

ロックフィルダムの水位急低下時における安定性の評価

関西電力(株) 正会員 工藤 アキヒコ・岩名 大輔
 岡山大学 正会員 西垣 誠
 建設企画コンサルタント 正会員 鳥居 剛・浅田 昌蔵

1.はじめに 著者らは、ダムロック材のような粗粒材について、飽和・不飽和浸透特性に及ぼす粒径の影響を明らかにするために試験を行ってきた^{1), 2)}。本報告は、その試験物性値を用いて、既設ダムの貯水位変動をモデルに、飽和・不飽和浸透流解析により水位急低下時の上流側ロック内の残留水位面を求め、円弧すべり法により安全率を算定して、粗粒材の飽和・不飽和浸透特性がダムの安定性にどのような影響を与えるのかを検討したものである。

2. 間隙水圧の計測事例 図-1は既設の揚水発電所ロックフィルダムの水位急低下時の貯水位低下量と間隙水圧の減少量の関係を示している。図中の直線は、貯水位の低下量と間隙水圧(P-6位置)の減少量が等しくなる関係を表している。同図から間隙水圧の減少量は貯水位の低下量にほぼ一致しており、残留間隙水圧はほとんど発生していないことがわかる。

3. 粗粒材の飽和透水係数 図-2は、図-3に示す相似粒度試料(a~e)について行った透水試験(供試体直径120cm~15cm)の結果で、飽和透水係数 k_s と動水勾配 i との関係を示している。図に示すように、粒度a, bの k_s は i の増加とともに小さくなる右下がりの関係を示し、動水勾配依存性が認められた。図-4は、粒度と透水係数の関係を推定するために行った透水試験の全53試料の粒度分布を示している。この試験の回帰分析から、 k_s はTerzaghi型の式(1)で精度良く表現できることがわかっている¹⁾。浸透流解析には、式(1)より推定した k_{est} を k_s として用いた。

$$k_{est} = 1.77 \left(\frac{n - 0.13}{\sqrt[3]{1 - n}} \right)^2 D_{10}^{1.66} D_{60}^{0.666} \quad (1)$$

ここに、 D_{10} , D_{60} : 10%粒径および60%粒径(mm), n : 間隙率
 k_{est} : 推定した飽和透水係数(cm/s)

4. 不飽和浸透特性 図-5は、図-3に示すa~dおよびfの試料を用いて行った不飽和浸透特性試験の結果で、土柱法により求めた土中水のサクションと有効飽和度 S_e の関係、およびフラックス制御型の装置を用いて行った不飽和透水試験²⁾による比透水係数 k_r と S_e の関係を示している。図中には、Van-Genuchtenモデル(VGモデル)およびIrmay型のモデルの適用結果も示している。図に示すように、 $k_r \sim S_e$ 関係はVGモデルで精度良く表せている。これに対して、 $k_r \sim S_e$ 関係はVGモデルよりもIrmay型の方がその

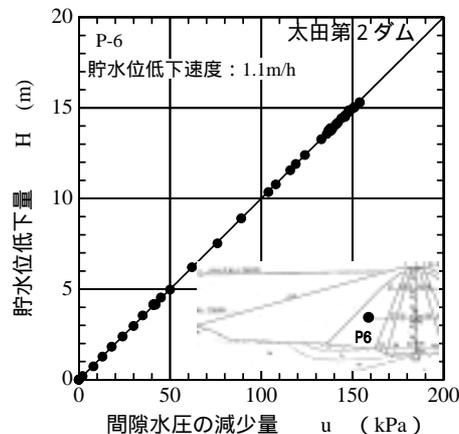


図-1 貯水位と間隙水圧の関係

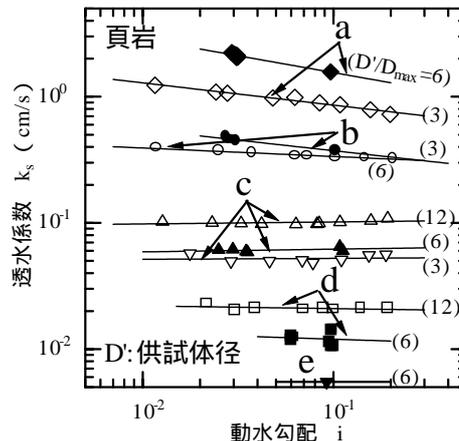


図-2 k_s と i の関係

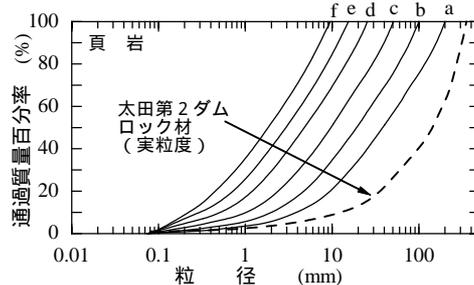


図-3 相似粒度試料の粒度分布

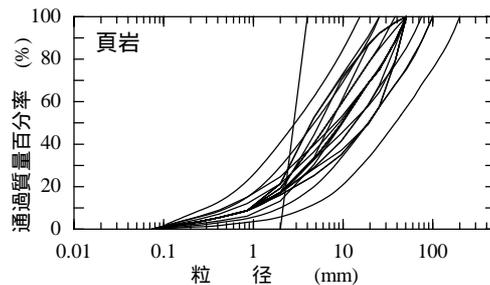


図-4 透水試験に用いた試料の粒度分布

キーワード ロックフィルダム, 粗粒材, 透水係数, 不飽和透水係数, 水分保持特性, 浸透流解析

連絡先 〒661-0974 兵庫県尼崎市若王寺3丁目11番20号 関西電力(株)総合技術研究所 TEL 06-6491-0221

特性をうまく表せている²⁾。このことから、浸透流解析の $\sim S_e$ 関係には VG モデルを、 $\sim k_r$ 関係には Irmay 型のモデルを用いた。図中の破線で示した実粒度および粒度 a, b の $\sim S_e$ 関係は、粒度 c, d, f からの外挿による推定値である。

5. 水位急低下時のシミュレーション解析 浸透流解析には飽和・不飽和浸透流解析プログラム (UNSAF) を用いた。解析条件は、表 - 1 に示すように、実粒度および試料 a~d, f に応じた k_s と不飽和特性を対で用いる解析 (ケース 1~6) と、設計透水係数 ($k_{sd}=0.1\text{cm/s}$) および原位置透水係数 ($k_{sd}=1\text{cm/s}$) を用いた解析 (ケース 7~9) である。図 - 6 は、ケース 1~6 の P-6 位置での間隙水圧の経時変化を示している。図に示すように、透水係数が大きいほど残留間隙水圧 (貯水位との差) が低くなっている。また、設計透水係数における残留間隙水圧は、図中の b と c の中間にあたり、貯水位低下量の 1/2~1/3 程度が残留している。図 - 7 はケース 7~9 で貯水位低下速度が最も早い 10m/h の間隙水圧の経時変化を示している。図に示すように、 $k_s=0.1\text{cm/s}$ では、ロック内の残留間隙水圧が最も高くなっている。また、 $k_s=1.0\text{cm/s}$ で不飽和浸透特性に実粒度と最も細粒の物性 f を用いたケース (8 と 9) では、実粒度の方が残留間隙水圧が高くなっている。 k_s が同じでも、粗粒のものほど残留間隙水圧が高くなる理由の一つに、 k_r が等しい場合を例にとると粗粒材ほど S_e が小さく、したがって k_r が小さくなるので、不飽和透水係数も小さくなること上げられる (図 - 5 参照)。

6. 安定計算 表 - 2 は、ケース 7~9 の残留水位面を用いて実施した円弧すべり計算の安全率を示している。すべり安定計算は、スライス法を用い、残留水位面付近に円弧を固定して、水平震度 k_h を 0.15 として行った。同表に示すように、安全率は、水位変動速度が速いほど、 k_s が小さいほど小さくなっている。透水係数が 1cm/s の実粒度と物性 f とでは、明らかに実粒度の安全率が小さくなっている。この傾向は、水位変動速度が速いほど顕著で、特に水位変動速度が 10m/h と早い場合には、不飽和物性の違いによる安全率の差は無視できないほど大きなものとなっている。

7. 結論 揚水発電所ロックフルダムの上流ロック部の安定性を評価する場合に、ロック材の粒度に応じた飽和透水係数と不飽和浸透特性を用いることが重要であることを示した。特に、粒度に応じた飽和透水係数を用いても、不飽和特性に細粒のものを用いると残留水位を低く見積もり、ダム の安定性の面からは危険側の結果を導くことを示した。

参考文献 1) 工藤アキヒコ他：粗粒材の飽和透水特性に関する実験的研究，土木学会論文集，No.715/ -60, pp.187-199, 2002. 2) 工藤アキヒコ他：粗粒材の不飽和浸透特性の測定と粒度による影響，土木学会論文集， 部門 (投稿中)

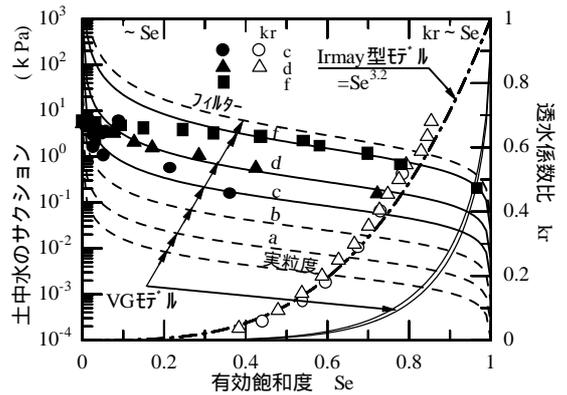


図 - 5 不飽和浸透特性 (頁岩)

表 - 1 解析ケース

ケース	粒度分布 (不飽和特性)	Dmax mm	ks cm/s	貯水位低下速度 m/h
1	実粒度	350	8.1	1
2	a	200	2.1	
3	b	100	0.40	
4	c	50	0.077	
5	d	25	0.015	
6	f	10	0.0016	
7	c	50	0.1 (設計)	1,3,10
8	f	10	1.0 (原位置)	
9	実粒度	350		

*: 動水勾配依存性有り

表 - 2 安定計算条件と安全率

貯水位条件		ロック材透水係数 / 不飽和物性		
低下速度	低下量	0.1cm/s 物性c	1.0 cm/s 物性f	実粒度
1.1m/h ¹⁾	10m ¹⁾	1.289	1.503	1.493
3m/h ²⁾	19m ²⁾	1.247	1.573	1.490
11m/h	10m	1.091	1.331	1.148

1): 図 - 1 の条件 2): 設計時の条件

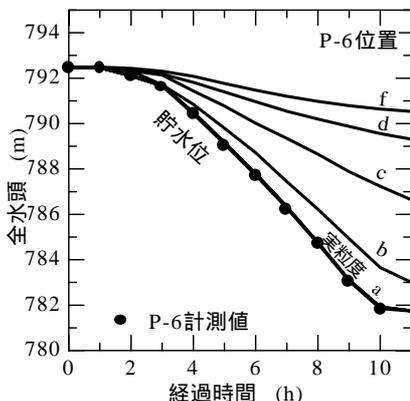


図 - 6 ケース 1~6 の間隙水頭の経時変化

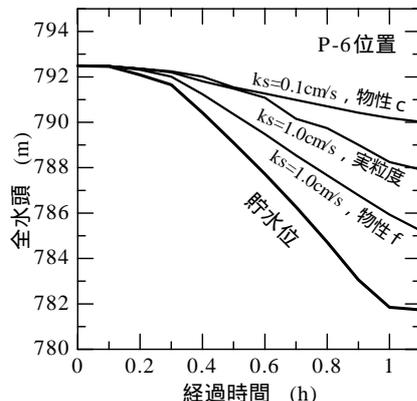


図 - 7 ケース 7~9 の間隙水頭の経時変化 (水位低下速度 10m/h)