

報 告

[1123] ひびわ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

正会員○名倉健二 (清水建設土木本部)

辻村捷太郎 (清水建設原子力本部)

正会員 遠藤孝夫 (電力中央研究所)

正会員 広永道彦 (電力中央研究所)

1. はじめに

浄水場・下水処理場、海洋構造物、放射性廃棄物処分施設等のコンクリート構造物に要求される品質のひとつに水密性がある。これらの構造物の水密性を確保することは、機能性、耐久性および安全性の上から重要な問題である。

コンクリート自体の水密性については従来から多くの研究がされている[1]。一方、コンクリート自体は水密性の高い密実なコンクリートであっても、ひびわれ等の欠陥が発生している場合には、この部分が水みちとなり漏水あるいは透水により水密性が大幅に低下する。ひびわれのうち、貫通ひびわれを有するコンクリートの止水性能を評価する手法として、ひびわれからの漏水量を求める2, 3の実験式が提案されている[2][3]。しかし、曲げ、乾燥収縮あるいは鉄筋腐食等により発生する表面ひびわれを有するコンクリートの水密性についての研究はほとんどされていないのが現状である。

本報告は、表面ひびわれを有するコンクリートの止水性能を評価する特性として浸透流量に着目し、有限要素法を用いた浸透流解析によりパラメータ解析を行い、この結果から表面ひびわれを有するコンクリートの止水性能を簡易に評価できる手法を提案したものである。

2. 解析概要

2. 1 解析手法

表面ひびわれを有するコンクリートの止水性能を評価するために、ひびわれがある場合の浸透流量 $Q$ をひびわれ間隔 $H$ 、ひびわれ深さ $D$ 、部材厚 $W$ をパラメータにし、毛管ポテンシャル理論に基づいた二次元有限要素法による浸透流解析を用いて求める。さらに、ひびわれがない場合の浸透流量 $Q_0$ をDarcy則により求め、 $Q$ と $Q_0$ との浸透流量の比を算定する。この結果から、表面ひびわれを有するコンクリートの止水性能は、次式に示すようにひびわれ間隔、ひびわれ深さ、および部材厚を変数とした浸透流量比により評価するものとする。なお、表面ひびわれのひびわれ幅は部材厚、ひびわれ間隔に比べてかなり小さいため、浸透流量に大きな影響を及ぼさないことから、本検討ではパラメータには入れないものとした。

$$Q/Q_0 = f(H, D, W)$$

ここに、 $Q$  : ひびわれがある場合の浸透流量 (解析値)

$Q_0$  : ひびわれがない場合の浸透流量 (Darcy則)

$H$  : ひびわれ間隔

$D$  : ひびわれ深さ

$W$  : 部材厚

## 2. 2 解析条件

解析条件を表-1に示す。

本解析では、地下約10m（水圧1 kgf/cm<sup>2</sup>）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。ひびわれは荷重作用による曲げひびわれを想定し、ひびわれ深さおよび間隔の水準を設定した。また、化学的腐食などの作用による部材厚の減少を想定し、部材厚の水準を設定した。なお、ひびわれ幅は部材厚、ひびわれ間隔に比べてかなり小さいため、浸透流量に大きな影響を及ぼさないことを予備解析により確認し、パラメータには入れていない。

表-1 解析条件

項目	水 準
透水係数 K (cm/sec)	$1 \times 10^{-10}$
部材厚 W (3水準) (cm)	50, 46, 42
水 頭 P (m)	10
ひびわれ深さ (5水準) D (cm)	5, 10, 20, 30, 40
ひびわれ間隔 (5水準) H (cm)	10, 20, 40, 80, 120

## 2. 3 解析モデル

解析モデルは、図-1の解析モデルの概念図に示すようなひびわれが発生したコンクリート部材の斜線部を取り出してモデル化した。解析モデルの一例を図-2に示す。解析モデルはひびわれ位置を中心とした上下対称の上半分をモデル化している。

ひびわれからの浸透の影響は、ひびわれ部を圧力境界とし、ひびわれ部に相当する要素節点に水圧を作用させることで評価するものとした。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。

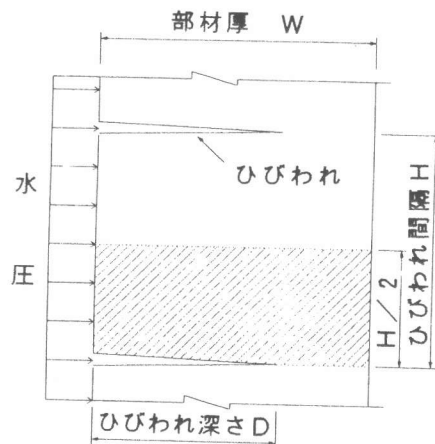


図-1 解析モデルの概念図

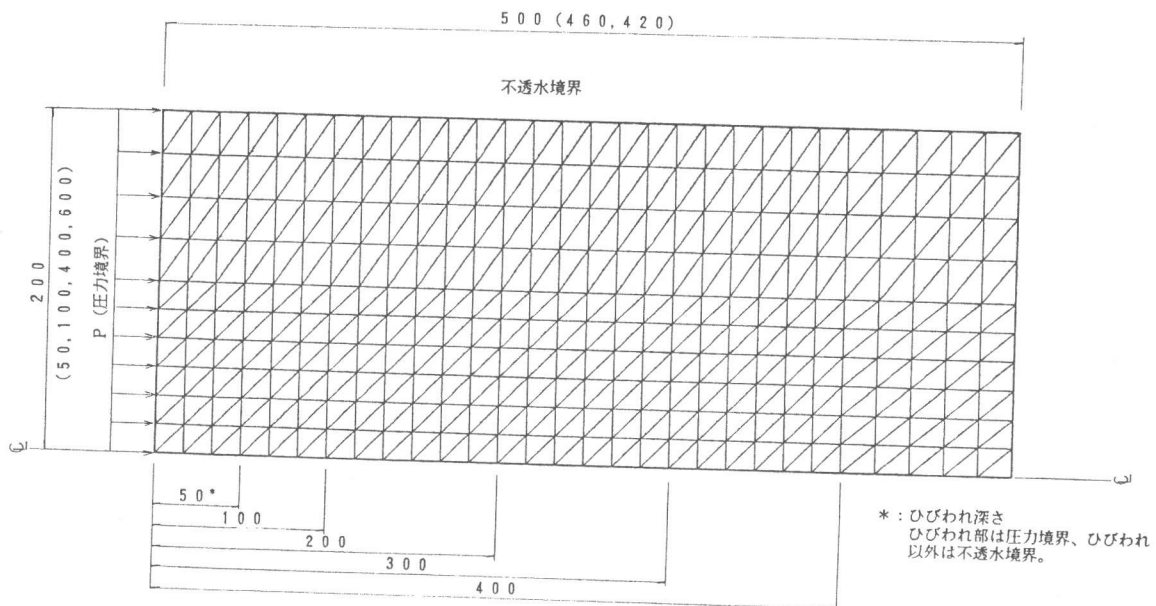


図-2 解析モデル図

(部材厚50cm、ひびわれ間隔40cmの場合)

### 3. 解析結果および考察

解析結果の一例を図-3に示す。また、ひびわれ深さ、ひびわれ間隔ごとに浸透流量を求めた結果を図-4に示す。なお、解析モデルの浸透幅は解析上、図-2に示したようにひびわれ間隔としているため、浸透流量に及ぼすひびわれ間隔の影響を正規化する必要がある。

解析結果を正規化するために、各々の部材厚、ひびわれ深さおよびひびわれ間隔における浸透流量をひびわれがない場合の浸透流量で除して、浸透流量比 ( $Q/Q_0$ ) を定義した。さらに、ひびわれ深さと部材厚との比 ( $D/W$ ) をとることにより、部材厚のパラメータについても正規化した。浸透流量比は、透水係数、水圧とは無関係にひびわれ深さ、ひびわれ間隔および部材厚の3つの要因で決定できる。

ひびわれ深さと部材厚との比 ( $D/W$ ) およびひびわれ間隔 ( $H$ ) をパラメータにして浸透流量比を求めた結果を表-2に示す。

表-2の結果を基に、各ひびわれ間隔ごとにひびわれ深さと部材厚との比 ( $D/W$ ) と浸透流量比 ( $Q/Q_0$ ) との関係をもっと回帰精度がよいと判断された双曲線近似した結果を図-5に示す。双曲線近似は、次式を用いた。

$$Q/Q_0 = \frac{D/W}{a - b \cdot D/W} + 1$$

ここに、 $a$ 、 $b$  : 回帰係数

図-5に示すように、回帰式はよく適合している。各々の回帰式における回帰係数  $a$ 、 $b$  についてはひびわれ間隔 ( $H$ ) との相関が認められ、次式で回帰できる。

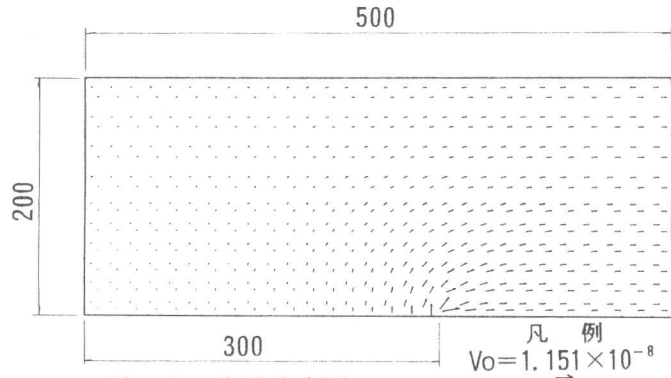


図-3 流速分布図  
(ひびわれ間隔40cm, ひびわれ深さ30cm)

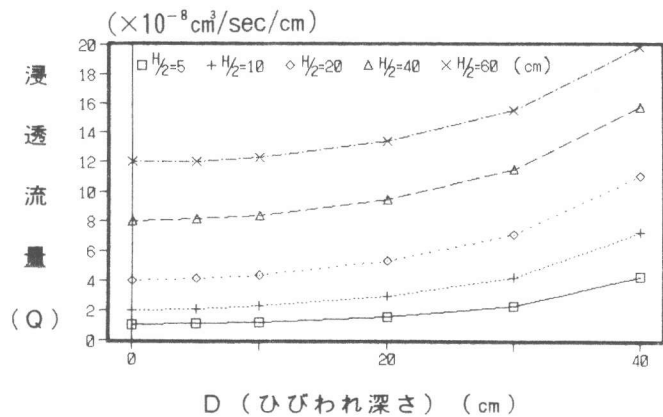


図-4 ひびわれ深さと浸透流量との関係  
(部材厚50cm)

表-2 浸透流量比

部材厚 W (cm)	ひびわれ深さ D (cm)	D/W	ひびわれ間隔 H (cm)				
			10	20	40	80	120
50	0*	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	5	0.100	1.074	1.046	1.024	1.012	1.004
	10	0.200	1.201	1.146	1.086	1.045	1.030
	20	0.400	1.580	1.478	1.325	1.178	1.120
	30	0.600	2.309	2.097	1.777	1.439	1.296
	40	0.800	4.303	3.624	2.764	1.977	1.657
46	0*	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	5	0.109	1.081	1.051	1.026	1.103	1.009
	10	0.217	1.222	1.161	1.094	1.049	1.033
	20	0.435	1.663	1.542	1.363	1.197	1.132
	30	0.652	2.606	2.318	1.907	1.501	1.336
	40	0.870	6.037	4.707	3.319	2.241	1.831
42	0*	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	5	0.119	1.089	1.055	1.029	1.015	1.010
	10	0.238	1.248	1.179	1.104	1.054	1.036
	20	0.476	1.776	1.626	1.412	1.221	1.148
	30	0.714	3.076	2.651	2.090	1.588	1.393
	40	0.952	11.537	7.899	4.729	2.927	2.287

\*ひびわれが発生していない場合は Darcyの法則により浸透流量を計算する。

$$\begin{cases} a = 0.0793H + 0.5672 \\ b = 0.0831H + 0.5340 \end{cases}$$

以上の結果から、表面ひびわれが発生している場合と発生していない場合の浸透流量比は、ひびわれ深さ、部材厚およびひびわれ間隔を変数とした以下の式で近似できる。

$$Q/Q_0 = \frac{D/W}{(0.0793H + 0.5672) - (0.0831H + 0.5340)D/W} + 1$$

ここに、 $Q$  : 任意のひびわれ深さ、部材厚およびひびわれ間隔の単位奥行当りの浸透流量 ( $\text{cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$ )

$Q_0$  : ひびわれが発生していない場合の単位奥行当りの浸透流量 ( $\text{cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$ ),  $Q_0 = K \cdot P / W \cdot A$

$D$  : ひびわれ深さ (cm)

$W$  : 部材厚 (cm)

$H$  : ひびわれ間隔 (cm)

$K$  : コンクリート透水係数 (cm/sec)

$P$  : 水頭 (cm)

$A$  : 透水面積 ( $\text{cm}^2/\text{cm}$ ),  $A = H$

すなわち、表面ひびわれを有するコンクリートのひびわれ深さ、部材厚およびひびわれ間隔がわかれば、その止水性能を浸透流量比で評価ができる。また、表面ひびわ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  $Q/Q_0$  倍になるとの評価ができる。

#### 4. まとめ

表面ひびわれを有するコンクリートの水密性を評価するために、二次元有限要素法による浸透流解析結果を基に、ひびわれ深さ、部材厚およびひびわれ間隔を変数とした止水性能評価式を提案した。今後は、実験等により実構造物への適用性について検討し、精度の向上をはかる予定である。

#### 参考文献

- 1) 村田二郎：コンクリートの水密性の研究、土木学会論文報告集第77号、PP.69-103、1961.11
- 2) 渡部直人：発電所廃棄物陸地貯蔵・処分用コンクリートピットの水密性に関する研究－ひびわれ部および継目部の透水性評価－、電力中央研究所報告・研究報告、1987.9
- 3) 伊藤忠彦ほか：ひびわれを有するコンクリートの高水圧下における漏水量について、土木学会第44回年次学術講演会、PP.412-413、1984.10

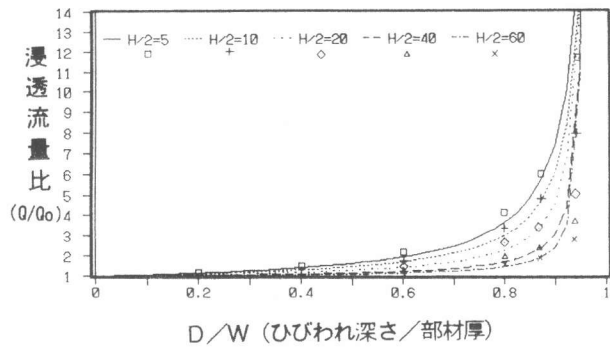


図-5 浸透流量比の双曲線近似

表-3 双方曲線近似の回帰係数

ひびわれ間隔 H (cm) 係数*	1 0	2 0	4 0	8 0	1 2 0
a	1.602	2.153	3.522	6.675	10.289
b	1.622	2.193	3.634	6.929	10.728

\* : 双曲線近似  $Q/Q_0 = \frac{D/W}{a - b \cdot D/W} + 1$