

高流動コンクリートの間隙部における粗骨材の挙動に関する研究

宇都宮大学工学部 ○学生会員 渡辺有寿
正会員 藤原浩巳
正会員 丸岡正知

1. はじめに

高流動コンクリートは締固めなしに自己充填が可能なコンクリートであるが、型枠内の流動途中で圧力損失により充填不良が生じる可能性があることが指摘されている。このような充填不良を解決するため、圧力損失が生じるメカニズムを解明することが必要であるが¹⁾、その中で、間隙部における粗骨材の挙動に関する理論的な研究は少ない。

そこで本研究では、間隙部における粗骨材の挙動の解明を目的とし、混相流体力学の概念を用いて、理論式の導出を試みた。

2. 粗骨材の挙動メカニズム

2.1 概要

本研究では、高流動コンクリートが間隙を通過する際の粗骨材の挙動を以下の様にとらえた。

(1) 間隙部の粗骨材流の停滞

高流動コンクリートが型枠内を流動する際、鉄筋間隙部において粗骨材が鉄筋表面を迂回し、回転運動を起こすため粗骨材の流動が停滞する。

(2) 間隙部前での粗骨材量の濃縮

間隙部での粗骨材の停滞により、間隙直前部で粗骨材量の濃縮現象が生じる。

3. 粗骨材の停滞・濃縮現象の理論式

3.1 概要

ここでは、混相流体力学の考え方を用いて、間隙部における粗骨材の停滞現象から濃縮現象までの流れを理論的に推定した。

3.2 流動の停滞現象の理論式

コンクリートのような高濃度の固液混相流体では、せん断力によって粒子構造が変化し、粒子同士の噛み合いによりせん断垂直方向に応力が生じる事がわかっている。この垂直応力は、せん断変形率と流体の粘度に依存すると考えられている。

そこで、本研究ではチクソトロピー性流体の構成方

程式として、Fredrickson²⁾によって提案された(1)式を用いて粗骨材の流速を求めることを試みた。

$$\frac{D}{Dt}\phi = -\frac{1}{\lambda}(\phi - \phi_0) + k\Gamma \frac{\phi_\infty - \phi}{\phi} \quad (1)$$

ここに ϕ ：流動度(粘性係数の逆数)

ϕ_0 ：初期の流動度

ϕ_∞ ：終端の流動度

λ ：緩和時間

k ：見かけの降伏応力で示される関数

また、式(1)中の緩和時間 λ は粒子・流体間の運動量輸送に関する値であり、以下の(2)式で与えられる。

$$\lambda = \frac{2\rho_2 r^2}{9\mu_1} \quad (2)$$

ここに ρ_2 ：粒子の密度 r ：粒子の半径

μ_1 ：流体の粘性

3.3 粗骨材の濃縮現象の理論式

混相流体力学においては、固液2相流は2相の物理的構成、基礎方程式の構成が固気2相流に似ていることから、固気2相流で考えることが多い。

そこで、本研究ではコンクリートをモルタル(流体)と粗骨材(粒子)の固液2相流体とみなし、固気2相流の概念を用いて濃縮現象を表す式の導出を試みた。式の導出においては、固液2相流は固気2相流と違い、液体相の流れ場における粘性応力の効果が無視できないことを考慮した³⁾。

固気2相流を一次元流れで考えた場合、質量保存式・運動量保存式・エネルギー則から以下の(3)式を得る。

$$\frac{1}{\rho q} \frac{d}{dx} \rho q = -\frac{1}{A} \frac{dA}{dx} \quad (3)$$

ここに ρq ：流量密度 p ：圧力

A ：断面積

式中の ρq は流れに直角な単位断面積を単位時間に通過する質量流量であり、コンクリート流の流量が一定の場合、断面積が減少する間隙部では流量密度が増

Key Words 高流動コンクリート 間隙通過性 圧力損失 混相流体力学

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科材料研究室

TEL 028-689-6209 E-mail: mt043433@cc.utsunomiya-u.ac.jp

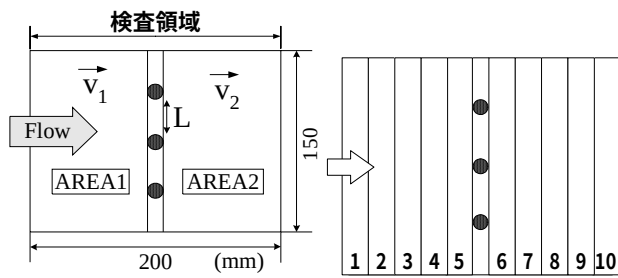


図1 検査領域と区間分割

加し、粗骨材が局所的に濃縮することを示す。

また流体に対する運動方程式は以下ようになる。

$$\frac{1}{\sigma_2} \frac{d\sigma_2}{dx} = -\frac{1}{A} \frac{dA}{dx} - \frac{1}{q_2^2 \lambda} (q_1 - q_2) \quad (4)$$

ここに σ_1 ：単位体積当りの粒子相の質量

σ_2 ：単位体積当りの液相の質量

q_1 ：液相の流速

q_2 ：粒子相の流速

上式は、断面減少部において負の圧力勾配によって流体が加速されることを意味している。そして粒子は流体の粘性抵抗により流体に引きずられるが、液相の流速からは遅れてしまう ($q_2 < q_1$)。すなわち、間隙部での粗骨材とモルタルに相対的な速度差が生じ、モルタルの先流れ現象が起これと考えられる。

3.4 計算結果

コンクリートが図1の検査領域を1次元で流動するとして、停滞現象の理論式の計算結果を図2に示す。ここでは間隙幅 $L=26\text{mm}$ 、粗骨材体積濃度 $X_v=26, 30, 34\%$ を解析条件としたものを示す。図より、粗骨材の流速は間隙部（図中：区間番号5～6）に接近するにつれ低下するという傾向を得た。また、骨材量が多いほど流速が小さい結果となった。これは、粗骨材が鉄筋表面を迂回し、回転運動を起こすことにより粗骨材の流動が停滞したからと考えられる。

次に、図3に理論式で得た各区間の粗骨材体積濃度の結果を示す。解析条件は、停滞現象と同様の間隙幅 $L=26\text{mm}$ 、粗骨材体積濃度 $X_v=26, 30, 34\%$ である。図より、各 X_v とも間隙部に近づくほど骨材量が増加していく結果となった。

また、間隙部で粗骨材の流速が最小となり、間隙前後で速度差が生じることや、間隙直前で X_v が大きくなることが既往の研究より報告されており⁴⁾、既往の研究と定性的な傾向が同様の計算結果を得られたと考えられる。

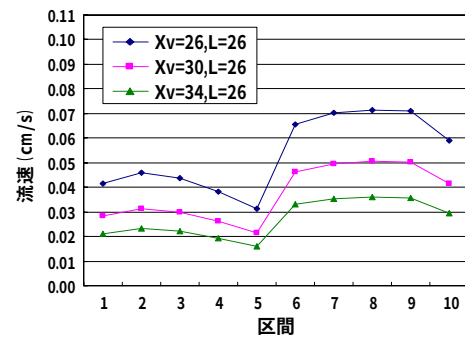


図2 各区間の流速の計算値 ($L=26\text{mm}$)

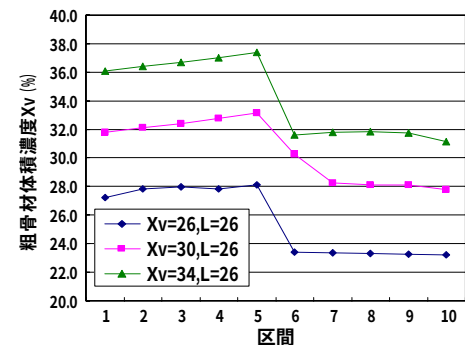


図3 各区間の X_v の計算値 ($L=26\text{mm}$)

4. まとめ

本研究では、高流動コンクリートの間隙部における粗骨材の挙動を解明することを目的として、粗骨材流の停滞現象および粗骨材の濃縮現象を理論的に求めることを試みた。

コンクリートを混相流体力学による固気2相流の概念を用いて、各現象における理論式の導出を行った結果、間隙部における粗骨材の挙動メカニズムの**(1) 粗骨材流の停滞現象**および**(2) 粗骨材量の濃縮現象**について、定性的な傾向が得られる結果となり、粗骨材の挙動を再現できる可能性が見出された。

参考文献

- 1) 藤原浩己：自己充填性を有する高流動コンクリートの特性に関する研究，学位論文
- 2) Fredrickson, A.G. : A model for the thixotropy of suspensions, AIChE Journal, Vol.16, No.3, pp.436-441, 1970
- 3) 日本流体力学会：混相流体の力学，朝倉書店 pp.164-170
- 4) 丸岡正知ら：可視化手法を用いた高流動コンクリートの間隙部通過時における圧力損失現象に関する研究，セメント・コンクリート論文集, No.58, pp.359-364, 2004