

V-18

表面ひび割れを有するコンクリートの遮水性に関する解析的検討

東北学院大学 学生員 ○高橋真一
東北学院大学 正会員 遠藤孝夫

1. 序論

コンクリートは、地下構造物や海上構造物に使用されることが多く、そのため水密性を確保することが機能性耐久性および安全性の点から重要である。コンクリート部材には、通常曲げ応力や乾燥収縮が生じており、表面ひび割れが発生する場合が多く、この時コンクリートの水密性は大幅に低下するものと考えられる。これまで、貫通ひび割れを有するコンクリートの遮水性に関する研究はおこなわれてきたが、表面ひび割れを有するコンクリートの遮水性に関する研究はほとんど実施されてこなかった。

本研究は、表面ひび割れを有するコンクリートの止水性能を有限要素法を用いた浸透流解析により解析し、表面ひび割れを有するコンクリートの止水性能を評価できる手法を検討するものである。

2. 支配方程式

本研究では、コンクリート中における水分の移動を土中における浸透流に近いものとする。

土の中を水分が移動する際に、その移動を支配する基礎方程式は、連続の式とダルシーの方程式より二次元問題に対して次式で表される。不飽和領域内の単位要素内の浸透の水収支式は、コンクリートの間隙中が水で満たされていないので、単位要素内の水量を表示するに際して、間隙率を用いることができない。従って、間隙中の単位体積（ V ）あたりの水量（ V_w ）を表すパラメーターとして体積含水率（ θ ）を用いる。すなわち

$$\theta = \frac{V_w}{V} \quad \dots \dots \dots (1)$$

飽和土中の一次元浸透流の連続方程式は、
$$\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad \dots \dots \dots (2)$$

また、 $v=ki$ とすれば
$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial h}{\partial x} \right) = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad \dots \dots \dots (3)$$

全水頭（ h ）を次のように圧力水頭（ ψ ）と位置水頭（ z ）に分離して考える。

$$h = \Psi + z \quad \dots \dots \dots (4)$$

式（4）を式（3）に代入し、右辺も ψ の変数に直すと支配方程式は、次式のようになる。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial (y+z)}{\partial x} \right) = \frac{\partial n S_w}{\partial t} = n \frac{\partial S_w}{\partial t} + \frac{\partial n}{\partial t} = (C + a S_s) \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad \dots \dots \dots (5)$$

ここに

$$\alpha = \begin{cases} 0 : \text{不飽和領域} \\ 1 : \text{飽和領域} \end{cases} \quad \text{また、} \quad S_s = \frac{\partial n}{\partial \psi} : \text{非貯留係数}$$

$$C(\psi) = \frac{\partial \theta}{\partial \psi} : \text{非水分容量}$$

S_w は飽和度（ $0 < S_w < 1$ ）である。また C は比水分容量で θ - ψ の関係（水分特性曲線）の勾配の値である。

3. 解析手法

表面ひび割れを有するコンクリートの遮水性を評価するために、ひび割れがある場合の浸透流量： Q をひび割れ間隔： H 、ひび割れ深さ： D 、部材厚： W をパラメーターとし、毛管ポテンシャル理論にもとづいた2次元有限要素法-浸透流解析プログラム（PC-UNSAF）を用いて求める。これにより、表面ひび割れを有するコンクリートの遮水性を浸透流量により評価する。

解析条件を表-1に示す。

本解析では、地下約10m（水圧1kgf/cm²）にある部材厚50cm程度のコンクリート構造物を対象とした。ひび割れは荷重作用による曲げひび割れを想定し、ひび割れ深さ及びひび割れ間隔の水準を設定した。

解析モデルは、図-1の概念図に示すようなひび割れが発生したコンクリート部材のうち、ひび割れに対して

上下対象の上半分（斜線部）をモデル化した。要素に分割したモデルを図-2に示す。ひび割れからの浸透の影響は、ひび割れ部を圧力境界とし、ひびわれ部に相当する要素接点に水圧を作用させることで評価することとした。また、解析モデルの上下面のコンクリート健全部は不透水境界とした。

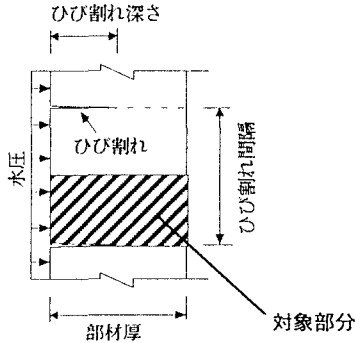


図-1 解析モデル概念図

表-1 解析条件

項 目	入 力 値
部材厚 W	50 cm
水 頭 P	10 cm
ひび割れ深さ D	5, 10, 20, 30, 40 cm
ひび割れ間隔 H	10, 20, 40, 80 cm
透水係数 K	1.0×10^{-10} cm/sec
飽和体積含水率 = 有効空隙率 $n_s = \theta_s$	0.05
最小含水量 θ_r	0.01

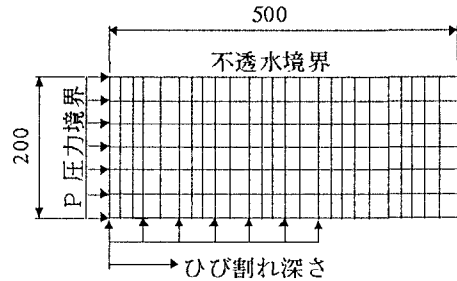


図-2 要素分割図 (例 H: 40 cm D: 30 cm)

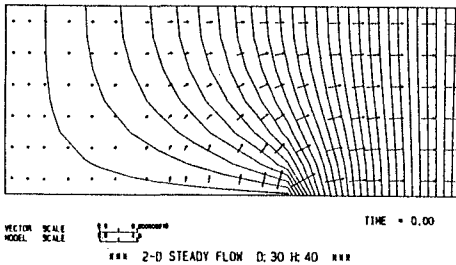


図-3 解析結果例

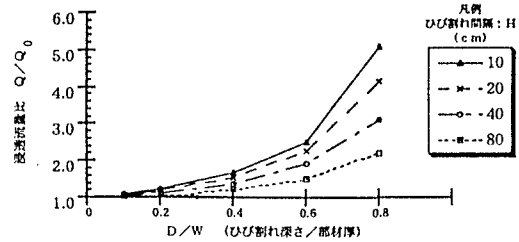


図-4 浸透流量比

4. 結果と考察

解析結果の一例として、図-3に浸透流の流速ベクトルと水圧の等圧線を記したものを示す。

解析結果を正規化するために浸透流量比 (Q/Q_0) を算定する。 Q_0 は、ひび割れのない健全なコンクリートの浸透流量をダルシーの法則により求めたものである。この結果から、表面ひび割れを有するコンクリートの遮水性能をひび割れ間隔 H 、ひび割れ深さ D 、部材厚 W を変数とした浸透流量比により評価した。

浸透流量比 (Q/Q_0) と、ひび割れ深さ/部材厚 (D/W) の関係を図-4に示す。図-4の結果を基に Q/Q_0 と D/W の関係を最も回帰精度がよいと判断される回帰式で近似した。

すなわち、表面ひび割れを有するコンクリートは健全なコンクリートに比べて見かけ上の透水係数が Q/Q_0 倍になり、浸透流量比は、透水係数・水圧とは無関係にひび割れ深さ: D 、ひび割れ間隔: H 、部材厚: W により決定できる。今後は実験により検討を進めたい。

(参考文献) 名倉健二、辻村捷太郎、遠藤孝夫、広永道彦：ひび割れを有するコンクリートの止水性能に関する解析的検討コンクリート工学年次論文報告集、Vol14、No.1、PP.723-726、