

[69] 流動化コンクリートの締め固め施工に関する研究

田草川正光 (東海興業 建築本部 構造部)

戸島 英也 (東海興業 東京工事本部)

正会員 ○川崎三十四 (東海興業 技術研究所)

近藤 勝哉 (東海興業 東京工事本部)

1. 序

コンクリート構造物の工事に於て、ポンプ圧送などの打込み方法に関しては過去にも多くの研究がなされている。しかし、締め固め方法については改善の研究が少く豆板の発生防止、密実化への志向が未だ十分でない。そのためJASS5で称している高次のコンクリート品質を得るには締め固め工法の改善を計る事も必要である。

本研究は高層RC造等に必要の高品質のコンクリートを得るために締め固め工法の改善研究を計画したもので、本論文は近年開発された軽量の型わく振動機を用い、打込み締め固め時の振動加速度と振幅、躯体の表面気泡、空気量、粗骨材分布、透気性、圧縮強度について実験を行い高層RC造への採用を検討したものである。

2. 試験体の形態とコンクリートの種類

試験体はA、B、C、D、Eの5体であり、その形態と配筋を図-1、写真-1に示す。型わくはB試験体のX方向壁をメタルフォームとし、他は合板型わく(12mm厚)とした。また、全試験体にコンクリートの流動状況観察のため透明型わく(450×1800mm)をセットした。コンクリートは普通流動化コンクリートを用い荷卸し時に流動化剤を添加した。コンクリートの調合は表-1の通りである。

3. コンクリートの打込みと締め固め方法

打込みはポンプ圧送で行った。締め固めは型わく振動機並びに比較のため棒形振動機(高周波)、木槌を用いた。打込み締め固め詳細を表-2、図-2、写真-2に示す。尚、型わく振動機は重さ3.8Kg、周波数200Hz、最大振動力200Kgfのものであり、取付けは図-2、写真-2のように縦端太方式とした。棒形振動機は径42mm、周波数200Hzのものである。

4. 実験内容と方法

(a) 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プ、空気量等の試験を生コン車毎に行つた。同時に躯体との比較のためテストピース(100×200mm)を採取し、現場水中養生、材令4週で圧縮強度試験を行つた。

(b) 振動加速度と振幅の測定 振動機で加振した時に型わく表面の振動加速度と振幅がどの位に作用しているかを測定した。測定箇所を表-3に示す。また、型わく振動機の加速度、振幅、振動数の関係式は(1)式の通りである。測定は、A、C、D試験体を加速度変換器(センサー)

動ひずみ測定器、直視式電磁オシログラフをケーブルで接続して行い、Bのメタルフォームはポータブル加速度計で行つた。

$$G = S \times N^2 / 1.8 \times 10^6 \text{ ----- (1)}$$

G: 加速度数 (g)
S: 変振幅 (mm)
N: 回転数 = 5800 rpm
1g: 9.8 m/sec²

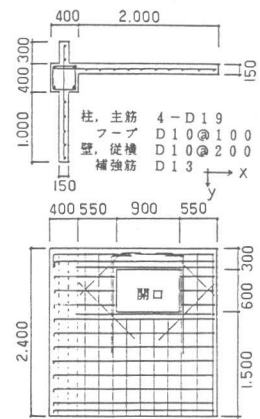


図-1 試験体の形態と配筋

表-1 コンクリートの調合表

呼び強度 kg/cm ²	設計基準 強度 kg/cm ²	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント 比 (%)	細骨材率 (%)	単位重量 kg/m ³				混和剤 kg/m ³
						水	セメント	細骨材	粗骨材	
300	270	15 ↓ 18	4.0	51.1	42.7	168	329	793	999	1.007

水: 上水道 セメント: N社製 比重=3.16 混和剤: V80
流動化剤: MF7 細骨材: 木更津産 比重=2.6
粗骨材: 青森産硬質砂岩 比重=2.65

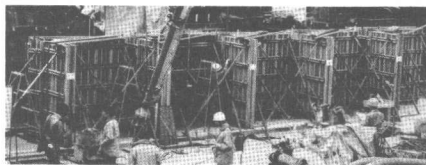


写真-1 試験体 A.B.C.D.E

(c) 躯体表面の気泡分布試験 躯体面の仕上りを調べるため、気泡の分布、大きさ、個数が平均的な個所から約15cm角にシリコン印象材で型取り、これに石膏(石膏100g+水120cc)を流し込み、硬化後の石膏表面に黒色ポスターカラーを塗布し気泡の鮮明な試験片を作った。それを写真撮影しリモートセンシングの画像解析装置により気泡数、面積を算出した。但し、測定最小面積は1mm²(現寸)である。

(d) 躯体の空気量試験 躯体内部の密実性調査のため試験体壁の上部(h=2.35m)、中部(h=1.15m)、下部(h=0.25m)よりコアを採取しASTMC45「顕微鏡法による硬化コンクリートの空気量試験」でコア中央断面の空気量を求めた。

(e) 躯体の粗骨材分布試験 加振で躯体内の粗骨材が沈下していないかを調べるため、(d)と同様にコアを採取し希塩酸で溶解し粗骨材量を求めた。

(f) 躯体の簡易透気性 躯体の透気性から締め固め程度を調べるため、壁の上(h=2.3m)、中(h=1.09m)、下(h=0.28m)で図-3に示す試験装置を用いて簡易透気速度を求めた。測定は穴内部を真空にした後、除々に穴に空気が集まって水銀柱の上端が上昇し140mmHgから180mmHg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。 $K=X/T$ (mmHg/sec)……(2)
[X:40mmHg, T:140→180mmHg迄の時間(sec)]

(g) 躯体の圧縮強度 躯体の強度を調べるため材令4週に高さ0.3m、0.9m、1.5m、2.1mからコアを採取し圧縮強度試験を行った。試験方法はJISA1107による。

5. 実験結果及び考察

(a) 生コンの品質 生コンの品質試験結果を表-4に示す。スランプは17.5~19.5cmで空気量は4.6~4.7%のものを打設している。また、テストピースの材令4週の圧縮強度は、現場水中養生で273~324kgf/cm²であった。

(b) 振動加速度と振幅 振動加速度の測定結果を図-4、図-5に示し、振幅と加速度の関係を図-6に示す。A試験体の場合、加速度の代表値は振動機の付近で3.1~3.6G、右40cmで1.6~2.5G、右8

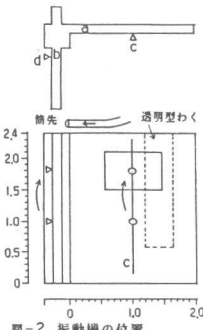


図-2 振動機的位置

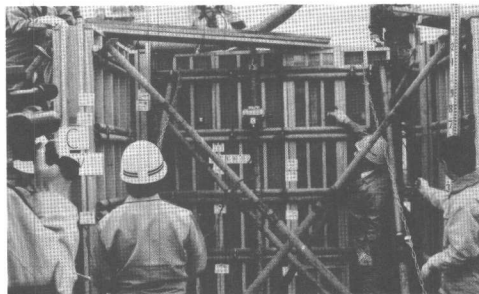


写真-2 コンクリートの打込みと締め固め

表-2 コンクリートの打込みと締め固め、加振方法

試験体	打込み順位	コンクリートの量	計画面スランプ	締め固め器具	打込み、締め固め、並びに加振方法。	打込み後の加振時間
A	1	0.46	15 ↓ 18cm	棒形振動機(1台)	打込みは柱の位置から実施 棒形振動機は図-2のc、 hの位置で交互に使用。 ハ 高さ30cmに達したら 加振を開始 タタキは2名で実施。 ホ 1回目は70cm迄打込み へ 5h後に2回目を打込み	20sec
	6	1.04	15 ↓ 18cm	木ゾチ(2個)		40sec
B	2	0.46	15 ↓ 18cm	型わく振動機2台	下記C、D、Eと同要領で 実施。 ロ 1回目は70cm迄打込み ハ 5h後に2回目を打込み。 最初、高さ10cmをス ランプ18cm、残りはス ランプ21cmとする。	20sec
	7	1.04	15 ↓ 21cm	(打込み後は1台)		40sec
C	3	1.5m ³	15 ↓ 18cm	型わく振動機2台	イ 打込みは柱の位置から実施 ロ 振動機は図-2のC、Dに て床より1mと1.8mに 移動。 ハ コンクリートが床より30 cmに達したら加振を開 始。 ニ 加振30秒、中断10秒の くり返し。 ホ 柱が打ち上げれば中断、残 りは壁端部から打込み。 ヘ 打込み後の加振は1台で、 床より1mで実施。	10min
D	4	1.5m ³	15 ↓ 18cm	(打込み後は1台)		0min
E	5	1.5m ³	15 ↓ 18cm			3min

(注) コンクリートの打込み速度は、25m³/h(0.42m³/m)
A、Bは打継ぎ試験体 BのX方向はメタルフォーム。

表-3 振動加速度の測定箇所

センサー位置	外部 (型わく面)			
	打込み中		打ち上り後	
振動機の高さ	1.0m	1.8m	1.0m	2.2m
試験体 A	棒状より、右10、40、80、下50cm		棒状より、右10、40、80、下50cm。 型h=2.2m	
棒形振動機 木づち	型h=0.9~2.1m コンh=1.0~2.3m			
試験体 B	振動機より、上、下、左、右50cm、90cm。取付側		振動機より、上、下、左、右50cm。取付側	
型わく振動機	コンh=14m、1.8m			
試験体 C	振動機より、上、下、左50cmと附近。取付側		振動機より、上、下、左90cmの取付側と振動機より、上、下、左、右50cm、90cmの反対側	
型わく振動機	コンh=0.5~1.0m コンh=1.4~2.3m			
試験体 D	振動機より、上、下、左50cmと附近。反対側		センサー位置は左記と同一箇所。振動機の高さが1.8m。取付側	
型わく振動機	コンh=0.3~1.4m コンh=1.4~2.4m			
試験体 E	振動機より、上、下、左、右90cmと附近。取付側		振動機より、上、下、左、右90cm。取付側	
型わく振動機	コンh=0.2~1.6m コンh=2.2m			

(注) 振動機の高さは一部異なる。
型h:振動機の高さ。コンh:コンクリートの高さ。
附近:振動機の直ぐ近く。取付側:振動機を取付た型わく面。
反対側:振動機を取付た型わくの対面の型わく面。

0 cmで1.7~2.3 G、下50 cmで0.5~1.8 Gであった。メタルフォームのB試験体は、距離50 cmで上下左右0.2~3.3 G程度、距離90 cmで0.7~3.7 G程度であった。これは次の合板型わくと同程度である。C、E試験体は、打ち上り後の左右方向は距離90 cmで1~1.7 Gであり、上下方向は0.7~2.7 Gでバラつきが見られた。打ち込み中はどれもこれらより高い加速度となつている。コンクリートが十分に充てんされていない時の型わく振動が大きいためである。C、D試験体は、振動機を取り付けた反対側の型わくで測定したものであるが、先の取付け側より低いものもある。しかし、ほぼ同等の加速度でありセパレーターを介して作用している事は明白である。但し、打ち込み中にはバラつきもあるので数値は参考として見る必要がある。以上より、型わく振動機で加振すると加速度は0.5~3 Gであり棒形振動機と同等の効果が働いている事が分つた。また、図-6の振幅は予測計算値よりも実測値が少し大きく、加速度3 Gで0.2 mm程度の振幅である。未充てん時よりも完全に充てんした時の振幅は少し小さくなる傾向も明らかである。

(c) 躯体表面の気泡分布 単位面積当りの気泡個数と気泡面積を表-5に示す。気泡個数/単位面積は、B>A>C>D>Eの順に気泡数が少い。気泡面積/単位面積の割合は、C、B、D>A>Eの順に少い。一方、目視観察では、C<B<E<A、Dの順に良好であった。以上を総合的に判断するとEが最も良好と推測され、D~Eの中間程度の締め固めが適切であるとの結果が得られた。Bはメタルフォームのため余り良くない傾向であり、Cは加振時間が長くても効果が少ない事を示している。

(d) 躯体の空気量 空気量の試験結果を図-7に示す。空気量は躯体下部よりも上部が多くなる傾向である。生コンの空気量は4.6~4.7%であったため、B、Dの上部を除いて問題ない。加振時間が長

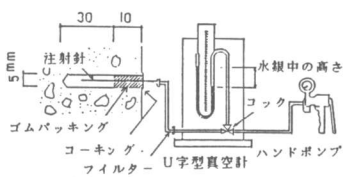


図-3 簡易透気性試験装置

表-4 まだ固まらないコンクリートの品質試験結果

生コン庫	試験時	スランプ (cm)	空気量 (%)	単重 (kg/l)	流動化剤添加量 (C*%)	打ち込み試験体
1台目	荷卸し	13.6	4.8	2.24	—	A, Bの下部とC
	流動化後	19.0	4.7	2.24	0.33	
2台目	荷卸し	10.0	4.8	2.24	—	D
	流動化後	17.5	4.7	2.24	0.53	
3台目	荷卸し	12.0	4.7	2.26	—	E, とA, Bの上部
	流動化後	19.5	4.6	2.26	0.47	

(注) コンクリート温度は、13~14℃

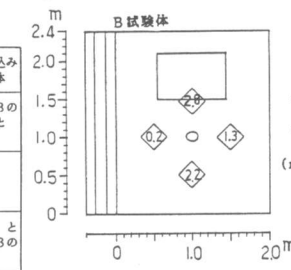
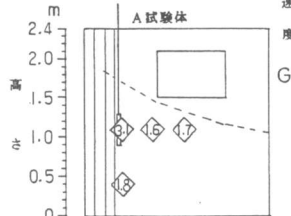


図-4 加速度と測定距離の関係

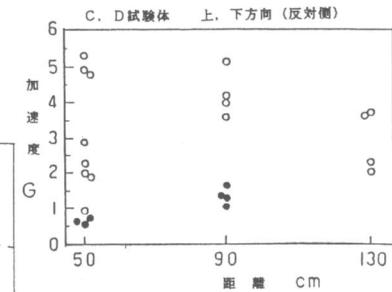
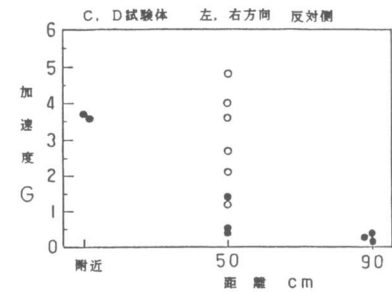
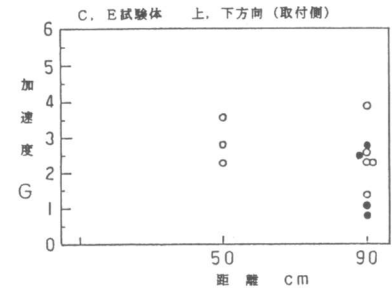
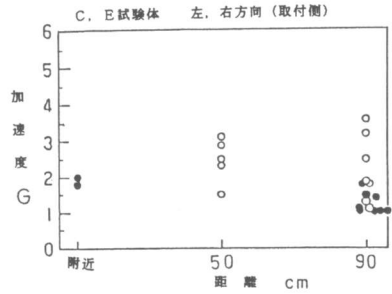


図-5 加速度と測定距離の関係 (○ 打ち込み中 ● 打ち上り後)

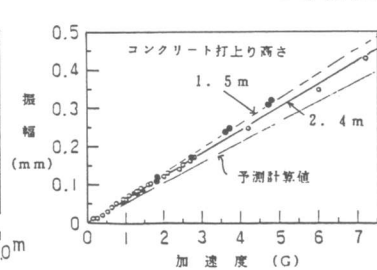


図-6 加速度と振幅の関係

いと空気が氣中に抜ける傾向があるが、B、Dの下部の空気量の減少は少く、上部の方に蓄積された傾向はない。従つて、B、Dの上部は打込み時の空気の巻き込み等による影響と言えよう。

(e) 軀体の粗骨材分布 粗骨材の分析試験結果を表-6に示す。Cはテストピースに比べ、中部、上部になると粗骨材量が少なくなつており、下側に沈下した傾向を示している。また、10mmフルイの通過率はCの上部で51%、Aの上部で44.7%であり細い骨材が多い傾向となつている。これは塩酸で骨材が割れたのか打込み時に骨材が分離していたのか定かでない。D、Eについては骨材の沈下した傾向はなく加振時間が適切であることを示している。

(f) 軀体の簡易透気性 簡易透気性の試験結果を図-8に示す。簡易透気速度はCを除いて上部の方が下部よりも大きい。これは空気量分布とも傾向が一致しており下部の方が密実となつている事を表わしている。Cの上部は穴をあけた所が硬い骨材に接したためと推測される。

(g) 軀体の圧縮強度 コアによる圧縮強度試験結果を図-9に示す。Cは上部で270 kgf/cm²以下となつた。テストピースでは273 kgf/cm²である事から他の生コン車より強度の小さいものを打設している。B、Dの強度傾向が異つているのは流動性の記録等で打込み中断が生じた事によるものである。

6. 結論

型わく振動機の加速度は0.5~3Gで作用しており従来の棒形振動機と同等以上の力で加振している。粉粒体は2~3Gが最密実になるとされている事からも効果的な加振と推測できる。しかし、本論文の結果より約10分も加振した場合気泡分布、骨材分布などに弊害が生じる。空気量も長時間の加振で減少し過ぎる恐れもあり、良好な軀体品質を得るには最大3分以内の加振が適切である。以上、加速度、気泡及び骨材分布空気量などの品質試験結果から

型わく振動機は高品質の軀体を得る事にも適している施工法であるとの確信が得られた。現在他の実験も行い高層RC造6棟をバケットとポンプ圧送で打込み、締め固めに型わく振動機を用いて施工している。

〔謝辞〕本研究に御協力を得た当社従業員(プロジェクト員)山宗化学、サンコウ、安川商事、花王、埼玉アサノコンクリート、大阪合同など約30名の各位に謝意を表します。〔参考文献〕：コンクリートハンドブック他

表-5 単位面積あたりの気泡個数と気泡面積

供試体の種類	供試体面積 A ₀ (cm ²)	気泡個数 ΣN (個)	気泡面積 ΣA (cm ²)	ΣN/A ₀ (個/cm ²)	ΣA/A ₀ * 100 (%)
A	221.1	126	3.83	0.57	1.74
B	223.4	233	4.08	1.04	1.83
C	225.0	94	4.08	0.42	1.81
D	221.6	87	4.05	0.39	1.83
E	227.8	69	1.54	0.30	0.68

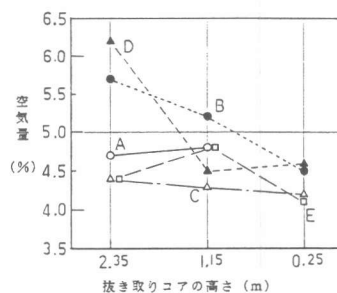


図-7 コアの高ささと空気量の関係

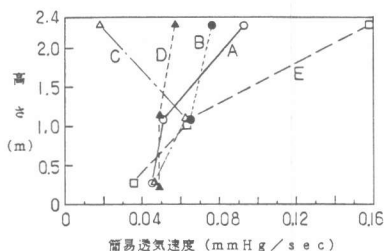


図-8 簡易透気速度と高さの関係

表-6 コンクリートコアの粗骨材分析試験結果

試験体	粗骨材 5mm以上	通過重量百分率 (%)			
	TPとの比率 (%)	20mm	15mm	10mm	5mm
A-上	95.54	97.5	88.4	44.7	0
C-上	89.15	95.8	90.8	51.0	0
C-中	92.28	97.3	88.5	41.1	0
C-下	97.71	92.6	81.3	34.9	0
D-上	87.10	86.9	73.4	31.9	0
D-中	103.73	95.0	72.4	28.4	0
D-下	95.90	96.3	81.0	39.6	0
E-上	104.69	94.2	80.2	37.3	0
E-中	101.56	91.6	76.2	37.2	0
E-下	100.12	95.0	79.7	39.9	0
テストピース	100.00	95.2	78.6	33.4	0
粗骨材の物理試験データ		98.0	77.0	39.0	6.0

(注) 1) 5mmフルイが0%となつているのは粗骨材量の試験前、5mmフルイ通過分を細骨材として分離したためである。
2) テストピース(10φ*20cm)は生コン車1台目のもの。
3) コア寸法φ10φ*15cm。

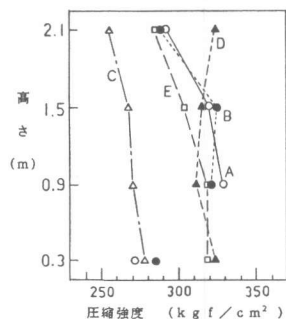


図-9 コアの採取高ささと圧縮強度(4週)

注) テストピースの圧縮強度(材含)(現場水中養生)
A, Bの下部 { 7日: 180 kgf/cm²
4週: 273 kgf/cm²
1年: 426 kgf/cm²
D----- { 7日: 226 kgf/cm²
4週: 318 kgf/cm²
1年: 448 kgf/cm²
EとA, Bの { 7日: 206 kgf/cm²
4週: 324 kgf/cm²
1年: 429 kgf/cm²