

水平振動方式によるプレキャストコンクリート製品の 締固め

河辺伸二*1・松岡重吉*2・陳 海峰*3・岡島達雄*4

概要 従来のプレキャストコンクリート製品の工場では、鉛直テーブルバイブレーター、型枠振動機、棒形バイブレーター等によりコンクリートの締固めを行ってきた。これらの振動方式は、作業時に発生する騒音により作業者の労働安全衛生上の問題や、近隣住民の騒音環境悪化の問題が起きている。そこで、作業時の騒音を最小限に抑え、同時に良好なコンクリートの締固めが可能な低振動数かつ高振幅の水平振動方式を提案し研究を行った。本レポートでは、水平振動装置の概要、水平振動方式によるコンクリートの締固めの条件、水平振動方式と鉛直テーブルバイブレーターによるコンクリートの締固めの比較、水平振動方式によるコンクリートの締固め効果の評価について紹介する。

キーワード：水平振動方式、プレキャストコンクリート、締固め効果、表面気泡

1. はじめに

従来のプレキャストコンクリート製品の工場では、鉛直テーブルバイブレーター、型枠振動機、棒形バイブレーター等の振動機によりコンクリートの締固めを行ってきた。これらの振動方式は、フレッシュコンクリートの締固め効果が良好であるが、締固め時に 90 dB 以上の騒音を発生し、作業者の労働安全衛生や近隣住民の騒音環境悪化の問題の原因となっている。

また、プレキャストコンクリート製品のように、同一規格で大量に生産される部材では、コンクリートの表面の仕上がりが重要視され、強度上問題がなくても製品の表面気泡を施主や施工管理者が嫌う傾向がある。これに対処するため、締固め時に過剰な振動を加える場合が見られ、骨材分離等の品質の低下をもたらしたり、騒音発生が増大するなど問題も多い。

騒音が大きい原因のひとつは、振動機の振動数が大きいことにある。そこで筆者らは、騒音を低くするために、振動機の振動数を低くすることを考え、鉛直テーブルバイブレーターに代わるコンクリートの締固め方法として、低振動数かつ高振幅の振動方式を提案した。低振動数のため低騒音を達成でき、かつ水平方向に振動するため粗骨材が鉛直方向に沈む骨材分離が小さいと考えられる。従来の鉛直テーブルバイブレーターに比べ低振動数かつ高振幅さらに水平方向に振動する方式を、筆者らの一連の研究では水平振動方式という。

本レポートでは、水平振動装置の概要、水平振動方式

によるコンクリートの締固めの条件、水平振動方式と鉛直テーブルバイブレーターによるコンクリートの締固めの比較、水平振動方式によるコンクリートの締固め効果の評価について紹介する。

2. 水平振動装置の概要^{1),2)}

型枠を水平方向に左右 10 cm 動かすことで、フレッシュコンクリートを締固める方式は、従来の鉛直テーブルバイブレーターなどの締固め方式の単なる改良とは違い、独創的かつ画期的な方式である。

水平振動方式のメリットは、締固め時の騒音が小さいこと他に、粗骨材分離が小さいこと、表面気泡が少ないことが挙げられる。これらのメリットが認められて、現在、全国 39 工場で採用され 41 ラインが稼働している。年間の製品製造量 885 000 トンの実績は、プレキャストコンクリート製品の製造における新たな発展につながった。これは、これまでの水平振動方式による締固めの研究成果が大きく貢献していると考える。水平振動方式を用いたプレキャストコンクリート製品工場でのフレッシュコンクリートの打設の一例を写真-1 に示し、生産したプレキャストコンクリート製品の一例を写真-2 に示す。



写真-1 フレッシュコンクリートの打設の一例

*1 かわべ・しんじ／名古屋工業大学大学院 教授（正会員）

*2 まつおか・しげよし／松岡コンクリート工業㈱ 代表取締役社長（正会員）

*3 ちん・かいほう／名古屋工業大学 産学官連携センター 講師（正会員）

*4 おかじま・たつお／元名古屋工業大学長（正会員）

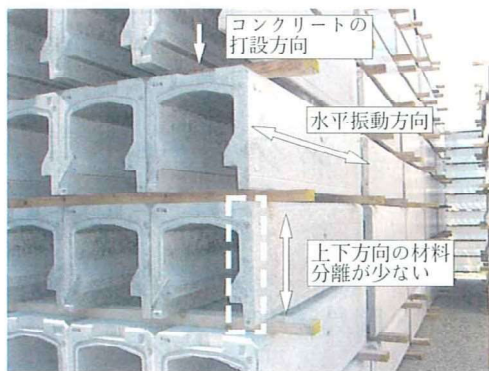


写真-2 プレキャストコンクリート製品の一例

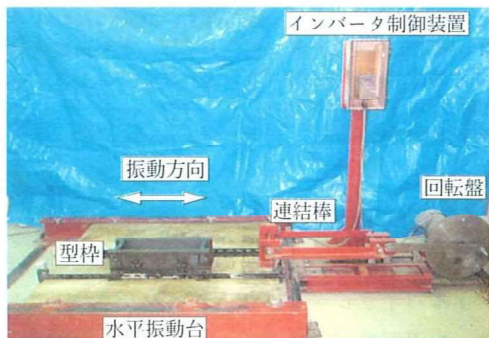


写真-3 水平振動装置

筆者らは水平振動方式によるプレキャストコンクリート製品の締固めの一連の研究において、水平振動の振幅・振動数・振動時間・振動加速度と総仕事量を検討した。コンクリートに関してはスランプと打込み高さについて、型枠に関しては高さ・長さ・幅について検討した。これらの実験と理論のデータから水平振動方式の最適な締固め条件を求めた。

研究で開発した水平振動装置を写真-3に示す。装置はインバータ制御のモーターを動力とし、回転盤を回転させる。回転運動を連結棒を通じて往復運動に変換して、水平振動台を水平方向に振動させる。型枠は水平振動台の上に固定する。これにより、型枠に投入したフレッシュコンクリートに水平振動を与え締固めを行う。振動数は、インバータ制御装置により任意に調整できる。振幅は、回転盤にある4つの穴の位置を選択することで、0.05 m, 0.075 m, 0.10 m, 0.15 m と変更できる。

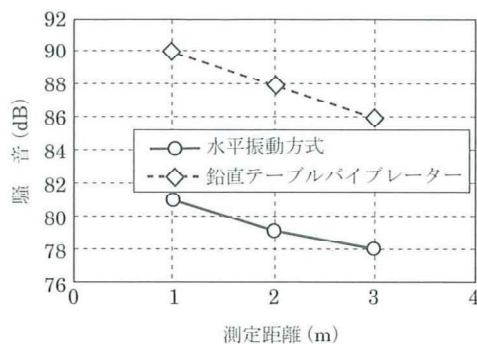


図-1 水平振動方式と鉛直テーブルバイブレーターにより発生する騒音の比較

水平振動装置と鉛直テーブルバイブレーターの振動中に発生する騒音を測定した結果を図-1に示す。測定距離1 mの場合、水平振動方式が発生した騒音は81 dBであり、ほぼ地下鉄車内の騒音に相当していた。鉛直バイブレーターが発生した騒音は90 dBであり、ほぼ鉄道ガード下の騒音に達していた。

なお、本レポートで紹介した内容以外にも水平振動方式による軽量コンクリートの締固め効果^{(3), (5), (6)}、種々の型枠形状による締固め効果^{(6), (8)}、透水型枠による締固め効果^{(7), (9)}、締固め後の粗骨材の挙動⁽¹⁰⁾、水平振動方式とハンマーによる締固め効果の向上⁽¹³⁾について実験を行った。参考文献を参照して頂けると幸いです。

3. 水平振動方式によるコンクリートの締固めの条件⁽¹¹⁾

水平振動方式におけるコンクリートの締固め効果に影響を与えると考えられる主な条件として、水平振動装置、

表-1 水平振動方式によるコンクリートの締固めの条件

	条件	要因
1	水平振動装置	振動加速度 振動時間
2	コンクリート	スランプ 打込み高さ
3	型枠寸法	型枠の高さ 型枠の長さ 型枠の幅

表-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：3.15 g/cm ³ 比表面積：3 410 cm ² /g
細骨材	木曾川産砂（～5 mm）	表乾密度：2.56 g/cm ³ 粗粒率：2.79
粗骨材	木曾川産砂利（5～25 mm）	表乾密度：2.62 g/cm ³ 粗粒率：6.86
化学混和剤	AE 剤	—
化学混和剤	AE 減水剤	密度：1.27 g/cm ³
水	上水道水	—

表-3 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 剤 ⁽¹⁾ (C×0.02%)	AE 減水剤 ⁽²⁾ (C×0.2%)
43	41	175	407	689	1 013	0.081	0.81

注) 単位水量に含む

コンクリートおよび型枠寸法の 3 種類を取り上げ検討した。表-1 に示すように、水平振動装置では振動加速度と振動時間について、コンクリートではスランプと打込み高さについて、型枠寸法では型枠の高さ、長さおよび幅について検討した。実験に用いた使用材料を表-2、コンクリートの調合を表-3 に示す。コンクリートの目標スランプは 18 cm、目標空気量は 4.0% とした。すべてのコンクリートは無筋状態で実験を行った。

3.1 水平振動装置

(1) 振動加速度

1) 実験方法

水平振動装置の振動加速度は、2.22, 2.96, 3.94, 4.62 m/s² の 4 水準の振動加速度を求めて実験を行った（振動加速度に関しては、5.1 に記述する）。

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、振動時間は 90 s とした。

2) 実験結果および考察

振動加速度と表面気泡の面積率の関係を図-2 に示す。コンクリートの表面気泡の面積率は、振動加速度が大きくなるほど小さくなる。水平振動装置の振動加速度が 3.94 m/s² 以上であれば、締固めが良好になると考えら

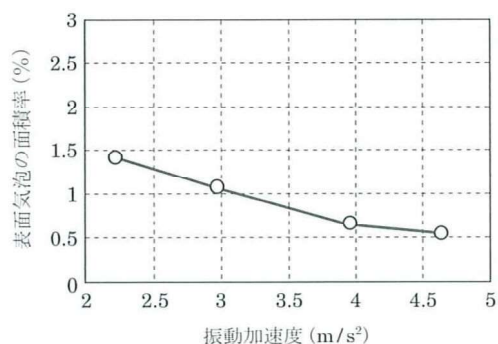


図-2 振動加速度と表面気泡の面積率の関係

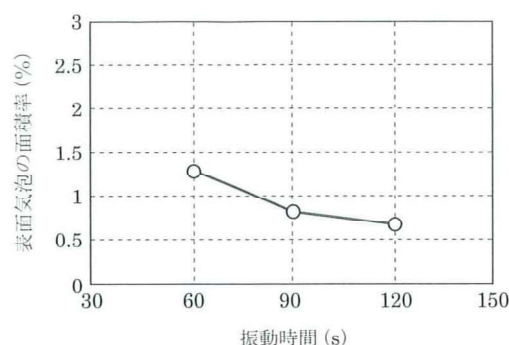


図-3 振動時間と表面気泡の面積率の関係

れる。

(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締固め効果の影響を調べるため、振動時間 60 s, 90 s, 120 s で実験を行った。型枠は 40（長さ）×10（高さ）×10（幅）cm の鋼板型枠を用いた。水平振動装置の振幅は 0.10 m、振動数は 1.0 Hz とした。

2) 実験結果および考察

振動時間と表面気泡の面積率の関係を図-3 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いほど小さくなり、水平振動時間が 90 s 以上であれば、締固めが良好になると考えられる。

3.2 コンクリート

(1) スランプ

1) 実験方法

スランプが 12.5 cm, 15 cm, 18 cm, 20 cm の 4 種類を用いて実験を行った。型枠は 40（長さ）×10（高さ）×10（幅）cm の鋼板型枠を用いた。水平振動装置の振幅は 0.10 m、振動数は 1.0 Hz、振動時間は 90 s とした。

2) 実験結果および考察

コンクリートのスランプと表面気泡の面積率の関係を図-4 に示す。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 18 cm 以上で良好な締固め効果が得られた。スランプ 12 cm 以下では締固めが困難であると考えられる。そこで、他の実験においてもスランプ 18 cm を採用した。

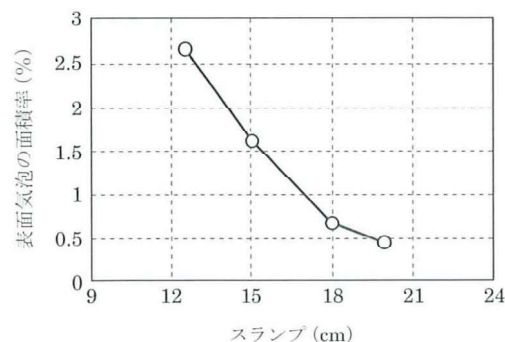


図-4 スランプと表面気泡の面積率の関係

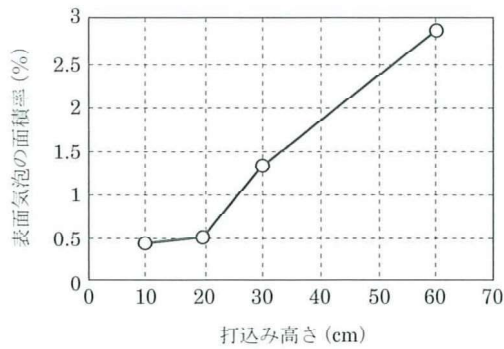


図-5 打込み高さと表面気泡の面積率の関係

(2) 打込み高さ

1) 実験方法

コンクリートの打込み高さは、10 cm (打込み層6層)、20 cm (打込み層3層)、30 cm (打込み層2層)、60 cm (打込み層1層)の4水準を用いて実験を行った。コンクリートの合計の高さは60 cm、総振動時間は360 sと一定にした。型枠は30 (長さ)×65 (高さ)×10 (幅) cmの合板型枠を用いた。振幅は0.10 m、振動数は1.0 Hz、スランプは18 cmとした。

2) 実験結果および考察

コンクリートの打込み高さと表面気泡の面積率の関係を図-5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る。スランプ18 cmのコンクリートは、打込み高さが20 cm以下であれば締固めが良好になると考えられる。

3.3 型枠寸法

(1) 型枠の高さ

1) 実験方法

型枠の長さや幅を一定にし、高さのみを変化させた。型枠寸法を表-4の水準1に示す。

2) 実験結果および考察

型枠の高さと表面気泡の面積率の関係を図-6に示す。型枠の高さによる供試体の表面気泡の面積率は、型枠の高さを低くする方が小さく、良好な締固め効果が得られると考えられる。

(2) 型枠の長さ

1) 実験方法

型枠の高さや幅を一定にし、長さのみを変化させた。型枠寸法を表-4の水準2に示す。

2) 実験結果および考察

型枠の長さや表面気泡の面積率の関係を図-6に示す。

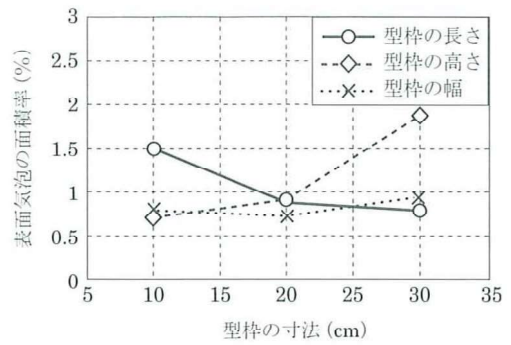


図-6 型枠の寸法と表面気泡の面積率の関係

型枠の長さによる供試体の表面気泡の面積率は、長さが20 cm以上では表面気泡の面積率が1%以下に減少していたが、長さが10 cmでは1.49%に急増した。型枠の長さが小さくなると締固めが困難であると考えられる。

(3) 型枠の幅

1) 実験方法

型枠の高さと長さを一定にし、幅のみを変化させた。型枠寸法を表-4の水準3に示す。

2) 実験結果および考察

型枠の幅と表面気泡の面積率の関係を図-6に示す。型枠の幅による供試体の表面気泡の面積率は差異は現れなかった。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。

4. 水平振動方式と鉛直テーブルバイブレーターによるコンクリートの締固めの比較

水平振動方式と鉛直テーブルバイブレーターによるコンクリートの締固めについて、コンクリートの粗骨材の分布状態と表面気泡の分布状態を比較した。

4.1 粗骨材の分布状態

(1) 実験方法

コンクリート中の粗骨材の分布状態を比較するため、水平振動方式と鉛直テーブルバイブレーターによりプレキャストコンクリート製品 (U字溝) を実工場で作製した。写真-4と写真-5に示す。それぞれの断面の5箇所ずつの測定箇所の粗骨材の面積率を測定した。

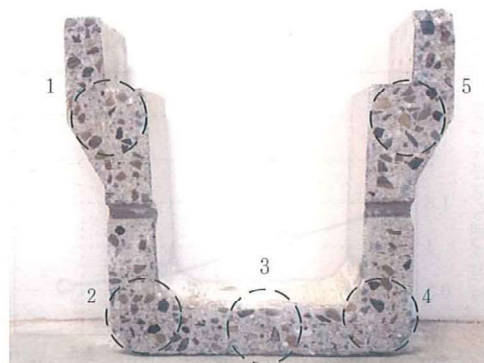


写真-4 水平振動方式により作製したプレキャストコンクリート製品 (U字溝)

表-4 型枠寸法

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

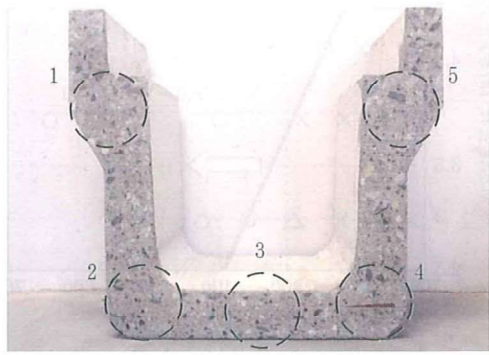


写真-5 鉛直テーブルバイブレーターにより作製したプレキャストコンクリート製品 (U字溝)

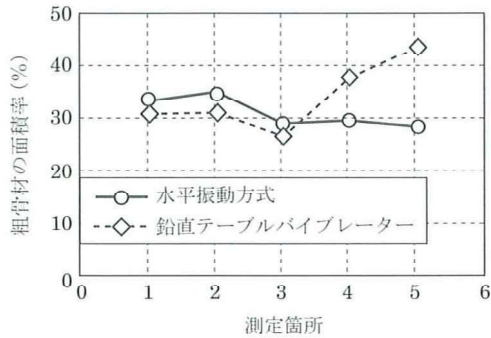


図-7 プレキャストコンクリート製品 (U字溝) の粗骨材の面積率

(2) 実験結果と考察

水平振動方式と鉛直テーブルバイブレーターにより作製したプレキャストコンクリート製品 (U字溝) の粗骨材の面積率を図-7 に示す。水平振動方式は鉛直テーブルバイブレーターに比べ、測定箇所による粗骨材の面積率の違いが小さく、締固め後の粗骨材の分布状態は良好であった。

4.2 表面気泡の分布状態

(1) 実験方法

水平振動方式の振動条件は、振幅 0.10 m、振動数 1.0 Hz、振動時間 120 s とした。鉛直テーブルバイブレーターの振動条件は、出力 150 W、振動数 50/60 Hz、振動時間は 20 s とした。型枠は 40 (長さ) × 10 (高さ) × 10 (幅) cm の鋼板型枠を用いた。コンクリート硬化後、表面気泡の面積率を、デジタルカメラと多機能汎用画像

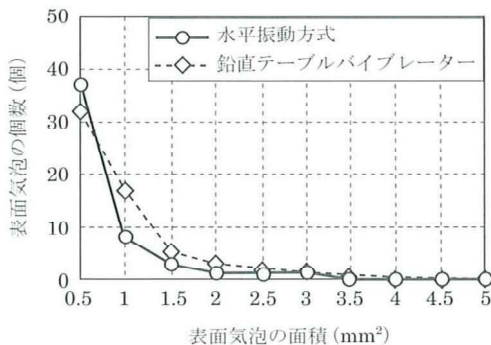


図-8 表面気泡の面積別の個数

解析ソフト「Cosmos32」を用いて測定した。一箇所の測定範囲は 80 × 80 mm とした。

(2) 実験結果と考察

水平振動方式と鉛直テーブルバイブレーターによる表面気泡の測定結果を図-8 に示す。表面気泡の面積別の個数を比較すると、振動方式の違いによる表面気泡の差異は現れなかった。

5. 水平振動方式によるコンクリートの締固め効果の評価^{9), 12), 13)}

水平振動方式によるコンクリートの締固め効果を理論的に評価するため、振動加速度・総仕事量による検討と波動理論による検討を行った。

5.1 振動加速度・総仕事量による検討⁹⁾

(1) 実験方法

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が良好になる水平振動条件を定量的に把握するため、振動加速度 α と仕事量 W の概念を導入した。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を式 (3) に示す。

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

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

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

ここで、

α : 振動加速度 (m/s²) f : 振動数 (Hz=1/s)

a : 振幅 (m) t : 振動時間 (s)

m : 供試体の質量 (kg) W_n : 各層の仕事量 (J・s)

W : 総仕事量 (J・s)

さらに図-9 のように天板面の密閉部分を有する凹型型枠の天板面と側面に透水シートを張付け、透水シートの有無による締固め効果を比較した。コンクリートは型枠に 2 層に分けて投入した。1 層は凹型型枠の天板面下まで投入し 60 秒間水平振動させた。次に、型枠の上面まで投入し、振動時間 30~180 s の 30 s 間隔で水平振動させた。

コンクリートの締固め効果の良否は、表面気泡の測定結果により評価した。小さい表面気泡 ($\phi 1 \sim 3$ mm) と大きい表面気泡 ($\phi 11 \sim 15$ mm) が比較的多く発生したものを × (印) とした。表面気泡が薄いセメントペース

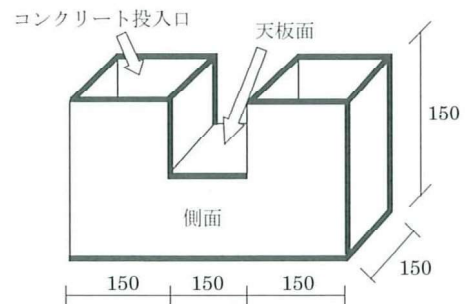


図-9 凹型透水型枠 (mm)

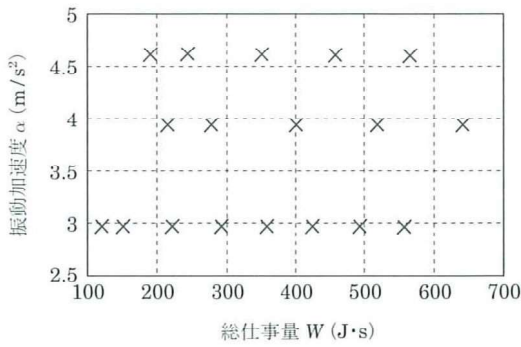


図-10 天板面の振動加速度・総仕事量と表面状態（合板面）

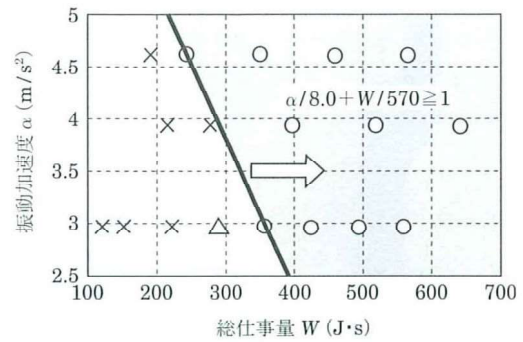


図-12 側面の振動加速度・総仕事量と表面状態（合板面）

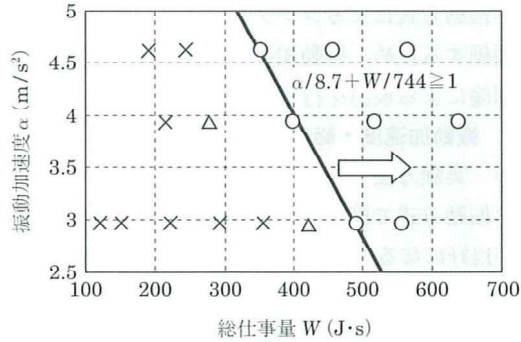


図-11 天板面の振動加速度・総仕事量と表面状態（透水シート面）

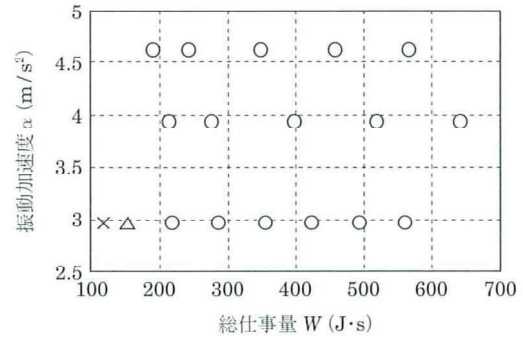


図-13 側面の振動加速度・総仕事量と表面状態（透水シート面）

ト膜に隠れているものを△（印）、表面気泡が少ないものを○（印）とした。

(2) 実験結果と考察

供試体の天板面と側面の振動加速度・総仕事量と表面状態の関係を図-10～図-13に示す。

図-10に示すように、天板面に合板を用いた面は、すべての水平振動条件において締固めが困難であった。しかし、天板面に透水シートを用いて適切な水平振動条件を採用すれば、図-11に示すように、良好な締固め効果が得られた。

図-12に示すように、側面に合板を用いた面は、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、良好な締固め効果が得られた。側面に透水シートを用いれば振動加速度や総仕事量が小さい条件でも、図-13に示すように良好な締固め効果が得られた。

良好な締固めが得られる水平振動条件を求めるため、図-11と図-12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 を用いて近似式で表すとそれぞれ式(4)と式(5)になった。

天板面の透水シート面： $\alpha/8.7 + W/744 \geq 1$ (4)

側面の合板面： $\alpha/8.0 + W/570 \geq 1$ (5)

5.2 波動理論による検討^{12),13)}

(1) 実験方法

水平振動方式で締固めを行う際、型枠内のフレッシュコンクリートの流動状態は、構造物に当たる海の波動現象と似ている。そこで、型枠内のフレッシュコンクリートの流動状態を港湾工学の波動理論を用いて解析した。

水平振動方式によるフレッシュコンクリートの流動状態の概念図を図-14に示す。さらに、港湾工学の波動理論に基づいて、型枠の衝撃面に発生する波圧をフレッシュコンクリートの打込み高さ h と波高 H で示し、図-15に示すように、 $h > 2H$ の場合と $h < 2H$ の場合に区別して解析した。

$h > 2H$ の場合は、サンフルー簡略公式¹³⁾を用い解析した。波圧の分布は図-15(b)に示すようになり、以下の式(6)から式(8)で表すことができる。

$$p_1 = (p_2 + \rho h 10^{-2}) \left(\frac{H + \delta_0}{h + H + \delta_0} \right) \quad (6)$$

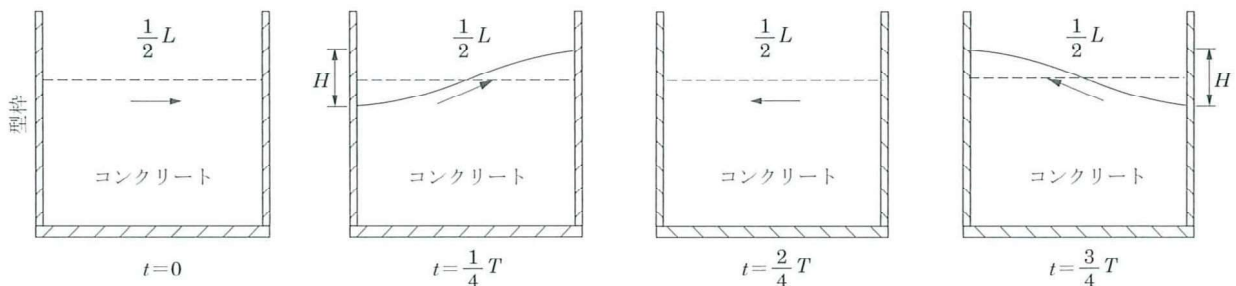


図-14 水平振動方式によるフレッシュコンクリートの流動状態の概念図

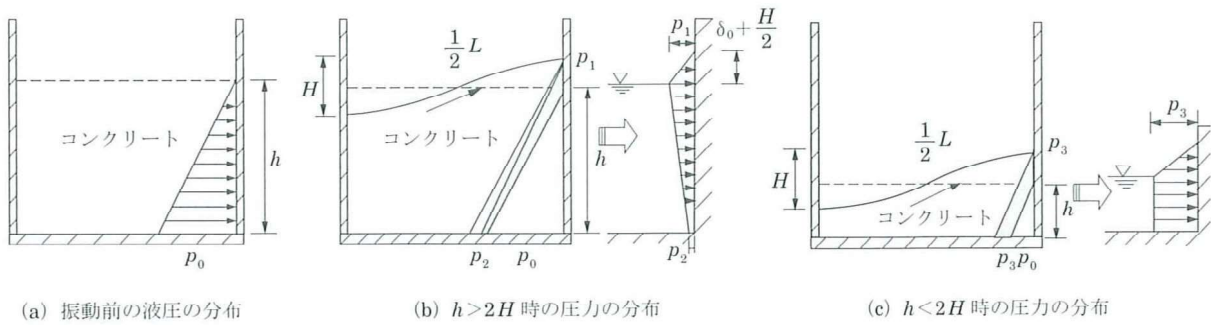


図-15 水平振動方式による波圧の分布の概念図

$$p_2 = \frac{\rho H 10^{-2}}{\cosh \frac{2\pi h}{L}} \quad (7)$$

$$\delta_0 = \frac{\pi H^2}{L} \cosh \frac{2\pi h}{L} \quad (8)$$

ここで、

p_1 ：型枠の衝撃面に波の峰があるときの静水面におけるフレッシュコンクリートの波圧強度 (kN/m²)

p_2 ：型枠の衝撃面下端における波圧強度 (kN/m²)

ρ ：フレッシュコンクリートの単位体積質量 (kg/m³)

δ_0 ：型枠の衝撃面における波高中分面の静水面上の高さ (m)

h ：フレッシュコンクリートの打込み高さ (m)

H ：波高 (フレッシュコンクリートの谷と山の距離) (m)

L ：波長 (型枠長さの2倍) (m)

$h < 2H$ の場合は、広井式¹⁴⁾を用い解析した。波圧の分布は図-15 (c) に示すようになり、以下の式 (9) で表すことができる。

$$p_3 = 1.5 \rho H 10^{-2} \quad (9)$$

ここで、

p_3 ：型枠の衝撃面に波の峰があるときのフレッシュコンクリートの波圧強度 (kN/m²)

(2) 実験結果と考察

$h > 2H$ の場合の水平振動方式によるフレッシュコンクリートの打込み高さ h と波高 H の関係を図-16 に示す。水平振動方式により発生するフレッシュコンクリー

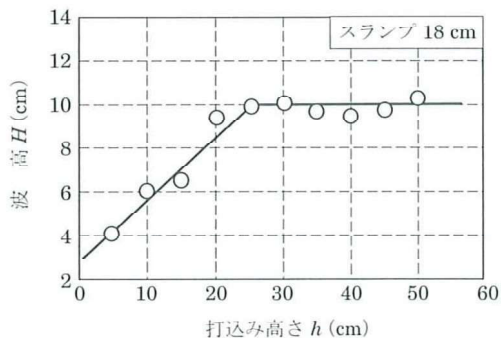


図-16 打込み高さ h と波高 H の関係

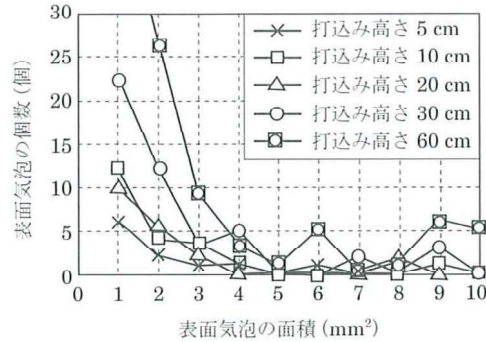


図-17 打込み高さ h による表面気泡の面積別の個数

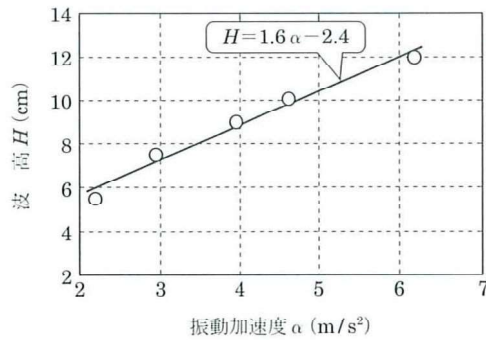


図-18 振動加速度 α と波高 H の関係

トの波高 H は、打込み高さ h が大きくなるほど大きくなっているが、打込み高さ h が 20 cm 以上になると波高 H が 10 cm と一定になっている。波高 H が一定になる直前の打込み高さ h が良好な締固め効果が得られる適切な範囲である。

水平振動方式によるフレッシュコンクリートの打込み高さ h と表面気泡の面積別の個数を図-17 に示す。フレッシュコンクリートの打込み高さ h が高くなるほど、表面気泡が増加していることが分かった。

$h < 2H$ の場合の水平振動装置の振動加速度 α と波高 H の関係を図-18 に示す。波高 H は、水平振動装置の振動加速度 α が大きくなるほど大きく、その関係は線形関係になった。振動加速度 α と波高 H との関係は以下の式 (10) のように表せる。

$$H = 1.6\alpha - 2.4 \quad (10)$$

振動加速度 α による表面気泡の面積別の個数を図-19 に示す。水平振動方式の振動加速度 α が大きくなるほど表面気泡の面積別の個数が少なく締固め効果が良好に

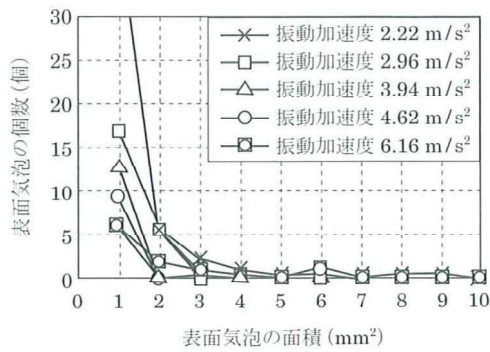


図-19 振動加速度 α による表面気泡の面積別の個数

なる。

6. おわりに

水平振動方式によるプレキャストコンクリート製品の締固めに関して、水平振動装置の概要、水平振動方式によるコンクリートの締固めの条件、水平振動方式と鉛直テーブルバイブレーターによるコンクリートの締固めの比較、水平振動方式によるコンクリートの締固め効果の評価について紹介した。現在、水平振動方式によるコンクリートの締固めに与える内部鉄筋の影響や、水平振動方式で締固めを行う際のコンクリート中の気泡の動きの確認などを行っている。本レポートにより、水平振動方式を用いたプレキャストコンクリート製品の製造ラインが更に増えれば幸いである。

謝辞 本研究の遂行に当たり、武藤正樹氏（国土交通省国土技術政策総合研究所）と M.W. チャロンゲ氏（インドネシア Hasanuddin 大学）に謝意を表します。

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・松岡重吉：Compaction of Fresh Concrete with Long and Low Frequency of Vibration in Manufacturing Precast Concrete, Proceedings of Advanced Materials Development and Performance, Vol.2, pp.501-506, 1999.11
- 3) 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集，Vol.23, No.2, pp.877～882, 2001.6
- 4) 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，第545号，pp.7～11, 2001.7
- 5) 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，第549号，pp.7～12, 2001.11
- 6) 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, pp.543～548, 2002.6
- 7) 河辺伸二・陳 海峰・犬飼利嗣・畑中重光：透水型枠によるコンクリート表面性状，透水・脱水によるコンクリートの品質改善に関するシンポジウム論文集，pp.205～210, 2004.9
- 8) 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
- 9) 陳 海峰・河辺伸二：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，日本建築学会構造系論文集，No.602, pp.9～13, 2006.4
- 10) 陳 海峰・河辺伸二：水平振動方式によ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
- 11) 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状態，コンクリート工学年次論文集，Vol.29, No.1, pp.771～776, 2007.7
- 12) 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の打込み高さに関する研究，日本建築学会構造系論文集，No.619, pp.1～6, 2007.9
- 13) 陳 海峰・河辺伸二：水平振動方式によるコンクリートの打込み高さ，コンクリート工学年次論文集，Vol.30, No.1, pp.519～524, 2008.7
- 14) 合田良實：海岸・港湾二訂版，わかり易い土木講座 17 土木学会編集，彰国社，1998.9