

# プレパクトコンクリートの側圧に関する一研究

奥村 忠彦

黒田 正信

(土木設計部)

吉原 重紀

(土木技術部)

## § 1. まえがき

プレパクトコンクリートは従来、水中コンクリート、補修・補強用コンクリート、しゃへいコンクリートなど広範囲に用いられてきたが、最近では大型の海洋構造物にも応用されるようになった。その結果、型枠も大型化するために従来ではあまり問題にならなかった型枠の経済的設計方法が問題となり、外力としてのプレパクトコンクリートの側圧の算定方法が重要な課題の一つとして取り上げられるようになった。

プレパクトコンクリートの側圧に関して、今日までに馬場氏<sup>1)</sup>、久保氏<sup>2)</sup>、赤塚氏<sup>3)</sup>、久富氏<sup>4)</sup>、本州四国連絡橋公団<sup>5,6,7)</sup>、桜井氏<sup>8)</sup>によって実験的な研究がなされてきたが、側圧が各種の要因によって影響を受けるためにその解明は困難であり、実用的な側圧算定式は未だ確立されていない。

プレパクトコンクリートは、型枠に予め粗骨材を投入し、粗骨材の間げきに注入モルタルを注入して造るコンクリートであるので、その型枠には粒状体の骨材圧および流体的な注入モルタル圧の2種の圧力が作用する。そのために、異質の2種の圧力を別々に算定しなければならない点、通常のコンクリートの場合と異なる点もある。

そこでまず、プレパクトコンクリートの側圧に関する研究の第一段階として、上述した2種の圧力のうち注入モルタルの側圧について研究を行なった。その結果、注入モルタルの側圧は温度、注入速度などの影響を受けるが、注入モルタルのせん断特性から実用上算定できることが明らかになり、その算定式も提案した<sup>9)</sup>。

次に、第二段階として、骨材圧および粗骨材の間げき中における注入モルタルの圧力について模型実験を行なって、骨材圧と注入モルタル圧の合成圧としてのプレパクトコンクリートの側圧について検討を行なった。

しかし、模型実験で用いた粗骨材は35~40mm砂利であって、この実験結果を大寸法の粗骨材を用いた場合に直

ちに適用するには問題があるので、大寸法の粗骨材を用いた既往の実測例を引用して、本実験結果と比較・検討した。

本文は、骨材圧および粗骨材の間げき中における注入モルタル圧に関する模型実験ならびに既往の研究を調査した結果に基づいて、プレパクトコンクリートの側圧について論じるとともに、一つの算定方法を提案したものである。

本文は、プレパクトコンクリートの側圧に関して現時点で集大成したものであり、今後、大型のプレパクトコンクリート構造物の型枠を設計する場合に有益な資料になりうるものと思われる。

## § 2. 既往の研究結果のまとめ

従来行なわれてきたプレパクトコンクリートの側圧に関する既往の研究の調査結果(表-1)に基づいて、側圧測定装置、骨材圧および注入モルタル圧について論じるとともに、現在までに提案されている側圧算定式を表-2に示す。

### 2.1 側圧測定装置について

プレパクトコンクリートの側圧は§1.にも述べたように、粒状体の骨材圧と流体的な注入モルタル圧の2種の圧力に分けられるので、側圧測定装置としてはこれらの圧力が測定できるものでなければならない。

表-1に示した既往の研究に用いられた側圧測定装置を分類すると次のようである。

#### A. 局所的な側圧を測定

- 土圧計
- 圧力計
- 液圧計

#### B. 比較的大きな受圧板に作用する側圧を測定

- ロードセルタイプ

著者	コンクリートの種類	施工場所		計測器	粗骨材				骨材圧			注入モルタルの使用材料									
		寸法(m)	型枠の内		型枠の外	種類	粒径(mm)	空け率(%)	比重	水中単位容積重量(t/m <sup>3</sup> )	骨材投入高さ(m)	実測値(t/m <sup>2</sup> )	土圧係数	セメント	フライアッシュ	細骨材	水	混相剤			
馬場他	1) 繊維プレキャストコンクリート	9.7×3.9×h5.325	ドライ	ドライ	液圧計	磁鉄鉱	10~100	41	4.82	—	—	—	—	—	普通ポルトランドセメント	フライアッシュ	砂	鉄	水道水	KG A	
赤塚	3) プレキャストコンクリート	11×8.8×h7.0	海水	海水	港研式圧力計	川砂利	25~100	39.9	2.67	1.00	1.57 3.10 4.57	2.28 2.41 4.19	0.925	東北開発 普通セメント ランドセメント	常盤 フライアッシュ	海岸砂	海	水	海水	イントルージョンエイト	
本四公団(2建)	5) No.21	φ3X 16.0	海水	ドライ	アンジションボルト	砕石	80~150	49.2	2.56	0.82	5.25	1.26	0.30	小野田 F.A.セメント B種	—	海砂 (F.M.L16)	海	水	海水	ポリスチレンA粉未	
	6) 4本同時	φ15X 15.0	水道水	土	ロードセルタイプ圧板	—	—	—	48.2	2.63	0.84	3.905	1.08	0.321	九州電力 高田発電所	F.M.L16	—	—	—	—	GF610 A 2
	6) 大規模	7×28 ×h15.0	—	—	—	—	—	—	48.2	2.63	0.84	4.00	1.14	0.34	—	—	—	—	—	—	
本四公団(3建)	7) φ600	プレキャストコンクリート	10×15×h16	海水	海水	φ600mm土圧計	砕石	80~150	42.6	2.65	0.92	—	—	0.34	日本セメント F.A.セメント B種	九州電力 黒崎工場	海砂 (F.M.L16)	海	水	水道水	イントルージョンエイト
	7) タイロッド	—	—	—	—	φ6×2.1mm受圧板	—	—	42.6	2.65	0.92	—	—	0.175	—	—	—	—	—	—	—

著者	注入モルタルの配合				注入モルタルの品質				注入速度		注入モルタル圧				注1) Pm=KtWmh Pm: モルタル圧(t/m <sup>2</sup> ) h=モルタル高さ(m) Wm: モルタル単位容積重量(t/m <sup>3</sup> ) 注2) σは標準偏差である。	
	W/C+F(%)	F/C+F(%)	S/C+F	1-A+C+F(%)	モルタル温度(°C)	フロー値(sec)	単位容積重量(t/m <sup>3</sup> )	3時間後(%)	m/hr	l/min	最大値到達時間(hr)	モルタル注入高さ(m)	実測値(t/m <sup>2</sup> )	注1) Kt		
馬場他	50	28.6	2.0	0.43	10	—	2.525	—	0.25	—	8~12	2.5	3.6 (測定値3.1)	0.57		
赤塚	53	37.5	0.938	1.0	10月10日~11日	—	2.00	—	0.25 0.44	—	6.0 4.5	1.5 2.0	1.4 1.56	0.47 0.39		
本四公団(2建)	5) No.21	49	20	1.0	Poz=0.25 A l=0.01 3月6日 気温15°C	15.0 (σ=1.5)	2.03	6.1	3.1	3.4	144	注入完了時	5.25	6.65	0.62	
	6) 4本同時	49	20	1.0	1.0	19	16.8 (σ=1.1)	2.05	8.3 (σ=2.0)	1.9 (σ=1.2)	0.60	—	8.0	3.905	1.99	0.485
	6) 大規模	47.5	20	1.0	1.0	24	16.9 (σ=0.9)	2.05	8.1 (σ=1.0)	1.7 (σ=1.3)	0.50	—	6.0	3.00	1.12	0.356
本四公団(3建)	7) φ600	50	20	1.0	1.0	31.5	17.0	2.04	8.55	1.91	0.364	—	2.92	1.06	0.91	0.42
	7) タイロッド	50	20	1.0	1.0	31.5	17.0	2.04	8.55	1.91	0.364	—	2.25	0.82	0.40	0.24

表-1 プレキャストコンクリートの側圧に関する既往の研究

項目	久富他 <sup>4)</sup>	赤塚 <sup>3)</sup>	奥村他 <sup>9)</sup>	ACI162委員会 <sup>10)</sup>	本四公団 鋼製ケーソン設計要領(案)
骨材圧算定式	$P_g = \frac{1}{3} Wgh$ (磁鉄鉱)	$P_g = (1+i) Wah$	—	$P_g = \frac{(1-\sin\phi)}{1+\sin\phi} Wgh$	$P_g = \frac{WgU}{1+\sin\phi} (1 - e^{-\frac{\mu kh}{U}})$ (ヤンセン式)
土圧係数Kg	0.333	1.6	—	砕石………0.172 砂利………0.217	—
注入モルタル圧算定式	—	—	$P_m = KmWmh'$ $Km = \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2}) - \frac{2C}{WmZ} \times \tan(45^\circ - \frac{\phi}{2})$	$P_m = 2.08 Rto$	$P_m = \left\{ 1 - 0.15 \left( \frac{h'}{Rto} \right)^{5.667} \right\} \times Wmh'$
合成圧(骨材圧+注入モルタル圧)算定式	$P_e = Wch' + 0.5(\text{重量プレキャストコンクリート注入完了後})$ $P_e$ : プレキャストコンクリートの側圧, 0.5: 膨張圧	$P_e = Wch' + Wa(h-h') + 1.4$ $W_e$ : プレキャストコンクリートの単位容積重量, 1.4: 膨張圧	—	骨材圧+注入モルタル圧(算術和)	骨材圧+注入モルタル圧(算術和)

表-2 既往のプレキャストコンクリートの側圧の提案式

- └─タイロッド式
- C. 型枠の変形から側圧を測定
  - └─テンションボルト
  - └─ダイヤルゲージ

粗骨材の圧力を測定するためには、粗骨材の寸法に対して十分大きな受圧面をもつB, Cタイプの測定装置が好ましいが、この方法は受圧面の剛性によって測定される圧力が相違すること、受圧面の高さが高く、かつ注入モルタルの注入速度がおそい場合には注入モルタル圧が平均化されるなどの欠点もある。一方、Aタイプの測定装置は小型のものが多く、注入モルタル圧を測定する場合には適しているが、粗骨材の圧力の測定には適当でないと思われる。

したがって、プレキャストコンクリートの側圧を測定する装置としては、以上のことを考慮して骨材圧と注入モルタル圧とを別々に測定する装置を用いることが望ましいものと思われる。

## 2.2 骨材圧について

粗骨材としては一般に砂利と碎石が用いられるが、よく使用される砂利の圧力の実測例は赤塚氏<sup>3)</sup>の場合のみである。赤塚氏による現場計測の場合、使用した砂利の粒度が25~100mmと大小粒が混合していたことも影響して、土圧係数 $K$ が0.925ときわめて大きかった。一般的にはもっと小さいものと思われる。

本州四国連絡橋公団では、大規模なプレキャストコンクリートの施工実験の一つとして80~150mmの寸法碎石を使用し、ロードセルタイプおよび土圧計によって実測した結果、土圧係数 $K=0.30\sim0.34$ を得ている<sup>5,6,7)</sup>。しかし、タイロッド式測定装置を用いた場合、受圧板の剛性が小さいために $K$ は0.175であった<sup>7)</sup>。

また、大規模注入実験の場合、型枠が7×28×高さ15mと高さが幅に比較して高いために、下部における圧力は上部とあまり変らない結果であって、サイロ効果が示されている<sup>6)</sup>。

骨材圧に関して既往の研究で提案されている算定式は表一2に示すようである。

## 2.3 注入モルタル圧

モルタルの注入によって増加する圧力を注入モルタル圧と呼ぶと、既往の研究における注入モルタル圧の実測値は表一1に示すようである。

注入モルタル圧は、通常のコンクリートの場合と同様に、モルタル温度、注入速度などによって大きな影響を受けるので、これらの要因を考慮しないと実測値の比較

要因		温度 (°C)	注入速度 (cm/hr)	粗骨材の寸法
実験の種類	Mシリーズ	1	16	30
		2	22	30
		3	30	30
		4	26	20
Gシリーズ		1	30	30
		2		
		3		
		4		

表一3 実験の組合せ

はできない。たとえば、側圧が最大値に達するときの流体圧と側圧との比 $K_m = P_m / W_m h$ をとると、表一1に示すように0.24~0.62の範囲であって、側圧の最大値は平均的に流体圧の約50%程度であることがわかる。

注入モルタル圧に関する従来の提案式は表一2のようであり、いずれも実験的に求められた式である。これらを比較・検討した結果、筆者らが提案した注入モルタルのせん断特性から算定する方法が実用的であることを報告している<sup>9)</sup>。

また、プレキャストコンクリートの側圧は表一2に示すように、骨材圧と注入モルタル圧との算術和としている提案式が多い。

## § 3. 試験方法

### 3.1 実験の組合せ

骨材圧および粗骨材の間げき中における注入モルタル圧を測定する模型実験として次の2シリーズ行なった。

Mシリーズ……モルタル温度、注入速度を変動要因として粗骨材の間げき中における注入モルタル圧および骨材圧を実測する。

Gシリーズ……粗骨材の寸法を4種に変えて、粗骨材の間げき中における注入モルタルの鉛直圧を実測する。

それぞれのシリーズにおける実験の組合せを表一3に示す。

### 3.2 使用材料

本研究で使用した材料は、プレキャストコンクリートに一般的に用いられている標準的なものとした。

セメントは日本セメント株式会社製の普通ポルトランドセメントを、フライアッシュは電発フライアッシュ

株式会社工場の用いた。

混和剤は、減水剤とアルミニウム粉末の両方の効果を備えた株式会社インテリジョンエイドを用いた。

細骨材は利根川産川砂で2.5mmふるいを100%通過するものを用いた。その試験成績は比重2.55、吸水量3.31%、単位容積重量1,556kg/m<sup>3</sup>、洗い試験1.43%、粗粒率1.72で、注入モルタル用として適したものであった。

粗骨材としてMシリーズの実験では35~40mmの山砂利を用いた。その試験成績は比重2.63、吸水量1.61%、単位容積重量1,580kg/m<sup>3</sup>、空げき率39.6%であった。Gシリーズの実験では、この他に20~40、40~80、80~150mmの碎石も用いた。

練りませ水は東京都上水道水とした。

流下時間の範囲 (sec)	水結合材比 W/(C+F) (%)	混和材率 F/(C+F) (%)	砂結合材比 S/(C+F)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
				W	C	F	S	混和剤
18±2	49.3	20.0	1.0	403	654	164	818	8.18

表-4 注入モルタルの配合

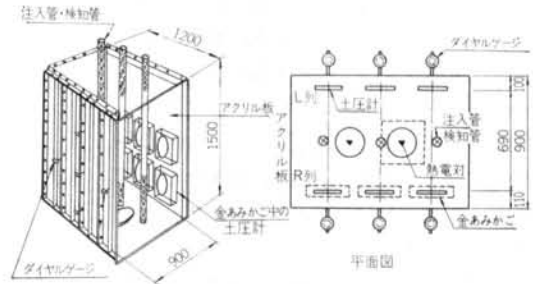


図-1 Mシリーズに用いた型枠および計測器の配置

### 3.3 注入モルタルの配合

注入モルタルの配合は、大量にプレキャストコンクリートを施工する場合に一般的に用いられている表-4の配合とした。

### 3.4 実験方法

#### (1) Mシリーズの実験方法

Mシリーズの実験に用いた型枠は図-1に示すように幅0.9×奥行1.2×高さ1.5mで、メタルフォームで作製した。前面は内部が目視観察できるように亚克力製とした。

側圧の測定装置は § 2. に示した既往の研究を参考にして、とくに粗骨材の間げき中における注入モルタル圧の測定に適している土圧計を採用した。土圧計は株式会社電業製BE-2KE(受圧面直径160mm、容量2kg/cm<sup>2</sup>)で、受圧面の剛性が大きいものを用いた。土圧計の取り付け方法は、型枠に直接取り付けずに内部に埋込むようにした。さらに、粗骨材の間げき中における注入モルタル圧を測定するために、粗骨材が受圧面にあたらないように30口×8cmの金あみかごの中に入れてものと入れないものの2種の土圧計を用いた。また、鉛直圧も測定するために、土圧計を底から20cmの位置に水平に設置した。

実験中にもプレキャストコンクリートの内部温度が上昇するので、各土圧計の位置に熱電対を設置して内部温度を測定するとともに、型枠の変形を測定するためにダイヤルゲージも設置した。

実験は、型枠の中に粗骨材を投入しながら骨材圧を測定し、その後所定の温度の水を張って、モルタルの注入を行なった。注入管は内径25mmで、手押しポンプを用い

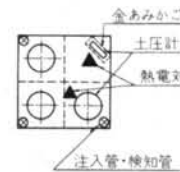


図-2 Gシリーズに用いた型枠および計測器の配置

て所定の注入速度でモルタルの注入を行なった。

注入モルタル圧の測定はデジタルストレインメーターで15分ごとに行ない、同時にダイヤルゲージ、モルタル上界面の高さも測定した。

#### (2) Gシリーズの実験方法

Gシリーズの実験は4種類の粗骨材を用いるので型枠を4個作製し、同時にモルタルを注入した。型枠は図-2に示すように幅0.6×奥行0.6×高さ2.1mで、メタルフォームで作製した。

注入モルタルの圧力の測定は、Mシリーズと同じ土圧計で行なった。このシリーズは粗骨材の間げき中における注入モルタルの鉛直圧を測定することが目的であるので、型枠の底から10cmの位置に金あみを設けて、その下側に土圧計を設置した。さらに、水平圧を測定するためにMシリーズと同様の金あみかごの中に入れて土圧計、

および各土圧計の位置に熱電対も設置した。

モルタルの注入方法および測定方法は、Mシリーズの場合と同様にした。

### 3.5 注入モルタルの試験方法

各シリーズ、各組合せの実験において、注入モルタルの試験は次のようにした。

注入モルタルのコンシステンシー試験は各バッチごとに、膨張率・ブリージング率試験、凝結試験、プロクター貫入試験は各組合せごとに3回試験した。

#### (1)練りませ方法

注入モルタルの練りませは、プレパクト用電動モルタルミキサ（かくはん容量100ℓ、回転数180rpm、1段2枚かくはん翼）で行なった。練りませ水と混和剤を投入してから回転を始め、セメント、フライアッシュを1分間で投入し、続いて砂を1分間で投入した後に、さらに3分間かくはんする（合計5分間）方法で行なった。

#### (2)コンシステンシー試験

土木学会規準H-Ⅲ. 1に準じて試験した。Pポートによる流下時間を以後フロー値と呼ぶ。

#### (3)膨張率・ブリージング率試験

建築学会のJASS 5T-701. bに準じて、目盛付1,000ccメスシリンダーに約800cc注入モルタルを入れて、水面とモルタル面の経時変化を測定する方法で試験した。

また、メスシリンダーにモルタルを入れた後、直ちに重量を測定して、注入モルタルの単位容積重量も試験した。

#### (4)凝結試験

アメリカのCorps of EngineersのCRD-C82に準じて試験した。この試験方法は、JIS R 5201に示されているセメントの凝結試験方法と同じようにピカー針装置を用いる方法である。

#### (5)プロクター貫入試験

アメリカのASTM C403に準じて試験した。

## § 4. 骨材圧について

Mシリーズにおいて、図-1に示すような型枠の中に35~40mmの砂利を投入して、粗骨材の鉛直圧および水平圧を測定した。その結果は図-3に示すようであって、鉛直圧は単位容積重量に近い値が測定されたので、実用上φ160mmの土圧計でも35~40mm程度の粗骨材の圧力が測定できるものと思われる。

しかし、水平圧の場合は鉛直圧の傾向と異なり、約20

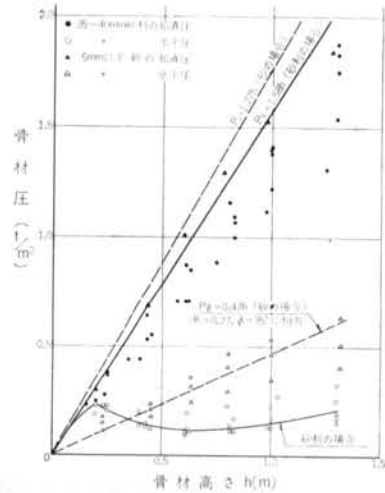


図-3 骨材圧の実験結果

cm粗骨材を投入した後、一時的に水平圧が減少し、80cm程度以上投入すると徐々に水平圧が増大するのである。この理由として、本実験では比較的フレキシブルな型枠を用いて、土圧計を型枠から10cm離して内部に設置したために、粗骨材の投入にともなって、土圧計背面に投入された粗骨材の骨格が粗骨材の投入高さによって変化することが考えられる。すなわち、粗骨材の寸法35~40mmに対して、型枠と土圧計の距離10cmが小さすぎたものと思われる。

そこで、型枠と土圧計の間隔10cmに対して十分小さな寸法の5mm以下の砂を用いて同様な試験を行なった。その結果、図-3に示すように鉛直圧は砂利の場合よりも単位容積重量に近づき、水平圧は砂利の場合と異なり、骨材の投入高さの増大にともなって圧力が増大した。すなわち、5mm以下の砂であれば、この程度の型枠でも水平圧が測定できることが示された。土圧係数 $K$ は0.27で、内部摩擦角 $\phi=35^\circ$ に相当した。通常の砂の場合、ゆるい砂で $K=0.30$ 、密な砂で $K=0.25$ といわれているが<sup>11)</sup>、本実験結果はその中間的な値であった。

比較的寸法の大きな粒状体の粗骨材の圧力を実測するためには、本実験で用いたような小型の模型型枠では不可能で、大型の型枠で実測しなければならないと思われる。しかし、骨材圧自体は骨材の形状、粒度、てん充方法などの物理的な性質によるものであって、化学的な変化に基づくものではないので、寸法の大小による骨材圧の変化は小さいものと思われる。つまり、砂と35~40mm砂利の水平圧との間に大きな差はないものと推定される。

次に、§ 2. に示したプレパクトコンクリート用粗骨材

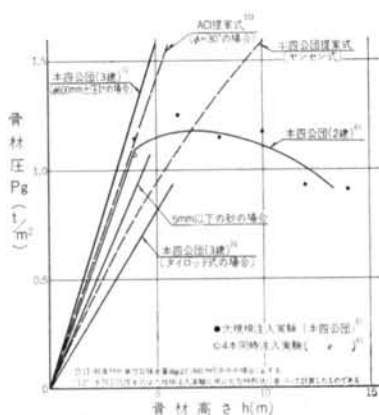


図-4 骨材圧の比較

の水平圧に関する既往の研究結果をまとめると図-4に示すようであった。通常の鋼製型枠のようにフレキシブルな測定装置のタイロッド式の場合の土圧係数は0.175と小さいが、剛性の大きな受圧面を有する測定装置の場合には土圧係数は0.30~0.34と大きい。いずれにしても80~150mmの大寸法の碎石の土圧係数でも上述したゆるい砂の場合と同程度であって、粗骨材寸法の大小によって骨材圧が変わらないことの妥当性を示すものである。

したがって、以上のことを総合的に判断すればプレバクトコンクリートにおける骨材圧は構造物の高さが5 m程度であれば、ACIにも採用されている<sup>10)</sup>ランキンの主働土圧で $\phi=30^\circ$  ( $K=0.333$ )として算定しても実用上さしつかえないものと思われる。しかし構造物の高さが5 m程度以上で、かつ断面形状からサイロ効果が考慮できそうな場合には、本州四国連絡橋公団で採用しているヤンセンの式を用いた方が合理的であると思われる。

## § 5. 粗骨材の寸法が注入モルタルの鉛直圧に及ぼす影響

プレバクトコンクリートは、予め粗骨材を投入しておきその粗骨材の間げき中にモルタルを注入するので、その注入モルタルの圧力は粗骨材がない場合と異なるものと思われる。同じコンシステンシーのモルタルを注入しても粗骨材の粒度によってモルタルの流動勾配が相違するのは、注入モルタルが粗骨材の間げき中を流動するときの抵抗が粒度によって異なるためであって、同様な現象が注入モルタルの鉛直圧の場合にも存在することが容易に推定される。

そこで、Gシリーズの実験では粗骨材の寸法が注入モ

フロー値 (sec)		練り上がり温度 (°C)		3時間後(%)		単位容積重 (t/m <sup>3</sup> )
平均	標準偏差	平均	標準偏差	膨張率	ブリーディング率	
17.7	0.9	28.7	0.7	7.22	3.97	1.98

表-5 Gシリーズにおける注入モルタルの試験結果

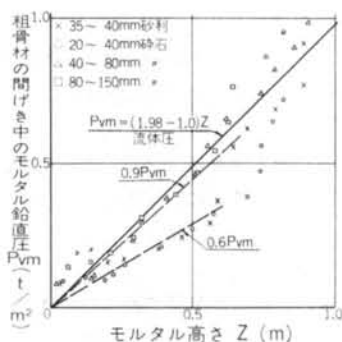


図-5 粗骨材の間げき中におけるモルタル鉛直圧 (Gシリーズ)

ルタルの鉛直圧に及ぼす影響を検討するために、4種の粗骨材(碎石:20~40mm, 40~80mm, 80~150mm, 砂利:35~40mm)を図-2に示す型枠の中に入れてん充して、注入モルタルの鉛直圧の測定を行なった。粗骨材の寸法を相似的に変化させても空げき率はほとんど変わらないで、間げきの大きさが異なるのである。

Gシリーズにおける注入モルタルの品質管理試験結果は表-5のようであり、モルタル注入中における温度は約30°C、注入速度は約30cm/hrであった。

注入モルタルの鉛直圧の試験結果は図-5に示すようであって、モルタルが凝結硬化し始めない範囲では、鉛直圧は流体圧に比較して小さく、その減少の程度は粗骨材の寸法によって異なることが明らかになった。すなわち、20~40mm碎石、35~40mm砂利の場合の注入モルタル鉛直圧は流体圧の約60%であり、40~80mm、80~150mm碎石の場合は約90%であって、40mmを境界として傾向が異なった。一方、粗骨材がない注入モルタルのみの場合はほぼ流体圧が作用している<sup>9)</sup>。つまり、粗骨材の間げき中において注入モルタルの鉛直圧が減少するのは、まだ固まらない注入モルタルのせん断特性によって、粗骨材の表面と注入モルタルとの間にせん断応力が働いて、注入モルタルの自重の一部を粗骨材が分担するためと考えられる。

しかし、本実験においてモルタル高さが0.7 m程度以上(材令2時間30分程度以上)になると鉛直圧が急激に増大しているのは、注入モルタルの膨張圧、温度上昇に



実験番号	1		2		3		4		
実験条件	温度(°C)	16	22	30	26				
	注入速度(cm/hr)	30	30	30	20				
項目	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
フロー値(sec)	17.8	0.3	17.6	1.2	16.5	1.4	17.7	0.5	
練り上がり温度(°C)	18.8	0.4	22.0	0.5	28.7	0.9	26.3	0.8	
3時間後膨張率(%)	膨張率	6.74	0.40	6.62	0.18	7.03	0.01	6.68	0.29
	ブリージング率	2.45	0.15	3.02	0.07	3.22	0.09	3.92	0.02
凝結始発(時:分)	始発	11:29	0:13	8:39	0:13	6:26	0:26	6:14	0:08
	終結	13:35	0:10	10:50	0:07	7:33	0:31	7:50	0:12

表一六 Mシリーズにおける注入モルタルの試験結果

実験名称	本四公団(3建) <sup>7)</sup>	大規模注入実験 <sup>6)</sup>	4本同時注入実験 <sup>6)</sup>	
実験条件	モルタル温度(°C)	31.5	24	18
	注入速度(cm/hr)	36.4	50	60
実測値の平均	最大水平圧(t/m <sup>2</sup> )	0.54	1.12	1.99
	経過時間(時:分)	2:45	6:00	8:00
式(1)による計算値	最大水平圧(t/m <sup>2</sup> )	0.62	1.35	3.54
	経過時間(時:分)	3:30	4:30	6:30
式(2)による計算値	最大水平圧(t/m <sup>2</sup> )	0.56	1.21	3.19
	経過時間(時:分)	3:30	4:30	6:30

注1) 粗骨材: 80~150mm 碎石

2) 式(2)における鉛直圧の補正係数は0.9とした

表一七 大寸法の粗骨材を用いた場合のモルタル水平圧の比較

ともなう膨張圧力によるものと思われる。

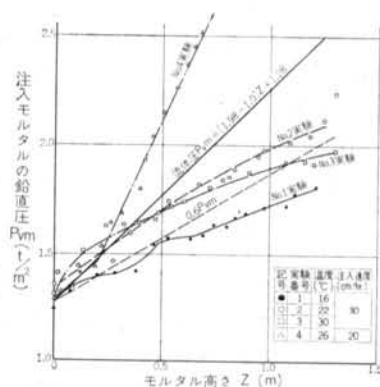
## § 6. 粗骨材の間げき中における注入モルタルの圧力

注入モルタルおよび粗骨材の側圧に関する実用的な算定式が提案でき、さらに粗骨材の寸法によって注入モルタルの鉛直圧が異なることが明らかになった。プレキャストコンクリートの側圧に関する研究の最終段階として、粗骨材の間げき中における注入モルタルの水平圧を実測する模型実験を、Mシリーズとして行なった。

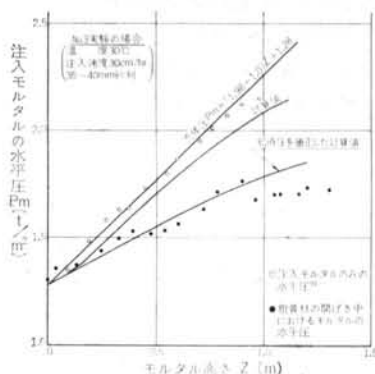
Mシリーズの実験は35~40mmの砂利を用いて、図一1に示す型枠で、モルタル温度および注入速度を変動要因として行なった。

注入モルタルの品質管理試験結果は表一六に示すようであった。

### 6.1 鉛直圧について



図一六 粗骨材の間げき中におけるモルタル鉛直圧 (Mシリーズ)



図一七 粗骨材の間げき中におけるモルタル水平圧の一例 (Mシリーズ)

粗骨材の間げき中における注入モルタルの鉛直圧の測定結果は図一六に示すようであり、注入速度のおそいNo. 4実験以外は流体圧より小さい傾向を示した。鉛直圧は流体圧の47~73%で平均的に約60%であり、§ 5. に示した35~40mm砂利の結果とほぼ等しい傾向が認められた。

### 6.2 水平圧について

粗骨材の間げき中における注入モルタルの水平圧の測定結果の一例は図一七に示すようであって、鉛直圧の場合と同様に流体圧と比較してかなり小さかった。図一七に示すNo. 3実験の場合はモルタル高さが0.9m程度(材令3時間程度)で水平圧はほぼ最大値に達し、このときの水平圧は0.49t/m<sup>2</sup>であった。本実験の条件は温度30°C、注入速度30cm/hrであり、表一七に示した本州四国連絡橋公団(3建<sup>7)</sup>)の注入条件と同程度であるので、類似した実験結果が得られている。

注入モルタルのみの側圧は § 2. に示したように、ACI

622委員会<sup>10)</sup>、桜井氏<sup>9)</sup>によっても算定式が提案されているが、これらと比較・検討した結果、注入モルタルのせん断特性を用いた次式によって実用上算定できることを報告している<sup>9)</sup>。

$$P_m = K_t w_m Z \quad \dots\dots(1)$$

ここに、 $P_m$ ：注入モルタルの側圧( $t/m^2$ )

$$K_t: \text{側圧係数} = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) - \frac{2C}{w_m Z} \tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)$$

$w_m$ ：注入モルタルの単位容積重量( $t/m^3$ )

$Z$ ：モルタル高さ(m)

$C$ ：注入モルタルの粘着力( $t/m^2$ )

$\phi$ ：注入モルタルの内部摩擦角( $^\circ$ )

式(1)を用いてNo.3実験の場合の計算値を求めると、図-7に示すように粗骨材の間げき中における注入モルタルの実測値よりかなり大きいのである。

そこで、粗骨材の間げき中では§5.に示したように鉛直圧が低減することを考慮して計算すると、図-7に示すように実測値とよく近似した。すなわち、粗骨材の間げき中における水平圧も、粗骨材の間げきの影響を鉛直圧と同程度受けるものと思われる。本実験のように、プレパクトコンクリート用としては比較的小さな粗骨材を用いる場合には、粗骨材の間げきが注入モルタル圧に及ぼす影響が大きいので、注入モルタル圧を算定する場合には、その影響を考慮した次式を用いた方が合理的であると思われる。

$$P_m = K_t (\alpha w_m Z) \quad \dots\dots(2)$$

ここに、 $\alpha$ ：粗骨材の寸法による低減係数

$$(0 < \alpha \leq 1)$$

次に、大寸法の粗骨材(80~150mm)を用いた実測例<sup>6,7)</sup>と式(1)および式(2)による計算値とを比較すると、表-7のようにこれらの計算値と実測値はよく近似していることが認められる。寸法の大きな粗骨材を用いた場合には粗骨材の間げきの寸法が大きくなり、その間げきの影響が小さいので、実用的には粗骨材の影響を考慮する必要がないと思われる。

## § 7. プレパクトコンクリートの側圧算定について

プレパクトコンクリートは粗骨材を予め投入し、その粗骨材の間げきにモルタルを注入するために、粗骨材の圧力と粗骨材の間げき中における注入モルタルの圧力が作用する。それぞれの圧力については§ 4. と § 6. に示

したが、粗骨材投入時の衝撃圧力、注入モルタル中における粗骨材の圧力については未だ明らかになっていない。

プレパクトコンクリートの側圧は§ 2. に示したように粗骨材圧と注入モルタル圧の算術和と考えている場合が多く、粗骨材圧より大きな側圧が採用されている。粗骨材投入時の衝撃圧力は、場合によっては大きなものとなるが、短期的な荷重であるとともに、粗骨材圧と注入モルタル圧の算術和より大きくなる可能性は少ないと思われるので、一般的には考慮しなくてもよいと思われる。

次に、注入モルタル中の粗骨材圧について検討する。§ 5. に粗骨材の間げき中における注入モルタルの鉛直圧は、粗骨材の間げきによって圧力が低減されることを示したが、その低減された分だけ粗骨材の骨格にかかる圧力が増加するので、粗骨材の圧力は増大する。一方、注入モルタルはせん断特性を有するので、注入モルタル中における粗骨材の水平圧は小さくなるものと思われる。以上の2つの相反する影響が相殺し合って、モルタル注入中も粗骨材の圧力は変わらないと考えても大きな間違いはないものと思われる<sup>12)</sup>。

したがって、プレパクトコンクリートの側圧は、§ 4. に示した骨材圧と、§ 6. に示した粗骨材の間げき中における注入モルタル圧の算術和と考えて、実用上問題はないものと思われる。

$$P_c = P_g + P_m \quad \dots\dots(3)$$

ここに、 $P_c$ ：プレパクトコンクリートの側圧

( $t/m^2$ )

$P_g$ ：骨材圧( $t/m^2$ )

$P_m$ ：注入モルタル圧( $t/m^2$ )

しかし、微小変位を許さない剛性の大きな型枠を用いてプレパクトコンクリートを大量に打込む場合には、マスコンクリートとなるために内部温度の上昇が大きくなり、その結果温度応力が生じる。型枠には、上述したプレパクトコンクリートの側圧のみならず、温度による圧力が作用するので、型枠の設計にあたってはこれらの圧力を考慮するべきであると思われる。

## § 8. まとめ

大量に打込むプレパクトコンクリートの側圧の実用的な算定式を確立するために、注入モルタル圧の研究<sup>9)</sup>に引続いて、骨材圧、粗骨材の間げき中における注入モルタル圧などの模型実験および既往の研究の調査を行なった。その範囲内で次のことがいえると思う。

(1)プレパクトコンクリートの側圧は、寸法の大きな粒



状体の骨材圧および流体的な注入モルタル圧の2種の圧力に分けられるので、実測値を得る測定方法に注意する必要がある。

とくに、粗骨材の圧力を測定するためには、使用した粗骨材の寸法に応じた型枠を用いることが重要である。

(2)骨材圧は構造物の高さが5 m程度以下であれば、ランキンの主動土圧によって算定できる。

$$P_g = Kw_g h$$

ここに、 $P_g$ ：骨材圧( $t/m^2$ )

$$K : \text{土圧係数} = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

( $\phi = 30^\circ$ としてよい)

$w_g$ ：粗骨材の単位容積重量( $t/m^3$ )

$h$ ：粗骨材の投入高さ(m)

一方、構造物の高さが5 m程度以上で、断面形状がサイロ効果を考慮できそうな場合には、ヤンセンの式を用いてもよい。

$$P_g = \frac{w_g U}{\mu} \left( 1 - e^{-\frac{\mu \kappa h}{U}} \right)$$

ここに、 $U$ ：粗骨材で充断面の断面積を周長で除した値

$\mu$ ：粗骨材と型枠との摩擦係数  
(0.5としてよい)

(3)粗骨材の間げき中における注入モルタル圧は、注入モルタルのみの場合に比較して小さいので、その算定にあたっては粗骨材の間げきの影響を考慮した方が合理的である。

しかし、寸法の大きな粗骨材を用いる場合には、粗骨材の間げきが大きいので、上記の影響を考慮しなくてよい。すなわち、粗骨材の間げき中における注入モルタル

の側圧も次式によって算定できる。

$$P_m = K_t w_m Z$$

ここに、 $P_m$ ：注入モルタル圧( $t/m^2$ )

$$K_t : \text{側圧係数} = \tan^2 45^\circ \left( -\frac{\phi}{2} \right) - \frac{2C}{w_m Z} \tan \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

$C$ ：注入モルタルの粘着力( $t/m^2$ )

$$\log C = (0.01099T + 0.04030)t - 3.5142^{9)}$$

$\phi$ ：注入モルタルの内部摩擦角( $^\circ$ )

$$\log \phi = (0.00786T + 0.02818)t - 0.9934^{9)}$$

$w_m$ ：注入モルタルの単位容積重量( $t/m^3$ )

$Z$ ：モルタル注入高さ(m)

(4)したがって、プレパクトコンクリートの側圧は(2)に示した骨材圧、および(3)に示した粗骨材の間げき中における注入モルタル圧の算術和として算定してよい。

(5)以上の結果は、注入モルタルの配合を一種類に限定し、数少ない実測例に基づいたものではあるが、従来の提案式と比較して、注入モルタルのせん断特性から注入モルタル圧を算定している点に特徴があり、合理的な算定式であると思われる。また、本研究結果は、大型のプレパクトコンクリート構造物の型枠を設計する場合に適用できるものと思われる。今後、さらに機会を得てプレパクトコンクリートの側圧を実測して、本研究結果の検証・修正を行なっていきたい。

本研究を行なうにあたってご指導いただいた本州四国連絡橋公団の関係各位、文献を引用させていただいた各位、および清水建設株式会社研究所、土木設計部、土木技術部の関係各位に感謝の意を表する。

## <参考文献>

- 1) 馬場・鳥海・菅田・寺沢：“ブリバックド工法による重量コンクリートのグラウト圧力測定報告” 日本建築学会論文報告集 第63号 1959.10
- 2) 久保・斉藤：“プレバックドコンクリートの理論と施工” 近代図書 1964.7
- 3) 赤塚雄三：“プレバックドコンクリートの型わくに作用する圧力について” コンクリート・ジャーナル Vol.14, No.1 1966.1
- 4) 久富・堀口・立部・高田：“原子力第一船の遮蔽コンクリート工事” 清水建設研究所報 Vol.17 1971.4
- 5) 日本鉄道建設公団：“本州四国連絡橋 基礎工調査実験報告書” 1970.3
- 6) 土木工業協会：“本州四国連絡橋 児島～坂出基礎工調査実験報告書(その5)” 1974.3
- 7) 日本土木工業協会：“本州四国連絡橋基礎工調査実験プレバックドコンクリート側圧実験(現場実験)報告書” 1975.10
- 8) 桜井・坂本：“プレバックドコンクリート型わくに作用するモルタル側圧の調査と問題点” セメント・コンクリート No.350 1976.4
- 9) 奥村・黒田・吉原：“注入モルタルの側圧に関する研究” 清水建設研究所報 第27号 1976.10

- 10) M. K. Hurd: "Formwork for Concrete (ACI-SP-4)", ACI 622 Committee 1973.4
- 11) 土質工学会編: "土質工学ハンドブック" 技報堂 1973.5
- 12) 桜井・壺阪・宮坂: "特殊コンクリートの施工 (コンクリート・セミナー, 3)" 共立出版 1976.11