論文 水平振動方式による軽量コンクリートの締固めにおける 型枠形状の影響

河辺 伸二*1・M.W. チャロンゲ*2・陳 加潤*3・武藤 正樹*4

要旨:水平振動方式で作製した軽量コンクリート供試体の圧縮強度をL型シュミットハンマー で評価し,さらに表面気泡測定を行い,型枠形状の違いによる水平振動方式の軽量コンクリー トの締固めの効果を検討する。その結果は,直方体,多面体と斜面体の締固め結果は水平振動 方式で良好な締固めが可能である。L型シュミットハンマーを用いて,水平振動方式で作製し た軽量コンクリートの推定圧縮強度を測定し,検討した。製品の良否に関係の少ない気泡直径 の範囲内で,型枠形状による表面気泡の性状に差を認めた。

キ-ワード:水平振動,締固め,軽量コンクリート,L型シュミットハンマー,表面気泡

1. はじめに

コンクリート型枠振動機はフレッシュコンク リートの締固め効果が大きいと考えられるが, 締固め時に90dB以上の騒音を発生する。そこで, 締固め時の騒音を低減するために,型枠内のフ レッシュコンクリートを高振幅かつ低振動数で 水平方向に振動させることで締固めを行う方式 (以下,水平振動方式という)を提案し,プレキャ ストコンクリート製品を作製した。水平振動方 式の騒音は締固め時81dB以下となり,作業者の 労働安全衛生向上と工場の近隣住民の音環境が 保全されると期待される。¹⁾

軽量コンクリートのプレキャストコンクリー ト製品を水平振動方式で作製する可能性を検討 するために,昨年,100×100×400mmの単純な 小型供試体を研究対象とした²。本研究では,600 ×50×500mmの供試体を用いて,型枠形状の違 いが水平振動方式による軽量コンクリートの締 固めに与える影響を検討する。水平振動方式で 作製した供試体の圧縮強度をL型シュミット八 ンマー³⁾から求めた推定圧縮強度で評価し,さ らに表面気泡の測定を行い,型枠形状の違いに よる締固めの効果を検討する。 2. 実験方法

2.1 水平振動方式による締固め

水平振動方式の実験装置を図-1に示す。この 装置はインバータ制御のモーターを動力に,円 盤を回転させて水平方向の往復の動力に変換す るものである。実験で検討する振幅は100mm,振 動数は0.75Hz,1.00Hz,1.25Hzである。組み合



*1名古屋工業大学助教授 工学研究科都市循環システム工学専攻 工博(正会員) *2名古屋工業大学大学院 工学研究科都市循環システム工学専攻 修士(工学) *3名古屋工業大学大学院 工学研究科都市循環システム工学専攻 *4国土交通省 国土技術政策総合研究所 主任研究官 博士(工学Q正会員) わせの違いを定量的に把握する目安として,式 (1)の振動加速度と式(2)の総仕事量4)を用いる。

$$4a(f)^2 = (1)$$

W=M(af)²t 20

20

ここに,

:振動加速度(m/s²)	₩ 総仕事量(Js)
M:質量(kg)	f:振動数(Hz=1/s)
a:振幅(m)	t:振動時間(s)

図-2に示す直方体,多面体と斜面体の供試体 を水平振動方式で作製する。フレッシュコンク リートを3層に分けて各層50秒間で締固めを行 い,硬化脱型後,標準養生を行う。

人工軽量骨材の物理的性質を表-1,軽量コ ンクリートの調合を表-2に示す。スランプは 12 ± 2.5cmと18 ± 2.5cmの2種類である。普通 ポルトランドセメントを用い,目標空気量は5± 1.5%,設計基準強度は24N/mm²とする。混和剤 は AE 減水剤である。

2.2 圧縮強度試験

L型シュミットハンマーにより圧縮強度の推定 のために, JISA 1108 に従って, 4 種類の強度別 の 100 × 200mmの円柱供試体を手詰めで作製 する。コンクリートの調合を表-3に示す。円柱 供試体の上面を研磨し,写真-1(a)に示すよ うに,強度別に円柱供試体中心とその周囲 3cm 間隔で4箇所とり,上面5箇所,底面5箇所の測 定に,合計10箇所の衝撃を与える。この10箇所 の平均値を円柱供試体の反発度とする。反発度 を測定した後、同一円柱供試体の圧縮強度をア ムスラー型圧縮試験機で測定し,反発度と圧縮 強度の推定式を求める。そして,写真-1(b)に 示すように,水平振動方式で作製した供試体の 反発度をL型シュミットハンマーで測定し、反発 度と推定式より推定圧縮強度を求める。

2.3 表面気泡測定⁵⁾

表面気泡測定装置を写真ー2に示す。コンク リート表面の気泡部を潰さないように供試体の 表面に墨汁(黒色)を塗り,気泡部には白墨(白色) を充填する。供試体の気泡度数を画像解析ソフ トウェアで測定する。

表-1 骨材の物理的性質(膨張頁岩系)

무서	最大寸法	吸水率	絶乾密度	粗粒率	
肖初	(mm)	(%)	(kg/l)	(%)	
細骨材	5	14	1.63	2.71	
粗骨材	15	0.51	0.95	6.50	

表-2 軽量コンクリートの調合

スランプ	W/C	s/a	単位量		量 (kg/m)		単位量 (kg/nt) 混和		混和剤
(cm)	(%)	(%)	W	С	S	G	(g / m³)		
12 ± 2.5	44	42	172	390	450	360	975		
18 ± 2.5	44	46	178	402	492	326	1005		

表-3 L型シュミットハンマーの試験の調合

設計基準強度	W/C	s/a	単位量		≟ (kg/m²)		単位量 (kg/n) 混		混和剤
(N/mm²)	(%)	(%)	W	С	S	G	(g / m³)		
15	48	48	178	371	510	325	928		
24	44	46	178	402	492	326	1005		
30	42	44	178	424	453	342	1060		
36	41	46	178	434	480	323	1085		





(b) 直方体 (a)円柱供試体 写真-1 L型シュミットハンマーの試験



写真-2 表面気泡測定装置

実験結果と考察

3.1 水平振動方式による締固め

締固め状態を外観目視調査により,製品とし て通用するもの(印),隅の方にじゃんかを生 じるもの(印) 製品として通用しないもの(× 印)の3段階で目視評価する。

スランプ12 ± 2.5cmにおいて振動条件(振動数

形状 f 所 時間 M 4a(f) M(af) ² t P (Hz=1)s t (s) (kg) (²) m/s (Js) P 0.75 中 100 16.6 2.2 22.9 P 0.75 中 100 16.6 2.2 91.3 P 1.00 中 100 16.6 2.2 205.4 P 1.00 中 100 16.6 3.9 161.9 P 1.00 中 100 16.6 6.2 257.3 P 1.25 中 100 16.6 6.2 257.3 P 1.25 中 100 16.6 6.2 257.3 P 1.25 中 100 13.3 2.2 13.8 P 1.25 ヤ 100 13.3 2.2 13.8 P 1.00 中 100 13.3 3.9 24.4 P	型枠	振動数	箇	振動	質量	振動加速度	総仕事量	目視
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	形状	f	所	時間	М	4a(f)	M(af) ² t	評価
上 50 8.3 2.2 22.9 1 車 100 16.6 2.2 91.3 1 下 150 24.9 2.2 205.4 1 方 小 150 24.9 2.2 205.4 1 方 小 1.00 中 100 16.6 3.9 40.5 中 100 16.6 3.9 161.9 1 1 本 1.25 中 100 16.6 6.2 257.3 1 1.25 中 100 16.6 6.2 257.3 1		(Hz=1/)	s	t	(s)	(kg) (²)n	n∕s (Js)	
0.75 中 100 16.6 2.2 91.3 1 下 150 24.9 2.2 205.4 1 方 1.00 中 100 16.6 3.9 40.5 小 中 100 16.6 3.9 161.9 1 小 ヤ 100 16.6 3.9 364.2 1 1.25 中 100 16.6 6.2 257.3 1 1.25 中 100 16.6 6.2 257.3 1 1.25 中 100 16.6 6.2 257.3 1 1.25 中 100 13.3 2.2 13.8 1 1.05 18.3 2.2 13.8 1 1 1 1.00 13.3 2.2 151.0 1 1 1 1.00 中 100 13.3 3.9 24.4 1 1.00 中 100 13.3<			上	50	8.3	2.2	22.9	×
下 150 24.9 2.2 205.4 1 直 上 50 8.3 3.9 40.5 1 体 中 100 16.6 3.9 161.9 1 体 下 150 24.9 3.9 364.2 1 1.25 中 100 16.6 6.2 257.3 1 1.25 中 100 16.6 6.2 257.3 1 1.25 中 100 13.3 6.2 578.9 1 0.75 中 100 13.3 2.2 13.8 1 1.00 中 100 13.3 2.2 13.8 1 1.00 中 100 13.3 3.9 24.4 1 1.00 中 100 13.3 3.9 267.6 1 1.100 中 100 13.3 3.9 267.6 1 1.25 5.0 5.0 6.		0.75	中	100	16.6	2.2	91.3	×
İ 50 8.3 3.9 40.5 μ 100 16.6 3.9 161.9 μ 100 16.6 3.9 364.2 μ 100 16.6 3.9 364.2 1.25 μ 100 16.6 6.2 257.3 μ 100 16.6 6.2 257.3 161.9 μ 100 13.3 2.2 13.8 11.00 μ 100 13.3 3.9 24.4 11.00 μ 100 13.3 3.9 24.4 11.9 1.00 μ 100 13.3 3.9 267.6 μ 100 13.3 <td></td> <td></td> <td>下</td> <td>150</td> <td>24.9</td> <td>2.2</td> <td>205.4</td> <td>×</td>			下	150	24.9	2.2	205.4	×
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	直		上	50	8.3	3.9	40.5	
体 下 150 24.9 3.9 364.2 1.25 上 50 8.3 6.2 64.4 1.25 中 100 16.6 6.2 257.3 下 150 24.9 6.2 578.9 ○ 下 150 24.9 6.2 578.9 ○ 0.75 中 100 13.3 2.2 13.8 1.0 中 100 13.3 2.2 73.2 1.0 1.0 1.00 1.0 1.3 2.2 151.0 1.0 中 100 13.3 2.2 151.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.3 3.9 267.6 1.0 1.0 1.0 1.3 3.9 267.6 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0	方	1.00	中	100	16.6	3.9	161.9	
上 50 8.3 6.2 64.4 1.25 中 100 16.6 6.2 257.3 下 150 24.9 6.2 578.9 0.75 中 100 13.3 2.2 13.8 0.75 中 100 13.3 2.2 73.2 15 0.75 中 100 13.3 2.2 151.0 15 万 150 18.3 3.9 24.4 100 13.3 3.9 129.7 下 150 18.3 3.9 267.6 129.7 150 18.3 3.9 267.6 1.25 中 100 13.3 6.2 206.2 160	体		下	150	24.9	3.9	364.2	
1.25 中 100 16.6 6.2 257.3 下 150 24.9 6.2 578.9 0.75 中 100 13.3 2.2 13.8 0.75 中 100 13.3 2.2 73.2 10 下 150 18.3 2.2 151.0 10 本 1.00 中 100 13.3 3.9 24.4 中 100 13.3 3.9 24.4 100 中 100 13.3 3.9 267.6 10 中 100 13.3 3.9 267.6 10 1.25 中 100 13.3 6.2 206.2 10 1.25 中 100 13.3 6.2 206.2 10 0.75 中 100 13.3 6.2 206.2 10 0.75 中 100 14.1 2.2 77.6 10 1.00 中 100 14.1 2.2 164.2 10 4 1.00			上	50	8.3	6.2	64.4	
下 150 24.9 6.2 578.9 0.75 上 50 5.0 2.2 13.8 1 第 0.75 中 100 13.3 2.2 73.2 1 第 1.00 中 100 13.3 2.2 151.0 1 第 1.00 中 100 13.3 3.9 24.4 1 中 100 13.3 3.9 24.4 1		1.25	中	100	16.6	6.2	257.3	
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$			下	150	24.9	6.2	578.9	
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$		0.75	上	50	5.0	2.2	13.8	×
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$			中	100	13.3	2.2	73.2	×
多面 上 50 5.0 3.9 24.4 中 100 13.3 3.9 129.7 下 150 18.3 3.9 129.7 下 150 18.3 3.9 267.6 1.25 中 100 13.3 6.2 38.8 1.25 中 100 13.3 6.2 206.2 下 150 18.3 6.2 425.5 0.75 中 100 14.1 2.2 16.0 中 100 14.1 2.2 77.6 77.6 下 150 19.9 2.2 164.2 2 斜 1.00 中 100 14.1 3.9 137.5 体 100 14.1 3.9 291.0 2.4 上 50 5.8 6.2 45.1 中 100 14.1 6.2 218.6			下	150	18.3	2.2	151.0	×
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	多	1.00	上	50	5.0	3.9	24.4	
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	面		中	100	13.3	3.9	129.7	
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	体		下	150	18.3	3.9	267.6	
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$		1.25	上	50	5.0	6.2	38.8	
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $			中	100	13.3	6.2	206.2	
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$			下	150	18.3	6.2	425.5	
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$		0.75	上	50	5.8	2.2	16.0	
下 150 19.9 2.2 164.2 斜 上 50 5.8 3.9 28.4 面 1.00 中 100 14.1 3.9 137.5 体 下 150 19.9 3.9 291.0 上 50 5.8 6.2 45.1 上 100 14.1 6.2 218.6			中	100	14.1	2.2	77.6	
計 上 50 5.8 3.9 28.4 面 中 100 14.1 3.9 137.5 体 下 150 19.9 3.9 291.0 上 50 5.8 6.2 45.1 中 100 14.1 6.2 218.6	斜面体		下	150	19.9	2.2	164.2	
面 1.00 中 100 14.1 3.9 137.5 体 下 150 19.9 3.9 291.0 上 50 5.8 6.2 45.1 1 125 中 100 14.1 6.2 218.6			上	50	5.8	3.9	28.4	
体 下 150 19.9 3.9 291.0 上 50 5.8 6.2 45.1 中 100 14 1 6 2 218.6		1.00	中	100	14.1	3.9	137.5	
上 50 5.8 6.2 45.1 1 25 中 100 14 1 6 2 218 6			下	150	19.9	3.9	291.0	
		1.25	上	50	5.8	6.2	45.1	
			中	100	14.1	6.2	218.6	
下 150 19.9 6.2 462.7			下	150	19.9	6.2	462.7	

表-4 振動条件と締固め結果 (スランプ12 ± 2.5cm)



図-3 振動加速度,総仕事量と締固め結果の 関係(スランプ12 ± 2.5cm)

f,振幅a,時間t),振動加速度 ,総仕事量Wと 締固めの目視評価の関係を表-4と図-3に示 す。振動数0.75Hz(振動加速度:2.2m/s²)では,直 方体,多面体の下,中,上層部の締固め結果が不 良であり,製品として通用しないものになった。 斜面体の場合は下,中,上層部の隅に小さいじゃ んかが生じた。振動数1.00Hz(振動加速度:3.9m/ s²)以上では各種の供試体の下,中,上層部の締固 め結果が良好であり,製品として通用するもの

表-5 振動条件と締固め結果 (スランプ18 ± 2.5cm)

型枠	振動数	箇	振動	質量	振動加速度	総仕事量	目視
形状	f	所	時間	м	4a(f)	M(af) ² t	評価
	(Hz=1/)	6	t	(s)	(kg) (²) n	n/s (Js)	
		上	50	8.4	2.2	23.1	
	0.75	中	100	16.8	2.2	92.4	
		下	150	25.2	2.2	207.9	
直		上	50	8.4	3.9	41.0	
方	1.00	中	100	16.8	3.9	163.8	
体		下	150	25.2	3.9	368.6	
		Ł	50	8.4	6.2	65.1	
	1.25	中	100	16.8	6.2	260.4	
		下	150	25.2	6.2	585.9	
	0.75	F	50	5.0	2.2	13.8	×
		中	100	13.4	2.2	73.7	×
		下	150	18.4	2.2	151.8	×
多	1.00	F	50	5.0	3.9	24.4	
面		中	100	13.4	3.9	130.7	
体		下	150	18.4	3.9	269.1	
	1.25	F	50	5.0	6.2	38.8	
		中	100	13.4	6.2	207.7	
		下	150	18.4	6.2	427.8	
	0.75	F	50	5.9	2.2	16.2	
斜面体		中	100	14.3	2.2	78.7	
		下	150	20.2	2.2	166.7	
	1.00	上	50	5.9	3.9	28.8	
		中	100	14.3	3.9	139.4	
		下	150	20.2	3.9	295.4	
		F	50	5.9	6.2	45.7	
	1.25	中	100	14.3	6.2	221.7	
		下	150	20.2	6.2	469.7	



図-4 振動加速度,総仕事量と締固め結果の 関係(スランプ18 ± 2.5cm)

になった。

スランプ18 ± 2.5cmにおいて振動条件(振動数 f,振幅a,時間t),振動加速度 ,総仕事量Wと 締固めの目視評価の関係を表-5と図-4に示 す。振動数0.75Hz(振動加速度:2.2m/s²)では直 方体,多面体,斜面体とも十分な締固めができな かった。振動数1.00Hz(振動加速度:3.9m/s²)以 上の場合,軽量コンクリートは各種の供試体の 下,中,上層部に良好な締固め結果が得られた。 以上の結果より,振動数すなわち振動加速度 が大きいほど外観の目視評価の結果は良好にな り,スランプ12 ± 2.5cm,18 ± 2.5cmとも振動 加速度3.9m/s²以上ではいずれの型枠形状の供試 体の締固め結果は良好であった。これは型枠内 の軽量コンクリートを振動数1.00Hz(振動加速 度:3.9m/s²)以上で水平方向に振動すると,軽量 骨材とセメントペーストの摩擦が振動時間経過 とともに低減して,軽量コンクリートが液状化 し,そして軽量骨材は水平方向に動きながら型 枠内に密実安定すると同時にセメントペースト が軽量骨材の周囲を包み込んだと考えられる。

3.2 圧縮強度

L型シュミットハンマーによる反発度と圧縮 強度の関係を図-5に示す。L型シュミットハン マーの反発度と円柱供試体の圧縮強度の関係は ほぼ直線関係であった。図-5を踏まえて,L型 シュミットハンマーの反発度と推定圧縮強度の 推定式(3)を求めた。

y=1.07x+0.53 N/mm²) ((3) ここに, y : コンクリートの推定圧縮強度nm²)(
 x:L型シュミットハンマーによる反発度
 製品として通用する供試体(表-4と表-5の
 印の供試体)を測定対象とし,測定個所を図 6,図-7中に示す。端部から5cm供試体中央寄
 りを測定点とした。

スランプ12 ± 2.5cm における推定圧縮強度を 図ー6,スランプ18 ± 2.5cm における推定圧縮強 度を図ー7に示す。図中に各供試体における平均 の推定圧縮強度を示す。強度管理のために,水平 振動方式で供試体を作製したとき,同時に円柱供



図-5 円柱供試体の反発度と圧縮強度の関係



図-7 推定圧縮強度 (スランプ18 ± 2.5cm)

試体を手詰めで作製した。JIS A 1108に従って測 定したスランプ12 ± 2.5cmの円柱供試体の平均 圧縮強度は26.6N/mm²であり,18 ± 2.5cmの円 柱供試体の平均圧縮強度は27.3N/mm²であった。

式(3)より求めた水平振動方式で作製した供 試体の下層部から上層部への平均の推定圧縮強 度は27.2N/mm²以上であった。いくつかの端部分 の推定圧縮強度が平均の推定圧縮強度より小さ かったが,供試体の下層部から上層部への平均 の推定圧縮強度は,円柱供試体の圧縮強度に対 して同等以上であった。

3.3 表面気泡

硬化後のコンクリート供試体の下部と上部の 妻面の表面気泡を測定した。スランプ12±2.5cm における表面気泡の測定結果を図-8に,スラン プ18±2.5cmにおける表面気泡の測定結果を 図-9に示す。表面気泡の測定範囲は200×50mm とし,測定個所を図中に示した。

図-8と図-9より,振動数1.00Hzと1.25Hz では,いずれの供試体の下部の表面気泡は上部 に比べて少なかった。これは下部の気泡が上部 に上昇しやすいものと考える。

各供試体の上部の気泡について比較すると, 多面体の立面部分の表面気泡は少ない。これは 多面体の上部は型枠の垂直部が短く,下部から 連行される気泡が少ない分,直方体の上部に比 べ表面気泡は少なくなったと考えられる。また, 多面体の横部分は上面の型枠により空気泡が抜 けにくいため,表面気泡が多くなった。さらに, 斜面体の上部のフレッシュコンクリートが擦る 方向は斜め方向と考えられるため,斜面体の表 面気泡は多くなった。製品の良否に関係が少な い気泡直径2mm程度以下の範囲内で,型枠形状 による表面気泡の性状に差を認めた。

4. 結論

スランプ12 ± 2.5cm とスランプ18 ± 2.5cmの 軽量コンクリートの締固めにおいて,本研究の 範囲内で以下のことが言える。

1) 水平振動方式による締固めにおいて,振動



-547-

加速度 3.9m/s² 以上で,直方体,多面体,斜面体のいずれの型枠形状で良好な締固めが可能であった。

2) L型シュミットハンマーから求めた各供試体 の下層部から上層部への平均の推定圧縮強度は, 円柱供試体の圧縮強度に対して同等以上であった。

3) 製品の良否に関係が少ない気泡直径2mm程 度以下の範囲内で,型枠形状による表面気泡の 性状に差を認めた。

謝辞

本研究に対し絶えず御助言を頂いた名古屋工 業大学前学長岡島達雄工学博士に,深く感謝の 意を表します。本研究は松岡コンクリート工業 (株)との共同研究にて行いました。ここに深く 謝意を表します。また,材料提供の日本メサライ ト工業(株)に謝意を表します。

参考文献

- 1) M.W. チャロンゲ,河辺伸二,武藤正樹,岡 島達雄:低振動数と高振幅の水平振動方式に よるコンクリートの締固めに関する研究,日 本建築学会構造系論文集,No.545,pp.7~11, 2001.7
- 2) M.W. チャロンゲ,河辺伸二,岡島達雄,武 藤正樹:水平振動方式による軽量コンクリー トの締固めに関する研究,コンクリート工学 年次論文報告集,Vol.23,No.2,pp.877~882, 2001.7
- 3) 柏忠二: コンクリートの非破壊試験法, 富士 物産(株), 1980
- 4)フレッシュコンクリートの挙動研究委員会:
 振動締固めワーキンググループ,コンクリートの振動締固めに関する実験報告書(社)日本コンクリート工学協会, p.7, 1990.3
- 5)田代侃,沼田修:プレキャストコンクリート の表面性状に及ぼす成型方法の影響,A-1, 日本建築学会大会学術講演梗概集,A-1,pp. 771~772,1997.9

