

個別要素法を用いた鋼製砂防堰堤が受ける土石流の荷重評価法

防衛大学校 ○堀口俊行 小松喜治 香月智
 砂防鋼構造物研究会 石川信隆
 政策研究大学院大学 水山高久

1 緒言

近年、局地的な集中豪雨や台風によって、山間地に洪水や土砂災害が頻発している。特に、土石流は大きな破壊力を発生させるため、対策構造物の設置が求められている。例えば、平成 29 年 7 月九州北部豪雨において、大量の流木を含んだ土石流が生活地域に侵入して大きな被害をもたらした。その対策として、対策構造物に写真-1 のような鋼製透過型砂防堰堤が建設されている。これは通常時、河川の連続性を維持して水や小砂礫を流下できる機構となっている。しかし、土石流が発生すると先頭部に巨礫や流木が集中する特性を利用し、堰堤の透過部を閉塞することで後続の土砂を捕捉できるものである。このような構造物は、直接堰堤に土石流が衝突するため土石流荷重を評価する手法が求められている。

土石流荷重に関する研究において、池谷ら¹⁾は土石流の種類を大きく 2 つに分けており、①流体理論による土石流荷重と②固体理論における土石流荷重に分けて説明している。これを基に水山²⁾は、分類ごとのコンクリート製の砂防堰堤に対する衝撃力を算定する方法を検討した。そこでは、巨礫の衝突衝撃力を固体理論によって求めるものとして、衝突時における局所的な破壊によるエネルギーから求めるものとしている。しかし、これらは実験結果から検討されたものであり、個別要素法のような動的解析を用いた手法での解析的な研究例は少なく、検討の余地がある。

よって本研究では、実験室規模の土石流実験から得られた衝撃力荷重を個別要素法解析で再現することで、衝撃荷重の評価について提案するものである。

2 実験の概要

2.1 実験装置

図-1 に示す実験装置は、可変勾配型直線水路を用いている。水路の諸元は、水路長 4.5 m、水路幅 30 cm、深さ 50 cm であり、水路勾配は任意に設定ができる。なお、本実験では河床勾配を梨子沢第 1 砂防堰堤設計諸元³⁾に示されている $\theta = 11.3^\circ$ に固定した。土石流を発生させる流水は、上流に置いた礫塊の後方から電動ポンプによって流す。また、土石流の先端部に段波を形成させるために底面粗度を配置した。図-1 に示すように、間隔は 30 mm、高さを 6 mm の底面粗度を堰堤から 2.0 m の長さにわたり設置した。図-2 に、堰堤モデルと荷重計測要領を示す。土石流荷重は、堰堤モデルの下流側に 2 個のロードセルと 1 個の分力計を左右対称に配置して計測した。また、堰堤モデルは上端部で吊っており、底板との摩擦を受けないように工夫している。つまり、堰堤モデルが土石流から受ける水平力は 3 つのロードセルの合計値に釣り合っている。さらに、堰堤下部の水路底面は水平である。

また、図-3 に示すように土石流モデルは、呼称粒径 10 mm、20 mm、30 mm を使用しており、土石流に適し



写真-1 鋼製透過型砂防堰堤

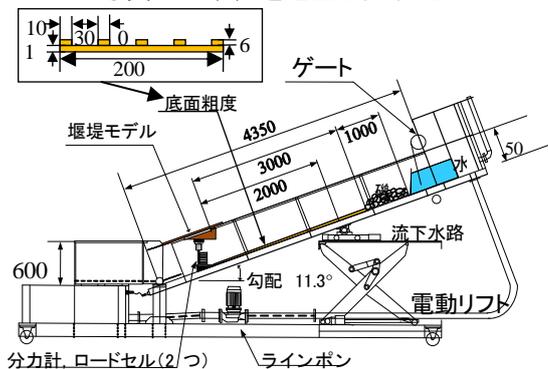


図-1 実験水路

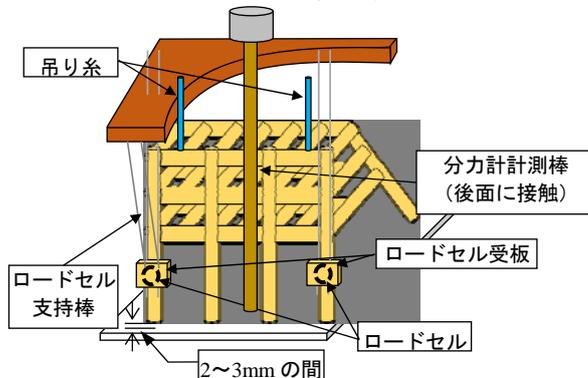


図-2 堰堤モデルと荷重計測要領

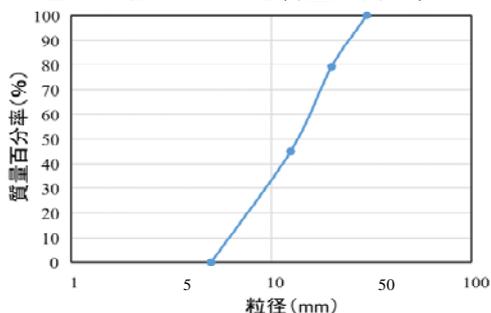


図-3 粒径加積曲線

た粒径加積曲線を参考に比率を決定した。礫材の比重は 2.6、礫全体の総重量は 35 kg である。

2.2 実験状況

図-4 に、捕捉堆積過程を示す。図-4(a)は、礫の先端

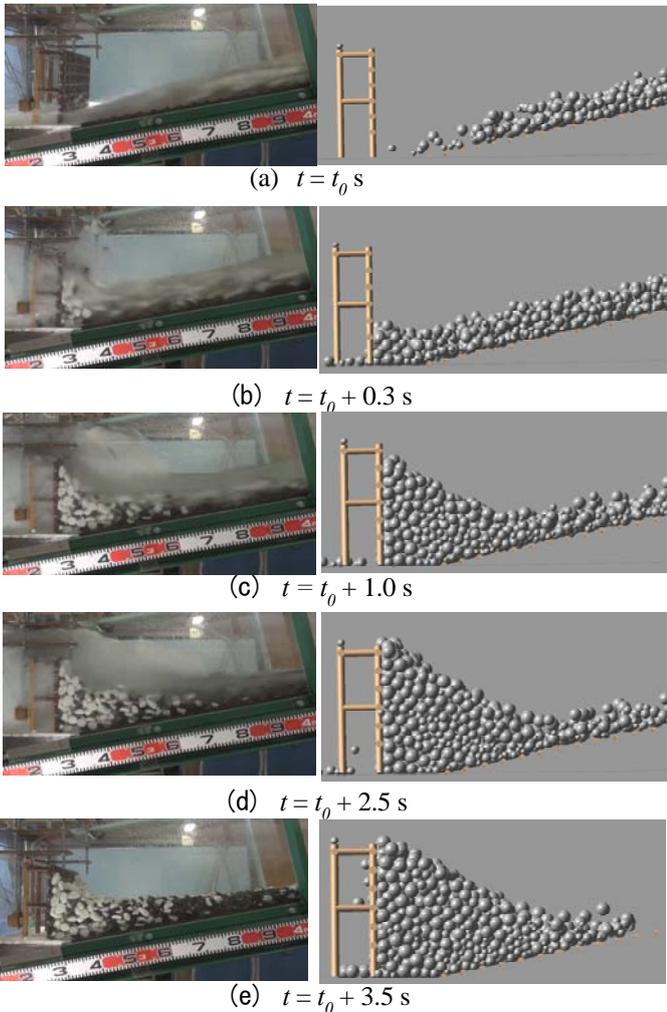


図-4 捕捉堆積過程 (左:実験, 右:解析)

が堰堤に到達した時間である。さらに、堰堤に近づく土石流は底面粗度によって、流水と礫材が上流側に向かって高く盛り上がる形状で接近している。図-4(b)は、先行礫が堰堤下部に貯まっており、後続の段波が押し寄せている。また、後続礫が集合運搬されて到達ようになる。特に、径の大きな白い礫が先端に集中して偏析が生じ、早い時間に衝突していることがわかる。図-4(c)は、後述する荷重～時間関係で、土石流荷重が最も大きくなる時間である。この時に堰堤前面で停止した礫の高さが最高点になっている。図-4(d)は、後続礫が堰堤に捕捉され上流側に貯まって停止して、水が礫塊の間隙を流下し続けている。図-4(e)は、流水も終了して礫塊の停止状態になっている。

3 解析結果

3.1 解析モデル

図-5に、解析モデルを示す。実験と同じように土石と堰堤を配置している。さらに、堰堤の部材モデルには円柱形要素を組み合わせて1列目と2列目をモデル化し、分力計にあたる部分を円柱形要素と球形要素で結ぶ連結ばねを使用してモデル化した。ここで得られた接触力を衝撃荷重として評価する。

3.2 荷重～変位関係

図-4は、礫の堆積形状の解析と実験の時刻歴を示す。図-4(a)は、土石流の先端が堰堤に衝突した時間を示し

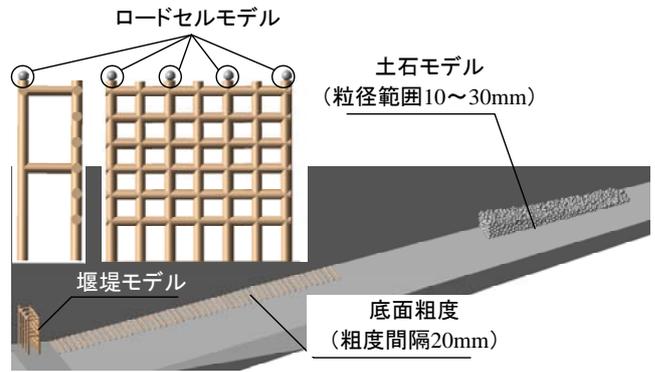


図-5 解析モデル

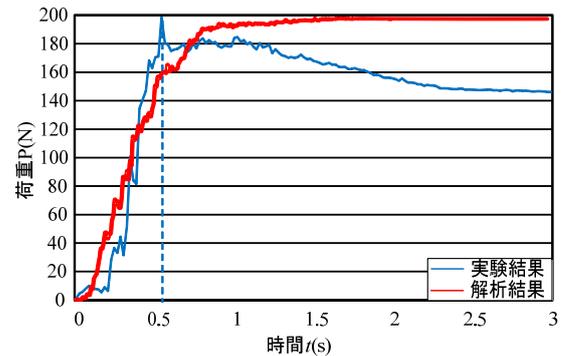


図-6 荷重～時間関係

ている。図-4(b)は、礫が衝突しており、堰堤に対して衝撃力荷重を受けている。土石流の先端部は、堰堤高さ1/3程度である。図-4(c)は、時間とともに堆積している過程であり、安定形状に移ろうとしている。図-4(d)では、後方から流れている水が流下して礫が残ることで堆積している。図-4(e)は、止水後の形状であるが、最終形状は実験とやや異なる。

図-6に、解析結果の荷重～時間関係を示している。土石流モデルの先端が衝突してから1.0 s程度で最大衝撃荷重付近まで上がり徐々に荷重が一定になっている。実験とはやや異なるが最大衝撃荷重は概ね再現できている。これより、実験規模における最大荷重評価についての予測が期待できる。

4 結論

本研究は、鋼製透過型砂防堰堤が受ける土石流の衝撃荷重を評価するために荷重～時間関係を整理し、個別要素法解析でその荷重を推定したものである。

- 1) 透過型砂防堰堤に対する衝撃荷重の計測法について示した。これにより、土石流から受ける堰堤全体に生じる荷重について計測可能であることがわかった。
- 2) 個別要素法を用いて実験スケールにおける荷重評価が概ね再現できることを示した。
- 3) 今後、異なる実験条件を用いて提案手法が衝撃荷重の評価法として適用性への検討が必要である。

参考文献

- 1) 池谷浩：土石流の分類，土木技術資料 20(3)，pp.44～49，1978.3.
- 2) 水山高久：砂防ダムに対する土石流衝撃力算定とその問題点，新砂防，Vol.112，pp.40～43，1979.8.
- 3) 大同淳之，吉栖雅人，中嶋健太：土石流による衝撃力，水工学論文集，第38巻，pp.557～562，1994.2