

土石流の流速が柔構造物の荷重緩衝効果に与える影響

防衛大学校 ○宮原 邑太 堀口 俊行
(一財) 砂防・地すべり技術センター 井上 隆太

1. はじめに

土石流対策の構造物の一つとして柔構造物がある。柔構造物は、主に土砂災害発生後の応急対策や、砂防構造物の施工現場を保護するための仮設対策として使用されている。柔構造物は一般的に土石流の衝撃力を緩衝する効果があると考えられているが、いくつかの研究事例を見比べると、必ずしも緩衝効果が確認されるわけではなかった。例えば、Song et al.¹⁾による研究結果では緩衝効果が確認できるが、Wendeler et al.²⁾の検討では、剛な構造物への衝突よりも柔構造物で計測された荷重の方が大きくなっていた。

ところで、土木や建築等の分野においても衝撃力の緩和を目的とした緩衝材の適用性について研究がなされており、その効果には衝突速度が影響することが明らかにされている³⁾。そのため、柔構造物の緩衝効果においても土石流流速が影響を与える可能性がある。

そこで本研究では、土石流の流速が柔構造物による荷重の緩衝効果に与える影響について検討するものである。ここでは、水路実験により異なる流速の土石流を発生させ、柔構造物と剛な構造物との結果を比較する。

2. 実験方法

図-1 に示すように、実験は幅 300 mm、長さ 4,350 mm、勾配 15°の直線水路の下流部に荷重計測装置を設置し、水路の上流から土石流を発生させることで、荷重の計測を行った。荷重計測装置は、本体部がレール上に設置される構造であり、本体部の下流側に圧縮ロードセルを 4 個設置することで、捕捉面が土石流を捕捉した際の荷重（作用荷重）を計測した。捕捉面は、図-2 に示される柔構造物と剛な構造物の 2 種類である。それぞれ目合（部材純間隔）は 16 mm である。柔構造物は、上下左右の網目に通されたロープにより支持されており、上下段ロープの左岸側端部には引張ロードセルを設置し、張力の計測を行った。

土石流モデルは、総容積 20 L となる粒径 25~20 mm、20~15 mm、15~10 mm、10~5 mm の 4 種類の礫を、図-3 に示す粒径分布となるように混合した。これらの礫を荷重計測装置より上流側約 4.0 m の位置に、厚さが 150 mm となるように配置し、その上流側から 3 種類の流量 $Q = 4.0$ L/s、6.8 L/s、12.0 L/s の水流を発生させることで押流した。この際、土石流の流速は $U = 1.1$ m/s、1.5 m/s、1.9 m/s の 3 通りとなる。

つまり、実験ケースは、2 種類の捕捉面に 3 通りの

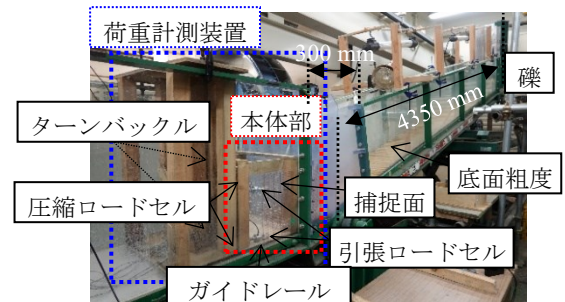
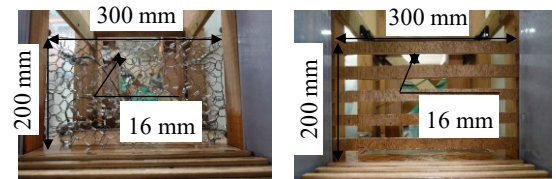


図-1 実験装置



(a) 柔構造物 (b) 剛な構造物

図-2 捕捉面

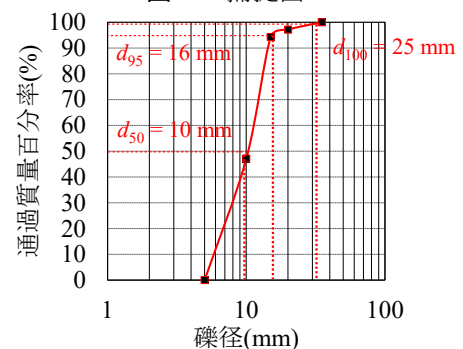


図-3 粒径分布

土石流の流速による計 6 ケース（各ケース 3 回実施）となる。

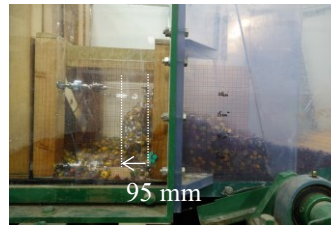
3. 実験結果

図-4 には、各流速における柔構造物による土石流の捕捉状況を示している。各流速において土石流の捕捉に伴い捕捉面が大きく変形した。変形量 δ は、流速 $U = 1.1$ m/s で $\delta = 85$ mm、 $U = 1.5$ m/s で $\delta = 95$ mm および $U = 1.9$ m/s で $\delta = 110$ mm であり、流速の増加につれて変形量も大きくなった。

図-5 は、各流速における荷重の時刻歴応答を柔構造物と剛な構造物で比較したものである。まず、流速 $U = 1.1$ m/s における作用荷重は、剛な構造物よりも柔構造物の方が小さくなった。作用荷重の最大値は、剛な構造物で 63 N、柔構造物では 40 N と剛な構造物に比べて 63% の値であった。作用荷重の立上りの勾配 (0.1 s における作用荷重を 0.1 s で割った値) は、剛な構造物で 445 N/s、柔構造物では 315 N/s と小さかった。こ



(a) $U = 1.1 \text{ m/s}$

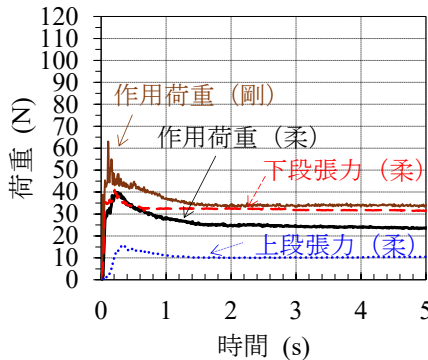


(b) $U = 1.5 \text{ m/s}$

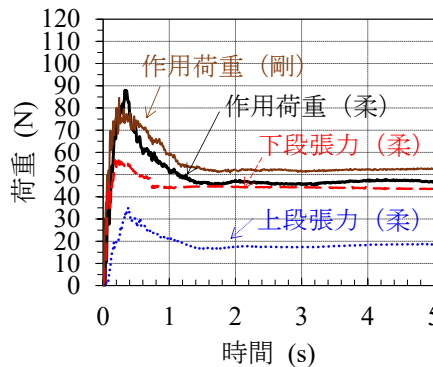


(c) $U = 1.9 \text{ m/s}$

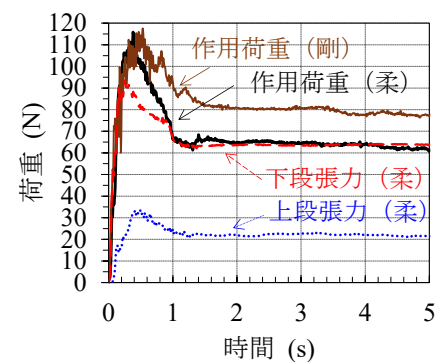
図-4 柔構造物による土石流の捕捉形態



(a) $U = 1.1 \text{ m/s}$



(b) $U = 1.5 \text{ m/s}$



(c) $U = 1.9 \text{ m/s}$

図-5 荷重の時刻歴応答の比較

れは、土石流の衝突に伴う捕捉面の変形により、衝撃作用が緩衝されたものと考えられる。次に、流速 1.5 m/s における作用荷重は、収束した後の荷重は柔構造物の方が 10 N 程度小さいが、最大荷重の差は微小であった。立上りの勾配は、剛な構造物で 650 N/s 、柔構造物では 367 N/s と小さく、土石流が衝突した瞬間には緩衝効果が発揮されていたと考えられる。流速 1.9 m/s においても、作用荷重は流速 1.5 m/s よりも大きくなるものの、剛な構造物と柔構造物の作用荷重の最大値には大きな差が確認できなかった。立上りの勾配は、剛な構造物で 759 N/s 、柔構造物では 437 N/s と小さかった。ロープ張力は、全ての流速において、上段張力よりも下段張力の方が大きくなった。

図-6 には、荷重比と流速の関係を示している。ここで、荷重比は、柔構造物で計測された最大作用荷重を剛な構造物の最大作用荷重で除した値とし、荷重比が小さいほど柔構造物による荷重の緩衝効果は高い評価となる。荷重比は、流速 $U = 1.1 \text{ m/s}$ では $54 \sim 78 \%$ の間で分布しており、平均は 66% であった。しかし、流速が 1.5 m/s 以上になると 100% 周辺に分布しており、柔構造物による緩衝効果は確認できなかった。計測された作用荷重の立上りの勾配より、土石流の衝突当初には変形による緩衝効果が確認されるものの、作用荷重の最大値で評価した場合、緩衝効果の発揮には閾値となる流速が存在することが示唆された。

4. まとめ

本研究の結果、作用荷重の立上りの勾配は、流速に関わらず柔構造物の方が小さくなり、土石流衝突時の

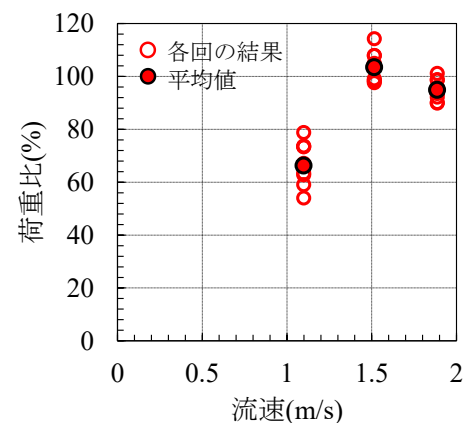


図-6 荷重比～流速関係

衝撃力を緩衝することが示唆された。しかし、流速がある閾値を超えると、荷重の緩衝効果が期待できなくなる可能性が示された。

参考文献

- 1) Song, D., Choi, C.E., Ng, C.W.W. and Zhou, G.G.D.: Geophysical flows impacting a flexible barrier: effect of solid-fluid interaction, *Landslide*, Vol.15, pp.99-110, 2018.
- 2) Wendeler, C., Volkwein, A., McArdeell, B.W. and Bartlett, P.: Load model for designing flexible steel barriers for debris flow mitigation, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.99, pp.1-39, 2018.
- 3) 結城洋一, 玉井宏樹, 石井博典, 園田佳巨, 春日井俊博: 大型落錘実験による落橋防止構造に作用する最大荷重の推定, *構造工学論文集*, Vol.62A, pp.341-350, 2016.