

# コンクリートひび割れ内の透水性に関する一考察

鴻池組 土木本部 技術部 正会員 狩野裕之  
 鴻池組 土木本部 技術部 正会員 金好昭彦  
 鴻池組 土木本部 技術部 正会員 進士喜英  
 原子力環境整備センター 正会員 藤原 愛

## 1. はじめに

コンクリート壁の透水性はコンクリート壁に発生する初期ひび割れの影響を受け、さらに鉄筋の腐食によるひび割れの拡大によって経時的に増加すると考えられる。この現象を予測するためには、コンクリート壁に生じたひび割れの透水性に対する影響要因を定量的に評価する必要がある。本報告はコンクリートひび割れ内の透水性を岩盤亀裂の透水性と類似モデルとして考え、透水試験結果を評価したものである。

## 2. 試験概要

平行平板間を通過する流量  $Q$  は次式に示すように亀裂の幅  $b$  の三乗則で表すことができる<sup>1)</sup>。

$$Q = \frac{1}{f} \left( \frac{rg\ell}{12m} \right) b^3 i \dots \dots (1)$$

ここに、 $r$ :水の密度( $g/cm^3$ )、 $m$ :水の粘性係数( $g/cm \cdot s$ )  
 $g$ :重力加速度( $980cm/s^2$ )、 $i$ :動水勾配 [-]  
 $\ell$ :ひび割れ長さ(cm) (図1参照)

上式では、板面の粗さを考慮するために抵抗係数  $f$  (平滑時  $f=1$ ) を導入した。観察値  $b$  は供試体表面のものであるため、試験結果の整理では透水係数  $K$  単独ではなく透水量係数  $Kb$  の形で行うこととした。このように、コンクリート内部の亀裂幅を明確に知ることは困難であることから、表面観察亀裂幅  $b$  を用いた  $n$  乗則を評価することを試験目的とした。表1に  $Kb$  の算定式、図1に供試体寸法、図2に試験フロー、図3に試験装置の概念図を示す。

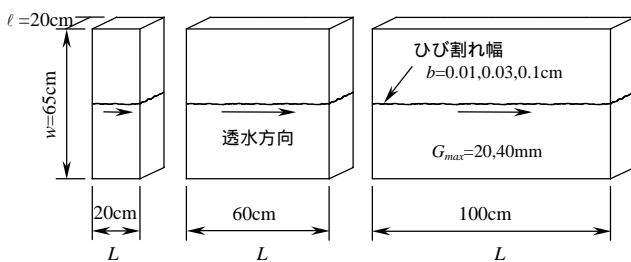


図1 供試体寸法

## 3. 試験結果と考察

表2に試験結果、図4に各供試体の  $i$  と  $Kb$  の関係を示す。図中の供試体記号は凡例の供試体条件を示す。動水勾配  $i = h/L$  における水頭差  $h$  は定水位試験では試験条件値、変水位試験では  $t-\log(h)$  グラフ直線部分の勾配 ( $\log(h) / h$ ) での平均水位差を用いた。試験結果  $Kb$  を試験条件に対して整理したところ、最大粗骨材寸法  $G_{max}$ 、透水延長  $L$  の影響はみられないが、 $b$  には大きく影響されている。

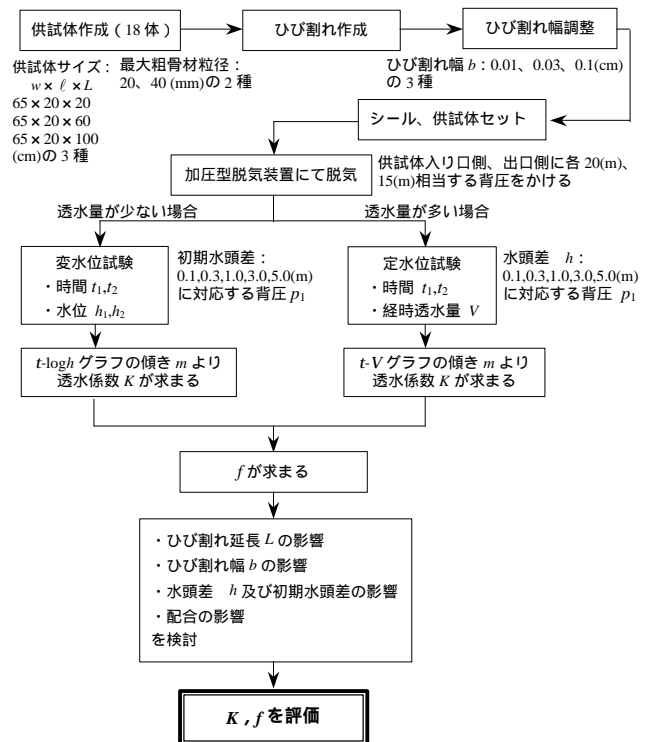


図2 試験実施フロー

表1 透水係数及び抵抗係数の算定式

|                      | 変水位試験  | 定水位試験                                   |
|----------------------|--|---|
| 透水量係数 ( $cm^2/sec$ ) | $Kb = 2.30 \frac{aL}{\ell} \cdot m_1$            | $Kb = \frac{1}{i \cdot \ell} \cdot m_2$ |
| 抵抗係数 (無次元)           | $f = \frac{rg}{12m} \cdot \frac{1}{K} \cdot b^2$ |   |

ただし、 $m_1$  は  $t - \log h$  グラフの傾き (変水位試験)、 $m_1 = (\log h) / t$   
 $m_2$  は  $t - V$  グラフの傾き (定水位試験)、 $m_2 = Q / t$

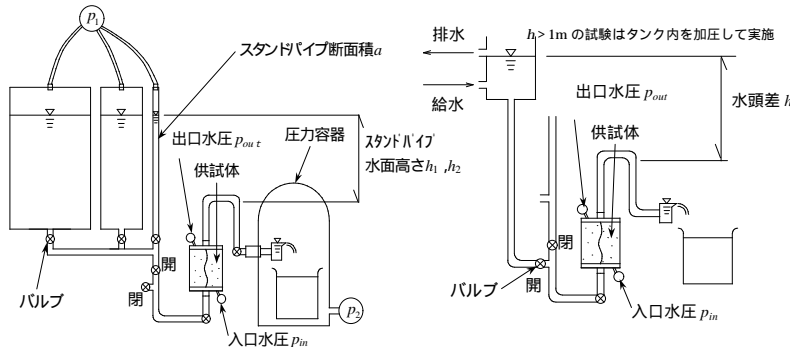
$a = \frac{pd^2}{4}$ ,  $d$ : スタンドパイプ内径

$i = \frac{\Delta h}{L}$ ,  $r$ : 水の密度( $g/cm^3$ )、 $m$ : 水の粘性係数( $g/cm \cdot s$ )

各入力パラメーターは  $cm, s$  系とする

キーワード：コンクリート、ひび割れ、透水試験、透水量係数

〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町 3-6-1 (株) 鴻池組土木本部技術部 TEL06(6244)3617 FAX06(6244)3676



(a)変水位透水試験装置 (b)定水位透水試験装置  
図3 透水試験装置概念図

表2 試験結果一覧

| ひび割れ幅<br>実測最小～<br>実測最大(cm) | 試験実施<br>動水勾配<br>iの範囲 | 透水係数<br>Kの範囲<br>(cm/s)                         | 透水量係数<br>Kbの範囲<br>(cm <sup>2</sup> /s)         | レイノルズ数<br>Reの範囲                               | 抵抗係数<br>fの範囲  |
|----------------------------|----------------------|--|--|---|---------------|
| 0.01<br>0.0073～<br>0.0166  | 0.14～<br>27.2        | 1.0×10 <sup>-2</sup> ～<br>5.8×10 <sup>-2</sup> | 1.1×10 <sup>-4</sup> ～<br>6.4×10 <sup>-4</sup> | 3.2×10 <sup>-5</sup> ～<br>3.4×10 <sup>0</sup> | 13.4～<br>97.4 |
| 0.03<br>0.0262～<br>0.0356  | 0.087～<br>25.1       | 9.2×10 <sup>-2</sup> ～<br>1.3×10 <sup>0</sup>  | 2.4×10 <sup>-3</sup> ～<br>1.0×10 <sup>-1</sup> | 2.4×10 <sup>-1</sup> ～<br>3.0×10 <sup>2</sup> | 1.6～<br>71.9  |
| 0.1<br>0.0903～<br>1.1199   | 0.090～<br>15.0       | 3.8×10 <sup>0</sup> ～<br>1.1×10 <sup>1</sup>   | 3.7×10 <sup>-1</sup> ～<br>1.0×10 <sup>0</sup>  | 3.8×10 <sup>-1</sup> ～<br>1.1×10 <sup>3</sup> | 3.0～<br>20.7  |

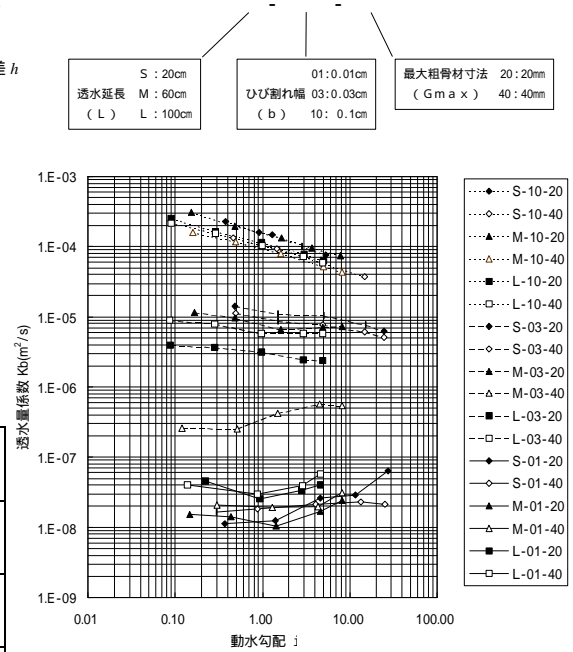


図4 透水量係数 Kb と動水勾配 i の関係

表3 今回の透水試験条件の範囲内で得られた推定式一覧  
(b 0.03cm, cm,s 単位系)

| 動水勾配 | 透水量係数推定式  | 透水係数推定式   | 抵抗係数 f' (注) |
|------|---|---|-------------|
| 0.5  | $\ln(K_{cm}b) = 2.639 \ln(b) + 6.485$<br>$K_{cm}b = 655 \times b^{2.639}$ | $\ln(K_{cm}) = 1.639 \ln(b) + 6.485$<br>$K_{cm} = 655 \times b^{1.639}$ | 12.26       |
| 1.0  | $\ln(K_{cm}b) = 2.519 \ln(b) + 5.967$<br>$K_{cm}b = 390 \times b^{2.519}$ | $\ln(K_{cm}) = 1.519 \ln(b) + 5.967$<br>$K_{cm} = 390 \times b^{1.519}$ | 20.60       |
| 4.0  | $\ln(K_{cm}b) = 2.302 \ln(b) + 5.063$<br>$K_{cm}b = 158 \times b^{2.302}$ | $\ln(K_{cm}) = 1.302 \ln(b) + 5.063$<br>$K_{cm} = 158 \times b^{1.302}$ | 50.84       |

注) 近似された抵抗係数 f' は平均ひび割れ幅を用いた従来の三乗則から得られた値(表2)と比較すると数倍大きく評価されているが、抵抗係数はべき乗則のべき数に関連しており 3乗則の場合の f' 値との関連はほぼ満たされている。

また、図4に示したレイノルズ数による乱流の確認からも b = 0.03cm では i を影響要因として考慮すべきであることがわかった<sup>2),3)</sup>。そこでいくつかの動水勾配毎に Kb-b の関係を整理したところ、b = 0.03cm では三乗則としての整理に信頼性が乏しいことから以下のべき乗の推定式を提案し、これを確認した。表3に推定結果を示す。ただし、M-03-40は図4より他の供試体に比べ適切な結果が得られていないと判断し、以下の計算では除外した。

式(1)のべき乗数を n, n べき乗での抵抗係数を f' とおき、b について解く(式(1)')。観測値が数オーダーにわたっていることを考慮し、両辺の対数をとると式(2)となる。さらに、b を [Kb] に対する観測値とみなして最小二乗近似を行うため、式(2)を変形して式(3)を得る。

$$b^n = \left( \frac{rg}{12mf'} \right)^{-1} \left( \frac{Q}{bli} \right) b = \left( \frac{rg}{12mf'} \right)^{-1} Kb \dots\dots(1)' \text{ より, } \ln(b) = \frac{1}{n} \ln\left(\frac{1}{A}\right) + \frac{1}{n} \ln([Kb]) \text{ ただし, } A = \frac{rg}{12mf'} \dots\dots(2)$$

$$\text{式(2)で } y = \ln(b), x = \ln([Kb]) \text{ とおくと, } y = C + Bx, C = \frac{1}{n} \ln\left(\frac{1}{A}\right), B = \frac{1}{n} \dots\dots(3)$$

式(3)の最小二乗近似より各係数を求めると、Kb と n べき乗での抵抗係数 f' は式(4)に示す近似式で与えられる。

$$Kb = \{\exp(C)\}^{-1/B} \{b\}^{1/B}, f' = \frac{rg}{12m} \{\exp(C)\}^{1/B} \dots\dots(4)$$

表3より、b = 0.03cm では動水勾配によりひび割れ幅の三乗より小さい 2.3～2.6 乗に比例する結果となった。

#### 4. まとめ

今回の試験よりコンクリートひび割れの透水性はひび割れ幅 b と動水勾配 i に依存することから b のべき乗の推定式を提案した。しかし、今回の試験は限られた条件範囲内で実施されたものであり、b や i が試験条件外になれば、試験結果の外挿による推定となることに注意が必要である。

#### 参考文献

- 1)地下水ハンドブック, pp.63-64,1976 .2) Witherspoon,P.A,et.al.,Validity of Cubic Law for Fluid Flow in a Deformable Rock Fracture,Water Resources Research,Vol.16,No.6,1016-1024,1980 .3)岩佐義朗,水理学,朝倉書店,pp.43-44,1967 .