

超硬練りコンクリートの締固めシミュレーションプログラムの開発

東京工業大学 学正会員 ○松土真也

首都大学東京 フェロー 國府勝郎、正会員 宇治公隆、正会員 上野敦

1. 背景および目的

RCCP 工法に使われる超硬練りコンクリートは、単位水量が 100kg/m^3 程度で、外部振動機を用いて締固めることによって施工される。このため、超硬練りコンクリートの強度および耐久性は、水セメント比ばかりでなく、締固めの程度による空隙率に支配される。しかし、外部振動機によるコンクリートの締固めは、理論的に明確になっておらず、締固め作業は経験に頼らざるを得ない状況にある。本研究は、超硬練りコンクリートの締固めを定量的に評価するシミュレーションプログラムを、図-1の締固め性試験¹⁾を基礎として開発することを目的としたものである。超硬練りコンクリートの施工管理システムの構築、および転圧作業の設計方法 表-1 配合表

の確立を目指すものである。

2. 定位置締固めシミュレーションモデル

図-2に定位置締固めシミュレーションモデルを示す。締固めを受けるコンクリートを粘弾性体と仮定し、シミュレーションモデルはフォークトモデルを任意の層直結した、1次元粘弾性フォークトモデルとした。本研究のシミュレーションは締固め性試験結果を基礎としており、任意の締固め時間における各接点の加速度を求め、振動エネルギーを算出し、締固め関数を介して充填率を得るシステムとしている。これを逐次繰り返すことにより、充填率変化に応じて材料定数を修正しながら計算を行っている。

3. 実験および定位置でのシミュレーション結果との比較

充填率が100%となったときに高さ300mmとなる量の表-1に示した超硬練りコンクリートを、平面が600×600mmの鋼製型枠に投入した。コンクリート層内には図-3に示す位置に、容量10Gの加速度センサを設置し、質量65kg、60Hz(加速度4.5G)の振動機で15、30および150秒間締固めた。硬化後にコアを採取し、上、中、下部の実測充填率を求めた。実測充填率とシミュレーションによる推定充填率との関係を図-4に示す。締固め層の下部は、ばね定数24.1kN/mm($E=1.050\text{kN/mm}^2$ のゴム板厚23mm)としたものである。充填率の誤差は約2%以内で良好に近似されている。以上より、シミュレーションによって、締固めの進行状況とともに締固め層内の充填率分布を明瞭に把握することができるといえる。

4. 振動ローラによる締固めシミュレーションモデル

定位置で表面振動機を振動させると、図-5に示すように、水平方向にも加速度が伝播する。しかしその大きさは振動機からの距離が大きくなると小さくなっていく。すなわち超硬練りコンクリートの転圧締固めにおいても、締固め層の締固めエネルギーに関する材料減衰と幾何減衰²⁾を考慮する必要がある。締固

キーワード RCCP、超硬練りコンクリート、締固め

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京都市基盤環境コース TEL0426-77-1111 内 4535

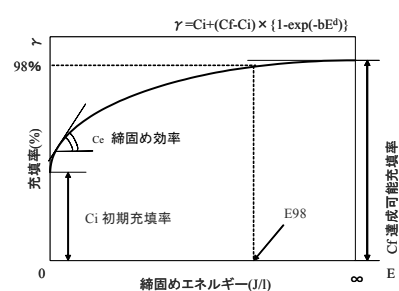


図-1 締固め性試験

w/c (%)	s/a	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (粗) (kg/m ³)	S (細) (kg/m ³)	G (kg/m ³)	hass (kg/l)
35	39	120	343	712	79	1274	2.528

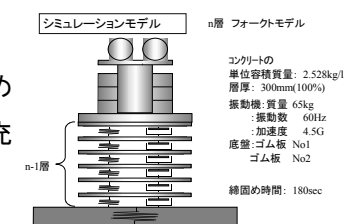


図-2 シミュレーションモデル
● ; 加速度センサの位置

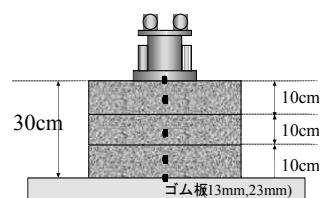


図-3 加速度センサの位置

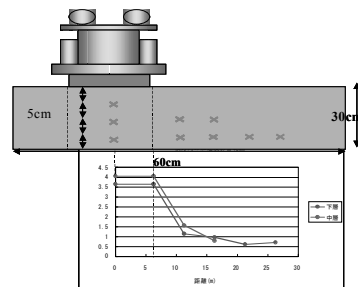


図-5 表面振動機からの加速度の広がり

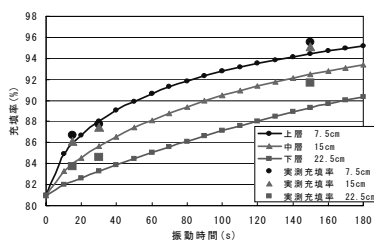


図-4 実測充填率と間接充填率

め層の任意の位置では、振動ローラが直上に位置する以前から加速度を感知し、締固めが始まる。定位置シミュレーションを図-5の試験結果である加速度影響範囲を関数化し、取り入れることによって、2次元に発展させた。このことにより、自走する振動ローラの転圧施工におけるコンクリートの充填率を予測できるシミュレーションプログラムを構築した。

5. 振動ローラによるシミュレーション結果

(1) 転圧回数の影響

シミュレーションにおいては、7層連結フォークトモデルで、コンクリートは表-1の配合のものを、また振動ローラは質量 17500kg、振動数 36.7Hz、起振力 17.5kN でコンクリート上を速度 0.8m/s で進むと仮定し、変数を入力した。シミュレーションによる充填率分布の予測結果は図-6のとおりである。締固め完了を充填率 98%とするならば、この条件下では、振動機から 7.5cm の深さでは約 3 回、22.5cm では約 5 回、27.5cm では約 15 回程度の転圧が必要となることが示されている。

(2) 経時による充填率の変化

転圧施工中のトラブルなどによるコンクリートのコンシステンシーの変化は、締固め性に著しい影響を及ぼすことが考えられる。コンクリートの締固め性試験によって、時間経過による変化を知れば、これに応じた転圧回数の増大を計算することができ、良好な RCCP を施工するための締固め条件の修正を行うことができる。

練混ぜ直後と 30 分経過後の締固め曲線を図-7 に示す。これを転圧したときの最下層の充填率は、図-8 に示すように、締固め性の低下によって大きな影響を受け、同じ転圧回数では当初の充填率に達しないことがわかる。このことは、経時によって粘性係数も増大するため、振動伝播が損なわれていることを示している。したがって、時間が経過したときの締固め層内の充填率を所要の値にするためには、締固め性試験から得られる締固め完了エネルギーの増大の割合よりも、大きな締固め回数を設定する必要がある。このように、締固めのシミュレーションによれば、コンクリートの性状変化にともなう締固め挙動の変化を明瞭に把握することができる。

(3) 転圧速度の影響

振動の水平方向への伝播を考慮したシミュレーションによって、振動ローラの走行速度を 0.8m/s から 0.4m/s に変更したときの締固め性状を図-9 に示す。当然のことながら、転圧速度を 1/2 とすれば走行回数を 1/2 にしても、同等の充填性状を得ることができることがわかる。

6. 結論

1) 鉛直 1 軸方向のシミュレーションによる充填率分布は、実測充填率と比較して約 2~3%ほどの誤差で一致した。すなわちコンクリートの締固め層内のエネルギー分布および充填率分布は、フォークトモデルを直列に連結した構造で適正な材料定数を用いることにより、推定することができる。

2) 自走する振動ローラの転圧施工におけるコンクリートの充填率を予測できるシミュレーションプログラムの基礎を構築した。

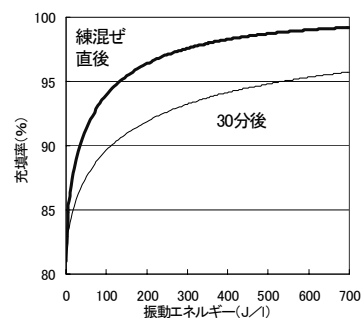


図-7 締固め性の経時変化

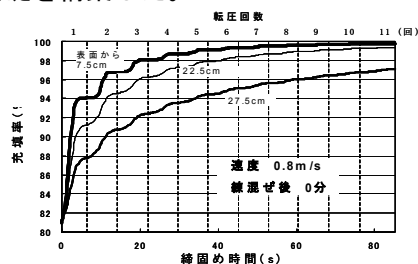


図-6 2次元シミュレーション結果

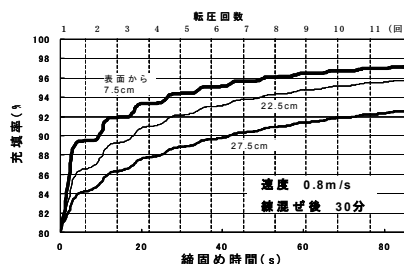


図-8 経時による締固め性の変化が
充填率に及ぼす影響

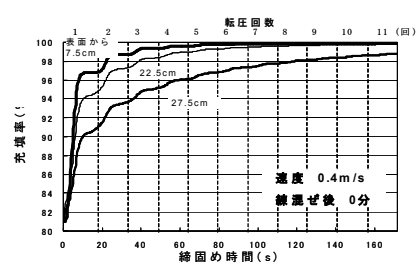


図-9 振動ローラの走行速度が
充填率に及ぼす影響

参考文献

- 1) 土木学会規準：超硬練りコンクリートの締固め性試験方法（案）、JSCE-F 508-1999
- 2) 村田二郎、國府勝郎ほか：コンクリート施工設計学序説 技報堂出版 pp.145~151