

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

出雲 健司 [北海道大学大学院工学研究科／助手]

背景・目的

『自然に優しい』や『環境保全』という言葉が社会的なキーワードとして定着した今、建設材料にもそれらが要求されている。そのような状況下、ポーラスコンクリートは排水性舗装や水辺などにエコや緑化コンクリートとして使用される。しかし、現在のところ配合設計の理論的かつ合理的な設計法がなく、経験的な設計法のみしか存在しないので、ポーラスコンクリートの透水性を安定させるのが難しい。そこで、本研究では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の構築を目的としている。

内容・方法

ポーラスコンクリートに粒子要素法を適用した例は国内外問わず、本研究が初めてである。粒子要素法は文字通り粒子一つ一つを要素として扱う。これをポーラスコンクリートに適用すると、骨材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できる。そこでポーラスコンクリートの充填シミュレーションなどには適した手法であり、骨材の配置・空隙の位置が視覚的に分かるのが大きな特徴である。充填シミュレーションの手法概要は次の通りである。粒子要素法の粒子に当たるのは骨材の周りにセメントペーストが均一に付着していると仮定したモデル化した骨材を使用する。モデル化した骨材間の力学的な基本モデルはフォークトモデルを使用し、法線方向とせん断方向に分けて考える。両方向とも弾性挙動・粘性挙動が考慮できるようになっており、せん断方向には摩擦の影響が考慮できるように摩擦スライダーを設けている。

結果・成果

ポーラスコンクリートの透水係数を求める際、3次元の骨材の配置が必要である。そこで、本研究は既報の研究で構築した2次元の充填シミュレーションを奥行き方向が考慮できる3次元に拡張した。3次元の場合、奥行き方向にモデル骨材が移動できる分、可視化などで図示した場合、ポーラスコンクリートの形状をよく表している。また、モデル化骨材一つ一つが要素なので、コンピュータ内に骨材の座標が記憶されているので、透水性や耐久性の解析の初期値として使用する場合、非常に有益であると考えられる。摩擦係数が0.1の配合では2次元と3次元では実積率にそれほど大きな差はなかったが、摩擦係数が0.3の配合においては約5%の開きがみられた。このことは実験

データとの比較による3次元シミュレーションの可否の判定は必要であるが、ある摩擦係数では次元によって解析結果が異なってくることが示されており、奥行き方向の検討が必要であると考えられる。セメントペースト容積比の割合を変化させることにより、骨材の周りに付着するセメントペーストの膜の厚さが変化する。これが、充填シミュレーション結果にどう影響するかを次では考察する。なお、モデル化骨材同士の摩擦係数は0.1と固定してシミュレーションを行っているが、全体の実積率を比較した場合、あまり大きな差がない。また、充填分布を比較した場合、いずれの配合も供試体下部の方が上部と比較して実積率が大きくなる傾向がみられるが、配合によって特徴的な傾向は見られなかった。しかし、モデル化骨材の充填数としてはセメントペースト容積比0.25, 0.28, 0.30の順で2567, 2480, 2422とモデル化骨材のセメントペーストの膜圧が厚くなるほど充填数が少なくなる傾向が見られた。最後に、使用するセメントペーストのフロー値により、モデル化骨材同士の摩擦係数が変化することが考えられ、本研究では直接モデル化骨材同士の摩擦係数0.1と0.3で変化させることによりその影響を検討した。なお、セメントペースト容積比0.25一定でシミュレーションを行っている。実積率で約5.6%と大きな差が現れている。摩擦係数0.1では供試体の下部の方が上部に比較すると実積率が大きい傾向がみられるが、摩擦係数0.3では供試体下部、特に最下部が極端に実積率が低い傾向が見られ、上部の方が実積率が大きい傾向が見られた。このことより、摩擦係数0.3の方が摩擦係数が大きい分、下部に骨材が充填するのを骨材の摩擦力によって阻害されたと考えられる。また、モデル化骨材の充填数としては摩擦係数0.1が2567, 0.3が2357と実積率が低い方が充填数が小さいという当たり前の結果となった。

今後の展望

本研究で、ベースとなる3次元の充填シミュレーションプログラムは完成したと言え、ポーラスコンクリートの充填シミュレーションとしての研究の方向性は正しいと言える。しかし、連続空隙・透水係数をシミュレーションで求め、実際制作したポーラスコンクリートの実データと比較する段階にはいたっておらず、今後はそれが課題として残っている。また、プログラムの改良点として、材料の構成則、特にせん断方向の構成則がまだ十分ではないと考えられるので、その点を改良していきたい。