

型枠振動機を用いたコンクリート表層の品質向上に関する実験的検討

若築建設(株) 技術研究所 コンクリート構造グループリーダー 正会員 秋山哲治
 若築建設(株) 技術研究所 コンクリート構造グループ 正会員 ○小山稔樹
 九州大学大学院 工学研究院 社会基盤部門 教授 フェロー 濱田秀則

1. はじめに

過密配筋部や部材の隅角部など、狭隘なかぶりでの内部振動機を用いた締固めでは、部材内部から表層への振動の伝搬が鉄筋に阻害されたり、振動棒の抜き差しが配筋と過度に接触してしまう危険性があるなど、非常に難しい作業を要する。このため、狭隘なかぶりを有する部位では、耐久性上重要となる部材表層において、締固め不足による豆板や表面気泡、施工時の初期欠陥や耐久性の低下などが懸念される。この問題を解決するためには、型枠振動機を用いた型枠外側からの締固めが有効な手段と考えられるが、型枠振動機の適用性能を定量的に評価した研究事例は少ない。そこで、型枠振動機のコンクリート表層に及ぼす有効範囲、および表層の品質向上効果を定量的に評価することにより、その適用性能を検討した。

2. 型枠振動機の有効範囲の検討

2.1 実験概要

型枠振動機のコンクリート表層に及ぼす有効範囲の検討は、コンクリート供試体を用いた締固め完了エネルギー¹⁾に基づく締固め完了範囲の評価により行った。供試体の構造および打設方法を図-1に示す。供試体の寸法は幅 3300mm×奥行 500mm×高さ 1300mmで、型枠は合板を用いた。また、型枠振動機による伝搬波が振動機を設置しない3面に反射して測定に影響を及ぼさないよう、緩衝材としてポリスチレンフォーム板 150mm 厚を設置²⁾した。型枠振動機はクサビ形を選択し、型枠外側の中央付近に設置した。加速度センサの設置位置は、かぶり（型枠からの離隔）30mm では型枠振動機から水平距離 0mm, 700mm, 1300mm の3点と、かぶり（型枠からの離隔）100mm では型枠振動機から水平距離 0mm の1点で、計4点とした。

実験で使用したコンクリートの配合を表-1に示す。まず、型枠へのコンクリート充填作業は、1層の高さ 650mm で2層打設とし、内部振動機を用いて供試体の幅 3000mm に対して8箇所ずつ、2層合わせて計16箇所にて締固めを行った。これらの作業が終了した後、速やかに型枠振動機を60秒間振動させて、コンクリート表層に対しての締固めを行った。このとき、型枠振動機の運転開始と同時にセンサの応答加速度を測定し、測定中における最大加速度と振動数に着目して1秒当たりの締固めエネルギーを求め、各センサの位置において締固め完了エネルギーに達するまでに必要な振動時間を算定した。本実験でのコンクリートの締固め完了エネルギーは、既存の研究¹⁾を参考に 1.78J/l と設定した。

2.2 実験結果

各センサ位置の締固め完了エネルギーに達する振動時間の結果を表-2に示す。締固め完了エネルギーを満足する振動時間は、No.①で1.1秒、No.②で28秒、No.③で7266秒であった。現場での運用を想定すると、型枠振動機の運転時間はNo.②の結果より30秒程度が適当と考えられ、その有効範囲は型枠振動機を中心とした半径700mm程度の円形状であると評価した。またNo.④の結果より、型枠振動機直下のかぶり100mmの深さでは、1.6秒で締固め完了エネルギーに達することが判った。

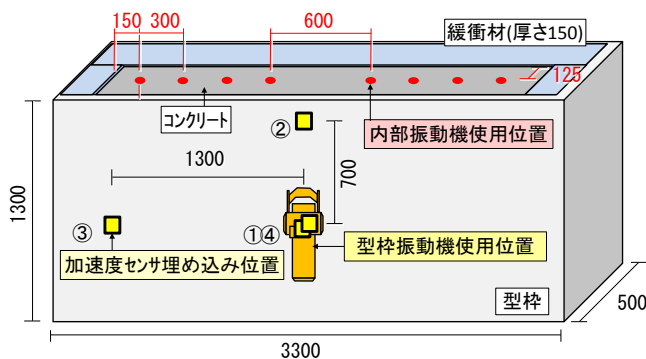


図-1 供試体の構造および打設方法 [単位: mm]

表-1 コンクリートの配合 [27-8-20BB]

水セメント比[%]	細骨材率[%]	単位量 [kg/m ³]				
		水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
52.3	45.1	157	300	819	1037	3.00

表-2 締固め完了エネルギーに達する振動時間

加速度センサの設置位置			1秒当たりの締固めエネルギー [J/l]	締固め完了エネルギーに達する振動時間 [s]
No.	かぶり (型枠からの離隔) [mm]	振動機からの水平距離 [mm]		
①	30	0	1.63E+00	1.1
②		700	6.51E-02	28
③		1300	2.45E-04	7266
④	100	0	1.16E+00	1.6

キーワード : 型枠振動機, コンクリート表層, 狭隘なかぶり, 締固めエネルギー, 品質向上

連絡先 : 〒153-0064 東京都目黒区下目黒 2-23-18 若築建設(株) 技術研究所 TEL 03-3492-0285

3. 型枠振動機によるコンクリート表層の品質向上に関する検討

3.1 実験概要

表層の品質向上に関する検討は、内部振動機と型枠振動機を組み合わせることで打設した供試体に対して、表層の品質（硬さ・表面硬度・美観）評価で用いられる各種試験により行った。供試体の構造および打設方法を図-2に示す。供試体の寸法は、幅 900mm×奥行 500mm×高さ 500mm として、型枠は合板を用いた。

実験で使用したコンクリート配合を表-3に、コンクリート表層で適用した試験項目を表-4に示す。型枠へのコンクリートの充填は 1 層打設とし、内部振動機はφ40mm を用いて 1 箇所当たり 10 秒を 2 箇所で行い、型枠振動機は側面中央に設置して 30 秒間運転した。内部振動機および型枠振動機の使用条件について、検討ケースとして表-5に示す。

3.2 実験結果

接触時間の結果を図-3に示す。ケース 1 で 180μs、ケース 2 で 169μs、ケース 3 で 163μs、ケース 4 で 161μs であった。内部振動機のみと比較して、型枠振動機を使用した場合は接触時間が短くなっており、表層の硬さが向上したと推測された。

反発度の結果を図-4に示す。ケース 1 で 32.8、ケース 2 で 35.1、ケース 3 で 36.8、ケース 4 で 36.1 であった。内部振動機のみと比べて、型枠振動機を使用した場合は反発度が大きく、表面硬度の増加が確認できた。

表面気泡率の結果を図-5に示す。ケース 1 で 0.39%、ケース 2 で 0.20%、ケース 3 で 0.10%、ケース 4 で 0.16% であった。内部振動機のみと比べて、型枠振動機を使用した場合は表面気泡率が半分以下まで減少していることから、美観の向上が確認できた。

すべての試験項目で、型枠振動機を用いた場合は、内部振動機の単独使用と比べ、コンクリート表層の品質向上を確認した。またケース 2 の品質向上効果がケース 4 と比べて若干小さいことから、型枠振動機を内部振動機と併用する場合は、同時使用が望ましいと推測された。

4. まとめ

- (1) 型枠振動機は、振動時間を 30 秒程度とすると、その有効範囲は半径 700mm 程度の円形状であると推測された。また型枠振動機の位置では、奥行 100mm 程度まで 1.6 秒間で締固め完了エネルギーに達することが判った。
- (2) 型枠振動機によるコンクリート表層の品質向上について、内部振動機の単独使用と比べて、内部振動機と型枠振動機の併用では各種試験により品質の向上効果が認められ、さらに型枠振動機の単独使用においても品質が向上したことを確認した。また、内部振動機と型枠振動機の併用では、同時に使うことが望ましいことを把握した。

本実験の結果より、型枠振動機は、狭隘なかぶりを締め固める際に型枠外側からアプローチできる有効な手段になることを再確認した。なお、その適用に際しては、振動時間に対する有効範囲を考慮した上で型枠振動機の位置を設定したり、適切な締固めを行うための運転時間の管理などが重要である³⁾ことが判った。

参考文献 1) 梁ほか：締固め完了エネルギーに基づくコンクリートの締固め完了範囲の評価方法に関する研究，土木学会論文集，Vol. 69，No. 4，pp. 438-449，2013 2) 梁ほか：フレッシュコンクリート中における振動加速度の測定方法に関する研究，土木学会第 66 回年次学術講演会概要集，V-117，pp.233-234，2011.9 3) 秋山，小山，濱田：表層の品質向上を目的とした型枠振動機制御システムのコンクリート供試体への適用，土木学会第 73 回年次学術講演会(平成 30 年度)投稿中

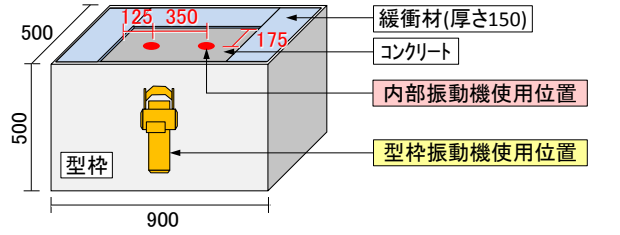


図-2 供試体の構造および打設方法 [単位：mm]

表-3 コンクリートの配合 [27-10-20BB]

W/C [%]	s/a [%]	単位量 [kg/m ³]				
		W	C	S	G	Ad
52.3	45.0	161	308	811	1029	4.00

表-4 試験項目一覧

試験項目	試験方法	試験材齢など
接触時間	NDIS* 3434-2:2017	材齢 28 日，iTECS 法
反発度	JIS A 1155:2012	材齢 28 日
表面気泡率	直径 1mm 以上	脱枠直後

*) 日本非破壊検査協会規格。

表-5 検討ケース

検討ケース	締固めに用いる各振動機の使用条件
1	内部のみ
2	内部 使用後 型枠
3	型枠のみ
4	内部+型枠 同時

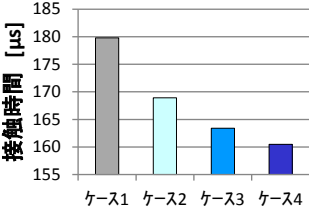


図-3 接触時間の結果

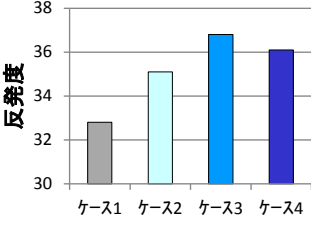


図-4 反発度の結果

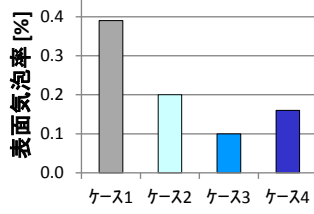


図-5 表面気泡率の結果