

港湾工事におけるプレパックド コンクリートの 施工管理に関する基礎研究*

BASIC STUDY ON QUALITY CONTROL OF PREPACKED CONCRETE FOR HARBOUR CONSTRUCTION WORKS

赤 塚 雄 三**

By Yuzo Akatuka

要 旨 本論文はプレパックド コンクリートの施工管理に関する基礎研究の結果を取りまとめたものである。最初に、プレパックド コンクリートの品質を評価する場合の問題点について検討し、プレパックド コンクリートの品質をその供試体強度を用いて推定することが十分に根拠のあることを確かめ、その結果に基づいて割増し係数等を検討した。ついで、プレパックド コンクリート施工の各工程に内在する各種の変動要因について試験および現場調査を行なって、これが注入モルタルおよびプレパックド コンクリートの品質におよぼす影響を明らかにして、配合設計の方法、管理要因、材料と工程の標準化、規格限界および管理限界、等の基礎資料を提示した。さらに以上の結果を応用して、プレパックド コンクリートの品質管理の一方法として注入モルタルの品質を事前に管理する方法を提案した。

1. 緒 論

プレパックド コンクリートは 1954 年にわが国に技術導入されたものであるが、以来 10 余年間の豊富な施工実績と研究成果を通じて独自の発展を遂げ、現在では港湾構造物等の水中施工には最も信頼できる施工法となっている¹⁾。

プレパックド コンクリートの用途としては、導入当初の数期間は主として低応力部材、たとえば、マッシュな無筋コンクリートの単塊構造、セルラーブロック等の中詰めコンクリート、他の構造物の基礎や根固め用のコンクリート、等に用いたものが大部分であった。その後重要度の高い鉄筋コンクリート構造物の水中施工や高応力プレキャスト部材の水中結合、等の施工例も次第に増加し、最近ではケーソン等のように特に重要な港湾構造物の水中施工に適用した例も少なくなく、プレパックド コンクリートの設計および施工の合理化を必要とする段階にまで発展してきている²⁾。このようなプレパックド コンクリートの需要条件の質的变化は、その品質が管理

され十分に保証されることを前提とし、さもなくば所期の経済効果をあげることは困難である。また、先に述べたような低応力部材に対する施工の場合でも、適当な施工管理の方法が見出され、品質変動の予測が可能となれば相当の経済効果をあげることができる。

所要の品質をもつコンクリートを経済的に得るためにはその施工管理を必要とすることは論ずるまでもないが、プレパックド コンクリートの施工方法は普通コンクリートの施工方法とは著しく異なり、普通コンクリートについて確立されている管理方法をそのままプレパックド コンクリートに適用できるとは限らない。すなわち、プレパックド コンクリートは型わくにあらかじめ粗骨材をつめ、その間げきに特殊な性状のモルタルを注入してコンクリート体とするもので、材料の適用方法と工程作業は普通コンクリートのそれとはかなり相違する。したがってプレパックド コンクリート施工の各工程に含まれる多くの要因と品質との諸関係は普通コンクリート一般について認められている諸関係とは必ずしも同等ではなく、さらに品質の試験方法や供試体強度と構造物母材強度との関係等の点でプレパックド コンクリートの品質評価の根拠も明らかにされていない。このため、前段で述べたようなプレパックド コンクリートの施工管理の必要性に答えるためには、プレパックド コンクリートの品質試験方法の標準化、品質評価基準の解明、管理要因の選定、材料の品質や工程作業の標準化、適切な規格限界や管理限界の設定、等を計る必要があると思われる。

プレパックド コンクリートに関して内外で発表された文献資料は相当数に達するが^{3)~5)}、これらの中で特に有益と考えられる論文^{6)~11)}も主として注入モルタルないしプレパックド コンクリートの諸性質について材料と配合との関係等を究明したものが大部分であって、先に述べた基本的な問題について施工管理の観点から組織的に研究した例、特にプレパックド コンクリートの施工管理の重要性を指摘し、あるいは、その方法について論じた例は皆無であり、したがってこの問題について研究することは十分に意義のあることと思われた。

本論文は上述の必要性に基づいて行なったプレパック

* 東京大学審査学位論文、港湾技術研究所報告 4 巻 6 号 (1965 年 7 月) に発表した同題の論文を若干要約したものである。一部土木学会第 19 回、第 20 回年次学術講演会で発表。

** 正会員 運輸省港湾技術研究所 材料施工研究室長

ド コンクリートの施工管理に関する基礎研究の結果を取りまとめたものである。すなわち、プレパックド コンクリートの品質を評価する場合の最も基本的な問題と考えられるプレパックド コンクリートの試験方法、供試体強度と構造物母材強度との関係、プレパックド コンクリート諸強度相互の関係、等の諸点について試験および調査を行なって、プレパックド コンクリートの品質をその供試体圧縮強度より推定することは十分に根拠のあることを確かめ、その結果に基づいて割増し係数等について検討した。ついで、使用材料の品質およびプレパックド コンクリート施工の各工程に内在する各種の変動要因と、注入モルタルないしプレパックド コンクリートの品質との関係について試験を行なうとともに、これらの施工現場における変動状態を調査して、配合設計の方法、管理要因、材料と工程の標準化、規格限界および管理限界、等の基礎資料を提示した。さらに以上の結果を応用して、プレパックド コンクリートの品質管理の一方法として注入モルタルの品質を事前に管理する方法を考え、これを2, 3の施工例に適用してその管理効果を確認し、一応の成果を得ることができた。

本研究を行なうに当っては、東京大学教授 国分正胤博士より終始ご懇篤なご指導を賜わった。試験および現場調査の実施に際しては、運輸省港湾局、第一～第五港湾建設局、北海道開発局港湾部および運輸省港湾技術研究所の関係各位のご協力をいただいた。試験ならびに調査は1957年から1965年の長期にわたり、この間、運輸省港湾技術研究所材料施工研究室の有吉保憲、小宮山正文、善一章、佐藤善一、森口拓、津端雅史氏等の各位にそれぞれ試験ないし調査の一部を担当していただいた。本研究は上述の各位に負う所がきわめて大きく、ここに謹んでお礼申上げる。

2. プレパックド コンクリートの強度試験方法の検討

構造材料の強度がその試験方法によって異なることは周知で、このため一般の工業材料については標準とする材料試験方法が定められている。コンクリートについても強度に影響する諸要素、たとえば、供試体の製作や養生方法等の標準を規定した強度試験方法が定められている。しかし、特殊な施工法のコンクリートにこれを用いることが不適当な場合もあり、このような場合には施工法の特殊性を考慮した修正を施して普通コンクリートの標準試験方法を準用するのが普通である。プレパックド コンクリートが普通コンクリートと特に相違するのは、(i) 粗骨材とモルタルとを分離して用いること、(ii) モルタルが膨張性を有すること、の2点に要約される。したがって、プレパックド コンクリート強度試験に普通コンクリートの強度試験方法を用いて不適当な点はその

供試体の製作方法のみに限定することができるが、問題は施工現場等で行なわれている供試体製作方法が多様で統一性を欠く点にあり、その標準化が必要である。

著者等の調査¹⁾によると、施工現場等で用いられている製作方法は型わくの種類、粗骨材の状態と填充方法、モルタルの注入方法、等の諸点で分類すると相当数に達するが、基本的には表-2.1に示した6通りの方法にまとめることができる。一方、ある特定の供試体製作方法

表-2.1 施工現場で用いられているプレパックド コンクリートの供試体製作方法

方法	説明図	製作方法概要
A		型わく：注入口を有する底板、越流口および通水気孔を有する上蓋付きの特殊型わく。 粗骨材：3層につめ、各層を25回ずつ突き固めたのち、水を満たす。 注入：ポンプを用いて注入し、注入速度および事後注入圧力を規制する。 膨張抑制：上蓋による。
B		型わく：注入口および通水気孔を有する上蓋付き特殊型わく、もしくは普通コンクリート型わくに上述の上蓋を取りつけたもの。 粗骨材：3層につめ、各層を25回ずつ突き固めたのち、水を満たす。 注入：モルタルに高さ水頭を与えて、自然に流下させる。注入後管を抜きとる。 膨張抑制：上蓋による。
C		型わく：普通コンクリート用型わく。 粗骨材：3層につめ、各層を25回ずつ突き固めたのち、水を満たす。 注入：モルタルに高さ水頭を与えて、自然に流下させる。注入後、管を抜きとる。 膨張抑制：押板を置き、その上に12 kg 程度のおもりをのせる。
D		型わく：普通コンクリート用型わく。 粗骨材：表面乾燥飽水状態のものを2~3層につめ、各層を25回ずつ突き固める。 注入：各層ごとにモルタルを粗骨材面上に流し込み、型わく側面を叩打してモルタルの行きわたりを計る。 膨張抑制：押板を置き、その上に12 kg 程度のおもりをのせる。
E		型わく：普通コンクリート用型わく。 粗骨材：表面乾燥飽水状態のものを、3層につめ、各層を25回ずつ突き固める。 注入：粗骨材を型わく上面までつめたのち、モルタルを流し込み、型わく側面を叩打してモルタルの行きわたりを計る。 膨張抑制：押板を置き、その上に12 kg 程度のおもりをのせる。
F		型わく：普通コンクリート用型わく。 粗骨材：表面乾燥飽水状態のものをモルタルの中に突き棒で25回突いて押込む。 注入：型わくの1/4高さまでモルタルを満したのち、粗骨材を型わくの1/2高さまでつめ、突き棒で押込み、これを2層にわたって繰り返す。 膨張抑制：押板を置き、その上に12 kg 程度のおもりをのせる。

- が標準方法であるためには、つぎの諸条件，すなわち、
- (i) 施工方法との相似性が高いこと
 - (ii) 強度の試験値のばらつきが少なく、再現性の大きいこと
 - (iii) 供試体強度に対する個人差の影響の少ないこと
 - (iv) 方法が単純で過誤の生ずる余地の少ないこと
 - (v) 製作設備が簡単に施工現場の作業性の良好なこと
 - (vi) 供試体強度と構造物母材強度の相関性の高いこと

等を満足することが必要である。このような観点から先

表-2.2 プレキャスト コンクリート供試体の製作方法
がその圧縮強度におよぼす影響 (1)

製作方法**	粗骨材の状態	注入速度 (l/min)	注入圧力 (kg/cm ²)	材令 (日)	圧縮強度* (kg/cm ²)		
					平均	標準偏差	
A	水中に浸漬	1	0	7	70	0.8	
		2			70	3.3	
		4			70	4.4	
		8			66	1.2	
A	水中に浸漬	1	0	28	120	0.7	
		2			121	1.0	
		4			117	5.0	
		8			122	3.9	
A	表面乾燥飽水状態	1	0	7	71	2.4	
		2			69	1.8	
		4			73	3.2	
		8			76	2.2	
A	表面乾燥飽水状態	1	0	28	119	4.2	
		2			122	3.6	
		4			121	8.0	
		8			118	3.7	
A	水中に浸漬	4	0	7	71	3.5	
			0.5		68	5.6	
			1.0		65	6.2	
			2.0		66	5.7	
A	水中に浸漬	4	0	28	124	5.7	
			0.5		124	5.8	
			1.0		115	6.3	
			2.0		121	7.9	
C	表面乾燥飽水状態	—	—	7	75	4.3	
D-1					71	2.4	
D-2					73	1.3	
D-3					83	10.5	
C	表面乾燥飽水状態	—	—	28	130	4.7	
					D-1	129	3.6
					D-2	129	4.9
					D-3	139	5.4

材料：○社普通セメント、U社フライッシュ、鶴沼海岸砂、ポゾリス No. 5、F社 Al 粉末 AA 12、酒匂川砂利(比重=2.78、空けき率=36.5%)

配合：F/(C+F)=30%、S/(C+F)=1.50、W/(C+F)=59%、Poz. 5/(C+F)=0.5%、Al/(C+F)=0.01%

*：φ15×30cm 供試体4個についての試験値

**：製作方法記号は表-2.1 参照

D-1=粗骨材の突き固めとモルタル注入を3層に分けて行ない、各層注入後型わく側面を木づちで20回ずつ叩打する。

D-2=モルタル注入までD-1と同じ。各層注入後10回ジャッキンクする。

D-3=粗骨材の突き固めとモルタル注入を6層に分けて行なう。各層の操作はD-1と同じ。

に述べた6通りの製作方法の標準方法としての適性を検討した。なお、(vi)の条件については次章で検討する。また、(i)については、粗骨材空げき内のモルタルの流動状態について比較するのが適当であるが、これは11.で述べるように、型わくの寸法、注入管の配置、一注入管よりの注入量、等によって変化し、流動状態の定量的な表示は困難で、さらに、断面の小さい供試体型わく内で実際の構造物型わく内に注入したモルタルの流動状態を再現することは不可能に近い。したがって、両者の相似性に関してはある程度の直観的判断は避けがたいと思われる。

方法(A)はプレキャスト コンクリート一般仕様書に規定された方法で、特殊な注入用型わくを用い、一定速度でモルタルをポンプ注入した直後に一定時間加圧注入することを原則としている。しかし、注入速度や圧力が圧縮強度に影響しないことは表-2.2に示した試験結果からも明らかであって、落差を用いてモルタルを注入する方法(C)、あるいは施工方法との相似性の乏しい方法(D)によっても、(A)と同等の結果を得ることができ、したがってポンプ注入は供試体の製作には必ずしも不可欠の条件ではないことがわかる。方法(B)と(C)は(A)とともに、施工方法との相似性が高いが、製作設備が簡単に現場における作業性が良く、また製作作業が単純で過誤の生ずる余地が少ない点は(A)より優れていると判断してよい。表-2.3は(B)と(C)を比較した試験結果であるが、試験値のばらつきや再現性の点では優劣のつけがたいことを示している。方法(D)、(E)および(F)はいずれも施工方法との相似性が乏しく、また、表面乾燥飽水状態の粗骨材を使用する点は施工現場の製作作業に適当とはいえない。したがって、いずれも標準の製作方法としては不適当であるが、表-2.2、2.4の試験結果から明らかなように、試験値のばらつきや再現性の点では他の方法との相違が認められず同等の強度が得られる。樋口氏等¹⁶⁾も供試体の製作方法(C)、(D)、(F)と強度との関係について試験を行な

表-2.3 プレキャスト コンクリート供試体の製作方法
がその圧縮強度におよぼす影響 (2)

配合比 (C:F:S)	W/(C+F) (%)	製作方法-B*		製作方法-C*	
		28日 圧縮強度 (kg/cm ²)**			
		平均	標準偏差	平均	標準偏差
4:1:4.05	47.1	163	20.8	174	2.3
4:1:2.85	44.5	199	5.2	209	13.1
4:1:1.80	40.9	234	29.8	223	16.9
4:1:2.76	37.9	201	15.8	207	15.4
5:1:5.22	45.4	227	12.7	209	6.7
5:1:4.41	47.9	206	5.3	208	11.6
5:1:2.50	45.0	245	6.9	238	19.3

配合：Poz. 8/(C+F)=0.25%、Al/(C+F)=0.01%、粗骨材空げき率=38%、流下時間=16~23 sec.

*：製作方法記号は表-2.1 参照、粗骨材の状態=水中に浸漬

**：φ15×30cm 供試体3個についての試験値

表-2.4 プレパックドコンクリート供試体の製作方法
がその圧縮強度におよぼす影響(3)

製作方法*	養生条件	14日圧縮強度** (kg/cm ²)		28日圧縮強度** (kg/cm ²)	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差
D	20±2°C 水中	157	5.9	177	36.5
E		143	5.9	167	5.5
F		169	8.2	182	7.4
D	20±2°C,	117	15.9	136	23.4
E		115	11.9	147	4.2
F	80±5% R.H.	133	14.7	147	32.2

配合: F/(C+F)=25%, S/(C+F)=1.00, W/(C+F)=49%, Poz. 8/(C+F)=0.25%, Al/(C+F)=0.015%

*: 製作方法記号は表-2.1 参照

** : φ15×30cm 供試体3個についての試験値

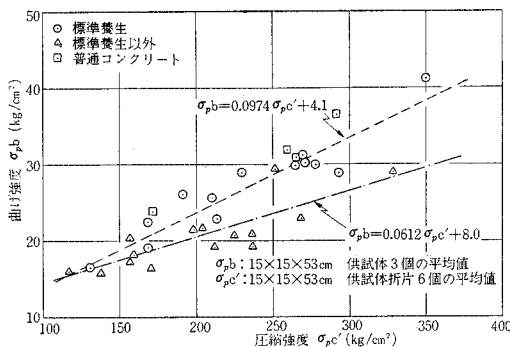
い、上述とほぼ同等の結果を報告している。したがって、プレパックドコンクリート供試体の標準製作方法としては(B)ないし(C)が適当であり、特に(B)はその単純性等の点で施工現場に最も適した方法と思われる。また、各種の製作方法による供試体の強度に関する既往の試験研究の成果は、製作方法に関する限りではこれを同等の水準において評価して差し支えないと判断される。

3. プレパックドコンクリートの圧縮強度と他の諸強度との関係

普通コンクリートの品質表示には一般にその圧縮強度を用い、品質管理も圧縮強度によって行なうのが普通である。これは構造材料としてコンクリートを用いる場合に主としてその圧縮強度を利用することにもよるが、圧縮強度と曲げ強度、引張強度、弾性係数、等の諸強度との間に密接な相関性が認められ、圧縮強度からこれらの諸強度をかなりの確に推定できることにも根拠があるものと思われる。

図-3.1~3.5はプレパックドコンクリートの圧縮強度と他の諸強度との関係を試験した結果である。これらの図から容易に観察できるように、プレパックドコンクリートの曲げ強度、引張強度、弾性係数、等は圧縮強度と密接な関係があり、特に実用的な範囲ではいずれも

図-3.1 プレパックドコンクリートの圧縮強度と曲げ強度との関係



近似的には一次式で表わすことができる。これらの関係は同時に試験した普通コンクリートについての結果が示すように、いずれも普通コンクリートの圧縮強度と他の諸強度との間に確認されている関係¹⁷⁾に相当するもので、同一条件で作られたプレパックドコンクリートに

図-3.2 プレパックドコンクリートの圧縮強度と引張強度との関係

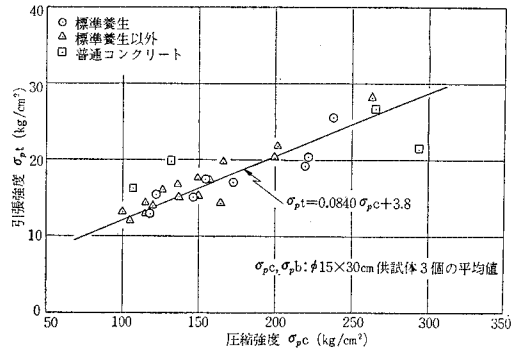


図-3.3 プレパックドコンクリートの曲げ強度と引張強度との関係

σpb: 15×15×53cm 供試体3個の平均値
σpt: φ15×30cm 供試体3個の平均値

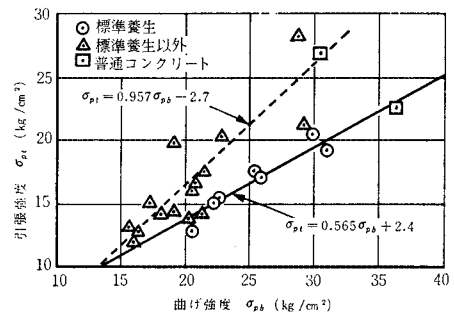


図-3.4 プレパックドコンクリートの圧縮強度σpcとσpc'の関係

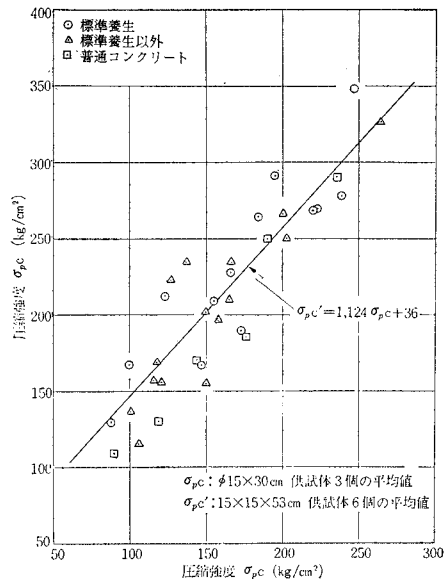
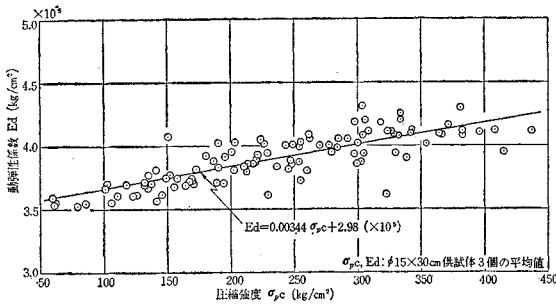


図-3.5 プレパックド コンクリートの圧縮強度と動弾性係数の関係



ついて一般に成立するものと考えてよい。

以上に示した試験結果について材令による強度の変化率を求めると、フライアッシュ混和率 $F/(C+F)=20\sim 30\%$ に対しては

$$\begin{aligned} \text{圧縮強度} ; \sigma_7 : \sigma_{28} : \sigma_{91} : \sigma_{182} &= 65 : 100 : 130 : 140 \\ \text{曲げ強度} ; \sigma_7 : \sigma_{28} : \sigma_{91} : \sigma_{182} &= 80 : 100 : 110 : 120 \\ \text{動弾性係数} ; E_{d7} : E_{d28} : E_{d91} : E_{d182} &= 90 : 100 : 110 : 115 \end{aligned}$$

程度となってほぼ一定となり、また強度の伸び率は圧縮強度、曲げ強度、動弾性係数の順に小さくなる傾向を示している。これを普通コンクリートと比較するとプレパックド コンクリートの強度は初期材令では小さいが、伸び率はかなり大きいことがわかる。たとえば、ある実験結果¹⁸⁾では普通セメントを用いて標準養生した普通コンクリートの圧縮強度について、 $F/(C+F)=0\%$ の場合に

$$\sigma_7 : \sigma_{28} : \sigma_{91} : \sigma_{365} = 72 : 100 : 115 : 131$$

である。これと上述のプレパックド コンクリートの値とはかなりの差があるが、これは主としてフライアッシュの使用によるもので、 $F/(C+F)=0\%$ の場合にはプレパックド コンクリートの圧縮強度についても

$$\sigma_7 : \sigma_{28} : \sigma_{91} : \sigma_{182} = 79 : 100 : 128 : 132$$

となって、普通コンクリートの変化率とほとんど一致する。したがって、材令とプレパックド コンクリートの強度との関係は、配合の相違を考慮すれば、普通コンクリートの材令～強度の関係にほぼ相当すると考えてよい。もちろん、動弾性係数のように、材令とは直接関係のない要因である粗骨材の填充状態によって著しい影響を受けるものについては上述の関係が成立しないことは当然である。

供試体の形状と寸法は当然プレパックド コンクリートの強度にも影響するが、その影響の仕方は普通コンクリートの場合とほとんど変わらないようである。形状と寸法の異なる供試体を用いた圧縮強度試験結果を $\phi 15 \times 30$ cm 供試体による強度に対する百分率で表示すると、

$$\phi 10 \times 20 \text{ cm} : 100\% \text{ (信頼限界 } 92\sim 108\%)$$

$$15 \times 15 \times 15 \text{ cm} : 137\% \text{ (信頼限界 } 129\sim 145\%)$$

普通コンクリート

$$\phi 10 \times 20 \text{ cm} : 91\% \text{ (信頼限界 } 88\sim 94\%)$$

$$15 \times 15 \times 15 \text{ cm} : 116\% \text{ (信頼限界 } 102\sim 130\%)$$

である。なお上述の信頼限界は危険率 5% に対するものである。普通コンクリートについては円柱標準供試体 ($h:d=2:1$) に対する立方供試体 ($h:d=1:1$) の圧縮強度比は 110% 程度とされており¹⁹⁾、本実験でもこれに近い値を得たが、プレパックド コンクリートについてはこれを多少上回った値が得られている。供試体の形状が同じ ($h:d=2:1$) で、その寸法だけが相違する場合には、プレパックド コンクリートと普通コンクリートの間に明瞭な差は認め難い。普通コンクリートについては寸法の減少に応じて強度比が増加するとされているが²⁰⁾、たとえば、 $\phi 15 \times 30$ cm と $\phi 10 \times 20$ cm とでは有意差がないとする報告²¹⁾もあり、寸法差が著しくない場合には、試験精度の点で有意差を認め難いものと思われる。本実験に用いた供試体の種類が少ないので断定できないが、以上の実験結果は供試体の形状寸法がプレパックド コンクリートの強度におよぼす影響は普通コンクリートの場合と余り変わらないことを示すものと解される。

プレパックド コンクリートの強度に関する以上の実験結果は、その圧縮強度により他の諸強度を的確に表示し得ること、材令～強度の関係は普通コンクリートのそれにほぼ相当すること、供試体の形状寸法が強度におよぼす影響に関しては普通コンクリートの場合と明瞭な差を認め難いこと、等を示している。したがって普通コンクリートにおけると同様に、プレパックド コンクリートの品質をその圧縮強度で評価することは十分な根拠があり適当と思われる。

4. プレパックド コンクリートの標準供試体強度と構造物母材強度との関係

コンクリートの構造設計や品質評価には一般に標準供試体 ($\phi 15 \times 30$ cm) による圧縮強度が用いられるが、その根拠の一つは、構造物の直接載荷試験および構造物より採取したコア等の強度試験結果より推定した構造物母材強度が標準供試体強度より一般に大きいという経験的事実に求められる。プレパックド コンクリートは普通コンクリートと比較してその施工経験が少なく、構造物母材強度と供試体強度の関係を確認した例は必ずしも十分ではないが、既往の施工例の調査結果や実験結果は両者の関係が上述の普通コンクリートの場合に相当することを示している。

表-4.1 は実際の施工例の調査結果で、マス コンクリートより採取したプレパックド コンクリートのコアの圧縮強度を、これと同時に製作した標準供試体の圧縮

表-4.1 Corps of Engineers によるプレバッド
コンクリート コアの強度試験結果²²⁾

ボーリング No. (材令日)	頂面からの深さ (m)		ボーリング No. (材令日)	頂面からの深さ (m)	
	圧縮強度 (kg/cm ²)	平均標準		圧縮強度 (kg/cm ²)	平均標準
1 (73)	0~0.3	320	5 (53)	0.6~0.9	242
	0.6~0.9	336		1.4~1.7	144
	1.8~2.1	221		2.0~2.3	198
	2.3~2.6	326		2.6~2.9	262
	平均標準	300 268		平均標準	212 222
2 (41)	0.3~0.6	239	6 (48)	0~0.3	336
	1.3~1.6	312		0.6~0.9	280
	2.0~2.3	188		1.1~1.4	280
	2.9~3.2	190		1.8~2.1	256
	平均標準	232 184		平均標準	288 222
3 (33)	0.6~0.9	182	7 (66)	0.1~0.4	195
	1.2~1.5	201		0.4~0.7	272
	1.8~2.1	201		1.1~1.4	288
	2.7~3.0	191		1.9~2.2	177
	平均標準	194 184		平均標準	233 222
4 (73)	0~0.3	322	8 (66)	0.1~0.4	252
	0.5~0.8	329		0.8~1.1	336
	1.3~1.6	322		1.1~1.4	440
	1.8~2.6	226		1.6~1.9	305
	2.3~2.6	213		2.0~2.3	348
平均標準	300 268	平均標準	336 222		

注：標準は同時に製作した標準供試体(φ15×30)による圧縮強度の平均値を示す。

強度と比較したものである。コア強度は頂面(打上面)からの深さによって多少変動している。これには注入したモルタル自体の品質変動の影響も含まれているが、コア強度は概して標準供試体強度より大きい。表-4.2 と 4.3 は試験的にブロック(150×150×130 cm および 80×80×100 cm)を製作し、これより採取したコアの強度を同時に製作した標準供試体強度と比較したもので、注入したモルタルの品質はほぼ一定と考えてよい。これらの例では事後注入等の表面処理を行っていないので、表層のコア強度は下層のそれより小さい傾向が認められるが平均強度は一般に標準供試体強度より大きい。

以上の3例について、各ボーリングのコア強度σの平均値σ_{AV}と標準供試体強度σ_{ST}の比、σ_{AV}/σ_{ST}を計算して信頼度95%で推定すると、σ_{AV}/σ_{ST}=104~121%であり、したがってボーリングコアの圧縮強度より推定する限りでは構造物母材の平均圧縮強度は標準供試体の平均強度より一般に大きいとしてよい。

構造物母材強度と標準供試体強度との関係を調べる一方法として鉄筋コンクリートばりの曲げ試験を行ない、その破壊強度からコンクリートの曲げ圧縮強度を推定し、これを同時に製作した標準供試体強度と比較することを試みた。表-4.4 はその試験結果で、用いたはりの

表-4.2 北川氏等によるプレバッド コンクリート
コアの強度試験結果²³⁾

配合種別	A		B		C		D				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ボーリング No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
頂面からの深さ(m)	圧縮強度 (kg/cm ²)										
0.1~0.4	—	270	—	—	—	208	280	—	158	—	—
0.4~0.7	251	—	—	—	225	—	—	—	114	—	193
0.7~1.0	—	259	—	262	261	—	—	299	158	—	189
1.0~1.3	—	266	261	—	—	—	308	—	190	209	190
平均標準	251	265	261	262	243	208	294	299	155	209	191
標準	262	262	262	262	231	231	231	231	183	183	121

注：表-4.1 注参照。材令はコア 94 日、標準 91 日

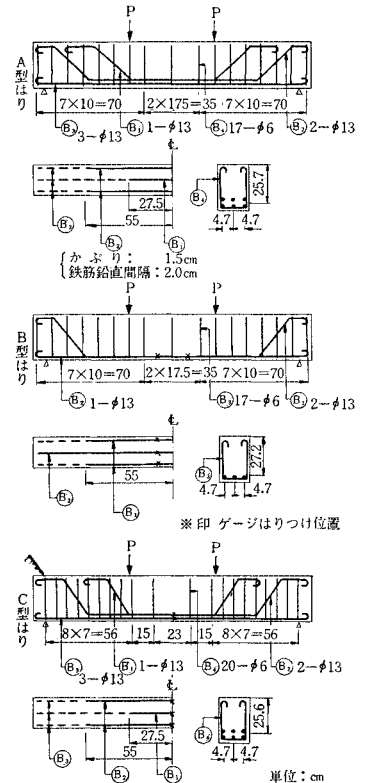
表-4.3 永倉氏によるプレバッド コンクリート
コアの強度試験結果²⁴⁾

配合種別	A		B		C	
	1	2	3	4	5	6
頂面からの深さ(m)	圧縮強度 (kg/cm ²)					
0~0.3	258	—	—	—	—	214
0.3~0.6	289	—	—	—	182	269
0.6~0.9	325	—	—	—	211	283
平均標準	291	—	—	—	197	255
標準	295	—	—	—	187	204

注：表-4.1 注参照。材令はコア、標準いずれも 91 日

形状ならびに配筋図は図-4.1 に示した通りである。表-4.4 の抵抗曲げモーメントの計算値は鉄筋コンクリートの曲げ部材の設計計算式として提案されている代表的な式を用いたもので、式①は極限強度理論に基づくものであり、式②は弾性理論に基づくものである。これらの式を用いる場合にはコンクリートのσ₂₈としては標準供試体強度を、また、鉄筋コンクリートの弾性係数比にはそれぞれの実測値より計算した値を用いた。抵抗曲げモーメントの実測値に対する比は、たとえば、式①による場合にはプレバッドコンクリートばりでは 114~138%、普通コンクリートばりでは 109~130% で

図-4.1 鉄筋コンクリートばりの
形状寸法と配筋図



※印ゲージはりつけ位置

単位：cm

表—4.4 鉄筋コンクリートばりの曲げ試験結果

コンクリートの種類	コンクリートの配合番号	はりの形式	はりの断面要素		鉄筋 σ_{sy}^* (kg/cm ²)	コンクリート ($\phi 15 \times 30$ cm)		抵抗曲げモーメント (10 ⁸ kg-cm)			はり破壊時の中立軸の位置*** (cm)	コンクリートの曲げ圧縮強度推定値式③ (kg/cm ²)
			d (cm)	p (%)		σ_{28}^* (kg/cm ²)	E _C (×10 ⁵ kg/cm ²)	計算値		実測値**		
								式①	式②			
プレパッド	I	A	25.7	2.06	2900	165	1.38	464	360	562	13.1	268
	II	A	25.7	2.06		136	1.24	449	296	566	13.8	259
	III	B	27.2	0.98		255	1.50	387	363	442	9.3	265
	IV	C	25.6	2.07	3900	255	1.50	635	552	726	12.2	371
	V	B	27.2	0.98		126	1.20	345	250	427	12.0	206
	VI	C	25.6	2.07		126	1.20	412	273	571	12.2	292
普通	I	A	25.7	2.06	2900	271	1.37	514	487	666	8.3	467
	II	B	27.2	0.98	3900	278	1.37	370	363	456	10.4	247
	III	C	25.6	2.07		278	1.37	639	601	697	12.3	256
	IV	B	27.2	0.98		168	0.91	333	365	422	11.0	219
	V	C	25.6	2.07	168	0.91	363	550	576	12.1	220	

注：* 3個の供試体についての平均値，** A型はりについては3個の平均値，B，C型はりについては2個の平均値，*** A型はりについてはコンクリートのひびわれ状態により推定した3個の平均値，B，C型はりについては抵抗線ひずみ計を用いて測定したひずみ分布状態より推定した2個の平均値
 式① $M = \sigma_{28} b d^2 q (1 - 0.59 q)$ ($q \leq 0.40$) または $M = 0.333 \sigma_{28} b d^2$ ($q > 0.40$) (ACI-ASCE 327 委員会の式)²⁵⁾
 式② $M = 0.5 \sigma_{28} k j b d^2$ または $M = \sigma_S A_s j d$ (弾性設計法の式)
 式③ $\sigma_{cc} = 2 M' / (k j b d^2)$, M' = 抵抗曲げモーメント実測値

あって両者はほとんど一致し、いずれも実測値は計算値より20%程度大きい。コンクリートの曲げ圧縮強度はコンクリートの応力度が中立軸からの距離に比例すると仮定して、表—4.4の式③を用いて求めた値である。ただし、式③を用いる場合の $k d$ (中立軸の位置) としてはコンクリートのひびわれ深さより推定した値もしくは抵抗線ひずみ計を用いて実測したひずみ分布より推定した値¹⁵⁾を用いた。このようにして推定した曲げ圧縮強度 σ_{cc} と標準供試体による圧縮強度 σ_{ST} との比、 σ_{cc}/σ_{ST} は、プレパッド コンクリートでは104~232%、普通コンクリートでは89~172%である。鉄筋コンクリートばりの極限状態における応力分布が中立軸からの距離に必ずしも比例しないことは、実測したひずみ分布からも明らかで推定した曲げ圧縮強度は正確とは限らない。しかしほぼ同一条件で試験したプレパッド コンクリートと普通コンクリートを比較する限りでは前者の σ_{cc}/σ_{ST} が後者をかなり上回っており、このことはプレパッド コンクリートの場合にも標準供試体の圧縮強度を用いて構造物母材の曲げ圧縮強度を推定でき、これが一般に安全側なことを示すものと解される。

以上に述べたコア強度と標準供試体強度との関係およびはりの曲げ圧縮強度と標準供試体強度との関係についての調査ないし試験は、いずれも入念に施工された構造物や部材を用いて行なわれたものであり、この結果を常に一般の施工例に適用できるとは限らない。しかし、入念に施工された構造物については、その平均圧縮強度ないし曲げ圧縮強度を同時に製作した標準供試体の圧縮強度で表示することはかなり安全側にあり、適当であると思われる。

5. プレパッド コンクリートにおける材料分離の影響

表—4.2, 4.3の試験結果より明らかなように、品質一定のモルタルを注入した場合でもコア強度はその採取位置によって変化し、一般に表層で小さく下層で大きい。このような注入後の強度変化の原因にはブリージングによるモルタルの品質変化、上下における膨張拘束の程度の差、粗骨材の浮上り、等が考えられるが、主としてブリージングによるモルタルの品質変化に起因するものとされている^{12), 13)}。すなわち、注入後のブリージングによって表層モルタルの水セメント比は増加し、逆に下層では減少し、これに応じて強度も変化するものである。したがってモルタルの注入終了後適当な時間に頂面より0~40 cm程度の表層に事後注入を行ないブリージングによって希釈されたモルタルを富配合のモルタルで置き換えるか、もしくは余分な水分を絞り出すことにより、その影響をかなり減殺できる²⁶⁾。しかし、施工条件によっては表面処理が困難な場合もあり、また事後注入等の表面処理の効果が常に確実とは限らない。したがって一般の施工条件の下ではモルタル自体の品質変動とともに、配合設計において上述のような注入後の品質変化をあらかじめ考慮する必要がある。これは打込後の品質変化を考慮する必要のない普通コンクリートと著しく異なる点であって、その変化の限界を明確にする必要がある。

表層コア強度と標準供試体強度の比 σ/σ_{ST} は、表—4.2では86~121%、表—4.3では87~105%である。表—5.1は、長柱状に打ち込んだプレパッド コンクリートの強度分布を調べた結果で、表層部分の強度変化は上面型わくの有無によって異なり、一般の施工条件のように上面型わくの無い場合には $\sigma/\sigma_{ST} = 89 \sim 90\%$ であ

表-5.1 長柱状に打込んだプレバッド
コンクリートの強度分布

型わくの 状態	注入速度 (l/min)	28日圧縮強度* (kg/cm ²)			圧縮強度比 (%)	
		上段 σ①	下段 σ②	標準 σ _{ST}	σ①/σ _{ST}	σ②/σ _{ST}
上ぶたをつ けた場合	1	122	141	120	102	118
	2	138	148	121	114	122
	4	136	137	117	116	117
	8	121	142	122	99	116
上ぶたをつ けぬ場合	1	108	143	120	90	119
	2	108	142	121	89	117
	4	105	140	117	90	120
	8	112	139	122	92	114

注：材料および配合：表-2.2 参照，供試体の製作方法は表-2.1 の方法Aに準じ，ポンプ注入による。

* φ15×60 cm を中央で切断して φ15×30 cm 供試体とし，注入時に上部にあったものを上段，下部にあったものを下段とした。標準は同時に製作した φ15×30 cm 供試体を示す。圧縮強度はいずれも4個の平均値。

る。北川・福田氏等^{23),27)}も φ15×180 cm の型わくを用いて長柱状のプレバッドコンクリートを打ち，圧縮強度の分布状態を調べた結果を報告している。これによると圧縮強度の減少するのはほとんど頂面より0~30 cmに限られ，その強度比 σ/σ_{ST} は前者で67~83%，後者で66~88%である。

以上に述べた試験はいずれも事後注入等の表面処理を施さない場合であるが，強度低下は打上り高さにほとんどかわりなく表層コンクリートに限られることが共通して認められる。強度低下の程度は必ずしも一定ではなく，上に述べた北川・福田氏等の結果は他よりかなり大きい値を示しているが，これには型わくの側面の影響も含まれていると思われる。表-5.2 は実際の施工例で表層コアを採取し，その圧縮強度を標準供試体強度と比較した結果である。いずれの例でも表面処理を施していない。最初の例では打上り高さは5 mでσ/σ_{ST}は81~87%，第2の例では打上り高さは6~7.7 mでσ/σ_{ST}は67~102%である。これには注入モルタルの品質変動の影響も当然含まれており，品質一定のモルタルを注入したとすれば，注入後の品質変化による強度減少は上記の値よりさらに少なく，σ/σ_{ST}は一般に85%以上と判断してよいであろう。換言すれば，モルタル注入後におけるプレバッドコンクリートの品質変化については表層の圧縮強度が標準供試体強度の85%程度まで減少

表-5.2 ブロック表層(頂面より0~40 cm)より
採取したプレバッドコンクリートコア
の圧縮強度試験結果

構造物名と コンクリートの条件	コア 採取 ブロック No.	コアの圧縮強度 (kg/cm ²) 材令 144~148日	標準供試体3個 の平均圧縮強度 σ _{ST} (kg/cm ²)	σ/σ _{ST} (%)	
北海道羽幌港，防波堤 (打上り高さ5.0 m) 示方配合 C:F:S=4:1:5 W/(C+F)=50% Poz. 8(C+F)=0.25% Al/(C+F)=0.015% 空げき率=36.5% 流下時間=17~18 sec 養生条件 施工現場で水中養生	1	126 107 —	117	138	85
	2	136 127 169	144	177	81
	3	176 116 —	146	176	83
	4	188 171 —	180	206	87
北海道根法華港，東防波 堤(打上り高さ6.0~ 7.7 m) 示方配合 C:F:C=4:1:5 W/(C+F)=43% RGA(C+F)=0.81% 空げき率=42.0% 流下時間=16~22 sec 養生条件 施工現場で水中養生	1	— 145 173	159	222	72
	2	157 189 —	173	170	102
	3	135 — —	135	202	67
	4	158 195 187	180	178	101

するものとして配合設計を行なえば一般に安全側にあるものと思われる。

6. プレバッドコンクリートの強度変動の
要因と施工例より推定した割増し係数

5. で述べたモルタルの注入後の材料分離の影響と養生条件の影響を除外すると，プレバッドコンクリートの品質に直接的影響をおよぼし得る要因はモルタルの品質と粗骨材の品質，粒度分布および填充状態，等に限定される。粗骨材の粒度分布や填充状態の影響については12. で検討するものとし，本章では粗骨材およびモルタルの品質とプレバッドコンクリートの強度との関係について論ずる。

使用材料を一定とした時，プレバッドコンクリートの強度はモルタルの強度，粗骨材の強度あるいはモルタルと粗骨材の付着強度のいずれかによって決まると考えることができる。表-6.1 はこれを確かめるために各種の粗骨材を用いて行なった試験結果である。軟質砂岩

表-6.1 各種の粗骨材を用いたプレバッドコンクリートの圧縮強度試験結果

粗骨材	種別	モルタルのみ	川砂利	石灰岩	軟質砂岩	蛇紋岩	高炉滓	転炉滓
	産地	—	酒匂川	大船渡市	横須賀市	横須賀市	日本鋼管KK	日本鋼管KK
原石圧縮強度(kg/cm ²)	—	—	—	107 ¹⁾	578 ²⁾	418 ³⁾	—	
プレバッド コンクリート	28日圧縮強度(kg/cm ²)	415	278	315	84	287	349	369
	標準偏差(kg/cm ²)	9.4	6.2	5.0	4.6	5.9	3.0	22.5

注：1)，2)，3)，10×10×10 cm 供試体を用い ASTM C170-50 に準じて試験，それぞれ5，5，8個の平均値，プレバッドコンクリートの圧縮強度は川砂利を除く岩石を砕き，15~25 mm のものを表面乾燥飽水状態とし，表-2.1 方法-Dによってφ10×20 cm 供試体を製作して試験した。供試体数3個

モルタル材料：O社普通セメント，豊浦標準砂，ポゾリス No. 8，F金属社 Al 粉末 AA 12

モルタルの配合：S/C=1.0，W/C=44.5%，Poz. 8/C=0.25%，Al/C=0.015%

モルタルの性質：流下時間=20.4 sec，保水性=73.0%，σ_{sp}=435 kg/cm² (φ5×10 cm 3個の平均)

や高炉滓のように骨材強度 ($\phi 10 \times 20$ cm 供試体換算強度はそれぞれ 86 および 334 kg/cm^2) がモルタル強度より小さく、かつ表面組織が非常に疎で十分な付着強度が期待される場合にはコンクリート強度は骨材強度とほとんど一致している。その反面、蛇紋岩やこれよりかなり強硬な川砂利や転炉滓を用いたコンクリートの強度はモルタルおよび骨材強度のいずれよりもかなり小さく、付着強度によって決まったものと推定される。この結果の示すように、粗骨材の品質はプレパックド コンクリートの強度に影響しないわけではないが、実際問題としてモルタルより弱い材料が粗骨材として使用される可能性はきわめて乏しく、また同一産地の粗骨材を使用する限りではその強度や表面組織の状態もほぼ一定としてよい。したがって一般の施工条件の下では、粗骨材の品質がプレパックド コンクリートの強度変動の要因となること

図-6.1 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

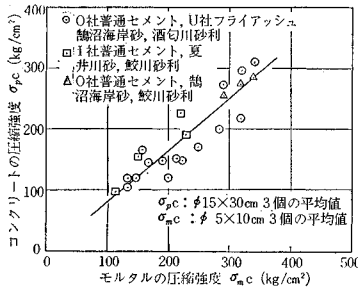


図-6.2 注入モルタルの圧縮強度とプレパックド コンクリートの圧縮強度との関係

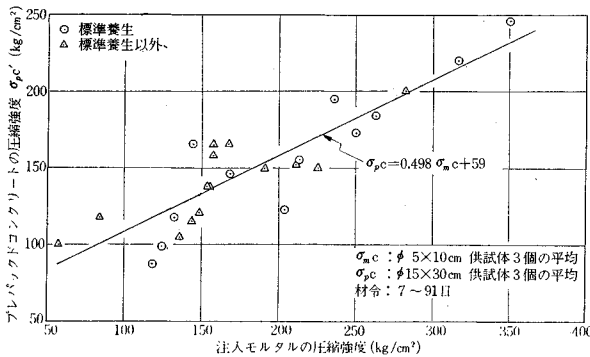
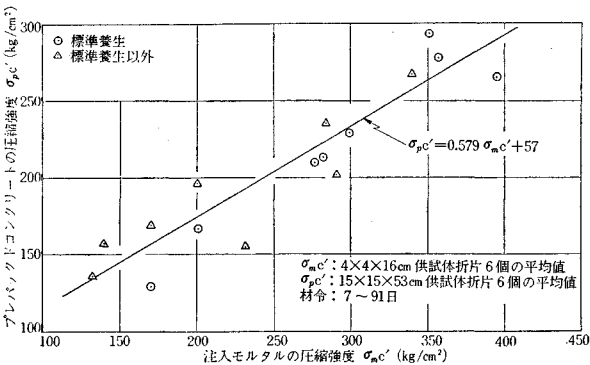


図-6.3 注入モルタルの圧縮強度とプレパックド コンクリートの圧縮強度との関係



はほとんどないと判断できる。図-6.1 の試験結果はこれを裏付けるものといえる。

そこで、使用材料を一定としたときの注入モルタルの諸強度とプレパックド コンクリートの諸強度との関係を検討すると、図-6.2~6.5に示したように、プレパックド コンクリートの圧縮、引張および曲げ強度はそれぞれ注入モルタルの圧縮、引張および曲げ強度にほぼ直線的に比例することが認められた。これらの関係は、各種の配合や養生条件について得られたものであり、一般の施工条件の下でもこれに相当する関係が成立するものと思われる。一方、注入モルタルの引張りと曲げ強度がその圧縮強度にほぼ直線的に比例することは 図-6.6, 6.7 の試験結果からも明らかで、さらに、材令による強度の変化率が 3. で述べたプレパックド コンクリートの強度変化率とほとんど一致することも確かめられた。

以上に述べた諸関係は、仮に粗骨材の粒度分布や填充

図-6.4 注入モルタルの引張強度とプレパックド コンクリートの引張強度との関係

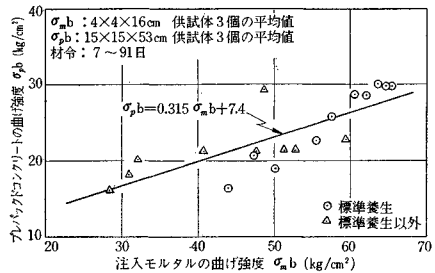


図-6.5 注入モルタルの曲げ強度とプレパックド コンクリートの曲げ強度との関係

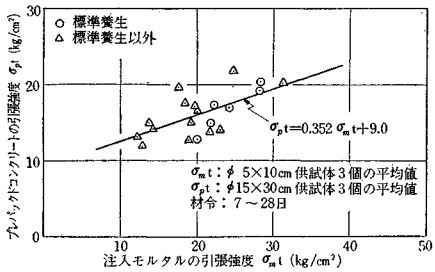


図-6.6 注入モルタルの圧縮強度と引張強との関係

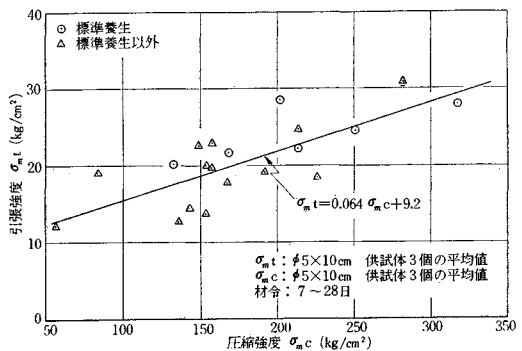
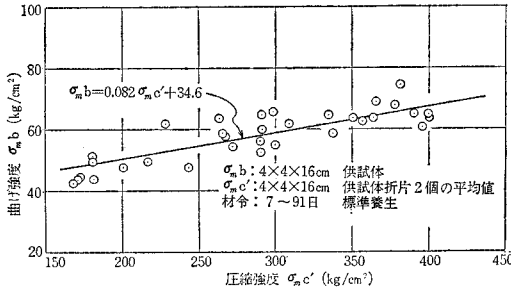


図-6.7 注入モルタルの圧縮強度と曲げ強度との関係



状態の影響を無視し得るものとすれば、プレパックドコンクリートの強度は注入モルタルの品質によって一義的に決まること、プレパックドコンクリートの施工管理では注入モルタルの品質管理が非常に重要であり、さらに、硬化後の注入モルタルの品質をその圧縮強度で表示するのは適当なこと、等を示すものと思われる。

一般の施工条件の下での注入モルタルの品質の変動は、使用材料の品質変化、粗骨材の粒度変化、計量誤差や細骨材の表面水による配合比の変化、練りませ条件の変化、等に起因するもので、これがプレパックドコンクリートの強度におよぼす影響は当然それぞれの工程管理の程度によって相違する。このような注入モルタルの品質変動の要因とプレパックドコンクリートの強度との関係は、普通コンクリートの品質変動の要因とその強度との関係に相当している。119件の施工例について調査した結果¹⁾によると、工程管理の資料を公表した例は比較的少ないが、それらの例から判断する限りでは、上述の要因の施工現場における変化の状態は普通コンクリートの場合と同等であると考えて差し支えない。結果的にはプレパックドコンクリートの圧縮強度の変動状態も普通コンクリートの場合とあまり変わらない。たとえば、28日圧縮強度を調査した16件の施工例では、その変動係数が15%以下のもの8件、15~20%のもの7件、20%以上のもの1件、のような結果が得られている。これらの例は、普通コンクリートの品質管理状態の判定規準²⁸⁾によれば、それぞれ、良好、普通、不良、の場合に相当する。このことは、上述の注入モルタルの品質変動要因を管理することによって、プレパックドコンクリートの品質を普通コンクリートと同程度に管理し得ることを実証するものと思われる。

普通コンクリートの品質管理では前述のような要因に基づく品質変動に対しては圧縮強度の許容限界を定め、また、配合強度 σ_r は設計基準強度 σ_k にこの許容限界を満足するように定めた係数 α を乗じて割増した値で定めるのが原則となっている。たとえば、土木学会無筋コンクリート標準示方書(昭和33年版)に規定された許容限界の条件はこれを式で表わすと、つぎのとおりである。

$$(i) \sigma_r > \frac{0.8 \sigma_k}{1 - 1.645 v} = \alpha_1 \sigma_k$$

$$(ii) \sigma_r > \frac{\sigma_k}{1 - 1.645 v / \sqrt{5}} = \alpha_2 \sigma_k$$

これは、圧縮強度の試験値の平均値からの偏差が正規分布するものとした場合、危険率を k' 、標準偏差を s 、標準単位を t とすると、

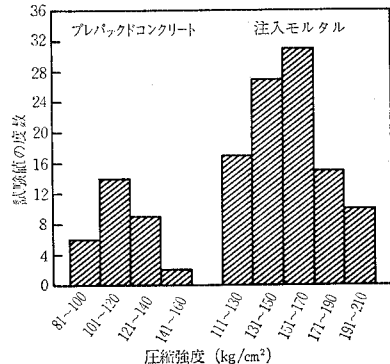
$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-ts}^{\infty} e^{-x^2/2} dx = 1 - k'$$

となり、 $k'=0.05$ のとき、 $t=1.645$ となることを用いて導いたものである。式(i),(ii)における v は圧縮強度の変動係数で、係数 α は v が18以下では α_2 により、18%以上では α_1 により定まる。圧縮強度の許容限界に関するこの規定は、工程を標準化した施工現場でのコンクリートの品質変動は統計法則にしたがうとする考え方²⁸⁾に基づくもので、これをプレパックドコンクリートの場合にも適用できることは先に述べた所からも当然と思われる。図-6.8は施工例における注入モルタルとプレパックドコンクリートの圧縮強度の度数分布の一例で、いずれも正規分布に近く上述の考え方を支持するものであろう。

しかし、普通コンクリートの圧縮強度の許容限界あるいはこれを満足するように定めた割増し係数をそのままプレパックドコンクリートに用いることは必ずしも適当でない。5.の結論は、モルタルの品質に変動がない場合でも注入後の材料分離によってプレパックドコンクリートの強度が変化し、これによる強度減少を考慮した配合設計の必要なことを示しているからである。この種の強度変化は前述の統計法則を適用し得る強度変動の現象とは異質のものであるが、実際には一連の現象として生じており、許容限界や割増し係数の設定には両者を一

図-6.8 施工における注入モルタルとプレパックドコンクリートと圧縮強度の度数分布の例

プレパックドコンクリート：新潟港西突堤
かさ上げ工事(1958)
試験値=φ15×30cm 3個の平均値31個
平均=115 kg/cm²、変動係数=13.4%
注入モルタル：大船渡港津波防波堤工事(1964)
試験値=φ5×10cm 3個の平均値100個
平均=156 kg/cm²、変動係数=15.0%



連の現象として取り扱うことが必要である。緒論で述べたように、プレパックド コンクリートの品質に対する必要条件は普通コンクリートの場合と相違しないので、両者の圧縮強度に同等の許容限界を設けるものとするれば、プレパックド コンクリートに対しては式 (i), (ii) で決まる α_1, α_2 をそれぞれ $1/0.85=1.18$ 倍とした割増し係数とするのが適当と思われる。この定数 0.85 は、5. で得た値で、品質一定のモルタルを注入したときのプレパックド コンクリートの強度減少の限界を示す値である。このようにして求めた割増し係数の適用性を表-5.2 の施工例について検討するとつぎの通りである。

羽幌港防波堤の場合

材令 28 日の圧縮強度の平均値は 151 kg/cm^2 、不偏分散の平方根を用いて推定した母集団の標準偏差は 12.2 kg/cm^2 、変動係数は 8.1% である。この変動係数に対する割増し係数は式 (ii) による α_2 を 1.18 倍して 1.250 である。したがって

$$\sigma_r = 1.250 \sigma_k$$

表-5.2 より $\sigma/\sigma_{ST} = 0.81 \sim 0.87$ であるからコア強度の σ は条件の悪い場合でも、 $\sigma > 0.8 \sigma_{ST}$ 程度と推定してよい。 σ_{ST} を σ_r で置き換えると $\sigma > 0.8 \times 1.250 = 1.0 \sigma_k$ となる。

根法華港東防波堤の場合

材令 28 日圧縮強度の平均値は 137 kg/cm^2 、不偏分散の平方根を用いて推定した母集団の標準偏差は 37.9 kg/cm^2 、変動係数は 27.7% である。これに対する割増し係数は式 (i) による α_1 を 1.18 倍して 1.747 である。したがって

$$\sigma_r = 1.747 \sigma_k$$

表-5.2 の表層のコアの試験結果は $\sigma/\sigma_{ST} = 0.67 \sim 1.07$ であるから、コア強度 σ は最小の場合でも $\sigma > 0.6 \sigma_{ST}$ と推定してよいであろう。 σ_{ST} を σ_r で置き換えると、 $\sigma > 0.6 \times 1.747 \sigma_k = 1.05 \sigma_k$ である。

上例では工程管理の良好と不良の極端な場合であるが、コア強度と標準供試体強度との比 σ/σ_{ST} にはモルタルの品質変動の影響とともに注入後の材料分離による強度減少の影響も含まれている。したがって、前述のように普通コンクリートに対する割増し係数を 1.18 倍した値を用いることは、プレパックド コンクリートの圧縮強度に普通コンクリートと同等ないし同等以上の許容限界を与えるものと解され、必要でかつ十分な安全性をもつ係数と思われる。

7. 配合比が注入モルタルおよびプレパックド コンクリートの品質におよぼす影響

プレパックド コンクリートの配合は粗骨材の空げき率と注入モルタルの配合比、すなわち、水結合材比注1) $W/(C+F)$ 、フライアッシュ混和率 $F/(C+F)$ 、砂セメ

ント比 $S/(C+F)$ 、減水剤率 $A_d/(C+F)$ 、およびガス発生剤率 $A_l/(C+F)$ とによって表示できる。これらの配合要素のうち、粗骨材の空げき率は与えられた粗骨材とその填充方法によってほぼ一定となり、また減水剤率とガス発生剤率もそれぞれ減水効果と膨張効果によって一義的に決まるとしてよい。したがって、注入モルタルの配合設計は主として $W/(C+F)$ 、 $F/(C+F)$ および $S/(C+F)$ を定めることにほかならない。本章では、これらの配合比が注入モルタルとプレパックド コンクリートの諸性質におよぼす影響と配合設計の条件を検討し、減水剤率とガス発生剤率については 8. で論ずる。

7.1 水結合材比の影響

水結合材比 $W/(C+F)$ は注入モルタルの配合比の中でも最も基本的な要素であり、注入モルタルとプレパックド コンクリートの諸性質に特に著しい影響をおよぼす。図-7.1~7.3 はそれぞれ、 $W/(C+F)$ と注入モルタルの流動性注2)、フリージング率注3)および保水性注4)との関係を試験した結果で、 $W/(C+F)$ の増加は流動性を増大するが、材料分離の影響もこれに応じてほぼ直線的に増加することを示している。図-7.4 は結合材水比 $(C+F)/W$ とモルタルおよびコンクリートの強度との関係を試験した結果で、これらの強度が $(C+F)/W$ にほぼ直線的に比例し、プレパックド コンクリートについても水セメント比法則が成立することを示している。

以上に述べた関係から、注入モルタルの配合設計では、適当な流動性の得られる範囲内で水結合材比を最小にしなければならないことは明らかである。従来の施工例によると、 $18 \pm 2 \text{ sec}$ ないし $20 \pm 2 \text{ sec}$ を標準の流下時間としている例が多く¹⁾、流下時間が $16 \sim 22 \text{ sec}$ 程度の範囲で施工に適した流動性が得られるものと判断してよい。図-7.1 によると、この範囲では流下時間 $\sim W/(C+F)$ の関係はほぼ直線的で、流下時間 $= \pm 1 \text{ sec}$ の

注 1) 混和材料としてフライアッシュその他のボゾランを用いた練りたてのモルタルまたはコンクリートにおいて、骨材が表面乾燥飽水状態であったときのペースト中における水をセメントおよびボゾランの重量比をいい、次式であらわす。水結合材比 $= W/(C+F)$ 、ここで、 W, C および F はそれぞれ水、セメントおよびボゾランの重量比を表わす。

注 2) 直管の吐出管 (内径 13 mm, 長さ 39 mm) を下端に備えたロート状の水槽 (下端内径 13 mm, 上端内径 176 mm, ロート部の高さ 190 mm) に 1725 cc のモルタルを満たしたのち、吐出管より自由に流出させてその所要時間を測定し、これを流下時間 0 sec として表示した¹⁴⁾。

注 3) フリージングが最大となった時のフリージング水量を、試料に最初に含まれていた水量に対する百分率で表示した値¹⁴⁾。

注 4) 500 cc のモルタル試料を有孔板容器に満たし、真空装置を用いて 71 cmHg の圧力の下で試料より水分を吸出し、水分吸出を行なう前後の試料中の水量を求め、両者の比を百分率で表示したもので、材料分離の生じ難さの程度を表わす指数の一つと思われる¹⁴⁾。

図-7.1 注入モルタルの水結合材比と流下時間との関係

材料：○社普通セメント，U社フライアッシュ，庄川産砂（FM=2.44，2.5mmふるい100%通過），ポゾリス No. 5=(C+F)×0.5%，試薬1級Al粉末=(C+F)×0.015%

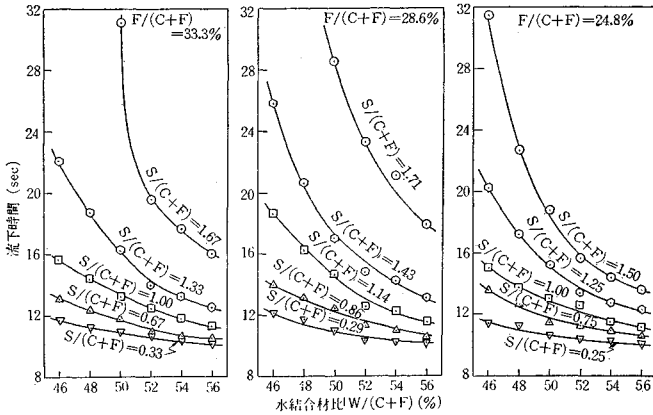


図-7.2 注入モルタルの水結合材比とブリージング率との関係

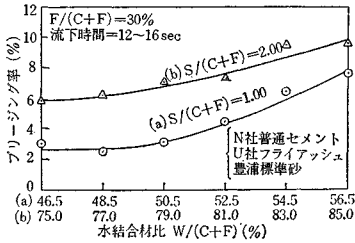


図-7.3 注入モルタルの水結合材比と保水性との関係

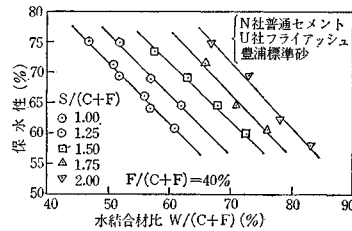


図-7.4 結合材水比と注入モルタルおよびプレバックド コンクリートの強度との関係
材令 28 日 $F/(C+F)=20\%$, $Poz. 8/(C+F)=0.0375\%$, $Al/(C+F)=0.03\%$

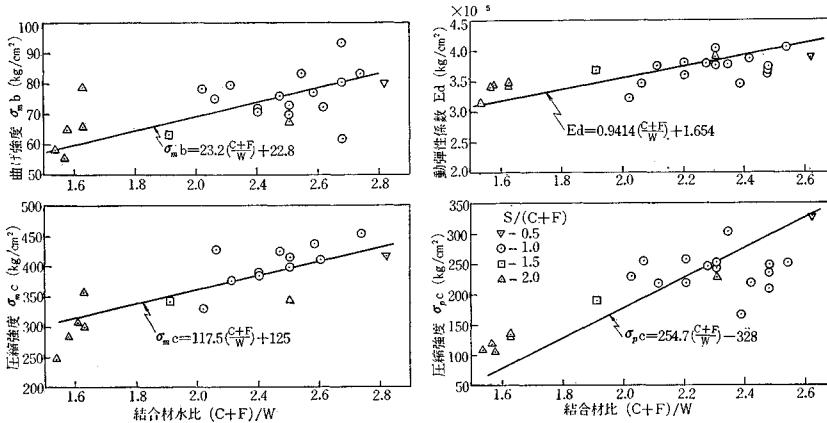


図-7.5 注入モルタルのフライアッシュ混和率とブリージング率との関係

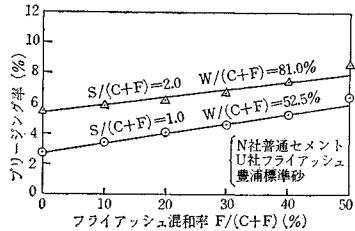
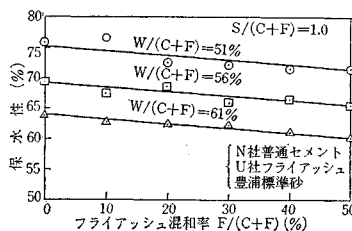


図-7.6 注入モルタルのフライアッシュ混和率と保水性との関係



変化は $W/(C+F) = \pm 0.5\%$ の変化に相当する。これは注入モルタルの流動性を表示する値としての流下時間が水結合材比の変化に対して適当な鋭感性を備えており、従来の施工例で用いられている流下時間の許容範囲が管理限界としても適当なことを示すものと思われる。

7.2 フライアッシュ混和率の影響

良質のフライアッシュの混入が一般に注入モルタルの流動性を増加することはすでに認められているが、他の配合比を一定として用いる限りでは 図-7.5, 7.6 の試験結果からも明かなように、ブリージング率の増加ないし保水性の減少をとまう。したがってフライアッシュは水セメント比を減少することを条件として用いるべきであって、流動性を一定とする場合には $F/(C+F)$ と $W/(C+F)$ との間に 図-7.7 に示したような関係が認められ、所要の水結合材比は $F/(C+F)=10\%$ について $W/(C+F)=1\%$ 程度減少し、ブリージング率や保水性はほとんど一定となる。単位水量の減少もフライアッシュ混入の影響の一つであって、図-7.8 に示したように、流動性を一定とする場合には単位水量の減少の程度が著しく、フライアッシュ混入の長所の一つと思われる。

フライアッシュの混入が強度におよぼす影響は材令によって変化する。たとえば、図-7.9, 7.10 は注入モルタルの強度に関する一連の試験結果¹⁴⁾ から材令 28 日の場合を図示したもので、材令 1~4 週では $F/(C+F)$ の増加に応じて強度はほぼ直線的に減少する。しかし、長期材令では $F/(C+F)=20\sim 30\%$ の付近で最大強度が得られ、フライアッシュを用いない場合の 110% 程度に達するよ

う。

図-7.7 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所要の水結合材比との関係

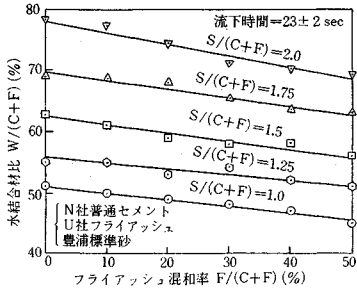


図-7.9 注入モルタルのフライアッシュ混和率と圧縮強度との関係
材令 28 日圧縮強度：
4×4×16 cm 折片 6 個の平均値

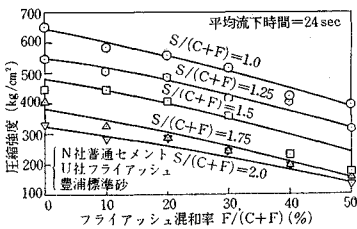
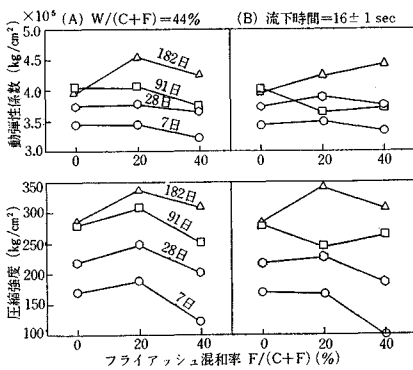


図-7.11 フライアッシュ混和率とプレパックドコンクリートの強度との関係

$S/(C+F)=1.0$, Poz. $8/(C+F)=0.25\%$,
 $Al/(C+F)=0.01\%$,
 $\phi 15 \times 30$ cm 供試体 3 個の平均値



うである。フライアッシュ混和率とプレパックドコンクリートの間にも、図-7.11 に示したような試験結果が得られ、フライアッシュの混入はプレパックドコンクリートの強度に、注入モルタルにおけるとほぼ同等の影響をおよぼすことがわかる。

したがって、注入モルタルの配合設計では養生条件の許容する限り長期強度の増進を考慮して $F/(C+F)$ を定めるのがよく、 $F/(C+F)=20 \sim 30\%$ とするのが適当と思われる。また、高強度を必要としないマッシブな部材の場合には、所要の強度および耐久性が得られる範囲内で大きな値を選び、単位水量の減少を計ることは均一性の大きいコンクリートを得るのに効果的と思われる。

図-7.8 注入モルタルのフライアッシュ混和率と流下時間および単位水量との関係

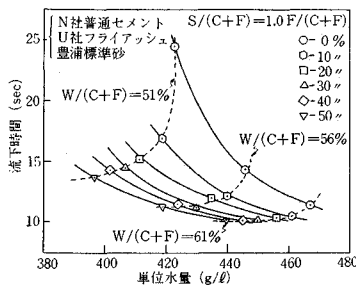


図-6.10 注入モルタルのフライアッシュ混和率と曲げ強度との関係
材令 28 日曲げ強度：
4×4×16 cm 3 個の平均値

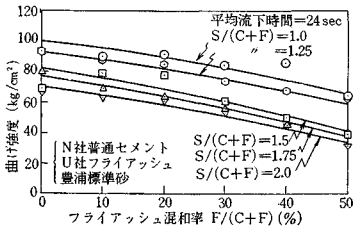


図-7.12 流動性を一定とした注入モルタルの砂セメント比と所要の水結合材比との関係

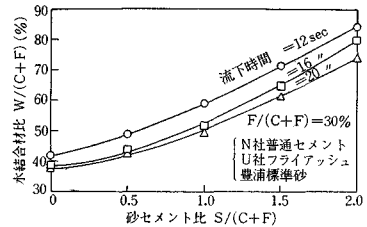


図-7.13 砂セメント比と注入モルタルのブリージング率との関係

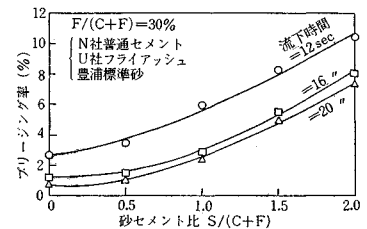
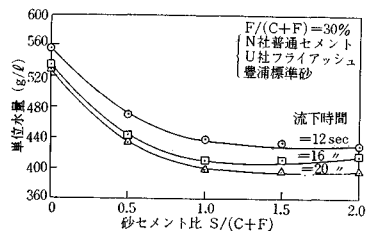


図-7.14 注入モルタルの砂セメント比と単位水量との関係



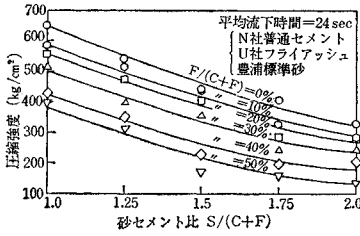
7.3 砂セメント比の影響

注入モルタルの流動性を一定として $S/(C+F)$ を変えると、所要の水結合材比は図-7.12 に示したようにほぼ直線的に変化し、注入モルタルおよびプレパックドコンクリートの諸性質にも著しい影響をおよぼす。

図-7.13 は $S/(C+F)$ とブリージング率との関係を試験した結果であるが、ブリージング率が $S/(C+F)$ にほぼ直線的に比例して増加することが観察される。注入モルタルとプレパックドコンクリートの強度が $S/(C+F)$ の増加に応じてほぼ直線的比例して減少することも図-7.15, 7.16 の試験結果から明らかである。このような $S/(C+F)$ の変化にともなう注入モルタルおよびプレパックドコンクリートの諸性質の変化は主として水結合材比の

図-7.15 注入モルタルの砂セメント比と
圧縮強度の関係

材令 28 日 圧縮強度: 4×4×16 cm 折片 6 個の平均値



変化に起因するものと
思われる。これは $S/(C+F)$ の変化による
所要の $W/(C+F)$ の
変化量を、たとえば 図
-7.2 や 7.4 の関係
に挿入して推定したブ
リージング率や強度の
変化量が、図-7.13
や 7.15 で得られる値
とほぼ一致することか
ら実証される。しか
し、この変化は図-
7.14 の試験結果から
も明らかのように、注
入モルタルの単位水量とは直接には関係せず、単位水量
は $S/(C+F)=0\sim 1.0$ では $S/(C+F)$ の増加に応じて
ほぼ直線的に減少し、 $S/(C+F)=1.0\sim 2.0$ ではほとん
ど一定である。

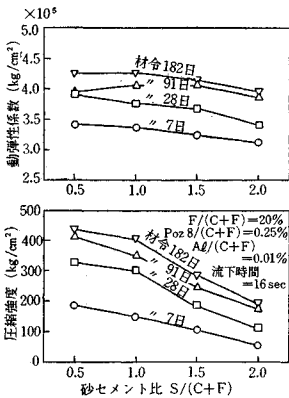
密実で耐久性の大きいプレパックド コンクリートを得るためには、単位水量をできるだけ少なくしなければならないことは普通コンクリートの配合設計と同様である。このためには、注入モルタルの配合設計では所要の流動性とプレパックド コンクリートの強度が得られる限り $S/(C+F)=1.0\sim 2.0$ 程度の範囲でこれを定めるのがよく、さらに材料の分離を最小に止めるためには上述の範囲で下限に近い値とするのが望ましい。このような条件は一般に配合の経済性と矛盾するもので、経済的にかつ所要の品質の注入モルタルを得るためにはさらに混和剤の使用や練りまぜ方法の改善による減水効果等について検討する必要がある。

8. 使用材料の管理要因の検討

使用材料が注入モルタルとプレパックド コンクリートの品質におよぼす影響は材料固有の品質の影響と大量に用いるときの品質の不均一性による影響とに分けて考えることができる。セメントを例にとると、規格種別や製造工場等による品質の相違の影響は前者の型に属し、

図-7.16 砂セメント比とプレパ
ックド コンクリートの強度と
の関係

φ 15×30 cm 供試体 3 個の平均値



製造時期や貯蔵条件の変化にともなう品質の変動の影響は後者の型に属する。セメントやフライアッシュについては前者の型による影響がかなり大きいことが確かめられているが¹⁴⁾これは規格種別や製造工場を指定することで完全に規制でき、品質管理上問題となることはない。骨材については、これを経済的に入手し得る範囲が施工箇所の立地条件等によって限定されるため、複数の産地のものが混用された例(一定の割合で混合して使用した例を除く)はまれであり、したがって、これらの材料の影響も品質の不均一性に基づくものと考えてよい。一方、混和剤はその使用量が少なく、品質の不均一性による影響は余り考えられないが、品質自体が問題となる場合も少なくない⁹⁾。本章では上述の観点から品質管理上問題となる諸点のみに限定した使用材料の影響について検討する。

8.1 セメントおよびフライアッシュの品質変動

セメントやフライアッシュの品質変動の状態は工事規模によってもある程度異なるが、既往の港湾工事施工例¹⁾によると、単年度の平均および最大施工量はプレパックド コンクリート量で 1000 m³ および 9000 m³ 程度で、これに相当するセメントとフライアッシュの合計使用量はそれぞれ 300 t および 2700 t 程度である。

表-8.1 は施工例についてセメントの品質変動を調査した結果である。セメント試験の技術水準と試験条件が異なる上に、試験項目によっても変動係数が異なるので断定しがたいが、試験条件の相違を考慮すると、たとえば、28 日圧縮強度の変動係数は 2~3% 以下と推定して差し支えないであろう。この調査結果はいずれも平均規模をかなり上回る施工例についてのもので、少なくともこの程度以下の工事では輸送や貯蔵の方法が適切であればセメントの品質変動はきわめて少ないことを示すものと思われる。

フライアッシュの品質変動については、一般に製造過

表-8.1 施工例におけるセメントの品質変動状態

構造物	比重	粉末度 (cm ³ /g)	曲げ強度 (kg/cm ²)			圧縮強度 (kg/cm ²)			
			3日	7日	28日	3日	7日	28日	
北海道根法華港 東防波堤 ¹⁾ 施工量=3765 m ³	平均値	2.96	3136	24.6	42.8	67.3	93	192	375
	標準偏差	0	15	0.3	0.3	0.2	1.8	1.6	1.6
	変動係数 (%)	0	0.5	1.2	0.7	0.3	1.9	0.8	0.4
伏木富山港新港 防波堤 ²⁾ 施工量=2689 m ³	平均値	3.16	3241	31.1	49.1	71.5	125	222	413
	標準偏差	0.045	94	2.5	3.0	2.8	14.4	11.1	26.1
	変動係数 (%)	1.5	2.9	8.0	6.1	3.9	11.5	5.0	6.3
新潟港西突堤 ³⁾ (かさ上げ工事) 施工量=3390 m ³	平均値	3.16	2.06%	—	—	74.7	—	—	392
	標準偏差	0.005	0.34%	—	—	0.29	—	—	13.6
	変動係数 (%)	0.2	16.5	—	—	3.9	—	—	2.8

注: 1) N社B種フライアッシュセメント, 同社K工場試験室で試験, 試験頻度=1回/月
2) O社普通セメント, 施工現場試験室で試験, 試験頻度=1回/月
3) O社普通セメント, 材料試験所試験室で試験, 粉末度=88μ 網ふるい残分 (%), 試験頻度=1回/月

程に起因する季節的な変動が大きく、また 20 日間における変動係数が 3.6~5.2% に達した例もある^{29),30)}。しかし、プレパッドコンクリート工事ではその使用量が少なく、また、港湾工事の施工は気象と海象の静穏な特定の季節に限定されること、等の理由により、フライアッシュの品質変動はセメントのそれより一層少ないものと思われる。

8.2 減水剤が注入モルタルおよびプレパッドコンクリートの諸性質におよぼす影響

減水剤についての問題点は、その品質規格が未定で多数の市販品の中には効果の疑わしいものや使用方法によって効果の著しく変化するものが少なくないこと、普通コンクリートには有効でも注入モルタルには有効とは限らない場合もあること、等であろう。このような観点から、減水剤として市販され、かつその主成分ないし主原料の明らかなものから界面活性剤としての種別ごとに 4 種（非イオン系、陽イオン系、陰イオン系、両性イオン系各 1 種）と AE 剤 2 種を選び、これが注入モルタル

とプレパッドコンクリートの諸性質におよぼす影響を試験した。試験に用いた材料は、O社普通セメント、Y社B種高炉セメント、U社フライアッシュ、豊浦標準砂、表-8.2の減水剤などで、図-8.1, 8.2はその試験結果¹⁴⁾より主要な結果を要約して示したものである。これによると、減水剤が注入モルタルの諸性質におよぼす影響は、セメントの種類、フライアッシュ混和率、砂セメント比、減水剤率、等の配合比、によってかなり相違し、減水効果の疑わしいものや所要の水結合材比を増加するものは他の諸性質に有害な影響をおよぼす傾向が認められる。したがって、減水剤が使用条件によらず安定した効果をもつためには明瞭な減水効果をもつことが必要であり、使用した6種の減水剤のうち、このような条件を満たすものは陰イオン系界面活性剤のP剤のみである。表-8.3はP剤を用いてその使用量がプレパッドコンクリートの圧縮強度と動弾性係数におよぼす影響を試験した結果で、当然ではあるが、注入モルタルの強度に対するものとはほぼ同様の傾向が認められる。用いた6種の減水剤はいずれも普通コンクリートには広く用いられているものであるが注入モルタルには必

図-8.1 減水剤の種類と使用量が注入モルタルの所要の水結合材比、ブリージング率および保水性におよぼす影響

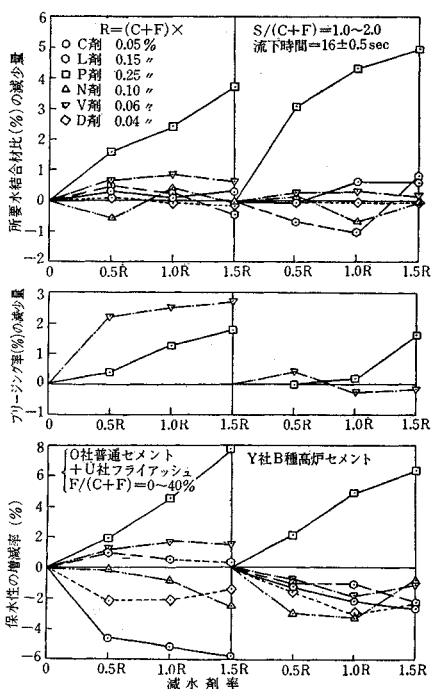


図-8.2 減水剤の種類と使用量が注入モルタルの圧縮強度におよぼす影響

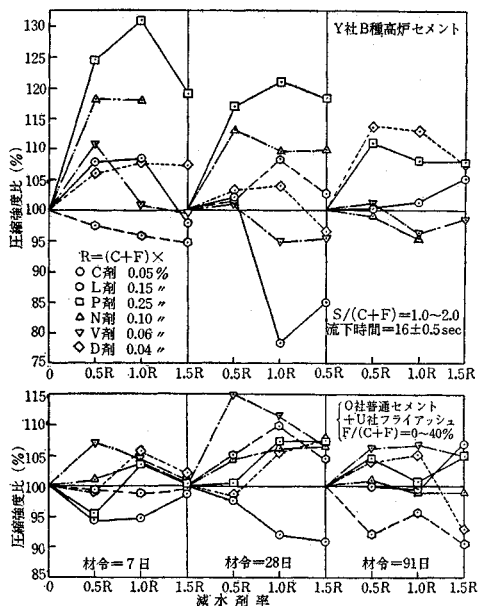


表-8.2 使用した減水剤

記号	主成分ないし主原料	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 K K	0.05
L 剤	(リグニン) + (可溶性珪酸塩)	陽イオン	国産 K 材料 K K	0.15
P 剤	リグニンスルホン酸カルシウム	陰イオン	国産 N M K K	0.25
N 剤	カルボン酸	両性イオン	国産 T 製油 K K	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

* 製造者によって推奨されている値で、普通コンクリートの場合の使用量

表-8.3 P剤の使用量がプレバッドコンクリートの強度におよぼす影響¹⁴⁾

材令 (日)	S/(C+F)=1.0				S/(C+F)=2.0			
	P剤の使用量(C+F)×(%)							
	0	0.125	0.25	0.375	0	0.125	0.25	0.375
圧縮強度比(%) (φ15×30cm 3個の平均値)								
7	100	125	133	135	100	98	130	141
28	100	102	95	100	100	96	125	125
91	100	88	115	112	100	115	133	141
182	100	104	101	108	100	94	110	111
平均	100	105	111	114	100	101	124	130
動弾性係数比(%) (φ15×30cm 3個の平均値)								
7	100	108	106	106	100	103	98	100
28	100	104	116	115	100	109	109	110
91	100	99	102	102	100	88	94	87
182	100	100	104	101	100	99	101	99
平均	100	103	107	106	100	100	101	99

ずしも効果的でないのは、その減水効果が主として AE 剤としての機能によるもので、連行空気量の微量な注入モルタルでは減水効果を発現し得ないためと思われる。したがって、注入モルタルに用いる減水剤は施工用の材料と配合のモルタルで試験して、その効果と適正な使用量を確認することが重要である。

7.3 アルミニウム粉末の品質とその膨張効果

注入モルタルには膨張性を与えるためにアルミニウム粉末を用いるのが原則であり、ガス発生剤としてのアルミニウム粉末の膨張効果について、うろこ状以外の粉末は膨張効果をもたないこと、アルミニウム粉末の貯蔵条件は膨張効果にほとんど影響しないこと、注入モルタルの膨張率は粉末使用量にほぼ比例すること、等が確かめられている^{7), 10), 13)}。これらの研究成果によって、アルミニウム粉末の選択や使用量に関して有効な施工指針を樹てることが可能になったが、有効と考えられるうろこ状の粉末も、その粉末度、油脂分、化学成分、等によって膨張効果も変化するものようである。このような観点から各種のうろこ状粉末を10種選び、これの混入が注入モルタルの諸性質におよぼす影響を試験した。試験に用いたアルミニウム粉末の品質は表-8.4に示した通りである。油脂分は JIS K 5906-1951 によって試験し、また、有効径は自動粒度測定器(島津製作所)を用いて 30.3~9.2μ を11段階に分けて分析して得られた粒度分布(重量百分率)からつぎの定義¹¹⁾によって計算したものである。

$d = \text{有効径}$

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

d_{12} = ふるい目 d_1 と d_2 の間に留まる試料の重量百分率

試験結果を表-8.5~8.7 および図-8.3 に示す。表-8.5 の結果について分散分析を行なったところ、ブリー

ジング率と膨張率はアルミニウム粉末の種類により有意差が認められた。表-8.6 はこれを確認するために行なった試験結果で、差の認められた粉末試料 A_4, A_5, A_6 を A_3, A_6, A_8 と比較したものである。この結果によると、アルミニウム粉末の品質は膨張率とブリージング率に影響をおよぼすが、他の諸性質には影響しないとしてよい

表-8.4 使用したうろこ状アルミニウム粉末の品質

試料番号	仕 様	化 学 成 分 (%)					有効径 (μ)
		Al	Si	Fe	Cu	油脂分	
A_1	F社 AA 10	99.2	0.110	0.010	0.210	2.75	7.84
A_2	〃 AA 12					2.12	13.97
A_3	〃 AA 15					1.83	15.28
A_4	〃 AA 39					0.84	25.23
A_5	Y社 No. 300					2.50	13.75
A_6	〃 YP 580	99.4	0.259	0.322	0.018	2.23	13.85
A_7	〃 YP 2000					2.68	8.09
A_8	〃 YP 1000					2.62	11.47
A_9	〃 P 120					0.75	24.94
A_{10}	〃 P 250					1.95	15.03

表-8.5 各種のアルミニウム粉末を混入したモルタルの試験結果(1)

試料番号	モルタル温度 (°C)	流下時間 (sec)	単位容積重 (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	1.8	4.6
	22.3	15.7	2.08	0	6.1
	21.0	15.2	2.07	0	6.5

材料: O社普通セメント, 豊浦標準砂, ポゾリス. No. 8

配合: S/C=1.50, W/C=59%, Poz. 8/C=0.25%, Al/C=0.015%

膨張率およびブリージング率: 直径約 4cm のポリエチレン袋を用いて測定した 24Hr 後の値で、膨張量およびブリージング水量を試料モルタルの元容積に対する百分率で表示したものである。

表-8.6 各種のアルミニウム粉末を混入した
注入モルタルの試験結果 (2)

注入モルタルの 材料と配合	試料 番号	モルタル 温度 (°C)	流下 時間 (sec)	単位容積 量 (kg/l)	ブリー ジング 率 (%)	膨張率 (%)	28日強度 (kg/cm ²)	
							曲げ	圧縮
O社普通セメント 鶴沼海岸砂 ポゾリス No. 8 S/C=1.50 W/C=50% Poz. 8/C=0.25% Al/C=0.015%	A ₃	23.4	16.3	2.14	0	8.3	43.6	237
		22.1	16.8	2.17	0	8.4	47.9	369
		20.7	16.6	2.17	0	8.4	36.3	333
	A ₄	22.8	17.3	2.17	0	7.7	39.5	398
		22.2	16.1	2.16	0	6.8	35.6	344
		21.7	16.7	2.17	0	7.1	61.1	343
	A ₅	22.7	17.3	2.16	0	5.3	53.6	409
		21.7	16.6	2.17	0	4.8	56.7	297
		21.5	16.6	2.17	0	3.3	48.7	346
	A ₆	21.8	17.8	2.16	0	7.9	49.8	434
		21.6	17.4	2.15	0	8.1	53.6	391
		21.0	16.8	2.17	0	8.1	55.8	343
A ₈	22.6	16.7	2.16	0	7.6	51.7	437	
	22.7	16.7	2.17	0	8.3	20.9	297	
	20.7	17.7	2.17	0	7.7	45.9	338	
A ₉	21.9	17.7	2.17	0.1	6.8	44.8	420	
	22.3	16.5	2.16	0.4	5.9	47.4	413	
	21.4	17.3	2.16	0.5	4.9	48.9	369	
O社普通セメント 鶴沼海岸砂 ポゾリス No. 8 S/C=1.50 W/C=53% Poz. 8/C=0.25% Al/C=0.015%	A ₃	19.9	13.2	2.15	0.7	5.7	51.7	350
		19.9	13.2	2.15	0.1	6.0	53.7	414
	A ₄	19.6	12.8	2.16	1.1	3.9	63.6	323
		20.3	13.2	2.16	0.2	4.8	48.4	343
	A ₅	19.5	13.3	2.14	0.6	2.4	58.4	299
		19.6	13.0	2.15	0.5	3.7	—	383
	A ₆	19.2	13.1	2.16	1.1	6.1	50.0	371
		19.2	13.4	2.15	1.0	5.5	58.1	375
	A ₈	19.9	13.3	2.17	1.3	6.8	57.1	252
		19.9	12.9	2.13	0.2	5.3	57.6	275
	A ₉	19.2	13.7	2.15	0.8	2.3	45.8	347
		19.8	13.3	2.16	0	4.1	60.9	260

圧縮強度：φ5×10cm 鋼製型わくを用いて膨張を拘束して製作した供試体による。

曲げ強度：ポリエチレン袋を用いてブリージング率と膨張率を測定した試料 (φ約 4cm, 長さ 20cm) をそのまま養生したものを供試体とし、支点距離 $l=10\text{cm}$ で 2 等分点載荷を行ない、 $\sigma_b = \frac{25.45}{d^3} p$ (d =直径 cm, p =破壊荷重 kg) で求めた値。

であろう。

うろこ状アルミニウム粉末の品質はその純度と油脂分および粉末度によって表示できる。上述の試験に用いた試料 A₁~A₄ と A₆~A₁₀ とでは純度に多少の相違はあるが、この程度の差が膨張効果に影響しないことは試験結果より明らかである。油脂分が著しく少なく、粉末度の粗い A₄ と A₉ の膨張効果が劣る事実は、油脂分もしくは粉末度のいずれかもしくは両方が膨張効果を支配する主要な要素の一つであることを示している。また、油脂分と粉末度が他と同等の A₅ の膨張効果が劣ることは化学成分もこれに関係のあることを示唆するものと思われる。

図-8.3 はアルミニウム粉末試料 A₄, A₅, A₆, A₉ を用いてガス発生剤率 $Al/(C+F)$ と膨張率との関係を試験した結果で、これによると膨張率は $Al/(C+F)$ にほぼ

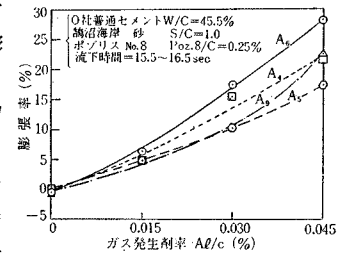
表-8.7 ガス発生剤率とプレバッキング コンクリートの強度との関係

材令 (日)	ガス発生剤率 $Al/(C+F)$ (%)					
	0	0.01	0.02	0	0.01	0.02
	圧縮強度比 (%)			動弾性係数比 (%)		
7	100	110	104	100	99	103
28	100	105	89	100	101	100
91	100	103	94	100	103	101
182	100	103	94	100	99	99
平均	100	108	95	100	101	101

材料：O社普通セメント, U社フライアッシュ, 鶴沼海岸砂, ポゾリス No. 8, Al 粉末=A₂, 酒匂川砂利
配合： $F/(C+F)=20\%$, $S/(C+F)=1.0$, $W/(C+F)=40.5\%$, Poz. 8/ $(C+F)=0.25\%$

直線的に比例し、膨張効果の劣るものでもその使用量を増すことにより必要な膨張率が得られることがわかる。表-8.7 は試料 A₂ を用いてプレバッキング コンクリートの圧縮強度と動弾性係数を比較

図-8.3 ガス発生剤率と注入モルタルの膨張率との関係



したもので、最大の圧縮強度が $Al/(C+F)=0.01\sim 0.02\%$ 付近にあることを示している。また、これらの結果から、アルミニウム粉末の使用による適正な膨張率は 5~10% の付近にあるものと推定される。

以上の試験結果よりつぎのことがいえると思われる。すなわち、一般に膨張効果をもつと考えられているうろこ状アルミニウム粉末でも、その粉末度、油脂分および純度によって膨張効果は変化する。しかし、膨張効果の劣るものでもその使用量を増加することにより他と同等の効果をあげることができ、したがって、アルミニウム粉末の使用量は注入モルタルの膨張率が 5~10% となるように試験して定めるのが適当である。また、安定した膨張効果を期待するためのアルミニウムの品質規準としては、うろこ状粉末で、純度が 99% 以上、油脂分が 2% 程度、粉末度は有効径で 15μ 以下であること、もしくは粒径が 30μ 以下のものが 80% 以上であること、とするのが適当と思われる。

8.4 細骨材の粒度が注入モルタルの流動性におよぼす影響

細骨材の粒度以外の性質、たとえば、比重や吸水量等は一定の産地と産出状態のものを使用する限りではほぼ一定となるので、施工管理上問題となるのは細骨材の粒度が注入モルタルの流動性におよぼす影響に限定される。この点を検討するために、表-8.8 のように粒度を調整した砂を用いて、これと注入モルタルの流動性との関係を試験するとともに施工現場における細骨材の粒度

表-8.8 試験に用いた砂の粒度分布

ふるい寸法 (mm)	試料番号								
	S-1 (原砂)	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9
5	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	100
0.15	98	98	98	100	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

原砂：神奈川県鶴沼海岸産，比重=2.64，吸水量=2.45%

図-8.4 細骨材の粗粒率と注入モルタルの流下時間との関係

材料：O社普通セメント，鶴沼海岸砂，ポゾリス No. 8，F社 Al 粉末 AA 12
配合：S/C=1.50，Poz. 8/C=0.25%，Al/C=0.015%

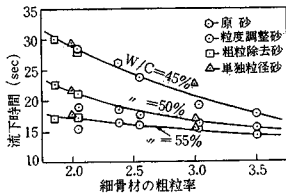
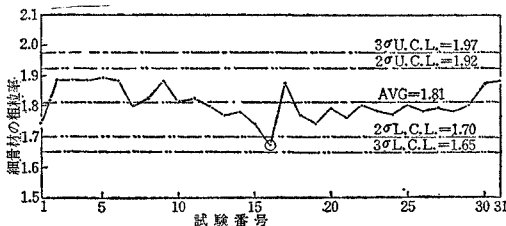


図-8.5 新潟港西突堤かさ上げ工事(1958)における細骨材の粒度変化の状態

信濃川産砂：比重=2.58，吸水量=1.85%，単位容積重量=1540 kg/m³，原砂粗粒率=1.87，1.2 mmふるいでふるい分けて施工に使用した。



の変動状態を調査した。図-8.4, 8.5 はその結果である。

図-8.4 の試験結果によると，流動性は粗粒率の増加に応じてほぼ直線的に増加し，粗粒率が同等であれば粒度分布の差は流動性にほとんど影響しない。細骨材の粗粒率をその平均粒径の指数と考えれば，粗粒率の増加が比表面積の減少をもたらすことは明らかで，水結合材比を一定としてペーストの粘性を一定に保っても，ペーストと細骨材との接触面積が減少しモルタルの流動性増加に帰着するものと思われる。しかし，以上の関係が成立する粒度の範囲には限界があり，粒径 2.5 mm 以上の粗粒子を多量に含む場合にはその沈殿分離が著しく，また，0.15 mm 以下を多量に含む場合には粘稠性が極端に大きくなって所要の水結合材比が増大し，いずれも注入モルタルには不適當である。したがって，施工例で一般に採用されている粒度範囲，すなわち，2.5 mm ふるいを 100% 通過し，0.15 mm ふるいに 70% 以上留まるもので，粗粒率は 1.4~2.2 程度のものは実用上適

当な値と思われる。このような範囲における粒度の変動によるモルタルの流動性の変化を水結合材比で調整すると，粗粒率の変化 $F.M.=\pm 0.1$ に対する所要水結合材比の変化は $W/(C+F)=\pm 1\%$ 程度である。

施工現場における細骨材粒度の変動は比較的少なく，たとえば，図-8.5 に示したような調査結果が得られている。これは 1.2 mm ふるいでふるい分けていることによるものであろう。図-8.5 の例では粗粒率の変動範囲は $1.67\sim 1.89=0.22$ で，平均値は 1.81 である。試料の不偏分散の平方根に等しいものとして母集団の標準偏差を求めると， $\sigma=0.054$ で変動係数は 3% である。この例で，細骨材の粒度の管理に 2σ 限界を用いるものとするとき，

$$2\sigma C.L.=1.81\pm 2\times 0.054=1.92 \text{ および } 1.70$$

となって，上下の管理限界の幅は ± 0.11 である。この値と，前述の粗粒率~所要水結合材比の関係との間には直接的な関係はないが，粗粒率の変動が流動性ないし所要水結合材比におよぼす影響の程度を考慮すると，粗粒率の規格限界としては一般に(平均値 ± 0.1)程度とするのが適當と思われる。

9. 計量誤差による注入モルタルの配合比の変化

施工現場における計量誤差の実態は施工条件によってかなり変化し，その正確な把握は困難であるが，代表的な港湾工事現場の一例としてN港工事事務所を選びそのバッチャープラントの計量誤差を調査した所，表-9.1 のような結果がえられた。このプラントは普通のコンクリート用のものであるが，注入モルタル用のプラントに

表-9.1 N港工事事務所バッチャープラントの計量誤差(注)

材料	バッチ重量(kg)	試験番号	測定回数	誤差の平均(%)	誤差の標準偏差
水	109	I	118	+0.65	0.79
		II	—	—	—
		III	—	—	—
			118	+0.65	0.79
セメント	182	I	53	+0.17	1.74
		II	15	+0.56	1.73
		III	214	-0.18	1.03
			282	+0.18	1.22
砂	448	I	53	-1.35	0.55
		II	15	-1.12	0.75
		III	214	-0.51	0.80
			282	-0.99	0.88
砂利	851	I	53	+0.72	0.74
		II	15	+0.89	0.55
		III	214	+0.99	0.77
			282	+0.87	0.76

注：1959年度調査，給与誤差を指針の読みから測定し，バッチ重量に対する百分率で表示したもの。スケール誤差の検定結果は+0.4%以内。

もほぼ同等の精度が期待されると思われる。この調査例について給与誤差が正規分布するものとして、95%の確率で給与誤差の起こり得る範囲を計算すると、水、セメント、砂に対して、それぞれ+2.20~-0.90%、+2.38~-2.02%、-0.11~-1.97%である。すなわち、この例とほぼ同等の性能のプラントでは±2%程度の給与誤差が起こり得る。スケール誤差は計量重量によって相違するが、一般に±0.5%以内と考えてよいであろう。したがって、計量誤差（給与誤差+スケール誤差）は一般に±2.5%以内と推定され、これに基づく注入モルタルの配合比の変動は原配合比の±5%以内である。たとえば、原配合比が $F/(C+F)=25\%$ 、 $S/(C+F)=1.50$ 、 $W/(C+F)=50\%$ の場合には、計量誤差に基づく配合比の変化は、 $\Delta\{F/(C+F)\}=\pm 1.25\%$ 、 $\Delta\{S/(C+F)\}=\pm 0.075$ 、 $\Delta\{W/(C+F)\}=\pm 2.5\%$ 以内となり、その影響はかなり大きい。

以上では細骨材の表面水が完全に補正されているものとして計量誤差を推定したが、実際には補正が不完全な場合が多く、使用した砂と採取試料の砂とではその表面水が数%相違することも珍しくない。仮に両者の差が $\alpha\%$ で、計量自体は正確な場合、表面水による配合比の変化は $W/(C+F)$ と $S/(C+F)$ のみに表われ、

$$\mp \Delta \left\{ \frac{S}{(C+F)} \right\} = \frac{\pm \alpha}{(100+\alpha)} \cdot \frac{S}{(C+F)}$$

$$\pm \Delta \left\{ \frac{W}{(C+F)} \right\} = \frac{\pm 100 \alpha}{(100+\alpha)} \cdot \frac{S}{(C+F)} (\%)$$

となって、図-9.1に示したように α と $S/(C+F)$ の関数として表示できる。上式を用いて、 $S/(C+F)=1.50$ 、 $\alpha=+5\%$ の場合の配合比の変化量を計算すると、 $\Delta\{S/(C+F)\}=-0.07$ 、 $\Delta\{W/(C+F)\}=+7\%$ となって、水結合材比の変化は前段で述べた値の約3倍に達する。

港湾工事では海上作業等の施工条件から、セメントとフライアッシュは袋単位の重量計量により、砂と水は容積計量による場合が少なくない。この場合、セメントとフライアッシュの計量誤差は包装所の計量誤差と等しいと考えてよく、一般に僅少である。また、水の計量誤差

図-9.1 細骨材の表面水による注入モルタルの配合比の変化
(計量誤差を無視できる場合)

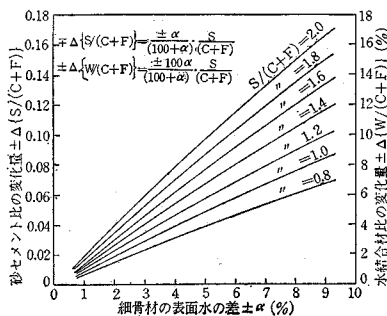
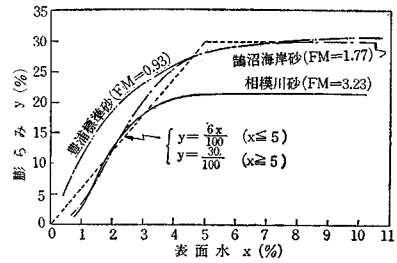


図-9.2 細骨材の表面水と膨らみとの関係
(容量 2 l の容器を用いて棒突き方法で試験した場合)



は容器の傾斜等によって生ずるもので、入念に計量する場合には 2% 程度と推定され、 $W/(C+F)$ もこれに応じて 2% 程度変化する。細骨材の計量誤差は計量容器の定め方による。一般に行なわれているように、あらかじめ数%の表面水を予測し、これによる膨らみを考慮して計量容器を定める場合には、表面水の予測値と実測値とが一致する限りでは砂の填充方法の差に基づくものだけであるが、異なる場合には相当の計量誤差をとまう。図-9.2 に示したように、細骨材の表面水と膨らみの関係は粗粒率によって変化するが、細砂については表面水 $x\%$ と膨らみ $y\%$ との間に

$$y = \frac{6x}{100} (x \leq 5), \quad y = \frac{30}{100} (x \geq 5)$$

が成立し、また表面水の予測値と実際とでは 3% 程度の差があるものとして計量誤差を推定すると、 $S/(C+F)=1.50$ の場合には $\Delta\{W/(C+F)\}=4.5\%$ 程度が最大値で、これと水の計量誤差を合計すると、 $\Delta\{W/(C+F)\}=6\sim 7\%$ に達し、前述の計量誤差とほぼ等しい。

換言すれば、計量誤差には計量機器の精度によるものと細骨材の表面水の影響によるものがあり、前者は自動計量装置を備えた現場では 2.5% 以内と推定される。また、後者は表面水の補正の正確さと原配合比とによって決まるが、一般の施工現場では水結合材比の変化がその絶対値で 6~7% 程度に達する可能性が大きく、注入モルタルの品質変動の最大の要因を形成するものと思われる。したがって、計量装置の整備、細骨材の表面水の分布の均一化、表面水の正確な補正、等を計るとともに、配合比の変化に基づく注入モルタルの品質変動を検査して、これを事前に補正することがプレバッド コンクリートの施工管理上きわめて重要である。

10. 練りませ条件が注入モルタルの品質におよぼす影響

普通コンクリートの場合と同じく、練りませ条件も注入モルタルの品質変動の要因となると考えられるので、練りませ温度、練りませ速度、練りませ時間、等の条件が注入モルタルの諸性質におよぼす影響について検討した。材料の投入順序も当然モルタルの諸性質に影響すると思われるが、どの施工例でも例外なく、水-減水剤-A

ルミニウム粉末-フライアッシュ-セメント-砂の順序を採用し¹⁾、均一なモルタルを得るのに最も合理的な順序であり、これを変更すべき理由も認められない。試験に用いたミキサは練りませ容量が5lと100l(50l槽を並列)のもの各1基である。前者は攪拌軸が混合槽内で70%程度偏心した位置に固定され、また練りませ速度は0~6000rpmの範囲で自由に調整できる構造のものである。後者は練りませ速度を300~1200rpmの範囲で、また攪拌軸の混合槽内の偏心量を0~30%の範囲で調整できる構造のものである。ここでは前者をI型ミキサ、後者をII型ミキサと呼ぶことにする。

表-10.1は練りませ温度と保存温度を変えて、注入モルタルの流動性、保水性、ブリージング率、膨張率、等を試験した結果である。これによると、流動性は練りませ温度の上昇に応じて減少し、また保水性は多少増加するが、これはセメントの水和反応が進行してセメントペーストの粘性が増すことによるものと思われる¹⁴⁾。膨張率とブリージング率は練りませ温度、保存温度および練りませ後の経過時間によってかなり相違する。経過時間3時間の膨張率は保存温度にほぼ直線的に比例し、温度差の影響が大きい、24時間の膨張率はかなり平均化している。低温ではアルミニウム粉末の反応が長時間持続する一方、高温ではこれが過早に終了した後にモルタルの沈下収縮が生ずることによるものであろう。経過時間3時間のブリージング率は練りませ温度の上昇に応じて減少するが、保存温度はこれが著しく低温の場合を

除いて余り影響しない。また、24時間のブリージング率は練りませ温度と保存温度が高温なほど少ない。

膨張率とブリージング率との差がアルミニウム粉末の膨張効果に有効な膨張率とすると、有効膨張率が温度の影響を受けることは明らかで、特に保存温度が低温の場合には有効膨張率は著しく減少する。したがって、所定の流動性と膨張効果をもつ注入モルタルを得るためには、施工箇所の温度条件と練りませによる温度上昇の程度をあらかじめ調査し、これに応じた配合設計をする必要がある。

図-10.1は練りませ速度とグラウトの流動性と温度上昇との関係を試験した結果である。これより、使用ミキサの相違にかかわらず、練りませ速度が大きいほど流動性が増し、所要の流動性を得るに必要な練りませ時間の短縮と水セメント比の減少が可能なることがわかる。一方、練りませ速度の増大に応じて温度も上昇し、ある程度増加した流動性は練りませ継続時間とともに減少することも明らかで、高速練りませの効果をも有効に生かすためにはアジテータの併設ないし練りませ速度可変の構造とする必要が認められる。

高速練りませによる流動性増加はセメントなどの微粒子粉末の機械的分散によるものと推定され、したがってその効果はミキサの構造によるところも大きい。II型ミキサを用いた試験では、攪拌軸が混合槽中心にあるときは練りませ速度の増加はモルタルの同心運動を助長するばかりでなく、容積効率も減少して効果的な練りませを

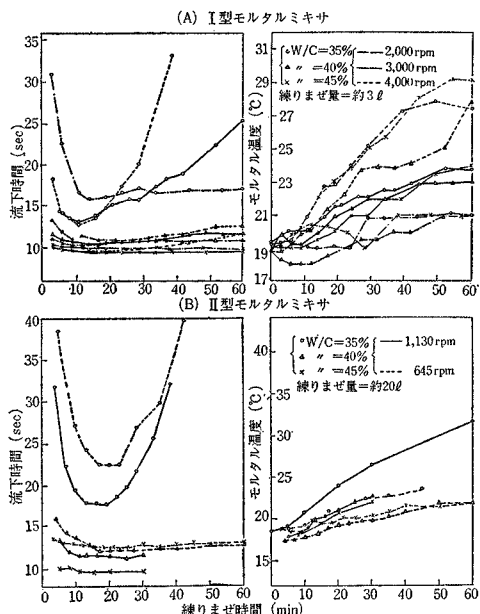
表-10.1 練りませおよび保存温度が注入モルタルの諸性質におよぼす影響

AI粉末 使用量 Al/C (%)	練りませ直後			練りませ 後の経過 時間 (hr)	ブリージング率(%)				膨張率(%)			
	モルタル 温度 (°C)	流下時間 (sec)	保水性 (%)		保存温度(±0.5°C)							
					3	16	26	32	3	16	26	32
0	17.6	20.9	72.3	3	4.8	4.4	3.2	2.5	-0.2	-0.2	-0.1	0.5
				24	6.7	4.0	2.5	0.7	-1.0	-1.8	-1.5	-2.5
	22.2	24.4	77.0	3	2.9	2.4	2.7	2.3	-1.1	-0.2	0.2	0.5
				24	5.2	2.4	1.3	0.0	0.4	-1.4	-1.3	-1.8
	25.8	23.6	77.7	3	2.5	2.4	1.7	2.5	-0.7	-0.3	0.3	-0.8
				24	5.5	1.8	0.4	0.3	-0.7	-1.3	-2.0	-3.2
0.01	17.9	21.8	70.8	3	6.0	2.3	2.4	2.3	3.9	5.8	5.7	7.3
				24	6.2	2.3	1.2	0.0	8.6	5.1	4.6	4.5
	22.8	22.6	75.4	3	2.0	2.0	2.4	2.3	3.1	4.1	6.3	5.7
				24	4.8	1.6	0.2	0.1	4.9	4.0	3.8	4.1
	25.8	25.1	74.6	3	3.7	1.9	2.1	2.1	3.1	3.9	5.0	5.7
				24	6.3	1.1	0.0	0.0	3.2	3.6	2.7	3.5
0.02	18.5	21.5	70.8	3	1.5	2.1	2.4	2.5	7.6	11.1	13.6	15.5
				24	3.8	1.3	0.0	0.0	11.8	10.9	11.4	12.1
	21.5	22.2	71.0	3	2.4	0.8	2.5	2.0	7.8	9.9	12.9	13.3
				24	5.7	1.2	0.0	0.0	10.5	10.2	10.4	10.9
	26.2	24.4	69.2	3	1.8	1.5	2.3	1.9	6.1	7.9	10.5	11.0
				24	4.6	0.2	0.0	0.0	7.3	7.6	8.2	8.8
0.03	18.0	21.6	69.8	3	2.0	1.2	1.3	1.5	10.2	15.1	20.6	20.3
				24	4.8	0.3	0.0	0.0	15.1	15.5	18.4	18.4
	22.0	22.8	70.8	3	1.8	1.2	1.1	1.3	11.5	15.7	20.3	21.5
				24	4.8	0.7	0.0	0.0	14.8	16.8	17.8	20.2
	26.0	24.7	70.2	3	1.2	1.2	1.4	1.5	10.1	14.9	17.5	17.4
				24	3.4	0.0	0.0	0.0	13.9	14.6	16.2	15.8

材料;O社普通セメント, 利根川砂, ポズリス No. 8, F金属社 AI粉末 AA12, 配合; C:S:W=1:1:0.44, Poz.8/C=0.25%, ブリージング率および膨張率試験方法; PCグラウト試験方法のポリエチレン袋を用いる方法, 練りませ方法; I型モルタルミキサを用いて1500rpmで2min, 3000rpmで8min間練りませた。

図-10.1 練りまぜの速度と時間がグラウトの流動性と温度におよぼす影響

○社普通セメント, ポゾリス No. 8=C×0.25%,
F社 AI 粉末 AA 12=C×0.03%



期待できない。しかし、攪拌軸を混合槽内で約30%偏心させることにより、モルタルの回転運動に上下運動が加わり、高速練りまぜが効果的になることが確かめられた。

図-10.2, 10.3 は比較的低速 (276 rpm) で長時間練りまぜたとき、これが注入モルタルの流動性, 温度, 膨張率およびブリージング率におよぼす影響を調査した結果で、用いた配合, 材料, 練りまぜ方法および 28 日圧縮強度は表-8.2 に示したとおりである。この結果によると、練りまぜ時間と流動性および温度との関係は、図-10.1 で観察したグラウトを用いた高速練りまぜの場合と本質的に同じである。また、膨張率とブリージング率はいずれも練りまぜ時間の延長に応じて減少しているが、これは先に述べた温度の影響についての試験結果とほぼ一致する。圧縮強度は練りまぜ時間の延長にほぼ直線的に比例して増加するが、セメントの機械的分散とともに温度上昇によるセメントの水和反応の促進によるものと思われる。このように長時間練りまぜによる諸性質の変化は主として温度上昇によるもので、ブリージング率の減少や強度増加の効果もあり、所要の流動性と膨張率が得られる限りでは、低速の長時間練りまぜは必ずしも有害ではない。

比較した配合-A, B の相違はポゾリス使用の有無のみであるが、ポゾリスの使用が単に流動性の増加だけでなく、練り

まぜ時間の延長にともなう流動性と膨張率の変動の減少にも相当効果的なことがわかる。施工現場では注入作業の中断などでやむを得ず練りまぜを長時間継続しなければならない場合も多い。したがって、減水効果とともに

表-10.2 長時間練りまぜ試験 (図-10.2, 10.3) に用いた注入モルタルの配合, 使用材料, 練りまぜ条件および 28 日圧縮強度試験結果

(I)

配合比	注入モルタルの配合		使用材料	練りまぜ条件
	A	B		
$F/(C+F)$ (%)	30	30	N社普通セメント	II型モルタルミキサ
$S/(C+F)$	1.0	1.0	U社フライアッシュ	練りまぜ量=50 l
$W/(C+F)$ (%)	47	47	豊浦標準砂	練りまぜ速度=276 rpm
Poz. 5/(C+F) (%)	0.5	—	ポゾリス No. 5	練りまぜ時気温=11~16.5°C
AI/(C+F) (%)	0.01	0.01	F 金馬社 AI 粉末 AA 10	試験室温度=19~21°C

(II) 材令 28 日圧縮強度 (kg/cm²)*

配合	練りまぜ時間 (min)						
	5	20	40	60	90	120	150
A	306	308	342	354	367	437	426
B	317	309	274	314	322	333	351

* 鋼製型わくを用い、膨張を抑制して作った $\phi 5 \times 10$ cm 供試体 3 個の平均値

図-10.2 長時間練りまぜが注入モルタルの流下時間と温度におよぼす影響

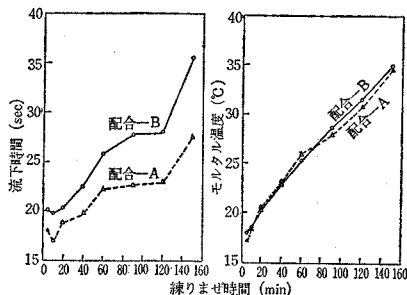
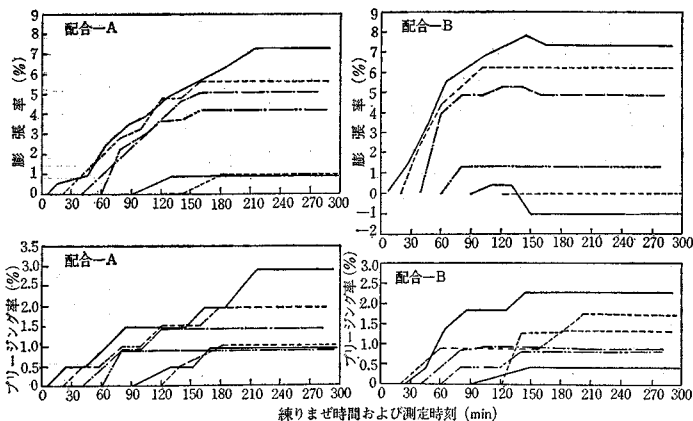


図-10.3 長時間練りまぜが注入モルタルの膨張率とブリージング率におよぼす影響



流動性及膨張率の減少をも抑制する効果のあるこの種の混和剤を用いることは、均質なプレパックドコンクリートを得るために必要で有効な処置と思われる。

11. 注入条件がプレパックドコンクリートの品質におよぼす影響

モルタル注入に際して注入速度が過大であれば粗骨材の浮き上り、モルタルの希釈や浸透不完全、等の欠点が生じて施工の良否に影響する所から、注入速度は経験的に1m/hr(打上り速度)以内がよいとされているが、注入条件がプレパックドコンクリートの品質に影響する機構に関しては十分な説明が行なわれていない。このような観点から、注入速度と圧力がプレパックドコン

表-11.1 注入モルタルの自由界面の測定に用いた粗骨材の諸性質

有効径 (mm)	比重	粒度分布(重量百分率)						空げき率(%)	
		ふるい呼び寸法(mm)						棒突き試験	ジョベル試験
		50~40	40~30	30~20	20~15	15~10	10~15		
6.6	2.61	0	0	0	0	0	100	38.7	40.5
8.6	2.66	0	0	0	0	50	50	38.4	41.7
8.8	2.68	0	0	0	40	0	60	37.7	39.5
9.3	2.66	20	0	0	20	0	60	33.8	37.2
10.0	2.67	40	0	0	0	0	60	32.5	35.2
10.3	2.70	0	0	0	33.3	33.3	33.4	36.5	41.1
11.3	2.70	20	0	0	40	0	40	34.4	37.8
12.0	2.71	0	0	25	25	25	25	35.0	39.8
12.2	2.71	0	0	0	0	100	0	37.7	41.5
12.3	2.70	40	0	0	20	0	40	31.3	37.0
13.1	2.74	0	0	0	80	0	20	36.1	41.2
13.8	2.73	0	20	20	20	20	20	33.9	37.0
14.3	2.73	0	0	0	50	50	0	37.6	41.3
14.4	2.71	20	0	0	60	0	20	34.1	39.5
15.6	2.75	16.7	16.7	16.7	16.7	16.6	16.6	34.3	40.3
16.0	2.71	40	0	0	40	0	20	32.4	37.5
16.1	2.76	0	0	0	95	0	5	37.7	42.3
16.6	2.74	0	0	33.3	33.3	33.4	0	36.5	40.1
17.4	2.75	0	0	0	100	0	0	38.1	42.2
18.0	2.68	60	0	0	20	0	20	30.8	36.0
19.1	2.77	0	25	25	25	25	0	36.2	43.0
20.3	2.78	0	0	50	50	0	0	38.4	41.7
20.6	2.67	80	0	0	0	0	20	32.7	35.9
21.5	2.77	20	20	20	20	20	0	36.1	41.9
22.9	2.74	40	0	0	60	0	0	36.6	40.6
23.5	2.78	0	33.3	33.3	33.4	0	0	38.1	42.1
24.3	2.78	0	0	100	0	0	0	39.2	43.2
26.6	2.78	25	25	25	25	0	0	37.8	42.4
28.0	2.67	90	0	0	0	0	10	34.9	41.0
28.5	2.80	0	50	50	0	0	0	37.9	44.0
32.3	2.73	33.4	33.3	33.3	0	0	0	36.6	42.1
33.6	2.69	80	0	0	20	0	0	36.1	41.6
34.2	2.68	95	0	0	0	0	5	37.8	43.3
34.6	2.81	0	100	0	0	0	0	40.2	45.2
38.5	2.68	90	0	0	10	0	0	38.8	40.6
38.9	2.74	50	50	0	0	0	0	37.6	41.1
41.3	2.70	95	0	0	5	0	0	37.3	42.6
44.6	2.70	100	0	0	0	0	0	40.4	40.7

注：神奈川県酒匂川産砂利、空げき率はφ24×22cmの金属製容器(JIS A 1104)を用いて試験した。

リートの品質におよぼす影響について検討した。

最初の実験はガラス張りの観測窓(55×185cm)をもつ水槽(幅×高さ×奥行=200×80×20cm)に粗骨材をつめて水を満たし、これに水槽底面の中央の一点からモルタルを注入し、モルタルの自由界面(モルタルと水との境界面)の形状と流動状況が注入速度と粗骨材の粒度分布によって変化する状態を観測したものである。用いた粗骨材は入念にふるい分けのち表-11.1のように再び組み合わせた38種で、使用したモルタルの配合は表-11.2に示したものである。

図-11.1~11.4は試験結果の一部で、図-11.1~11.3は定速度(12.8l/min)で注入したときのモルタルの自由界面の時間的成長過程を示したものである。これから、注入速度を一定とすると、自由界面の形状は粗骨

表-11.2 使用した注入モルタル

F/(C+F) (%)	S/(C+F)	W/(C+F) (%)	Poz. 5/(C+F) (%)	Al/(C+F) (%)
50	1.00	46	0.5	0.015

N社普通セメント、Uフライアッシュ、鶴沼海岸砂(FM=1.61)、ポゾリス No. 5、F金属社 Al 粉末 AA 10、流下時間=20.0 sec

図-11.1 注入モルタルの自由界面の時間的成長過程(1)
(粗骨材：有効径=12.2mm, 空げき率=41.5%)

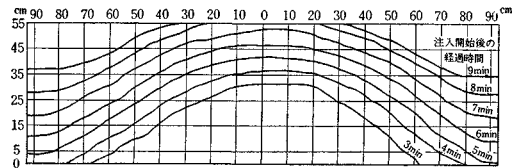


図-11.2 注入モルタルの自由界面の時間的成長過程(2)
(粗骨材：有効径=24.3mm, 空げき率=43.2%)

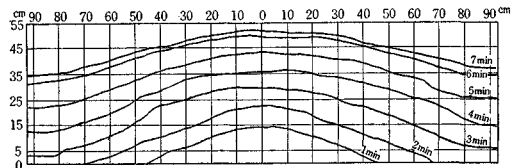


図-11.3 注入モルタルの自由界面の時間的成長過程(3)
(粗骨材：有効径=34.6mm, 空げき率=45.2%)

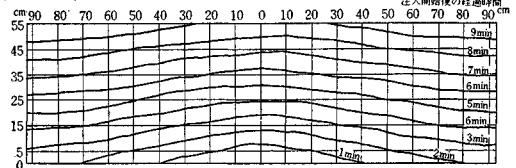
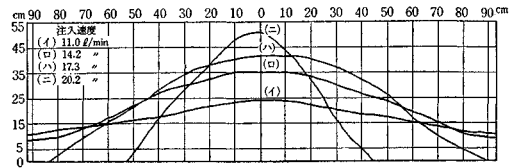


図-11.4 注入速度とモルタル自由界面の形状との関係
(粗骨材：有効径=24.3mm, 空げき率=43.2%)



材の有効径と空げき率によって定まり、所要の注入時間が短い場合にはその経過とともにこの形状が上方に平行移動することがわかる。図-11.4 は粗骨材の有効径と空げき率を一定として注入速度を変えたときの自由界面の形状を示したもので、注入速度の変化に応じて界面勾配の変化する関係が観察される。

実際の施工では注入管をほぼ等間隔に配置し、一注入管よりの注入量をほぼ一定として、注入管を順次切り替えて注入するのが普通である。したがって、ある特定の注入管より注入されたモルタルの自由界面は粗骨材の粒度分布と注入速度に応じて図-11.4 の(イ)ないし(ニ)のような形状となり、注入を中断したのちは、重力の作用で界面勾配の平均化が生ずる。このような界面勾配の平均化について観測した所、注入時の自由界面の形状が図-11.4 の(ニ)のような場合には、(ニ)~(ハ)~(ロ)~(イ)のような形状変化を通して平均化するが、平均化の程度はモルタルの流動性と粗骨材の有効径によってかなり相違し、流下時間が25 sec 程度以上の場合や粗骨材の有効径が15 mm 程度以下ないし寸法が15 mm 以下のものを多量に含む場合には平均化はほとんど進行しないことが認められた。また、界面勾配の平均化が進行するとき、モルタルの流下にもなって乱れが生じ界面付近のモルタルが希釈されることも認められた。

注入条件がモルタルの自由界面下のプレパックド コンクリートの品質におよぼす影響を調査するため、つぎのような実験を行なった。すなわち、モルタルの越流口および通水気孔のある上蓋を設けた鋼製の円柱状型わくに粗骨材をつめ、水を満たしたのち底板の注入口よりモルタルを注入して、注入速度や注入圧力とプレパックド コンクリートの圧縮強度との関係を調査した。この場合、モルタルは十分に越流させて、最初の実験に述べたモルタルの自由界面下に相当する部分の再現を計った。注入速度は1~8 l/min で4段に変えたが、これはφ15×30 cm 供試体の注入所要時間に換算すると2 min~15 sec に相当し、また、圧力は0~2 kg/cm² で4段に変えて試験した。試験結果は表-2.2 に示したとおりである。これによると、モルタルの注入速度や注入圧力はプレパックド コンクリートの圧縮強度に影響しないことが明らかであり、したがって自由界面下のプレパックド コンクリートの品質は注入条件によって影響されないと判断してよいであろう。

上述の二つの実験結果は、モルタルの注入条件がプレパックド コンクリートの品質に影響する範囲は自由界面以上の部分に限定され、その程度は自由界面の形状によって相違することを示している。たとえば、モルタルの流動性が適正で、粗骨材の有効径と空げき率が大きい場合、あるいは注入管を密に配置してモルタルを十分に越流させる場合、等には注入速度が多少過大であっても

これがプレパックド コンクリートの品質におよぼす影響はかなり少ないものと思われる。

一般の場合には、注入速度の適否は自由界面がほぼ水平な形を保って上昇する範囲内で最大となる条件によって決まるが、自由界面の形状はモルタルの流動性、粗骨材の有効径、注入面積、注入後の経過時間、等によっても変化し、これを定量的に表示するのは困難である。たとえば、図-11.1 の例では、注入速度=12.8 l/min=0.768 m³/hr はすでに過大であり、一方では注入速度が10 m³/hr 程度で満足すべき結果の得られた施工例もある¹⁾。本実験結果によれば、たとえば、注入管1本当りの注入面積が4 m² 程度、モルタルの流下時間が20 sec 程度、粗骨材の有効径が24 mm 付近で空げき率が43% 程度(20~30 mm の粗骨材をショベルで投入した場合の填充状態に相当する)の場合には、注入速度は17 l/min≒1 m³/hr 以下が適当と思われる。したがって、欠点の少ないプレパックド コンクリートを能率的に確保するには、モルタルの流動性を適正な範囲に保つこと、および、施工に支障のない範囲で、最大寸法と最小寸法のできるだけ大きい粗骨材を用いること、が非常に重要である。

12. 粗骨材の管理限界の一例

前章で論じたように、注入条件が一定の場合でもモルタルの自由界面の形状は粗骨材の有効径と空げき率によってかなり変化し、これがプレパックド コンクリートの品質に影響する場合も少なくない。もちろん、粗骨材の有効径や空げき率が実用的な範囲にあって、モルタルが空げきを完全に満たす場合にはこれがプレパックド コンクリートの強度に直接的な影響をおよぼすことは考えられず、このことは表-12.1 の試験結果によっても実証できる。したがって、粗骨材の管理はこれをモルタル

表-12.1 空げき率の異なる粗骨材を用いたプレパックド コンクリートの圧縮強度

空げき率 (%) (粒径範囲 mm)	圧縮強度 (kg/cm ²) (φ15×30 cm)							
	3 日	7 日	14 日	28 日				
38.2 (15~60)	36 34 36	35	63 53 65	60	93 103 83	93	119 112 121	117
40.0 (25~40)	24 27 27	26	62 66 65	64	95 87 71	84	120 114 123	119
42.2 (25~60)	27 41 32	33	64 59 79	85	92 81 83	85	130 121 126	126
44.1 (40~60)	29 30 31	30	65 53 77	65	100 104 71	92	126 143 147	139
注入モルタル (4×4×16 cm) (供試体)	82 82 78	81	93 85 110	96	144 140 151	145	220 244 248	237

材料：秩父高炉セメント、信濃川砂、阿賀野川砂利、ポゾリス No. 8、
試験1級 Al 粉末
配合：S/C=1.57, W/C=68%, Poz. 8/C=0.25, Al/C=0.01%, 流下
時間=16.0 sec

ルの充填性との関係から検討する必要がある。

木庭・有吉両氏の研究⁸⁾によれば、粗骨材空げき中を流動するモルタルの浸透係数 k は粗骨材の有効径 $d^{31)}$ (8.3 参照) と間げき比 e とに比例し、つぎの関係が成立するとされている。ここで、間げき比 e と空げき率 v との間には $v=e/(1+e)$ (%)

$$k=9.4 \times 10^{-6} \cdot d^{1.6} \cdot e^{3.2}$$

の関係があり、実用的な範囲では両者はほぼ直線的に比例するから、浸透係数は有効径と空げき率に比例するといえる。上式は特定の流動性をもつモルタルについて得られたものであるが、一般の場合にもほぼ同等の関係が成立することは明らかで、粗骨材の平均粒径と空げき率の増大に応じてモルタルの充填性も増加することを意味し、前章で述べた実験結果と一致する。

表—12.2 は新潟港西突堤かさ上げ工事の際の粗骨材

表—12.2 新潟港西突堤かさ上げ工事における粗骨材の粒度と空げき率の変動

(I) 1958 年度注1)

試験番号	粗粒率	15 mm 以下の通過 (%)	空げき率 (%)
1	8.28	0.8	36.7
2	8.30	3.2	36.4
3	8.21	1.1	37.8
4	8.29	4.0	36.1
5	8.28	3.1	39.1
6	8.34	5.4	38.8
7	8.11	6.3	38.6
8	8.11	4.5	37.4
9	8.08	6.5	38.3
10	8.47	1.0	38.2
11	8.16	6.2	37.6
12	8.50	2.8	36.6
13	8.29	2.0	37.0
14	8.89	0.3	37.4
15	8.29	3.0	37.8
16	8.43	3.4	38.6
17	8.56	1.7	39.6
18	8.57	2.9	37.7
19	8.83	4.5	37.4
20	8.58	0.4	37.2
21	8.95	3.0	37.7
22	8.67	0.7	38.9
23	8.80	1.0	40.0
24	8.61	0.7	40.5
25	8.90	1.3	42.0
26	8.49	0.5	37.8
27	8.36	1.0	41.4
28	8.36	2.5	41.6
29	8.40	3.8	42.0
30	8.52	3.0	37.2
31	8.53	2.5	37.5
平均	8.46	2.7	38.4
標準偏差	0.237	1.82	1.62
変動係数(%)	2.80	67.4	4.22

注1) 阿賀野川産砂利、粗骨材投入箇所より2回/日の頻度で1回に2試料採取、試験値は2個の平均値、空げき率は10 l の鋼製容器を用い、ジョベル方法で充填した場合の値、最大寸法=60 mm

の粒度分布と空げき率の変動状態の調査結果である。

(I) 表は1958年度工事の際に型わくに投入後の粗骨材より採取した試料についての試験結果で、(II) 表は1961年度工事の際にコンクリート施工量とモルタル注入実績から施工区間(平均12 m)ごとの空げき率を推定した結果である。

8.3 に述べたことで定義される粗骨材の有効径は平均粒径を表示する量としては適当であるとしても、現場における粗骨材の管理のための統計量としては必ずしも適当ではない。また、粒度表示の一指数として一般に用いられている粗粒率は、表—12.2 の(I) 表の例からも明らかのように、その変動は施工の良否にかかわらずきわめて少ないのが普通であって、管理のための統計量としては必要な鋭感性を欠くと判断してよい。一方、従来の施

(II) 1961 年度 (388 m 区間)注2)

区間番号	コンクリート量 (A) (m ³)	モルタル注入量 (B) (m ³)	空げき率 B÷A (%)
1	132.6	55.68	42.0
2	132.6	51.84	39.1
3	132.5	54.72	41.3
4	132.5	55.36	41.8
5	132.5	53.44	40.3
6	159.0	63.68	40.1
7	159.0	64.00	40.3
8	159.0	67.20	42.3
9	155.2	62.08	40.1
10	159.0	61.12	38.4
11	159.0	64.64	40.7
12	159.0	63.04	39.6
13	159.0	64.00	40.3
14	157.8	64.96	41.2
15	159.0	63.36	39.8
16	159.0	63.36	39.8
17	160.4	64.64	40.3
18	159.0	63.68	40.1
19	159.0	64.00	41.5
20	159.0	65.92	41.5
21	157.8	63.04	39.9
22	160.4	62.40	38.9
23	157.8	63.04	39.9
24	157.8	62.40	39.6
25	159.0	63.04	40.9
26	160.4	65.60	40.9
27	160.4	65.60	39.3
28	156.4	61.44	39.4
29	157.8	63.68	40.4
30	159.0	63.68	40.1
31	160.4	64.32	40.1
32	162.4	65.28	40.2
33	190.3	76.80	40.4
平均			40.3
標準偏差			0.89
変動係数(%)			2.21

注2) 阿賀野川産砂利(比重=2.61, 吸水量=0.84%), コンクリート量=型わく寸法より算出、モルタル注入量=材料使用量より算出 (I), (II) の標準偏差は次式による。

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

工例では粗骨材の最小寸法を 15 mm 程度とし、この寸法以下の細粒を除去することが一般に行なわれているが、このような粒度構成が有効径や空げき率と密接な関係にあることは、有効径の定義や表-11.1 の試験結果より明らかである。そこで、15 mm ふるいを通過する粗骨材の重量百分率を統計量とした場合について検討する。

表-12.2 (I) の例では 15 mm ふるいを通過するものの重量百分率の変動はかなり大きく、変動係数は 67.4 % に達している。この施工例ではふるい分け効果は必ずしも十分ではなく、試験番号 6~11 に相当する時点で注入不完全の箇所が生じ、以降はふるい分けを入念に行ない満足すべき結果が得られた。この施工経験によれば、現場の粗骨材のふるい分け作業では細粒の混入は避けがたく、また細粒が特定の箇所に集中しない限りその混入をある程度許容しても差し支えないと思われる。このような細粒の管理に 2σ の管理限界を用いるものとして、上例で良好な結果の得られた区間に相当する試験番号 12~31 の 20 試料よりこれを求めると、 $\text{平均値} = 2.1\%$ 、 $\text{標準偏差} = 1.25\%$ (不偏分散の平方根)、 $2\sigma \text{ C.L.} = 2.1 + 2 \times 1.25 = 4.6\%$ となる。さらに特定の箇所に細粒が集中するのを防ぐために、たとえば 5 個の移動平均について 2σ 限界を定めて管理するものとするれば、これは $2\sigma \text{ C.L.} = 2.1 + 2 \times 1.25 / \sqrt{5} = 3.2\%$ である。また、実際の変動と上述の管理限界を考慮すると、細粒の上限規格値 (許容範囲) としては 5% 程度が適当であろう。

以上で求めた値は最大寸法 60 mm の特定の粗骨材について、最小寸法を 15 mm としたときの管理限界であるが、一般の場合にもこれに相当する管理限界を設けて最小寸法以下の細粒を規制することが必要である。しかし、最小寸法を 15 mm と限定する必要はなく、むしろ実用的な範囲でこれができるだけ大きな値とすることはモルタルの填充性を増加するのにきわめて効果的である。

表-11.1 の試験結果によれば、粗骨材の空げき率は粒度分布と填充方法によってかなり相違する。すなわち、前者については、単独粒径ないしこれに近い粒度分布のものの空げき率は粒径の大小によらず一般に大きい。これに反して、大小粒径のものが適度に混合した粒度分布のものの空げき率はかなり小さく、その最大と最小の差は空げき率の絶対値で 7~8% に達する。しかし、最小寸法を、たとえば 15 mm とする場合には、両者の差は著しく減少して 3~4% 程度である。填充方法による空げき率の差は粒度分布によっても多少異なるが、最小寸法が 15 mm の場合には、棒突き試験とショベル試験による差は 3~5% である。表-12.3 に示したように、空げき率は突き固めの程度の増加に応じて減少するが、標準の棒突き試験による空げき率はほぼ最小の限界に相当す

表-12.3 棒突き試験による突き回数と粗骨材空げき率の関係

粒 径 範 囲 (mm)	突き棒による各層の突き回数			
	0	10	20	25
15~25	40.3	37.2	36.8	36.9
15~40	38.9	36.5	35.6	35.5
15~60	41.2	35.9	36.1	36.0

注：阿賀野川産砂利を試料とし、容量 10 l の金属製円筒容器を用い、JIS A 1104 の棒突き試験に準じて測定。突き数 0 はショベル試験に相当する。

るものと考えてよい。空げき率に影響する要素としてはさらに粒形が考えられ、たとえば、F.A. Sheargold 氏³²⁾ は空げき率は骨材の angularity によって変化し、川砂利と碎石とでは 6~7% 程度相違すると報告しているが、この種の要因に起因する空げき率の変化は一定の産地ないし産出状態の粗骨材を使用することで無視し得る程度まで減少するものと思われる。表-12.2 の調査結果について 5% の危険率で空げき率の変動範囲を推定すると、1958 年度工事では 35.2~41.6%、1961 年度工事では 38.5~42.1% である。これと前述の検討結果を合わせて考えると、正常な状態における空げき率変動の限界は (平均値 $\pm 3\%$) 以内と推定される。

上例の 1958 年度工事の調査結果のように、粗骨材の標本試料を用いた空げき率の試験値は実際に型わく内に投入された粗骨材の空げき率とは異なり、試験値の変動をモルタルの填充性と直接関連づけることはむずかしい。一方、モルタルの注入実績から推定した空げき率の変動状態から、モルタルの注入不完全、漏出、水中の材料分離、等の填充状態の異常性を検出することは可能であるが、これだけによる場合には異常性の判定は不正確となる。モルタルの注入実績から推定した空げき率は標本試験を用いた試験値より 1~3% 程度大きい値を示すが、その変動の幅は両者ほぼ同等である。したがって、標本試料を用いた試験値と注入実績からの推定値との両者を用いて粗骨材の空げき率を管理することは、モルタルの填充状態の管理に有効な手段を提供するものと思われる。

13. プレパッドコンクリートの品質管理のための注入モルタルの事前管理

13.1 注入モルタルの事前管理のための特性値の選択

5.~7. で施工が入念な場合のプレパッドコンクリートの品質は注入モルタルの品質によってほぼ一義的に決まることを明らかにした。しかし、使用材料の品質や施工の作業工程を標準化し、これを適当な管理限界内に収める場合でも注入モルタルの品質変動は避け難く、これがプレパッドコンクリートの品質変動に帰結することは自明である。したがって、注入モルタルの品質管理はすなわち、プレパッドコンクリートの品質管

理であり、これをモルタルの注入以前の段階で行なうならば、プレパックドコンクリートの品質変動に対して最も的確で有効な事前管理となる。

使用材料の品質や施工の作業工程の標準化を前提とすると、注入モルタルの品質変動の最大の要因は計量誤差と細骨材の表面水による配合比の変化である。したがって、注入モルタルの事前管理のための特性値は配合比の変化に対して適当な識別性を有し、容易にかつ短時間に測定可能で、さらに再現性に富む統計量でなければならない。まだ固まらない注入モルタルの品質を表示する量としては、流動性、ブリージング率、保水性、膨張率、等があげられるが、上述の条件を満たすものとしては流動性が最適と判断される。注入モルタルの流動性は、7.~10. で明らかにしたように、標準とする流下時間の範囲を適当に選定する場合には、単に配合比の変化に対してだけでなく、使用材料の品質変動や練りませ条件等に対しても相当の識別性があり、その他の所要の条件を満足するからである。

13.2 モルタルの事前管理の効果(1)

注入モルタルの流下時間を特性値とする事前管理の効果はプレパックドコンクリートの圧縮強度の変動の増

表一13.1 北海道根法華港東防波堤補修工事におけるプレパックドコンクリートの品質の変動

試験番号	注入モルタル流下時間(sec)	プレパックドコンクリート	
		7日圧縮強度(kg/cm ²)	28日圧縮強度(kg/cm ²)
1	17	113	172
2	17	103	157
3	14	77	107
4	17	93	141
5	19	152	231
6	16	95	145
7	16	92	140
8	16	74	112
9	13	73	111
10	18	108	164
11	16	66	147
12	17	116	175
13	16	86	131
14	16	74	112
15	18	89	135
16	16	71	107
17	16	75	114
18	17	69	105
19	16	69	105
20	17	78	118
21	17	71	107
22	22	157	239
23	16	76	115
24	18	77	116
25	17	72	109
平均値	16.7	89	137
標準偏差	1.63	24.4	37.9
変動係数(%)	9.8	27.2	27.7

注：示方配合 C:F:S=1:0.25:1.25, W/(C+F)=43%, RGA/(C+F)=0.81%, 目標流下時間=17sec
圧縮強度 φ15×30cm 供試体3個の平均値

減を検討することで評価できる。このような観点から、既往の施工例として北海道根法華港東防波堤補修工事¹⁾と新潟港西突堤かさ上げ工事¹⁾とを取り上げ、プレパックドコンクリートの圧縮強度の変動係数の変化を検討した。それぞれの試験結果は表一13.1, 13.2 に示したとおりである。

表一13.1 は 8.~12. に述べた各種の要因についての管理が必ずしも十分ではなかった一例で、圧縮強度の変動係数は σ_7 で 27.4%, σ_{28} で 27.7% であった。この工事では流下時間の管理限界が与えられていないので、試験結果から標準偏差を推定し、これから $3\sigma, 2\sigma$ 限界を計算すると、

$$3\sigma C.L.=16.7\pm 3\times 1.63=21.6\sim 11.8\text{ sec}$$

$$2\sigma C.L.=16.7\pm 2\times 1.63=20.0\sim 13.4\text{ sec}$$

となって、これらの値を管理限界とする限りではその効果をあげ得ないことは上述の試験結果および配合比と流

表一13.2 新潟港西突堤かさ上げ工事におけるプレパックドコンクリートの品質変動

試験番号	流下時間(sec)	28日圧縮強度(kg/cm ²) (φ15×30cm)			
		α_1	α_2	α_3	\bar{x}
1	17	180	121	149	150
2	16	129	124	125	126
3	17	106	109	122	112
4	17	142	151	160	151
5	17	107	92	106	102
6	16	97	102	125	108
7	15	87	121	116	108
8	14	86	92	102	93
9	16	135	124	138	132
10	14	134	120	118	124
11	18	123	90	120	111
12	19	125	124	106	118
13	17	130	91	129	117
14	16	120	98	117	112
15	20	109	127	129	122
16	16	125	127	134	129
17	17	144	149	95	129
18	15	113	126	143	127
19	13	120	104	113	112
20	15	126	124	118	123
21	20	104	100	111	105
22	14	78	107	78	88
23	15	83	106	92	94
24	14	119	86	96	100
25	15	94	85	98	92
26	16	130	111	94	112
27	15	115	121	111	116
28	17	107	130	112	116
29	17	80	106	109	98
30	17	143	104	133	127
31	18	99	103	103	102
平均値	16.2				115
標準偏差	1.93				15.4
変動係数(%)	11.9				13.4

注：示方配合 C:F:S=1:0.1:1.63, W/(C+F)=63%, Poz. 8/(C+F)=0.25%, AI/(C+F)=0.01%, 目標流下時間=17±3sec

下時間との関係から明らかである。そこで、管理限界として $|x-m| \leq \sigma$ (x =試験値, m =平均値, σ =標準偏差), すなわち, $16.7 \pm 1.63 = 18.3 \sim 15.1 \text{ sec}$ と定め、この限界を越えたときはただちに計量水量の減少(水結合材比の減少)ないし、計量砂量の減少(水結合材比は一定、単位水量の増加)等の処置をとって調節したものとすると、試験番号 3, 5, 9, 22 のような結果は除去されると考えてよい。これを管理後の状態として、流下時間、7日圧縮強度および28日圧縮強度の変動係数を求めると、それぞれ 4.4%, 18.5%, 17.6% となって、管理以前の状態と比較して品質の変動は著しく減少し、かなり安定した状態となる。

新潟港西突堤かさ上げ工事ではセメントとフライアッシュの品質、細骨材と粗骨材の粒度、等について管理試験を実施したほか、注入モルタルの流下時間とプレパックド コンクリートの圧縮強度を特性値として管理した結果、表-13.2 に示したように、変動係数は 13.4% とかなり小さい値を示している。この例では流下時間の管理限界を $17 \pm 3 = 20 \sim 14 \text{ sec}$ として管理したもので、試験結果はいずれも限界内にある。この結果から流下時間の 2σ と 3σ 管理限界を求めると、それぞれ 20.1~12.3 sec と 22.0~10.4 sec となって、前例と同じくこれらの値が流下時間の管理には不適当なことがわかる。また流下時間の管理限界をさらに狭めて、これを $|x-m| \leq \sigma$, $16.2 \pm 1.9 = 18.1 \sim 14.3 \text{ sec}$, として管理したものと仮定

すると、試験番号 8, 10, 12, 15, 19, 21, 22, 24 に相当する結果は除かれるであろう。これについて、流下時間と圧縮強度の変動係数を求めると、それぞれ、6.0% と 13.3% となって流下時間の変動係数は減少するが、圧縮強度のそれはほとんど変化せず、管理限界を厳しくしたことの効果はほとんど認められない。

13.3 注入モルタルの事前管理の効果(2)

前節の検討結果から、注入モルタルの事前管理によって相当の管理効果をあげ得るが、これは流下時間の管理限界の設定の仕方によっても相当に変化することが認められた。この点をさらに確かめるために、岩手県大船渡港津波防波堤のプレパックド コンクリート工事に際して、注入モルタルの流下時間、ブリージング率、保水性、膨張率、28日圧縮強度およびプレパックド コンクリートの7日、28日、91日圧縮強度を調査した。プレパックド コンクリートは直径 8m、高さ 7.5m の鋼板セルを組み合わせた型わくを水面下 22.30m の点に設置し、これにモルタル注入したもので、注入は鋼板セル一基ごとに行ない、その所要時間は15時間程度である。

注入モルタルの試料採取は 30分ごと(平均 10 バッチに 1回の割合)に行ない、鋼板セル 1基について 12~13 試料、合計 100 試料を採取し、上述の試験を行なった。プレパックド コンクリートの試料はモルタルの試験番号 1~100 のうち、無作為に抽出した 17 の試験番号に相当する場合だけ採取して材令 7日、28日、91

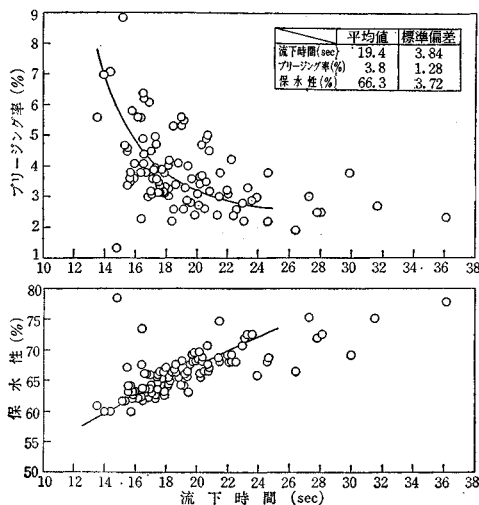
表-13.3 大船渡港津波防波堤工事におけるプレパックド コンクリートの品質の変動

試験番号	流下時間 (sec)	注入モルタルの 28 日圧縮強度 (kg/cm ²) (φ5×10 cm)					プレパックド コンクリート圧縮強度 (kg/cm ²) (φ15×30 cm)								
		自由膨張供試体平均					材令 7 日			材令 28 日			材令 91 日		
		x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	\bar{x}	x ₁	x ₂	\bar{x}	x ₁	x ₂	\bar{x}	x ₁	x ₂	\bar{x}
2	36.0	161	237	261	192	230	—	—	—	205	228	217	292	301	297
4	21.4	161	138	195	156	163	117	109	113	143	150	147	239	202	221
7	19.8	188	181	155	207	181	98	89	94	152	140	146	216	208	212
9	29.8	164	205	183	175	188	100	82	91	166	172	169	254	228	241
23	19.3	154	162	155	138	152	88	92	90	147	177	162	204	211	208
24	20.8	124	149	170	162	160	113	94	104	164	174	169	233	223	228
26	16.9	129	—	186	160	173	96	98	97	175	183	179	234	233	234
29	20.0	147	204	159	188	184	100	107	104	161	157	159	215	227	221
32	20.3	159	208	103	125	145	65	98	82	136	120	128	198	181	190
36	24.6	127	198	165	207	190	135	113	124	167	192	180	210	210	210
42	21.3	150	186	134	167	162	92	89	91	162	169	166	184	211	198
56	20.3	170	164	169	190	174	112	101	107	150	175	163	200	221	211
64	18.6	167	151	138	137	142	114	119	117	177	188	183	198	234	216
73	17.2	189	167	156	154	159	98	96	97	165	179	172	236	240	238
78	16.2	130	164	166	146	159	90	100	95	167	177	172	202	188	195
86	18.2	202	186	188	148	174	138	114	126	195	173	184	224	242	233
95	20.5	179	167	198	186	184	144	116	130	177	150	164	230	222	226
平均値	21.2	159	172				104			168			222		
標準偏差	4.93	23.0	20.9				14.3			19.2			24.3		
変動係数(%)	23.3	14.5	12.2				13.8			11.4			10.9		

注：注入モルタルに関する試験番号 1~100 のうち、無作為に抽出した上表の番号についてコンクリートの試験を行なった。
 自由膨張供試体：ポリエチレン袋につめてブリージング率および膨張率を測定したモルタル試料 (φ5×20 cm) を水中養生し、材令 28 日で上下端各 5 cm を切断して、φ5×10 cm の供試体として、圧縮強度を試験したもの。3 個の平均値
 膨張拘束供試体：φ5×10 cm の鋼製型わくにモルタルをつめ、上面に押板と重錘をのせて膨張を拘束して製作した供試体
 示 方 配 合：C:F:S=1:0.40:1.36, W/(C+F)=48%, Aid/(C+F)=0.86%, Aid=Intrusion Aid

図-13.1 大船渡港津波防波堤工事における
注入モルタルの品質変動(1)

流下時間と保水性：試料1個についての値
ブリージング率：ポリエチレン袋を用いて測定した
試料3個の平均値



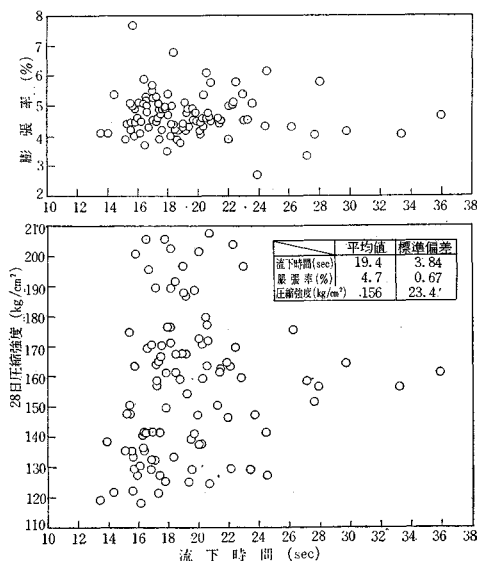
日にその圧縮強度を試験した。試験結果は表-13.3と図-13.1, 13.2に示したとおりである。この工事ではモルタルの練りまぜや注入はすべて海上作業のため、セメント、フライアッシュ、混和剤は袋単位の重量計量により細骨材と水は容積計量によったが、細骨材の表面水は5~6%程度あるものとして現場配合を定め、その変動に対する補正は行なっていない。注入モルタルの管理としては、その流下時間が極端に変化したときに水量を加減してこれを調整した程度であって、管理状態は必ずしも良好とはいえない。

表-13.3の試験結果に基づいて各特性値の変動係数を比較すると、モルタルの流下時間が最も大きく、モルタルの自由膨張供試体の28日強度、膨張拘束供試体の28日強度がこれにつき、プレパックドコンクリートの強度の変動係数が最も小さい。また、注入モルタルとプレパックドコンクリートの圧縮強度を比較すると、両者の比はほぼ一定となって、6で確かめた関係とほとんど一致する。この場合、自由膨張供試体の強度比のばらつきは膨張拘束供試体のその2倍に近く、前者の圧縮強度だけからプレパックドコンクリートの圧縮強度を推定することは相当の誤差をとまらう。しかし、これを品質管理のための特性値の一つとして用いる限りでは、強度が一般に小さく、かつその変動係数が大きい点で管理目標としては安全側にあり、これを用いてプレパックドコンクリートの品質変動の程度を推定することは正当化されるものと思われる。

先に述べたように、本工事では注入モルタルの実質的な事前管理は行なわれていないに等しいが、流下時間の管理限界として 20 ± 3 sec (16.5~24.4 sec) を与えて管

図-13.2 大船渡港津波防波堤工事における
注入モルタルの品質変動(2)

膨張率：ポリエチレン袋を用いて測定した試料
3個の平均値
圧縮強度：表-13.4 注参照



理したものとすると、管理後のモルタルの品質は表-13.4に示した程度になるものと期待される。これを図-13.1, 13.2に示した管理以前の状態と比較すると、表-13.5に示したように事前管理によって注入モルタルの品質の変動状態がかなり改善されることは明らかで、これにともなってプレパックドコンクリートの品質の均一性も増加するものと考えてよい。これは、図-13.1, 13.2の流下時間と他の諸特性値との関係から観察されるように、流下時間が管理限界内にあるときは他の特性値の分散の程度はほぼ一様であるが、限界外では一方に偏する傾向があり、事前管理はこの偏向した値を除去する機能を有するためと思われる。一方、特性値の分散の程度が一様となる範囲内では管理限界を厳しくすることが管理効果の向上をもたらさらいことも明らかで、前節で述べた新潟港の施工例で管理限界を狭めたことの効果が認められないのはこのような理由に基づくものと推定される。

13.4 注入モルタルの事前管理の限界

13.2, 13.3で管理状態の異なる三施工例について検討した結果、流下時間を特性値とする注入モルタルの事前管理はプレパックドコンクリートの品質変動に対して相当の管理効果をもつことが確認された。これは同時に、流下時間が注入モルタルの品質変動に関してすぐれた識別性をもつとともに、管理試験のための特性値としても適当なことを実証するものといえる。したがって、これを用いた注入モルタルの事前管理は前述の三施工例に限らず一般のプレパックドコンクリート工事に適用

表-13.4 流下時間を特性値として管理した場合の注入モルタルの品質の変動 (大船渡港津波防波堤工事)

試験番号	流下時間 (sec)	保水性 (%)	ブリージング率 (%)	膨張率 (%)	28日強度 (kg/cm ²)	試験番号	流下時間 (sec)	保水性 (%)	ブリージング率 (%)	膨張率 (%)	28日強度 (kg/cm ²)
1	23	71.7	2.2	4.5	196	60	18	65.2	3.4	4.2	170
4	21	74.5	3.0	4.8	161	61	13	65.8	3.5	4.9	141
6	20	68.5	3.6	4.2	138	63	17	65.2	3.8	4.3	175
7	20	69.0	2.4	4.1	188	64	19	67.4	3.4	3.9	167
8	22	67.9	2.4	5.3	203	65	20	67.9	3.5	4.8	141
13	23	72.3	3.3	4.6	129	66	18	66.8	3.3	4.7	176
16	18	62.5	3.1	4.9	149	67	18	65.2	3.9	5.0	205
17	23	70.1	2.8	5.4	159	69	19	66.3	2.6	4.2	191
18	20	69.6	3.6	4.5	172	73	17	64.7	3.6	4.5	189
19	21	70.1	4.9	6.1	176	74	19	64.1	2.6	5.1	186
22	18	63.0	3.8	5.4	125	75	21	66.3	2.2	4.5	207
23	19	65.2	2.9	4.9	154	76	17	62.5	5.0	4.6	158
24	21	65.8	3.2	5.8	124	79	17	63.6	6.4	3.7	141
26	17	62.0	3.0	5.7	129	81	18	65.2	4.0	4.4	171
28	17	63.2	4.4	5.3	169	83	17	63.0	3.6	5.1	164
29	20	67.9	3.1	4.5	147	84	17	62.5	3.9	5.3	157
30	21	67.4	3.5	4.8	163	85	19	66.3	4.0	4.3	125
31	22	67.9	3.8	4.5	162	86	18	64.7	4.2	5.0	202
32	20	68.5	4.7	5.4	159	87	19	65.2	4.1	3.8	159
33	17	65.2	6.2	4.8	141	89	18	64.7	3.3	4.4	189
34	21	67.4	5.0	4.6	171	90	23	67.9	2.6	5.8	169
35	22	69.0	4.2	5.0	163	91	18	63.6	3.0	4.0	176
37	19	63.0	5.5	4.8	186	92	17	63.0	4.5	4.8	141
38	17	64.7	6.1	5.3	170	93	17	63.0	4.1	5.0	205
41	17	64.1	3.1	4.5	132	94	19	64.1	5.6	4.4	167
42	21	68.5	2.4	4.6	150	95	21	66.3	2.6	4.6	179
43	22	69.0	3.2	3.9	164	96	17	61.4	4.9	5.2	135
44	20	69.0	3.6	4.9	139	97	20	65.8	2.7	4.2	201
45	22	68.0	3.1	5.0	146	98	19	65.8	3.3	4.9	167
47	17	65.7	3.1	5.5	132	99	17	63.0	4.7	4.7	165
48	18	64.7	3.1	4.9	127	平均値	19	66.2	3.7	4.7	162
49	18	66.3	3.1	4.8	166	標準偏差	1.8	2.52	0.99	0.52	23.3
51	17	65.2	3.9	3.9	121	変動係数(%)	9.5	3.8	26.7	11.1	14.4
52	18	66.3	2.2	6.8	133	注：ブリージング率および膨張率は直径5cmのポリエチレン袋を用いて測定した、練りませ後3時間の値、3個の試料の平均値、28日強度はこのモルタル試料(φ5×20cm)を水中養生し、材令28日に上下端各5cmを切断してφ5×10cmの供試体とし圧縮強度を試験した3個の平均値。					
53	20	67.4	2.8	4.6	129						
54	18	66.3	3.1	3.5	161						
56	20	67.9	3.7	4.3	170						
57	20	65.2	3.4	4.6	137						
58	19	66.8	5.3	4.2	161						
59	19	67.9	5.3	4.3	196						

表-13.5 事前管理の前後における注入モルタルの品質の変動係数の変化

項目	管理以前	管理以後
流下時間	19.8%	9.5%
保水性	5.6	3.8
ブリージング率 (3HR)	33.7	26.7
膨張率 (3HR)	14.2	11.1
28日圧縮強度 (自由膨張)	15.0	14.4

する場合も相当の管理効果をもつものと思われる。

しかし、流下時間が注入モルタルの品質変動に関して識別性をもつ範囲には限界がある。たとえば、図-13.1、13.2において、流下時間が16sec以下では流下時間の減少は強度と保水性の減少およびブリージング率の増加をとめない、これが主として $W/(C+F)$ の増加によることを示している。また、流下時間が23sec程度以上ではこれらの値はほぼ一定となり、流下時間の増加は必

ずしも $W/(C+F)$ の減少によるものではなく、むしろ $S/(C+F)$ の増加によることを示唆している。このように、流下時間がある限界を越えるときはその変動要因に関してはかなりの確かな識別性が認められ、相応の処置をとることができる。しかし、流下時間がこの管理限界内にあるときは品質の変動要因を流下時間のみから識別することは不可能で、したがって、品質変動をさらに減少するための処置を決定することは困難である。換言すれば、流下時間を特性値とする注入モルタルの事前管理は、この点で管理効果の限界が認められる。この限界は、使用材料や作業工程等についても適切な管理を行なっている場合には、プレバッドコンクリートの変動係数で13~15%程度に相当するものと思われる。

以上ではモルタルの試料採取の群分けの仕方と群の大きさが適切であることを前提として論じたが、管理効果

はこれによっても著しい影響をうける。一般には、バッチ、時間的区切り、作業区間、構造部材の単位、等で群分けするのが普通である。前述の新潟港西突堤かさ上げ工事ではバッチごとに行ない、総バッチ数1638に対して流下時間の試験回数は1520で、試験率は92.8%であった。また大船渡港津波防波堤工事では時間的区切りで行ない、試験頻度は1回/30minであって、これは平均して1回/10バッチに相当する。13.1で述べたように、注入モルタルの品質変動の主要因は計量誤差と砂の表面水による配合比の変化にある点を考慮すると、バッチ間ないし時間的変動が最も大きいことは、たとえば表13.4の試験結果からも明らかである。既往の施工例では、モルタルの練りまぜはミキサとアジテーターを併設したものもしくは複槽式ミキサとしたものが大部分で¹⁾、注入は連続注入を原則としており、複数バッチ分のモルタルが連続的に混合するのが普通である。このような場合の群分けは時間的区切りによるのが实际的であり、その大きさは練りまぜ時間の長短にもよるが、練りまぜ時間が3~5min程度の場合には30min程度とするのが適当と思われる。

流下時間の管理限界の設定の仕方も管理効果に著しい影響をおよぼすことはすでに指摘したが、これは注入モルタルの配合設計において標準とする流下時間とも関係があり必ずしも一定していない。たとえば、新潟港西突堤かさ上げ工事では 17 ± 3 sec、大船渡港津波防波堤工事では 20 ± 3 secが適当と思われたが、従来の施工例では $18 \pm 2 \sim 20 \pm 2$ secを標準の流下時間とした例が大部分である。事前管理では(標準 ± 3)secが限度であることは先に述べた通りであり、したがって、一般の工事では 19 ± 3 sec程度が最も適当な管理限界と思われる。

14. 結 論

プレパックドコンクリートは材料の適用方法と施工の作業工程のいずれにおいても普通コンクリートと著しく異なるため、普通コンクリートの管理方法をプレパックドコンクリートの管理に適用するには多くの問題があった。すなわち、プレパックドコンクリートに適した管理方法を見出すためには、試験方法を標準化するとともに構造物母材強度と供試体強度の関係を解明して、品質の評価と管理基準を明確にすることが前提条件であり、使用材料の品質や配合比の変化等の要因とプレパックドコンクリートの品質との関係を明らかにし、さらに、施工現場におけるこれらの要因の変動状態を把握して、管理要因の選択、材料の品質と作業工程の標準化ならびに管理限界の設定、等を計る必要があると思われた。本研究は上述の諸点を明らかにするために行なったもので、実験の結果と施工例の調査結果からつぎのことがいえると思われる。

(1) プレパックドコンクリートの強度試験方法を定める場合に特に考慮しなければならない点は供試体の製作方法が強度におよぼす影響に限定することができるが、施工現場等で用いられている方法はかなり多様でこれを標準方法に統一する必要がある。これらの方法は基本的にはつぎの5種の方法に分類することができる。すなわち、(A):特殊な型わくに粗骨材をつめ、水を満たした後、モルタルをポンプ注入する方法、(B):鋼製の型わくの中央に内径12mm程度の注入管を建て、その周囲に粗骨材をつめ水を満たし、通水気孔を設けた上蓋を取りつけ、適当な金具でこれを型わく側板と緊結したのち、注入管の先端からモルタルを自重により流下注入し、上蓋の通水気孔より注入以前と同程度のモルタルが越流するのを確かめ、注入管を徐々に引き上げ注入を終える方法、(C):基本的には(B)と同じであるが上蓋を用いず、注入管を引き抜いた後に押板でおおい、これに適当なおもりを載せてモルタルの膨張を抑制する方法、(D):型わくに表面乾燥飽水状態の粗骨材を1~3層に分けてつめ、各層ごとにモルタルを上方より流し込み、(C)と同様におもりを用いてモルタルの膨張を拘束する方法、(E):型わくに粗骨材の空げき容積相当のモルタルを満たした後、これに表面乾燥飽水状態の粗骨材を突き棒で押し込み、(C)と同様におもりを用いてモルタルの膨張を拘束する方法、等である。

これらの製作方法は同一の材料および配合に対してはほぼ同等の強度を与えるが、(A)は供試体の製作のために特殊な型わくと注入設備を必要として現場の作業性を欠き、(D)と(E)は施工方法との相似性が乏しく、いずれも標準方法としては不相当である。(B)と(C)は試験値の分散の程度、再現性、個人差、等の点でも同等な結果を与えるが、製作作業の単純性の点では(B)が優れていると判断され、したがって標準方法としては(B)が適当と思われる。

(2) 普通コンクリートの品質表示には一般に圧縮強度を用いるが、これは圧縮強度以外の諸性質が圧縮強度と密接な関係にあることによっても正当化される。プレパックドコンクリートの圧縮強度 σ_{pc} 、引張強度 σ_{pt} 、曲げ強度 σ_{bp} 、弾性係数 E_d 、等の諸強度の間にも普通コンクリートとほぼ同等の相関関係が成立し、実用的な範囲の強度ではこれを、たとえば、 $\sigma_t = 0.084 \sigma_{pc} + 3.8$ (kg/cm²)のような直線的な関係で表わし得ることが確かめられた。また、材令による強度変化率や供試体の形状寸法と強度との関係についても普通コンクリートについて従来認められているものとはほぼ同等の関係が成立することが確かめられた。たとえば、 $F/(C+F) = 20 \sim 30$ % の場合の圧縮強度は、 $\sigma_7 : \sigma_{28} : \sigma_{91} : \sigma_{182} = 65 : 100 : 130 : 140$ 程度であり、これは混和材料を用いない普通コンクリートの圧縮強度増加率とくらべて初期材令で小

さく、長期材令で大きい、その差はフライアッシュ混和の影響を考慮することによって説明できる範囲内にある。したがって、プレパックド コンクリートの品質を圧縮強度で評価することは適当と思われる。

(3) 入念に施工された構造物より採取したプレパックド コンクリート コアの圧縮強度の平均値 σ_{AVG} とこれと同時に製作した標準供試体の圧縮強度の平均値 σ_{ST} の比を 2, 3 の施工例について求めると、信頼度 95% の平均値は $\sigma_{AVG}/\sigma_{ST}=104\sim 121\%$ であった。また、各種の配合と鉄筋比の鉄筋プレパックド コンクリートばりの曲げ試験結果から曲げ圧縮強度 σ_{CC} を推定し、これを σ_{ST} と比較した所、 $\sigma_{CC}/\sigma_{ST}=104\sim 232\%$ で、同じ条件で普通コンクリートについて試験した結果は 89~172% であった。これらの結果はいずれも普通コンクリートと同じく、標準供試体強度で構造物母材強度を評価するのが安全側にあることを示している。したがって、入念に施工した部材のプレパックド コンクリートの平均圧縮強度ないし曲げ圧縮強度をこれと同時に製作した標準供試体の圧縮強度で評価してよいと思われる。

(4) 品質一定のモルタルを注入した場合でもプレパックド コンクリートの圧縮強度は打込み位置によって変化し、一般に表層では減少し、下層では増加する。これは主としてブリージングによるモルタルの注入後の品質変化に基づくもので、打込み後の品質変化を考慮する必要のない普通コンクリートと著しく異なる点である。

試験的に品質一定のモルタルを注入したブロックより採取したコア強度および長柱状に打込んだプレパックド コンクリートの強度分布を調査した結果、表面処理を施さないときの強度低下は打込み高さにかかわらず表層コンクリートに限られることが共通して認められ、表層コンクリートの強度 σ と標準供試体強度 σ_{ST} の比 σ/σ_{ST} は平均して 90~95% であった。また、表面処理を施さない施工例の表層コア強度 σ と σ_{ST} とを比較した結果、 σ/σ_{ST} は平均して 84% であった。これらの調査結果によれば、モルタル注入後のプレパックド コンクリートの品質変化については、表層の圧縮強度が標準供試体の圧縮強度の 85% 程度まで減少するものとして配合設計等を行えば一般に安全側にあるものと思われる。

(5) プレパックド コンクリートの強度変動の直接的な要因は注入モルタルの品質変動であって、モルタルの品質とその変動要因との関係は普通コンクリートの場合と同様である。注入モルタルの品質変動がプレパックド コンクリートの強度におよぼす影響は当然工程管理の程度によっても変化し、たとえば、16 件の施工例の調査結果によれば、28 日圧縮強度の変動係数は 15% 以下が 8 件、15~20% の例が 7 件、20% 以上が 1 件であった。これらの例は注入モルタルの品質変動要因を管理す

ることによって、プレパックド コンクリートの品質を普通コンクリートと同程度に管理し得ることを示すものである。したがって、この種の品質変動に対する設計基準強度の割増しは普通コンクリートの品質管理における同様の考え方で行なうのが適当である。

一般の施工条件の下では、上述のような注入モルタルの品質変動に対してだけでなく、モルタル注入後の品質変化に対しても設計基準強度の割増しが必要であり、この種の割増しには品質変動の大小にかかわらず、 $1\div 0.85=1.18$ 程度が必要で十分な値と思われる。したがって、プレパックド コンクリートの圧縮強度について、普通コンクリートの場合と同等の許容限界を設けるものとすれば、その割増し係数は上段で述べた考え方で得られた値をさらに 1.18 程度増大した値とすることが必要と思われる。

(6) プレパックド コンクリートの配合は粗骨材の空げき率と注入モルタルの配合比、すなわち、水結合材比 $W/(C+F)$ 、フライアッシュ混和率 $F/(C+F)$ 、砂セメント比 $S/(C+F)$ 、減水剤率 $A_d/(C+F)$ およびガス発生剤率 $A_l/(C+F)$ で表示できる。ここで、空げき率は与えられた粗骨材とその填充方法でほぼ一定となり、減水剤率とガス発生剤率もそれぞれの減水効果と膨張効果とによってほぼ一義的に決まるので、配合設計は主として $W/(C+F)$ 、 $F/(C+F)$ および $S/(C+F)$ の決定に帰着する。これらの配合比と注入モルタルの諸性質およびプレパックド コンクリートの強度との間にはつぎのような関係が成立することが確かめられた。

注入モルタルの流動性とブリージング率は $W/(C+F)$ にほぼ比例し、プレパックド コンクリートの圧縮強度は $(C+F)/W$ に比例する。従来の施工経験によると、注入モルタルの流動性はプレパックド コンクリート用漏斗による流下時間が 16~22 sec となるような範囲で良好な結果が得られ、この範囲内では流下時間 ± 1 sec の変化は $W/(C+F)=\mp 0.5\%$ の変化に相当する。

注入モルタルの流動性を一定とする場合、良質のフライアッシュの混入は所要の水結合材比と単位水量を $F/(C+F)=10\%$ の増加について、それぞれ 1% および 10 g/l 程度の割合で減少するが、ブリージング率と保水性はほぼ一定である。プレパックド コンクリートの圧縮強度は材令 1~4 週では $F/(C+F)=10\%$ の増加について 10% 程度減少するが、材令 13 週では $F/(C+F)=20\sim 30\%$ で最大となり、フライアッシュを混入しない配合の 110% 程度に達する。

注入モルタルの流動性を一定とする場合、所要の $W/(C+F)$ は $S/(C+F)$ にほぼ比例し、その割合は $S/(C+F)=0.1$ について $W/(C+F)=2\sim 3\%$ である。また、単位水量は $S/(C+F)=0$ のときに最大で、 $S/(C$

$+F)=0\sim 1.0$ の範囲ではその増加に応じて減少し、 $S/(C+F)=1.0\sim 2.0$ の範囲ではほぼ一定となり、 $S/(C+F) > 2.0$ では増加の傾向を示す。

したがって、プレパックドコンクリートの配合設計では所要の強度と適当な流動性の得られる範囲内で、 $W/(C+F)$ を最小にすることが最も重要であり、 $F/(C+F)$ は養生条件が十分な場合には長期強度を考慮して定めるのが適当である。 $W/(C+F)$ と単位水量を最小にするためには、 $S/(C+F)$ は $1.0\sim 2.0$ の範囲でできるだけ小さい値とし、 $F/(C+F)$ を増加することも効果的な方法と思われる。

(7) 注入モルタルの諸性質は使用材料の品質によってかなり変化する。しかし、一定の材料を用いる限りでは、材料自体の品質変動はきわめて少なく、たとえば、平均規模をかなり上回る港湾工事の2, 3の施工例におけるセメントの品質変動は最大の場合でも2~3%に過ぎず、化学的性質の安定した他の材料の品質変動はさらに少ないものと推定され、したがってこれが注入モルタルの品質変動におよぼす影響は一般に無視し得ると思われる。

減水剤として界面活性作用を主とするセメント分散剤4種とAE剤2種を選びこれが注入モルタルの流動性、ブリージング率、保水性、強度等の諸性質におよぼす影響を試験した。この結果、減水剤の影響の仕方と程度は一般にセメントやフライアッシュの種類、モルタルの配合と材令、減水剤の種類と使用量、等によってかなり変化し、安定した効果を有するものは陰イオン系のP剤のみで、また安定した効果をもつためには明瞭な減水効果が必要と認められた。したがって、注入モルタルに使用する減水剤は施工に用いる材料と配合で試験してその効果を確認することが重要である。

一般に膨張効果をもつと考えられているうるこ状アルミニウム粉末の膨張効果はその品質によって変化し、粉末度が粗く油脂分の少ないものは効果が劣り、また、成分の不明のものには効果の劣るものが含まれている場合もあるが、その使用量の増加により他と同等の効果をあげることができる。したがって、アルミニウム粉末の使用量はモルタルの膨張率が5~10%となるように試験して定めるのが重要で、安定した膨張効果を期待するためのアルミニウム粉末の品質規準としては、純度が99%以上、油脂分含有量は2%程度、粉末度は有効径が 15μ 以下もしくは粒径 30μ 以下のものが80%以上、とするのが適当と思われる。

注入モルタルの流動性は細骨材の粗粒率にほぼ比例し、粗粒率が同等であれば粒度分布は流動性にほとんど影響しないが、この関係の成立する粒度範囲には限界がある。すなわち、2.5 mm以上の粗粒を含む砂はその沈殿分離が著しく、一方、0.15 mm以下の細粒を多量に

含む砂は所要の水結合材比が増加し、いずれも注入モルタルには不適當である。したがって、従来一般に用いられている砂の粒度範囲、すなわち、2.5 mmふるいを100%通過し、0.15 mmふるいに70%以上留まり、粗粒率を1.4~2.2程度とする範囲、は適当と思われる。粗粒率の変化による流動性の変化を水結合材比の増減によって調整するには粗粒率 ± 0.1 の変化に対し $W/(C+F)=\mp 1\%$ 程度の変化が必要である。入念にふるい分けした砂を用いた現場の粒度変化は比較的少なく、たとえば新潟港西突堤かさ上げ工事では、粗粒率の平均=1.81、標準偏差=0.054、変動係数=3.0%であって、この砂の管理に 2σ 限界を用いるものとする、 $2\sigma C.L.=1.81\pm 0.11$ である。粗粒率の変化が注入モルタルの品質におよぼす影響と現場における変動状態を考慮すると、その規格限界としては(平均 ± 0.1)程度が適当と思われる。

(8) 港湾工事現場に一般的な自動計量装置を備えたプラント調査結果より推定すると、重量計量の場合の誤差は1回計量分量の2.5%以内で、これによる配合比の変化は原配合比の5%以内である。計量が正確でも表面水の補正が不正確であれば、配合比は不正確の程度に応じて変化し、たとえば、原配合比が $W/(C+F)=50\%$ 、 $S/(C+F)=1.50$ の場合には $\Delta\{W/(C+F)\}=7\%$ 程度以内の変化が起こり得るものと推定される。海上作業などで砂と水を容積計量するときの誤差は、砂の表面水と計量器の定め方等でも変わるが、その影響は主として水結合材比に表われ $\Delta\{W/(C+F)\}=7\%$ 程度以内の変化が起こり得る。したがって、計量装置の整備や細骨材の表面水の分布の均一化およびその正確な補正等を計るとともに、注入モルタルの品質を事前管理する必要がある。

(9) 練りませ速度および時間は注入モルタルの品質にかなり影響し、その程度はミキサの構造、練りませ容量、モルタルの配合、等によって変化する。したがって均一な品質のモルタルを効果的に得るには、ミキサの構造や練りませ方法等の検討が必要である。

練りませ温度の上昇にともなってモルタルの流動性は減少し、アルミニウム粉末は過早に反応して膨張効果を失なう。減水剤としてのポゾリスは流動性や膨張率の変動の減少に効果的である。また、アルミニウム粉末の適正な膨張効果を期待するためには練りませ温度と施工箇所の水溫の差を考慮してその使用量を定める必要がある。

過大とならない範囲の高速練りませは所要水セメント比の減少と練りませ時間の短縮に効果的であるが、長時間練りませは温度上昇をともなって有害であり、ゆるやかな攪拌に移れる構造とするか、適当なアジテーターを設ける必要がある。また、攪拌翼が混合槽中心で回転する構造のミキサではモルタルが同心運動して高速練りま

ぜの効果が期待しにくく、容積効率も減少するが、攪拌翼を混合槽内で偏心させることにより上下の対流運動も導入され、ミキサの練りまぜ性能も向上する。本実験では偏心量 30% 程度で十分な効果が認められた。

(10) 注入速度が過大の場合にはモルタルの自由界面が著しく凸状になり、粗骨材を局部的に押上げて打上り面を不整にするだけでなく、自由界面付近でモルタルが希釈し、また、隣接した凸状部の間に注入不完全部分を形成する原因となる。適正な注入速度は自由界面がほぼ水平な形を保って上昇する範囲内で最大となる条件によって決まる。しかし、自由界面の形状はモルタルの流動性、粗骨材の有効径と空げき率、注入面積、注入後の経過時間等によっても変化し、一般的な条件に対して適正注入速度を定めるのは困難である。実験結果によれば、たとえば注入管 1 本当りの注入面積が 4 m^2 以下で、モルタルの流下時間が 20 sec 程度、粗骨材の有効径が 24 mm で空げき率が 43% 程度の場合には $17 \text{ l/min} \equiv 1 \text{ m}^3/\text{hr}$ 以下が適当と思われる。

自由界面より上の部分ではプレパックド コンクリートの品質は上述のように注入速度により著しく変化するが、自由界面下の部分では注入速度や圧力はほとんど影響せず、打ち上り面付近における強度低下は主としてブリージングの影響によるものである。

(11) モルタルの完全注入を期待するためには、粗骨材の最小寸法を定め、この寸法以下の粒子について適当な管理限界を設けてこれを管理する必要がある、また、填充粗骨材の空げき率をモルタルの注入実績等から管理することはモルタル注入状態の間接的管理方法として有効である。

従来より粗骨材の最大寸法を、たとえば、15 mm と定めてこれ以下の細粒を除去することは一般に行なわれているが、実際には細粒がある程度混入するのは避け難くこれがある限界を越えると注入不完全が生ずるもののようなものである。新潟港西突堤かさ上げ工事の際の調査によると、15 mm 以下の細粒が断続的に表われる場合にはこれが 5~6% 程度であっても異常は認められないが、4~5% の値が連続して表われた時点で注入不完全が生じ、これが特定の箇所に集中せぬように管理する必要があると認められた。この結果から、最小寸法を 15 mm としたときのこの寸法以下の許容量と 5 個の移動平均の 2σ 限界を推定すると、それぞれ 5% および 3% 程度が適当と思われる。

一定の容器を用いて試験した粗骨材の空げき率は、粒形、粒度、填充方法、の要因のそれぞれについて、絶対値で 6~7%、3~4%、3~5% 程度変化するが、産地および産出状態の一定な粗骨材を用いる限りでは空げき率の変動範囲はその絶対値で 3~6% 程度と推定される。また、空げき率の変動範囲がこの程度の場合には空げき

率はプレパックド コンクリートの強度にほとんど影響しない。モルタルの注入実績から推定した空げき率は一定の容器を用いて試験した値より 1~3% 程度大きいのが普通であるが、その変動範囲は両者ほぼ同等である。したがって、両者の変動状態を管理することにより、モルタルの漏出や注入不完全等の異常の検出が可能となる。

(12) 施工が入念な場合でも (7)~(9) で述べたような要因によって注入モルタルの品質が変動するのは避け難く、これは必然的にプレパックド コンクリートの品質変動をもたらす。したがって、注入モルタルの品質をその注入以前に管理することはプレパックド コンクリートの品質を事前に管理する機能をもつ。この管理試験のための特性値はモルタルの品質変動の要因に対して適度の識別性をもち、容易にかつ短時間に測定でき、さらに再現性に富む統計量でなければならぬ。このような観点から特性値として流下時間を選び、その管理効果を 2, 3 の施工例について調査した結果、材料の品質や工程作業についても入念に管理する場合にはプレパックド コンクリートの圧縮強度の変動係数は 15% 以内に留まり、流下時間のみを管理する場合でもこれが 20% 以下に減少し、十分な管理効果をもつことが実証された。これは流下時間の管理によって、保水性、ブリージング率、膨張率、等の変動が著しく減少し、品質の均一性が向上するためと思われる。

注入モルタルの事前管理を行ない、その管理効果を十分にあげるためには、モルタル試料採取は定時間間隔、たとえば 30 min ごとによるのがよく、管理限界としては $19 \pm 3 \text{ sec}$ 程度が適当であって、これをさらに厳しくすることは必ずしも管理効果の増加をともしない。また、管理限界を越えて変動する場合に備えて、材料の計量重量の増加ないし減少等の処置をあらかじめ定め、変動に対して迅速に応ずることも必要と思われる。

本研究は以上のように港湾工事におけるプレパックド コンクリートの施工管理上問題となる諸点について検討し、その効果的な管理の一方法として注入モルタルの品質を流下時間を特性値として事前管理することを提案したものである。しかし、今後に残された問題も多く、特に水中における打継目の施工とその管理方法は最も重要な問題の一つで、プレパックド コンクリート構造物の施工と関連してさらに研究を続ける必要があると思われる。

引用文献

- 1) 赤塚雄三・佐藤善一：“プレパックド コンクリート施工例集”，土木学会コンクリート・ライブラリー，No. 13，1965 年 3 月
- 2) 赤塚雄三：“プレパックド コンクリートの適用が港湾構造物の設計ならびに施工におよぼす影響”，土木技術，Vol. 20, No. 3, 1965 年 2 月

- 3) 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1報)”，港湾技研資料，No. 2, 1963年6月
- 4) 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, 1964年3月
- 5) 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, 1963年12月
- 6) 板倉忠三・他3名：“イントルージョン プレバクド工法に関する基礎研究”，セメント技術年報，VII巻，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”，電力技術研究所所報，4巻1号，1954年3月
- 8) 木庭宏美・有吉保憲：“プレバクド コンクリート工法における粗骨材空げき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，1961年5月
- 9) 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”，運輸省港湾局調査設計室，1961年12月
- 10) 樋口芳朗：“微細な空げき填充のためのセメント注入における混和材料の研究”，土木学会論文集，No. 81, 1962年5月
- 11) 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，1963年6月
- 12) 赤塚雄三・有吉保憲：“プレバクド コンクリート圧縮強度試験供試体製作方法に関する研究”，港湾技術研究所報告，2巻1号，1963年6月
- 13) 岩崎訓明：“プレバクド コンクリートの施工方法に関する基礎的研究”，土木学会論文集，No. 98, 1963年10月
- 14) 赤塚雄三：“注入モルタルに関する基礎研究”，港湾技術研究所報告，3巻6号，1964年11月
- 15) 赤塚雄三・森口 拓：“鉄筋プレバクド コンクリートばりの強度について(第一~三報)”，第一報：土木学会19回年次学術講演会(1964)，第二報：港湾技研第2回研究発表会(1964)，第三報：土木学会20回年次学術講演会(1965)
- 16) 樋口芳朗・杉山道行：“プレバクド コンクリートについての実験”，鉄道技術研究所速報，No. 65~13, 1965年1月
- 17) Price, W.H.: “Factors Influencing Concrete Strength”, Proc. ACI., Vol. 47, Feb. 1951
- 18) “Boulder Canyon Project. Final Report”, Part III, Bull. 4, Bureau of Reclamation U.S. Dept. of Interior, 1949
- 19) ASTM Standard C 42-64: “Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete”
- 20) Concrete Manual, 6th Ed., U.S. Bureau of Reclamation, 1955
- 21) 日本セメント技術協会コンクリート委員会：“コンクリート強度におよぼす成形養生条件の影響”，セメント・コンクリート，No. 216, 1965年2月
- 22) “Investigation of the Suitability of Prepack Concrete for Mass Concrete Structure”, Corps of Engineers, U.S. Army, Technical Memo., No. 6-330, Aug. 1954
- 23) 北山義男・他5名：“圧入コンクリートについて”，鹿島建設技術研究所年報，12号，1963年
- 24) 永倉 正：“プレバクド コンクリートに関する実験報告(第2報)”，電力技術研究所報告，土木 56062, 1956年12月
- 25) ACI-ASCE Committee 327: “Ultimate Strength Design”, Proc. ACI., Vol. 52, Jan. 1956
- 26) 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，1964年8月
- 27) 福田乙二・北川義男・木村敬三：“放射線遮へい用高密度プレバクド コンクリートの研究”，日本 ACI 第2回研究発表論文集，1965年2月
- 28) 丸安隆和：“コンクリートの品質管理”，土木学会，1956年11月
- 29) 国分正胤・河原友純・太斉宗一：“各種フライアッシュ共通試験報告”，土木学会論文集，No. 68, 別冊 1-1, 1960年5月
- 30) 国分正胤・三村通精・上野 勇・細谷浩正：“ペーストによるフライアッシュの使用に関する研究”，土木学会論文集，No. 71, 別冊 4-3, 1960年12月
- 31) Kozeny, J.: “Die Wasserbewegung”, Wasserkraft und Wasserwirtschaft, Heft 22, 1927
- 32) Shearold, F.A.: “The Percentage Voids in Compacted Gravel as a Measure of its Angularity”, Magazine of Concrete Research, No. 13, Aug. 1953 (1966. 6.16・受付)