

人工バリア・セメント系材料の透水・拡散係数測定方法の検討

(財) 電力中央研究所 正会員 ○坂田英一 広永道彦
東京電力株式会社 吉沢勇二
(株)シー・アール・エス 小松進一

1. はじめに

従前、埋設処分施設におけるセメント構造物のバリア機能としては、高アルカリ性環境による核種溶解度の低下や高い吸着性能が期待されてきた。しかし、処分対象廃棄物の放射能濃度の上昇に伴い、セメント構造物の低透水・拡散性能等の物理的な性能も期待され始めている。ここでは、透水係数の目標値として $1 \times 10^{-13} \text{m/s}$ を想定し、既往の試験方法の適用性について調査を行った上で比較試験を行った。本報ではその結果について報告する。

2. 既往の試験方法に関する調査

セメント系・粘土・岩盤の各材料分野において、近年行われている低透水材料を対象とした透水試験方法を中心に、それらの測定方法や評価式および特徴について比較整理を実施した。その結果、低透水材料を対象とした透水試験方法としては、測定値のオーダーと実績、信頼性なども勘案した結果、低透水領域で卓越すると考えられる水蒸気による水分移動を測定対象とした「水蒸気拡散法」¹⁾、および岩盤分野での低透水材料を対象に実績がある「トランジェントパルス法」²⁾が有望であると考えられた。

3. 比較試験

(a) 試験方法

既往の試験方法に関する調査結果を踏まえ、従来法としてのアウトプット法／インプット法に、水蒸気拡散法、トランジェントパルス法を加えた4種の透水・拡散試験方法を選定し、配合条件を統一した試験体による比較試験を実施した。試験検討フローを図1に示す。

試験体は、目標とする2水準の透水係数（低透水； $1 \times 10^{-13} \text{m/s}$ 程度、比較用； $1 \times 10^{-9} \text{m/s}$ 程度）に対応して、反応性パウダーコンクリート（RPC）と普通ポルトランドセメント（OPC）を使用し、同一バッチで各3体をモルタルベースで作成した。各試験方法の試験手順を表1に、試験体形状を表2に、「低透水試験体（RPC）」および「比較試験体（OPC）」の配合を表3および表4に示す。

(b) 試験結果

比較試験で得られた、各試験体の透水係数・拡散係数の値を、試験時材令とともに表5に示す。



図1 比較試験における検討フロー

表1 各試験の試験手順

アウトプット法
①打設・養生・研磨・乾燥 ②試験容器内設置・水密化 ③定常状態が得られるまで継続（φ15cm 通常、480～680h）
インプット法（浸透深さ法）
①打設・養生・研磨・乾燥 ②試験容器内設置・水密化 ③所定水压を所定時間加える（10～20kgf/cm ² 、48h 程度） ④JISA1118に従い薄膜法、直ちに水の浸透部を着色し撮影 ⑤印刷上で断面の全面積及び水の浸透部面積を測定
水蒸気拡散法
①空率・飽和度の算定 ②アクリル容器内に純水を入れ供試体セット ③恒温水槽内に設置、EPS断熱 ④乾燥剤を入れた筒発量測定用カバーを供試体上部に被せ、周囲をシリコン糊剤（複数供試体を同時測定）
トランジェントパルス法
①試験体両端とも圧力セルで閉塞する（圧力値 5～10 kgf/cm ² ）。 ②片方のセルの圧力を瞬時に上げて、他方セル内の圧力上昇過程を評価する。パルス圧 0.3MPa 程度（層流条件）。

人工バリア，セメント，透水係数，拡散係数，試験法

連絡先：〒270-1194 TEL 0471-82-1181 FAX 0471-83-2962

「低透水試験体（RPC）」の3体は、アウトプット法／インプット法ではいずれも水分の浸透が全く認められなかった。また、水蒸気拡散法では水蒸気拡散係数 D_{vap} として $6.57E-7m^2/s \sim 7.79E-7m^2/s$ と同一オーダーの評価結果が得られ（柳ら³⁾の提案式による透水係数の推定値は平均値で $3.7E-14m/s$ に相当）、トランジェントパルス法では、 $1.75E-13m/s \sim 4.52E-15m/s$ と過去の岩盤における測定実績以下の低透水領域の評価結果が得られているものの、その値にバラツキが認められた。

一方、「比較用試験体(OPC)」の3体は、アウトプット法では $1.0E-9m/s \sim 3.0E-9m/s$ 、インプット法では拡散係数で $2.60E-6m^2/s \sim 3.45E-6m^2/s$ 、水蒸気拡散法では D_{vap} として $1.99E-6m^2/s \sim 2.45E-6m^2/s$ （平均値で透水係数の推定値は $5.9E-9m/s$ に相当）と、いずれも同一オーダーの測定値が計測されている。一方、トランジェントパルス法では、想定値よりかなり小さい $1E-12m/s$ オーダーの透水係数が得られた。

4. 考察

「低透水試験体」における比較試験の結果からは、従来用いられてきた試験法では評価が困難であることが判明した。また、水蒸気拡散法では、測定値の再現性が認められる傾向が得られたが、空隙率の測定値が評価結果に及ぼす影響については、さらに吟味を要する。トランジェントパルス法では、過去の岩盤における測定実績以下の低透水領域の評価結果が得られたものの、バラツキが大きいため、完全飽和の仮定や収束判定条件について吟味を要すると思われる。同一試験体を転用することによる、固体間のバラツキ排除なども、両試験法の適用性を確認する上で有効な手段となるであろう。

5. まとめ

- ①文献調査および比較試験の結果から、従来用いられてきたコンクリートの透水・拡散係数を求める試験方法であるアウトプット法／インプット法では、目標とする $1E-13m/s$ 程度の透水係数の測定は困難である。
- ②文献調査に基づいて選定した水蒸気拡散法とトランジェントパルス法を用いた比較試験では、 $1E-13m/s$ オーダーまで測定可能であることが判明したが、いずれもデータ精度に関する課題が挙げられることから、今後さらに検討が必要である。

謝辞 透水・拡散試験の実施においては、福井大学・福原教授、鉄建建設・柳氏、大成建設・大脇氏に、反応性パウダーコンクリートの試験体製作には、太平洋セメント・森氏にご協力いただいた。なお、本研究は、電力共通研究として実施したものである。

参考文献

1) 伊藤洋, 前村辰二, 坂口雄彦: 水蒸気拡散法によるコンクリートの透水性評価試験について, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.14, pp.733-738, 1992. 2) Brace, W. F. et al.: J. Geophys. Res., 73(6), pp.2225-2236, 1968. 3) 柳博文ら: 不飽和コンクリート中の水蒸気移動特性と水蒸気拡散係数, コンクリート工学論文集, Vol.12, No.3, pp.61-67, 2001.9

表2 試験体形状・数量

透水試験方法	供試体寸法(mm)	低透水	比較用
インプット法	φ150×150	3	3
アウトプット法	φ150×150	3	3
トランジェントパルス法	φ50×50	3	3
水蒸気拡散法	100×100×20	3	3

表3 低透水試験体(RPC) 配合表

水	ダクタル プレミックス	鋼繊維 φ0.2× 15mm	減粘剤・ポリカ ルボン酸系
180	2254	157	24

※ 単位は kg/m³、材料の総量で1m³の配合割合で表記。

表4 比較試験体(OPC)配合表

水セメント比 (%)	単位量(kg/1cm ³)		
	セメント	水	細骨材
65.0	370	241	1628

スランプフロー: 201mm, 空気量: 1.8%

表5 測定結果一覧

アウトプット法						
試験体 No.	RPC1	RPC2	RPC3	OPC1	OPC2	OPC3
透水係数 $K_0(m/s)$	0.00	0.00	0.00	1.0E-9	3.0E-9	2.5E-9
平均値	0.00			2.3E-9		
材令 (日)	53	53	53	33	33	33
インプット法						
試験体 No.	1	2	3	1	2	3
拡散係数 $D_p(m^2/s)$	0.00	0.00	0.00	2.43E-6	1.83E-6	2.91E-6
平均値	0.00			2.31E-6		
材令 (日)	42	42	42	28	28	28
水蒸気拡散法						
試験体 No.	1	2	3	1	2	3
水蒸気拡散係数 $D_{vap}(m^2/s)$	6.57E-7	6.04E-7	1.78E-7	1.96E-6	2.45E-6	2.38E-6
平均値	6.80E-7			2.26E-6		
透水係数換算 m/s	3.7E-14			5.9E-9		
材令 (日)	42	42	42	33	33	33
トランジェントパルス法						
試験体 No.	1	2	3	1	2	3
透水係数 $K_0(m/s)$	1.75E-13	1.33E-14	4.52E-15	3.70E-13	2.64E-13	2.63E-13
平均値	6.42E-14			1.66E-12		
材令 (日)	30	32	36	29	32	36