

注入モルタルの側圧に関する研究

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

最近、本州四国連絡橋、大黒大橋の下部工などのように大型のプレキャストコンクリート構造物が海中に建設されるようになったので、従来ではあまり問題にならなかった型わくの経済設計が大きな問題になってきた。現在ではプレキャストコンクリートの側圧が明らかにされていないので、型わくを経済的に設計するためには、まず、プレキャストコンクリートの側圧を算定する実用式を確立する必要がある。

従来は大型構造物を施工対象としなかったもので、プレキャストコンクリートの側圧に関する研究は少ないが、既往の研究を大別すると、1)実測例、模型実験結果に基づいたアプローチ、2)レオロジー的アプローチの2つに分けられる。既往の研究は1)のアプローチがほとんどであって、2)のレオロジー的アプローチは、普通コンクリートに対して Olsen¹⁾ 等が採用しているが、プレキャストコンクリートに対しては試みられていない。

プレキャストコンクリートは粗骨材と注入モルタルを別々に施工するので、粗骨材投入時の圧力とモルタル注入時の圧力が作用するが、本研究では第一段階として注入モルタルのみの圧力(側圧)に着目した。

桜井氏²⁾ は注入モルタルのみの側圧に関して、上記の1)のアプローチによるモデル実験を行なって、その実験結果から注入モルタルの側圧算定式を提案している。しかし、本研究では2)のレオロジー的アプローチに着目して、注入モルタルの側圧に関する研究を行なった。すなわち、注入モルタルの粘着力、内部摩擦角などのせん断

特性の経時変化を求め、それらの結果から注入モルタルの側圧を計算する手法である。

本文は、

1) 注入モルタルのせん断実験

注入モルタルのベーン試験、三軸圧縮試験を行なって、粘着力および内部摩擦角の経時変化、温度による影響を求める、

2) 模型実験

0.9×1.2×高さ1.5mの型わくを用いて、注入速度、温度が注入モルタルの側圧に及ぼす影響について検討する、

の2シリーズの実験を行なった結果に基づいて、注入モルタルの側圧算定について検討を行なったものである。

§ 2. 使用材料および試験方法

2.1 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材料とした。

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製のを用いた。

実験の種類	比重	吸水量 (%)	単位容積重量 (kg/m ³)	洗い試験 (%)	粗粒率
せん断実験	2.60	2.19	1,597	1.85	1.70
模型実験	2.55	3.31	1,556	1.43	1.72

表一 細骨材の試験成績

実験の種類	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 ³)				
					W	C	F	S	混和剤
せん断実験	18±2	50.3	20.0	1.0	415	661	165	826	8.26
模型実験		49.3	20.0	1.0	403	654	164	818	8.18

表二 注入モルタルの配合

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幹コンケム製イントルー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。その試験成績は表-1に示すようで、注入モルタル用として適したものであった。

練りませ水は、東京都上水道水とした。

2.2 注入モルタルの配合

注入モルタルの配合は表-2に示すようにした。せん断実験と模型実験で使用した細骨材が異なったので、配合は少し相違したが、実用的には同一配合とみなせるものと思われる。

2.3 試験方法

(1)練りませ方法

注入モルタルの練りませは、プレバ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 ロ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 1,000 cc メスシリンダーに約 800cc 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。

(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。

§ 3. 注入モルタルのせん断実験

若材令（材令1日以内）の注入モルタルのせん断特性すなわち粘着力および内部摩擦角の経時変化を明らかにするために本実験を行なった。

注入モルタルのせん断特性に影響を及ぼす因子はいろいろあるが、本実験では温度（練り上がりおよび養生温度）のみを変動要因とし、10、20、30℃と変えて各種の

実験を行なった。

3.1 実験方法

注入モルタルがまだ軟らかい間は、内部摩擦角が無視できるほど小さいので、練りませ後初期の粘着力のみを求めるためにベーン試験、凝結が少し進行した後の粘着力および内部摩擦角を求めるために三軸圧縮試験を行なった。

(1)ベーン試験

ベーン試験機は軟練りのポンプコンクリート³⁾の試験に用いられたものを改良して使用した。試料を入れる容器は円筒容器（直径35cm、高さ26cm）で、この中央に鉛直に十字形回転翼（高さ13cm、直径10および15cm）を入れ、注入モルタルを回転翼がかくれるまで入れた（図-1参照）。試験材令時に、この回転翼にトルクを与え、回転翼が回転し始める時のトルクを測定した。回転し始める時はモルタルがほぼ円形にせん断できるので、円筒状のせん断面積を考えて粘着力（ c ）を求めた。

(2)三軸圧縮試験

三軸圧縮試験は非圧密非排水試験とし、供試体の寸法は直径5cm、高さ10cmで、図-2のような装置を用いて試験した。三軸圧縮試験ではひずみ速度と側圧 σ_3 が重要であり、これらを、次のようにして選定した。フレッ

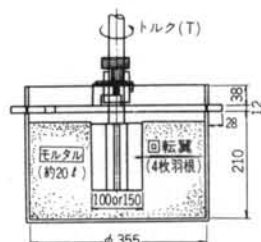


図-1 ベーン試験装置

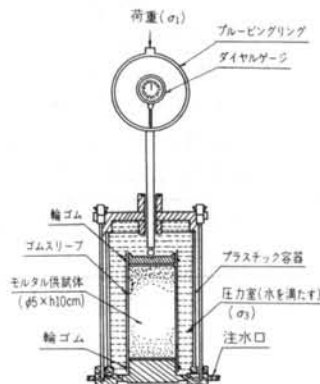
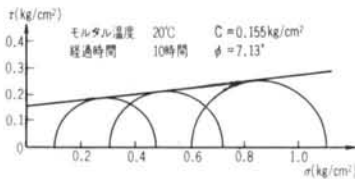


図-2 三軸圧縮試験装置

文献番号	著者	発表年	種類	骨材の最大寸法 (mm)	供試体の寸法 (cm)	試験方法				側圧 (σ_3)		試験内容
						種類	制御方法	ひずみ速度 (%/min)	最大ひずみ (%)	媒体	側圧 (kg/cm ²)	
4	Ritchie	1962	コンクリート	—	$\phi 10 \times h20$	非圧密 非排水	ひずみ	2.1	20	水	0.35~4.2	フレッシュコンクリートの c, ϕ 配合, ひずみ速度の影響
1	Olsen	1968	"	12.5	$\phi 7 \times h15$	"	"	2.5	20	空気	1.4, 2.8 4.2, 5.6	コンクリートの c, ϕ の経時変化 コンクリートの側圧と関連づける
5	越川他	1975	"	—	$\phi 10 \times h20$	"	"	1.0	15	水	スランプ 8 cm 以上...0.2~1.0 スランプ 8 cm 以下...1.0~5.0	試験方法の確立
6	西林他	"	モルタル	5.0	"	"	"	1.0	—	"	0.1, 0.2, 0.4	細骨材粒度分布, 混和剤の影響
7	奥村他	"	注入モルタル	2.5	$\phi 5 \times h10$	"	"	0.8	16	"	0.1, 0.3, 0.6	注入モルタルの c, ϕ の経時変化

表—3 コンクリートの三軸圧縮試験に関する既往の研究



図—3 代表的なモールの応力円

シュコンクリートの三軸圧縮試験に関する既往の代表的な研究を挙げると表—3 のようであって、ひずみ速度は 1.0~2.5%/min., 最大ひずみは 15~20% としている。本研究では、一般のコンクリートより軟らかい注入モルタルを試験するので、コンクリートの場合より少し小さいひずみ速度 0.8%/min. を採用した。主応力差 ($\sigma_1 - \sigma_3$) とひずみとの関係で、主応力差に最大値がみられない場合は、16% のひずみに対応する主応力差を最大主応力差と考えた。次に、側圧 σ_3 は既往の研究では 0.1~5.6 kg/cm² であり、軟らかいコンクリートほど小さな側圧を採用している。注入モルタルの場合も予備試験を行なって、0.1, 0.3, 0.6 kg/cm² の 3 種の側圧を選定した。

注入モルタルの破壊性状は経過時間、凝結の進行程度によって異なった。練りませ後初期のかなり軟らかい場合には主応力差 ($\sigma_1 - \sigma_3$) ~ ひずみ (ϵ) の関係に明らかな最大値を示さず、ビール樽の形状に圧縮された。この場合には、16% のひずみに対応する主応力差を最大と考えた。さらに、凝結が進行すると ($\sigma_1 - \sigma_3$) ~ ϵ 関係に最大値がみられ、供試体には明らかなせん断面もみられた。

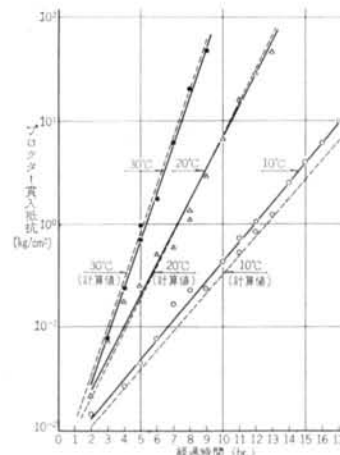
以上のような三軸圧縮試験によって、各側圧 σ_3 , 各温度、各経過時間ごとの最大主応力差 ($\sigma_1 - \sigma_3$) が求まるので、各経過時間ごとにモールの応力円を描き、包絡線を引いて粘着力 (c) および内部摩擦角 (ϕ) を求めた。代表的なモールの応力円を図—3 に示す。

設定温度 (°C)		10		20		30	
項目	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
フロー値(秒)	18.3	0.7	20.2	1.2	17.6	0.5	
練り上がり温度(°C)	10.4	0.4	19.8	0.7	30.1	1.4	
3時間後膨張率 (%)	膨張率	5.40	0.31	6.58	0.54	8.41	0.67
	ブリージング率	2.87	0.14	3.49	0.25	4.15	0.21
凝結 (時:分)	始発	15:01	0:41	8:37	0:07	6:07	0:14
	終結	18:48	0:39	11:08	0:25	7:41	0:08

表—4 品質管理試験結果 (せん断実験)

3.2 品質管理試験結果

注入モルタルの練り上がり温度を 10, 20, 30°C に変えて、それぞれ 9 バッチずつ練りませを行ない、各バッチごとにフロー値、膨張率・ブリージング率、凝結、プロクター貫入試験を行なった。その試験結果の平均は表—



図—4 プロクター貫入抵抗の経時変化 (せん断実験)

文献 番号	著者	発表年	種類	コンシステンシー測定方法	粘着力 (g/cm ²)		内部摩擦角 (°)		試験方法
					実測値	範囲	実測値	範囲	
4	Ritchie	1962	コンクリート	スランプ	140~700	10 ³ } 10 ¹	8~34	10 ² } 10 ⁰	三軸圧縮試験
1	Olsen	1968			200		1.57		"
5	越川他	1975			60~480		4~29		"
6	西林他	1975	モルタル	フローコーン	2~11	10 ¹ } 10 ⁰	0.1~1.3	10 ⁰ } 10 ⁻¹	三軸圧縮試験
8	菊川他	"			1.02~1.46		—		回転粘度計
9	長滝他	1975	注入モルタル	Pロート	0~1.0	10 ⁰ } 10 ⁻²	—	10 ⁰ } 0	回転粘度計
10	岩崎	"			0.062		—		"
7	奥村他	"			0.06~0.31		0~0.34		{ ベーン試験 三軸圧縮試験 細管式粘度計
11	桜井他	1970			0.01~0.25		—		

注) Olsenの実測値は、練りませ後20分経過したコンクリートのデータである

表—5 練りませ直後の粘着力および内部摩擦角の比較

4に示すようであって、いずれも標準的な値であった。

プロクター貫入試験における貫入抵抗の経時変化は、**図—4**に示すように片対数グラフで直線的であり、注入モルタルの場合も一般のコンクリートの場合と同様に、貫入抵抗は時間の経過にともなって指数関数的に増大することが示された。貫入抵抗の対数と経過時間の関係、および温度による影響を一次関数とみなすと、次の近似式が得られる。

$$\log P = (0.0135T + 0.0495)t - 2.3283 \dots\dots(1)$$

ここに、 P ：プロクター貫入抵抗 (kg/cm²)

T ：練り上がりおよび養生温度 (°C)

t ：経過時間 (hr.)

プロクター貫入試験と凝結試験 (始発) は、いずれも貫入棒 (針) の貫入抵抗を試験する方法であるので、両試験結果の間には関係があるものと思われる。両試験の関係について検討した結果、凝結始発時におけるプロクター貫入抵抗は、温度に無関係に約 3kg/cm² であることが明らかになった。したがって、式(1)において $P=3\text{kg/cm}^2$ として、

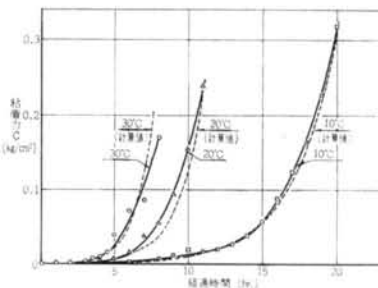
$$t_0 = \frac{2.8054}{0.0135T + 0.0495} \dots\dots(2)$$

によって、任意の温度における凝結始発時間 (t_0) を計算することができると思われる。

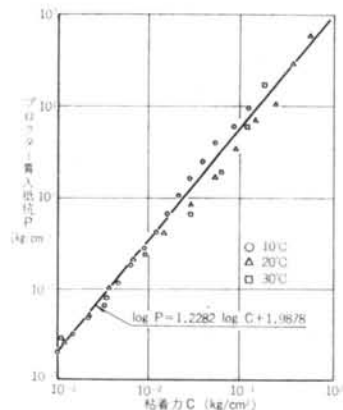
3.3 粘着力の経時変化

注入モルタルの粘着力は、**3.1**に示したように練りませ後初期の間はベーン試験、凝結がある程度進行した後は三軸圧縮試験から求めた。

まず、練りませ直後の粘着力は 0.06~0.31 g/cm²、平均 0.15 g/cm² であった。既往の文献に報告されているコンクリートの粘着力 (せん断降伏値と同義語と考えた) を比較すると、**表—5**のようであって、コンシステンシー



図—5 粘着力の経時変化



図—6 粘着力とプロクター貫入抵抗との関係

の試験方法によって粘着力の範囲がほぼ定まる傾向が認められる。注入モルタルの場合はPロートで試験するが、粘着力は 10⁰~10⁻² g/cm² の範囲であって、本実験結果もこの範囲内にあり、注入モルタルの粘着力としてほぼ妥当な値であると思われる。

次に、粘着力の経時変化は **図—5**に示すようで、プロクター貫入抵抗の場合と同様にほぼ指数関数的であることが示された。そこで、粘着力とプロクター貫入抵抗の

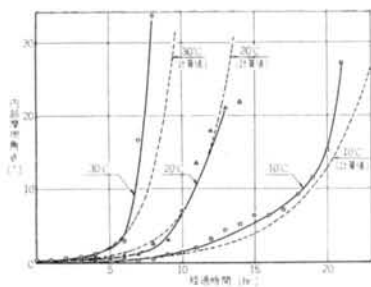


図-7 内部摩擦角の経時変化

関係を両対数グラフに示すと 図-6 のようで、両者の間には温度に関係なくほぼ一次的な関係が認められた。

$$\log P = 1.2282 \log c + 1.9878 \quad \dots(3)$$

ここに、 P ：プロクター貫入抵抗 (kg/cm^2)

c ：粘着力 (kg/cm^2)

さらに、式(1)と式(3)より、

$$\log c = (0.01099T + 0.04030)t - 3.5142 \quad \dots(4)$$

となり、この式(4)によって任意の温度および時間における注入モルタルの粘着力を計算することができると考えられる。

3.4 内部摩擦角の経時変化

注入モルタルの内部摩擦角は、三軸圧縮試験から求めた。

練りませ直後の内部摩擦角は $0 \sim 0.34^\circ$ であって、きわめて小さかった。表-5 に示した既往の文献の試験結果と比較しても、本実験結果は妥当な値であると思われる。

内部摩擦角の経時変化は 図-7 に示すように、粘着力と同様な傾向を示した。そこで、内部摩擦角とプロクター貫入抵抗との関係を求めると、粘着力の場合と同様に両対数グラフで温度に無関係に直線関係が認められた。

$$\log P = 1.7565 \log \phi - 0.5834 \quad \dots(5)$$

ここに、 P ：プロクター貫入抵抗 (kg/cm^2)

ϕ ：内部摩擦角 ($^\circ$)

次に、式(1)と式(5)より、

$$\log P = (0.007686T + 0.02818)t - 0.9934 \quad \dots(6)$$

が得られ、この式(6)によって任意の温度および時間における注入モルタルの内部摩擦角を計算することができると考えられる。

§ 4. 注入モルタルの側圧に関する模型実験

注入モルタルのみを型わくに注入して注入モルタルの側圧の実測値を得るとともに、注入速度および温度が側

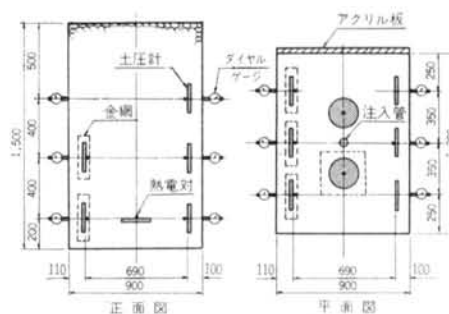


図-8 実験装置概略図

圧に及ぼす影響について検討することを目的として模型実験を行なった。

4.1 実験方法

(1)実験の組合せ

実験の要因は、注入速度、温度とし、組合せは次のとおりとした。

No.1：温度(T) 25 $^\circ\text{C}$ 、注入速度(R) 30 cm/hr 。

No.2： " 32 $^\circ\text{C}$ 、 " 20 cm/hr 。

No.3： " 32 $^\circ\text{C}$ 、 " 30 cm/hr 。

(2)実験装置

型わくは 図-8 に示すように幅 0.9 \times 奥行1.2 \times 高さ1.5 m で、メタルフォームで製作した。前面はアクリル製とし、モルタル上面が目視できるようにした。

注入モルタルの側圧の測定は、土圧計によって行なった。土圧計は株式会社電業製 BE-2KE(受圧面直径160 mm 、容量 2 kg/cm^2)で受圧面の剛性が高いものである。土圧計の取付け方法は 図-8 に示すように、型わくに直接取付けないで内部に埋込むようにした。さらに、プレキャストコンクリートにおけるモルタルのみの圧力も測定できるように、土圧計を 30 \times 8 cm の金網かごの中に入れてものと入れないものの2種用いた。また、鉛直方向の圧力も測定するために、土圧計を底から20 cm の位置に水平にセットした。

側圧測定中にも注入モルタル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した。

型わくの変形を測定するために、ダイヤルゲージも設置した。

(3)注入方法

注入管は直径1インチとし、MG-5 モルタルポンプ(容量25 l/min 、吐出圧力40 kg/cm^2)を用いて注入した。各バッチごとに、練り上がり直後のフロー値、温度を測定し、各組合せごとに3回ずつ品質管理試験(膨張率

実験番号	1		2		3		
実験条件	温度(°C) 25		32				
	注入速度(cm/hr.) 30		20		30		
項目	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
フロー値(秒)	17.2	1.0	17.6	1.2	18.1	1.0	
練り上がり温度(°C)	21.6	1.2	30.0	0.8	31.1	1.1	
3時間後	膨張率	6.77	0.27	7.62	0.32	7.86	0.17
(%)	ブリージング率	3.00	0.18	3.65	0.14	4.02	0.33
凝結	始発	8:40	0:09	5:35	0:15	5:23	0:14
(時:分)	終結	11:00	0:08	6:44	0:20	6:44	0:07

表-6 品質管理試験結果(模型実験)

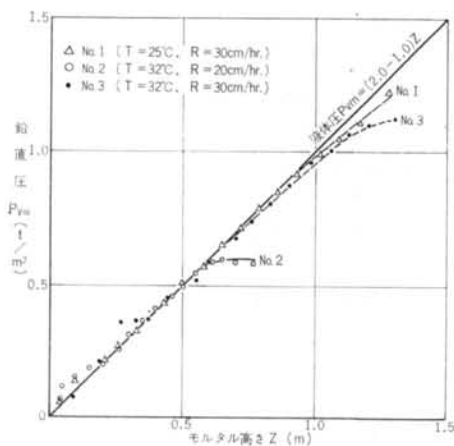


図-9 注入モルタル鉛直圧とモルタル高さとの関係

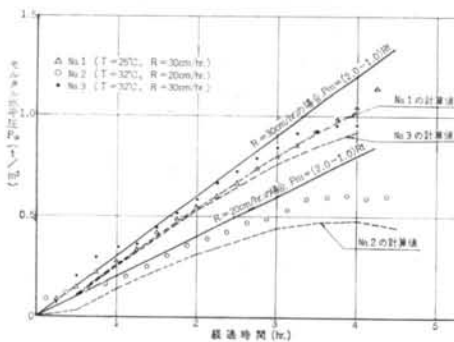


図-10 注入モルタル水平圧の経時変化

・ブリージング率, 凝結, プロクター貫入試験)を行なった。

(4)測定方法

注入モルタルの圧力の測定は, デジタルストレインメータで15分ごとに行なった。

項目	模型実験		現場実験 ¹²⁾	
	T=32°C R=20cm/hr.	T=32°C R=36cm/hr.	T=32°C R=36cm/hr.	T=32°C R=36cm/hr.
	側圧最大値 (t/m ²)	経過時間 (時:分)	側圧最大値 (t/m ²)	経過時間 (時:分)
実測値	0.62	4:00	0.53	2:47
計算値	0.48	4:00	0.72	3:30
ACI式による計算値	1.12	5:35	2.04	5:33

表-7 注入モルタルの側圧の比較

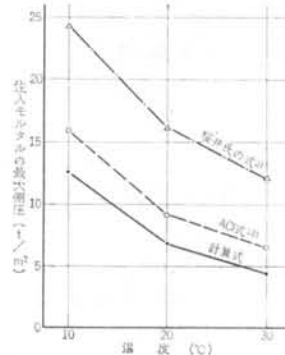


図-11 注入モルタルの最大側圧の比較

同時にダイヤルゲージ, モルタル上昇面の高さも測定した。

4.2 品質管理試験結果

注入モルタルの品質管理試験結果は, 表-6に示すようであって, いずれも標準的な値であった。

4.3 注入モルタルの鉛直圧

注入モルタルの鉛直圧は 図-9に示すようであり, 温度, 注入速度にかかわらず約3時間程度まではほぼ液体圧が作用している。3時間以後は液体圧より減少する傾向が認められた。

4.4 注入モルタルの側圧(水平圧)

注入モルタルの水平圧, すなわち側圧の経時変化は 図-10に示すようであった。

いずれの場合も, 2~3時間程度までは鉛直圧と同様に液体圧が作用し, その後は液体圧より徐々に小さくなった。その減少の程度は, 温度が高いほど, また注入速度が大きいほど大きいことが示されている。

温度が25°Cの場合(No.1)は側圧の最大値が認められなかったが, 32°Cの場合は認められた。高さ1.5mの型わくでは, 温度が25°C以下, 注入速度が30cm/hr.程度であると側圧が最大に達しないものと思われ, 本実験では温度による影響を明らかにすることはできなかった。

次に、温度が32℃の場合における側圧の最大値は、注入速度20cm/hr.のとき4時間後に0.62 t/m²、30cm/hr.のときも4時間後に0.96 t/m²であった。注入速度が相違しても側圧が最大値に達する時間は変わらず、最大値は注入速度とほぼ一次的な関係が認められた。この結果は、桜井氏²⁾が行なった実験結果とよく一致している。

§ 5. 注入モルタルの側圧算定について

注入モルタルが半無限状に打設される場合を考えると任意の深さZにおける注入モルタルの水平方向の応力、すなわち側圧は次式で表わされる。

$$P_m = Kt \omega Z \quad \dots\dots(7)$$

ここに、 P_m ：注入モルタルの側圧 (t/m²)

$$Kt : \text{側圧係数} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) - \frac{2c}{\omega Z} \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

ω ：注入モルタルの単位容積重量 (t/m³)

Z：着目点までの深さ (m)

c：注入モルタルの粘着力 (t/m²)

ϕ ：注入モルタルの内部摩擦角 (°)

Kt (側圧係数と呼ぶ) は注入モルタルの c , ϕ , ω , Z の関数であり、Z は $R \cdot t$ (R : 打設速度 (m/hr.), t : 経過時間 (hr.)) である。

注入モルタルの c , ϕ は 3.3 に示した式(4), 式(6)で表わされるので、これらの式より側圧が計算できる。

そこで、この計算値、§ 4. に示した模型実験結果および黒田等¹²⁾が行なった現場実験結果 (注入モルタル圧を測定) を比較すると表-7 のようになり、計算値と実測値はよく一致することが示された。

したがって、注入モルタルの側圧は若材令における注入モルタルのせん断特性から計算できるものと考えられる。

次に、本計算式と桜井氏²⁾が提案した式、および ACI 622 委員会が提案している式¹³⁾ を比較すると図-11 に示すように、桜井氏の式、ACI の式は注入モルタルの側圧を安全側に評価しているものと思われる。

本研究では、注入モルタルの配合を1種類に限定したが、他の配合の場合でもこの配合と大差ないときには、式(7)によって注入モルタルの側圧を推定できるものと思われる。

<参考文献>

- 1) R. H. Olsen: "Lateral Pressures of Concrete on Formwork" 1968. 5

§ 6. まとめ

注入モルタルのせん断特性の経時変化を求める実験、側圧の模型実験を行なった範囲内で次のことがいえる。

(1)プロクター貫入抵抗 (P) は、一般のコンクリートの場合と同様に時間の経過にともなって指数関数的に増大する。

(2)凝結の始発は、ピカー針の貫入抵抗によって試験する方法であるので、プロクター貫入試験と相関関係が認められ、始発時間はプロクター貫入抵抗約 3kg/cm² に相当する。

(3)注入モルタルの粘着力 (c) および内部摩擦角 (ϕ) の経時変化も、プロクター貫入抵抗と同様の傾向を示し、任意の温度、時間における c , ϕ は次式によって求めることができる。

$$\log c = (0.01099T + 0.04030)t - 3.5142$$

$$\log \phi = (0.007686T + 0.02818)t - 0.9934$$

(4)注入モルタルの c , ϕ の経時変化、温度の影響が明らかになったので、次式によって側圧が計算でき、模型実験によってその妥当性が示された。

$$P_m = Kt \omega Z$$

例えば、温度32℃、注入速度20cm/hr.の場合、実測モルタル圧は0.62 t/m²であり、計算値は0.48 t/m²であった。

(5)本実験は、大量に施工されるプレキャストコンクリートを対象として注入モルタルの配合を1種類に限定した。さらに、側圧の実測値も限られたものであるために、本研究で提案した式の妥当性を示す例は少ない。この式を、大型の型わくの設計に用いるためには時期尚早ではあるが、この式を適用しても大きな誤差はないものと思われる。

(6)本研究によって、注入モルタルの側圧に関して算定式まで求めることができたが、今後さらに粗骨材の間にモルタルを注入したプレキャストコンクリートの側圧について検討を進めていきたい。

本研究は、研究所、土木設計部、土木技術部の共同研究として行なったものであり、関係各位に感謝の意を表す。

最後に、本研究に対して有益なご示唆、ご指導をいただいた本州四国連絡橋公団の担当者の方々に厚くお礼申し上げます。

- 2) 桜井・坂本：“プレパ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
- 3) 森永他：“コンクリートポンプの管内圧送圧に関する研究” 清水建設研究所報 第16号, 1970. 10
- 4) A. G. B. Ritchie：“The Triaxial Testing of Fresh Concrete” Magazine of Concrete Research Vol. 14, No. 40, 1962. 3
- 5) 越川他：“まだ固まらないコンクリートの三軸圧縮試験について” 土木学会第30回年次学術講演会講演概要集, 1975. 10
- 6) 西林他：“フレッシュコンクリートのレオロジー的性質に関する基礎的研究—三軸試験による一考察—” 同上
- 7) 奥村他：“若材令における注入モルタルのせん断特性について” 同上
- 8) 菊川他：“回転粘度計によるフレッシュコンクリートのレオロジー定数測定法” 同上
- 9) 長滝他：“フレッシュモルタルの流動性に関する研究” 同上
- 10) 岩崎：“コンクリートの特性（コンクリート・セミナー，1）” 共立出版, 1975. 12
- 11) 桜井他：“大寸法の砕石を用いたプレパックドコンクリートについての実験的研究” 土木学会第25回年次学術講演会講演概要集, 1970. 10
- 12) 黒田他：“プレパックドコンクリート側圧（モルタル圧）現場実験” 土木学会第31回年次学術講演会概要集, 1976. 10
- 13) M. K. Hurd：“Formwork for Concrete (ACI SP-4)” ACI 622 Committee 1973. 4