#### フィルダムコアの水圧破砕の進行に関する研究

土木研究所	正会員	山口	嘉一
土木研究所	正会員	佐藤	弘行
土木研究所	正会員	冨田	尚樹
十木研究所	正会員	三笠	直吾

# 1.目的

土質遮水壁型ロックフィルダムのコア幅が狭い場合,水圧破砕に対する安全性の余裕が比較的小さいことが既往の研究により判明している<sup>1),2)</sup>.コアに水圧破砕が発生した場合,破砕箇所の透水係数が大きくなり間隙水圧が増加することにより水圧破砕が進行することが考えられる.本研究では,コア幅およびフィルタ幅を変化させた土質遮水壁型ロックフィルダムの築堤・湛水解析を行い,コアの水圧破砕の進行に与える影響について検討を行った.

# 2.解析方法

図-1 に示す堤高 100m の中央土質遮水壁型ロックフィルダムモデルを 40 層でかつ扁平な要素とならないように有限要素分割を行い,築堤およ び湛水解析を行った.応力変形解析は Duncan-Chang モデルを用いた非線 形の全応力解析で行った.各種解析に用いた入力物性値を表-1 に示す. モデルダムの上下流面勾配の1:2.6 と1:1.9 は,表-1 に示す物性値を用 い震度法により設計された強震帯のロックフィルダムのそれに相当する.

湛水解析の荷重条件は図-2のとおり設定した.貯水位は堤高 H の 92%とした.本解析に使用した物性値は,七ヶ宿ダムで用いられた設計値や試験値<sup>3),4)</sup>を参考に設定した.コアおよびフィ ルタ勾配は,コア勾配 5 種 ( $n_c$ =0.1~0.2の0.025 ピッチ)お よびフィルタ勾配 2 種 (ケース a:  $n_f$ =0.35 とケース b:コア 勾配と同じ)の計 10の組み合わせで設定した.

算出されたコアの最小主応力 <sub>3</sub>と間隙水圧 u を用いて Seed の基準<sup>5)</sup>に基づき,以下の式で水圧破砕に対する安全性の評価 を行った.

 $SF_{hf} = (_{3} + _{t}) / u \cdot \cdot \cdot (1)$ 

ここで, <sub>3</sub>:最小主応力(全応力), <sub>1</sub>:コアの引張強度で,本研究で は安全側の評価として0とした.u:コア内の間隙水圧で浸透流解析を行 い算出した.

水圧破砕の進行は、SF<sub>hf</sub>が1.0を下回るコア内要素においてその透水係数を $1 \times 10^{-5}$ cm/sec から $1 \times 10^{-3}$ cm/sec に置き換えることで表現した.透水係数を変化させて、再度浸透流解析を行い新たに SF<sub>hf</sub>を求め、SF<sub>hf</sub>が1.0を下回る箇所がなくなるまでこの作業を繰り返し、水圧破砕の進行領域を評価した.

### 3.解析結果と考察

図-3 に破壊の進行度を表す指標 L1/L2 の定義を示す.L1 とL2 は,それぞれ SF<sub>hf</sub>が 1.0 を下回る上下流方向幅とその位置におけるコア幅である.また,コアの形状を示す指標 B/H は,コア敷幅と堤高の比である. これらの指標を用いて考察を行った結果を以下に示す.

図-4 に B/H と水圧破砕に対する安全率 SF<sub>hf</sub>のうちコア上流面で発生す る最小安全率 SF<sub>hfmin</sub>の関係を示す.この図よりコア勾配が急になり,コア 幅が狭くなるにつれ水圧破砕に対する安全率は低下することがわかる.

表 - 1 解析に用いた物性値					
項目	ロック	フィルタ	コア		
湿潤密度 t(t/m <sup>3</sup> )	1.94	2.13	2.22		
粘着力c(kN/m <sup>2</sup> )	0	0	0		
内部摩擦角 (°)	42	36	35		
弾性係数を定義する係数K	850	608	141		
拘束圧依存性を定義する係数 n	0.371	0.419	0.941		
破壊比 Rf	0.387	0.998	1.039		
初期ポアソン比G	0.324	0.252	0.397		
ポアソン比に関わる係数F	0.269	0.173	0.098		
ポアソン比に関わる係数D	13.82	11.16	7.96		





図 - 2 湛水解析の荷重条件(全応力)

図-3 L1/L2とB/Hの定義

R



また,フィルタ幅が狭いケース a に比べ,フィルタ幅の広いケース b の 方がコア形状が同じ場合でも SF<sub>hf</sub> は大きくなる.これらの傾向は,有限 要素分割の粗いモデルを用いた筆者らの既往の研究結果<sup>2)</sup>と一致する.

図-5 に水圧破砕が発生するケース a について B/H と破壊の進行度を表 す L1/L2 の関係を示す.また,図中には,参考に既往ダムの浸透破壊事 例である Balderhead ダム(英国,1965 年竣工)<sup>6)</sup>と Hyttejuvet ダム(ノ *I*/*I*/*I*-,1966 年竣工)<sup>6)</sup>について,不規則な形状のコアの面積と同じとな るモデルダムのような台形形状のコアの底面幅として B を算出して評価 した B/H も示した.図-6 に水圧破砕に対する最小安全率 SF<sub>hfmin</sub>と L1/L2 の関係を示す.また,図-7 に水圧破壊進行前後の L1/L2 の関係を示す. これらの図から以下のことがわかる.なお,これらの結果は,均質なコ アを想定して行った結果であることに注意しなければならない.

- 1)ケースaでB/Hが0.3程度以下になると水圧破砕の進行が急激になる. 浸透破壊が生じた既設2ダムのB/Hは0.2程度であり,解析結果の傾向から浸透破壊が発生しやすい形状であったことが推察される.
- ケース a で水圧破砕進行前の SF<sub>hfmin</sub>が 0.95 程度以下になると水圧破 砕の進行が急激になる.一方フィルタ幅が広いケース b では SF<sub>hf</sub> は大 きくなり, SF<sub>hf</sub> が 1 未満の箇所は存在しない.
- 3)水圧破砕進行前の SF<sub>hf</sub>が 1.0 を下回る領域の広がりを表す指標 L1/L2 が 5%程度以上になると水圧破砕の進行が急激になる.

コア幅およびフィルタ幅が狭い場合には、SF<sub>hfmin</sub>が1.0を若干下回る程 度であったり,SF<sub>hf</sub>が1.0を下回る領域が比較的狭くても破壊の進行が かなり加速する場合があることに注意する必要がある.

# 4.まとめ

本研究では土質遮水壁型ロックフィルダムにおいてコア幅,フィルタ 幅を変えて築堤・湛水解析を行い,水圧破砕に対する安全性およびその 進行について検討を行った.その結果,均質なコアにおいてコア幅およ びフィルタ幅が狭い場合には、SF<sub>hfmin</sub>が1.0を若干下回る程度であったり, SF<sub>hf</sub>が1.0を下回るその領域が比較的狭くても破壊の進行がかなり加速 する場合があることがわかった.

今後は,堤高,コア形状およびその剛性が水圧破砕進行に及ぼす影響 についても詳細な検討を行うとともに,コアの水圧破砕に関してより厳 密な形で設計を実施するために,三次元解析の導入やコア水圧破砕抵抗 性評価などについての研究も併せて実施する予定である.



参考文献			
連絡先	〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6	Tel.0298-79-6781	Fax.0298-79-6737
キーワード	フィルタム,コア幅,湛水解析,水	上破碎,進行性破坏	表

- 1) 石黒 健,内田善久,鶴田 茂,中野 靖,太田秀樹:大型ロックフィルダムの浸透破壊現象の評価に関する検討,地盤の 浸透破壊のメカニズムと評価手法に関するシンポジウム発表論文集,pp.163-172,2002年11月.
- 2) 山口嘉一, 冨田尚樹, 佐藤弘行, 水原道法:水圧破砕に着目したロックフィルダムのコア幅に関する研究, 第40回地盤工学研究発表会(CD-ROM), No.693, 2005年7月.
- 3)(社)東北建設協会:七ヶ宿ダム工事誌,1992年3月.
- 4) 松本徳久, 安田成夫, 大久保雅彦, 境野典夫: 七ヶ宿ダムの動的解析, 土木研究所資料, 第2480号, 1987年3月.
- 5) Seed, H.B., and Duncan, J.M.: The Teton Dam Failure- A Retrospective Review, Proc. 10th Int. Conf. S.M.F.E., Vol.4, pp.219-238, 1981.
- 6)(社)発電水力協会:最新フィルダム工学,pp.555・569,1972年7月.