

型枠振動機による中流動覆工コンクリートの締固め可能範囲に関する実験的検討

鹿島建設(株) 正会員 ○竹市篤史 松本修治 坂井吾郎

1. はじめに

中流動覆工コンクリートはスランプフローが42.5cm程度で、型枠に予め設置された型枠振動機による軽微な振動で締固めを行い、トンネル覆工を構築するものである。しかし、覆工厚が一般的な厚みの30cmを超える場合、型枠振動機の位置（以下、起振源と称す）から部材厚方向に離れた位置まで振動が伝わらず、コンクリートの締固めが不十分となることが懸念される。そこで、本稿ではトンネル覆工を模擬した締固め実験を実施し、コンクリート中を伝搬する加速度とそれから求まる振動エネルギーおよびコンクリートコアの目視評価から型枠振動機による締固めの影響範囲について考察した結果を述べる。

2. 使用機器、使用材料およびコンクリートの配合

表-1 に実験に用いた型枠振動機の仕様を示す。出力が550Wと実施工で一般的に用いられているものを使用し、周波数は240Hzに設定して実験を行った。表-2 に計測に用いた加速度計の仕様を示す。コンクリート内部における振動を計測するために防水型とし、定格容量 $\pm 98\text{m/s}^2$ のものを用いた。表-3 に使用材料を、表-4 にコンクリートの配合を示す。試験には、ポリプロピレン繊維を用いた繊維補強タイプの中流動覆工コンクリートを用いた。

3. 実験内容

図-1 に試験体の概要を示す。型枠振動機を一般的な方法と同様にフックベースで設置した実際の移動式鋼製型枠の一部を底辺に置き、それを木製型枠で囲うようにして試験体の型枠を組み立てた。試験体の寸法は、幅170cm×長さ230cm×高さ180cmとした。また、木製型枠の内側には発砲スチロール、加速度計を固定する全ネジボルトと型枠の接続部には防振ゴムを設置し、型枠の振動がコンクリート中の写真-1に示す加速度計に伝搬するのを抑制するものとした。なお、計測位置は、

表-1 型枠振動機の仕様

出力(w)	電圧(V)	電流(A)	周波数(Hz)	振動数(Hz)	遠心力(kN)
550	48	12.5	100~240	50~120	8.8

表-2 加速度計の仕様

タイプ	定格容量(m/s ²)	耐水圧(kPa)	定格出力(mV/V)	応答周波数範囲(Hz)
オイルダンピング	± 98	490	0.5以上	40~250

表-3 使用材料

使用材料	記号	摘要
水	W	工業用水
セメント	C	普通ポルトランドセメント、密度：3.15g/cm ³
細骨材	S	山砂、表乾密度：2.62g/cm ³ 、粗粒率：2.60
粗骨材	G	砕石、表乾密度：2.70g/cm ³ 、実積率：62.0%
混和剤	SP	高性能AE減水剤、ポリカルボン酸エーテル系化合物
繊維	FB	ポリプロピレン繊維、密度：0.91g/cm ³ 、長さ：47mm

表-4 繊維補強タイプの中流動覆工コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	Air (%)	単位：kg/m ³					FB (Vol.%)
			W	C	S	G	SP	
44.2	47.3	4.5	175	396	810	932	3.96	0.3

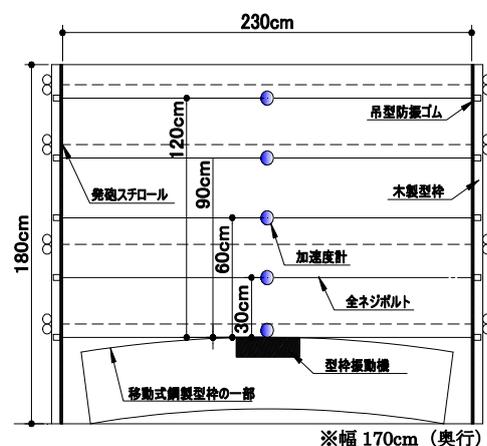


図-1 試験体の概要

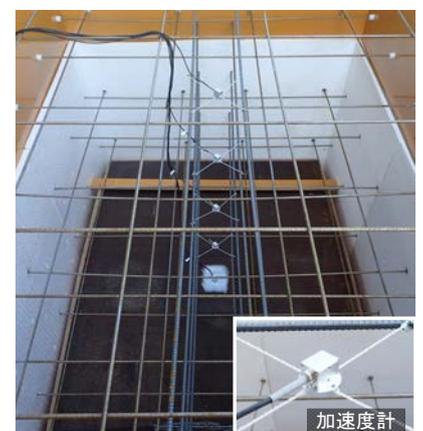


写真-1 加速度の設置状況

キーワード 中流動覆工コンクリート、型枠振動機、加速度、振動エネルギー、硬化コンクリートの空気量
連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-8014

起振源から鉛直方向に 30cm, 60cm, 90cm および 120cm の位置とした。加速度は、中流動覆工コンクリートを型枠内に打ち込み、型枠振動機を 100 秒間作動させて計測した。その際に計測した最大加速度より振動エネルギー¹⁾を式(1)で算出した。

$$E = m \alpha_{\max}^2 t / 4\pi^2 f \quad (1)$$

ここに、E; 振動エネルギー (J/L), m; コンクリートの密度 (kg/L), α_{\max} ; 最大加速度 (m/s^2), t; 振動時間 (s), f; 振動数 (Hz) を表す。本検討における振動数は、計測した加速度波形をフーリエ変換させた際に卓越していた周波数である 90Hz を用いた。また、試験体から高さ方向に $\phi 100$ mm, 長さ 1.3m 程度のコンクリートコアを採取し、起振源からの所定の位置付近の目視評価を行った。

4. 実験結果および考察

実験に用いた中流動覆工コンクリートは、スランプフロー400mm, 空気量 5.1% であった。写真-2 に振動中のコンクリート打上がり面を示す。起振源から鉛直方向に約 130cm 離れた打上がり面は目視においてペーストの浮きや光沢などの締め固め中に生じる挙動が観察されなかった。図-2 に起振源からの鉛直方向における距離と最大加速度の関係を示す。なお、図中にはコンクリートを締め固めるのに必要な最小限の加速度²⁾として、 $15m/s^2$ を併記した。最大加速度は、起振源から離れるほど小さくなり、距離による減衰傾向が確認された。また、起振源から 90cm, 120cm の位置では、締め固めるのに必要な最小限の加速度である $15m/s^2$ を得られないことが分かった。図-3 に型枠振動機を 100 秒間振動させた時の起振源からの鉛直方向における距離と振動エネルギーの関係を示す。起振源から 60cm までの位置では 52 J/L 以上の振動エネルギーが与えられており、締め固め完了に必要な振動エネルギー¹⁾とされる 3.7 J/L の数十倍の振動エネルギーであった。一方、起振源から 90cm, 120cm の位置では 100 秒間振動させても 1~2 J/L となり、3.7 J/L に満たなかった。写真-3 に起振源から 70cm 付近におけるコンクリートコアの空隙状況を示す。コンクリートコアの表面に独立した繊維が確認できるほどの大きな空隙が生じていた。これらのことから、本実験の範囲では、起振源から鉛直方向に 60cm の位置までが締め固めが可能な範囲と考えられた。

5. まとめ

本実験の範囲では、覆工コンクリートの部材厚方向の深部まで締め固めることを意図して振動時間を長くしても、起振源から 60cm 以深では締め固め完了に必要な振動エネルギーが伝わらないだけでなく、起振源付近では過振動によるコンクリートの品質低下が懸念される。また、本実験のように 100 秒間の振動時間でも従来の施工と比べて長く、施工サイクルを考慮すると現実的ではないと考えられる。さらに、本実験結果と式(1)から、起振源から 60cm の位置における締め固め完了に必要な振動エネルギー 3.7J/L を得るための振動時間を逆算すると 8 秒程度であり、従来施工と同程度の振動時間であることから、型枠振動機による中流動覆工コンクリートの締め固め可能な範囲を 60cm 程度までとすることが妥当と考えられる。

参考文献

- 1) 東・中・西日本高速道路株式会社:トンネル施工管理要領, pp.45-49, 2015.7
- 2) 村田二郎:フレッシュコンクリートの挙動に関する研究, 土木学会論文集, No.378, V-6,1987



写真-2 振動中のコンクリート打上がり面

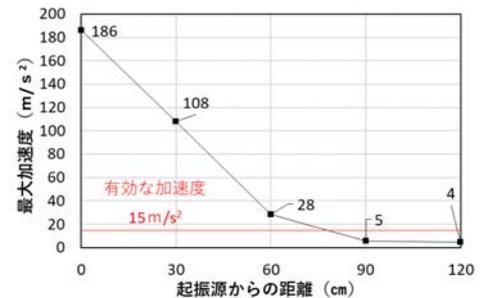


図-2 起振源からの距離と最大加速度

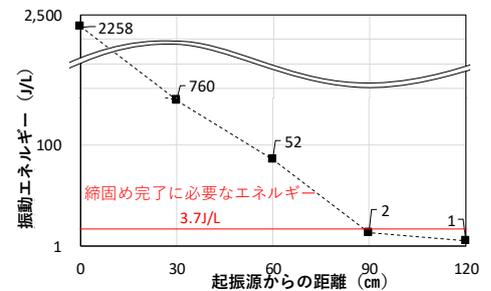


図-3 起振源からの距離と振動エネルギー

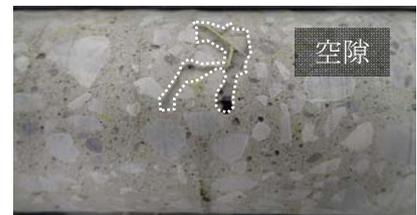


写真-3 コンクリートコアの空隙状況