

フィルダムの堤体改修における透水異方性問題

株式会社フジタ ○福島伸二・北島 明

§ 1. まえがき

老朽化したフィルダムやため池の堤体改修（耐震補強や漏水防止）を目的に、貯水池内に堆積した底泥土を所要の強度と遮水性を有するように固化改良して築堤土（砕・転圧土）として利用する砕・転圧盛土工法¹⁾²⁾が開発され、フィルダム4箇所とため池9か所に適用されている。堤体改修後の堤体全体の安定性を精度よく評価するには既設堤体や堤体改修のために腹付けた砕・転圧土ゾーンの強度特性とともに透水特性も正確に把握することが重要である。著者らはこれまでに砕・転圧盛土工法により堤体改修を実施した堤沢ダムを対象に、既設堤体と砕・転圧土ゾーンの強度異方性を調べ、強度異方性は既設堤体では認められたものの砕・転圧土ゾーンでは認められないことを報告してきた³⁾⁴⁾。本稿はこれに引き続いて実施した既設堤体と砕・転圧土ゾーンの透水異方性を不攪乱状態で採取した供試体の三軸透水試験により調べた結果を報告するものである。

§ 2. フィルダム堤体の透水異方性問題

フィルダムは、ある一定の厚さで一層毎に撒き出した土を締固めて段階的に築造される土構造物であり、締固め時に土粒子長軸が水平方向に卓越して配列しやすいことや層内上層ほど密になる鉛直方向の密度不均一性により形成される層状構造により、堤体の透水係数には異方性が生じることが知られている⁵⁾。透水係数の異方性は水平方向の値が鉛直方向のものに比較してワンオーダー、もしくはそれ以上大きくなること、結果として等方性を想定した場合に比較して透水係数の大きい水平方向の卓越した流れにより堤体内の浸潤面が高い位置になり浸透量も増加することが指摘されている⁵⁾。

砕・転圧盛土工法によるフィルダムの堤体改修は、図1に示した堤沢ダムの例のように、既設堤体の上流側の一部を掘削除去した部分に砕・転圧土ゾーンを腹付けることが基本になるが、堤体全体の安定性を評価するには既設堤体の透水異方性とともに、砕・転圧土ゾーンの透水異方性の影響も考慮しなければならない。

§ 3. 三軸透水試験と異方供試体の採取方法

三軸透水試験は、三軸圧縮試験と同様に円柱状供試体を使用して、堤体内の土の要素が受ける応力状態を、等方圧密応力 σ_c を加えて再現して拘束圧下での透水係数を求めるもので¹⁾²⁾、透水方向が円柱状供試体の軸方向となる。供試体は薄肉円形ライナーモールド（内径D75mm×高さH100mm×肉厚t3mm）とカッター・カラーを組み合わせたライナーサンブラーを図1に示す位置、すなわち既設堤体では掘削中のEL214.0m付近、砕・転圧土では築堤中のEL206.0m付近の水平面（堤体の締固め面）からある角度 δ に傾けて堤体に貫入させることができる異方向供試体採取装置を用いて不攪乱状態で採取した。供試体は、既報³⁾⁴⁾に示したものと同様に、 $\delta=0$ （水平供試体）、15, 30, 45, 60, 75, 90°（鉛直供試体）の7方向で、堤体上・下流方向断面内において採取した。

§ 4. 既設堤体の透水異方性

三軸透水試験は供試体を完全に飽和させるために背圧 $\sigma_{BP}=100\text{kN/m}^2$ を加え、圧密応力を $\sigma_c=10 \rightarrow 20 \rightarrow 50 \rightarrow 100 \rightarrow 200\text{kN/m}^2$ のように段階的に増加させ、各 σ_c 段階で一次圧密終了後（過剰間

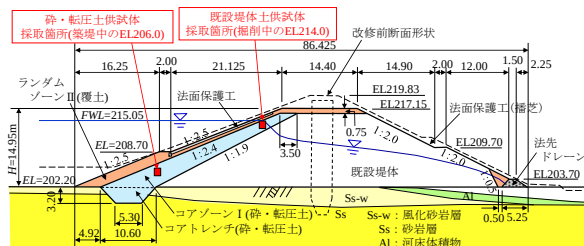
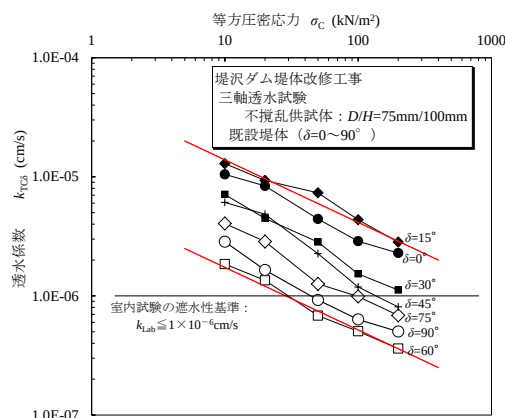


図1 堤沢ダムの堤体改修断面と不攪乱供試体採取位置

図2 既設堤体の異方性供試体における $\sigma_c \sim k_{TC}$ 関係

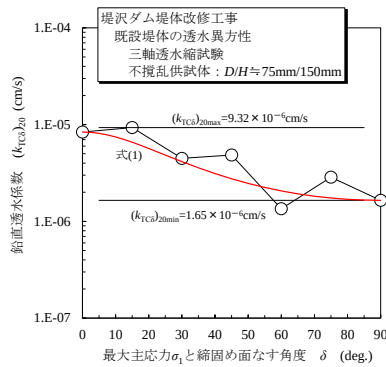
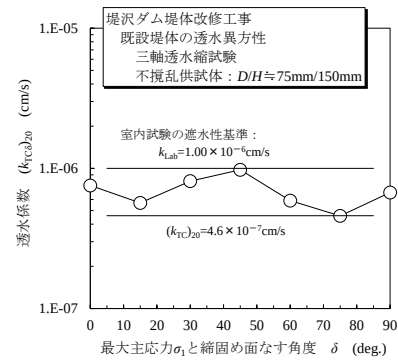
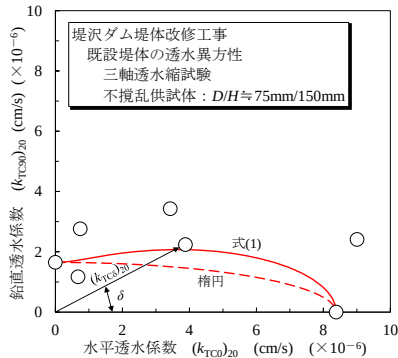
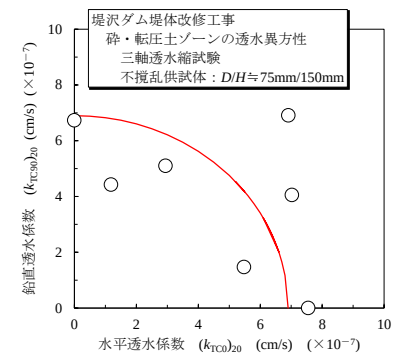
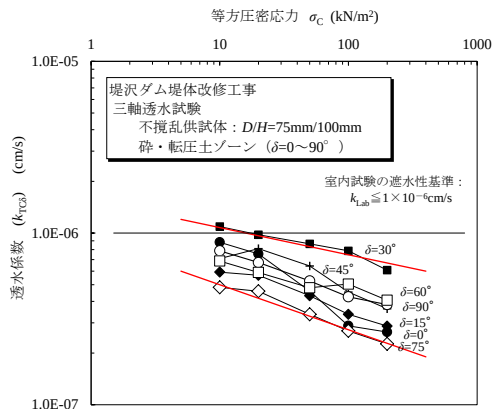
隙水圧の消散により確認)に透水係数 k_{TC} を測定して実施した。

図2は既設堤体から δ を変えて採取した異方向供試体($\delta=0 \sim 90^\circ$)の三軸透水試験により得られた σ_c と透水係数 k_{TC} の関係を示す。図から、 k_{TC} は δ に関係なく σ_c の増加に対して減少することがわかる。これは供試体が σ_c の増加による圧密現象により通水間隙が減少するためと考えられる。

図3は図2に示した $k_{TC} \sim \sigma_c$ 関係から読み取った $\sigma_c=20\text{kN/m}^2$ における透水係数($k_{TC})_{20}$ と δ の関係を片対数グラフ上に示す。図から、既設堤体は想定したよりも一様で、透水性の変動が小さいものの、明らかに δ により k_{TC} が変化する傾向認められ、鉛直方向が最も低く、水平方向が最も高い値を示すことがわかる（鉛直方向($k_{TC90})_{20}$ に対する水平方向($k_{TC0})_{20}$ の比は5.0程度）。図中には

キーワード：堤体改修, 透水係数, 異方性, 安定計算

連絡先 〒151-8570 渋谷区千駄ヶ谷4-25-2 (株)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 既設堤体の $(k_{TC8})_{20} \sim \delta$ 関係図6 砕・転圧土ゾーンの $(k_{TC8})_{20} \sim \delta$ 関係図4 既設堤体の $(k_{TC8})_{20} \sim \delta$ 関係図7 砕・転圧土ゾーンの $(k_{TC8})_{20} \sim \delta$ 関係図5 砕・転圧土ゾーンの異方向供試体における $\sigma_c \sim k_{TC}$ 関係

各方向の透水係数はその方向の動水勾配に比例するとし、 $(k_{TC0})_{20}$ と $(k_{TC90})_{20}$ を用いて導かれる $k_{TC8} \sim \delta$ 関係式

$$k_{TC8} = 1 / \{ \cos^2 \delta / (k_{TC0})_{20} + \sin^2 \delta / (k_{TC90})_{20} \}^{1/2} \quad (1)$$

により近似した曲線を示した。式(1)は $k_{TC8} \sim \delta$ 関係の傾向をある程度表現できるようである。図4は k_{TC8} の δ による変化を極座標上($x = (k_{TC8})_{20} \cdot \cos \delta$, $y = (k_{TC8})_{20} \cdot \sin \delta$)に示す。図中には式(1)により近似した $k_{TC8} \sim \delta$ 関係を実線で示す。点線は比較のために示した楕円式 $\{x / (k_{TC0})_{20}\}^2 + \{y / (k_{TC90})_{20}\}^2 = 1$ による関係を示す。式(1)は $k_{TC8} \sim \delta$ 関係を k_{TC0} 、 $(k_{TC90})_{20}$ と δ によりおおよそ表現できそうである。

§ 5. 砕・転圧土ゾーンの透水異方性

図5は砕・転圧土ゾーンから δ を変えて採取した異方向供試体($\delta = 0 \sim 90^\circ$)の三軸透水試験により得られた $k_{TC8} \sim \sigma_c$ 関係を示す。図から、砕・転圧土ゾーンにおいても k_{TC8} は σ_c の増加に対して減

少しているが、その傾向は既設堤体の場合より少ないことがわかる。これは砕・転圧土は含水比が高く空隙も大きい材料特性にあるものの、固化強度により σ_c の増加に伴う圧密現象による通水空隙の減少が少ないためと考えられる。

図6に砕・転圧土ゾーンの異方向供試体の試験から得られた $(k_{TC8})_{20} \sim \delta$ 関係を示す。図から、砕・転圧土ゾーンにおける k_{TC8} はバラツキがみられるものの、既設堤体の場合と異なりある特定の方向に透水性が卓越する傾向が見られないことがわかる。このことは、図7に示す極座標による $(k_{TC8})_{20} \sim \delta$ 関係からもわかる。図中の曲線は全データの平均値を半径とした円である。

§ 6. あとがき

砕・転圧盛土工法により堤体改修工事の堤沢ダムを対象に、既設堤体と砕・転圧土ゾーンの透水異方性を堤体水平面(締固め面)からの角度を変えて採取した不攪乱異方向供試体の三軸透水試験により調べた。試験結果から、透水異方性は既設堤体には認められたが、固化改良土である砕・転圧土には認められなかった。

【参考文献】 1) (社)農業農村整備情報総合センター：ため池改修工事の効率化—砕・転圧盛土工法によるため池堤体改修—設計・施工・積算指針(案), 2006. 2) (社)農業農村整備情報総合センター編：砕・転圧盛土工法によるフィルダム堤体改修—一堆積土・発生土を有効活用したフィルダムのリニューアル技術—, 設計・施工・積算指針(案), (社)農業農村整備情報総合センター, 2009 3) 北島明, 福島伸二, 谷 茂, 酒巻克之：フィルダムの堤体改修における強度異方性問題(その1), 第50回地盤工学研究発表会, 投稿中, 2015. 4) 福島伸二, 北島明, 谷 茂, 酒巻克之：フィルダムの堤体改修における強度異方性問題(その2), 第50回地盤工学研究発表会, 投稿中, 2015. 5) 西垣 誠：講座「地盤の異方性」, 9. 異方性と透水(1), 土と基礎, Vol.42, No.1, pp.57~64, 1994.