

プレパックド コンクリートの施工方法に関する基礎的研究

FUNDAMENTAL STUDIES ON METHODS OF PRACTICE FOR PREPACKED CONCRETE

岩 崎 訓 明*

By Noriaki Iwasaki

1. 緒 言

プレパックド コンクリートは、その特殊な施工方法によるいくつかのすぐれた特長をもち、米国では、すでにこの工法がかなり広く応用されている^{1)~11)}。わが国でも約 10 年前からこの工法について基礎研究^{12)~28)}が進められて、橋脚その他の補修工事や護岸などの水中コンクリートに応用されているが^{29)~34)}、研究の進展、経験と資料の集積にともなって応用範囲はさらに広がるものと思われる。

以下に、プレパックド コンクリートの施工方法に関連した基礎研究として、グラウト膨張剤としてのアルミニウム粉末の反応、注入用モルタルの配合や膨張量がプレパックド コンクリートの強度におよぼす影響、打上り面付近における強度の低下などについての、実験にもとづいた研究の結果を述べる。

この研究は、東京大学教授 国分正胤先生のご指導によって行なうことができたもので、ここに厚く御礼申し上げます。

また実験にご協力をいただいた電源開発 K K 土木部の各位、ならびに東大コンクリート実験室の方々のご好意に対して深謝いたします。

2. 膨張剤としてのアルミニウム粉末の反応**

プレパックド コンクリートの注入用モルタルには、膨張剤としてアルミニウム（以下 Al と略記）粉末を少量混和することが多い。Al 粉末はモルタル中で化学変化を起こして無数の微細な水素気泡を発生し、モルタルを膨張させるが、膨張量や膨張継続時間は、Al 粉末の混和量ばかりでなく、温度、セメントの種類、モルタルの配合などによって異なり^{12), 20), 35)}、また粉末の形状によっても影響される²¹⁾といわれ、Al 粉末によるモルタルの膨張はかなり複雑である。筆者は適当な実験装置を用いて、いろいろな温度条件のもとで経過時間と反応量との関係を連続的に測定した結果、反応の速さを表わす指標として適当と考えられるものが得られたので、これを用いて反応速度論に準じた考察を試み、反応の詳細を多少解明することができ

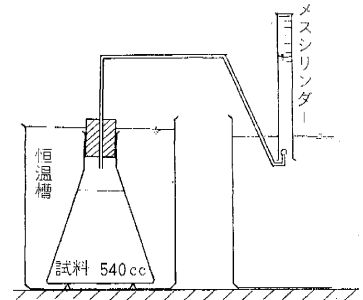
* 正員 東洋大学専任助教授 土木工学科

** 一部第 14 回年次学術講演会で発表

た。また混和材料が反応におよぼす影響について検討した。

実験装置は図-1 のとおりで試料の膨張量を気体の体積におきかえて測定し、反応量を求めた。

図-1 反応量測定装置



実験にはおもにセメントペーストを用いたが、これはモルタルの場合でも Al の反応に関与する主体はセメントペーストであると考えられ、試料の温度を管理しやすい、実験所要時間が短く、低温時の実験が可能であるなどの点で基礎的な実験にはペーストが適当していると考えたからである。Al 粉末は注水前にセメントに混ぜておき、練り混ぜ用の水の一部を加えてピーカー中で3分間練り混ぜたのち、残りの水を用いて試料をフラスコに移し、さらに2分間かく拌した。

恒温槽は練り上った試料の温度に保った。

(1) セメントの種類と反応速度

図-2~図-7 は、普通セメント3種類、早強セメント2種類、中庸熱セメント1種類、計6種類のポルトランドセメント(表-1)について、いろいろな温度条件下における経過時間と単位 Al 量あたりの反応量(cc/mg)との関係を実験した結果である。ペーストの水セメント比は 0.75 である。Al 粉末は、約 40 mg をとり、精秤して用いた。

温度が高いほど Al の反応はすみやかに進行することは周知の事実であるが、図-2~7 からこの傾向はセメ

図-2 A 普通セメントについての実験結果

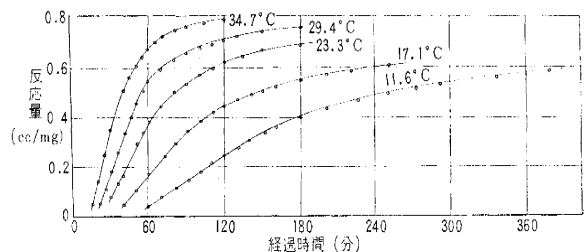


図-3 D 普通セメントについての実験結果

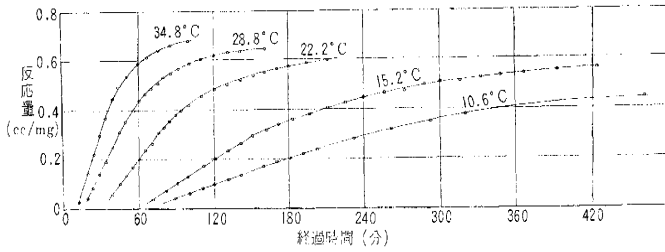


図-4 O 普通セメントについての実験結果

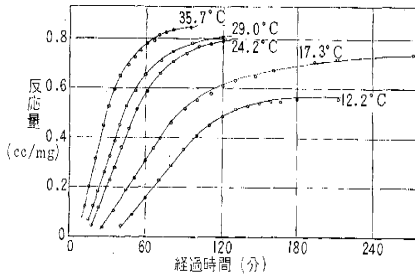


図-5 A 早強セメントについての実験結果

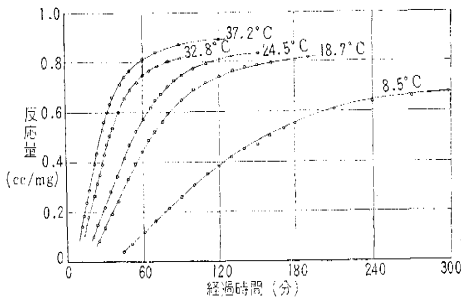
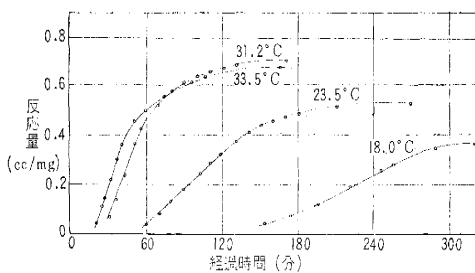


図-6 O 早強セメントについての実験結果



ントの種類によらないことがわかる。それぞれの曲線の形をみると、いずれも前半に直線の部分があって、温度が高いほどその勾配は急しゅんである。直線部分の正接(α とする)はこの段階における反応速度であって、この α と温度との関係を探ると、図-8のような、 $\log \alpha, 1/T$ に関する直線が得られる。

すなわち、 α と絶対温度 T との間には、反応速度定数 k に対して成り立つ Arrhenius の式と同形の、 $\log \alpha = a - b/T$ が成り立っている。したがって、 α を Al 粉末の反応の進行速度を表すための指標として、 $\log \alpha$ と $1/T$ の関係を示す直線を比較すれば、温度以外の条件が反応におよぼす影響をかなり明確に知ることが出来るものと思われる。

図-8 によれば、35°C 程度の高温時にはセメントの

図-7 A 中腐熱セメントについての実験結果

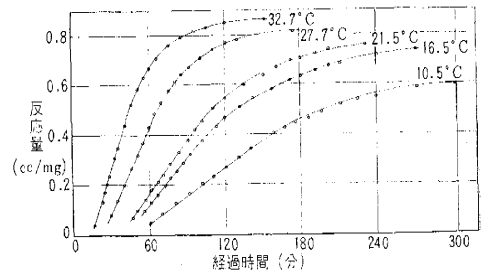


図-8 α と温度との関係

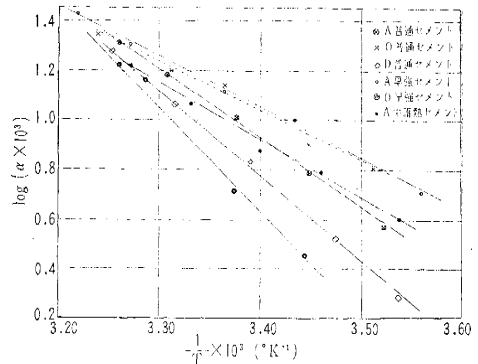


表-1 使用したセメントの性質

セメントの種類	比重	粉末度		凝 結					安定性	強熱減量 (%)	マグネシア (%)	無水硫酸 (%)	軟 練 り モ ル タ ル						
		ブレン (cm ³ /g)	88 μ (%)	室温 (°C)	湿度 (%)	水量 (%)	始発 (時一分)	終結 (時一分)					フロー (mm)	曲げ強さ (kg/cm ²)			圧縮強さ (kg/cm ²)		
														3日	7日	28日	3日	7日	28日
A 普通	3.15	3 140	2.9	20.0	94	26.6	2-04	3-17	良	0.81	1.60	1.58	242	28.4	44.3	70.3	116	215	420
D 普通	3.15	3 070	2.7	20.6	93	28.0	2-30	4-12	良	0.68	1.32	1.70	253	31.2	46.6	72.3	122	223	424
O 普通	3.15	3 170	2.8	20.1	92	27.8	2-31	4-03	良	0.69	1.26	1.86	247	30.6	45.7	70.6	118	207	416
A 早強	3.15	4 050	2.0	20.1	90	29.9	2-38	4-05	良	0.58	1.15	2.29	238	45.0	59.1	78.5	220	328	490
O 早強	3.16	3 940	2.3	20.2	95	29.6	2-43	4-10	良	0.72	1.30	2.03	250	44.3	54.9	77.8	203	313	476
A 中腐熱	3.20	3 150	0.7	20.3	93	27.3	2-52	4-26	良	0.57	1.03	1.79	252	31.4	41.2	71.2	122	178	391

表-2 α と [OH⁻], [SO₄²⁻] との関係

温度	セメントの種類	[OH ⁻] (mol/l)	[SO ₄ ²⁻] (mol/l)	α (cc/min·mg)	α
					[OH ⁻][SO ₄ ²⁻] ²
12°C	A普通セメント	2.76 × 10 ⁻²	2.16 × 10 ⁻²	2.51 × 10 ⁻³	1.94 × 10 ²
	O普通セメント	2.54 "	3.42 "	6.16 "	2.07 "
	D普通セメント	2.46 "	2.23 "	2.15 "	1.75 "
	A早強セメント	4.26 "	2.10 "	6.16 "	3.28 "
	O早強セメント	3.98 "	1.37 "	1.29 "	1.76 "
	A中麻熟セメント	1.32 "	4.12 "	4.17 "	1.86 "
20°C	A普通セメント	3.16 "	2.17 "	7.36 "	4.94 "
	O普通セメント	2.95 "	2.94 "	10.20 "	4.00 "
	D普通セメント	2.51 "	2.25 "	5.05 "	4.00 "
	A早強セメント	3.39 "	2.34 "	10.16 "	5.47 "
	O早強セメント	3.09 "	1.46 "	3.72 "	5.66 "
	A中麻熟セメント	1.55 "	3.24 "	6.61 "	4.07 "

種類によるαの差は小さいが、温度が低くなるにしたがってαの差は大きくなっている。たとえばA早強セメントとO早強セメントについて比較してみると、37°Cにおけるαはいずれも0.025 cc/min·mgであるが、15°CにおいてはA早強セメントの0.0076 cc/min·mgに対してO早強セメントは0.0019 cc/min·mgで1/4である。このことは、モルタルの温度が15°C以下のような低温になった場合に、使用セメントによってはモルタルの膨張性がいちじるしくおそくなるおそれのあることを示すもので、使用セメントに対して通常の試験のほか、Al粉末との反応の速度についても試験しておくほうがよい場合もあると思われる。

このようにセメントによってAl粉末の反応は影響を受けるが、図-8によれば普通セメント、早強セメントなどのセメントのタイプはAl粉末の反応の遅速とあまり関係がないように思われる。

表-2は、前述の6種類のセメントについて、12°Cおよび20°Cのペーストから液相部分をこしわけ、そのOH⁻およびSO₄²⁻の濃度を測定した結果を示したものであって、温度が一定であれば、[OH⁻]および[SO₄²⁻]が大きいかほどαは大きい。α/[OH⁻][SO₄²⁻]²の値を求めると一定温度に対してはセメントによらず、ほぼ一定していて温度が高くなると大きくなっている。すなわちAl粉末の反応の進行速度は、モルタルの液相中の[OH⁻]および[SO₄²⁻]と温度とによっておもに支配されることを示しているものと考えられる。

(2) 混和材料がAl粉末の反応におよぼす影響

注入用モルタルには、コンシステンシー、ブリージング、凝結時間などに関する性質を改善するためにフライアッシュ、セメント分散剤などの混和材料を用いることが多いので、これらがAl粉末の反応におよぼす影響を実験した。

図-9は国産ポゾリスをセメント量の0.25%混和してその影響を実験した結果の一例であって、ポゾリスはAl粉末の反応を抑制して反応継続時間を延長させる性

質を示している。また図-10はlog αと1/Tとの関係を、セメント分散剤を混和しない場合と比較したもので、30°C以上の高温時においてもポゾリスはAl粉末の反応を抑制する作用をもっていることがわかる。

Al粉末の反応継続時間はAl量を増減してもほとんど変えられないから(図-12参照)高温時には反応がはやすぎてモルタルの膨張性が短時間で失なわれるおそれがある。このような場合にセメント分散剤として適当な量のポゾリスを混和すれば、モルタルの膨張性を相当に長く保持させることができるものと思われる。

ポゾリスは、Ca塩の強電解質であるから、Ca⁺⁺がペーストの液相中のOH⁻およびSO₄²⁻と反応して塩をつくり、遊離OH⁻、SO₄²⁻を減少させる。これがAl粉末の反応を抑制するおもな原因であると考えられる。塩化カルシウムをセメントの0.5%混和した場合にも反応速度はいちじるしく減少したが、同じ機序によるものと思われる。

つぎに分散剤の陰イオンがAl粉末の反応におよぼす影響を調べる目的で、国産ポゾリスを加えたNaOH溶液とAl粉末との反応を実験した。表-3はその結果を示したもので、ポゾリスの量が多いと反応の始発がいちじるしくおくれ、またポゾリス量が同じでも、Al量が少ないと抑制作用は強く現われている。この場合の反応抑制作用は、ポゾリスの陰イオンがAl粉末の表面に集まって、OH⁻とAl表面との接触をさまたげたことにあると思われる。

図-9 国産ポゾリスがAl粉末の反応におよぼす影響

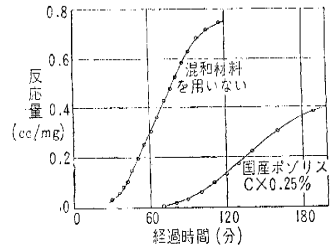


図-10 αにおよぼすセメント分散剤の影響

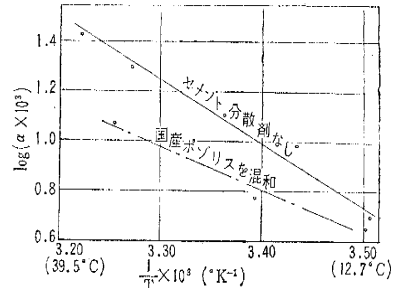


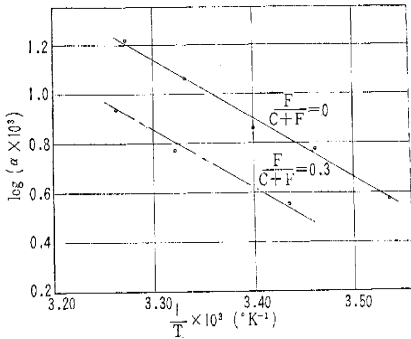
表-3

	国産ポゾリスの量(g)	NaOHの濃度(N)	Al量(mg)	水素気泡発生開始までの所要時間	実験開始後4時間における反応量(cc/mg)
①			60	33分	0.40
②	0.5	0.01	30	59分	0.15
③		0.01	60	7時間	0
④	2.0	0.05	30	発生せず	0

セメントペーストやモルタル中では、ポゾリスの陰イオンは大部分セメント粒子などに吸着されると思われるが、Al 粉末の反応に対しての影響もあると推定される。

フライアッシュもまた Al 粉末の反応を抑制する性質を示した。図-11 は、実験結果の一例で、セメント量の 30% をフライアッシュ (表-5) でおきかえたことによって α はほぼ 1/2 に減少した。

図-11 フライアッシュが α におよぼす影響



以上のように、ポゾリスやフライアッシュは、Al 粉末と併用したときに、モルタルに適当な膨張性を与えるという性質ももっていて、注人用モルタルの混和材料としてきわめて適当なものであると考えられる。

(3) 反応の機序についての考察

温度および水セメント比を一定にして Al 量だけを変えて、経過時間と反応量との関係を実験した結果 (図-12) によると、ある時間経過したときの反応量は Al 量とほぼ比例して変わるが、グラフが直線部から曲線部へ移る時間や反応継続時間は Al 量によってあまり変わっていない。このことは、固体が液体に溶解する一般の場合と同様に、反応速度が Al の表面積に比例することを示しているものと考えられる。

反応の進行がほとんど停止したときの反応量と Al 量とを比較すると、いずれも反応量は Al 量の約 60% である。たとえば、Al 0.12g が反応したときに発生する水素の体積は、23°C で 162 cc であるが、実験の結果では約 100 cc である。すでに述べた、セメントの種類お

よび温度を変えた実験の結果で反応量のもっとも大きい場合でも 0.89 cc/mg であって、Al 量 (H₂ 1.24 cc に相当) の 70% 程度である。また、ペーストの水セメント比を約 0.90~0.50 の範囲で変えて実験しても、Al 粉末の反応にはあまり影響が認められなかった。

したがって、この現象がペースト中の反応物質の量の多少によらないことは明らかで、① Al 粉末は NaOH 溶液には溶解するが、ポゾリスを加えておくと反応が進行するにつれて Al 粉末が白色沈殿に変わった、② Al 粉末を溶解した NaOH 溶液に CaCl₂ 溶液を滴下するとただちに白色の沈殿を生じた、などの実験結果を考えあわせて、溶液中に Ca⁺⁺ が存在すると、反応生成物が不溶性の物質になって Al の表面に被膜を生じ、反応の進行をさまたげるために反応が停止するものと推定される。

なお、反応停止時にはペーストはまだやわらかくて、かく拌して実験を続けても反応は再び起こらなかった。

以上のような推定をもとにして反応速度式を考える。

一般に固体が化学反応をともなって液体に溶解する速度は、界面における化学反応の速度、反応面への反応物質の拡散速度、反応面からの生成物の拡散速度のうちの最小のものに支配される³⁰⁾が、Al の表面には反応の進行にともなって生成物の膜が生じるから、膜中の物質移動速度も考えなければならない。液中の物質拡散速度が全体の速度を支配する場合には反応速度は、かく拌速度ときわめて密接な関係を有するなど特異な現象がある³¹⁾から、Al の場合、液中の拡散速度にくらべて化学反応速度のほうが小さいと考えることができる。したがって、反応の初期でまだ生成物の膜が薄い間は化学反応の速度が全体の速度を支配し、ある程度反応が進行して膜の厚さが増すと膜中の物質移動の速度が全体の速度を支配すると考えられ、その結果、反応速度式は前半と後半とで別なものになる。

まず、反応の前半を考えると、化学反応の進行速度は反応面の面積に比例し、かつ前述のように [OH]⁻・[SO₄⁻]² にほぼ比例するから、速度式は、

$$\frac{dx}{dt} = kS[\text{OH}^-][\text{SO}_4^{--}]^2 \dots\dots\dots(1)$$

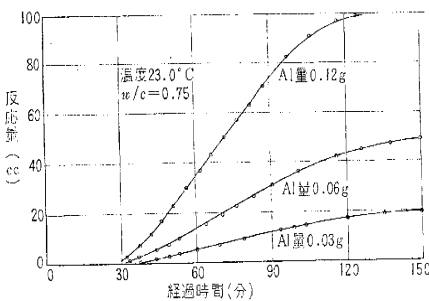
k: 定数

x: 反応量

S: t 分後における Al 表面積

で表わされる。ところがペーストやモルタルの液相中のイオンの濃度はほぼ平衡濃度に達して³²⁾、時間の経過にともなう濃度の変化はほとんどないと思われるから、[OH]⁻・[SO₄⁻]² はほぼ一定と考えてよい。また膨脹剤として有効な、薄片状の Al 粉末³¹⁾では、反応の進行にともなう表面積の減少は少ないと考えられるから、S は、はじめの表面積にほぼ等しい。

図-12



したがって、式(1)の右辺は定数となり、実験式に一致する。

反応が進んで、生成物の膜を通して物質の移動する速度が全体の反応速度を支配する段階においては、速度式は、侵食反応の式になるものと考えられる。

侵食反応にもいろいろな場合があるが、Al 粉末の反応については対数法則が実験結果に比較的よく合致した。対数法則は $x = \beta \log(pt + q)$ 、 β, p, q は定数で表わされる³⁶⁾から、反応速度を支配する過程が移行するときの、経過時間と反応量をそれぞれ t_c, x_c として p, q を求めると、対数法則の式は

$$x - x_c = \beta \log_e \left\{ \frac{\alpha}{\beta} (t - t_c) + 1 \right\} \quad (t_c \leq t)$$

となり、 $x - x_c = y, t - t_c = z$ とおけば

$$y = \beta \log_e \left(\frac{\alpha z}{\beta} + 1 \right) \dots\dots\dots(2)$$

となる。この式は、 β の値を適当に選ぶと実験の結果にかなりよく一致した。
表-4 は数例について計算値と実験値とを比較したものであって、 β は 0.18 に近い値にほぼ一定している。
 すなわち反応の後半も α によって定まり、 α, t_c, x_c を実験で求めれば、式(2)で、 $\beta = 0.18$ とした、

$$y = 0.4 \log_{10} (5.6 \alpha z + 1)$$

から、反応の後半の概略が推定できるものと思われる。

以上のように、モルタルに混和された Al 粉末は、単純に全部が溶解するものではないが、ある程度ま

では反応が進行して、モルタルに膨張性を与える。

その場合、Al 量を一定にしてもモルタルの膨張性が持続される時間や膨張量は、温度、モルタル液相の性質、Al 粉末の比表面積などによって異なるから、Al 量は実際に近い条件で実験を行なって定めることが必要と考えられ、高温時には混和材料を適当に用い低温時にはセメントも Al 粉末の反応速度が大きくなるものを選び、かつ Al 量を増す、などの方法で、適当な膨張性を有する注入用モルタルを得ることができるものと思われる。

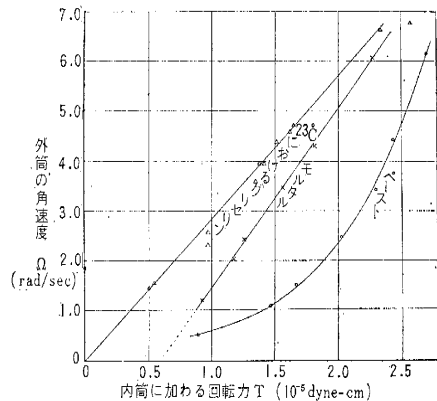
3. 注入用モルタルのコンシステンシーについて

(1) コンシステンシーの試験方法

注入に適したコンシステンシーは注入用モルタルの重要な性質の一つであって、その試験方法も重要と思われる。

図-13 は、自製の回転粘度計を用いた実験結果の一例であるが、セメントペーストやモルタルの流動曲線は粘性流体のように原点を通る直線にならない。そのため、注入用モルタルのコンシステンシーを粘性係数のような流動学的な数値で端的に表わすことはむずかしいと思われる。

図-13 流動曲線



これに対して、ロートからの流下時間で注入用モルタルのコンシステンシーを表わす方法は、測定がきわめて簡単で実用的に便利であるので、この方法が注入用モルタルの品質試験方法として適当しているか否かを、現在用いられている2種類のロートについて確かめた。

図-14 は、米國式のロート⁴⁰⁾を用いて注入用モルタルの単位水量と流下時間との関係を実験した結果を示したものであって、流下時間は単位水量の変化をかなり鋭敏に反映している。

プレパックド コンクリートの注入用モルタルには、このロートで測定した流下時間が 16~22 秒となる程度のコンシステンシーを有するものが多く用いられるが、

表-4

	z (min)	y 計算値	y 実験値
O 普通セメント 温度 29°C $\alpha = 0.0157$ $\beta = 0.185$	10	0.114	0.114
	20	0.184	0.185
	30	0.234	0.234
	40	0.274	0.292
	50	0.307	0.320
O 普通セメント 温度 17°C $\alpha = 0.0078$ $\beta = 0.175$	60	0.334	0.330
	10	0.064	0.064
	20	0.114	0.117
	30	0.151	0.159
	40	0.180	0.190
	50	0.205	0.216
	60	0.228	0.236
70	0.248	0.253	
A 中熱セメント 温度 32.7°C $\alpha = 0.0165$ $\beta = 0.170$	80	0.266	0.273
	100	0.297	0.298
	120	0.323	0.315
	10	0.115	0.112
	20	0.183	0.187
O 早強セメント 温度 23.5°C $\alpha = 0.0050$ $\beta = 0.170$	30	0.232	0.239
	40	0.269	0.278
	50	0.300	0.301
	60	0.326	0.319
	10	0.044	0.042
	20	0.079	0.080
	30	0.108	0.113
	40	0.132	0.142
	50	0.154	0.153
60	0.173	0.178	
D 普通セメント 温度 10.6°C $\alpha = 0.0019$ $\beta = 0.190$	70	0.185	0.189
	80	0.205	0.198
	90	0.220	0.205
	20	0.035	0.029
	40	0.064	0.058
	60	0.089	0.083
	80	0.112	0.107
	100	0.132	0.131
	120	0.150	0.152
	140	0.166	0.172
160	0.182	0.190	
180	0.196	0.206	
200	0.209	0.220	

図-14

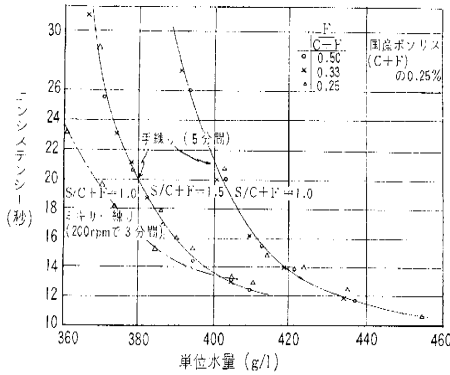


図-14によれば、この範囲においては流下時間1秒の変化は水量約1%の変化に相当している。このことは、この試験方法が、注入用モルタルのコンシステンシー試験方法として必要と思われる精度をもっていることを示すものと考えられる。

図-15

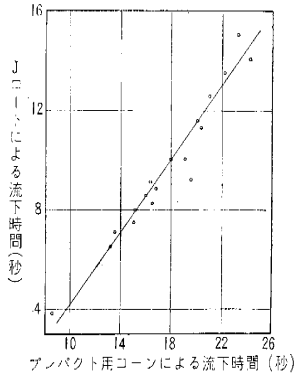


図-15は、同じモルタルの流下時間を、土木学会が制定した³⁸⁾、PCグラウトの試験と共用できるロートと米國式のロートとで測定し比較したものであって、PC用ロートによる流下時間は米國式ロートの約1/2である。

したがって、実用上はどちらのロートを用いてもさしつかえないと思われるが、実験結果や施工現場の資料を統一するために、将来は、土木学会の制定した方法にしたがうのも一つのゆき方と考えられる。

表-5 実験に用いた材料の性質

アサノ普通ポルトランドセメント

比重	粉末度		凝結		安定性		軟練りモルタル						
	ブレ-ン (cm^2/g)	88 μ (%)	始発 (時-分)	終結 (時-分)	煮沸 法	オート レベ 法	フロー (mm)	曲げ強度 (kg/cm^2)		圧縮強度 (kg/cm^2)			
3.16	3 200	5.5	2 25	4 06	完全	完全	211	30.5	46.1	73.0	115	218	408

東電フライアッシュ

比重	粉末度		減熱 (%)	メチ レン ブ ル 一 吸 着 量 (%)	材令 (日)	F C+F	圧縮強度		曲げ強度	
	ブレ-ン (cm^2/g)	44 μ (%)					kg/cm^2	%	kg/cm^2	%
2.20	3 650	6.5	0.8	0.5	28	25%	180	74	63	73

黒部川産川砂

比重	粒 度 分 布					粗粒率 以下	洗 い 分 析
	2.5~1.2 mm	1.2~0.6 mm	0.6~0.3 mm	0.3~0.15 mm	0.15 mm		
2.59	0	25.1%	14.1%	43.7%	16.3%	1.48	2.5%

(2) 注入用モルタルに用いる混和材料について

注入用モルタルのコンシステンシーにおよぼすフライアッシュの影響について実験した。

図-16は一定のコンシステンシーを得るのに要する単位水量を、いろいろな配合比のモルタルについて求めたものであって、適量の良質なフライアッシュでセメントの一部をおきかえると、注入用モルタルの単位水量をかなり減らしうることを示している。

図-16

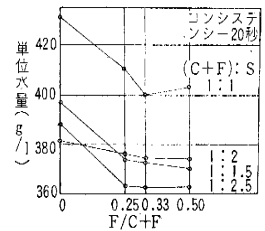


表-6はフライアッシュと国産ポゾリスを混和したモルタルを長時間練りまぜ続けて時間の経過にともなうコンシステンシーの変化を実験した結果を示したものである。実験に用いたモルタルの配合は C:F:S=2:1:4.5, W=350 g/l, 国産ポゾリス (C+F)×0.25% である。練り混ぜに用いたミキサは、容量約 30 l の円筒形のもので、かく拌翼は上下2段に各2枚あって上からみた上段の翼と下段の翼との配置は翼の中心線が直交するようにしてある。かく拌速度は 200 rpm とした。

表-6

練りませ時間 (min)	7	15	30	60	90	120	150
コンシステンシー (sec)	19.8	17.5	16.0	16.0	15.9	15.8	15.8

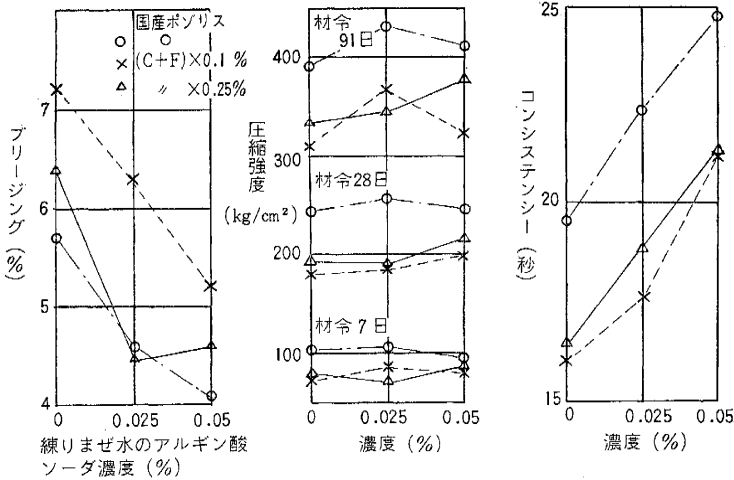
この実験の結果は、フライアッシュ、セメント分散剤を適当に混和したモルタルは、適当な方法でかく拌を続けていればかなり長い時間注入に適したコンシステンシーを保持させることができることを示している。

以上のようにフライアッシュおよびセメント分散剤を用いることによってモルタルの単位水量を 350~400 g/l (粗骨材の空げき率を 40% とすれば、コンクリート 1 m³ あたり 140~160 kg) とすることが可能であって、かなり良質のものを得ることができると思われる。

さらに、注入の途中で材料が分離しないことも注入用モルタルに必要な性質の一つと考えられるが、アルギン酸ナトリウムは、ごく少量でモルタルのブリージングを減らす作用を示し、モルタルの強度には悪影響をおよぼさなかった。図-17は、実験結果の一例を示したものである。モルタルの配合は C:F:S=2:1:4.5, W=387 g/l である。ブリージングは 500 cc のメスシリンダーに試料をとって5時間後に測定したもので、圧縮強度は約 20°C の水中で発生した直径 5 cm, 高さ 10 cm の円柱供試体で試験したものである。

この実験の結果は、モルタルの輸送距離が長い場合や、材料の分離しやすい貧配合のモルタルに対しては、モルタルの安定性を増すために、この種の鎖状高分子化

図-17 アルギン酸ナトリウムが注入用モルタルの性質におよぼす影響

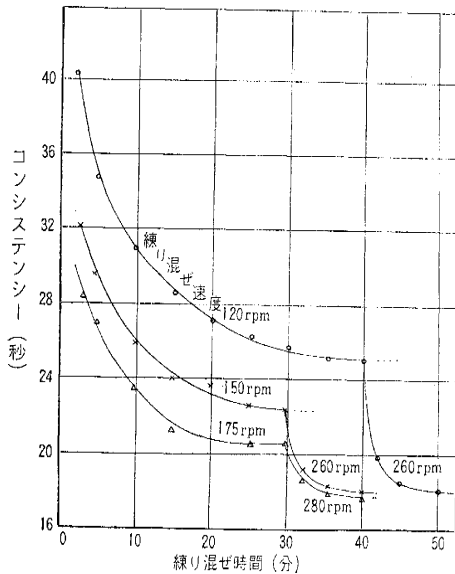


合物の応用を研究することも、一つの方法であることを示すものと考えられる。

(3) 練り混ぜ方法がコンシステンシーにおよぼす影響

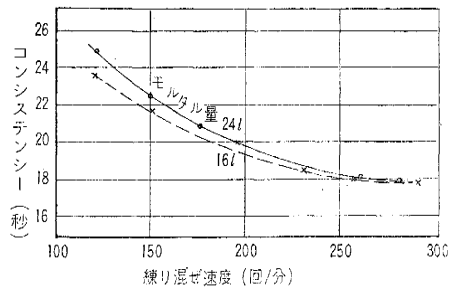
図-18 は C:F:S=3:1:4, W=370 g/l のモルタルのコンシステンシーにおよぼすミキサのかく拌速度および練り混ぜ時間の影響を実験した結果であって、かく拌速度が大きいかほど短時間で十分な練り混ぜ効果が得られたことを示している。また、図-19 はかく拌速度とそのかく拌速度で練り混ぜたときに得られた最良のコンシステンシーとの関係を示したもので、200 rpm まではかく拌速度の増大にともなってコンシステンシーも改善されているが、250 rpm 以上 300 rpm までかく拌速度を上げてもコンシステンシーはほとんど変わっていない。

図-18



ミキサには種々な形式、容量、回転数のものがあるが、この実験の結果によれば能率の悪いミキサでは長く練り混ぜてもモルタルのコンシステンシーはあまり改善できないが、能率のよいミキサを用いれば短時間で十分な練り混ぜができて作業能率を高めるのに有利であると思われる。またミキサの能率はかく拌速度と密接な関係があつて、ある限度まではかく拌速度が高いほど能率がよいが、高すぎると練り混ぜに要する費用が増大するばかりでなく、練り混ぜ時間が長くなった場合にモルタルに悪影響をおよぼすおそれもあるから、ミキサの設計に際してかく拌速度の検討は重要であると思われる。

図-19



4. 注入用モルタルの配合、膨張量がプレパックドコンクリートの強度におよぼす影響

(1) プレパックドコンクリートの圧縮強度試験方法

プレパックドコンクリートの圧縮強度試験用の供試体は、通常モルタルの膨張を抑制しながら硬化させて作成する。すなわち、底板の中央にモルタル注入口が設けられてある φ15 cm×30 cm の型わくに粗骨材を詰め、その空げきに水を満したのち、型わくの上面に φ1 mm 程度の小孔が多数あけてある鉄ぶたを取り付けてモルタル注入時の粗骨材の浮上りを防ぐとともに、注入完了後鉄ぶたの溢流口を閉じてモルタルの膨張を抑制する。

表-7 は、C:F:S=2:1:4.5, W/C+F=0.54, 膨張量約 10% のモルタルを用いてこの方法で作成した供試体を約 20°C で所定の材令まで水中養生をしたのち、

表-7

	引張強度 (kg/cm²)					
	材令 28 日			材令 91 日		
上 部	16.3	14.3	15.5	21.3	20.9	21.9
下 部	15.7	13.9	16.1	20.9	22.5	23.2

上下に切断してそれぞれの引張強度を試験して比較したものであるが、供試体の上半部と下半部との間には、いちじるしい強度の差はみられない。

また、表-8 は同じ配合のモルタルで、膨張率だけを 3.4~16% の範囲で変えて、圧縮強度におよぼすモルタルの膨張量の影響を実験した結果であって、膨張量がかなり大幅に変化しても、この方法で作成したプレパックド コンクリート供試体の圧縮強度はあまり影響を受けていない。

これらの実験の結果は、この試験方法がモルタルの強度を試験する目的やモルタルの配合とプレパックド コンクリートの圧縮強度との関係を実験する場合に対して、きわめて適当な方法であることを示すものと考えられる。

(2) モルタルの配合がプレパックド コンクリートの強度におよぼす影響

プレパックド コンクリートの強度は注入用モルタルの配合と密接な関係があることは当然であって、砂の占める割合が小さい富配合のものほど強度は大きくなる傾向があることは周知の事実である。

したがって、モルタルの配合を設計する場合、所要の強度から S/C+F を選定することも一つの方法として実用されており、特にプレパクト コンクリートのように入用材料の性質および使用方法などが仕様されていて、ある配合比に対して所要のコンシステンシーを得るのに要する単位水量がほぼ一定している場合には適切な方法と考えられる。しかし、一般のプレパックド コンクリートの場合、単位水量はある配合比に対して必ずしも一定しないと考えられるから、単位水量の影響を考慮して配合を設計するほうがより合理的であると思われる。

図-20 は注入用モルタルの配合をいろいろに変えて、モルタルの C+F/W とプレパックド コンクリートの

圧縮強度との関係を実験した結果を示したものである。

供試体は、直径 22 cm、高さ 44 cm の円柱形で、モルタルの膨張を抑制しながら硬化させた。

図-20 によれば、F/C+F が一定ならば、圧縮強度と C+F/W とは直線的な関係にあつて、C+F/W が大きいほど強度は大きく、S/C+F を変えた場合も、S/C+F は一定にして水量だけを変えた場合もほぼ同一の直線になっている。

したがって、通常のコンクリートと同様の方法で、所要の強度からモルタルの W/C+F を実験によって求めることができるものと考えられる。

セメント量の多い富配合のモルタルほど単位水量は増大する傾向があるが、S/C+F=1.0~0.75 程度のモルタルで W/C+F=0.40 のものを得ることができるから、かなり高い強度のプレパックド コンクリートも製造できるものと思われる。

この実験で得られた強度は、材令 7 日で約 180 kg/cm²、28 日で約 300 kg/cm²、91 日では約 400 kg/cm² であつた。

(3) モルタルの膨張量がプレパックド コンクリートの強度におよぼす影響*

プレパックド コンクリートにおける注入用モルタルの膨張量に関しては数多くの研究がある。たとえば、C.A. Menzel²⁹⁾ はセメント量の約 0.018% 程度を Al 粉末の適当な混和量として得ており、ACI Committee 212³⁰⁾ は混和量の範囲を 0.005~0.02% としている。

また、粗骨材の骨組が強固に保持されていればモルタルの膨張量を相当に大きく選んできつつかえないことを述べた報告²⁷⁾もある。

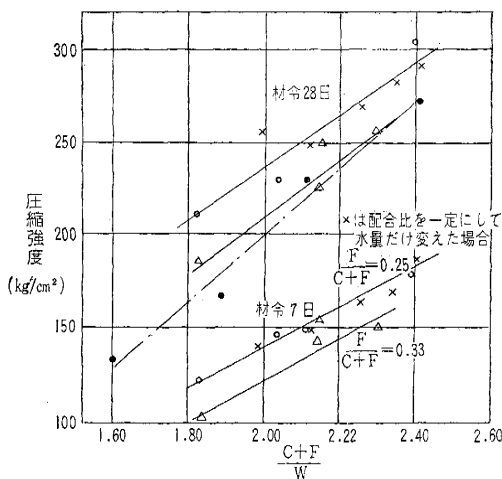
プレパクト コンクリート一般仕様書⁴⁰⁾では、練り混ぜ後 3 時間を経過したときのモルタルの膨張量を 9~15% と規定している。

しかし、混和材料としてイントルージョンエイド、アルフェシルを仕様書にしたがって用いるプレパクト工法と異なり、プレパックド コンクリートでは、通常の場合、使用する混和材料の種類および性質、ならびに使用量が一定していないので、膨張量についてはまだ不明の点も多く残っている。

そこで、モルタルの膨張量を膨張がほとんど停止したときの値で表わすこととして以下の実験を行なった。

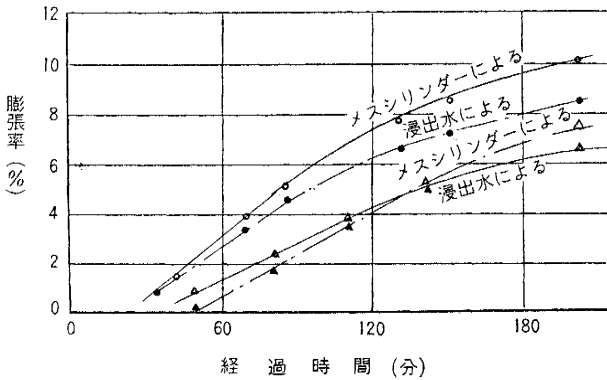
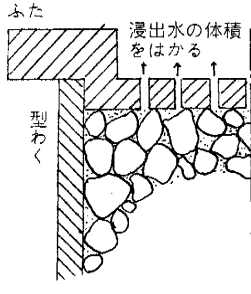
モルタルの膨張を測定する方法として、通常 1000 cc のメスシリンダーにモルタルを約 800 cc とり、時間の経過ともなう容積変化を測定する方法がとられている。このようにして測定されたモルタルの膨張状況と粗骨材の空げきに注入されたモルタルの膨張状況とが同じものであるか否かを確かめるために、粗骨材を充填した φ15 cm × 30 cm の型わくにモルタルを注入し、図-21

図-20 モルタルの C+F/W とプレパクト コンクリートの圧縮強度との関係



* 一部第 16 回年次講演会で発表

図-21



のようなふたをとりつけてモルタルの膨張を拘束しておき、上に浸出した水の体積から膨張量を求める実験を行った。

図-21 は、その結果をメスシリンダーで測定したモルタルの膨張率と比較したものであるが、これら2つの測定結果はほぼ一致している。すなわち、モルタル中における Al 粉末の反応は、モルタルが粗骨材の空げきに注入されてもあまり影響を受けないことを示している。

それゆえ、高い水圧などが加わる 特別な場合を除けば、適当な温度条件でメスシリンダーを用いて測定したモルタルの膨張量は、粗骨材の空げきに注入されたモルタルの膨張量に近い値を示すものと思われる。

前述の表-8 に示した実験結果によれば、モルタルの膨張を抑圧した場合には膨張量がかなり広範囲にわたっ

表-8

モルタルの膨張率	σ_{28}	σ_{91}
3.4 %	223	305
5.4	201	297
7.5	230	310
10.0	205	290
10.5	210	300
12.7	201	263
13.5	212	297
13.9	226	305
15.1	208	304
16.0	206	295
平均値	212	297

て変化しても、プレパックド コンクリート 供試体の圧縮強度に対してはあまり影響が現われていない。

そこで、圧縮強度試験後、供試体の破壊面の状態や粗骨材とモルタルとの付着におよぼすモルタルの膨張量の影響も観察できるように、同時に骨材の粒度、粒形の不均なども少なくなるように、清浄で粒径の一律なガラス球を粗骨材として用いてつぎの実験を行なった。

モルタルは、C:F:S=3:1:4, W/C+F=44% のものを用い、Al 粉末の混和量を 0~0.16 g/l の範囲で7通りに変えた。材令7日 (圧縮試験のときにガラス球が割れるほど強度が大きくなるため) における動弾性係数と圧縮強度を試験した結果を 図-22 に示す。

これによると、圧縮強度、動弾性係数はともに Al=0 の場合にもっとも低く、Al 粉末を0.02 g/l 程度のごく少量混和することによりいちじるしく増大している。

破壊面は、写真-1 に示すように Al=0 では水平に近く、ガラス球の下側におけるモルタルの付着が不十分であったことが観察されたのに対して、Al 粉末量が 0.04 g/l 以上の供試体の破壊

図-22

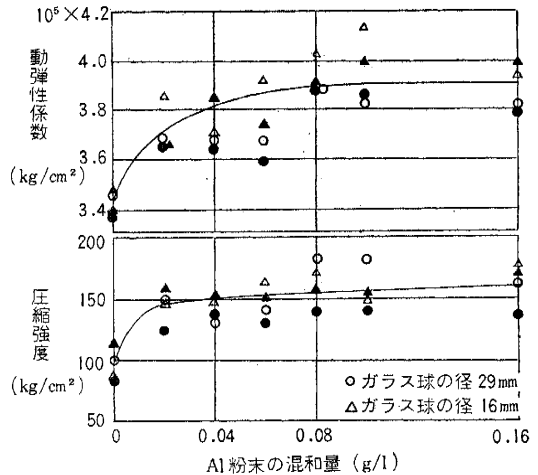
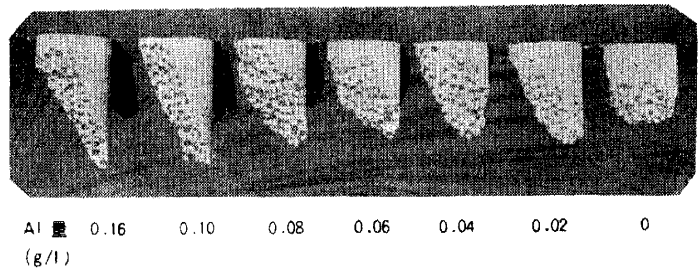


写真-1

圧縮試験後の上半部

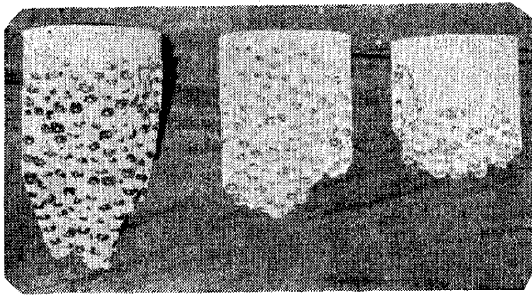


面は傾斜が急で、ガラス球の下側には上側と対称的にモルタルが固着していた。

このことは、注入用モルタルに 0.04 g/l 程度の少量の Al 粉末を混和することによって、プレパックド コンクリートの品質がいちじるしく改善されることを示している。

Al 量を 0.08 g/l (膨張量 5~6%) 以上 0.16 g/l まで増しても圧縮強度、動弾性係数にはあまり変化がみられないが、膨張量が増すとガラス球の側面が洗ったようにきれいになる現象が現われており (写真-2)、膨張量のかかなり大きいモルタルが、注入用モルタルとして適当であるか否かはむずかしい問題であると思われる。

写真-2



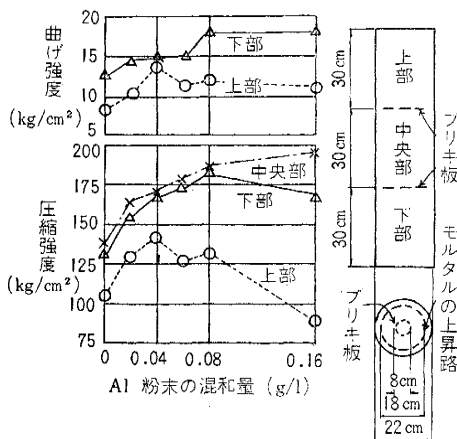
Al 量 0.16 0.02 0

膨張量が粗骨材とモルタルとの付着におよぼす影響について、なお、つぎのような実験を行なった。

すなわち、φ22 cm × 90 cm の型わくを用い、1 1/8" ~ 1/2" の砂利を粗骨材として、底面から 30 cm, 60 cm の位置に、ブリキ円板を水平におき、上面での膨張抑制をせずに供試体をつくり、ブリキ板の下面における付着の良否を曲げ試験により調べた。さらに、その破折片にキャッピングを施して圧縮強度を試験した。

図-23 は実験の結果を示したものであって、Al 量が増すと強度も増大し、Al = 0.08 ~ 0.16 g/l (膨張量約 5 ~ 11%) ではほとんど一定になっており、図-22 の場

図-23



合と同じ傾向を示している。ただ上部の圧縮強度だけは Al 量が 0.04 g/l 以上になっても増大せず、0.08 g/l 以上になると急激に低下している。すなわち、上部の強度を増大させるのに有効な Al 粉末の混和量の範囲は、かなり限局されている。モルタルの膨張を抑制しないで硬化させた φ15 cm × 30 cm 供試体の圧縮強度も、Al 量が大きくなると急激に低下するから、モルタルの適当な膨張量は、施工時の条件によって異なるものと考えられる。特に最上層部に注入するモルタルの Al 量を定める場合には、慎重な検討が必要であると思われる。

以上の実験の範囲では、注入用モルタルの Al 量は通常の場合、膨張量 5~10% 程度を目安にして定めてよいと考えられるが、モルタルの膨張量についてはなお研究の必要があるものと思われる。

(4) プレパックド コンクリートの圧縮強度と材料費との関係

使用材料の単価が一定の場合、プレパックド コンクリート 1 m³ あたりの材料費はモルタルの配合と粗骨材の空げき率とによって異なり、粗骨材の空げき率を e 、モルタル 1 m³ の材料費を p_m 、粗骨材 1 m³ の価格を p_g とすると 1 m³

あたりの材料費 P

は $P = p_g + e p_m$ である。粗骨材の空

げき率は粒度や充填方法によって相

当に変わり、空げき率が 1% 小さく

なると材料費は

0.01 ($p_m - p_g$) 円

減少する。 p_m を

概算すると (表-

9) 富配合の場合

で約 6 420 円、貧

配合の場合で約

5 150 円程度で、

p_g を約 200 円と

すれば空げき率が

1% 小さくなると約 0.7~0.6% 材料費が軽減されること

になる。

図-24 は粗骨材の空げき率を 40% と仮定して求めた

材料費と圧縮強度との関係を示したもので、粗骨材の最大寸法 40 mm、スランプ 4~6 cm の通常のコンクリートについて求めたものと比較した。

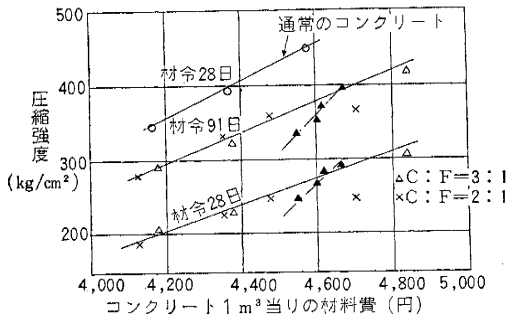
これによれば、材令 28 日における通常のコンクリートと同じ強度を材令 91 日のプレパックド コンクリートで得るためには、材料費が 10% 弱、増大する。たとえば、350 kg/cm² の強度を得るのに要する材料費は、通

表-9 モルタルの材料質

配 合	所要量 単 価 金 額	C:F:S =3:1:4 W/C+F =43.5%	2:1:4.5 W/C+F =54.6%
		C	0.638 t 6 800円 4 340円
F	0.213 t 5 000円 1 075円	0.223 t 5 000円 1 115円	
S	0.563 m³ 950円 535円	0.670 m³ 950円 637円	
分散剤	所要量 2.13 kg 単 価 210円 金 額 447円	1.67 kg 210円 351円	
Al 粉末	所要量 0.1 kg 単 価 250円 金 額 25円	0.1 kg 250円 25円	
合 計	6 422円	5 158円	

価格は建設資材月報 (1963.2) による

図-24 材料費と圧縮強度との関係



常のコンクリートの場合約 4 200 円、プレパクト コンクリートの場合約 4 500 円になっている。

このように材料費と強度との関係では通常のコンクリートのほうがいくぶんまっさっているが、これは注入用モルタルにフライアッシュがセメント量の 25~35% 用いられていることによるもので、長期強度の増進がいちじるしく、耐久性が大きいという利点や練り混ぜ、運搬の設備費、水中構造物の場合の締切費など諸経費が軽減されることを考えると、プレパクトド コンクリートは適切に用いられればきわめてすぐれた工法であるといえる。

なお、図の鎖線は、配合比が一定で単位水量が異なる場合についての材料費と強度との関係であって、当然のことではあるが、注入に適したコンシステンシーが得られる範囲でできるだけ水量の少ないモルタルを用いるのが経済的であることを示している。

5. プレパクトド コンクリートの打上り面付近における強度の低下について

高さ 1 m 程度のプレパクトド コンクリートの試験ブロックから採取したコアの試験結果には^{19), 29), 41)}、上半部の強度が下半部の強度よりも低いものが多くみられる。筆者がさきに行なったプレパクトド コンクリート構造物に対する簡単な試験 (テストハンマーによった) においても、また実験室で作成した柱状体においても同じ傾向がみられた²⁹⁾。

このような傾向が好ましくないことはいまでもないが、プレパクトド コンクリートにおいてはかなり起こりやすい現象であると思われるので、構造物について、コアによる試験を行なってこれを確かめ、原因を調べるための実験を行なった。

(1) 構造物についてのコアによる試験

試験を行なった構造物は電源開発 K K 若松火力発電所建設工事の一部である プレパクトド コンクリート護岸であって、コアを採取したブロックの形状寸法およびボーリングの位置は 図-25 のとおりである。

使用材料の性質は 表-10 のとおりである。

ミキサは容量 200~250 l、上下 2 段に 2 枚ずつの

図-25

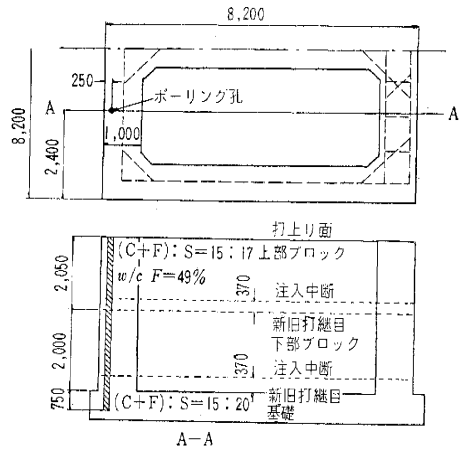


表-10 使用材料の性質

三菱C種フライアッシュ セメント

比重	粉末度 (cm²/g)	凝結		安定性 没水法 煮沸法	軟練りモルタル フロー (mm)	曲げ強度 (kg/cm²)		圧縮強度 (kg/cm²)					
		始発 (時分)	終結 (時分)			3日	7日	28日	3日	7日	28日		
2.83	3 560	1.0	2-47	3-57	良	良	237	31.3	44.1	63.4	131	207	357

遠賀川産川砂

比重	吸水量 (%)	粒 度				粗粒率
		ふるい (mm)	0.6	0.3	0.15	
2.58	1.24	留まる%	0.5	7.8	92.9	1.12

く拌翼があり、かく拌速度は 100~120 rpm、練り混ぜ時間は約 2 分間で、ピストン式の注入ポンプで、120 m の距離を輸送して約 40 l/min の速度で注入した。

コア採取時における材令は、下部ブロックで 8 週、上部ブロックで 4 週で、この間の平均海水温度は約 20°C であった。

コアの形状、位置、単位容積重量および圧縮強度を 表-11 に示す。

コアはカッターを用いて整形し単位容積重量を測定したのち上下面にキャッピングを施して圧縮強度を試験した。試験時における材令は上部ブロックで 3 月、下部ブロックは 4 月である。

コアの採取にあたってはブロックの打継目および注入中断部 (型わくの継目からモルタルがもるのを防ぐための措置) でコアが破折しないように注意したが打継目をふくんだコアの採取には失敗した。これは打継目や注入中断部が弱点になりやすいことによるものと推定される。注入を中継して打継目をつくるとコアを採取する際にほとんどその部分で破壊したことを 0.3 m x 1.2 m x 1.2 m の試験ブロックを用いた実験で認めた報告⁴¹⁾もあって、一度注入を始めたならモルタルが粗骨材充填層の最上部に達するまでは極力注入を中断しないようにするこ

表-11 コアの試験結果

採取日	No.	コアの形状	位置	圧縮強度 (kg/cm ²)	単位容積重量 (kg/m ³)
6.27	1	上部ブロック	上部ブロック	222	2 341
6.28	2			148	2 316
6.29 6.29	3 4			315	2 347
6.30	5	打継	打継	290	2.370
6.30	6			272	2 351
7.1	7	下部ブロック	下部ブロック	278	2 339
				260	2 344
7.1	8	打継基礎	打継基礎	358	2 388
7.1	9			273	2 370
7.1	10			2 359 2 367	
7.1	11	打継基礎	打継基礎	126	2 351
				平均	平均
				268	2 351

とが望ましいと思われる。

表-11 をみると、下部ブロックの打上り面付近約 50 cm の部分はコアの採取ができず、粗骨材のみが採取されている。また上部ブロックの上半部の強度は下半部の強度よりもかなり小さい。すなわち連続的な注入作業によってつくられた部分のうちで打上り面付近の強度がもっとも小さくなる傾向がみられる。

したがって、上層部に注入するモルタルの性質や、施工方法についての検討を要するものと思われる。

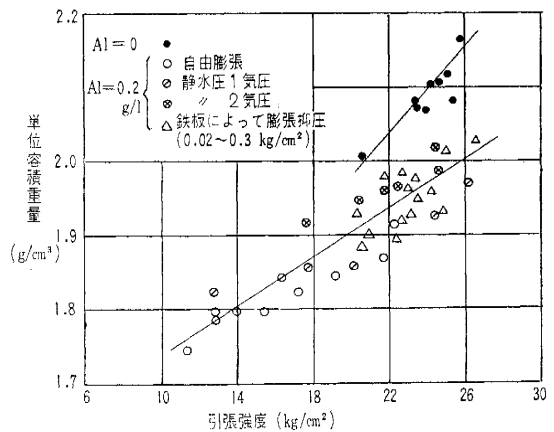
(2) 打上り面付近における強度低下の原因

注入用モルタルでつくった柱状体においても、プレパックド コンクリートの柱状体と同様、上部と下部とでは強度にさうとうの差があり、強度の低い上部では単位容積重量も小さいことが認められた(既報²⁹⁾)。そこで C:F:S=2:1:4.5, W/C+F=0.54 のモルタルで、Al 量、膨張の抑制方法および抑制の強さを変えて、直径 5 cm, 高さ 10 cm と 40 cm の柱状体をつくり試験時に高さ約 5 cm に切断しておおのの単位容積重量と引張強度を試験してこれを確かめた。

図-26 に示した実験結果をみると、Al 粉末を混和した場合と混和しない場合とをわけて考えれば単位容積重量が大きいものほど強度も大きくなっている。

したがって、モルタル柱状体の上部において単位容積重量の減小する原因(ブリージングなどによるモルタルの配合の変化とモルタルの空気量の差とが主要なものと考えられる)と、プレパックド コンクリートの上層部における強度の低下現象とはかなり密接な関連があるも

図-26 引張強度と単位容積重量との関係



のと推定される。

そこで、まず φ22 cm×90 cm のプレパックド コンクリート柱状体をつくり、注入完了後約5時間経過したときに柱状体の上部、中央部、下部について洗い分析試験を行なってモルタルの配合の変化を調べた。

モルタル注入時には、上ぶたによって粗骨材の浮上りを防ぎ、注入完了直後に取りはずした。

図-27 は各部分の W/C+F, S/C+F を、Al 量 0, 0.04, 0.08, 0.16 (g/l) の4つの場合について求めたものである。

実験の際、セメントとフライアッシュとをわけることができないの

で、モルタルを練り混ぜる時のCとFとの比から求めた(C+F)の平均の比重を用いて試験の結果を処理した。それゆ

え 図-27 に示した実験結果は必ずしも厳密ではないが、傾向は知ることができるものと思われる。

図-27 によれば、上部では中央部および下部に比較して W/C+F, S/C+F がかなり大きくなっていて、上部のモルタルの品質が相当に低下したことを示している。そして、上部の W/C+F は Al 量の影響を受け、Al 量の多いほど W/C+F の増大はいちじるしくなっている。

表-12 は、モルタルの注入が完了した後も上ぶたをそのままにしておいてモルタルの膨張を拘束した場合の実験結果を示したものであって、上ぶたによって上部のモルタルの W/C+F の増大が防がれたことがわかる。しかし S/C+F の増大に対してはほとんど効果がみられな

図-27

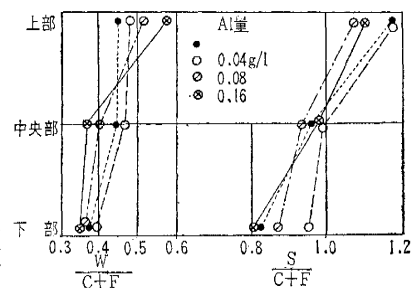


表-12

打上り面 からの 深さ (cm)	膨張抑制 の有無	W/C+F			S/C+F		
		Al 粉末量 (g/l)			Al 粉末量 (g/l)		
		0.04	0.08	0.16	0.04	0.08	0.16
0~10	無有	0.49	0.51	0.57	1.17	1.07	1.10
	無有	0.48	0.45	0.46	1.08	1.12	1.18
40~50	無有	0.45	0.39	0.36	0.98	0.93	0.97
	無有	0.42	0.40	0.40	0.94	0.94	0.94
80~90	無有	0.38	0.35	0.35	0.95	0.87	0.81
	無有	0.38	0.39	0.39	0.87	0.87	0.87

い。

この実験の結果は、打上り面付近における強度の低下を防ぐためには、モルタルの膨張量を適当にし、上ぶたなどによってモルタルの膨張を抑制するような処置を講じるとともに、上層部に注入するモルタルは下部のモルタルよりも富配合のものにすることが望ましいことを示すものと考えられる。

つぎに、上部と下部とにおける空気量の差の原因として考えられるものは、上下部での圧力差による膨張量の差と、気泡の上昇であると思われる。

まず圧力がモルタルの膨張におよぼす影響をメンゼル型の空気量試験器を利用して実験した。

試料を試験器にとってその上に静かに水をそそぎ、ポンプで所定の圧力を加えた。

時間の経過ともなう水位の上昇を、空気量を読みとる目盛を利用して求め、試料の膨張量を得た。なお水位の上昇によって所定の圧力より高くならないように排気して圧力を調整した。温度は 23°C である。

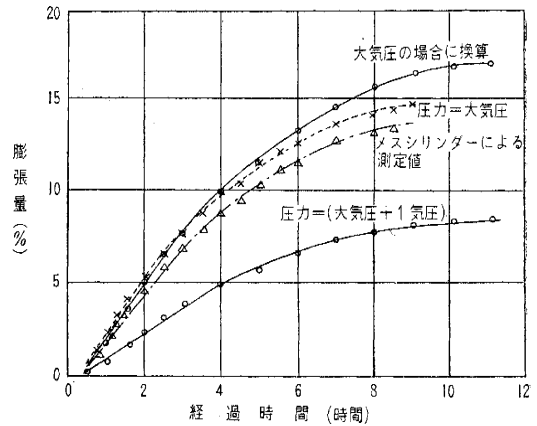
図-28 は実験結果の一例を示したもので、圧力が(大気圧+1気圧)の場合の膨張量は大気圧の場合およびメスシリンダーで測定した膨張量の約 1/2 となっている。すなわちモルタルの膨張量と圧力との間には気体法則が成り立っていると考えられる。

粗骨材の空げきに注入されたモルタル中の気泡の圧力は、間げき水の圧力に近いと思われるが、モルタルがまだやわらかい間はモルタルの重量による圧力を受けるものと仮定すれば、高さが 1 m のときの上下での圧力差は約 0.2 気圧である。大気圧下におけるモルタルの膨張量を 10%、粗骨材の空げき率を 40% とすると、コンクリートの空気量の差は 0.7% 程度となり、上下での強度差の主要な原因になることは考えられない。

また、気泡は固体表面に付着する傾向があるから、モルタル中の気泡は簡単に上昇するとは思われないが、膨張量約 10% のモルタルでつくった柱状体を縦に切断してみたところでは、上部に特に気泡の分布が多いというわけではないようであった。

以上の諸実験の結果によれば、プレパックドコンクリートの上層部における強度低下の主因は、上層部のモ

図-28



ルタルの W/C+F, S/C+F が増大して品質が低下することにあるものと思われる。

したがって、すでに述べたように、モルタルの膨張量、配合、施工方法などに留意して、できるだけ均等質のプレパックドコンクリートを施工することが望ましいと思われる。

なお、以上のような配慮をしても、入念に施工された通常のコンクリートに比較して品質の均等性において劣るものと思われるので、所要の強度からモルタルの配合を設計する場合の割増し係数は、通常のコンクリートの場合よりも大きくとるほうが安全であると考えられる。

6. 結 論

プレパックドコンクリートの施工方法について基礎的な研究を行なった結果、いまだ解決することのできない問題を相当に残しているが実験を行なった範囲で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もっとも重要な成分は注入用モルタルであって、粗骨材の空げきに十分にゆきわたり、硬化後、粗骨材と一体化して所望の強度のコンクリートが得られるものでなければならないが、国産の混和材料を適当に用い、適当な方法で練り混ぜたモルタルはこのような要件をみたすことが実証された。

(2) セメントペーストと Al 粉末との反応は侵食反応であると考えられ、反応の前半は直線的に進行し後半は対数曲線的に進行する。対数曲線の形は直線部分の進行速度 α によってほぼ定まり、 α を反応の遅速を表わす指標と考えることができる。

(3) Al 粉末の反応速度は、温度、セメントの種類、混和材料などによって影響される。

α と温度の間には $\log \alpha = a - b/T$ が成り立ち、セメントによっては 15°C 以下の低温時に Al 粉末の反応がいちじるしくおそくなるが、これは、セメントのタイプよりも液相の $[\text{OH}^-]$, $[\text{SO}_4^{2-}]$ に密接な関係があると

考えられる。それゆえ、寒冷期の工事では使用セメントに対して通常の試験のほかに、AI の反応に対する性質の試験も必要な場合があると思われる。ポゾリスおよびフライアッシュは、AI 粉末の反応を抑制する作用を示し、これらの混和材料を適切に用いれば、夏期の工事においても、モルタルの膨張が短時間で停止するおそれは少ないと思われる。

(4) 性能のよいミキサを用いれば、短時間、たとえば5分間くらいで十分な練り混ぜ効果が得られるから、適当なミキサを選定することによって作業能率を高め、工期を短縮できる場合もあると思われる。

ミキサの性能はかく拌速度と密接な関連があって、ある限度まではかく拌速度が大きいほど練り混ぜの効率はよくなるが、限度以上に大きくしても動力費、設備費が増大するばかりで効率はそれ以上よくなる。またモルタルの温度が上昇するなどの悪影響も考えられるので、ミキサを設計する場合にはかく拌速度についての検討が重要であると思われる。

(5) プレパックド コンクリートの強度は注入用モルタルの $C+F/W$ と直線的な関係があることが確かめられた。したがって通常のコンクリートの場合と同様に、所要の強度から注入用モルタルの配合を合理的に設計できるものと思われる。

(6) プレパックド コンクリートの強度は注入用モルタルの膨張量によって影響され、適当な膨張量は場合によって異なるものと思われる。したがって AI 粉末の混和量は適切な実験を行なって定めることが望ましいが、筆者の行なった実験の範囲では、通常の場合、5～10% 程度を目安にしてよいと考えられる。

(7) プレパックド コンクリートは打上り面付近の品質が下部よりも低下しやすいことが確かめられた。最上層部の施工にあたっては下部よりもモルタルの配合を富にし、膨張量も過大にならないように設計するとともに、打上り面から加圧してモルタルの膨張にともなってモルタル中の水がしぼり出されるようにするなど、施工方法に配慮を要するものと思われる。

このようにしても、なお品質の均等性においては、急に施工された通常のコンクリートと比較して劣るものと思われるので、所要の強度からモルタルの配合を設計するときの割増し係数を通常のコンクリートの場合よりもいくぶん大きくとるほうが安全であると思われる。

(8) プレパックド コンクリートの注入用モルタルにはフライアッシュがさうとう多量に用いられるので、短期強度は通常のコンクリートよりも劣るが、長期強度の増進がいちじるしい。したがって、91日強度を配合設計の基準にとれば、材料費は通常のコンクリートにくらべてあまり増大しない。したがって、この工法を適用

することによって締切り、練り混ぜ、運搬などに要する費用が大幅に節減され、かつ長期強度が十分に利用できる工事に対してはきわめてすぐれた工法であると考えられる。

参考文献

- 1) Davis, R.E. 外2名: Restoration of Barker Dam, ACI Journal, 1948.
- 2) Keatts, B.D., J.W. Kelly: Two Special Methods of Restoration and Strengthening Masonry Structures, ACI Journal, 1946.
- 3) Keatts, B.D.: The Maintenance and Reconstruction of Concrete Tunnel Linings with Treated Mortar and Special Concrete, ACI Journal, 1947.
- 4) Davis, R.E. 外2名: Kemano Penstock Tunnel Liner Backfilled with Prepacked Concrete, ACI Journal, 1955.
- 5) Davis, R.E., C.E. Haltenhoff: Mackinac Bridge Pier Construction, ACI Journal, 1956.
- 6) Baumann, Paul: Use of Prepacked Aggregate Concrete in Major Dam Construction, ACI Journal, 1948.
- 7) Corps of Engineers, U.S. Army: Investigation of the Suitability of Prepacked Concrete for Mass and Reinforced Concrete Structures. Technical Memorandum No. 6, 1951.
- 8) Davis, R.E.: Prepacked Method of Repair, ACI Journal, 1960.
- 9) Klein, A.M., J.H.A. Crockett: Design and Construction of a Fully Vibration-Controlled Forging Hammer Foundation, ACI Journal, 1953.
- 10) Witte, L.D., J.E. Backstrom: Properties of Heavy Concrete Made with Barite Aggregate, ACI Journal, 1954.
- 11) Davis, H.S. 外2名: Properties of High-Density Concrete Made with Iron Aggregate, ACI Journal, 1956.
- 12) 板倉・菅原・館谷・和田: イントリエーション プリパクト工法に関する基礎的研究, セメント技術年報, 1953.
- 13) 樋口: Intrusion-Prepacked 工法, 鉄道技術研究所中間報告, 1953.
- 14) 三浦: プレパクト コンクリート, 新材料と新工法, 1954.
- 15) 永倉・村野: 注入コンクリート試験報告, 電研所報 Vol. 5, No. 3, 4, 1955.
- 16) 電力技術研究所: 「プレパクト コンクリートに関する実験報告, 電力技術研究所報告, 1955.
- 17) 樋口: 注入コンクリート, 鉄道技術研究所中間報告, 1954.
- 18) 大槻・三浦・島田・近藤: 伏流水中の注入コンクリート, 鉄道技術研究所資料, 1957.
- 19) 近藤: 注入コンクリート用モルタルの諸性質, 鉄道技術研究所中間報告, 1957.
- 20) 樋口: セメント注入用ガス発生剤としてのアルミニウム粉末の有効度におよぼす酸化ならびに温度の影響, 鉄道技術研究所速報.
- 21) 樋口: セメント注入用混和材料としての各種アルミニウム粉末の比較試験, 鉄道技術研究所速報, 1958.
- 22) 樋口・杉山: グラウトのコンシステンシー測定方法について, 鉄道技術研究所速報, 1959.
- 23) 樋口: セメント注入用混和材料としての各種ボゾランの比較試験, 鉄道技術研究所速報, 1959.
- 24) 久保・水野・藤倉: プレパックド コンクリートの型枠におよぼす側圧について, 土木学会年次学術講演会, 1959.
- 25) 久保・藤倉: プレパックド コンクリートの強度推定に

- ついて、土木学会年次学術講演会、1959.
- 26) 久保・藤倉・笠原：プレバクド コンクリートにおける粗骨材粒度と圧縮強度について、土木学会年次学術講演会、1960.
 - 27) 樋口・西郷・杉山：プレバクド コンクリートの強度、鉄道技術研究所速報、1960.
 - 28) 岩崎訓明：プレバクド コンクリートの強度について、セメント技術年報、1961.
 - 29) 海保：プレバクド コンクリート施工および品質管理の一例、セメント コンクリート、No. 104, 1955.
 - 30) 海保：セメント コンクリート、No. 110, 1956.
 - 31) 関・永倉：七宗ダム修繕工事（水中プレバクド コンクリートについて）、電研所報、Vol. 6, 1956.
 - 32) 阿部：プレバクド コンクリート工事の現況、土木学会誌、41 巻7号、1956.
 - 33) 西松・岡本・高橋：プレバクド コンクリート及び其の応用、理工図書、1958.
 - 34) 土橋：プレバクド コンクリートの品質管理とけい船岸の設計・施工の合理化におよぼすその影響、セメント コンクリート、No. 189.
 - 35) ACI Committee 212: Admixtures for Concrete, ACI Journal, 1954.
 - 36) cf. 広田 著：反応速度、共立全書.
 - 37) 永井・貞鍋：セメント ペーストについて、セメント技術年報、1954.
 - 38) cf.: プレストレスト コンクリート設計施工指針、土木学会、1961.
 - 39) Menzel, C.A.: Some Factors Influencing the Strength of Concrete Containing Admixtures of Powdered Aluminium, ACI Journal, 1943.
 - 40) General Specifications for Prepak Concrete.
 - 41) Riffle, H.C.: Bond Efficiency between Lift of Prepacked Concrete, Bureau of Reclamation, Laboratory Report No. C-603, 1952.

(原稿受付：1963.3.18)

昭和38年度土木学会論文集編集委員

委員長	奥村敏恵	副委員長	吉川秀夫	委員	玉野治光	委員	増田重臣
委員	安芸周	委員	栗林栄一	委員	土肥正彦	委員	三木五三郎
〃	赤井浩	〃	小池力	〃	中川博次	〃	村上良丸
〃	伊藤学	〃	小寺重郎	〃	中瀬明男	〃	村田二郎
〃	池田睦治	〃	後藤圭司	〃	林正夫	〃	八木田功
〃	池守昌幸	〃	佐武正雄	〃	久武啓祐	〃	山根益
〃	大沼徹	〃	杉木昭典	〃	藤田嘉夫	〃	箭内寛治
〃	岡内功	〃	鈴木雄太	〃	堀井健一郎	〃	山崎徳也
〃	岡田宏男	〃	鈴田宏行	〃	堀川清司	〃	吉田巖
〃	神光茂	〃	多田恒彦	〃	西尾元充	幹事	西脇威夫
〃	倉西茂	〃	建部恒彦				

昭和38年10月15日印刷
昭和38年10月20日発行

土木学会論文集 第98号

定価150円(〒20円)

編集兼発行者 東京都新宿区四谷一丁目 社団法人 土木学会 羽田巖
印刷者 東京都港区赤坂溜池5 株式会社 技報堂 大沼正吉

発行所 社団法人 土木学会 振替東京 16828 番
東京都新宿郵便局区内 新宿区四谷一丁目 電話(351)代表 5138 番

MARUI

短時間 厚さ及び構造物の弾性係数が判定 できる

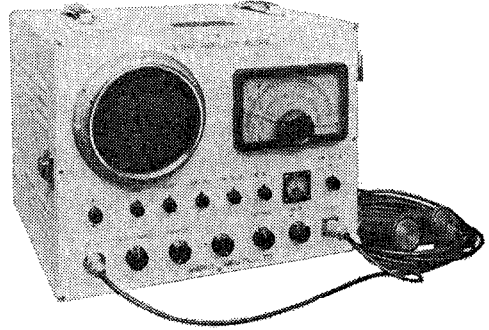
- ① 時間の節約になります (時代に即応)
- ② 正確な判断の参考資料となります
- ③ 無破壊で常に測定出来ます

用途

- 型枠取除き判定 (経済助力となる)
- タム・コンクリート等の品質管理
- 道路隧道の厚さ及ボイドの判定
- コンクリートの経年変化・強度の推定等

営業品目

セメント・コンクリート・土質・アスファルト
水理各試験機・無破壊試験器・計量器・各種材料試験機



超音波反射測定器



株式会社

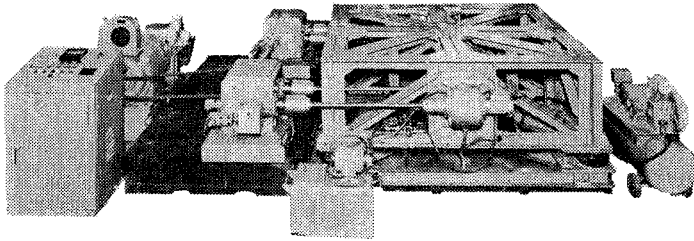
丸井製作所

本社
東京出張所

大阪市城東区蒲生町4ノ10番地
電話 大阪 (931) 3541番 (代表)
東京都港区芝田村町5ノ4番地(吉田ビル)
電話 東京 (431) 7563番

大型松平式振動試験機

UB-2000A型



日本大学建築学科納入品

その他の製品

振動衝撃試験機、三元振動試験機、砂・鉛式衝撃試験機、高衝撃試験機、加速度試験機、ゴム振動試験機、ゴム疲労試験機など

- ◆重量1トン以下の構造物または構造物模型の振動試験に最適。
- ◆一般振動試験のほか、防衛庁規格・MIL規格などの試験もできる。
- ◆全振幅0～約2mm、振動数600～3300cpmの範囲で、振動中にも連続して変化できる。
- ◆4個の不平衡重錘を使い、不要分力の釣合いをとっているので、振動波形がきれいで騒音も小さい。
- ◆加振力作用線変更装置により、大型振動試験機に起こりがちな横揺れがない。
- ◆空気圧縮機と高さ調節弁の使用により、振動盤の高さが常に一定に保たれる。
- ◆押ボタンで振動方向が垂直・水平いずれにも簡単に切り換えられる。

本社 東京都千代田区神田神保町1-63
電話 (291) 2884 (代表)

伊藤精機株式会社

昭和三十七年五月二十八日第三種郵便物認可
 昭和三十三年十月二十五日印刷
 (毎月一回二十日発行)

土木学会論文集第九十八号

定価百五十円

長い線でも
 同じ細さに

かき始めも 先端がくずれない
 途中でかき減りが少ない

6H→6B14硬度 1ダース ¥600

uni



三菱鉛筆

ウノサワポンプ・ブロワ

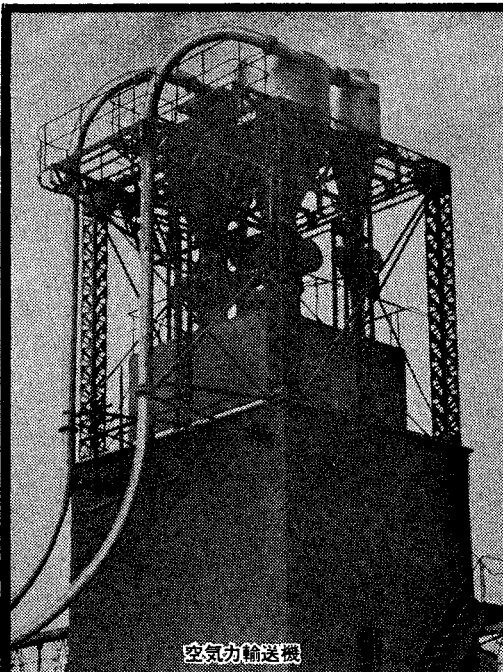
← **ウノサワ空気力輸送機**
 各種粉粒体の輸送・真空圧送型および併用型

ウノサワ・ルーツブロワ ↓
 小型から大型まで生産・各種工業の空気源
 真空ポンプおよび密閉軸封装置付特殊ガス用

UJW

製作品目
 ルーツブロワ
 真空ポンプ
 給水ポンプ
 暖房真空ポンプ
 空気力輸送機

V-R型ルーツブロワ



株式会社 **宇野沢組鉄工所**

本社/渋谷工場 東京都渋谷区山下町6-2 電話東京(44)2211(代)
 玉川工場 東京都大田区矢口町9-4-5 電話東京(738)4191(代)
 大阪出張所 大阪府北区曾根崎新地3の12(不動ビル内) 電話大阪(361)0684