.5	74.0	74.4	73.7	0.07	0.12	0.10	0.10	0.21	0.21	
b-15-5	15.6	16.0	15.9	16.3	15.9	16.2	72.5	76.4	73.3	74.3	75.0	73.8	0.12	0.10	0.15	0.12	0.17	0.23
b-20-5	15.7	15.7	15.7	15.7	16.4	15.7	61.0	65.0	69.5	62.6	67.8	66.8	0.22	0.10	0.13	0.12	0.15	0.20
b-10-10	16.0	16.5	16.1	16.1	15.7	15.9	73.0	75.2	76.1	73.6	74.1	73.2	0.11	0.12	0.17	0.17	0.28	0.21
b-15-10	16.0	16.2	16.1	15.6	15.5	16.4	72.4	75.7	75.4	74.9	74.1	0.13	0.10	0.13	0.12	0.15	0.21	
b-20-10	16.2	15.6	15.7	15.3	16.3	15.8	59.7	65.6	70.6	62.1	66.0	63.5	0.18	0.08	0.11	0.15	0.77	0.25
b-10-15	16.0	16.2	15.6	16.9	15.5	16.0	72.2	73.7	77.6	67.5	173.9	73.8	0.11	0.07	0.18	0.15	0.39	0.25
b-15-15	16.1	16.0	15.6	16.6	15.7	16.4	72.7	77.5	274.4	75.4	972.8	0.13	0.08	0.15	0.17	0.36	0.30	
b-20-15	15.8	15.7	16.1	15.9	16.2	15.9	59.3	65.0	74.1	65.5	67.0	65.8	0.25	0.08	0.16	0.23	0.77	0.56
c-0-5	14.8	14.3	13.7	15.0	13.6	14.1	71.9	75.5	74.3	72.8	74.9	72.7	0.55	0.13	0.22	0.32	0.58	0.39
c-0-10	16.1	16.9	15.9	16.0	15.8	16.4	73.2	76.4	75.8	71.2	75.3	74.6	0.24	0.11	0.26	0.24	0.54	0.32
c-0-20	22.6	27.4	21.3	19.2	24.9	—	75.1	178.3	78.5	74.7	77.9	077.3	0.20	0.11	0.39	0.19	0.39	0.23
c-4-5	15.7	15.9	14.3	16.0	14.3	15.5	72.1	74.8	73.2	73.2	73.1	71.6	0.38	0.25	0.53	0.40	0.52	0.42
c-4-10	15.6	16.2	16.1	16.1	16.1	16.1	72.4	74.8	74.9	73.3	—	72.2	0.48	0.12	0.28	0.30	—	0.30
c-4-20	20.5	24.1	19.3	20.1	19.2	22.1	74.1	177.9	74.9	73.7	77.5	475.2	0.33	0.13	0.33	0.23	0.60	0.42
d-0-0	25.4	23.7	22.5	26.7	23.0	23.9	72.5	78.7	77.9	376.2	777.0	1.19	0.30	0.41	0.54	1.04	0.67	
d-0-2	18.9	19.7	18.3	19.9	18.7	18.4	71.9	77.5	76.0	75.2	75.3	0.74	0.13	0.40	0.19	0.58	0.43	
d-0-4	16.5	16.3	16.2	16.2	16.1	15.9	71.0	76.7	74.9	73.8	75.2	73.1	0.40	0.15	0.29	0.15	0.62	0.31
d-0-6	14.1	13.5	14.2	14.0	13.7	14.2	67.0	73.5	74.1	170.2	274.2	4.0	0.42	0.10	0.26	0.23	0.42	0.28
d-0-8	12.9	12.3	12.9	12.6	12.8	12.9	68.8	72.5	70.1	168.7	772.3	70.1	0.29	0.10	0.18	0.17	0.33	0.38
d-0-10	12.0	11.7	12.0	12.0	11.8	12.1	64.2	71.4	70.9	68.0	69.8	68.9	0.44	0.12	0.20	0.12	0.30	0.33
d-4-0	22.9	26.8	22.3	24.8	22.0	25.8	74.9	78.4	76.5	76.4	77.4	75.2	0.97	0.22	0.54	0.10	0.78	0.66
d-4-2	17.5	20.3	18.2	19.5	17.4	19.5	73.4	75.8	73.6	74.4	74.9	72.7	0.80	0.15	0.36	0.45	0.65	0.40
d-4-4	15.8	15.8	15.5	16.2	15.5	16.5	70.7	74.4	72.6	72.7	73.4	72.0	0.50	0.12	0.23	0.35	0.43	0.33
d-4-6	14.0	14.3	13.9	13.6	13.8	14.2	70.1	72.5	70.5	69.3	72.7	76.9	0.18	0.13	0.28	0.28	0.30	0.27
d-4-8	12.9	13.1	12.8	12.4	12.5	12.8	67.9	71.1	69.5	68.8	69.0	68.4	0.17	0.17	0.13	0.18	0.44	0.32
d-4-10	12.2	12.1	12.4	12.0	12.1	12.1	66.7	76.9	168.5	59.3	67.5	65.6	0.20	0.13	0.02	0.29	0.48	0.30

* 異なるバッチより採取した試料 3 個についての平均値

表-5.22 混和剤が注入モルタルの諸性質におよぼす影響 (8~5)

配合番号	7日圧縮強度 (kg/mm ²)*						28日圧縮強度 (kg/mm ²)*						91日圧縮強度 (kg/mm ²)*					
	セメント分散剤				A E 剤		セメント分散剤				A E 剤		セメント分散剤				A E 剤	
	C 剤	L 剤	P 剤	N 剤	V 剤	D 剤	C 剤	L 剤	P 剤	N 剤	V 剤	D 剤	C 剤	L 剤	P 剤	N 剤	V 剤	D 剤
a-0-10-0	281	—	378	343	—	342	547	—	619	524	—	530	668	—	744	717	—	739
a-0-15-0	206	—	278	251	—	237	413	—	484	389	—	408	558	—	564	575	—	536
a-0-20-0	155	—	208	182	—	161	289	—	391	299	—	314	337	—	454	432	—	367
a-2-10-0	236	—	278	259	—	226	423	—	515	400	—	455	607	—	698	661	—	751
a-2-15-0	173	—	215	188	—	178	319	—	364	355	—	337	492	—	541	550	—	575
a-2-20-0	124	—	147	127	—	126	244	—	252	249	—	250	370	—	380	396	—	449
a-4-10-0	148	—	200	183	—	165	320	—	351	364	—	327	461	—	577	626	—	724
a-4-15-0	126	—	149	131	—	131	211	—	236	264	—	249	397	—	424	509	—	554
a-4-20-0	80	—	98	102	—	85	139	—	156	206	—	177	272	—	300	363	—	391
a-0-10-5	288	318	404	369	349	330	520	583	605	562	536	522	626	704	744	739	588	798
a-0-15-5	217	241	284	268	301	249	422	485	426	438	498	416	543	561	550	540	589	569
a-0-20-5	120	175	185	179	193	155	296	345	326	313	362	282	393	406	419	419	428	432
a-2-10-5	213	258	268	275	294	228	429	397	478	469	581	388	644	689	707	721	586	765
a-2-15-5	155	185	247	206	235	172	320	370	374	372	423	341	457	572	590	591	579	564
a-2-20-5	113	141	117	135	170	117	220	266	239	265	317	249	324	380	387	437	463	476
a-4-10-5	160	180	186	163	221	177	307	355	380	357	410	320	498	321	636	601	654	662
a-4-15-5	120	136	130	133	162	126	211	265	280	270	309	271	409	—	474	485	514	532
a-4-20-5	72	101	88	86	116	85	127	179	182	181	233	182	258	—	334	345	390	421
a-0-10-10	298	336	380	—	355	309	450	615	561	589	564	566	634	627	643	715	692	594
a-0-15-10	222	242	295	271	298	271	380	458	480	469	480	456	492	535	523	582	542	610
a-0-20-10	147	163	201	187	230	196	258	342	341	354	403	320	355	403	377	433	456	455
a-2-10-10	229	210	299	261	285	251	361	483	492	516	496	481	639	716	622	—	673	819
a-2-15-10	179	211	207	211	225	196	329	383	387	415	415	353	473	—	533	597	587	644
a-2-20-10	117	146	158	145	164	134	213	296	290	276	306	249	323	460	407	417	434	466
a-4-10-10	116	193	201	191	194	167	324	376	373	384	388	366	499	569	569	612	606	645
a-4-15-10	93	136	140	133	154	114	207	256	270	262	308	271	409	450	467	439	522	539
a-4-20-10	78	89	118	89	108	91	127	186	236	182	213	177	293	320	419	341	369	409
a-0-10-15	296	341	374	331	360	329	469	553	566	535	605	536	674	696	636	699	724	699
a-0-15-15	226	253	282	260	291	250	392	443	458	457	482	450	514	499	518	559	578	531
a-0-20-15	154	174	202	175	188	176	253	339	370	345	353	326	367	374	431	431	418	407
a-2-10-15	243	276	283	270	301	245	365	452	504	497	484	486	664	593	647	731	691	694
a-2-15-15	172	202	214	206	204	185	284	355	415	386	379	382	534	533	605	570	550	607
a-2-20-15	107	131	174	137	160	127	187	242	316	265	285	290	353	356	464	402	422	397
a-4-10-15	164	186	192	186	197	168	270	355	322	365	366	341	558	573	609	574	574	611
a-4-15-15	117	138	135	134	148	119	231	262	296	259	286	248	435	456	490	491	479	511
a-4-20-15	65	80	97	84	104	86	147	184	200	179	211	199	300	315	366	346	378	378

* 表-5.23 注参照

表-5.23 混和剤が注入モルタルの諸性質におよぼす影響 (8~6)

配合番号	7日圧縮強度 (kg/mm ²)*						28日圧縮強度 (kg/cm ²)*						91日圧縮強度 (kg/cm ²)*					
	セメント分散剤				AE剤		セメント分散剤				AE剤		セメント分散剤				AE剤	
	C剤	L剤	P剤	N剤	V剤	D剤	C剤	L剤	P剤	N剤	V剤	D剤	C剤	L剤	P剤	N剤	V剤	D剤
b-10-0	162	208	202	206	229	201	396	428	454	478	518	492	602	—	702	785	742	653
b-15-0	145	162	155	164	166	169	316	399	397	363	430	470	511	—	649	606	635	494
b-20-0	99	123	108	108	126	104	258	344	312	287	367	354	403	—	496	490	515	466
b-10-5	187	210	242	232	254	216	426	483	541	522	526	516	604	—	756	745	744	742
b-15-5	146	161	183	169	185	156	336	381	438	421	443	453	510	—	704	631	624	617
b-20-5	101	114	146	150	139	123	239	336	377	327	364	384	407	—	579	484	541	477
b-10-10	195	211	265	285	237	216	329	512	581	509	506	581	615	—	745	736	756	741
b-15-10	157	150	207	—	171	162	238	442	472	408	427	451	499	—	676	—	604	612
b-20-10	91	116	138	105	122	125	200	325	360	316	320	348	420	—	566	477	477	473
b-10-15	178	214	223	—	216	222	236	507	549	510	486	523	652	—	734	—	693	694
b-15-15	130	155	193	—	170	166	331	386	473	407	414	424	537	—	694	—	632	590
b-20-15	89	106	132	—	129	118	235	320	357	318	355	332	411	—	557	—	542	452
c-0-5	185	264	269	230	249	255	382	487	470	647	466	501	505	550	528	531	518	574
c-0-10	193	265	301	270	262	240	366	470	479	646	481	497	574	559	540	549	551	554
c-0-20	206	248	301	225	262	223	387	436	459	661	426	413	477	517	509	526	543	535
c-4-5	133	142	172	136	261	132	214	282	360	342	295	297	426	472	571	608	521	572
c-4-10	105	144	145	134	—	124	220	282	313	376	—	308	514	468	467	655	—	540
c-4-20	128	132	192	133	148	131	231	264	405	329	290	283	467	488	571	649	479	553
d-0-0	263	282	361	270	299	274	434	482	531	571	511	476	596	607	606	519	600	598
d-0-2	221	268	309	277	295	267	395	428	498	617	504	483	576	589	544	568	605	546
d-0-4	259	257	299	258	272	238	379	420	473	643	473	460	541	577	527	549	575	556
d-0-6	195	262	313	244	265	239	392	436	476	511	467	461	526	528	557	530	561	548
d-0-8	184	232	324	455	250	227	324	391	490	513	433	457	553	502	566	514	534	526
d-0-10	196	215	289	440	251	216	362	386	453	—	445	436	508	495	521	481	527	514
d-4-0	119	141	191	238	161	150	235	283	399	631	303	311	461	514	498	626	512	567
d-4-2	119	141	187	197	165	161	224	276	405	612	316	328	447	497	558	602	527	534
d-4-4	113	117	176	215	152	157	230	267	373	544	301	286	437	479	498	589	494	554
d-4-6	116	115	160	185	148	124	226	251	350	579	277	277	503	452	497	573	483	522
d-4-8	125	112	163	169	146	148	238	238	340	528	294	284	444	450	500	507	522	583
d-4-10	127	108	153	89	127	127	200	226	336	480	247	265	406	429	508	444	448	438

* 異なるバッチより採取した4×4×16cm供試体の曲げ試験折片を用いた6個の供試体の平均値

表一5.24 混和剤が注入モルタルの諸性質におよぼす影響 (8~7)

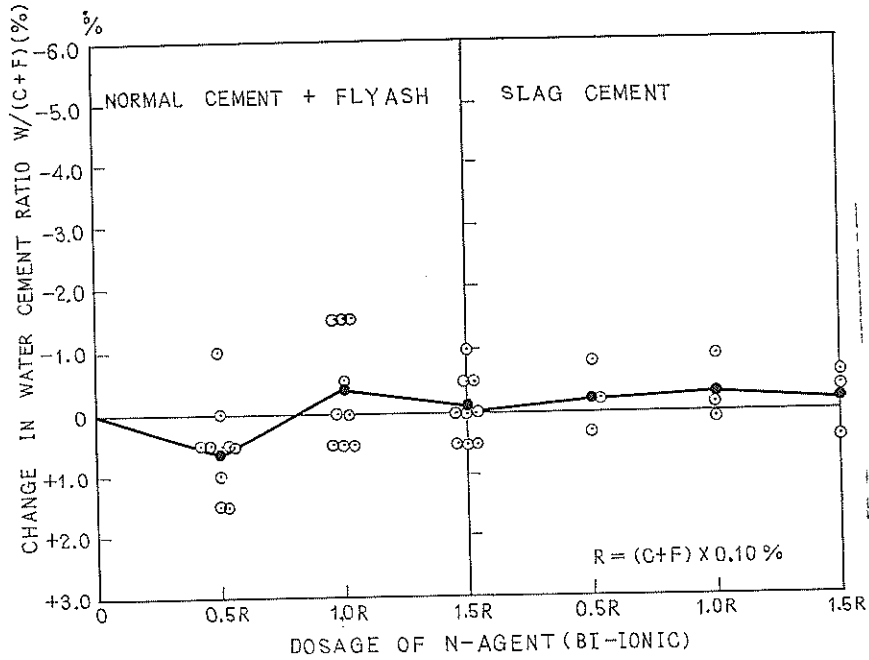
配合番号	7日曲げ強度 (kg/cm ²)*					28日曲げ強度 (kg/cm ²)*					91日曲げ強度 (kg/cm ²)*							
	セメント分散剤				A E剤	セメント分散剤				A E剤	セメント分散剤				A E剤			
	C剤	L剤	P剤	N剤	V剤	D剤	C剤	L剤	P剤	N剤	V剤	D剤	C剤	L剤	P剤	N剤	V剤	D剤
a-0-10-0	72.0	—	70.4	74.9	—	82.3	103.3	—	92.0	97.9	—	103.0	102.1	—	87.7	109.1	—	110.9
a-0-15-0	59.3	—	57.6	61.0	—	56.9	97.3	—	68.9	92.1	—	84.6	91.6	—	68.8	89.5	—	90.4
a-0-20-0	45.4	—	46.6	45.6	—	44.5	71.4	—	72.5	72.4	—	68.0	79.7	—	57.5	79.0	—	71.4
a-2-10-0	62.9	—	58.9	61.3	—	62.9	70.7	—	82.8	86.9	—	87.8	106.4	—	88.5	108.0	—	104.7
a-2-15-0	50.9	—	50.6	51.1	—	51.7	74.2	—	69.6	71.8	—	73.5	93.3	—	86.2	94.1	—	94.7
a-2-20-0	39.3	—	36.0	40.4	—	40.5	60.4	—	55.6	62.8	—	58.4	74.5	—	77.5	76.8	—	74.3
a-4-10-0	43.6	—	45.2	37.6	—	49.3	68.1	—	62.9	67.4	—	72.2	91.2	—	94.8	88.5	—	99.1
a-4-15-0	36.8	—	33.7	30.2	—	37.5	56.4	—	53.2	58.8	—	63.5	75.6	—	83.1	81.6	—	85.4
a-4-20-0	26.9	—	22.6	33.5	—	29.0	41.9	—	37.7	47.6	—	42.7	61.0	—	62.5	69.7	—	62.4
a-0-10-5	71.0	78.6	82.1	74.4	66.1	70.4	104.2	86.4	85.3	96.5	85.7	103.5	114.2	121.8	96.6	112.6	104.7	100.6
a-0-15-5	56.2	57.5	63.1	59.3	60.4	60.2	84.8	79.9	59.2	84.1	78.7	87.1	96.1	90.3	81.1	94.3	89.2	81.9
a-0-20-5	44.6	46.8	46.6	46.2	44.3	47.2	72.6	71.4	71.8	67.5	69.4	64.7	80.1	71.4	81.9	73.9	73.8	68.6
a-2-10-5	55.6	61.6	59.5	56.1	2.5	4.7	82.7	82.7	80.2	83.3	82.7	82.8	103.7	99.7	94.6	104.7	99.4	96.1
a-2-15-5	48.4	49.8	58.0	52.6	51.2	46.6	72.1	71.6	67.8	75.0	76.6	72.2	92.4	89.2	80.9	90.6	87.0	83.8
a-2-20-5	32.3	40.0	33.4	38.0	41.2	34.6	53.1	58.8	55.4	57.7	67.8	51.9	70.9	67.5	72.8	76.2	72.5	71.0
a-4-10-5	43.7	48.7	45.0	40.0	48.8	45.1	65.7	69.7	66.0	65.8	72.7	75.4	97.9	70.0	95.0	89.0	92.0	90.7
a-4-15-5	35.4	37.8	34.6	36.2	39.4	33.8	53.2	60.7	54.1	55.4	61.9	63.7	86.4	—	81.9	79.2	83.0	79.9
a-4-20-5	22.7	30.8	22.0	26.8	28.5	27.7	37.0	47.4	42.6	41.4	49.8	48.8	66.1	—	63.7	65.1	71.4	72.3
a-0-10-10	65.0	77.4	64.2	—	68.4	72.3	96.3	100.8	69.5	92.2	75.6	106.0	114.4	59.9	67.9	110.5	104.5	94.3
a-0-15-10	54.3	65.2	58.5	60.8	62.6	57.3	79.2	80.4	67.9	80.3	82.6	88.3	98.0	89.1	76.0	87.7	91.7	89.3
a-0-20-10	43.5	48.4	44.9	45.1	7.5	1.0	66.8	69.0	67.3	69.2	75.1	65.7	79.9	88.0	70.1	73.6	83.4	73.3
a-2-10-10	54.0	62.2	59.5	56.1	3.5	5.7	82.9	88.5	67.6	69.1	88.6	79.1	98.2	111.3	91.9	—	114.6	103.5
a-2-15-10	49.4	58.5	49.7	51.5	49.1	54.2	68.9	85.4	65.1	69.1	73.3	65.5	99.0	—	76.7	83.5	84.9	79.1
a-2-20-10	36.5	44.2	37.0	37.6	40.3	39.8	51.6	66.9	55.6	60.6	61.6	54.6	76.0	77.7	70.0	69.7	75.0	75.4
a-4-10-10	44.3	43.5	43.9	44.5	45.3	48.4	67.3	71.9	59.8	72.7	64.6	66.0	88.6	94.1	80.0	85.6	83.1	90.5
a-4-15-10	35.7	36.7	34.6	35.3	43.7	43.8	54.2	50.6	54.9	57.4	55.7	56.7	76.8	76.4	75.9	80.7	81.7	80.3
a-4-20-10	25.2	27.1	30.3	28.3	27.1	27.7	39.5	45.5	50.5	43.8	47.7	44.6	61.1	63.1	58.3	64.6	71.1	72.5
a-0-10-15	68.3	76.5	55.6	57.3	1.6	8.7	106.2	63.6	77.3	88.5	87.0	91.6	109.2	74.7	59.0	102.2	111.0	100.6
a-0-15-15	53.4	55.2	54.7	61.5	61.8	60.4	83.8	83.7	54.7	76.7	83.3	80.5	94.7	76.3	44.0	89.5	93.1	88.5
a-0-20-15	40.8	48.6	46.5	47.3	3.4	1.8	59.8	71.1	68.2	64.2	66.5	62.7	78.4	68.5	55.3	73.8	71.1	64.9
a-2-10-15	60.0	63.7	52.7	76.0	4.6	8.6	82.7	81.0	77.5	82.8	82.6	72.3	114.7	102.2	92.7	98.7	104.7	93.2
a-2-15-15	46.2	47.9	48.7	53.5	45.4	54.0	69.4	74.6	68.2	70.5	67.9	65.7	89.2	83.6	72.6	84.8	82.5	86.5
a-2-20-15	34.2	36.5	54.1	1.3	3.7	4.0	54.1	56.7	59.4	57.8	58.1	52.0	76.2	60.4	74.9	65.9	72.0	73.3
a-4-10-15	45.2	43.0	42.5	47.9	43.8	85.0	66.6	70.9	54.7	67.7	77.0	63.7	94.3	90.1	92.3	92.8	79.2	84.6
a-4-15-15	35.7	32.3	33.1	33.9	32.6	37.6	55.6	59.1	59.1	54.6	58.1	55.7	76.0	79.1	72.7	75.5	65.8	79.5
a-4-20-15	23.8	29.2	22.5	0.2	2.5	6.2	35.9	45.4	46.5	42.2	48.4	43.5	64.0	59.2	68.8	63.6	58.4	67.8

* 表一5.25 注参照

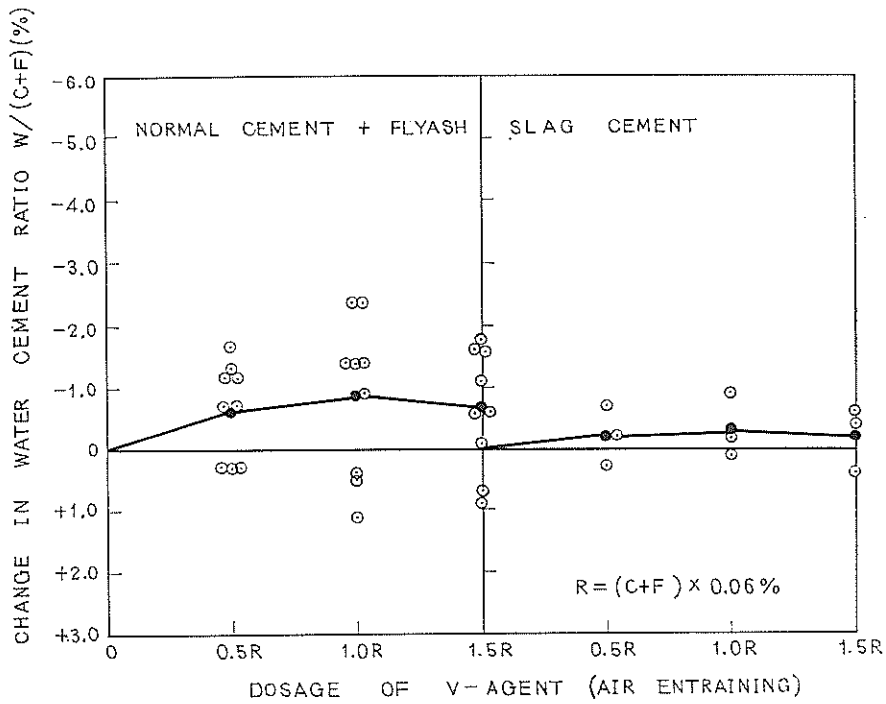
表-5.25 混和剤が注入モルタルの諸性質におよぼす影響 (8~8)

配合番号	7日曲げ強度 (kg/cm ²)*						28日曲げ強度 (kg/cm ²)*						91日曲げ強度 (kg/cm ²)*					
	セメント分散剤			A E 剤			セメント分散剤			A E 剤			セメント分散剤			A E 剤		
	C 剤	L 剤	P 剤	N 剤	V 剤	D 剤	C 剤	L 剤	P 剤	N 剤	V 剤	D 剤	C 剤	L 剤	P 剤	N 剤	V 剤	D 剤
b-10-0	43.8	45.7	44.9	46.8	49.3	52.8	68.8	69.8	65.3	47.6	71.6	64.1	78.7	—	81.6	92.7	73.3	74.8
b-15-0	36.9	49.0	36.5	40.3	39.9	45.2	64.4	63.6	59.1	99.5	67.8	62.8	63.7	—	76.5	80.6	71.2	71.3
b-20-0	29.8	40.2	29.9	30.3	32.1	35.0	54.8	56.7	60.3	78.9	65.1	53.8	62.0	—	68.9	90.3	64.6	63.1
b-10-5	42.5	49.2	54.9	45.5	50.0	48.9	70.2	89.8	86.8	103.0	61.5	63.9	68.4	—	80.2	79.1	83.7	73.9
b-15-5	38.9	43.4	44.3	54.1	04.1	84.4	65.0	68.5	69.6	97.7	61.7	63.3	73.9	—	75.4	72.6	80.6	66.2
b-20-5	27.9	34.3	37.3	38.8	35.3	39.2	58.4	86.5	54.1	90.5	62.8	56.9	67.8	—	73.4	69.5	70.4	62.7
b-10-10	43.9	47.4	44.4	15.1	44.9	54.8	67.0	69.9	48.3	100.4	71.4	63.3	68.2	—	97.6	85.4	100.2	76.4
b-15-10	37.6	38.6	47.6	—	40.9	43.7	59.4	64.0	67.6	66.3	70.5	59.9	74.0	—	90.7	—	87.8	68.6
b-20-10	29.1	32.8	34.0	32.2	30.0	34.9	59.6	55.1	64.6	56.8	63.6	54.3	61.8	—	78.5	66.7	64.0	66.5
b-10-15	41.3	46.2	47.7	—	45.1	45.2	71.6	72.3	78.1	67.9	80.1	61.2	74.1	—	82.7	—	73.1	69.2
b-15-15	35.1	40.6	43.7	—	40.7	38.0	64.2	65.5	72.3	63.1	60.2	56.3	74.3	—	73.5	—	70.6	72.9
b-20-20	29.6	31.5	35.9	—	34.1	32.8	57.3	53.6	61.3	57.9	56.9	52.6	68.8	—	71.3	—	58.7	57.7
c-0-5	57.9	61.5	56.2	76.3	05.6	95.9	87.0	78.7	178.5	87.2	81.8	81.3	87.7	87.6	85.1	91.8	87.2	89.3
c-0-10	63.6	64.4	62.5	57.1	86.1	75.7	67.0	28.4	072.5	82.1	80.0	79.1	84.0	93.6	90.4	93.0	90.5	86.2
c-0-20	53.8	61.2	25.7	76.7	55.5	45.6	98.0	47.7	770.9	91.1	178.1	173.7	83.6	81.1	179.6	88.9	64.8	78.4
c-4-5	34.8	35.8	39.2	40.2	38.1	35.5	51.2	55.6	60.2	56.5	57.4	58.1	71.5	78.2	86.0	88.1	77.7	74.1
c-4-10	34.2	37.0	34.1	37.2	—	35.9	51.9	59.1	156.3	62.1	—	52.8	72.7	76.2	271.5	110.7	—	84.6
c-4-20	32.7	32.5	40.9	35.2	32.4	33.0	51.4	54.9	96.4	56.0	57.7	54.6	75.0	74.2	286.0	90.7	79.3	78.8
d-0-0	55.9	65.6	66.6	25.6	56.2	85.9	28.6	079.7	786.9	82.6	84.3	80.3	89.7	88.1	182.4	71.0	94.1	86.9
d-0-2	55.9	58.7	62.9	65.6	63.3	62.7	84.5	80.3	377.1	86.6	84.7	77.8	92.4	86.5	86.4	95.7	88.1	88.5
d-0-4	56.8	58.6	59.8	67.5	56.6	59.9	83.4	48.1	273.5	83.1	181.8	87.7	88.1	187.6	83.3	83.7	100.2	84.2
d-0-6	55.1	58.0	62.9	63.9	54.8	59.4	82.1	17.6	579.2	84.1	184.6	67.2	90.7	85.0	84.2	95.3	93.5	87.7
d-0-8	56.2	59.6	67.1	17.6	35.4	05.4	28.3	07.6	365.3	81.9	97.6	57.1	0.82	283.4	481.9	94.0	80.4	87.2
d-0-10	54.5	55.9	62.9	64.4	53.0	48.2	82.1	17.1	659.5	75.5	80.3	37.5	8.84	682.6	72.2	80.1	72.7	85.0
d-4-0	34.9	36.8	40.6	48.4	36.2	36.7	57.2	56.9	967.3	79.7	60.0	62.9	73.9	80.8	84.0	83.5	78.6	79.1
d-4-2	34.2	38.4	44.1	14.4	53.8	23.5	58.8	60.7	67.8	80.0	61.9	58.5	81.5	58.2	082.8	87.7	77.5	85.4
d-4-4	32.7	34.9	41.7	48.4	36.8	35.1	53.5	58.5	560.5	87.9	95.7	85.6	1.77	078.6	84.0	78.0	77.0	76.0
d-4-6	33.7	45.6	37.1	43.9	35.8	33.8	56.4	56.3	366.1	78.0	59.9	58.7	76.6	82.9	82.3	74.9	60.9	74.1
d-4-8	31.9	46.3	39.6	42.0	33.6	35.3	57.5	51.4	67.6	72.7	58.7	58.8	80.7	76.9	76.1	69.4	80.0	75.6
d-4-10	33.0	42.2	37.0	28.0	31.3	30.8	53.4	54.0	64.1	69.4	51.3	53.4	75.5	72.3	378.7	67.7	72.7	76.8

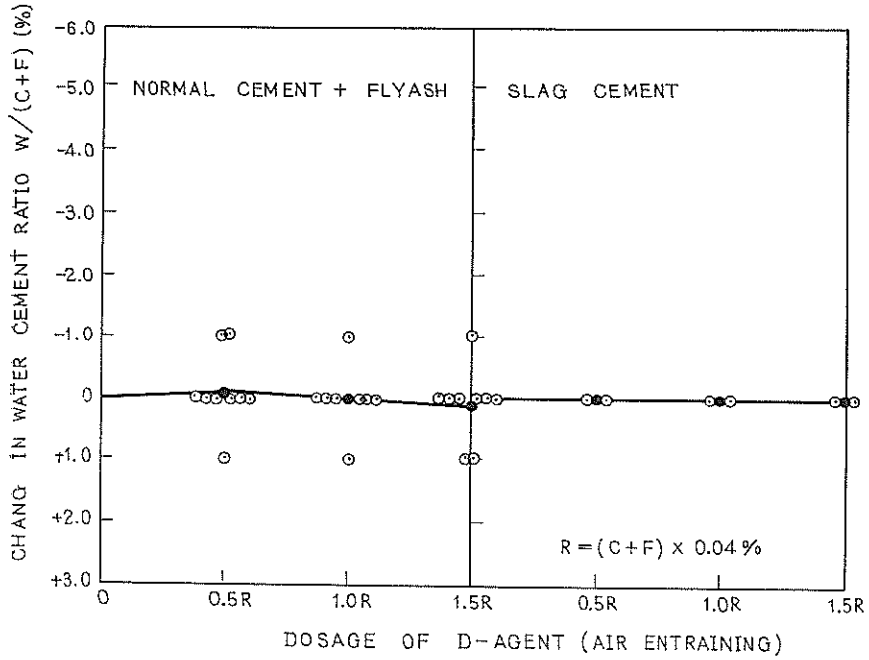
* 異なるバッチより採取した4×4×16cm供試体3個の平均値



図—5.9 N剤の使用量と所要水セメント比との関係 (流出時間=16 ±0.5sec)
Effect of Dosage of N-Agent upon Water Requirement of Intrusion Mortar (Efflux Value=16 ±0.5sec.)



図—5.10 V剤の使用量と所要水セメント比との関係 (流出時間=16 ±0.5sec)
Effect of Dosage of V-Agent upon Water Requirement of Intrusion Mortar (Efflux Value=16 ±0.5sec.)



5.11 D剤の使用量と所要水セメント比との関係 (流出時間=16 ±0.5sec)
Effect of Dosage of D-Agent upon Water Requirement of Intrusion
Mortar (Efflux Value=16 ±0.5 sec.)

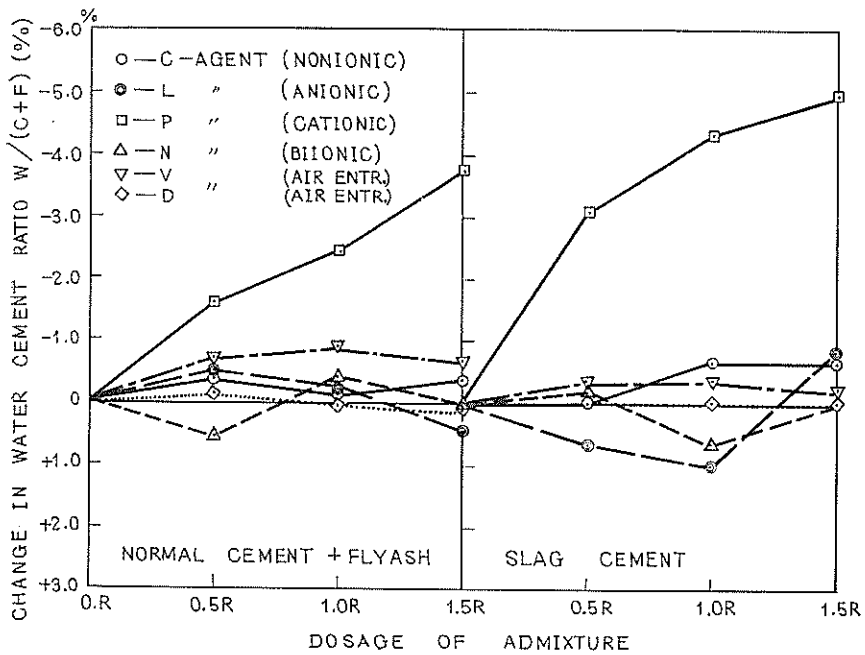
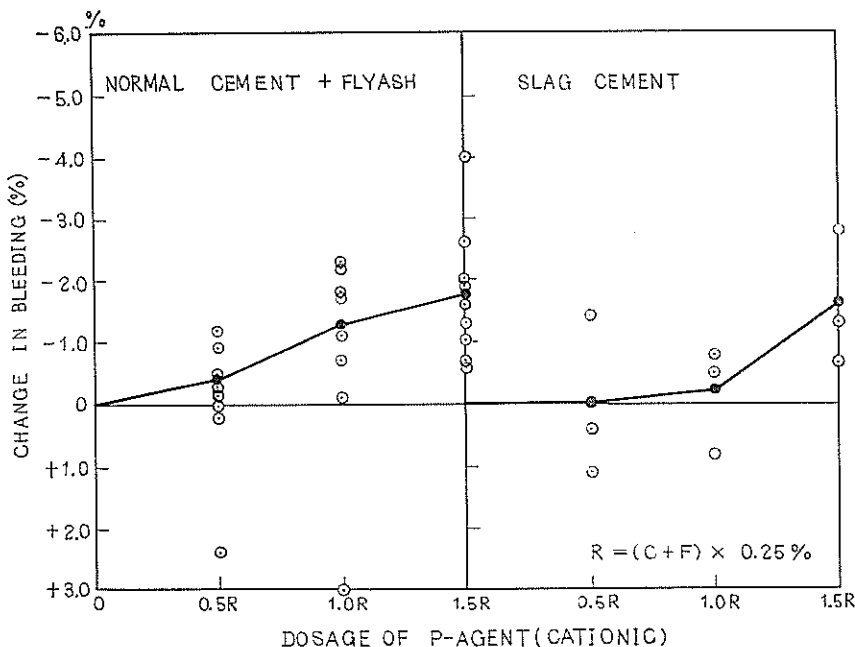


図5.12 混和剤(セメント分散剤とAE剤)の種類と使用量が注入モルタルの所要
水セメント比およびその影響 (流出時間=16 ±0.5sec)
Effect of Type and Dosage of Various Admixtures upon Water
Requirement of Intrusion Mortar (Efflux Value=16 ±0.5sec.)

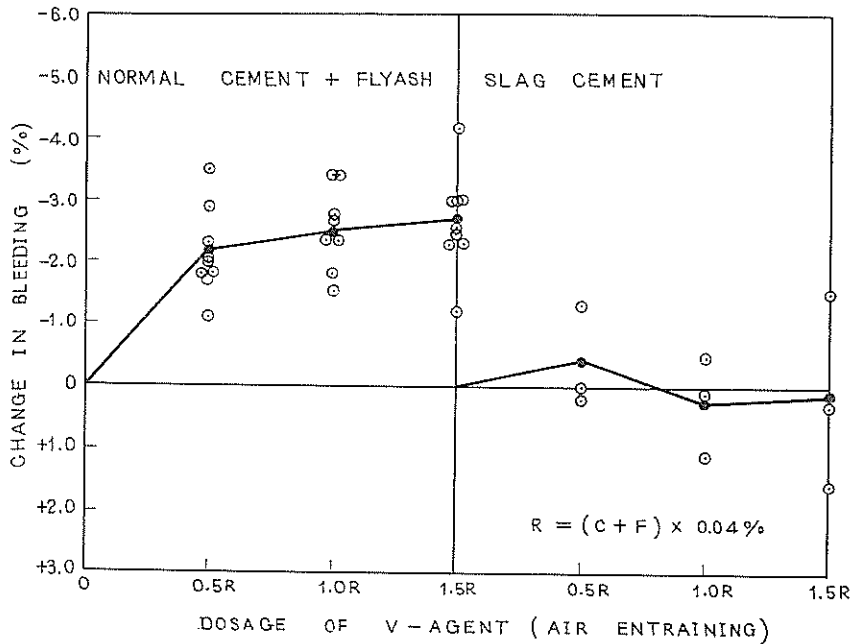
b) ブリージング率におよぼす影響

ブリージング率を試験したのはP剤とV剤を用いた場合のみであるが、それぞれについて、その使用量とブリージング率の変化量との関係調べると図—5.13, 5.14のような関係が得られる。P剤を普通セメントに用いる場合にはブリージングの減少量は使用量の増加に応じて増大し、使用量が1.5Rの場合に最大となつている。しかし、これを高炉セメントに用いる場合には使用量が1.0Rまではその効果はほとんど認められず、1.5Rとする時に普通セメントの場合とほぼ同等のブリージング減少量に達している。このことは混和剤の使用量が適切でなければ、これを使用する効果を期待し難いことを示すものと考えられる。これに対して、V剤を普通セメントに使用する場合は使用量が0.5R~1.5Rにおいてほぼ同程度のブリージング減少量が得られているが、高炉セメントに用いる場合にはその効果は認め難い。云い換えれば、V剤がブリージング率におよぼす影響はセメントの種類によつて著しく相違し、その種類によつてはV剤使用の効果が認められない場合もあると言える。図—5.14から判断したV剤の最適使用量は1.0R、すなわち(C+F)の0.04%附近にある。以上は混和剤を使用しない配合のモルタルのブリージング率との差について検討したものであるが、この増減を比率で表わすと、表—2.56のようになつて、P剤を1.5R使用する場合のブリージング率は使用せぬものの約70%、またV剤を普通セメントに1.0R使用する場合には約60%となることが分る。

しばしば指摘されているように⁹⁾、注入モルタルのブリージングはプレバクド・コンクリートの品質の不均一性をもたらす最も大きな要因の一つに数えられている。したがつて、ブリージング率の少く、かつ保水性が大きく、更に流動性に富んだ注入モルタルを得ることはより均一な品質のプレバクド・コンクリートを得る上に極めて重要であり、混和剤の選択に際しては、この点を充分に考慮する必要がある。上述のP剤ならびにV剤についての試験結果は混和剤の選択について一つの資料を提供するものと云えよう。



図—5.13 P剤の使用量とブリージング率の変化の関係
Effect of Dosage of P-Agent upon Bleeding of Intrusion Mortar



図—5.14 V剤の使用量とブリージング率の変化との関係
Effect of Dosage of V-Agent upon Bleeding of Intrusion Mortar

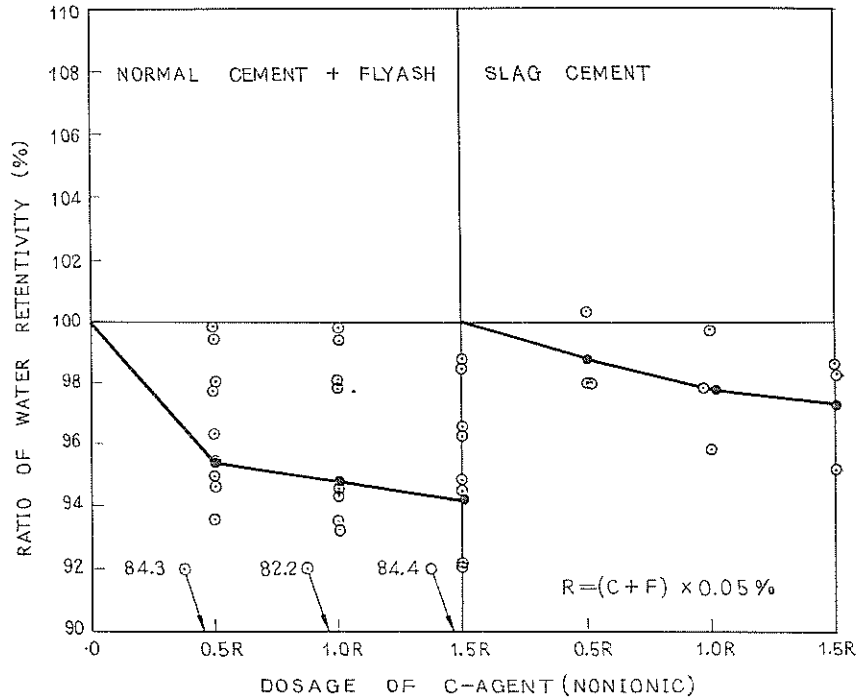
表—5.26 混和剤の使用によるブリージング率の増減*

	P 剤 (陰イオン界面活性剤)						V 剤 (A E 剤)					
	普通セメント			高炉セメント			普通セメント			高炉セメント		
	0.5R	1.0R	1.5R	0.5R	1.0R	1.5R	0.5R	1.0R	1.5R	0.5R	1.0R	1.5R
最大値	103.4	98.5	89.6	125.6	128.0	83.8	85.3	72.0	33.3	103.0	120.3	147.0
最小値	87.5	53.8	51.2	83.0	77.8	63.9	38.6	38.4	84.0	75.9	85.3	72.3
平均値	94.7	80.6	72.7	106.6	96.6	71.2	62.7	59.1	55.5	93.0	102.3	109.0

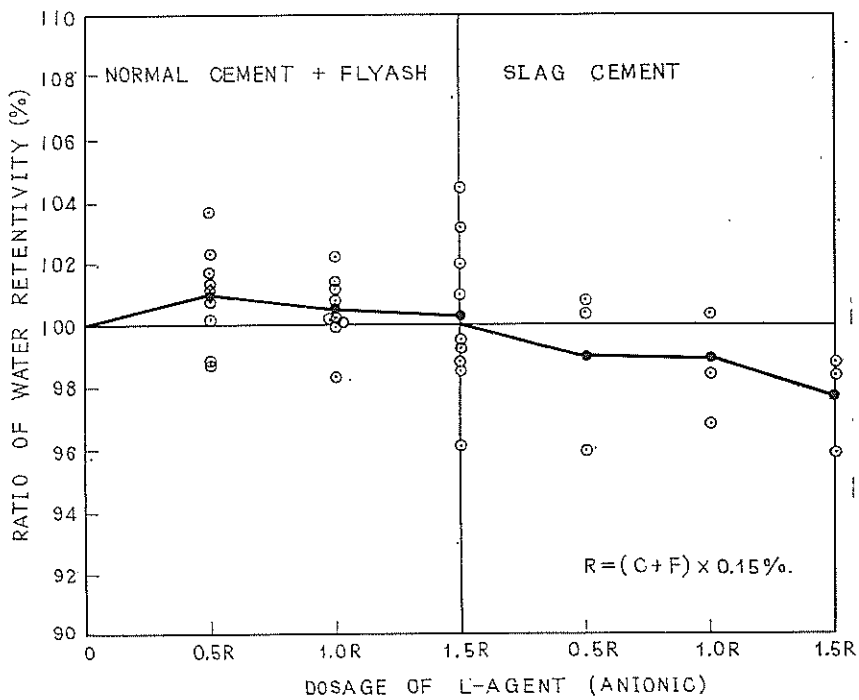
* 混和剤を使用せぬ配合のブリージング率を基準とし、これと同等の、しかし混和剤を含む配合のブリージング率を百分率で表示したのである。

c) 保水性におよぼす影響

図—5.15~5.20は混和剤の種類別によるその使用量と保水性の増減率との関係を図示したもので、混和剤を使用した場合の保水性を全く使用しない場合のその百分率で表示している。これらの図から分るように、試験値は砂セメント比ないしフライアッシュ混和率の大小によつて比較的広範囲に亘つて変動している場合もあるが、全体としてはかなり明瞭な傾向を示している。図—5.21はこれらの平均値のみを一括して図示したもので、混和剤の保水性におよぼす影響がその種類によつて著しく相違することが観察される。すなわち、セメントの種類に関わりなく混和剤の使用によつて保水性が増加するものはP剤に限られ、L剤とV剤は普通セメントを用いた配合では僅かながら保水性を増加するが、高炉セメントを用いた配合ではほぼ同程度減少せしめている。更にC剤とD剤はセメントの種類を問わず、その使用によつて保水性を減少せしめて居り、特に普通セメントを使用した配合ではC剤による保水性の減少が著しい。以上に述べた関係を図—5.12に示した混和剤の種類と所要水セメント比との関係と対比して検討すると、明瞭な減水効果の認められたP剤が保水性の増加に最も有効なことが分る。も



図—5.15 C剤の使用量と保水性との関係 (流出時間=16 ±0.5sec)
Effect of Dosage of C-Agent upon Water Retentivity of
Intrusion Mortar (Efflux Value=16 ±0.5sec.)



図—5.16 L剤の使用量と保水性との関係 (流出時間=16 ±sec)
Effect of Dosage of L-Agent upon Water Retentivity
of Intrusion Mortar (Efflux Value=16 ±0.5sec.)

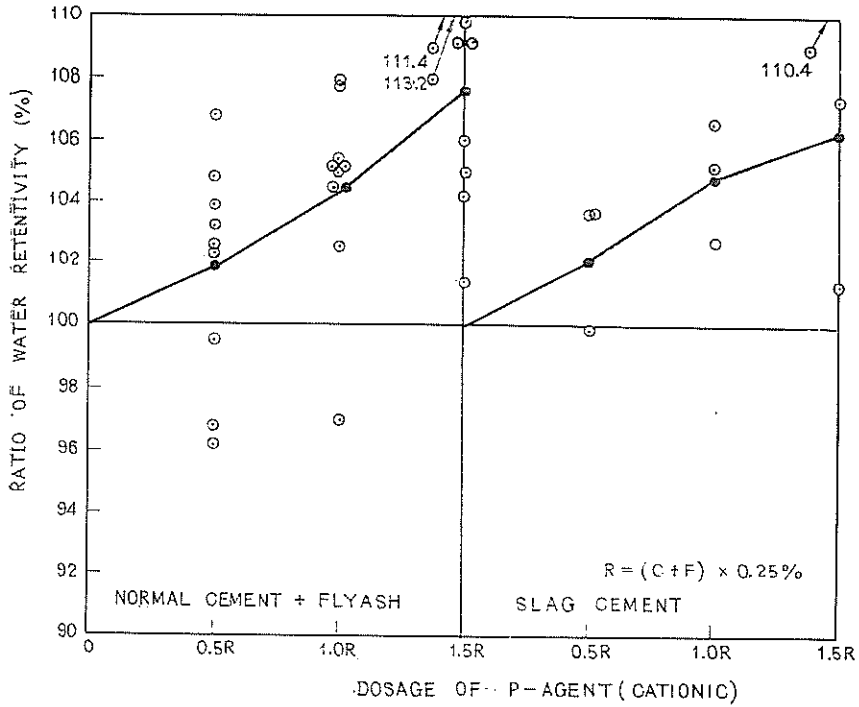


図-5.17 P 剤の使用量と保水性との関係 (流出時間=16 ± 0.5sec)
Effect of Dosage of P-Agent upon Water Retentivity of
Intrusion Mortar (Efflux Value=16 ± 0.5sec.)

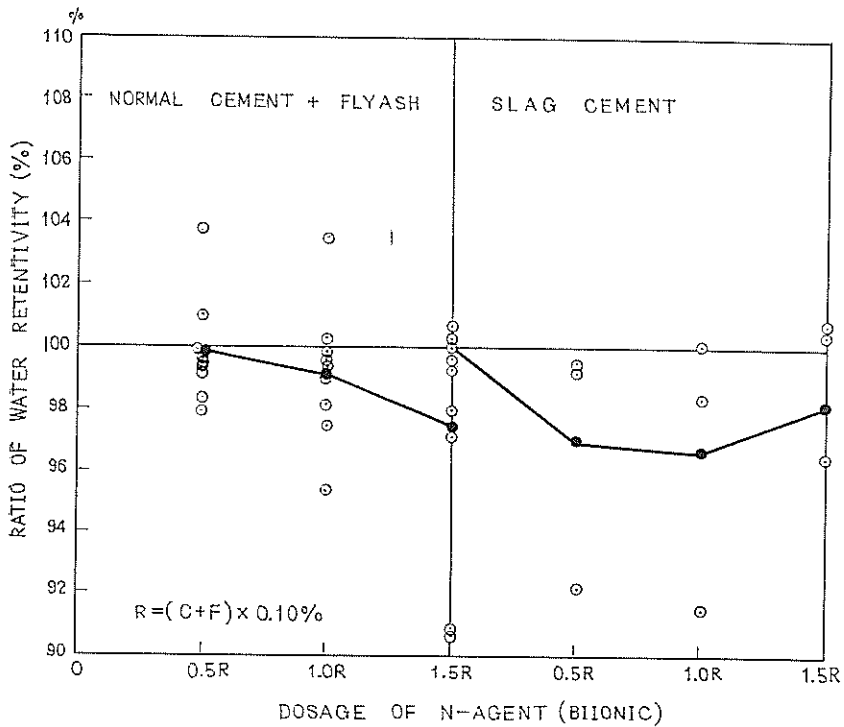
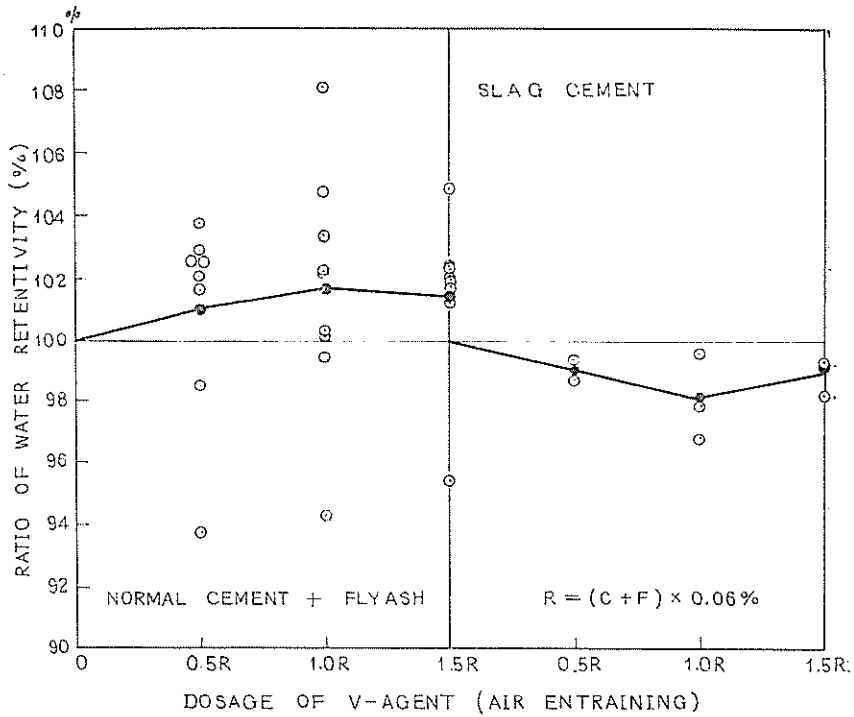
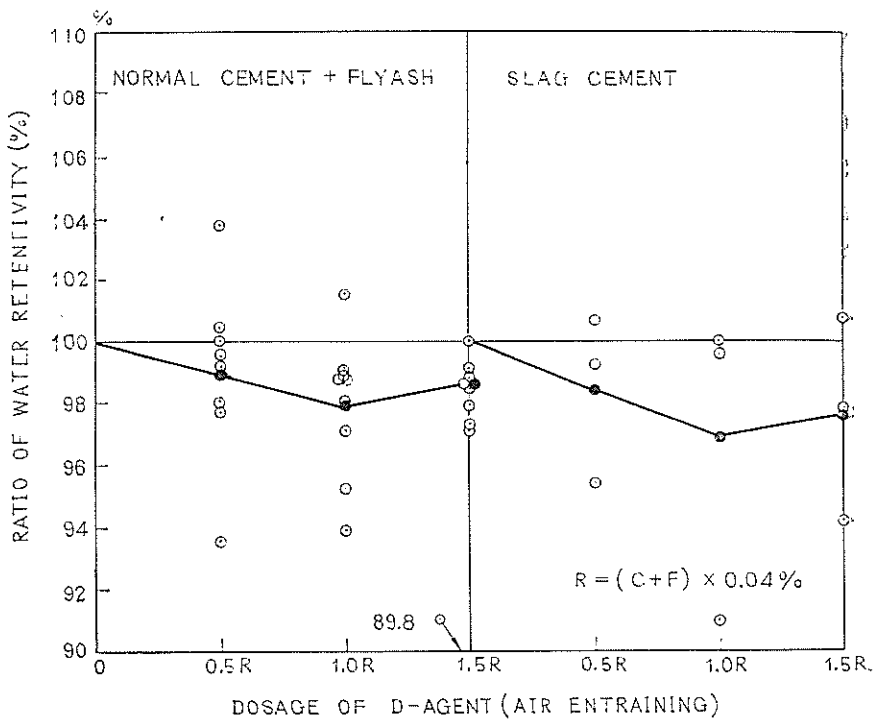


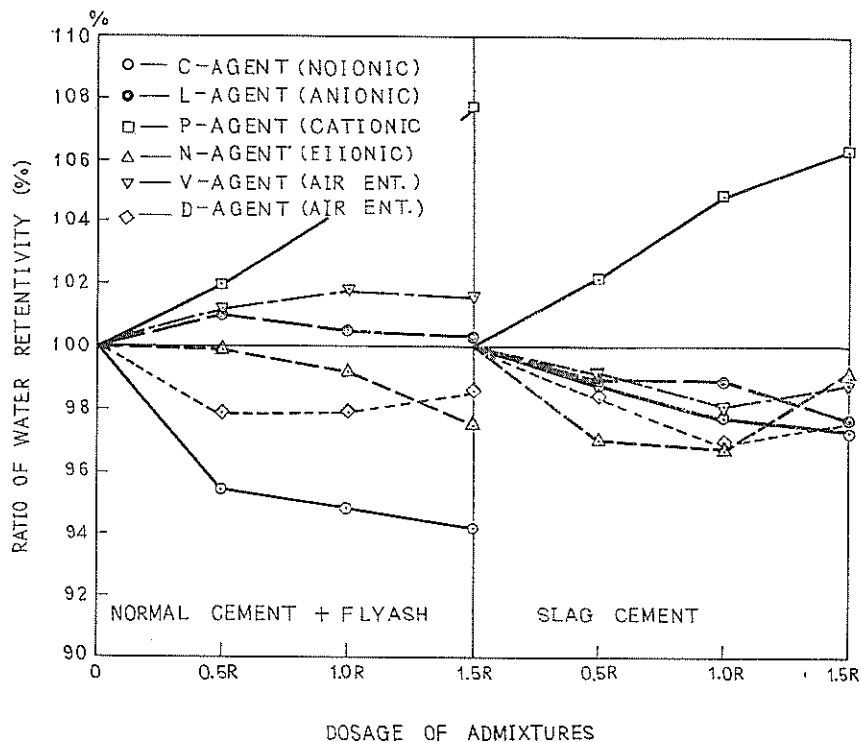
図-5.18 N 剤の使用量と保水性との関係 (流出時間=16 ± 0.5sec)
Effect of Dosage of N-Agent upon Water Retentivity of
Intrusion Mortar (Efflux Value=16 ± 0.5sec.)



図—5.19 V 剤の使用量と保水性との関係 (流出時間=16 ±0.5sec)
Effect of Dosage of V-Agent upon Water Retentivity of
Intrusion Mortar (Efflux Value=16 ±0.5sec)



図—5.20 D 剤の使用量と保水性との関係 (流出時間=16 ±0.5sec)
Effect of Dosage of D-Agent upon Water Retentivity of
Intrusion Mortar (Efflux Value=16 ±0.5sec.)



図—5.21 混和剤（セメント分散剤とA E剤）の種類と使用量が注入モルタルの保水性におよぼす影響（流出時間=16 ±0.5秒）
Effects of Type and Dosage of Admixtures upon Water Retentivity of Intrusion Mortar (Efflux Value=16 ±0.5sec)

もちろん、混和剤の減水効果と保水性の増減とは必ずしも直接的な相関関係にあるとは限らず、たとえば、C剤は普通セメントおよび高炉セメントを用いた配合の両者で $W/(C+F)=0.5\%$ 程度の減水効果を有しているにも拘わらず、保水性は数%減少し、減少の程度は使用量に応じて増大する傾向を示している。一方、P剤の場合には保水性の増加率は使用量にほぼ比例し、水セメント比の増加量と使用量との関係に極めて類似している。表—5.20、5.21の試験結果よりP剤1.5Rの使用による保水性の増加量を求めると、普通セメントを用いた配合の平均は5.5%、高炉セメントを用いた配合の平均は4.4%となつて、それぞれ所要水セメント比の減少量とほぼ等しい値である。これは4.2(C)で述べた水セメント比と保水性との関係に相当するもので、P剤の使用による保水性の増加が主としてその減水効果に起因することを示すものと云える。従つて混和剤の使用が注入モルタルの保水性におよぼす影響は必ずしもその減水効果のみによるものではなく、また影響の程度も混和剤の種類によつてかなり相違するが、明瞭な減水効果の有無も無視し得ない要因と考えるべきであろう。

d) 空気量におよぼす影響

表—5.27は表—5.20および5.21の試験結果より、混和剤の使用量の異なる各試験シリーズごとに空気量の最大値と最小値ならびに平均値を表示したものである。本表によると注入モルタルのエントラップドエアは0.1~0.2%程度で普通コンクリートのそれと比較して約 $1/10$ に過ぎない。分散剤の使用による空気量の変化は分散剤およびセメントの種類によつて明瞭な相違が認められる。たとえばL剤とP剤の場合にはセメントの種類に関わりなくその使用量の多少によつて空気量がほとんど変化せず、空気連行の効果は無いと云つてよい。しかし、C剤とN剤の場合には普通セメントに限つて空気量に変化し、使用量1.5Rでエントラップドエアの4~5倍程度の

表—5.17 混和剤の種類が注入モルタルの空気量におよぼす影響

(空気量 %)

セメント	配合番号	混和剤 使用量		混和剤					
				C	L	P	N	V	D
普通 セメント	a—0—10—0	0	max	0.22	—	0.26	0.12	—	0.22
	}		min	0.07	—	0.12	0.08	—	0.12
	a—4—20—0		Ave	0.13	—	0.19	0.10	—	0.15
	a—0—10—5	0.5R	"	0.70	0.14	0.20	0.25	0.72	0.30
	}			0.12	0.08	0.11	0.11	0.17	0.16
	a—4—20—5			0.33	0.11	0.15	0.20	0.38	0.22
	a—0—15—10	1.0R	"	0.97	0.26	0.29	0.70	0.59	0.49
	}			0.23	0.11	0.13	0.13	0.32	0.22
	a—4—20—10			0.45	0.15	0.16	0.36	0.42	0.31
	a—0—10—15	1.5R	"	1.14	0.13	0.28	0.97	1.34	0.71
}	0.20			0.08	0.15	0.30	0.45	0.28	
a—4—20—15	0.56			0.11	0.20	0.58	0.77	0.38	
高炉 セメント	b—10—0	0	"	0.15	0.15	0.12	0.10	0.18	0.21
	}			0.12	0.08	0.09	0.10	0.13	0.17
	b—20—0			0.13	0.11	0.10	0.14	0.15	0.19
	b—10—5	0.5R	"	0.22	0.12	0.15	0.12	0.21	0.23
	}			0.07	0.10	0.10	0.10	0.15	0.20
	b—20—5			0.14	0.11	0.13	0.11	0.18	0.21
	b—10—10	1.0R	"	0.18	0.12	0.17	0.17	0.77	0.25
	}			0.11	0.08	0.11	0.12	0.15	0.21
	b—20—10			0.13	0.10	0.14	0.15	0.40	0.22
	b—10—15	1.5R	"	0.25	0.08	0.18	0.23	0.77	0.56
}	0.11			0.07	0.15	0.15	0.36	0.25	
b—20—15	0.16			0.08	0.16	0.18	0.51	0.37	

空気量が得られる。AE剤の場合にはセメントの種類を問わず、ほぼ同様な空気連行効果が認められ、使用量1.5Rでエントラップドエアの3～4倍程度の空気量が得られる。このように混和剤とセメントの種類によつて空気連行効果には著しい相違が認められるが、その効果がある場合でも連行される空気量は0.5%前後に過ぎず、一般のAEコンクリートの空気量の $\frac{1}{10}$ 程度である。更に、このモルタルを注入してプレバクド・コンクリートとする場合、その中に含まれる空気量はコンクリート容積の0.2%程度となり、AEコンクリートの空気量4～6%と比較して無視できる程に微量である。

施工に用いる注入モルタルにはアルミニウム粉末のような発泡剤を混入することを原則として居るが、これによつて生ずる気泡の量はモルタルの膨張抑制の程度によつて異なる。一般の施工条件では膨張率を5～10%としている例が多く、膨張を全く抑制しない場合には発泡剤による気泡がこの程度分散剤ないしAE剤による連行空気と共存することを意味する。従つて、分散剤やAE剤等の混和剤によつて連行される空気が量的にも質的にも注入モルタルのウォーカビリチーの改善ないしプレバクド・コンクリートの凍結融解作用に対する耐久性の向上に因してはほとんど無効であることは自ら明らかであろう。

e) 圧縮および曲げ強度におよぼす影響

a)～d)においてセメント分散剤ないしAE剤の種類と使用量が注入モルタルの未だ固らない状態における諸

性質におよぼす影響について検討した。以下ではその圧縮強度および曲げ強度におよぼす影響について検討しよう。

5.4.2 で述べたように、本実験は3試験所で混和剤を2種ずつ分担して行われたもので、同一配合の試験所間の有意差が認められる場合には測定値を直接比較することは誤った結論を導く可能性が大きい。圧縮強度ないし曲げ強度も上述の例に該当するもので、ここでは試験所間の有意差を消去する一つの方法として基準配合に対する強度比を求めて比較する方法を採用した。たとえば、表-5.22の a-0-10-0 ~ a-4-20-0 の9種の配合は混和剤を用いない配合で各試験所間に共通である。この9種の配合の圧縮強度の測定値（表示した値は6個の供試体についての平均値）をそれぞれ100とし、それぞれに対応する配合であつて混和剤の使用量のみが異なるものの測定値を百分率で表示するのである。配合番号がaで始まるシリーズは普通セメントを用いた場合であり、表-5.23のbで始まるシリーズは高炉セメントを用いた場合であることは既に触れた通りである。

上述のようにして混和剤の使用量と圧縮強度との関係を求め、これを図示したものが図-5.22-5.35である。図-5.22~5.33は普通セメントおよび高炉セメントのそれぞれを用いた各種の配合に混和剤をその使用量を加減して添加した場合の試験結果であり、図-5.34, 5.35はその平均値のみを一括して図示したものである。これらの図から容易に観察されるように、圧縮強度比のバラツキは比較的大きい。これは各種の砂セメント比を含むため、普通セメントを用いた配合についての試験結果ではバラツキの範囲が30%程度に亘っている場合もある。従つて圧縮強度比と混和剤の種類ならびに使用量との関に係について、これらの試験結果のみによつて明確な結論を導くことは危険であるが、試験値の分散の程度から判断してその平均値より概略的な傾向を推定することは可能である。

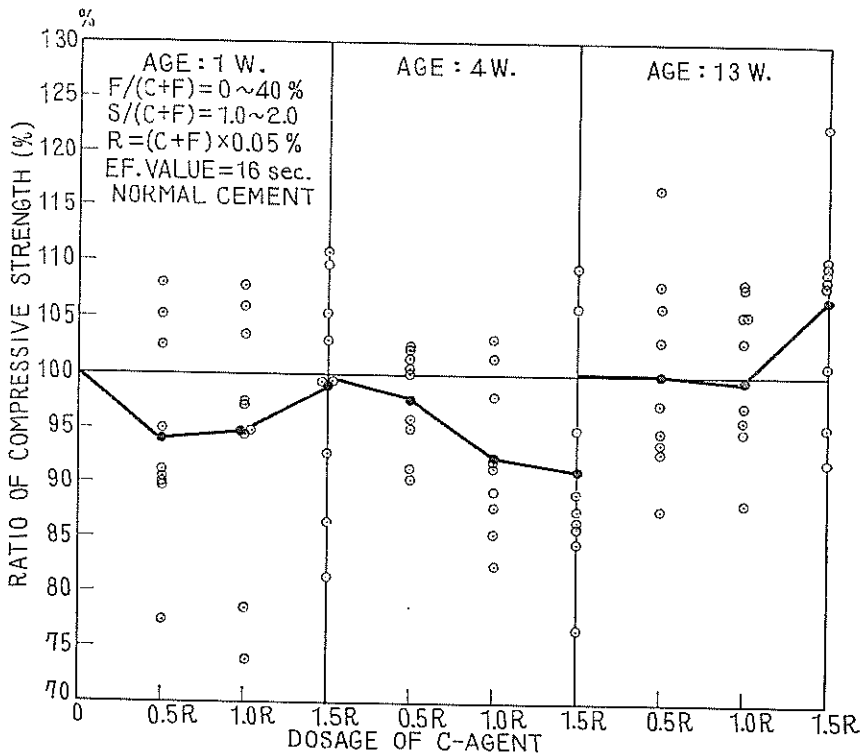


図-5.22 C剤の使用量と注入モルタルの圧縮強度比との関係
Effect of Dosage of C-Agent upon Compressive Strength of Intrusion Mortar

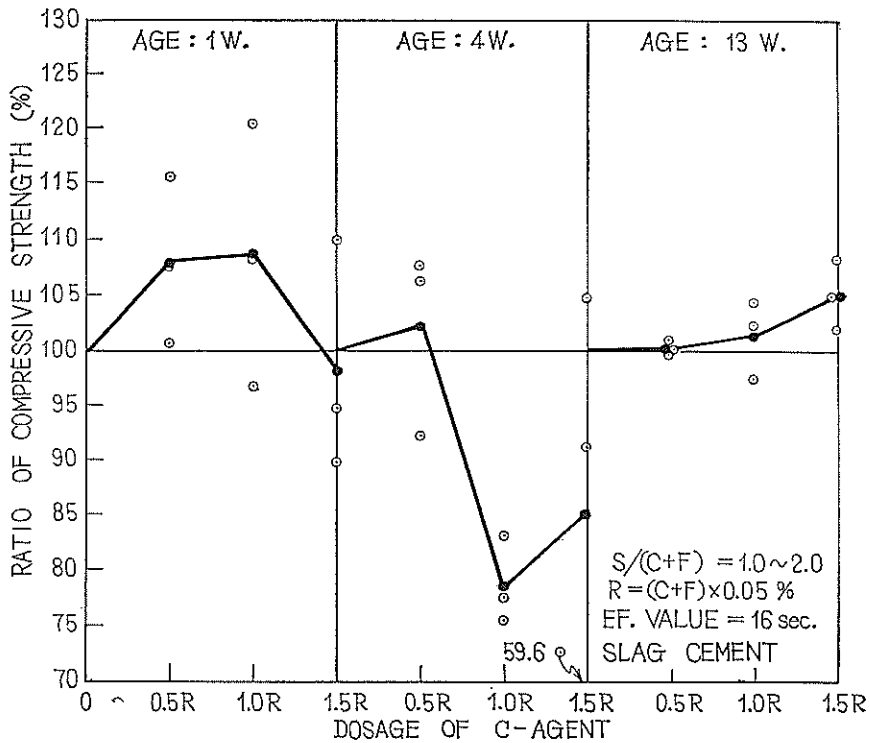


図-5.23 C剤の使用量と注入モルタルの圧縮強度比との関係
 Effect of Dosage of C-Agent upon Compressive Strength of Intrusion Mortar

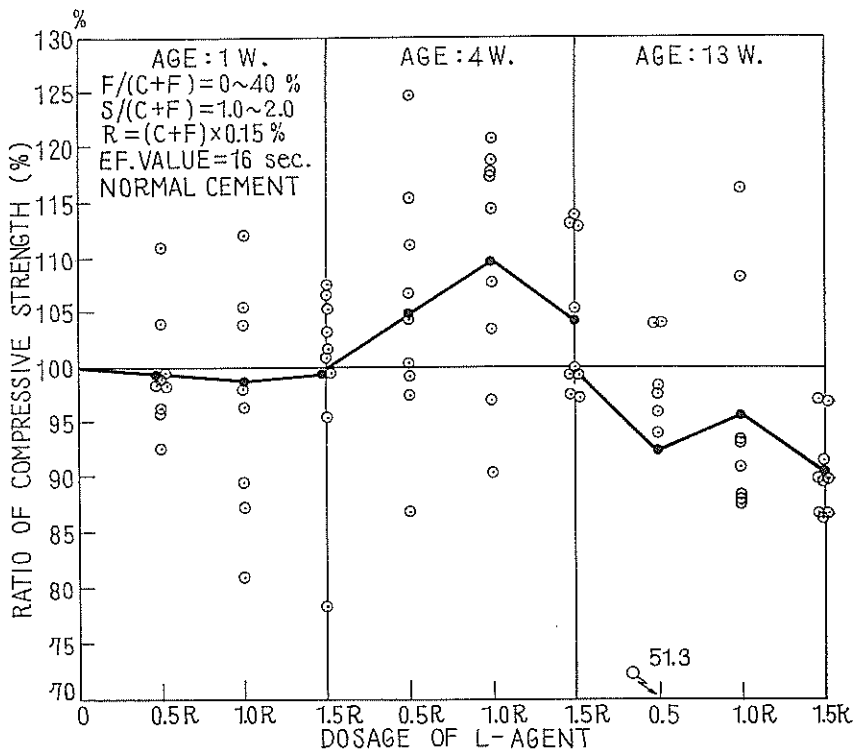


図-5.24 L剤の使用量と注入モルタルの圧縮強度比との関係
 Effect of Dosage of L-Agent upon Compressive Strength of Intrusion Mortar

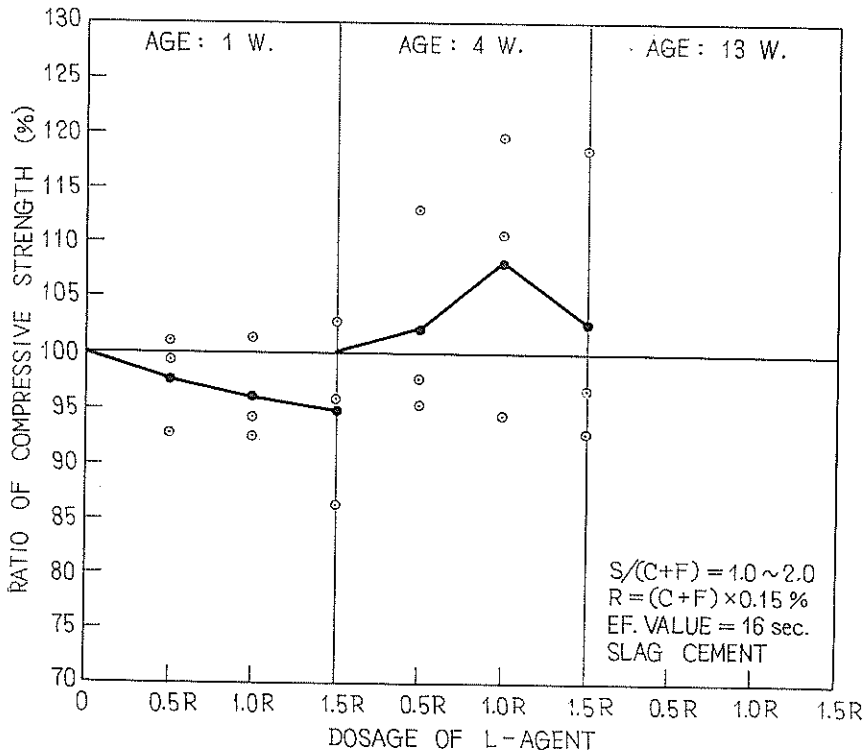


図-2.25 L 剤の使用量と注入モルタルの圧縮強度比との関係
 Effect of Dosage of L-Agent upon Compressive Strength of Intrusion Mortar

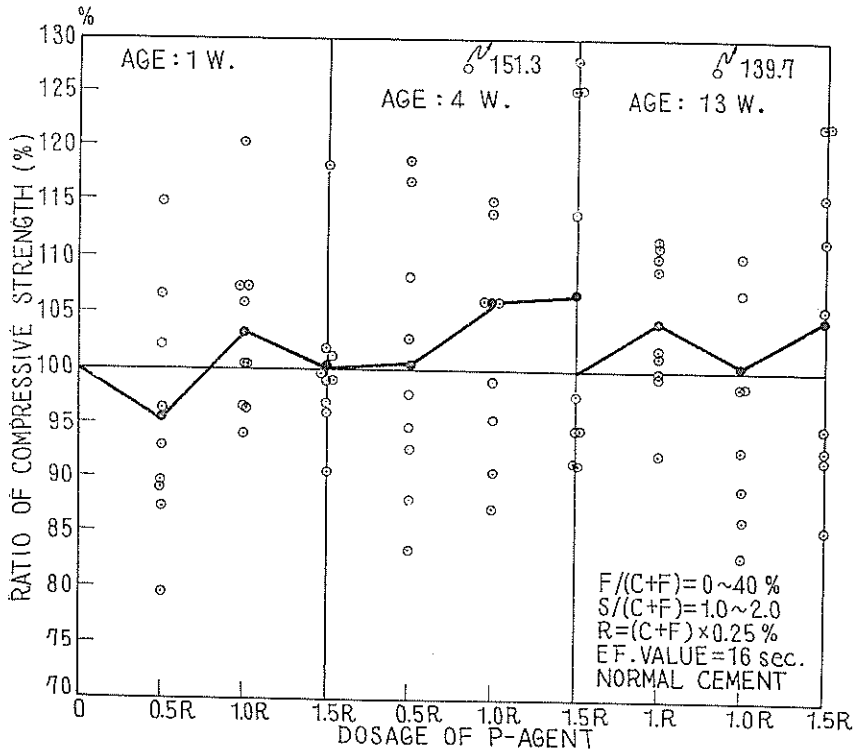
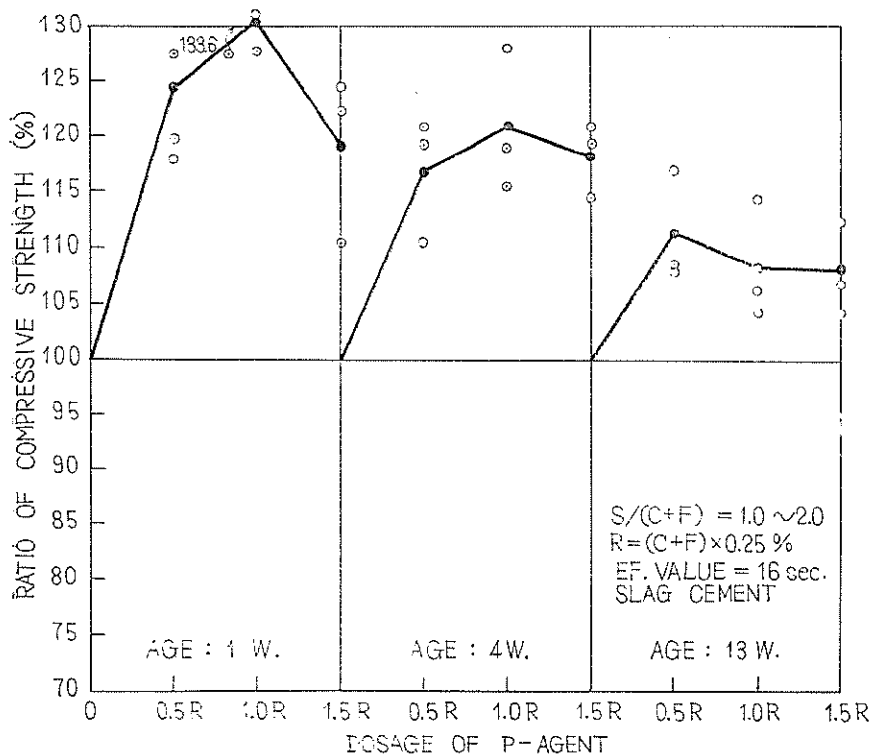
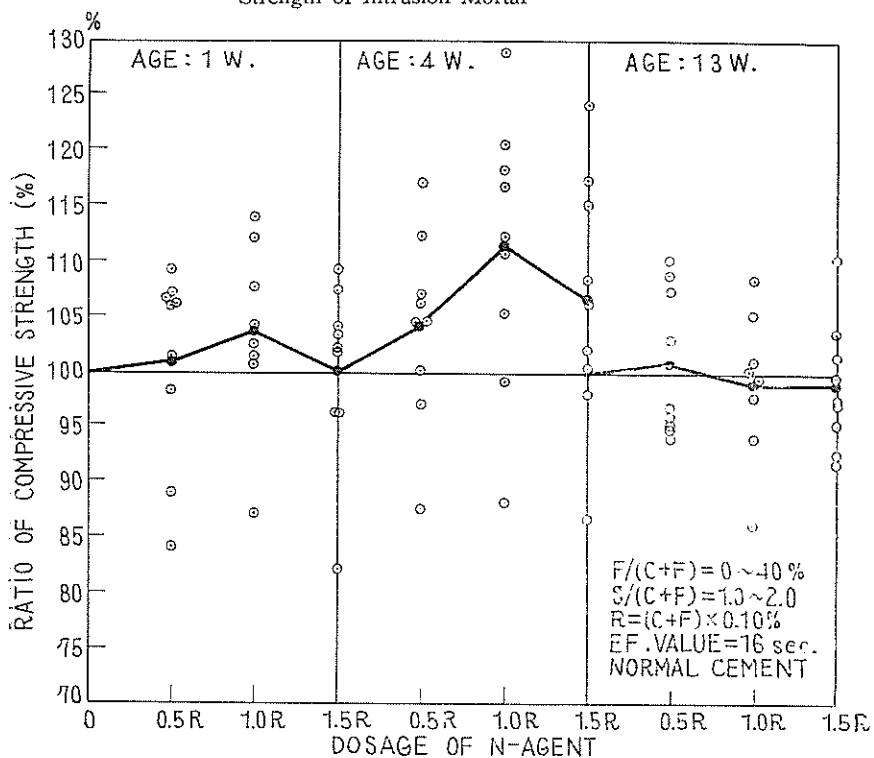


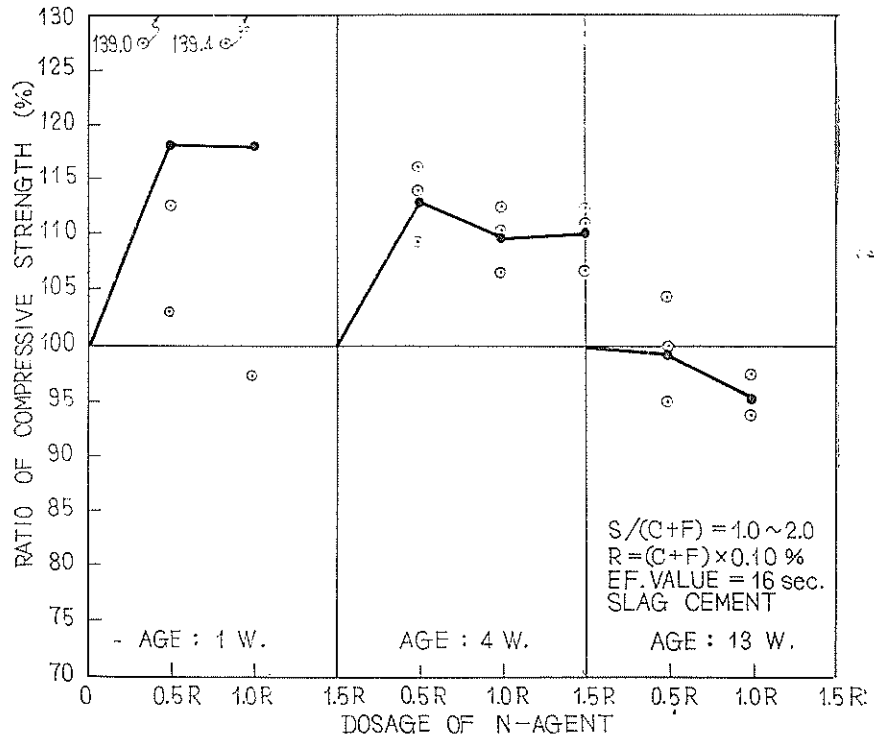
図-5.26 P 剤の使用量と注入モルタルの圧縮強度比との関係
 Effect of Dosage of P-Agent upon Compressive Strength of Intrusion Mortar



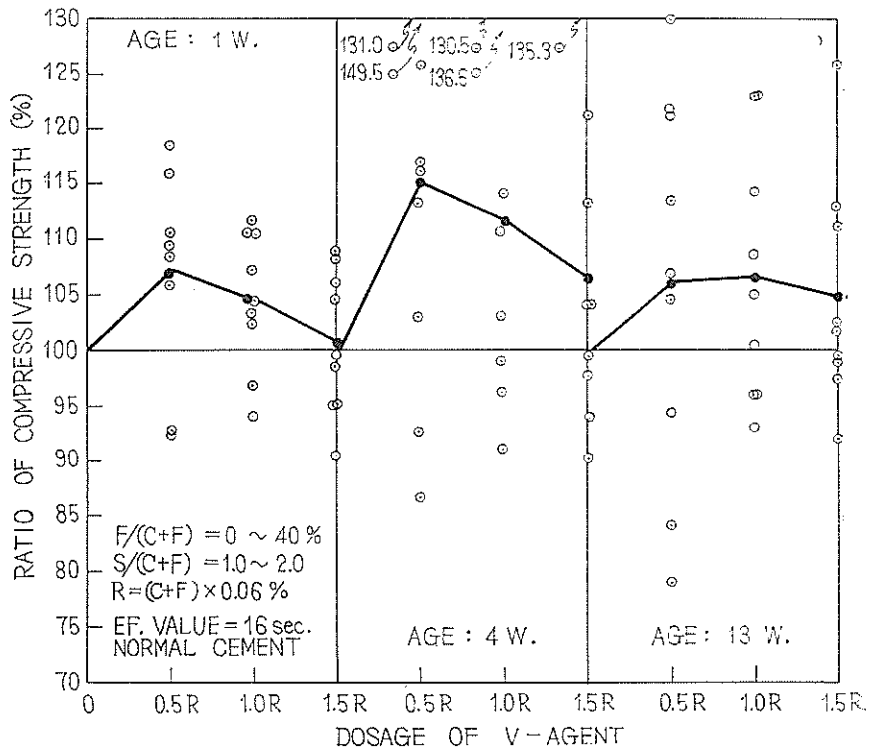
図—5.27 P 剤の使用量と注入モルタルの圧縮強度比との関係
 Effect of Dosage of P-Agent upon Compressive Strength of Intrusion Mortar



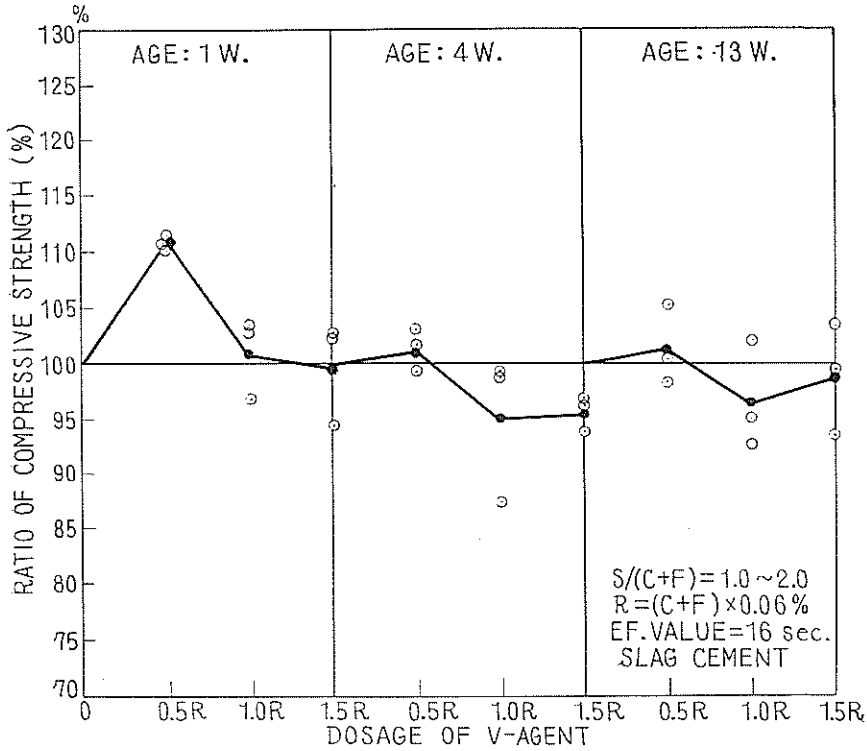
図—5.28 N 剤の使用量と注入モルタルの圧縮強度比との関係
 Effect of Dosage of N-Agent upon Compressive Strength of Intrusion Mortar



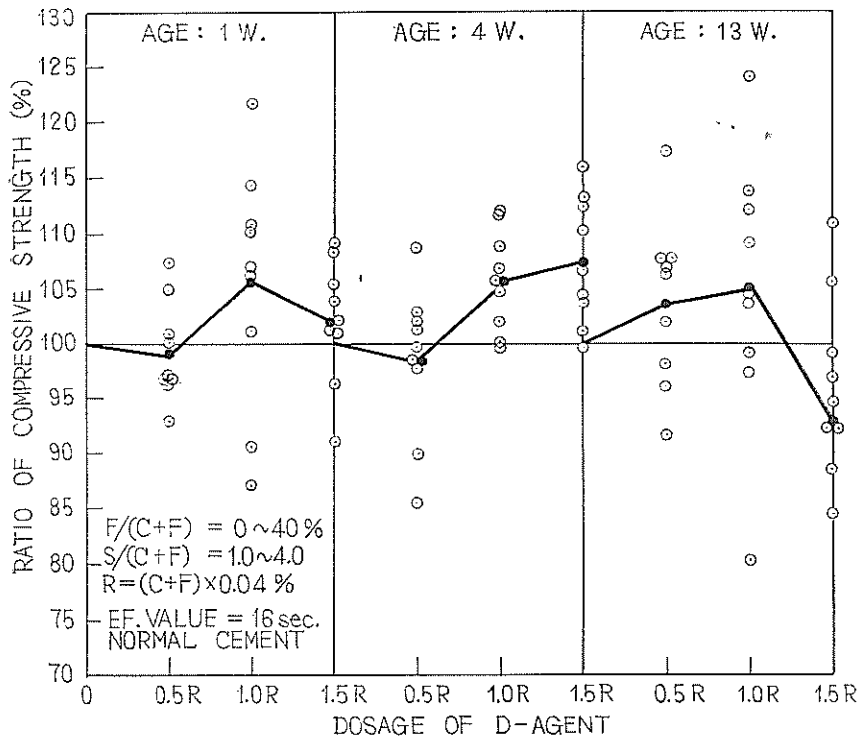
図—5.29 N剤の使用量と注入モルタルの圧縮強度比との関係
 Effect of Dosage of N-Agent upon Compressive Strength of Intrusion Mortar



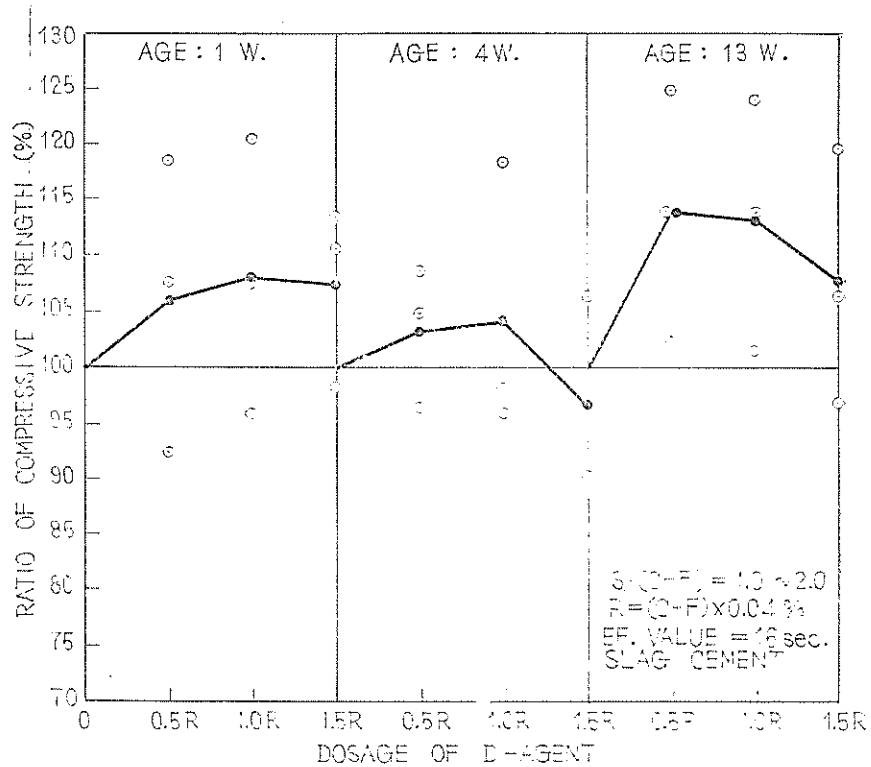
図—5.30 V剤の使用量と注入モルタルの圧縮強度比との関係
 Effect of Dosage of V-Agent upon Compressive Strength of Intrusion Mortar



図—5.31 V剤の使用量と注入モルタルの圧縮強度比との関係
Effect of Dosage of V-Agent upon Compressive Strength of Intrusion Mortar



図—5.32 D剤の使用量と注入モルタルの圧縮強度比との関係
Effect of Dosage of D-Agent upon Compressive Strength of Intrusion Mortar



図一5.33 D剤の使用量と注入モルタルの圧縮強度比との関係
Effect of Dosage of D-Agent upon Compressive Strength of Intrusion Mortar

(i) C剤（非イオン界面活性剤）

図一5.22および5.23を比較すると、材令1週と4週の圧縮強度比～使用量の関係がセメントの種類によって著しく異なることが分る。普通セメントの場合にはC剤の使用によって圧縮強度は減少する傾向にあるが、高炉セメントの場合には1週圧縮強度は使用量1.0～1.5Rでむしろ増加するものようである。材令13週圧縮強度は普通セメントおよび高炉セメントのいずれの場合にもほぼ同様の傾向を示し、使用量1.5%において平均5%程度の強度増加となつている。混和剤の効果の安定性から判断すると、C剤は1～4週程度の短期材令では必ずしもその効果を期待できないが、13週程度の長期材令では使用量を1.5R $\{(C+F) \times 0.075\}$ 程度にすることによって5%程度の強度増加を期待できるものと思われる。

(ii) L剤（陽イオン界面活性剤）

本剤については高炉セメントの場合の13週強度試験結果が欠けているが、材令1週および4週の試験結果が両セメントの場合共ほぼ一致した傾向を示していることから、高炉セメントの場合の週圧縮強度比と使用量との関係は普通セメントのそれとほぼ同様であろうと推定される。1週圧縮強度は本剤の使用によって多少減少する傾向を示しているが、4週圧縮強度は逆に増加し、使用量1.0Rの場合に増加率が最も大きい。この点から使用量1.0R $\{(C+F) \times 0.15\}$ は妥当な値と判断される。しかし、材令13週では圧縮強度は使用量の増加と共に減少する傾向がかなり顕著であり、本剤の使用によって長期強度の増進を期待することは困難であろう。

(iii) P剤（陰イオン界面活性剤）

本剤を用いた配合では、図一5.26, 5.27より観察されるように、セメントの種類によって圧縮強度比と使用量との関係が著しく相違する。普通セメントの場合には使用量0.5Rの1週強度が5%程度減少しているが、一般に本

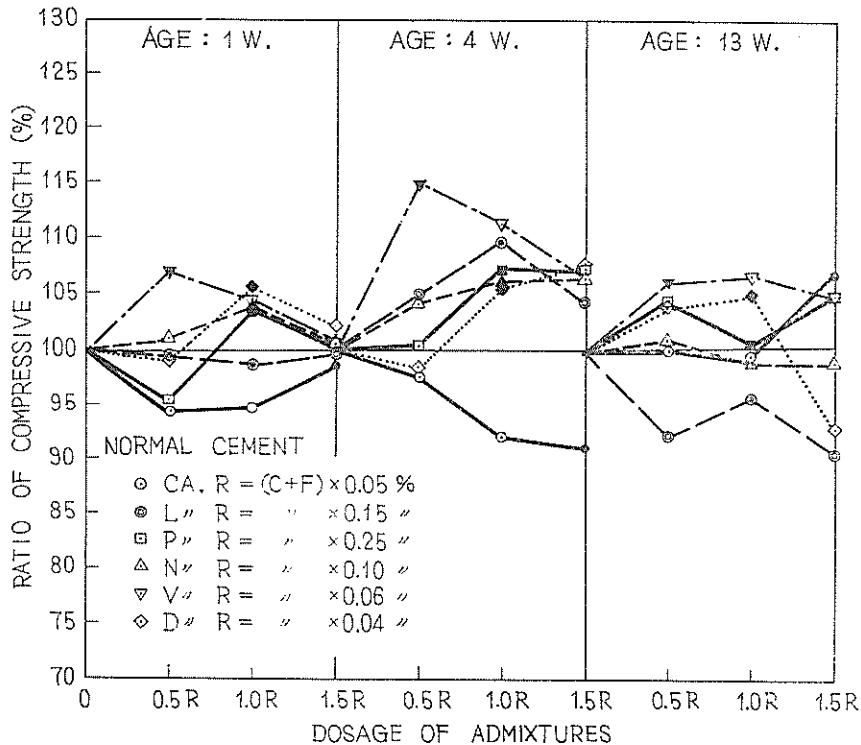
剤の使用によつて圧縮強度は増加する傾向にあり、効果的な使用量の範囲は1.0~1.5Rで、平均増加率は5%程度である。一方、高炉セメントの場合には本剤使用による強度増加は極めて著しい。使用量と圧縮強度比との関係は三材令にはほぼ共通した形となつて表われ、1.0Rの時に圧縮強度は最大である。また平均増加率は材令1週において最大で34%程度で、長期材令ほど少くなり、材令13週では8%程度である。これらの結果を総合すると、P剤の効果は必ずしも十分に安定したものと云い難いが、一般に強度を増加せしめる傾向にあり、使用量は1.0R{(C+F)×0.25%}程度が最も効果的と判断される。

(iv) N剤(両性イオン界面活性剤)

N剤を用いた配合では、圧縮強度比と使用量との関係は、程度に多少の相違は認められるが、両セメントの場合共にほぼ一致した傾向を示している。すなわち、材令1週および2週の短期材令の圧縮強度は本剤の使用によつてかなり増加し平均増加率は、使用量が1.0附近において最大となり10%程度である。しかし、材令13週の長期材令ではその使用効果が失われ、僅少なから強度の減少する傾向さえ認められる。換言すればN剤を使用する場合にはその使用量を1.0R{(C+F)×0.25%}とすることによつて、短期材令の圧縮強度はかなり増加するものと思われるが、長期材令における強度増進を期待することは困難であろう。

(v) V剤(A.E剤)

V剤もまた、その効果がセメントの種類によつて著しく相違する一例である。図—5.30は、普通セメントの場合には圧縮強度は一般に増加し、使用量が0.5Rの時に平均増加率が最大となることを示している。しかし高炉セメントの場合には図—5.31に認められるように使用量が0.5Rの場合を除き圧縮強度はむしろ減少する。従つ



図—5.34 混和剤の種類と使用量が注入モルタルの圧縮強度におよぼす影響
(黒く彩色した点は実験結果より最も適正と判断とされた使用量を示す)
Effects of Type and Dosage of Admixtures upon Compressive Strength of Intrusion Mortar (Black Points indicate the optimum dosages estimated from the strength test results.)

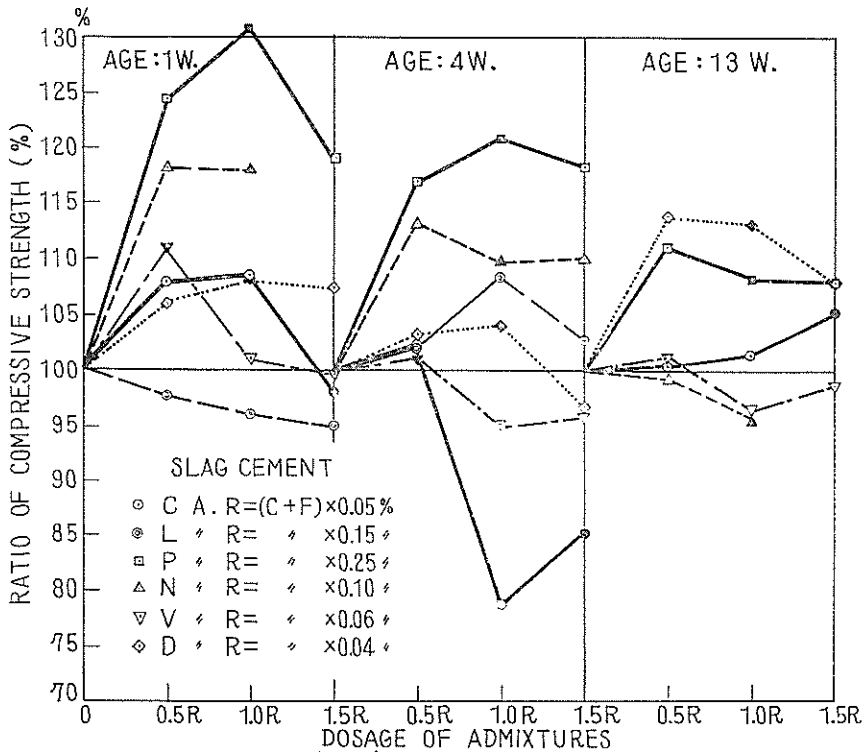
て本剤は使用量 $0.5R \{(C+F) \times 0.06\}$ を適量とするが、これによる効果は必ずしも安定せず、常に強度増加を期待できるとは限らない。

(vi) D剤 (AE剤)

図一5.32, 5.33はD剤を使用した場合の圧縮強度比と使用量との関係を示すものであるが、その関係は普通セメントおよび高炉セメントのいずれにもほぼ共通して居り、D剤の効果が比較的安定していることが分る。平均圧縮強度比は使用量の多少によつて減少している例も認められるが圧縮強度は一般に本剤の使用によつて増加し、使用量が $1.0R$ の場合に平均増加率が最大となつて居り、最大値はセメントの種類と材令によつて多少相違し、たとえば材令28日では5%程度である。従つてD剤の使用量 $1.0R \{(C+F) \times 0.04\}$ はほぼ適当な値と考えられ、その使用によつて圧縮強度は一般に増加するものと期待される。

以上の i)~vi)において各種の混和剤の注入モルタルの圧縮強度におよぼす影響について考察した結果は混和剤の効果が必ずしも安定したものではなく、セメントの種類や配合だけでなく、材令や混和剤自体の使用量によつてもかなり変化する場合もあることを示している。また混和剤の製造者によつてコンクリートに対する適正な使用量とされている値が注入モルタルに対しては必ずしも適正でないことも明らかである。従つて、各種の混和剤の比較はそれぞれの適正使用量を基準として行なわれるべきであろう。

図一5.34, 5.35は圧縮強度比の平均値を混和剤の使用量と対比して図示したもので、図中の黒く彩りつづいた点は上述の実験結果より最も適正と判断された使用量における値を示す。減水効果ないし減水ならびに凝結遅延



図一5.35 混和剤の種類と使用量が注入モルタルの圧縮強度におよぼす影響 (黒く彩色した点は実験結果より最も適正と判断された使用量を示す) Effects of Type and Dosage of Admixtures upon Compressive Strength of Intrusion Mortar (Black points indicate the optimum dosages estimated from the Strength test results.)

効果を主とする混和剤の場合には、これを用いたモルタルないしコンクリートの圧縮強度が使用するセメントの種類や材令の長短を問わず、用いないもののそれより小さな値となることを許容することは極めて危険と考えられる。³⁶⁾ そこで、本実験結果より最も適正と判断された使用量のみについて圧縮強度比の平均値が100%以上となる混和剤を求めると、P、VおよびD剤の3種のみがこれに相当し、C、LおよびN剤の3種は注入モルタルに用いるべき混和剤としては必ずしも適当でないと思われる。

表—5.28 混和剤の種類と使用量が注入モルタルの曲げ強度におよぼす影響*

材令 (日)	混和剤使用量 (R)	セメント分散剤				A E 剤		
		C 剤	L 剤	P 剤	N 剤	V 剤	D 剤	
O社普通セメントとU社フライアッシュを使用した場合								
7	日	0.5R	93.0	104.8	103.8	100.0	105.8	93.8
		1.0 "	93.9	106.3	103.8	103.5	105.7	94.8
		1.5 "	92.8	99.5	97.0	104.8	100.8	102.2
28	日	0.5 "	93.8	96.3	99.0	95.5	111.0	99.9
		1.0 "	91.9	100.9	97.2	95.2	107.0	96.7
		1.5 "	92.2	93.6	97.5	92.2	106.8	90.5
91	日	0.5 "	104.3	93.8	103.5	98.4	107.1	95.0
		1.0 "	102.1	84.7	92.5	84.5	109.7	96.9
		1.5 "	102.6	87.4	87.2	93.7	101.0	94.6
Y社B種高炉セメントを使用した場合								
7	日	0.5R	97.2	104.2	108.9	103.5	97.8	90.1
		1.0 "	100.8	83.4	123.1	101.8	103.1	93.0
		1.5 "	96.8	82.2	119.5	117.2	103.2	101.8
28	日	0.5 "	102.9	129.9	126.6	156.7	101.5	98.0
		1.0 "	97.7	103.8	117.7	76.1	94.6	95.3
		1.5 "	106.6	114.8	99.5	86.7	93.8	101.5
91	日	0.5 "	89.3	—	106.4	88.8	116.9	97.8
		1.0 "	116.3	—	104.4	90.1	111.9	97.1
		1.5 "	106.6	—	108.0	75.5	99.7	98.7

* 表中の値は混和剤を使用せぬ場合の4×4×16cm供試体による曲げ強度に対する百分率を表わす。

表—5.28は圧縮強度比の例と同様に、混和剤を全く使用せぬ場合に対する混和剤を使用した場合の曲げ強度比を個々の配合について計算し、その平均値を示したものである。

混和剤の種類ならびにその使用量と曲げ強度比との関係は図—5.34および5.35に示した圧縮強度比との関係とは必ずしも一致しないが、ほぼ類似した傾向が認められる。すなわち個々の混和剤の使用量の変化による曲げ強度比の増減の傾向は圧縮強度比のそれとはほぼ一致し、これより判断されるそれぞれの混和剤の最適使用量はC剤=1.0~1.5R、L剤=0.5~1.0R、P剤=0.5~1.0R、N剤=0.5~1.0R、V剤=0.5R、D剤=1.0~1.5Rである。しかし、強度比の値そのものは一般に小さく、また使用量の変化による強度比の増減の巾も大きい。これは曲げ強度に対する混和剤の影響が圧縮強度に対するそれとは質的にも量的にも多少異なることを示すものと解される。

5.4.4 セメント分散剤ならびにA E剤の影響について

セメント分散剤4種ならびにA E剤2種を用いて試験を行ない、これらの混和剤の使用が注入モルタルの諸性

におよぼす影響について検討した。使用した混和剤はその効果の点でいずれも、セメント等の粉末微粒子の分散ないし微細な空気泡の連行による減水効果を主とすると考えられているものである。しかし空気量に関する試験結果はこれらの混和剤を注入モルタルに使用する場合には、その使用量の多少によらず、連行空気量は極めて少く、試験結果から空気連行効果が最も大きいと判断されたV剤の使用によつても僅か1%以下に過ぎない。このことは、これらの混和剤を注入モルタルに適用する場合、その空気連行効果ないし空気連行による減水効果をほとんど無視し得ることを示すものと解される。

これらの混和剤を流動性を一定とする注入モルタルに適用する場合、これが所要水セメント比、保水性、ブリージング率、曲げおよび圧縮強度、等におよぼす影響は一般にセメントの種類、注入モルタルの配合、材令および混和剤の使用量によつてかなり変化し、その変化は必ずしも注入モルタルの諸性質を改善する方向にのみ生ずるとは限らない。

所要水セメント比に関しては、特に顕著な減水効果を有する混和剤はP剤で、水セメント比の減少量は使用量にほぼ比例する。次いでV剤も明瞭な減水効果を有するが、普通セメントと高炉セメントではかなり異なり、水セメント比の減少量は前者で1%程度、後者で0.3%程度である。C、N、D剤の減水効果はほとんど無視し得る程度で、L剤を使用する場合には所要水セメントがむしろ増加する傾向すら認められる。しかし、所要水セメントの比の減少ないし増加が注入モルタルの他の性質、たとえば保水性や強度の増減に直接的に影響するとは限らないものようである。

減水効果のほとんど認められないC、N、D剤を用いた注入モルタルの保水性はその使用量に応じて一様に減少する。しかし、P剤およびL剤の使用による保水性の増加ないし減少は所要水セメント比の減少ないし増加とほぼ比例する。V剤の場合には最も複雑で、所要水セメント比の減少が明瞭な普通セメントを用いた配合の保水性は増加し、所要水セメント比の減少が無視し得る程度の高炉セメントを用いた配合ではその保水性が減少している。これらの結果は混和剤の使用によつて保水性の増加を期待するためにはその混和剤の減水効果がかかなり顕著なものであることを必要とし、減水効果が無視し得る程度の場合にはその混和剤の使用によつて保水性が減少する可能性の大きいことを示すものであろう。

ブリージング率におよぼす影響について調査したのはP剤およびV剤のみであるが、その結果は保水性の増減と全く相反した傾向を示している。すなわち、ブリージング率の増加および減少の傾向は保水性の減少および増加の傾向と符合している。これは §4.2C で論じた保水性とブリージング率の間の関係と一致するものであり、他の4種の混和剤についてもこれを用いた注入モルタルのブリージング率に関しては上述と同様な関係の成立が予想される。

一般に、所要水セメント比、ブリージング率ないし保水性は混和剤の使用量と無関係にほぼ一定か、もしくは混和剤の使用量に応じて単調に増加あるいは減少する傾向を示し、これより混和剤の最適使用量を推定することは極めて困難である。しかし、混和剤の使用量と圧縮強度との関係は必ずしも単調ではない。試験結果に表われた最大圧縮強度が得られる使用量はセメントの種類ならびに材令のすべてに共通とは限らないが、その最大公約数を求めることによつて混和剤の最適使用量を推定することは可能である。この結果、C剤およびV剤についてはそれぞれ1.5Rおよび0.5R、L、P、NおよびD剤については1.0Rが注入モルタルに適用する場合の最適使用量と推定された。ここでRとは混和剤の製造者によつて普通コンクリートに適用する場合の標準使用量として推奨されている値で、セメントないしセメントおよびフライアッシュに対する重量百分率で表示した量である。

上述のように推定した最適使用量の場合の圧縮強度比を各材令について比較すると、一般に材令が大となるに伴なつて強度比が減少する傾向が認められる。また、混和剤の減水効果と圧縮強度の増減との間に明確な相関性

と認めることは困難であるが、減水効果が確認されたP剤およびV剤による圧縮強度の増加は比較的安定して居り、また負の減水効果の認められたL剤の場合には圧縮強度の減少が著しい。このことは混和剤の使用による圧縮強度の増減とその減水効果との間に直接的な関係が認められないとしても、減水効果が圧縮強度に影響をおよぼす要因として無視し得ないことを示すものと思われる。

5. 5 アルミニウム粉末の種類と使用量が注入モルタルの諸性質におよぼす影響

5.5.1 使用したアルミニウム粉末について

注入モルタルに膨張性を与えるため発泡剤として添加するアルミニウム粉末の種類とその膨張効果の点については既にある程度明らかにされ、7.14) 粒子形状が鱗片状以外のもの、たとえば、針状、粒状、アトマイズド状の粒子は全く膨張効果を有せず、また注入モルタルの膨張率はアルミニウム粉末添加量にほぼ比例するとされている。しかし、鱗片状アルミニウム粉末もその粉末度と油脂分含有量によつて、その品質がかなり広範囲に亘つて変化し、各種の粉末が市販され、膨張効果もその種類に応じて変化するものようである。更に、アルミニウム粉末の添加が注入モルタルの膨張率以外の他の性質におよぼす影響についても必ずしも十分に明らかにされているとは云い難い。

本実験はこのような観点から、市販のアルミニウム粉末の中より膨張効果を有すると認められる鱗片状粉末10種を選択し、これらのアルミニウム粉末の添加が注入モルタルの諸性質におよぼす影響を調べたものである。使用したアルミニウム粉末の試験結果を表-5.29に示す。実験はこれらのアルミニウム粉末を添加した注入モルタルの流動性、膨張率、ブリージング率、圧縮強度、等について行ない、種々の試験条件の下でのこれらの諸性質とアルミニウム粉末の種類との関係の有意性を検討した。

表-5.29 アルミニウム粉末の試験結果*

(A)							
試料番号	仕 様	成 分 (%) **					備 考
		Al	Si	Fe	Cu	油脂分	
A ₁	AA10	99.2	0.110	0.010	0.210	2.75	F金属社
A ₂	AA12	99.2	0.110	0.010	0.210	2.12	"
A ₃	AA15	99.2	0.110	0.010	0.210	1.83	"
A ₄	AA39	99.2	0.110	0.010	0.210	0.84	"
A ₅	No. 300	—	—	—	—	2.50	Y金属社
A ₆	YP 580	99.4	0.259	0.322	0.018	2.23	"
A ₇	YP2000	99.4	0.259	0.322	0.018	2.68	"
A ₈	YP1000	99.4	0.259	0.322	0.018	2.62	"
A ₉	P 120	>99.5	<0.25	>0.20		0.57	"
A ₁₀	P 120	>99.5	<0.25	>0.20		1.95	"

* 粒度分布は島津製作所製自動粒度測定器により測定。油脂分はJ I S K5906—1959「塗料用アルミニウム粉」の溶剤溶物測定法により測定。

** 油脂分は全金属成分に対する添加百分率

(B)

試料番号	粒 度 分 布 (重量百分率) (粒子方法: μ)											*** 有効 径 (μ)
	>30.3	30.3 ~21.5	21.5 ~17.6	17.6 ~15.2	15.2 ~13.5	13.5 ~12.4	12.4 ~11.5	11.5 ~10.7	10.7 ~9.5	9.5 ~9.2	<9.2	
A ₁	—	—	—	—	13.5 10.0	6.0	9.0	4.4	6.0	6.0	58.6	7.84
A ₂	—	>21.5 27.2	8.6	5.0	10.0	4.0	4.0	13.0	<10.7 28.2	—	—	13.97
A ₃	6.7	16.0	10.0	13.3	10.0	15.0	<12.4 29.0	—	—	—	—	15.28
A ₄	45.6	25.0	6.2	<17.6 23.2	—	—	—	—	—	—	—	25.28
A ₅	—	>21.5 3.2	6.4	12.9	12.9	10.0	5.0	10.0	<10.7 39.6	—	—	13.75
A ₆	—	>21.5 3.0	9.3	11.0	9.3	11.0	9.3	11.0	<10.7 36.1	—	—	13.85
A ₇	—	—	—	—	—	>1.24 7.0	7.0	7.0	25.0	7.0	47.0	8.09
A ₈	—	—	>17.6 7.0	13.3	7.0	11.7	10.0	7.0	3.3	<9.5 40.7	—	11.47
A ₉	51.0	14.0 >21.5	8.0	6.0	<15.2 21.0	—	—	—	—	—	—	24.94
A ₁₀	—	17.6	14.5	12.0	9.0	12.0	<12.4 34.9	—	—	—	—	15.03

***有効径は次の定義による: $\frac{1}{d} = \sum \frac{d_{12}}{d_{12}}$, $\frac{1}{d_{12}} = \frac{1}{3} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{2}{d_1+d_2} + \frac{1}{d_2} \right)$, d_{12} =篩目 d_1 と d_2 の間に留まる試料の重量百分率. d =有効径 (μ)

5.5.2 アルミニウム粉末の種類が注入モルタルの諸性質におよぼす影響を調べるための試験 (I)

試験に用いた材料は 0 社 0 工場普通セメント, 豊浦標準砂, ポゾリス No.8, 水道水および表-5.29に示した10種のアルミニウム粉末である。配合は, $S/C=1.50$, $Poz.8/C=0.25\%$, $W/C=59.0\%$ および $Al/C=0.015\%$ とした。この試験では, 注入モルタルの流出時間, 単位容積重量, ブリージング率および膨張率を測定した。ブリージング率および膨張率は §3の3.3b で述べたポリエチレン袋を用いて行なうプレストレストコンクリート用グラウトのブリージング率ならびに膨張率試験方法に従って試験したもので, 練りませ後24時間の値である。この試験方法ではブリージング率を試料容積に対する百分率で表示する方法を採用して居り, 本報告で主として用いたメスシリンダー方法による表示と異なるので注意する必要がある。

試験結果は表-5.30に示した通りである。この試験結果について分散分析を行ない, アルミニウム粉末の種類と上述の注入モルタルの諸性質との関係を調べると, 流動性ならびに単位容積重量との間には有意な関係は認めら

表-5.30 アルミニウム粉末を添加した注入モルタルの試験結果 (I)*

Al 粉末の 種類	第 1 回					第 2 回					第 3 回				
	モルタル 温度 (°C)	流出時 間 (sec)	単位容 積重量 (kg/L)	ブリー ジング 率(%)	膨張 率(%)	モルタル 温度 (°C)	流出時 間 (sec)	単位容 積重量 (kg/L)	ブリー ジング 率(%)	膨張 率(%)	モルタル 温度 (°C)	流出時 間 (sec)	単位容 積重量 (kg/L)	ブリー ジング 率(%)	膨張 率(%)
A ₁	22.3	16.6	2.04	0	3.4	22.4	15.3	2.08	0	5.9	21.1	14.7	2.08	0.1	4.3
A ₂	21.8	17.1	2.08	0	5.1	22.1	15.1	2.07	0	4.8	20.5	14.4	2.07	1.0	3.8
A ₃	22.1	17.7	2.07	0.1	5.0	22.0	15.8	2.07	0	5.9	21.2	15.2	2.09	0	8.8
A ₄	21.8	18.0	2.09	1.4	3.5	21.9	15.5	2.07	1.7	3.9	20.7	15.2	2.07	1.8	4.3
A ₅	22.7	16.1	2.07	0.1	2.5	22.2	15.6	2.08	0	2.5	21.5	15.6	2.08	0	4.4
A ₆	22.9	17.8	2.08	0	5.1	22.7	15.2	2.06	0	5.7	22.2	15.7	2.08	0	7.2
A ₇	22.6	16.8	2.07	0.1	4.5	22.3	15.4	2.07	0	5.9	21.1	14.7	2.08	0	4.9
A ₈	21.8	18.4	2.08	0	5.1	21.8	15.4	2.07	0	5.7	20.5	15.7	2.08	0	8.0
A ₉	23.1	17.0	2.08	1.2	3.4	22.3	15.5	2.08	1.3	3.9	21.1	14.8	2.08	2.2	3.9
A ₁₀	22.5	17.5	2.08	0.8	4.6	22.3	15.7	2.08	0	6.1	21.0	15.2	2.07	0	6.5

* ブリージング率および膨張率は24hr後の値

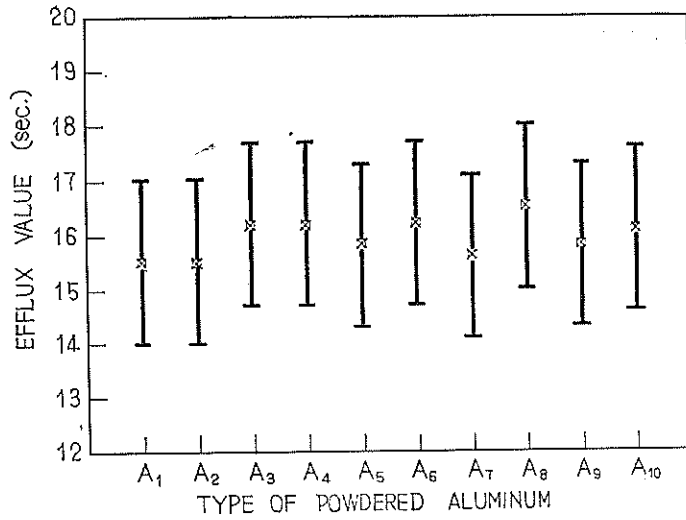


図-5.36 Al 粉末の種類と注入モルタルの流出時間との関係および試験結果の信頼限界
 Type of Powdered Aluminum vs. Consistency of Intrusion Mortar and Confidence Limits of Test Results

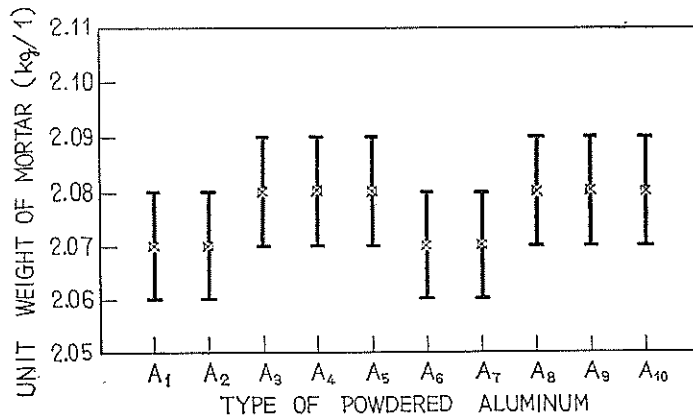
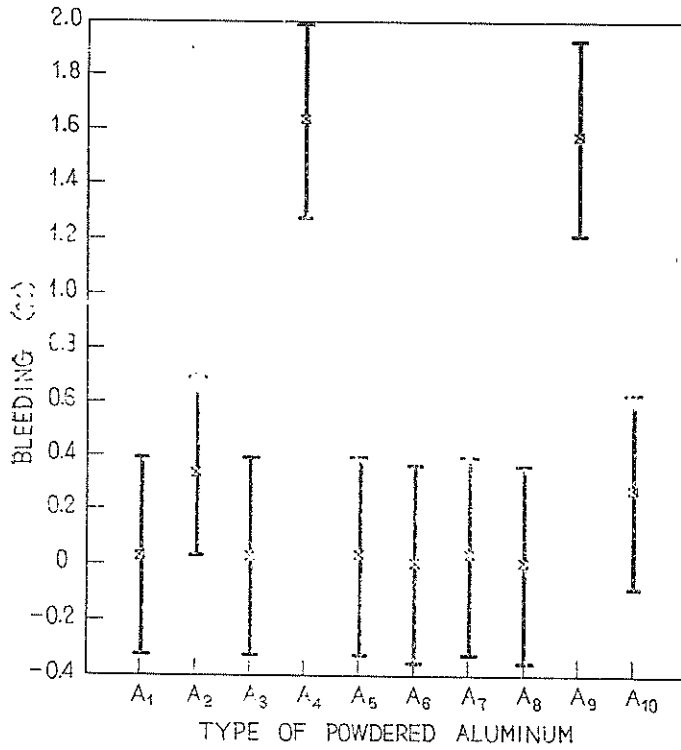
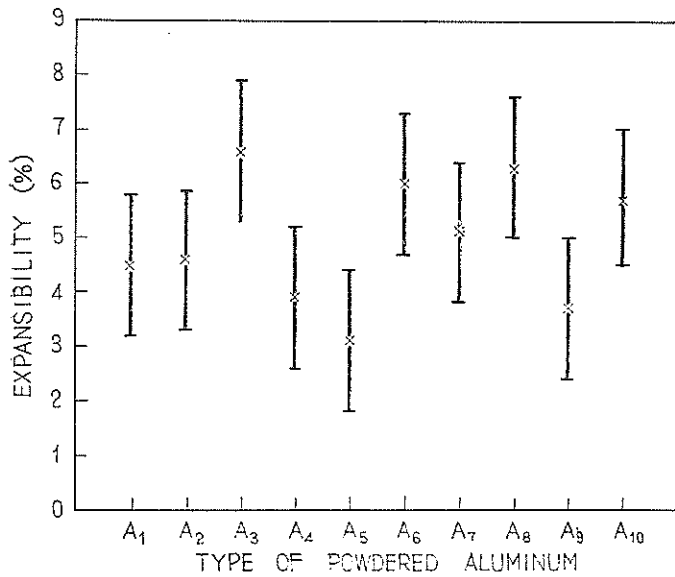


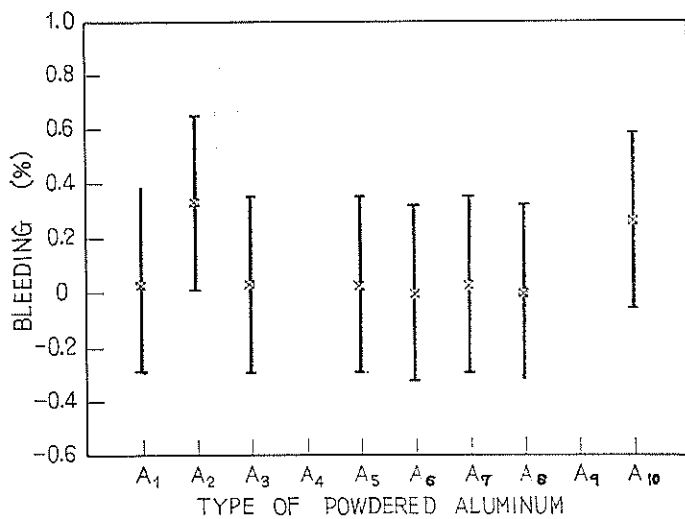
図-5.37 Al 粉末の種類と注入モルタルの単位容積重量との関係および試験結果の信頼限界
 Type of Powdered Aluminum vs. Unit Weight of Intrusion Mortar and Confidence Limits of Test Results



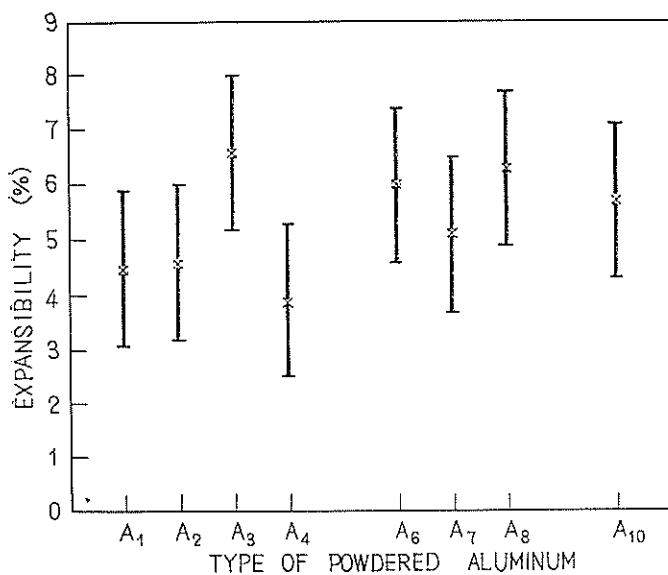
図一38 Al 粉末の種類と注入モルタルのブリージング率との関係および試験結果の信頼限界
 Type of Powdered Aluminum vs. Bleeding of Intrusion Mortar and Confidence Limits of Test Results



図一5.39 Al 粉末の種類と注入モルタルの膨張率との関係および試験結果の信頼限界
 Type of Powdered Aluminum vs. Expansibility of Intrusion Mortar and Confidence Limits of Test Results



図—5.40 Al 粉末の種類と注入モルタルのブリーディング率との関係および試験結果の信頼限界 (A₄, A₉ を除外した場合)
 Type of Powdered Aluminum vs. Bleeding of Intrusion Mortar (A₄ and A₉ are excluded) and Confidence Limits of Test Results



図—5.41 Al 粉末の種類と注入モルタルの膨張率との関係および試験結果の信頼限界 (A₅, A₉ を除外した場合)
 Type of Powdered Aluminum vs. Expansibility of Intrusion Mortar (A₅ and A₉ are excluded) and Confidence Limits of Test Results

れないが、アルミニウム粉末の種類はブリージング率ならびに膨張率に対して有意であることが分つた。図—5.36～5.39はアルミニウム粉末の種類とこれらの諸性質との関係およびその試験結果の信頼限界を示すもので、ブリージング率ならびに膨張率についての有意性は明瞭である。図—5.40, 5.41はそれぞれ、ブリージング率ならびに膨張率が他と著しく相違した A₄ と A₉ および A₅ と A₉ を除いた試験結果について信頼限界を求めたもので、これらを除いたアルミニウム粉末の種類はブリージング率および膨張率に対して有意でないことを示している。

5.5.3 アルミニウム粉末の種類が注入モルタルの諸性質におよぼす影響を調べるための試験 (II)

5.5.2 に述べた試験により、アルミニウム粉末の種類と注入モルタルの流出時間、単位容積重量、ブリージング率および膨張率との関係を検討した所、ブリージング率については A₄ (AA39) と A₉ (P120)、膨張率については A₅ (No. 300) と A₉ が他のアルミニウム粉末に比較して差のあることが判つた。この結果を確認するために、これら3種類のアルミニウム粉末(A₄, A₅, A₉)に、別に比較のために残りのアルミニウム粉末から選択した3種類(A₃, A₆, A₈)を追加して6種類に限定したアルミニウム粉末を用いて、一元配置法によりこれらのアルミニウム粉末の種類と注入モルタルの諸性質との関係を検討した。この試験では測定項目として更に圧縮強度および曲げ強度を加えた。圧縮強度は型わくを用い、モルタルの膨張を抑制してつくつたφ 5×10cmの円柱形供試体を用いて、²¹⁾ 材令28日に試験した。曲げ強度は膨張率を測定した供試体(直径約4cm, 長さ約20cm, ポリエチレン袋入り)をそのまま20°Cの水中に浸漬して養生したものを用いて、材令28日に試験したもので、支点距離は10cm, 2等分点載荷とした。従つて、供試体直径を d cm, 支点距離を l cm, 破壊荷重を P kg とすると、曲げ強度 σ_b は次式によつて求められる。

$$\sigma_b = \frac{\frac{pl}{4} \times \frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{64}} = \frac{8pl}{\pi d^3} = \frac{24.45p}{d^3}$$

この試験で求めた曲げ強度は上述のように膨張を抑制しないでつくつた直径約4cmの円柱形供試体についてのものであり、§3.3(g)に述べた所の4×4×16cm供試体による曲げ強度とは異なつた性質のものである点に注意する必要がある。

試験に用いた材料は砂以外のものは前回と同じである。砂は鶴沼海岸産のものを用い、これを0.6mmでふるい分け、ふるいを通過したものを表面乾燥飽水状態として用いた。注入モルタルの練りませ方法は §3.3(a)の方法に準ずるが、材料の投入は、水—セメント分散剤—アルミニウム粉末—セメントの順序で行なつた。注入モルタルの配合は前回と異なり、水セメント比を2種とした。すなわち、

① S/C=1.50, W/C=50.0%, poz. 8/C=0.25%, Al/C=0.015%

② S/C=1.50, W/C=53.0%, poz. 8/C=0.25%, Al/C=0.015%

の2種である。試験の繰返し回数は配合①については3回、配合②については2回とした。

試験結果は表—5.31に示した通りである。この試験結果について、5.5.2と同じように、分散分析を行なつてアルミニウム粉末の種類と注入モルタルの諸性質との関係について調べた所、次のことが明らかにされた。

- (i) 配合①, ②のいずれの場合にも、アルミニウム粉末の種類は注入モルタルの流動性に対して有意でない。
- (ii) 配合①, ②のいずれの場合にも、アルミニウム粉末の種類は注入モルタルの単位容積重量に対して有意でない。
- (iii) 配合①の場合には、アルミニウム粉末の種類は注入モルタルのブリージング率に対して確かに有意であるが、配合②の場合にはアルミニウム粉末の種類はブリージング率に対して有意でない。
- (iv) 配合①, ③のいずれの場合にも、アルミニウム粉末の種類は注入モルタルの膨張率に対して確かに有意である。

表—5.31 アルミニウム粉末を混和した注入モルタルの試験結果 (II)

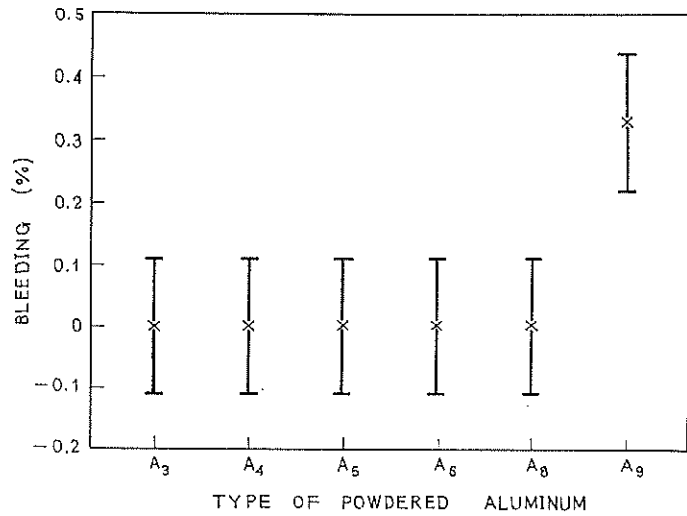
モルタルの配合	繰返し数	Al 粉 末 の 種 類	モルタル の 温 度 (°C)	流出時間 (sec)	単位容積 重 (kg/l)	24hrのブ リージ ング率(%)	24hr 膨 張 率(%)	4 週強度 (kg/cm ²)	
								曲 げ	圧 縮
S/C=1.50 W/C=50.0% poz. 8/=0.25% Al/C=0.015% (0社普通セメント) (鶴沼海岸砂) ボゾリス No. 8)	1	A ₃	23.4	16.3	2.14	0	8.3	43.6	237
		A ₄	22.8	17.3	2.17	0	7.7	39.5	398
		A ₅	22.7	17.3	2.16	0	5.3	53.6	409
		A ₆	21.8	17.8	2.16	0	7.9	49.8	434
		A ₈	22.6	16.7	2.16	0	7.6	51.7	437
		A ₉	21.9	17.7	2.17	0.1	6.8	44.8	420
	2	A ₃	22.1	16.8	2.17	0	8.4	47.9	369
		A ₄	22.2	16.1	2.16	0	6.8	35.6	344
		A ₅	21.7	16.6	2.17	0	4.8	56.7	297
		A ₆	21.6	17.4	2.15	0	8.1	53.6	391
		A ₈	22.2	16.7	2.17	0	8.3	20.9	297
		A ₉	22.3	16.5	2.16	0.4	5.9	47.4	413
	3	A ₃	20.7	16.6	2.17	0	8.4	36.3	333
		A ₄	21.7	16.7	2.17	0	7.1	61.1	343
		A ₅	21.2	16.6	2.17	0	3.3	48.7	346
		A ₆	21.0	16.8	2.17	0	8.1	55.8	343
		A ₈	20.7	17.7	2.17	0	7.7	45.9	338
		A ₉	21.4	17.3	2.16	0.5	4.9	48.9	369
S/C=1.50 W/C=53.0% poz. 8/C=0.25% Al/C=0.015% (0社普通セメント) (鶴沼海岸砂) ボゾリス No. 8)	1	A ₃	19.9	13.2	2.15	0.7	5.7	51.7	350
		A ₄	19.6	12.8	2.16	1.1	3.9	63.6	323
		A ₅	19.5	13.3	2.14	0.6	2.4	58.4	299
		A ₆	19.2	13.1	2.16	1.1	6.1	50.0	371
		A ₈	19.9	13.3	2.17	1.3	6.8	57.1	252
		A ₉	19.2	13.7	2.15	0.8	2.3	45.8	347
	2	A ₃	19.9	13.2	2.15	0.1	6.0	53.7	414
		A ₄	20.3	13.2	2.16	0.2	4.8	48.4	343
		A ₅	19.6	13.0	2.15	0.5	3.7	—	383
		A ₆	19.2	13.4	2.15	1.0	5.5	58.1	375
		A ₈	19.9	12.9	2.13	0.2	5.3	57.6	275
		A ₉	19.8	13.3	2.16	0	4.1	60.9	260

(v) 配合①, ③のいずれの場合にも, アルミニウム粉末の種類は注入モルタルの4週圧縮強度に対して有意でない。

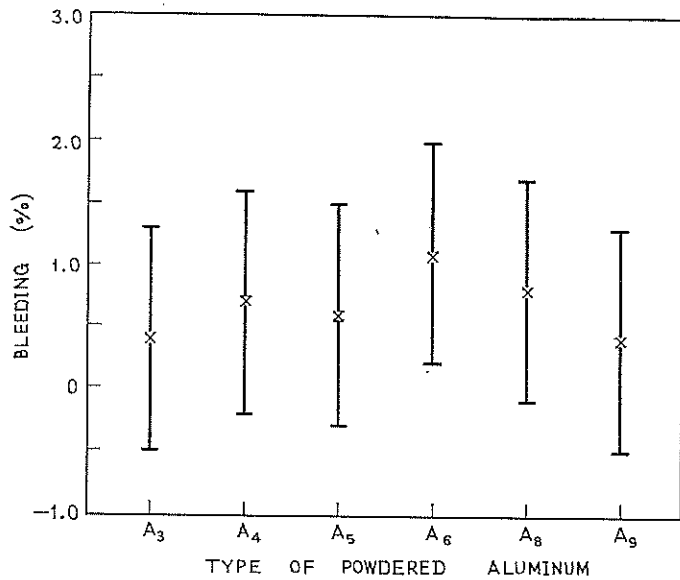
(vi) 配合①, ③のいずれの場合にも, アルミニウム粉末の種類は注入モルタルの4週曲げ強度に対して有意でない。

図—5.42~5.48はアルミニウム粉末の種類と注入モルタルのブリージグ率, 膨張率, 4週圧縮および曲げ強度との関係ならびに試験結果の信頼限界を示したものである。上に述べた分散分析の結果はこれらの図からも明瞭に観察される。

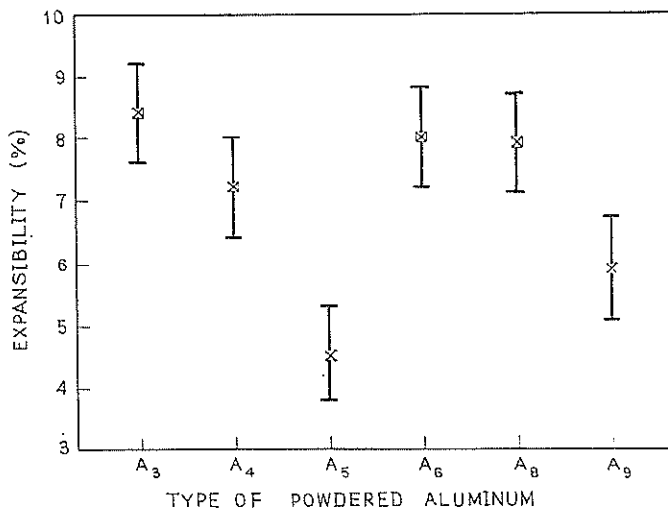
配合①, ③を比較すると, ブリージグ率, 膨張率および強度にはかなり増減が認められるが, 増減の傾向はアルミニウム粉末の種類に関わりなくほぼ一様である。配合③のブリージグ率および曲げ強度は一般に増加し, 膨張率および圧縮強度は逆に減少している。ブリージグ率の増加は水セメント比の増加によつてほぼ説明され



図—5.42 Al 粉末の種類とブリージング率との関係および試験結果の信頼限界 (配合①繰返し数 3回の場合)
 Type of Powdered Aluminum vs. Bleeding of Intrusion Mortar and Confidence Limits of Test Results (Mix No. 1 three times repeated)

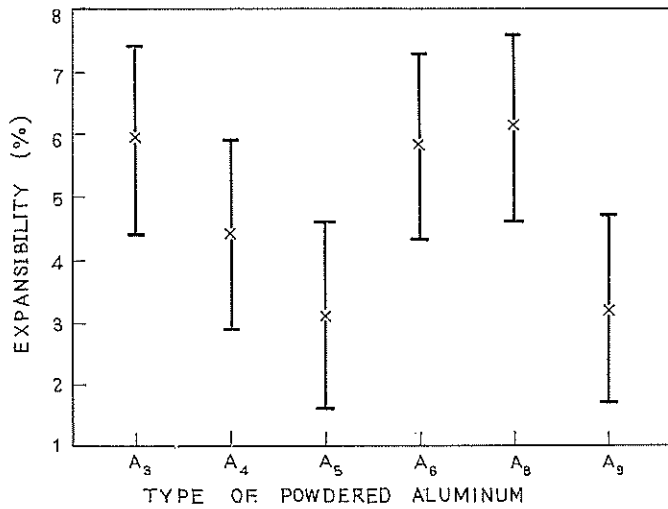


図—5.43 Al 粉末の種類とブリージング率との関係および試験結果の信頼限界 (配合②, 繰返し数 2回の場合)
 Type of Powdered Aluminum vs. Bleeding of Intrusion Mortar and Confidence Limits of Test Results (Mix No. 2, two times repeated)



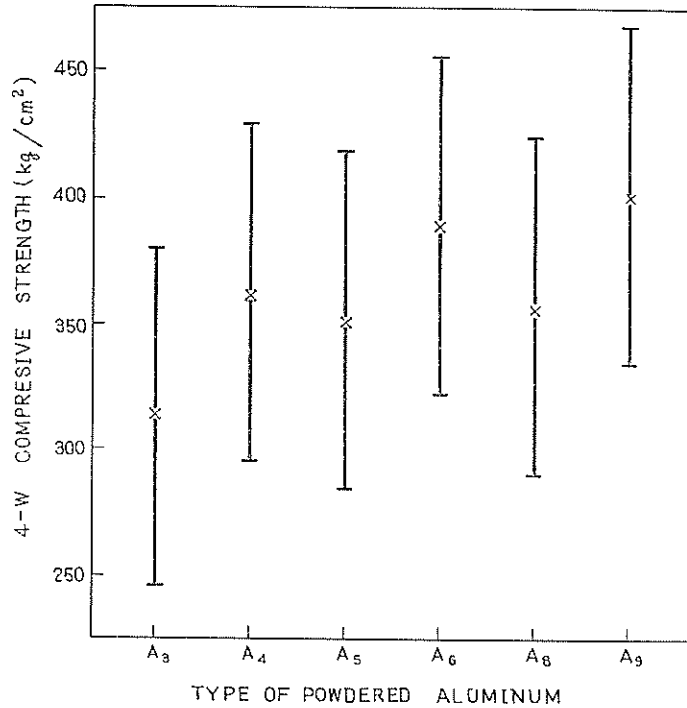
図—5.44 Al 粉末の種類と膨張率との関係および試験結果の信頼限界
(配合①, 繰返し数 3回の場合)

Type of Powdered Aluminum vs. Expansibility of Intrusion Mortar and
Confidence Limits of Test Results (Mix No.1, three times repeated)



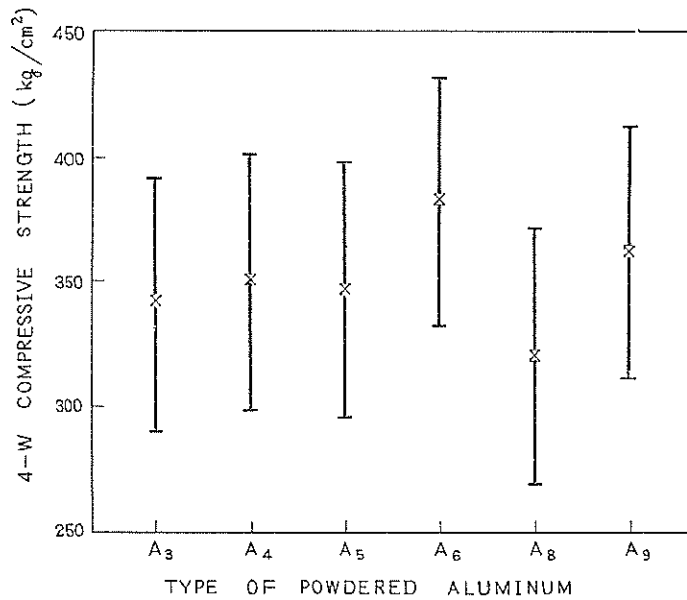
図—5.45 Al 粉末の種類と膨張率との関係および試験結果の信頼限界
(配合②繰返し数 2回の場合)

Type of Powdered Aluminum vs. Expansibility of Intrusion Mortar and
Confidence Limits of Test Results (Mix No.2, two times repeated)



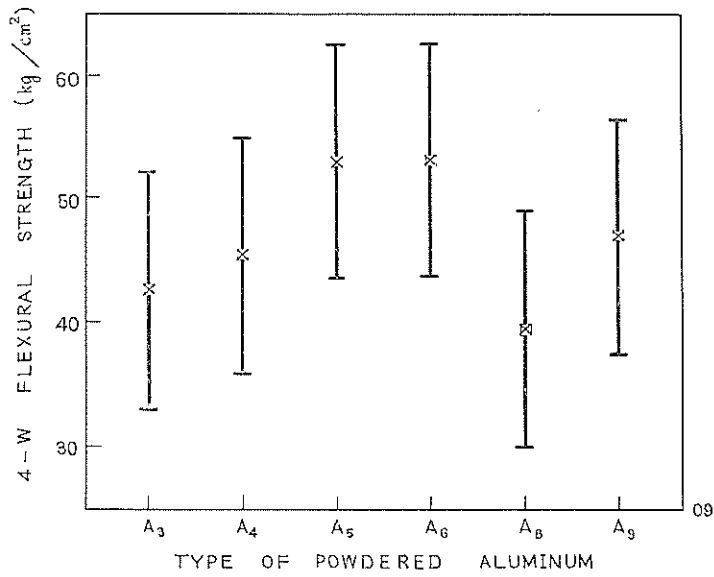
図—5.46 Al 粉末の種類と圧縮強度との関係および試験結果の信頼限界
(配合①, 繰返し数 3回の場合)

Type of Powdered Aluminum vs. Compressive Strength of Intrusion Mortar and Confidence Limits of Test Results (Mix No.1, three times repeated)



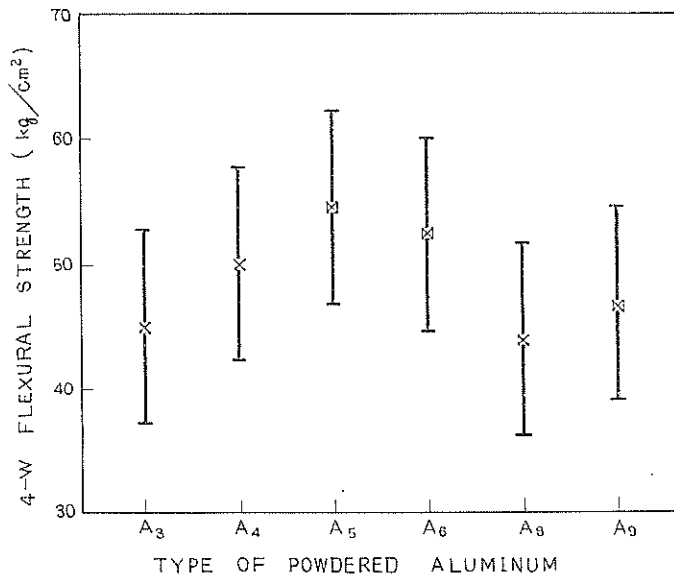
図—5.48 Al 粉末の種類と圧縮強度との関係および試験結果の信頼限界
(配合②, 繰返し数 2回の場合)

Type of Powdered Aluminum Vs. Compressive Strength of Intrusion Mortar and Confidence Limits of Test Results (Mix No.2, two times repeated)



図—5.48 Al 粉末の種類と曲げ強度との関係および試験結果の信頼限界
(配合①, 繰返し数 3回の場合)

Type of Powdered Aluminum vs. Flexural Strength of Intrusion Mortar
and Confidence Limits of Test Results (Mix No.1, three times repeated)

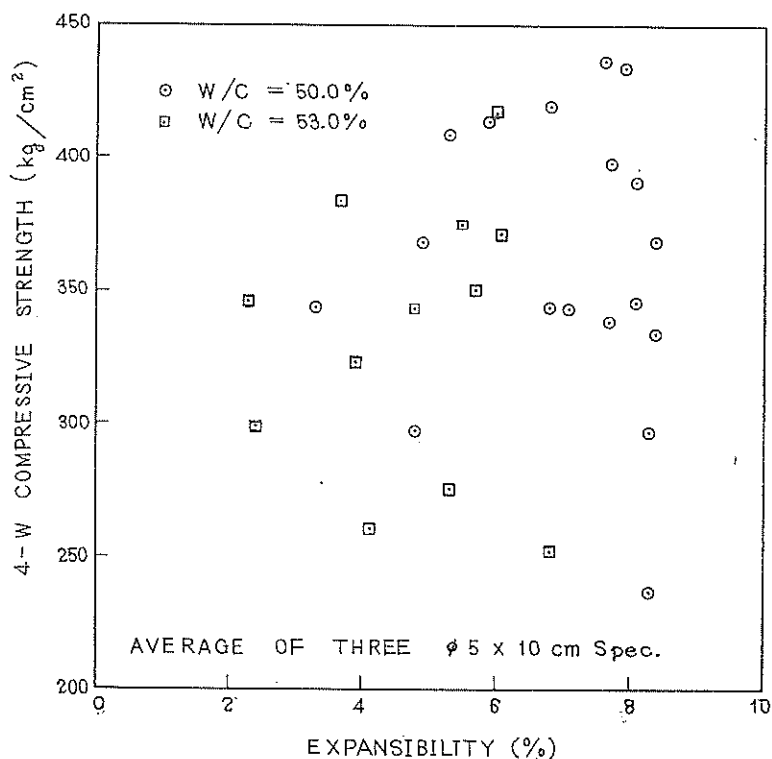


図—5.49 Al 粉末の種類と曲げ強度との関係および試験結果の信頼限界
(配合②, 繰返し数回の場合)

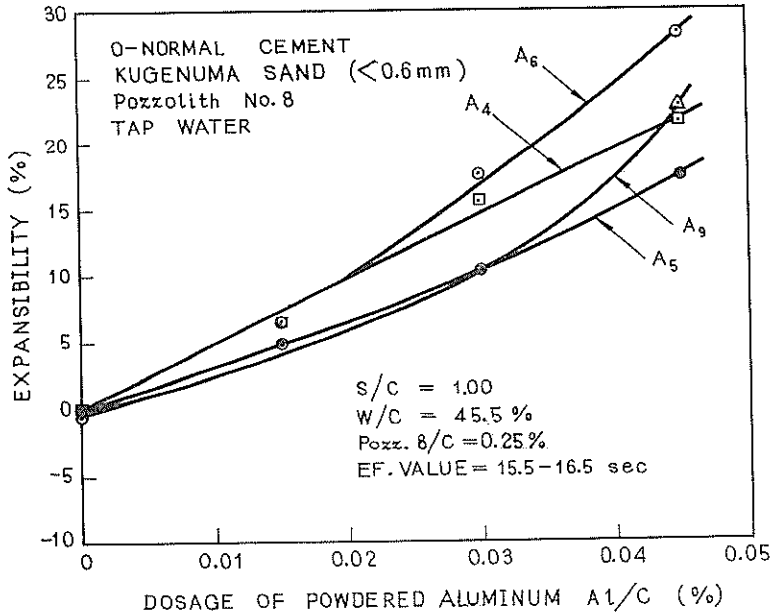
Type of Powdered Aluminum vs. Flexural Strength of Intrusion Mortar
and Confidence Limits of Test Results (Mix. No. 2, two times Repeated)

る。水セメント比の増加にも拘わらず曲げ強度が平均20%程度増加したことは膨張率の減少を考慮することによつて説明される。すなわち、膨張率はその絶対値で1.4~2.8%、平均2.3%（配合①の膨張率に対する比で平均33%）減少している。この膨張率の減少が供試体断面の実質的増加をもたらし、結果として曲げ強度が増加したものと考えられる。膨張率の変化は当然圧縮強度にも影響するものと考えられるが、この場合には、供試体はモルタルの膨張を拘束したものであるため、供試体に加わる圧力には多少の相違があつても供試体内の気泡の量には実質的な相違はない。水セメント比の増加および圧力の減少はいずれも強度の減少をもたらすもので、平均7%程度の圧縮強度の減少は主として以上の2要因に基くものと考えられる。分散分析の結果(v)で述べたように、本試験結果はアルミニウム粉末の種類が注入モルタルの強度に対して有意でないことを示しているが、モルタルに加わる圧力が膨張率によつて相違することは膨張率と圧縮強度との間にある程度の相関性の存在を示唆している。図—5.50は膨張率と圧縮強度とを対比したもので、試験値は表—5.31に示したものである。試験値がかなりばらつき、両者の間に明瞭な相関性を認めることは難しいが、圧縮強度は膨張率の増加に応じて増加する傾向が認められ、膨張率8%程度以下ではこの傾向はかなり明瞭となる。云い換えれば、分散分析の結果(v)、(vi)で述べたことは試験の精度によつて変化し得るもので、試験の精度が向上すれば膨張率と強度の間に有意な関係の存在する可能性を示すものと云えよう。ほぼ同様なことは(ii)に述べたアルミニウム粉末の種類と単位容積重量との関係についても云えるのである。

図—5.51は上述の試験とは多少配合を変えて、発泡剤率と注入モルタルの膨張率との関係を調べた結果である。膨張率が発泡剤率にほぼ比例し、膨張効果が比較的少ないアルミニウム粉末でもその使用量を変えることによつて所要の膨張率が得られることが分る。



図—5.50 注入モルタルの膨張率と膨張を抑制して作った供試体による4週圧縮強度との関係
Expansibility vs Compressive Strength of Intrusion Mortar at 4 Weeks (Mortar Expansion were Restrained)



図—5.51 発泡剤率と膨張率との関係
Dosage of Powdered Aluminum vs. Expansibility of Intrusion Mortar

5.5.4 アルミニウム粉末の種類と使用量が注入モルタルの諸性質におよぼす影響について

5.5.2および5.5.3述べた試験結果を要約すると、アルミニウム粉末の混入が注入モルタルの諸性質におよぼす影響について次のことが明らかにされた。

アルミニウム粉末の種類は、その使用によるモルタルの膨張率が過大でなければ、注入モルタルの流動性および単位容積重量に認め得る程度の影響をおよぼさない。

膨張率は明らかにアルミニウム粉末の種類と使用量によつて影響され、膨張効果の認められるアルミニウム粉末であつても、膨張率は種類によつて異なり、また使用量にはほぼ比例して増加する。

ブリージング率に対するアルミニウム粉末の影響は必ずしも明瞭でない。ブリージング率が極めて小さいような配合の場合には、ブリージング率はアルミニウム粉末の種類によつて変化するが、ある程度以上のブリージング率が期待されるような配合の場合にはアルミニウム粉末の種類による影響は認め難い程度となる。

モルタルの膨張を抑制して作った供試体による圧縮強度は、膨張率が過大でない範囲では、膨張率の増加に応じて増加する傾向が認められるが、実際的にはアルミニウム粉末の種類は圧縮強度にほとんど影響しないと云つてよい。逆にモルタルの膨張を抑制しないで作った供試体による曲げ強度は、膨張率の増加に応じて減少することが期待されるが、圧縮強度と同じように実際的にはアルミニウム粉末の種類は曲げ強度に対してほとんど影響しないと云い得る。

以上により、適量のアルミニウム粉末を混入する場合にその種類によつて影響を受けるものは、実質的には膨張率のみであることが分る。膨張率以外の性質、たとえば、強度等は全く影響を受けない訳ではないが、これは主として膨張率の相違によるものであつて、アルミニウム粉末の種類の相違に基く膨張率の相違が本試験で得られた程度では種類による強度の変化は認め難いからである。

以上ではアルミニウム粉末の“種類の相違”を“市販製品の相違”と同義語的に使用したが、これはアルミニウム粉末の影響を明らかにする上で必ずしも正しくない。表—5.29に示したアルミニウム粉末の試験結果による

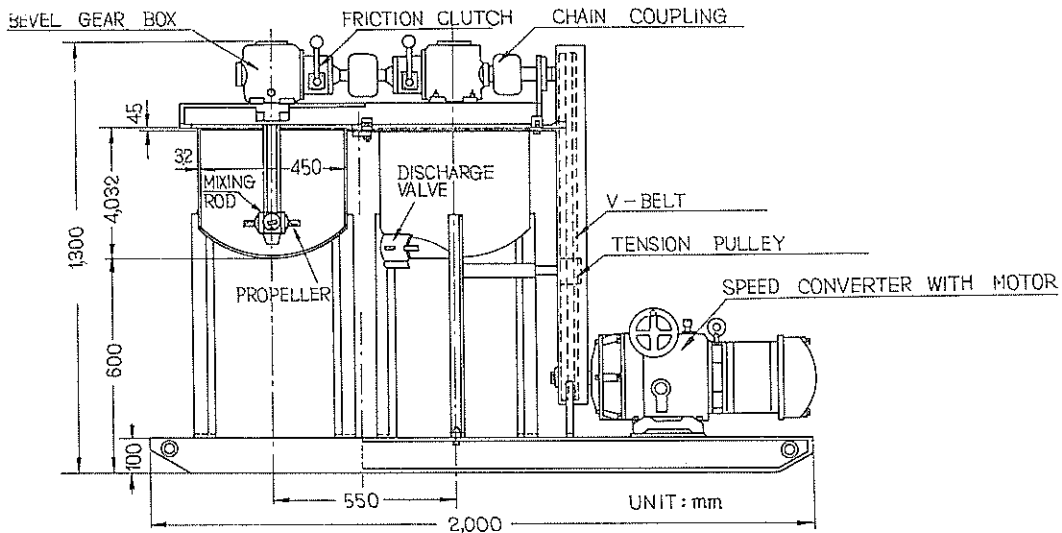
と、"種類の相違"を構成するのは主として不純成分、油脂分および粒度分布の三要素であることが分る。不純成分 Si, Fe, Cuはアルミニウム粉末の素材であるアルミニウム箔によつて決まるもので、本試験に用いたA₁~A₄とA₅~A₁₀とはかなり相違しているが、この程度の相違が膨張率等の注入モルタルの性質に影響をおよぼすものでないことは試験結果より自ら明らかであろう。油脂分が著しく少い粉末はA₄(AA39)およびA₉(P120)であるが、これは同時に粉末度の比較的大きいものに相当し、有効径(J. Kozeny¹⁰⁾の定義による。計算法は表一5.29注参照。)は他の2~3倍の25 μ に近い。試験結果はこの2種を用いた配合のブリージング率が他の配合より著しく大きく、また膨張率は比較的小さい傾向を示して居り、油脂分含有量ならびに粉末度がアルミニウム粉末の膨張効果を支配する要因の一部を成していることを示唆している。膨張効果を支配する要因がこれのみでないことは油脂分および粉末度の点では他の粉末とほぼ同等のA₅(No. 300)の膨張効果が比較的小さい点から推測されるが、その化学成分は必ずしも明らかでない。他の7種の粉末、A₁, A₂, A₃, A₆, A₇, A₈, A₁₀の間には膨張効果の点で実質的な相違は認められない。従つて、アルミニウム粉末について検討した本実験結果の結論として次のことを云い得るものと思われる。すなわち、注入モルタルに用いるアルミニウム粉末はその形状が鱗片状であると共に、純度が99%以上で、粒度分布は標準網フルイ44 μ をほとんど完全に通過し、かつ油脂分を少くとも2%程度含有するものでなければならない。

§6 練りませ方法が注入モルタルの諸性質におよぼす影響

6.1 概要

§4 および §5 において、注入モルタルの諸性質に影響をおよぼす要因として配合比ならびに使用材料を取り上げ、それぞれについて論じた。実際の施工条件の下では、練りませ方法や温度は必ずしも一様ではなく、これらの相違が注入モルタルの諸性質におよぼす影響を無視し得ない場合も多い。そこで、以下では練りませ方法の影響について論じよう。

練りませ方法を規定するものにミキサの構造、練りませ速度（攪拌羽根の回転速度）、練りませ時間、材料の投入順序、等であるが、施工用ミキサの構造は極めて多様であり、これを量的に表示することは不可能に近いので、ここでは練りませ速度を調整し得る 2 種のミキサを使用するに止めた。また、材料の投入順序が注入モルタルの諸性質に影響をおよぼすことも考えられるが、実際の施工条件の下ではほぼ一定の投入方法が採用されて居り、水—セメント分散剤—アルミニウム粉末—フライアッシュ—セメント（もしくは、セメント—フライアッシュ）—砂の順序に行なわれるのが普通であつて、他の順序による例は極めて稀である^{3,4,5}。以上の投入順序は微粉末粒子の分散と、比重および粒径の異なる諸粒子の均一な練りませに対して合理的なものであり、特にこれを変更する理由も認められないので、材料の投入順序に関する検討は行なわなかつた。温度、すなわち、使用材料の温度および気温はモルタルの温度および養生条件を左右するものであるが、必ずしも練りませ方法を規定するものではない。しかし、練りませ速度の遅速ならびに練りませ時間の長短はモルタルの温度と直接関係があり、これを分離して取扱うことは困難である。この理由により、ここでは温度を練りませ方法を規定する一要素として取扱うことにした。換言すれば、本章は温度、練りませ速度ならびに練りませ時間を以つて練りませ方法を規定



図—6. 1 高速偏心軸型モルタルミキサ
 各混合槽容量 50 ℓ
 回転数 300~1,200r. p. m. 可変
 攪拌軸 0~80mm. 可変
 攪拌羽根位置および傾斜角度可変

High-Speed Mortar Mixer with Eccentric Mixing Rods for Laboratory Tests. Capacity :2x50ℓ, Rotation : 300~1,200rpm, variable, Eccentricity of Mixing Rod : 0~80mm. Level and Angle of Propeller : variable.

する一般的な要素として取上げ、試験結果を述べ、その影響について論じたものである。

6.2 供試ミキサ

試験に用いた2種のモルタルミキサはいずれも練りませ速度を任意に調整し得るもので、そのうち1種は図-3.1に示した試験用注入モルタルミキサであり、他の1種は図-6.1に示した高速偏心軸型モルタルミキサである。前者はその練りませ速度を0~6,000rpmの範囲で任意に調整することが可能である。後者の練りませ速度可変範囲は300~1,200rpmであつて、攪拌軸の偏心量を0~80mmに調整し得るほか、攪拌羽根の取付位置ならびに角度を調整し得る特殊な構造となつている。しかし、本実験はミキサの性能調査が目的でないので、攪拌軸の偏心量は80mmとし、攪拌羽根の取付位置ならびに角度を一定として使用した。

6.3 温度が注入モルタルの諸性質におよぼす影響

使用材料の温度ならびに周囲の気温は練りませた注入モルタルの温度に影響すると共に、流動性、ブリージング率、膨張率、等の諸性質にも影響をおよぼすものと思われる。強度におよぼす温度の影響は著しいものであるが、この場合の温度はむしろ養生条件の一つと考えるべきであり、ここでは未だ固らない状態における注入モル

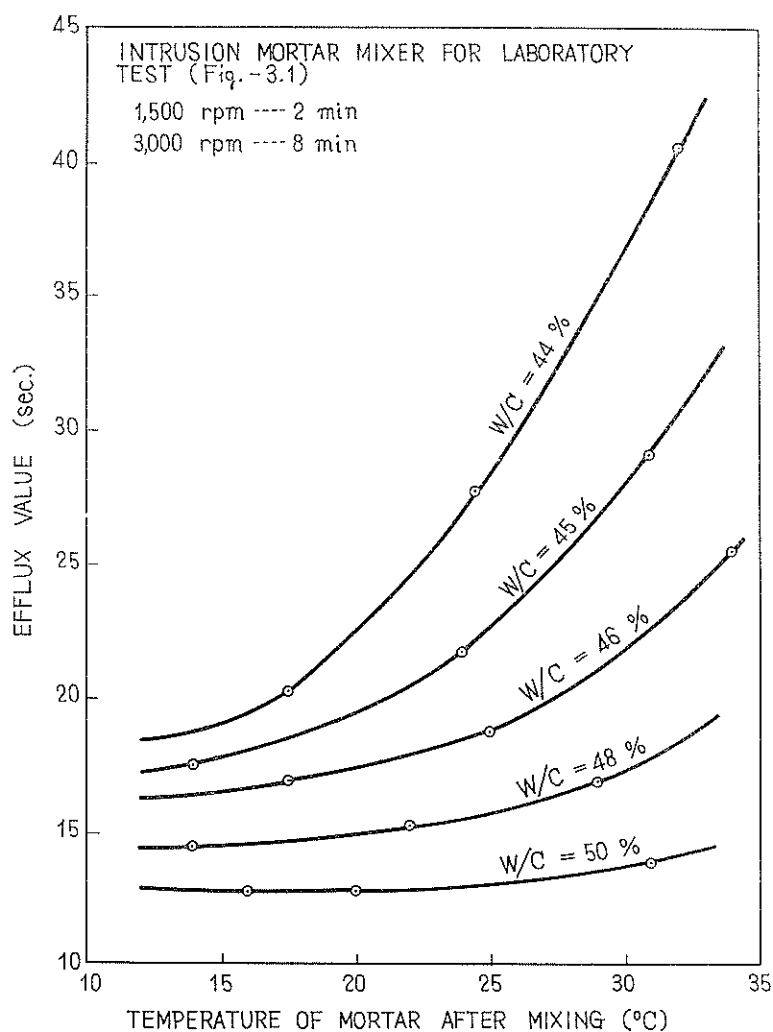


図-6.2 練りませ直後の注入モルタルの温度と流出時間との関係
 Effect of Temperature upon Consistency of Intrusion Mortar

タルの諸性質におよぼす温度の影響のみについて考慮する。

図-6.2は予冷ないし予熱した材料を用いて練りませた注入モルタルの練りませ直後の温度と流動性の関係を示

表-6.1 図-6.2に示した試験のための注入モルタルの配合

使用材料	セメントに対する重量比	備考
セメント	—	I社普通セメント
砂	$S/C=1.00$	平市内夏井川砂
分散剤	$P_{0.8}/C=0.25\%$	ボゾリス No.8
Al粉末	$Al/C=0.015\%$	F金属社AA12
水	$W/C=44\sim 50\%$	水道水

すもので、表-6.1は供試モルタルの配合表である。図-6.2の示す所は極めて明瞭で、モルタル温度の上昇に伴ないその流動性は減少する。流動性減少の程度は配合と温度変化の範囲によつて相違し、モルタルが硬練りである程、また高温である程著しい。例えば、水セメント比44%と50%の両配合を比較すると、温度10°Cにおける流出時間の相違は5secであるが、20°Cでは9sec余、30°Cでは23secに達する。注入モルタルはそれが流動状態にある間はこれを粘性流体の一種と看做すことができるが、不完全な粘性流体であることに議論の余地はない。これは注入モルタルが単に物理的性質の異なる諸粒子が浮遊している液状体であるだけでなく、主成分の一つであるセメント粒子が水と化学的に活性であることにもよるものである。上述のように、セメントペーストの濃度が大である程、すなわち、水セメント比が小さい程、またモルタル温度が高い程、流動性の減少が著しいことは、温度変化に伴う注入モルタルの粘性ないし流動性の変化が主としてセメントの水和作用に起因することを示唆している。このことは、5.2.5で述べた風化セメントを用いて練りませた注入モルタルの流動性が風化の程度が進行する程減少する現象と極めて類似して居り、本質的には同じ現象と推定される。一般に粘性流体の流動性は温度上昇に伴なつて増加する（粘性が減少する）のが普通であるが、この原則は注入モルタルには適用し得ないことは明らかである。また注入モルタルには材料の分離というような性質もあり、これらのことは注入モルタルを粘性流体の一種として看做し得る範囲が極めて限られていることを示すものとして興味深い。

表-6.2~6.4は予冷した材料を用いて練りませ温度を調整したモルタルの流動性および保水性試験結果、ならびにこのモルタルを3~32°Cの各種の温度に保存した状態における膨張率およびブリージング率試験結果である。

既に前段で述べたように、モルタルの流動性は練りませ温度の上昇と共に減少することは表-6.2の試験結果よりも明らかであろう。保水性は練りませ温度の上昇に応じて多少増加する傾向を示しているが、表-6.5に示したように試験値のばらつきが比較的大きく、これを有意な関係と断定することはできない。

膨張率およびブリージング率は当然予想されるように、モルタルの練りませ温度だけでなくその保存温度によつてもかなり影響される。以下で、表-6.3, 6.4の試験結果について考察を加えてみよう。

試験結果よりモルタルの保存温度と膨張率との関係を図示すると、図-6.3~6.5が得られる。図中の実線は練りませ後3時間の値であり、点線は24時間後における値である。これらの図から、練りませ3時間後における膨張率はその保存温度にほぼ比例して増加することが分る。このことは注入モルタル中のアルミニウム粉末の反応速度が保存温度に近似的に比例することを示すものである。岩崎氏は、セメントペースト中のアルミニウム粉末の反応速度 α と絶対温度 T との間に

$$\log \alpha = a - b/T \quad (a, b \text{ は定数}) \dots \dots (6.1)$$

表一6.2 練りませ温度が注入モルタルの流動性および保水性におよぼす影響

配	合			練りませ直後のモルタル温度(°C)	流出時間(sec)	保水性(%)	備考
	S/C	W/C(%)	Poz8/C(%)				
1.00	44.0	0.25	0	17.6	20.9	72.3	C:O社普通セメント S:利根川産砂 Poz8:ポゾリスNo.8 Al:F金属社AAI2 モルタル1バッチ C=3000gr S=3000" W=1320" Poz8=7.5" Al=0~0.9"
				22.2	24.4	77.0	
				25.8	23.6	77.7	
1.00	44.0	0.25	0.01	17.9	21.8	70.8	
				22.8	22.6	75.4	
				25.8	25.1	74.6	
1.00	44.0	0.25	0.02	18.5	21.5	70.8	
				21.5	22.2	71.0	
				26.2	24.4	69.2	
1.00	44.0	0.25	0.03	18.0	21.6	69.8	
				22.0	22.8	70.8	
				26.0	24.7	70.2	

(注) 練りませ方法: 試験用注入モルタル使用 1,500rpm—2min, 3,000rpm—8min.

表一6.3 練りませ温度ならびに保存温度が注入モルタルの膨張率ならびにブリージング率におよぼす影響(練りませ後3時間における値)

発泡剤率 Al/C (%)	練りませ直後のモルタル温度(°C)	膨 張 率 (%)※								ブリージング率 (%)※							
		保存温度(°C)(±0.5°C)								保存温度(°C)(0.5°C)							
		3	16	26	32	3	16	26	32	3	16	26	32				
0	17.6	-0.73 -0.25 0.48	-0.2 -0.76 0.00	0.26 -0.2 0.00	0.00 -0.1 0.00	0.49 0.48 0.50	0.5	3.18 5.54 5.78	4.8	3.18 3.28 6.64	4.4	3.28 3.19 2.99	3.2	2.72 2.16 2.50	2.5		
	22.2	(3.49) -1.45 -0.74	-1.1 -0.24 0.00	-0.48 -0.2 0.25	0.25 0.2 0.24	1.01 0.00 0.51	0.5	2.49 2.42 3.68	2.9	2.39 2.40 2.54	2.4	2.28 3.24 2.54	2.7	2.27 2.42 2.28	2.3		
	25.8	-1.22 -0.75 0.00	-0.7 -0.45 -0.75	0.45 -0.3 0.25	0.25 0.3 0.49	-1.23 -0.49 -0.74	-0.8	2.64 2.49 2.47	2.5	2.48 2.23 2.48	2.4	1.72 1.72 1.72	1.7	2.21 2.45 2.73	2.5		
0.01	17.9	3.74 4.21 3.86	3.9 5.00 5.94	6.44 5.8 (-0.24) 5.58	5.7	6.86 7.00 8.05	7.3	6.24 7.43 4.37	6.0	2.39 2.00 2.48	2.3	2.29 2.36 2.43	2.4	2.13 2.42 2.44	2.		
	22.8	2.89 3.68 2.67	3.1 4.76 3.71	3.94 4.1 6.31	6.3	4.13 6.76 6.27	5.7	1.68 4.17 1.78	2.5	1.85 2.14 1.98	2.0	2.34 2.44 2.42	2.4	2.18 2.42 2.41	2.3		
	25.8	2.94 3.71 2.72	3.1 4.48 3.43	3.70 3.9 4.95	5.0	4.73 4.95 5.33	5.7	4.17 4.46 2.47	3.7	1.98 1.74 1.96	1.9	2.17 2.23 1.94	2.1	2.19 2.16 2.23	2.2		
0.02	18.5	7.31 7.31 8.03	7.6 10.42 10.95	11.80 11.1 13.45	13.6	15.40 15.77 15.27	15.5	1.65 1.44 1.46	1.5	2.21 1.99 1.95	2.1	2.36 2.47 2.39	2.4	2.45 2.54 2.46	2.5		
	21.5	7.80 7.38 8.16	7.8 10.10 9.45	9.9 12.84 12.60	12.9	13.43 13.58 12.73	13.3	2.06 2.14 2.42	2.4	1.00 0.49 0.99	0.8	2.92 2.48 2.18	2.5	1.99 1.88 2.08	2.0		
	26.2	6.03 6.19 6.01	6.1 7.75 7.84	7.9 11.06 10.43	10.5	10.73 11.60 10.70	11.0	1.69 1.66 1.92	1.8	1.45 1.47 1.46	1.5	2.46 2.18 2.19	2.3	1.95 1.97 1.63	1.9		

発泡剤率 Al/C (%)	練りませ直後のモルタル温度 (°C)	膨 張 率 (%)※				ブリージング率 (%)※						
		保 存 温 度 (°C) (±0.5°C)				保 存 温 度 (°C) (0.5°C)						
		3	16	26	32	3	16	26	32			
0.03	18.0	10.02 10.30 10.33	10.2 15.12 15.02	15.49 15.1 19.42	22.34 19.95 19.42	20.6 20.3 21.60	17.80 20.3 21.60	2.20 1.96 1.88	2.0 1.26 1.41	1.2 1.46 1.21	1.3 1.46 1.49	1.5 1.46 1.49
	22.0	11.44 12.07 10.97	11.5 15.70 15.88	15.7 19.66 19.20	22.17 19.66 17.51	20.3 23.94 19.67	21.5 19.67	1.70 1.72 2.00	1.8 1.21 1.24	1.2 1.21 1.19	1.1 1.24 1.19	1.3 1.46 1.21
	26.0	10.08 10.10 10.10	10.1 15.19 14.27	15.20 15.19 14.9	17.56 17.64 17.17	17.5 17.51 17.23	17.4 17.4	1.20 1.44 0.96	1.2 1.22 1.21	1.2 1.47 1.49	1.4 1.44 1.49	1.5 1.44 1.46

※ポリエチレン袋を使用，モルタル容積に対する百分率で表示。

表一6.4 練りませ温度ならびに保存温度が注入モルタルの膨張率ならびにブリージング率におよぼす影響（練りませ24時間後における値）

発泡剤率 Al/C	練りませ直後のモルタル温度 (°C)	膨 張 率 (%)※				ブリージング率 (%)※							
		保 存 温 度 (°C) (±0.5°C)				保 存 温 度 (°C) (±0.5°C)							
		3	16	26	32	3	16	26	32				
0	17.6	-1.96 -0.76 -0.24	-1.0 -2.53 -1.47	-1.8 -1.47 -1.38	-1.77 -1.5 -1.38	-2.72 -2.65 -2.00	-2.5 -2.5	5.38 7.56 7.21	6.7 3.28 5.65	4.0 2.70 2.30	2.5 2.5 2.30	0.49 0.48 1.00	0.7 0.0 0.0
	22.2	4.74 -0.24 0.98	0.4 -0.96 -1.27	-1.4 -1.4 -1.44	-1.27 -1.3 -1.77	-1.26 -2.42 -1.77	-1.8	4.49 5.33 5.88	5.2 2.40 2.54	2.4 1.24 1.20	1.3 1.3 1.20	0.00 0.00 0.00	0.0 0.0 0.0
	25.8	-1.63 -0.75 0.25	-0.7 -1.24 -1.23	-1.3 -1.3 -2.96	-1.23 -2.0 -2.98	-3.19 -3.19 -2.98	-3.2	5.69 5.74 5.19	5.5 1.98 1.82	1.8 0.49 0.49	0.4 0.4 0.49	0.25 0.25 0.25	0.3 0.0 0.0
0.01	17.9	8.27 8.91 8.49	8.6 4.25 4.95	5.1 (-1.42) 4.37	4.84 4.6 4.37	4.02 4.35 5.12	4.5	5.99 7.42 5.14	6.2 2.0 2.48	2.3 1.18 1.21	1.2 1.2 1.21	0.00 0.00 0.00	0.0 0.0 0.0
	22.8	5.77 4.41 4.46	4.9 4.05 3.71	4.0 3.91 3.63	3.97 3.8 3.62	4.37 4.35 3.62	4.1	6.01 3.19 5.12	4.8 1.67 1.48	1.6 0.23 0.00	0.2 0.2 0.00	0.00 0.00 0.24	0.1 0.0 0.0
	25.8	3.43 2.97 3.21	3.2 3.48 3.68	3.6 3.6 2.91	2.42 2.72 3.48	3.65 3.36 3.48	3.5	6.13 6.44 6.18	6.3 1.00 1.23	0.99 1.00 1.23	1.1 0.00 0.00	0.0 0.0 0.00	0.0 0.0 0.00
0.02	18.5	12.50 11.98 10.95	11.8 10.33 10.95	10.9 10.9 10.74	11.55 11.85 10.74	11.74 12.47 12.07	12.1	4.01 4.08 3.41	3.8 1.24 1.46	1.3 0.00 0.00	0.0 0.0 0.00	0.00 0.00 0.00	0.0 0.0 0.0
	21.5	10.54 10.00 10.97	10.5 10.83 9.45	10.2 10.37 10.41	10.47 10.4 10.88	10.45 11.24 10.88	10.9	6.42 4.76 5.87	5.7 1.23 0.99	1.2 0.00 0.00	1.2 0.00 0.00	0.0 0.0 0.00	0.0 0.0 0.00
	26.2	6.76 7.62 7.45	7.3 7.84 7.55	7.6 8.02 7.78	8.84 8.2 8.37	8.78 9.39 8.37	8.8	4.35 4.52 4.81	4.6 0.24 0.24	0.2 0.00 0.00	0.2 0.00 0.00	0.0 0.0 0.00	0.0 0.0 0.00
0.03	18.0	15.16 14.22 15.96	15.1 14.61 17.37	15.5 18.49 18.20	18.61 18.4 18.20	20.00 15.60 19.60	18.4	4.89 4.90 4.46	4.8 0.00 4.46	0.3 0.00 0.47	0.3 0.00 0.00	0.0 0.00 0.00	0.0 0.0 0.00
	22.0	2.68 14.78 14.71	14.8 16.43 16.63	16.8 17.72 16.83	18.72 17.82 16.83	20.00 21.98 18.69	20.2	4.63 5.18 4.49	4.8 0.72 0.50	0.7 0.00 0.00	0.7 0.00 0.00	0.0 0.00 0.00	0.0 0.0 0.00
	26.0	13.66 13.72 14.40	13.9 14.95 13.80	14.6 16.16 16.20	16.08 16.2 15.77	15.49 16.08 15.77	15.8	3.60 3.37 3.36	3.4 0.00 0.00	0.0 0.00 0.00	0.0 0.00 0.00	0.0 0.00 0.00	0.0 0.0 0.00

※ポリエチレン袋を使用，モルタル容積に対する百分率で表示。

表-6.5 注入モルタルの練りませ温度と保水性との関係

Al/C(%)		保 水 性 (%)		
		18	22	26
0		72.3	77.0	77.7
0.01		70.3	75.4	74.6
0.02		70.8	71.0	69.2
0.03		69.8	70.8	70.2
平	均	70.9	73.6	72.9
標	差	0.89	2.71	3.40

が成立つことを確めている¹⁶⁾。式 (6.1) を変形すると

$$\alpha = e^a \cdot e^{-\frac{b}{T}} \dots \dots \dots (6.2)$$

となつて、 T の変化範囲が比較的小さい場合には、 $\alpha \sim T$ の関係は近似的に直線とみなすことができ、アルミニウム粉末の反応速度は T にほぼ比例する。図-6.3~6.5の実線は上述の関係が注入モルタルにも適用し得ることを示すものといえる。注入モルタルの膨張率が発泡剤率 Al/C にほぼ比例することはアルミニウム粉末の反応量が Al/C に比例することからいつて当然である。練りませ後24時間における膨張率と保存温度との関係は以上に述べた3時間における膨張率との関係ほど単純でない。図-6.3~6.5は保存温度が低温の場合には24時間後の膨張率は3時間後のそれに比較してかなり大きく、高温の場合にはこれとは逆に24時間後の膨張率は3時間後のそれよ

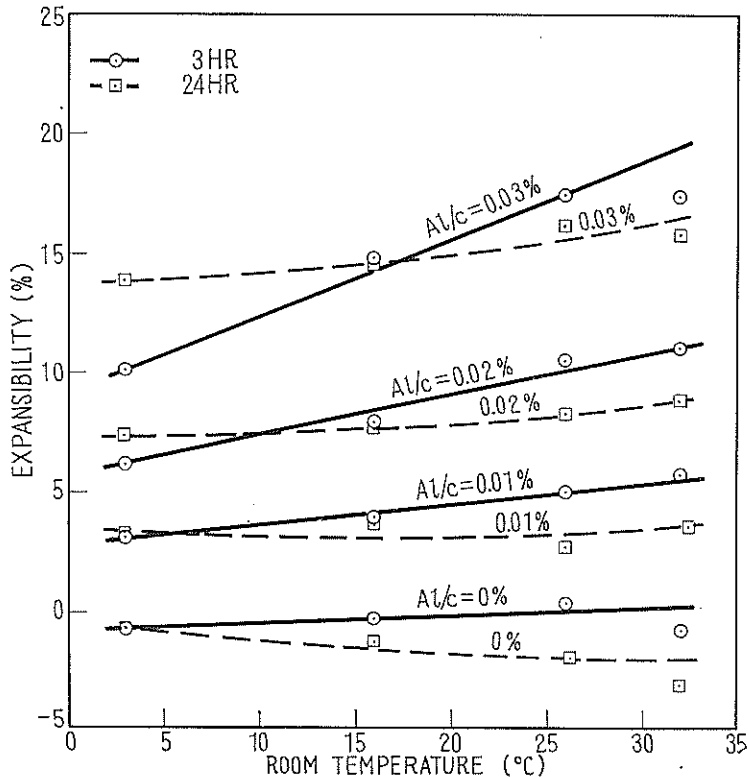


図-6.3 注入モルタルの保存温度と膨張率との関係 (練りませ温度18°C)
Effect of Room Temperature upon Expansibility of Intrusion Mortar (Mortar Temperature after Mixing=18°C)

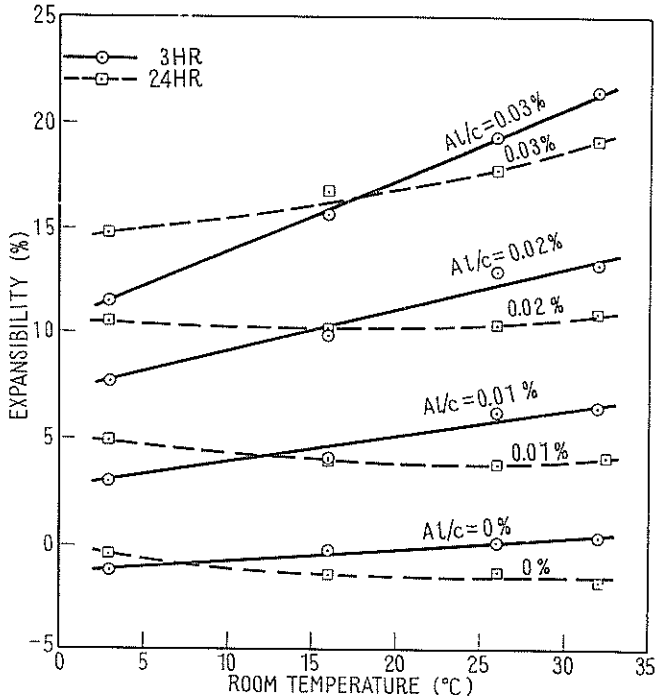


図-6.4 注入モルタルの保存温度と膨張率との関係 (練りませ温度22°C)
Effect of Room Temperature upon Expansibility of Intrusion Mortar (Mortar Temperature after Mixing=22°C)

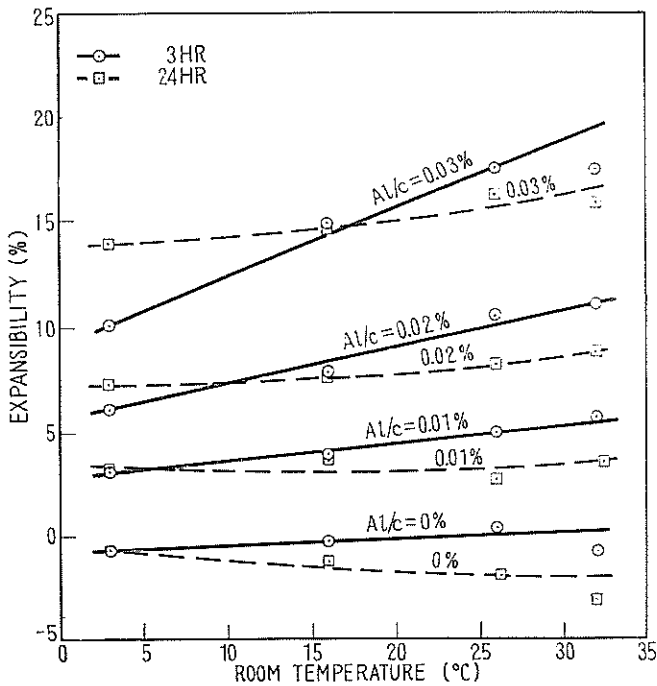


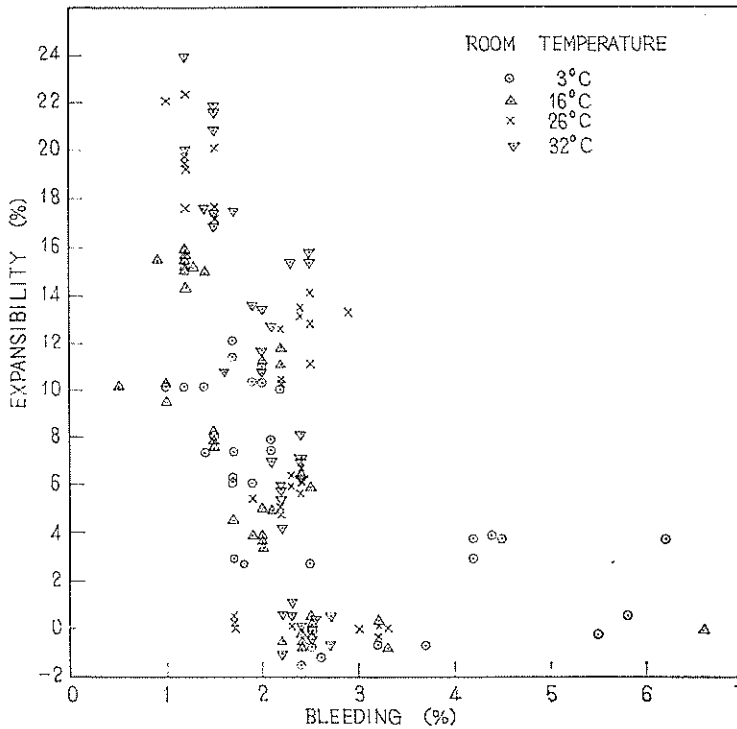
図-6.5 注入モルタルの保存温度と膨張率との関係 (練りませ温度26°C)
Effect of Room Temperature upon Expansibility of Intrusion Mortar (Mortar Temperature after Mixing=26°C)

りかなり小さいことを示している。これはアルミニウム粉末の反応速度、モルタルの凝結および沈下収縮を考慮することによつて説明される。アルミニウム粉末が反応してモルタルが膨張するのは、モルタルの凝結が十分に進行せずもしくは遅延して、モルタルがその容積変化に順応し得る時間内に限られる。同様に、沈下収縮もモルタルが凝結しない間は膨張の有無とは無関係に進行すると考えられる。保存温度が 3°C 程度の場合、アルミニウム粉末の反応速度が小さいことは既に明らかにされた所であり、またモルタルの凝結が非常に遅延していることは24時間後にも未だ硬化していないことから容易に観察される。このことはアルミニウム粉末の反応がかなりの長時間に亘つて行なわれ、かつ、これがモルタルの膨張となつて表われることを意味し、その結果として図—6.3~6.5に示したように24時間後における膨張率が3時間後におけるそれよりかなり大きくなつたものと思われる。これに対して、保存温度が比較的高温の場合には、アルミニウム粉末の反応はその速度が大きいためモルタルの凝結が完了する以前に終了し、このため膨張が最大となつた時とモルタルの硬化後ではモルタルの沈下収縮量に相当する膨張率の減少が認められる筈である。図—6.3~6.5において保存温度が高温の場合の3時間後と24時間後の膨張率の差がアルミニウム粉末を全く混和しない配合の容積変化（沈下収縮）にはほぼ相当することは以上の説明を裏付けるものである。図—6.3~6.5において、保存温度が低温の場合の沈下収縮が高温の場合に比較して小さいように認められるのは見掛け上の現象であつて、高温の場合にはブリージングした水の大部分が硬化したモルタルの組織内に再吸収されているのに対し、低温の場合には再吸収過程が十分に進行していないため、保存温度が高温な程沈下収縮量も大きいような現象を呈しているのである。

本実験で試験した練りませ温度の範囲は $18\sim 26^{\circ}\text{C}$ で保存温度の範囲 $3\sim 32^{\circ}\text{C}$ に比較してかなり狭いため、試験値の変化量も比較的小さいが、膨張率におよぼす影響は必ずしも小さくない。概して、練りませ温度が高い程膨張率が小さくなる傾向が認められ、特に3時間後の膨張率におよぼす影響が大きい。練りませ温度 1°C の上昇に対する3時間後の膨張率の減少は保存温度 $3, 16, 26, 32^{\circ}\text{C}$ のそれぞれに対して $0.1, 0.15, 0.2, 0.3\%/^{\circ}\text{C}$ 程度である。これに対して、練りませ後24時間における膨張率の減少は保存温度 $3, 16, 26, 32^{\circ}\text{C}$ のそれぞれに対して $0.15, 0.1, 0.05, 0.02\%/^{\circ}\text{C}$ 程度で影響の仕方が3時間の場合と逆転して居り、影響の程度もかなり小さい。これは練りませ後数時間以内は練りませ温度が余熱として残り、アルミニウム粉末の反応に影響するためと思われる。図—6.3~6.5に示した保存温度~膨張率（3時間後）の関係で膨張率の増加率が最大となるのは $Al/C=0.03\%$ （練り上り温度 18°C ）の場合であるが、その増加率は $0.42\%/^{\circ}\text{C}$ である。逆に最小となるのは $Al/C=0\%$ の例を除くと、 $Al/C=0.01\%$ （練り上り温度 26°C ）の場合であつて、その増加率は $0.12\%/^{\circ}\text{C}$ である。いい換えれば保存温度の上昇による膨張率の増加率は $0.1\sim 0.4\%/^{\circ}\text{C}$ 移度であつて、これと比較して練りませ温度の上昇による膨張率の減少率 $0.1\sim 0.3\%/^{\circ}\text{C}$ は小さいものではなく、練りませ温度が膨張率におよぼす影響はかなり大きいといわねばならない。

練りませ温度および保存温度が注入モルタルのブリージングにおよぼす影響は練りませ後の経過時間によつてかなり相違する。表—6.3から容易に観察されるように、練りませ後3時間におけるブリージング率は練りませ温度の上昇に伴つて減少する。一方保存温度の高低によるブリージング率の差は 3°C の場合に多少大きい値を示しているが、 $16\sim 32^{\circ}\text{C}$ の間では明瞭な相違は認められない。これは本実験における練りませ温度が $18\sim 26^{\circ}\text{C}$ と比較的高温で、これが練りませ後数時間は余熱として残ること、注入モルタルの凝結の程度が保存温度 3°C の場合を除いてはほぼ同じ水準にあり、従つてブリージング水の再吸収が同程度であることなどによるものと考えられる。これに対して練りませ後24時間のブリージング率は表—6.4に示したように、練りませ温度および保存温度の影響を受けることは極めて明瞭で、温度が高い程ブリージング率が少い。これは温度が高い程凝結が速やかに終了するためブリージングの継続時間も短く、またブリージング水の硬化せるモルタル組織内への再吸収の進行程度も大きいことによるものであろう。

表—6.3, 6.4より観察される現象の1つとして温度条件が全く同一であつても、膨張率の大小によつてブリージング率が変化する傾向が認められる。すなわち、膨張率が大なる程ブリージング率は小さいものようである。図—6.6は同一試料について求められたブリージング率と膨張率とを対比して図示したもので、上述の関係が一般的な傾向として成立つことを示している。しかし、これはブリージングによる水がモルタル表面に到達する以前に、アルミニウム粉末の反応によつて生じた気泡の中に吸収される結果によるものと考えられ、従つてモ



図—6.6 膨張率とブリージング率との関係（練りませ3時間後）
Relation between Bleeding and Expansibility of Intrusion Mortar (3 Hours after Mixing)

ルタルに加圧してその膨張を抑制する場合には上述の関係は必ずしも成立たぬものと思われる。

6.4 練りませ速度が注入モルタルの流動性におよぼす影響

図—6.7, 6.8はそれぞれ試験用注入モルタルミキサおよび高速偏心軸型モルタルミキサを用いてグラウトの練りませ試験を行なつた結果である。試験はミキサの練りませ速度(攪拌羽根の回転数)と練りませ時間が流動性におよぼす影響について調べると共に、これに伴うグラウトの温度変化を測定したものである。供試材料は0社普通セメントを用いたグラウトで、分散剤としてポゾリスNo. 8、発泡剤としてアルミニウム粉末を含み、水セメント比は35, 40, 45%の3種である。試験用注入モルタルミキサの場合には回転数を2,000, 3,000, 4,000*r.p.m.*の3段に変え、高速偏心軸型モルタルミキサの場合には1,130および645*r.p.m.*の2段とし、練りませ時間はいずれの場合にも3~60minの範囲で継続試験したものである。試験結果を要約すると以下の通りである。

(i) 試験用注入モルタルミキサの場合

図—6.7から容易に観察されるように、練りませ速度が12,000*r.p.m.*以下の場合には練りませに必要以上の長時間費やしても十分な練りませ効果を期待することは困難である。これは3,000*r.p.m.*および4,000*r.p.m.*の場合に同一配合のグラウトについてより大きな流動性が得られていることから明らかであろう。他方、4,000*r.p.m.*

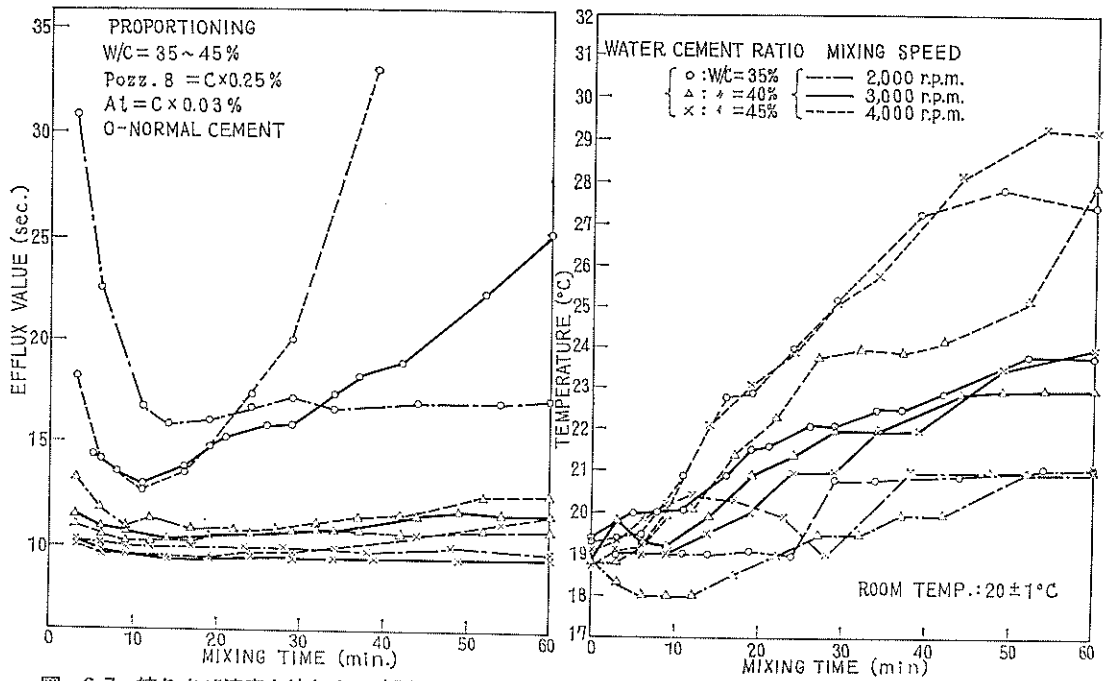


図-6.7 練りませ速度と練りませ時間がグラウトの流動性ならびに温度におよぼす影響、試験用注入モルタルミキサ使用（練りませ量約3ℓ）
Effects of Mixing Time and Speed upon Temperature and Consistency of Cement Grout
Mixing Condition: Intrusion Mortar Mixer for Laboratory Test (Fig.-3.1)
Volume of a Batch: 3 Liters

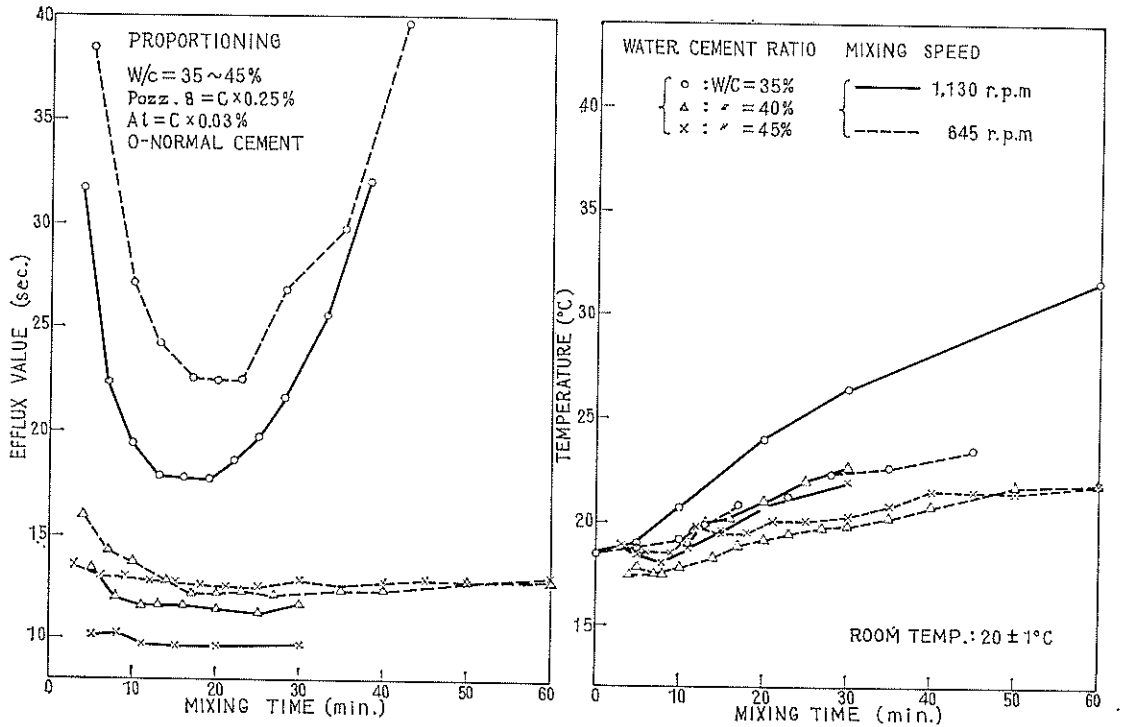


図-6.8 練りませ速度と練りませ時間がグラウトの流動性ならびに温度におよぼす影響、高速偏心軸型モルタルミキサ使用（練りませ量約20ℓ）
Effects of Mixing Time and Speed upon Temperature and Consistency of Cement Grout
Mixing Condition: High Speed Mortar Mixer (Fig.-6.1)
Volume of a Batch: 20 Liters

表一6.5 練りませ速度と練りませ時間が注入モルタルの流動性ならびに温度におよぼす影響※

練りませ時間 (min)	314 (r. p. m.)		339 (r. p. m.)		453 (r. p. m.)		640 (r. p. m.)		810 (r. p. m.)	
	流出時間 (sec)	モルタル温度(°C)	流出時間 (sec)	モルタル温度(°C)	流出時間 (sec)	モルタル温度(°C)	流出時間 (sec)	モルタル温度(°C)	流出時間 (sec)	モルタル温度(°C)
10	14.5	25.0	15.9	24.0	15.6	25.5	15.6	24.2	18.3	25.4
15	16.1	25.3	16.8	24.8	16.5	26.1	16.0	24.5	21.8	25.8
20	16.7	26.5	17.5	25.3	17.1	26.8	16.6	25.0	24.9	26.3
25	17.5	26.2	18.0	25.3	18.1	26.8	17.1	24.8	27.5	26.5
30	17.3	26.2	18.7	25.0	17.9	27.5	16.8	25.1	32.5	26.5
35	17.4	26.0	19.2	24.9	18.5	28.3	16.8	25.0	32.6	26.8
40	17.5	26.0	19.2	25.0	19.4	28.1	16.9	24.9	37.5	26.8

※ 高速偏心軸型モルタルミキサを使用，練りませ量20ℓ，最初の10分間はいずれの場合にも，1,130r.p.m.で練りませた後，練りませ速度を変えた。

注入モルタルの配合	$F/(C+F) = 20.0\%$	〇社普通セメント
	$S/(C+F) = 1.00$	N社フライアッシュ
	$W/(C+F) = 45.5\%$	鶴沼海岸砂
	$Poz. 8/(C+F) = 0.25\%$	ポゾリス No. 8
	$Al/(C+F) = 0.01\%$	F 金属社 A A 12

の場合には練りませ時間10~12minにおいて最大の流動性が得られるが，練りませを更に継続した場合にはグラウト温度が急速に上昇し，流出時間もこれに伴って増大する。3,000r.p.m.と4,000r.p.m.の場合に流動性が最大となつた時の流出時間の差は1/2sec程度であり。これとグラウトの温度上昇の好ましくない影響を考慮すると4,000r.p.m.以上の練りませ速度は過大であることが分る。この試験では2,000~3,000r.p.m.の中間の練りませ速度については検討しなかつたが，供試ミキサには3,000r.p.m.程度の回転数が適当であり，これ以下では十分な練りませ効果を期待し難く，また以上では温度の上昇がコンシステンシーに悪影響をおよぼすことが予想される。

(ii) 高速偏心軸型モルタルミキサの場合

高速偏心軸型モルタルミキサの場合には，(i)の場合と多少異なり，たとえば $W/C=35\%$ で2,000r.p.m.に相当する流出時間~練りませ時間曲線は得られていないが，ほぼ同様の傾向を示している。すなわち，試験した練りませ速度の範囲内では，練りませ速度の大なるものほど流動性が大となり，また最大の流動性が得られる所要練りませ時間もかなり短縮されることが分る。たとえば， $W/C=35\%$ の1,130r.p.m.と645r.p.m.とを比較すると，最小流出時間とその所要練りませ時間の差はそれぞれ5secと5minであり，いずれもかなり大きな差とい得る。

以上に述べた試験結果はいずれも施工用モルタルミキサに較べてかなり小型でかつ特殊なミキサを使用した場合ではあるが，練りませ速度に関して，これが過大でなければ，速度が大なる程注入モルタルの流動性も大きく，かつ練りませ所要時間も短縮されるということが出来る。この点について，岩崎氏は比較的低速(280r.p.m.以下)のミキサを用いて試験を行ない，ほぼ同様の結論を得て居り¹⁶⁾，上述の結論は一般的に成立つものと思われる。実際問題として施工用のミキサに数千回転以上の高速練りませを要求することはミキサの構造ならびに材質上困難である場合が多く，原動機の回転数以下の速度が適当であると考えられる。従つて，この範囲では練りませ速度が過大となる例はほとんどないといつてよい。

練りませ速度の上昇に伴う流動性の増加はセメント等の微粒子の機械的な分散に基くものと考えられる。§4および§5で論じたように注入モルタルの水セメント比を適当な流動性が得られる範囲内でできるだけ小さくすることは非常に大切である。セメント分散剤の使用はモルタルの流動性を改善して所要の水セメント比ないし単位水量を減少することを主たる目的とするものであるが，分散剤の使用によつてセメントの分散が完全に行なわ

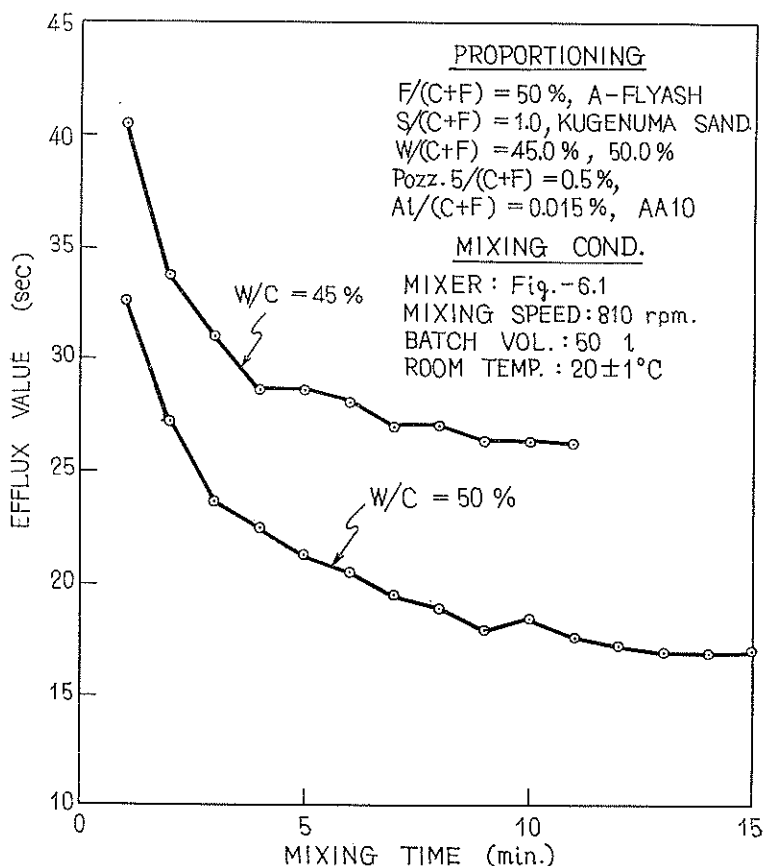
れるとは限らない。従来よりセメント分散剤を使用する代りに高速練りませによつてセメント等の粒子の分散を行なう特殊工法たとえば（コリクリート）工法の存在することや上述の試験結果の示すように、高速練りませによる機械的分散がモルタルの流動性におよぼす影響はかなり大きい。従つて、高速練りませをセメント分散剤の使用と併用することは注入モルタルの水セメント比ないし単位水量の減少に対してかなり効果的であり、実際の施工にも推奨さるべきことのように思われる。

6.5 練りませ時間が注入モルタルの諸性質におよぼす影響

図—6.7および6.8に示した試験結果について流出時間と練りませ時間との関係を観察すると、いずれの場合にも、グラウトの流出時間は練りませ時間の延長と共にある値まで減少するが、練りませを更に継続すると流出時間は増加するかもしれない。ほぼ同一の水準に保持されることが分る。グラウトの流動性が最大となる練りませ時間はその配合や練りませ速度およびミキサの種類によつて相違する。試験結果の範囲では、上述の所要練りませ時間は練りませ速度の大なる程、水セメント比の小なる程短いものである。

長時間に亘る高速練りませが有害なことは図—6.7、6.8に示したグラウト温度と練りませ時間との関係からも明らかで、グラウト温度は練りませ時間の増大と共に上昇し、上昇の割合は練りませ速度が大なる程、水セメント比が小なる程大きく、温度の上昇はグラウトの流動性の減少を伴なつている。

以上はグラウトに関する試験結果であるが、注入モルタルの場合にもほぼ同様の結果が得られる。図—6.9は注入モルタルについて流動性と練りませ時間との関係を試験した一例である。これらの結果は施工のための注入



図—6.9 練りませ時間が注入モルタルの流動性におよぼす影響
Effect of Mixing Time upon Consistency of Intrusion Mortar

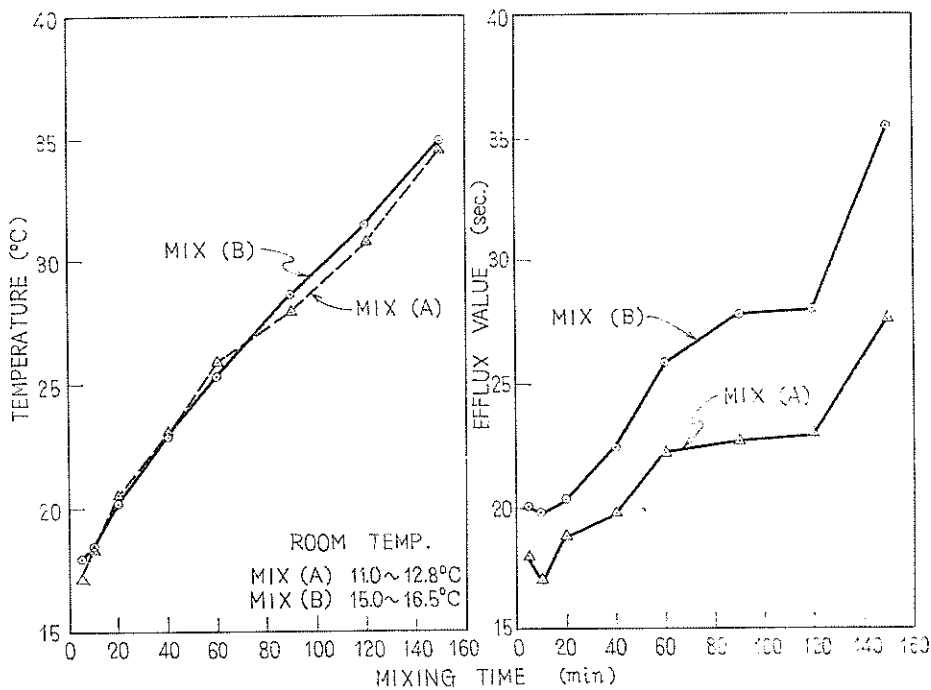
モルタルの練りまぜを高速で行なうことが有利であることを示すと共に、一度練りまぜを終了したモルタルの攪拌を高速で継続することが有害であることをも示して居る。従つて、注入作業が長時間に亘る場合には、施工用のモルタルミキサに適した時間だけ練りまぜた注入モルタルは、これを低速のアジテータに移してゆるやかな攪拌を続ける等の処置をとることが大切と思われる。

図—6. 10~6. 13は高速偏心軸型モルタルミキサを用いて比較的低速で練りまぜた場合の練りまぜ時間が注入モ

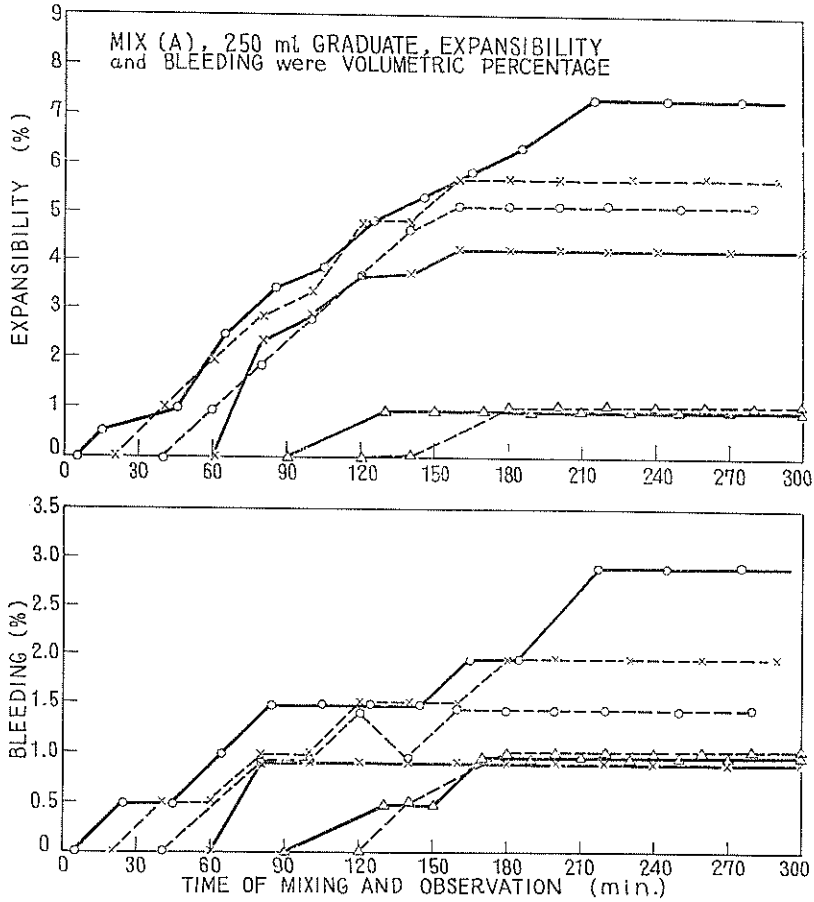
表—6. 6 注入モルタルに関する試験の諸条件

(A) 注入モルタルの配合			
	配 合(A)	配 合(B)	備 考
F/ (C+F) (%)	30.0	30.0	N社普通セメント
S/ (C+F)	1.00	1.00	U社フライアッシュ
W/ (C+F) (%)	47.0	47.0	豊浦標準砂
Poz. 5/ (C+F) (%)	0.5	—	ポゾリスNo. 5
Al/ (C+F) (%)	0.01	0.01	F金属社AA10Al粉末

(B) 練りまぜおよび試験条件	
モルタルミキサ	高速偏心軸型
1バッチ練りまぜ量	約 50 ℓ
練りまぜ速度	276 r. p. m.
練りまぜ時気温	11.0 ~ 16.5 °C
膨張率 フリーズング率) 試験室温	19 ~ 21 °C



図—6. 10 練りまぜ時間が注入モルタルの流動性および温度におよぼす影響
Effects of Mixing Time upon Consistency and Temperature of Intrusion Mortar



図一.11 練りませ時間が注入モルタルのブリージング率および膨張率におよぼす影響
Effects of Mixing Time upon Bleeding and Expansibility of Intrusion Mortar

ルタルの温度、流動性、膨張率、ブリージング率および4週圧縮強度におよぼす影響について試験した結果である。試験の条件および圧縮強度試験結果は表一.6.7および表一.6.8に示した。図一.6.10の練りませ時間と温度ならびに流動性との関係は図一.6.7, 6.8に示したグラウトのそれと本質的に変る所は無く、この関係が練りませ時の気温やグラウトと注入モルタルの差異にほとんど関係なく成立することを示している。配合(A)と(B)の相違はセメント分散剤の有無の相違のみであるが、分散剤が流動性の変化の抑制にかなり有効なことが分る。図一.6.11, 6.12は練りませを長時間に亘つて行ない、一定の練りませ時間ごとに試料を採取してその膨張率ならびにブリージング率を試験したもので、図一.6.11は配合(A), 図一.6.12は配合(B)についての結果である。両図より明らかなように、膨張率およびブリージング率のいずれも練りませ時間の増加に応じて減少する傾向があり、特に膨張率は90 min以上練りませた場合には減少の程度が著しい。膨張率の急激な減少は明らかにアルミニウム粉末の反応が練りませ時間の増大に伴う温度上昇によつて促進され、反応が過早に終了する結果と考えられる。このことは配合(A), (B)を比較すると、アルミニウム粉末の反応を抑制すると考えられるポゾリス¹⁶⁾を含まない配合(B)の場合に60min以上の練りませ時間に対する膨張率が0%に近いことから諒解できる。ブリージングの進行が見掛け上終了してブリージング率が最大値に達するまでの所要時間が練りませ時間の増加に応じて短縮し、配合(A)の場合練りませ開始後180min前後、配合(B)の場合150min前後いずれもほぼ同時にブリージングが終了していることはモルタルの凝結がこの付近で始まることを意味するものであろう。表一.6.7 および図一.6.13に示したように注入

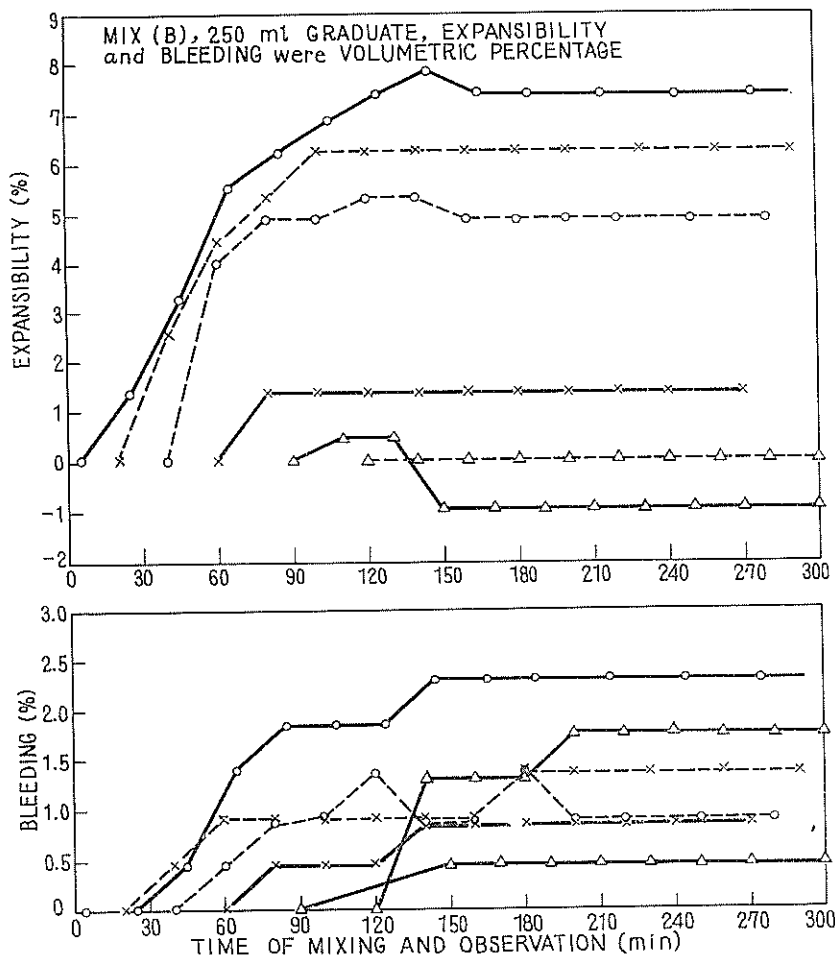


図-6.12 練りませ時間が注入モルタルのブリージング率および膨張率におよぼす影響
Effects of Mixing Time upon Bleeding and Expansibility of Intrusion Mortar

モルタルの圧縮強度は練りませ時間の増加に応じて増加するものようである。

以上に述べたように、練りませ速度が比較的低速の場合には長時間に亘る練りませは注入モルタルのすべての性質に有害であるとは限らず、たとえばブリージング率の減少や圧縮強度の増加というような、むしろ有利な点がない訳ではない。しかし、これは流動性や膨張率の減少を伴ない、いずれもプレバツクド・コンクリートの施工上致命的な影響を与えるものであり、更に長時間練りませによるブリージング率の減少ないし圧縮強度の増加は比較的少く経済的とはいえない。従つて、練りませ速度が比較的低速の場合にもミキサで長時間練りませることは避け、アジテータを用いて材料の分離が生じない程度でゆるやかに攪拌を続けるのが適当と思われる。

表-6.7 圧縮強度試験結果※(材令4週)

練りませ時間 (min)	圧 縮 強 度 試 験 結 果					
	配 合 (A)		配 合 (B)			
	圧 縮 強 度 (kg/cm ²)		変 動 係 数 (%)			
5	285	306	7.3	308	317	3.9
	311			315		
	323			329		
20	299	308	4.4	306	309	1.5
	304			308		
	322			314		
40	312	342	9.2	262	274	4.5
	348			278		
	365			283		
60	348	354	1.7	289	314	8.3
	358			309		
	357			343		
90	343	367	8.7	318	322	3.3
	360			321		
	397			336		
120	431	437	10.8	311	333	9.6
	442			324		
	515			365		
150	408	426	5.3	348	351	0.7
	423			351		
	446			353		

※ φ5×10cm 供試体 20±1°C 水中養生

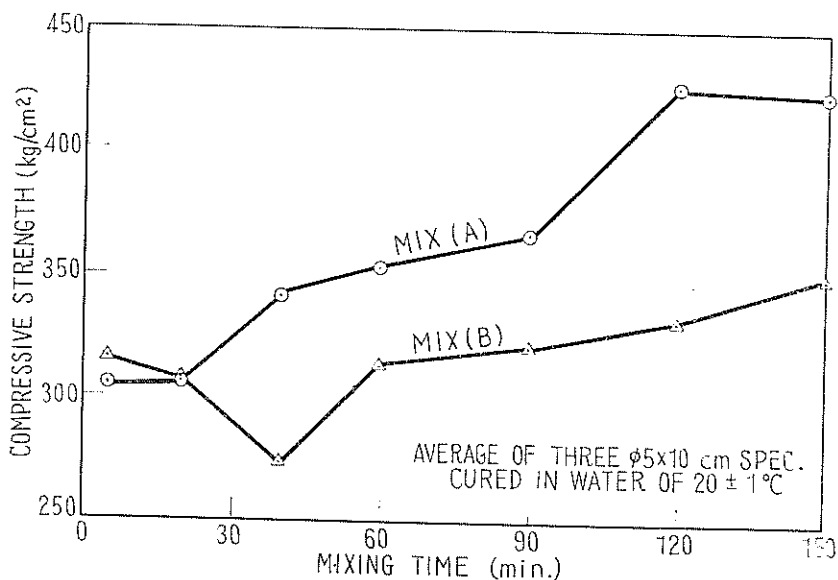


図-6.13 練りませ時間が注入モルタルの4週圧縮強度におよぼす影響
Effect of Mixing Time upon Compressive Strength of
Intrusion Mortar (Age: 4 Weeks)

§7 注入モルタルの配合ならびに諸性質がプレパックド・コンクリートの 諸性質におよぼす影響

7.1 概 要

§4～§6において、注入モルタルの配合、使用材料および練りませ方法等の要因の変化が注入モルタルの諸性質におよぼす影響について論じ、注入モルタルの諸性質とこれらの要因との間に密接な相関関係の存在することを明らかにした。この結果はある特定の要因、たとえば練りませ方法の変化に基づく注入モルタルの諸性質の変化に相当する変化を、これとは全く異質の要因、たとえば配合比、によつて再現し得ることを示している。このことは極めて重要な意味を有すると考えられる、実際の注入工事においては、使用材料や施工設備ないし気象条件等の変化は容易に予測される所であるが、これらの要因と注入モルタルの諸性質との関係の熟知を前提とするが、これらの要因の変化に基づく注入モルタルの諸性質の変化を他の要因の人為的な変化によつて補正し、品質の均一な注入モルタルを得ることができるからである。

しかし、以上に述べたことは諸要因と注入モルタルの諸性質との関係であつて、注入モルタルの諸性質とプレパックド・コンクリートの諸性質との関係は必ずしも明らかにされていないものようである。

プレパックド・コンクリートの諸性質に影響をおよぼす要因は施工が入念に行なわれることを前提とすると、次の三要因、すなわち

- (i) 粗骨材の物理的性質とその填充方法
- (ii) 注入モルタルの諸性質
- (iii) 養生条件

に限定することができる。緒論でも述べたように既往の施工例に関する調査結果(3.4.5)は、ある特定の施工条件の下では要因(i)はほぼ一定となる事を示して居り、また要因(iii)は多くの場合気象および海象の諸条件によつて支配され、人為的にこれを調節することは経済的でないのが普通である。従つてプレパックド・コンクリートの諸性質と最も密接な関係を有する要因は注入モルタルの諸性質であるとして差支えない。先にも述べたように、注入モルタルの諸性質は多くの要因によつて影響され、このようなモルタルを注入するプレパックド・コンクリートは当然これらの諸要因によつて間接的な影響を受ける。換言すれば、注入モルタルの諸性質とプレパックド・コンクリートの諸性質の相関性を明らかにすることは、上述の諸要因とプレパックド・コンクリートの諸性質との相関性を解明することに他ならず、多くの場合この相関性を把握することによつて所要の品質を備えたプレパックド・コンクリートを期待することが可能となる。

本章では、注入モルタルとプレパックド・コンクリートのそれぞれの諸性質の間の相関性を明らかにする一方方法として注入モルタルの配合とプレパックド・コンクリートの圧縮強度および動弾性係数との関係についての調査結果を述べ、その影響について論じた。注入モルタルの配合はその諸性質を支配する最も重要な要因であり、配合の変化に基づく諸性質の変化は他の要因の変化に基づく変化にも相当し、他方プレパックド・コンクリートの圧縮強度および動弾性係数はそれぞれプレパックド・コンクリートの他の静的および動的な物理的諸性質を表示する代表的な指標と考えられるからである。

7.2 注入モルタルの配合、練りませ方法および強度試験供試体の製作方法

使用した材料はO社普通セメント、N社フライアッシュ、鶴沼海岸砂、ボゾリスNo. 8、F金属社アルミニウム粉末A A12、等でそれぞれの性質は表—2.1～2.5に示した通りである。

注入モルタルの配合は、主として水セメント比、フライアッシュ混和率、砂セメント比、分散剤率および発泡剤率のそれぞれの影響を調べる5種のシリーズに分けられ、表—7.1に示した通りである。

注入モルタルの練りませには高速偏心軸型のモルタルミキサーを用い、計量した水にボゾリスNo. 8およびアルミニウム粉末を溶解した後フライアッシュおよびセメントを加えて640rpmで2分間、次いで砂を加えて810rpmで3分間攪拌した後、1,130rpmで更に5分間攪拌して、合計10分間で練りませを終了した。1バッチの練りませ量は33ℓとし、練りませ等の作業は一切20±1°Cの恒温室で行なつた。

注入モルタルの強度試験供試体には4×4×16cmの型枠を用い、3.3(g)に述べた方法に従つて製作した。

7.3 粗骨材の物理的性質ならびにプレバクド・コンクリート供試体の製作方法およびその試験方法

プレバクド・コンクリートの製作に使用した粗骨材は神奈川県酒匂川産のもので、完全にふるい分けした後、各寸法別に20±1°Cの水槽内に浸漬して貯蔵し、使用直前に表面乾燥飽水状態とし表-7.2に示した粒度に調整して型枠に填充した。その物理的性質は表-7.2に示した通りである。

粗骨材の填充ならびにモルタルの注入は次の要領で行なつた。すなわち、最初に粗骨材をφ15×30cmの普通コン

表-7.1 注入モルタルおよびプレバクド・コンクリートの試験に用いた配合※

配合番号	$F/(C+F)$ (%)	$S/(C+F)$	$\frac{P_{oz.8}}{(C+F)}$ (%)	$Al/(C+F)$ (%)	$W/(C+F)$ (%)	目標とした 流出時間 (秒)	備 考
W-1	20	1.0	0.25	0.01	q_1+6	—	主として 水セメント比の影響を 調べるシリーズ
W-2	20	1.0	0.25	0.01	q_1+4	—	
W-3	20	1.0	0.25	0.01	q_1+2	—	
W-4	20	1.0	0.25	0.01	q_1	16±1.0	
W-5	20	1.0	0.25	0.01	q_1-2	—	
W-6	20	1.0	0.25	0.01	q_1-4	—	
F-1	0	1.0	0.25	0.01	q_2	16±1.0	主として フライアッシュ混和率 の影響を調べるシリー ズ
F-2	20	1.0	0.25	0.01	q_2	—	
F-3	40	1.0	0.25	0.01	q_3	—	
F-4	20	1.0	0.25	0.01	q_3	16±1.0	
F-5	40	1.0	0.25	0.01	q_4	16±1.0	
S-1	20	0.5	0.25	0.01	q_5	16±1.0	主として 砂セメント比の影響を 調べるシリーズ
S-2	20	1.0	0.25	0.01	q_6	16±1.0	
S-3	20	1.5	0.25	0.01	q_7	16±1.0	
S-4	20	2.0	0.25	0.01	q_8	16±1.0	
DA-1	20	1.0	0	0.01	q_9	16±1.0	主として 分散剤率の影響を調べ るシリーズ
DA-2	20	1.0	0.125	0.01	q_{10}	16±1.0	
DA-3	20	1.0	0.25	0.01	q_{11}	16±1.0	
DA-4	20	1.0	0.375	0.01	q_{12}	16±1.0	
DA-5	20	2.0	0	0.01	q_{13}	16±1.0	
DA-6	20	2.0	0.125	0.01	q_{14}	16±1.0	
DA-7	20	2.0	0.25	0.01	q_{15}	16±1.0	
DA-8	20	2.0	0.375	0.01	q_{16}	16±1.0	
Al-1	20	1.0	0.25	0	q_{17}	16±1.0	主として 発泡剤率の影響を調べ るシリーズ
Al-2	20	1.0	0.25	0.01	q_{17}	16±1.0	
Al-3	20	1.0	0.25	0.02	q_{17}	16±1.0	

※ W, F, S, DA, Al のそれぞれのシリーズには標準配合として同一の配合が重複して計画された。 $q_1 \sim q_{17}$ は流出時間が16±0.5秒となるように定める。

C=O社普通セメント, F=M社フライアッシュ, S=鶴沼海岸砂, $P_{oz.8}$ =ボゾリスNo.8,

Al=F金属社アルミニウム粉末AA12

クリート用の鋼製型枠の高さの1/6程度詰め、これを突き棒で25回突き固める。次いでこれに注入モルタルを上方より粗骨材が漸く隠れる程度まで注ぎ、型枠の側面を木槌で20回叩打してモルタルの行き回りを完全にす。以上の過程を3回繰り返して粗骨材の填充およびモルタルの注入を終える。最後に型枠上面より突出した粗骨材を取り除き、その表面を均して型枠上面と一致させた後キャッピング用の押板で覆い、その上に12kg程度の重錘を載せる。型枠の取外しは24時間後に行ない、直ちに水中に浸漬して所定の材令まで養生し、試験に先立つて硫黄キャッピングを施した後試験に供した。以上の供試体製作ならびに養生作業はすべて $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の恒温室で行なつた。

表一7.2 粗骨材の物理的性質

産 地	比 重	吸 水 量 (%)	単位容積量 (kg/m ³)	空 隙 率 (%)	粒 度 分 布 (%)				粗 粒 率
					40~ 30mm	30~ 25mm	25~ 20mm	20~ 15mm	
酒 匂 川	2.78	1.22	1722	37.4	33.3	16.7	16.7	33.3	7.67

上述のプレバッキング・コンクリート供試体の製作方法は、各種の供試体製作方法について比較試験を行ない、製作方法がプレバッキング・コンクリートの強度におよぼす影響を検討した結果に基いたもので、従来よりプレバッキング・コンクリートの供試体製作方法として行なわれている水中に浸漬した粗骨材の間にモルタルをポンプで圧力注入する方法とほぼ同等の結果を与えることが確かめられている³⁰⁾。

プレバッキング・コンクリートの圧縮強度ならびに動弾性係数は材令1, 4, 13および26週にそれぞれ J I S A 1108—1950 (コンクリートの圧縮強度試験方法) および J I S A 1127—1958 (共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数・動せん断係数および動ポアソン比試験方法) に準じて行なつた。動弾性係数試験は圧縮強度試験方法に先立つて縦振動の場合のみについて行なつた。

7.4 試験結果

表一7.1 に示した各種の注入モルタルを用いて、その曲げおよび圧縮強度ならびにこれを注入したプレバッキング・コンクリートの圧縮強度および動弾性係数を試験した結果を表一7.3~7.7に示す。これらの表はそれぞれ主とし水セメント比、フライアッシュ混和率、砂セメント比、分散剤率および発泡剤率の影響を調べるために行なつたものである。

表一7.3 注入モルタルの配合がプレバッド・コンクリートの圧縮強度および
動弾性係数におよぼす影響（水セメント比の影響）

注入モルタル ※			材令 (週)	注入モルタル (4×4×16cm)								プレバッド・コンクリート (φ15×30cm)										
配合番号	$\frac{W}{(C+F)}$ (%) $\left\{\frac{(C+F)}{W}\right\}$	流出時間 (sec)		曲げ強度 (kg/cm ²)				圧縮強度 (kg/cm ²)				圧縮強度 (kg/cm ²)				動弾性係数 (×10 ³ kg/cm ²)						
				1	2	3	平均	1	3	5	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均			
W-1	49.5 (2.020)	11.0	1									139	150	138	142	2.91	3.36	3.19	3.15			
			4	82.6	76.8	73.7	77.7	363	282	354	290	235	225	230	230	3.37	3.25	3.07	3.23			
			13	76.8	92.4	85.4	84.9	476	506	500	507	489	331	328	314	3.24	3.19	3.34	3.23			
			26	63.2	79.6	79.6	74.1	514	524	548	560	558	475	530	338	331	352	340	3.79	3.84	3.83	3.82
W-2	47.5 (2.106)	11.7	1									129	136	141	135	3.44	3.36	3.23	3.34			
			4	88.9	72.5	74.9	78.8	368	358	393	400	351	384	376	211	228	221	220	3.77	3.76	3.72	3.75
			13	90.3	79.8	73.4	81.3	561	560	551	514	530	548	544	277	252	260	363	4.11	4.27	4.16	4.18
			26	(21.1)	88.7	65.3	77.0	556	640	542	576	580	552	574	308	312	296	305	3.83	4.96	5.14	4.64
W-3	45.5 (2.198)	14.2	1									133	139	167	146	3.12	3.27	3.35	3.25			
			4	65.8	—	74.6	70.2	378	385	378	399	370	384	382	220	207	236	221	3.77	3.78	3.85	3.80
			13	67.9	73.2	79.1	73.4	456	468	502	536	485	510	493	286	258	270	271	4.01	4.08	3.96	4.02
			26	88.9	91.3	84.2	88.1	569	520	571	594	584	500	556	275	320	301	299	4.35	4.38	4.45	4.39
W-4	43.5 (2.300)	16.2	1									161	173	162	165	3.49	3.29	3.40	3.39			
			4	63.2	69.3	75.3	69.3	410	425	394	355	372	419	396	236	255	273	255	3.70	3.74	3.83	3.76
			13	77.0	93.1	84.5	84.9	593	581	585	544	514	545	560	326	331	332	330	4.13	4.20	4.25	4.19
			26	88.5	84.2	92.4	88.4	595	574	605	589	578	619	593	313	359	333	335	4.32	4.66	4.28	4.42
W-5	41.5 (2.410)	20.9	1									139	138	136	138	3.44	3.37	3.46	3.42			
			4	67.9	70.0	77.2	71.7	412	370	435	408	414	420	410	235	208	223	222	3.89	3.91	3.80	3.87
			13	65.8	85.6	91.0	80.8	571	561	558	571	580	592	573	224	312	252	263	4.23	4.13	4.00	4.12
			26	96.2	80.7	97.3	91.4	594	—	547	575	684	684	617	306	329	323	319	4.48	4.31	4.34	4.38
W-6	39.5 (2.532)	22.5	1									140	164	151	152	3.51	3.57	3.58	3.55			
			4	80.3	81.2	85.4	82.3	469	470	414	412	493	447	451	264	238	265	256	4.13	3.90	4.15	4.06
			13	91.3	91.3	95.9	92.8	602	613	595	625	623	625	614	388	306	339	344	4.38	4.40	3.97	4.25
			26	95.9	103.8	102.0	102.2	625	684	731	697	644	628	677	(295)	372	393	383	4.80	4.67	4.39	4.62

※ F/(C+F)=20.0%, S/(C+F)=1.00, P_{0.2} 8/(C+F)=0.25% AI/(C+F)=0.01%

表一7.4 注入モルタルの配合がプレバッド・コンクリートの圧縮強度および
動弾性係数におよぼす影響（フライアッシュ混和率の影響）

注入モルタル ※			材令 (週)	注入モルタル (4×4×16cm)								プレバッド・コンクリート (φ15×30cm)							
配合番号	$\frac{F}{(C+F)}$ (%) $\left\{\frac{(C+F)}{W}\right\}$	流出時間 (sec)		曲げ強度 (kg/cm ²)				圧縮強度 (kg/cm ²)				圧縮強度 (kg/cm ²)				動弾性係数 (×10 ⁶ kg/cm ²)			
				1	2	3	平均	1	3	5	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均
F-1	0 (2.272)	16.0	1									152	160	201	171	3.29	3.39	3.61	3.43
			4	88.0	88.9	82.6	86.5	478	481	508	497	198	214	241	218	3.91	3.70	3.57	3.73
			13	79.6	88.9	83.1	83.9	564	609	588	579	274	279	283	279	3.94	3.98	4.15	4.02
			26	74.6	77.9	78.4	77.1	(489) 562	609	588	557	298	279	278	285	3.95	3.97	4.03	3.98
F-2	20 (2.272)	15.9	1									200	190	177	189	3.41	3.54	3.38	3.44
			4	73.9	78.4	73.3	75.2	402	407	415	429	259	229	255	248	3.88	3.57	3.89	3.78
			13	72.5	80.7	71.6	74.9	535	534	586	554	263	355	—	309	4.02	4.08	—	4.05
			26	81.0	86.1	83.8	83.6	497	540	502	504	333	342	337	337	4.74	4.38	4.43	4.52
F-3	40 (2.272)	14.0	1									127	121	120	123	3.17	3.24	3.25	3.22
			4	56.2	60.4	60.6	59.1	325	343	208	344	209	214	187	203	3.80	3.56	3.55	3.64
			13	67.6	64.1	64.6	65.4	466	439	445	444	305	287	310	301	3.70	3.46	4.09	3.75
			26	67.9	69.0	62.0	66.3	504	500	523	503	291	306	332	310	4.26	4.27	4.20	4.24
F-4	20 (2.300)	16.3	1									160	174	174	169	3.52	3.44	3.53	3.50
			4	70.2	63.2	67.9	67.1	300	408	304	310	249	231	210	230	3.99	3.75	3.44	3.89
			13	67.4	81.7	79.0	79.7	469	553	481	515	248	251	239	246	3.51	3.56	3.85	3.64
			26	77.2	86.6	81.9	81.9	558	510	551	550	369	300	359	343	4.18	4.32	4.17	4.22
F-5	40 (2.354)	16.6	1									96	110	96	101	3.34	3.29	3.41	3.35
			4	67.4	67.4	57.3	64.0	400	386	361	350	215	176	171	187	3.72	3.78	3.80	3.77
			13	73.4	78.4	67.6	73.2	589	568	606	598	249	300	242	264	3.56	3.60	4.03	3.73
			26	71.8	79.1	78.2	76.4	510	531	538	542	304	315	302	307	4.39	4.45	4.38	4.41

※ $S/(C+F)=1.00$, $W/(C+F)=44.0, 44.0, 44.0, 43.5, 42.5$, $P_{0.8}/(C+F)=0.25\%$, $A1/(C+F)=0.01\%$

表-7.5 注入モルタルの配合がプレパックド・コンクリートの圧縮強度および
動弾性係数におよぼす影響（砂セメント比の影響）

注入モルタル ※		材令 (週)	注入モルタル (4×4×16cm)								プレパックド・コンクリート (kg/cm ²)											
配合番号	$\frac{S}{C+F}$ (%) $\left\{\frac{C+F}{W}\right\}$		流出 時間 (sec)	曲げ強度 (kg/cm ²)				圧縮強度 (kg/cm ²)				圧縮強度 (kg/cm ²)				動弾性係数 (×10 ⁵ kg/cm ²)						
				1	2	3	平均	1	3	5	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均			
S-1	0.5 (2.612)	16.4	1									184	193	208	195	3.45	3.44	3.34	3.41			
			4	81.2	79.1	77.5	79.5	390	432	420	415	316	336	341	331	3.86	3.84	3.99	3.90			
			13	86.1	86.6	86.8	86.5	498	546	510	520	393	452	406	417	3.86	3.96	—	3.91			
			26	80.3	94.5	98.3	91.0	600	581	577	558	422	446	450	439	4.30	4.19	4.19	4.23			
S-2	1.0 (2.337)	16.4	1									162	158	148	156	3.33	3.50	3.28	3.37			
			4	79.1	92.2	77.2	82.8	230	243	214	244	241	226	233	324	284	304	304	3.81	3.79	3.68	3.76
			13	92.4	90.6	88.9	90.6	512	525	468	544	564	531	524	353	374	338	356	4.15	4.07	3.90	4.04
			26	93.1	93.8	91.3	92.7	611	624	593	521	612	617	596	409	393	428	410	4.33	4.09	4.34	4.25
S-3	1.5 (1.905)	16.0	1									109	112	111	111	3.27	3.26	3.19	3.24			
			4	60.4	66.9	62.0	63.1	299	342	355	310	361	381	341	193	187	192	191	3.77	3.77	3.46	3.67
			13	66.5	69.7	74.2	70.1	423	461	468	467	480	474	462	266	234	(165)	250	3.07	3.06	3.98	4.04
			26	85.2	83.5	94.5	87.7	510	485	540	524	499	538	516	287	278	293	286	4.13	4.12	4.10	4.12
S-4	2.0 (1.568)	16.4	1									63	59	65	62	3.21	3.13	3.04	3.13			
			4	54.3	52.7	59.0	55.3	440	398	415	425	400	435	419	110	119	125	118	3.36	3.39	3.44	3.40
			13	67.9	69.3	73.5	70.2	393	401	385	382	364	386	385	163	183	197	181	3.87	3.85	3.85	3.86
			26	—	76.1	66.7	71.4	399	435	402	421	422	420	417	209	190	188	196	4.07	3.77	3.95	3.93

※ $F/(C+F) = 20.0\%$, $W/(C+F) = 38.3, 42.8, 52.5, 63.8\%$, $P_{0.2} 8/(C+F) = 0.25\%$, $AI/(C+F) = 0.01\%$

表-7.6 注入モルタルの配合がプレバッド・コンクリートの圧縮強度および動弾性係数におよぼす影響 (分散剤率の影響)

注入モルタル ※		材令 (週)	注入モルタル (4×4×16cm)								プレバッド・コンクリート (φ15×30cm)												
配合番号	$\frac{P_{0.8}/(C+F)}{W}$ (%)		流出時間 (sec)	曲げ強度 (kg/cm ²)				圧縮強度 (kg/cm ²)				圧縮強度 (kg/cm ²)				動弾性係数 (×10 ⁵ kg/cm ²)							
				1	2	3	平均	1	3	5	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均				
DA-1	0 (2.062)	15.6	1					438	414	418		121	125	133	126	3.25	3.28	3.23	3.25				
			4	73.5	73.5	77.0	74.7	435	415	431	425	254	246	267	256	3.31	3.51	3.58	3.47				
			13	81.9	85.4	89.9	85.7	491	530	538		329	345	327	334	4.22	4.09	4.20	4.17				
			26	93.6	90.1	92.4	92.0	486 (403)	525	503	512	487	580			368	4.18	4.18	4.22	4.19			
DA-2	0.125 (2.198)	16.7	1					380	392	364		160	149	165	158	3.55	3.57	3.42	3.51				
			4	73.5	70.2	68.1	70.6	389	389	387	384	259	288	236	261	3.84	3.57	3.84	3.61				
			13	90.6	88.2	78.6	85.8	580	520	543		589	532	560	554	265	293	322	293	4.14	4.19	4.03	4.12
			26	100.9	97.3	81.9	93.4	466	556	329		543	610	594	550	408	372	373	384	4.17	4.17	4.17	4.17
DA-3	0.250 (2.300)	15.8	1					413	383	407		155	178	172	168	3.46	3.47	3.46	3.46				
			4	72.8	73.9	70.2	72.3	410	419	445	413	259	263	211	244	3.98	4.03	4.05	4.02				
			13	88.9	84.9	87.5	87.0	500	600	577		515	403	556	525	380	374	399	384	4.43	4.06	4.26	4.25
			26	73.2	80.5	74.9	76.2	495	463	601		462	543	518	514	363	381	375	373	4.35	4.25	4.43	4.34
DA-4	0.375 (2.381)	16.5	1					433	433	431		145	183	181	170	3.43	3.46	3.47	3.45				
			4	76.1	76.1	76.8	76.3	453	438	413	434	235	240	290	255	4.03	4.03	3.93	4.00				
			13	67.4	67.4	73.2	69.3	541	477	568		475	505	545	519	315	360	310	328	4.27	4.07	4.37	4.24
			26	84.9	87.0	81.9	84.6	565	530	563		575	537	570	557	394	412	387	398	4.32	4.20	4.18	4.23
DA-5	0 (1.539)	16.4	1					254	258	236		59	60	64	61	3.30	2.99	3.03	3.11				
			4	57.8	57.3	59.2	58.1	221	258	253	247	114	104	99	106	3.09	3.09	3.20	3.13				
			13	62.0	62.2	61.1	61.8	344	372	353		345	370	348	357	141	164	148	151	4.00	4.03	4.47	4.17
			26	68.8	64.8	68.6	67.4	405	404	380		388	400	394	395	206	201	204	204	4.05	4.12	4.05	4.07
DA-6	0.125 (1.576)	16.6	1					282	275	302		55	65	—	60	3.17	3.17	3.25	3.20				
			4	59.4	65.3	69.5	64.7	267	266	306	283	105	95	107	102	3.48	3.43	3.36	3.42				
			13	81.9	73.7	77.7	77.6	288	322	237		294	268	350	293	178	172	168	173	3.67	3.64	3.65	3.65
			26	88.2	83.3	84.2	85.2	437	475	417		446	455	430	443	192	187	195	191	4.01	4.03	4.09	4.04
DA-7	0.250 (1.627)	16.6	1					371	358	366		75	81	80	79	3.01	3.09	3.08	3.06				
			4	76.1	78.6	81.9	78.9	343	324	371	356	133	128	134	132	3.36	3.39	3.44	3.40				
			13	70.2	72.1	73.7	72.0	394	411	452		409	425	433	421	196	213	193	201	3.68	4.09	3.99	3.92
			26	82.4	80.7	79.0	84.6	531	519	500		522	509	549	522	208	239	224	224	4.06	4.13	4.13	4.11
DA-8	0.375 (1.627)	15.6	1					303	283	295		93	83	83	86	2.94	3.19	3.19	3.11				
			4	66.2	65.5	64.6	65.4	307	295	308	299	136	131	130	132	3.55	3.36	3.40	3.44				
			13	69.0	69.0	72.3	70.1	476	429	432		434	423	429	437	201	218	220	213	3.70	3.91	3.22	3.61
			26	83.4	77.7	74.9	78.8	468	465	487		423	444	451	456	232	224	224	227	4.04	4.05	4.04	4.04

※ S/(C+F)=1.0; 2.0, F/(C+F)=20%, W/(C+F)=48.5, 45.5, 43.5, 42.0; 65.0, 63.5, 61.5, 61.5, A/(C+F)=0.01%

表-7.7 注入モルタルの配合がプレバクド・コンクリートの圧縮強度および
動弾性係数におよぼす影響（発泡剤率の影響）

注入モルタル ※			材令 (週)	注入モルタル (4×4×16cm)								プレバクド・コンクリート (φ15×30cm)							
配合番号	$\frac{A1/(C+F)}{\left\{\frac{C+F}{W}\right\}}$ (%)	流出 時間 (sec)		曲げ強度 (kg/cm ²)				圧縮強度 (kg/cm ²)				圧縮強度 (kg/cm ²)				動弾性係数 (×10 ⁵ kg/cm ²)			
				1	2	3	平均	1	3	5	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均
AI-1	0 (2.470)	16.5	1																
			4	95.9	98.0	84.9	92.9	550	551	570	573	126	131	148	135	3.62	3.44	3.60	3.55
			13	120.5	122.9	131.5	125.0	625	630	630	623	248	242	222	237	3.80	3.63	3.62	3.68
			26	116.0	105.7	93.1	104.9	620	630	600	623	321	284	288	298	3.91	3.89	3.80	3.87
AI-2	0.01 (2.470)	18.9	1																
			4	89.9	92.9	56.6	79.8	600	604	597	604	152	138	156	149	3.53	3.45	3.51	3.50
			13	115.4	118.6	114.2	116.1	645	632	640	637	240	263	245	249	3.70	3.56	3.90	3.72
			26	116.9	114.6	91.2	107.6	846	625	968	820	302	307	310	306	3.96	3.87	3.83	3.89
AI-3	0.02 (2.470)	17.8	1																
			4	62.2	64.4	59.0	61.9	318	296	319	309	143	144	137	141	3.80	3.44	3.68	3.64
			13	79.6	78.4	78.6	78.9	411	445	435	431	210	220	204	211	3.68	3.67	3.69	3.68
			26	83.1	80.7	73.7	79.2	413	442	440	431	288	274	282	281	3.89	3.88	3.94	3.90

※ $F/(C+F)=20\%$, $S/(C+F)=1.0$, $W/(C+F)=40.5\%$, $P_{oz. 8}/(C+F)=0.25\%$

7.5 注入モルタルの諸配合比が注入モルタルならびにプレバクド・コンクリートの諸強度におよぼす影響

a) セメント水比 $(C+F)/W$ の影響

表-7.3~7.7に示した試験結果よりフライアッシュ混和率が20%の場合を選び、注入モルタルのセメント水比 $(C+F)/W$ とその曲げおよび圧縮強度、また同比とプレバクド・コンクリートの圧縮強度および動弾性係数との関係を求めると図-7.1~7.7が得られる。図中の点はそれぞれ3個の平均値を表わしている。図-7.1~7.3はそれぞれ材令4, 13および26週におけるセメント水比と強度との関係を示すもので、既に§4で述べたように、注入モルタルの曲げおよび圧縮強度のいずれもセメント水比と一次的に比例することが明らかである。これらの試験結果を、たとえば図-4.10に示した試験結果と比較すると、試験値のばらつきが多少大きい。この理由の一つとして図-4.10の試験には標準砂を用いたのに対して本試験では鶴沼海岸砂を多少湿潤状態に保存し、その表面水を入念に補正して用いたものであるが、表面水の管理が必ずしも完全ではなかつたことが挙げられる。他の理由としてはアルミニウム粉末の膨張効果を型枠上の押板および重錘によつて拘束する場合の押板と型枠上面の間隙から漏出するブリージング水の量が必ずしも同一ではなく、これが強度に影響することが考えられる。以上とほぼ同様のことが図-7.4~7.7に示したプレバクド・コンクリートについての試験結果に関してもいえる。セメント水比と曲げ強度との相関係数は同比と圧縮強度とのそれより多少小さいが、これは曲げ強度の試験方法

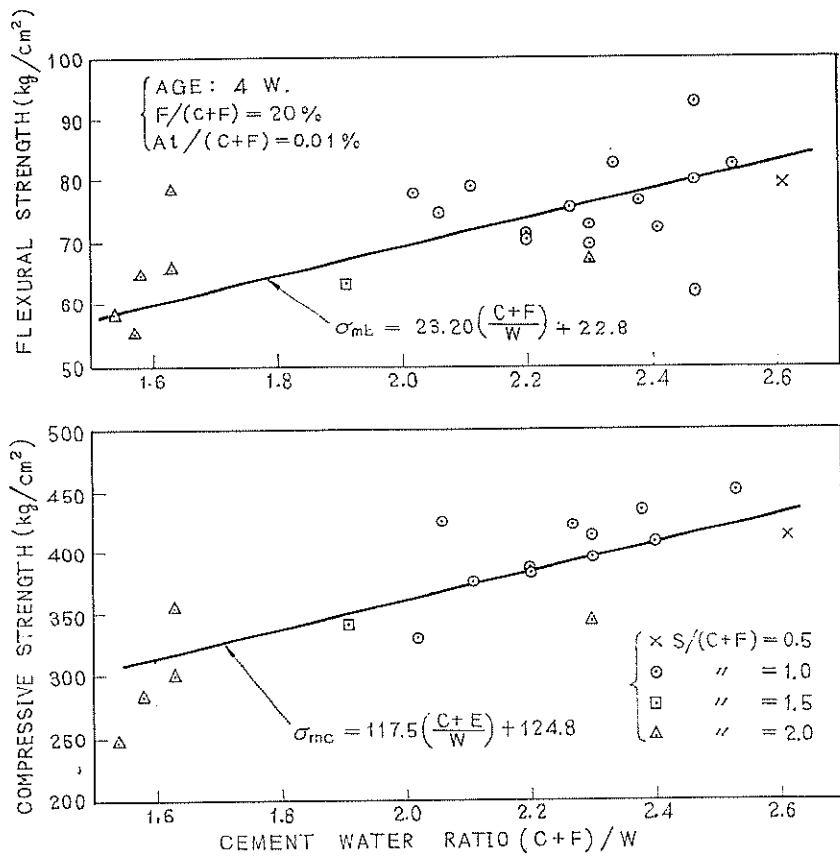


図-7.1 セメント水比と注入モルタルの曲げおよび圧縮強度との関係 (材令4週)
 Effects of Cement Water Ratio upon Flexural and Compressive
 Strengths of Intrusion Mortar (4 Weeks)

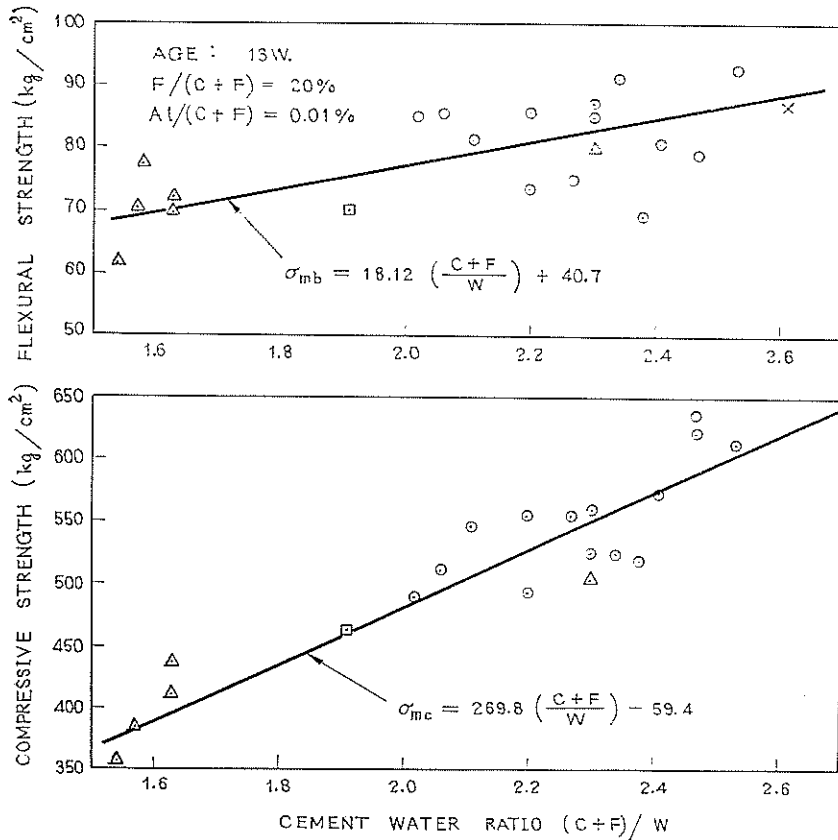
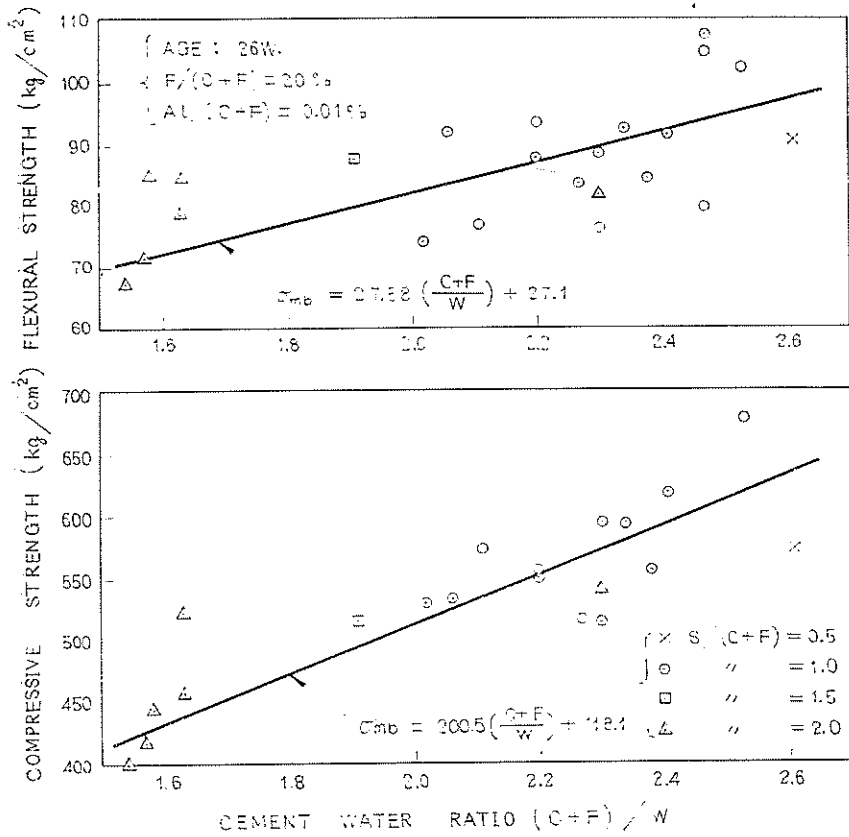


図-7.2 セメント水比と注入モルタルの曲げおよび圧縮強度との関係 (材令13週)
 Effects of Cement Water Ratio upon Flexural and Compressive
 Strengths of Intrusion Mortar (13 weeks)

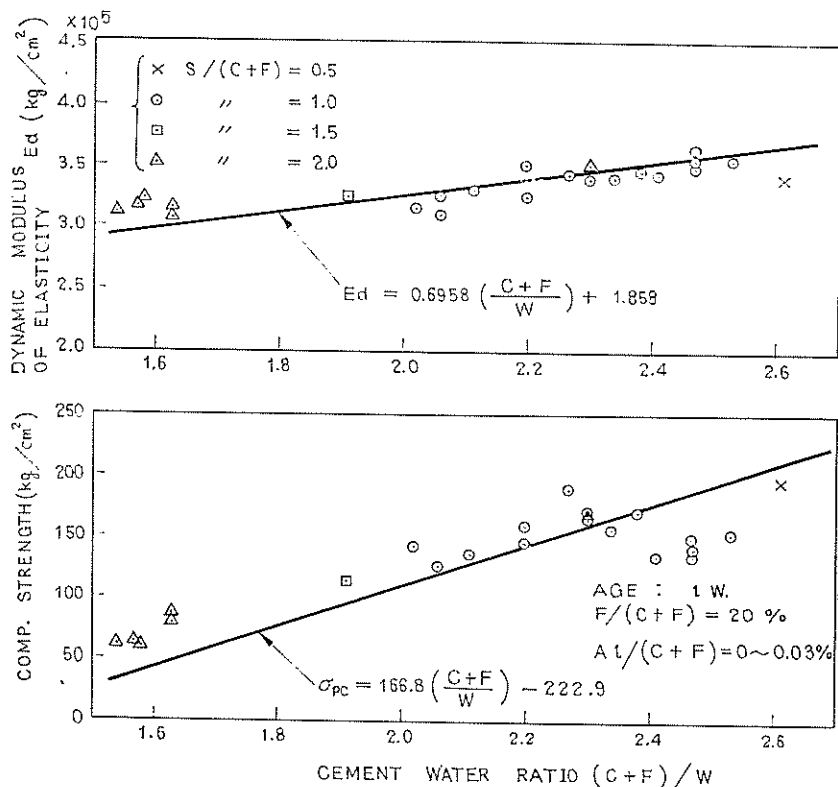


図—7.3 セメント水比と注入モルタルの曲げおよび圧縮強度との関係 (材令26週)
 Effects of Cement Water Ratio upon Flexural and Compressive
 Strengths of Intrusion Mortar (26 Weeks)

に基くものと考えられる。また、セメント水比の増加 1.0 に対する強度の増加率を求めると、圧縮強度の平均 60% に対し曲げ強度は平均 35% 程度でかなり小さく、両強度の増加は必ずしも比例しないことを示している。

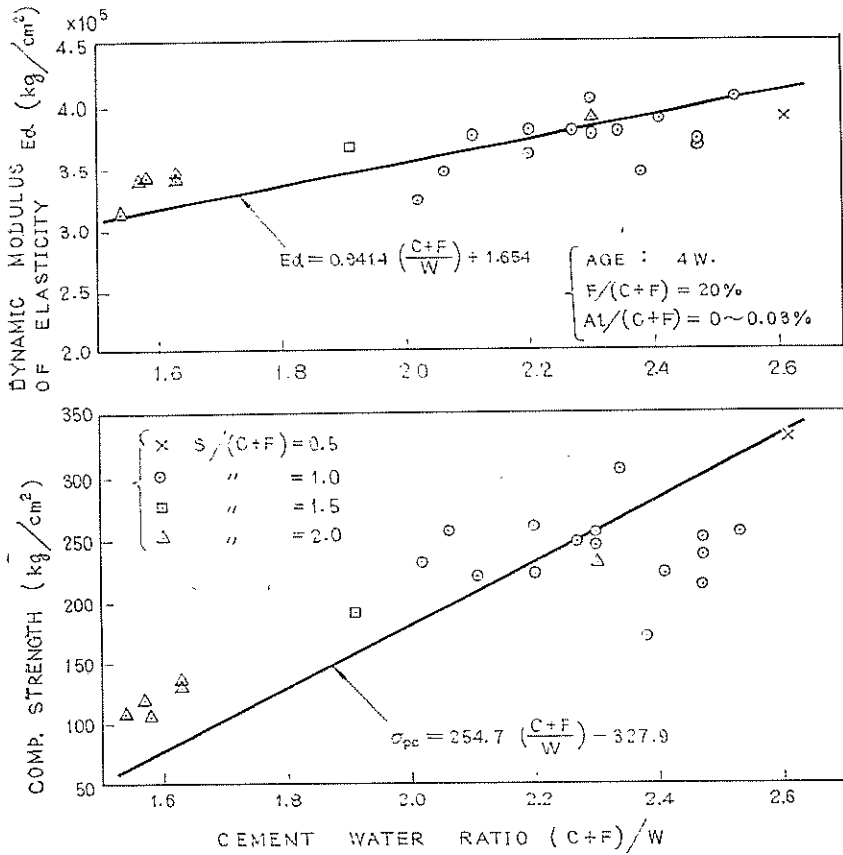
図一7.4~7.7はそれぞれ 1, 4, 13 および 26 週におけるセメント水比とプレパックド・コンクリートの圧縮強度ならびに動弾性係数との関係を示すものである。プレパックド・コンクリートの圧縮強度と注入モルタルのセメント水比との関係は極めて明瞭で、両者は一次的に比例し、この関係は材令の長短に関わりなく成立する、このことはプレパックド・コンクリートの圧縮強度は粗骨材の種類や填充状態が一定の下では注入モルタルの配合によつて一義的に決まることを示している。前述のようにセメント水比と注入モルタルの圧縮強度ないし曲げ強度の間にも一次的比例関係の成立することが確かめられて居り、注入モルタルの強度とこれを注入したコンクリートの強度との間に一次的順相関関係の成立することが予測される。この点については 7.6 で詳述する。

セメント水比とプレパックド・コンクリートの動弾性係数との間にも圧縮強度の場合とほぼ同じような直線関係が成立するものようである。この関係は短期材令においては比較的明瞭であるが、材令の増加に応じて相関性が幾分減少し、材令 13 ないし 26 週においては動弾性係数はセメント水比の大小によらずほぼ一定の値に近づく傾向を示して居り、また動弾性係数の材令による伸び率も小さい。プレパックド・コンクリートは格子状組織の粗骨材の間にモルタルを注入せるものであり、従つてその弾性的性質が注入モルタルの性質と共に粗骨材の填充状態によつてもかなり影響されるものと予測されていたのであるが、上述の試験結果はこれを裏付けるものと解される。



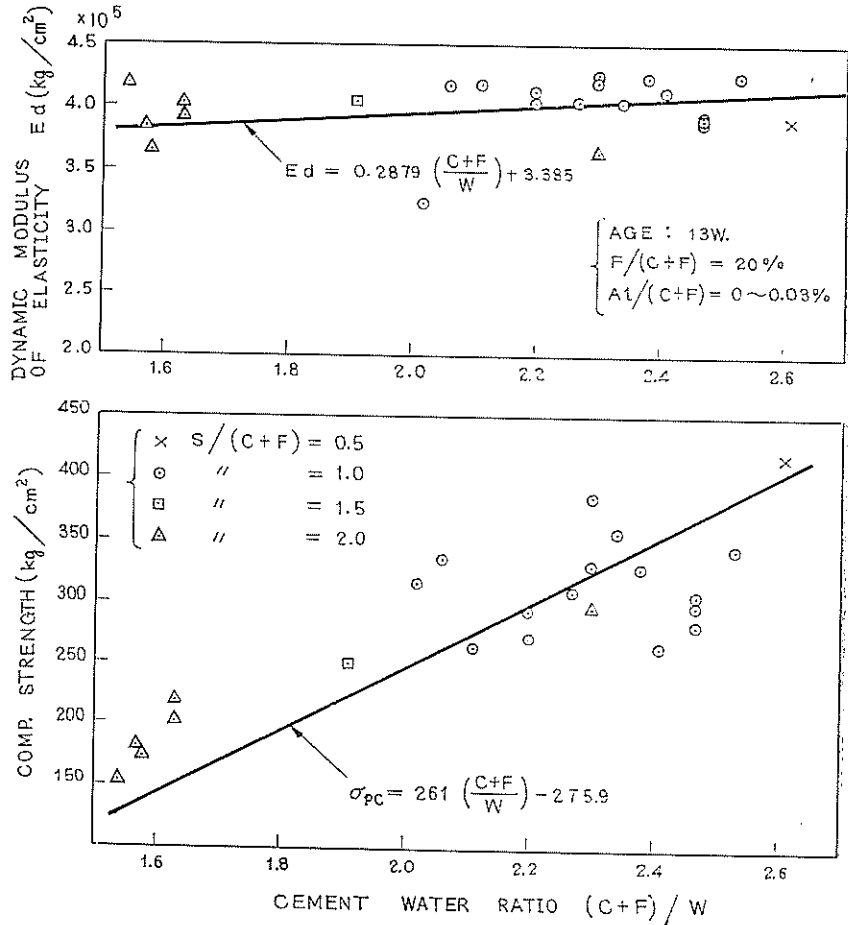
図一7.4 セメント水比とプレパックド・コンクリートの圧縮強度ならびに動弾性係数との関係 (材令 1 週)

Effects of Cement Water Ratio of Intrusion Mortar upon Compressive Strength and Dynamic Modulus of Elasticity of Prepacked Concrete (1 Weeks)



図—7.5 セメント水比とプレバクド・コンクリートの圧縮強度ならびに動弾性係数との関係 (材令4週)

Effects of Cement Water Ratio of Intrusion Mortar upon Compressive Strength and Dynamic Modulus of Elasticity of Prepacked Concrete (4 Weeks)



図一7.6 セメント水比とプレバクド・コンクリートの圧縮強度ならびに動弾性係数との関係 (材令13)

Effects of Cement Water Ratio of Intrusion Mortar upon Compressive Strength and Dynamic Modulus of Elasticity of Prepacked Concrete (13 Weeks)

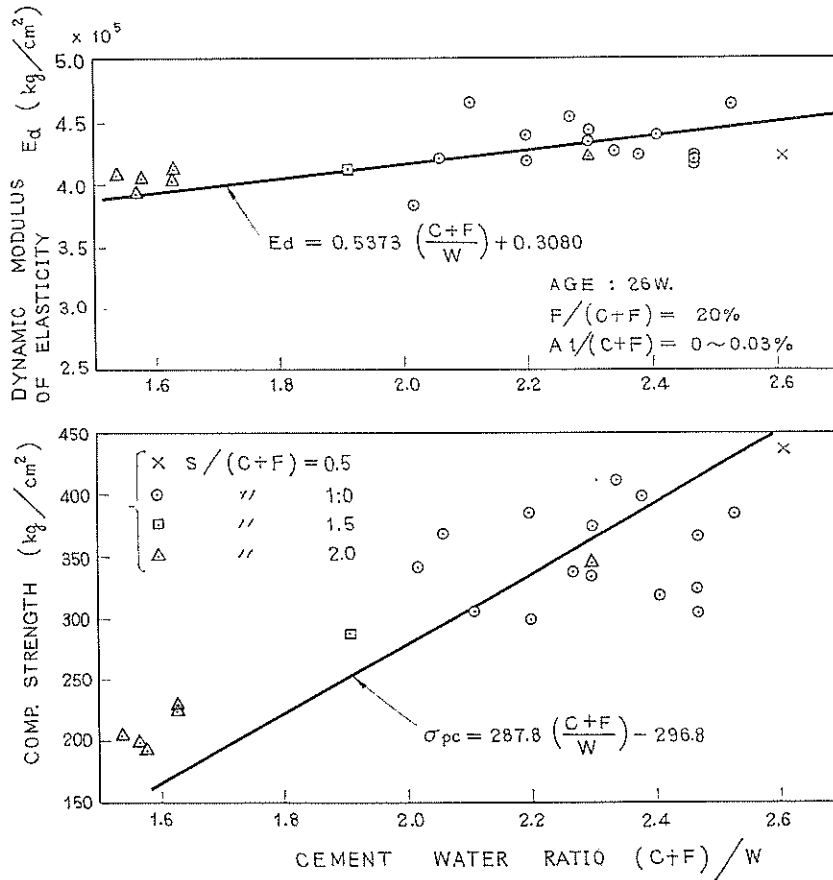


図-7.7 セメント水比とプレバッキング・コンクリートの圧縮強度ならびに動弾性係数との関係 (材令26週)

Effects of Cement Water Ratio of Intrusion Mortar upon Compressive Strength and Dynamic Modulus of Elasticity of Prepacked Concrete (26 Weeks)

b) フライアッシュ混和率の影響

図-7.8 はフライアッシュ混和率と注入モルタルの圧縮強度との関係についての試験結果を示したものである。試験値が少く、またそのばらつきも少ないため明瞭な関係を求めることは困難である。しかし、一般的な傾向として § 4.3 で述べたように、短期強度はフライアッシュの混入によってかなり減少するが、材令の増加に応じて強度の増進が著しく、フライアッシュ混和率が適当な場合にはフライアッシュを全く混入しない配合よりも上廻る強度が得られることが認められる。

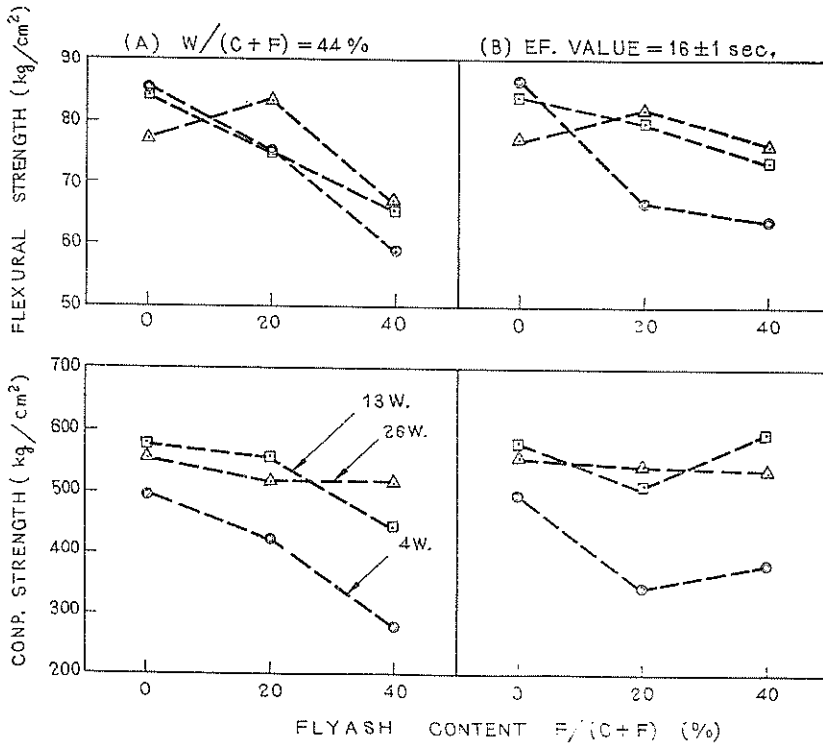


図-7.8 フライアッシュ混和率と注入モルタルの曲げおよび圧縮強度との関係
Effects of Flyash Content upon Flexural and Compressive Strengths of Intrusion Mortar

図-7.9 は注入モルタルのフライアッシュ混和率とプレバクド・コンクリートの圧縮強度ならびに動弾性係数との関係を示したものである。同図によると適量のフライアッシュを混入する場合、プレバクド・コンクリートの長期圧縮強度はフライアッシュを混入せぬものと比較してかなり増加し、たとえば $F/(C+F)=20\%$ の場合には増加率は10%程度に達する。しかし、 $F/(C+F)=40\%$ のようにフライアッシュを過量に混入する場合には材令13週程度までは寧ろ減少し、材令26週で漸くフライアッシュを混入しない配合より僅かに上廻る強度を示している。これはポズラン反応が極めて緩慢に継続して行なわれることを意味するものと思われるが、実際の配合設計をこのような長期に亘つて理想的養生条件が持続することを予想して行なうことは危険を伴うものであり、フライアッシュ混和率の選択は過量にならぬよう行なうべきであろう。

プレバクド・コンクリートの動弾性係数に対するフライアッシュ混和率の影響は大きいものではなく、 $F/(C+F)=20\%$ における値は材令26週の場合を除いて $F/(C+F)=0$ における値とほぼ等しい。しかし、材令1~13週の場合には $F/(C+F)=40\%$ の動弾性係数は $F/(C+F)=0\%$ に比較して2~7%程度減少して居り、過

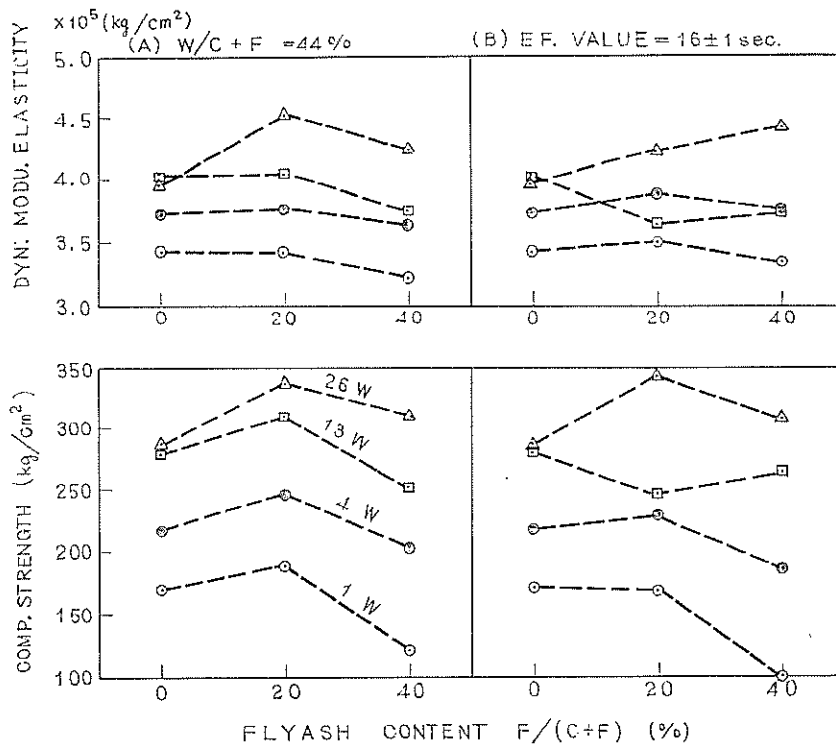
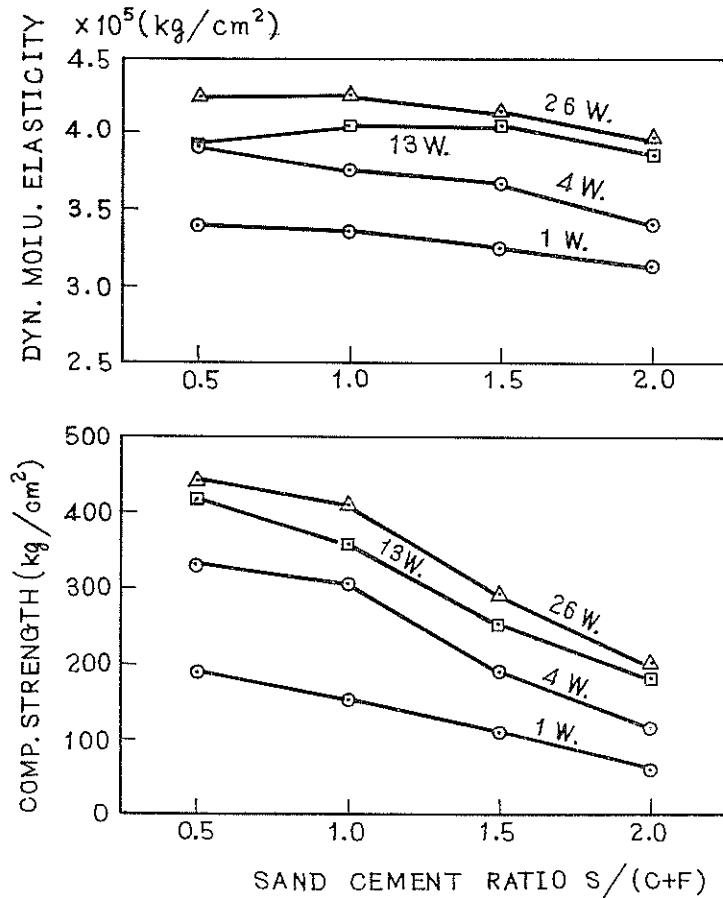


図-7.9 フライアッシュ混和率とプレバクド・コンクリートの圧縮強度および動弾性係数との関係
Effects of Flyash Content of Intrusion Mortar upon Compressive Strength and Dynamic Modulus of Elasticity of Prepacked Concrete

量のフライアッシュの混入は材令13週以内では動弾性係数を減少せしめるといえるものようである。

c) 砂セメント比の影響

注入モルタルの曲げおよび圧縮強度と砂セメント比 $S/(C+F)$ との関係は、§4.4に述べた通りで、強度は砂セメント比の増加に応じてほぼ直線的に減少する。強度の減少量は砂セメント比の増加による水セメント比の増加(セメント水比の減少)によつて予想される強度の減少量に相当する。このことはプレバクド・コンクリートの圧縮強度ならびに動弾性係数と砂セメント比との関係にもほぼ適合し、両者の関係は図-7.10に示した通りである。すなわち、コンクリートの圧縮強度は砂セメント比の増加に応じてほぼ直線的に減少する。これは一定の流動性を保つに必要なセメント水比 $(C+F)/W$ が $S/(C+F)$ の増加に応じてほぼ直線的に減少することによるものといえる。コンクリートの動弾性係数は短期材令の場合には砂セメント比の増加と共に減少する傾向が明らかに認められるが、a) で述べたように、材令の増加に伴なつて砂セメント比(ないしセメント水比)の大小によらずほぼ一定となる傾向が観察される。



図一7.10 砂セメント比とプレバクド・コンクリートの圧縮強度ならびに動弾性係数との関係
Effects of Sand Cement Ratio of Intrusion Mortar upon Compressive Strength and Dynamic Modulus of Elasticity of Prepacked Concrete

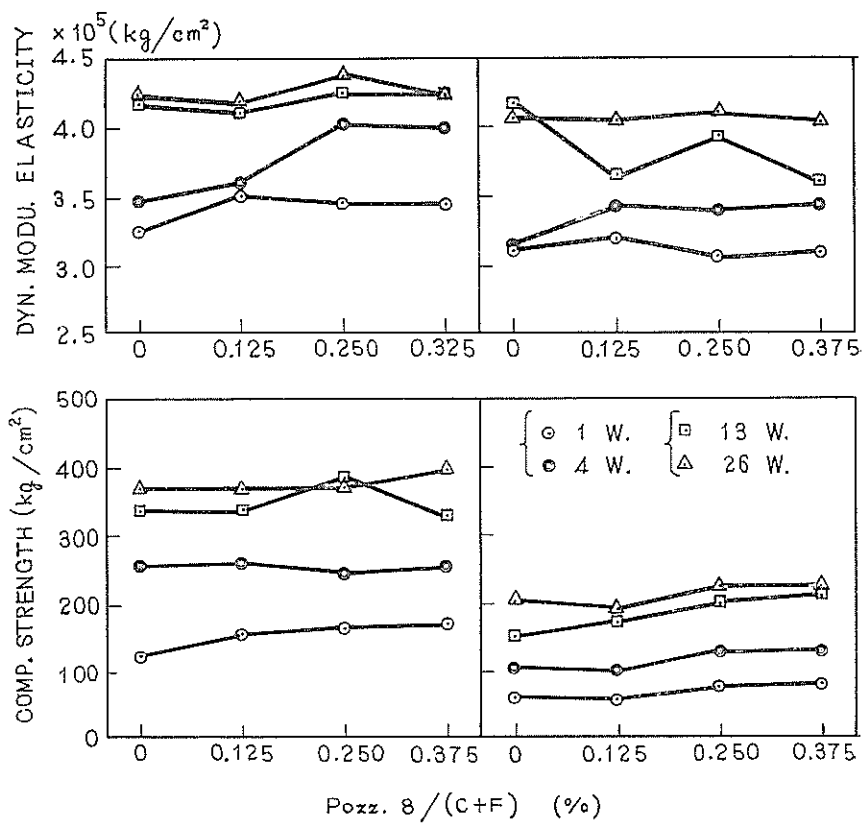
d) 分散剤率の影響

表一7.6 はセメント分散剤としてポゾリスNo. 8を選び、その使用量が注入モルタルの曲げおよび圧縮強度、プレバクド・コンクリートの圧縮強度および動弾性係数におよぼす影響を試験した結果で、これらの試験値を分散剤率と対比すると図一7.11, 7.12に示したようになる。

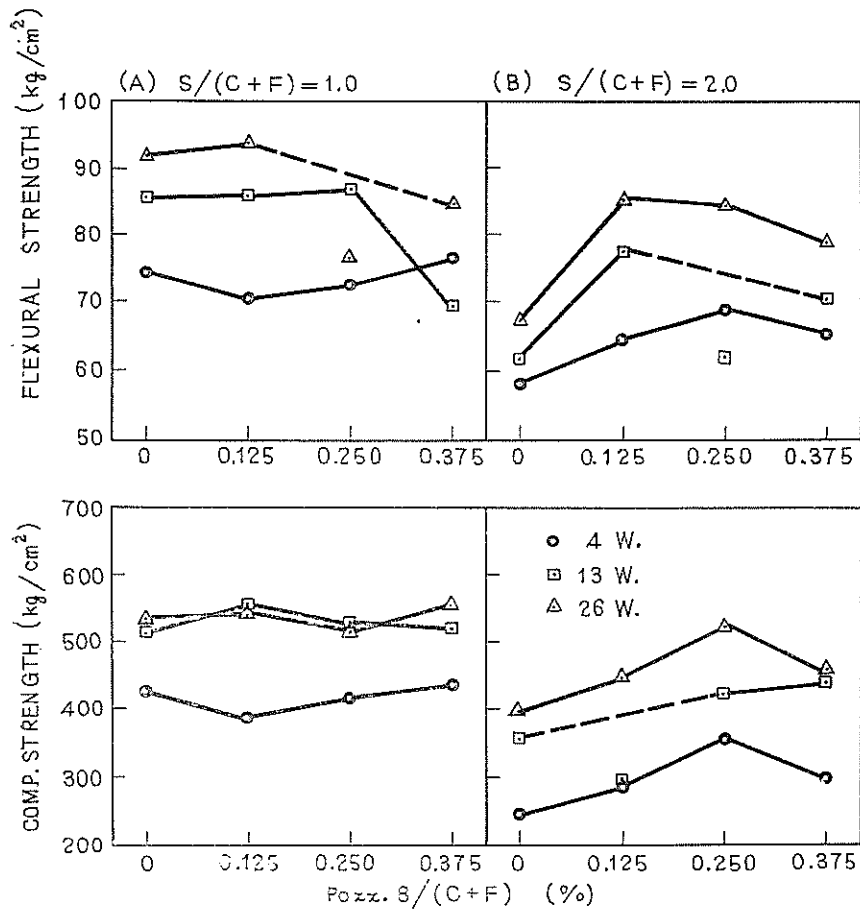
ポゾリスNo. 8の使用量が注入モルタルの強度におよぼす影響は5.4に述べたように、主として所要の水セメント比の減少による強度の増加にあると考えられ、 $P_{oz. 8}/(C+F)=0.25\%$ ないし 0.375% の附近で最大強度が得られている。図一7.11もほぼ同様の傾向を示している。

プレバクド・コンクリートの圧縮強度に関してもほぼ同じ傾向が認められ、 $P_{oz. 8}/(C+F)=0.25\sim 0.375\%$ 附近で最大強度に達し、強度増加率はポゾリスNo. 8を混入しないものに比較して10%程度である。

しかし、動弾性係数については認め得る程度の影響はなく、特に長期材令の場合にはほとんど影響しないといつてよい。これは図一7.4~7.7より容易に観察できるように、水セメント比の変化によつて動弾性係数を変化せしめるためには水セメント比をかなり大巾に変える必要があるが、分散剤の混入による水セメント比の変化は比較的狭い範囲に限られているからである。



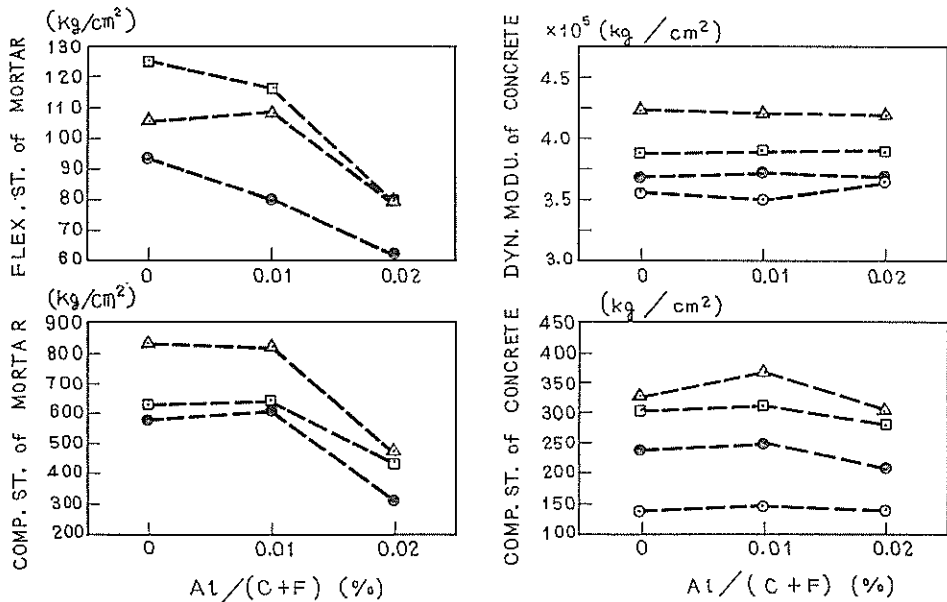
図一7.11 分散剤率と注入モルタルの曲げおよび圧縮強度との関係
 Effects of Dosage of Admixture upon Flexural and
 Compressive Strengths of Intrusion Mortar



図—7.12 分散剤率とプレパックド・コンクリートの圧縮強度ならびに動弾性係数との関係
 Effects of Dosage of Admixture of Intrusion Mortar upon Compressive Strength and Dynamic Modulus of Elasticity of Prepacked Concrete

e) 発泡剤率の影響

注入モルタルの膨張率は発泡剤率にはほぼ比例して変化し、膨張率が過大とならない範囲では膨張を完全に抑制する限りにおいて注入モルタルの圧縮強度は膨張率の増加に応じて増加する傾向にあることは§5.5において既に確めた所である。しかし、膨張の抑制が不完全な場合には強度は増加するとは限らず、供試体内の気泡量の増加によつて強度はむしろ減少するものと予測される。図—7.13に示した注入モルタルの強度試験結果は発泡剤率の増加に応じて曲げおよび圧縮強度のいずれも減少する傾向を示し、特に $Al/(C+F)=0.02\%$ における減少が著しい。本試験で膨張抑制のために用いた重錘は $4 \times 16 \times 3 = 192\text{cm}^2$ のモルタル面積に対して約13kg($\phi 15 \times 30\text{cm}$ コンクリート供試体を使用)であつて、これは 0.068kg/cm^2 の圧力に相当する。一般に注入モルタルないしPCグラウトの膨張を抑制するためには 0.14kg/cm^2 程度の圧力を必要とするとされて居り、本試験ではその $\frac{1}{2}$ に過ぎず、膨張の抑制が不完全であつたものと思われる。膨張の抑制が不完全であれば、供試体中に残る気泡の量は発泡剤率に比例して増加するため、注入モルタルの強度が図示のように減少したものであろう。



図—7.13 発泡剤率と注入モルタルの曲げおよび圧縮強度ならびにプレパックド・コンクリートの圧縮強度および動弾性係数との関係
Effects of Dosage of Powdered Aluminum upon Flexural and Compressive Strengths of Intrusion Mortar and Compressive Strength and Dynamic Modulus of Elasticity of Prepacked Concrete

本試験ではコンクリート供試体の製作の際にもモルタルの膨張抑制用の重錘として13kg程度を用い、これは 0.074kg/cm^2 の圧力に相当し、前述のモルタルの場合の圧力と大差ない。しかし、コンクリート製作の場合には十分に突き固められた粗材骨の存在が膨張を拘束する効果を有するため、この程度の圧力ではほぼ十分な拘束効果を期待できるものようである(21.30)。プレパックドコンクリートの圧縮強度試験結果は $Al/(C+F)=0.01\%$ の場合に発泡剤を含まぬものに比較して3~11%、平均7%の圧縮強度の増加を示している。このことは、モルタルの膨張を有効に抑制する場合には適量のアルミニウム粉末等の発泡剤の添加によつて強度増加を期待し得ることを意味するものである。

発泡剤の添加は注入モルタルに膨張性を与えるのみで、その膨張を抑制する場合には上述のようにプレパック

ド・コンクリートの強度は多少変化するが、コンクリート中のモルタル組織の性質には大きな変化はないものと考えられる。従つてコンクリートの動弾性係数が $AI/(C+F)$ の大小によつて余り影響されぬことは容易に推察でき、図—7.13に示した試験結果はこれを裏付けている。

7.6 注入モルタルならびにプレパックド・コンクリートの諸強度の相関性

a) 注入モルタルの曲げ強度と圧縮強度との関係

4.2e)で言及したように、同一試料より作られた注入モルタルの曲げ強度と圧縮強度との間には密接な相関性が認められ、細骨材として標準砂を用い、かつ発泡剤を混入しないモルタルでは σ_b/σ_c は14~28%程度の範囲にあつて、圧縮強度 σ_c が小さいものほど σ_b/σ_c が大きいことが確められている。

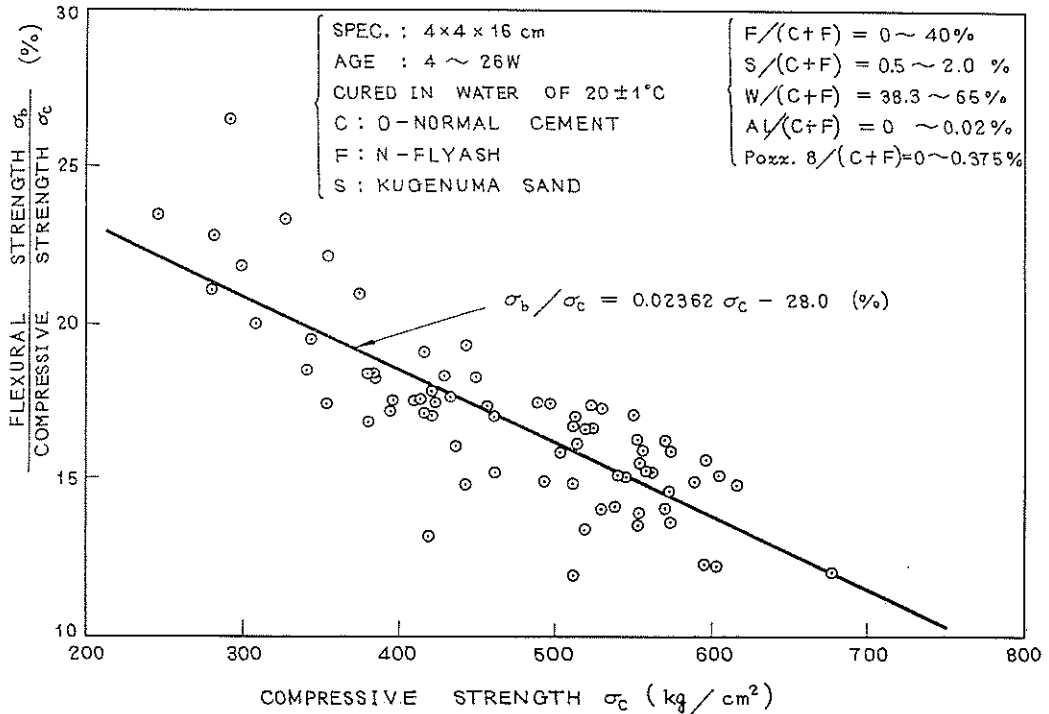
本章で行なつた試験結果(表—7.3~7.7)について σ_b/σ_c を計算し、これを σ_c と対比すると図—7.14が得られる。図示したように $\sigma_b/\sigma_c \sim \sigma_c$ の間には一次的逆相関関係が成立し、 σ_b/σ_c が σ_c の増加に応じてほぼ直線的に減少することは極めて明瞭で、実験式として

$$\sigma_b/\sigma_c = -0.02362\sigma_c + 28.0(\%) \dots\dots\dots (7.1)$$

が得られている。この関係は 4.2e) で観察せることとほぼ一致している。従つて、使用材料に極端な変化がない限り、注入モルタルの σ_b/σ_c と σ_c との間には(7.1)式と類似した関係が成立するものと思われる。

b) 注入モルタルの圧縮強度とプレパックド・コンクリートの圧縮強度との関係

粗骨材の填充とモルタルの注入を独立した工程として行なう施工方法の基本的性格に基き、使用材料ならびに粗骨材の填充方法が一定の条件の下ではプレパックド・コンクリートの強度は注入モルタルの配合によつて一義

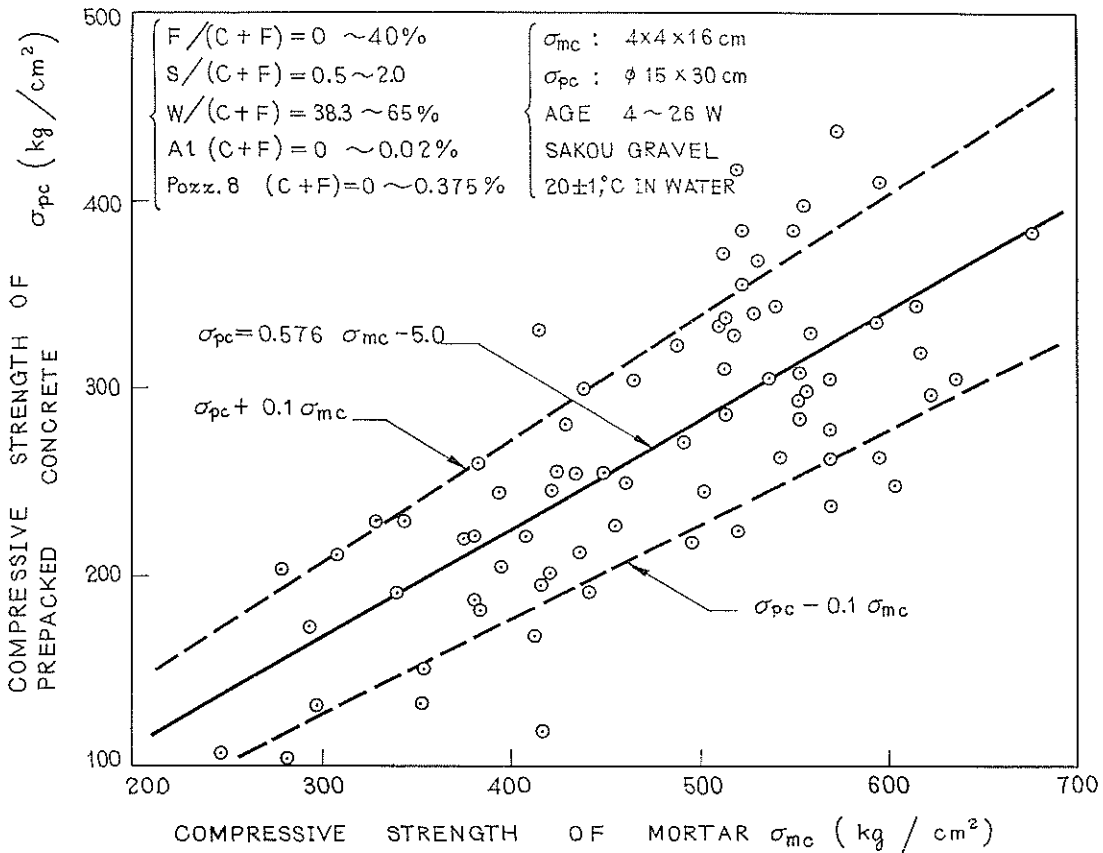


図—7.14 注入モルタルの曲げ~圧縮強度比と圧縮強度との関係
 (試験値: 曲げ強度は3個, 圧縮強度は6個の平均値)
 Relation between Flexural and Compressive Strengths of
 Intrusion Mortar (Flexural Strength=Average of Three Spec.,
 Compressive Strength=Average of Six Spec.)

的に決まるものと考えられ、7.5 a)～e) において確認した所である。従つて、注入モルタルの強度とプレバックド・コンクリートの強度との間に密接な相関性の成立することは容易に予測され、既にある程度実験的にも確められている(3.4.15, 21)。本試験結果は以上に述べた従来の試験結果を補足するもので、注入モルタルの圧縮強度とプレバックド・コンクリートのそれとを対比すると図—7.15が求められ、両者が一次的に比例することが明らかであつて、次式のような実験式が得られている。

$$\sigma_{pc} = 0.576\sigma_{mc} - 5.0 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots(7.2)$$

(7.2) 式において σ_{pc} , σ_{mc} はそれぞれ注入モルタルおよびプレバックド・コンクリートの圧縮強度である。本式は注入モルタルの供試体として $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ の角柱形、プレバックド・コンクリートの供試体として $\phi 15 \times$



図—7.15 注入モルタルの圧縮強度とプレバックド・コンクリートの圧縮強度との関係（試験値：モルタル強度は6個、コンクリート強度は3個の平均値）

Relation between Compressive Strength of Intrusion Mortar and Compressive Strength of Prepacked Concrete (Mortar Strength = Average of Six, Concrete Strength = Average of Three)

30cmの円柱形を用いて得られたもので、供試体の形状寸法が異なれば係数の値は当然変化し、一般には

$$\sigma_{pc} = p \sigma_{mc} - q \dots\dots\dots(7.3)$$

なる一次式で表わし得る。

(7.2) 式における係数 0.576は $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 供試体によるプレバックド・コンクリートの圧縮強度は $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ 供試体による注入モルタルのそのの大体58%程度に相当することを示しているが、これはコンクリートの強度がモルタルの強度よりも著しく小さいことを意味するものではなく、供試体の形状ならびに寸法の影響による所

も大きい。仮に *ASTM C42-61*²⁷⁾ および *Concrete Manual*²⁸⁾ に示された供試体の形状寸法に対する修正係数を適用して $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ 供試体による注入モルタルの圧縮強度を $\phi 15 \times 30\text{cm}$ のそれに換算すると、

$$0.85 \times \frac{100}{110} = 0.772$$

となつて、 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 供試体による圧縮強度は $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ 供試体のその77%程度となる。従つてコンクリートならびにモルタルの圧縮強度をいずれも $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 供試体を用いて試験したとすれば、係数0.576は

$$0.576 \div 0.772 = 0.798 \approx 0.80$$

程度になるものと思われる。図-7.16は注入モルタルおよびプレバックド・コンクリートの両方に $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 供試体を用いた場合の例で、北海道内の各港における現場試験結果であり、使用材料や注入モルタルの配合等は表-7.8~7.11 に示した通りである。試験条件は必ずしも一定ではないが、試験結果について実験式を求めると、

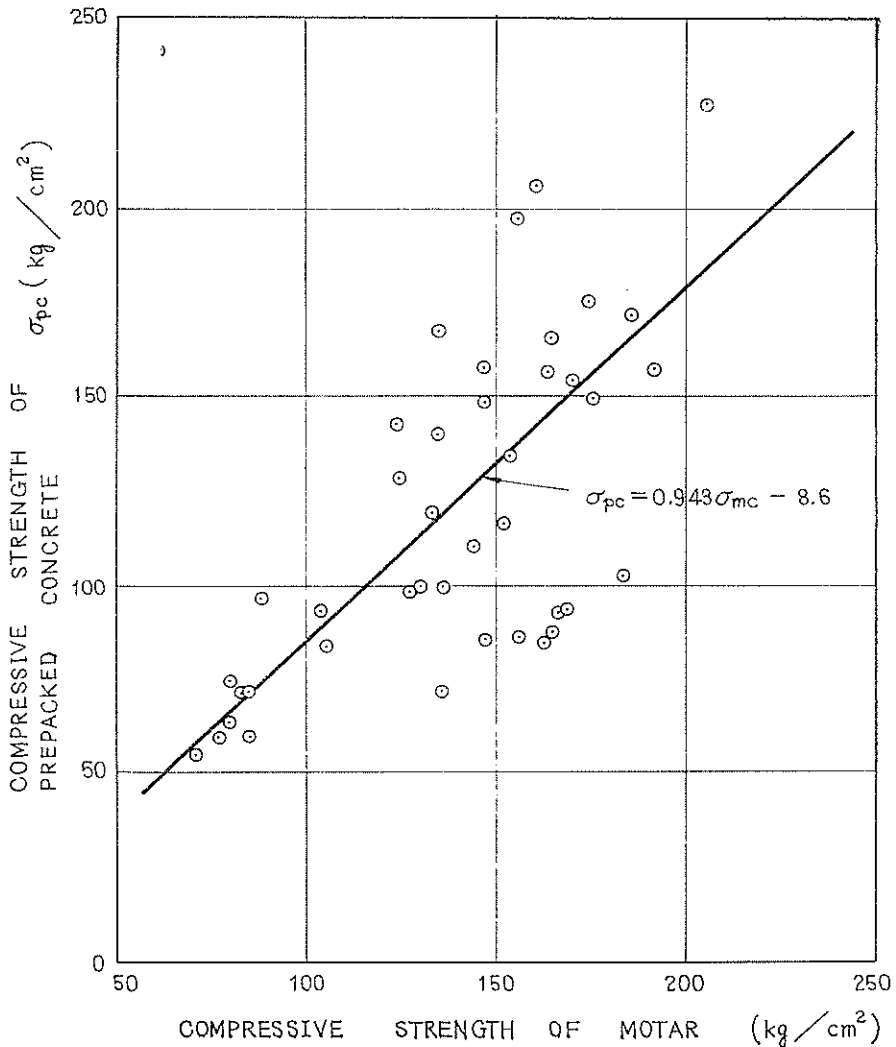


図-7.16 注入モルタルの圧縮強度とプレバックド・コンクリートの圧縮強度との関係 (いずれも $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 供試体を使用、北海道各港における現場試験結果)
Relation between Compressive Strength of Intrusion Mortar and Compressive Strength of Prepacked Concrete. Both strengths were obtained on the same size of specimens, i. e., $\phi 15 \times 30\text{ cm}$. Test results at many ports in Hokkaido)

(7.4) 式が得られる。

$$\sigma_{pc} = 0.943\sigma_{mc} - 8.6(\text{kg/cm}^2) \dots \dots \dots (7.4)$$

(7.4) 式における係数0.943は必ずしも上述の0.80とは一致しないが、これが試験条件の一定しない現場試験結果について得られたものであることを考慮すれば近似度はかなり高いといつてよい。

表—7.8 プレパックド・コンクリート材料（北海道）

港名	セメント	フライアッシュ (製造会社)	水	アルミニウム粉末		分散剤	
				仕様	製造会社	仕様	製造会社
稚内	アサノ B種 フライアッシュセメント	—	海水	# 200	不明	ポゾリス No. 5 A	日曹マスター ビルダースKK
宗谷	"	—	"	"	"	"	"
杓形	"	—	"	No. 200	山石金属 KK	"	"
香深	"	—	"	"	"	"	"
船泊	"	—	"	"	"	"	"
元地	"	—	"	"	"	"	"
仙法志	"	—	"	No. 300	大阪金属 KK	"	"
羽札	"	—	水道水	"	関西ベ イ ントKK	ポゾリス No. 8	"
雄冬	"	—	井戸水	試薬1級	純正化学 薬品	"	"
浜益	アサノ普通セメント アサノ B種	北電興業 KK	海水	—	—	RGA剤	ライト工業KK
幌泉	フライアッシュセメント	—	"	AA 10	福田金属 KK	ポゾリス No. 8	日曹マスター ビルダースKK
様似	"	—	"	"	"	"	"
三石	"	—	水道水	"	"	"	"
網走	アサノ C種 フライアッシュセメント	—	海水	試薬1級	不明	"	"
元稲府	アサノ普通セメント	北電興業 KK	"	不明	"	"	"
楸法華	アサノ B種 フライアッシュセメント	—	"	—	—	RGA剤	ライト工業KK

表—7.9 プレパックド・コンクリート材料（北海道）

港名	細骨材				粒骨材			
	産地	比重	粗粒率	最大寸法* 最 寸 法	産地	比重	粗粒率	最大寸法 (mm)
稚内	稚内市声間海岸	2.62	1.19	1.2	遠別川	2.65	8.84	80
宗谷	"	2.61	1.78	1.2	"	2.65	—	80
杓形	東利尻町大磯湾	2.65	1.19	1.2	東利尻町石崎砂利	2.61	—	150
香深	礼文町鉄府(山)	2.71	2.19	1.2	礼文町香深碎石	2.67	—	50
船泊	" (山)	2.71	2.19	1.2	礼文町船泊碎石	2.67	—	150
元地	" (海)	2.65	2.84	1.2	礼文町元地碎石	2.55	6.99	50
仙法志	東利尻町沼浦	2.55	1.58	0.6	東利尻町石崎砂利	2.60	—	200
羽幌	羽幌町海岸	2.62	2.20	2.5	羽幌川	2.56	8.03	80
雄冬	浜益村川下海岸	2.55	2.15	1.2	増毛町雄冬碎石	2.59	—	50
浜益	"	2.83	2.13	—	浜益村郡別川	2.67	—	150
幌泉	和里海岸	2.67	2.05	0.8	浦川町幌別川	2.84	—	250
様似	西様似海岸	2.63	1.20	2.0	"	2.84	—	250
三石	三石町三石海岸	2.78	1.84	0.8	三石町三石川	—	—	—
網走	小清水町海岸	2.78	1.20	2.5	北見市常呂川	2.53	—	100
元稲府	紋別南ヶ丘海岸	2.50	1.71	1.5	雄武町幌内川	2.66	—	150
楸法華	楸法華矢尻川	2.59	1.91	—	尻岸内東北砂鉄採取所	2.49	8.33	150

* 100通過するふるいの最小の目の開き寸法(mm)。

表一7.10 注入モルタルの配合, その他(北海道)

港名	F/(C+F) (%)*	S/(C+F)	DA/(C+F) (%)	AI/(C+F) (%)	W/(C+F) (%)	粗骨材 空げ率 (%)	単位セメント 量** (kg/m ³)	モルタル練り 混ぜ時間*** (min)
稚内	20	0.8	0.5	0.011	53	40	360	> 2
宗谷	20	0.8	0.5	0.01	48	40	360	> 2
香形	20	0.8	0.5	0.01	48	45	405	≒ 3
香深	20	0.8	0.4	0.01	50	45	405	≒ 3
船泊	20	0.8	0.5	0.01	50	45	405	> 2
元地	20	0.8	0.25	0.011	50	45	405	≒ 3
仙法志	20	0.8	0.5	0.01	50	40	360	≒ 5
羽幌	20	1.0	0.25	0.015	50	36.5	305	≒ 4
雄冬	20	1.0	0.25	0.01	48	40	330	3~4
浜益	16.7	1.08	0.3	—	50	42	323	≒ 3
"	16.7	1.21	1.0	—	45	42	323	≒ 3
幌泉	20	1.0	0.25	0.01	50	44.5	368	≒ 4
様似	20	1.0	0.5	0.008	50	44.5	385	≒ 10
三石	20	1.0	0.2	0.01	50	45.5	368	4~5
網走	25	1.0	0.5	0.01	50	42	355	3~4
元稲府	20	1.2	0.25	0.01	60	43	355	≒ 4
"	20	1.0	0.25	0.01	55	43	355	≒ 4
"	20	1.2	0.25	0.01	58	43	355	≒ 4
す法華	20	1.0	0.3	—	43	42	339	> 2

* フライアッシュセメントの場合, フライアッシュの含有率。
 ** プレバックド・コンクリート 1 m³当たりの (C+F)kg。
 *** > 2 は 2 min以上, ≒ 3 は 3 min前後, 3~4 はないし 4 minを意味する。

表一7.11 モルタルミキサおよびポンプ性能表(北海道)

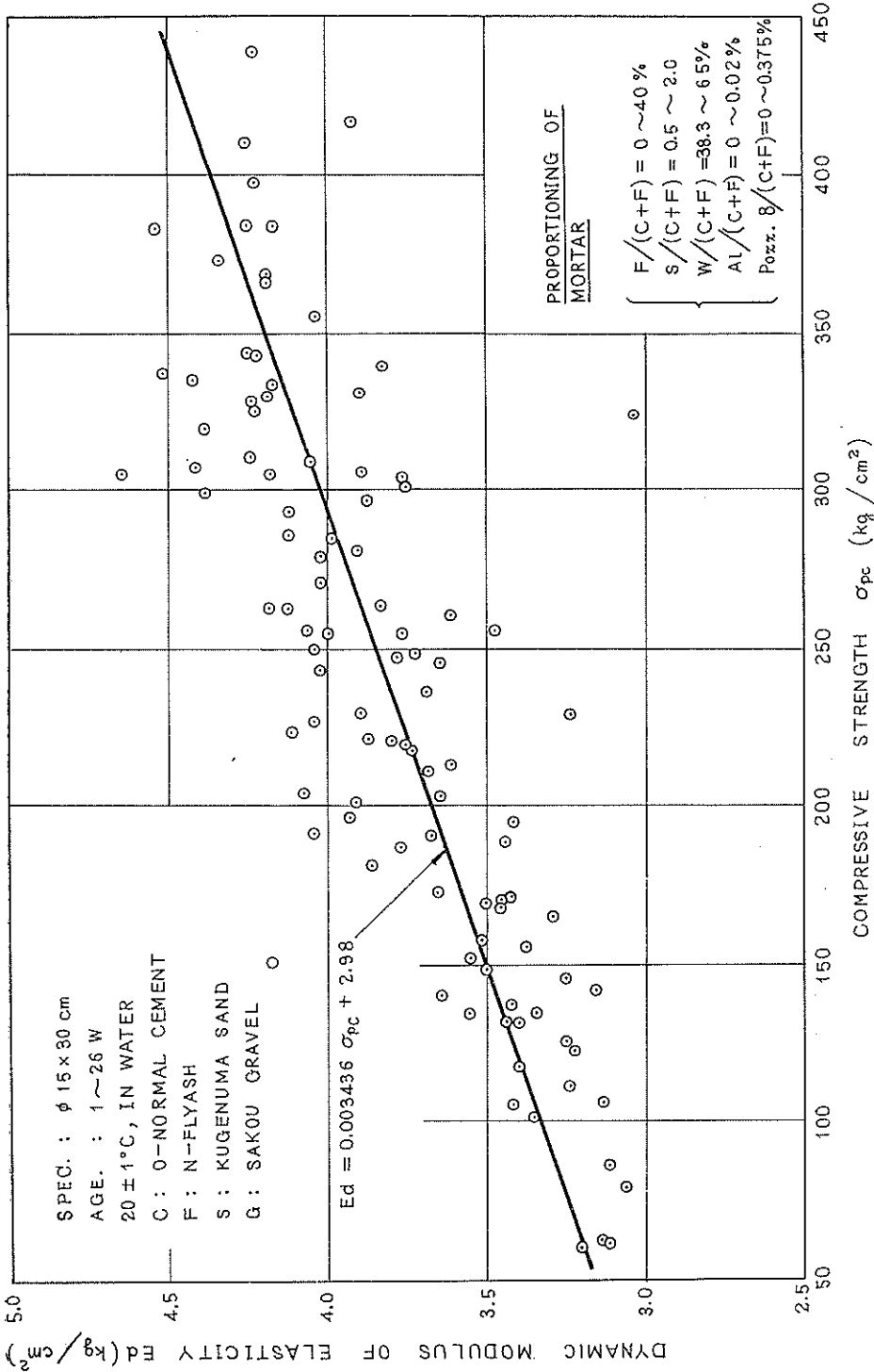
港名	モルタルミキサ					モルタルポンプ				
	製造会社	形式	容量 (ℓ)	原動機	馬力 (HP)	製造会社	形式	吐出量 (ℓ/min)	原動機	馬力 (HP)
稚内	ヤマト	EP-2	300×2	ヤンマー NT95	7	ヤマト	EP-2	105	ヤンマー NT110	10
宗谷	ボーリング 東邦地下	MP-5	250×2	3 Pモーター	—	ボーリング 東邦地下	MP-5	82	3 Pモーター	10
香形	日本開発機	—	200×2	ヤンマー	5	日本開発機	—	105	ヤンマー ジーゼル	10
香深	ヤマト	EP-2	300×2	ヤンマー NT95	7	ヤマト	EP-2	105	ヤンマー NT110	10
船泊	ボーリング 東邦地下	MP-5	250×2	ヤンマー	5	ボーリング 東邦地下	MP-10	130	ヤンマー ジーゼル	13
元地	日本開発機	CM	300×2	ヤンマー NT95	7	日本開発機	B. P.	120	ヤンマー NT110	10
仙法志	ヤマト	EP-2	300×2	ヤンマー NT95	7	ヤマト	EP-2	105	ヤンマー NT110	10
羽幌	"	MV-600	335×2	ヤンマー NT85	5	"	EP-2	105	ヤンマー NT110	10
雄冬	"	MV-400	400×2	ヤンマー NT85	5	"	EP-2	105	ヤンマー NT110	10
浜益	東邦地下	MP-10	350×2	クボタ ジーゼル	5	日鉱 ボーリング	NG-10	60	クボタ ジーゼル	10
幌泉	"	MP-10	350×2	クボタ ジーゼル	7.5	東邦地下	MP-10	130	ジーゼル	12
様似	ヤマト	MV-600	335×2	ヤンマー NT85	5	ヤマト	EP-2	105	ヤンマー ジーゼル	10
三石	ボーリング	MV-190	190×2	ヤンマー ジーゼル	3	"	DP-2	—	ヤンマー ジーゼル	3
網走	"	MV-400	350×2	ヤンマー ジーゼル	5	"	EP-2	105	ヤンマー ジーゼル	10
元稲府	東邦地下	MP-10	350×2	クボタ ジーゼル	3	東邦地下	MP-10	130	クボタ ジーゼル	10
樞法華	ライト工業	たて型 2そう	222×2	3 Pモーター	3	日鉱 ボーリング	MG-5	55	3 Pモーター	15

* 各港ともミキサとポンプをそれぞれ1基ずつ設置。

c) プレパックド・コンクリートの圧縮強度と動弾性係数との関係

コンクリートの曲げ強度と動弾性係数との関係については奥島・小坂両氏の研究³⁹⁾や、Long, Kurtz, Sand-enaw 氏等の研究⁴⁰⁾があり、たとえば、奥島・小坂両氏は両者の関係式として

$$Ed = 1.04\sigma_c^{0.219} \times 10^5 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots(7.5)$$



図—7.17 プレパックド・コンクリートの圧縮強度と動弾性係数との関係
Relation between Compressive Strength and Dynamic Modulus of Elasticity of Prepacked Concrete

を提案している。また坂氏の行なつたコンクリートの静弾性係数 E_d と動弾性係数 E_{d1} に関する試験結果⁴¹⁾ は両者の比 $E_d : E_{d1}$ が 1.04~1.37 の範囲にあることを示すと共に、これらの弾性係数がコンクリートの圧縮強度ならびに材令によつて影響されることを示している。

ブレバッド・コンクリートの圧縮強度と動弾性係数との間にもほぼ類似した関係の成立することが予測され、表-7.3~7.7の試験結果より圧縮強度と動弾性係数とを対比して図示すると図-7.17が得られ、動弾性係数が圧縮強度にほぼ比例して増加することが分る。圧縮強度の増加に対する動弾性係数の増加率は強度の小さい範囲で大きく、大きくなるに従つて次第に減少する傾向が認められるが、試験値の範囲ではその変化は余り大きいものではない。仮にこれを一定として最小自乗法により実験式を求めると、

$$E_d = 0.003436\sigma_{pc} + 2.98 \quad (10^5 \text{kg/cm}^2) \dots\dots\dots (7.6)$$

が得られ、 E_d が σ_{pc} にほぼ比例することが明らかである。

本試験で得られたブレバッド・コンクリートの動弾性係数をコンクリートのそれと比較すると、前者が多少大きいようである。たとえば、坂氏の試験結果⁴¹⁾ によると、4週圧縮強度137~310、平均224kg/cm²に対して4週動弾性係数は3.08~3.53、平均3.38×10⁵kg/cm²、26週圧縮強度186~356、平均282kg/cm²に対して26週動弾性係数は3.41~3.97、平均3.77×10⁵kg/cm²である。一方、本試験結果では表-7.3~7.7から求めた4週および26週の平均値は、それぞれ、 $\sigma_{28} = 215 \text{kg/cm}^2$ 、 $E_{d28} = 3.66 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$ 、および $\sigma_{182} = 315 \text{kg/cm}^2$ 、 $E_{d182} = 3.77 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$ であつて、普通コンクリートと比較して4週では約8.3%、26週では約14.3%の増加となつている。このように動弾性係数が普通コンクリートのそれよりも大きいのは粗骨材が相互に接触した格子状組織を形成していることに起因するものと思われる。

d) 注入モルタルならびにブレバッド・コンクリートの材令と諸強度との関係

表-7.12は注入モルタルおよびブレバッド・コンクリートの材令とその諸強度との関係を明らかにするため

表-7.12 注入モルタルならびにブレバッド・コンクリートの材令と諸強度との関係

種別 材令(週)	注入モルタル曲げ 強度比			注入モルタル圧縮 強度比			ブレバッド・コンクリ ート圧縮強度比				ブレバッド・コンクリ ート動弾性係数比										
	4	13	26	4	13	26	1	4	13	26	1	4	13	26							
W	1	100	109	95	100	139	161	62	100	141	148	98	100	100	118						
	2	100	103	98	100	145	153	61	100	120	139	89	100	112	124						
	3	100	105	126	100	129	146	66	100	123	135	86	100	106	116						
	4	100	123	128	100	141	150	65	100	129	131	90	100	111	118						
	5	100	113	128	100	140	151	62	100	119	144	88	100	107	113						
	6	100	113	124	100	136	150	59	100	134	150	87	100	105	114						
F	1	100	97	89	100	116	112	79	100	128	131	92	100	108	121						
	2	100	100	111	100	131	122	76	100	125	136	91	100	107	120						
	3	100	111	112	100	158	184	61	100	148	153	88	100	103	117						
	4	100	119	122	100	147	157	74	100	107	149	90	100	94	109						
	5	100	114	119	100	156	141	54	100	141	164	89	100	99	117						
S	1	100	109	115	100	125	138	59	100	126	133	87	100	100	109						
	2	100	110	112	100	225	256	51	100	117	135	90	100	107	113						
	3	100	111	139	100	136	151	58	100	131	150	88	100	110	112						
	4	100	127	129	100	92	100	53	100	153	166	92	100	114	116						
DA	1	100	115	123	100	121	125	49	100	131	144	94	100	120	121						
	2	100	120	131	100	144	143	61	100	112	147	97	100	114	116						
	3	100	120	105	100	127	125	69	100	157	153	86	100	106	108						
	4	100	91	111	100	120	128	67	100	129	156	86	100	106	106						
	5	100	106	116	100	144	160	58	100	142	192	99	100	133	130						
	6	100	120	132	100	104	157	59	100	170	187	94	100	107	118						
	7	100	91	107	100	118	147	60	100	152	170	90	100	115	121						
	8	100	107	121	100	146	153	65	100	161	172	90	100	105	117						
AI	1	100	135	113	100	109	145	57	100	126	137	96	100	105	115						
	2	100	146	135	100	106	136	60	100	123	147	94	100	105	113						
	3	100	128	127	100	140	151	67	100	133	145	99	100	106	114						
平均値	100	113	118	100	134	148	62	100	134	141	91	100	108	116							
標準偏差	±	±12.4	±12.3	±	0	±27.0	±27.4	±	7.2	±	0	±15.3	±18.6	±	4.0	±	0	±	7.4	±	5.1

に、表-7.3~7.7の試験結果より材令4週における強度を基準として各材令における強度比(百分率)を計算した結果である。同表より明らかなように、材令による強度の伸びは強度の種別によつてかなり相違する。たとえば、モルタルの場合、曲げ強度の材令4週以降の伸び率は比較的少く、13週で平均13%、26週でも僅か18%に過ぎない。これに対して圧縮強度の伸び率は比較的大きく、それぞれ34%、48%である。プレバクド・コンクリートの圧縮強度の伸び率が注入モルタルの圧縮強度の伸び率とほぼ等しいことは当然である。プレバクド・コンクリートの配合は材令4週ないし13週における強度を目標として定められるが、13週強度を目標として配合を定める場合には4週強度は13週強度の75±10%程度とするのが適当であろう。普通コンクリートを1年間標準状態で養生した時の圧縮強度を基準とする場合、4週、13週および26週の圧縮強度はそれぞれ66、88、98%程度である⁴²⁾。上述のプレバクド・コンクリートの圧縮強度の材令による伸び率はこれとほぼ合致して居り、普通コンクリートの材令と圧縮強度とについて一般的に成立する関係はプレバクド・コンクリートの場合にも成立するものと思われる。しかし、プレバクド・コンクリートの材令による動弾性係数の伸び率は著しく小さく、プレバクド・コンクリートの動弾性係数が材令とは関係のない要素、すなわち、粗骨材の填充状態によつてかなり影響されることを示唆している。

7.7 プレバクド・コンクリートの品質管理に対する注入モルタルおよびプレバクド・コンクリート諸性質の相関性の適用

7.6a)~d)において明らかにした注入モルタルおよびプレバクド・コンクリートの諸強度相互の相関性ならびに材令と諸強度の相関性の存在はプレバクド・コンクリートの品質管理に応用する場合に極めて重要な意味を有するものと考えられる。

周知のようにプレバクド・コンクリートの施工方法の最大の特長は粗骨材とモルタルとを別個に施工する点にあり、このことはプレバクド・コンクリートの品質管理を粗骨材に関する管理と注入モルタルに関する管理とに分けて行ない得る可能性を示唆している。プレバクド・コンクリートの品質管理を以上のように分離した要素について行なう場合の問題点はそれぞれの品質の変動とプレバクド・コンクリートの品質の変動との相関性の有無に帰着するものと考えられる。多くの施工例についての調査結果^{3,4,5)}は粗骨材の品質は産出状態が一定であればほぼ一定であり、その填充状態も投入方法が一定の下ではほとんど変化しないことを示している。従つて、実際の施工条件の下においても粗骨材の品質ならびに填充状態が一定となるように管理することは比較的容易であるといえる。一方、注入モルタルの品質とプレバクド・コンクリートの品質との間には7.5、7.6において詳述したように、粗骨材の品質ならびに填充状態一定の下では、かなり明瞭な相関性が認められる。たとえば、プレバクド・コンクリートの圧縮強度は注入モルタルのそれと一次的順相関関係にあり、また両者の圧縮強度の材令による伸び率はほぼ等しい。このことは注入モルタルの配合とプレバクド・コンクリートの強度との関係より容易に予測される所ではあるが、実際の施工条件の下でもこれが確認されるならばモルタルの品質を管理することによつてコンクリートの品質を間接に、かつ効果的に管理することが可能となる。

従来より一般にコンクリートの品質管理は多くの管理要因について試験を施してこれを管理限界内に収める方向に行なわれているが、圧縮強度が最も基本的な管理要因とされている。しかし、圧縮強度を基本的な管理要因とすることは、他の要因についての管理試験結果が順調に管理中枢に報告されて新しい管理指令として還元される機構が整備されていない場合には、コンクリートの品質の事後確認にしか過ぎなくなる可能性が大きく、プレバクド・コンクリートの品質管理についても管理要因の取扱い方によつては普通コンクリートの場合と全く同様な結果が予想される。しかし、注入モルタルの諸性質とプレバクド・コンクリートの諸性質との相関性ならびに注入モルタルの使用材料および配合とその諸性質との関係に着目して、主要な管理要因として未だ固らない状態における注入モルタルの諸性質を選び、これを硬化後の強度等の要因と共に適切に管理するならばプレバク

ド・コンクリートの品質管理は容易にかつ効果的になるものと思われる。

§3 結 論

本研究ではプレバッド・コンクリートに用いる注入モルタルの諸性質に影響をおよぼす多くの要素の中から配合、使用材料および練りませ方法を取り上げ、これらの諸要素が注入モルタルの諸性質におよぼす影響について基礎的な実験を行なつて検討を加え、更に注入モルタルの諸性質とプレバッド・コンクリートの諸性質との関係について論じた。検討の対象とした注入モルタルの諸性質は流動性、ブリージング率、膨張率、保水性、凝結時間、単位容積重量、空気量、曲げ強度、圧縮強度および乾燥収縮であり、プレバッド・コンクリートについてはその圧縮強度および動弾性係数である。§4 では注入モルタルの配合を構成する最も基本的な配合比として水セメント比 $W/(C+F)$ 、フライアッシュ混和率 $F/(C+F)$ および砂セメント比 $S/(C+F)$ の変化が注入モルタルの諸性質におよぼす影響について調べた。§5においては注入モルタル材料としてのセメント、フライアッシュ、細骨材、セメント分散剤ならびにアルミニウム粉末の種類が注入モルタルの諸性質に与える影響を調べ、また分散剤率 $DA/(C+F)$ および発泡剤率 $AI/(C+F)$ の変化の影響についても検討した。§6では注入モルタルの練りませ方法を規定する要素としての練りませ直後のモルタル温度ならびに保存温度、練りませ速度、練りませ時間等の影響について論じた。最後に §7 では上述のような多くの諸要素によつて影響を受ける注入モルタルの諸性質とこれを注入したプレバッド・コンクリートの諸性質との関係について詳述した。以上の実験結果を要約すると、本研究の範囲内で次のことがい得るものと思われる。

8.1 注入モルタルの配合がその諸性質におよぼす影響について

(i) 注入モルタルには、注入作業および注入後のモルタルの粗骨材間隙への滲透の難易の観点から第一にその流動性および凝結時間が適当な範囲にあること、次いで材料分離を最小ならしめるためにブリージング率が少くかつ保水性が大きいこと、更に硬化後にプレバッド・コンクリートの所要の強度その他の性質を満たすために十分な強度を発揮すると共に乾燥収縮や単位水量ができるだけ少いことが要求される。注入モルタルのこれらの性質と配合比についての試験結果は諸性質のそれぞれが水セメント比、フライアッシュ混和率ならびに砂セメント比によつて広範囲に亘つて変化することを示している。配合比のそれぞれと諸性質との関係は必ずしも相互に矛盾せぬもののみとは限らないが、注入モルタルが最初に述べたような条件を満足するためには水セメント比、フライアッシュ混和率および砂セメント比のいずれもある範囲内になければならないことを明らかにした。これを換言すれば、これらの基本的な配合比を適当に組合わせることによつて所要の性質を備えた注入モルタルが得られることを示唆するものといえる。

(ii) 注入モルタルの流動性を表示する方法として一般に特定寸法の漏斗状水槽に一定容積の試料を満たした後、自由に流出させて全試料が流出するに要する時間、流出時間、を以て表わす方法が採用されている。本研究に用いた装置もその一種であるが、これによる場合には注入モルタルの流動性を適正に評価できる範囲は12~26 sec程度である。注入の容易さのみを問題とする場合には流出時間の少い配合ほど有利であるが、この条件は一般に他の諸性質に課せられた条件と矛盾する。たとえば、フライアッシュ混和率ならびに砂セメント比が一定の場合には上述の範囲で下限に近づくに伴つて所要水セメント比は大となり、これがブリージング率、保水性、強度、乾燥収縮などの諸性質に好ましくない影響をおよぼす。従つて流動性を除く他の諸性質を規準にして配合を定める場合には流出時間としては上限に近い値ほどよく、注入に可能な範囲で流動性が最小となることが望ましい。施工管理の観点からは配合の変化が適当な鋭感性を以て流出時間の変化として反映されるような範囲の流動性であることが必要であり、これは大体16~22sec程度である。この範囲では配合の変化を水セメント比の変化のみに限定すれば、この範囲の流出時間の変化 ± 1 secは $W/(C+F)$ の変化 $\frac{1}{2}\%$ に相当するからである。実際の

施工例では流出時間の許容範囲として 18 ± 2 secないし 20 ± 2 secとしている例が多いが、施工管理の点からは妥当な範囲と思われる。

(iii) 水セメント比と注入モルタルの諸性質との関係は極めて明瞭で、一般に水セメント比の増加は好ましくない影響をもたらす。すなわち、流動性、ブリージング率、乾燥収縮などは水セメント比にほぼ一次的に比例して増加し、保水性は減少する。凝結時間は水セメント比の増加に伴なつて遅延する。更にセメント水比 $(C+F)/W$ と圧縮強度との間には一次的順相関の関係が成立し、圧縮強度は水セメント比の増加に応じて減少する。従つて、適当な流動性が得られる範囲内で水セメント比を最小にすることは注入モルタルの配合設計における最も基本的な条件である。

(iv) 良質のフライアッシュを混入する場合、水セメント比および砂セメント比を一定とする条件の下では注入モルタルの流動性はフライアッシュ混和率の増加に応じて増大するが、これは同時にブリージング率の増加および保水性の減少をもたらす、これらの関係はいずれもほぼ直線的である。凝結時間は混和率の増加に応じてかなり遅延し、また、材令1～4週の圧縮および曲げ強度はフライアッシュ混和率の増加に応じてほぼ直線的に減少するが、材令13週の場合には混和率20～30%附近で最大強度が得られる。しかし、一般にフライアッシュを混入する場合にはその混入による流動性増加に相当する量の水セメント比を減少して、流動性を一定に保つことが行なわれて居り、フライアッシュを一種の減水剤として用いる。この場合には水セメント比の減少による効果が上述のフライアッシュ自体の混入による影響を相殺して、ブリージング率の増加や保水性の減少は認められず、凝結時間の遅延の程度は多少緩和され、混和率50%についての遅延時間は3～4時間程度となる。また1～4週強度の減少の割合は幾分少くなり、混和率10%について圧縮強度は10%程度減少する。一方、13週強度の増加はやや顕著となり、混和率20～30%附近で得られる最大圧縮強度の平均値はフライアッシュを混入せぬものの107%程度であつた。乾燥収縮は混和率の増加に応じてほぼ直線的に減少し、その割合は混和率10%の増加について8.5%程度の減少である。

以上のようなフライアッシュの混入が注入モルタルの諸性質におよぼす影響を考慮すると、フライアッシュの混入はその減水効果を利用することを条件として行なわれるべきであり、適正な混和率は長期強度の増進を考慮して定めるのが適当である。本実験では $F/(C+F)=20\sim 30\%$ が最も適当と考えられ、これは従来施工例でも多く採用されている混和率とほぼ一致する。

(v) 流動性を一定として砂セメント比を増加する場合には所要の水セメント比は砂セメント比にほぼ一次的に比例して増加し、その割合は $S/(C+F)=0.1$ の増加について $W/(C+F)=2.7\%$ 程度である。流動性を除く他の諸性質はこれによつて著しく影響され、ブリージング率は増加し、保水性および強度はほぼ直線的に減少する。圧縮強度の減少率は $S/(C+F)=0.1$ の増加について4～6%、曲げ強度のそれは2～5%程度である。乾燥収縮は水セメント比の増加にも拘わらず減少するが、これは単位セメント量の相対的な減少に基くものと思われる。流動性一定の下における砂セメント比と単位水量との関係は、 $S/(C+F)=0$ の時に最大で、0.52cc/cc附近で、 $S/(C+F)=0\sim 1.0$ の範囲では $S/(C+F)$ の増加に応じて減少し、0.40～0.44cc/cc程度にまで減少する。しかし、 $S/(C+F)=1.0\sim 2.0$ の範囲では単位水量の変化は僅少で、 $S/(C+F)=1.25\sim 1.50$ 附近で最小となる。単位水量のこのような変化は砂セメント比の選択範囲に限界を与えるもので、同比が1.0～2.0の範囲で選択されるべきことを示唆している。更にブリージング率や強度におよぼす影響を考慮すると、砂セメント比は上述の範囲で下限に近いことが望ましく、単位水量の変化を基準とすれば $S/(C+F)=1.25\sim 1.50$ 附近が適当である。しかし、その選択は配合設計の条件によつて異なるもので、一般的には $S/(C+F)=1.0\sim 1.5$ の範囲が適当と思われる。

(vi) 本研究では注入モルタルの流動性、ブリージング率および保水性と諸配合比との関係を明らかにするた

めに自由水量係数なる新しい量を導入して、 $W/(C+F)$ 、 $F/(C+F)$ および $S/(C+F)$ の変化に伴う流動性、ブリージング率および保水性の変化は基本的には自由水量係数の変化との関連において説明され、従つて自由水量係数を以て注入モルタルのこれらの性質を推定するめやすとなし得ることを示した。

自由水量係数は以下に述べる考え方に基いて求めたものである。

単位容積の注入モルタルに含まれる全水量は単位水量として表示されるが、この中のある部分はセメントやフライアッシュ、砂等の固体微粒子表面に付着して動かず、残りの水量のみが粒子間を自由に移動して流動性やブリージング率ないし保水性に影響する有効な水量であるとする。表現を簡単にするために、前者を保水量、後者を自由水量と呼ぶことにする。セメントやフライアッシュなどの鉱物質微粉末粒子の保水量については、T. C. Powers, H. H. Steinour, 山崎氏等の研究によつて既に明らかにされて居り、保水量は微粉末粒子の化学的性質や表面状態および試験溶液の性質などによつて決まるもので、試験溶液が一定の場合には微粉末粒子の固有の性質であるとされている。上記の三氏はこれに関する係数として保水係数なる量を提案している。自由水量係数は以上の保水係数に関する考え方を発展させて保水係数と固体粒子の絶対容積とから自由水量に相当する量を推定し、この量が自由水量に關係する量であるとしてこれを自由水量係数と命名したものである。

セメントないしフライアッシュの保水係数はそれぞれのペーストのブリージング試験を行なつて、ブリージング速度が0となるような極限状態におけるペーストの単位水量として求められる。従つて、ある種の微粒子の保水係数と、この保水係数を求めた時の微粉末の状態と性質を量的に表示するもの、たとえば絶対容積あるいは全表面積との關係が既知であれば任意の濃度におけるペースト中の保水量は容易に求められ、これをモルタルあるいはコンクリートの場合にも拡張して適用することが可能となる。しかし、現状ではこの關係は明らかにされてなく、保水係数が求められる過程から推して、これが微粉末の表面積の総和に關係していると推定されるのみである。ここでは保水係数は微粒子の絶対容積に一次的に比例するものと仮定して、実験により求めた各種微粒子の保水係数および配合から算出した各種微粒子のそれぞれの絶対容積とから保水量に相当する量を求め、単位水量からこれを差引いた残りの水量を以て自由水量係数としたのである。

注入モルタルの流動性、ブリージング率および保水性の各試験結果について、それぞれの配合比および諸性質との關係を検討した結果次の諸關係が明らかになった。

$F/(C+F)$ と $S/(C+F)$ が一定の場合もしくは $W/(C+F)$ と $S/(C+F)$ が一定の場合には自由水量係数は $W/(C+F)$ もしくは $F/(C+F)$ に一次的に正比例する。また $S/(C+F)$ および流動性を一定の下では自由水量係数は $F/(C+F)$ の大小によらずほぼ一定である。しかし、流動性を一定として $S/(C+F)$ を変える場合には自由水量係数は $S/(C+F)$ にほぼ比例して変化する。

$S/(C+F)$ を一定とする場合には $W/(C+F)$ あるいは $F/(C+F)$ の大小に関わりなく、流動性と自由水量係数との間には一次的順相関關係が成立し、流動性は自由水量係数の増加に応じて増加する。

$W/(C+F)$ 、 $F/(C+F)$ および $S/(C+F)$ のどの配合比の大小にも關係なく、自由水量とブリージング率との間には一次的順相関關係が成立し、ブリージング率は自由水量係数の増加に応じて直線的に増加する。

$W/(C+F)$ 、 $F/(C+F)$ および $S/(C+F)$ のどの配合比の大小にも關係なく、自由水量係数と保水性との間には一次的逆相関關係が成立し、保水性は自由水量係数の増加に応じて直線的に減少する。流動性を一定として $F/(C+F)$ を変える場合には、自由水量係数は $F/(C+F)$ の大小に関わりなくほぼ一定となり、従つて保水性もほぼ一定となる。

以上に述べた諸關係は注入モルタルの流動性、ブリージング率および保水性の変化が自由水量係数の変化に基づくものであるとした基本的な考え方が一般に成立することを意味し、同時に本研究で定義した自由水量係数が自由水量に關係する量として適当であることを示すものと解される。流動性を一定として $S/(C+F)$ を変える場合

には例外的に自由水量係数は一定とならないが、これは砂粒子がセメントやフライアッシュとは物理的に全く性質を異にし、流動状態にあつては粒子の摩擦抵抗が液状体のセメントないしフライアッシュペーストの内部摩擦すなわち粘性とは異質的作用をおよぼすことによるものと考えられる。注入モルタルが流動状態にない場合の性質であるブリージング率ないし保水性に関しては $S/(C+F)$ に関わりなく自由水量係数の考え方を適用できることは以上の説明を裏付けるものであろう。

8.2 使用材料の品質等が注入モルタルの諸性質におよぼす影響について

(i) 注入モルタルの諸性質はセメントの種類やフライアッシュの品質によつてかなり影響されるが、影響の程度はセメントないしフライアッシュの種類や品質によつて相違するものようである。

B種高炉セメントを用いる場合、所要の水セメント比は普通セメントに良質のフライアッシュを高炉スラグと同率だけ混入したものとほぼ同等であり、保水性やブリージング率についても明瞭な相違は認められない。1週強度はフライアッシュと普通セメントとを併用したものに比較して多少大きい程度であるが、強度の増進率は大きく、4週で普通セメントのみの配合とほぼ同等の強度を示し、13週では更に20%程度の増加が認められ、早期高強度を必要としない建造物の施工には効果的である。

B種フライアッシュセメントを用いた配合は普通セメントにフライアッシュセメントと同率のフライアッシュを混入したものをを用いた配合と比較して、所要水セメント比には著しい相違は認められないが、保水性および膨張率はかなり大きく、ブリージング率は $\frac{1}{2}$ 以下であつた。また3日ないし4週の早期圧縮強度も概して大きく、フライアッシュセメントが注入モルタル材料としてかなり有利であると認められた。

セメント自体の物理的ないし化学的性質の差の比較的少い三社の普通セメントを用い、同一配合で比較した結果は、流動性や曲げおよび圧縮強度の点でかなりの相違が認められ、圧縮強度の最大値と最小値との差は20%程度に達して居り、使用に先立つて試験を行なうことの重要性を示唆している。

頁岩を焼成した後微粉碎したポゾランとフライアッシュを配合一定の条件の下で試験した結果は、頁岩ポゾランを用いたモルタルの流動性はかなり減少するが、1～4週強度はフライアッシュを用いたものに較べて十数%程度増加した。しかし、13週強度は逆に十数%減少し、両者を流動性一定の条件の下で比較すればフライアッシュの減水効果により初期強度の有利な差はかなり減少し、長期強度の不利な差は逆に増加するものと考えられ、頁岩等の鉱石を微粉碎せるポゾランはフライアッシュに比較して有利であるとはいひ難い。

風化したセメントを用いた注入モルタルの流動性、保水性、膨張率等は風化しないセメントに比較して著しく減少し、所要の水セメント比やブリージング率は風化の程度が増大する程増加し、更に圧縮強度は逆に減少する。

(ii) 注入モルタルの流動性は細骨材の粗粒率の増加に応じて増加し、粗粒率が同等であれば粒度分布の状態の相違は流動性にほとんど影響しない。しかし、粒径が2.5mm以上の粗粒をかなり含む砂および0.15mm以下の細粒を大量に含む砂は粗粒率の適否に関わりなく注入モルタル用の細骨材として不適當である。前者は粗粒子の沈澱分離の傾向が著しく、後者はモルタルの粘糊性を増して所要水セメント比を極端に大きくするからである。

標準とする注入モルタルの流出時間が20sec、平均の粗粒率が2.0程度の場合、粗粒率の変化 ± 0.1 に対して流動性を一定に保つに要する水セメント比の変化は $W/(C+F) = \mp 1\%$ 程度であり、プレバクド・コンクリートの施工における細骨材の粗粒率の変化の許容範囲としては ± 0.1 程度が適當と考えられる。

(iii) セメントやフライアッシュの分散ないし空気連行による減水効果を主とすると考えられるセメント分散剤4種(非イオン界面活性剤、陽イオン界面活性剤、陰イオン界面活性剤および两性イオン界面活性剤各1種)およびAE剤2種を用いて、これらの混和剤の種類ならびにその使用量が注入モルタルの諸性質におよぼす影響を検討した結果はその影響の程度が単に混和剤の種類によるだけでなく、セメントの種類やモルタルの配合および材令、更に混和剤の使用量によつてもかなり相違し、混和剤の効果は必ずしも安定したものではないことを示し

ている。

所要水セメント比に関してはセメントの種類によらず顕著な減水効果を有したものは僅かに1種に過ぎず、他の1種は普通セメントに対してのみ減水効果が認められ、残りの4種は減水効果を示さぬかもしくは逆に所要水セメント比を増加する傾向さえ示している。

減水効果の認められる混和剤を用いた配合の保水性は増加したが、これの認められぬ混和剤を用いた配合では保水性は一律に減少し逆にブリージング率は増加している。

6種の混和剤のそれぞれを用いた注入モルタルの空気量は混和剤の使用量の多少によらず極めて少く、試験結果より空気連行効果が最大と判断されたAE剤の場合にも空気量は1%に達せず、これらの混和剤の空気連行効果ないし空気連行による減水効果はほとんど期待し得ない。

圧縮強度が最大となるような混和剤の使用量はセメントの種類ならびに材令によつても相違するが、その最大公約数を求めることによつて混和剤の最適使用量を推定することができる。しかし、所要水セメント比、ブリージング率ないし保水性は混和剤の使用量と無関係にほぼ一定かもしくは使用量に応じて単調に増加ないし減少し、この面から混和剤の最適使用量を定めることは困難である。圧縮強度の点から推定した最適使用量は6種のうち、4種については1.0Rが得られ、他の2種についてはそれぞれ0.5Rおよび1.5Rが得られた。ここでRとは普通コンクリートの場合に標準使用量として推奨されている量であつて一般にセメントとフライアッシュの重量和(C+F)に対する重量百分率で表示している。

上述のように推定された最適使用量の場合の圧縮強度比(混和剤を全く用いない場合の圧縮強度に対する百分率)を比較すると、減水効果の確認された混和剤の使用による圧縮強度の増加は比較的安定して居り、一方負の減水効果(所要水セメント比を増加)の認められた混和剤の使用による圧縮強度の減少は著しい。また、減水効果の認められない混和剤の使用による強度の増減は不安定である。混和剤の減水効果と圧縮強度の増減との間に明瞭な相関関係を見出すことは困難であるが、顕著な減水効果を有することは安定した圧縮強度の増加を期待するための必要条件であると思われる。

この試験に用いた6種の混和剤のいずれも普通コンクリートには比較的広く用いられ、その効果も認められているものであるが、注入モルタルに用いる混和剤として確実な効果を有するものは僅かに1種に過ぎず、他の1種は特定の種類のセメントのみに有効であり、残りの4種の効果は極めて疑わしい。従つて注入モルタルに用いる混和剤の効果の判定はコンクリートによる試験のみでは不十分であつて、実際の施工に使用する材料を用いた注入モルタルによる試験によつて行なわれねばならない。

(iv) 注入モルタルに用いるアルミニウム粉末による膨張効果は粉末粒子の形状によつて著しく相違し、鱗片状以外のもの、たとえば粒状、針状、アトマイズド状等のものは全く膨張効果をもたないことが明らかにされている。しかし鱗片状のアルミニウム粉末であつても、すべてのものが同等の膨張効果を有するものではなく、その種類によつて膨張効果にかなりの相違が認められる。鱗片状アルミニウム粉末10種について比較試験した結果は化学成分が不明なもの1種ならびに粒度分布が比較的粗で油脂分の少い2種を用いた注入モルタルの膨張率が他と比較して小さく、あるいは、ブリージング率が大きく、注入モルタル用としては必ずしも適当でないことを示している。従つて、膨張効果のほぼ同等と目される残りの7種の粉末に共通した条件、アルミニウムの純度が99%以上であること、有効径が 15μ 程度以下であること(標準網フルイ 44μ をほぼ完全に通過すること)、油脂分含有量が2%程度であること、などは注入モルタル用アルミニウム粉末の品質を規定する必要条件と考えられる。

8.3 練りませ方法が注入モルタルの諸性質におよぼす影響について

(i) 注入モルタルの流動性、ブリージング率、膨張率等の諸性質は練りませ温度ないし練りませ後の保存温度によつてかなり影響される。

注入モルタルの流動性はモルタル温度の上昇に伴なつて減少し、その程度は硬練りである程、また高温である程著しく、セメントの水和作用に起因するものと思われる。

注入モルタルの保水性は温度の上昇によつて増加する傾向を示しているが、練りませ温度が 18~26°C の範囲では上述の傾向は余り顕著なものではない。

膨張率ならびにブリージング率は練りませ温度のみでなく保存温度によつても著しく異なり、更に練りませ後の経過時間によつてもかなり相違する。これはモルタル温度、アルミニウム粉末の反応速度、モルタルの凝結時間およびブリージング水の再吸収などが相互に影響する結果生ずるもので、現象的には次のような傾向が認められる。

練りませ温度が 18~26°C の範囲では、3 時間後および 24 時間後の膨張率は練りませ温度の上昇に応じて減少する傾向を示し、この傾向は保存温度の高低 (3~32°C) および発泡剤率の多少 ($AI/(C+F) = 0 \sim 0.03\%$) に関わりなく共通の現象として認められる。保存温度と練りませ 3 時間後の膨張率との関係は極めて明瞭で、膨張率は保存温度に比例して直線的に増加する。しかし、24 時間後の膨張率は凝結やブリージング水の再吸収過程の遅速によつて変化し、練りませ温度が低く発泡剤率も少い場合には保存温度の上昇と共に減少し、発泡剤率が多い場合には練りませ温度の高低によらず保存温度の上昇に応じて増加する傾向を示している。

練りませ 3 時間後のブリージング率は練りませ温度の上昇に伴なつて減少するが、保存温度の高低による差は余り明瞭でない。練りませ 24 時間後のブリージング率は練りませ温度および保存温度が高い程少い。これはモルタル温度の高いほど凝結が速やかに進行し、ブリージングの継続時間が短く、またブリージング水の再吸収の進行速度も大きいことによるものと思われる。

(ii) 回転軸が混合槽内で多少偏心した位置に取付けられ、モルタルが混合槽内で回転運動のみでなく上下運動をも行なうような構造のミキサの場合には、注入モルタルの流動性は練りませ速度の増加に応じて増加し練りませ所要時間を短縮することができる。しかし、回転数が数千回転以上となるような過大な練りませ速度の場合にはモルタル温度も上昇し、これによる流動性の減少が高速練りませによる流動性増加を相殺する。高速練りませによる流動性の増加はセメントやフライアッシュの機械的分散に基くものと考えられ、これをセメント分散剤の使用と併用することは水セメント比ないし単位水量の減少に対して効果的である。

(iii) 一般に注入モルタルの流動性は練りませ時間の増加と共に増大するが、練りませが長時間に亘るとモルタル温度の上昇による流動性の減少が著しくなつて流動性は逆に減少する。流動性が最大となる練りませ時間はミキサの構造や練りませ速度およびモルタルの配合によつて異なるが、練りませ速度の次なる程、また水セメント比の小なる程短いものようである。高速練りませを長時間に亘つて継続することはモルタルの温度上昇、流動性の減少、アルミニウム粉末の過早反応等をもたらすもので有害である。

モルタルを比較的低速で長時間練りませる場合、流動性、膨張率およびブリージング率は練りませ時間の増加に応じて減少するが、圧縮強度は増加する。従つて、低速による長時間練りませは全く有害であるとはいえないが、流動性および膨張率の減少は注入圧力の増大、モルタルの滲透状態の不良ないしモルタルと粗骨材の付着の不完全、等をもたらす可能性があり、これを避けるのが望ましい。

8.4 注入モルタルの配合ならびに諸性質がプレバクド・コンクリートの諸性質におよぼす影響について

(i) 粗骨材の種類や填充状態が一定ならば、プレバクド・コンクリートの圧縮強度ならびに動弾性係数は注入モルタルの配合によつて影響されるが、影響の程度は圧縮強度と動弾性係数とはかなり相違する。

注入モルタルのセメント水比 $(C+F)/W$ とプレバクド・コンクリートの圧縮強度との間には一次的順相関関係が成立し、圧縮強度は $(C+F)/W$ の増加に応じて直線的に増加する。 $(C+F)/W$ と動弾性係数の間にも圧縮強度の場合とほぼ同様な関係が成立する。 $(C+F)/W$ と動弾性係数との比例関係は短期材令では明瞭であ

るが、13～26週の長期材令では相関性が多少減少し、動弾性係数は $(C+F)/W$ の大小によらずほぼ一定の値に近づく傾向を示している。

注入モルタルに適量のフライアッシュを混入する場合、プレバクド・コンクリートの長期強度はフライアッシュを全く混入せぬものと比較してかなり増加する。しかし、過量のフライアッシュを混入する場合には寧ろ減少する。13～26週の長期強度の増進に最も適したフライアッシュ混和率は $F/(C+F)=20\%$ の附近にあるものと思われる。プレバクド・コンクリートの動弾性係数はフライアッシュの混入によつてほとんど変化しないが、これが過量の場合には動弾性係数は数%程度減少する。

プレバクド・コンクリートの圧縮強度ならびに動弾性係数はいずれも砂セメント比の増加に応じてほぼ直線的に減少する。砂セメント比の増加による圧縮強度の減少量は、砂セメント比の増加によるセメント水比の減少から予想される強度の減少量に相当する。動弾性係数と砂セメント比との直線的な関係は短期材令ではかなり明瞭であるが、材令の長期化に伴なつて動弾性係数は砂セメント比の大小に関わりなくほぼ一定の値に近づく傾向がある。

ポゾリス No. 8 を使用する場合、プレバクド・コンクリートの圧縮強度は $P_{0.8}/(C+F)=0.25\sim 0.375\%$ の附近で最大となり、増加率はポゾリスを混入しないものに較べて10%程度である。しかし、ポゾリスNo. 8 の混入は動弾性係数に関しては認め得る程の影響をおよぼさず、特に長期材令の場合にはほとんど影響しないといつてよい。

適量のアルミニウム粉末を使用する場合、プレバクド・コンクリートの圧縮強度はアルミニウム粉末を全く混入しないものに較べて数%増加する。しかし、 $Al/(C+F)=0.02\%$ 以下では動弾性係数に関してはアルミニウム粉末混入の影響はほとんど認められない。

(ii) 注入モルタルの配合とプレバクド・コンクリートの諸強度との関係からも推測できるように、注入モルタルおよびプレバクド・コンクリートの諸強度相互間には密接な相関性が成立する。

注入モルタルの曲げ・圧縮強度比と圧縮強度との間には一次的逆相関関係が成立し、曲げ・圧縮強度比は圧縮強度の増加に応じて直線的に減少する。

注入モルタルの圧縮強度とプレバクド・コンクリートの圧縮強度の間には一次的順相関関係が成立し、一般に $\sigma_{pc} = \rho\sigma_{mc} - q$ なる式で表わすことができる。

プレバクド・コンクリートの圧縮強度と動弾性係数との間には、 $\sigma_{pc}=50\sim 450\text{kg/cm}^2$ の範囲では、一次的順相関関係が成立し、 $E_d = \rho\sigma_{pc} + q$ なる式で表わすことができる。しかし、 E_d の値が $3.0\sim 4.5\times 10^6\text{kg/cm}^2$ であるのに対し、 q の値は $3.0\times 10^6\text{kg/cm}^2$ に近く、動弾性係数が圧縮強度によつて影響される程度は比較的少い。

注入モルタルとプレバクド・コンクリートの材令と諸強度との間にはほぼ一定の関係が認められ、注入モルタルの圧縮強度の材令による伸び率はプレバクド・コンクリートのそれとほぼ等しく、またプレバクド・コンクリートの伸び率は普通コンクリートの伸び率として一般に認められている値とほとんど一致する。しかし、プレバクド・コンクリートの動弾性係数の伸び率は著しく小さく、動弾性係数が材令とは無関係の要素、たとえば粗骨材の種類や填充状態によつてかなり影響されることを示している。

(iii) 注入モルタルの配合とプレバクド・コンクリートの諸強度ないし注入モルタルとプレバクド・コンクリートの諸強度相互間に明瞭な相関性が成立することは、この関係を適用することによつてプレバクド・コンクリートの品質管理を容易で効果的な方法で間接的に行ない得る可能性を示すものといえる。

引 用 文 献

- 1) 赤塚雄三, "プレバクド・コンクリート工法に関する資料調査報告(第一報)", 港湾技研資料, No. 3, P. 33~53, 1963年6月
- 2) 樋口芳朗, "プレバクド・コンクリートについての調査と考察", 鉄道技術研究所速報, No. 63~331, P. 1~36, 1963年12月
- 3) 赤塚雄三, 佐藤善一, "プレバクド・コンクリート工法に関する資料調査報告(第二報)", 港湾技研資料, No. 6, P. 1~75, 1964年3月
- 4) 赤塚雄三, "プレバクド・コンクリート", 日本セメント技術協会, コンクリートパンフレット, No. 75, P. 1~135, 1964年8月
- 5) 赤塚雄三, 佐藤善一, "プレバクド・コンクリート施工例集", 港湾技研資料, No. 13, 1964年12月
- 6) 板倉忠三, 菅原忠雄, 館谷 清, 和田輝義, "イントリビュージョン・プレバクド工法に関する基礎研究", セメント技術年報, 7巻, P. 298~302, 1953年
- 7) 永倉 正, "プレバクドコンクリート予備実験: アルミニウム粉末のセメント, モルタル, コンクリートに与える影響について", 電力技術研究所報, 4巻1号, P. 1~8, 1954年3月
- 8) 永倉 正, 村野玄一, "注入コンクリート試験報告", 電力技術研究所報, 5巻3.4号, P. 31~52, 1955年9月
- 9) 関 慎吾, 永倉 正, "七宗ダム修繕工事(水中プレバクド・コンクリート)について", 電力技術研究所報, 6巻4.5号, P. 16~31, 1956年
- 10) 近藤時夫, 杉山道行, "注入コンクリート用モルタルの諸性質", 鉄道技術研究所速報, 57~99, 1957年8月
- 11) 久保直志, "注入コンクリート工法におけるコンクリートとグラウトの圧縮強度の関係について", 工学研究, 7巻7号, P. 290~292, 1958年7月
- 12) 岡部 保, 赤塚雄三, "注入モルタルの配合の変化が流動性におよぼす影響に関する研究", 運輸技術研究所報告, 9巻7号, P. 9~25, 1959年8月
- 13) 木庭宏美, 善 一章, 赤塚雄三, "プレバクド・コンクリート用注入モルタルの性質に関する港湾建設局共同研究", 運輸省港湾局計画設計室報告, P. 1~67, 1961年12月
- 14) 樋口芳朗, "微細な空隙填充のためのセメント注入における混和材料に関する研究", 土木学会論文集, No. 81, P. 27~50, 1962年5月
- 15) 赤塚雄三, "小名浜, 中之作両港建設工事に用いられる注入モルタルの配合設計について", 港湾技術研究所報告, 2巻2号, P. 1~24, 1963年6月
- 16) 岩崎訓明, "プレバクド・コンクリートの施工法に関する基礎的研究", 土木学会論文集, No. 98, P. 26~40, 1963年10月
- 17) 山崎寛司, "鉱物質微粉末がコンクリートのウォーカビリティーにおよぼす効果に関する基礎的研究", 土木学会論文集, No. 84, P. 98~120, 1962年8月
- 18) Powers, T. C., "The Bleeding of Portland Cement Paste, Mortar and Concrete." Research Laboratory of the Portland Cement Association, Bulletin No. 2, pp.1-160, Appendix A. pp.1-7, July 1939
- 19) 赤塚雄三, "注入モルタルの流動性測定について", 土木学会誌, 48巻5号, P. 71~73, 1963年5月
- 20) 赤塚雄三, "注入モルタルの保水性試験方法", セメントコンクリート, No. 196, P. 21~26, 1963年6月
- 21) 赤塚雄三, "注入モルタルの試験方法に関する研究", 港湾技術研究所報告, 2巻1号, P. 21~65, 1963年

6月

- 22) 猪股俗司, "プレストレストコンクリート用グラウトの研究", セメントコンクリート, No. 138, P. 22~29, 1958年8月
- 23) 土木学会編, "プレストレスト・コンクリート設計施工指針", P. 103~117, 1961年8月
- 24) ASTM C91-60, "Standard Specification for Masonry Cement," ASTM C110-58, "Standard Methods of Physical Testing of Quicklime and Hydrated Lime."
- 25) Prepakt-Concrete, Inc., "Method of Test to Determine Water Retentivity of Freshly Mixed Intrusion Mortar," General Specification for Prepakt-Concrete, 1955 Edition
- 26) Steinour, H. H., "Further Studies of Bleeding of Portland Cement Paste," Portland Cement Association Research Bulletin, No. 4, pp. 1-88, December 1945
- 27) Gonnerman, H. F., and E. C. Shuman, "Compression, Flexure, and Tension Tests of Plain Concrete, Proc. ASTM, Vol. 28, Pt. II, pp. 527-573, 1928
- 28) Carlson, Roy W., "Drying Shrinkage of Concrete as Affected by Many Factors," Proc. ASTM, Vol. 38, Pt. II, pp. 419-437, 1938
- 29) Concrete Manual, U. S. Bureau of Reclamation, 6th Edition, p. 365, 1956
- 30) 赤塚雄三, 有吉保憲, "プレバッド・コンクリートの圧縮強度試験供試体の製作方法に関する研究", 港湾術技研究所報告, 2巻1号, P. 1~19, 1963年6月
- 31) 中条金兵衛, "フライアッシュ・セメントの膨張収縮について", 土木学会論文集, No. 71, 別冊4~3, P. 29~34, 1960年12月
- 32) 木庭宏美, 有吉保憲, "プレバッド・コンクリート工法における粗骨材空隙中のモルタルの流動と粗骨材の粒径について", 運輸技術研究所報告, 11巻5号, P. 15~26, 1961年5月
- 33) ASTM, "Report on Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Aggregates," ASTM Committee C-9, 1st Edition, 1935, 123 pp., 2nd Edition, 1943, 171 pp., 3rd Edition, 1955, 387 pp.
- 34) 吉田徳次郎, "コンクリートおよび鉄筋コンクリート施工方法", 丸善KK, P. 122, 1956年版
- 35) 赤塚雄三, "混和剤がコンクリートの圧縮強度, 乾燥収縮および亀裂傾向におよぼす影響について", 港湾技研資料, No. 7, P. 10~20, 1964年2月
- 36) ASTM C494-63T, "Chemical Admixtures for Concrete,"
- 37) ASTM C42-61, "Securing, Preparing, and Testing Specimens from Hardened Concrete for Compressive and Flexural Strengths,"
- 38) Concrete Manual, U. S. Bureau of Reclamation, 6th Edition, pp. 460-462, 1956
- 39) 奥島正一, 小坂義雄, "コンクリートの弾性係数に関する研究", 日本建築学会研究報告, 31号, 1955年5月
- 40) Long, Bartlett G., Henry J. Kurtz, Thomas A. Sandenaw, "An Instrument and a Technic for Field Determination of the Modulus of Elasticity and Flexural Strength of Concrete," ACI Proc., Vol. 41, pp. 217-232, January 1945
- 41) 坂 静雄, "コンクリートの静弾性係数と動弾性係数", セメント技術年報, 8巻, P. 322~325, 1954年
- 42) Gilkey, H. J., "The Moist Curing of Concrete," Engineering News Record, Vol. 119, pp. 630-633, October 14, 1937
- 43) Kozeny, J., "Die Wasserbewegung", Wasserkraft und Wasserwirtschaft, Heft 22, 1927

港湾技術研究所報告 第3卷6号

1964年11月

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市川間162

印刷所 中和印刷株式会社
東京都中央区入船町2の3