

## 簡易型透水試験法を用いたベントナイト混合土の遮水性評価

三井住友建設株式会社(株) 正会員 ○戸村 豪治  
 三井住友建設株式会社(株) 正会員 中田 雅夫  
 (株)ホーゲン応用粘土科学研究所 正会員 岡田 朋子  
 (株)ホーゲン応用粘土科学研究所 正会員 水野 克己

表-1 試料の配合

| 構成材料       | 母材                                                 | Usal 層砂              |
|------------|----------------------------------------------------|----------------------|
|            | ベントナイト                                             | スーパークレイ<br>(ワイオミング産) |
| ベントナイト添加率  | 0%, 6%, 8%, 10%*                                   |                      |
| 初期含水比 $w$  | 5%, 8%, 11%, 14%, 17%, 20%<br>( $w_{opt}=17.2\%$ ) |                      |
| 締固め度 $D_c$ | 90%<br>( $\rho_{dmax}=1.72\text{g/cm}^3$ )         |                      |

\*添加率は母材に対する乾燥重量比

表-2 母材の物理特性

|                                      |          |       |
|--------------------------------------|----------|-------|
| 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> ) |          | 2.645 |
| 自然含水比 $w_n$ (%)                      |          | 12.9  |
| 粒<br>度                               | 礫分 (%)   | 1     |
|                                      | 砂分 (%)   | 75    |
|                                      | シルト分 (%) | 18    |
|                                      | 粘土分 (%)  | 6     |
| 液性限界 $w_L$ (%)                       |          | NP    |
| 塑性限界 $w_p$ (%)                       |          | NP    |

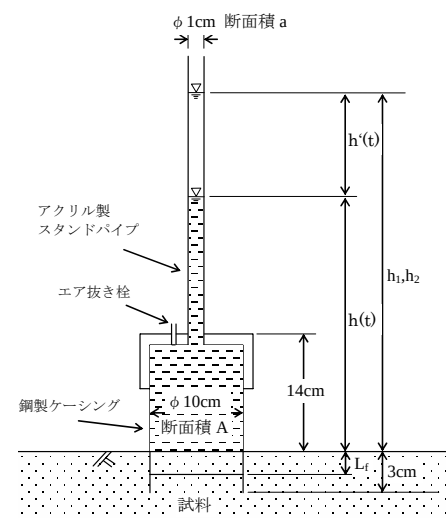


図-1 現位置変水位透水試験

## 1. はじめに

近年、最終処分場の遮水層としてベントナイト混合土を用いた事例が増加している。ベントナイト混合土の施工に於いては難透水性とその均一性の確保が重要となるため、その品質管理方法として簡便で早期に原位置での透水係数を求める手法が望まれている。不飽和地盤の鉛直方向の透水係数の測定方法としては、Green-Ampt モデルを用いた方法などがあるが、ベントナイト混合土地盤ではベントナイトの膨潤によって透水係数が時間依存性を持つことやサクシオン測定の困難さなどが指摘されている。本研究では、ベントナイトの添加率や初期含水比の異なる混合土についてケーシングを用いた簡易型透水試験機による室内試験を行い、その適用性について検討した。

## 2. 使用材料

試験には、宮崎県宮崎市大瀬町に建設されている管理型最終処分場で実際に使用されている試料を用いた。試料の配合を表-1 に、混合土母材の物理特性を表-2 に示す。

## 3. 試験方法

試験方法を図-1 に示す。供試体は、予め含水比を調整した試料を所定の密度となるように静的締固めにより作成した。最初に鋼製ケーシングをハンマーにて地盤中に 3cm 程度打ち込み、その後スタンドパイプを設置して注水し速やかに測定を開始する。今回の試験では、測定時間は 24 時間程度を目安とした。

## 4. 結果の整理

不飽和土の浸潤速度とその変化は初期含水比とサクシオンに依存するが、Green-Ampt モデルでは地盤のサクシオンが常に一定であると仮定しており、時間経過に伴う浸潤領域の増加とともにサクシオンの影響が減少して重力の影響が卓越するため、この勾配を求めることによって地盤の飽和透水係数を得ることができる。これについては西垣らが既に以下の方法を公表している。

図-1 に示す鉛直方向の浸透の Green-Ampt モデルは次式で表せる。

$$v = k \frac{H_0 + H_f + L_f}{L_f} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 $v$ :浸透流速( $\text{cm/sec}$ ),  $k$ :透水係数( $\text{cm/sec}$ ),  $H_0$ :地表面の圧力水頭( $\text{cm}$ ),  $H_f$ :浸潤前線のサクシオン水頭( $\text{cm}$ ),  $L_f$ :浸潤領域の長さ( $\text{cm}$ )

キーワード 透水係数, 現位置試験, ベントナイト, 最終処分場

連絡先 〒271-0132 千葉県流山市駒木 518-1 三井住友建設(株)流山技術研究所 TEL04-7140-5202

図-1 より,  $H_0 = h(t)$ ,  $v = \frac{a}{A} \frac{dh'(t)}{dt}$ ,  $L_f = \frac{ah'(t)}{A\beta}$  ( $\beta$ :有効間隙率)

$$\frac{dh'(t)}{dt} = \frac{A}{a} k \frac{h(t) + H_f + L_f}{L_f}$$

$$= \frac{A^2 \beta}{a^2} k \frac{h_1 - h'(t) + H_f}{h'(t)} + \frac{A}{a} k = \frac{A^2 \beta}{a^2} k \frac{h_1 + H_f}{h'(t_0)} + \frac{A}{a} k \left(1 - \frac{A\beta}{a}\right) \cdots (2)$$

(2)式で  $dh(t)/dt$  と  $1/h'(t)$  の関係をプロットすると y 切片が  $k \cdot A/a(1-A \cdot \beta/a)$  となる直線が得られ、試験中に水位を変化させて直線の傾きを変えることによって  $k$ ,  $\beta$ ,  $H_f$  を求めることができる。ただし、今回は予め室内試験により得られた  $\beta$  を用いて  $k$  及び  $H_f$  を求めた。

## 5. 試験結果

図-2 に試験開始時から 60 分後までの  $h(t)$  の経時変化の例を、また図-3 に  $dh(t)/dt$  と  $1/h'(t)$  の関係の例を示す。図-3 をみると、時間経過とともに式(2)の傾きが変化しており、Green-Ampt モデルの仮定が必ずしも満足されていないことがわかる。これは  $H_f$  あるいは  $k$  が時間とともに変化していることを表しており、拘束を受けない地表面付近のベントナイトの吸水による膨潤過程の影響が大きいものと考えられる。

図-4 に式(2)のプロット結果の例を示す。図に示したように、式(2)がほぼ直線とみなせるまでの水位低下量（浸透量）は初期含水比によって異なっている。今後、地盤の条件に合わせた適正な測定時間あるいは浸透量を求める必要があるが、今回は約 5 時間経過後から 24 時間程度までの計測値を用いて  $k$  および  $H_f$  を求めた。得られた試験結果を表-3 に示す。表には同配合の別試料の室内透水試験結果を記入している。両者を比較すると、今回の結果はベントナイト混合土地盤の透水係数をある程度正確に表しているものと考えられる。

表には式(2)より求めた  $H_f$  も記入した。サクシオンメータを用いて別に求めた地盤のサクシオンは 100～400cm であり、 $H_f$  はこれらの値と比べて非常に小さい値となった。また、高含水比の試料では計算上  $H_f$  が負の値となるケースもみられ、今後の検討課題となった。

## 6. おわりに

本試験方法は様々な仮定を前提としており、特にベントナイト混合土への適用にあたっては課題も多く残っているが、原位置の測定では簡便な試験法で多くのデータを得ることも意味のあることであると考えている。今後も、測定精度を向上した上でデータの収集を継続していく予定である。

## 参考文献

- ・西垣他：不飽和土原位置浸透特性試験の実施例，第 17 回土質工学研究発表会
- ・戸村他：ベントナイト混合土の品質保証技術に関する研究，第 6 回環境地盤工学シンポジウム論文集

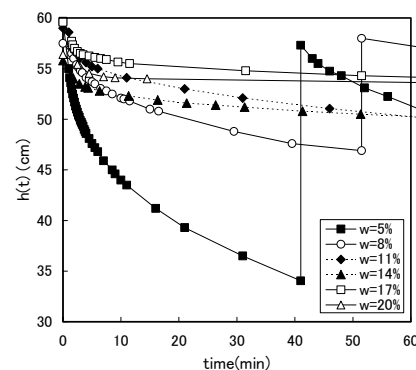


図-2  $t \sim h(t)$  関係の例 (Bt8%)

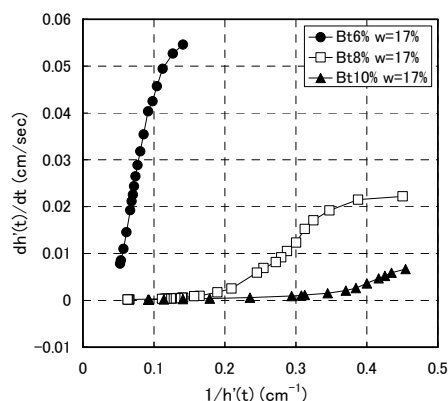


図-3  $1/h'(t) \sim dh'(t)/dt$  関係の例

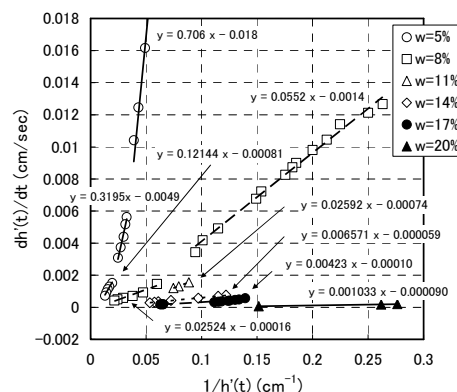


図-4 試験結果 (Bt8%)

表-3 試験結果

| Bt 添加率 (%) | 初期含水比 w(%) | Hf (cm) | k(cm/sec)            | k(cm/sec) (室内試験)     |
|------------|------------|---------|----------------------|----------------------|
| 0          | 8          | 116     | $2.4 \times 10^{-4}$ | —                    |
|            | 11         | 137     | $2.3 \times 10^{-4}$ | —                    |
|            | 17         | 44      | $2.6 \times 10^{-4}$ | $6.7 \times 10^{-4}$ |
|            | 20         | -43     | $1.3 \times 10^{-4}$ | —                    |
| 6          | 8          | 3       | $1.1 \times 10^{-6}$ | —                    |
|            | 14         | 76      | $8.9 \times 10^{-8}$ | —                    |
|            | 17         | -22     | $7.7 \times 10^{-7}$ | $1.2 \times 10^{-7}$ |
| 8          | 5          | 46      | $2.5 \times 10^{-7}$ | $7.2 \times 10^{-8}$ |
|            | 8          | 83      | $5.7 \times 10^{-8}$ | $5.2 \times 10^{-8}$ |
|            | 11         | -25     | $2.1 \times 10^{-8}$ | $6.3 \times 10^{-8}$ |
|            | 14         | 50      | $3.2 \times 10^{-8}$ | —                    |
|            | 17         | -20     | $9.8 \times 10^{-8}$ | $2.1 \times 10^{-8}$ |
| 10         | 20         | -46     | $9.6 \times 10^{-8}$ | $8.3 \times 10^{-9}$ |
|            | 8          | 104     | $3.8 \times 10^{-8}$ | —                    |
|            | 14         | -16     | $3.6 \times 10^{-8}$ | —                    |
|            | 17         | -39     | $9.7 \times 10^{-8}$ | $1.5 \times 10^{-8}$ |