

6 砂防ダムに流入する土石流による造波現象

建設省土木研究所 ○鈴木浩久
建設省土木研究所 水山高久

1. はじめに

土石流対策砂防ダムとして、多くのコンクリート製の砂防ダムが建設されようとしている。砂防ダムは、土石流の衝撃力を考えると、天端がかなり厚くなるが、通常この種のダムに設けられている水抜き暗渠は断面が小さく、ゴミ、石礫などで閉塞していなくとも、土石流発生前の小流量で、すでに満水状態であると考えられる。このようなところに土石流が流入してくると、袖部を除いて、土石流の衝撃を直接受けることは少なく、土石流の規模にみあう貯砂容量さえ満足していればよいことになる。ここで、1つ問題となるのは、土石流の流入によって発生する波である。これは、貯水池に発生する地すべりによって波が発生するのと同様な現象である¹⁾。しかし、土石流の場合、河床が急勾配で、守水量に比べて流入してくる土石流の流量が大きいので、土石流の流量と同程度のピーク流量をもつ波が、砂防ダムを越流して下流水路に流入することも考えられる。そこで、水路実験によって、湛水した砂防ダムに流入する土石流の挙動と、土石流によって発生する波の規模について検討した。

2. 実験の概要

実験は、幅20cm、長さ5mの両面アクリル張りの木製水路を、17.2度に傾け、下流端付近に高さ15cmと20cmの板を砂防ダムの模型として設置し、砂防ダムを湛水させた後、上流端より、1.5l/sec、2.0l/sec、2.5l/secの流量を与えて土石流を発生させ、土石流の運動と発生する波の特性をビデオカメラで撮影、判読した。また、図-1に示すように、下流勾配を土石流発生勾配以下の11.86度と緩くして、貯水位とダム高及び勾配変化点からダムまでの距離(L)を変化させた実験も行った。

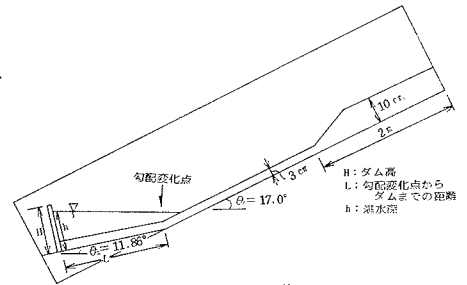


図-1 実験に用いた水路

3. 実験結果

3.1. 湛水域へ流入する土石流の諸元

湛水域に流入する直前の土石流の波高を図-2に、土石流の先端部の流速を図-3に示す。波高は、流量とともに増加する。流速は、ばらつきが大きい、ほぼ一定で、水路勾配による差は明瞭でない。

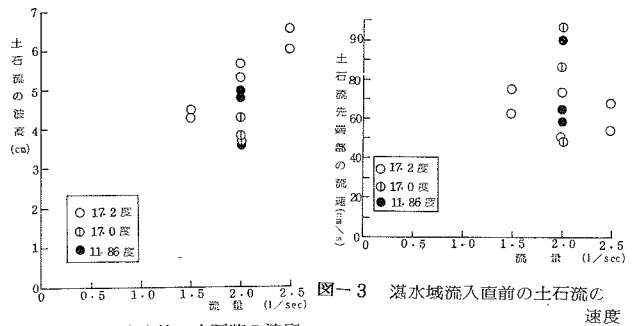


図-2 湛水域流入直前の土石流の波高

図-3 湛水域流入直前の土石流の速度

3.2. 波の発生と湛水域での土石流の挙動

図-4は、一樣勾配の水路での実験結果の一例で、砂防ダム高15cm、流量1.5l/secである。砂防ダムは、事前に天端まで湛水させてある。土石流の流入によって、かなり大きな波が形成されることが

わかる。波は形を変えないでダムに達している。なお、土石流と水との境界には、空気連行が見られる。土石流は減速せず、砂防ダムに達している。つぎに、水路勾配が変化する実験の例を図-5に示す。砂防ダムの高さは20cm、流量2ℓ/sec、勾配変化点からダムまでの距離(L)93cmである。図-5では、図-4に比べて

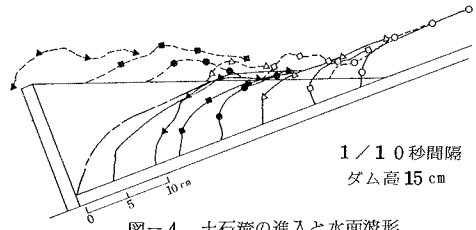


図-4 土石流の進入と水面波形

湛水域が長いので、土石流フロントは湛水域に流入後、除々に減速、停止し、後続流がこの堆積を乗り越えて、最終的に満砂する。水の波は、前進するに従い波高が減少するが、速度はほぼ一定である。なお、土石流と水との境界では、空気が連行されている。

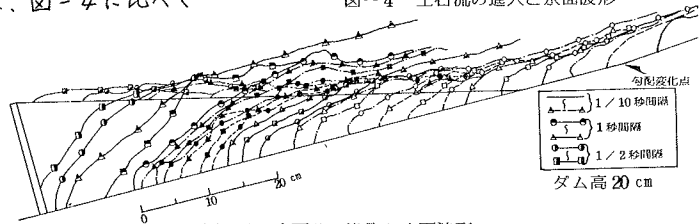


図-5 土石流の進入と水面波形

3. 3. 土石流と波の諸元

(1) 土石流の速度と発生した波の速度

図-6は、土石流先端部と水の波の走時曲線である。(流量1.5ℓ/sec、ダム高15cm、一様勾配)湛水域に流入した土石流は、ほぼ一定速度で運動し、形成された水の波の速度も、ほぼ等速で進行して、土石流がダム地点に達するよりも早く水の波がダムを越流する。

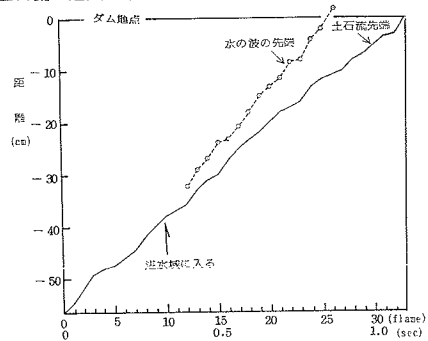


図-6 土石流の先端と水の波の走時曲線

図-7は、湛水域に流入直前の土石流の流速と、発生した波の平均の速度を比較したものである。すべてのケースについて、水の波の速度が、土石流の速度を上まわっている。

(2) 土石流の波高と水の波の高さ

湛水域に流入直前の土石流の波高と水の波の平均の高さの関係を図-8に示す。水の波の高さは、湛水長が増加すると低くなる傾向がある。これは、湛水長が長くなると、土石流が湛水池内で減速、停止し、連続的に水を押しなくなるためと考えられる。

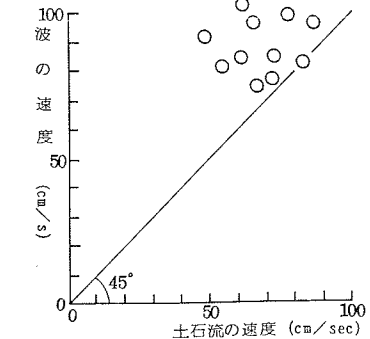


図-7 土石流の流速と波の速度

(3) 土石流の流量と水の波の流量

湛水域に入る土石流の流量と、ダムを越流する水量の時間的変化を、ダム高20cm、給水量2ℓ/secで、一様勾配の場合と、勾配が変化し勾配変化点から、ダムまでの距離が93cmの場合について図-9に示す。一様勾配の場合、変動が大きい、ほぼ同じ量の土石流が流入している。これに対し、湛水域が長い場合、土石流の減速により、流入量が減少する。越流水は、一様勾配の場合、土石流のピーク流量を上まわる量が流出している。流入する土石流

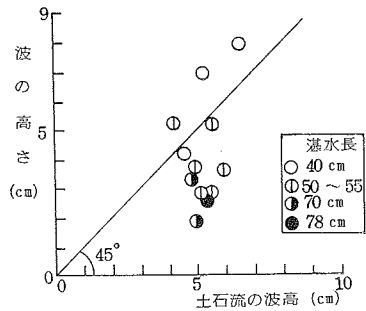


図-8 土石流の波高と波の高さ

のピーク流量と、ダムを越流する水のピーク流量を比較したのが図-10で、湛水域の短い様勾配では、全てのケースにおいて、流入する土石流のピーク流量より、形成される波のピーク流量の方が大きくなっている。これに対し、水路勾配を変化させて、湛水域を長くした実験では、湛水長の増加に従って、ダムからの越流量が小さくなる傾向にある。しかし、最も越流量が小さいケースでも、流入する土石流の約70%のピーク流量をもつ波がダムを越流している。

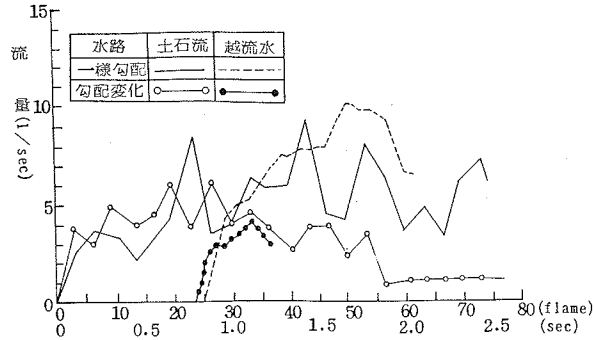


図-9 湛水域に流入する土石流の流量と越流水の時間的变化

(4) 水の波の波長と波高

土石流の流入によって形成される水の波が、ダムを越流する直前の波長と波高の関係を示したのが図-11で、水の波の粗度(波高と波長の比)は、6~8とかなり大きな値となっている。

(1) 水の波の挙動

水路勾配が変化する水路で、砂防ダムの高さ20cmに対し、湛水深を15cmとした場合の波の挙動を図-12に示す。図中の矢印は、波の進行方向を示している。波はまず、ダム地点に到達するまでは、図-5に示した、満水している場合の波と同様な挙動をする(a)。波がダムに到達した後、水位が上昇し、その上を第2波が通過する(b)。第2波がダムに到達すると、さらに水位が上昇して、ダムが満水状態となる(c)。その後、波が反射して、水路の上流方向へ進む(d,e)。この波が逆流する現象が、約0.5秒ほど続いた後、ダムから越流が始まる。

(2) 湛水域の土石流の挙動

図-12と同じ実験における土石流の挙動を示したのが図-13である。湛水域に流入した土石流は、徐々に減速し、反射してくる波とぶつかって停止する。(位置を矢印で示す) 土石流が停止した後は、後続流により堆積が進み、堆積勾配が45°を越えると、崩れるように前進する。その後は、堆積と崩れを繰り返して前進する。ただし、波の反射が顕著でない場合と、ダム高20cm、湛水深10cm、湛水長25cmの場合には、土石流の減速停止はみられなかった。これは、土石流が減速するまでに、30cm程度の湛水長を必要とするのに対し、湛水長が25cmと短く、

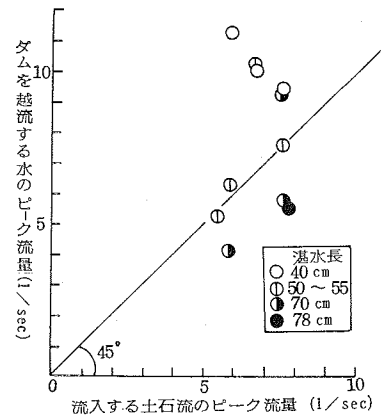


図-10 土石流のピーク流量と越流水のピーク流量

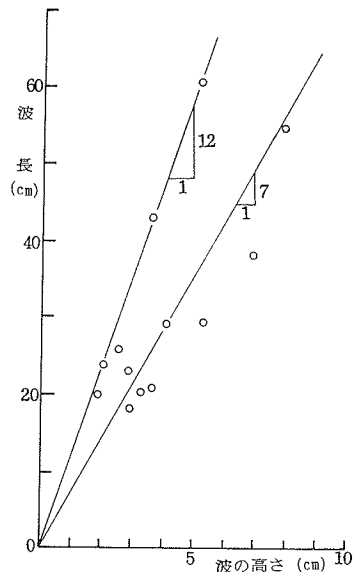


図-11 波長と波高

土石流の規模にみあう湛水深と湛水深が準備されていなかったためであると考えられる。

4. 結語

土石流対策砂防ダムは通常、土石流の発生限界勾配以下の比較的緩い勾配の溪床上に設置されることから、天端まで満水していても、湛水深は十分長くできると考えられる。そこで、土石流が流入する可能性のあるコンクリート製の砂防ダムは、流入する土石流の波高と同程度の波が形成されることを考慮して、できればダムの貯水位を、水抜き暗渠などで、低く保つことが、波の越流を防ぎ、また反射する波によって土石流先端部を減速、停止させる点から望ましい。

砂防ダムが天端まで満水している場合、砂防ダムを越流する水量は、流入する土石流のピーク流量と同程度または、それ以上となる可能性がある。このため、ダム下流の水路は、これを考慮して設計する必要がある。

今回の実験は、二次元水路で実施したが、実際の砂防ダムでは、三次元的に波が伝播し、ダムの袖部からの波の反射の影響や、水面幅が下流に向かって大きくなることによる波高の減少なども予想される。今後、これらの点についても検討して行きたい。

参考文献

- 1) 河西 基; 地すべりによる貯水池の水位変動: 第28回土木学会水理講演会論文集, 1984年2月, P.P 819 - 826
- 2) 水山高久, 吉松弘行, 鈴木若文; 湛水した砂防ダムに流入する土石流の影響: 第29回土木学会水理講演会論文集, 1985年2月, P.P 639 ~ 644

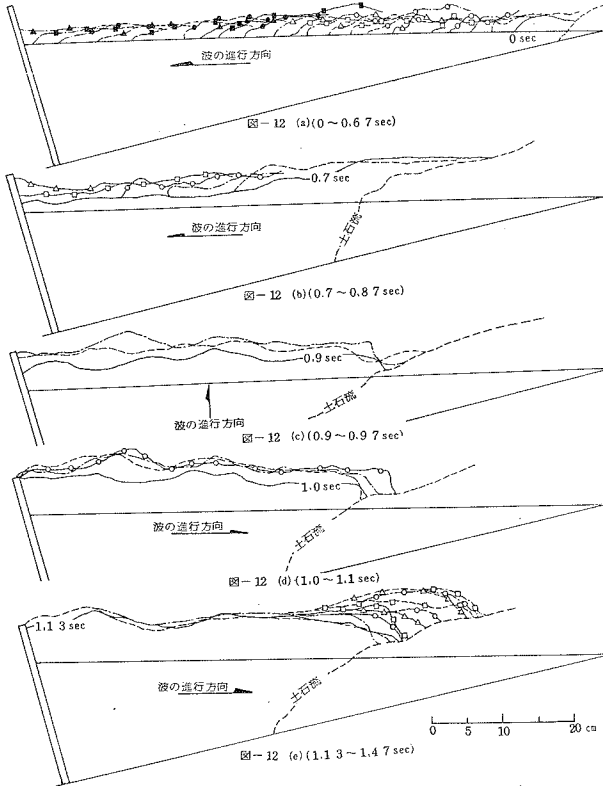


図-12 水の波の挙動 (1/30 秒間隔)

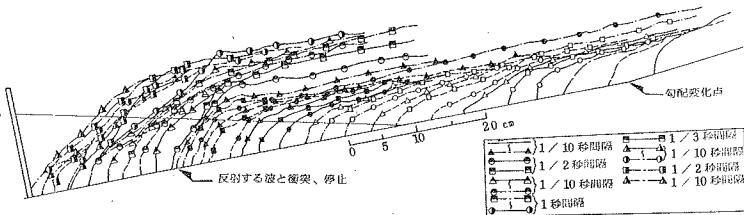


図-13 湛水域での土石流の挙動

予想される。今後、これらの点についても検討して行きたい。