

### ベントナイトシートによる表面遮水壁型堤体における浸透量特性

株式会社フジタ ○福島伸二・小島 秋・北島 明

#### § 1. まえがき

貯水用の堤体は遮水性を有する盛土材により築造され、要求される遮水性は堤体の遮水形式により異なり、傾斜ゾーン型では $k \leq 1.0 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 、均一型では $k \leq 1.0 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ である<sup>1)2)</sup>。最近では、所要の遮水性を有する盛土材が入手しにくくなっており、このような場合には堤体の遮水形式として表面遮水壁型が採用される。遮水材には薄いシート状のもの、すなわち大規模な堤体ではアスファルトやコンクリートが<sup>1)</sup>、小規模な堤体では工業製品である合成ゴムシートやベントナイトシートが採用され<sup>2)</sup>、浸透が層厚方向となることから傾斜ゾーン型や均一型での盛土材に比較して格段に高い遮水性が要求される。特に、ベントナイトシートは外気接触による乾燥劣化、植物根侵入の防止や貯水位急降下時の背圧対策のために覆土が施され、ある土被り圧の下に置かれる。そこで、本稿は著者らが土被り圧下での圧縮・膨潤特性と透水特性を実験的に調べた試験結果<sup>3)</sup>を考慮して、ベントナイトシートによる表面遮水壁型堤体の浸透量特性について検討した結果を報告する。

#### § 2. ベントナイトシートの土被り圧下の遮水挙動

表面遮水壁型堤体に使用されるベントナイトシートはある厚さの覆土下に敷設されるので、著者らは覆土から受ける土被り圧 $\sigma_v$ により圧縮・膨潤特性や透水特性が影響を受け、 $\sigma_v$ が高いほど圧縮された密な状態での膨潤により遮水性が向上することを確認してきた<sup>3)</sup>。図1はベントナイトシートが敷設、覆土、貯水の浸透までの土被り圧 $\sigma_v$ の変化を再現した試験から得られた初期厚さ $t_{B0}$ からの圧縮・膨潤するまでの厚さ変化 $\delta_c + \delta_s$ と $\sigma_v$ の関係を示す。図から、 $\delta_c + \delta_s$ は $\sigma_v$ により変化し、浸透量計算に必要なベントナイトシートの層厚 $t_B$ は $t_B = t_{B0} - (\delta_c + \delta_s)$ となり、 $\sigma_v = 20 \sim 100 \text{ kN/m}^2$ の範囲で $\delta_c + \delta_s = -2.0 \sim +2.0 \text{ mm}$  ( $t_B = 7.9 \sim 3.9 \text{ mm}$ )と変化することがわかる。図2はベントナイトシートが土被り圧 $\sigma_v$ の下で貯水が浸透するときの透水係数 $k_B$ が $\sigma_v$ から受ける影響を三軸透水試験により調べた $k_B \sim \log_{10} \sigma_v$ 関係を示す。 $k_B$ は $k_B = 1.0 \times 10^{-9} \sim 10^{-10} \text{ cm/s}$ のオーダーにあり $\sigma_v$ の増加により減少し、これは通常の粘性土と同様にベントナイト層の圧密による透水間隙の減少によるものと思われる、図中に示したように両対数上で直線により近似できる。以上から、ベントナイトシートは $\sigma_v$ により影響を受け、高い $\sigma_v$ においては密な状態での膨潤により遮水性が向上することがわかる。

#### § 3. 表面遮水壁型堤体の浸透量特性

ベントナイトシートによる表面遮水壁型堤体の浸透量 $Q$ は、経過時間を $t$ とおけば、図3に示すように平均水頭 $H_w/2$ 、ベントナイトシートの敷設角 $\beta$ 、透水面積 $A = H_w / \tan \beta$ から、

$$Q_B = (k_B/t_B) \cdot H_w^2 \cdot t / (2 \cdot \sin \beta)$$

で与えられる。上式のうち $k_B$ と $t_B$ が $\sigma_v$ に依存しているので、 $Q$ に及ぼす $\sigma_v$ の影響は透水係数・浸透路長比 $k_B/t_B$ と $\sigma_v$ の関係を考慮しなければならない。図1と図2から、 $k_B/t_B$ は $\sigma_v$ の変動範囲 $\sigma_v = 20 \sim 100 \text{ kN/m}^2$ に対して、 $t_B$ が $t_B = 0.85 \sim 0.50 \text{ cm}$ 、 $k_B$ が $k_B = 1.8 \times 10^{-9} \sim 3.1 \times 10^{-10} \text{ cm/s}$ に変動するので $k_B/t_B = 3.0 \times 10^{-9} \sim 6.3 \times 10^{-10} (1/s)$ となり、 $Q_B$ は $k_B$ の $\sigma_v$ 依存性と $t_B$ の $\sigma_v$ 依存性が相殺されて、結果として $\sigma_v$ の影響が相対的に小さくなることわかる。

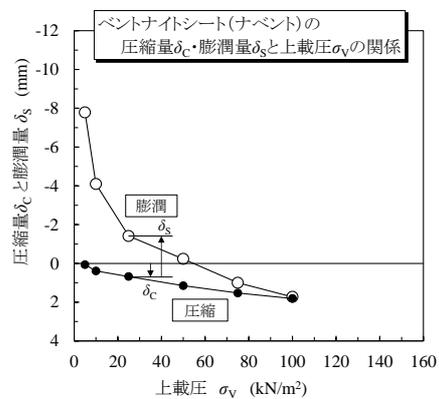


図1 ベントナイトシートの圧縮・膨潤量 ( $\delta_c + \delta_s$ )

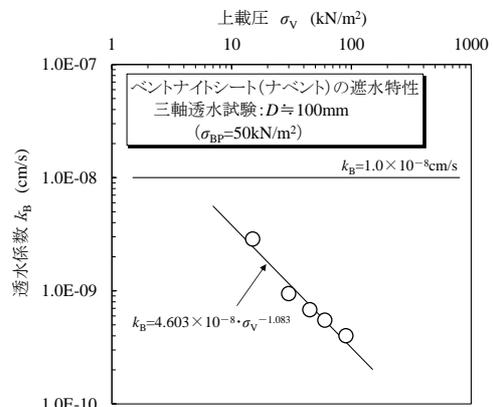


図2 三軸透水試験機による透水係数 $k_B$ の $\sigma_v$ 依存性

一方、ゾーン型あるいは均一型堤体の $Q$ は、図4を参考に近似的に求めると、平均水頭が $H_w/2$ 、平均的な浸透路長がそれぞれ

$L_{SC}$ 、 $L_H$ となるから、それぞれの透水係数を $k_{SC}$ 、 $k_H$ とおくと

$$\text{ゾーン型: } Q_{SC} = (k_{SC}/L_{SC}) \cdot H_w^2 \cdot t / (2 \cdot \sin \beta)$$

$$\text{均一型: } Q_H = (k_H/L_H) \cdot H_w^2 \cdot t / (2 \cdot \sin \beta)$$

で与えられ、表面遮水壁型堤体の場合と同形式で堤体形状・寸法が同一ならば ( $\beta = \beta$ )、透水係数・浸透路長比 $k_B/t_B$ や $k_{SC}/L_{SC}$ などにより決まることがわかる。前述した図3で想定した堤体を傾斜ゾーン型と均一型とした図4のようなものと考え、ゾーン

キーワード: ベントナイトシート, 表面遮水壁, 浸透量

連絡先 〒151-8570 渋谷区千駄ヶ谷4-25-2 株式会社フジタ 建設本部 土木エンジニアリングセンター ☎ 03-3796-2299

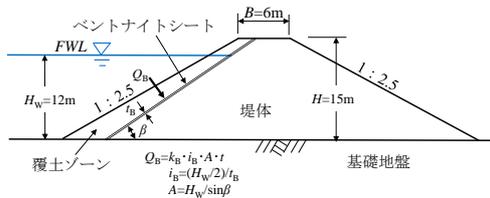


図3 表面遮水壁型堤体における浸透量

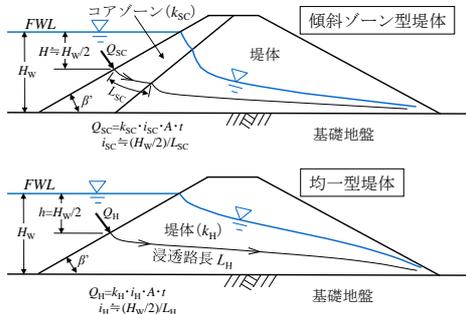


図4 傾斜ゾーン型堤体と均一型堤体における浸透量

型堤体では  $k_{SC} \leq 1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$  に対して  $L_{SC} \approx 5\text{m}$ , 均一型堤体では  $k_H \leq 1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$  に対して  $L_H \approx 70\text{m}$  となるから

$$\text{ゾーン型} : k_{SC}/L_{SC} \approx 2.0 \times 10^{-8}$$

$$\text{均一型} : k_H/L_H \approx 1.4 \times 10^{-8}$$

とほぼ同じオーダーにある。したがって、表面遮水壁型堤体の遮水性レベルはゾーン型あるいは均一型の堤体に比較してベントナイトシートの低い透水係数によりワンオーダー以上高いことがわかる。ただし、このことはベントナイトシートが層厚(浸透路長)が小さいため、動水勾配が大きく破損すると遮水機能が完全に失われる可能性があり、浸透路長が大きく遮水機能を直ちに失うことのないゾーン型あるいは均一型堤体に比較して、より大きな余裕として考えるべきであろう。

§4. ベントナイトシート表面遮水壁型堤体の事例

図5はベントナイトシートによる表面遮水壁型堤体として築造した防災用調整池の事例における標準断面図を示す。堤体は均一型として計画されたものの、盛土材の遮水性が現場試験による透水係数  $k_f \leq 1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$  を確保できたものの、室内試験による透水係数  $k_a \leq 1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$  を安定的に確保できなかったため、安全側に考えてベントナイトシートを追加配置して表面遮水壁型にしたものである。堤体は  $H=14.5\text{m}$ , ベントナイトシート敷設部での堤長  $L=216\text{m}$ , 堤体積  $V \approx 18.0 \text{万 m}^3$  で、貯水量  $R_c \approx 40.0 \text{万 m}^3$  で、法面勾配を上流側 1:3.0, 下流側 1:2.5 とし、かつ3m幅の小段を上・下流側法面に配置して堤体敷幅を比較的大きくしてある。ベントナイトシートは敷設型式を堤体法面勾配 1:3.0 に対して平均勾配 1:2.0 の段切型として、覆土厚を 0.5~4m と貯水深の大きい堤体下層ほど厚くしてベントナイト敷設面に沿うすべり破壊が生じにくい構造とした。基礎地盤での止水はベントナイトシートを深さ 2m まで埋設して行った。ベントナイトシートの総敷設面積は約 6,600 $\text{m}^2$  である。奥行 1m 当りの堤体浸透量は  $H_w=12.0\text{m}$ ,  $\beta=26.6^\circ$ ,  $\sigma_v$  が平均で  $\sigma_v=40\text{kN/m}^2$  なので図1と図2から  $t_B \approx 0.7\text{cm}=0.007\text{m}$ ,  $k_B \approx 8.5 \times 10^{-10} \text{cm/s}=7.34 \times 10^{-7} \text{m/day}$  となるから

$$Q_B = (7.34 \times 10^{-7} / 0.007) \times 12^2 \times 1.0 / (2 \times \sin 26.6^\circ) = 0.017 \text{m}^3/\text{day}$$

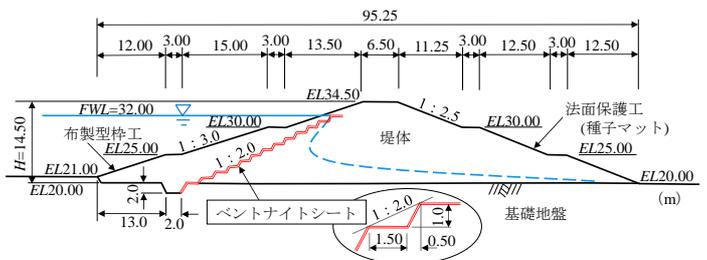


図5 ベントナイトシートを用いた表面遮水壁型堤体の標準断面



写真1 ベントナイトシート(段切型)の施工状況

となる。 $Q_B$ は貯水量の0.05%以下として規定されている許容漏水量<sup>2)</sup>の奥行1m当りの値である

$$LW_a \leq (400,000/216) \times 0.05\% = 0.93 \text{m}^3/\text{day}$$

を十分満足している。写真1はベントナイトシートの敷設状況を示しており、施工量おおよそ 400~500 $\text{m}^2$ /日である。施工上の留意点として以下のことがあげられる。段切り面はベントナイトシートに局所的な応力集中により破損しないように凹凸面のないように仕上げ、法面や肩部が崩れて欠損した部分はセメント改良土やベントナイトペーストなどで凸凹のないように補修する。ベントナイトシートは段切面にシートロール(幅 2.5m×長さ 30m)を這わすようにしわやたるみのないように密着させて敷設する。覆土に使用する盛土材のうち、ベントナイトシート面に接する盛土材は損傷の原因となる礫分を含まない土を選択すること、覆土の撤出しと転圧はベントナイトシートの重ね合せ面内に土が入らないようにシート上面側から行う。

§6. あとがき

本稿はベントナイトシートによる表面遮水壁型堤体の浸透量特性を均一型堤体あるいはゾーン型堤体に対して比較した結果を報告した。堤体の浸透量は透水係数・浸透路長比により決まり、この値が小さいほど浸透量が少なく、遮水レベルが高い。ベントナイトシートによる表面遮水壁型堤体は、この値が均一型あるいはゾーン型に比較してワンオーダー低く、遮水性レベルが最も低い。これはベントナイトシートが土質材料による遮水材に比較して各段に優れた遮水性を有しているためである。

【参考文献】1) 林水産省農村振興局監修：土地改良事業計画設計基準設計「ダム」技術書(フィルダム編)，農業農村工学会, 2003. 2) 農林水産省農村振興局整備部設計課監修：土地改良事業設計指針「ため池整備」,(公社)農業農村工学会, 2015. 3) 福島伸二, 北島 明, 小島 秋：表面遮水壁型堤体におけるベントナイトシートの土被り下の遮水挙動, 第51回地盤工学研究発表会, 2016(投稿中)