

V-325

コンクリートひび割れからの漏水量予測

鉄建建設(株) 正会員 柳 博文 福井大学 正会員 福原 輝幸
鉄建建設(株) 正会員 松岡 茂 鉄建建設(株) 正会員 清水 雄一

1. まえがき

コンクリートひび割れからの漏水は地下構造物の管理維持で大きな問題の一つになっている。特に最近では、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がさらに重要になっている。そこで今回、比較的大きなひび割れからの漏水メカニズムを明らかにするために漏水実験を行い、漏水量に関する理論的な検討を行った。

2. ひび割れ浸透流モデル

浸透流量のモデル化に際して、以下のような仮定を設ける。

- (1) ひび割れは、粗度高さ k の均一粗度の平行壁(平均幅 $2D$)に置き換える。
- (2) ひび割れ中の流れは平行粗面乱流である。ただし、粗度要素で囲まれた部分は死水領域とみなす。
- (3) ひび割れ奥行き(y)方向には一様な2次元流れであり、かつひび割れ中央について流速は対称である。

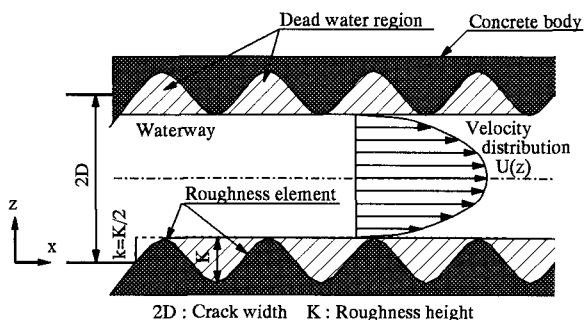


図-1 ひび割れ内浸透流の概念図

このようなひび割れ状況を図-1のような概念図で表現する。

図-1および上述した仮定に従うとき、厚さ $2(D-k)$ の平行壁間を流れる平均流方程式は x (流れ)方向および z (厚さ)方向について、それぞれ次式で与えられる。

$$x: -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} - \rho \frac{\partial uw}{\partial x} = 0 \quad (1), \quad z: -\frac{\partial P}{\partial z} - \rho \frac{\partial w^2}{\partial z} - \rho g = 0 \quad (2)$$

ここで、上述した k は粗度高さの $1/2$ 、すなわち $k=K/2$ である。式(1)中、 μ : 粘性係数、 ρ : 水の密度、 U : x 方向の平均流速、 u : x 方向の変動流速、 w : z 方向の変動流速、 P : 圧力、 g : 重力加速度、である。

ひび割れ内の乱流浸透流速分布が対数則に従うものとする、平均浸透流速 U_m は式(1)および式(2)から圧力勾配、ひび割れ幅、粗度高さおよび水の密度の関数として、以下のように表される。

$$U_m = \frac{[-(dP_0/dx)D]^{1/2}}{\kappa} \left\{ \frac{1-(k/D)}{\rho} \right\}^{1/2} \frac{[(D/k) \{ \ln(D/k) - 1 \} + 1]}{(D/k)} \quad (3)$$

ここに、 P_0 : 粗度表面での圧力、 κ : カルマン定数であり、圧力勾配 $dP_0/dx = \text{const.}$ と仮定する。

3. 漏水実験

供試体寸法は横800mm×縦1200mm×厚さ400mmとし、最大骨材寸法は、20mmである。供試体は材令1日で引張力を作用させてひび割れを発生させ、材令2日で実験を行った。ひび割れ幅は0.02mm～1.0mmまでは0.1mm刻みで、その後は0.5mm刻みで2.0mmまで測定した。水圧はそれぞれ1kgf/cm²(0.098MPa)～7kgf/cm²(0.686MPa)をかけた。ひび割れからの漏水量は、加圧後漏水量がほぼ一定になってから15秒～30秒毎に測定され、これを5分～10分続けた。また各実験ケースごとに水温を測定し、実験終了後にひび割れ長さを実測した。

4. 実験結果および考察

図-2に Re 数($=U_m 2D/\nu$)と、今回の実験値から求めた平均流速 U_m と摩擦速度 $u_* (= [-(dP_0/dx)D(1-k/D)/\rho]^{1/2})$ の比 U_m/u_* の関係を示す。図からわかるように、ひび割れ幅0.1mm以下でプロットにはばらつきがある。この原因は、ひび割れ幅が0.1mm～0.2mm以下ではひび割れが不連続な状態になる場合が多くなることによると考えられる¹⁾。平均流速は測定された漏水量をひび割れ断面積で除して算出しているので、ひび割れ

0.1mm～0.2mm以下（ひび割れが不連続な状態）では平均流速の算定方法または測定方法に問題があり、今後検討する必要がある。

従って、式(3)はひび割れが流れ方向全域にわたり、連続していると考えられる¹⁾ような0.1mm～0.2mm以上の大きなひび割れに対して適用される。

式(3)はまた、

$$U_m = C(D \nabla P)^{1/2} \quad (4)$$

のように表され、Cは

$$C = \frac{1}{\kappa} \left\{ \frac{1 - (k/D)}{\rho} \right\}^{1/2} \frac{[(D/k) \{ \ln(D/k) - 1 \} + 1]}{(D/k)} \quad (5)$$

となる。ここに、 $\nabla P = dP_0/dx$ 、 D ：ひび割れ半幅である。Cの値は実験結果を基に最小2乗法から決定され、 $C = 29.1$ となる。またこのとき、相対粗度の値として $k/D = 0.32$ を得る。

ひび割れ幅 $2D$ が変化すれば k/D も変化すると考えられるが、 k/D を一定とした近似式と実験値の相関係数は0.83となり、比較的高い値をとることから、実用上 k/D を一定値として漏水量を予測することができる。

岩盤における不連続面内の浸透現象はLouis²⁾により理論的、実験的に検討されている。この報告に従って、圧力 $P = 1 \text{ kgf/cm}^2 (0.098 \text{ MPa})$ 、 $3 \text{ kgf/cm}^2 (0.294 \text{ MPa})$ 、 $6 \text{ kgf/cm}^2 (0.588 \text{ MPa})$ の場合のLouisの式と実験値および式(4)による計算結果を図-3に示す。ひび割れ幅が0.1mm～0.2mm以上で、本文で提案した乱流浸透モデルはLouisによる乱流浸透の式と平行になる。しかし漏水量はLouisの式によるものより1オーダー小さい。これは岩盤割れ目に比べてコンクリート割れ目の方が相対粗度が大きいことにより、流れの抵抗が増大したためと考えられる。さらに、図中にはLouisによる層流浸透モデルの解（破線）が示される。層流域と乱流域の遷移ひび割れ幅は ∇P の増大と共に小さくなり、本実験条件下では0.2mm前後となる。

5. まとめ

以下に本研究で得られた成果を示す。

- (1) ひび割れ幅が0.1mm～0.2mm以下では、ひび割れが不連続な状態にあるため平均流速の算定方法または測定方法を検討する必要がある。
- (2) 実験結果からひび割れ幅が0.1mm～0.2mm以上では本文で提案した乱流浸透モデルから漏水量を予測できる。

しかしながら今回の解析は相対粗度を一定と考えているため、骨材の最大寸法等のコンクリート配合により値が変化することが考えられ、相対粗度の算定が今後の課題となるであろう。

〔参考文献〕

- 1) 柳 博文・福原 輝幸・松岡 茂・清水 雄一：コンクリートひび割れからの漏水メカニズムと漏水量予測、土木学会論文集投稿中
- 2) C.Louis: A Study of Groundwater Flow in Jointed Rock and Its Influence on The Stability of Rock Mass, Imperial College Rept., London, No. 10, Sept. 1969.

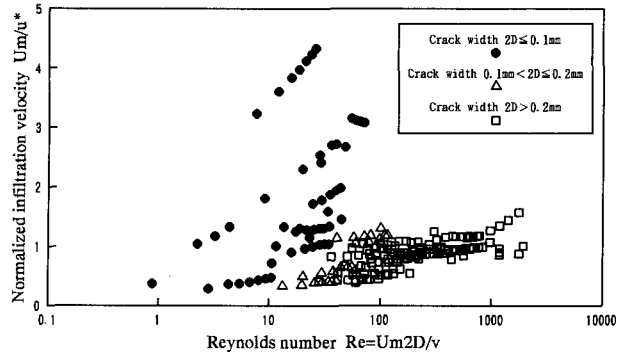


図-2 Re数と U_m/u^* (平均流速と摩擦速度の比)の関係

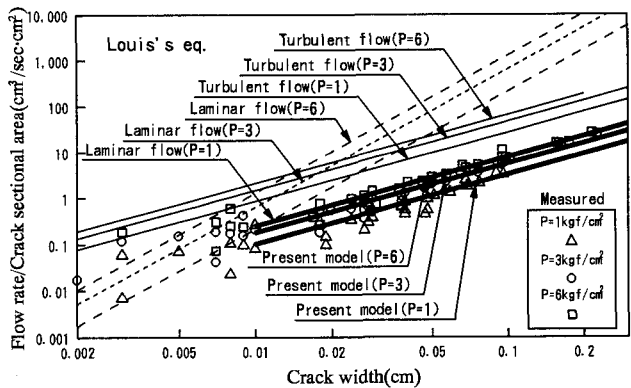


図-3 Louisの式および本乱流浸透モデルによる計算結果と実験結果の比較