

## トランジェントパルス法及び水銀圧入法を用いた難透水性モルタルの透水係数

大成建設（株）土木技術研究所	正会員	宮原 茂禎
〃	正会員	大脇 英司
〃		石原 明日子
〃		五十嵐 孝文

## 1. はじめに

高、低レベル放射性廃棄物埋設施設の検討と関連して、モルタル、コンクリートの透水係数を正確に把握する手法の確立が期待されている。本研究では、従来の透水試験法（アウトプット法、インプット法）では測定不可能であった、難透水性モルタルの透水係数を求める手法を確立することを目標とし、その手法として注目され始めている、トランジェントパルス法、および、水銀圧入式ポロシメータにより測定した空隙構造から透水係数を予測する方法（水銀圧入による方法）について、従来の試験による透水係数と比較し、その有用性を検討した。

## 2. 測定方法

アウトプット法は中空円筒形（100×200mm、内径 26mm）の供試体を用い、上下端面をシールして、柱面に水圧 2.0MP を加え透水させた。インプット法は 150×150mm の円筒供試体を用い、1.5MP の水圧で試験を行った。

トランジェントパルス法の測定原理を図 1 に示す。トランジェントパルス法は、試料（50×50mm）の上下流に設置された一定圧力で平衡している貯水槽にパルスの圧力差  $H$  を与え、試料中の透水による圧力の減衰曲線から式（1）により、一次元非定常状態での透水係数を求める方法<sup>1)</sup>である。

$$\frac{h_1 - h_2}{H} = \exp\left[-\frac{V_u + V_d}{V_u \cdot V_d} \cdot \frac{K \cdot A \cdot t}{l \cdot C_w \cdot \gamma_w \cdot g}\right] \quad (1)$$

$h_1$ 、 $h_2$ ：上下側貯留槽の水圧、 $H$ ：パルス幅、 $V_1$ ：上流貯留槽の容積、 $V_2$ ：下流貯留槽の容積、 $A$ ：試料の断面積、 $l$ ：試料の長さ、 $C_w$ ：水の圧縮率、 $\gamma_w$ ：水の比重、 $g$ ：重力加速度

水銀圧入による方法は、Katz-Thompson により考案<sup>2)</sup>された、水銀圧入法により得られた細孔径分布の解析から式(2)により透水係数を予測する方法である。水銀圧入法であるため、従来の透水試験のような大きな供試体を作製する必要がなく、また短時間の測定により透水係数を予測することができる。

$$k = \frac{1}{226} \cdot l_c^2 \cdot \frac{l_{max}^e}{l_c} \cdot \phi \cdot S(l_{max}^e) \quad (2)$$

$k$ ：透水係数 (darcy 1 darcy =  $10^{-12} \text{m}^2 = 9.66 \times 10^{-6} \text{ (m/s)}$ )

$l_c$ ：水銀圧入により決定される特性半径で、積算空隙曲線を圧力で微分 ( $dV/d(\log P)$ ) して得られる曲線の極大値、 $\phi$ ：空隙率、 $l_{max}^e$ ：0.34 $l_c$ 、 $S(l_{max}^e)$ ：空隙径  $l_{max}^e$  以上の空隙の割合

$l_c$ 、 $S(l_{max}^e)$  は水銀圧入式ポロシメータの測定結果から求めた。

## 3. 試験体の作製

透水試験に用いたモルタルはすべての試験体で細骨材の量を同じにした。セメントはシリカフェ - ムを 20% 混合し、水セメント比は 1.0、0.7、0.5、0.40、0.3、0.2 とした。練混ぜ、成型後 1 日で脱型し、80 の湿

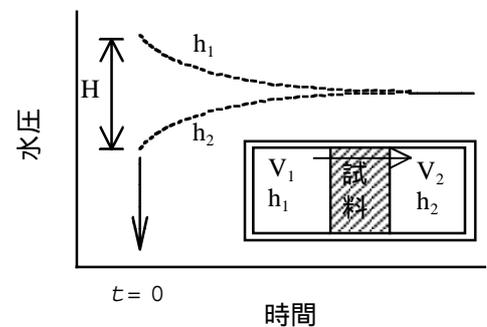


図1 トランジェントパルス法の測定原理

空中で3日間養生し、反応を促進させたのち各種透水試験を実施した。

#### 4. 結果及び考察

表1に圧縮強度および水銀圧入により求めた空隙率を示す。図2に圧縮強度と各種透水試験で求めた透水係数の関係を示す。アウトプット法では、 $W/C=0.7$ 以上のモルタルにおいて透水係数の測定が可能であった。それより低水セメント比では1ヶ月以上経過しても通水しなかった。 $W/C=0.7$ のモルタルの透水係数は $10^{-11}$  (cm/s)のオーダーであり、これがアウトプット法の測定下限であると考えられる。

インプット法は $W/C=0.7\sim 0.4$ で測定可能であった。 $W/C=1.0$ の場合は、早期に透水したため、測定できなかった。インプット法、アウトプット法ともに測定可能であった $W/C=0.7$ の試験体でのアウトプット法の透水係数は $10^{-11}$  (cm/s)程度、インプット法の拡散係数は $10^{-3}$  (cm<sup>2</sup>/s)程度であり、拡散係数に $10^{-8}$ を乗じて透水係数の目安とする、既往の研究結果とよく一致する<sup>3)</sup>。

トランジェントパルス法は難透水性の岩石の透水係数測定法として考案されたもので、本研究ではセメント系材料への適用を計った。トランジェントパルス法はインプット法では水の侵入深さが小さく測定不可能であったモルタルの測定が可能であった。また、圧縮強度の増加とともに透水係数も小さくなった。トランジェントパルス法では、アウトプット法やインプット法と比べて、低強度では透水係数を小さく評価し、強度が増加すると大きな透水係数を示した。この理由については更に検討が必要である。

水銀圧入による方法は岩石中の電気伝導率と透水係数の予測法として提案されたもので、低水セメント比のペーストに適用された報告がある<sup>4)</sup>。

透水係数は、40 (N/mm<sup>2</sup>)以上では強度の増加とともに透水係数が小さくなった。それ未満の強度では小さな値を示した。これは、セメントは岩石とは異なり、空隙構造が複雑であるため、実際の透水に関わる空隙径と水銀圧入の解析で考慮する空隙径の関係が表現できていないためと考えられる。

#### 4. まとめ

難透水性モルタルの透水試験法として注目されているトランジェントパルス法、水銀圧入による方法について従来のインプット法、アウトプット法による透水試験との比較を行った。その結果、トランジェントパルス法により、難透水性モルタルの透水係数を測定できることを示した。しかし、インプット法、アウトプット法との関連性については、今後、更なる検討が必要である。

#### 参考文献

- 1) W. F. Brace, J. B. Walsh, W. T. Frangos: Permeability of Granite under High Pressure, Journal of Geophysical Research, Vol.73, No.6, pp2225-2236, 1968
- 2) A. J. Katz, A. H. Thompson: Prediction of Rock Electrical Conductivity From Mercury Injection Measurement, Journal of Geophysical research, VOL. 92, NO. B1, pp.599-607, JANUARY, 1987
- 3) 村田二郎: コンクリートの水密性の研究、土木学会論文集、第77号、pp.69-103、11、1961
- 4) 例えば、A. S. EL-Dieb, R. D. Hooton: Evaluation of the Katz-Thompson Model for Estimating the Water Permeability of Cement-Based Materials From Mercury Injection Porosity data, Cem. Concr. Res, VOL. 24, NO.3 pp. 443-455, 1994

表1 各試験体の圧縮強度、空隙率

水セメント比	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	空隙率 (VOL%)
1.0	10.5	28.6
0.7	28.7	23.9
0.5	40.3	22.9
0.4	39.7	21.6
0.3	53.3	18.6
0.2	106.8	11.2

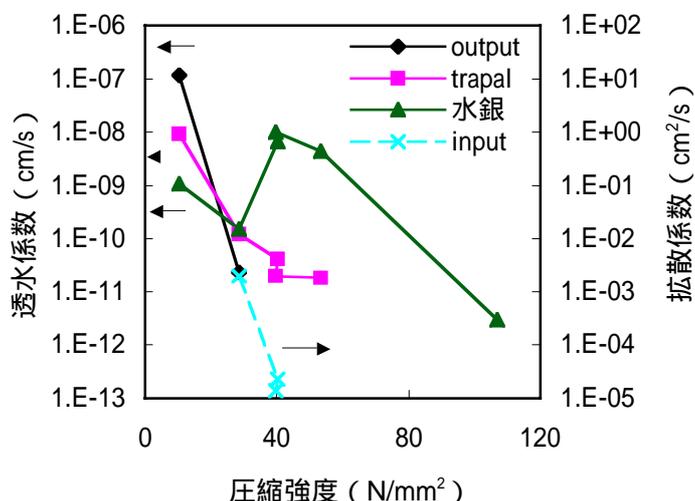


図2 圧縮強度と透水係数の関係