

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

STUDY OF HEIGHT AT PLACING ON BEHAVIOR OF FRESH CONCRETE COMPACTED BY THE HORIZONTAL VIBRATION METHOD

陳海峰*, 河辺伸二**
Haifeng CHEN and Shinji KAWABE

The effect of concrete compacted in the horizontal vibration method with a low vibration and a high amplitude was examined by using the color concrete. When the concrete was compacted by this method, it was guessed that the distribution of wave pressure that worked at the impact side of the mould effected the compaction. The wave motion theory of the harbor engineering was applied this study. It was considered that the distribution of wave pressure was controlled as wave height and height at placing of concrete. This theory was verified by using three elements of the height at placing of concrete, the vibration acceleration and the slump. When the height at placing was larger than twice the wave height, compacted was difficult. When the height at placing was smaller than twice the wave height, the wave height was large and surface condition became better along with the vibration acceleration and the slump.

Keywords: horizontal vibration, height at placing, wave motion theory, void on the surface, acceleration

水平振動, 打込み高さ, 波動理論, 表面気泡, 振動加速度

1. はじめに

近年, コンクリート二次製品の工場では, 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。また, 表面気泡がコンクリート二次製品の品質を表す指標の一つになっている。そこで筆者らは, コンクリート二次製品の品質改善を目的とすると同時に, 低騒音の低振動数かつ高振幅の水平振動方式を提案し, 普通コンクリート, 軽量コンクリート及び透水型枠などを有して一連の実験^{1~4)}を行った。

その結果, 以下の主な実験結果を得た。1) 水平振動方式は低振動数かつ高振幅のため, 作業時に測定距離1mで発生する騒音は81dB以下の低騒音で, 作業者の労働安全衛生上の問題及び工場の近隣住民の騒音環境に対する問題を解決した¹⁾。2) 普通コンクリートを小型鋼板型枠(10×10×40cm)及び製品の実寸大(U字溝の蓋)に等しい寸法の鋼板型枠(10×50×60cm)に投入して水平振動させた結果, 材料分離が少なく供試体の強度及び表面気泡はテーブルバイブレータと同等な結果が得られ, 水平振動方式の実用性を見出した¹⁾。3) 上述の鋼板型枠(10×50×60cm)に軽量コンクリートを投入し水平振動を行った。その結果, 材料分離が少なく供試体の強度及び表面気泡はテーブルバイブレータと同等な結果が得られ, 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^{2,3)}。4) 凹型合板型枠の側面と天板面の密閉部分に透水シートを貼り付け, 普通コンクリートを投入し水平振動させた。その結果, 透水シートを貼り付けた側面と天板面の密閉部分の強度は合板面より大きく, 表面気泡も減少した⁴⁾。

このように, 現在までは筆者らによって, 水平振動方式におけるコンクリートの強度や材料分離及び表面状態に関して十分なデータはあるが, フレッシュコンクリートの打込み高さについては具体的な理論がなく, 実験から決めていた。また, 打込み高さや締め固め効果との関係についても十分に確立されていないのが現状である。

そこで本研究では, 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や締め固め効果との関係を確立することを目的とし, 港湾工学の波動理論を適用して, 一連の実験を行う。

本研究の流れを以下に示す。1) カラーコンクリートを透明型枠に投入し, 水平振動方式による流動状態を視視観察する。2) カラーコンクリートの流動状態に基づき, 港湾工学の波動理論を適用して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や締め固め効果との関係を近似表現する。3) フレッシュコンクリートの打込み高さ, 振動加速度, スランプを用いて実験を行い, その際に発生するフレッシュコンクリートの波高と締め固め効果との関係を検討する。

本研究の成果は, 水平振動方式を用いたコンクリート二次製品工場製造される製品の品質の向上及び効率的な締め固め方法を図る上で参考になると考える。

2. 水平振動方式¹⁾

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を与える装置である。装置は, インバータ制御装置のモータにより回転盤を回転させ, それに繋いでいる連結棒により水平振動台を水

* 名古屋工業大学大学院 大学院生・工修

** 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.

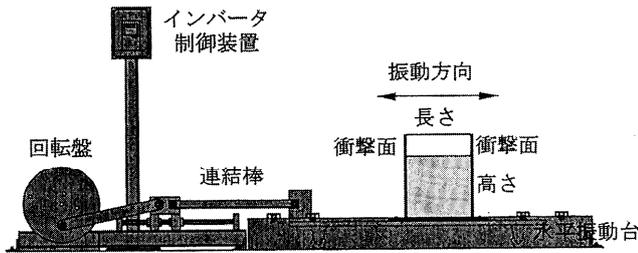


図1 水平振動装置

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剤	
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剤 ¹⁾ (C×0.02%)	AE減水剤 ¹⁾ (C×0.2%)
43	41	175	407	689	1013	0.081	0.81

1) 単位水量を含む

表3 着色顔料の色と物理的性質

色 類	粒 度 (μm)	密 度 (g/cm ³)	主な化学組成	水溶分 (%)
			酸化第二鉄(%)	
赤	0.17	5.0	98.7	0.14
黄	0.08	4.1	87.1	0.22

平方方向に往復運動させる。型枠は水平振動台に固定され、ともに水平方向に往復運動される。本実験に用いた水平振動装置、振動方向、型枠の長さ方向、高さ方向及び衝撃面を図1に示す。

3. カラーコンクリートの実験⁴⁾

水平振動方式におけるフレッシュコンクリートの流動状態を目視観察するため、透明型枠にカラーコンクリートを投入し実験を行う。

3.1 実験1

(1) 実験方法：前面部のみ透明なアクリル製板とした合板型枠を用いる。寸法は30(長さ)×65(高さ)×5(幅)cmとする。カラーコンクリートは赤と黄の2種類を用い、着色顔料の添加量はセメント量に対し5%とする。コンクリートの目標空気量は4±1.5%、目標スランプは18±1.5cmとする。実験に用いた使用材料を表1、普通コンクリートの調合を表2、着色顔料を表3に示す。水平振動装置の振動数は1.0Hz、振幅は0.10mとする。

練り上がったカラーコンクリートは写真1のように赤、黄、赤、黄の順で高さ60cmまで一括に投入し、水平振動を行う。同時にデジタルカメラで30s間隔で写真を撮る。

(2) 実験結果：水平振動方式によるカラーコンクリートの流動中

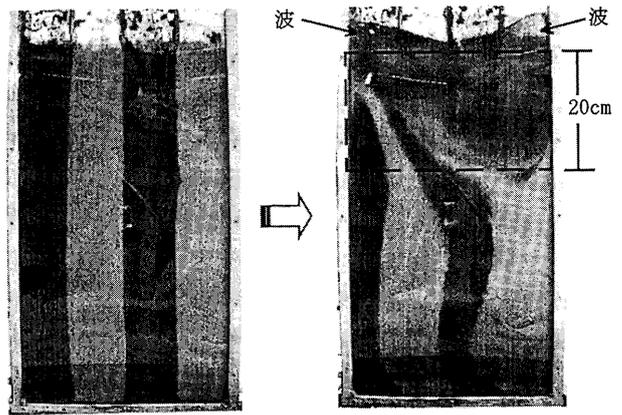


写真1 実験1の振動時間0s時のカラーコンクリートの状態
写真2 実験1の振動時間180s時のカラーコンクリートの状態

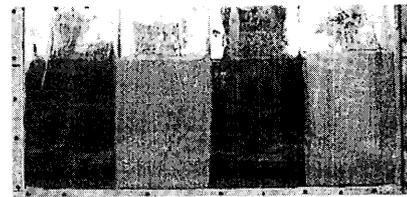


写真3 実験2の振動時間0s時のカラーコンクリートの状態

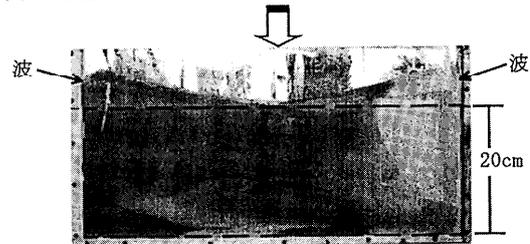


写真4 実験2の振動時間180s時のカラーコンクリートの状態

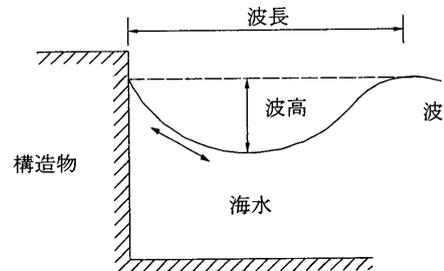


図2 構造物に対する海の波の現象

の、振動時間0sと180s時の状態を写真1と写真2に示す。写真から、カラーコンクリートの上面では水平振動により型枠の衝撃面で波が周期的に発生しながら混合されている。また、上層部のカラーコンクリートは変形が進むにつれ赤と黄の色が均一に混合しているが、下層部は変形が少なく赤と黄の色は混合していない。上層部の混合しているコンクリートの高さは約20cmであった。

3.2 実験2

(1) 実験方法：同様に、前面部のみ透明なアクリル製板とした合板型枠を用いる。寸法は65(長さ)×30(高さ)×5(幅)cmとする。カラーコンクリートは赤、黄、赤、黄の順で高さ20cmまで一括に投入し、水平振動を行う。同時にデジタルカメラで30s間隔で写真を撮る。

(2) 実験結果：同様に、水平振動方式によるカラーコンクリートの

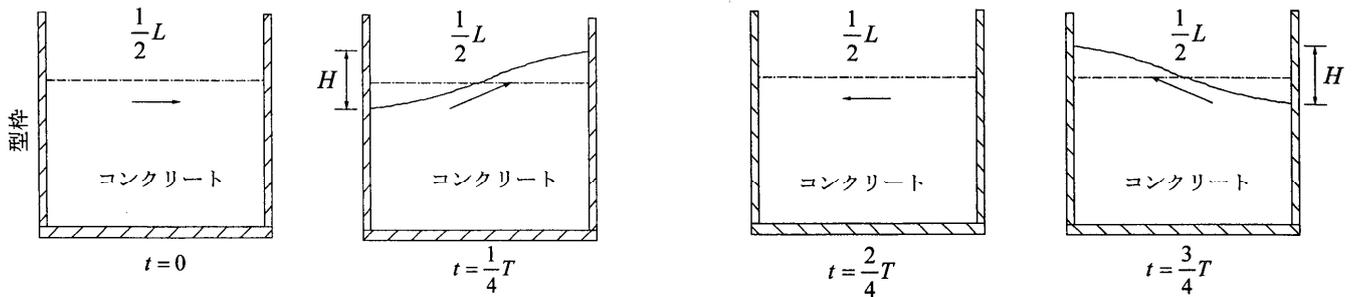


図3 水平振動方式によるフレッシュコンクリートの流動状態の概念図

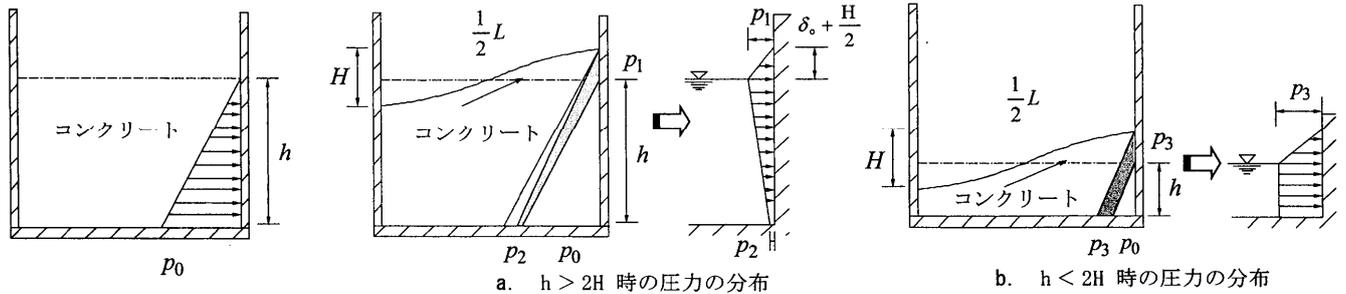


図4 液圧の分布の概念図

図5 水平振動方式による波圧の分布の概念図

流動中の、振動時間0sと180s時の状態を写真3と写真4に示す。同様に、カラーコンクリートの上面では水平振動により型枠の衝撃面で波が周期的に発生しながら混合されている。また、上、下層部ともに変形が進むにつれて赤と黄が均一に混合されている。

以上のカラーコンクリートの実験1と2から、水平振動方式により締固めを行う際に、型枠の衝撃面にコンクリートの波が周期的に発生しながらコンクリートが混合されている。また、コンクリートの打込み高さが比較的高くなると、上層部は下層部より流動が激しく、均一に混合されていた。即ち、良好な締固め効果を得るには、一括に投入するコンクリートの打ち込み高さが関係あると考えられる。

4. 波動理論^{5,6)}

4.1 波動現象

上述のカラーコンクリートの実験から、水平振動方式で締固めを行う際の、型枠内のフレッシュコンクリートの流動状態は図2に示す構造物に対する海の波の現象と似ている。そこで、港湾工学の海の波動理論を用いて解析することを試みる。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3に示す。

港湾工学の波動理論を水平振動方式の締固め現象に引用する際、まず以下の3つの仮定が必要となる。

1) 実際の海の波は非常に複雑な形をしているが、水平振動方式により発生する波は比較的一定であり、周期も水平振動装置により一定である。即ち、波高と周期は一定の規則波である。

2) 実際、波高が大きくなると波長は若干延びているが、波長の増大が最も著しい場合でも波高の増大率は13～25%である。そこで、計算を単純化するため波長の変化を無視する。即ち、発生する波高による波長の変化は無視し、波長は型枠の長さの2倍と一定にする。

3) JASS5では、軟練りコンクリートを用いる場合、フレッシュコンクリートを液体と仮定し、型枠の壁面には図4に示すように液圧が作用すると記している。実際に水平振動方式で締固めを行う場合、

フレッシュコンクリートのスランプは通常18cm以上のものを用いる。そこで、水平振動方式で締固めを行うフレッシュコンクリートを軟練りコンクリートとし、液圧の分布として算出する。

しかし、自重による側圧のみではコンクリートの締固めが不可能である。水平振動方式で締固めを行う際には、型枠の衝撃面に発生するコンクリートの波圧が締固めの主な原因であると考えられる。即ち、型枠の衝撃面に作用する合計の圧力は、コンクリートの自重による側圧に波圧が加算されるとする。

4.2 波動理論式

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 が、 $h > 2H$ の場合と $h < 2H$ の場合に区別して解析する。

(1) $h > 2H$ の場合は、サンフルー簡略公式^{5,6)}を用い解析する。波圧の分布は図5-aに示すようになり、以下の式(1)～(3)で表す。

$$p_1 = (p_2 + \rho h) \left(\frac{H + \delta_0}{h + H + \delta_0} \right) \quad (1)$$

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

$$\delta_0 = \frac{\pi H^2}{L} \coth \frac{2\pi h}{L} \quad (3)$$

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)

(2) $h < 2H$ の場合は、広井式^{5,6)}を用い解析する。波圧の分布は図5-bに示すようになり、以下の式(4)で表す。

$$p_3 = 1.5\rho H \quad (4)$$

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)

4.3 波圧の分布の検討

上記のカラーコンクリートの実験1と2で発生した波高Hと打込み高さhから波動理論の式を適用して波圧を算出し、波圧の分布を検討する。打込み高さhと発生した波高Hを表4に示す。

表4の実験1では、打込み高さhと波高Hが、 $h(60\text{cm}) > 2H(20\text{cm})$ のため、サンプルー簡略公式(1)~(3)に代入し、静水面の波圧 p_1 と底面の波圧 p_2 を求める。ただし、波長Lは型枠の長さの2倍にする。結果は式(5)、(6)になり、波圧の分布の概念図を図6に示す。

$$p_1 = 277\text{kN/m}^2 \quad (5)$$

$$p_2 = 1\text{kN/m}^2 \quad (6)$$

表4の実験2では、打込み高さhと波高Hが、 $h(20\text{cm}) < 2H(21\text{cm})$ のため、広井式(4)に代入し、波圧 p_3 を求める。結果は式(7)になり、波圧の分布の概念図を図7に示す。

$$p_3 = 360\text{kN/m}^2 \quad (7)$$

以上から、フレッシュコンクリートの打込み高さhと波高Hが、 $h > 2H$ の場合は、型枠の衝撃面の上層部には大きい波圧が発生するが、下層部にはほとんど波圧が発生しないことが分かった。そのため、上層部のフレッシュコンクリートは流動が激しく均一に混合されるが、下層部は流動が少なく混合されない。 $h < 2H$ の場合は、型枠の衝撃面の上、下層部ともに大きい波圧が均一に発生するため、フレッシュコンクリートは均一に混合されると考えられる。

5. 理論の適用

5.1 実験概要

上記の理論から水平振動方式で締固めを行う際に、波圧の分布は締固め効果と強い関係があると推測できる。また、波圧の分布がフレッシュコンクリートの打込み高さhと波高Hの関係により変化することから、打込み高さhと波高Hを求めることができれば、波圧の分布が明らかになる。しかし、実際のコンクリートの実験では、水平振動方式により発生する波圧の正確な測定が困難であるため、コンクリートの締固め効果から間接的に推測する。

本実験で扱うコンクリートの締固め効果は、供試体の表面気泡の面積率と表面気泡の面積別の個数をいい、打込み高さhと波高Hを $h > 2H$ と $h < 2H$ に分けて検討する。

表面気泡の測定は、以下の順で行う。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、図8に示すように供試体の端部から10mmの範囲を除外し、1箇所の測定面積が $80 \times 80\text{mm}$ になるように分割する。すべての箇所の表面気

表4 カラーコンクリートの実験1と2における波高H

実験	型枠寸法(cm)	打込み高さh(cm)	波高H(cm)	波長L(cm)
1	30(長さ)×65(高さ)×5(幅)	60	10.0	60
2	65(長さ)×30(高さ)×5(幅)	20	10.5	130

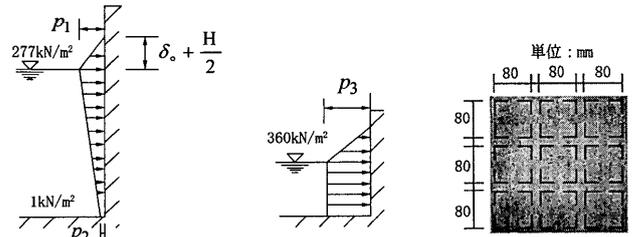


図6 $h > 2H$ 時の波圧の分布の概念図

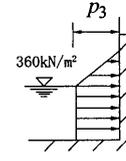


図7 $h < 2H$ 時の波圧の分布の概念図

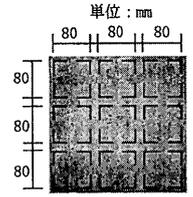


図8 表面気泡の測定箇所の一例

表5 スランプ18cmにおける打込み高さh

打込み高さh	打込み層	振動時間
5cm	12層	$30 \times 12 = 360\text{s}$
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	$360 \times 1 = 360\text{s}$

泡を面積が 1mm^2 から 10mm^2 の範囲内で測定し、気泡面積別の個数を出す。それぞれの表面気泡の面積別の個数を供試体の分割数で割り、 $80 \times 80\text{mm}$ 当りの面積別の個数を出す。

5.2 $h > 2H$ 時の締固め効果の検討

フレッシュコンクリートの打込み高さhが波高Hの2倍より大きい際に、波高Hの変化及び締固め効果への影響を検討する。

5.2.1 コンクリートの打込み高さhによる波高Hの変化

(1) 実験方法: $30(\text{長さ}) \times 65(\text{高さ}) \times 5(\text{幅})\text{cm}$ の前面部のみ透明なアクリル製板とした合板型枠にスランプ18cmのフレッシュコンクリートを高さ5cmずつ投入しながら、水平振動を行う。振動時間は毎回、波高が一定になるまで90sずつとする。振動数は1.0Hz、振幅は0.10mとする。

(2) 実験結果: フレッシュコンクリートの打込み高さhと波高Hとの関係を図9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、20cm以上になると波高が10cmと一定になっている。

5.2.2 コンクリートの打込み高さhによる締固め効果への影響

(1) 実験方法: $30(\text{長さ}) \times 65(\text{高さ}) \times 5(\text{幅})\text{cm}$ の合板型枠5個に、スランプ18cmのフレッシュコンクリートをそれぞれ表5に示す高さ5cm、10cm、20cm、30cm、60cmの5水準に分けて投入し実験を行う。フレッシュコンクリートの合計の高さは60cm、総振動時間は360s、振動数は1.0Hz、振幅は0.10mとする。

(2) 実験結果: フレッシュコンクリートの打込み高さhと表面気泡の面積率との関係を図10に示し、打込み高さhによる表面気泡の面積別の個数を図11に示す。図10から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、表面気泡の面積率は大きくなり、打込み高さhが20cmからは急激に大きくなり、60cmでは3%であった。打込み高さhが20cm以下では表面気泡の面積率が0.5%以下になった。

図11の表面気泡の分布状態から見ると、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、面積が 3mm^2 以下の表面気泡及び 8mm^2

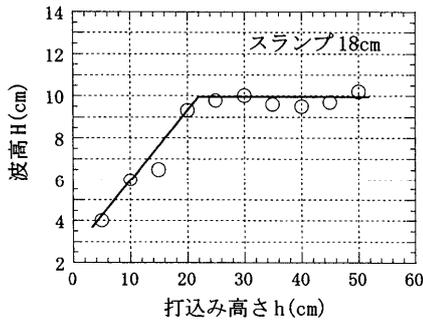


図9 打込み高さhと波高Hとの関係

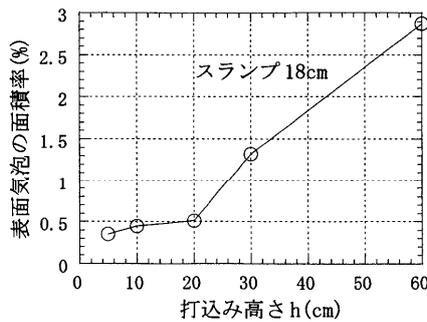


図10 打込み高さhと表面気泡の面積率との関係

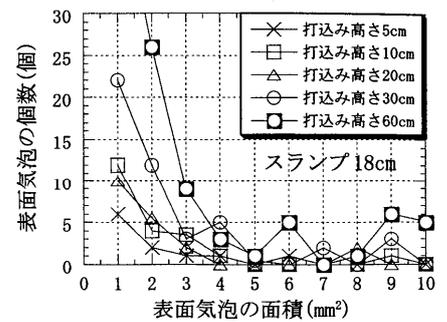


図11 打込み高さhによる表面気泡の面積別の個数

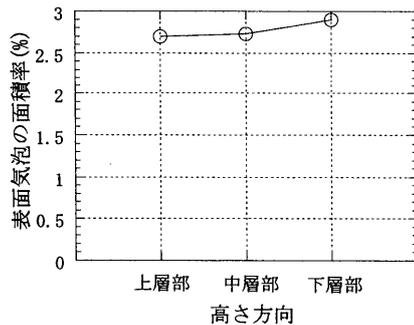


図12 高さ方向と表面気泡の面積率

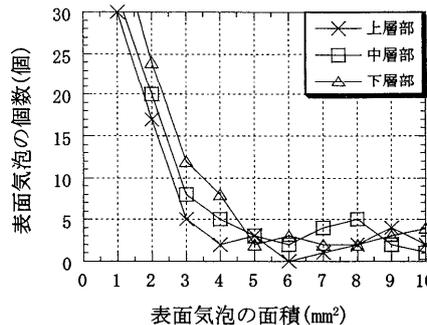


図13 高さ方向による表面気泡の面積別の個数

表6 振動加速度の組合わせ

振動加速度 (m/s ²) $\alpha = 4a(\pi f)^2$	振幅a (m)	振動数f (Hz)	振動時間 (s)
2.22	0.100	0.75	90
2.96	0.075	1.00	90
3.94	0.100	1.00	90
4.62	0.075	1.25	90
6.16	0.100	1.25	90

以上の表面気泡が増加していることがわかった。

以上の実験5.2.1と5.2.2から、水平振動方式で締め固めを行う際に、発生する波高Hが一定になる打込み高さhが良好な締め固め効果が得られる適切な範囲ではないかと考えられる。

次に、フレッシュコンクリートの打込み高さhが60cmにおいて供試体の上、中、下層部と表面気泡の面積率との関係を図12に、上、中、下層部の表面気泡の面積別の個数を図13に示す。

フレッシュコンクリートの打込み高さh(60cm)が波高Hの2倍(2×10=20cm)より大きい際に、供試体の表面気泡の面積率は上、中、下層部ともに変化が少なく表面気泡の分布も差異が現れていなかった。波動理論からみれば、波圧の分布が上層部が下層部より大きいため上層部の表面気泡が下層部より少ないはずである。これは、振動中に上層部の気泡は外部に排出されると同時に、中層部の気泡が上層部、下層部の気泡が中層部に上昇したのが原因と考えられる⁷⁾。

5.3 h < 2H時の締め固め効果の検討

フレッシュコンクリートの打込み高さhが波高Hの2倍より小さい際に、発生する波高Hと締め固め効果との関係を検討するため、振動加速度 α とスランプSLを用いて実験を行う。

5.3.1 振動加速度の影響

(1)実験方法: 既往の研究¹⁾で用いた式(8)と、通常のコンクリート二次製品工場で行われている振幅aと振動数fから、表6に示す2.22, 2.96, 3.94, 4.62, 6.16m/s²の5水準の水平振動装置の振動加速度⁸⁾を求めて実験を行う。

$$\alpha = 4a(\pi f)^2 \quad (8)$$

ここで

α : 振動加速度 (m/s²)

a: 振幅 (m)

f: 振動数 (Hz)

型枠は30(長さ)×30(高さ)×5(幅)cmの合板型枠を用い、スランプ18cmのフレッシュコンクリートを高さ20cmまで一括に投入し、表6の振動条件で水平振動を行う。振動時間は波高Hが一定になるまで90sとする。

(2)実験結果: 水平振動装置の振動加速度 α と水平振動方式による発生した波高Hとの関係を図14に示す。水平振動方式により発生した波高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ていることが分かった。振動加速度 α と波高Hとの関係は以下の式(9)のように表せる。

$$H = 1.6\alpha^{-2.4} \quad (9)$$

次に、振動加速度 α と表面気泡の面積率との関係を図15に、振動加速度 α による表面気泡の面積別の個数を図16に示す。

水平振動方式の振動加速度 α による表面気泡の面積率は、振動加速度 α が大きくなるほど小さく、振動加速度 α が3.94m/s²以上では表面気泡の面積率が0.5%に近づいた良好な締め固め効果が得られた。

また、図16の表面気泡の分布状態から、振動加速度 α が大きくなるほど面積が2mm²以下の表面気泡が少なくなる傾向が見られた。

以上より、水平振動方式の振動加速度 α が大きくなるほど表面気泡も少なくなり、締め固め効果が良好になることがわかった。また、発生する波高Hと振動加速度 α が線形関係があることから、発生する波高Hが高くなるほどコンクリートの締め固め効果が良好になるといえる。即ち、型枠の衝撃面に発生する波圧が大きくなるほど、コンクリートの締め固め効果も良好になると考えられる。

5.3.2 スランプの影響

(1)実験方法: 4つの30(長さ)×30(高さ)×5(幅)cmの合板型枠にスランプ12cm, 15cm, 18cm, 21cmのフレッシュコンクリートをそれぞれ高さ20cmまで投入し、水平振動を行う。スランプは表2の基本

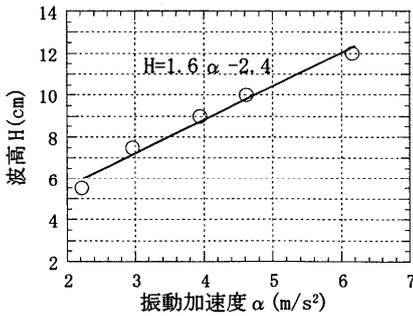


図14 振動加速度 α と波高Hとの関係

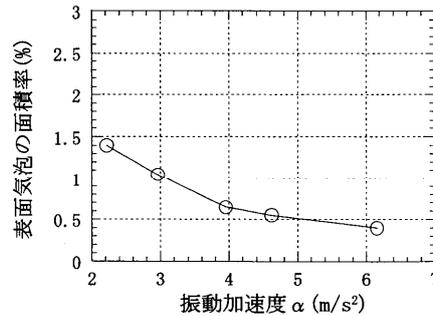


図15 振動加速度 α と表面気泡の面積率との関係

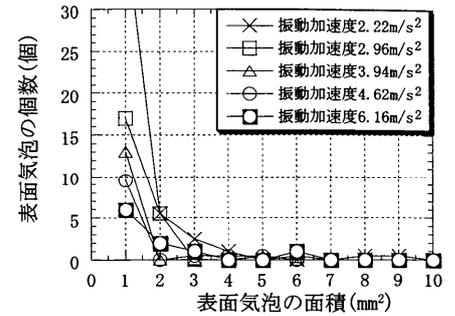


図16 振動加速度 α による表面気泡の面積別の個数

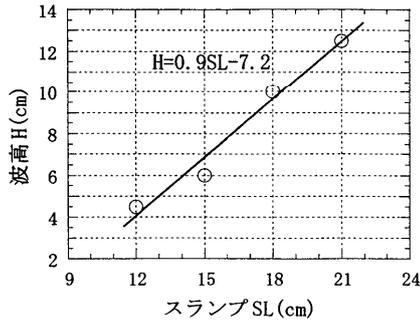


図17 スランプSLと波高Hとの関係

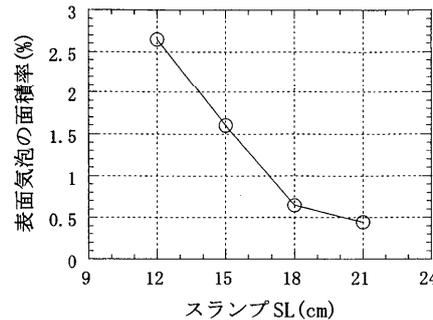


図18 スランプSLと表面気泡の面積率との関係

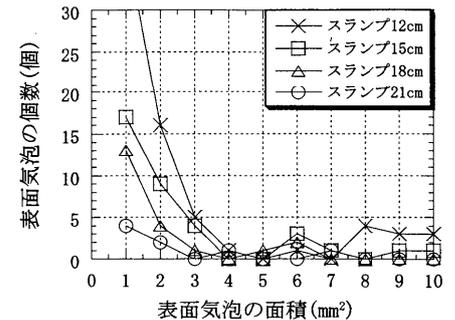


図19 スランプSLによる表面気泡の面積別の個数

調査から化学混和剤の量で調整する。振動時間は波高Hが一定になるまで90sとする。振動数は1.0Hz、振幅は0.10mとする。

(2)実験結果：コンクリートのスランプSLと波高Hとの関係を図17に示す。水平振動方式により発生した波高HはスランプSLが大きいくほど大きく、その関係は線形関係になっていることが分かった。波高HとスランプSLとの関係は以下の式(10)のように表せる。

$$H = 0.9SL - 7.2 \quad (10)$$

次に、コンクリートのスランプSLと表面気泡の面積率との関係を図18に、スランプSLによる表面気泡の面積別の個数を図19に示す。コンクリートのスランプSLによる供試体の表面気泡の面積率は、スランプSLが大きくなるほど小さくなり、スランプSLが18cm以上では表面気泡の面積率が0.5%に近づいていることがわかった。しかし、スランプSLが12cmでは表面気泡の面積率が2.6%以上になった。

また、図19の表面気泡の分布状態から見ると、スランプSLが小さいほど面積が 3mm^2 以下の表面気泡及び 8mm^2 以上の表面気泡の個数も多くなる傾向が見られる。

これらから、水平振動方式で締固めを行う際に、コンクリートのスランプSLが大きくなるほど、コンクリートの表面気泡も少なくなり、締固め効果が良好になることがわかった。また、発生する波高HとスランプSLが線形関係があることから、発生する波高Hが高くなるほどコンクリートの締固め効果が良好になることがいえる。即ち、型枠の衝撃面に発生する波圧が大きくなるほどコンクリートの締固め効果も良好になると考えられる。

以上より、打込み高さhが波高Hの2倍より小さい際に、振動加速度 α が大きいほど、スランプSLが大きいくほど発生する波高Hも大きくなり、型枠の衝撃面に働く波圧も大きくなる。そのため、コンクリートの締固め効果も良好になるといえる。

6. まとめ

水平振動方式で締固めを行う際に、以下のことがいえる。

- 1) 港湾工学の波動理論を適用して、水平振動方式によるコンクリートの締固め効果を $h > 2H$ と $h < 2H$ に分けて評価できる。
- 2) フレッシュコンクリートの打込み高さhが波高Hの2倍より大きい際は、締固めが困難である。
- 3) フレッシュコンクリートの打込み高さhが波高Hの2倍より小さい場合は、振動加速度 α が大きいほど、スランプSLが大きいくほど、波高Hが大きく締固めが良好になる。

謝辞：本研究にご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) 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) 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, 2006
- 4) 陳海峰, 河辺伸二: 水平振動方式と透水性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
- 5) 合田良貴: 海岸・港湾二訂版, わかり易い土木講座 17 土木学会編集, 彰国社刊, 1998. 9
- 6) 中山茂雄著: 港湾工学新版, 山海堂, 1991. 3
- 7) セメント・コンクリート研究会: セメント・コンクリート中の水の挙動, 1993. 10
- 8) 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