

# 論文 水平振動方式によるコンクリートの表面性状における 型枠形状の影響

陳 海峰<sup>\*1</sup>・河辺 伸二<sup>\*2</sup>

要旨：低振動数と高振幅で水平に振動する水平振動方式でコンクリートを締固める際に、型枠の形状がコンクリートの締固め効果に与える影響を検討する。振動数と振幅を組み合わせた3種類の振動加速度と総仕事量により、コンクリートの表面仕上げについて目視評価を行う。また、4種類の型枠形状において、コンクリートの表面が良好な締固めとなる水平振動条件を見出す。さらに、表面気泡と表面強度を測定し、型枠形状がコンクリートの表面性状に与える影響を調べる。

キーワード：水平振動，型枠形状，締固め，表面気泡，表面強度

## 1. はじめに

コンクリート二次製品の締固め方式としてテーブルバイブレータや棒状バイブレータが使用されているが、近年では、1.0Hz前後の低振動数と0.1m程度の高振幅で締固める水平振動方式も幅広く用いられている。

筆者<sup>1-3)</sup>らは水平振動方式を用いたコンクリートの締固め効果と表面性状の研究を行ってきた。0.1 × 0.1 × 0.4mの型枠を用いて普通コンクリートを締固める際、型枠に与えるフレッシュコンクリートの圧力が0.2N/mm<sup>2</sup>以上であれば締固めが可能であるとした<sup>1)</sup>。また、軽量コンクリートを用いて、スランプ12cmと18cmにおける良好な締固めの振動加速度と総仕事量の条件を求め<sup>2)</sup>、さらに、型枠形状を変えた場合の良好な締固め条件を求めた<sup>3)</sup>。

水平振動方式の締固め効果には、振幅、振動数、振動時間、供試体の質量が大きく影響を及ぼす。このため本実験では型枠の形状を小型、立方体、直方体、凹型の4種類とし、供試体の質量を変化させて表面気泡の低減効果を実験的に検証する。また、供試体の質量の変化によるコンクリートの表面仕上げについて目視評価を行い、コンクリートの表面が良好な締固めとなる水平振動条

件を求める。さらに、表面気泡の測定装置とリバウンドハンマーにより、表面気泡と表面強度に及ぼす型枠形状の影響を比較する。

## 2. 水平振動方式

本研究で使用する水平振動装置を図 - 1 に示す。装置はインバータ制御のモータを動力とし、円盤を回転させて連結棒を通し振動台を水平方向に往復運動させる。型枠は水平振動台の上に固定し水平振動させる。振幅は円盤にある4つの穴の位置を選択することで、0.05m, 0.075m, 0.1m, 0.15mと変更できる。振動数は1.5Hzまで調整できる。

## 3. 実験概要

### 3.1 型枠の作製

本実験では型枠形状による影響を調べるため

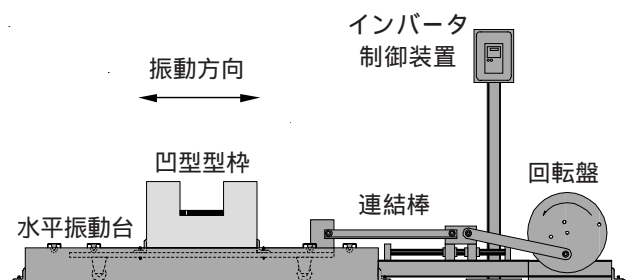


図 - 1 水平振動装置

\*1 名古屋工業大学大学院都市循環システム工学専攻 (正会員)

\*2 名古屋工業大学大学院都市循環システム工学専攻助教授 工博 (正会員)

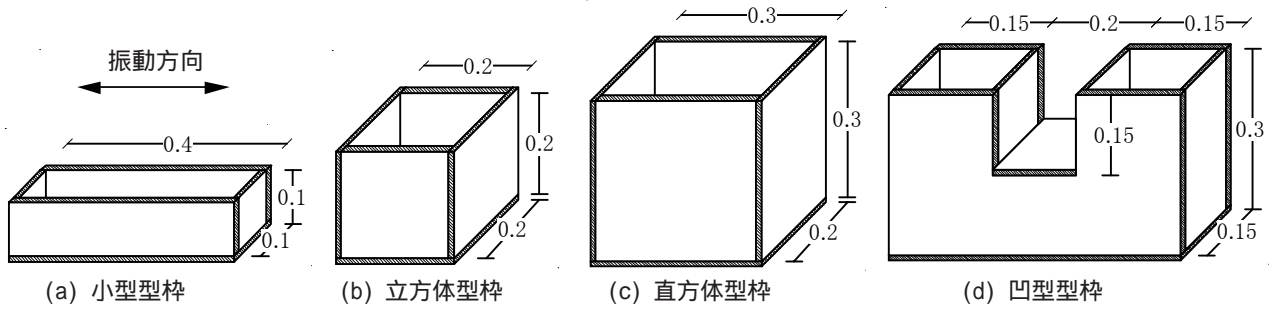


図 - 2 本研究に用いた型枠(単位 : m)

表 - 1 コンクリートの調合

水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単用量 (kg/m <sup>3</sup> )				
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤 <sup>1)</sup> (C × 0.2%)
43	41	175	407	689	1013	0.81

1) 単位水量を含む

表 - 2 使用材料と物理的性質

材料	種類	物理的性質
セメント	普通ポルトランドセメント	密度 : 3.15g/cm <sup>3</sup> 比表面積 : 3410cm <sup>2</sup> /g
細骨材	木曾川産砂 (~5mm)	表乾密度 : 2.56g/cm <sup>3</sup> 粗粒率 : 2.79
粗骨材	木曾川産砂利 (5~25mm)	表乾密度 : 2.62g/cm <sup>3</sup> 粗粒率 : 6.86
化学混和剤	AE減水剤	密度 : 1.27g/cm <sup>3</sup>
水	上水道水	
離型剤	油性	

図 - 2 に示す 4 種類の異なる形状の型枠を作製する。(a)は0.1 × 0.1 × 0.4mの小型型枠, (b)は0.2 × 0.2 × 0.2mの立方体型枠, (c)は0.2 × 0.3 × 0.3mの直方体型枠, (d)は天板面を有する凹型型枠である。(c)直方体型枠と(d)凹型型枠の体積は同じである。型枠は塗装合板を使用する。

### 3.2 実験条件

本実験に用いる普通コンクリートの調合を表 - 1, 使用材料と物理的性質を表 - 2 に示す。目標空気量は 4 ± 1.5% とし, スランプ値は 18 ± 1.5 cm とする。設計基準強度は 24N/mm<sup>2</sup> である。

### 3.3 水平振動方式の振動加速度と総仕事量

コンクリートの表面仕上げの改善効果を定量的に把握するため, 水平振動の振幅 a, 振動数 f, 振動時間 t の組み合わせによる振動加速度 と総仕事量 W<sub>T</sub> を導入する。実験ではコンクリート二次製品工場で通常用いている振幅 0.075m, 0.1m と振動数 1.0Hz, 1.25Hz を基準とし, それらを組み合わせた 3 種類の振動加速度を基本振動条件とする。その振動加速度と総仕事量の組み合わ

せの違いにより, コンクリートの締固めの良否を評価する。式(1)に振動加速度, 式(2)に仕事量を示す。1 個の供試体における総仕事量 W<sub>T</sub> は式(3)に示すように各層の仕事量の合計である。

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

$$W=m(af)^2t \quad (2)$$

$$W_T=W_1 + W_2 + \dots + W_n \quad (3)$$

ここに,

: 振動加速度 (m/s<sup>2</sup>)      a : 振幅 (m)

f : 振動数 (Hz=1/s)      t : 振動時間 (s)

W : 仕事量 (J · s)      m : 供試体の質量 (kg)

W<sub>T</sub> : 総仕事量 (J · s)

W<sub>n</sub> : 各層の仕事量 (J · s)

### 3.4 供試体の作製

小型型枠は高さが低いため打設時, フレッシュコンクリートを 1 層で投入し表 - 3 に示す振動条件に従って締固めを行う。

立方体型枠, 直方体型枠, 凹型型枠は高さが比

表 - 3 水平振動条件と外観の目視評価

振動条件	振幅 a (m)	振動数 f (Hz)	振動時間 t (s)	供試体の質量m(kg)				振動加速度 (m/s <sup>2</sup> )	総仕事量W <sub>T</sub> (J・s)				外観の目視評価				
				小型	立方体	直方体	凹型		小型	立方体	直方体	凹型	小型	立方体	直方体	凹型	
A	A-1	0.075	1.00	10	9.14	18.3	41.1	41.1	2.96	5.07				×			
	A-2			10.1								131	×			×	
	A-3			15.2							154	154	×		×	×	
	A-4			30.4							222	222			×	×	
	A-5			45.6							291	291					
	A-6			60.8						137	359	359		×			
	A-7			76.1						167	424	424					
	A-8									199	491	491					
B	B-1	0.100	1.00	10	9.14	18.3	41.1	41.1	3.94	9.01				×			
	B-2			18.0							233	233			×	×	
	B-3			27.0						81.1	274	274		×			
	B-4			54.1						135	395	395					
	B-5			81.1						189	517	517					
	B-6			108						243	639	639					
	B-7										760						
C	C-1	0.075	1.25	10	9.14	18.3	41.1	41.1	4.62	7.92				×			
	C-2			15.8						54.4	207	207		×			
	C-3			23.8						71.3	243	243					
	C-4			47.5						119	350	350					
	C-5			71.3						166	458	458					
	C-6										565	565					

(×印)表面気泡が多い (印)表面気泡が薄いセメントペースト膜に隠れている (印)表面気泡が少ない  
(印)測定していない条件

較的高いことを考慮し、フレッシュコンクリートを型枠の2層に分けて投入する。立方体、直方体型枠は型枠の底から約0.1mまで投入し、60秒間水平振動させる。次に型枠の上面まで投入し、表-3に示す水平振動条件に従って締固めを行う。表中(印)は測定していない条件であり、他の条件から良否が推定できるものである。凹型型枠は型枠の天板面までフレッシュコンクリートを投入し、60秒間水平振動させる。次に型枠の上部まで投入し、表-3に示す水平振動条件に従って締固めを行う。

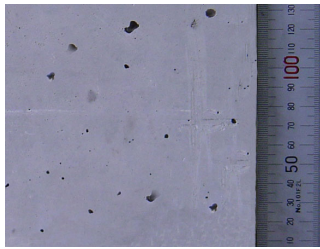
フレッシュコンクリートの練り混ぜは、60リットルの二軸強制練り試験ミキサを使用する。また、強度管理のため、1バッチのフレッシュコンクリートについて、圧縮強度試験用円柱供試体(100×200mm)を3本ずつ作製する。供試体の作製はJIS A 1132に従って行い、圧縮強度試験はJIS A 1108に従って行う。供試体の上面は

研磨機で研磨し、高さは200±2mmとする。

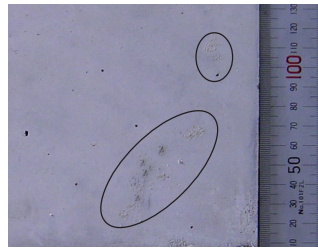
すべての供試体は脱型後、20±3の室内気中養生を行い、圧縮強度試験用円柱供試体は脱型後、20±3の養生水槽で標準養生する。供試体の材齢28日の圧縮強度の平均値は38.7N/mm<sup>2</sup>であった。

### 3.5 表面気泡の測定

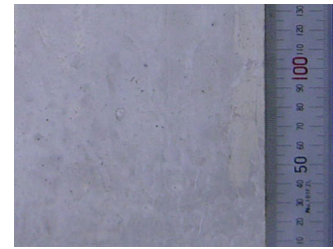
コンクリートの塗合板面に現れた表面気泡を定量的に評価するため、表面気泡の測定装置を用いて、供試体側面の表面気泡を面積別に測定する。まず、測定するコンクリート表面に墨汁(黒色)を塗り、気泡部に炭酸カルシウム粉末(白色)を充填する。次にCCDカメラで取り込んだ供試体の画像の色を黒と白に二値化し、充填した炭酸カルシウム粉末の白色部分を気泡とみなして面積別に個数を測定する。測定箇所は供試体の端部から10mmの範囲を除外し、1箇所の測定面積は90×130mmとする。



(1) 表面気泡が多い  
(×印)

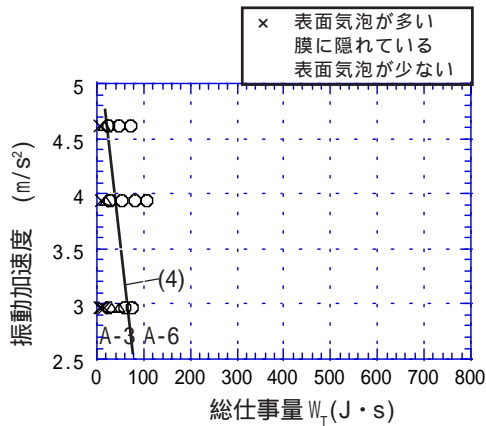


(2) 表面気泡が薄いセメント  
ペースト膜に隠れている(○印)

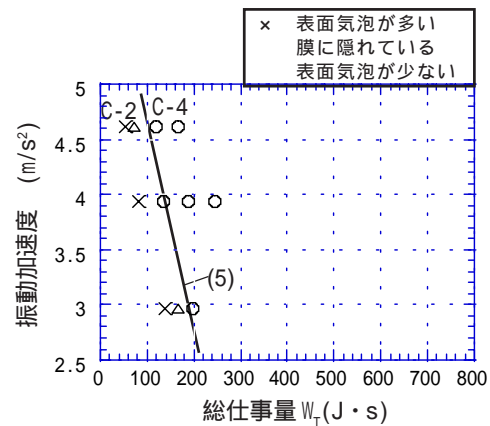


(3) 表面気泡が少なく平滑で  
ある(○印)

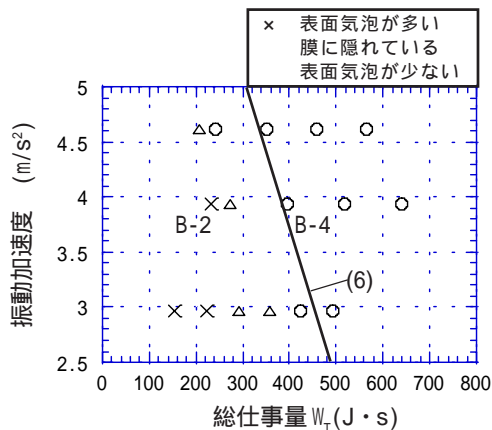
写真 - 1 目視評価の基準(一例)



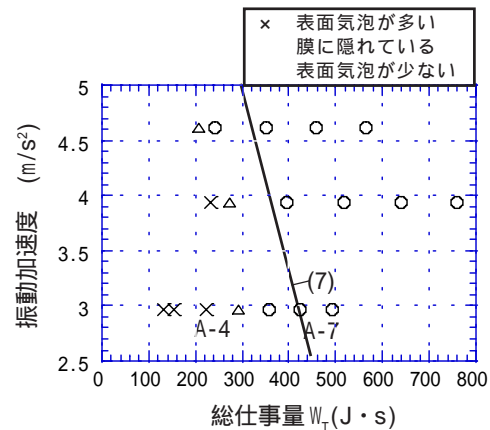
(a) 小型供試体



(b) 立方体供試体



(c) 直方体供試体



(d) 凹型供試体

図 - 3 振動加速度・総仕事量と締固め効果の関係

### 3.6 表面強度の測定

供試体の表面強度の測定はリバウンドハンマーを用い、打設後材齢28日の反発度を測定する。日本材料学会「シュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定方法指針(案)」1958により反発度から圧縮強度を推定し、これを表面強度とする。高さによる表面強度の関係を調べるため、直方体供試体と凹型供試体はそれぞれ高さを上層部、中層部、下層部の3層に分けて測定する。

### 4. 実験結果と考察

#### 4.1 締固めの評価

コンクリートの表面仕上げの良否は外観の目視により、(1)表面気泡が多い(×印)、(2)表面気泡が薄いセメントペースト膜に隠れている(○印)、(3)表面気泡が少なく平滑である(○印)の3段階で分類して評価する。外観の目視評価の基準の一例を写真 - 1に示す。水平振動する際に、異なる型枠形状に適用する水平振動条件を求め



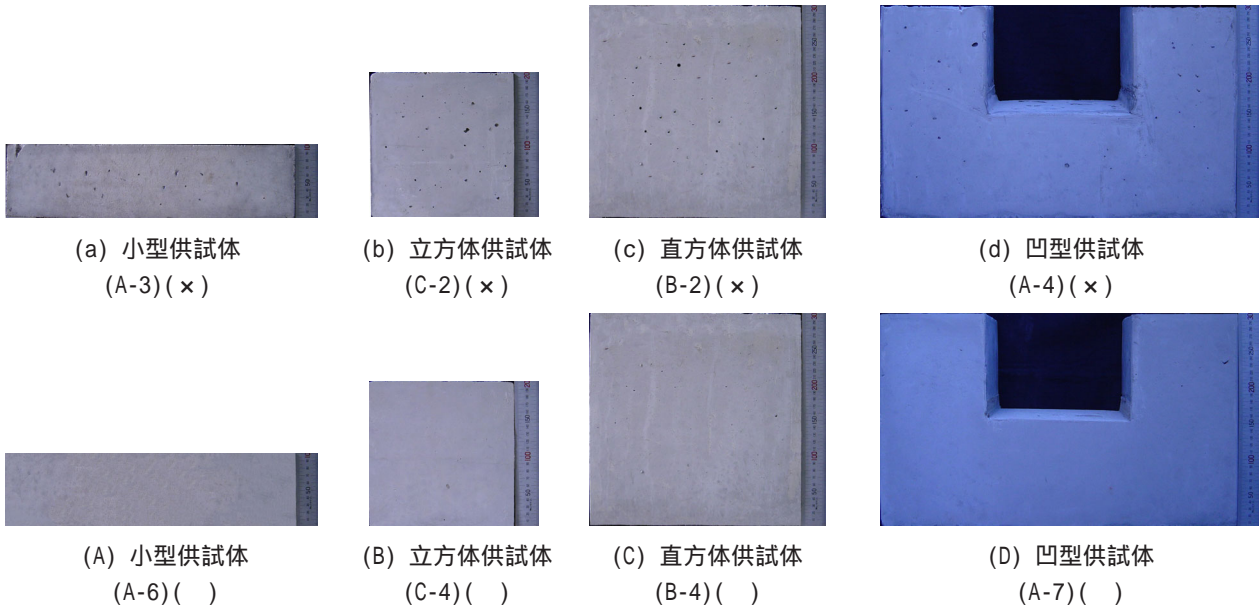


写真 - 2 供試体の側面(一例)

供試体の振動加速度・総仕事量  $W_T$  と外観目視評価による締固め効果の関係をそれぞれ図 - 3 の(a), (b), (c), (d)に示す。図のようにコンクリートの締固め効果は振動加速度と総仕事量の増加とともに良好になる傾向がある。振動加速度と総仕事量がある値以上であれば良好な締固めになっている。そこで、図 - 3 から小型、立方体、直方体、凹型の4種類の供試体の表面気泡が少なく平滑になる境界条件を、振動加速度と総仕事量の線形関係と仮定し、近似式で表すと

$$(a) \text{ 小型供試体} : W_T/135 + /5.3 \quad 1 \quad (4)$$

$$(b) \text{ 立方体供試体} : W_T/355 + /6.7 \quad 1 \quad (5)$$

$$(c) \text{ 直方体供試体} : W_T/670 + /9.3 \quad 1 \quad (6)$$

$$(d) \text{ 凹型供試体} : W_T/610 + /9.8 \quad 1 \quad (7)$$

となる。その近似式(4), (5), (6), (7)を図 - 3 に示す。

また、直方体型枠と凹型型枠は形状が変わっていたが、同一な質量で、コンクリートの締固め効果が良好になる条件はあまり差異はなかった。このことから水平振動する際にコンクリートの締固め効果は型枠形状に影響が少なく、供試体の質量によって大きく異なっていた。また、締固めが良好になる境界条件の式(4), (5), (6), (7)の定数が供試体の質量と直線関係がある傾向が見

られた。そこで式(4), (5), (6), (7)を供試体の質量  $m$  を用いて式(8)の形式で表すことができる。

$$W_T/p + /q \quad 1 \quad (8)$$

ただし、

$$p=35+15m \quad q=4.2+0.13m$$

#### 4.2 表面気泡の測定

測定する供試体を写真 - 2 に示し、表面気泡測定結果を図 - 4 に示す。1mm<sup>2</sup>以下の気泡は目視で判断することが困難であり、外観の目視評価に大きな影響を与えないと考え、今回の研究の測定範囲外とした。また、印の供試体では10mm<sup>2</sup>以上はほとんどないことから、表面気泡は面積1mm<sup>2</sup>から10mm<sup>2</sup>の範囲内で測定した。その結果、式(4), (5), (6), (7)を満たす条件範囲になると、図 - 3 に示すように各型枠形状でもコンクリートの表面気泡が減少した。

#### 4.3 表面強度の測定

各供試体側面の28日材齢の表面強度の測定結果を図 - 5 に、直方体供試体と凹型供試体の表面強度と高さの関係を図 - 6 に示す。水平振動を行う際に、コンクリートの表面強度は型枠形状により多少差異は現れたが、どれも24N/mm<sup>2</sup>以上となった。図 - 6 により供試体の表面強度は

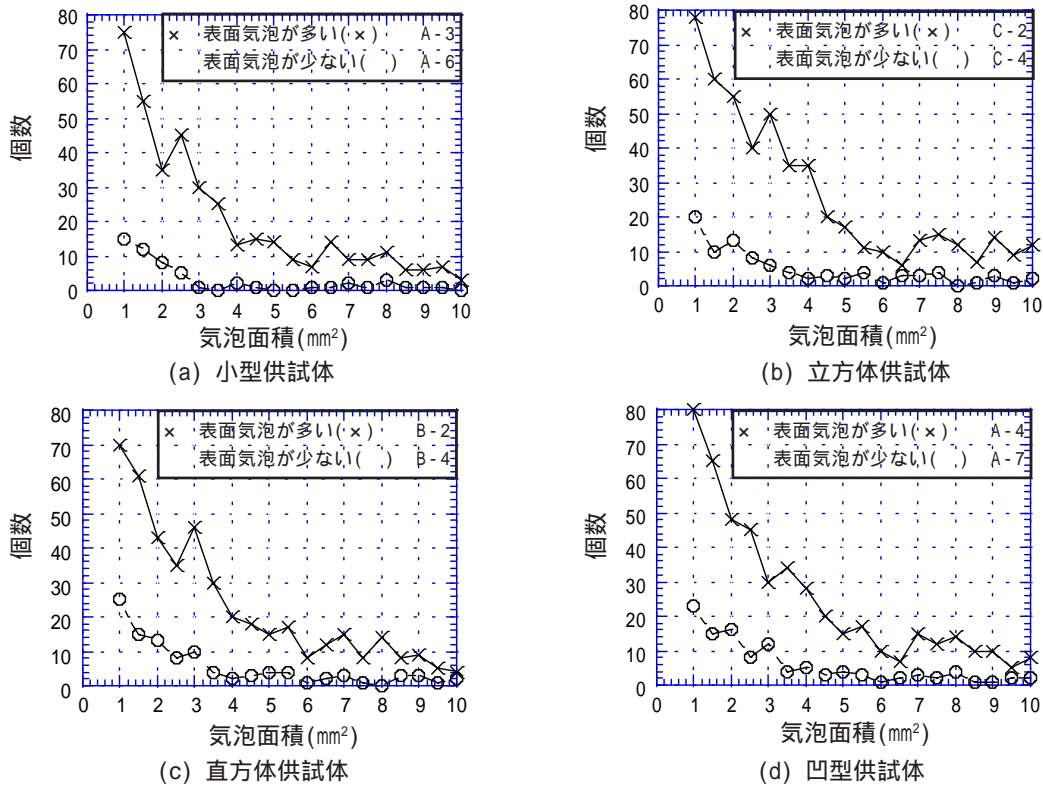


図 - 4 表面気泡の測定結果(一例)

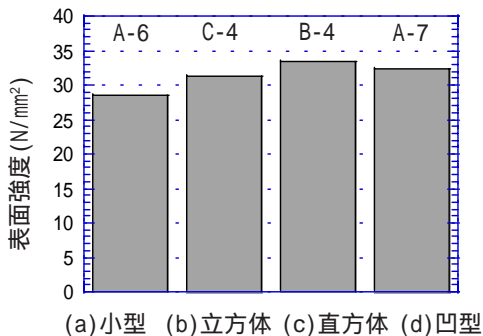


図 - 5 各供試体の表面強度測定結果

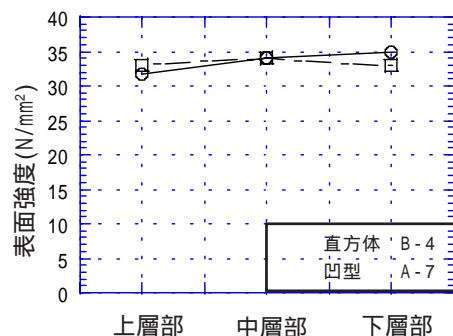


図 - 6 表面強度と高さとの関係

高さの影響が少なく，ほぼ同じであった。

### 5. まとめ

- (1) 水平振動方式において，振動加速度と総仕事量が  $W_T / (35+15m) + / (4.2+0.13m)$  の範囲であれば，型枠形状を変えてもコンクリートの締固め効果が良好になる。
- (2) 水平振動方式におけるコンクリートの表面気泡は少なく，表面強度は高さの影響が少ない。

### 参考文献

- 1) 河辺伸二，岡島達雄，M.W. チャロンゲ，武藤正樹：水平振動方式によるコンクリートの締

- 固め効果と表面気泡，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21, No.2, pp.943-948, 1999.6
- 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) 河辺伸二，M.W. チャロンゲ，陳加潤，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おける型枠形状の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.24, No.1, pp.543-548, 2002.6