

3 土石流通過時に河床に作用する土圧・水圧に関する実験的研究

建設省土木研究所 ○福澤 誠 石川芳治 草野慎一

1. はじめに

土石流対策施設を設計する際、土石流の通過による河床への荷重の増加量を考慮する必要がある。著者らは、水理模型実験によって土石流通過時に河床に作用する土圧・水圧について測定し、その結果を計算値と比較、検討したので報告する。

2. 実験方法

実験は図-1に示すような長さ6.7mの木製水路を用いて行った。水路幅は20cmで、水路の勾配は上流側を18°、下流側を10°に設定した。水路上流に、最大粒径20mm、最小粒径0.1mm、平均粒径4.3mmの実験砂60ℓを厚さ20cmに敷き均し、水路上流端からポンプにより2.0ℓ/sの水を供給し土石流を発生させた。また、土石流を発生させず、2.0ℓ/sの水だけを供給する場合についても検討した。給水時間はいずれの場合も60秒間とした。

荷重計は水路下流端に図-2に示す様に設置した。荷重計は垂直に設置し高さは30cmで上面15cmと下面15cmを別々に測定できる様にした。荷重は15×20cmの鉄板2枚で受けロードセルかかる荷重をデータレコーダー、ペンレコーダーに記録した。水圧は、深さ7.5cmと22.5cmの位置にマノメーターを荷重計直上流の水路側面に設置して、側面からのビデオ録画により水位を読んだ。同時に荷重計直上流の波高もビデオ録画により読み取った。

また、荷重計上流側50cmの範囲に、土石流と同一の砂を用いて河床勾配を10°に敷き均した。荷重計から50cm以上上流については土圧の影響がないことを確認してベニア板で仕切った。河床は実験開始前に満水飽和状態にした。

3. 実験結果

3.1 土石流の流下形態

土石流の流下形態の時間変化を図-3に示す。荷重計上流1.5m地点を通過した時を0秒とした。1秒後土石流は荷重計上流50cmの所の敷き均し土砂の先端に達している。2秒後に土石流は荷重計を越流した。3秒後土石流の波高が8cmで最も高くなり、その後20秒までは約6.3cmの波高で一定で、21秒以後から上流からの流下土砂がなくなり数秒後から河床侵食が始まった。60秒後には河床は水平に近く

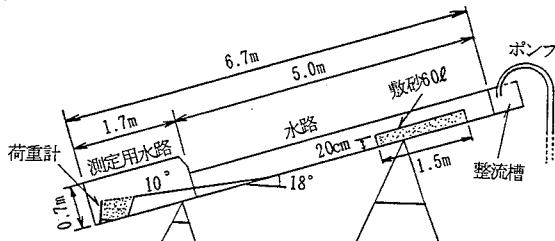


図-1 実験水路

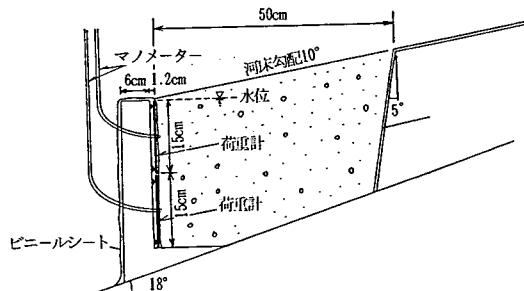


図-2 荷重計とその上流河床状態

なった。

3.2 全圧・土圧・水圧の時間的変動

土石流を流した場合の荷重測定値の時間的変動を図-4に示す。

全圧は荷重計の上面と下面を足した値で初期荷重で16.3kgf、ピークは土石流の波高のピークから5秒遅れて9秒後で荷重値は20.5kgfだった、その後荷重は60秒まで徐々に低下した。

水圧は、マノメーターによる上面と下面の水圧を足した値で初期荷重で9kgf、ピークは8秒後で12.8kgf、その後20秒まではほぼ一定で、土砂の流入がなくなった21秒以降は徐々に低下していった。この低下は河床侵食による水位の低下によるものと考えられる。また、マノメーターの値は給水停止後初期状態の値に戻った。

土圧は、荷重計からの測定値である全圧から水圧を引いた値を土圧測定値とした。土圧は初期状態で7.2kgf、9秒後が最高値で8.0kgf、それ以後は徐々に低下した。その低下も河床侵食によるものと考えられる。

水圧と土圧を比較すると、土石流流下時の水圧は土圧の約1.6倍、後続の水のみが流れている場合も約1.6倍だった。

土石流の先頭部で波高が最も高い3秒の時、全圧の増加は少ない。その状態で水圧が増加したため、逆に土圧が減少した。

3.3 実測値と計算値の比較

3.3.1 計算手法

土石流の通過時に河床に作用する水平荷重の土圧と水圧の加算方法には以下の3方法が考えられる。

- ① 土石流全体を流体として静水圧に加える。
- ② 土石流全体を石礫として土圧に加える。
- ③ 土石流を泥水中の石礫重量と泥水の重量に分けてそれぞれ土圧と水圧に加える。

本検討では、③の方法によって計算を行った。計算式は次の通りである。

$$\text{全 圧 初期河床: } P_1 = P_{w1} + P_{e1}$$

$$\text{土石流增加分: } P_2 = P_{w2} + P_{e2}$$

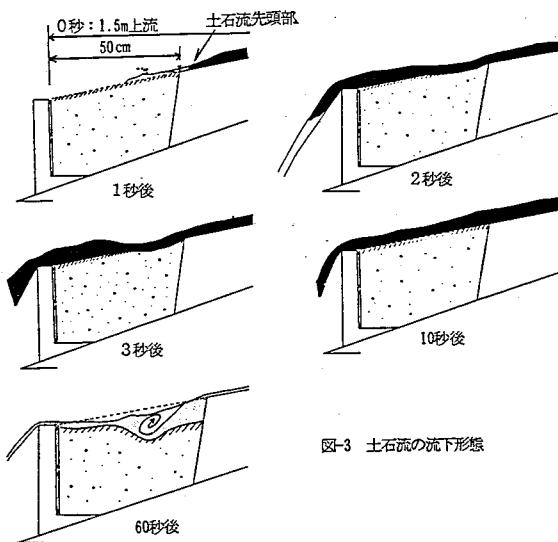


図-3 土石流の流下形態

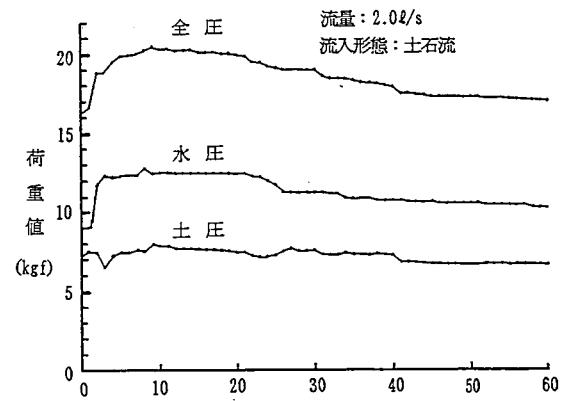


図-4 実測による全圧・水圧・土圧の時間的変動

静水圧 初期河床: $P_{w1} = 1/2 * \rho_n * H^2$

土石流增加分: $P_{w2} = \rho_n * h * H$

土圧 初期河床: $P_{e1} = 1/2 * C_e * \rho_s * H^2$

土石流增加分: $P_{e2} = C_e * \rho_f * h * H$

ここに ρ_n : 河床内の泥水の単位体積重量 (今回の実験1.0) 、 H : 河床の深さ (ダム高) 、 h : 土石流の水深、 C_e : 土圧係数、 ρ_s : 河床内の砂礫の単位体積重量 $\rho_s = C_e (\sigma - \rho_n)$ 、 C_e : 河床内の砂礫の単位体積重量 (今回の実験0.68) 、 σ : 磯の単位体積重量 (今回の実験2.6) 、 ρ_f : 土石流中の砂礫の泥水中単位体積重量 $\rho_f = C_d (\sigma - \rho_n)$ 、 C_d : 土石流中の砂礫の容積土砂濃度

3.3.2 土圧係数

実測値と計算値の比較は、土石流または流水が通過した時の増減値について検討することとし、初期河床状態の荷重値を0とした。このため、土圧の初期状態が実測値、計算値とも同じ値になるよう計算値の土圧係数を決定した。土圧係数は水のみの場合0.62、土石流を流した場合は0.74を用いた。

3.3.3 流水の場合の実測値と計算値の比較

土石流を流さず流水のみを2

l/s流した場合の実測値と計算値の比較を行った。図-5に0~20秒までの実測値及び計算値の時間的变化を示す。

実測値は2秒後に全圧が増加し4秒後でピークになりピーク値は1.7kgfだった。計算値では3秒から全圧が上がりピークは4秒で、ピーク値は約1.8kgfで実測値の1.06倍だった。全圧はその後、実測値、計算値とも、徐々に減少した。水圧は全圧とほぼ同じ波形だった。土圧の変動は少なかった。

3.3.4 土石流時の実測値と計算値の比較

土石流を流した場合の実測値と計算値の比較を行った。図-6

に0~20秒までの実測値と計算値の時間的变化を示す。

土石流先頭部を計算値はとらえているが実測値ではピークではなく、9秒まで徐々に増加している。後続流では全圧は実測値で約3.9kgf、計算値は5.7kgfで計算値は実測値の約1.5倍である。その原因として、土圧に関して実測値の後続流が約0.5kgfであるのに対して、計算値は約2kgfであるためである。水圧では実測値と計算値の値に大きな差はないことから、計算値で土圧を大きめに加算していたと考えられる。

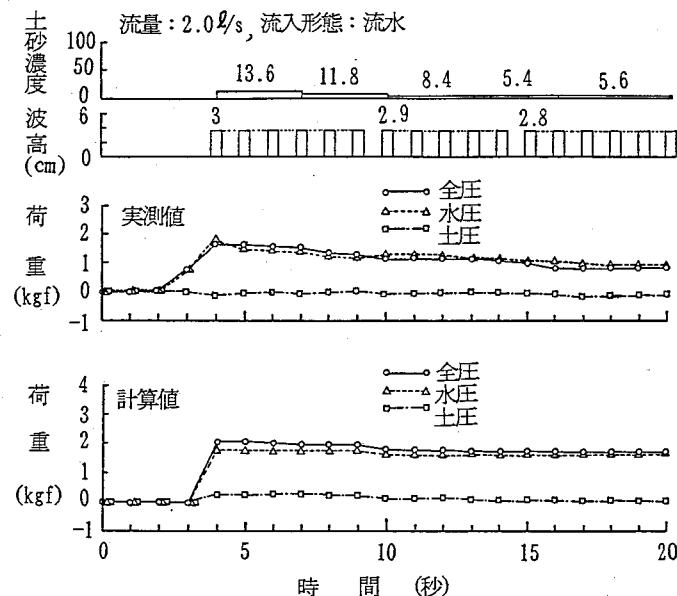


図-5 流水の通過により河床の水平方向に作用する荷重の実測値と計算値

3.3.5 河床内の土圧分布

土石流時の初期荷重を含めた場合の河床内の土圧分布について検討した。土圧分布及び上面と下面の比についての時間的変化を図-7に示す。土圧は上面の方が実験を通して大きく、深度の浅い方が土圧が高く、三角形分布にならなかった。上面の下面に対する土圧の比は最高で1.8倍、最低で1.1倍であった。

4.まとめ

土石流通過時に河床に作用する土圧・水圧に関して水理模型実験を行い荷重を測定した。その結果、水圧に関しては実験値と計算値はほぼ同じ値だった。しかし、土圧に関しては、土石流波高×土石流中の砂礫の単位体積重量を用いて計算した土圧増加値より、実測値の土圧増加分はかなり小さかった。

この理由としては、土石流の通過により堆砂地上面にあった土砂が水中に没して浮力が働いたことが一つの原因と考えられる。また、土石流通過前の状態で土圧係数が0.74と一般に設計で用いられている0.3に比べて極めて大きく静止土圧に近い状態であったことも一つの原因と考えられる。

今後は、堆砂地内の土圧分布や堆砂の作成方法も含めて実験手法及び現地との整合性を検討する必要がある。

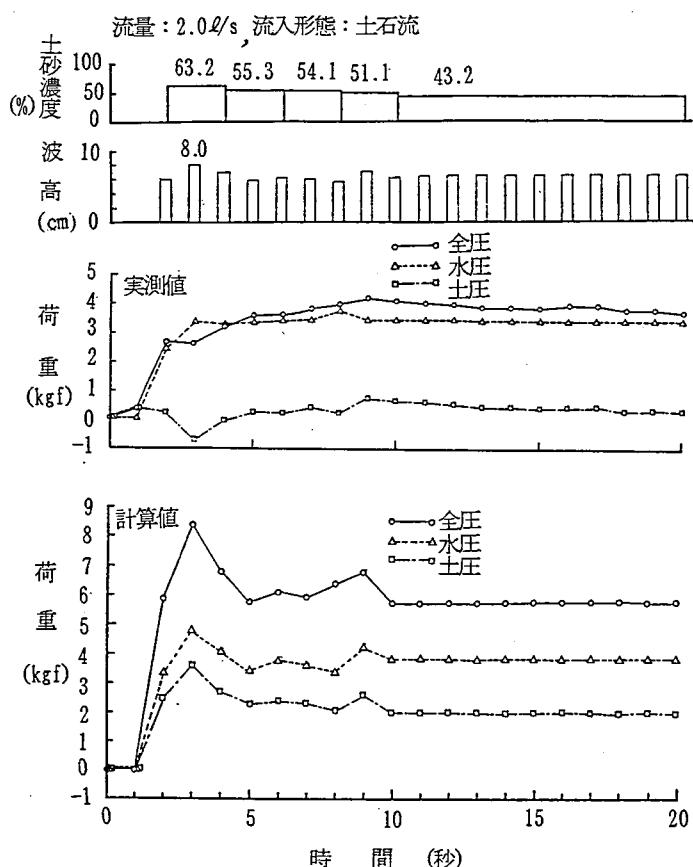


図-6 土石流の通過により河床の水平方向に作用する荷重の実測値と計算値

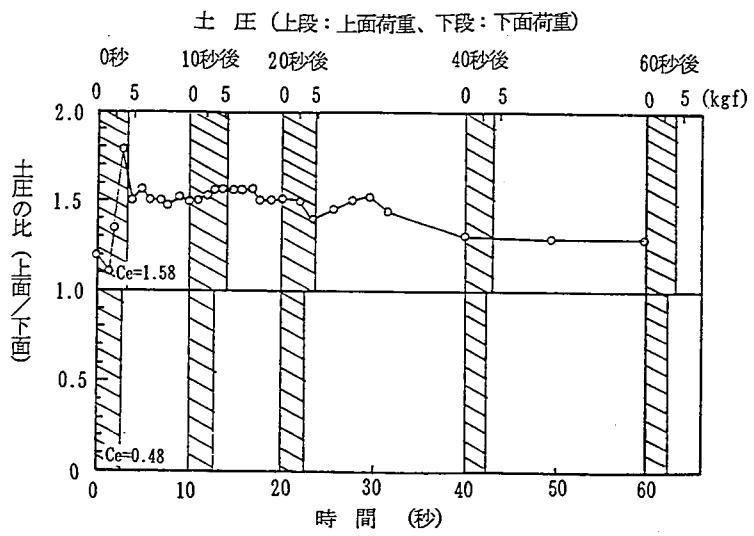


図-7 土圧の荷重分布