

締固めエネルギーと水浸に着目した天然ダムの浸食に関する実験的検討

日本大学工学部 学生会員 ○岸 浩樹 角田 篤司

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¹⁾。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。そこで本研究では堤体の締固まり具合と水浸の程度に着目し、越流による浸食に対する抵抗性を検討するために、現場より採取した試料の浸食率を開水路実験装置を用いて測定した。

2. 採取した試料と実験方法

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)。採取は 2 地点で行った。No.1 と No.2 は石分を取り除いた試料を採取した。各試料の物理試験結果を表-1 に示した。図-2 に粒径加積曲線を示す。No.1 地点の試料は砂分が多く、No.2 地点の試料と粒度分布は異なるが、両試料ともに細粒分質礫質砂(SFG)に分類された。一方、塑性図による細粒土の分類では MH(シルト高液性限界)であった。実験にあたっては、No.1 の試料に物理的性質に近い鶯沢土を比較のために用いた。鶯沢土は、No.1 と同様の火山灰質砂質土であり、採取地点は宮城県栗原市鶯沢南郷下反田地区である。開水路の実験装置を図-3(a)に示す。アクリル製の水路を用い、流れを整えるために現場の土粒子を水路床に貼り付けた。No.1 と鶯沢土の試料は自然含水比の状態、試料の体積が 192cm³(寸法 4×4×12cm)になるように締固めた。供試体は、図-3(b)に示すように下流側から 160mm の位置にある平面寸法 4cm×4cm の容器内(図-3(c))に試料を 5 層に分けて締固めて作成した。具体的には、平面寸法 2.5cm×2.5cm の板の上に 100 g の錘りを高さ 60cm から落下させて突き固めた。各層の突固め回数は 18、36、72 回である。これは、単位体積あたりの締固めエネルギー(A 法)の 0.5、1、2 倍に相対する。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。水浸前後では、各ケース約 3%、8%、18%含水比が増加した。浸食実験は後述する表-2 の実験ケースの条件で水路に勾配をつけて一定の水深で水を流し、供試体の表面と水路床の高さが一致するように削られた分だけ試料を押し出した。これにより、天然ダムの越流による浸食を模擬した。

なお、実験時の水温は約 19℃に保った。水路の勾配角 θ を変化させて、せん断応力を変化させた。せん断応力 $\tau(\text{Pa})$ は次式のように表される²⁾。

$$\tau = \rho g h \sin \theta \quad (1)$$

ここに、 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。

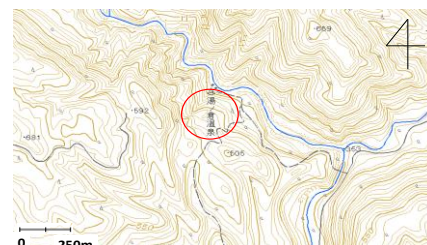


図-1 試料採取地点
(国土地理院より引用)

表-1 試料の物理的性質

	含水比 (%)	土粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	液性限界 $w_L(\%)$	塑性限界 $w_p(\%)$	塑性指数 I_p
No.1	35.6	2.421	56.3	37.6	18.7
No.2	41.6	2.361	79.1	35.9	43.2
鶯沢土	17.0	2.542	45.0	34.5	10.5

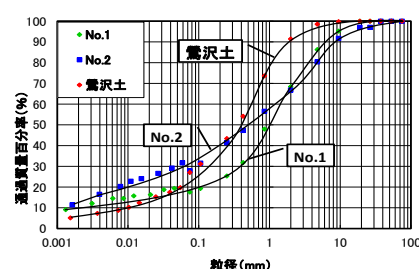


図-2 粒径加積曲線

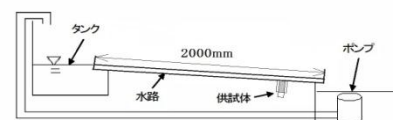


図-3(a) 実験装置

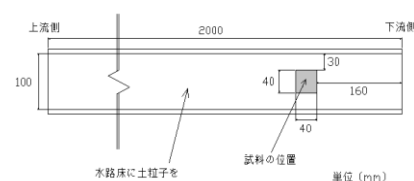


図-3(b) 水路平面図

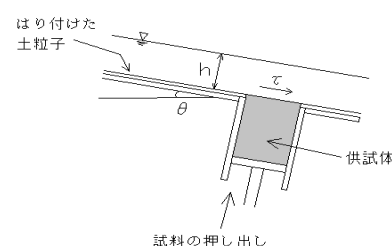


図-3(c) 供試体部分の断面図

キーワード 天然ダム, 堤体材料, 締固めエネルギー, 水浸, 浸食, 越流破壊

連絡先: 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

3.実験結果と考察

損失高さと経過時間の関係を図-4に表す。損失高さとは、供試体が浸食により削られた高さのことである。図より経過時間にほぼ比例して供試体が浸食されたことがわかる。図-5に浸食率 E とせん断応力 τ の関係を示す。浸食率 $E(\text{cm/s})$ は次の式で定義される²⁾。

$$E = \frac{\Delta z}{\Delta t} (1 - n) = \dot{z}(1 - n) \quad (2)$$

ここに、 n : 供試体の間隙率、 Δz : 供試体の損失高さ(cm)、 Δt : Δz だけ押し出すのに経過した時間(s)である。図-4より、水浸の有無によらず線形の挙動を示すデータが得られた。浸食実験における浸食率 E と作用するせん断応力 τ の関係は次の(3)式を用いて近似した³⁾。

$$E = \alpha(\tau - \tau_c)^\gamma \quad (3)$$

ここに、 τ_c : 臨界せん断応力(Pa)、定数 α, γ である。臨界せん断応力とは、浸食が開始する際の最小のせん断応力のことである。各試料の臨界せん断応力を表-3に示す。表-1の塑性指数より鶯沢土は粘着力が少ないため、臨界せん断応力は小さかった。No.1は締固めエネルギーが大きい方が臨界せん断応力は大きかった。これは、細粒分と礫の噛み合わせが良く、浸食に対する抵抗性が大きいからだと考えられる。No.1の試料は鶯沢土と締固め回数が同じにも関わらず、臨界せん断応力が約6倍大きかった。これは、自然含水比で18%、塑性指数で8程度大きく粘着力が高かったためだと考えられる。図-5より今回の締固まり具合については、締固め回数が多いほど $E-\tau$ 関係の勾配が低く浸食に対する抵抗性が高い。No.1の $E-\tau$ 関係の勾配は同じ締固め回数にも関わらず、鶯沢土より低い値を示した。水浸については、締固め回数が同じでも水浸有りの方が臨界せん断応力は小さい値を示した。図-5より浸食率については、No.1の $E-\tau$ 関係の勾配は水浸有無によらず一定の値を示し、鶯沢土は3割程度低く浸食を受けにくい結果となった。

4. まとめ

湯ノ倉温泉地区から採取した試料を用いて浸食率とせん断応力の関係を求め、臨界せん断応力を求めた。その結果、締固め回数が多い程、浸食に対する抵抗性が高いことがわかった。また水浸により、浸食を開始する際の抵抗性が低くなるものの、その後の浸食に対する抵抗性はほとんど変わらないことがわかった。さらに $E-\tau$ 関係には土粒子の粒径、含水比、塑性指数が影響を及ぼすことがわかった。

謝辞: この研究は文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(B): 課題番号 21360220(研究代表者: 渦岡良介))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(2009): 平成20年(2008)岩手・宮城内陸地震災害調査報告書, pp.260-277. 2) Fujisawa, K. & Kobayashi, A., & Yamamoto, K.(2009): Erosion rate of compacted soils for embankment, Doboku Gakkai Ronbunshu C vol.64, pp.403-410. 3) Hanson, G. J.(1989): Channel erosion study of two compacted soils, Transactions of the ASAE, Vol.32, No.2, pp.485-490.

表-2 実験ケース

ケース	sinθ	h(mm)	T (Pa)	$\rho_a(\text{g/cm}^3)$	w(%)
締固め36回 (No.1)	1 0.4209	5.0	20.64	1.007	35.1
	2 0.3913	5.5	21.11	1.021	35.2
	3 0.4584	6.0	26.98	1.014	34.9
	4 0.3556	7.0	24.42	1.032	34.7
	5 0.2015	8.0	15.81	1.050	36.5
締固め18回 (No.1)	1 0.4199	5.0	20.60	0.977	31.9
	2 0.4579	6.0	26.95	0.975	34.0
	3 0.3704	8.0	27.26	1.007	34.5
	4 0.3244	8.0	25.46	1.009	34.7
	5 0.3556	6.0	20.93	0.978	34.9
締固め36回 水浸(No.1)	6 0.2027	8.0	15.91	0.924	35.9
	1 0.4160	5.0	20.40	1.036	34.4(39.5)
	2 0.4685	5.5	25.28	1.030	34.8(34.5)
	3 0.1844	8.0	14.47	1.042	34.4(39.8)
	4 0.2915	6.5	18.58	1.057	34.0(39.2)
締固め18回 水浸(No.1)	5 0.3364	6.0	19.80	1.116	35.8(35.3)
	1 0.4298	5.0	21.08	0.990	33.8(39.6)
	2 0.3836	7.0	26.34	1.005	33.3(37.5)
	3 0.3704	8.0	27.26	0.915	34.6(50.1)
	4 0.2098	9.0	18.53	0.901	35.7(42.0)
締固め36回 (鶯沢土)	5 0.1933	8.0	15.17	1.020	36.4(44.2)
	1 0.0894	7.0	6.14	1.146	18.1
	2 0.0737	6.0	4.34	1.121	17.9
	3 0.0564	7.5	4.15	1.147	17.8
	4 0.1310	8.0	10.30	1.089	18.2
締固め18回 (鶯沢土)	5 0.2240	6.0	13.18	1.137	17.4
	1 0.0484	10.0	4.75	1.086	18.2
	2 0.0657	7.0	4.51	1.069	18.1
	3 0.0894	7.0	6.14	1.078	18.5
	4 0.1310	7.0	8.98	1.057	18.2
締固め72回 (鶯沢土)	5 0.2210	6.0	13.01	1.064	18.3
	1 0.0876	7.0	6.01	1.208	17.8
	2 0.1310	8.0	10.30	1.124	19.0
	3 0.2300	6.0	13.56	1.175	17.6
	4 0.0542	9.0	4.79	1.183	17.7
締固め36回 水浸(鶯沢土)	1 0.0542	8.0	4.12	1.112	18.1(29.4)
	2 0.2160	5.0	10.60	1.008	18.1(39.9)
	3 0.1290	6.0	7.58	1.031	17.5(35.9)
	4 0.2700	4.5	11.93	1.050	18.1(37.2)

() 内水浸後

表-3 各ケースの臨界せん断応力

ケース	臨界せん断応力 τ_c (Pa)
締固め36回(No.1)	12.0
締固め36回水浸(No.1)	11.0
締固め18回(No.1)	7.50
締固め18回水浸(No.1)	7.20
締固め36回(鶯沢土)	2.66
締固め18回(鶯沢土)	1.33
締固め72回(鶯沢土)	3.85
締固め36回水浸(鶯沢土)	1.50

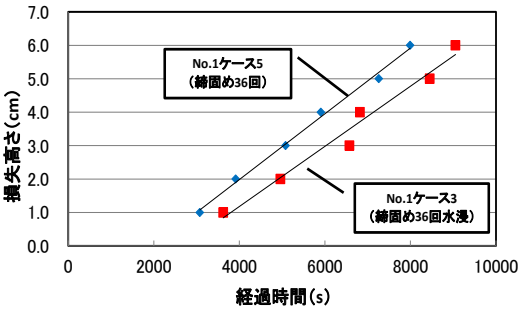


図-4 損失高さと経過時間の関係の一例

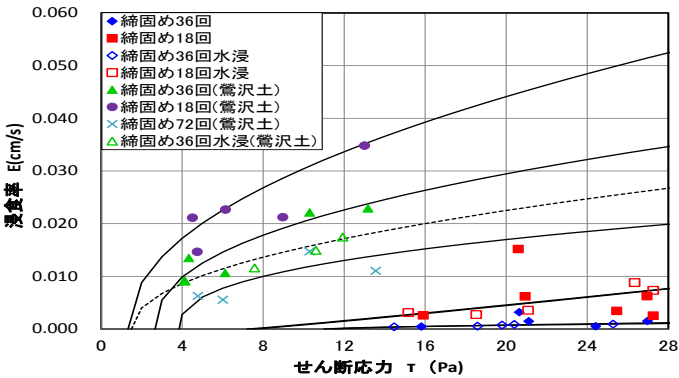


図-5 浸食率とせん断応力の関係