

運輸省港湾技術研究所

# 港湾技術研究所 報告

---

---

REPORT OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH  
INSTITUTE

MINISTRY OF TRANSPORT

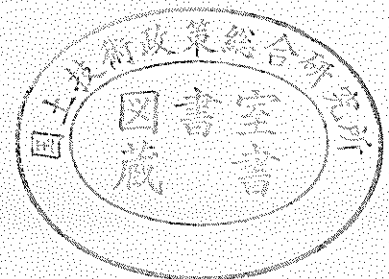
資料係  
文献複写  
禁持出

VOL. 9

NO. 3

SEPT. 1970

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第9巻 第3号 (Vol. 9, No. 3), 1970年9月 (Sept. 1970)

## 目 次 (CONTENTS)

1. Numerical Experiments on Wave Statistics with Spectral Simulation  
..... Yoshimi GODA..... 3  
(波浪の統計的性質に関する数値実験.....倉田良実)
2. 流れの中の風波についての実験的研究 (1) .....加藤 始・佐野喜久雄..... 59  
(Experimental Study of Wind Waves on Water Currents (1st Report)  
.....Hajime KATO and Kikuo SANŌ)
3. 静的載荷試験による空港舗装の実験的研究  
.....須田 颯・森口 拓・佐藤勝久  
吉田富雄・川本晴郎・阿部洋一..... 89  
(Experimental Studies on Airport Pavements by Static Loading Tests  
.....Hiroshi SUDA, Hiraku MORIGUCHI, Katsuhisa SATO,  
Tomio YOSHIDA, Haruo KAWAMOTO and Yoichi ABE)
4. アルミナセメントを使用したプレパックドコンクリートの諸特性について  
.....青木義典・関 博・小野寺幸夫.....111  
(Basic Properties of Prepacked Concrete Using Alumina Cement  
.....Yoshinori AOKI, Hiroshi SEKI and Sachio ONODERA)

## 4. アルミナセメントを使用したプレパックド コンクリートの諸特性について

青木 義典\*・関

博\*\*・小野寺 幸夫\*\*

### 要 旨

アルミナセメントを使用した注入モルタルおよびプレパックドコンクリートの基礎的各種特性試験を実施し、材令28日に至る試験結果から、アルミナセメントのプレパックドコンクリート用セメントとしての適用法を検討した。

注入モルタルについては、所要配合条件を満足する範囲において、流下時間、ブリージング率、膨張率、凝結時間などの一般的特性を明らかにした。水結合材比と圧縮強度、材令と転位強度に関し検討を加え、混和剤（アルミニウム粉末、焼石こうなど）の混入効果を調べた。

アルミナセメントを用いたプレパックドコンクリートに関しては、急速硬化による発熱の程度、養生条件および材令が転位強度におよぼす影響などを検討した。さらに、練り混ぜ水としての海水使用の可否、粗骨材空隙水としての海水の強度におよぼす影響について、実験をもとに検討を加えた。

---

\* 構造部 材料施工研究室長

\*\* 構造部 材料施工研究室

#### 4. Basic Properties of Prepacked Concrete Using Alumina Cement

Yoshinori AOKI\*

Hiroshi SEKI\*\*

Sachio ONODERA\*\*

#### Synopsis

Tests on basic properties of intrusion mortar and prepacked concrete using alumina cement were conducted. Items of intrusion mortar were tested for flowability, bleeding, expansion and setting time. The relationship between water cement ratio  $W/(C+F)$  and compressive strength, and relationship between curing ages and fully converted strength were also studied. The influences of concrete admixtures, inclusive of powdered aluminum and burnt plaster, were also considered.

Relating to prepacked concrete using alumina cement, the phenomenon of heat generation caused by rapid hardening was observed. The areas of major interest studied were fully converted strength of specimens cured in hot water of 50°C and properties of compressive strength affected with water cement ratio  $W/(C+F)$  and powdered aluminum under natural curing conditions. Also investigated was the influence of the sea water on the strength of concrete when it was used as mixing water of intrusion mortar or as pore water of coarse aggregate.

---

\* Chief, Materials Laboratory, Structures Division

\*\* Member, Materials Laboratory, Structures Division

## 目 次

要 旨	157
1. まえがき	161
2. 使用材料	161
2.1 セメント	161
2.2 骨 材	162
2.3 混和材料	163
3. 試験方法	163
3.1 実験の概要	163
3.2 供試体の製作	163
3.3 試験方法	164
4. 注入モルタルの諸性質	165
4.1 最適配合の決定 (実験Ⅰ)	165
4.2 注入モルタルの諸特性 (実験Ⅱ)	166
5. アルミニウム粉末の膨張効果 (実験Ⅱ)	169
5.1 配合および試験条件	169
5.2 アルミニウム粉末の混入効果	170
6. 注入モルタルの転位強度 (実験Ⅲ)	171
6.1 配合および試験条件	171
6.2 転位による強度変化	171
7. プレパックドコンクリートの強度特性 (実験Ⅳ)	173
7.1 配合および養生条件	173
7.2 時間の経過による注入モルタルの流動性および温度の変化	173
7.3 プレパックドコンクリートの硬化時の温度上昇	173
7.4 プレパックドコンクリートの強度	174
8. 使用材料の相違するコンクリートの性状 (実験Ⅴ)	175
8.1 石こうの添加 (実験Ⅴ-1)	175
8.2 イントルージョンエイドの使用 (実験Ⅴ-2)	176
8.3 粗骨材空隙に海水を充填したプレパックドコンクリート (実験Ⅴ-3)	176
8.4 練り水として海水を使用したアルミナコンクリート (実験Ⅴ-4)	177
9. 結 論	178
参考文献	178

## 1. まえがき

アルミナセメントは、従来その耐火性に着目して耐火コンクリート、キャスト耐火物として利用されてきたが、近年土木構造物へ応用範囲を拡張し、特異な性質を活用した使用例も散見されるようになった。現在、我が国の建設工事における使用量は年間1万t程度であるが、目的に合致した適切な応用がなされれば漸次使用量が増大することと考えられる。

アルミナセメントを使用したモルタル、コンクリートの特徴は、早強性および耐食性にあると言われている。養生条件、配合条件、混和材料などが強度特性におよぼす影響に関しては多くの試験例があり、一般的な性質はかなり明らかにされている<sup>1)2)</sup>など。従って、問題は主として、アルミナセメントを用いたコンクリートの弱点の補正法および現場構造物への適用法を検討することにあると思われる。12時間ないし1日で所要の強度に到達する早強性に着目すれば、港湾、空港の緊急工事などに導入することも可能である。すでに、パリのオルリー空港の拡張工事、金沢市大野町港橋架替工事、仙台空港のケーブルダクト新設工事などに使用例が見られる。

しかし、アルミナセメントは、現在一般に使用されているセメントと比較し、多量の $Al_2O_3$ 成分を有し、使用法も異なる点が少ない。特に、アルミナセメントを用いたコンクリートでは、硬化の初期において生ずる六方晶系の $CAH_{10}$ の結晶が経年と共に、安定な立方晶系の $C_3AH_6$ および $AH_3$ に転位反応することに起因するポロシチーの増大とこれに伴う強度低下、普通ポルトランドセメントとの混用による瞬結現象などの問題点を有する。また、高価であることも欠点の一つである。従って、対象構造物の位置する自然条件などに対する事前の検討と共に、強度低下を考慮した設計基準強度の設定、配合、養生方法などに慎重な考慮が必要である。

本文では、プレバックドコンクリートにアルミナセメントを使用することを試み、注入モルタルおよびプレバックドコンクリートの基礎的な性状を明らかにすることを目的とした。アルミナセメントを使用した注入モルタルとしては、道床コンクリート工事にプレバックドコンクリート工法を採用した工事例が報告されているが<sup>3)</sup>、品質管理資料が乏しく一般のプレバックドコンクリートにその結果を直接に応用することは不可能である。従って、本試験においては、注入モルタルの基礎的な諸特性、

すなわち、流下時間、フリージング率、膨張率、凝結時間などを把握することを第一の目的とし、さらに、混和剤、特にアルミニウム粉末の膨張効果、注入モルタルの転位強度を検討した。アルミナセメントを使用したプレバックドコンクリートに関しては、急速硬化による発熱の程度、養生条件および材令が転位による強度低下におよぼす影響などの諸点について、実験結果を基に検討を加えた。

上述の試験に加えて、アルミナセメントを用いたコンクリートの特性の改善、使用の妥当性を検討するために混和剤、練りませ水に関する2,3の実験を行なった。

混和剤としては、イントルージョン・エイド、焼石ここの添加を試みた。前者は、注入モルタルのフリージング率の減少を目的としたものであり、後者は、水素ガスの発生によるフレッシュモルタル(fresh mortar)の膨張効果を、セメントモルタル硬化時のエトリンサイト生成による膨張で置換することの可能性を検討したものである。

港湾工事においては、コンクリートの耐久性、強度に有害な影響を与えぬ前提の下で、練り水として海水の使用を是認することが適切と思われる。アルミナセメントへの海水の使用に関しては、British Standard Code of Practice CP 116<sup>4)</sup>では、混用を禁止している。一方、25°C以上の海水を用いると“シマンフォンジュの病気”と称し、アルミナセメントコンクリートに黄化現象が生じ硬化せぬと言われている<sup>5)</sup>。このため、通常の海水(約10~20°C)を練りませ水として用いたアルミナセメントコンクリートについて、硬化の状況、強度などについて実験を実施し、海水使用の可能性を考察した。

プレバックドコンクリートは、粗骨材空隙に海水が充填された条件でモルタルを注入する例が多い。粗骨材表面は、注入モルタルの空隙閉そく後も、モルタルと海水がかくはんされた状態で硬化が進行する可能性もあり、練り混ぜ水として海水を用いたモルタルを充填したと同一効果を有すると考えることも出来る。従って、粗骨材とモルタル境界面の硬化反応を阻害して、強度を著しく低下させる恐れがある。このため本実験では、粗骨材空隙の充填水として、水道水、海水の2種を使用した。

## 2. 使用材料

### 2.1 セメント

セメントは、A社O工場製の2号アルミナセメントお

表-1 セメントの諸性質

セメント種類	物理的性質								
	比重	粉末度		凝 結			曲げ強さ (kg/cm <sup>2</sup> )		圧縮強さ (kg/cm <sup>2</sup> )
		プレーン (cm <sup>2</sup> /g)	88μ フライ (%)	水 量 (%)	始 発 (時-分)	終 結 (時-分)	1 日	3 日	3 日
A ①	2.98	5,090	0.5	29.5	6-55	7-35		55.3	513
B <sub>1</sub> ②	2.98	3,950	0.3				68.7		511
B <sub>2</sub> ②		4,230	0.2				67.2		468

セメント種類	化 学 成 分 (%)							
	Ig. loss	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Total
A	0.05	5.32	53.32	5.72	2.70	32.28	0.50	99.89
B <sub>1</sub>			60.7 ③	2.7		33.4		
B <sub>2</sub>			60.6 ③	2.5		32.5		

注) ① A社2号アルミナセメント  
 ② B社アルミナセメント  
 ③ TiO<sub>2</sub> を含む値である

よび2種のB社N工場製アルミナセメントを用いた。セメントの諸性質は、表-1 に示す通りである。

2.2 骨 材

注入モルタルの練り混ぜに使用した細骨材は、静岡県富士川産の砂で、使用にあたってあらかじめ2.5mm以

上の粒子を除き、表乾程度の状態で恒温室内に貯蔵し、温度を一定に保った。使用に先立って表面水量を測定した。

ブレパックドコンクリートの供試体製作に使用した粗骨材は、神奈川県酒匂川産の砂利で、粒径 15mm 以下

表-2 骨材の物理的性質  
細骨材の物理的性質

比 重	吸水量 (%)	フライに留まるものの重量百分率 (%)						粗粒率
		フライの呼び寸法 (mm)						
		5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
2.64	2.7	—	—	21.5	53.9	85.0	97.5	2.60

静岡県富士川産

粗骨材の物理的性質

比 重	吸水量 (%)	単位容積重量 (kg/m <sup>3</sup> )	空 隙 率 (%)	粒 度 分 布 (%)				粗粒率
				40~30mm	30~25mm	25~20mm	20~15mm	
2.77	0.9	1677	40.0	2.6	22.2	53.6	16.3	7.73

神奈川県酒匂川産

アルミナブレバッドコンクリート

表-3 フライアッシュの諸性質

比重	物理的性質				化学的性質			
	粉末度		所要水量比 (%)	圧縮強度比 (%)		SiO <sub>2</sub> (%)	強熱減量 (%)	湿分 (%)
	ブレーン (cm <sup>2</sup> /g)	88μフルイ (%)		28日	91日			
2.20	3,560	11.5	90	89.7	—	59.2	0.2	0.1

東電フライアッシュ工業株式会社製

表-4 アルミニウム粉末の諸性質

形状	平均粒径 (μ)	粒度分布 (%)			純度 (%)	油脂分 スチリアン酸 (%)	不純成分 (%)		
		mesh +200	mesh +325	mesh -325			Si	Fe	Cu
鱗片状	25	<1	10~25	75~90	99.2	2	0.11	0.01	0.21

福田金属箔粉工業株式会社製 AA 12

の粒子を除き、水洗いし気乾状態で恒温室内に貯蔵した。  
細骨材、粗骨材の物理的性質は、表-2 に示す通りである。

### 2.3 混和材料

使用したボゾラン、分散剤、発泡剤は、それぞれ、フライアッシュ（東電フライアッシュ工業株式会社製）、ポリソス No. 5L（日曹マスタービルダーズ株式会社製）、アルミニウム粉末（福田金属箔粉工業株式会社製、AA 12）である。表-3 および表-4 では、フライアッシュ、アルミニウム粉末の諸性質を示している。

## 3. 試験方法

### 3.1 実験の概要

本実験では、アルミナセメントを用いた注入モルタルおよびブレバッドコンクリートについて次の項目の試験を行なった。

- 実験Ⅰ 注入モルタルの最適配合の決定
- 実験Ⅱ 注入モルタルの配合条件の相違による影響
- 実験Ⅲ 注入モルタルの養生条件の相違による影響
- 実験Ⅳ ブレバッドコンクリートの強度
- 実験Ⅴ 使用材料の相違による影響

実験Ⅰの試験目的は、所要条件に合致する注入モルタルの配合を見出すこと、注入モルタルの一般的特性を把握すること、および実験Ⅱ、Ⅲ、ⅣおよびⅤの配合決定の資料を整えることにある。

実験Ⅱでは、実験Ⅰで定めた配合の注入モルタルに関

して、発泡剤としてのアルミニウム粉末の混入効果を検討した。

養生条件による影響としては、転移反応の条件、転移に対する配合比の影響および転移強度を検討することを主要目的とした（実験Ⅲ）。

実験Ⅳでは、転位を生じたブレバッドコンクリートの圧縮強度の低下の程度を把握することを主要試験目的とした。

実験Ⅴでは、使用材料として、焼石こうの添加、イントルージョン・エイドの混入、粗骨材空隙に海水を充填した状態でモルタルを注入したブレバッドコンクリート、練り水として海水を使用したコンクリートを取り上げその性状、特性を考察した。

### 3.2 供試体の製作

#### (1) 注入モルタルの練り混ぜ

実験Ⅰ、Ⅱ、Ⅲおよび実験Ⅴ-1、Ⅴ-2において、注入モルタルの練り混ぜは、容量 5l の試験用注入モルタルミキサ（港研改良型）を用い、1バッチあたりの練り混ぜは、次の要領で行なった。すなわち、計量した水をかくはんタンクに入れ、これにセメント分散剤を溶解し、ついで発泡剤を投入する。次にミキサの回転数を 1,000 r.p.m. として、かくはんを開始し、セメントおよびフライアッシュの投入を始める。この投入は、1分30秒にわたって徐々に行ない、投入終了後、ミキサ回転数を 3,000 r.p.m. に上げ、かくはん開始より2分後に細骨材の投入を2分間にわたって行なう。全材料投入完了後ミ



キサの回転数を 3,000 r.p.m. に維持し、さらに 6 分間かくはんし、合計 10 分間練り混ぜる。実験に用いたモルタル量は、1 配合について、6~7l 程度で、これを 2 バッチとして練り分け、練り混ぜ終了後、ただちに流下時間を測定した。試験用注入モルタルの練り混ぜ、打ち込みは恒温高湿作業室（温度 20°C、湿度 85% R.H.）で行なった。

実験 IV および実験 V-3 のプレバックドコンクリート用注入モルタルの練り混ぜは、モルタルミキサ（ヤマトボーリング株式会社製 MP-301 型）を用いた。1 バッチあたりの練り混ぜ量は約 80l である。練り混ぜの要領は、試験用注入モルタルの場合に準じて行ない、合計 10 分間の練り混ぜ終了後、ただちに流下時間、モルタル温度を測定した。注入モルタルは実験場内で練り混ぜ、恒温高湿作業室内に運搬し打ち込みを行なった。

## (2) 注入モルタル試験用供試体の製作

実験 I, II では、ブリージング率試験、膨張率試験および圧縮強度試験を実施した。ただし、実験 I の A 社アルミナセメントについては、凝結試験をも併せて行なった。

実験 I, II の場合、最初のバッチから  $\phi 15 \times 15$  cm の凝結試験用供試体 1 個を製作し、続くバッチでブリージング率、膨張率、圧縮強度の 3 試験を兼ねる供試体 6 個を製作した。モルタルを  $\phi 5 \times 50$  cm のポリエチレン製袋に注入し成型したもので、供試体は、試験時まで恒温高湿作業室内に静置した。

実験 III のブリージング率、膨張率試験用供試体は、実験 I, II と同一の方法で製作した。圧縮強度試験用供試体は、 $\phi 5 \times 10$  cm の鋼製型わくを使用した。モルタル注入後、供試体上面を押し板でおおい、その上に 2 kg 程度の重錘を載せて、水分の蒸発を防ぐとともにモルタルの膨張をある程度抑制した。なお、実験 III の養生方法については 6. “注入モルタルの転移強度”，6.2 “配合および試験条件” の項で詳述する。

## (3) プレバックドコンクリート供試体の製作

粗骨材の充填ならびに、モルタルの注入は次の要領で行なった。すなわち、 $\phi 15 \times 30$  cm の圧縮強度試験用鋼製型わくに内径 20 mm 程度のパイプを立て込み、ほぼ等しい厚さの 3 層に分けて粗骨材を詰める。各層は突き棒で 25 回突き固める。次にこの型わくに充填した粗骨材の空隙を水で満たし、パイプを通して注入モルタルを高さ 1.0 m 程度から自然流下させて、モルタルが型わくの底部から粗骨材の空隙を満たしていた水を押し上げ

るように静かに注入する。注入モルタルが型わく上面より、越流し始めた時点で、モルタルの注入を続けながらパイプを静かに引き抜き、さらに上面に露出している粗骨材面をおおいうる程度にモルタルを注ぎ、モルタルの注入を終える。その後、型わくの側面を木づちでたたいてモルタルの行きわたりを完全にする。最後に型わく上面の突き出した粗骨材を取り除き、その表面をならして、型わく上面と一致させた後、キャッピング用の押し板でおおい、上面に 12 kg 程度の重錘を載せ打ち込みを終了する。

プレバックドコンクリートの温度測定用供試体は、強度試験用供試体と同一方法で製作し、モルタル注入を終了した後、注入用パイプを抜き取った部分に内径  $\phi 9$  mm、長さ 20 cm 程度の真ちゅう製パイプを挿入した。供試体の形状は、プレバックドコンクリート供試体と同一の  $\phi 15 \times 30$  cm とし、制作個数はそれぞれの配合について 1 個とした。

脱型は 24 時間後に行ない、直ちに所定の条件の養生槽に移した。実験 IV の養生方法については、7. “プレバックドコンクリートの強度特性”，7.1 “配合および養生条件” の項で詳述する。

## 3.3 試験方法

### (1) 注入モルタル

注入モルタルの流動性の測定は、流動性試験用ロート（港研型）を用いた<sup>9)</sup>。注入モルタルのブリージング率および膨張率の測定は、土木学会プレバックドコンクリート施工指針（案）に規定する“プレバックドコンクリート試験方法 2 章 注入モルタルのブリージング率および膨張率試験方法”に準じ、練り混ぜ開始時より 30 分、1 時間、2 時間、3 時間および 6 時間の各時点で測定を行なった。

凝結時間の測定は、ASTM C 403-68 “Test for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance”（貫入抵抗による凝結時間の試験方法）に準じて試験した。すなわち、練り混ぜ開始時間を基準として、貫入抵抗を測定し、500 p.s.i. および 4,000 p.s.i. に到達した時間を凝結始発および終了時間とした。供試体は、測定時以外は、表面をキャッピング用の押し板でおおい、水分の蒸発を防止した。

実験 I, II の圧縮強度試験は、土木学会、プレバックドコンクリート施工指針（案）“プレバックドコンクリート試験方法 2 章 注入モルタルのブリージング率および膨張率試験方法”に準じた。ポリエチレン製袋を用い

て製作した供試体をコンクリートカッターにて所要の長さに切断し、両面に石こうキャッピングを施して圧縮強度試験に供した。

実験Ⅲの供試体の圧縮強度試験は、同指針(案)“ブレパックドコンクリート試験方法 3章 注入モルタルの圧縮強度試験方法”に準じて行なった。試験は、所定の養生終了後両面硫黄キャッピングを施した。

(2) ブレパックドコンクリート

ブレパックドコンクリート供試体の圧縮強度試験は、土木学会 ブレパックドコンクリート施工指針(案)“ブレパックドコンクリート試験方法 4章 ブレパックドコンクリートの圧縮強度試験方法”に準じて行なった。圧縮強度試験に先立って両面硫黄キャッピングを施した。ブレパックドコンクリート供試体の内部温度は、供試体中に埋め込んだパイプ内部に水銀を満ちし、この部分に自動温度測定記録計(東亜電波工業株式会社製、記録計 EPR-3 T, 温度プリボックス PB-10 C)の端子を挿入し、24時間の自動測定を行なった。

4. 注入モルタルの諸特性

4.1 最適配合の決定(実験Ⅰ)

(1) 決定すべき配合比

本実験では、最適配合の決定は原則として普通ポルトランドセメントを用いた場合の配合設計方法に準ずることとした。

注入モルタルの配合設計にあたり、決定しなければならない事項は次の5配合比である。

- i) 水結合材比 (W/C+F)
- ii) フライアッシュ混和率 (F/C+F)
- iii) 砂結合材比 (S/C+F)
- iv) 分散剤率 (DA/C+F)
- v) 発泡剤率 (AI/C+F)

アルミナセメントを使用した普通コンクリートの多くの試験結果から、転移強度に最も大きな影響を与える因子は水セメント比であることが明らかにされている。従って、注入モルタルの上記5配合比においても、水結合材比が最も重要な項目と考えられる。本実験では、一般的使用条件のもとで、転移による強度の影響が比較的少ないと考えられる水セメント比 40~55% 程度の範囲を選択し、水結合材比の試験条件とした。

フライアッシュ混和率に関しては、初期の強度低下が比較的少なく、長期の強度増進が望めること、およびコンステンシーの増加が期待しうること<sup>7)</sup>など考慮して、

混和率を 15% とした。

砂結合材比は、水結合材比とともに注入モルタルの流動性に大きな影響を与える。前述のように、水結合材比の範囲を規制する場合、砂結合材比はほぼ水結合材比によって定まると考えられる。本実験では、40~55% 程度の水結合材比について、ブレパックドコンクリート用注入モルタルに一般的に使用される、砂結合材比 1.25~1.50 を基準として、1.00~2.00 の範囲で5段階に変化させ、所要の流下時間に適合する砂結合材比を検討した。

発泡剤率は、普通ポルトランドセメントを用いた注入モルタルの場合の配合に準じ、原則として結合材量 (C+F) の 0.01% のアルミニウム粉末を用いるものとした。

分散剤としては、ボゾリス No. 5 L を用いた。混和率は製造会社の指定量とし、結合材量 (C+F) の 0.25% を混入した。

(2) 最適配合の決定

最適配合の決定にあたっては、注入モルタルの流動性に対して流下時間を 20±1 秒とした。

一定のフライアッシュ混和率、発泡剤率、分散剤率のもとで、40%、45%、50% の3種の水結合材比について砂結合材比を変化させ、所定の流動性のものを最適配合とした。

水結合材比を一定とした場合の流下時間と砂結合材比の試験結果は、図-1 に示す通りである。これによると、砂結合材比の増加により注入モルタルの流動性は低下す

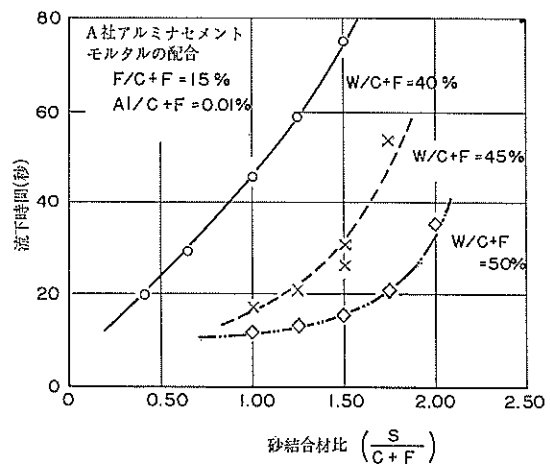


図-1 水結合材比を一定とした場合の砂結合材比と流下時間の関係

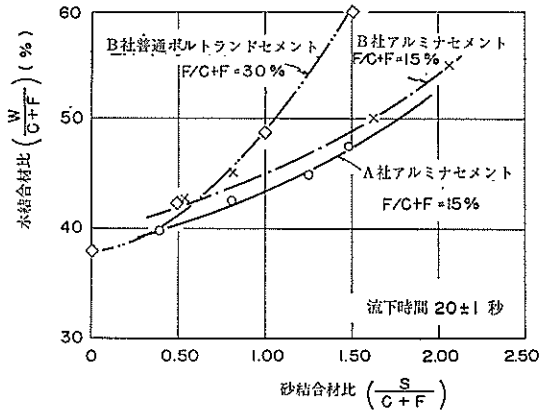


図-2 流動性を一定とした場合の砂結合材比と水結合材比の関係

るが、流下時間の増加する傾向は水結合材比によって相違する。流下時間20秒前後の範囲では、水結合材比の大きいものほど、砂結合材比の変化に対応する流下時間の変化量が減少する傾向を示している。

図-2 は、注入モルタルの流下時間を 20±1 秒とした場合の、砂結合材比と水結合材比の関係を図示したものである。図-2 より、アルミナセメントを使用した注入モルタルは、同一水結合材比において、普通ポルトランドセメントを使用した注入モルタルに比較して、若干上廻る砂結合材比を示方して所要の流動性を確保し得ることを提示しているものと思われる。これは、アルミナセ

メントが普通ポルトランドセメントに比較して粘性が乏しいためと考えられる。A社アルミナセメントを使用した注入モルタルは、B社アルミナセメントを使用した注入モルタルを上廻る流動性を有する結果が得られているが、主として、粉末度の相違に起因するものと思われる。すなわち、A社およびB社のアルミナセメントの粉末度は、比表面積（ブレン）で、それぞれ 5,090 cm<sup>2</sup>/g および 3,950 cm<sup>2</sup>/g であり、モルタルの配合の決定に際して、セメントの種類、粉末度による影響を考慮する必要があることを示すものと考えられる。

試験結果から、一定の材料、フライアッシュ混和率、発泡剤混和率、分散剤混和率のもとで、所定の流下時間を満足する最適配合は、表-5 に示す通りである。

4.2 注入モルタルの諸特性（実験Ⅱ）

(1) プリージング率

流下時間 20 秒を満足する注入モルタルの、水結合材比とプリージング率との関係について得られた試験結果は、図-3 に示した通りである。図-3 では発泡剤率の変化による影響も併せて示しているが、本章では、最適配合のもの（発泡剤率 0.01%）についてのみ検討し、発泡剤率による影響については 6.2 “発泡剤としてのアルミニウム粉末の混入効果”の項で述べることにする。

実験結果によれば、最適配合におけるプリージング率は、水結合材比 40% の場合、2.5~4.0%（A社アルミナセメント）、45% の場合 2.1~4.5%（A社アルミナセメント）、3.9~5.5%（B社アルミナセメント）、50% の

表-5 注入モルタルの配合

セメント種類	水結合材比 W/C+F (%)	水セメント比 W/C (%)	砂結合材比 S/C+F	単 位 量					配合記号	
				水 W (kg)	セメント C (kg)	フライアッシュ F (kg)	砂 S (kg)	分散剤 P (cc)		アルミニウム粉末 Al (g)
A	40.0	47.1	0.39	441	943	166	433	2773	111	A-1
	42.5	49.9	0.90	381	759	134	806	2223	89	A-2
	45.0	53.0	1.25	350	666	118	979	1960	78	A-3
	47.5	55.9	1.50	338	608	107	1074	1788	72	A-4
	50.0	58.9	1.75	328	560	100	1155	1650	66	A-5
B <sub>1</sub>	42.5	49.9	0.52	433	871	154	535	2563	103	B-1
	45.0	53.0	0.80	405	768	136	723	2660	90	B-2
	47.5	55.9	1.48	340	612	108	1065	1800	72	B-3
	50	57.8	1.60	340	582	103	1097	1713	69	B-4
	55	64.7	2.11	321	499	88	1238	1468	59	B-5

注) 流下時間 20±1秒, フライアッシュ混和率 (F/C+F) 15%, 発泡剤混和率 (Al/C+F) 0.01%, 分散剤混和率 (P/C+F) 0.25%

アルミナブレバッドコンクリート

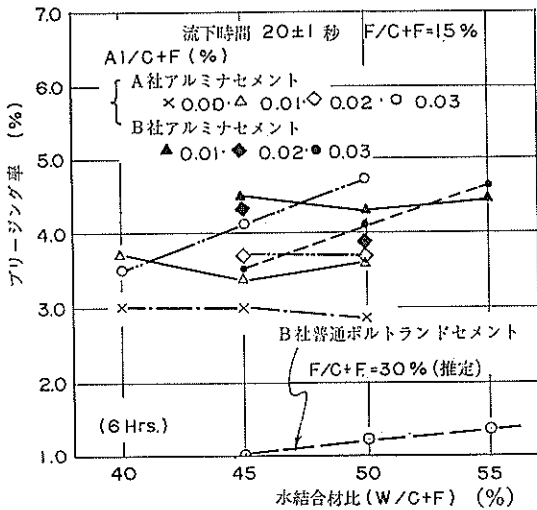


図-3 流動性を一定とした場合の水結合材比とブリージング率の関係

場合、それぞれ 2.9~4.2%, 4.0~4.9% の範囲にあったが、図ではそれらの平均値を示している。また図中の B社普通ポルトランドセメントを用いた場合の水結合材比とブリージング率の関係は、メスシリンダー法による実験結果より<sup>8)</sup>、ポリエチレン袋法の場合のブリージング率を換算して求めた値である。

図-3 によると、膨張剤を 0.01% 混入した注入モルタルにおいて、水結合材比、アルミナセメントの種類によって若干の相違は認められるが、試験値の変動を考慮すると、これらがブリージング率と明確な関係を有するとは言いがたい。アルミナセメントを使用した注入モルタルのブリージング率は、普通ポルトランドセメントを使用した注入モルタルの推定ブリージング率を 1.5~2.0% の範囲で上廻る値を示している。試験時の観察結果によると、注入モルタルにアルミナセメントを用いた場合、ブリージング水は、モルタルの凝結開始にともない急激に内部に吸収され、24時間経過後には、表面は乾燥状態に近くなるものが多くみられた。

土木学会 プレバッドコンクリート指針(案)“2章 プレバッドコンクリートの品質”による注入モルタルのブリージング率の規定では3時間以後において、ブリージング率は3%以下としているが、本実験結果はいずれもこれを越える値であった。実験 I, II に使用した材料、配合条件のもとでは、フライアッシュ混和率の減少を計っても所要の規定内にブリージング率を減少させることは困難であると思われる。港湾構造物設計基準に

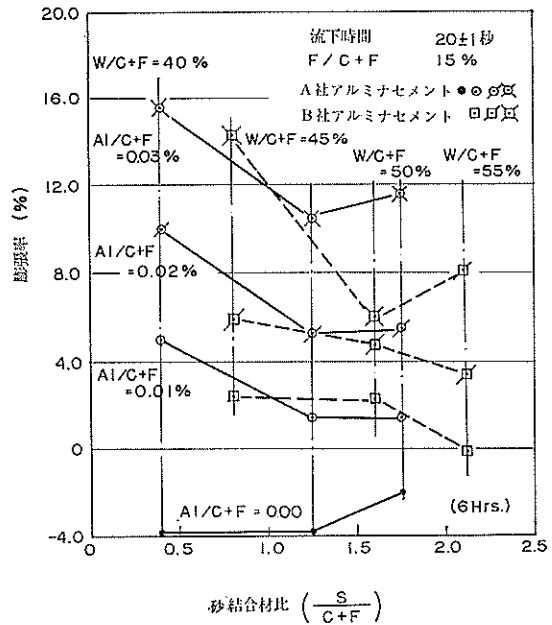


図-4 流動性を一定とした場合の砂結合材比と膨張率の関係

においては、プレバッドコンクリートの下層コンクリートと比較し、上層コンクリートの強度低下を15%と想定し、強度減少率を考慮した配合強度を規定している。ブリージング率の増大は材料分離を促し、上下層コンクリートの強度をさらに拡大するものと考えられ、これらの事情を考慮した割り増し係数の設定が必要であると思われる。

(2) 膨張率

図-4 は、20±1秒の流下時間を満足する注入モルタルの砂結合材比と膨張率との関係を示したものである。発泡剤率の変化による影響も併せて図示しているが、本項では、最適配合(発泡剤率 0.01%)の膨張率についてのみ検討するものとし、発泡剤との関係については6.2にて詳述する。

実験結果によれば、最適配合における膨張率は、水結合材比 40% のとき、4.9% (A社アルミナセメント)、45% のとき、0.5~2.1%、50% のとき 0.6~2.2%、55% のとき -0.5% (B社アルミナセメント) であって、水結合材比の増加にともなって膨張率は減少する。表-5 から明らかなように、所要の流動性を満足する注入モルタルのもとで、水結合材比の増加は、砂結合材比の増加に対応する。このとき、同一容積中に占めるアルミナセメントおよびアルミニウム粉末の重量比は減少す

る。セメント中のアルカリ成分とアルミニウム粉末の反応による水素ガスの発生効果は、砂結合材比によって影響を受けるとは考えられていないが、膨張剤の絶対量の低下が、見掛けの膨張率の減少をもたらしたものと考えられる。膨張剤を 0.01% 混入したアルミナセメントの注入モルタルは、普通ポルトランドセメントを使用したほぼ同一配合条件の注入モルタルの膨張率をやや下廻る結果が得られている。これは、アルミナセメントの場合、ペースト自体の粘性が低く砂結合材比が普通ポルトランドセメントの場合を上廻ること、セメント化学成分の相違などに起因するものと考えられる。

本試験で取り上げた水結合材比 40~50% の範囲内では、発泡剤率 0.01% における注入モルタルの膨張率は 1.5~2.5% 程度の相違が認められる。注入モルタルの配合設計にあたり所要の膨張率を得るためには、砂結合材比ないし水結合材比を併せて考慮して、発泡剤率の決定を行なう必要がある。

(3) 凝結時間

水結合材比 40%, 45% および 50% の 3 者について、凝結時間を図示したものが 図-5 である。本図によると、水結合材比の減少に伴って凝結の始発および終結が遅延する傾向が認められる。すなわち、水結合材比が 50% から 45% に減少するに従い、砂結合材比は 0.5 程度減少し、凝結時間は 1 時間程度遅れる。水結合材比が 40% の注入モルタルは、砂結合材比が 0.5 以下であり相対的にセメントペーストのために容積が増す。このときの凝結始発は、注水後ほぼ 11 時間 40 分であった。アルミナセメントを使用したコンクリートの凝結は、養生温度によって著しく影響を受け、30°C に至る範囲では養生温度の増加と共に凝結開始および終結時間が遅れると言わ

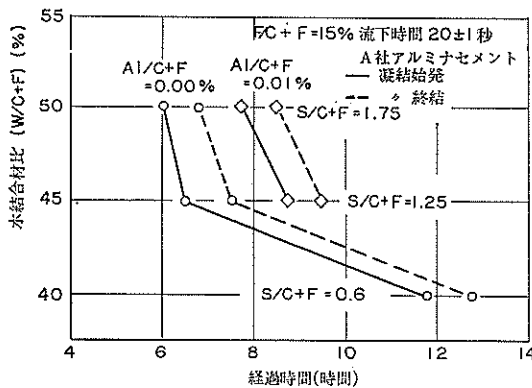


図-5 流動性を一定とした場合の水結合材比と凝結時間の関係

れている。従って、注水後のアルミナセメントの発熱反応が、セメントペーストの硬化遅延をもたらし、セメント量の多いコンクリートほどこの傾向は顕著に現われるものと思われる。

徳光の実施したアルミナセメントを使用した普通のモルタル供試体による凝結試験結果<sup>9)</sup>では、6 時間経過後、450 kg/cm<sup>2</sup> の強度発現を示すにもかかわらず、凝結の終結に到達していないことが報告されている。徳光の実験結果は、注入モルタルの凝結特性と極めて類似した傾向を示しており、φ 15×15 cm の形状を有する供試体を用

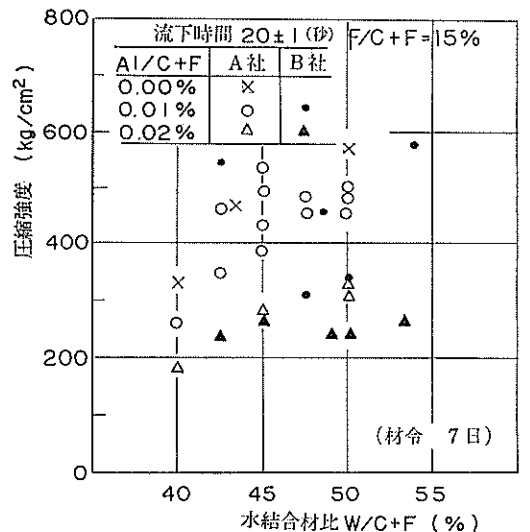
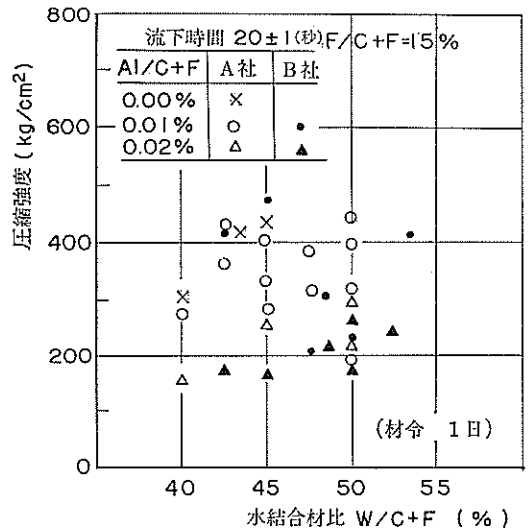


図-6 注入モルタルの水結合材比による圧縮強度の変化

いたプロクター貫入抵抗による凝結時間の測定方法は、アルミナセメントを用いたモルタルの凝結の始発および終結時間の測定には適切でないと考えられる。

(4) 圧縮強度

材令1日および7日における圧縮強度試験結果は、図-6に示した通りである。本項では、発泡剤率0.01%の最適配合について記し発泡剤率の変化による影響については6.2“転移による強度変化”の項で詳述する。

図-6によると、材令1日において200~400 kg/cm<sup>2</sup>の圧縮強度に達するようである。材令7日に至る圧縮強度の増加率は、水結合材比とアルミナセメントの種類によって相違する。A社アルミナセメントを用いた水結合材比40%のモルタル強度増加率はほぼ5%程度であって、他の注入モルタルを用いた供試体の強度増加率29~49%に対して、著しくその増加率は低い。水結合材比40%の注入モルタルは、同一容積のモルタル中に占めるセメントペースト量が多く、他の場合に比較して初期

材令において、水和反応に伴う発熱によって転移が容易な条件下にあると考えられる。これが、強度発現率の低い一因と想定される。本実験の範囲内において最大の圧縮強度は、いずれのアルミナセメントにおいても水結合材比45%で生ずる結果となっており、アルミナセメントを使用した注入モルタルについては、圧縮強度と水結合材比に直線的関係は存在しないようである。

5. アルミニウム粉末の膨張効果 (実験 II)

5.1 配合および試験条件

セメントは、A社アルミナセメントおよびB社アルミナセメントの2種について実施し、水結合比としてA社アルミナセメントでは40, 45, 50%, B社アルミナセメントでは、45, 50, 55%のおのおの3段階を取り上げた。所要砂結合材比は表-5より決定し、アルミニウム粉末の混和率を最適配合の0.01%と共に、無添加、0.02%, 0.03%の3種とした。流下時間は20±1秒である。

表-6 アルミニウム粉末の混入率による注入モルタルの流動性、圧縮強度試験結果

セメント種類	水結合材比 W/C+F (%)	配合記号	発泡剤率 Al/C+F (%)	流下時間 (秒)	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		$\sigma_7/\sigma_1$ (%)
					$\sigma_1$	$\sigma_7$	
A	40	A-1	0	18.7	301 (100)	331* (100)	110
			0.01	19.8	272 (90)	285* (86)	105
			0.03	22.8	155 (51)	182 (55)	117
	45	A-3	0	19.2	437 (100)	549 (100)	126
			0.01	21.4	402 (92)	536 (98)	133
			0.02	22.3	—	—	—
			0.03	23.2	251 (57)	283 (52)	113
	50	A-5	0	19.5	437 (100)	569 (100)	130
			0.01	22.2	320 (73)	453 (80)	142
0.02			22.4	—	—	—	
			0.03	22.8	224 (51)	302 (53)	135
B <sub>1</sub>	45	B-2	0.01	19.6	478 (100)	617 (100)	129
			0.02	20.7	—	—	—
			0.03	21.0	172* (36)	218* (35)	127
	50	B-4	0.01	18.8	304 (100)	454 (100)	149
			0.02	18.8	—	—	—
			0.03	20.4	215 (71)	238 (52)	110
	55	B-5	0.01	20.1	416 (100)	576 (100)	138
			0.02	21.3	244* (59)	263 (46)	108
			0.03	21.3	—	—	—

注) 圧縮強度試験用供試体はポリエチレン製袋使用。

試験値は、供試体3個の平均値。ただし、\*印は、供試体2個の平均値。

5.2 アルミニウム粉末の混入効果

(1) 流動性

表-6 は、発泡剤率と流下時間および圧縮強度の関係について試験結果を比較したものである。表-6 によると、発泡剤の混入量を高めると、流動性が低下する傾向が認められ、この傾向は、水結合材比の小さな注入モルタルほど顕著なようである。たとえば、A社アルミナセメントにおいて、発泡剤無添加と 0.03% における流動時間の相違は、水結合材比 40, 45, 50% においてそれぞれ、4.1, 3.7, 3.3 秒であり、B社アルミナセメントの発泡剤率 0.01% と 0.03% における水結合材比 45, 50, 55% の流動時間の相違は、1.4, 1.6, 0.9 秒であった。混入量 0.01~0.03% における流動時間の相違に比較し、無添加と混入量 0.01% における流動時間の相違は上まわるようであり、これらの事実は、注入モルタル中の水素ガスの生成が、流動性のある程度低下させることを示すものと思われる。

(2) ブリージング率

ブリージング率と発泡剤率の関係については、図-3 に示している。これによれば、アルミニウム粉末無添加の場合、A社アルミナセメントで 2.7~3.0% 程度である。これに対して、発泡剤率を 0.03% まで増加させた場合のブリージング率は、0.5~2.0% の増加を示し、また、B社アルミナセメントの場合、発泡剤率 0.01% に対して発泡剤率 0.02% では -1.2~0.7%, 0.03% で 3.9~4.6% のブリージング率の変化を示している。以上の結果から、アルミニウム粉末無添加に比較し、アルミニウム粉末の混入がブリージング率を高める傾向は明らかかなようであるが、アルミニウム粉末の混入率とブリージング率に一定の関係は認められなかった。また、アルミニウム粉末無添加の場合のアルミナセメントと普通ポルトランドセメントの注入モルタルのブリージング率を比較すると、前者は後者をほぼ 2% 程度上まわるブリージング率を示している。

(3) 凝結時間

発泡剤率による注入モルタルの凝結時間の試験結果は、図-5 に示す通りである。発泡剤率は無添加の場合と 0.01% の 2 種である。発泡剤率 0.01% の注入モルタルに対し、無添加の注入モルタルでは、水結合材比 45% および 50% において、凝結始発時間は 1 時間 45分~2 時間 15分程度、終結時間でも、1 時間 45分~2 時間程度早まる傾向を示している。セメント中に混入されたアルミニウム粉末がセメントのアルカリ成分と反応して

水素ガスを発生する過程は、モルタル練り混ぜ後、長時間持続される。本試験結果においても、凝結時間を遅延する傾向を示しており、アルミニウム粉末の混入が凝結硬化反応を抑制することを示すものと思われる。

(4) 圧縮強度

A社アルミナセメントではアルミニウム粉末無添加の場合に対して、発泡剤率 0.01% の場合、材令 1 日で 10~27%, 材令 7 日で 2~20% 程度の強度減少率を示し、0.03% の発泡剤率では材令 1 日で平均 45% 程度、材令 7 日において 45~47% 程度の強度減少を示している。また、B社アルミナセメントの場合 0.01% のアルミニウム粉末添加注入モルタルに対して、発泡剤率を 0.03% に増加させたときの強度減少率は、材令 7 日で 54~65% である。押し板の重量が不足で、膨張の拘束が不十分であったことが、膨張率の増加による強度減少の原因と考えられる。

同一発泡剤率の供試体の、材令 1 日から 7 日に至る圧縮強度の増進率は、平均 25% 程度 (5~42%) でアルミニウム粉末の添加量による影響はみられない。

(5) 膨張率

図-4 では、砂結合材比と膨張率との関係と共に発泡剤率の変化による影響も併せて示している。これによれば、0.01% の添加は、無添加の場合に対してA社アルミナセメントで平均 5% 程度 (3.2~7.7%) の膨張効果を与えている。発泡剤率と膨張率で、再整理して図示したものが図-7 である。これによれば発泡剤率 0.01% の増加に対して膨張率は 2.5~5% 程度の増加を示してお

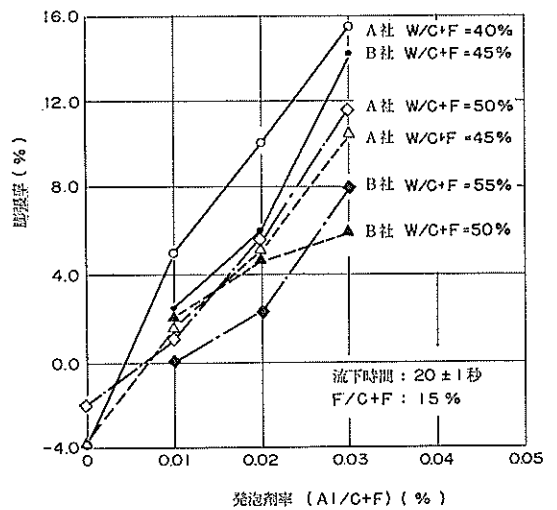


図-7 発泡剤率と膨張率の関係

り、その傾向は普通ポルトランドセメントと同様にほぼ直線的である。膨張効果はセメントの種類によって相違し、その差は 2~3% 程度であった。

土木学会プレバックドコンクリート施工指針(案)では、膨張率を 5~10% と規定している。図-7 から、それぞれのアルミナセメントに対し所要の膨張率を得るための発泡剤率を決定することができるが、観察結果によると発泡剤率 0.03% の場合に、注入モルタルのブリージング率、膨張率測定用の供試体上面に過大な水素ガス発生によるひびわれが生じた。発泡剤の多大な混入によって、ブリージング率の増加、凝結時間の遅延なども予想され、単に膨張効果のみから発泡剤率を決定することは妥当でない。所要の膨張効果を有し、有害な影響を与えぬ実用的なアルミニウム粉末混入率は、0.01~0.02% 程度と考えられる。

## 6. 注入モルタルの転移強度 (実験 III)

### 6.1 配合および試験条件

実験は III-1, III-2 の 2 種の異なる養生条件について実施した。実験 III-1 では A 社アルミナセメントを取り上げた。水結合材比 45% および 50% の 2 種配合を選び、次のような養生条件で転移強度試験用供試体の試験を行なった。すなわち供試体成型後、硬化のほぼ完了する 10 時間まで恒温高湿実験室内で型わくのまま湿空養生を行ない、以後所定の材令まで 50°C の水中養生を行なう。脱型は材令 1 日とし、強度試験は、材令 1 日、2 日、4 日、7 日、28 日で行った。これと併行して製作した標準供試体の養生条件は、練り混ぜ開始時より 10 時間までは転移強度試験用供試体の養生方法と同一とし、以後 20°C の水中標準養生を開始して、材令 1 日で脱型を行ない以後水中養生を継続し、材令 1 日、7 日、28 日で強度試験を行なった。

実験 III-2 で用いたセメントは A 社アルミナセメントおよび B 社アルミナセメントの 2 種である。表-5 に示すような、水結合材比 42.5, 45, 47.5, 50% の A-2, A-3, A-4, A-5 および B-1, B-2, B-3, B-4 の 3 配合について試験を行なった。さらに、水結合材比 45, 50% に関しては、発泡剤率を 0.03% とした B-3, B-5 および B-2, B-4 の 4 種の配合を加えて試験を行なった。試験方法は、練り混ぜ開始時点より 24 時間、恒温高湿作業室内で湿空養生を行ない、脱型後、転移強度試験用供試体については、所定の材令まで 50°C の水中養生を行なった。材令 1 日、2 日、3 日、4 日、7 日およ

び 28 日において強度試験を実施した。標準供試体については、練り混ぜ開始時点より 24 時間まで湿空養生とし、脱型後直ちに 20°C の水中に浸漬し、材令 7 日、28 日で強度試験を行なった。試験に用いた注入モルタルの管理試験としては、3.3 “試験方法” で述べた方法に従って、ポリエチレン製袋によって、ブリージング率および膨張率を求めた。

### 6.2 転移による強度変化

表-7 は、注入モルタルの転移強度試験結果を示したものである。実験 III-1 の A 社アルミナセメントについての試験結果では、材令 10 時間で 50°C 水中養生を開始した供試体の強度は、材令 1 日ですでに標準養生供試体の強度を若干下廻る傾向を示しており、転移反応による強度低下の徴候が早くも認められる。45% の水結合材比を有するモルタル供試体では材令 4 日、50% の場合においては材令 2 日で最低強度に達した。また、その転移強度は、材令 1 日における標準養生供試体に対し、それぞれ 29% および 36% であった。しかし以降の強度は、未水とセメントの結晶化により増進しその増加傾向は、ほぼ標準養生における供試体と同様であった。材令 7 日においては、標準養生の供試体に比較し水結合材比 45% および 50% の供試体の強度は、ほぼ 29% および 35% の値を示している。これは、ほぼ同一養生における、アルミナセメントを用いたコンクリート供試体転移反応による強度低下の割合(ほぼ 60%)を下まわる値であった。本試験の結果によると、供試体製作後 10 時間まで 20°C 湿空中以後 50°C 水中養生を実施することによって、材令 4 日程度で、十分に転位強度に到達し得ることは明らかである。

実験 III-2 において、材令 1 日から 50°C の水中に浸漬したアルミニウム粉末混入量 0.01% の供試体強度は、ほぼ材令 2 日~3 日で、強度の極大値に達し、以後は、転位による強度低下の割合が硬化反応による強度増進の割合を上まわり、一様に強度の低下を生じている。最低強度は、材令 7 日で生ずるものが最も多く材令 28 日に達する時点まで強度低下の継続する供試体も数例みられた。

発泡剤率を 0.03% としたモルタル供試体は、材令 2 日において、標準養生供試体と比較して A 社アルミナセメントを用いた場合、10% 程度の増加率であるが、B 社アルミナセメントを使用した場合の増加率は 60% 程度で、アルミナセメントの相違によって、強度の増加傾向は異なるようである。材令 2 日以降、A 社アルミナセメントでは一様に低下する傾向を示し、ほぼ材令 7 日~



表-7 注入モルタルの転位強度試験結果

セメントの種類	配合記号	発泡剤率 Al/C+F (%)	水結合材比 W/C+F (%)	砂結合材比 S/C+F	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) (材令1日に対する強度比 $\sigma/\sigma_1 \times 100$ )								$\sigma_{ss}/\sigma_{ss}'$ (%) <sup>*</sup>		
					50°C 水中養生				20°C 水中養生						
					$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_4$	$\sigma_7$	$\sigma_{ss}$	$\sigma_1'$	$\sigma_7'$		$\sigma_{ss}'$	
A (実験Ⅲ-1)	A-3	0.01	45.0	1.25	285(100)	174(61)	—	83(29)	113(40)	—	285(100)	585(221)	450(259)	29	—
	A-5		50.0	1.75	368(100)	160(43)	—	166(45)	173(47)	202(55)	444(121)	500(136)	705(192)	35	29
	A-2		42.5	0.90	362(100)	461(127)	186(51)	143(40)	134(37)	155(43)	362(100)	348(96)	504(139)	38	31
	A-3		45.0	1.25	334(100)	384(115)	349(104)	351(105)	135(40)	125(37)	334(100)	434(130)	508(151)	31	25
	A-4	0.01	47.5	1.50	314(100)	473(151)	393(125)	171(54)	105(33)	116(37)	314(100)	481(153)	521(166)	22	22
A (実験Ⅲ-2)	A-5		50.0	1.75	399(100)	537(135)	517(130)	522(131)	171(43)	140(35)	399(100)	483(121)	553(139)	35	25
	A-3	0.03	45.0	1.25	253(100)	277(109)	243(96)	185(73)	117(46)	71(28)	253(100)	259(102)	264(104)	45	27
	A-5		50.0	1.75	297(100)	318(107)	288(97)	210(71)	106(36)	103(35)	297(100)	339(114)	328(110)	31	31
	B-1		42.5	0.52	413(100)	624(151)	607(147)	609(147)	247(60)	258(62)	413(100)	546(132)	643(156)	45	40
	B-2	0.01	45.0	0.80	478(100)	637(133)	629(132)	571(119)	250(52)	252(53)	478(100)	617(129)	707(148)	41	36
B <sub>1</sub> (実験Ⅲ-2)	B-3		47.5	1.48	209(100)	258(123)	329(157)	315(151)	200(96)	136(65)	209(100)	309(148)	325(156)	65	42
	B-4		50.0	1.60	231(100)	346(150)	367(159)	262(113)	226(98)	161(70)	231(100)	337(146)	370(160)	67	44
	B-2		45.0	0.80	163(100)	273(167)	284(174)	187(115)	154(94)	132(81)	163(100)	268(164)	280(172)	57	47
	B-4	0.03	50.0	1.60	175(100)	265(151)	86(49)	82(47)	84(48)	105(60)	175(100)	243(139)	292(167)	35	36

(注) 試験結果は、供試体3個の平均値を示している。

転移試験用供試体の養生条件は

実験Ⅲ-1: 材令10時間以降 50°C 水中

実験Ⅲ-2: 材令1日以降 60°C 水中

\* 標準養生を行なった供試体強度に対する 50°C 水中養生を行なった供試体強度の比率

28日で最低強度に達する。転位強度は、材令1日の20°C 湿空養生供試体の38%程度、材令7日の20°C 水中養生供試体の32%程度となっている。またB社アルミナセメントを用いたモルタル供試体では、材令3日程度まで増加傾向を示すものもみられ、転移による強度の最低値は、材令7~28日程度まで持続されるようである。しかし、強度の低下率は少なく、20°C 湿空養生の供試体の材令1日圧縮強度に対し、材令7日で75%程度、材令28日で62%程度、20°C 水中養生の材令7日における供試体強度に対しては、それぞれ、54%、40%程度となっている。A社アルミナセメントを使用したものについては転移による最低強度は材令28日においては、発泡剤率0.01%のものよりも低い値を示すようであるが、材令7日の場合はほぼ同程度であり、B社セメントについては特に発泡剤率0.01%のモルタルとの相違を示す現象はみられなかった。

## 7. プレバッキングドコンクリートの強度特性 (実験 IV)

### 7.1 配合および養生条件

プレバッキングドコンクリートの試験では、実用性の高いと思われる2種の水結合材比を取り上げた。すなわち、水結合材比を45%および50%として、表-5に示すA-3、A-5およびB-4の配合を有する注入モルタルを用いた。

試験条件については6.1項で述べた実験III-2の養生条件と同一とした。すなわち、注入モルタル練り混ぜ開始後、24時間、恒温高温作業室にて型わくのままで湿空養生を行ない、脱型したのち、直ちに50°Cの水槽中に浸漬して、所定の材令まで養生を行なった。強度試験はモルタル転移試験用供試体については材令1日および7日で行った。これと併行して製作した標準養生供試体の養生条件も6.1項の実験III-2の標準養生供試体と同一であり、材令24時間まで恒温高温作業室で型わくのままで湿空養生を行ない、その後脱型し、所定の材令のままで20°Cの水中養生を行なった。モルタル供試体については、材令1日および7日、プレバッキングドコンクリート供試体については、材令7日および28日で強度試験を行なった。プレバッキングドコンクリート供試体の水和反応による温度上昇測定用供試体は、コンクリート打設後、恒温高湿槽内に静置して測定した。本実験に用いた注入モルタルの

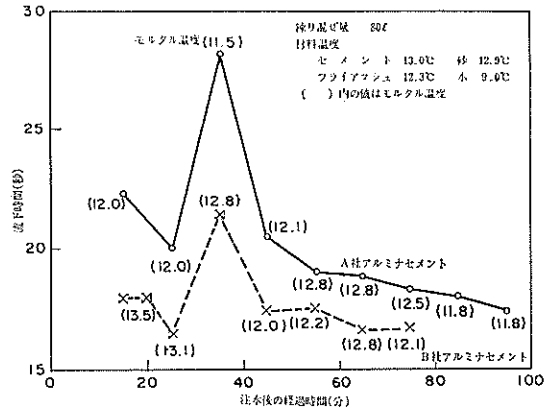


図-8 注入モルタルの練り混ぜ経過時間と流動性の変化

管理試験には、ポリエチレン製袋を使用したブリージング率試験および膨張率試験である。

### 7.2 時間の経過による注水モルタルの流動性および温度の変化

所定の練り混ぜ時間の経過したモルタルは、型わく注入時まで、ミキサ内でゆるいかくはんを継続して、ほぼ注入作業の完了する時点まで一定時間毎にモルタルの流下時間および温度の測定を実施した。

図-8では、時間の経緯による、流下時間および温度の測定結果を示している。これによると、ゆるいかくはん作業に移行してほぼ30分を経過した時点において、流動性が著しく低下する。型わくへの注入作業においても、モルタルにこわばりを生じ、所定の高さより自由落下によってモルタルを粗骨材空隙中に充填する作業に困難を伴った。かくはんを継続すると、次第に流動性は回復し、ほぼ1.5時間以内のかくはん作業においては、流下時間が低下する傾向が認められた。杉木<sup>11)</sup>は、アルミナセメントを使用したモルタルについて、練り混ぜ後の経過時間とフローの関係を求めている。杉木の試験結果によると、練り混ぜ直後、ほぼ27cmのフローを有するモルタルが30分後にはほぼ20cmに低下し以後、1時間程度まで徐々にフローが増大する測定例を示しており、本試験結果と極めて類似した傾向を示している。

温度の測定結果を併せて、図-8に図示してあるが、本練り完了後には、ほぼ13°Cであり、かくはん作業の継続によって著しい変化は認められない。

### 7.3 プレバッキングドコンクリートの硬化時の温度上昇

図-9は、φ15×30cmの形状を有するプレバッキングドコンクリート供試体中央部の温度測定結果を示したもので

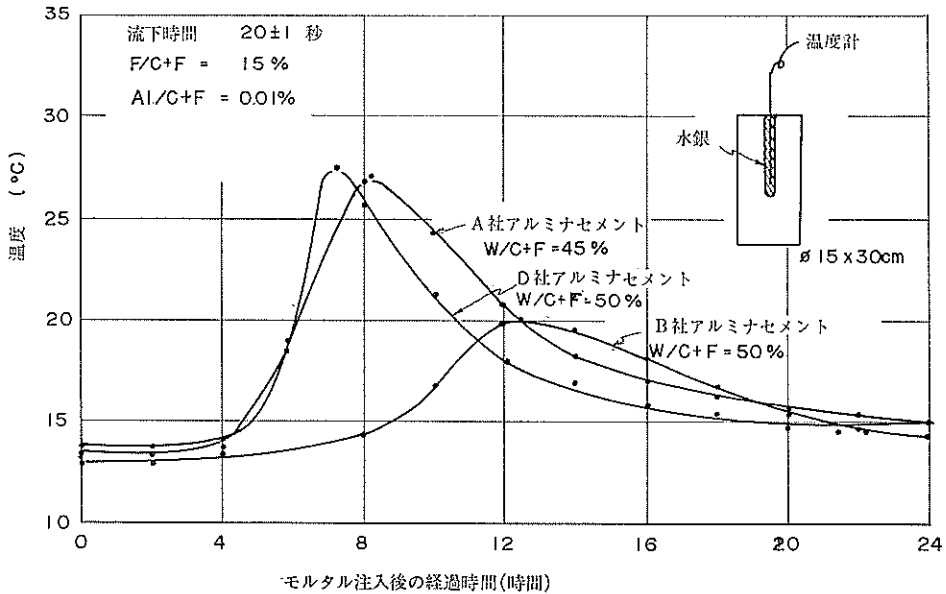


図-9 プレパックドコンクリート供試体の温度測定例

ある。図-9 によると、A社アルミナセメントを使用したプレパックドコンクリートは練り混ぜ後3~4時間で温度上昇を始め、7~8時間で、ピークに達する。温度の最大値は27°C程度で、練り混ぜ終了後に対しほぼ13°Cの上昇を示している。水結合材比50%の場合のプレパックドコンクリートでは、水結合材比45%のプレパックドコンクリートに比較して、温度上昇のピークに達する時間は、1時程早くなる傾向を示しているが、これは、4.2の項で述べたように水結合材比の大きいモルタル程凝結時間が早まる傾向と一致している。

B社アルミナセメントを用いたプレパックドコンクリートで温度の上昇は、注入後4時間程度から始まるが、ピークに達する時間は12~13時間で、D社アルミナセメントに比較すると著しく遅延する傾向がみられる。また最高温度も20°C程度で、ほぼ7°Cの上昇を示すのみであって、アルミナセメントの種類によって、発熱の程度が著しく相違するようである。

本実験で用いた供試体は、かぶり厚さがほぼ7cmであって現場構造物に比べて極めて小さな断面を有するものであり、断面の大きな構造物の水和熱による温度上昇は著しく増大すると考えられる。従って、温度が強度に及ぼす影響を十分に考慮した上で、断面寸法、打設方法などを検討する必要がある。

#### 7.4 プレパックドコンクリートの強度

表-8 では、アルミナセメントを使用したプレパックド

コンクリートの転移強度、および使用した注入モルタルの試験結果を示している。これによると、20°C水中養生のもとで、注入モルタルの強度に対するプレパックドコンクリートの強度比あるいはプレパックドコンクリートの強度増加率は、注入モルタルの水結合材水セメントの種類によって相違するようである。たとえば注入モルタル自体の強度の増加率に、A社アルミナセメントの場合、材令7日で8~20%、材令28日で25~41%であり、B社アルミナセメントについては各々41%、66%となっている。これに対して、プレパックドコンクリートの強度の増加率は、A社アルミナセメントで材令7日で、15~46%、材令28日で46~100%、B社アルミナセメントで、材令7日で、157%、材令28日で、207%となっており、注入モルタルの強度増加率よりも、比較的大きくなる傾向が見られる。

次にプレパックドコンクリートの転移による強度低下の現象について考察する。50°C水中養生の供試体は、材令7日近傍でほぼ最低強度に達するようである。20°C湿空養生の材令1日の強度を100%とした場合、最低強度はA社アルミナセメントを用いたプレパックドコンクリートで、水結合材比45%のとき46%、50%のとき26%を示し、B社アルミナセメントでは、水結合材比50%のとき64%と最も低下率が少なくなっている。50°C水中養生を継続すると、材令1日に対する材令28日の強度比は、材令1日に対する材令7日の強度比に対し

アルミナプレバックドコンクリート

表-8 プレバックドコンクリートの転移強度試験結果 (1)

セメントの種類	配合記号	水結合材比 W/C+F (%)	砂結合材比 S/C+F	モルタルの圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )			
				50°C 水中養生		20°C 水中養生	
				$\sigma_{m1}$	$\sigma_{m7}$	$\sigma_{m7}'$	$\sigma_{m28}'$
A	A-3	45	1.25	410(100)	110( 27)	493(120)	578(141)
	A-5	50	1.75	234(100)	77( 33)	254(108)	293(125)
B <sub>2</sub>	B-4	50	1.60	197(100)	97( 49)	278(141)	327(166)

プレバックドコンクリートの転移強度試験結果 (2)

プレバックドコンクリートの圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )								プレバックドコンクリート強度 モルタル強度 (%)				
50°C 水中養生				20°C 水中養生		$\sigma_{c1}/\sigma_{c1}'$ (%)	$\frac{\sigma_{c28}}{\sigma_{c28}'}$ (%)	$\sigma_{c1}'/\sigma_{m1}'$	$\sigma_{c1}'/\sigma_{m7}'$	$\sigma_{c28}'/\sigma_{m28}'$		
$\sigma_{c1}$	$\sigma_{c2}$	$\sigma_{c4}$	$\sigma_{c7}$	$\sigma_{c28}$	$\sigma_{c7}'$						$\sigma_{c28}'$	
191(100)	148( 77)	92( 48)	88( 46)	128( 67)	279(146)	382(200)	32	34	47	57	66	
250(100)	262(105)	87( 35)	64( 26)	120( 48)	287(115)	365(146)	22	33	107	113	125	
166(100)	263(158)	242(146)	107( 64)	139( 84)	260(157)	344(207)	41	40	84	94	105	

20% 程度の回復をみせている。しかし、20°C 水中養生供試体の強度に対する 50°C 水中養生供試体強度の比は、材令 7 日および 28 日で大差が認められない。これは、この期間に未水和セメントの反応が進行し、強度増進に寄与したためと思われる。

8. 使用材料の相違するコンクリートの性状 (実験 V)

8.1 石こうの添加 (実験 V-1)

実験に用いた材料は実験 IV におけるものと同一であり、添加した焼石こうは吉野石膏株式会社製で、その性状は表-9 に示す通りである。注入モルタルの流下時間は 20±1 秒とし、配合の決定に当っては表-5 の配合 B-4 を基準とした。石こう添加量は結合材重量の 10% とし、水結合材比を 50% に設定し、所要の流動性を満足するよう砂結合材比を調整した。得られた配合は、表-10 に示す通りである。石こう添加注入モルタルの測定項目は膨張率、ブリージング率、凝結時間および圧縮強度で

表-9 焼石こうの諸性状

水温 (°C)	混水量 (%)	流込時間 (分:秒)	凝結時間 (見掛) (分:秒)	引張強さ (2 Hrs.) (kg/cm <sup>2</sup> )	粉末度残量		膨張 2Hrs. (%)
					(420 $\mu$ ) (%)	(149 $\mu$ ) (%)	
19.0	68.0	3:00	17:30	13.5	0	1.5	0.150

吉野石膏株式会社製

表-10 焼石こうを添加した注入モルタルの配合

セメント種類	水結合材比 W/C+F (%)	石こう結合材比 PP/C+F (%)	水セメント比 W/C (%)	砂結合材比 S/C+F	単 位 量					
					水 W (kg)	セメント C (kg)	フライアッシュ F (kg)	砂 S (kg)	分散剤 P (cc)	石こう PP (kg)
B <sub>2</sub>	50.0	10	63	1.44	378	599	89	992	1690	69

表-11 焼石こうを添加した注入モルタルの試験結果

流下時間 (秒)	膨張率 (3Hrs) (%)	ブリージ ング率 (3Hrs) (%)	凝 結 時 間		圧縮強度 $\sigma_3$ (kg/cm <sup>2</sup> )
			始 発 (時:分)	終 結 (時:分)	
20.2	0.2	0.0	2:45	3:45	245

ポリエチレン製袋使用

ある。

実験結果は、表-11 に示している。所要の流下時間を満足する注入モルタルにおいて、3時間経過後の膨張率は0.2%であり、石こう添加が十分に実用的な膨張効果を有しているとは言えないようである。凝結の始発および終結時間は、アルミニウム粉末を混入した石こう無添加の注入モルタルに比較し極めて早く、3時間および4時間程度であって、焼石こう混入率10%がプレパックドコンクリート用注入モルタルの凝結に有害な影響を与えることを提示していると考えられる。材令2日における圧縮強度は245 kg/cm<sup>2</sup>であって、同一試験方による焼石こう無添加の注入モルタルの材令1日における圧縮強度230~250 kg/cm<sup>2</sup>と同程度の強度発現が得られている。

以上の試験結果から、焼石こう量を10%添加した注入モルタルでは、半水石こう(CaSO<sub>4</sub>·1/2H<sub>2</sub>O)から2水石こう(CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O)の硬化反応が先行し、これがブリージング率の減少、凝結時間の短縮を促したものと考えられる、しかし、所期の目的としたエトリンガイトの生成による十分な膨張効果を確保できぬことが判明した。

## 8.2 イントルージョン・エイドの使用 (実験 V-2)

イントルージョン・エイドを混入した、注入モルタルの配合は、表-4の配合B-4を基準とした。流下時間を20±1秒、水結合材比50%として、所要の流動性が得られるよう砂結合材比を変化させた。イントルージョン・エイドの混入量は、メーカー指定の比率(C+F)×0.5%とした。表-12では、使用したモルタルの配合を示している。

実験結果は、表-13に示した通りである。これによれば、イントルージョン・エイドを添加した注入モルタルでは、所要の流動性は確保し得るが、膨張を得るための経過と共に増加しつづけ、28時間では44%に達した。モルタルの凝結は、著しく遅延する傾向を示し、24時間経過後も硬化反応はほとんど進行しないようであり、プロクター貫入抵抗針による抵抗力は、500 p.s.i.に達しなかった。従って、材令1日で圧縮強度試験用供試体を実施することは不可能で、材令2日以降に到り所要の強度に到達したようであり、材令3日における圧縮強度試験結果は418 kg/cm<sup>2</sup>であった。

以上の試験結果から、イントルージョン・エイドをアルミナセメントに混入すると、初期に硬化が阻害され強度の発現が著しく遅延するため、混和剤として不適當であることが判明した。これは、アルミナセメントの使用に当たっては、事前に十分な試験を実施して、慎重に混和剤の選択を計るべきことを提示していると思われる。

## 8.3 粗骨材空隙に海水を充填したプレバックドコンクリート (実験 V-3)

粗骨材空隙中に海水を充填したプレバックドコンクリ

表-12 イントルージョン・エイド添加・注入モルタルの配合

水結合材比 W/C+F (%)	水セメント比 W/C (%)	砂結合材比 S/C+F	単 位 量				
			水 (kg)	セメント (kg)	フライアッシュ (kg)	砂 (kg)	イントルージ ョン・エイド (g)
50.0	57.0	1.70	333	584	103	1,166	3,430

B社アルミナセメント使用

表-13 イントルージョン・エイド添加・注入モルタルの諸性質

流下時間 (秒)	膨 張 率 6 Hrs. (%)	ブリージング率 (%)		凝 結 時 間		圧 縮 強 度 $\sigma_3$ (kg/cm <sup>2</sup> )
		6 Hrs.	28 Hrs.	始 発 (時:分)	終 結 (時:分)	
19.6	-3.0	2.7	4.4	28時間以上	—	418

アルミナプレバックドコンクリート

表-14 海水の分析試験結果

比重 (20°C)	pH	濁度 (度)	塩素 (%)	硫酸 (ppm)	ナトリウム (ppm)	マグネシウム (ppm)	カルシウム (ppm)	カリウム (ppm)	炭酸 (ppm)
1.027	7.80	3.5	17.85	2566	10400	1254	365	453	106

表-15 充填水の相違によるプレバックドコンクリートの圧縮強度

充填水	流下時間 (秒)	ブリージング率 6 Hrs. (%)	膨張率 6 Hrs. (%)	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		
				プレバックドコンクリート		
				$\sigma_1$	$\sigma_8$	$\sigma_{28}$
水道水	18.6	0.6	2.8	166	302	260
海水	20.1	0	1.5	202	311	243

注) 供試体寸法 モルタル:  $\phi 5 \times 10$  cm, コンクリート:  $\phi 15 \times 30$  cm  
 20°C 水中養生, 両面硫酸黄キャッピング  
 B社アルミナセメント使用  
 配合は表-5のB-4使用

ートでは、表-5のB-5の配合を有するモルタルを混入した。供試体の製作は、3.2(3)項に述べた方法と同一である。養生は、20°C水中養生1種とし、1日、2日、7日および28日の材令で圧縮強度試験を実施した。注入モルタルの品質管理試験として、膨張率およびブリージング率の測定を併せて行なっている。なお、使用した海水は、本研究前面の久里浜湾から採取した。海水の分析結果は、表-14に示す通りである。

表-15によると、流下時間、ブリージング率、膨張率モルタル強度の注入モルタル管理試験から、注入されたモルタルがまったく同一であるとは言い難いが、充填水の相違による強度の影響に関し、一般的傾向を捉えるこ

とができる。材令1日、7日において、充填された水道水、海水によってプレバックドコンクリートの圧縮強度には、ほとんど相違が認められない。

本試験は、実験数が少ないが、本試験に用いた使用材料、配合、打設条件のもとでは、充填水がプレバックドコンクリートに大きな影響を及ぼさないようである。

8.4 練り水として海水を使用したアルミナセメント (実験 V-4)

B社アルミナセメントを用いて、水道水および海水で練り混ぜたコンクリートの配合条件は、単位セメント量 280 k/m<sup>3</sup>、スランプ 5±1 cm、空気量 4±1% とした。海水中の溶解塩分の分析結果は、表-14に表示した通り

表-16 アルミナセメントを用いたコンクリートの配合表

練り水	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量					
					水 (kg)	セメント (kg)	砂 (kg)	砂利 (kg)	Po. No. 5L (cc)	Po. No. 303 (cc)
水道水	6.3	3.1	52.5	40.2	147	280	763	1154	C×9.0	C×7.0
海水	5.1	3.5	50.2	38.7	141	281	746	1173	C×9.0	—

B社アルミナセメント使用 (B-2)  
 砂 : 比重 2.61, 吸水量 2.52 (%)  
 砂利: 比重 2.65, 吸水量 1.05 (%)

である。

表-16 では、配合結果およびフレッシュコンクリートの試験結果を示している。水道水で練り混ぜたアルミナコンクリートは材令1日で  $428 \text{ kg/cm}^2$  の圧縮強度が得られた。一方、海水を練り水として使用したアルミナコンクリートでは材令1日において、供試体上面に指跡が残る程にまったく硬化反応が認められず、材令3日に達する時点においても、脱型に十分な強度発現は得られなかった。材令4日に実施した圧縮強度試験において、 $258 \text{ kg/cm}^2$  の強度に達した。以上の試験結果は、アルミナセメントは、海水中の微量成分に対し極めて過敏に反応し、練り水としての海水の混入は不適當であることを示している。

## 9. 結 論

アルミナセメントをプレバッキングコンクリートに応用することを目的として、短期材令の注入モルタルおよびプレバッキングコンクリートに関する各種特性試験を実施した。流下時間  $20 \pm 1$  秒を満足する注入モルタルの配合を実験的に求め、種々の材料の使用、注入モルタルの諸性状との関係、注入モルタルおよびプレバッキングコンクリートの転位強度などに関し考察を試みた。本実験の範囲で得られた結論を要約すると以下の通りである。

(1) 水結合材比 40~55% に対応する所要の流動性を満足する注入モルタルの配合は、適切な砂結合材比を選択することによって決定することはできる。しかし、アルミナセメントの種類すなわち粉末度によって流動性は影響を受け、低い水結合材比では、実用的な配合が得られぬ場合もある。また、低い水結合材比を有する注入モルタルでは、流下時間に対する鋭敏性が高く、砂結合材比のわずかな変動によって流動性が変化するために、一定の流動性の確保に困難を伴うと思われる。

(2) 1.0~2.0 の砂結合材比の範囲では、アルミナセメントを用いた注入モルタルは、普通ポルトランドセメントを用いた注入モルタルに比較し流動特性に秀れ、この傾向は砂結合材比が増大するほど顕著となる。

(3) アルミナセメントを用いた注入モルタルのブリージング率は、アルミニウム粉末の添加率 0.1~0.3% の範囲において、発泡剤率の影響を受けないものと考えられる。しかし、ブリージング率は 3~5% で、普通ポルトランドセメントを用いた注入モルタルのブリージング率を上廻る。

(4) 注入モルタルの膨張率は、砂結合材比、アルミナ

セメントの種類、アルミニウム粉末の添加率の影響を受ける。砂結合材比 1.0~2.0 の範囲では、所要の膨張率を得るに必要な混入率は 0.01~0.02% の範囲であって、普通ポルトランドセメントの使用に比較し、若干添加率を増加する必要がある。

(5) 発泡剤率 0~0.02% の範囲では、材令1日でモルタルは  $200 \sim 400 \text{ kg/cm}^2$  程度の圧縮強度を発現し、材令7日における強度の増加率は平均 25% 程度である。

(6) 注入モルタルは、材令10時間で  $50^\circ\text{C}$  水中養生を実施することによってほぼ 3~4 日で転位強度に到達するようである。このときの圧縮強度は、材令1日の標準養生供試体の圧縮強度の約 30% に低下する。

(7) アルミナセメントを用いた注入モルタルは、注水後 1.5 時間の範囲では、かくはんの経過に従い流動性は高まる。しかし、かくはん後約 30 分の経過時点でこぼりが生ずる。

(8) プレバッキングコンクリートは、注水後 3~4 時間は、ほとんど発熱現象が見られないが、ほぼ 7~13 時間で最大値に達し、 $\phi 15 \times 10 \text{ cm}$  の供試体で  $10^\circ$  程度の温度上昇が見られる。しかし、発熱の程度、ピークに到達する時間は、アルミナセメントの種類によって異なる。

(9) 注入モルタルとプレバッキングコンクリートの強度比あるいは増加率は、モルタルの水結合材比、アルミナセメントの種類によって異なる。材令1日以降  $50^\circ\text{C}$  水中養生を実施したプレバッキングコンクリートの強度は、材令7日~28日付近で転位強度に到達するようで、水結合材比、アルミナセメントの種類によって相違するが、材令1日強度に対しその比はほぼ 30~60% 程度である。

(10) アルミナセメントは、ある種の使用材料に極めて鋭敏に反応し、硬化が著しく阻害される。イントルージョン・エイド、海水がこの例であって、これら材料をアルミナセメントを使用するコンクリートに混入することは適当でない。特殊な混入する場合には、事前に十分な試験を実施し判定する必要がある。

## 参 考 文 献

- 1) T. D. Robson, "High-Alumina Cements and Concrete", John Wiley & Sons, INC., 263 pp., 1962年
- 2) "特集・アルミナセメント", コンクリート・ジャーナル, Vol. 6, No. 12, pp. 1~65, 1968年12月
- 3) 長滝重義, "アルミナセメントコンクリートの施工例", コンクリート・ジャーナル, Vol. 6, No. 12, pp. 52~53, 1968年12月
- 4) British Standard Code of Practice, CP 116: 1965,

アルミナブレバッドコンクリート

- “The Structural Use of Precast Concrete”
- 5) 高田義彦彦, “アルミナセメントコンクリートの耐久性”, セメント・コンクリート, No. 270, pp. 47~53, 1969年8月
  - 6) 赤塚雄三, “注入モルタルの試験方法に関する研究”, 港研報告, Vol. 2, No. 1, pp. 21~66, 1968年3月
  - 7) 小林正凡, 木下旭, “各種混和材を混合したアルミナセメントを用いたコンクリートのワーカビリティならびに圧縮強度について”, 土木学会第23回年次学術講演会講演概要, pp. 29~32, 1968年10月
  - 8) 赤塚雄三, “注入モルタルに関する基礎研究”, 港研報告, Vol. 3, No. 6, 186 pp., 1964年11月
  - 9) 水野高明, 徳光善治, 石川達夫, “キルン焼成アルミナセメントに関する基礎的実験”, コンクリート・ジャーナル, Vol. 5, No. 4, pp. 26~35, 1967年4月
  - 10) 海保久雄, 小林一輔, “ブレバクトモルタルの膨張効果”, セメント・コンクリート, No. 110, pp. 60~62, 1956年4月
  - 11) 杉木六郎, 浅沼久志, “アルミナセメントを用いたコンクリート—早期強度とスランプの変化に関する実験—”, セメント・コンクリート, No. 159, pp. 22~24, 1960年5月
- (1970.6.30 受付)