

空隙率に着目したポーラスコンクリートの配合設計法の高度化

東京工業大学 学生会員 ○坪井 建斗
 東京工業大学 正会員 岩波 光保
 東京工業大学 正会員 中山 一秀

1. はじめに

近年、都市化の進行とともにヒートアイランド現象や都市型洪水といった問題が生じている。これらの問題に対する解決策として、コンクリート分野においては透水性、保水性、緑化性等に優れたポーラスコンクリートの活用が期待されている。ポーラスコンクリートについては既往の研究からその性能には空隙率が大きく影響することがわかっているが、作製時にこの値を管理することが困難であるという課題を抱えている。これはポーラスコンクリート中の骨材量が配合設計時と施工時で変化していることが原因と考えられており、その変化量については現状実験により求められている。しかしながら、実験結果は全く同じ条件のものにしか用いることができず、求めた値の汎用性が低いという問題がある。

そこで、骨材変化量について様々な条件下でも統一的に求められる方法を確立することを目的として、ポーラスコンクリートの作製過程のモデル化を行うことで理論的に骨材変化量を求める手法を提案した。

2. 提案手法の概要

2. 1 提案手法の体系

提案する手法では、まずセメントペースト(以下、ペースト)の充填状態を数値化し、そこから骨材変化量を計算する。

ここで、梶尾ら¹⁾により、ペーストの充填状態がわ

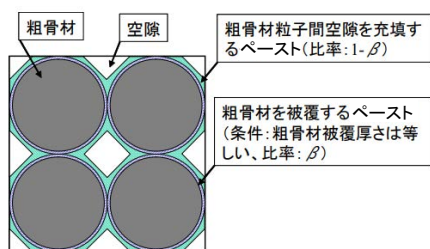


図1 ペーストの充填状態¹⁾

かっている場合についての骨材変化量は既に示されている。これによると、ペーストを図1のように2種類に分けた場合、配合設計時に対する施工時の骨材量の比である補正係数 α は骨材を被覆するペーストの比率 β を用いて式(1)で表すことができる。ただし、梶尾ら¹⁾の論文では β は予備実験により算出するとされている。

$$\alpha = \frac{(\text{骨材の実積率})}{\beta(\text{設計ペースト率}) + (\text{骨材の実積率})} \quad (1)$$

したがって、ペーストの充填状態を示す β を理論的に求められるようにすることで骨材変化量が計算により求まる。ここで、定義より β は骨材間のペースト厚の半分(以下、骨材間隔) $a(\text{mm})$ を用いて式(2)のように表せる。

$$\beta = \frac{(r+a)^3 - r^3}{(r+t)^3 - r^3} \quad (2)$$

ただし、 $r(\text{mm})$ は骨材半径、 $t(\text{mm})$ はペーストを骨材の周りに均等に配置した時のペーストの厚さである。この式より、骨材間隔に着目することでペーストの充填状態を示す β を求められることがわかる。

2. 2 骨材間隔

(1) 応力作用下でのペーストの挙動

ペーストは一般的にビンガム流体に分類される²⁾。したがって、ペーストに対して作用する応力 $\sigma(\text{Pa})$ とそれに対する挙動の間には式(3)の関係が成り立つ。ただし、 $\eta(\text{Pa}\cdot\text{s})$ は塑性粘度、 $\dot{\epsilon}(\text{/s})$ はひずみ速度、 $\tau_y(\text{Pa})$ は降伏応力とする。

$$\sigma = 3\eta\dot{\epsilon} + 3\tau_y \quad (3)$$

ここで、ひずみ速度は骨材間隔の変化に着目すると変形時間 $j(\text{s})$ を用いて式(4)のように表せる。

$$\dot{\epsilon} = \frac{t-a}{tj} \quad (4)$$

以上の2式を連立することで、ある応力下での骨材間隔を計算することができる。

キーワード ポーラスコンクリート, 配合設計法, 空隙率, レオロジー, 骨材間隔

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 緑が丘 1号館 513号室 TEL 03-5734-3194

(2) ポーラスコンクリート作製過程で加わる応力
 ポーラスコンクリートを作製する過程でペーストに加わる応力を計算するため、作製過程のモデル化を行う。本研究では打込み以外の過程で生じる応力は無視できる程度に小さいと考え、打込み過程のみをモデル化した。また、本モデルでは簡単のため全ての骨材が同じ半径を持つ球であると仮定する。

打込みの際、ペーストにはその自重の反力と上部に位置する骨材からの衝撃力が作用する。反力を実線、衝撃力を破線として、これらの力を図2中に示す。ただし、 $m(\text{kg})$ を1つの骨材とその周囲のペーストの質量、 s を1つの骨材とその直下の領域に位置するペーストの質量比、 $h(\text{mm})$ を落下高さとする。これらの力を合計すると、それぞれの層のペーストは式(5)で示される応力を受ける。ただし、ペーストが力を受ける面の面積である接触面積を $A(\text{mm}^2)$ とする。

$$\sigma = \frac{m\sqrt{2gh}}{Aj} \quad (5)$$

ここで、骨材形状は球と仮定しているため、接触面積は式(6)のように表せる。

$$A = \frac{\pi}{2}(t^2 + 2tr - a^2 - 2ar) \quad (6)$$

(3) 骨材間隔の理論式

以上の式(3)から式(6)をまとめることで骨材間隔の理論式を構築する。ただし、実際のポーラスコンクリート中での条件により近づけるために、モデル中での条件を一部修正する。すなわち、骨材配列を面心立方格子とする、水平方向の骨材間隔を加味して平均的な骨材間隔 $a_m(\text{mm})$ を導入する、骨材形状の違いによる接触面積の差異を修正する形状係数 γ を導入する。以上の修正を加えると骨材間隔は式(7)から計算することができる。ただし、 $A_r(\text{mm}^2)$ を球状骨材時の接触面積、 $a_h(\text{mm})$ を水平方向の骨材間隔とする。

$$a_m = \sqrt[3]{\left\{ t \left(1 - \frac{m\sqrt{2gh}}{12\eta\gamma A_r} + \frac{4\tau_y j}{\eta} \right) + r \right\} (a_h + r)^2 - r} \quad (7)$$

3. 提案手法の検証

提案した手法から求まる補正係数 α が実際に作製した時の値と一致するか検証した。まず試験体を作製することで補正係数の実測値を測定し、それと作製時の条件を式(1)(2)(7)に当てはめることで求め

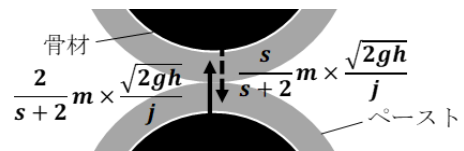


図2 打込み時にペーストに作用する力

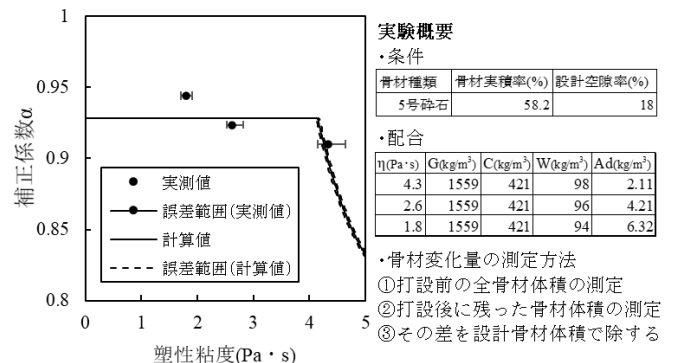


図3 実験概要と結果の比較

た計算値との比較を行った。この結果を図3に示す。

この図より、測定した範囲において提案手法を用いた計算値は全体の傾向を捉えていることがわかる。つまり、実測値と計算値はどちらも塑性粘度が極めて大きいときに補正係数が小さくなる。また、実測値や理論式に代入する値の誤差を考慮すると、計算値と実測値に大きな違いはないと考えられる。今回の実験では測定点が少ないためこれらだけでの判断は難しいが、提案手法は実現象の特徴を捉えられていることは確認できる。

4. おわりに

骨材間隔の理論式を構築することで、設計時と施工時の骨材変化量を理論的に求める手法を提案した。この手法に対して検証実験を行うことで、提案手法が実現象の特徴を捉えていることがわかった。一方で、測定点が少ないことから、今後さらなるデータをもとに提案手法を改善する必要がある。

参考文献

- 梶尾聡, 國府勝郎, 宇治公隆: 所要の空隙量を有するポーラス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 E, Vol.64, No.1, pp. 16-28, 2008
- 松川徹, 玉井元治, 山林彰宏: ポーラスコンクリートに適用する結合材の性質に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 25, No. 1, pp. 1181-1186, 2003