

ピンホールを有する締固めたコア材料供試体に対する浸透破壊試験

独立行政法人土木研究所

正会員
正会員

山口 嘉一, 正会員 佐藤 弘行,
林 直良, 正会員 ○吉永 寿幸

1. はじめに

フィルダムの耐震性能照査において、すべり変形が生じるおそれがある場合、越流に対する安全性のほか、すべり面の位置やすべり量を勘案し、地震後の貯水の浸透により浸透破壊が進行しないことをあわせて確認する必要がある¹⁾。そこで、フィルダムの遮水機能を受け持つコアにすべりによるせん断層が形成された場合でも、一般的なフィルダムにおける水圧(動水)勾配条件下において、コアのせん断層沿いに浸透破壊が発生、進行するのかを検討する必要がある。本研究では、せん断変形を受けたフィルダムコアの進行性破壊に関する基礎的検討として、せん断変形を受けた締固めたコア材料の浸透破壊抵抗性を評価することを目的として、せん断層をピンホールにて模擬した浸透破壊試験を行った。

2. 試験方法

試料は、実際のロックフィルダムのコア材料(泥岩、砂岩、火山礫凝灰岩互層と崖錐および降下堆積物の混合材料)を最大粒径 $D_{max}=2$ および 19mm に粒度調整したものである。試料の粒度分布および物理特性を図-1 および表-1 に示す。

また、締固め試験の結果、 $D_{max}=2\text{mm}$ 試料においては $w_{opt}=28.0\%$ で最大乾燥密度 $\rho_{dmax}=1.469\text{g/cm}^3$ 、 $D_{max}=19\text{mm}$ 試料においては $w_{opt}=27.9\%$ で最大乾燥密度 $\rho_{dmax}=1.514\text{g/cm}^3$ を得た。 $D_{max}=19\text{mm}$ 試料について、 w_{opt} で締固めて $0.95 \rho_{dmax}$ の乾燥密度で作製した供試体に対する透水試験を行った結果、透水係数 $k=2.11 \times 10^{-6}\text{cm/sec}$ を得た。

供試体は、内径 100mm 、高さ 100mm のモールド内に、含水比を w_{opt} に調整した試料を1層あたりの締固め後の厚さが 16.7mm となるように6層に分けて投入し、1層ごとに $1Ec$ 締固めの ρ_{dmax} の 95% の密度となるように作製した。ピンホールは、あらかじめモールドの中央にピンホール径と同じ直径のニードルを固定し、試料の投入後にニードルが変形しないように注意しながら締固め作業を行い、締固め終了後に供試体からニードルを引き抜くことにより作製した。ピンホール径は $1, 2, 4\text{mm}$ の3種類とした。なお、 $1\sim 4\text{mm}$ のピンホール径による供試体の平均的な透水性は、既往研究²⁾において、締固めた粘性土に対してせん断変形を与えて実施された透水試験から得られた平均的な透水性より十分大きく、設計上安全側の対応であると考えている。

ピンホールを形成した供試体は、ピンホールが水平になるように一定圧給水装置に接続した。試験装置を図-2 に示す。試験は、動水勾配を2より開始し、30分ごとに動水勾配を2ずつ上昇させ、動水勾配30まで連続して試験を実施する。流量は、一動水勾配の30分経過直前の3分間以内に $1\sim 2$ 分程度の測定を行った。試験終了後には供試体をピンホールの長手方向に分割し、ピンホール周辺の状況を観察した。供試体本数は、含水比(w_{opt})とピンホール径($\phi=1, 2, 4\text{mm}$)の各組み合わせで3本とした。なお、試験で規定している動水勾配 i は、供試体の上下流水位差を供試体高さで除した値として定義している。

3. 試験結果

補正動水勾配 i' と流量 Q の関係を図-3 にまとめて示す。補正動水勾配とは、配管等における水頭損失を考慮し

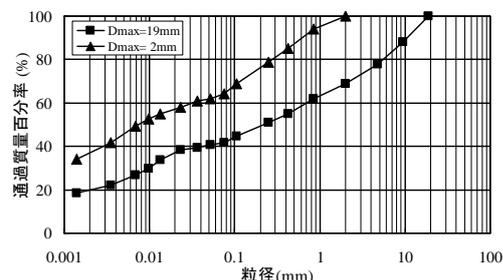


図-1 試料の粒度分布

表-1 試料の物理特性

粒 度	最大粒径 $D_{max}(\text{mm})$	2	19
	60%粒径 $D_{60}(\text{mm})$	0.03	0.71
	50%粒径 $D_{50}(\text{mm})$	0.01	0.22
	30%粒径 $D_{30}(\text{mm})$	-	0.01
土粒子の密度 (g/cm^3)		2.756	2.743
液性限界 LL(%)		64.5	
塑性限界 LL(%)		32.2	
塑性指数 PI		32.3	

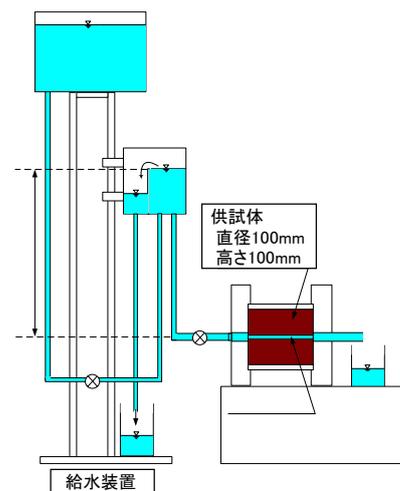


図-2 試験装置の概要

キーワード ロックフィルダム, コア, 地震時すべり, せん断変形, 浸透破壊

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 Tel.029-879-6781 Fax.029-879-6737

て動水勾配 i を補正したものである。水頭損失はモールド内に供試体を設置していない状態における通水試験より求めた。通水試験では、供試体を設置している場合と同様に、各動水勾配における流量を測定した。

$D_{max}=19\text{mm}$ 供試体において、ピンホール径 $\phi=1\text{mm}$ の場合、動水勾配の上昇に対し安定した流況となっており、破壊や目詰まりは発生しなかった。試験終了後のピンホール周辺の観察でも、何ら変状が認められなかった。 $\phi=2$ および 4mm の場合も $\phi=1\text{mm}$ の場合と同様の結果が得られており、 $\phi=4\text{mm}$ のケースでは試験条件が同じ3本の供試体の結果におけるばらつきが、極めて小さいことがわかる。

$D_{max}=2\text{mm}$ 供試体において、ピンホール径 $\phi=2\text{mm}$ の場合、 $D_{max}=19\text{mm}$ 供試体の $\phi=2\text{mm}$ の場合と同様の結果が得られており、3本の供試体での結果のばらつきは、 $D_{max}=19\text{mm}$ 供試体のケースに比べてさらに小さいことがわかる。

表-2 には、 (i', Q) データの回帰係数 a, b ($Q=ai'^b$) と相関係数を示す。この表からはピンホール径が同じであれば最大粒径に関係なく、 a, b の値に差がないことがわかる。また、ピンホール径 $\phi=2, 4\text{mm}$ の場合、 b の値は $0.50\sim 0.56$ で、ピンホール内の水流はほぼ乱流であると考えられる。ピンホール径 $\phi=1\text{mm}$ の場合、 b の値は $0.63\sim 0.70$ で、ピンホール内の水流は完全に乱流ではない流況と考えられる。

4. 考察

締固めたコア材料に形成されたせん断層をピンホールにより模擬して浸透破壊試験を実施した。その結果、コア材料の浸透破壊抵抗性について以下の知見を得た。

① 今回の試験において、動水勾配 $i=30$ ではピンホールの浸透（侵食）破壊は発生しなかった。しかし、今林らの研究³⁾によると、 w_{opt} に調整したフィルダムコア材料において、動水勾配 $i=30$ では破壊しなかったが、 $w_{opt}+3\%$ では $\phi=2$ および 4mm のピンホール径において、 $i=30$ になる前の $i=12\sim 18$ 程度の時に浸透（侵食）破壊が発生している。今回の試料では $w_{opt}+3\%$ の試験を行っていないため明確には言えないが、 w_{opt} で締固めた供試体では浸透（侵食）破壊が発生しなかったが、 $w_{opt}+3\%$ で締固めて供試体を作製した場合には $i < 30$ で浸透（侵食）破壊が発生する可能性がある。

② 我が国のロックフィルダムのコア部における上下流方向の動水勾配は平均的に2程度であること、ピンホール径 $1\sim 4\text{mm}$ の透水性は、せん断変形による透水性増加を十分な余裕をもって表現できるもの²⁾であることから、実際のフィルダムのコアは、ある程度大きいせん断変形を受けた場合でもその後の浸透により直ちに壊滅的な破壊には至らないと考えられる。

今後は、 $w_{opt}+3\%$ の試験や一定の動水勾配で長時間通水する試験を実施し、浸透破壊抵抗性の詳細な検討をする予定である。

参考文献

1) 猪俣 純, 永山 功ほか: 大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料, 国土交通省国土技術政策総合研究所資料, No.244, 独立行政法人土木研究所資料, No.3965, pp.75-78, 2005年3月。
 2) 副田悦生, 近藤悦吉, 中村博久: 粘性土の剪断変形後の透水性に関する研究, 電力土木, No.206, pp.103-108, 1987年1月。
 3) 今林 豊, 山口嘉一, 川崎将生, 吉田 等: ピンホールを有する供試体を用いたフィルダム遮水材料の侵食試験, 土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, pp.516-517, 1998年3月。

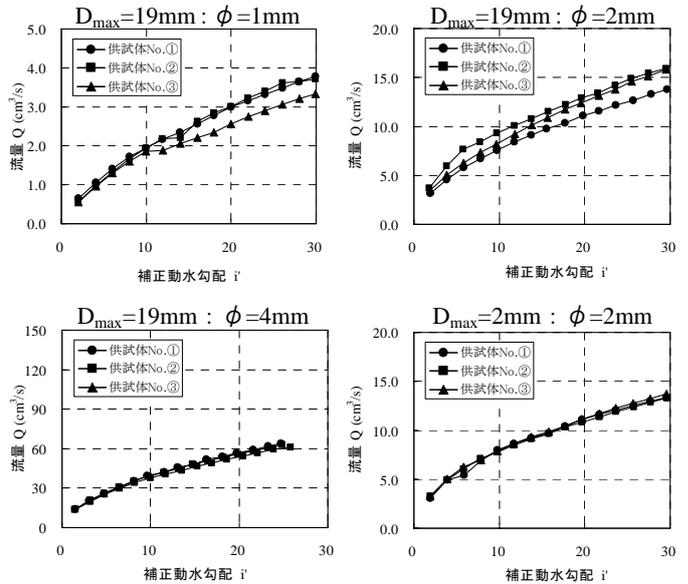


図-3 補正動水勾配と流量の関係

表-2 試験結果一覧

供試体条件		供試体番号	$Q=ai'^b$		
最大粒径	孔径		a	b	相関係数
$D_{max}=19\text{mm}$	$\phi=1\text{mm}$	W_{opt} ①	0.433	0.643	0.998
		②	0.375	0.694	0.995
		③	0.393	0.633	0.990
		平均	0.400	0.657	0.994
	$\phi=2\text{mm}$	W_{opt} ①	2.243	0.535	1.000
		②	2.948	0.500	0.993
		③	2.369	0.557	0.999
		平均	2.520	0.530	0.997
	$\phi=4\text{mm}$	W_{opt} ①	11.146	0.546	0.999
		②	11.062	0.529	0.999
		③	11.360	0.535	1.000
		平均	11.189	0.536	0.999
$D_{max}=2\text{mm}$	$\phi=2\text{mm}$	W_{opt} ①	2.262	0.531	0.994
		②	2.452	0.501	0.998
		③	2.463	0.508	0.998
		平均	2.392	0.513	0.996