

[1049] 型わく振動機を用いた軽量コンクリートの締固め施工と品質

正会員 ○川崎三十四（東海興業技術研究所）  
 齊藤 晋（東海興業技術研究所）  
 田代 郁夫（東海興業技術研究所）  
 夏井 千明（東海興業技術研究所）

1. まえがき

近年、軽量高周波型わく振動機が開発され労務削減、豆板等の発生防止、密実化向上を目的として使用されつつある。しかし型わく振動機による締固め施工コンクリートの品質研究は未だ少く、特に軽量コンクリートを対象とした研究はほとんど見られない。

本研究は軽量コンクリート構造物への型わく振動機使用法確立とコンクリート品質の解明を目的として行ったもので、振動加速度数と振幅、側圧、壁体の細粗骨材分布、空気量、透気性、圧縮強度、静弾性係数等の実態を明らかにし、今後の使用注意点と課題を提示した。また、一部に繊維布と先付タイル貼り型わくを用いコンクリート品質を検討した。

2. 試験体の形態、配筋と型わくの種類

試験体はA, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, Lの12体である。高さは2.4mでその平面を図-1に示す。配筋はXY方向壁とも縦横D10@200とした。型わくは合板型わく(12mm厚)としたが、図-1表示個所の一部試験体を繊維布と先付タイル貼りとした。繊維布貼りは合板にφ3mmの穴を100mm間隔で基盤目状にあげその内側にポリエステル繊維を貼ったものである。先付タイルは合板の内側に樹脂パックした磁器タイル(45×95×7mm)を貼ったものである。

3. コンクリートの種類と打込み、締固め方法

コンクリートは流動化軽量コンクリートとし、A~F試験体を軽量1種、G~L試験体を軽量2種とした。コンクリートの調合を表-1に示す。流動化剤は打込み直前添加である。

打込みはポンプ圧送で行い、締固めは型わく振動機並びに比較のため棒形振動機、木槌を用いた。締固め方法を表-2、図-2、写真-1に示す。尚、型わく振動機は重さ4.3Kg、周波数200Hz、同期回転数6000rpmのものを用いた。但し、試験体E, F, K, Lに用いた型わく振動機は180Hz(5400rpm)と240Hz(7200rpm)の周波数に変換し実験した。棒形振動機は周波数200Hz、振動数12000rpm、大きさφ39×441mmのものである。

4. 実験内容と方法

(1) 生コンの品質試験 生コンクリートの品質確認のためスランブ、空気量、単位容積重量及び粗骨材の打込み直前吸水量等の試験を行った。吸水量試験は1.57

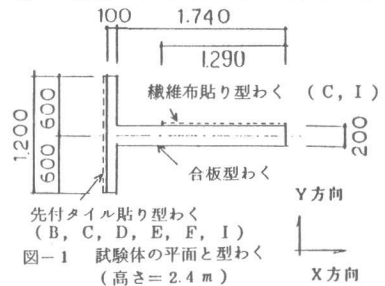


図-1 試験体の平面と型わく (高さ=2.4m)

表-1 コンクリートの調合表 流動化後スランブ21±1.5cm。 気乾単重の( )内は実計値。

種類	級別基準強度 Fe kg/cm <sup>2</sup>	スランブ (cm)	空気量 (多)	水セメント比 (多)	細骨材率 (多)	単位水量 kg/m <sup>3</sup>	単位重量 kg/m <sup>3</sup>				A E 減水剤 kg/m <sup>3</sup>	気乾単重 t/m <sup>3</sup>
							セメント	細骨材 (普通)	細骨材 (軽量)	粗骨材 (軽量)		
軽1	270	18±2.5	5±1.5	50.1	47.3	176	351	816	—	450	1.228	1.90 (1.81)
軽2	210	18±2.5	5±1.5	57.8	52.6	172	298	313	383	417	1.044	1.60 (1.59)

(気温補正なし) 水:上水道 セメント:種類,N 比重3.16 AE減水剤:P70 流動化剤:MF7  
 細骨材:市原産 比重2.6 (表乾) 2.55 (絶乾) FM2.7 細骨材:MS 比重1.6 (絶乾) FM2.7 粗骨材:MS 比重1.29 (絶乾) FM6.37 (除砂) 洗い試験 1.3% 洗い試験 2.5% 吸水率2.79%

ℓの生コンを5mmフルイで水洗し粗骨材の表乾と絶乾重量を測定し算出した。また壁体との比較のためφ10×20cmのテストピースを採取し現場水中

養生，材令1週，4週で圧縮強度試験を行った。

(2) 振動加速度数と振幅の測定 型わく振動機による型わく表面の振動加速度数と振幅を求めるため加速度変換器，動歪測定器で加速度数を回転計測計で振動機の回転数を測定し，振幅は(1)式から算出した。測定は図-2の表示個所のように振動機の附近，真上1m，水平方向1mの合板面でコンクリートが天端に到達後を行った。

$$G = S \times N^2 / 1.8 \times 10^6 \dots\dots (1)$$

G：加速度数(G)，S：両振幅(mm)，N：回転数(VPM)

(3) コンクリートの側圧測定 型わく構法の改良と壁体の変形資料を得るためコンクリート側圧を測定した。測定は圧力式の生コン用側圧計を用いD，J試験体の振動機真下方向地上0.2mで行った。(図-2参照)

(4) 壁体の細粗骨材分布試験 壁体内の細粗骨材が浮上分離していないかφ7.5×20cmのコアをコンクリート打設60分後に高さ0.3m，1.1m，1.7m，2.3mから採取し細粗骨材量と粗粒率を試験した。同時に各生コン車からも試料を採取し同様の試験を行った。分析は採取コアを88μmと5mmフルイで水洗し細粗骨材に分割後105℃，24時間乾燥後の重量と粗粒率を求め，その時の重量と採取時のコア重量及び生コンの単位容積重量試験結果から細粗骨材の単位容積重量を計算しコンクリート調査表と比較した。

(5) 壁体の仕上り観察 壁体面の仕上りを調査するため，気泡分布などを目視で観察し評価した。

(6) 壁体の空気量試験 壁体の空気量分布調査のため高さ0.3m，1.3m，2.3mよりφ10×20cmのコアを採取し，壁体面に相当する端面から10，40及び中心100mm切断面の空気量をASTMC45「顕微鏡法硬化コンクリートの空気量試験」で求めた。また片面に繊維布貼り型わくを用いたC，I試験体は両端面から10mmと中心切断面での空気量を同方法で求めた。

(7) 壁体の簡易透気性試験 壁体の密実性と今後の中性化深さとの関連調査のため，高さ0.3m(F，L試験体)，1.3m(A～F及びH，I，L試験体。但し，CとIは繊維布貼り側と合板側の両面とも実施)2.3m(F，L試験体)の簡易透気速度を図-3に示す装置で求めた。測定は真空にした穴内部に空気が集まって水銀柱の上端が上昇し140から180mmHg

表-2 コンクリートの締め固め方法

試験体	生コン車	締め固め機 具	加振時間		周波数 Hz	型わくの種類		
			打込み中	打込み後				
型1	A 1台目	棒型振動機1台，木づち1個	0秒	コンクリートが高さ約60cmに到達後に加振を開始。以後，屋上部に到達を連続加振(2分)。	200	合板		
			4.5秒				合板，タイル	
			9.0秒					合板，タイル，繊維布
	E 2台目	8分	180			合板，タイル		
		4.5秒					240	
		4.5秒						
型2	G H I 3台目	型わく振動機1台	0秒	同上	200	合板，		
			4.5秒				合板，	
			9.0秒					合板，タイル，繊維布
	K 4台目	8分	180			合板，		
		4.5秒					240	
		4.5秒						

印 加振はX方向壁で実施。短辺のY方向壁は打込み後別途に15秒加振。

打設速度：2.5 m/hour 合板：合板型わく

繊維布：繊維布貼り型わく タイル：先付タイル型わく

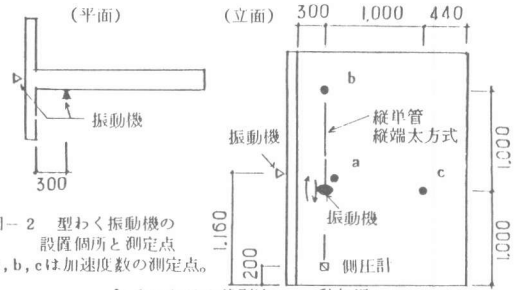


図-2 型わく振動機の設置箇所と測定点 a, b, cは加速度数の測定点。

印は打込み後別途に15秒加振。

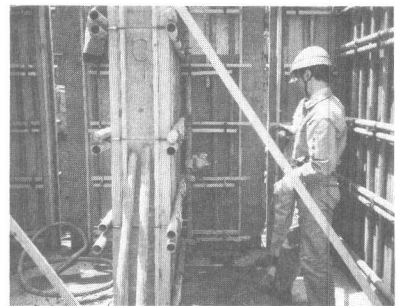


写真-1 型わく振動機による締め固め

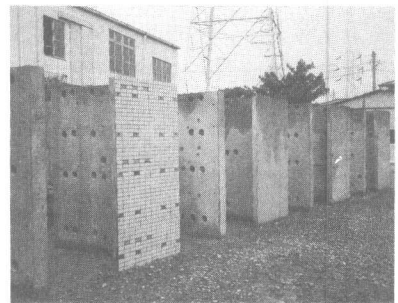


写真-2 試験体の状況(コア採取後)

に至る迄の時間を計り、(2)式で簡易透気速度(K)を算出した。

$$K = X / T \text{ (mmHg/秒)} \dots\dots (2) \text{ [X: 40 mmHg, T: 140} \rightarrow \text{180 mmHg 迄の時間(秒)]}$$

(8) 圧縮強度, 静弾性係数, ポアソン数試験 壁体の圧縮強度, 静弾性係数, ポアソン数調査のため材令4週に高さ0.3m, 1.1又は1.3m並びに1.7m, 2.3mから $\phi 10 \times 20$ cmのコアを採取し品質試験を行った。試験方法はJISA 1107「コアの切取り方法及び強度試験方法」とし, 歪測定は縦をコンプレツソメーター, 横を箔ゲージで行った。但し, 横歪はB, H試験体のみを測定した。コア採取後の試験体状況を写真-2に示す。

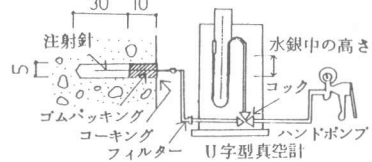


図-3 簡易透気性試験装置

表-3 まだ固まらないコンクリートの品質試験結果

生コン車	試験時	スランプ (cm)	フロー (cm)	空気量 (%)	単重 ( $t/m^3$ )	流動化剤添加率 (%)	事前吸水量 (%)
1台目	荷卸し	17.0	26.3	4.6	1.926		19.31
	流動化後	21.5	38.5	4.5	1.908	0.285	
2台目	荷卸し	18.5	27.8	5.0	1.915		20.66
	流動化後	21.5	39.5	4.9	1.916	0.178	
3台目	荷卸し	19.5	34.0	5.6	1.758		22.55
	流動化後	21.5	39.5	5.4	1.755	0.107	
4台目	荷卸し	20.0	33.5	5.2	1.758		24.42
	流動化後	21.5	38.0	5.5	1.750	0.107	

注) コンクリート温度: 25~26℃, 外気温度: 23.5~25℃

1台目: A~C試験体(軽1), 2台目: D~F試験体(軽1)

3台目: G~I試験体(軽2), 4台目: J~L試験体(軽2)

(9) 先付タイルの接着強度試験 先付タイルの接着強度を調べるためB~F試験体とI試験体の高さ0.3m, 1.3m, 2.3mにあるタイルの接着強度を建研式接着力試験器を用いて材令4週に試験した。

### 5. 実験結果及び考案

(1) 生コンの品質 生コンの品質試験結果を表-3に示す。流動化後のスランプは21.5cm, 空気量は4.5~5.5%であり調合表の許容値を満足している。粗骨材の打込み直前吸水量は19.3~24.4%であった。これはポンプ圧送の圧力吸水が少なくて済む事前吸水量の値である。また, テストピースの材令4週圧縮強度は現場水中養生で軽量1種が317~309kg/cm<sup>2</sup>, 軽量2種が270~255kg/cm<sup>2</sup>であった。

(2) 振動加速度数と振幅 周波数別(試験体別)の加速度数を図-4, a, bに, 連続加振中の加速度数を図-5に示す。また加速度数と振幅の関係を図-6に示す。周波数別の図-4からは加速度数の傾向が特定できず, 同一周波数でも測定時の瞬間的な数値の変動が検出されているように思われる。また図-5から加速度数は平均的に振動機附近が約3.5~4G, 真上1mが約1.5~2G, 水平方向1mが約0.6~1Gである。振動機を縦単管に取付けたため(図-2参照)振動機の回転軸が水平となり鉛直方向に振動力が伝達されやすく真上1mが水平1mよりも大となった事を示している。従って本実験のような場合0.6~1Gの加速度数を確保するには真上1mが水平1mの約2倍である事から真上と真下が同等と推測すると型わく振動機の間隔を水平方向約2m, 鉛直方向約4mに計画できる。図-6では加速度数と両振幅の関係が予測値とほぼ一致し加速度数2Gで約0.1mmの両振幅となっている。

(3) コンクリートの側圧 コンクリートの側圧試験結果を図-7に示す。コンクリート打込み後加振しても側圧の増加は少なく, 打込後10分に最大となった。ちなみにJASS 5.1 1.6の予測式〔側圧P( $t/m^2$ )=生コンの単重W×生コンのヘッドH〕より求めた値は, D試験体が4.21  $t/m^2$ , J試験体が3.85  $t$

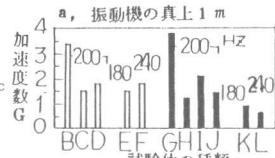


図-4 周波数別の加速度数

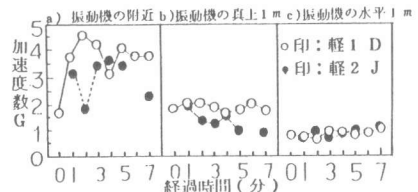


図-5 連続加振中の加速度数

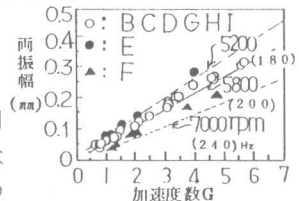


図-6 加速度と振幅の関係 (実測と予測一次式) 回転数はスリップ等を考慮し定格より2~3%減で計算。(1式)

／ $m^2$ であり実測値の方が小さい。

(4) 壁体の細粗骨材分布 コアの採取高さとし骨材量及び粗骨材量の関係を図-8及び図-9に示す。加振方法が異なるが総合的な傾向は下記のようなものである。軽量1種コンクリートは上段の粗骨材が各試験体とも増加し細骨材が減少の傾向である。これは上段附近で比重の大きいセメント、普通細骨材が沈降した事を示している。軽量2種は高さ方向の増減が少い。軽量1種に比べセメント量が少く細骨材にも軽量骨材を約半分用いている違いと推測される。また軽量1種、2種とも細骨材量が少く傾向は $88\mu m$ 以下の砂が水洗で流出しているためである。(表-1 洗い試験値参照)分析で以上の特徴が判明したが、調査表比の細粗骨材量は $\pm 20\%$ 以内であり生コン内のばらつき、コア採取の熟練度を考慮すると壁体の骨材分布は良好と思われる。一方、粗粒率もテストピースの値に比べ差異は少なく粒度分布も大きな変化は見られない。

(5) 壁体の仕上り 壁体面の仕上りは軽量1種が気泡も少く優良であった。軽量2種は $5\sim 10mm$ 位の気泡が多く中には表面の薄塗り補修を要するものもあった。打込み生コンの空気量も2種が若干多いが、骨材の比重、セメント量などによって型わく振動機の周波数、加振時間などの使用方法を変える必要があると推察される。また、繊維布貼り型わく側の仕上りは気泡が全く発生しなかった。但し、C、I試験体とも材令6ヶ月で型わくの $\phi 3mm$ 穴附近へのペーストの集中と思われる径 $4cm$ 位の亀甲状の微細ひび割れが生じ採用に注意すべき事を示した。

(6) 壁体の空気量 A~L試験体の高さ $1.3m$ 、コア中心面の空気量試験結果を図-10に示し、F及びL試験体のコア採取高さとし骨材量の関係を図-11に示す。またB及びH並びに繊維布貼り型わくを用いたC及びI試験体のコア切断面内部の空気量分布を各々図-12と図-13に示す。図-10ではF試験体を除いて各試験体の空気量が表-3の値より少く、加振で移動消失している事を示している。Fの現象は定でない。図-11からは加振等によって空気が上昇し上部は気中に放出した現象を示した。また図-12の切断面内部の空気量は中心部より端部が多く端部に向って水平方向への移動も示している。しかるに図-13では繊維布貼り型わく側の空気量が中心部より少く、表層部に集った空気が水と共に外部に消失した事を示しており仕上りの優良さを証明している。但し、反対側の合板型わく側も図-12と異り中心部より少く。これは表層部に空気が移動した後、型わくの振幅が大となった時に外部に消失したものと推察される。

(7) 壁体の簡易透気性 A~F及びH、I、

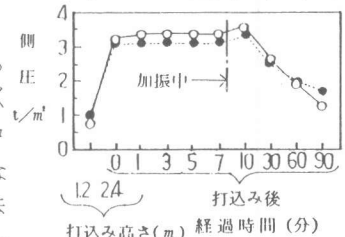


図-7 コンクリートの側圧 (D, J試験体)

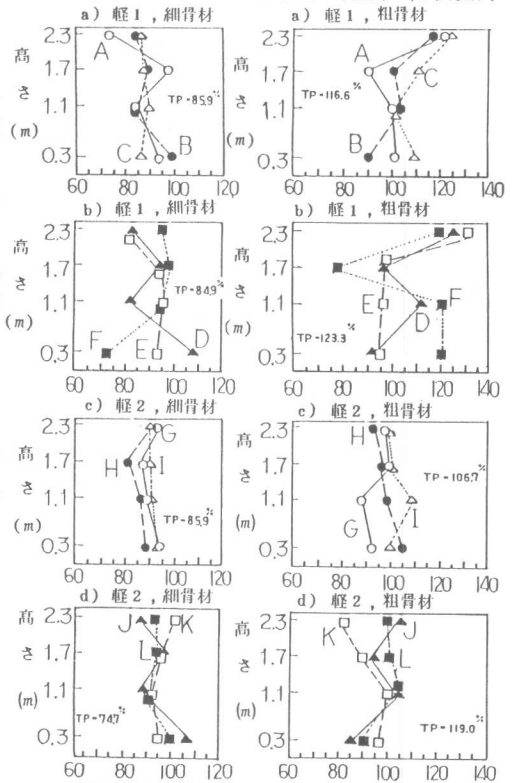


図-8 コアの採取高さとし骨材量 (TP:テストピース) 図-9 コアの採取高さとし骨材量 (TP:テストピース)

粗粒率 FM	A, B, C: 2.50~2.65	TP: 2.61	A, B, C: 6.62~6.72	TP: 6.66
	D, E, F: 2.45~2.74	TP: 2.58	D, E, F: 6.56~6.76	TP: 6.75
	G, H, I: 2.86~3.09	TP: 2.90	G, H, I: 6.43~6.60	TP: 6.53
	J, K, L: 2.89~3.15	TP: 2.98	J, K, L: 6.34~6.49	TP: 6.52

L 試験体の高さ 1.3 m での簡易透気速度を図-14 に示し、F 及び L 試験体の高さ方向の簡易透気速度を図-15 に示す。また C, I 試験体の型わくの種類による簡易透気速度の試験結果を図-16 に示す。型わく振動機の加振方法の違いによる分析は困難であるが図-14 から A 試験体の棒形振動機で締固めたものに比べ、傾向として型わく振動機で締固めた同一調合の B ~ F 試験体の透気速度が小さく密実性が高い。軽量 2 種の H, I, L 試験体は生コンの空気量も軽量 1 種より多く B ~ F 試験体より大きめとなっている。図-15 は図-11 の空気量試験結果と異なり上段の方が密実でない傾向を示した。これは空気量試験が壁体中心切断面のものであるのに対し、簡易透気速度試験は壁体表層部の試験による差異と考えられる。また、図-16 では繊維布貼り型わく側の簡易透気速度が合板型わく側よりも小さく、水の流失で密実になっている事を証明した。

(8) 壁体の圧縮強度、静弾性係数、ポアソン数 コアの採取高さ  
と圧縮強度の関係を図-17 に、コアの静弾性係数と圧縮強度の関係を図-18 に示す。またコアのポアソン数と圧縮強度の関係を図-19 に示す。図-17 からコンクリート打込み後 8 分間加振した D, J 試験体が上段部と下段部の強度差が大きい。90 秒加振した軽量 2 種の I 試験体も若干 D 及び J と類似傾向であり軽量骨材が多いほど加振時間の影響が大きい。その他は上段部の強度が上部からの空気量消失に伴い中段部よりも強くなっている傾向もあるが加振による品質低下は見られない。以上より本実験のように打込み締固めを行う場合、コンクリート打込み後の加振は約 45 ~ 60 秒以下が目やすとなろう。図-18 の静弾性係数は(3)式による推定値に対して軽量 1 種コンクリートが約 10% 低い値となった。この原因は明らかでなく調合ミス等によるのか定かでない。しかし全体的には加振による悪影響はないものと推察できる。図-19 のポアソン数も B, H 試験体のみであるが通常の値であり欠陥は見られない。

$$E_{1/3} = 2.1 \times 10^5 \times (r/2.3)^{1.5} \times \sqrt{F/200} \dots\dots\dots (3)$$

$E_{1/3}$  : 静弾性係数 (kg/cm<sup>2</sup>)    r : 気乾単重 (t/m<sup>3</sup>)    F : 圧縮強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

(9) 先付タイルの接着強度 先付タイルの接着強度試験結果を図-20 に示す。何れも 10 Kg / c m<sup>2</sup> 以上の値であり建築工事施工監理指針 (建設省) の規準値 6 Kg / c m<sup>2</sup> 以上を満足している。従って接着については工法上問題ないものと推察される。

## 6. 結 論

本実験の結果を整理すれば下記のようなものである。①型わく振動機の周波数 180, 200, 240 Hz ごとの振動加速度数の傾向は特定できず再検討を要する。②型わく振動機を縦単管に取付けた場合振動加速度数は振動機附近が 3.5 ~ 4 G, 真上 1 m が 1.5 ~ 2 G, 水平方向 1 m が 0.6 ~ 1 G 程度となる。従って振動加速度数の値 (真上方向

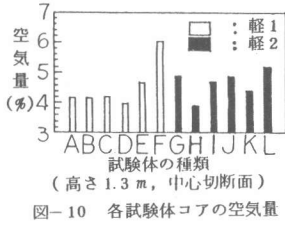


図-10 各試験体コアの空気量

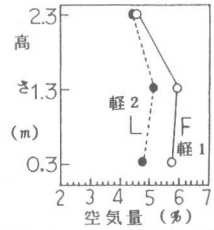


図-11 コアの採取高さ空気量 (10φ\*20cm中心切断面)

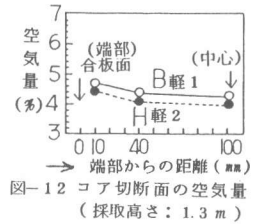


図-12 コア切断面の空気量 (採取高さ: 1.3 m)

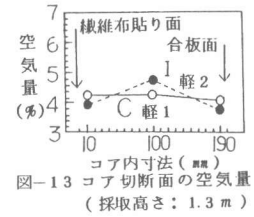


図-13 コア切断面の空気量 (採取高さ: 1.3 m)

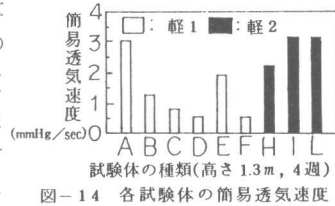


図-14 各試験体の簡易透気速度

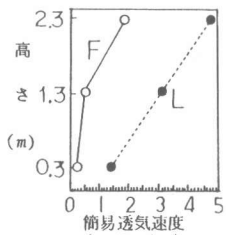


図-15 試験体の高さと簡易透気速度 (4週)

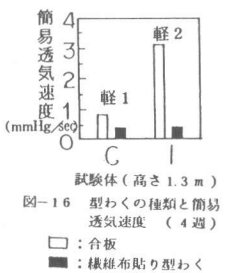


図-16 型わくの種類と簡易透気速度 (4週)

÷ 2 × 水平方向) から 0.6 ~ 1 G の加速度数を確保するには真上と真下方向が同等と推測すると振動機の設置間隔を水平 2 m, 垂直 4 m に施工計画を考える事が出来る。③型わく振動機の両振幅は加速度数 2 G で約 0.1 m である。これは予測値ともほぼ一致する。

④加振時間の長いコンクリートの側圧は D 試験体が最大 3.6 t/m<sup>2</sup>, J 試験体が最大 3.3 t/m<sup>2</sup> となったが JASS 5.1 1.6 の予測式による値よりも小さい。⑤壁体内の細粗骨材分布は軽量 1 種コンクリートが壁体上段附近で比重の大きいセメント, 普通細骨材が沈降し粗骨材が増加する傾向を示した。軽量 2 種は高さ方向の増減が少い。全般的に調合表比の細粗骨材量は ± 2.0 % 程度以内であり, 粗粒率も正常である。分析の困難さ, 生コン内でのばらつきを考えると細粗骨材分布の欠陥は少い。⑥同じ加振方法であっても軽量 1 種と軽量 2 種コンクリートの壁体面の仕上りが異なる。コンクリート調合によって周波数や加振時間などを変える必要性があり今後の課題となろう。⑦繊維布貼り型わくを用いた壁体面には気泡が全く発生しなかった。しかし約 6 ヶ月後に亀甲状の微細ひび割れが発生し採用に当り注意を必要とする。⑧加振によって壁体内の空気は上部及び水平方向に移動し型わくなどの遮へい物がないと外部に放出する傾向がある。遮へい物がある場合は上部及び側面の表層部に空気が集まる。⑨繊維布貼り型わくを用いると壁体表層部の空気量が中心部より少くなり密実となる。これは簡易透気速度試験結果でも証明され, 水と共に空気が流失している事を示している。⑩軽量 1 種コンクリートの締固めを棒形振動機で行ったものに比べ型わく振動機で行った方が簡易透気速度が小さく密実性が高い。特に, 中性化を考えると型わく振動機の効力が発揮できると推察される。⑪圧縮強度は型わく振動機の加振時間を本実験のように, コンクリート打込み中 2 分, 打込み後 1 分以内位であれば品質低下しない。これ以上の加振は骨材が軽量であるほど悪影響が出やすいようである。⑫静弾性係数は軽量 1 種コンクリートが推定値よりも約 1.0 % 低い値となったが, 調合上のミスによるのか原因不明である。今後も検討を要するが全体的には加振による悪影響はないようである。ポアソン数は試験数も少いが欠陥は見られなかった。⑬先付タイル工法に型わく振動機を用いても接着上の欠陥は生じない結果が得られた。

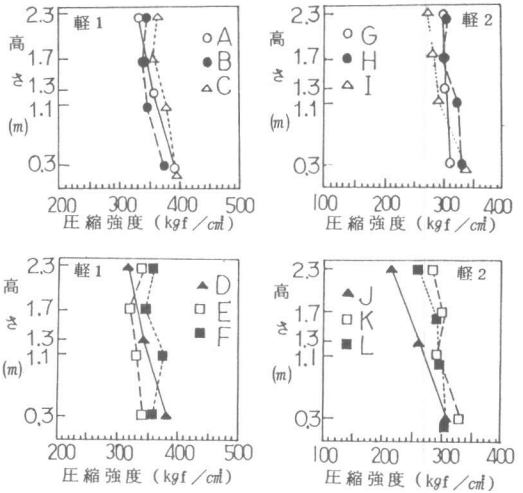


図-17 コアの採取高さとは圧縮強度 (4週)

注) テストピースの圧縮強度 (材令) (現場水中養生)  
 A, B, C { 7日: 206 kg/cm<sup>2</sup>  
 試験体 { 4週: 317 kg/cm<sup>2</sup>  
 D, E, F { 7日: 189 kg/cm<sup>2</sup>  
 試験体 { 4週: 309 kg/cm<sup>2</sup>  
 G, H, I { 7日: 156 kg/cm<sup>2</sup>  
 試験体 { 4週: 270 kg/cm<sup>2</sup>  
 J, K, L { 7日: 142 kg/cm<sup>2</sup>  
 試験体 { 4週: 255 kg/cm<sup>2</sup>

⑭同じ加振方法であっても軽量 1 種と軽量 2 種コンクリートの壁体面の仕上りが異なる。コンクリート調合によって周波数や加振時間などを変える必要性があり今後の課題となろう。⑮繊維布貼り型わくを用いた壁体面には気泡が全く発生しなかった。しかし約 6 ヶ月後に亀甲状の微細ひび割れが発生し採用に当り注意を必要とする。⑯加振によって壁体内の空気は上部及び水平方向に移動し型わくなどの遮へい物がないと外部に放出する傾向がある。遮へい物がある場合は上部及び側面の表層部に空気が集まる。⑰繊維布貼り型わくを用いると壁体表層部の空気量が中心部より少くなり密実となる。これは簡易透気速度試験結果でも証明され, 水と共に空気が流失している事を示している。⑱軽量 1 種コンクリートの締固めを棒形振動機で行ったものに比べ型わく振動機で行った方が簡易透気速度が小さく密実性が高い。特に, 中性化を考えると型わく振動機の効力が発揮できると推察される。⑲圧縮強度は型わく振動機の加振時間を本実験のように, コンクリート打込み中 2 分, 打込み後 1 分以内位であれば品質低下しない。これ以上の加振は骨材が軽量であるほど悪影響が出やすいようである。⑳静弾性係数は軽量 1 種コンクリートが推定値よりも約 1.0 % 低い値となったが, 調合上のミスによるのか原因不明である。今後も検討を要するが全体的には加振による悪影響はないようである。ポアソン数は試験数も少いが欠陥は見られなかった。㉑先付タイル工法に型わく振動機を用いても接着上の欠陥は生じない結果が得られた。

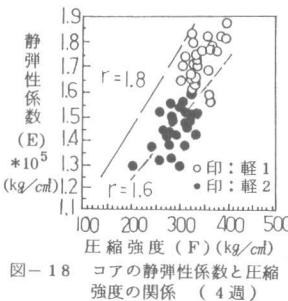


図-18 コアの静弾性係数と圧縮強度の関係 (4週)

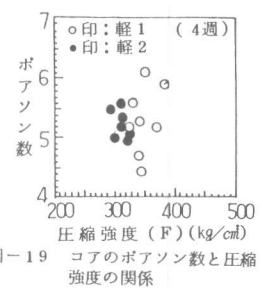


図-19 コアのポアソン数と圧縮強度の関係

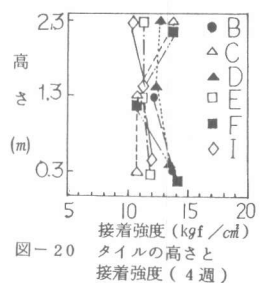


図-20 タイルの高さと接着強度 (4週)

〈謝 辞〉 本実験に御協力を得た当社従業員, 日本大学松井勇博士, 山宗化学 (岩城氏, 平石氏), サンコウ通商 (清水氏, 沼田氏) などの各位に謝意を表します。〔参考文献〕〔1〕日本建築学会: 建築工事標準仕様書同解説, JASS5 鉄筋コンクリート工事 1986 〔2〕田草川, 戸島, 川崎, 近藤: 流動化コンクリートの締固め施工に関する研究, 第8回コンクリート工学年次講演会論文集, PP273~276 1986