

フィルダムの水理的破壊現象に関する基礎実験

愛知工業大学大学院 (学)○荻田 真実
愛知工業大学工学部 (正) 奥村 哲夫・成田 国朝・大根 義男

1.はじめに

フィルダムにおける水理的破壊現象(Hydraulic Fracturing、以下 HF と呼ぶ)は、Teton ダムの崩壊原因の 1 つであると考えられている。そしてこの崩壊を機に、HF に対する関心が高まり盛んに研究が行われるようになった。本報告は、村瀬¹⁾が行った浸透破壊実験装置を改良し、拘束応力をさらに高めた状態で実験を行い、HF の発生条件と諸要因の関係について検討したものである。

2.実験概要

実験に用いた試料は、最大粒径が 2mm となるように粒度調節をしたものである。表-1 に試料の物理的性質と case1 および case2 の実験に対する供試体性状を示す。なお、本試料は統一分類でシルトまじり砂に属する。

モールド内の供試体の概略を図-1 に、実験装置の概略を図-2 に示す。モールドは、内径φ=200mm、高さ h=254mm であり、供試体(φ=200×100h)の中央部から通水し、両端に設けたフィルタ方向に浸透させ HF を発生させようとするものである。

供試体は、含水比を調節した試料を所定の密度で 1 層を 2cm として 5 層に分けて突き固めて作成した。また、供試体の 2 層目から 4 層目の両端に設けたフィルタ部には、粒径 2.0mm~19.0mm の碎石を用いている。供試体の上下にはベントナイト混合材によって不透水層を配置することにより浸透領域を限定した。

実験は、まず供試体に鉛直応力 $\sigma_v=98.1\text{kPa}$ を与え、給水側から排水側へ通水(水圧 6.9kPa)を行い供試体を飽和する。その後、供試体に所定の σ_v を加えて圧密し、一時圧密がほぼ終了したと判断された時点で供試体に間隙水圧 $u_0=98.1\text{kPa}$ を作用させ実験を開始する。排水側の水圧を $u_{out}=98.1\text{kPa}$ 一定に保ちながら給水側の圧力を上昇させることにより、動水勾配 i を段階的に増加させて浸透流量の変化を調べた。動水勾配の増加は、1 ステップを一時間として行い、図 3-(a),(d)に示すように著しい流量急増点(A 点)または、図-3(b),(c)に示すように、破壊により流失した土粒子が排水側パイプに詰まったために発生したと思われる流量の激減点(B 点)が見られた点を HF の発生と見なし実験を終了した。

3.実験結果と考察

図-3 は、動水勾配 i と浸透流量 Q の関係である。図中には、上記の HF 発生点(A 点)、(B 点)と流量の減少点(C 点)を示している。(a)~(d)図は、case1 における実験結

表-1 試料の物理的性質

	case1	case2
土質名称	シルトまじり砂	
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.636	
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.842	
最適含水比 w_{opt} (%)	13.0	
供試体乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.695	1.830
供試体含水比 w (%)	5.4	5.4

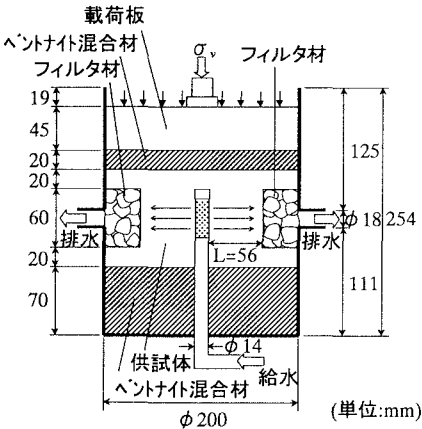


図-1 供試体の概略

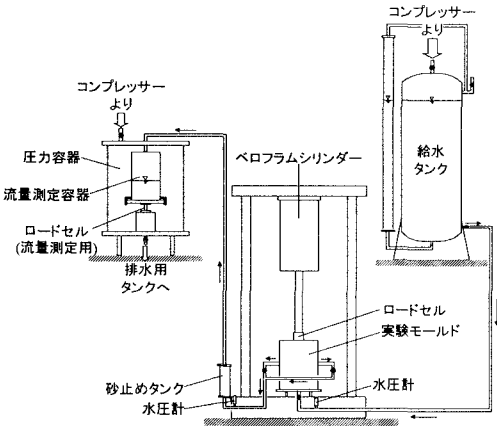


図-2 実験装置の概略図

果であり、(e)図は、case2 における結果である。図-3(a)では、 $i=80$ までは i の増加に伴って Q が比例的に増大し、 $i=100$ 付近では急激な Q の増大が認められ、破壊に至っていることが分かる。しかし、(b)、(c)、(d)、(e)図では、C 点付近までは $Q \sim i$ に比例関係が認められるものの i の増加に対する Q の増大が C 点を境として緩やかとなっている。これは、供試体内で細粒分の移動等によるフィルタ付近の目詰まりや浸透圧による圧縮などの影響が考えられる。このことから、流量の減少点(C 点)も供試体内で細粒分の移動が始まったとして、HF の前兆と考えられる。

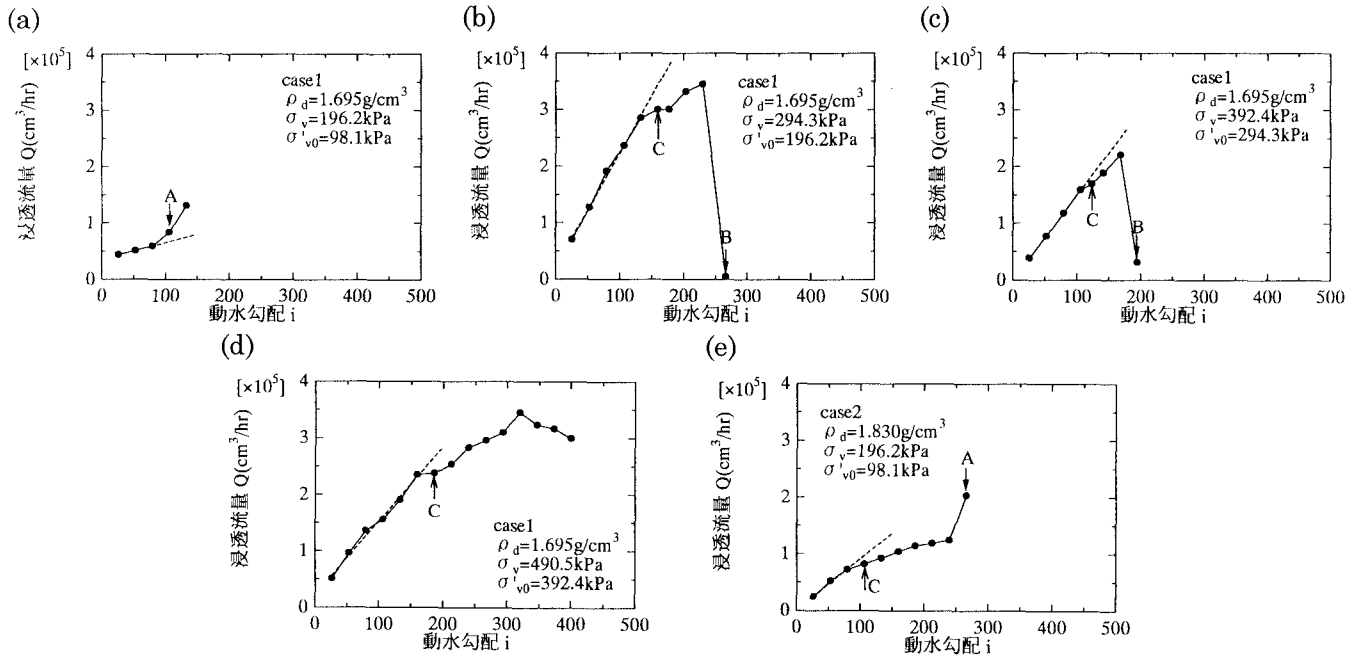


図-3 動水勾配 i と最終流量 Q との関係

図-4 は、図-3 に示した HF の発生時(●,▲)および HF 発生の前兆(○,△)の動水勾配を i_f とし、有効鉛直応力 σ'_{v0} ($=\sigma_v - \sigma_u$) との関係でプロットしたものである。同一密度で HF の発生と判断した結果(●印)を見ると、 σ'_{v0} の増大に伴って i_f も増大する傾向にあり、村瀬の結果と一致する。また、同じ σ'_{v0} ($=98.2 \text{ kPa}$) で供試体密度の異なる実験の i_f を比較すると、当然の結果ではあるが密度の高い case2(▲印)の方が大きくなっており、締固め時の粒子構造や密度の影響が HF に表れていることが分かる。さらに、HF 発生の前兆として判定した時の i_f (○,△印)は、HF の発生とした結果(●,▲印)と比較して全体的に下方にプロットされている。

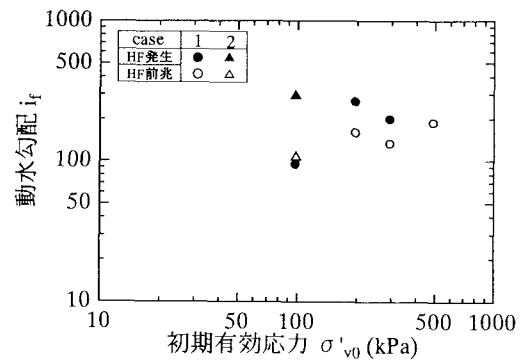


図-4 有効鉛直応力 σ'_{v0} と動水勾配 i_f との関係

4.まとめ

有効鉛直応力 σ'_{v0} が大きいほど、水理的破壊の発生に対する動水勾配も大きくなる傾向があることが分かった。乾燥密度 ρ_d を大きくすることにより水理的破壊に対する抵抗力が大きくなることが分かった。また、浸透流量が減少し始める点を細粒分の移動が始まった状態であると見なすと、これは破壊の前兆と考えることができる。今後は、水理的破壊に及ぼす締固め状態や粒度特性等の影響について調べていきたいと考えている。

<参考文献>

- 1) 村瀬 祐司:「土質コアを有するロックフィルダムの水理的破壊現象に関する研究」、愛知工業大学学位請求論文。
- 2) 山口 柏樹、大根 義男:「フィルダムの設計および施工」、技報堂