

## フィルダム材の土質の違いと引張応力の評価 Validation of tensile strength of fill dam materials

渡邊 友之

WATANABE Tomoyuki

**1. はじめに** 既往の大規模地震により堤体天端にクラックが発生した中心遮水型ロックフィルダム (Aダム) の遮水性ゾーンについて、クラックの追跡調査の結果、引張方向の応力に起因するクラックであることが確認された。一方で、同地震を経験した近傍の中心遮水型ロックフィルダム (Bダム) では大規模地震による被害は確認されておらず、引張方向への許容応力の差により異なる現象が発生していると考えられた。土質材料について一般に引張領域では圧縮領域に比較して許容応力が小さくなる。物性の差による許容一軸圧縮応力、許容引張応力の発現状況について三軸圧縮試験結果より推定した降伏曲面を用いて整理した。

**2. 引張応力の推定** 引張応力を推定するため、コンクリートや岩石の許容引張応力の計測に用いられる割裂試験の手法 (JGS2551-2020) を用いた試験を実施した。割裂試験は、円柱供試体の側面に圧縮力 ( $\sigma_1$ ) を作用させ、破壊時の圧縮力より圧縮方向と垂直方向の側面に発生する引張応力 ( $\sigma_3$ ) を推定する試験である。推定式は下記のとおりである。

$$\sigma_t = 2P / \pi DL \quad \sigma_t (\sigma_3) : \text{引張応力}, P: \text{圧縮力}, D: \text{供試体直径}, L: \text{供試体長さ}$$

**3. 降伏曲面** Mises の降伏条件より土構造物の降伏面を円錐状と仮定し、三軸圧縮試験の3つの破壊点を通る降伏曲面を主応力空間上に3次元CADソフトを用いて作成した。一軸圧縮試験 ( $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 = 0$ ) と割裂試験 ( $\sigma_1 > \sigma_2 = 0 > \sigma_3$ ) の破壊点を含む平面と降伏曲面とが交わる曲線を整理した。

**4. 試験対象及び試験方法** 試験にはAダム試料、Bダム試料にCダム試料 (砂質土) を加えた物性の異なる3試料を用いた。所定の密度、含水比で供試体を作成し、三軸圧縮試験、一軸圧縮試験、割裂試験を実施した。なお、三軸圧縮試験では供試体作成後に供試体の飽和を実施している。(表1, 図1, 表2)

表1 物性値

Material characteristics and conditions of specimens

ダム名称	ゾーン区分	土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	コンシステンシー			供試体条件			
			液性限界 WL (%)	塑性限界 Wp (%)	塑性指数 Ip (%)	含水比 W (%)	乾燥密度 $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	間隙比 e	飽和度 Sr (%)
Aダム	遮水性ゾーン	2.675	40.9	30.3	10.6	11.8	1.935	0.382	82.5
Bダム	遮水性ゾーン	2.745	62.9	35.6	27.3	18.8	1.717	0.599	86.2
Cダム	半透水性ゾーン	2.669	40.4	21.2	19.2	9.7	1.849	0.443	58.4

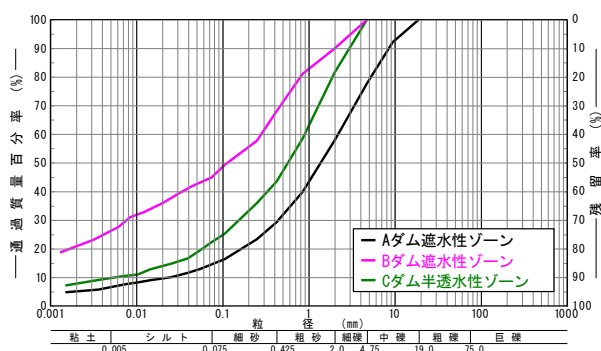


図1 粒径加積曲線

Grain size distribution

所属：NTC コンサルタンツ株式会社 キーワード：土の静力学的性質

5. 応力降伏曲面の整理 三軸圧縮試験結果より降伏曲面を整理し

(図2), 一軸圧縮試験結果, 割裂試験結果との比較を行った(表3). 原点Oに対し, 一軸圧縮試験の破壊点を点A, 割裂試験の破壊点を点Bとし, 線分OA, 線分OBを延長した際の全応力による降伏曲面との交点をそれぞれ点A'及び点B', 間隙水圧を考慮した有効応力による降伏曲面との交点をそれぞれ点A'', 点B''とした. 原点から各点までの距離の比をそれぞれ整理した. 試料Aの各試験の破壊点は有効応力条件のOA/OA'', OB/OB''が1に近く, 試料Cの各試験の破壊点は全応力条件のOA/OA', OB/OB'が1に近い. 試料Bの破壊点は試料Aと試料Cの中間程度に位置しており, 破壊点は塑性指数が小さい程有効応力条件の降伏曲面に近づいている.

表2 試験条件 Test conditions

試験項目	供試体作製方法	寸法	せん断ひずみ速度	メンブレン	飽和条件	拘束圧条件
一軸圧縮試験	再構成	φ100mm×h200mm	1.00%/min	なし	不飽和	—
三軸圧縮試験	再構成	φ100mm×h200mm	0.05%/min	あり	飽和	200, 400, 600kN/m <sup>2</sup>
割裂試験	再構成	φ100mm×h100mm	0.01%/min	なし	不飽和	—

表3 破壊応力と降伏曲面の比較  
Comparison of failure stresses with yield surfaces

ダム名称	一軸圧縮試験				
	OA (kN/m <sup>2</sup> )	OA' (kN/m <sup>2</sup> )	OA'' (kN/m <sup>2</sup> )	OA/OA'	OA/OA''
Aダム	49.1	311.2	62.3	0.16	0.79
Bダム	71.7	81.1	6.9	0.88	10.39
Cダム	106.5	177.0	10.9	0.60	9.77
ダム名称	割裂試験				
	OB (kN/m <sup>2</sup> )	OB' (kN/m <sup>2</sup> )	OB'' (kN/m <sup>2</sup> )	OB/OB'	OB/OB''
Aダム	29.7	197.8	36.6	0.15	0.81
Bダム	60.1	64.4	4.7	0.93	12.79
Cダム	46.8	137.4	6.6	0.34	7.09

6. おわりに 試料A~試料Cの無拘束圧~引張領域における破壊点は三軸圧縮試験より推定した降伏曲面の内側の応力領域に位置していることを確認した.

本試験では既存の飽和条件の三軸圧縮試験結果との比較としたが, 試料Cについては飽和度が他試料と比較して小さく, 降伏曲面に対する強度は比較的大きい. 供試体の初期飽和度を大きくすることで有効応力降伏曲面に近づくことが想定される.

本試験では, 密度条件, 飽和度条件, ひずみ速度等の設定にばらつきがあるため, 系統的な整理による検討が必要と考えられる.

参考文献 1)公益社団法人 地盤工学会 (2020): 地盤材料試験の方法と解説[第一回改訂版], p. 1020-1028.

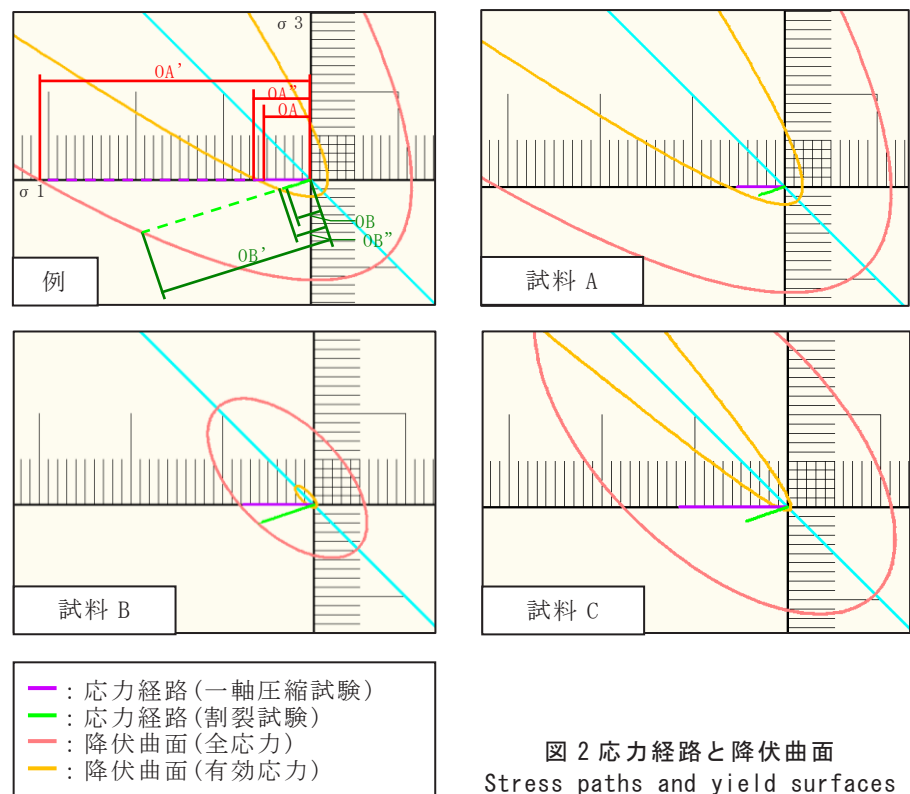


図2 応力経路と降伏曲面  
Stress paths and yield surfaces