

水平振動方式と透水型枠による コンクリート二次製品の表面性状の改善

IMPROVEMENT OF THE PROPERTIES OF PRECAST CONCRETE SURFACE BY USING THE WATER PERMEABILITY MOULD AND THE HORIZONTAL VIBRATION

陳海峰*, 河辺伸二**

Haifeng CHEN and Shinji KAWABE

The sides and the upper-middle part of the sealed concavity mould were stuck by the water permeability sheets and compacted by using the horizontal vibration. This process can improve the compaction of the upper-middle part which can not gain the good compaction when uses the plywood mould. The voids on the surface of the hardened concrete were evaluated by using the equipment of void analyzer. The good compaction results were determined based on the results of void evaluation. The formula of acceleration and total work were used to give a numerical value to the relationship between the good compaction and the factors of horizontal vibration.

Keywords: horizontal vibration, water permeability mould, void on the surface, surface strength, acceleration and total work

水平振動、透水型枠、表面気泡、反発度、振動加速度、総仕事量

1. はじめに

コンクリートの締固め方式にはいろいろ方式が用いられている。コンクリート二次製品工場では、主にテーブルバイブレータ振動方式、棒状バイブレータ振動方式などが利用されている。しかし近年、低騒音で骨材分離が少なく締固め効果が高い水平振動方式も幅広く使われている。筆者らはこれまで、水平振動方式に関して以下の実験を行った。普通コンクリートを小型鋼板型枠(100×100×400mm)に投入して水平振動させた結果、供試体の側面は良好な締固めが可能であった。その後、製品の実寸大に等しい寸法の鋼板型枠(100×500×600mm)を用いて、水平振動方式の実用性を見出した¹⁾。また、上述の鋼板型枠(100×500×600mm)に軽量コンクリートを投入し水平振動を行い、水平振動方式が軽量コンクリートへの適用性を見出した²⁾。さらに、型枠形状が異なる直方体、多面体、斜面体の鋼板型枠を使用して、軽量コンクリートを投入し水平振動させ、型枠形状の違いによる水平振動方式の締固めの影響を見出した³⁾。

しかしながら、これまでの実験では、型枠の密閉部分の締固め効果と良好な締固めの水平振動条件の検討が十分ではない。

そこで筆者らは、水平振動方式の適用範囲を広げ、次の検討を行う。本研究で扱う表面性状は大きさ別の表面気泡の個数をいい、表面気泡の低減をもって表面性状の改善とする。1)天板面を有する凹型型枠を作製し、天板面の密閉部分と側面の締固め効果を検討する。2)水平振動方式に透水型枠工法を導入し、透水型枠による締固め効果の改善を検討する。特に、密閉部分の締固め効果の不良を改善する。3)表面気泡測定装置によるコンクリートの表面気泡の測定によ

り表面性状を検討する。4)リバウンドハンマーによる供試体の反発度を測定し、コンクリートの締固めによる表面状態の効果を評価する。5)振動加速度と総仕事量の概念を用いて、コンクリートの締固めが良好になる水平振動条件を表す。

本研究の成果は、ボックスカルバートなど天板面を有するコンクリート二次製品の製造に役立つと考える。

2. 水平振動方式

本研究で用いる水平振動装置を図1に示す。従来のコンクリートの締固め方式である高振動数かつ低振幅で型枠を上下方向で振動するテーブルバイブレータ振動方式と異なり、水平振動方式とは低振動数かつ高振幅で型枠を水平方向に振動する方式である。インバータ制御装置のモータを動力とし、回転盤を回転させて水平振動台を水平方向に往復運動させる。振幅は0.05m、0.075m、0.1m、0.15mの4パターン、振動数は0から1.5Hzまで調整できる。本実験では、過去の実験結果とコンクリート二次製品工場で通常用いる水平振動条

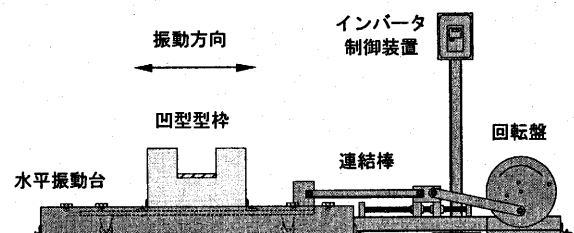


図1 水平振動装置

* 名古屋工業大学大学院 大学院生・修士(工学)

** 名古屋工業大学大学院 教授・工博

Graduate Student, Nagoya Institute of Technology, M. Eng.
Prof., Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

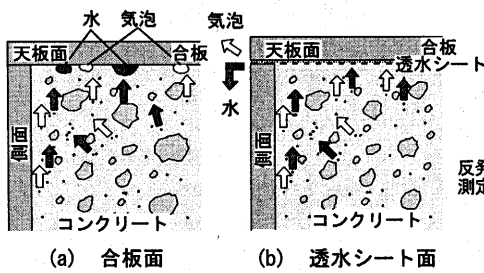


図2 透水型枠による排水・排気メカニズム (天板面の断面図)

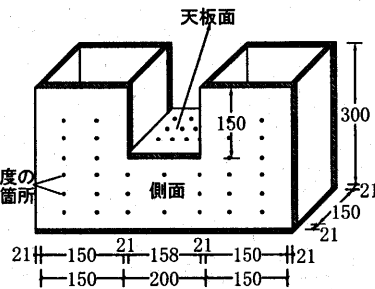


図3 凹型型枠及び反発度の測定箇所(mm)

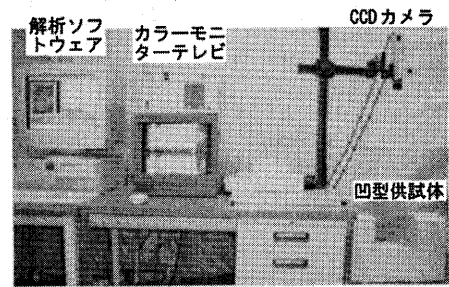


写真1 表面気泡測定装置

表1 使用材料

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
化学混和剤	AE減水剤	密度: 1.27g/cm ³
水	上水道水	---
離型剤	油性	合板面のみ

表2 コンクリートの調合

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

1) 単位水量に含む

件に基づき、振動数1.00Hz、1.25Hzと振幅0.075m、0.1mの組み合わせにより実験を行う。

3. 透水型枠⁴⁾

透水型枠による排水・排気メカニズムの概念を図2に示す。コンクリート中には、セメントの硬化に必要な水他に、適度なワーカビリティを確保するための水、さらに打込み時に混入される気泡が含まれている。合板面ではこの余剰水や気泡が逃げる場所が無いため、脱型後これらがコンクリート表面に多く残る場合がある。しかし、透水シート面では余剰水や気泡はコンクリートの打設時にコンクリートの圧力と振動によって、透水シートより外部へ排出される。その結果、表面部の気泡が減少しコンクリート表面は緻密化される。

今回の実験では、図3に示す凹型型枠の天板面の密閉部分の気泡を減少させるため型枠を合板面から透水シート面に変更し、表面性状の改善を図る。

4. 実験概要

4.1 実験方法

本実験では、図3のように天板面の密閉部分を有する凹型型枠を、現場打ちコンクリートの透水シートの効果と近づけるため、厚さ21mmの合板と木用ネジを用いて作製する。また、水平振動方式において型枠の側面と天板面の表面気泡の減少を検討するため、凹型型枠の1側面と天板面に透水シートを貼り付け、透水シート有りと無し²⁾の2種類の型枠を作製し、表面性状の改善効果を比較する。

本実験に用いる使用材料を表1、普通コンクリートの調合を表2に

表3 水平振動条件

供試体番号	A					B					C						
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	C-1	C-2	C-3	C-4
振動時間 t (s)	60																
質量 m (kg)	25.7(1層)、41.1(1層+2層)																
振幅 a (m)	0.075					0.100					0.075						
振動数 f (Hz)	1.00					1.00					1.25						

示す。目標空気量は4±1.5%、スランプ値は18±1.5cmとする。コンクリートの練混ぜは、60リットルの二軸強制練り試験ミキサを使用し、1バッチの練混ぜ量は45リットルとする。

4.2 供試体の作製

本実験では、フレッシュコンクリートと型枠の天板面との擦れ違いによりコンクリートの表面性状が改善できると考え、型枠の天板面を境とし、フレッシュコンクリートを型枠内の2層に分けて投入する。1層は凹型型枠の天板面下まで投入し表3に示す1層の水平振動条件で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2層の水平振動条件で水平振動させる。また、透水シート有りと無し²⁾のコンクリート面を同一条件下で比較するため、1バッチのフレッシュコンクリートを側面と天板面に透水シートが有りと無し²⁾の2個の型枠に投入し、同時に水平振動させる。

圧縮強度試験用円柱供試体(Φ100×200mm)は1バッチのフレッシュコンクリートについて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。すべての供試体の材齢28日の圧縮強度の平均値は38.7N/mm²であった。

すべての凹型供試体は脱型後、20±3℃の室内で28日間空气中養生を行う。圧縮強度試験用円柱供試体は脱型後、20±3℃の養生水槽で28日間標準養生する。

4.3 表面気泡の測定

コンクリートの合板面と透水シート面に現れた表面気泡を定量的に評価するため、写真1に示す表面気泡測定装置を用いて、気泡の大きさ別の度数を測定する。表面気泡の測定方法は、まず測定するコンクリートの表面に墨汁(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カメラで表面の画像を取り込み、その画像を黒と白に二値化する。最後に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大きさ別の個数を測定する。側面では

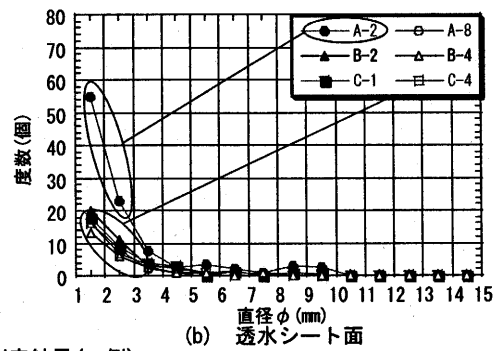
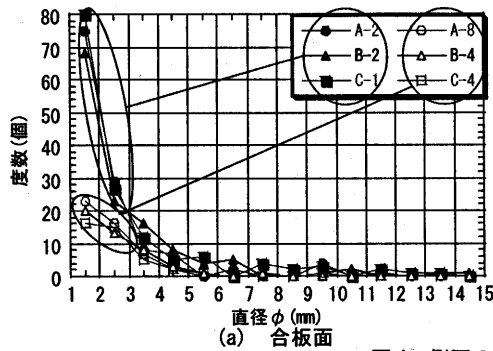


図4 側面の表面気泡の測定結果(一例)

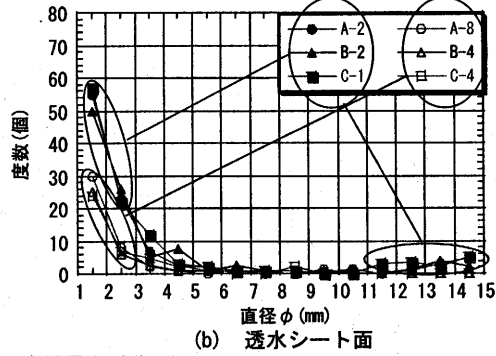
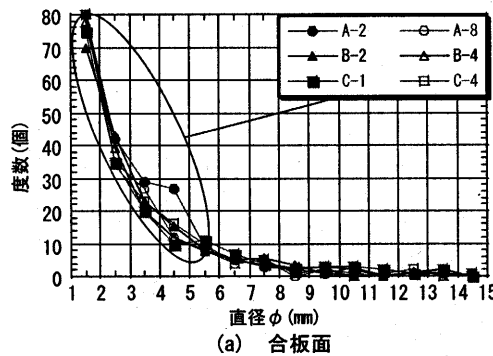


図5 天板面の表面気泡の測定結果(一例)

供試体の端部から10mmの範囲を除外し、高さ方向で3等分する。1箇所の測定面積は130×90mmとし、3箇所の値の平均値を求める。天板面では端部から10mmの範囲を除外し、横方向で2等分する。1箇所の測定面積は130×90mmとし、2箇所の値の平均値を求める。

4.4 反発度の測定⁵⁾

コンクリートの反発度の差異と水平振動方式の振動条件との関係でコンクリートの締固めによる表面状態の効果を推測するため、リバウンドハンマー(バネ式、普通コンクリート用)を用い、打設後材齢28日の反発度を測定する。反発度の測定方法はJIS A 1155に従って行う。反発度の測定箇所は図3に示す。

4.5 締固めの水平振動条件

水平振動方式で締固めを行う際に、コンクリートの締固め効果には水平振動方式の振幅 a 、振動数 f 、振動時間 t そして供試体の質量 m が影響を及ぼすと考える。そこで、これらの要素を用いてコンクリートの締固めによる表面性状が良好になる水平振動条件を定量的に把握するため、水平振動方式の振幅、振動数の組み合わせによる振動加速度 α ⁶⁾と振幅、振動数、振動時間、質量の組み合わせによる総仕事量 W ⁹⁾の概念を導入する。振動加速度を式(1)に、各層の仕事量を式(2)に示す。一つの供試体における総仕事量は式(3)に示すように各層の仕事量の合計である。

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

$$W_n = m(\pi a f)^2 t \quad (2)$$

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

ここに

α : 振動加速度 (m/s^2)

a : 振幅 (m)

m : 供試体の質量 (kg)

W : 総仕事量 ($J \cdot s$)

f : 振動数 ($Hz=1/s$)

t : 振動時間 (s)

W_n : 各層の仕事量 ($J \cdot s$)

5. 実験結果と考察

5.1 表面気泡の測定

(1)側面:表面気泡測定装置による側面の合板面と透水シート面の表面気泡の測定結果を図4に示す。側面の測定結果を見ると、合板面(a)と透水シート面(b)のいずれも表面気泡が多いものと少ないものにわかれている。透水シートを用いなくても、適切な水平振動条件を採用すれば合板面でも表面気泡が減少することが分かった。

(2)天板面:表面気泡測定装置による天板面の合板面と透水シート面の表面気泡の測定結果を図5に示す。天板の合板面(a)は、すべての水平振動条件で表面気泡の減少は見られなかった。さらに、側面と比べ $\phi 3 \sim 8mm$ の気泡が多く現れている。透水シート面(b)では、水平振動条件により、表面気泡が多いものと少ないものにわかれている。これは、フレッシュコンクリート内部の気泡が振動により天板面まで上昇した後、一部はフレッシュコンクリートと天板面の擦れ違いにより天板面の両側から上面に上昇したと考えられ、一部はフレッシュコンクリートの圧力により透水シートから外部に排出されたと考えられる。また、天板の透水シート面は、側面と比べ小さい表面気泡は少ないが $\phi 11 \sim 15mm$ の大きい気泡が発生する供試体もあった。これは、フレッシュコンクリートと天板面の擦れ違いにより集まって大きくなった気泡が、振動時間の不十分により外部に排出されなかったと考えられる。

5.2 反発度の測定

(1)側面:リバウンドハンマーによる供試体の側面の28日材齢の反発度と振動加速度・総仕事量との関係を図6に示す。側面の合板面は、全ての供試体の反発度が30に近づいているが、振動加速度と総仕事量による差異は少ない。透水シート面は、全ての供試体が合板面の反発度を35に近づいているが、振動加速度と総仕事量による差異は少ない。

(2)天板面:リバウンドハンマーによる天板面の28日材齢の反発

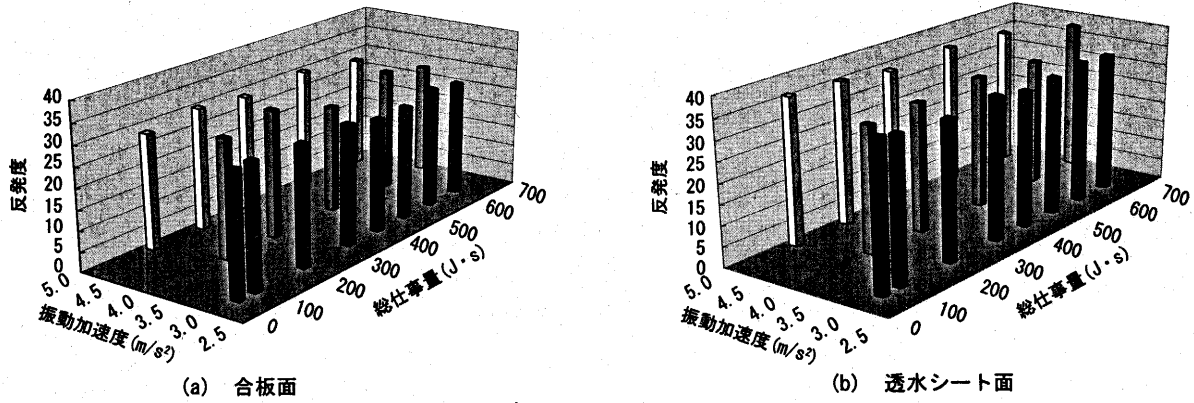


図6 リバウンドハンマーによる側面の反発度と振動加速度・総仕事量の関係

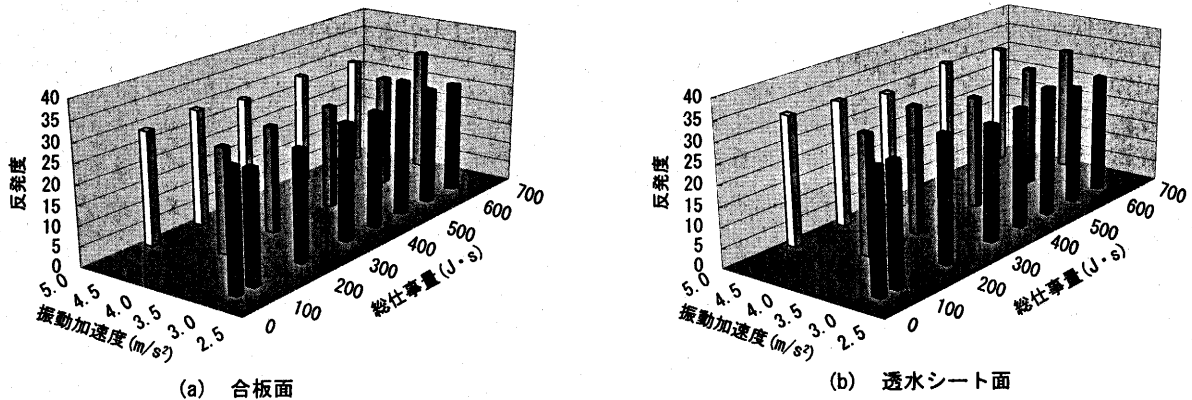


図7 リバウンドハンマーによる天板面の反発度と振動加速度・総仕事量の関係

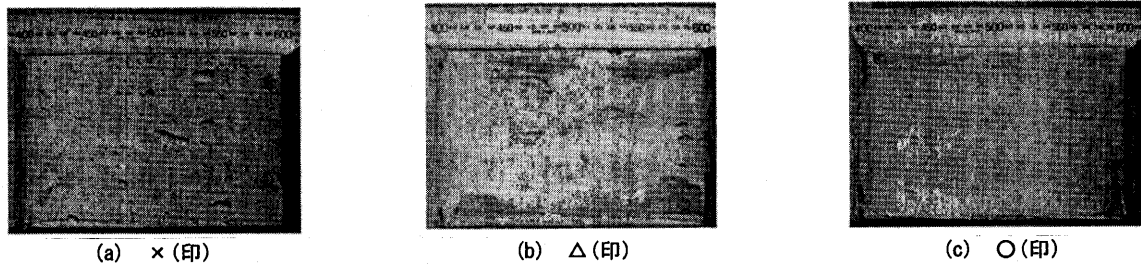


写真2 締固めによる表面性状(天板面の一例)

度と振動加速度・総仕事量との関係を図7に示す。天板面の合板面と透水シート面のいずれも反発度は側面の合板面と同等な結果となっているが、振動加速度と総仕事量による差異は少ない。

以上より、コンクリートの反発度は側面では透水シートによる増加が見られる。水平振動条件による反発度の差異は少ない。

5.3 締固めの水平振動条件

コンクリートの反発度は水平振動条件による差異は少ないため、本実験ではコンクリートの締固めによる表面性状を表面気泡の測定結果により評価する。図4の側面の合板面と透水シート面、図5-(a)の天板面の合板面の中で小さい気泡(φ1~3mm)が多い供試体を×(印)とする。また、図5-(b)の天板面の透水シート面のように小さい表面気泡が比較的少ないが、大きい(φ11~15mm)表面気泡が比較的多く発生したものも×(印)とする。一方、表面気泡が薄いセメントペースト膜に隠れているものを△(印)、すべての表面気泡が少ないものを○(印)とする。その結果の一例を写真2に示す。すべての供試体を表面気泡測定装置で測定し、その結果により供試体の表

面性状を評価しそれぞれ×(印)、△(印)、○(印)で分ける。その結果を表4に示す。次に、側面と天板面を評価した×(印)、△(印)、○(印)の結果を振動加速度・総仕事量と締固めによる表面性状の関係で表すと、それぞれ図8と図9に示すようになる。

(1)側面:側面の合板面は、透水シートを用いなくても適切な水平振動条件を採用すれば、良好な表面性状の供試体が得られる。

(2)天板面:天板面の合板面は、すべての水平振動条件において締固めの良好な供試体が得られない。しかし、透水シートを用いることにより適切な水平振動条件を採用すれば良好な表面性状の供試体が得られる。

側面の合板面と天板面の透水シート面の良好な締固めが得られる水平振動条件を求めるため、図8-(a)と図9-(b)からコンクリートの締固めが良好になる境界条件を、振動加速度 α と総仕事量 W の線形関係と仮定し、近似式で表すと式(4)、(5)になる。

$$\text{側面の合板面: } \alpha / 8.0 + W/570 \geq 1 \quad (4)$$

$$\text{天板面の透水シート面: } \alpha / 8.7 + W/744 \geq 1 \quad (5)$$

表4 水平振動条件と締固めによる表面性状の評価

		A								B					C					
供試体番号		A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	
振動時間 t (s)	1層	60																		
	2層	15	30	60	90	120	150	180	210	15	30	60	90	120	15	30	60	90	120	
質量m (Kg)		25.7 (1層)、41.1 (1層+2層)																		
振幅a (m)		0.075								0.100					0.075					
振動数f (Hz)		1.00								1.00					1.25					
振動加速度 α (m/s ²)		2.96								3.94					4.62					
総仕事量W (J·s)		120	154	222	291	359	424	491	560	215	274	395	517	639	190	243	350	458	565	
表面性状の評価	側面	合板面	×	×	×	△	○	○	○	○	×	×	○	○	○	×	○	○	○	○
		透水シート面	×	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	天板	合板面	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		透水シート面	×	×	×	×	×	△	○	○	×	△	○	○	○	×	×	○	○	○

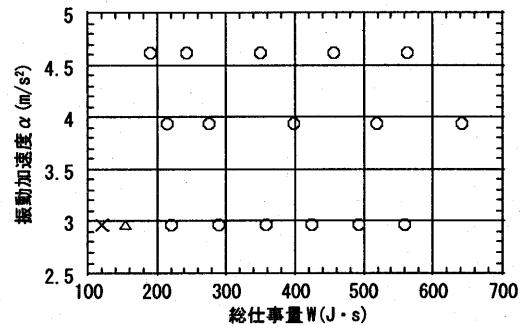
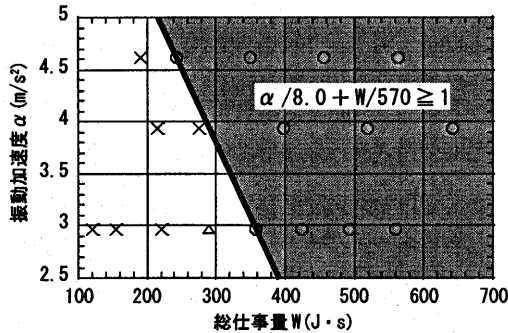


図8 側面の振動加速度・総仕事量と締固めによる表面性状の関係

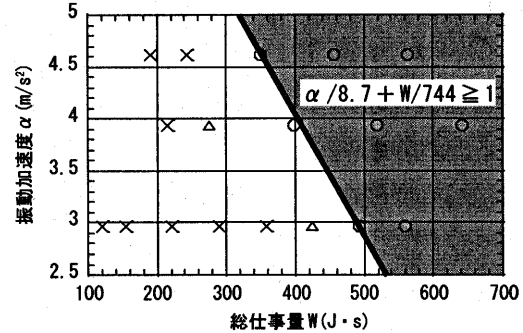
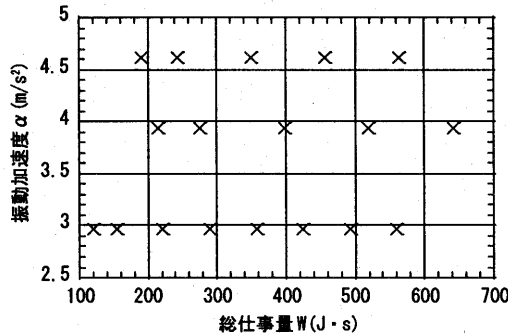


図9 天板面の振動加速度・総仕事量と締固めによる表面性状の関係

6. まとめ

- 1) 水平振動方式で締固めを行う際に、合板面において側面は良好な締固めが可能であるが、密閉されている天板面は良好な締固めを得ることが困難である。
- 2) 水平振動方式に透水型枠工法を導入することにより、側面及び天板面の密閉部分のいずれも表面気泡の減少が可能である。
- 3) 表面気泡測定装置による表面気泡の大きさ別の個数で、コンクリートの締固めによる表面性状を評価した。
- 4) コンクリートの反発度は側面では透水シートによる増加が見られる。水平振動条件による反発度の差異は少ない。
- 5) 水平振動方式において、側面の合板面では振動加速度と総仕事量の関係が $\alpha / 8.0 + W / 570 \geq 1$ であれば、天板の透水シート面では振動加速度と総仕事量の関係が $\alpha / 8.7 + W / 744 \geq 1$ であれば、コンクリートの締固めによる表面性状が良好になる。

謝辞：本研究は松岡コンクリート工業(株)のご協力を得ました。

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、武藤正樹、岡島達雄：低騒音の水平振動方式による軽量コンクリートの締固め効果、日本建築学会構造系論文集、No. 549、pp. 7-12、2001. 11
- 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) 陳海峰、河辺伸二、犬飼利嗣、畑中重光：透水型枠がコンクリート表面性状に与える影響、日本建築学会大会学術講演梗概集A-1、pp. 631-632、2004. 8
- 5) 日本建築学会関東支部：リバウンドハンマーによって圧縮強度は推定可能か、日本建築学会関東支部、材料・施工専門研究委員会、2005. 3
- 6) 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、pp. 7、1990. 3