

風化度の異なるフィルダム粗粒材料の安定解析

飛 島 建 設 正会員○杉山 裕子
飛 島 建 設 正会員 沼田 淳紀
飛 島 建 設 正会員 大野 孝二

1. はじめに

風化の程度の異なるフィルダム粗粒材料の盛立材料としての適用性を検討するために、ここでは、前報¹⁾に続き、風化度の異なるフィルダム粗粒材料について、せん断強度の評価方法を変えて安定解析を実施し、すべり円弧の形状および最小安全率がどのように変化するかを検討をおこなった。

2. 安定解析方法

図-1 に検討モデル断面を示す。モデル断面は、実際のフィルダムを参考に、高さ105m、堤頂幅12m、堤底長500mの中央コア型のゾーン型フィルダムを設定した。ゾーニングはコア材C、フィルタ材F、ロック材Rの3ゾーンとした。安定解析は、円形すべり面スライス法²⁾を用い、モデル断面上流側についてのみ実施した。解析に

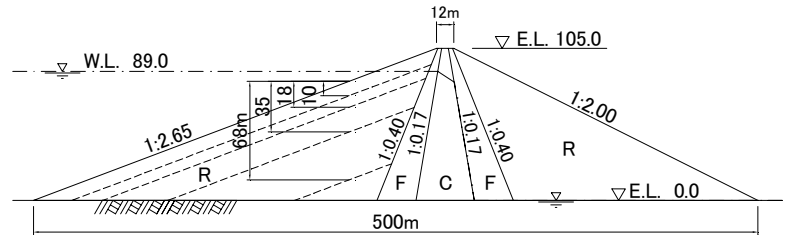


図-1 検討モデル断面

$$F_s = \frac{r \sum (\tau_f \cdot l)}{\sum (\bar{W} \cdot r \cdot \sin \theta + k \cdot W \cdot h)} \quad \dots (1)$$

F_s : 最小安全率
 τ_f : 材料のせん断強度
 W : 各スライスの単位幅当たりの全柱量
 $\bar{W}$: 各スライスの単位幅当たりの有効全柱量
 θ : 各スライスの底面が水平となす角
 r : すべり円弧の半径
 h : すべり円弧の中心と各スライスに働く地震力の作用線との鉛直距離
 l : 各スライスのすべり面の長さ
 k : 堤体地震力係数

用いた計算式²⁾を式(1)に示す。地震力は、震度法²⁾を用い、震度0.15を作用させた。表-1に、せん断強度の設定方法¹⁾を示す。b法は、フィルダムの設計に用いられている方法で、c-φ法での見掛けの粘着力を無視したものである。c法は、内部摩擦角の拘束圧依存性を考慮するため、各層の上載圧以下のモール円から、c-φ法により求めた内部摩擦角を ϕ_{dsc} とした。また、上流側を図-1に示す破線のように区切り、それぞれの深度ごとに対応する ϕ_{dsc} を設定した。d法は、フィルダムの耐震設計指針(案)²⁾に基づく方法である。表-2および表-3に計算に用いた土質定数を示す。コア材およびフィルタ材の強度定数は全計算ケース共通とし、ロック材の強度定数は、3材料、3密度、3

表-1 せん断強度の設定方法¹⁾

	せん断強度 τ_f	備 考
b法	$\tau_f = \sigma_n \cdot \tan \phi_d$	c-φ法で、 c_d は無視
c法	$\tau_f = \sigma_n \cdot \tan \phi_{dsc}$	上載圧以下のモール円を対象にa法により ϕ_d を求め、 ϕ_{dsc} とする
d法	$\tau_f = A \cdot \sigma_n^b$	フィルダム耐震設計指針(案)

表-2 計算に用いた密度

	飽和重量 $\gamma(t/m^3)$	湿潤重量 $\gamma'(t/m^3)$	内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$
コア	2.10	2.05	33.0
フィルタ	2.25	2.10	39.0
ロック	2.23	2.00	表-3参照

つのせん断強度設定方法の27ケースである。ここで用いた材料はCH材、 CM_H 材、 CM_L 材の順に風化の程度が高くなる³⁾。

3. 安定解析結果

図-2に、最小安全率を与える円弧の一例として、風化の程度の最も高い CM_L 材における結果を示す。円弧は、各間隙比ごとに $e=0.20$ を実線、 $e=0.25$ を長破線、 $e=0.32$ 破線で示した。b法でのすべり面の円弧は、どの密度に対しても、堤体の表層部を切る浅い円弧になった。これは、内部摩擦角が、拘束圧依存性により低拘束圧ほど大きくなるが⁴⁾、b法ではこれを一律にし、見掛けの粘着力を無視するので、拘束力の小さい表層部が相対的に弱層になるためである。c法では、円弧が深度35m~68mの層を切っており、密になるほど円弧は深くなっている。d法は、c法と類似し密にな

表-3 計算に用いたロック材の強度定数

材質	間隙比	b法 $\phi_d(^{\circ})$	c法 鉛直深さ(m)ごとの内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$					d法	
			0~10	10~18	18~35	35~68	68~	A	b
CH材	$e=0.20$	41.7	60.4	51.6	45.5	42.2	40.9	6.79	0.721
	$e=0.25$	40.3	51.9	46.4	42.6	40.4	40.3	4.29	0.772
	$e=0.32$	40.5	46.0	43.3	41.5	40.5	40.2	2.19	0.867
CM_H 材	$e=0.20$	43.0	58.8	52.0	47.1	44.3	43.2	5.59	0.753
	$e=0.25$	41.2	52.0	47.6	44.1	42.0	41.1	2.93	0.832
	$e=0.32$	41.2	45.8	44.0	42.5	41.6	41.2	1.59	0.917
CM_L 材	$e=0.20$	39.9	62.7	53.1	45.9	41.8	40.1	8.15	0.695
	$e=0.25$	39.4	49.8	44.6	41.0	39.1	38.4	4.07	0.776
	$e=0.32$	40.5	46.2	43.5	41.7	40.7	40.4	1.65	0.907

フィルダム、安定解析、せん断強度、拘束圧、内部摩擦角

るほど円弧が堤体深部に及び、また下流方向へ及んでいる。これは、密になるほど内部摩擦角の拘束圧依存性の影響が大きくなり、拘束圧の低い表層近くの内部摩擦角が深部に比較して相対的に大きくなるためである。また、c 法に比べて d 法はせん断強度を大きく見込んでおり、拘束圧依存性も大きいので円弧が深部に及ぶ傾向がより顕著になっている。

4. 堤体ロック材の間隙比と安全率の関係

図-3 に、各方法ごとにロック材の間隙比と安全率 F_s の関係を示す。b 法では、いずれも $F_s=1.1 \sim 1.3$ と小さな値を示し、ほとんどのケースにおいて $F_s=1.2$ を満たさない結果となった。中でも、風化の程度の最も高い CM_L 材の F_s が最も小さくなった。 CH 材と CM_H 材は、堤体を密にすることで安全率が増加するがその割合は極めて小さく、 CM_L 材ではむしろ密度を増加することで F_s が低下している。c 法では $F_s=1.2$ を全てのケースが満たし、 CM_L 材の一部を除き、堤体を密にすることで F_s が大きくなっていることがわかる。d 法では、全てのケースで F_s が 1.7 以上となり、特に CM_L 材の密なときには $F_s=3.60$ の大きい安全率が得られた。このように、安定解析結果はせん断強度の評価方法を変えることで大きく変化し、ここでは b 法 < c 法 < d 法の順に大きな F_s を与え、特に d 法ではかなり大きな F_s を見込めることがわかった。また、最もせん断強度を合理的に評価していると考えられる d 法では、風化の程度の高い材料を、密にすることで F_s が他の材料よりも急激に増加していることから、風化の程度の高い材料も堤体材料として、十分に使用可能なことがわかる。

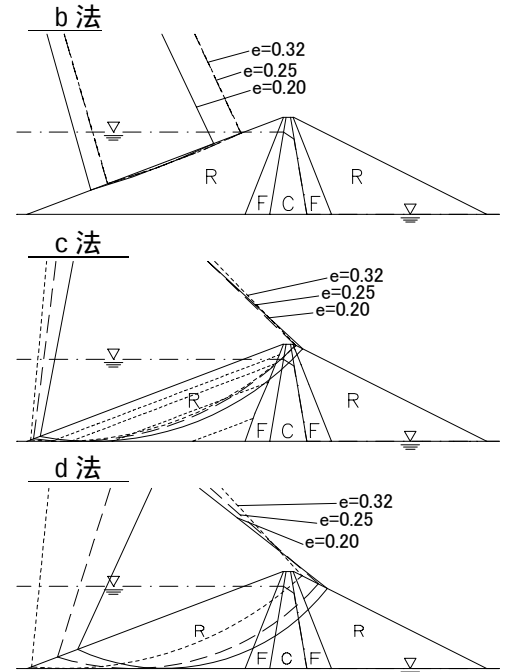


図-2 最小安全率を与える円弧

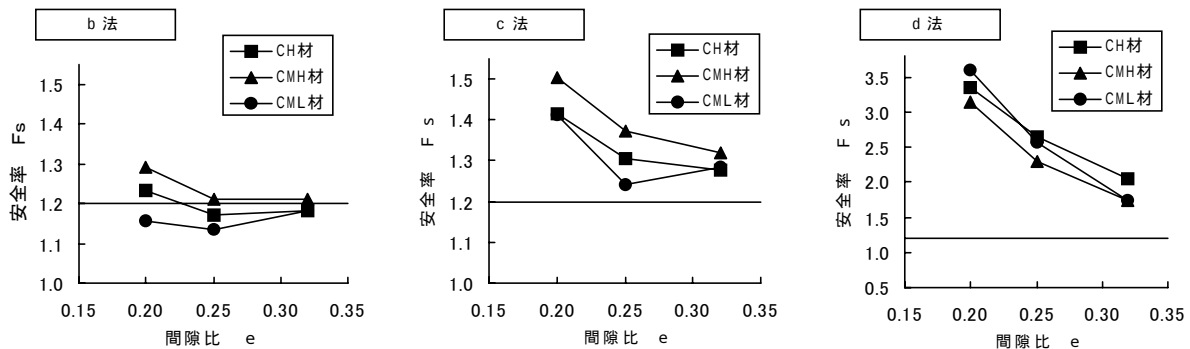


図-3 堤体ロック材の間隙比と安全率の関係

5. まとめ

- (1) 一般のフィルダムの設計に用いられる b 法では、最小安全率を与える円弧が、全てのケースで表層を切る浅い円弧となった。また、密度を大きくしても安全率が必ずしも大きくなり、安全率を過小評価している。
- (2) 各方法で求めた最小安全率は b 法 < c 法 < d 法となり、最もせん断強度を合理的に評価していると考えられる d 法では安全率を大きく見込めることが明らかになった。この傾向は、風化度の高い材料で顕著である。
- (3) せん断強度の評価方法により安全率は大きく異なり、特に、密度を大きくした場合、かなり高い安全率が期待できる。よって、今までの評価方法では、風化の程度が高く低品質と考えられていた材料も、せん断強度の面からは、十分堤体材料として使用できることが明らかになった。

参考文献

- 1) 大野 孝二, 沼田 淳紀, 杉山 裕子, 小西 雄介, 長谷川 昌弘: 風化度の異なるフィルダム粗粒材料の設計せん断強度, 土木学会第 56 回 年次学術講演会, 第 部門, 投稿中, 2001.10.
- 2) 国土開発技術研究センター: フィルダムの耐震設計指針(案), 95pp., 1991.3.
- 3) 沼田 淳紀, 大野 孝二, 長谷川 昌弘, 小西 雄介: フィルダム粗粒材料の諸特性, 第 36 回地盤工学研究発表会, 投稿中, 2001.6.
- 4) 大野 孝二, 沼田 淳紀, 長谷川 昌弘, 小西 雄介: フィルダム粗粒材料のせん断強度, 第 36 回地盤工学研究発表会, 投稿中, 2001.6.