

# ため池に流入する土石流が堤体に及ぼす衝撃圧の評価に関する水路模型実験 Flume model test on impact pressure caused by debris flow into reservoir

園田悠介\* 松本赳\* ○蓮尾佑帆\*\* 澤田 豊\*

Yusuke SONODA, Takeru MATSUMOTO, Yuho HASUO, Yutaka SAWADA

1. はじめに 近年、異常気象により土石流の発生頻度が増加し、谷部に多く造成されるため池に深刻な被害を与えている。正田ら<sup>1)</sup>は、水路実験により土石流がため池堤体におよぼす荷重を計測しているが、土石流が流入する貯水池の形状が斜面と同じ幅の直線構造であることなど、完全な解明には至っていない。本研究では、貯水部を拡幅した実験水路を用いて、土石流流下実験を行った。実験では、土石流の衝撃圧を、水圧成分を差し引いて計測し、砂防ダム<sup>2)</sup>の設計に使用される既存式で評価できるか検討した。

2. 実験概要 実験装置及び堤体模型を Fig. 1 に示す。実験装置はアクリル製で、斜面部と貯水部から構成される。貯水部には斜面部下端から 300mm の位置に、堤体模型を設置した。塩化ビニル製の堤体模型には、圧力計および水圧計を同位置に設置した。実験装置の幾何学的縮尺は 1/20 である。土石流を模擬した材料はセラミックビーズ(密度 3.6g/cm<sup>3</sup>)とし、粒径 3mm(白)、6mm(黒)、10mm(赤)の 3 種類を用いた。なお、本実験ではフルード則(速度)で相似則を考慮した。

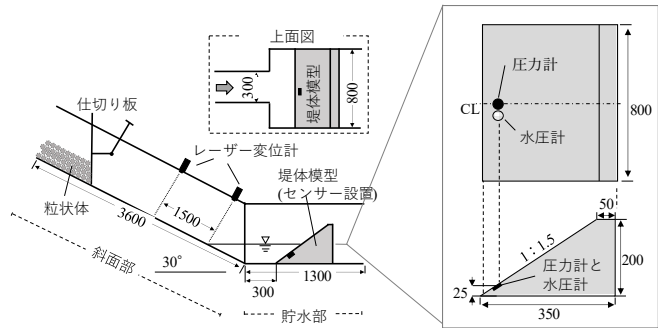


Fig. 1 実験装置および堤体模型の概要  
Overview diagram of the experimental apparatus

Table 1 に実験ケースを示す。各粒径の粒状体を重量比 1 : 1 : 1 で混合した材料 (dM) と粒状体の粒径が 3mm と 6mm の単粒径の材料 (d3,d6) に対して、貯水水位を 0, 50, 100mm に変化させた計 9 ケースを実施した。流下させる粒状体の重量は 15kg とした。

実験では、斜面上部から模擬材料を流下させ、堤体模型で計測した圧力値から同位置の水圧を差し引くことで、粒状体の衝突による衝撃圧  $P$  を評価した。

3. 実験結果 Fig. 2 は、各ケースで計測された粒状体による衝撃圧  $P$  の経時変化を示す。ケース d6 では瞬間的に大きな衝撃圧の発生頻度が多いことがわかる。なお、ケース dM の結果は割愛しているが、衝撃圧の変化や大きさが d3 と類似しており、同質量で混合した条件において、粒径の小さな粒状体の挙動に支配されることがわかった。ただし、各粒径で初期水位が 0 のケースでは、ビーズが斜面衝突時に強く跳ね上がることから、堤体上の圧力計の値が過少になっている可能性がある。そこで後述する衝

Table 1 実験ケース  
Experimental cases

ケース名	径径	水位
d3_h0	3mm	0mm
d3_h50	(単粒径)	50mm
d3_h100		100mm
d6_h0	3mm	0mm
d6_h50	(単粒径)	50mm
d6_h100		100mm
dM_h0	3,6,10mm	0mm
dM_h50	(混粒径)	50mm
dM_h100		100mm

\*神戸大学大学院農学研究科 Graduate School of Agricultural Science, Kobe University \*\*神戸大学農学部 Faculty of Agricultural Science, Kobe University キーワード：ため池，土石流，貯留水，模型実験

撃圧の検討は貯水があるケースに着目して行う。

経時変化のデータのうち、 $t=0.25\sim 1.5\text{s}$ の間のデータ（データ数 250 個）から、衝撃圧の最大値  $P_{\max}$  と上位 30 個の衝撃圧の平均値  $P_{\text{ave}}$  を抽出して考察する。Fig. 3 に  $P_{\max}$  と  $P_{\text{ave}}$  を各ケースで比較した結果を示す。 $P_{\text{ave}}$  に着目すると、各粒径において、h50 から h100 の  $P_{\text{ave}}$  の減少率はわずかである。すなわち、一定以上の貯水による減勢効果は大きく変化しないことがわかる。一方で、 $P_{\max}$  に着目すると、粒径の大きなケース d6 では h100 において、 $P_{\text{ave}}$  の約 2 倍の  $P_{\max}$  が作用しており、これは土石流の粒径によっては、貯水に関係なく、瞬間的に大きな衝撃圧が作用する可能性がある。

流体の運動量から、土石流の衝撃圧  $P$  は、以下の式 (1) により算出されている。

$$P = \alpha \cdot \rho \cdot v^2 \quad (1)$$

ここで、 $v$  は速度、 $\rho$  は土石流の密度、 $\alpha$  は係数である。なお、 $\rho$  は粒子密度  $\sigma$  に容積濃度  $C$  を乗じて算出されるが、本論文では、容積濃度  $C$  について砂防ダム設計で用いられる上限値  $C=0.56$  を使用した。係数  $\alpha$  については既往研究<sup>2)</sup>で  $\alpha = 0.7\sim 4.0$  程度の一定の幅を有することが示されている。

Fig. 4 は、本実験結果で計測した  $P_{\max}$  と  $P_{\text{ave}}$  を式 (1) での値と比較したものである。図中に表記されるバーの下端が  $\alpha = 1.0$ 、上端が  $\alpha = 3.0$  を採用した値である。 $P_{\max}$  は、バーの上部にプロットされているケースもあるが、 $P_{\text{ave}}$  は  $\alpha = 1.5\sim 3.0$  の範囲に収まっている。すなわち、瞬間的に大きな衝撃圧を除けば、既往研究で提案されている  $\alpha$  を適切に設定することで、速度との関係により、貯留水に流入する土石流の衝撃圧が良好に算出できる可能性が示された。

**4. まとめ** 本研究では、ため池に土石流が流入した際の衝撃圧を、実験水路を用いて計測し、貯水による影響や砂防ダム設計で使われる既存式との比較を行った。その結果、土石流による衝撃圧は一定の幅はあるものの、速度との関係により、既存式で良好に算出できる可能性が示された。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 21H02306 および 22KJ2235 の助成を受けたものです。

参考文献：1) 正田大輔, 吉迫宏, 井上敬資, 小嶋創, 酒井直樹 (2024) : 土石流の流入によるため池貯水時の堤体への作用荷重の評価, 農業農村工学会論文集, 318, 41-50 2) Scheidl, D. et al. (2011) : Analysing Debris-Flow Impact Models, Based on a Small Scale Modelling Approach, Surveys in Geophysics, 34, pp.121-140.

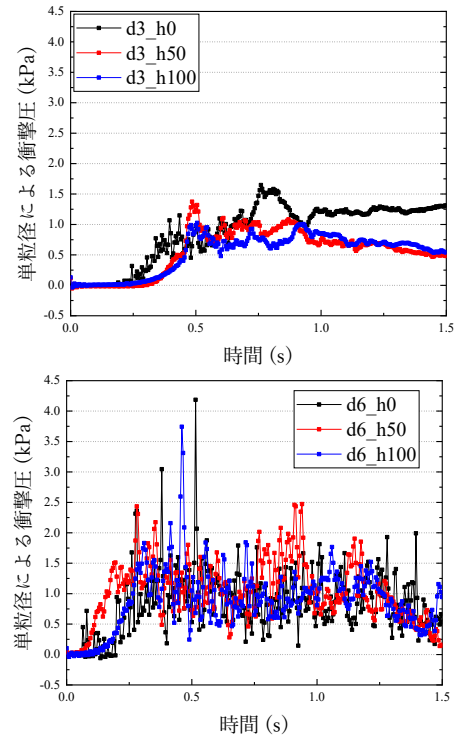


Fig. 2 粒状体による衝撃圧  $P$   
Impact pressure caused  $P$

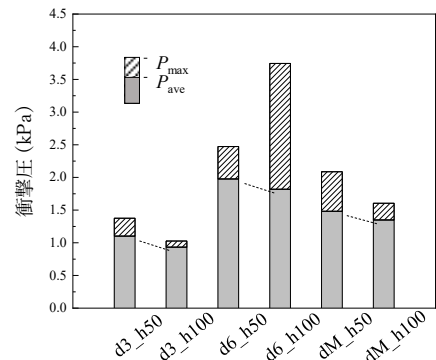


Fig. 3 衝撃圧の  $P_{\max}$  と  $P_{\text{ave}}$   
Maximum and average values of impact pressure

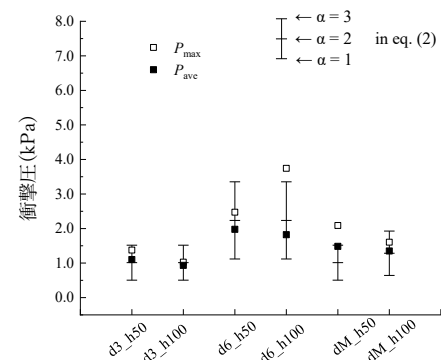


Fig. 4 既存式との比較  
Comparison with existing formula