

港湾技術研究所報告

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

第2巻 1号

Vol.2 No.1

プレバツクド・コンクリートの圧縮強度試験用

供試体製作方法に関する実験的研究..... 赤塚雄三

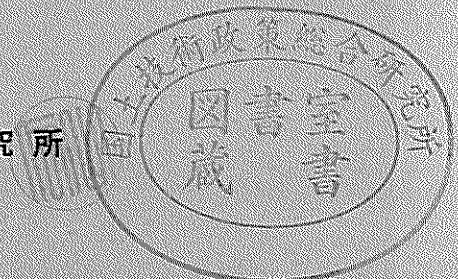
附：プレバツクド・コンクリートの圧縮強度試験方法(案) 有吉保憲

注入モルタルの試験方法に関する研究..... 赤塚雄三

附：注入モルタル試験方法(案)

1963年6月

運輸省港湾技術研究所





次

プレパックド・コンクリートの圧縮強度試験用供試体製作方法に関する実験的研究…………… 1
 附：プレパックド・コンクリートの圧縮強度試験方法（案）

§1. 供試体製作方法に関する考察…………… 2
 1-1 概 要…………… 2
 1-2 圧縮強度試験方法に必要な条件…………… 3
 1-3 プレパックド・コンクリートの打込み方法…………… 3

§2. 実験の目的と概要…………… 4

§3. 実験の方法(Ⅰ)——一般的事項…………… 5
 3-1 供試体の形状寸法と型枠…………… 5
 3-2 組骨材の調整と填充方法…………… 5
 3-3 注入モルタル…………… 6
 3-4 モルタルポンプ…………… 7
 3-5 供試体の製作および養生条件…………… 7
 3-6 圧縮強度試験…………… 7

§4. 実験の方法(Ⅱ)——注入方法…………… 8
 4-1 ポンプによる注入…………… 8
 4-2 “流し込み方法”による注入…………… 9

§5. 実験結果と考察……………10
 5-1 注入速度と施工条件について……………11
 5-2 2段積型枠による結果について……………12
 5-2-1 ブリージングの影響……………13
 5-2-2 骨材浮上りの影響……………13
 5-3 事後注入の加圧について……………13
 5-4 普通型枠による結果について……………15
 5-5 各種注入方法による強度の比較……………15
 5-6 注入モルタルの圧縮強度……………16

§6. 結 論……………17

§7. 摘 要……………18

附：プレパックドコンクリート圧縮強度試験方法（案）……………18
 謝 辞……………19
 参 考 文 献……………19

注入モルタルの試験方法に関する研究……………21
 附：注入モルタル試験方法（案）

§1. 序 論……………22

§2. 試験用注入モルタルの練り混ぜ方法	23
2-1 概 要	23
2-2 試験用ミキサ試作の経過	23
2-3 試験用ミキサの性能試験	24
2-4 結 論	27
§3. 流動性試験方法	28
3-1 概 要	28
3-2 流動性試験方法の原理	28
3-3 流出量と吐出管長に関する実験	29
3-4 測定誤差などに関する検討	30
3-5 注入モルタルの流動性測定例	31
3-6 結 論	32
§4. 保水性試験方法	32
4-1 概 要	32
4-2 実験で用いた保水性試験方法	33
4-3 試験方法に関する検討	35
4-4 保水性試験装置に関する検討	41
4-5 結 論	42
§5. ブリージング試験方法	43
5-1 概 要	43
5-2 メスシリンダー方法について	44
5-3 メスシリンダー方法による実験	44
5-4 実験結果の検討	47
5-5 結 論	48
§6. 空気量試験方法	48
6-1 概 要	48
6-2 比較した3種の試験方法	48
6-3 比較実験	49
6-4 実験結果の検討	51
6-5 結 論	52
§7. 凝結試験方法	52
7-1 概 要	52
7-2 ビカー針装置の適用性	53
7-3 注入モルタル凝結試験の一例	54
7-4 結 論	55
§8. 強度試験方法	56
8-1 概 要	56
8-2 供試体の形状	56

8-3 数種の形状寸法の供試体による注入モルタルならびにプレパツクド・コンクリートの 強度試験結果	57
8-4 供試体の製作方法	59
8-5 結 論	59
謝 辞	59
参 考 文 献	59
注入モルタル試験方法（案）	61
1 章 試験用注人モルタルの練り混ぜ方法	61
2 章 流動性試験方法	62
3 章 保水性試験方法	63
4 章 ブリージング率試験方法（メスシリンダー方法）	63
5 章 空気量試験方法	64
6 章 凝結試験方法	65
7 章 強度試験方法	65

プレパツクド・コンクリートの圧縮強度試験用供試体 製作方法に関する実験的研究

附：プレパツクド・コンクリートの圧縮強度試験方法(案)

赤塚雄三*

有吉保憲**

Study on Method of Making Compression Test Cylinders of Prepacked-concrete in the Laboratory and Field

Yuzo Akatsuka, B. Sc. M. Sc., JSCE Member

Yasunori Ariyoshi, B. Sc, JSCE Member

Synopsis

Reported herein are the results of study on the method of making compression test specimens of prepacked concrete. In many cases the tests on intrusion-mortar or prepacked concrete have been performed in accord with the General Specification for Prepacked-Concrete, sometimes introducing modifications to it when necessary. As recognized generally, however, the specification is considered inadequate or inappropriate in some cases to be applied to prepacked concrete, if not necessarily to Prepacked Concrete, and the method of making test specimens is regarded as one of the cases. At present the specimens are manufactured by pumping the mortar into the molds prefilled with coarse aggregate soaked in water. However it has not yet been guaranteed if it is the best method to prepare the reliable and representative samples of prepacked concrete to be tested for compressive strength.

Since the pumping method requires certain types of heavy molds and equipments, the studies of prepacked concrete have been conducted in a limited number of well-equipped experimental stations or laboratories. To provide more representative and reliable samples of prepacked concrete and also to promote the studies on it at the same time, the simpler method of making the specimens is desirable if it will yield the equivalent test results to those by the present practice of pumping.

From this point of view, the authors discussed the requirements for making test specimens of prepacked concrete, investigated the effects of some factors accompanied in the pumping method upon the compressive strength of the concrete, and tried alternative methods of making cylinders using conventional type of steel or cast iron molds employed for casting ordinary concrete cylinders in laboratory as well as in field. The authors conclude that the following method can be employed as the alternative, which does not require any special mold or equipment except those required for casting ordinary concrete cylinders with the equivalent results to those by other methods.

Suggested Method of Molding Compression Test Specimens of Prepacked Concrete

* 構造部 材料施工研究室 : Research Engineer, Materials Laboratory

**元研究員

1. The molds for casting prepacked concrete cylinders shall be steel or cast iron molds which meet with the requirements in the Japan Industrial Standard A 1108-1950.
2. The coarse aggregate shall be of saturated-surface-dry condition. Before coarse aggregate is preplaced, the split cylinder shall be closed tight by bolts or clamps.
3. The test specimens shall be formed by placing the coarse aggregate and intrusion-mortar in the mold in three layers of approximately equal volume. In placing each layer of the aggregate and mortar, the following procedures shall be taken.
 - i) The coarse aggregate shall be placed in the mold and rodded with 25 strokes of the tamping rod. The strokes shall be distributed uniformly over the cross-section of the mold and shall penetrate into the underlying layer. The bottom layer shall be rodded throughout its depth.
 - ii) After each layer of the coarse aggregate has been rodded, the intrusion-mortar shall be poured over the aggregate preplaced from the top of the mold. Pouring of the mortar shall be continued until the layer is filled and the surface of the poured mortar appears atop the preplaced aggregate. The pouring of the mortar shall then be stopped and the sides of the mold shall be tapped with a mallet 20 times in order to insure the voids of the prepacked aggregate be completely filled with the mortar.
 - iii) The next layer of the aggregate and mortar shall then be placed in the same manner as specified above.
4. After the top layer has been placed, the surface of concrete shall be leveled off and covered with a glass plate or metal plate to prevent evaporation. On the top of the plate a proper weight shall be placed to restrain expansion of the prepacked concrete during the hardening period.^(α)

Note α): A weight of approximately 12 kg or an old concrete specimen of $\phi 15 \times 30$ -cm is considered sufficient for the specimen of $\phi 15 \times 30$ -cm to restrain the expansion.

§1 供試体製作方法に関する考察

1-1 概 要

一般に構造材料の強度はその試験方法によつて異なるため、強度の比較を行うには試験方法によつて生ずる相違を取除くことが必要である。一般的な工業材料について標準的な材料試験方法が定められていることの目的の一つはこのような比較に関する共通の基盤を与えることにあると考えられる。コンクリートの場合も例外でなく、供試体の製作や養生などの方法から試験値の処理の仕方に至るまで、同一の試料について得られる結果に影響を与えるような要素については、標準とする方法が定められている。しかしこれは普通の施工法によるコンクリートに関してだけであつて、特殊な施工法によるコンクリートについては標準方法が定められていない場合もある。プレバツクド・コンクリートの場合はその一例である。すなわち、プレバツクド・コンクリート工法によつて作られたコンクリートの強度試験については標準とすべき試験方法が未だ確定されていない。これには普通コンクリートに較べて、工法が導入されて以来日も浅く資料も充分でないと思つた理由もあると思われる。同工法

が水中コンクリートの最も信頼度の高い施工法として港湾構造物や海岸構造物の施工に広く使用され、しかも単にケーソンの中詰や防波堤の方塊と云つたように容積が大きく設計応力度が比較的小さい断面にのみで、鉄筋コンクリートの重要な断面にもその応用が期待されている今日では、強度試験方法の標準化は同工法の発展上重要な意義をもつものである。

普通コンクリートに関しては一般に標準試験方法による比較的小さな供試体について得られた強度は構造物中のコンクリートの強度を正確に表わすものではないが、構造物への直接載荷試験あるいは構造物から採取した試験料についての試験結果が標準試験方法による強度よりも一般に大きい値を示している所から標準試験方法は実際よりも控え目の値を出すものであり、従つて構造物の設計および施工管理の実用的な目的には十分な精度を有するものと考えられている。プレパクド・コンクリートに関しては資料が乏しいので断定できないが、施工管理が入念に行われた場合には普通コンクリートの場合とほぼ同様な結果が得られることを示す実験例²⁾もあり、寸法の小さい供試体による強度試験によつて構造物中のコンクリート強度をほぼ適確に推定し、設計や施工管理の資料となし得るものと思われる。

プレパクド・コンクリートの施工は水中コンクリートのみとは限らないが、仮に水中施工のみを考慮の対象とすれば養生条件は一般に陸上施工の場合よりも有利である。注入モルタルは一般に水との親和性に乏しく、注入が静水中で行われ、注入速度が適度で、かつ粗骨材の粒度と填充方法によつて決まるモルタルの渗透係数が一定の場合にはモルタルと水との自由界面に乱れが生ずることは極めて少ない³⁾。従つて注入管の配管、粗骨材の粒度と填充方法、モルタル注入速度、漏洩防止、型枠上面附近での事後注入などが適正に行われる場合には注入モルタルが水によつて希釈される事が少なく、ほぼ一様なコンクリートが期待されるものと思われる。

換言すればプレパクド・コンクリートの場合には標準試験方法による試験結果が構造物への直接載荷試験あるいは構造物より採取した供試体についての試験結果より大きい強度を示すか否かは今後の研究によらねばならないが、両者の間に何等かの一般的な相関性を見出すことは可能であり、それによつて標準試験方法による試験結果の設計ないしは施工管理資料としての適用範囲も自ら定まるものと考えられる。

1-2 圧縮強度試験方法に必要な条件

プレパクド・コンクリートが普通コンクリートと特に相違している点は、(1)粗骨材とモルタルとを分離して用いる事、(2)モルタルにアルミニウム粉末のような発泡剤が含まれている事、に要約される。アルミニウム粉末混入の目的はモルタルに膨張性を与えることにある。従つて粗骨材とモルタルを分離して用いることによつて果される効果ならびにモルタルの膨脹効果を阻害せぬことがプレパクド・コンクリートの圧縮強度試験方法に必要なとされる第一の条件である。換言すれば、上述のプレパクド・コンクリートのみが有する効果ないしは機能と無関係の要素は普通コンクリートについて定められている圧縮強度試験方法に準じた方法で試験する事が一般的な材料試験の目的に合致するものと云える。このような観点より現行の“コンクリートの圧縮強度試験方法(土木学会規準34章、JIS A1108—1950)”のプレパクド・コンクリートの適用が不合理であるか、あるいは適用に疑念が抱かれる点は供試体の寸法、供試体の製造用器具、コンクリートの打込みの点に絞られる。

供試体の寸法に関しては前項において指摘したように特殊な条件は必要とされず、むしろ粗骨材の最大寸法によつて決められるべきものと考えられる。供試体の製造用器具、特に型枠とコンクリートの打込み方法はプレパクド・コンクリート工法の機能と結びつき、ある種の打込み方法、例えばポンプによる注入方法では自らその方法に適した型枠が必要とされる。従つて以下においては供試体の製造用器具とコンクリートの打込み方法とを同時に考察の対象とし、他の諸点については普通コンクリートの圧縮強度試験方法の規定をそのまま準用することができるものと仮定する。

1-3 プレパクド・コンクリートの打込み方法

プレパクド・コンクリートの打込みは2の作業に分けて考えることができる。最初に行われるのは粗骨材を型枠に填充する作業であり、続いて填充された粗骨材の隙間にモルタルが注入される。注入時の粗骨材の浮き上りあるいは注入後のモルタルの膨脹を抑制するための措置は注入開始以前あるいは終了後にとられるものとしてである。一般にプレパクド・コンクリートの $\phi 15 \times 30$ cm供試体による圧縮強度は配合や強度試験方法によっても相違するが注入されたモルタルの $4 \times 4 \times 16$ cm 曲げ試験折片を用いた供試体による圧縮強度（セメントの物理試験方法、圧縮試験の規定による）の40~60%程度であると考えられている⁹⁾。従つてプレパクド・コンクリートの圧縮強度は粗骨材の物理的諸性質と填充方法によつて影響される所が大きい。粗骨材の物理的諸性質は施工の地理的ないし経済的条件によつて決まるものであつて、填充方法のみが規制の実象となる。モルタルの注入には幾つかの方法が行われているが、一般にはポンプを用いる注入方法が採用されているようである。ポンプ注入の主な目的の一つは供試体製作方法にプレパクド・コンクリート工法の特徴とする機能をできるだけ反映することにあると思はれるが、採用する手段によつては、その目的が必ずしも達せられるとは限らない。普通コンクリートの場合に供試体の標準的な製造方法が構造物コンクリートの施工方法と一致しない場合でも、標準方法による結果を以て構造物コンクリートの強度推定が可能のように、プレパクド・コンクリートの場合にもポンプ注入を必要としないかも知れない。

更にある特定の方法がプレパクド・コンクリートの標準打込み方法であるためには以下のような条件を備える事を必要とするものと思はれる。すなわち、(1)試験者の相違による影響の少ない事、(2)設備その他の施工条件による影響の少ない事、(3)試験値のバラツキが少なく、再現性の高い事、(4)操作が比較的単純で過誤の生ずる余地が少ない事、などである。

§2 実験の目的と概要

以上に考察せるように、プレパクド・コンクリートの圧縮強度試験方法の標準化の問題は供試体の製作方法、すなわちプレパクド・コンクリートの打込み方法の問題に帰着する。プレパクド・コンクリート工法の我が国への導入が特許工法であるプレパクト・コンクリートを介して行われた結果として同工法に関する諸試験では一般にプレパクト・コンクリート標準仕様書¹⁰⁾の規定に準じて行われている場合が多く、こゝで取り上げた供試体の製作方法もその一例である。この方法では特殊な注入型枠を用いモルタルの注入はポンプによつて行われる。またその注入の速度や注入終了後の加圧などについても規定が加えられているが実際にはこれらの規定が試験値におよぼす効果については不明である。またポンプ注入自体が供試体製作のための注入方法として最適であるとの保証もない。本実験は以上の観点より出発して問題をプレパクド・コンクリートの $\phi 15 \times 30$ cm供試体の製作方法に限定し、粗骨材の填充方法およびモルタルの注入方法によつてコンクリートの圧縮強度がいかに影響されるかを調べ、圧縮強度試験方法の標準化の資料を得ることを目的として行われたものである。

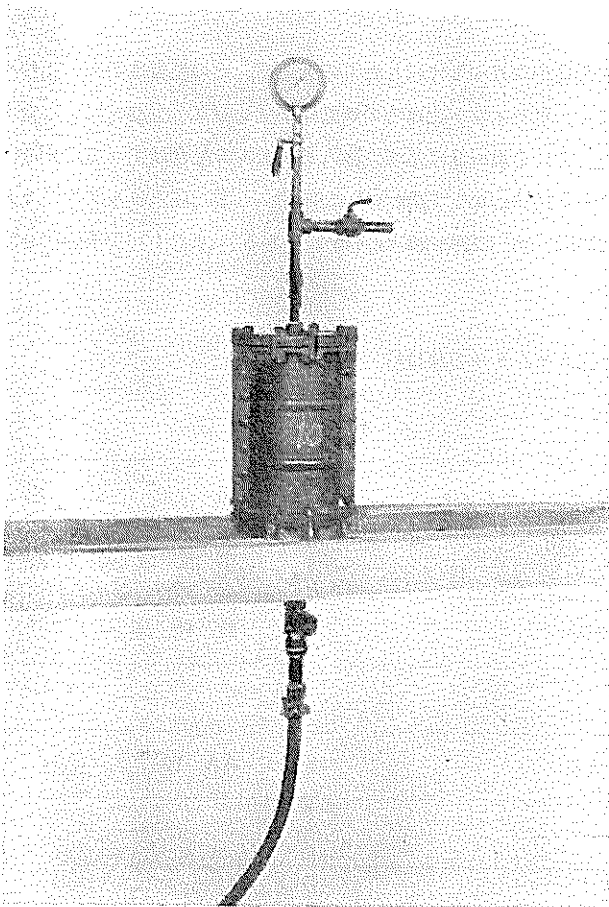
粗骨材の填充方法としては粗骨材およびコンクリートの試験に用いられている棒突き方法(3層に分けて積み、各層を突き棒で25回突き固める方法)を標準とし、この外により大きい締め固め度を与える方法を試みた。モルタルの注入方法としてはこれを注入型枠にポンプ注入する方法と普通型枠を用いて型枠頂面よりモルタルを注ぎ込む“流し込み方法”の2種に大別し、前者については注入の速度と事後注入の圧力のかけ方を変え、後者については高さ水頭を与えて注ぎ込む方法などを試験した。

圧縮強度試験は材令1週および4週に標準試験方法で行うのを原則とし、特殊のグループについては4週にのみ行なつた。また注入モルタルについても各バッチごとに $4 \times 4 \times 16$ cmの供試体を製作して材令4週でセメントの物理試験方法に準じて試験した。使用材料の種類、注入モルタルの配合、その他の作業条件は全試験を通じて一定である。

実験結果を要約すると、ポンプ注入で製作する場合にはモルタルの注入速度および事後注入の加圧によつてコンクリートの圧縮強度はほとんど影響されない。粗骨材が表面乾燥飽和状態であれば空气中で注入された場合との間に圧縮強度の相違は認められない。またポンプ注入による結果を普通型枠を用いてモルタルを上部から注ぎ込む方法と比較して、ほとんど変る所がなく、試験値のバラツキの点ではむしろ“流し込み方法”の方が優れている。従つて特にポンプ注入を必要とせぬ場合には普通型枠を用い粗骨材を棒突き方法で填充し、モルタルを各層ごとに層の高さまで型枠頂面より注ぎ込む方法によつてもプレパツクド・コンクリート供試体製作の目的を達し得ることが明らかにされた。ただしこの場合には注入終了後に供試体上面を均した上に適当な覆いと重錘を置き、モルタルの自由膨張を防止することを前提条件とする。

§3 実験の方法(I)……一般的事項

3-1 供試体の形状寸法と型枠



図一 注入型枠 $\phi 15 \times 39\text{cm}$
圧力計 0~10kg/cm

供試体の形状は円筒型とし、一般に普通コンクリートの圧縮強度試験に用いられている直経 15cm高さ30cmの標準的な寸法を採用した。型枠には2種の形式を試用した。一つは普通コンクリート用の鋼製型枠でJIS A1108—1950の規定（土木学会規準34章コンクリートの圧縮強度試験方法）に合格するものである。他の一つはプレパツクド・コンクリート型枠として市販されている鋼製のもので図一に示されているように、特にポンプ注入に適した機構を備えている。方法その他について前記の規定に合格するものであるが次の諸点で普通型枠と異なる。(1)高圧注入に対して必要な剛性を備えている。(2)底板中央には注入孔が設けられ、更に中央に流出孔を有する上蓋があり、底板、上蓋共に側板に緊結され得る。上蓋には通気、通水用の小孔が多数設けられている。(3)標準寸法以外の供試体製作の目的にも転用できるように上蓋と底板を取外し幾重にも積み重ね、かつ緊結し得る機構を備え、取り付け部分は充分に水密的である。

3-2 粗骨材の調整と填充方法

用いた粗骨材は海勾川産の丸味を帯びた砂利である。予め洗滌および篩分けを入念に行なつた後、表一のように調整して実験に供した。すなわち、寸法別に表面乾燥飽和状態として計量し、練り板の上で充分に混合した後型枠に填充した。

表一 1 粗骨材の調整（神奈川県酒匂川産）

比 重	空 隙 率	篩 寸 法 mm	40 ~ 30	30 ~ 20	20 ~ 15
2.78	36.5%	混 合 率 %	33.3	33.3	33.3

填充方法が試験値におよぼす影響の程度を規制するために、ポンプ注入による試験にはすべて標準的な方法として棒突き方法によつて突き固めを行つた。すなわちφ15×30cmの型枠にはほぼ同じ高さの3層に分けて詰め各層を突き棒で25回突き固めた。普通型枠を用いる試験のみに限つて棒突き方法による以外にモルタルの流し込みを粗骨材の填充と平行して行う3通りの方法を試みたが、これについては次章で述べる。後述するように注入型枠を2段に積み重ねてポンプ注入する試験も行われたが、この場合にも各段ごとに上述の棒突き方法によつた。表一1に示された空隙率は棒突き方法で粗骨材を填充した型枠に水を満たし、水を満たした前後の重量差より算出したものである。

3-3 注入モルタル

使用した注入モルタルの各材料は入手容易な市販品から表一2に示したものを選び、その配合は断面の比較的大きい構造物などに用いられているものを参考にし、水セメント比はその流動性がプレバクト型漏斗による流出時間で16±1秒となるように試験によつて定めた。これを表一3に示す。注入モルタルの配合はすべての試験に共通で、単位セメント量および単位ボゾラン量は夫々168kg/m³、72kg/m³に相当し、また注入モルタルのセメント物理試験方法による圧縮強度は材令28日で245kg/cm²（229~260kg/cm²）である。また1バッチの練り混ぜ量は常に56ℓである。

表一 2 注入モルタルの諸材料

材 料	記 号	種 類	備 考
セメント	C	小野田普通ポルトランドセメント	田原工場
ボゾラン	P	宇部ボゾラン	宇部窒素工場
粗骨材	S	神奈川県鶴沼海岸砂	粗粒率 = 1.77*
分散剤	Po	ポゾリスNo.5	—
発泡剤	Al	アルミニウム粉末	AA 12**
水	W	水道水	—

* 1.2mm以上の粗粒は予め除去した。

** 福田金属箔粉工業KK（京都）規格（鱗片状、平均粒径25μ）

表一 3 注入モルタルの配合（重量比）

$\frac{W}{C+P}$	$\frac{P}{C+P}$	$\frac{S}{C+P}$	$\frac{Po}{C+P}$	$\frac{Al}{C+P}$
0.59	0.30	1.50	0.005	0.0001

注入モルタルの諸性質は練り混ぜ方法によつても幾分変化するものと考えられているので⁶⁾、表—4のような方法で練り混ぜを規制した。使用したミキサは容量100lの高速変心軸型モルタルミキサ(ヤマトボーリングKK, 東京)で廻転数は無段変速機により自由に調整し得る⁶⁾。

表—4 注入モルタルの練り混ぜ方法

	材料投入の順序	廻転数 (R・P・M)	練り混ぜ時間 (分)
第 1 段階	W+Po+Al	0	0
2 "	P+C	640	2
3 "	S	910	3
4 "	—	1,100	5
合		計	10

3-4 モルタルポンプ

モルタルの注入は普通型枠を用いて頂面から注ぎ込む方法による場合の他はポンプによつて行われた。ポンプには2種の形式を用い、注入圧力を特に加える必要のない試験には流量が比較的小さく、廻転数の変化によつて流量を容易に調整し得る機構をもつたネジ式モルタルポンプの一種であるモノポンプ(モノポンプ社D3D型, 英国)を使用し、加圧を必要とする試験にはプランジャー式ポンプ(ヤマトボーリングKK, DP-3型, 東京)を使用した。

3-5 供試体の製作および養生条件

粗骨材の填充からモルタルの注入に至る供試体の製作に関する作業はすべて恒温作業室(温度 $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$, 相対湿度 $85 \pm 5\%$)で行われた。注入の方法に関しては次章で述べる。注入を終えた供試体には注入方法の種類に応じて次のような処置を講じて、発泡剤によるモルタルの膨脹効果と養生条件に相違が生ぜぬように留意した。

(1)普通型枠の場合——型枠頂面を均した後キャッピングガラスで覆い、更にもその上に12kg相当の重錘を載せた。

(2)注入型枠の場合——上蓋に取付けられた吐出管を取外してゴム栓に変え、上面全体を湿布で被覆した。底板に取付けられた注入管は注入後4~5時間で取外しゴム栓に変えた。

(3)上蓋無し注入型枠の場合——上面については普通型枠、注入等については注入型枠と同様である。ただし注入時に多少浮き上つた粗骨材はこれを取除いて上面を均した。

すべての供試体は注入終了後24時間で型枠を取外し、直ちに養生室(温度 $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$, 相対湿度100%)に搬入し、そこで試験材令の日まで噴霧養生した。

3-6 圧縮強度試験

圧縮強度試験はJIS A 1108-1950の試験方法により、アムスラー型万能試験機(容量100t, 東京衡機KK)を用いて行われた。試験に先立ち、注入型枠を用いて成形された供試体についてはその両端面に、普通型枠によるものにはその上端面に硫黄キャッピングを施した。2段階の注入型枠による供試体は材令3週で中央部をコンクリートカッターで切斷し2個の $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 供試体とした後噴霧養生を続け、所定の材令で上述の方法で試験した。普通型枠を用いて成形された供試体について特に下端面にキャッピングを施さなかつたのは端面の仕上げに関する予備実験を行い、表—5に示すような結果が得られ、下端面におけるキャッピングの必要が認められなかつたからである。試験値は夫々6個の平均値である。

表一五 供試体端面の仕上げと圧縮強度

下端面のキャッピング状態	圧縮強度 kg/cm ²	標準偏差 kg/cm ²	変動係数 %
無	163	5.1	3.1
有	160	3.8	2.4

注入モルタルの圧縮強度試験は JIS R 5201 (セメントの物理試験方法) によつて行われた。供試体は各バッチごとに 4×4×16cm 3 連型枠を用い、その上に盛上げ量を規制するために厚さ 5 mm の補助枠を重ねて成形した¹⁰⁾。モルタルの膨脹を抑制するための措置はとられていない。型枠に填めて後 24 時間で脱型し、以後の養生は噴霧養生法による。試験は材令 4 週で行われた。圧縮試験供試体の折片を用い、供試体個数は 6 個である。曲げ試験の結果は本報告では報告されていない。

§4 実験の方法(II)―注入方法

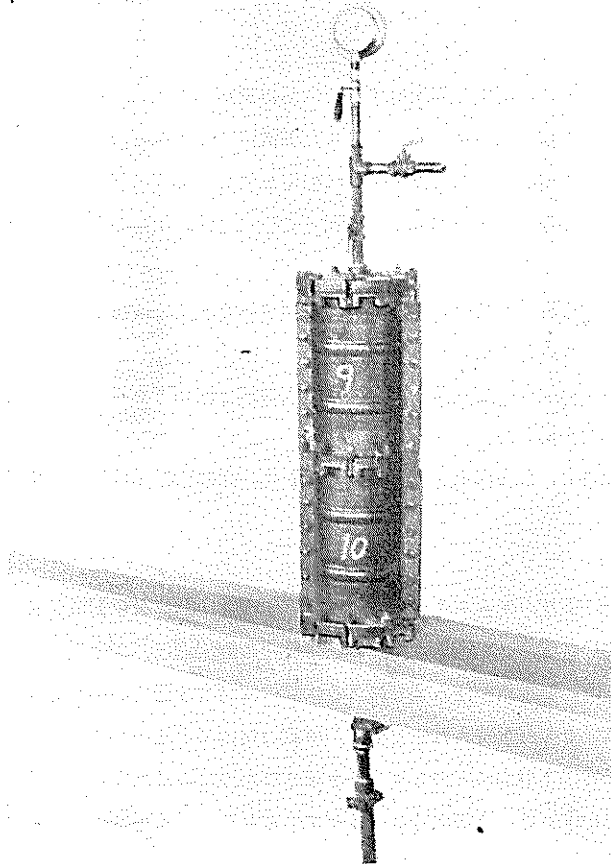
第 1 章において考察せるように、供試体の製作も実際の施工条件に類似した方法で行う事が常にその条件を反映した結果をもたらすとは限らない。相似率を適用できないからである。より簡単な方法で同等な結果を得る事ができるならばこの方法を用いてならない理由も無い。そこで本実験では一般に行われている方法としてポンプによる注入方法を取り上げ、これについて注入速度や事後注入圧力などの効果を調べると共に、これに対してより簡単な方法としてモルタルを普通型枠に填充された粗骨材の間に上面より自然流下させる方法を試みた。後者

を“流し込み方法”と仮称することにする。

4-1 ポンプによる注入

ポンプによる注入にはすべて注入型枠を用い、また粗骨材の填充は棒突き方法によつた。注入は型枠底板に取り付けられた注入管を通じて下部より行い、モルタルが粗骨材中の間隙を満たし上蓋に取り付けられた吐出管より溢流し、その流動性が注入開始前の値とほぼ等しくなつた時を以て注入終了と認定した。

ポンプによる注入方法を水中施工と空気中施工に分け、前者は粗骨材填充後に水を注ぎ粗骨材間隙を満たした状態に注入を行うものであり、後者は粗骨材を填充したままの状態に注入するものでこの時粗骨材は表面乾燥飽和状態にある。夫々の場合に注入速度を 1, 2, 4, 8 l/min の 4 段階に変化させた。1 l/min の注入速度は空隙率 37% の粗骨材を填めた φ15×30cm の型枠を満たす所要時間に換算すると 2 分に相当する、従つて上記の注入速度は夫々 2, 1, 1/2, 1/4 分に相当すると考えてよい。モルタルの流動性が小さくなり、あるいは粗骨材の空隙率は同



図一 二 2 段階注入型枠 φ15×60cm

じでも間隙の平均寸法が小さくなるとポンプの負荷が増え吐出量も減少するので⁷⁾、上記の注入速度と所要時間の関係が常に成立つとは限らない。次に水中施工の場合に注入終了後、いわゆる事後注入を圧力を変えて行うことを試みた。すなわち注入終了を認定した後吐出管のコックを閉じた状態で注入を続け圧力を加える。圧力は図-1に示したようなブルドン管式圧力計で測定し、0、0.5、1.0、2.0 kg/cm²に変化させた。これは供試体製作における事後注入の効果を調べるために行つたものである。最後に注入型枠を図-2に示すように2段に積み重ねて水中施工した。注入速度は他の場合と同様に4段階に変え、更に上蓋の有無について比較を試みた。供試体の採取位置による強度の変化、注入時における粗骨材浮上りの影響などを調べるために行われたものである。

4・2 “流し込み方法”による注入

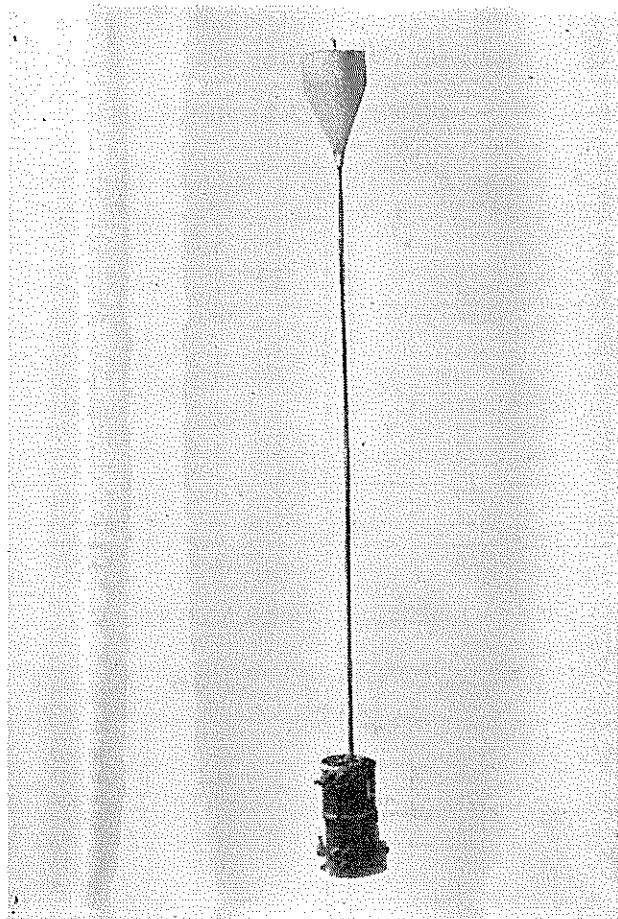


図-3 高さ水頭を与えて“流し込む”方法。普通型枠使用

操作を各層ごとに繰り返して粗骨材の填充とモルタルの注入を平行して行うのである。層の分け方とモルタル注入後の締め固め方で以下に述べるA、B、Cの3通りの方法を用いた。

(A) 3層に分けて行う。各層を突き棒で25回突き固めた後、モルタルを流し込む。流し込み後型枠側面を木槌で20回叩打し、これを3層について繰り返す。

(B) 3層に分けて行う。各層を突き棒で25回突き固めた後、モルタルを流し込む。流し込み後型枠の側面を約5cm持ち上げ床に落下させる。これを二側について交互に5回ずつ行い、3層について繰り返す。

(C) 6層に分けて行う。各層ごとの操作は方法(A)と同じである。

流し込み方法による注入では2通りの方法を試みた。第一の方法は図-3に示すようにモルタルに高さ水頭を与えて流し込む方法である。普通型枠の中央に内径10mm、外径12mm、長さ1.0mの注入管を立て、その先端にゴム管と濾斗を接続し合計2mの高さ水頭を与えて注入した。骨材の填充は注入管の周囲に棒突方法で行い、注入管はモルタルが型枠頂面に達した後注入を続けながら静かに抜き取る。モルタルの流動のため多少浮き上つた粗骨材は取除いて上面を均した。

第二の方法は前述の方法と同じく普通型枠を用いるが、高さ水頭を与える代りに型枠頂面よりモルタルを流し込むものであるが、流し込みを粗骨材の填充作業と平行して行う。すなわち、粗骨材を幾つかの層に分けて詰め各層を突き棒で25回突き固めた後、モルタルを型枠の頂面から流し込む。モルタルが粗骨材の間隙を満たし層の上面に達した時流し込みを中止し以下に述べるような方法でモルタルの行き直りを完全にすると共に粗骨材の締め固めを行う。この

§5 実験結果と考察

前章で述べたような各種の方法によつて製作された供試体の圧縮強度試験結果を表一6ないし表一9に示す。試験値のバラツキに関する資料として、標準偏差および変動係数も表示され、また同じ供試体を用い強度試験直前に測定した単位容積重量も示されている。圧縮強度ならびに単位容積重量はいずれも4個の供試体について得られた値の平均値である。

表一6は注入速度を1~8 l/minに変化させた場合の水中ならびに空气中施工させる供試体についての結果である。

表一7は2段積みの注入型枠を用い、注入速度を1~8 l/minに変化させて水中施工せる場合で、更に上蓋の有無、供試体採取位置の上下によつて分けられている。いずれも材令は4週のみである。

表一6 ポンプ注入によるプレパクド・コンクリートの圧縮強度（注入型枠φ15×30cm使用、事後注入なし、4個の平均値）

試験番号	施工条件	注入速度 l/min	材 令 日	圧縮強度 kg/cm ²	標準偏差 kg/cm ²	変動係数 %	単位容積重 量 kg/m ³
1-1 a	水 中	1	7	70	0.8	1.2	2,452
1-2 a		2		70	3.3	4.8	2,454
1-3 a		4		70	4.4	6.3	2,450
1-4 a		8		66	1.2	1.8	2,457
1-1 b	水 中	1	28	120	0.7	0.6	2,446
1-2 b		2		121	1.0	0.8	2,452
1-3 b		4		117	5.0	4.2	2,456
1-4 b		8		122	3.9	3.2	2,462
2-1 a	空 気 中	1	7	71	2.4	3.3	2,461
2-2 a		2		69	1.8	2.6	2,459
2-3 a		4		73	3.2	4.4	2,459
2-4 a		8		76	2.2	2.9	2,453
2-1 b	空 気 中	1	28	119	4.2	3.5	2,461
2-2 b		2		122	3.6	2.9	2,464
2-3 b		4		121	8.0	6.6	2,451
2-4 b		8		118	3.7	3.1	2,452

表一7 ポンプ注入によるプレパクド・コンクリートの圧縮強度（2段積注入型枠使用、水中施工、事後注入なし、4個の平均値）

試験番号	施工条件	注入速度 l/min	材 令 日	圧縮強度 kg/cm ²	標準偏差 kg/cm ²	変動係数 %	単位容積重 量 kg/m ³
3-1 a	上 蓋 有	1	28	122	4.1	3.4	2,447
3-2 a		2		138	6.4	4.6	2,452
3-3 a	上 段	4		136	1.6	1.2	2,467
3-4 a		8		121	1.0	0.8	2,434
3-1 b	上 蓋 有	1	28	141	7.3	5.2	2,463
3-2 b		2		148	2.0	1.3	2,470
3-3 b	下 段	4		137	0.7	0.5	2,473
3-4 b		8		142	3.3	2.2	2,438
4-1 a	上 蓋 無	1	28	108	1.7	1.6	2,434
4-2 a		2		108	6.5	6.1	2,462
4-3 a	上 段	4		105	3.3	3.2	2,441
4-4 a		8		112	2.2	1.9	2,409
4-1 b	上 蓋 無	1	28	143	2.9	2.0	2,475
4-2 b		2		142	3.0	2.1	2,458
4-3 b	下 段	4		140	1.7	1.2	2,451
4-4 b		8		139	4.5	3.3	2,425

表一8は注入速度を4l/minと一定にして事後注入時の圧力を0~2kg/cm²に変えて水中施工した場合の結果である。

表一9は普通型枠を用いて“流し込み方法”によつて注入した場合の結果で、粗骨材の填充と流し込み方によつて4通りに分けられている。

以上の諸結果は観察を容易にするために夫々図一4ないし図一7に柱状グラフによつて表示されている。

表—8 ポンプ注入によるプレパクド・コンクリートの圧縮強度（注入型枠φ15×30cm使用、水中施工、4個の平均値）

試験番号	注入圧力 kg/cm ²	注入速度 l/min	材 令 日	圧縮強度 kg/cm ²	標準偏差 kg/cm ²	変動係数 %	単 容 積 重 量 kg/m ³
5-1 a	0	4	7	71	3.5	4.9	2,457
5-2 a	0.5			68	5.6	8.3	2,472
5-3 a	1.0			65	6.2	9.5	2,464
5-4 a	2.0			66	5.7	8.7	2,464
5-1 b	0	4	28	124	5.7	4.6	2,456
5-2 b	0.5			124	5.8	4.7	2,483
5-3 b	1.0			115	6.3	5.5	2,467
5-4 b	2.0			121	7.9	6.6	2,461

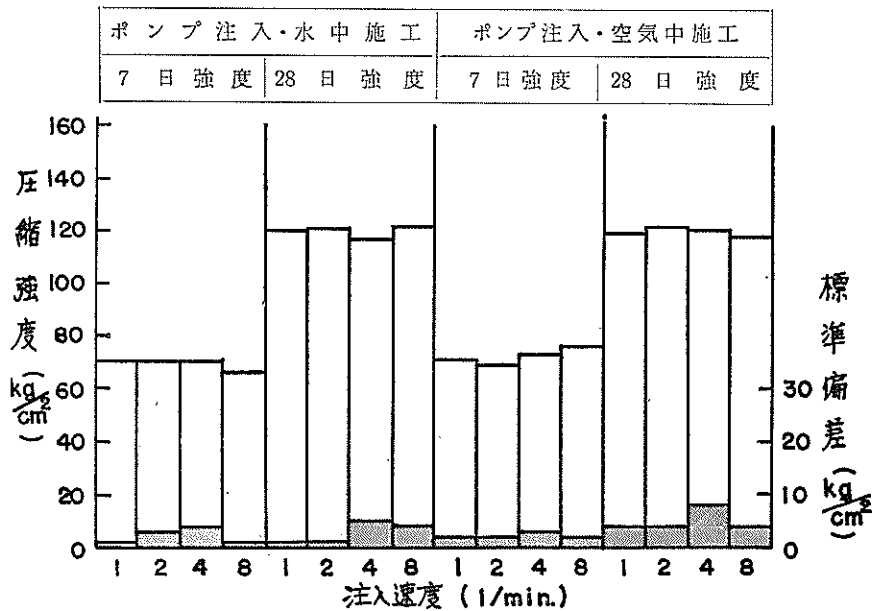
表—9 普通型枠φ15×30cmを用い“流し込み方法”によるプレパクド・コンクリートの圧縮強度（空气中施工、4個の平均値）*本文参照（P.9）

試験番号	注 入 方 法*	材 令 日	圧縮強度 kg/cm ²	標準偏差 kg/cm ²	変動係数 %	単 位 容 積 重 量 kg/m ³
6-1 a	高 さ 水 頭 2 m (A)	7	75	4.3	5.8	2,455
6-2 a			71	2.4	3.3	2,457
6-3 a			73	1.3	1.8	2,453
6-4 a			83	10.5	7.6	2,449
6-1 b	高 さ 水 頭 2 m (A)	28	130	4.7	3.6	2,463
6-2 b			129	3.6	2.8	2,464
6-3 b			129	4.9	3.8	2,461
6-4 b			139	5.4	6.5	2,437

5-1 注入速度と施工条件について

図—4において観察されるように、ポンプ注入によつて供試体を製作する場合、その圧縮強度は注入速度によつて影響されないと云つてよい。試験結果は注入速度の相違によつて多少の変動を示しているが定まつた傾向をもつものでなく、試験値のパラッキの範囲を考慮に入れると上述の変動を有意なものとする認めることができない。図—5の2段積み注入型枠を用いて水中施工した場合の結果にも同様の事が云える。図—5に示された結果では試験値の変動は図—4に較べて稍大きいがこの変動と注入速度の間に有意な相関性を見出すことができない。例えば上蓋を有する場合の各注入速度に対応する圧縮強度に関して平均値の差の検定を行つた所、危険率5%であるものは有意であり、他は有意でないといつたような一貫性に欠ける結果が得られている。また図—4においてポンプ注入が水中施工であるか空气中施工であるかによつて圧縮強度に差が認められないのは注目すべき事と思われる。すなわち粗骨材が水中に浸漬されているか否かは圧縮強度にほとんど影響せぬものと考へられる。この事はまたφ15×30cmのように小さな供試体に注入する場合には注入速度が1~8l/minの範囲内ではモルタルが水によつて稀釈される可能性が極めて少い事を示唆しているものと解される。プレパクト・コンクリートの仕様書⁹⁾の規定によればφ15×30cmの供試体の注入所要時間を1~3分としているがこれは空隙率を38%とすると注入速度で0.7~2l/minに相当する。しかし同仕様書ではまたイントルージョン・モルタルの流動性を流出時間で20±2秒に規定している。木庭、有吉の研究⁴⁾によれば粗骨材の間隙中におけるモルタルの流速vはその滲透係数k'と流れの抵抗との積i・k''に比例する。従つてiを一定と仮定すればv∝k''である。更にこの研究によれば流出時間15秒のモルタルのk''は20秒のそのほぼ2倍に相当する。以上より推定するとプレパクトコンクリートの場合の0.7~2l/minの注入速度は本実験の場合の1.4~4l/minに相当するものと考えられる。実験結果の示す所は1~8l/minの範囲内では注入速度は圧縮強度に影響しない。従つてプレパクト・コンクリートの注入所要時間

に関する規定は圧縮強度に関連するものではなく、単に製作過程における作業の拙速に流れる事に対する配慮程度に解されるべきであろう。またポンプ注入の条件として粗骨材を水中に浸漬する必要があるか否かの点については上記の仕様書は全々触れていない。Menzel¹³⁾は水中施工と空気中施工の場合について比較を試みているが空気中施工に使用した粗骨材は炉乾燥状態にあり、粗骨材の吸水量を考慮してもモルタルと粗骨材との吸着条件には当然差があるから水中施工あるいは空気中施工の可否の判定には余り役立たないと思われる。本実験では圧縮強度試験のみを行い、曲げあるいは引張試験を行っていないので断定することができないが、粗骨材が表面乾燥飽和状態あるいはそれに近く多少湿つたような状態であれば注入モルタルの配合およびその粗骨材との吸着の条件は水中でも空気中でも同様であり、従つて粗骨材の置かれた条件によつて強度は影響されないものと考えられる。換言すれば供試体の製作は水中施工でも空気中施工でも良く、強度はそれによつて本質的な影響を受けないものと考えられる。



図一四 注入速度および施工条件がプレパクド・コンクリートの圧縮強度におよぼす効果

5-2 2段積型枠による結果について

図一五は前述のようにφ15×60cm 供試体を中央部で切断して2個のφ15×30cm 供試体を作り、試験した結果で、図中の上段、下段は供試体の元の位置を示すものである。また上蓋の有無は注入時に粗骨材の浮き上りを防止したか否かの差を示すものと考えてよい。注入速度によつて多少のパラツキはあるがある一定の傾向を観察することができる。表一十は供試体採取の位置と上蓋の有無による圧縮強度の変化を示したもので、これによると

表一十 上蓋の有無、上下段の別による圧縮強度の変化(単位Kg/cm²)

			上 蓋 有	上 蓋 無	上 蓋 有 無 の 差
下 段 強 度	最 小	大	148	143	+5
		小	137	139	-2
		均	140	141	-1
上 段 強 度	最 小	大	138	112	+27
		小	121	105	+16
		均	129	108	+21
上下段強度最大差			27	38	—
上下段平均度			11	33	—

上蓋の有無に拘わらず上段より採取された供試体の圧縮強度は下段のものに較べてかなり低い。平均強度の減少率は上蓋がある場合は19%、無い場合は27%で両者にかかなりの相違がある。下段より採取された供試体の強度が上蓋の有無に関係なくほぼ一定である事も興味ある現象である。これらの現象について次のような説明が可能であると考えられる。

5-2-1 ブリージングの影響

上段より採取された供試体の圧縮強度が下段よりのそれに較べて小さい事はブリージングの影響と考えられる。普通コンクリートの場合も図一配合のコンクリートをおある高さに亘つて打込む時ブリージングによる水が上部に集まりその強度が減少することは一般に認められている所である⁹⁾。プレパクド・コンクリートにおいてもほぼ同様の事が成立つと考えられる。ブリージングが生ずる結果として下段のコンクリートの強度は単に上段のそれと比較して大きくなるだけでなく、上段に下からのブリージング水を吸収する材料が無い場合、すなわち普通の寸法の型枠に打ち込まれたコンクリートの強度よりも大きくなる筈である。事実、2段積型枠の下段の28日圧縮強度が平均142kg/cm²であるのに対し同一条件で1段のみの注入型枠の場合の強度が平均120kg/cm²(表一11参照)であり、試験値のバラツキを考慮しても明瞭な相違を示している。また他方から云えば2段積型枠の上段の強度は1段型枠の場合よりも小さくなる筈であるが、平均強度はこれと矛盾しているように見えるが、両者は試験値のバラツキの範囲内にあり断言できない。

上段供試体の強度が下段供試体の強度より小さいことについては更に高さ水頭の相違から来る硬化時の圧力の差¹⁰⁾やモルタルの水による稀釈などの影響も有り得る事とは思われるがどちらも上述の現象を充分に説明するもので無く、仮に有り得てもその影響は僅少であると推定される。

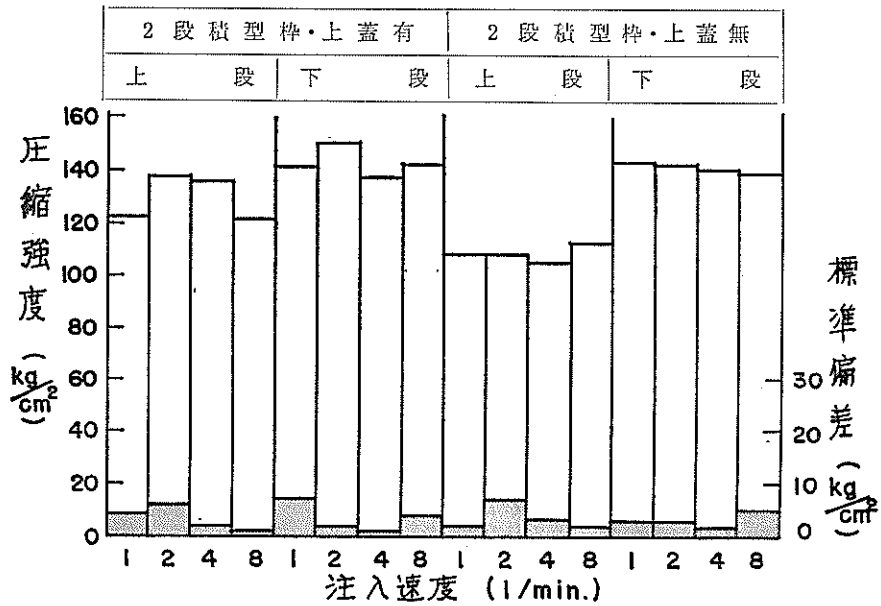
このことはまた、相当の高さを打継目なしに継続施工することの多いプレパクド・コンクリート工法では、特にブリージング率の小さい注入モルタルを使用することが均質なコンクリートを得るために極めて大切であることを示唆していると云つてよい。

5-2-2 骨材浮上りの影響

上蓋が無い場合には型枠上部に近い粗骨材は注入時にモルタルの流動に伴つて多少浮上る。モルタルの比重はほぼ2.0に近く、粗骨材のそれは2.6前後であるが下部から注入されるモルタルの圧力で押し上げられるものと思われる。浮き上つた粗骨材は注入終了後幾分沈下しても完全に元の状態には戻らず、粗骨材相互の噛み合いがある程度弛緩することは避けられない。型枠頂面より突出した粗骨材は注入終了後取り除いて表面を均したが、結果としては頂面よりある深さまでは弛緩したままの状態である。上蓋が無い場合のコンクリートの単位容積重量が他の場合と比較して一般に小さいことがこれを示している。この粗骨材の締り具合の弛緩が上蓋の有無における上段コンクリートの強度の相違をもたらしたものと考えられる。モルタルの自由膨張を抑制するための重錘の重さが充分であつたか否かについても疑問が無いとは云えないが、後述のように普通型枠による結果が注入型枠による結果とほぼ同等な強度を示している点からも、重錘に関する疑問は余り根拠が無いものと思われる。

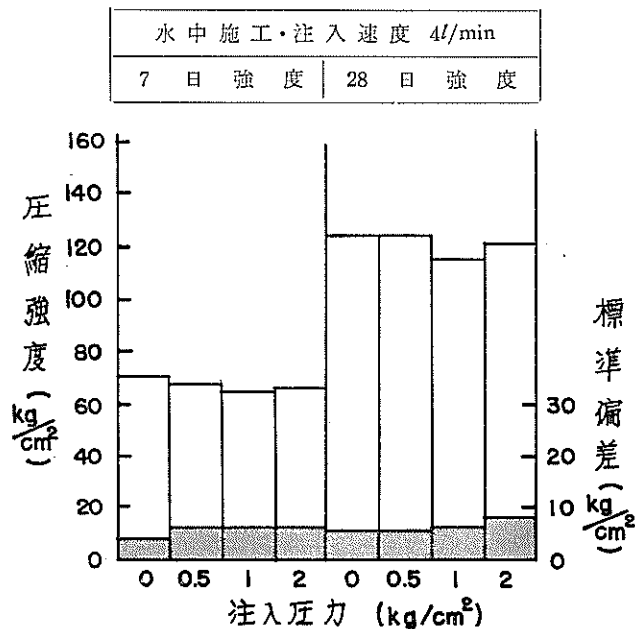
5-3 事後注入の加工について

図一6にはモルタルの注入終了後に特に圧力を加え1/2分間保持して事後注入を行つて製作した供試体の強度試験結果が示されている。一般にプレパクド・コンクリートの施工において注入終了後適当な時間において加圧して事後注入を行うことは強度増加に効果あるとされている¹¹⁾。プレパクト・コンクリートの仕様書でも“注入終了直後ポンプの圧力を0.7~1.0kg/cm²(10~15psi)の範囲で30秒間保持しなければならない”と規定している。容積の大きい構造物に注入する場合には注入管の間隔もある程度開き、モルタルの自由界面は必ずしも水平ではなく、むしろある勾配をもつて上昇するものと考えられている⁴⁾。従つてこのような場合には注入終了後の加圧はモルタルの行き直りを完全にし、あるいは余分な水分を絞り出すような効果があり施工上有意義な事と考えら



図一五 注入速後、型枠の状態および供試体の採取位置がプレパックド・コンクリートの圧縮強度におよぼ効果

れる。しかしながら強度試験供試体のように小さな寸法の型枠への注入に関してどれ程の意義をもつものかは明らかにされていない。図一六より観察されるように事後注入時の加圧は1週および4週強度のいずれにも影響を与えぬものと考えられる。普通コンクリートの場合に加圧によつて高強度が得られることを示した例¹⁰⁾¹¹⁾もあるが、そのためには加圧したままの状態での硬化させる事が必要な条件となつて居り事後注入の一時的加圧とは全く異つて居る。また余分な水の絞り出しの効果は注入直後に行つては発揮されず、仮に発揮されるとしても供試体製作の目的から逸脱するものであつて行われべきでないと考えられる。



図一六 事後注入の圧力がプレパックド・コンクリートの圧縮強度におよぼす効果

5-4 普通型枠による結果について

最後に上述の注入型枠を用いポンプ注入する方法に代るものとして普通型枠を使用して供試体を製作する事を試みた。普通型枠による結果がポンプ注入による結果と変る所が無ければ特製の注入型枠や注入設備を用いる必要も無いと考えられる。図-7は普通型枠を用いて“流し込み方法”によつて製作した供試体の圧縮強度試験結果である。どの場合も粗骨材は棒突き方法による程度以上に締め固められている。すなわち2mの高さ水頭の場合には棒突き方法によつて突き固められ、(A)方法ではこれに合計60回の側面叩打が、(B)方法では高さ5cmからの落下運動が合計30回、(C)方法では棒突き75回および120回の側面叩打が更に加えられている。図-7の結果を観察すると以上の4つの方法どれによつてもモルタルはほぼ完全に行き直り、圧縮強度は粗骨材を棒突き方法による以上締め固めてもほとんど影響されぬ事を示していると考えられる。あるいは観点を換えれば実験に用いたように比較的粒径の整つている粗骨材は棒突き方法による以上に締め固める事が困難である事を示しているとも云え、これはコンクリートの単位容積重量がどの場合にもほとんど変らぬ事からも云えるように思われる。(C)方法による場合には平均強度はやや高いが試験値のバラツキも大きく特に填充方法と有意な関係にあるとは考えられない。

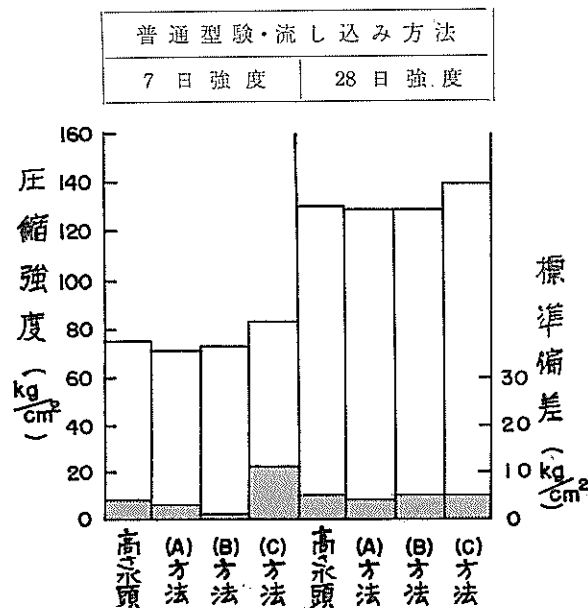


図-7 粗骨材の填充およびモルタルの流し込み方法がプレパクド・コンクリートの圧縮強度におよぼす効果

5-5 各種注入方法による強度の比較

上述の実験結果は、注入速度、事後注入時の圧力、流し込み方法における填充方法の相違が夫々の注入方法によつて製作された供試体の強度に実質的な影響を与えるものでない事を示して居り、従つて各注入方法について注入速度、注入圧力、あるいは填充方法による相違はこれを無視して同種の試験値の群と考えて良い。表-11は注入方法別の総平均圧縮強度、標準偏差および変動係数を与えるもので、供試体数は各条件について16個である。表-11によつて注入方法別による圧縮強度を比較すると2段階の型枠に注入されたものを除いては注入方法別による相違は認められないと云つてよい。普通型枠を用いて流し込んだ場合の28日強度が他の値より幾分か大きい値を示しているが試験値のバラツキを考慮に入れば特に有意なものではない。云い換えればプレパクド・コンクリートの圧縮強度試験の供試体を製作する場合にはどのような注入方法によつてもほぼ同等な結果が期待され

表—11 注入方法別によるプレパツクド・コンクリートの圧縮強度

	材令 (日)	空气中施工		水中施工・ポンプ注入		水中施工・ポンプ注入・2段積型枠			
		流し込み	ポンプ注	加 圧	速 度	蓋有上	蓋無上	蓋有下	蓋無下
平均強度 kg/cm ²	7	75	72	67	69	—	—	—	—
標準偏差 kg/cm ²		4.5	3.6	5.2	3.3	—	—	—	—
変動係数 %		6.0	5.0	7.8	4.8	—	—	—	—
平均強度 kg/cm ²	28	132	119	121	120	129	108	142	141
標準偏差 kg/cm ²		7.5	5.6	6.4	4.1	8.9	4.1	5.8	3.5
変動係数 %		5.7	4.7	5.3	3.4	6.9	3.8	4.1	2.5

と考えてよい。中でも普通型枠を用いて“流し込み方法”で注入する方法は特に注入型枠やポンプなどの器具、設備を必要とせず、作業も容易である。因みに普通型枠の重量は15kg前後であり注入型枠は30kg程度で、これにコンクリート重量を加えると夫々27kg、42kg程度の重量となる。

本実験で用いた注入モルタルの流出時間は15～17秒の範囲にあつて流動性は幾分大き目であるが、仮に流出時間が18～22秒程度の場合でも“流し込み方法”によつて粗骨材間隙へのモルタルの完全な行き直りを期待し得る事が実験によつて確められている⁴⁶⁾。

またこの実験では粗骨材は吸水による影響を避けるために表面乾燥飽和状態で使用されたが、プレパツクド・コンクリートが陸上で施工され、使用される骨材が乾燥状態にあれば、供試体の製作にも当然同じような状態の骨材が使用されるべきであろう。モルタルと粗骨材との吸着条件は同一であると仮定しうるものと思われる。

本実験ではモルタルの自由膨張を抑制するためにはどれ程の拘束力を支えるべきかについて検討していない。特に普通型枠を用いる場合に必要であると考えられている重錘についての検討を行う必要がある。本実験では古いコンクリート供試体を重錘として使用した。Menzel¹⁴⁾は“プレパツクド・コンクリートにおけるアルミニウム粉末の膨張効果は相互に接触し合っている粗骨材の小さな間隙に限られるが故にコンクリート強度が増加する”と云つて居るが、その膨張抑制方法については明らかにしていない。互に噛み合っている粗骨材の間隙におけるモルタルの膨張によつてコンクリートの強度がある程度まで増加する事は明らかであるが、この膨張力のどれだけが上方に伝えられるか不明である。モルタルの膨張は3軸方向に行われ、従つて型枠側面に接触している粗骨材は側面に対して垂直方向に働く力を受けると同時に平行に働く力をも受ける。垂直方向に働く力が大であれば側面に沿つて移動する時の磨擦抵抗も相当に大きいものと考えられる。Menzelは普通コンクリートにアルミニウム粉末を混入した場合そのコンクリートの膨張をほぼ完全に阻止するのに2lb/in²要するとして居り、これは直径15cmの供試体の場合には26kgの重錘に相当するが、粗骨材が格子状に噛みあつているプレパツクド・コンクリートの場合にはもちろんこれ程の重錘を必要としないことは本実験の結果(12kg使用)よりも明らかであり、これは更に減少し得るものと考えられる。

5—6 注入モルタルの圧縮強度

プレパツクド・コンクリート供試体の注入に用いられたモルタルの圧縮強度試験結果を表—12に示す。材令28日における平均強度は229～260kg/cm²の範囲内にあり、総平均値は245kg/cm²である。同表にはモルタル強度とコンクリート強度との比も参考として示されているが、コンクリートの圧縮強度は4×4×16cmのモルタル強度0.42～0.58の範囲内にあり、平均は0.50で小宮山、森口の実験結果⁵⁾とよく一致している。

表—12 注入モルタルとプレパクド・コンクリートの28日圧縮強度（注入モルタル強度はセメント物理試験方法による6個の平均値）

試験番号	注入モルタルの28日圧縮強度			コンクリートの28日平均強度 kg/cm ²	圧縮強度比
	平均強度 kg/cm ²	標準偏差 kg/cm ²	変動係数 %		
1—1 a, b	248	4.9	2.0	120	0.484
1—2 a, b	240	5.7	2.4	121	0.504
1—3 a, b	255	10.4	4.1	117	0.459
1—4 a, b	253	4.0	1.6	122	0.482
2—1 a, b	251	6.0	2.4	119	0.474
2—2 a, b	247	8.3	3.5	122	0.494
2—3 a, b	260	3.6	1.4	121	0.465
2—4 a, b	253	2.8	1.1	118	0.466
5—1 a, b	245	5.0	2.1	124	0.506
5—2 a, b	243	2.4	1.0	124	0.510
5—3 a, b	247	3.4	1.4	115	0.506
5—4 a, b	235	1.4	0.6	121	0.515
6—1 a, b	239	3.1	1.3	130	0.544
6—2 a, b	233	7.5	3.2	129	0.554
6—3 a, b	229	3.8	1.6	129	0.563
6—4 a, b	239	4.3	1.8	139	0.582
バラツキの範囲	229~260	1.4~10.4	0.6~4.1	115~139	0.465~0.582
総平均	245	—	—	123	0.502

§6 結 論

プレパクドコンクリートの圧縮強度試験供試体（φ15×30cm）の製作方法に関する実験結果を要約すると以下の通りである。

(1) 予め注入型枠に棒突き方法によって填充された粗骨材の間隙にモルタルをポンプ注入して供試体を製作する場合、注入速度が1~8l/minの範囲内ではコンクリートの圧縮強度はモルタルの注入速度によつて影響されない。上述の結論は注入が水中および空気中のいずれで施工されても変わらない。また水中施工による場合と空気中施工による場合とで、その圧縮強度に相違が認められない。

(2) 既に注入を終了した供試体に、注入終了後間もなく30秒程度加圧して事後注入することは、その圧力が2kg/cm²下では、圧縮強度に影響しない。

(3) 注入型枠を2段に積み重ねてモルタルを注入し、これより切り出された供試体の圧縮強度は供試体の採取された位置によつて異り、上部のものは下部のものに較べて相当に低下する。本実験では約19%低下し、この強度低下は主としてモルタルのブリージングによつて生ずると考えられる。この事はブリージング率の小さい注入モルタルを使用することの重要性を示唆するものと考えられる。

(4) 上蓋を取外した注入型枠にモルタルをポンプ注入する場合粗骨材が浮き上り、その締り具合が弛緩することによつてプレパクド・コンクリートの圧縮強度も低下する。本実験ではこの弛緩による強度低下は約8%程度と推定される。この事はプレパクド・コンクリートの施工に際しての粗骨材の締め固めおよび浮上り防止の重要性を示唆するものと考えられる。

(5) 普通型枠を用いてモルタルを粗骨材の填充と平行して流し込み供試体を製作する方法はこれをポンプ注入による諸方法と比較した場合、圧縮強度において同等の結果を示し、設備、器具に特殊な条件を要せず、作業性の点で優れて居り従つてプレパクド・コンクリート圧縮強度試験供試体の製作は必ずしもポンプ注入による必

要はない。

(6) 普通型枠を用いてプレパクド・コンクリートの圧縮強度試験供試体を製作する場合、粗骨材の充填ならびにモルタルの注入は以下の方法による事が適切であると考えられる。

“粗骨材の充填ならびにモルタルの注入は高さのほぼ等しい3層に分けて行う。各層の充填ならびに注入は次の要領による。最初に粗骨材を満たしこれを突き棒で25回突き固め、次にモルタルを型枠の頂面より流し込む。モルタルが粗骨材の間隙を満たし層の上面に達した時流し込みを中止し、型枠側面を木槌で20回程度叩打してモルタルの行き直りを完全にする。

(7) 普通型枠を用いてプレパクド・コンクリートの圧縮強度試験供試体を製作する場合、注入終了後型枠の上面をキャッピングガラスなどで覆い、その上に適当な重量の重錘を載せる事はモルタルの自由膨張を抑制し、水分の蒸発を防ぐ適切な処置と考えられる。これに必要な重錘の重量は12kg程度で充分である。

(8) $\phi 15 \times 30\text{cm}$ の供試体について行われたプレパクド・コンクリートの圧縮強度は $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ の曲げ強度試験供試体の折片について行われた注入モルタルの圧縮強度の50%程度である。

§7 摘 要

本報告は特に新しい事実を提供するものでなく、従来より疑問視されていた幾つかの事柄を実験的に解明し、あるいは既に一部で実行に移されていたより簡単な供試体の製作方法の適用性を実験的な方法で証明したに過ぎない。プレパクド・コンクリート工法を更に発展させ設計応力度の高い重要な鉄筋コンクリート断面などへの適用を可能にするためには、幾多の解決すべき問題が残されている。その中で最も重要な問題の一つは構造物中のコンクリートの強度と標準方法によって製作されたコンクリートの強度との間に相関性を見出す事にあると考えられる。本報告はその第一段階として供試体の標準的な製作方法に関する資料を提出するもので、今後の研究に役立つものと思われる。

本研究に基いたプレパクド・コンクリートの圧縮強度試験方法(案)を以下に提案する。

プレパクドコンクリートの圧縮強度試験方法(案)

1 適用範囲

この試験方法は鋼製もしくは鋳鉄製の型枠を用い、試料の膨張を抑制した状態で硬化させたプレパクドコンクリートの圧縮強度試験について適用する。以下に規定する以外の事項に関しては JIS A 1108 (コンクリートの圧縮強度試験方法)を適用するものとする。

2 供試体の製作

粗骨材ならびに注入モルタルはほぼ等しい厚さの3層に分けて詰める。各層の詰め方は以下の方法によって行う。

粗骨材(註-1)を型枠に詰め、これを突き棒で25回突き固める。突き固めを終えた粗骨材の上に注入モルタルを型枠上面より注ぎ込み、モルタルが粗骨材の間隙を満たして層の上面に達したならば注ぎ込みを中止し、型枠側面を木槌で20回叩打してモルタルの行き直りを完全にする。

以上の方法を3層について行い、型枠上面より突き出た粗骨材を取り除きモルタル面を均して型枠上面と一致させ、押板で覆いその上に適当な重錘(註-2)を注載せて、水分の蒸発を防ぐと共に試料の膨張を抑制する。

(註-1); 水中施工のプレパクドコンクリートに関しては予め表面乾燥飽和状態とした粗骨材を用い、陸上施

工の場合には工事に用いられる粗骨材の状態もしくはそれに近い状態の粗骨材を用いる。
(注一)；直径15cmの供試体の場合には12Kg程度の重錘もしくは古いφ15×30cmのコンクリート供試体などで充分である。

3 型枠の取外し

型枠の取外しの時期は詰め終つてから後、1～2日を標準とする。

謝 辞

本報告の実験は運輸技術研究所において木庭宏美材料研究室長の指導の下に運輸省港湾局調査設計室小宮山正文技官の協力を得て1959年12月より1960年6月に亘つて行われた。実験の計画は有吉ならびに赤塚によつて樹てられ、その実施は主として有吉が担当し、結果の解析ならびに報文の執筆は赤塚が担当した。研究開始後、行政ならびに研究機構が改められ、運輸技術研究所の一部および港湾局調査設計室が統合し港湾技術研究所として1962年4月より発足している。以上の変化に伴い本報告は港湾技術研究所より報告される事になった。ここに本研究の実施に際して指導協力された木庭宏美、小宮山正文両氏に深謝の意を表すると共に、担当の区分と発表の経過を記録して責任の所在を明らかにする次第である。

参 考 文 献

- 1) Troxell, H., Harmer E. Davis, J. W. Kelly, "Composition and Properties of Concrete," McGraw-Hill Book Co, 1956 Edition p 187
- 2) "水中施工したプレパクト鉄筋コンクリート桁の曲げ試験結果報告", 運輸省第四港湾建設局小倉材料検査場, p. 1~10, 1954年7月
- 3) "プレパクト・コンクリートに関する実験報告" 第一報, 電力技術研究所報告, p. 1~34, 1955年4月
- 4) 木庭宏美, 有吉保憲, "プレパクトド・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, 第11巻第5号, p. 15~26, 1961年5月
- 5) 小宮山正文, 森口拓"アルミニウム粉末の混入がモルタルおよびコンクリートの強度におよぼす影響", 港湾技術研究所報告, 1巻1号, p. 35~45, 1963年2月
- 6) 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, 第9巻7号, p. 9~25, 1959年8月
- 7) 木庭宏美, 赤塚雄三, "ねじ式モルタルポンプの磨耗による性能の変化について" 運輸技術研究所資料, No. 29, 機械-13, p. 1~12, 1960年7月
- 8) "General Specification for Rrepakt Concrete", INTRUSION-PREPAKT, Inc. U. S. A. 1955 Edition
- 9) 例えば文献 1) p. 83
- 10) 吉田徳次郎, "最高強度コンクリートの製造について" 土木学会誌26巻9号, 1940年11月
- 11) Menzel, Carl A. "Some Factors Influencing the Strength Containing Admixtures of Powdered Aluminum" ACI Journal, Vol. 14, No.3 p. 165~184, January 1943
- 12) 樋口芳朗, "末だ固まらないコンクリートに加える圧力の効果" セメント・コンクリート, No.95 p15~22, 1955年1月
- 13) 木庭宏美, 善一章, 赤塚雄三, "プレパクトド・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・運輸省港湾局調査設計室, p. 1~67, 1961年12月