

フレッシュコンクリートの振動締め固め過程の評価

熊本大学大学院自然科学研究科環境土木工学専攻 学生会員 ○帖佐 学
熊本大学大学院自然科学研究科教員 正会員 大津 政康

1. はじめに

現在、コンクリートの物性値評価において振動締め固め過程の理論的定量化が確立されているとは言えないのが現状であり、コンクリートの動的締め固め過程の解明が必要と考えられる。本研究では、コンクリートの動的締め固め過程を解明することを目的として、振動締め固め過程におけるフレッシュコンクリートの物性値、間隙水圧の測定を行った。そして、フレッシュコンクリートを固相・液相から成る二相問題として、境界要素法 (BEM 解析) によりコンクリートの動的締め固め過程の数値解析を行った。間隙水圧の実験値と解析値とを比較することで、BEM 解析プログラムの有効性を検討した。さらに、応力を算出し、応力状態の考察を行った。

2. 解析方法

フレッシュコンクリートを固相・液相から成る二相問題であるとする。ここで、解くべき未知数を振動変位 u と間隙水圧 p とし、Biot の二相系運動方程式に基づき、固相の釣合い式 (2.1) と液相の連続式 (2.2) の 2 式を連成させて、固相・液相の動的な二相問題を境界要素法により解析を行う¹⁾。固相の釣合い式には圧力勾配 $p_{,i}$ を含んでいるので、振動荷重を与えたときの液相の圧力の影響も考慮されることになる。

$$\rho(-\omega^2) * u_i = (\lambda + \mu) * u_{j,j} + \mu * u_{i,jj} + p_{,i} \quad (2.1)$$

$$p_{,ii} = -\left(\rho^f \omega^2 + \frac{\gamma_w}{k} i \omega\right) u_{i,i} \quad (2.2)$$

3. 実験概要

3. 1 配合設計

振動締め固め試験に用いるフレッシュコンクリートの配合表を表-1 に示す。普通ポルトランドセメントを使用し、粗骨材の最大寸法は 20mm とした。

表-1 配合設計

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	スランプ (cm)	単位量(kg/m ³)				
			水	セメント	細骨材	粗骨材	AE 剤(cc)
45	42.3	7.8	178	407	714	973	122

3. 2 振動締め固め試験

振動締め固め試験に用いるモールドを 30×30×35cm とし、深さ 32cm までコンクリートを打設した。振動締め固め試験における間隙水圧計は、モールド側面壁から 7.5cm、供試体表面から 2cm、12cm、22cm の地点に設置した。振動締め固め試験は、内部振動機を 10cm 挿入した状態で固定し、振動時間を 40 秒として試験を行った。

4. 実験結果

振動締め固め試験において、間隙水圧の経時変化を計測した。間隙水圧データは、0.1 秒間隔で測定を行い、各間隙水圧計のチャンネル (CH) ごとの測定結果を図-1 に示す。供試体表面付近に設置した CH1 は、20 秒付近から間隙水圧の減少が始まり、30 秒付近で急激に減少している事が認められる。これは、液状化や材料流動が進むことにより、CH1 の間隙水圧計付近のコンクリート密度が低下していくため、間隙水圧も減少したと考えられる。このことより、間隙水圧の変化から液状化や材料分離の状況を把握が可能であることが考えられる。

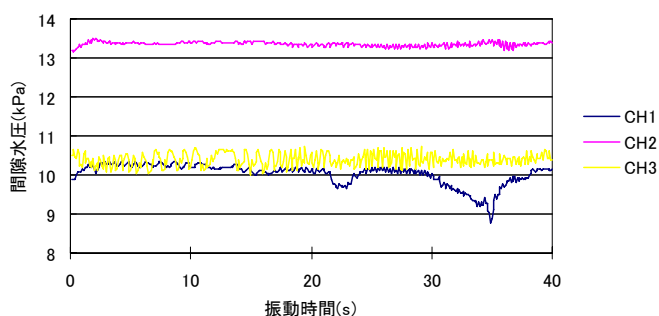


図-1 間隙水圧の経時変化

5. BEM 解析

5. 1 解析モデル

BEM 解析に用いる解析モデルを、振動締め固め試験の状態に近づけるために、フレッシュコンクリートが打設された 30×32cm のモデルに、直径 3cm の内部振動機が貫入深さ 10cm で挿入されていると想定し、2 次元モデルを作成した。モデルの境界上節点数は 286 点、内部点数は 919 点とした。

5. 2 物性値

BEM解析に必要な物性値として、透水係数、ヤング率、密度のフレッシュコンクリートの物性値があり、それぞれ計測結果から $4.51 \times 10^{-5}(\text{cm/s})$ 、 $1.67(\text{GPa})$ 、 $2400(\text{kg/m}^3)$ と決定した。

6. 解析結果

6. 1 間隙水圧

BEM 解析により解析された間隙水圧の分布を図-2 に示す。内部振動機の振動部先端付近から同心円を描くように、間隙水圧が減少していることが分かる。次に、水圧計位置での解析結果と、実験により得られた間隙水圧の比較を図-3 に示す。側方の境界条件を変化させた解析値、実験値ともに、内部振動機振動部先端である 10cm 付近で最も大きな値を示していることが認められる。モデル上下部での解析値は、実験値に比べて勾配が多少異なっているが、ほぼ同じ勾配を示しており、解析値は全体的に実験値に近い値を示している。以上のことから、フレッシュコンクリートの振動締固め時の動的挙動を二相問題としてBEM解析により求められることが確認された。

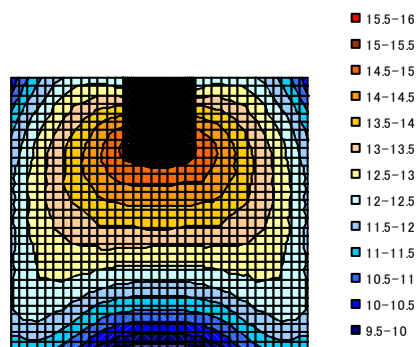


図-2 間隙水圧分布 (kPa)

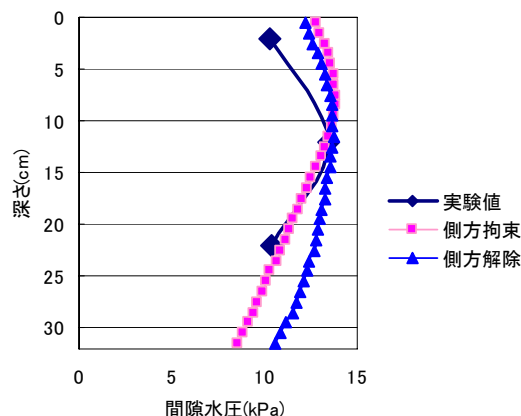


図-3 実験値と解析値の比較

6. 2 応力解析

BEM 解析によって得られた間隙水圧から、フレッシュコンクリートの有効応力($\sigma_{xx}, \sigma_{xy}, \sigma_{yy}$)の算出を行った。ここで、応力状態における種々の成分の相互作用を考慮するために Drucker - Prager の等価応力(6.1)を用いる。

$$k = I_1 + \sqrt{J_2}$$

$$I_1 = \sigma_{xx} + \sigma_{yy}$$

$$J_2 = \frac{1}{6} \left\{ (\sigma_{xx} + \sigma_{yy})^2 + \sigma_{yy}^2 + \sigma_{xx}^2 \right\} + \tau_{xy}^2 \quad (6.1)$$

式(6.1)より得られる応力分布を図-4 に示す。ここで、正の値が圧縮、負の値が引張りとする。内部振動機先端付近に引張りの応力が確認され、モールド下部で圧縮の応力が発生することが認められる。図-2 と図-4 より、内部振動機によるコンクリートの攪乱域が把握できることが分かる。

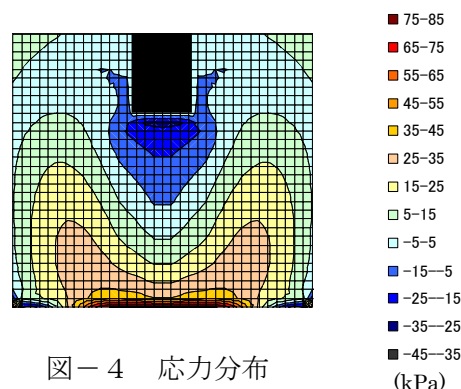


図-4 応力分布

7. まとめ

- ・ 間隙水圧の変化から液状化や材料分離の状況を把握できることが考えられる。
- ・ 内部振動機の振動部先端付近から同心円を描くように、間隙水圧が減少していることが確認された。
- ・ フレッシュコンクリートの振動締固め時の動的挙動を二相問題としてBEM解析により求められることが確認された。
- ・ 内部振動機先端付近では引張り応力、モールド下部で圧縮応力が発生することが確認された。
- ・ 間隙水圧、応力の分布からコンクリートの攪乱域を把握できることが確認された。

8. 参考文献

- 1) 國居史武：フレッシュコンクリートの振動締固めと打重ね機構に関する研究、2004