

1. はじめに

豪雨時や融雪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。規模の小さい天然ダムは、ほとんどその崩壊が発生した出水中に消失するが、昭和36年の天竜川上流の支川で発生した大西山の崩壊や、昭和59年の長野県西部地震による御岳崩れのような大規模な崩壊では、消失するまでに長い年月を要する^{1), 2)}。天然ダムの形成と破壊は、上流部の水位の上昇による浸水を発生させたり、下流部に段波による洪水を発生させたりする防災上危険な現象である。天然ダムは、山間地で形成されることが多いために、形成、破壊の過程が観察されることはまれで、理解も十分ではない。そこで、天然ダムの形成と、破壊の2つに分けて、その現象を実験的に研究した。

2. 天然ダムの形成に関する実験

2.1 実験概要

実験は、幅20cm、長さ5.5mの斜面と水平な面を用いて行った。斜面の勾配は30°、40°、50°とし、崩壊土砂の落下高さを変化させ、水平面上にどのように堆積するかを観察した。崩土を落下させる方法としては、ゲート上部に砂を置いて急に運動を開始させる方法と、台車の上に砂を置いて落下させる方法の2種類とした。また、堆積域の水平面に垂直に板を立て、対岸の斜面の影響についても観察した。崩壊土砂は、図-1に示すような粒度分布を持つ3種類、含水比は0%と3%の2種類、土砂量は10g、15g、20gの3種類とした。崩壊土砂の運動はビデオカメラで観察し、速度、移動砂層厚を判読した。

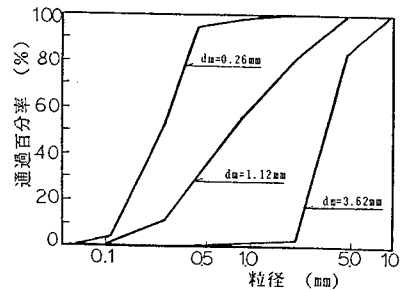


図-1 実験使用砂の粒度分布

2.2 実験結果

1) 形成状況

図-2に水路勾配50°、落差2.2m、平均粒径0.26mmの場合の天然ダムの形成過程を示す。対岸の位置は、対岸が無い場合に最大堆積幅が生じる位置とした。

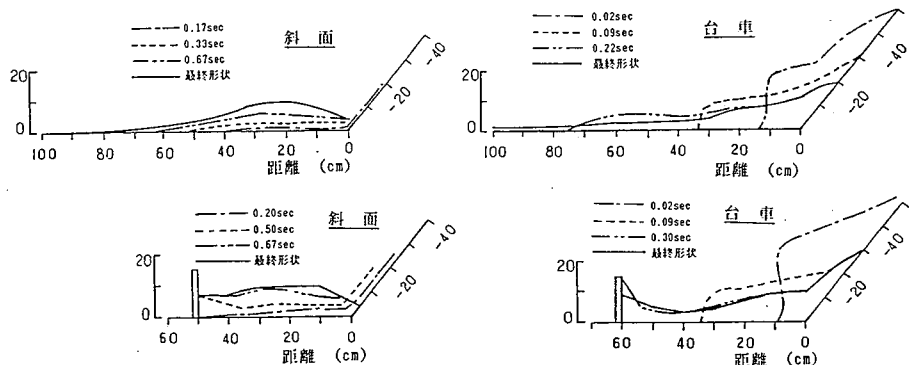


図-2 天然ダムの形成過程 (水路勾配; 50°, 落差; 2.2m, 平均粒径; 0.26mm, 土砂量; 20g, 土砂濃度; 1~3%)

斜面上を砂が流下した場合には、先頭が最も到達距離が長く、後続の砂が先頭を乗り越えることはない。後続の砂は、先頭の砂の上に堆積する。対岸がある場合に先頭が衝突して飛び上がる。台車に砂を乗せた場合は、砂のブロックが勾配変化点を通ると崩れ始め、砂は水平面上に堆積する。

2) 斜面からの飛び出し速度と水平面上での速度の関係

図-3に崩土の先頭が斜面から飛び出す速度 V_0 と水平面上の速度 V_1 （勾配変化点より10cmから50cm区間の平均値）の関係を示す。斜面を流下させた方が、台車に乗せた場合に比べて、勾配の変化による影響を大きく受けている。速度の低下率は、斜面を流下させた場合が平均で0.67、台車に乗せた場合が0.94であった。

3) 水平面上の速度と到達距離の関係

図-4に水平面上の速度 V_1 と崩土の到達距離 L の関係を示す。砂の粒径による違いはみられない。また、崩壊土砂量が増加しても到達距離に与える影響は小さいようである。

4) 水平面上の速度と飛び上がり高さの関係

図-5に水平面上の速度 V_1 と飛び上がり高さ Z の関係を示す。水平面上の速度が大きくなると飛び上がり高さも大きくなる。

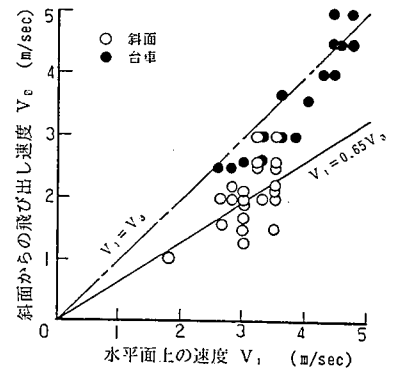


図-3 斜面からの飛び出し速度と水平面上の速度の関係

3. 天然ダムの破壊に関する実験

3.1 実験概要

天然ダムの破壊は、ダムの構成材料の透水性がよく、浸潤が先行してダム下流法面より崩壊する場合と、構成材料の透水性が悪く、天然ダムの上流面の水位上昇が先行してダム表面が侵食されることにより破壊する場合の2通りを想定した³⁾。幅20cmの水路内に天然ダムを設置し、水路勾配を5°、10°、20°と変えて、上流より水を供給して、天然ダムの侵食、破壊過程を観察した。天然ダムの形状は、高さ20cm、幅20cmは一定とし、上砂量を20g、32g、44gの3種類とした。透水性がよい場合の流量は0.05g/sec、材料は平均粒径が1.71mmの砂とし、透水性の悪い場合の流量は1g/sec、1.8g/secの2種類、材料は平均粒径が0.27mmの砂とした。使用した材料の粒度分布を図-6に示す。天然ダムの侵食及び破壊状況は、水路側面からビデオカメラで観察し、破壊過程、破壊速度等を読み取った。また、水路下流端において流出量の測定を行った。

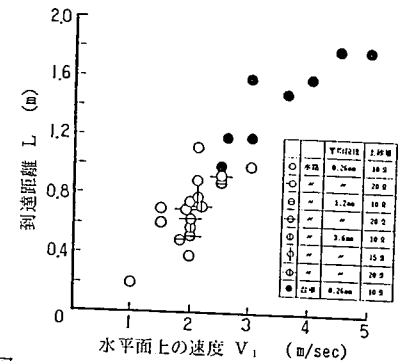


図-4 到達距離と水平面上の速度の関係

の侵食及び破壊状況は、水路側面からビデオカメラで観察し、破壊過程、破壊速度等を読み取った。また、水路下流端において流出量の測定を行った。

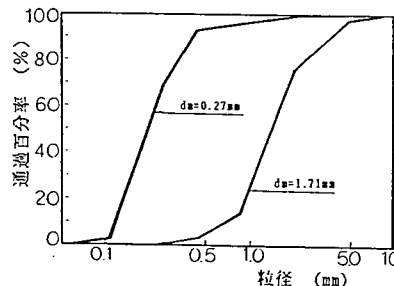


図-6 実験使用砂の粒度分布

3.2 実験結果

1) 浸透速度

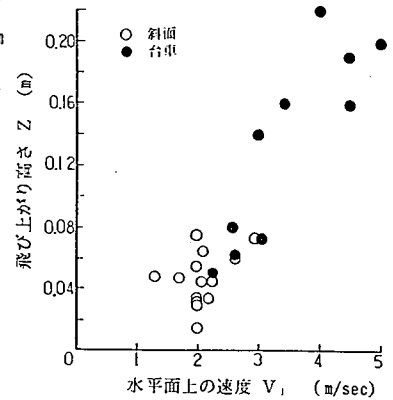


図-5 飛び上がり高さと水平面上の速度の関係

浸潤線の下流端が天然ダムの下流の法先に達するまでの時間と、天然ダムの底面の長さの比を浸透速度とする。平均粒径1.71mmの砂の場合の浸透速度は、水路勾配 5° では $0.07\sim 0.10\text{cm/sec}$ 、水路勾配 10° では $0.14\sim 0.39\text{cm/sec}$ 、水路勾配 20° では $0.55\sim 0.71\text{cm/sec}$ である。ただし、天然ダム上流面での水位は、時間とともに上昇している。単純に浸透速度を水路勾配で除して透水係数を求めると、 $0.80\sim 2.24\text{cm/sec}$ となる。

2) 破壊状況

図-7に浸透水による破壊過程を示す。浸透水が天然ダム下流法先に達すると1回目の破壊が起こる。すべり面は急であり、破壊した砂はその場に堆積する。水位が上昇するとともに2回目、3回目の破壊が起こり、3回目の破壊が起こった後は安定する。図-8に水路勾配による破壊形状の違いを示す。水路勾配が大きくなるほど、天然ダムの破壊される量が大きく、破壊された砂は、下流に流出する。なお、土砂量による違いはみられなかった。

図-9に越流水による破壊過程を示す。越流が始まると、天然ダムの天端と下流法面が洗掘され始める。越流開始55秒後には、下流側の肩が侵食されて、天然ダムは三角形形状となっている。

3) 破壊速度

浸透水による破壊発生間隔と水路勾配の関係を図-10に示す。勾配が大きいくほど破壊発生間隔は短くなっている。土砂量による差はみられない。越流による侵食の場合の下流法面の侵食速度と、水路勾配

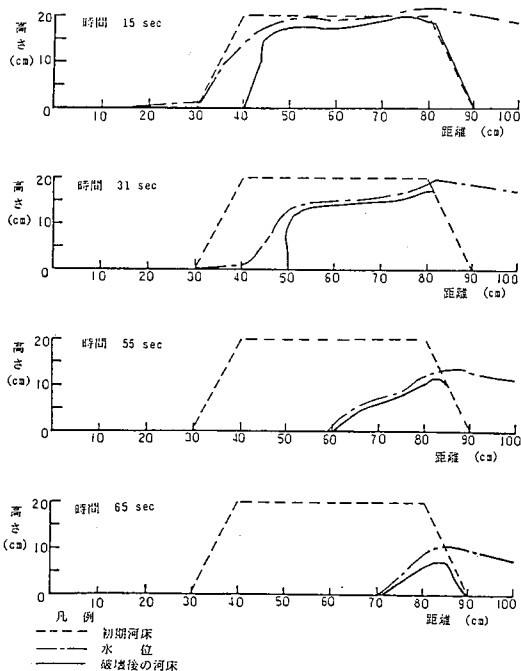


図-9 越流による破壊過程
(勾配; 10° , 流量; 1 L/sec , 土砂量, 20 L)

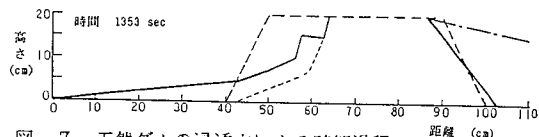
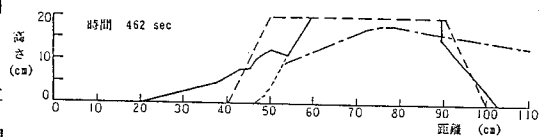
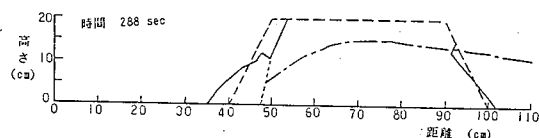


図-7 天然ダムの浸透水による破壊過程
(勾配; 10° , 流量; 0.05 L/sec , 土砂量; 20 L)

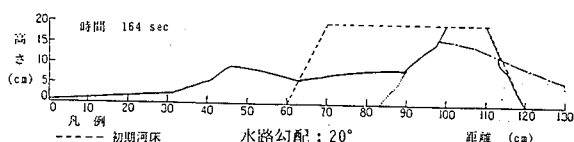
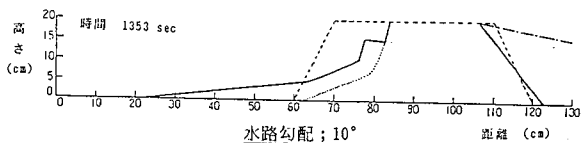
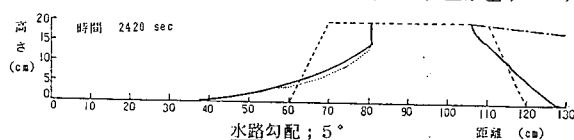


図-8 勾配による破壊形状の違い (浸透水による破壊)
(流量; 0.05 L/sec , 土砂量; 20 L)

の関係を図-11に示す。勾配が大きいほど侵食速度も大きくなる。

4) 越流破壊時の流出量

図-12に水路末端での土砂濃度の時間変化を示す。最大の土砂濃度は14%程度で、勾配による差は見られない。勾配が小さい場合に天然ダムの土砂量が多ければ、高濃度の土砂流出が長時間続くことになる。図-13、図-14に水路下流端での流量の時間変化を示す。給水量1 L/sec の場合の最大流量は2.7倍、1.8 L/sec では1.7倍になっている。勾配が小さいほど最大流量は大きくなる傾向がある。

4. おわりに

天然ダムの形成の実験から、崩壊土砂の運動形態によって溪床での速度が異なり、到達距離

や対岸に衝突した場合の飛び上がり高さに影響することがわかった。対岸の位置による堆積形状の違いや、斜面と崩壊土砂の摩擦による抵抗については、今後、検討していく必要がある。天然ダムの破壊の実験から、破壊形態別の破壊過程について知ることができた。また、破壊後の土砂流出については、天然ダムの形成される場所（溪床勾配）、流量、天然ダムの規模及び材料に影響されることがわかった。天然ダムの天端全幅で越流しない場合や、浸透水による破壊と越流による破壊が同時に起こる場合の破壊過程についても、今後、検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 高橋, 八木: 土石流の流量予測, 京都大学防災研究所年報第26号B2, 1983, pp.329-351

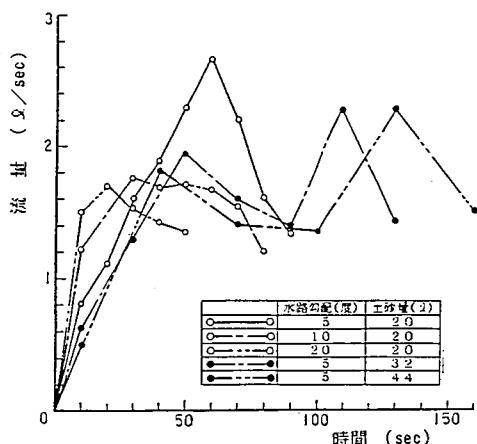


図-13 流量の時間変化 (給水量; 1 L/sec)

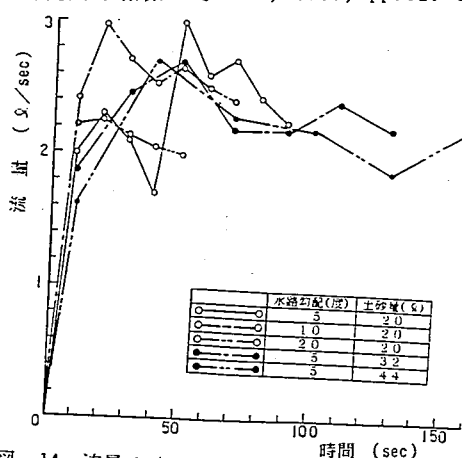


図-14 流量の時間変化 (給水量; 1.8 L/sec)

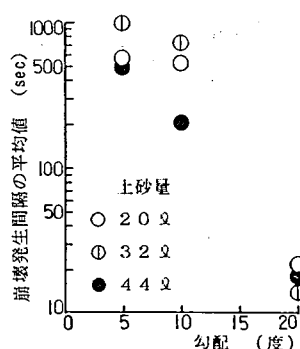


図-10 崩壊発生間隔の平均値と勾配の関係

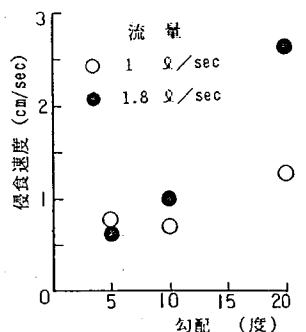


図-11 侵食速度と勾配の関係

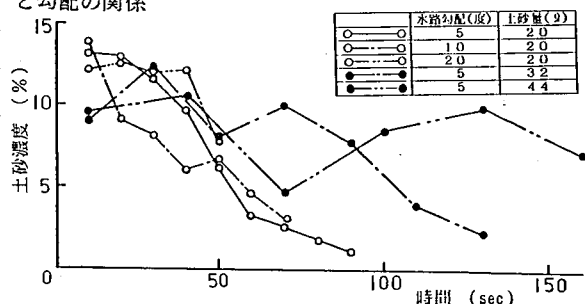


図-12 土砂濃度の時間変化