

天然ダム越流時の侵食破壊模型実験

日本大学工学部 ○学生会員 村西 昇
日本大学工学部 正会員 仙頭紀明

1. はじめに

平成 20 年岩手・宮城内陸地震によって、湯ノ倉温泉地区では大規模な斜面崩壊が多数発生した。それにより河川に土砂が堆積して河道閉塞が発生し、大規模な天然ダムが形成された。この天然ダムは、降雨や余震により決壊すれば下流域に甚大な被害をもたらす危険性がある¹⁾。そこで本研究では、現場より採取した物理的性質が異なる試料を用いて締固めエネルギーと水浸の有無に着目した開水路実験および模型実験を行い、天然ダムの越流による侵食破壊に対する抵抗性について比較・検討する。

2. 採取した試料と実験概要

試料の採取地点は宮城県栗原市湯ノ倉温泉地区である(図-1)。各試料の物理試験結果を表-1に粒径加積曲線を図-2に示す。湯ノ倉土は、火山灰砂質土であり、細粒分質礫質砂(SFG)に分類された。実験には比較のため、湯ノ倉土と同様の火山灰砂質土である鶯沢土(宮城県栗原市)と中湯川土(福島県会津若松市)を用いた。表-1より湯ノ倉土は、他の試料と比べて塑性指数が高いことが分かる。

開水路実験は、既往の実験装置を用いて行った²⁾。供試体の突固め回数は、18回と36回である。これは、JIS A 1210で規定される締固めエネルギーA法の0.5倍の270kJ/m³と1.0倍の550kJ/m³に相当する。水浸有りの場合は締固め後、試料を水道水の入ったバケツに浸し、底面から24時間以上吸水させた。開水路実験ケースを表-2に示す。sinθは斜面勾配、h(mm)は水深である。

次に天然ダム堤体モデルを用いた室内越流侵食実験装置を図-3に示す。本装置は既往の研究³⁾を参考に片側開放の亚克力水槽(長さ1800mm、高さ500mm、幅100mm)を用いて作製した。模型堤体は開水路実験と同じ試料を用いて、長さ600mm、高さ180mm、奥行き100mm、天端60mm、斜面勾配1:1.5の寸法で作製する。試料の締固めエネルギーは、上述のA法とする。締固めの際は堤体を5層に分けて締固め、所定の斜面勾配となるように整形した。給水用タンクに水道水を溜め、ポンプを用いて亚克力水槽内に送水する。越流により侵食された土粒子を含んだ水は排水用タンクに溜め、ポンプにより排水する。実験は越流開始から堤体模型の侵食が生じなくなるまで行う。なお実験中は、デジタルビデオカメラで撮影し、経過時間および侵食量を観測する。侵食量とは、天端高さの越流侵食前後の変化量と定義する。

キーワード：天然ダム、越流、侵食、締固め、水浸

〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地 TEL 024-956-8710 FAX 024-956-8858



図-1 湯ノ倉温泉地区の試料採取地点

表-1 試料の物理的性質

	含水比 (%)	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)	塑性指数 I_p
湯ノ倉	39.4	2.471	76.3	32.7	43.6
鶯沢	17.0	2.542	45.0	34.5	10.5
中湯川	9.8	2.690	NP	NP	NP

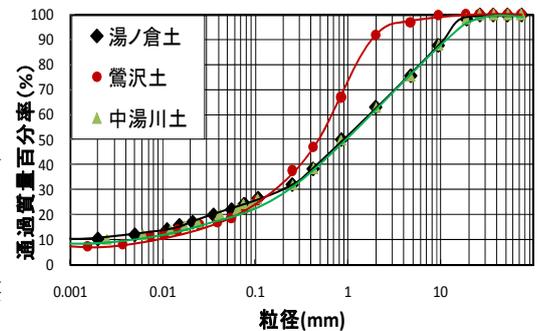


図-2 粒径加積曲線

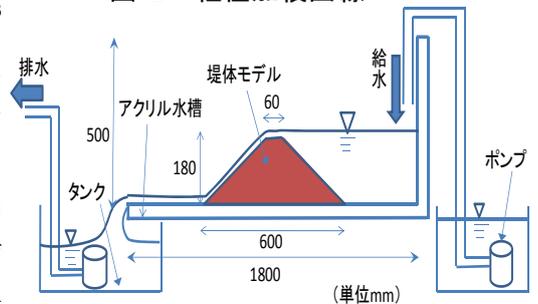


図-3 越流堤侵食実験装置図

表-2 開水路実験ケース

ケース	sin θ	h(mm)	τ (Pa)	ρ_s (g/cm ³)	w(%)	
締固め36回 (湯ノ倉)	1	0.458	7.5	33.6	1.384	37.2
	2	0.457	8.0	35.8	1.396	38.1
	3	0.425	7.0	29.2	1.415	40.0
締固め18回 (湯ノ倉)	1	0.243	6.0	14.3	1.338	40.0
	2	0.454	7.0	31.2	1.370	36.2
	3	0.125	7.5	9.2	1.388	38.0
締固め36回 水浸(湯ノ倉)	1	0.277	6.0	16.3	1.359	38.9
	2	0.451	7.0	30.9	1.405	37.3
	3	0.128	7.5	9.4	1.375	37.7
締固め18回 水浸(湯ノ倉)	1	0.269	6.0	15.8	1.382	38.3
	2	0.108	8.0	8.4	1.344	37.5
	3	0.438	7.5	32.2	1.326	37.7
締固め36回 (中湯川)	1	0.110	3.5	5.4	1.565	9.8
	2	0.285	4.0	11.2	1.740	9.3
	3	0.451	4.5	19.9	1.648	9.6
締固め36回 水浸(中湯川)	1	0.110	5.0	5.4	1.612	9.8
	2	0.110	7.0	7.6	1.651	9.8
	3	0.269	4.5	11.9	1.686	10.0

3. 実験結果と考察

開水路実験より得られた侵食率 E とせん断応力 τ の関係を図-4 に示す。侵食率 E およびせん断応力 τ は次式で定義される。

$$E = \frac{\Delta z}{\Delta t} (1 - n) = \dot{z} (1 - n) \quad (1)$$

$$\tau = \rho g h \sin \theta \quad (2)$$

n : 供試体の間隙率、 Δz : 供試体の侵食量 (cm)、 Δt : Δz だけ押し出す経過時間 (s)

ρ : 水の密度 (1000kg/m³)、g : 重力加速度 (9.81m/s²)、h : 水路床から水面までの高さ (m) である。

土の違いに着目すると、中湯川土と鶯沢土は粘着力が少ないため侵食率 E は大きくなり、湯ノ倉土は粘着力が大きいため侵食率 E は小さくなるのが分かる。また締固めエネルギーの大きい方が侵食率は大きくなる。これは、締固め 36 回の方が細粒分と礫の噛み合わせがよく、侵食に対する抵抗性が大きいためだと考えられる。水浸については、締固め回数と同じでも水浸有りの方が侵食率は高い値を示している。

次に模型実験より得られた侵食量と経過時間の関係を図-5 に示す。同図には、開水路実験より得られたデータをもとに算出した予測値も示す。予測値の算出方法は、(1) 式を用いて開水路実験で得られた侵食率 E、間隙率 n を代入し、経過時間 Δt における侵食量 Δz を求めた。図-5 をみると、予測値は直線で示されるのに対し、実測値は曲線で表される。これは、模型堤体の侵食が越流開始直後は一定量で侵食されるが、時間の経過とともに侵食された分だけ模型堤体の天端の位置が下がり、斜面が緩やかになることで、せん断応力が小さくなり侵食されにくくなるためだと考えられる。また、実測値と予測値を比較すると、実測値の方が早く侵食される傾向にある。これは表-2,3 の各実験ケースを比較すると、模型実験の方が供試体の乾燥密度が小さいこと、あるいは図-6 より堤体の法尻部が侵食され勾配が急になり、侵食が促進されることが影響していると考えられる。

4. まとめ

湯ノ倉温泉地区から採取した試料を用いて侵食率とせん断応力の関係を求めた。開水路実験では、塑性指数と締固め回数が大きい程、侵食に対する抵抗性が高くなるのが分かった。模型実験では、乾燥密度が高いほど堤体模型は侵食されにくく、予測値よりも早く侵食される傾向にある。また水浸させた場合の方が早く侵食されることが分かった。

謝辞 この研究は (基盤研究(B) : 21360220, 代表者 渦岡良介教授 (徳島大学)) の援助を受けました。記して、謝意を示します。

参考文献 1)平成 20 年岩手・宮城内陸地震 4 学協会東北合同調査委員会:平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震災害調査報告書,pp.260-277 (2009) 2)岸、角田、仙頭:締固めエネルギーと水浸に着目した天然ダムの侵食に関する実験的検討,土木学会第 48 回東北支部技術研究発表会,pp.369-370 (2011) 3)藤澤、西村:土の侵食速度測定と堤体の室内越流破壊実験,地盤工学研究発表会,pp.1727-1728 (2010)

表-3 堤体模型実験ケース

ケース	sin θ	h(mm)	τ (Pa)	ρ_d (g/cm ³)	w(%)
締固め550kj/m ³ (中湯川)	0.554	5.0	27.2	1.419	9.8
締固め550kj/m ³ 水浸(中湯川)	0.554	5.0	27.2	1.492	10.5
締固め550kj/m ³ (鶯沢)	0.554	4.0	21.8	1.289	17.8
締固め550kj/m ³ 水浸(鶯沢)	0.554	4.5	24.5	1.370	17.9
締固め550kj/m ³ (湯ノ倉)	0.554	9.0	48.9	1.205	33.7
締固め550kj/m ³ 水浸(湯ノ倉)	0.554	9.0	48.9	1.180	35.2
締固め270kj/m ³ (湯ノ倉)	0.554	9.0	48.9	1.102	34.3
締固め270kj/m ³ 水浸(湯ノ倉)	0.554	9.0	48.9	1.089	36.9

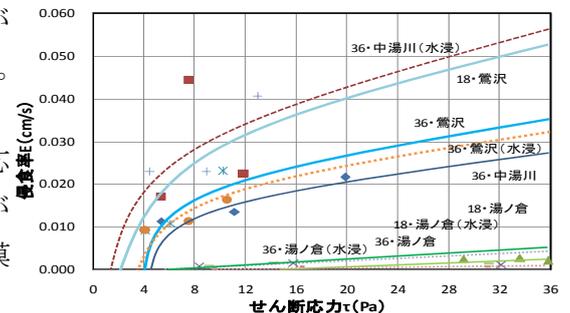


図-4 侵食率とせん断応力の関係

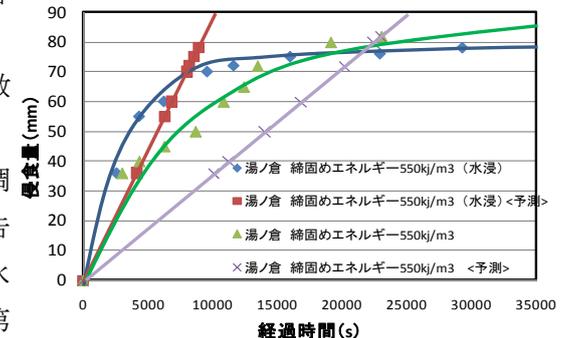


図-5 侵食量と経過時間の関係

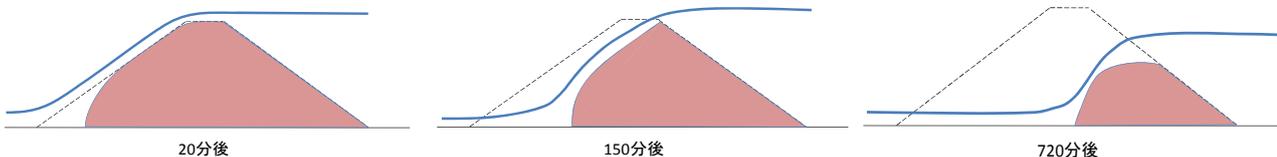


図-6 堤体模型の侵食破壊状況の例 (湯ノ倉 締固め 270kj/m³ 水浸)