

透過型砂防堰堤に作用する動的土石流荷重モデルを用いた転倒再現シミュレーション

防衛大学校 学生会員 ○小松喜治 正会員 香月智, 堀口俊行

1. 緒言

近年, 局地的な集中豪雨や台風の影響により土石流災害が多く発生している. 土石流の対策構造物として, 透過型砂防堰堤 (以下, 透過型と呼ぶ.) がある. 透過型の設計では, 不透過型砂防堰堤に用いる設計荷重を準用し, 静的荷重として設計がなされている¹⁾. 一方, 近年, 透過型が損傷する事例が発生しており, 現行の設計荷重以上の外力が作用したことが判っている. そのため, 土石流荷重の再検討が求められている.

そこで本研究は, 転倒限界を確認できる実験をもとに, その限界付近における土石流荷重を動的な荷重モデルとして提案し, そのモデルに基づく FEM 解析での実験の再現性を試みたものである.

2. 実験の概要

本実験の河床勾配は 15.0° に設定した. 写真-1 に示す堰堤モデルは, 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) の本堤部は, 底板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を変化させることで, その抵抗モーメント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, 堰堤高方向に 6 段それぞれに作用する水平方向の外力を計測した.

本実験では, 総重量 60 kg の礫塊に 0.3 m の高さまで貯めた水を一気に流し込むことで土石流を生起させた. また, 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および変位計を堤底に設置した. 実験は, 各重錘に対して 5 回ずつ行った.

3. 実験結果

図-1 に, 重錘質量 $W = 8 \text{ kg}$ 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, 荷重は衝突位置の高さが高くなるにつれて小さくなる. これは礫の衝突速度が先行停止礫の効果で減少するためである. また, 各段の荷重に高さを乗じた作用モーメントをすべて足し合わせた時の最大総作用モーメントは 30.9 N・m である.

4. 動的な荷重分布モデル

図-2 に時刻 t における荷重分布モデル, 図-3 に土石流高さ～時間関係を示す. 図-3 の中の実験値は図-1 の土石流が衝突する時間であり, 土石流高さ h_u は次式で表す.

$$h_{ut} = C_{rt} \cdot (t - t_0) \quad (t_0 < t \leq t_H) \quad (1)$$

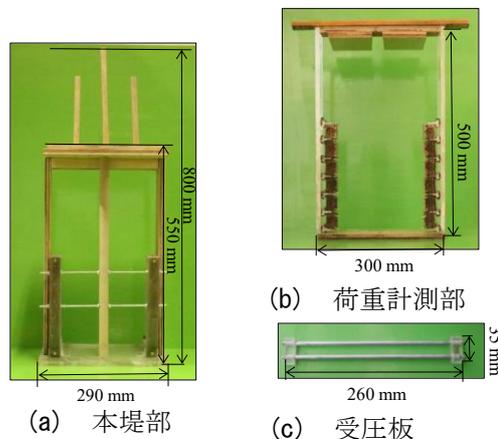


写真-1 堰堤モデル

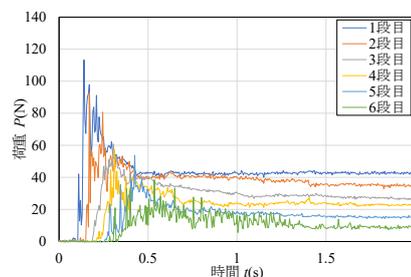


図-1 各段の荷重～時間関係

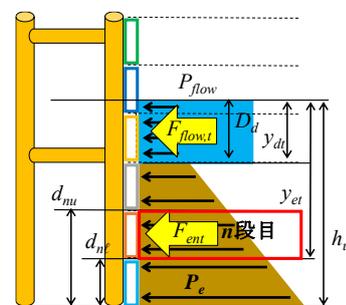


図-2 荷重分布モデル

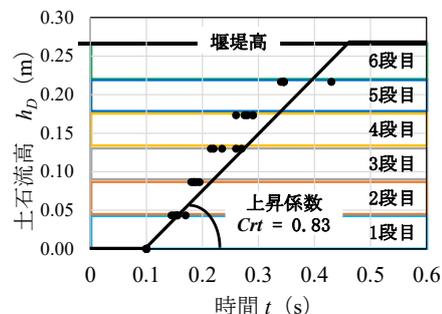


図-3 各段の最大荷重

キーワード 透過型砂防堰堤, 弾塑性解析, 動的荷重モデル

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL:046-841-3810

ここで、 h_{ut} ：時刻 t における土石流高さ (m) , C_{rt} ：上昇係数 (m/s) である。

次に、土石流全体の荷重は次式で表される。

$$F_{flow} = \int_0^{D_d} P_{flow} dy_{dt} = D_d \cdot K_h \cdot \frac{\gamma_d}{g} \cdot U^2 \quad (2)$$

ここで、 F_{flow} ：土石流流体力 (N/m) , K_h ：土石流流体力係数 (1.0) , γ_d ：土石流の単位体積重量 (kN/m³) , g ：重力加速度 (9.8 m/s²) , D_d ：土石流水深 (m) , U ：土石流の流速 (m/s) である。

次に、 n 段目の範囲が $d_{nu} < y_{et} < d_{nl}$ で与えられる時、 n 段目の堆砂礫荷重は次式で表される。

$$F_{ent} = \int_{d_{nu}}^{d_{nl}} C_e \cdot \gamma_e \cdot y_{et} dy_{et} = \frac{1}{2} \cdot C_e \cdot \gamma_e (d_{nl}^2 - d_{nu}^2) \quad (3)$$

ここで、 F_{ent} ：時刻 t における n 段目の堆砂礫荷重 (N/m) , d_{nl} , d_{nu} ：それぞれ n 段目の下部の深さ (m) および上部の深さ (m) , C_e ：土圧係数 , γ_e ：土砂の単位堆積重量 (kN/m³) , h_e ：堆砂高 (m) である。

図-4 に、各段に作用する動的な荷重分布モデルを示す。土石流が衝突して、該当する高さに土石流高が達した後、急激に荷重はピーク値に達する。この荷重は従来の大同²⁾の式を基に与える。その後、堆砂礫荷重となり、上載礫厚が増すにつれて大きくなる。この際、土石流流体力、堆砂礫荷重および荷重の減少時間に係数 α , β , γ を乗じることによりモデル化した。

図-5 に、実験と各段に図-4 の提案モデルを与え、積算した総荷重～時間関係を比較して示す。実験の最大総荷重は平均 227 N、提案モデルの最大総荷重は 242 N であり、比較すると 6% の差であった。一方で、実験の最大総作用モーメントは 30.9 N・m、提案モデルの最大総作用モーメントは 31.9 N・m であり、比較すると 5% の差となり、ほぼ一致する。

5. 解析による比較

本解析手法は、動的弾塑性解析である。図-6 に、本堤部の解析モデルを示す。解析では、各重錘質量の解析を行った。なお、解析モデルの転倒を再現するために、節点の下部は引張りに抵抗しない節点で支えている。

解析の初期条件として、自重による安定解析を行い、その後、図-6 (b) のように動的な土石流荷重を与えている。この荷重が転倒限界を超えると回転を開始するが、荷重が減少すると初期の安定形状に復帰する。図-7 に、最大浮き上がり量と重錘質量の関係を示す。最大浮き上がり量は重錘質量と非線形の関係となる。なお、解析における転倒の限界は重錘質量 $W = 8$ kg となり、実験の転倒限界である重錘質量 $W = 8$ kg と一致した。

6. 結言

本研究において、以下の成果を得た。

- (1) 実験での計測結果から、土石流流体力と堆砂礫荷重を組み合わせた動的な荷重分布モデルを提案し、透過型の前面に対して時系列に応じたものを作成した。
- (2) 数値解析により提案した荷重分布モデルの妥当性について検討し、実験の再現性について確認すること

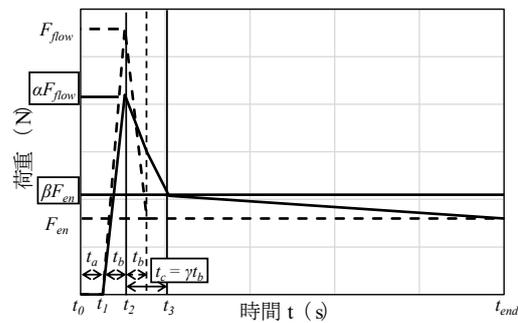


図-4 動的な荷重分布モデル

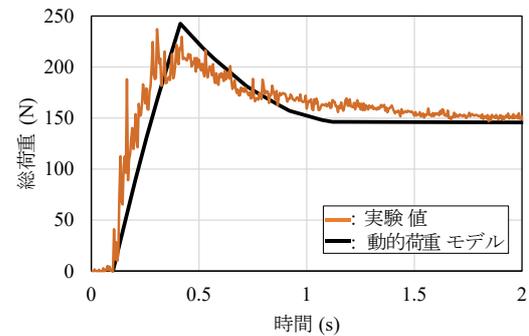


図-5 総荷重～時間関係

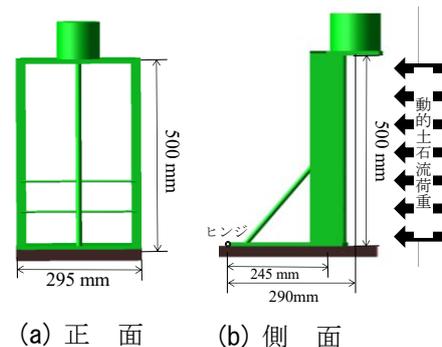


図-6 解析モデル

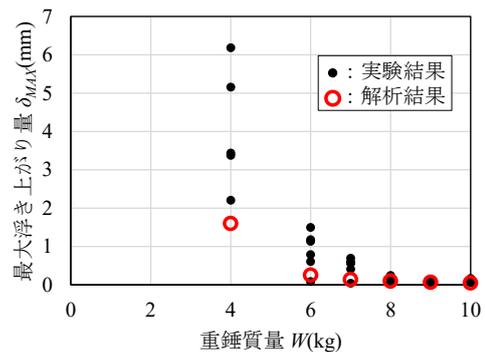


図-7 最大浮き上がり量と重錘質量の関係

とができた。

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，エッセイエプロ，2010。
- 2) 大同敦之：段波が構造物に作用する衝撃力-水面衝撃実験からの推定-，砂防学会年次講演会講演集，pp.90-91，1987。