

ひび割れの屈曲構造が漏水量予測と流れの非ダルシー性に及ぼす影響

愛媛大学大学院 正会員 ○藤原広季

愛媛大学大学院 正会員 氏家勲 愛媛大学大学院 正会員 岡崎慎一郎

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物は、構造設計上ある程度のひび割れを許容するものであるが、耐久性や水密性が著しく低下させるために、空気中の二酸化炭素や塩化物イオン、水などといった劣化因子の侵入を防ぐよう対処する必要がある。近年では地下構造物が地中深く建設されるようになり、漏水対策と漏水量予測は特に重要である。

そこで本研究では、比較的ひび割れ幅の大きな供試体を用いて、低圧力下の透水試験を再現し、漏水量に影響を与えるひび割れ幅、水頭高さの影響を、定水位透水試験によって実験的に評価することにより、ひび割れの屈曲構造が流れの非ダルシー性に及ぼす影響を詳細に検討した。

2. 実験概要

ひび割れの屈曲構造が流動に与える影響を検討するため、供試体打設前に鋼製モールド管に平面プラスチック板、トタン板をはさむことで平滑面と波状面のひび割れを再現した。本実験ではモルタルを用い、供試体サイズは $\phi 50 \times 100 \text{ mm}$ とした。なお、ひび割れ幅は供試体のひび割れ断面の端に幅 3mm 程のフィラゲージを貼り付け、もう一方の供試体で挟むことで再現し、ひび割れ幅は 200 倍のマイクロスコープによって供試体両端面の各 5 点の計 10 点を測定し、その平均値を用いた。

透水試験機は図 1 に示す装置を用いるものであり、アクリルパイプ筒($\phi 10 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}$)に底面から 10cm 刻みに 20mm 程度の孔を計 9 点あけ、水頭を変化できるようにし、供試体上面から一番下の孔までの水頭が 55cm になるように設置した。最大で水頭 135cm の透水試験が可能である。水頭 55cm から 10cm 間隔で水頭 135cm まで圧力を加え、セルの蓋に装着した空気弁から水が溢れ、セル内が飽和したことを確認し、流れが定常状態になってから、30 秒間にひび割れを通過した液状水を電子ばかりにより 0.1g の精度で測定した。透水量はその連続した 3 回の平均値とした。

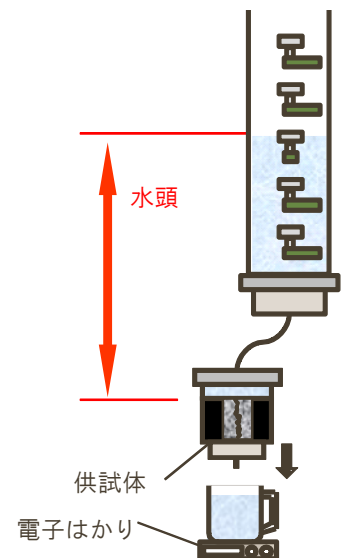


図 1 透水試験機

3. 実験結果及び考察

図 2～4 に透水試験の結果を示す。グラフの横軸を動水勾配、縦軸を速度とする。ここで動水勾配とは水頭を供試体高さで除したものである。図中の実線は以下の式で表現されるひび割れを平行平板とみなした Hagen-poiseuille の流れに基づく式の補正係数を $C(H)=1$ としたもの(以下、理論式と呼ぶ)である。

$$Q_w = \frac{1}{12} \frac{bw^3}{\mu} \frac{dp}{dz} c(H)$$

Q_w : 流量(cm^3/s)、 b : ひび割れ長さ(cm)、 w : ひび割れ幅(cm)、 μ : 粘性係数($\text{N/m}^2 \cdot \text{s}$)、 dp/dz : 圧力勾配、 ρ : 水の密度(N/cm^3)、 g : 重力加速度(cm/s^2)、 h : 水頭(cm)、 L : 供試体高さ(cm)

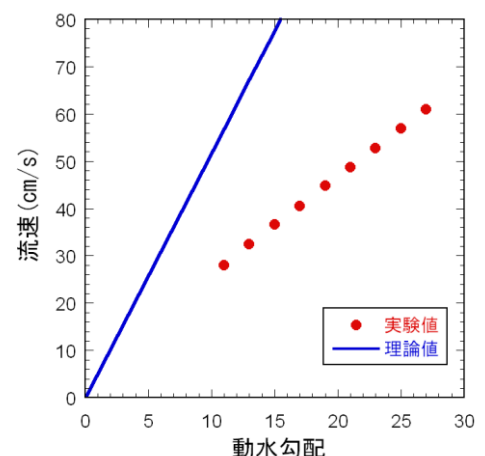


図 2 透水試験結果(平滑面 0.215mm)

ひび割れが平滑面の場合, 図 2 に示すように圧力と流速は線形関係にあり, 流速の減少傾向はみられなかった. ひび割れが波状面の場合, ひび割れ幅 0.215mm では, 流速の減少傾向はみられなかったものの, ひび割れ幅 0.623mm においては水頭の増加につれ, わずかながら流速の減少が確認された. この結果によりトタン板を用いて再現した滑らかなカーブの屈曲構造でも少なからず, 流れの非ダルシー性に影響を及ぼすということがわかり, ひび割れ幅と形状が起因しているのではないかと考察した.

4. 解析的検討

実験で得たデータの実証として, 波状面のひび割れの内部を二次元で再現し, FEM 解析ソフト(comsol multi physics 3.5)を用いて動水勾配と流速の関係を解析した. 供試体作製時に使用したトタンと同じ形状空間を再現し, この空間を通過する液状水を支配する方程式として, 以下に表現される Navier-Stokes 式を採用した.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla)u = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 u + f$$

u : 速度ベクトル, p : 圧力, ρ : 密度, w : ひび割れ幅, ν : 動粘性係数, f : 単位体積あたりの流量に作用する外力ベクトル

図 5 にひび割れ幅 5mm における流速分布を示す. 小さいひび割れ幅では屈曲に沿うものの大きいひび割れでは, 屈曲に沿わず流下方向に向かって直線的な挙動を示していることが確認された. 解析結果と実験値を比較すると, 解析値は壁面摩擦のみを考慮した理論向がみられた. これらにより, 水理学的知見によると, ひび割れ幅を大きくした場合, 形状損失が無視できなくなる, その影響ではないかと考えられる.

5. まとめ

ひび割れが平滑面の場合, どのケースにおいても圧力と流速は線形関係にあり, 流速の減少傾向はみられなかった. また, トタン板を用いて再現した滑らかなカーブの屈曲構造でも少なからず, 流れの非ダルシー性に影響を及ぼすということがわかった. 解析結果により, ひび割れにおける流れは, 小さいひび割れ幅では屈曲に沿うものの, 大きいひび割れでは, 常に屈曲に沿わず流下方向に向かって直線的な挙動を示すということが実証された. 非ダルシー性については, ひび割れ幅が大きい場合, 動水勾配の増加による形状損失効果の割合が摩擦損失効果の割合よりも大きくなるために発生すると考えられる.

6. 参考文献

- 1) 早野博幸・野口貴文・栃木隆: ひび割れ面の粗さがコンクリートの水密性に及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文集, 2007.5
- 2) 平田直矢ほか: 単一ひび割れの内部構造がコンクリート中の液状水移動に与える影響, 卒業論文, 2009.2

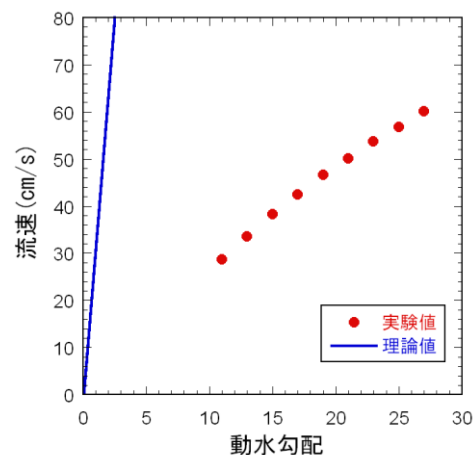


図 3 透水試験結果(波状面 0.623mm)

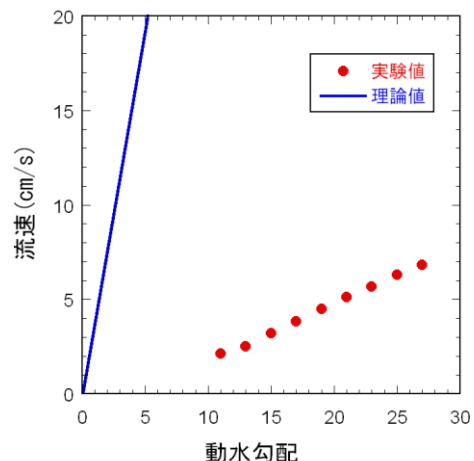


図 4 透水試験結果(波状面 0.215mm)

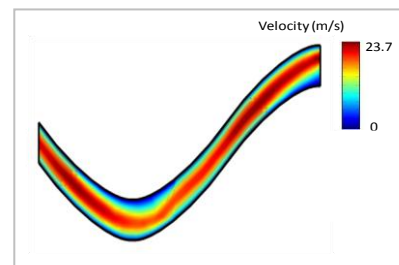


図 5 流速分布

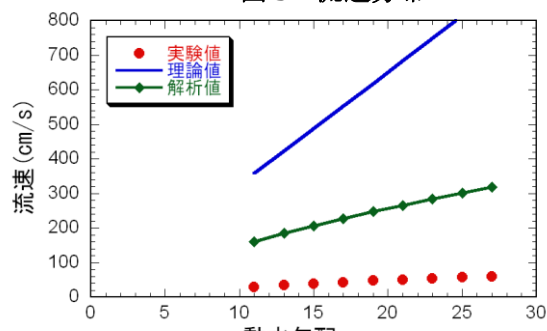


図 6 解析結果と実験値の比較