

1. はじめに

豪雨時や地震時に崩壊や土石流が発生し、斜面、溪流を流下して本川を閉塞して、天然ダムを形成することがある。この天然ダムが破壊されると下流に段波が押し寄せ洪水を引き起こすことがある。また、多量の土砂が短時間に輸送されて急激に河床を上昇させ大きな土砂災害が発生させる。災害を軽減あるいは防止するためには、天然ダムが形成されたならば迅速に、天然ダムの安定度を評価し、警戒・避難並びに対策工を実施する必要がある。

本研究では、天然ダムの破壊を越流による侵食破壊と浸透流による破壊の2通りを想定して検討を行った。天然ダムの浸透流による破壊については、実験による破壊形態の検討を行うとともに、浸透流解析を行い浸潤線が法先に到達する時間を調べた。越流による侵食破壊については、実験により破壊形態及び侵食量について検討するとともに、河床変動計算により天然ダムが破壊した場合の下流への影響について試算を行った。

2. 天然ダムの浸透流による破壊過程に関する実験

2.1 実験概要

天然ダムの浸透流による破壊過程について水路実験を行って検討した。水路は、幅10cm、長さ3m、水路勾配 $I = 1/10$ である。天然ダムの形状は、堰止め長さ $b_1 = 60\text{cm}$ 、高さ $H = 20\text{cm}$ 、上下流法勾配は $1:2$ とした。実験材料は図-1に示す砂(0%)である。材料の透水係数は、 $1.64 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ である。上流側水位は満水($h = 20\text{cm}$)とした。水路側面からビデオカメラで観測し、浸潤線及び破壊過程を読み取った。

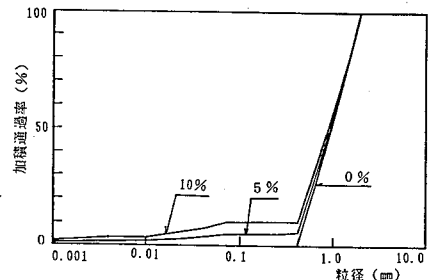


図-1 実験材料の粒度分布

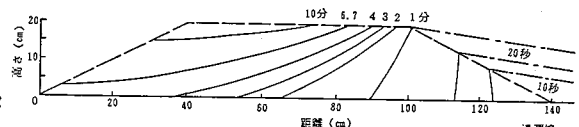


図-2 浸潤線の時間変化

2.2 実験結果

図-2に浸潤線の時間変化を示す。

図-3に破壊過程を示す。最初の破壊は、浸潤線が下流法尻に達して数分後に発生し、その後徐々に上流に進んで行く。破壊形態は、浸透流による法先の侵食破壊である。天然ダムは19時間後に完全に破壊された。

3. 天然ダムの浸透流解析による浸潤線の到達時間の推定

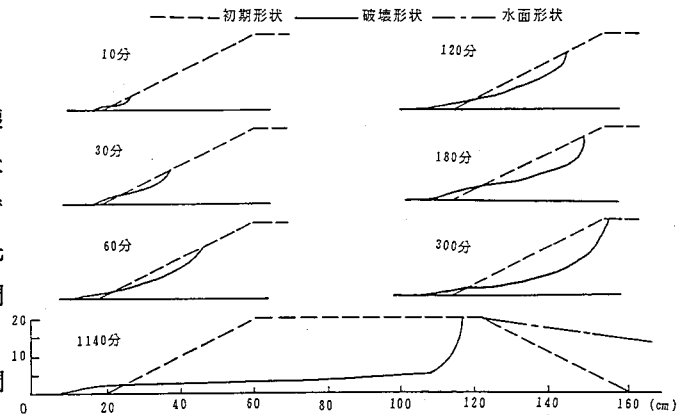


図-3 天然ダムの浸透流による破壊過程

3.1 計算条件

浸透流解析を行う場合の天然ダムのモデルは、図-4に示すように、不透水層の地盤上に形成された上下流に法勾配を有する均一材料の天然ダムで、上流側に貯留水位を有する場合である。計算は、非定常浸透流解析により行い、浸潤線の下流法先到達時間を求めた。計算条件を表-1に示す。ただし、間隙率(V)は、有効間隙率である。

3.2 計算結果

浸潤線が法先到達する時間(T)と堰止め長さ(b1)の関係について図-5、図-6に示す。図-5より、

到達時間に大きく影響するのは、透水係数と堰止め長さであり、ダム高、間隙率、河床勾配は、あまり影響しないことがわかる。また、図-6より、法勾配が緩くなるほど到達時間は長くなる

ことがわかる。浸潤線が法先到達した時点で天然ダムの破壊が始まるとすると、図-5を用いて浸透流による破壊開始時間の予測ができる。

4. 天然ダムの侵食破壊と下流への影響に関する検討

4.1 実験概要

天然ダムの越流による侵食破壊については、水路実験を行って破壊形態、流砂量について検討した。水路は、幅10cm、長さ3.5mで、水路勾配は $I=1/100$ である。天然ダムの材料は、砂とベントナイトの混合とし、ベントナイトの混合率は、0、5、10%の3種類とした。実験

材料の粒度分布を図-1に示す。三軸圧縮試験により求めた粘着力 c と内部摩擦角 ϕ は、0%が $c=0$ 、 $\phi=34.2^\circ$ 、5%が $c=0.21\text{kgf/cm}^2$ 、 $\phi=32.8^\circ$ 、10%が $c=0.34\text{kgf/cm}^2$ 、 $\phi=30.4^\circ$ である。

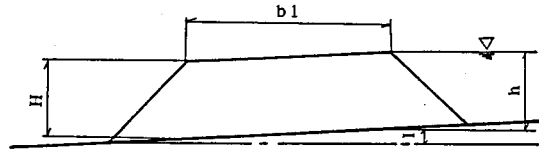


図-4 天然ダムの検討モデル

表-1 計算条件

ダムの高さ(H)	20m	60m	—
堰止めの長さ(b1)	100m	300m	500m
上下流法勾配(n)	1:2	1:4	—
貯水位(h)	H	0.7H	—
ダムの透水係数(k)*	10^{-1}cm/s	10^{-2}cm/s	10^{-3}cm/s
	10^{-2}cm/s	10^{-4}cm/s	10^{-5}cm/s
ダムの間隙率(V)	0.2	0.15	—
河床勾配(I)	1/10	1/100	—

*: 上段は水平方向の透水係数(kh), 下段は鉛直方向の透水係数(kv)

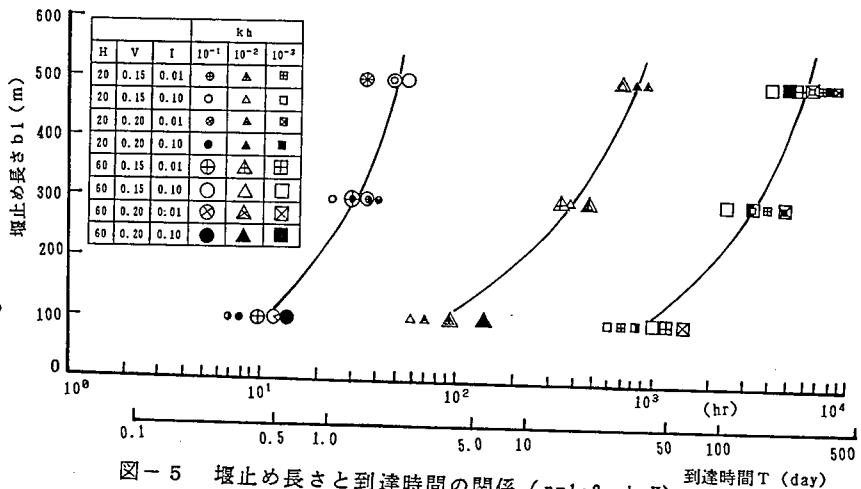


図-5 堰止め長ささと到達時間の関係 ($n=1:2$, $h=H$)

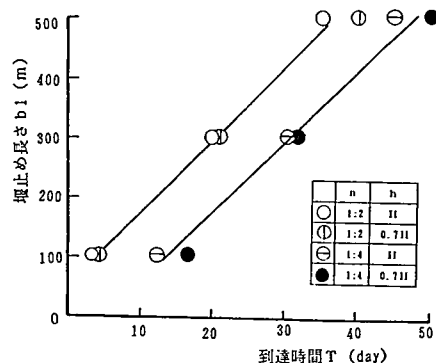


図-6 堰止め長ささと到達時間の関係 ($kh=10^{-2}\text{cm/s}$, $V=0.2$, $I=0.1$, $H=20\text{m}$)

形状は、堰止め長さ $b_1=100\text{cm}$ 、下流法勾配が $1:2$ 、 $1:4$ の 2 種類、上流法勾配が $1:1$ である。流量は、 0.6 l/sec 、 1.2 l/sec の 2 種類とした。破壊状況は、水路側面からビデオカメラにより観察し、破壊過程、破壊速度を読み取った。また、天然ダムの越流水深の測定及び水路下流端での流出量の測定を行った。

4.2 実験結果

流量 $Q=1.2\text{ l/sec}$ 、下流法勾配 $n=1:2$ の条件での天然ダムの破壊状況を図-7に示す。ダム材料がベントナイト 0% の場合は、初期にダム下流側肩が侵食され勾配は徐々に緩くなり、最終的には水路勾配と同じまで侵食される。ダム材料がベントナイト 5% の場合は、初期には法勾配と同じ勾配で侵食されるが、その後、肩が侵食されて勾配は緩くなる。ダム材料がベントナイト 10% の場合、法勾配と同じかそれより急な勾配で侵食されている。このことより、材料に粘着性がある場合とない場合では、侵食形態が違うことがわかる。なお、流量及び下流法勾配による破壊状況の違いはみられなかった。

流砂量について無次元化した指標である $q_B/u \cdot d$ と $u \cdot d$ と $u^2 \cdot (\sigma/\rho - 1) \cdot g \cdot d$ の関係で整理して図-8に示す。ここで、 q_B : 単位幅当りの流砂量、 u : 摩擦速度、 d : 平均粒径、 σ : 砂礫の密度、 ρ : 水の密度、 g : 重力加速度である。ベントナイト 0%、5% の場合は、Brown の式¹⁾や、芦田・道上の式¹⁾とよく適合しているが、ベントナイト 10% の場合は流砂量が小さい。この理由としては、砂のみの場合に比べて河床から土砂が剝離するのに時間がかかる²⁾ためと考えられる。

4.3 計算条件

天然ダムの越流による侵食破壊と下流への影響については、昭和28年7月に発生した有田川金剛寺天然ダムを例^{3) 4)}にとり一次元河床変動計算により行った。計算に用いた流砂量式は、次式のBrownの式である。

$$q_B = 10 \cdot \left[u^2 / \{ (\sigma/\rho - 1) \cdot g \cdot d \} \right]^2 \cdot u \cdot d \quad \dots (1)$$

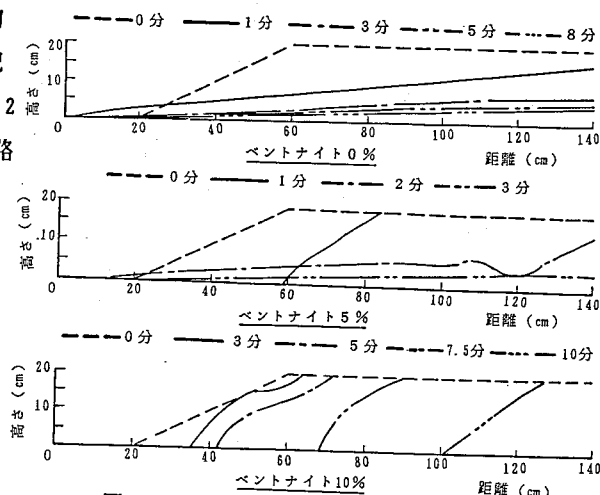


図-7 天然ダムの侵食による破壊過程
($Q=1.2\text{ l/s}$, $n=1:2$)

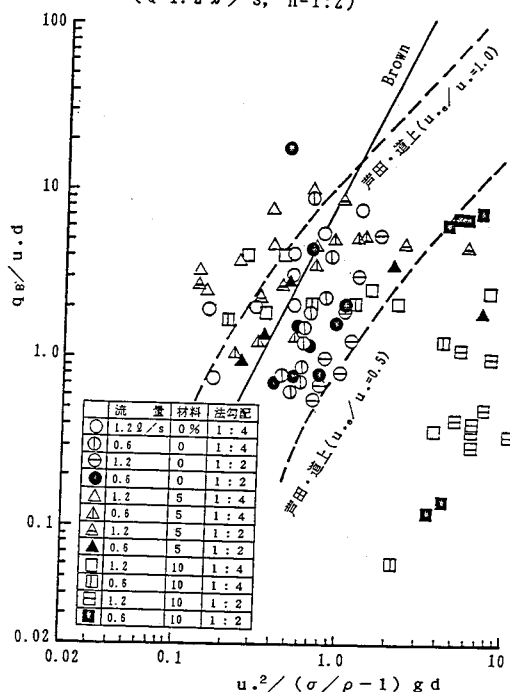


図-8 天然ダム破壊時の流砂量

天然ダム破壊時の流量については、日雨量より推定し、これに貯留水量を加えたものとした。図-9に天然ダム時点の洪水波形を示す。天然ダムの土砂量及び形状は、文献⁵⁾を参考に決定し、土砂量は $5.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ とした。天然ダムの下流の地形データは、1/25,000の地形図より読み取った。

4.4 計算結果

図-10に、計算結果の縦断面図を、表-2に計算結果と資料に記述されている値を比較して示す。計算値は、資料の値に比べて流出土砂量及び河床変動高は小さい値となっており、水深については同程度か大きな値となっている。これは、流量や地形データの inputs が推定値であったり、大まかなものであるためと考えられる。また、天然ダムの破壊機構を河床変動として取り扱っているためと考えられ、実際に近い破壊機構も取り入れた計算を行う必要があり、今後の検討課題である。

5. おわりに

天然ダムの浸透流解析を行った結果、浸潤線の時間変化に大きく影響するのは、天然ダムの堰止め長さ、透水係数であることがわかった。天然ダムの侵食破壊については、粘着力が小さい場合には、従来から用いられている掃流砂量式が適用できることがわかった。ただし、実際の天然ダムは、粘着力を有する場合や、浸透流による破壊が同時に起こる場合も考えられ、天然ダムの破壊形態については更に検討する必要がある。

参考文献

- 1) 土木学会：水理公式集，p. 225
- 2) 芦田，田中：粘性土を含有する砂れき床の侵食と流砂機構に関する研究，京大防災研究所年報第17号B（昭和49.9），pp. 571～584
- 3) 二次災害の予知と対策 No.1, No.2，（社）全国防災協会，昭和61年10月，昭和62年10月
- 4) 和歌山県土木部砂防利水課：有田川上流崩壊地調査報告書，昭和32年3月
- 5) 建設省中部地方建設局：天然ダム調査事例集，昭和62年12月

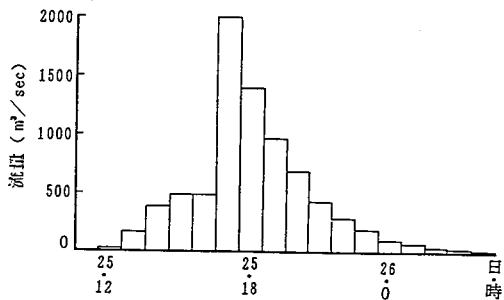


図-9 洪水波形（昭和28年9月）

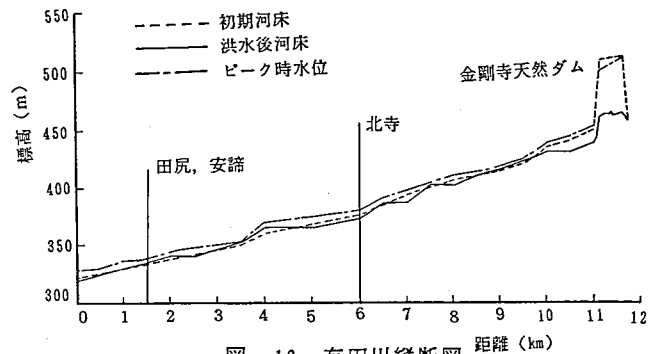


図-10 有田川縦断面図

表-2 (1) 土砂量の比較 (単位: m^3)

日時	文献 ⁴⁾		計算値	
	流出土砂量	残留土砂量	流出土砂量	残留土砂量
25日17時	なし	なし	1,314,815	3,885,185
26日4時	4,940,000	260,000	4,511,764	688,236

表-2 (2) 河床変動高の比較

地区	文献 ⁴⁾	計算値
田尻	4～5 m	1.19 m
北寺	5～10 m	3.47 m

北寺は、7月の出水を含む

表-2 (3) 水深の比較

地区	文献 ⁴⁾	計算値
八幡村	2～3 m	4.32 m
安諦村	5～7 m	5.48 m

文献の値は段波，計算値は最高水位である。