# 1E-13 m/s の透水係数を短時間で測定する高速透水試験

清水建設　正会員　○石井卓　中島均　白石知成　後藤高志

## １．　高速透水試験の目的

放射性廃棄物の処分施設では1E-14m/sから1E-8m/sに相当する透水係数のベントナイト系難透水材料が使われると考えられる。日常の施工管理においては，できるだけ短時間で透水性能を確認できることが望まれる。室内供試体であれば供試体作成方法を工夫することで透水性能の第１情報を 1～2 週間の短時間で把握できると考えた。以下にその工夫と成果を紹介する。

## ２．　透水試験に長時間を要する要因と工夫

ここでは，具体的な事例として材料の透水係数をk=1E-13m/sと仮定する。このような難透水材料の透水試験では図１に示す因子が透水係数の測定に長時間を要する因子になると考え，改善策を工夫した。

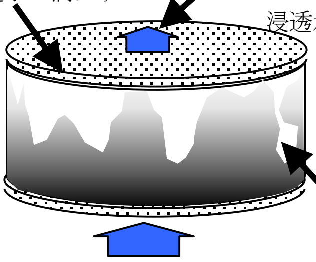


図１　難透水性材料の透水試験時間に関連する因子

### ①供試体の飽和過程に関する問題

例えば, 乾燥密度 1600kg/m$^3$のベントナイト 100%材料の飽和度が 80%の場合，空気層の体積百分率$\phi_g$は約 8%である。面積 A，厚さ H=20mm の供試体に P=0.1MPa（動水勾配 i=500）の圧力で注水した場合，空気層が浸透水によって置き換わるのに要する時間Ｔは

$$T = \phi_g \cdot A \cdot H / k \cdot i \cdot A = 0.08*0.02/(1E-13*500)$$

$$\fallingdotseq 3.2\,E+7(s) \fallingdotseq 370(day)$$

となる。

飽和過程を短時間にするためには，供試体を最初から飽和状態で作成することが効果的である。

また，一様に飽和状態となっているならば，不飽和領域の残存を原因とする浸透水量の変動を改善できる。

### ② 動水勾配が小さいと流量確認に長時間必要な問題

白石他(2001）は 1E-11m/s 程度の材料について動水勾配 i=60～140 でも i≦10 と同等の試験データを得られることを示した。今回はさらに高速化するために，動水勾配を i=200～2000 とした。

また，浸透水量の測定には図２に示すように装置の流出側に内径 2mm 級のナイロンチューブを連結し，チューブ内部を移動するメニスカスの移動量(1mm 目盛あたり約 0.004g)で測定した。

### ③ 供試体が厚いと飽和過程の時間が増大する問題

今回は外径 50mm で厚さ 20mm の場合と厚さ 50mm の２種類について実施した。なお，上記①の対策を施すならば，供試体厚さはデメリットとはならない。

### ④ 試験装置の流出側の空気層を供試体からの浸出水で満たすまで時間が無駄に使われる問題

装置の供試体下部（流入側）と上部（流出側）は瞬間的に真空状態にしてから脱気水を装填することで空気の残留を排除した。

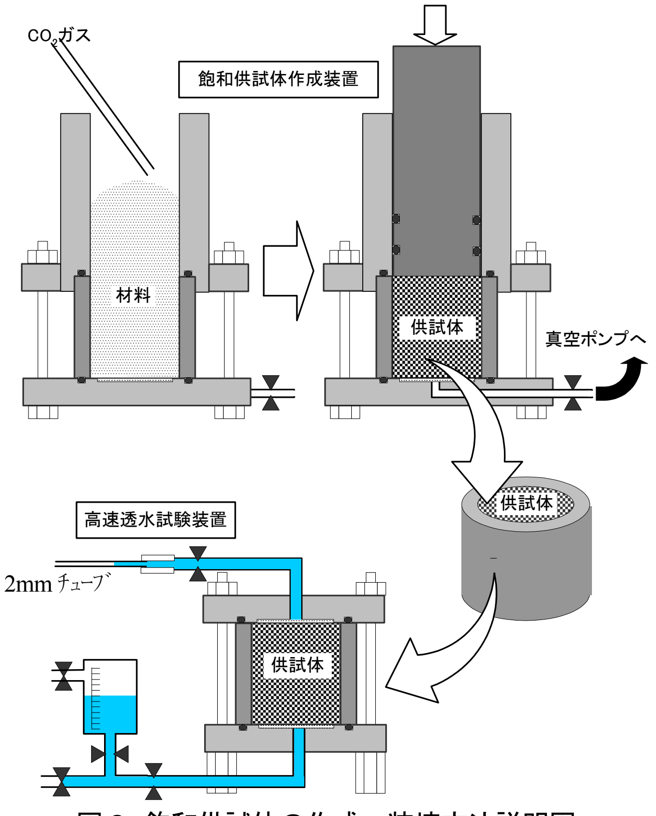


図２　飽和供試体の作成・装填方法説明図

キーワード：ベントナイト，透水係数，飽和供試体，難透水性材料，高速透水試験

連絡先　　：〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設㈱ 技術研究所 TEL03-3820-5478

## ３．　飽和供試体の作成法と透水装置への装填方法

飽和供試体の作成方法を図２に示す。工夫した点は下記である。

a. ねらった密度の飽和含水比で材料を調整しておく。
b. 材料調整段階からプレス成形に至るまで炭酸ガス雰囲気にし，溶解度の低い空気を排除しておく。
c. プレス成形直前に真空状態にし，気相領域がゼロに近くなる雰囲気で所定の密度にプレス成形する。
d. 成形した供試体はシリンダー部のカラーと一体にしたまま透水試験モールドにセットする。

以上によって飽和供試体を透水試験装置に装填できる。

## ４．　透水試験結果

図３には供試体 No.50-S-1(高さ 50mm)の注水圧 P=0.4MPa における時間-浸透水量測定結果を示した。最初の 3 日間は流量を測定できなかったが，その後の 5 日間で最初の透水係数を把握できた(累計 8 日間)。その後も 20 日間継続観測し，当該動水勾配における透水係数は 1.9 E-13 m/s であった。

図４は同供試体の P-Q 特性をプロットしたものである。流量の動水勾配依存性は比較的少なく，最終的に判定した透水係数は 1.8 E-13 m/s であった。表１には４個の供試体の試験結果を示す。透水性能の第１情報と最終的に同定した透水係数に大きな差はなかった。

## ５．　高速透水試験法の活用方法の提案

考案した「高速透水試験」では室内供試体の作成方法と透水試験方法を工夫することで，２ 週間程度で透水性能に関する第１情報を取得できる。ただし，現場施工した材料は飽和に至る時間が必要なので短時間化は難しい。そこで，下記のように現場施工時の品質管理を２段階の透水試験で管理することを提案する。

1) 原材料の受入時に性能確認をまずは実施する。この段階では，施工管理目標となる下限密度に相当する室内供試体の高速透水試験により確認する。
2) 現場施工段階では，施工管理目標となる下限密度以上になるように施工する。施工後の供試体については事後確認の目的で透水試験を実施する。

将来的には透水性能の直接確認によらず，乾燥密度等の代用特性値による品質管理を適用することもできるであろうが，施工経験の乏しい段階においては，今回提案した「高速透水試験」が役立つものと考える。

## 参考文献

1)白石他(2001), 第 56 回土木学会年次講演会, CS1-011

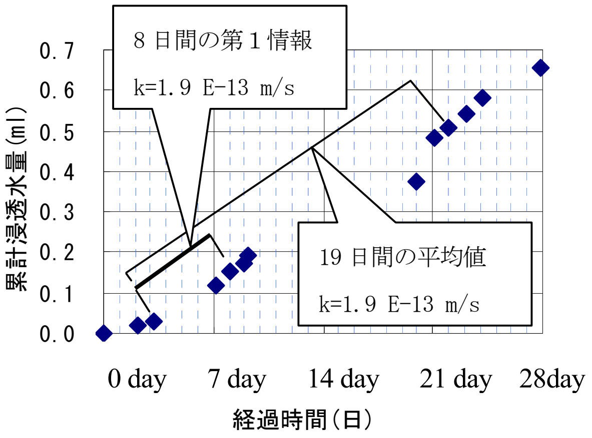


図３　P=0.4MPa における乾燥密度 1621kg/m³ 供試体の浸透水量測定値　(50mmφ×50mmH 供試体)

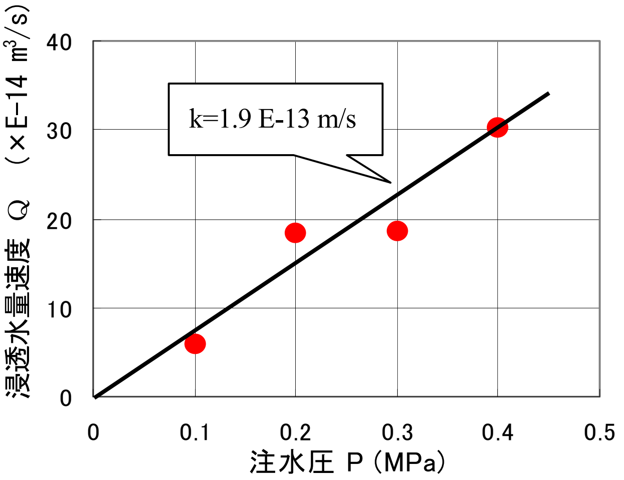


図４　乾燥密度 1621kg/m³ 供試体の圧力-流量特性と平均的透水係数　(50mmφ×50mmH 供試体)

表１　透水試験結果（配合はベントナイト 100%）

| | 供試体 No. | 50-S-1 | 20-S-1 | 20-S-2 | 20-S-3 |
|---|---|---|---|---|---|
| 供試体条件 | 50mmφ× | 50mmH | 20mmH | 20mmH | 20mmH |
| | 乾燥密度 (kg/m³) | 1621 | 1616 | 1635 | 1621 |
| | 飽和度(%) | 99.6 | 98.8 | 101.7 | 99.6 |
| 第一情報 | 所要日数 | 8 day | 8 day | 11 day | 11 day |
| | 透水係数 (m/s) | 1.9 E-13 | 0.82 E-13 | 2.3 E-13 | 1.5 E-13 |
| 平均透水係数 (m/s) | | 1.8 E-13 | 0.82 E-13 | 0.98 E-13 | 1.1 E-13 |