

論文 水平振動方式による鉄筋コンクリートの締固め効果

河辺 伸二*¹・陳 海峰*²

要旨：低騒音の低振動数かつ高振幅の水平振動方式で締固めの特徴は、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。本研究ではJIS A 5372に規定するプレキャスト鉄筋コンクリート製品のうち、道路路肩に用いるU形側溝(300B)の壁面を想定した供試体を作製し、鉄筋の有無によるコンクリートの表面気泡の分布状態、反発度、粗骨材の分布状態等の締固め効果を検討した。その結果、鉄筋の設置によるコンクリートの表面気泡の分布状態、反発度、粗骨材の分布状態等の締固め効果には違いが現れていなかった。

キーワード：水平振動方式、鉄筋コンクリート、表面気泡、反発度、粗骨材

1. はじめに

プレキャストコンクリート製品の工場では、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。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、騒音を低減するために、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。本研究では、この方式を水平振動方式という。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。

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について一連の研究^{1)~5)}を行い、以下の事項を検討した。水平振動中に発生する騒音を測定した結果、測定距離1mで発生した騒音は81dBであり、ほぼ地下鉄車内での騒音に相当していた。水平振動方式の振幅・振動数・振動時間・振動加速度とコンクリートの締固めの影響を検討した。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。

このように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に加え、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。

本研究では、プレキャストコンクリート製品の工場で生産している実製品を対象とし、水平振動方式で締固めを行う際、鉄筋の有無によるコンクリートの締固め効果の影響を検討する。

本研究でいうコンクリートの締固め効果は、主に締固め後のコンクリート供試体の側面の表面気泡の分布状態、反発度、粗骨材の分布状態で評価した。

2. 水平振動方式

本実験に用いた水平振動装置を写真-1に示す。装置はインバータ制御のモータを動力とし、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、0.05m, 0.075m, 0.10m, 0.15mを選択できる。

3. 実験方法

3.1 実験条件

本実験では、JIS A 5372に規定するプレキャスト鉄筋コンクリート製品のうち、道路路肩に用いるU形側溝(300B)の壁面を想定し供試体を作製した。U形側溝の形状と寸法を図-1に示す。壁面の鉄筋は水平方向の横筋が3本、垂直方向の縦筋が5本であり、 $\phi = 3.2\text{mm}$ である。

型枠は、600(長さ)×300(高さ)×50(幅)mmの合板型枠を使用した。作製した型枠を図-2に示し、写真-1に示すように設置した。今回の実験では、供試体の幅を50mmと一定とした。鉄筋コンクリートの鉄筋は供試体の幅の中心に設置し、かぶりは約23mmである。鉄筋コンクリー

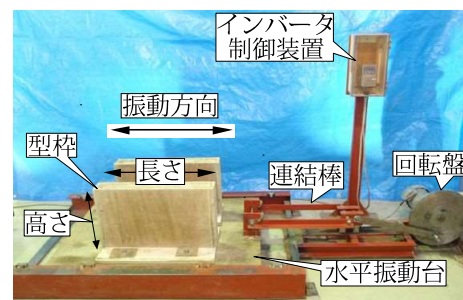


写真-1 水平振動装置と型枠の設置方法

* 1 名古屋工業大学大学院 教授 工博 (正会員)

* 2 興和機械株式会社国際部 博士(工学) (正会員)

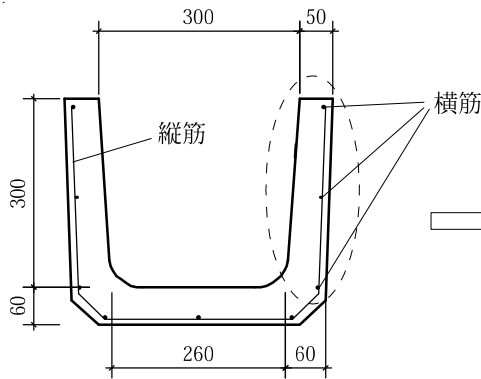


図-1 U形側溝の形状と寸法(単位: mm)

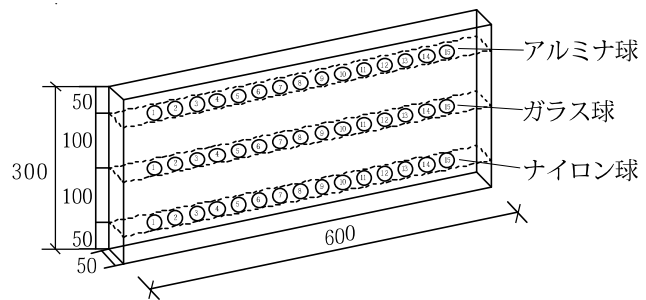


図-2 型枠と模擬粗骨材の設置方法(単位: mm)

表-1 コンクリートの使用材料

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	—

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 ^{注)} (C×0.02%)	AE減水剤 ^{注)} (C×0.2%)
43	41	175	407	689	1013	0.081	0.81

注) 単位水量を含む

トと無筋コンクリートの型枠を各々1個ずつ水平振動装置の水平振動台に設置し同時に実験した。

供試体は上記の型枠で高さ150mmまでフレッシュコンクリートを投入し、60s振動した。その後高さ300mmまでフレッシュコンクリートを投入し、再び60s、90s、120s、150sずつ振動した。振動時間は上述のように合計120s、150s、180s、210sの4水準とした。

すべての実験は同水準で2回ずつ行い平均値を取った。

3.2 使用材料と調合

実験に用いたコンクリートの使用材料を表-1に、コンクリートの調合を表-2に示す。コンクリートの目標スランプは18cm、目標空気量は4.0%とした。コンクリートの練混ぜは、傾胴形ミキサを使用した。

3.3 表面気泡

作製した供試体の側面の表面気泡の分布状態を比較するため、表面気泡の面積率を測定した。

表面気泡は従来の測定方法^{1)~5)}で行った。作製した供試体を側面が上向きに水平に置き、横から水平方向に蛍光灯の光を当て、デジタルカメラで供試体の表面を撮影した。表面気泡が影となる黒い部分とその他の白い箇所

を多機能汎用画像処理ソフトで二値化し、コンピュータで表面気泡の面積率を計測した。

測定箇所は、鉄筋の設置による表面気泡の分布状態を把握するため、図-3に示すように左側に縦筋(1, 2, 3)、中心に縦筋(4, 5, 6)、右側に縦筋(7, 8, 9)、下部に横筋(3, 6, 9)、中心に横筋(2, 5, 8)、上部に横筋(1, 4, 7)と9箇所に分けてそれぞれ1~9まで番号を付け測定し比較した。1箇所の測定範囲は80×80mmとした。

3.4 反発度

硬化後のコンクリートの反発度は、N型リバウンドハンマーを用いて測定した。供試体は20℃±3.0の室内で28日間気中養生を行った。

測定箇所は、鉄筋の設置による反発度の影響を把握するため、表面気泡の測定箇所と同様に図-3に示すようにした。供試体は鋼製平板の上に平置きして、1つの箇所につき4cm間隔で9回の測定を行い、それらの平均値を供試体の反発度とした。

3.5 粗骨材

(1) 模擬粗骨材の移動状況

締固め後の粗骨材の移動状況を比較するため、それぞ

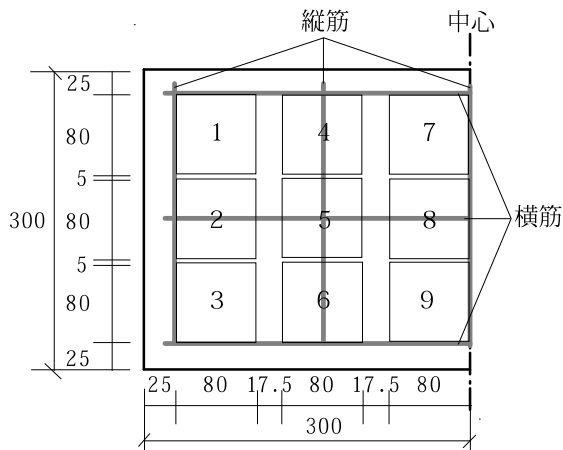


図-3 表面気泡と反発度の測定箇所(単位: mm)

れ重量粗骨材, 普通粗骨材, 軽量粗骨材に近似した3種類の密度が異なるアルミナ球, ガラス球, ナイロン球を15個ずつ計45個を用いた。模擬粗骨材の種類と密度を表-3に示す。アルミナ球, ガラス球, ナイロン球にそれぞれ1~15までの番号を付け, 図-2に示すように型枠内の下層部からナイロン球, ガラス球, アルミナ球の順で, 模擬粗骨材の通る円筒を用いて一定の間隔になるように並べた。写真-2に実験に用いた模擬粗骨材を示す。

コンクリート硬化前, 打設2時間後に脱型を行い, コンクリート中の模擬粗骨材の垂直方向と水平方向の移動距離を測定した。模擬粗骨材の実験風景を写真-3に示す。

(2) 粗骨材の分布状態

締め後の粗骨材の分布状態を比較するため, コンクリート硬化後, それぞれ鉄筋コンクリートと無筋コンクリート供試体の縦筋の右側と左側を垂直方向に切断した。断面の粗骨材の分布状態を目視観察で評価し, 更に表面気泡の測定装置を用い粗骨材の面積率を測定した。測定箇所は, 上, 中, 下の3箇所に分けて測定し比較した。1箇所の測定範囲は50×80mmとした。

4. 実験結果と考察

4.1 表面気泡の測定

鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの縦筋の設置による表面気泡の面積率の測定結果を図-4~6に示す。左側に縦筋と中心に縦筋の測定箇所では, 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートいずれも表面気泡の面積率は振動時間の増加とともに小さくなる傾向が現れていた。しかし, 表面気泡の面積率の違いは見られなかった。右側に縦筋の測定箇所では, 120s, 150sで鉄筋コンクリートが無筋コンクリートより若干上回っていたが, 大きな差異はなく, 180s以後からは鉄筋コンクリートは無筋コンクリートと同様な結果が現れていた。

鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの横筋の設置による表面気泡の面積率の測定結果を図-7~9に示す。上部

表-3 模擬粗骨材の種類と密度

種類		直径(mm)	密度(g/cm ³)	個数
模擬粗骨材	アルミナ球	20	3.60	15
	ガラス球	20	2.50	15
	ナイロン球	19	1.10	15
粗骨材	砂利	5~20	2.62	—
細骨材	砂	~5	2.59	—

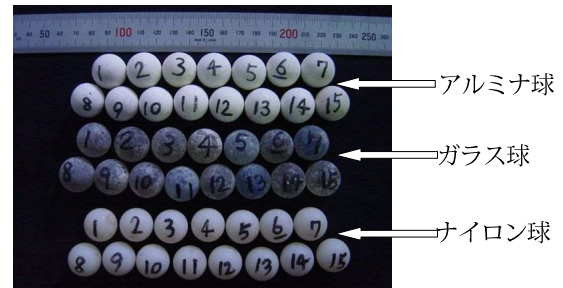


写真-2 模擬粗骨材

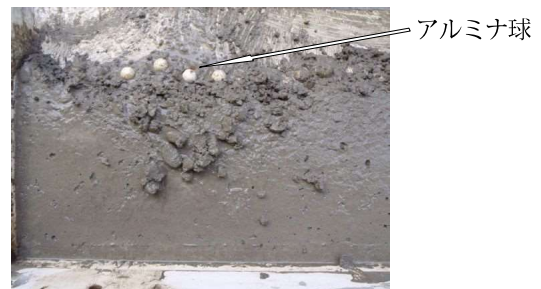


写真-3 模擬粗骨材の実験風景

に横筋の測定箇所では, 120s, 150sで鉄筋コンクリートが無筋コンクリートより若干上回っていた。しかし, 180sからは鉄筋コンクリートは無筋コンクリートと同様な結果が現れていた。中心に横筋と下部に横筋の測定箇所では, 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートいずれも表面気泡の面積率は小さくなる傾向が現れていたが, 違いは見られなかった。

これらから水平振動方式で締めを行う際, 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの側面の表面気泡の面積率は違いが少なく, 鉄筋の設置は表面気泡の分布状態に影響が少ないと考えられる。

4.2 反発度の測定

鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの縦筋の設置による反発度の測定結果を図-10~12に示す。左側に縦筋, 中心に縦筋, 右側に縦筋の測定箇所では, 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートいずれも反発度の差異は現れていなかった。今回の実験の範囲内では, 左側に縦筋がある供試体は, 供試体の端部の測定のため鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの反発度が他に比べ小さい結果となった。

鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの横筋の設置に

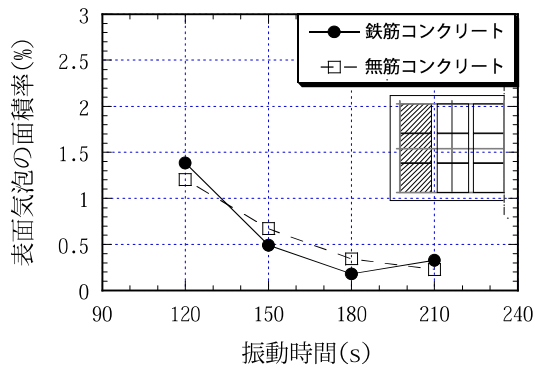


図-4 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの表面気泡の面積率(左側に縦筋)

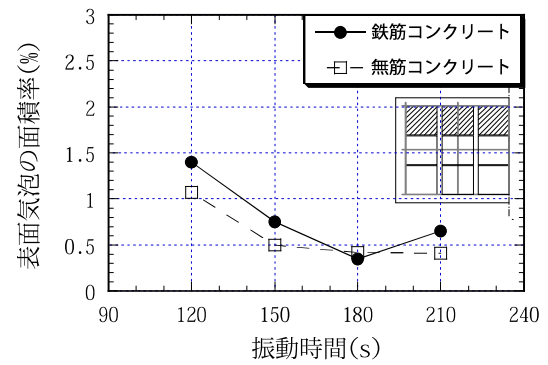


図-7 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの表面気泡の面積率(上部に横筋)

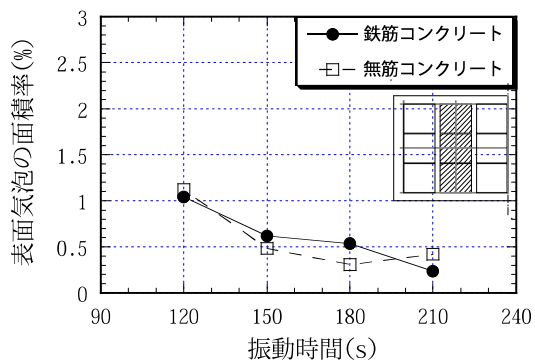


図-5 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの表面気泡の面積率(中心に縦筋)

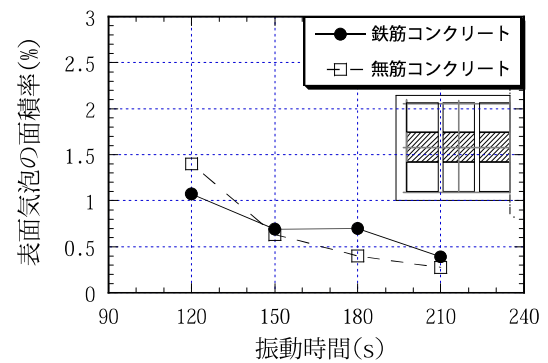


図-8 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの表面気泡の面積率(中心に横筋)

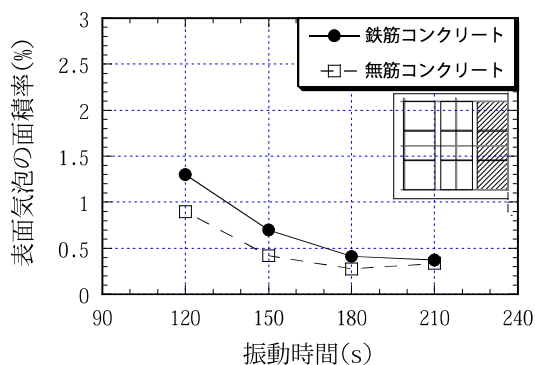


図-6 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの表面気泡の面積率(右側に縦筋)

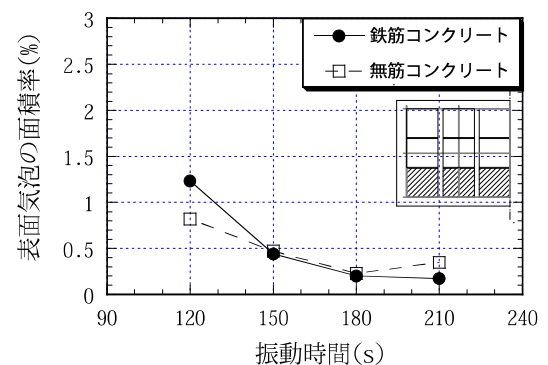


図-9 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの表面気泡の面積率(下部に横筋)

よる反発度の測定結果を図-13~15に示す。上部に横筋、中心に横筋、下部に横筋の測定箇所では、鉄筋コンクリートと無筋コンクリートいずれも反発度の差異は現れていなかった。

これらから水平振動方式で締固めを行う際、鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの側面の反発度は違いが少なく、鉄筋の設置は反発度に影響が少ないと考えられる。

4.3 粗骨材の測定

(1) 模擬粗骨材の移動状況

鉄筋コンクリート中の模擬粗骨材の垂直及び水平方向への移動状況の一例(120s)を図-16に、無筋コンクリー

ト中の模擬粗骨材の垂直及び水平方向への移動状況の一例(120s)を図-17に示す。鉄筋コンクリート中の縦筋や横筋の付近に模擬粗骨材が密集する現象は見られなかった。無筋コンクリートでも、模擬粗骨材が密集する現象は見られなかった。

また、鉄筋コンクリートと無筋コンクリート中の模擬粗骨材が垂直及び水平方向への移動状況にも大きな差異は現れていなかった。

(2) 粗骨材の分布状態

鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの断面の粗骨材の分布の一例(120s)を写真-4に示す。鉄筋の設置によ

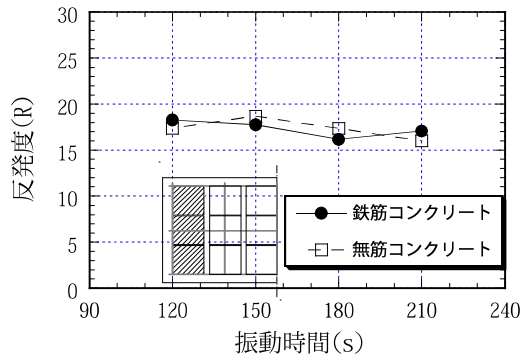


図-10 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの反発度(左側に縦筋)

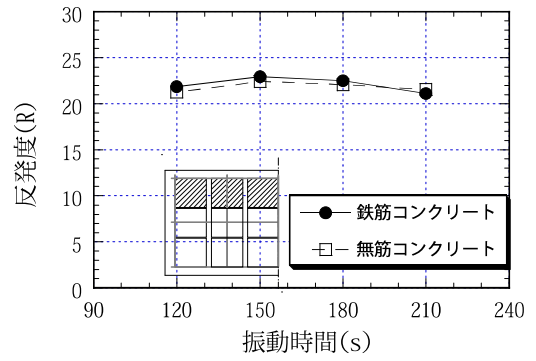


図-13 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの反発度(上部に横筋)

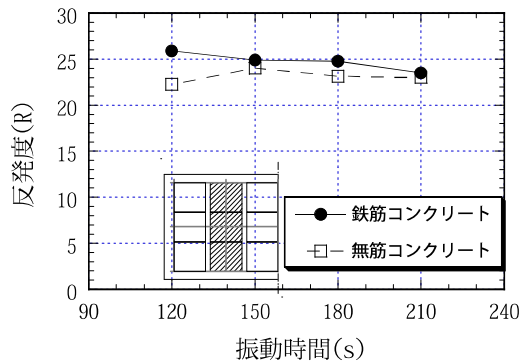


図-11 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの反発度(中心に縦筋)

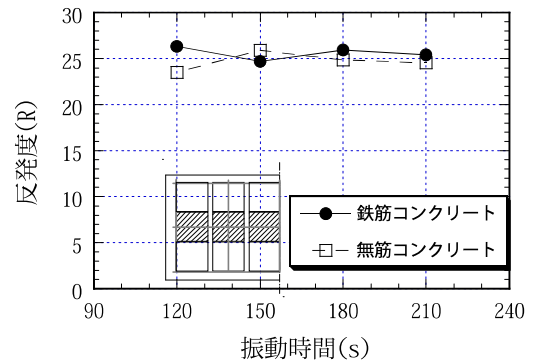


図-14 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの反発度(中心に横筋)

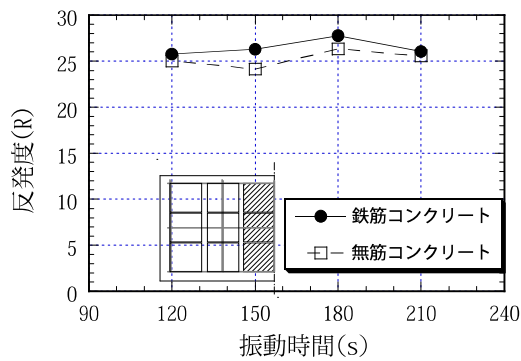


図-12 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの反発度(右側に縦筋)

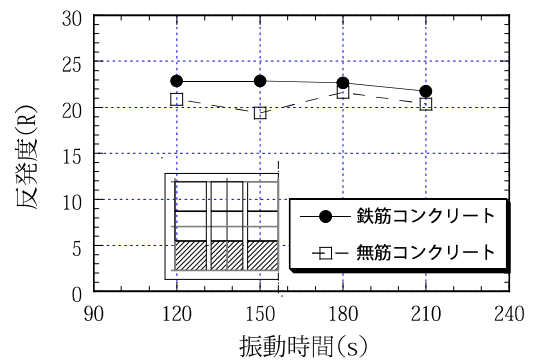


図-15 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの反発度(下部に横筋)

るコンクリートの粗骨材の分布状態は、鉄筋コンクリートと無筋コンクリートのいずれも均等に分布し、差異が現れていなかった。

鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの断面の粗骨材の面積率(左側に縦筋)の測定結果の一例(120s)を図-18に、鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの断面の粗骨材の面積率(右側に縦筋)の測定結果の一例(120s)を図-19に示す。左側に縦筋の断面と右側に縦筋の断面ともに鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの粗骨材の面積率は差異が現れていなかった。

また、鉄筋コンクリートと無筋コンクリートのいずれ

も上、中、下とともに粗骨材の面積率は差異が現れていなかった。

以上の(1)、(2)から水平振動方式で締固めを行う際、鉄筋コンクリートと無筋コンクリート中の粗骨材の分布状態の違いは少なく、鉄筋の設置による影響が少ないと考えられる。

5. まとめ

水平振動方式でコンクリートの締固めを行う際に、鉄筋の設置によるコンクリートの締固め効果を検討した結果、以下のことがいえる。

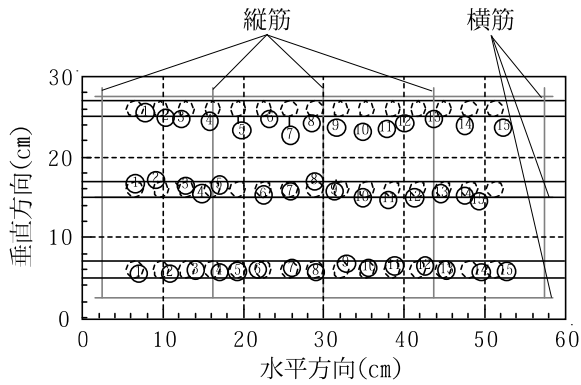


図-16 鉄筋コンクリート中の模擬粗骨材の垂直及び水平方向への移動状況(120s)

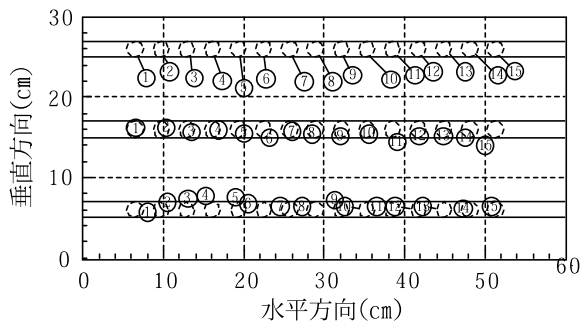


図-17 無筋コンクリート中の模擬粗骨材の垂直及び水平方向への移動状況(120s)

- 1) コンクリートの側面の表面気泡の分布状態は、鉄筋の設置による影響が少ない。
- 2) コンクリートの側面の反発度は、鉄筋の設置による影響が少ない。
- 3) コンクリート中の粗骨材の分布状態は、鉄筋の設置による影響が少ない。

以上の実験結果から、水平振動方式により鉄筋コンクリートの締固めを行う際、従来の無筋コンクリートの実験条件が適用できると考えられる。

【謝辞】

本実験を担当した当時名古屋工業大学卒研究生小峠尚平氏と、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
- 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状態, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.771-776, 2007.7



写真-4 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの断面の粗骨材の分布(120s)

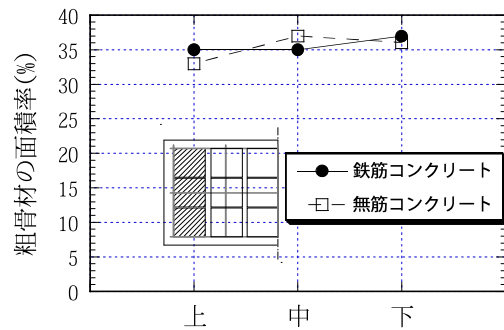


図-18 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの断面の粗骨材の面積率(左側に縦筋)(120s)

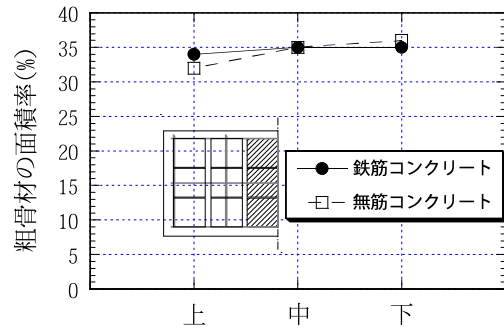


図-19 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートの断面の粗骨材の面積率(右側に縦筋)(120s)

- 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
- 4) 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
- 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