

ポーラスコンクリートの充填シミュレーションへの 粒子要素法の適用性について

Applicability of Particle Element Method to Compacting Simulation of Porus Concrete

北海道大学大学院

○正会員 出雲 健司(Kenji IZUMO)

1. はじめに

近年、環境保全や自然に優しいということが社会的な大きなテーマになっている中、生態系保全をも含めた高機能環境付加低減型材料としてのポーラスコンクリートの研究は近年益々盛んになっており、実施工においても様々な形態での適用が進められている。しかし、ポーラスコンクリートは多孔質性ゆえに空隙構造がその性能に大きく影響することがよく知られており、その空隙構造を明らかにする必要がある。

そこで、粒子要素法をポーラスコンクリートの充填シミュレーションに適用して、その空隙構造、言い換えれば、骨材の配置のシミュレーションを行うことにより骨材の配置を予測し、ポーラスコンクリートの重要な性能の一つである透水係数を定量的に評価することを最終目的と考え、その研究の一環として、本研究では骨材の配置状況を把握するために、粉体工学で用いられている粒子要素法を使って、ポーラスコンクリートの充填シミュレーションを行い、シミュレーションの適用性を評価するものである。

2. 解析概要

2. 1 使用材料

充填シミュレーションに使用するポーラスコンクリートの配合は既報の研究¹⁾の配合の一つを使用している。セメントは普通ポルトランドセメント（比重:3.16）、粗骨材は沙流川産6号碎石（比重:2.79,粒径7mm~13mm,F.M.:6.04,吸水率:1.27%）であり、本研究の解析では細骨材を使用した配合はシミュレーションしていない。また、実験ではアミノスルホン酸系高性能AE減水剤を適量使用している。本研究で使用した配合の諸量を表-1に示す。なお、p/aは単位セメントペーストと単位骨材量の容積比を表している。

2. 2 解析方法

粒子要素法は粉体工学で使われている解析手法で文字通り粒子一つ一つを要素として扱うために、不連続体を扱うことが出来る。本研究では粒子に当たるのが骨材一つ一つであり、解析に当たって、モデル化を簡素化するために、以下の仮定条件を設けた。

- 1) 骨材は完全な球形である。
- 2) セメントペーストは骨材の周りに膜状にしかも均等に付着しており、ペーストのだれがない。（図-1）

3) セメントペースト部分は充填シミュレーション中には変形はしない。

これらの仮定条件の下、粉体工学で使用されている2次元2成分系粒子要素法のプログラム²⁾を骨材の粒径分布を考慮できるプログラムに拡張してシミュレーションを行った。使用した骨材の粒径分布を表-2に、解析に使用したパラメーターを表-3に示す。なお、摩擦係数の決定は既往の研究³⁾を参考にしている。

基本モデルは図-2に示すように、粒子間の相互作用力を接触した2粒子の法線方向とそれに垂直なせん断方向に分けて考え、図-3に示すフォークトモデルを使用した。この時、せん断方向には粒子間の摩擦を考慮するために摩擦スライダを設けており、2粒子間に働く力Fによる並進変位をu、回転変位をψとすると、以下の式が成り立つ。

$$m \frac{du^2}{dt^2} + \eta \frac{du}{dt} + Ku = 0 \quad (1)$$

$$I \frac{d\psi^2}{dt^2} + \eta r^2 \frac{d\psi}{dt} + Kr^2 \psi = 0 \quad (2)$$

ここで、*m*：質量、*η*：ダッシュポットの粘性係数

K：バネの弾性係数、*I*：慣性モーメント

ただし、実際の計算では、個々の接触点に対して上式を解くのは不可能なので、時間増分で差分近似して計算している。

セメントペースト

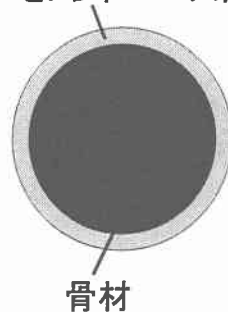


図-1
モデル化粒子の概念図

法線方向 せん断方向

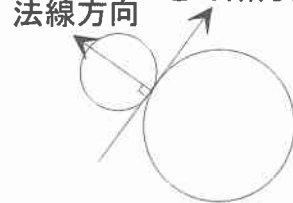


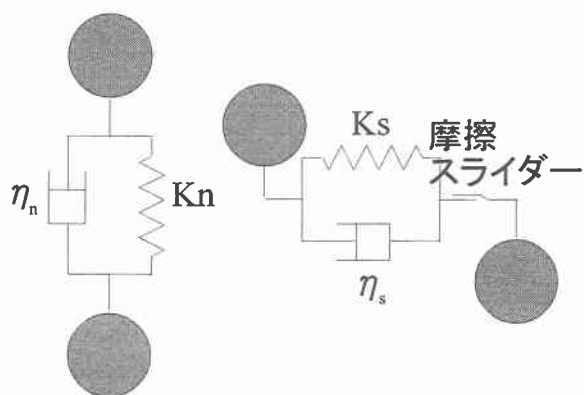
図-2
骨材間の作用力の方向

表-1 解析に使用した配合の諸量

W/C	Gmax	s/a	p/a
0.25	13mm	0	0.25

表-2 解析で使用する骨材の粒径分布

粒径(mm)	13	10	7
割合(%)	4	48	48



(a)法線方向 (b)せん断方向
図-3 骨材間相互作用力のモデル

なお、本研究の解析では充填の際、ポーラスコンクリートの骨材が自由落下して、型枠に充填していくことを想定している。また、解析対象はφ100×200mmの円柱供試体を想定し、骨材投入開始後10秒まで解析を行っている。

2. 3 解析結果

図-4に粒子要素法によるポーラスコンクリートの充填シミュレーションの結果を示す。この図に示されるように(a)から(c)に時系列的にセメントペーストで覆われた骨材が充填していく様子がわかる。特に、ポーラスコンクリー

トの特徴である骨材の配置、並びに空隙の分布と構造が明確にされる点で粒子要素法は優れていると言える。したがって、今後、骨材同士の摩擦、骨材-型枠間の摩擦などパラメーターで考慮すべき点や計算方法などの解析テクニックなどで考慮すべき点が多いが、ポーラスコンクリートの充填シミュレーションに対して粒子要素法を適用することは非常に有益と考えられる。

3. まとめ

本研究は萌芽的でまだまだ考慮すべき点が多いが、骨材の配置が明確になるなどの点からポーラスコンクリートの充填シミュレーションに対して粒子要素法を適用するのは有益であると考えられる。

参考文献

- 1) 徳重英信、佐伯昇、川上洵：振動締固め方式による透水性コンクリートの配合設計法に関する研究、土木学会論文集、No.627/V-44、p.1-11、1999
- 2) 粉体工学会：粉体シミュレーション入門、産業図書、1999
- 3) 谷川恭雄、森博嗣、筒井一仁、黒川善幸：スランブ試験およびすべり抵抗試験によるフレッシュコンクリートのレオロジー定数の測定、コンクリート工学年次講演論文集、第8巻、pp.381-384、1986

表-3 解析に使用したパラメーター

骨材のヤング係数(kN/mm ²)	型枠のヤング係数(kN/mm ²)	骨材のポアソン比	型枠のポアソン比	骨材同士の摩擦係数	骨材-型枠間の摩擦係数
60,000	210,000	0.25	0.3	0.1	0.1

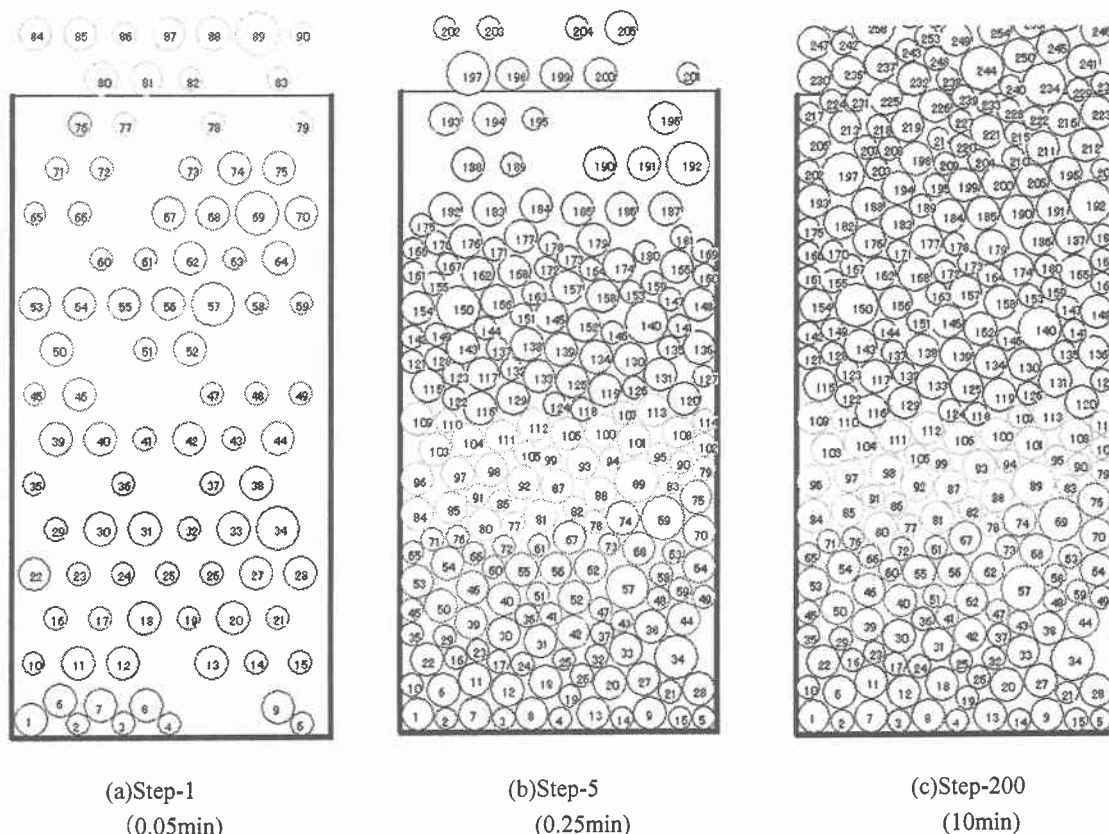


図-4 ポーラスコンクリートの充填状況