

転倒機構型堰堤モデルによる動的な土石流荷重計測

防衛大学校 学生会員 ○渡邊大貴 小松喜治
正会員 堀口俊行 香月智

1. 緒言

近年、局地的な集中豪雨や台風により山間地における洪水や土砂災害が多く発生している。中でも、土石流は大きな破壊力を有しており、対策構造物の設置が求められている。その主対策構造物として、透過型砂防堰堤（以下、透過型と呼ぶ。）がある。その設計荷重は、鋼製砂防構造物設計便覧より、不透過型砂防堰堤の設計基準を準用しており、堰堤には土石流流体力および堆砂圧荷重が作用するものとされている¹⁾。しかし、自然現象により生起するため、不確定な現象が多い土石流は、設計外力に与える影響は多くある。

そこで本研究は、設計時に支配的になる転倒安定性に着目し、石礫型土石流が衝突した場合の荷重評価をするために転倒機構を有する荷重計測装置を用いて、動的な土石流分布荷重を計測するものである。

2. 実験の概要

本実験では、可変勾配型直線水路を用いて、河床勾配は土石流流下区間をもとに 15.0°に設定した。水路の底面には、堰堤前面より上流 50 cm に底面粗度を配置し、その上流に礫を並べて移動床を形成させ、段波を形成しやすくするように工夫した²⁾。

写真-1 に、堰堤モデルを示す。堰堤モデルは本堤部と荷重計測部の2つの機構に分かれている。写真-1(a)に本堤部を示す。本堤部は高さ 540 mm、幅 290 mm、質量は 4.9 kg であり、底板の後端と底面を蝶番で連結することで回転できるようになっている。また、上部に載せる重錘質量 W を変化させることで、抵抗モーメント Mr を変えることが可能となっている。写真-1(b)に、荷重計測部を示す。この計測部に写真-1(c)に示す鉄棒梁の両側端にロードセルをそれぞれ貼り付けたものをセットしており、各段に力が作用すると、水平方向にスライドするように工夫した。

礫モデルは、呼称粒径 10 mm、20 mm、30 mm を体積比 1:1:1 となるように混合した。礫材の比重は 2.6 であり、礫全体の総重量は 60 kg である。

事前実験から抵抗モーメントを計測するためにばねばかりを用いて、本堤部は高さ 230 mm、荷重計測部は高さ 255 mm の位置で水平荷重を作用させ、変位計の値が大きくなり始めるまで行い、抵抗モーメントを計測した。

衝突実験では、土石流を衝突させ、堰堤モデルの変位（浮き上がり量 δ ）および衝突荷重 P を計測した。

土石流は、堰堤モデルにおいて 0.3 m の高さまで貯めた水を前方の礫塊に流し込むことで生起させた。堰堤モデルが動いたことを確認するためにダイヤルゲージと変位計を堤底に設置した。

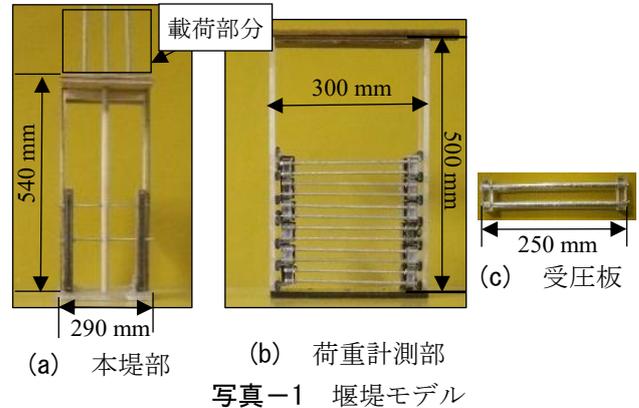


写真-1 堰堤モデル

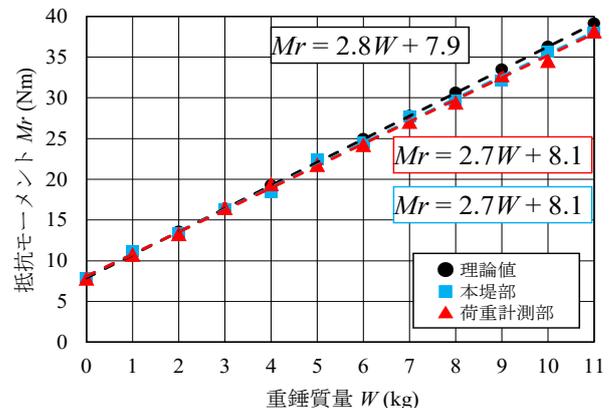


図-1 抵抗モーメント～重錘質量関係

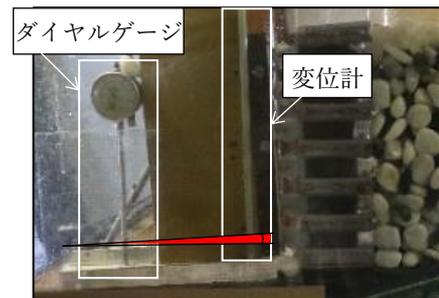


写真-2 転倒時(重錘質量 $W = 2\text{kg}$)

3. 実験結果

図-1 に、堰堤モデルの抵抗モーメント～重錘質量関係を示す。抵抗モーメントは、重錘質量が大きくなるにつれて大きくなることを確認した。

写真-2 に、重錘質量 $W = 2\text{kg}$ における堰堤モデルを示す。抵抗モーメントが土石流による作用モーメントに比べて小さい場合、写真-2 のように堰堤モデルは

キーワード 土石流荷重、鋼製透過型砂防堰堤、直線水路実験、転倒限界

連絡先 〒239-868 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL:046-841-3810 E-mail:htoshi@nda.ac.jp

傾く。しかし、抵抗モーメントおよび作用モーメントの差が小さくなっていくと明確な傾きは確認できなくなる。

図-2に、衝突実験における最大浮き上がり量 δ ～重錘質量 W 関係を示す。重錘質量が大きくなるにつれて、最大浮き上がり量は小さくなり、0.2 mmを超えなくなり一定の値となる。つまり、土石流の転倒限界は重錘質量 $W=9$ kgとなる。

図-3に、重錘質量 $W=8, 9$ kgにおける荷重～時間関係および作用モーメント～時間関係を示す。図-3(a), (b)から最大荷重は180～240 N, 作用モーメントは29～33 N・mであり、重錘質量に関係なく同じ外力が作用している。また、土石流の作用モーメントは重錘質量 $W=8$ kgと $W=9$ kgの間で最大作用モーメントに達している。

図-4(a)に重錘質量 $W=9$ kgにおける各段の荷重～時間関係を示す。荷重は、各段0.04 sの時間差で衝突しており、荷重は高さが高くなるにつれて小さくなる。一方、図-4(b)から最も大きなモーメントは6段目の荷重が最大のときである。つまり、堰堤モデルには土石流荷重の載荷高さが大きな影響を及ぼしている。

図-5に、最大作用モーメントにおける各高さの荷重および現行の設計荷重との比較を示す。土石流流体力は次の式で表される。

$$F = K_n \cdot \frac{r_d}{g} \cdot D_d \cdot U^2 \quad (1)$$

ここで、 F : 土石流流体力(N/m), K_n : 安全係数(1.0), r_d : 土石流の単位体積重量(15.8 kN/m³), g : 重力加速度(9.8 m/s²), D_d : 土石流水深(0.06 m), U : 土石流の流速(1.5 m/s)(実験データ)とすると、堰堤に作用する土石流流体力は $F=218$ N/mとなる。静止礫圧荷重は次式で表される。

$$P_{eH} = \frac{1}{2} \cdot C_e \cdot r_e \cdot h_e^2 + C_e \cdot r_d \cdot D_d \cdot h_e \quad (2)$$

ここで、 P_{eH} : 静止礫圧(kN/m), C_e : 土圧係数(0.6), r_e : 土砂の単位堆積重量(23.0 kN/m³), h_e : 堆砂高(0.24 m)であり、堰堤に作用する静止礫圧 $P_{eH}=533$ N/mとなる。現行設計による堰堤モデルに作用する総荷重は225 Nとなり、測定値の最大荷重と比較すると5.0%の差はあるもののほぼ等しくなる。また、水平方向の荷重の重心は底面から8.8 cmの高さに位置し、作用モーメントは30.2 N・mとなり、計測値の31.0 N・mと比較すると0.4%の差である。

4. 結言

本研究で得られた成果を以下のように示す。

- 1) 転倒限界を確認できる実験装置を提案して、水平方向の土石流荷重を計測し作用モーメントを算出することが出来た。
- 2) 最大作用モーメント時の水平荷重における荷重分布と現行設計のモデルがほぼ一致することを示した。
- 3) 最大荷重時と最大作用モーメント時に時間差があることを確認した。

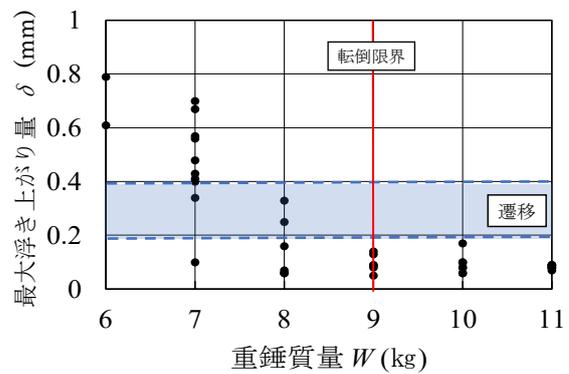


図-2 最大変位～重錘質量関係

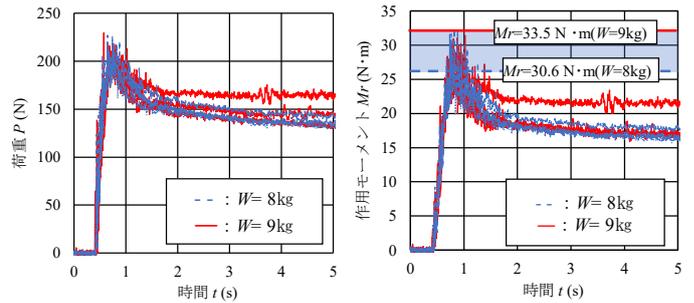


図-3 堰堤に作用する荷重および作用モーメント

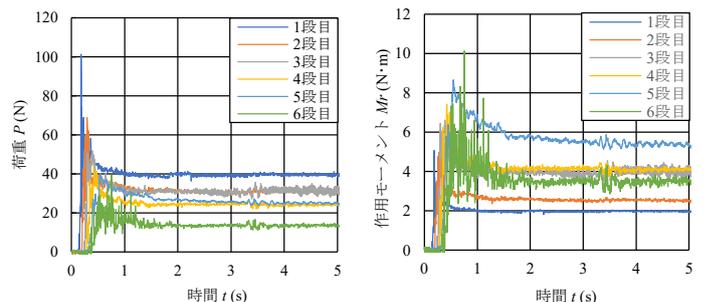


図-4 各段に作用する荷重および作用モーメント

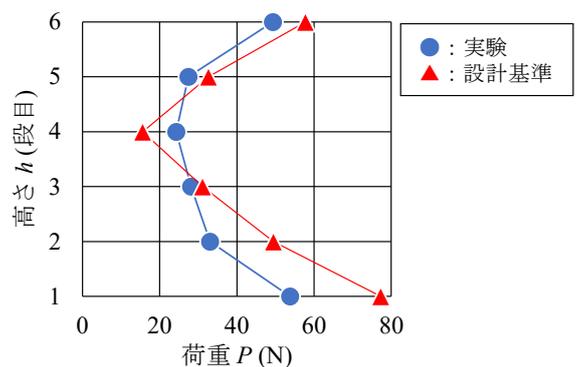


図-5 高さ～荷重関係

参考文献

- 1) 財団法人 砂防・地すべり技術センター 鋼製砂防構造物委員会編集：平成21年版 鋼製砂防構造物設計便覧，エッセイエブロー，2010
- 2) 芦田和男，道上正輝：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，第306号，pp.59-69，1972