

論文 水平振動方式によるコンクリートの表面状態

陳 海峰*1・河辺 伸二*2

要旨：水平振動方式により製造するコンクリート二次製品の表面状態を把握するため、水平振動装置の振動加速度、振動時間、コンクリートのスランプ、打込み高さ及び型枠の高さ、長さ、幅の各条件で実験を行った。その結果、振動加速度、振動時間の増加とともに表面状態が良好になり、スランプが大きいほど、打込み高さが低いほど、型枠の高さが低いほど、型枠の長さが長いほど、コンクリートの表面状態が良好になった。しかし、今回の実験で用いた型枠の範囲内では型枠の幅の影響は少なかった。

キーワード：水平振動、振動加速度、振動時間、スランプ、打込み高さ、型枠寸法

1. はじめに

水平振動方式の主な特徴は、締固め時の騒音の低下、骨材分離の低下、表面気泡の減少、大量生産による効率化等が挙げられる。筆者らは、これまで水平振動方式に関する研究^{1)~5)}を行い、多くの成果が蓄積され、すでにコンクリート二次製品の製造に適用されている。

これまで水平振動方式におけるコンクリートの強度や材料分離に関して十分なデータはあるが、表面状態に影響を与える要因については体系的にまとめられていない。

そこで本研究では、水平振動方式におけるコンクリートの表面状態に影響を与えようと考えられる主な要因として、水平振動装置の影響(実験1)、コンクリートの影響(実験2)及び型枠寸法の影響(実験3)の3種類を取り上げ検討する。水平振動装置の影響(実験1)では、振幅と振動数の組み合わせによる振動加速度と振動時間について、コンクリートの影響(実験2)では、スランプと打込み高さについて、型枠寸法の影響(実験3)では、型枠の高さ、長さ及び幅について検討する。

本研究で扱うコンクリートの表面状態は、コンクリートと型枠との接触面の表面気泡の面積率と表面気泡の面積別の個数を基準とする。すべてのコンクリートは無配筋状態で実験を行う。

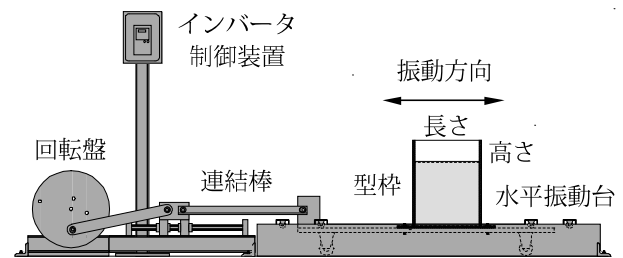


図-1 水平振動装置

本研究の成果は、コンクリート二次製品工場では、水平振動方式における普通コンクリートの締固め効果の改善に役立つと考える。

2. 実験概要

2.1 水平振動装置

実験に用いる水平振動装置を図-1に示す。水平振動方式の振動方向と型枠の高さ方向と長さ方向を示す。装置は、水平振動台を水平方向に往復運動させながら型枠に振動を与える。

2.2 使用材料及び調合

本実験ではスランプ18cmのコンクリートを基本として実験を行う。コンクリートの調合を表-1に、使用材料と物理的性質を表-2に示す。スランプは化学混和剤の量で調整する。

2.3 表面気泡の測定

表面気泡の測定は、以下の順で行う。測定する

*1 名古屋工業大学大学院 都市循環システム工学専攻 工修 (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教授 工博 (正会員)

表一 1 コンクリートの調合

スラ ンプ cm	単位量(kg/m ³)					
	水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE剤	AE減水剤
12	175	407	697	1013	—	C×0.1%
15					C×0.01%	C×0.1%
18					C×0.02%	C×0.2%
21					C×0.02%	C×0.4%

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 カメラで撮影した画像を黒と白に二値化する。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計測する。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 80 × 80mm とする。表面気泡は面積が 1mm² から 10mm² の範囲内で測定する。

3. 水平振動装置の影響(実験 1)

水平振動装置の振動加速度と振動時間によるコンクリートの表面状態の影響を検討する。

3.1 振動加速度

(1) 実験方法

水平振動装置の振動加速度は、既往の研究¹⁾で用いた式(1)と、表一 3 に示す通常のコンクリート二次製品工場 で用いられている振幅と振動数から、2.22, 2.96, 3.94, 4.62m/s² の 4 水準の振動加速度を求めて実験を行う。

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

ここで α : 振動加速度(m/s²) a : 振幅(m)

f : 振動数(Hz)

実験に用いた型枠は、40(長さ)×10(高さ)×10(幅)cm の鋼板型枠であり、コンクリートは型枠に一括で充填する。振動時間は 90s とする。

(2) 実験結果及び考察

振動加速度と表面気泡の面積率との関係を図一 2 に示し、振動加速度による表面気泡の面積別の個数を図一 3 に示す。

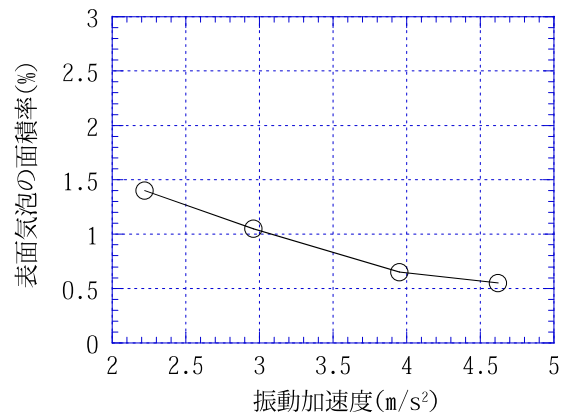
コンクリートの表面気泡の面積率は、水平振動装置の振動加速度が大きくなるほど小さくな

表一 2 使用材料と物理的性質

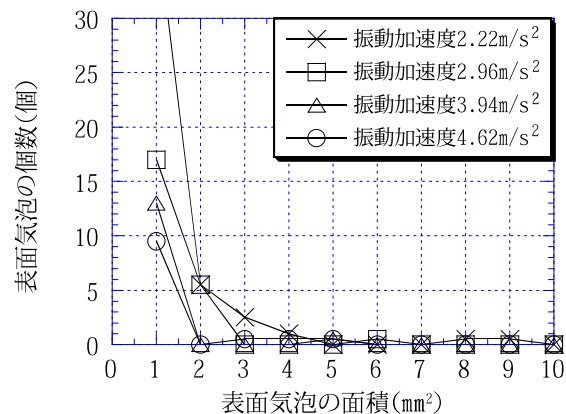
材 料	種 類	備 考
セメント	普通ポルトランドセメント	密度：3.15g/cm ³ 比表面積：3410cm ² /g
細骨材	木曾川産砂 (~5mm)	表乾密度：2.56g/cm ³ 粗粒率：2.79
粗骨材	木曾川産砂利 (5~25mm)	表乾密度：2.62g/cm ³ 粗粒率：6.86
AE剤	化学混和剤	—
AE減水剤	化学混和剤	密度：1.27g/cm ³
水	上水道水	—

表一 3 振動加速度の条件

振動加速度(m/s ²) $\alpha = 4a(\pi f)^2$	振幅(m) a	振動数(Hz) f
2.22	0.100	0.75
2.96	0.075	1.00
3.94	0.100	1.00
4.62	0.075	1.25



図一 2 振動加速度と表面気泡の面積率との関係



図一 3 振動加速度による表面気泡の面積別の個数

り、振動加速度 3.94m/s^2 以上では表面気泡の面積率が0.5%に近づいていた。

また、図-3の表面気泡の分布状態から、振動加速度が大きいほど、面積が 2mm^2 以下の表面気泡が少なくなる傾向が見られた。

以上より、水平振動装置の振動加速度が 3.94m/s^2 以上即ち振幅 0.10m 、振動数 1.0Hz 以上であれば、締固めが良好になると考えられる。

3.2 振動時間

(1) 実験方法

水平振動装置の振動時間によるコンクリートの表面状態の影響を調べるため、振動時間 60s 、 90s 、 120s で実験を行う。型枠は 40 (長さ) \times 10 (高さ) \times 10 (幅) cm の鋼板型枠を用いる。コンクリートは型枠に一括で充填する。水平振動装置の振幅は 0.10m 、振動数は 1.0Hz である。

(2) 実験結果及び考察

水平振動装置の振動時間と表面気泡の面積率との関係を図-4に示し、振動時間による表面気泡の面積別の個数を図-5に示す。

表面気泡の面積率は、水平振動装置の振動時間が長くなるほど小さくなり、振動時間 90s 以上では表面気泡の面積率が1%以下になった。

また、図-5の表面気泡の分布状態から、振動時間が長くなるほど面積が 2mm^2 以下の表面気泡が少なくなる傾向が見られた。

以上より、水平振動装置の振動時間が 90s 以上であれば、締固めが良好になると考えられる。

4. コンクリートの影響(実験2)

コンクリートのスランプと打込み高さによるコンクリートの表面状態の影響を検討する。

4.1 スランプ

(1) 実験方法

コンクリートは目標スランプが 12cm 、 15cm 、 18cm 、 21cm の4種類を用いて実験を行う。実際のスランプは 12.5cm 、 15cm 、 18cm 、 20cm であった。型枠は 40 (長さ) \times 10 (高さ) \times 10 (幅) cm の鋼板型枠を用いる。コンクリートは型枠に一括で充填する。水平振動装置の振幅は 0.10m 、振動

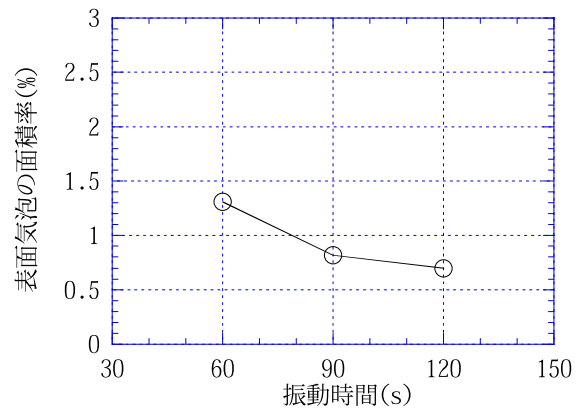


図-4 振動時間と表面気泡の面積率との関係

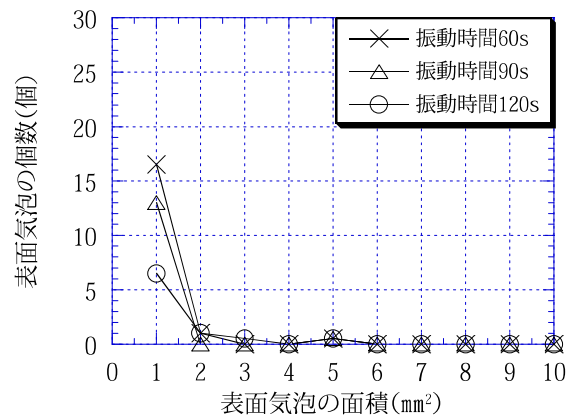


図-5 振動時間による表面気泡の面積別の個数

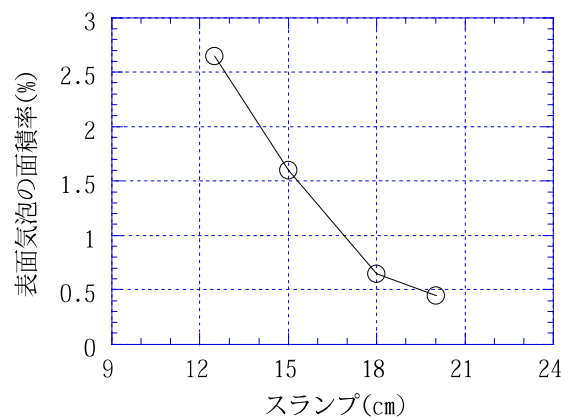


図-6 スランプと表面気泡の面積率との関係

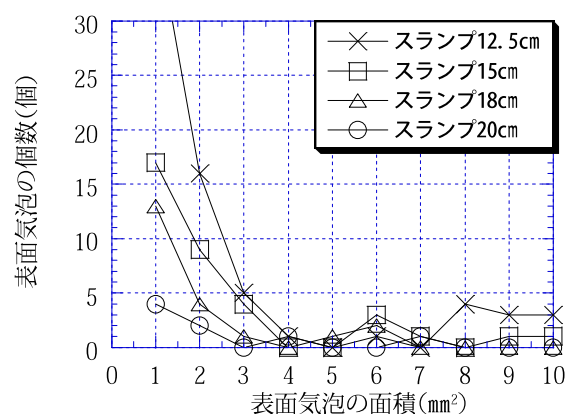


図-7 スランプによる表面気泡の面積別の個数

数は1.0Hzとし、振動時間は90sとする。

(2) 実験結果及び考察

コンクリートのスランプと表面気泡の面積率との関係を図-6に示し、スランプによる表面気泡の面積別の個数を図-7に示す。供試体の表面気泡の面積率は、コンクリートのスランプが大きくなるほど小さくなり、スランプが18cm以上では表面気泡の面積率が0.5%に近づいていた。しかし、スランプ12.5cmでは表面気泡の面積率が2.62%になった。

図-7の表面気泡の分布状態から、スランプが小さいほど面積が 3mm^2 以下の表面気泡及び 8mm^2 以上の表面気泡が多くなる傾向が見られた。

以上より、コンクリートのスランプは18cm以上で良好な締固め効果が得られるが、スランプ12cm以下では締固めが困難であると考えられる。

4.2 打込み高さ

(1) 実験方法

コンクリートの打込み高さは、表-4に示す10cm(打込み層6層)、20cm(打込み層3層)、30cm(打込み層2層)、60cm(打込み層1層)の4水準を用いて実験を行う。コンクリートの合計の高さは60cm、総振動時間は360sと一定にする。型枠は30(長さ)×65(高さ)×10(幅)cmの合板型枠を用いる。水平振動装置の振幅は0.10m、振動数は1.0Hz、スランプは18cmである。

(2) 実験結果及び考察

コンクリートの打込み高さとは表面気泡の面積率との関係を図-8に示し、打込み高さによる表面気泡の面積別の個数を図-9に示す。

コンクリートの打込み高さによる供試体の表面気泡の面積率は、打込み高さが高くなるほど大きくなり、打込み高さが60cmでは表面気泡の面積率が2.87%であった。打込み高さが20cm以下では表面気泡の面積率が0.5%まで減少した。

図-9の表面気泡の分布状態から、打込み高さが高いほど、面積が 3mm^2 以下の表面気泡及び 8mm^2 以上の表面気泡が増加する傾向が見られた。

以上より、スランプ18cmのコンクリートは、打込み高さが20cm以下であれば締固めが良好に

表-4 打込み高さとは振動時間

打込み高さ	打込み層	振動時間
10cm	6層	$60 \times 6 = 360\text{s}$
20cm	3層	$120 \times 3 = 360\text{s}$
30cm	2層	$180 \times 2 = 360\text{s}$
60cm	1層	$360 \times 1 = 360\text{s}$

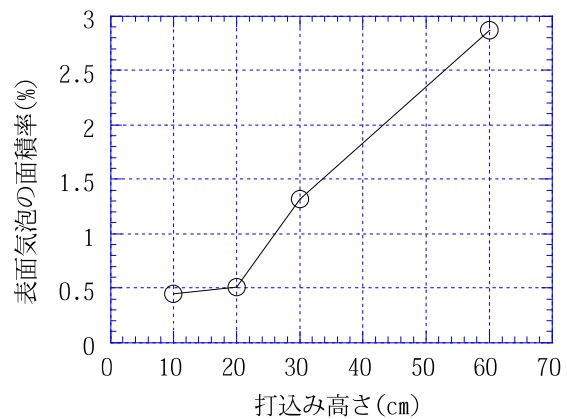


図-8 打込み高さとは表面気泡の面積率との関係

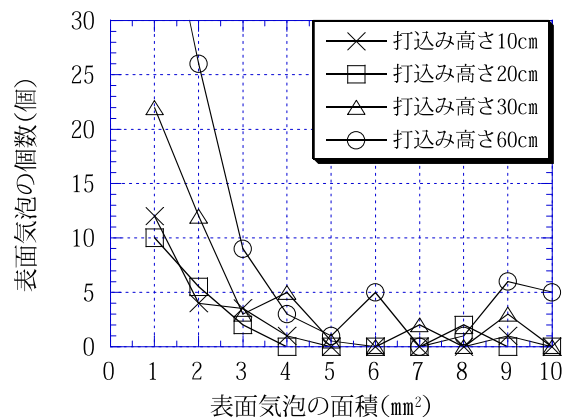


図-9 打込み高さによる表面気泡の面積別の個数

なると考えられる。

5. 型枠寸法の影響(実験3)

型枠の高さ、長さ及び幅の変化によるコンクリートの表面状態の影響を検討する。水平振動方式の振幅は0.10m、振動数は1.0Hzとし、振動時間は90sとする。コンクリートのスランプは18cmであり、一括で充填する。

5.1 型枠の高さ

(1) 実験方法

型枠の長さとは幅を一定にし、高さのみ変化さ

せる。型枠寸法を表-5の水準1に示す。

(2) 実験結果及び考察

型枠の高さと表面気泡の面積率との関係を図-10に示し、型枠の高さによる表面気泡の面積別の個数を図-11に示す。型枠の高さによる供試体の表面気泡の面積率は、高さが20cm以下では1%以下に減少していたが、高さが30cmでは1.9%となった。

図-11の表面気泡の分布状態から、型枠の高さが低いほど面積が 3mm^2 以下の表面気泡及び 8mm^2 以上の表面気泡が減少する傾向が見られた。

以上より、型枠の高さは低くする方が良好な締固め効果が得られると考えられる。

5.2 型枠の長さ

(1) 実験方法

型枠の高さと幅を一定にし、長さのみ変化させる。型枠寸法を表-5の水準2に示す。

(2) 実験結果及び考察

型枠の長さとは表面気泡の面積率との関係を図-12に示し、型枠の長さによる表面気泡の面積別の個数を図-13に示す。

型枠の長さによる供試体の表面気泡の面積率は、長さが20cm以上では表面気泡の面積率が1%以下に減少しているが、長さが10cmでは1.49%に急増した。

図-13の表面気泡の分布状態から、型枠の長さが長いほど面積が 2mm^2 以下及び 8mm^2 以上の表面気泡が少なくなる傾向が見られた。

以上より、型枠の長さが極端に小さくなると締固めが困難であると考えられる。

5.3 型枠の幅

(1) 実験方法

型枠の高さと長さを一定にし、幅のみ変化させる。型枠寸法を表-5の水準3に示す。

(2) 実験結果及び考察

型枠の幅と表面気泡の面積率との関係を図-14に示し、型枠の幅による表面気泡の面積別の個数を図-15に示す。

型枠の幅による供試体の表面気泡の面積率は、1%以下で、差異は現れなかった。

表-5 型枠寸法の条件

水準	一定	変数
1	長さ=30cm 幅=10cm	高さ=10, 20, 30cm
2	高さ=10cm 幅=10cm	長さ=10, 20, 30cm
3	高さ=10cm 長さ=30cm	幅=10, 20, 30cm

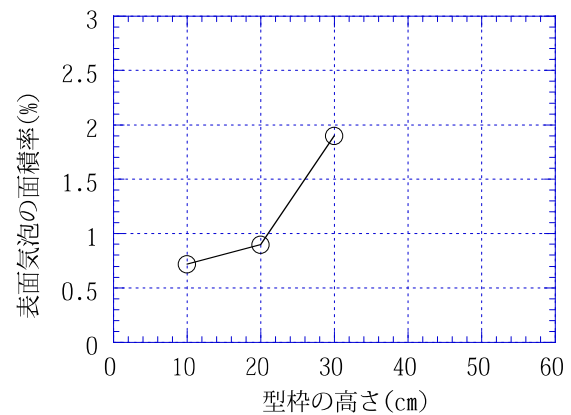


図-10 型枠の高さと表面気泡の面積率との関係

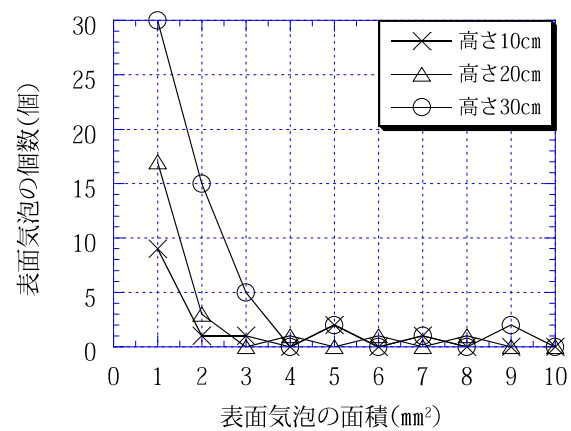


図-11 型枠の高さによる表面気泡の面積別の個数

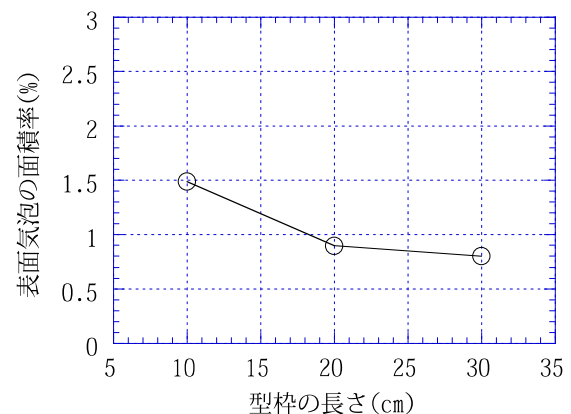


図-12 型枠の長さとは表面気泡の面積率との関係

図-15の表面気泡の分布状態から、型枠の幅による表面気泡の分布には差異が現れなかった。

以上より、今回の実験で用いた型枠の範囲内で、型枠の幅はコンクリートの締固め効果に影響が少ないと考えられる。

6. まとめ

水平振動装置の振動加速度、振動時間、コンクリートのスランプ、打込み高さ及び型枠の高さ、長さ、幅の各条件で実験を行った結果、以下のことがいえる。

- 1) 水平振動装置の振動加速度が大きくなるほど、振動時間が長くなるほど、コンクリートの表面状態が良好になる。
- 2) コンクリートのスランプが大きくなるほど、打込み高さを低くするほど、コンクリートの表面状態が良好になる。
- 3) 型枠の高さが低くなるほど、長さが長くなるほど、コンクリートの表面状態が良好になる。しかし、型枠の幅の影響は少ない。

謝辞

本実験に協力を頂いた松岡コンクリート工業(株)に謝意を表します。

参考文献

- 1) 陳海峰, 河辺伸二: 水平振動方式におけるフレッシュコンクリート及び粗骨材の挙動, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1085-1090, 2006.7
- 2) 陳海峰, 河辺伸二: 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, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.421-426, 2005.6
- 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
- 4) M.W. チャロンゲ, 河辺伸二, 岡島達雄, 武藤

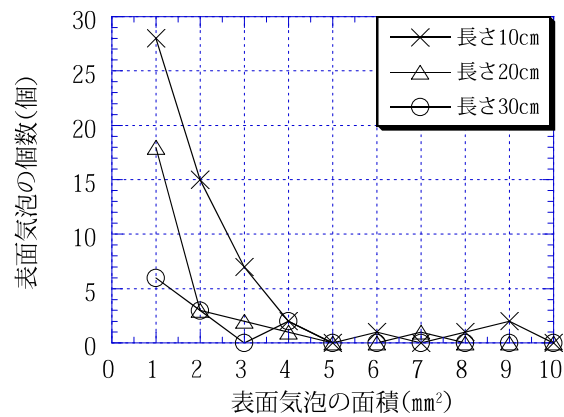


図-13 型枠の長さによる表面気泡の面積別の個数

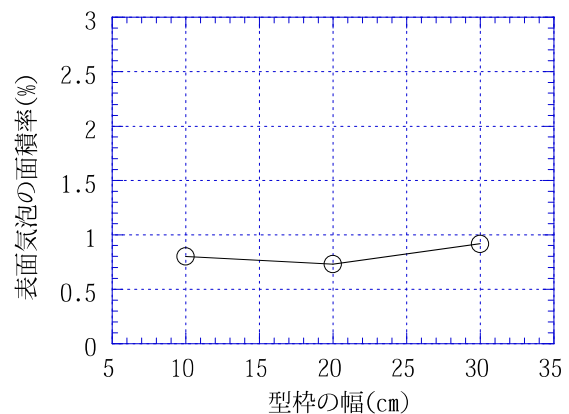


図-14 型枠の幅と表面気泡の面積率との関係

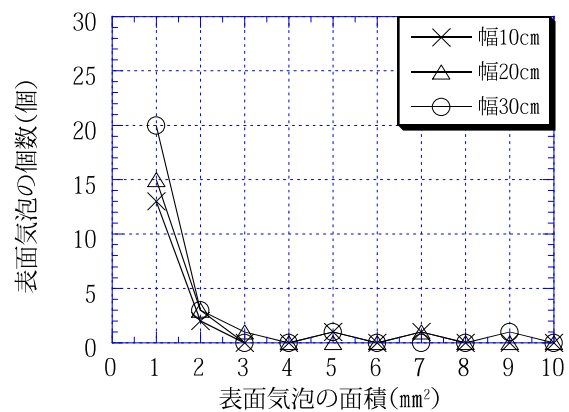


図-15 型枠の幅による表面気泡の面積別の個数

- 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集, Vol.23, No.2, pp.877-882, 2001.7
- 5) 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