

フィルダムコア一部の浸透破壊に関する遠心模型実験

愛知工業大学工学部 学 幸繁 宜弘 正 村瀬 祐司
正 奥村 哲夫 正 成田 国朝

1. はじめに

近年、フィルダムは、堤高やその数においてコンクリートダムを凌ぐほどになってきているが、反面それに伴って事故件数が増加していることも否定できない事実である。中でも1975年、アメリカ、アイダホ州に建造された Teton Dam は初期湛水時にコア内部に発生した水理的破壊によって翌1976年6月に決壊した。この種の水理的破壊は、本来拘束圧が大きいと考えられる基礎地盤や堤体の内部において種々の要因により拘束応力が減少して亀裂破壊やせん断破壊が起こり、漏水や浸食が発達してパイピング破壊につながる現象であると考えられている。さらにコア材をクラックの生じやすい粒度範囲で設計した場合や、材料自体を粗雑なレキ混じりの砂、粘土あるいはシルト質で構成し、またモレーン(結晶した堆石)を多く含んだ配合にした場合などにも破壊が生じていることが過去の調査でも明らかになっているところである。さらに水理的破壊の特徴として、比較的良好に締固められたコアにおいても初期湛水などで破壊が発生しており、現在、定性的・定量的な破壊のメカニズムの解明や破壊判定法の確立が急務となっている。

本報告は、フィルダムにおいて発生するコア一部の水理的(浸透)破壊を遠心模型実験によって調べたもので、ここでは基礎実験として行った2,3の結果について報告する。

2. 実験概要

アルミ製の土槽容器(内寸法:46×46cm、奥行:20cm、前面アクリル板)内に作製した中心コア型ロックフィルダム模型の概略を図-1に示す。各ゾーンの粒度特性は図-2に示す通りであり、コア材にはクラックの生じやすい材料として調整したシルト質土を用いている。基礎部は締固めD値100%で締固めた不透水性の粘土地盤とした。また、貯水時にコア部と土槽壁面との間の漏水を防ぐため、この間に液性限界付近で含水比調整したカオリン粘土を用いて遮水した。さらにコア材の流亡を促して浸透破壊現象を明瞭に再現するために、下流側にはフィルターゾーンを設けず、またコア部には一部幅の狭い(4.5cm)箇所を作り(図

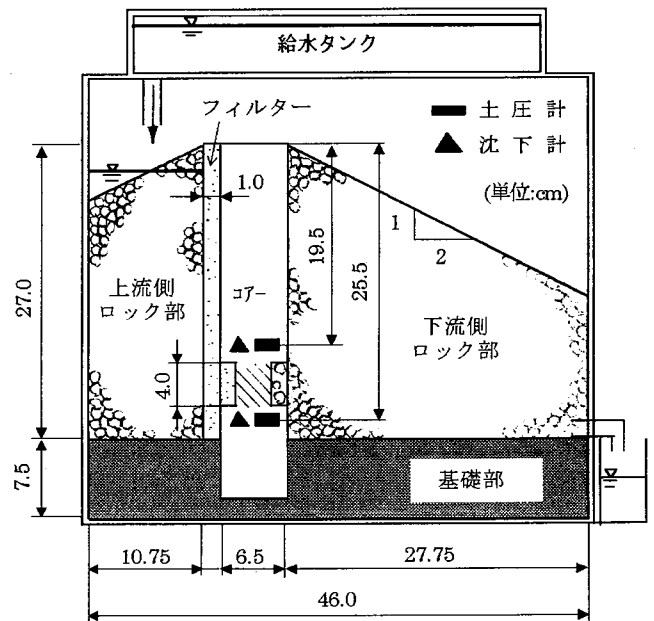


図-1 ロックフィルダム模型の概略図

表-2 遠心模型実験装置の性能諸元

表-1 コアの性状

実験	CASE. I	CASE. II
遠心加速度 (G)	30	20
換算堤高 (m)	8.1	5.4
コア一部乾燥密度 (g/cm ³)	1.50	1.50
コア一部締固めD値 (%)	85	85
コア一部含水比 (%)	9.54	9.54
コア一部透水係数 (cm/s)	1.32×10 ⁻⁵	1.32×10 ⁻⁵

項目	性能
有効半径 (cm)	136
最大加速度 (G)	200
最大搭載質量 (kg)	200
容量 (G・ton)	15
最大回転数 (r. p. m.)	360
駆動馬力 (kW)	11.0 (インバーターモーター)
試料容器搭載形式	スリイングテーブル

Centrifuge Model Tests on Hydraulic Fracturing in Fill - Type Dams ; Norihiro KOUSHIGE, Yuji MURASE, Tetsuo OKUMURA and Kunitomo NARITA (Aich Institute of Technology)

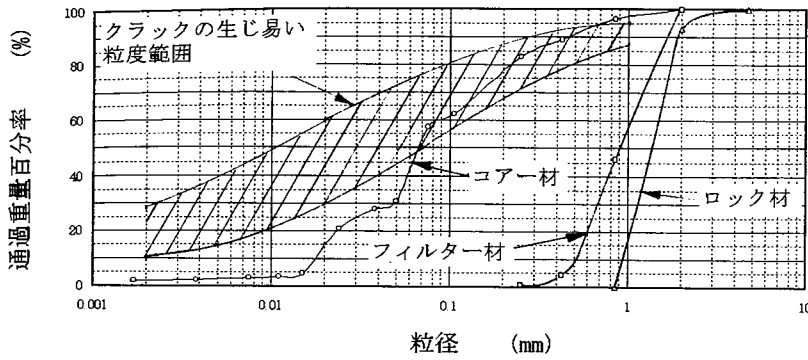
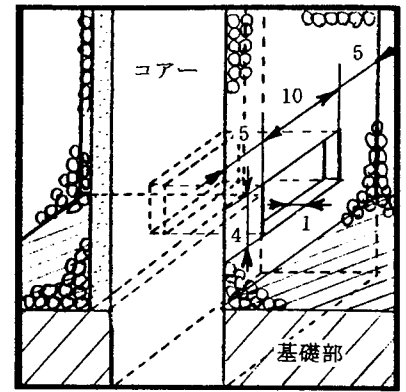


図-2 模型材料の粒径加積曲線



単位: cm

図-3 コアの破壊規定部形状

3)、その下方には鉛玉(比重 11.34)を混入して自重による沈下を部分的に拡大させ、図-1の斜線部分で水理的破壊が発生するようにした。

実験は遠心加速度 30G のもとで一気に貯水して破壊させる場合(CASE. I)と、20G のもとで貯水を段階的に貯水した場合(CASE. II)の2ケースについて行った(表-1)。貯水位の確認は貯水側に設置した水圧計およびフロートにより行った。実験時にはコア内の土圧、沈下量および、浸透流量(下流側排水タンク内の貯水圧より算定)を計測した。なお、CASE. II では実験を長時間持続させるために下流側に浸透した水をポンプにより再び給水タンクへ導くシステムを採用している。表-2 に本研究で使用した遠心模型実験装置の諸元を示す。

3. 実験結果と考察

CASE. I の実験結果を以下に示す。図-4 は貯水圧 U と浸透流量 Q の経時変化、図-5 はコアの破壊を規定した部分(以下破壊規定部と呼ぶ)の下部の沈下量 S の経時変化、図-6 は破壊規定部の上・下部の土圧 σ_v の経時変化を示したものである。まず図-4 の $Q \sim t$ 関係を見ると、図の点線部で示した、 $t \approx 500 \text{sec}$ 付近で ($u = 0.42 \text{kgf/cm}^2$ 、水位 14.9cm) 急激な浸透流量の増大が認められる。この時の最大流量 ($t \approx 700 \text{sec}$) は、コアの透水係数から計算した定常流量 ($0.15 \text{cm}^3/\text{s}$) と比べ約 1500 倍もの値であり、明らかにコアの破壊による浸透流量の増大であることが分かる。なお $t \approx 700 \text{sec}$ 以降より流量が急激に減少しているがこれは貯水(給水)が停止したためである。

次に図-5 の $S \sim t$ 関係を見ると、 $Q \sim t$ 関係の時と同様に、図の点線

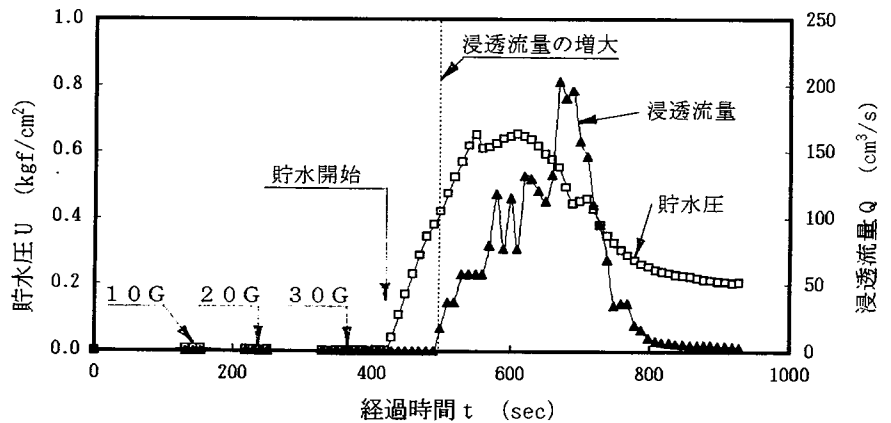


図-4 貯水圧・浸透流量の経時変化(CASE. I)

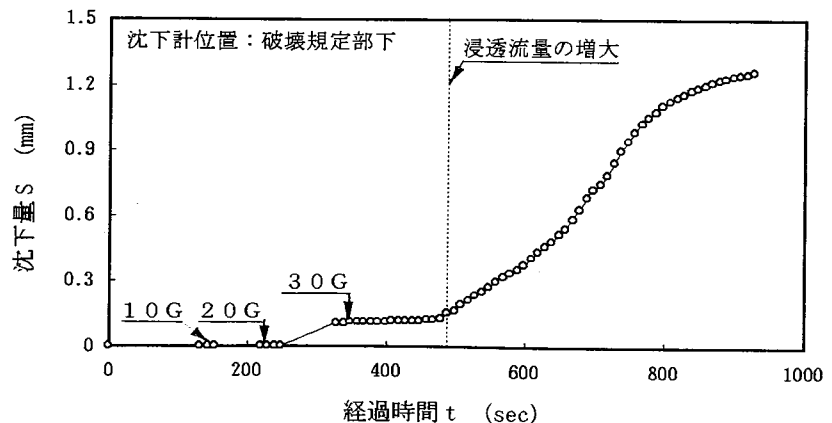


図-5 沈下量の経時変化(CASE. I)

部分の $t \approx 500 \text{sec}$ 付近で沈下量(破壊規定部下)が増大し始め、最大約 1.3mm 沈下している。この沈下が、コア全体の沈下なのか、水理的破壊によるクラックの拡大あるいは沈下計下方の鉛玉混入による強制沈下によるものであるかは沈下を 1 点でしか計測していなかったため余り明確ではない。しかし、 $t \approx 500 \text{sec}$ 以前では沈下の増加割合が低い、コアが飽和して破壊したと思われる $t \approx 500 \text{sec}$ 以降で急激に沈下の増加割合が大きくなっていることから、少なくともコア一部の飽和化がコア一部の沈下、すなわちクラックの入りやすい状態を作り出したと考えられよう。このことは図-6 の $\sigma_v \sim t$ 関係からも推察される。すなわち、図において、浸透流量の増大の直前 ($t \approx 450 \text{sec}$) に下部土圧が一時的に減少しているが、これは破壊規定部の下部では、土圧計下方のコア一部への鉛玉混入による強制沈下に基づく一時的な土圧減少と考えることができる。一方、上部土圧はコア材の水浸による単位体積重量の増大によって上昇している。そしてこの両者の差、すなわち一時的に発生している破壊規定部分の拘束応力の減少が、コア一部の弱部を生み出し、水理的破壊をもたらしたとみなすことができよう。

図-7 は貯水前の土圧の絶対値について整理したもので、測定土圧 σ_v を土かぶり圧 σ_v^* ($=\gamma \cdot z$) で除した土圧応答比 $K \sigma$ と遠心加速度 α との関係を示している。図を見ると、 $K \sigma$ 値は 0.2~0.3 とかなり低い値を示していることが分かる。この原因として、コア部分と上流側フィルターおよび下流側ロック部との摩擦による上部コアの釣り上げやコア内部のアーチング、土

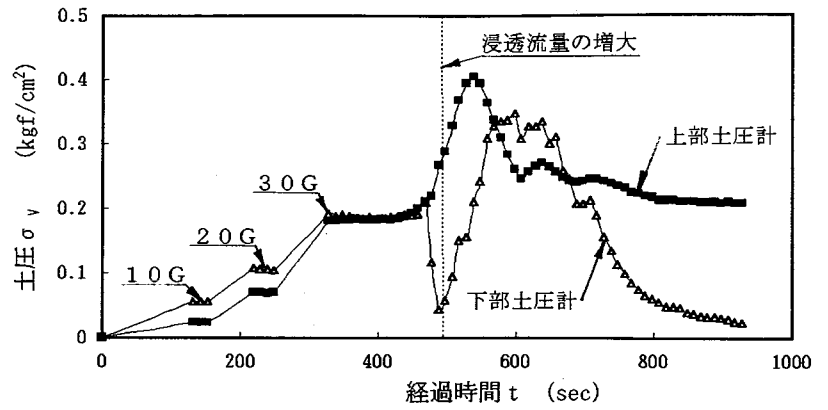


図-6 土圧の経時変化 (CASE. I)

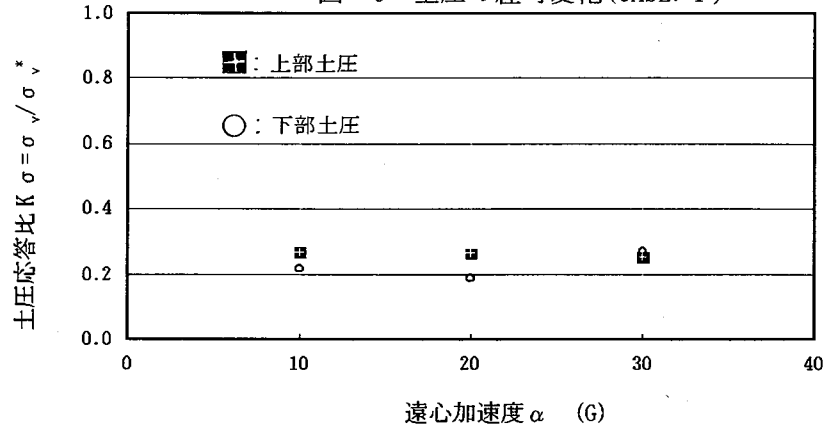


図-7 加速度変化に対する土圧応答

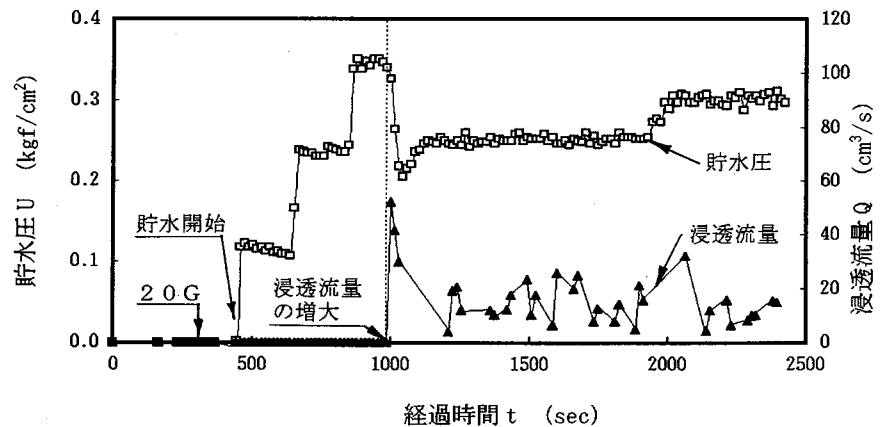


図-8 貯水圧・浸透流量の経時変化 (CASE. II)

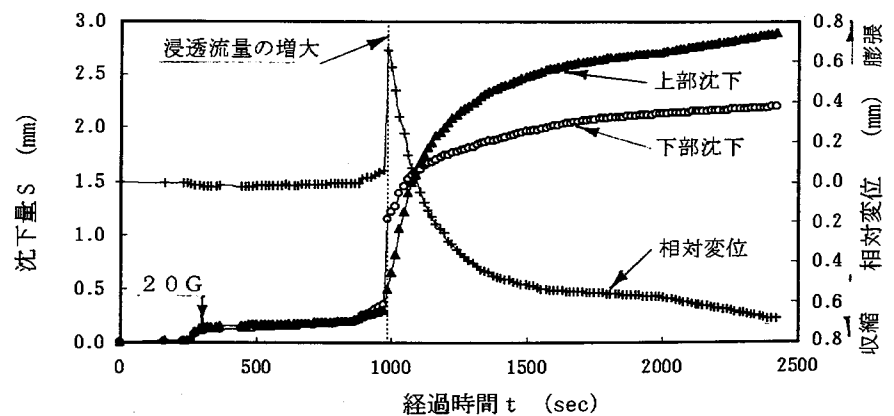


図-9 沈下量の経時変化 (CASE. II)

圧計の大きさ(コア幅 60mm に対して土圧計直径 25mm)、さらにはコア一部と土槽側壁との側壁摩擦等の影響が考えられる。

図-8 および図-9 は CASE. II の実験結果である。まず、図-8 の $Q \sim t$ 関係を見ると貯水開始($t \div 400 \text{sec}$) から $t \div 1000 \text{sec}$ の間の浸透流量の変化はほとんど認められないが、この直後($u \div 0.34 \text{kgf/cm}^2$, 水位 19cm) で浸透流量が一気に増大しており、水理的破壊が生じたと考えられる。また、破壊後も貯水圧(位)を一定に保つと、浸透流量は破壊時と比較して低下するものの極端な変動はない。これは拘束圧不足によって生じた亀裂が上載荷重によって収縮したためと言えよう。さらにこれらの現象は、上部及び下部沈下量と両者の差で示した相対変位の関係(図-9)からも確認することができる。すなわち、破壊付近で下部沈下量が上部と比較して大きくなり、相対変位が引っ張り側に現れて亀裂や土粒子の流亡が発生したと考えられる。またこの後には相対変位が圧縮側に転じていることから、亀裂等が収縮して浸透流量が減少したものと考えることができる。

4. あとがき

今回の遠心模型実験によってフィルダムコア一部の水理的破壊現象の再現が可能であり、コアの水浸時におけるコア材の飽和化による拘束圧の減少、不等沈下などによる亀裂の発生が破壊原因として挙げられることが分かった。しかし、破壊の主たる原因とされているコア内部の有効応力の減少などの定量的傾向を把握できたとは言い難い。特に土圧計については様々な問題点が挙げられたため、今後の最重要課題として取り組まなければならない問題であろう。またこれと同時に浸透流量の測定方法や実験手法の改良と共に、今後は多くのデータの蓄積により、水理的破壊のメカニズムを解明し、破壊評価手法の確立をめざす必要がある。

【参考文献】

- 1) James L. Sheward(1986): Hydraulic Fracturing in Embankment Dams, ASCE, GE, vol. 112, No. 10, pp. 905~pp. 927.
- 2) Sheard, J.L., Woodward, R.J., Gtzienski, S.F. and Clevenger, W.A. (1963): Earth and Earth Rock Dam, Jhon Wiley and Sons.
- 3) 大根・成田(1978): ティートンダムの決壊に関する考察、愛知工業大学研究報告、No. 13, pp. 217~pp. 229.
- 4) 大根・成田(1977): ティートンダムの決壊に関する考察(第二報)、第 32 回土木年次講演会、pp. 579~pp. 580.
- 5) 成田・大根(1980): フィルダムの基礎地盤形状と堤体内変形について、ダム日本、No. 430, pp. 39~pp. 49.
- 6) 大根(1993): フィルダム設計上の問題点とその考察、ダム技術、No. 77, pp. 4~pp. 13.
- 7) 奥村・成田・大根(1994): 遠心載荷模型実験に関する基礎実験、愛知工業大学研究報告、No. 29, pp. 79~pp. 88.