

無流水溪流に対応した杭基礎構造型防護柵の開発

東亜グラウト工業株式会社 梅沢広幸，櫻井哲弥，○鈴木利治，奥田峻

1. はじめに

令和4年3月に国土交通省水管理・国土保全局砂防部より、「無流水溪流対策に係る技術的留意事項（試行案）」が公表された。これによると，無流水溪流（小規模溪流）は谷出口に住家等が近接している場合が多く，土石流が発生すると人的被害に直結する可能性が高いこと，また，無流水溪流では地形等の制約により従来の砂防堰堤の施工が困難な場合があるため，無流水溪流の特徴に応じた合理的な土石流対策が必要であることが述べられている。これを受け，無流水溪流に対応した杭基礎構造型防護柵（以下，防護柵と呼ぶ）の開発を目的に各実験による性能検証を実施した。

2. 無流水溪流対策の要求性能

無流水溪流における土石流・流木対策施設は，透過構造を有する施設を基本とし，①構造物の上部構造と基礎（直接基礎もしくは杭基礎）が一体で自立し，「計画規模の土石流」の外力に対する安定性が確保されていること，②計画規模の土石流・流木を確実に捕捉し，その後も捕捉した土砂・流木が流下することがない構造であること，が求められている。これらの要求性能に対する防護柵性能検証として，水理模型実験による捕捉性能の確認および実物大実験による耐衝撃性能の確認を実施した。

3. 防護柵の基本構造

図-3.1に防護柵の基本構造を示す。防護柵基礎は杭基礎構造とし，杭支柱間の上下にワイヤロープが挿通され，そのワイヤロープに落石，崩壊土砂，土石流の捕捉実績のあるリング状ネットを吊り下げる構造とした。なお，支柱は支柱変形時にも交換が可能となるよう着脱式支柱構造を採用し，施工性および保守性を向上した。

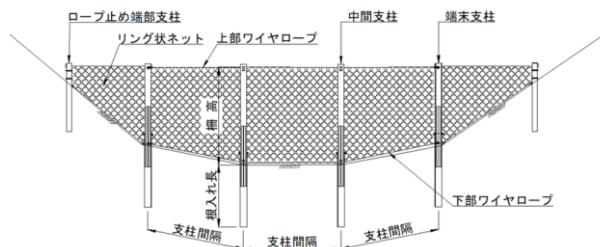


図-3.1 防護柵基本構造

4. 水理模型実験

防護柵構造における土砂および流木の捕捉性能を確認

するため，水理模型実験を実施した。捕捉性能の確認は不透過型堰堤構造と防護柵におけるネット構造（リング状ネット）との捕捉率を比較することとした。

4.1 水理模型実験概要

図-4.1に使用した模型（模型縮尺 1/30）を，図-4.2に使用した土砂の粒径加積曲線を示す。流下対象は土砂+流木とし，模型上流の堆積土砂上に流木を敷設した状態で土砂とともに流下させることとした。また，流下土砂および流木の条件として最大粒径 $D_{95}=10\text{mm}$ （原型値：300mm），平均流木径 $\phi 0.8\text{cm}$ （原型値： $\phi 24\text{cm}$ ）を使用した。なお，最大粒径 D_{95} は防護柵に使用するリング状ネットの最小断面である 10mm（原型値：300mm）と同値となるよう設定した。

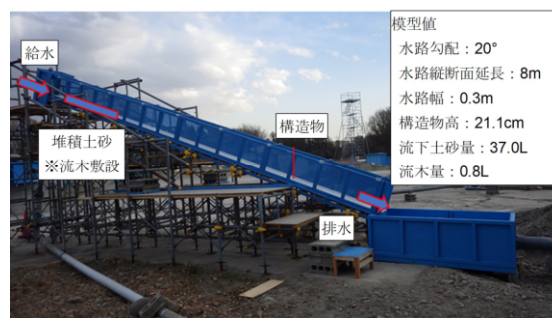


図-4.1 使用模型

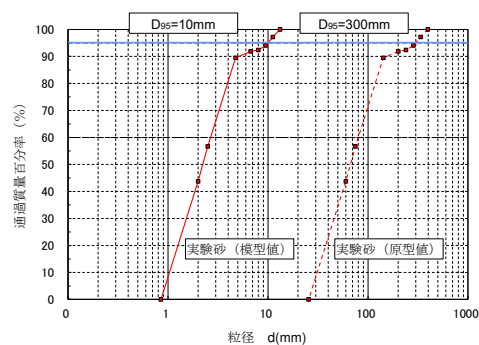


図-4.2 粒径加積曲線

4.2 水理模型実験実施結果

図-4.3に実験実施状況を，表-4.1に実験実施結果を示す。リング状ネットは土砂および流木双方に対し，不透過型堰堤構造と同等以上の捕捉率であることが確認された。



図-4.3 実験実施状況

表－4.1 実験実施結果（施設別土砂＋流木捕捉率）

① 流下土砂の捕捉率			
施設条件	流下土砂量 [*] (m³)	捕捉土砂量 (m³)	土砂捕捉率 (%)
不透過型堰堤	1,000	911	91.1
リング状ネット		946	94.6
② 流木の捕捉率			
施設条件	流木量 [*] (m³)	捕捉流木 (m³)	流木捕捉率 (%)
不透過型堰堤	20.8	20.4	98.0
リング状ネット		20.8	100

※流下土砂量および流木量は原型値として示す。

5. 実物大実験

防護柵構造における柵の安全性および耐衝撃性能を確認するため、実物大実験を実施した。

5.1 実物大実験概要

図－5.1 に実験施設の状況および実験柵条件を示す。防護柵への土砂作用条件として、「土石流・流木対策設計技術指針 解説」における設計外力を参考にネット天端から想定水深 1.2m の高さが残るよう堆砂させた状態を初期状態とした。

実験施設	
斜面高	H=20m
斜面傾斜角度	$\theta = 40^\circ$
斜面長	L=31.1m
実験柵条件	
柵延長	L=5m×3 スパン=15m
柵高	H=4m
支柱傾斜角度	$\theta = 0^\circ$ （鉛直）
投下土砂量	V=50m ³

図－5.1 実験施設および実験柵条件

5.2 測定項目および測定方法

表－5.1 に実験実施にあたっての測定項目および測定方法を示す。

表－5.1 測定項目および測定方法

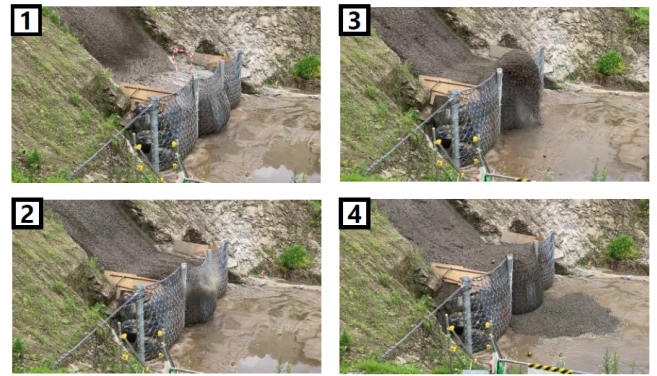
測定項目	測定方法
流下前土砂の比重	室内土質試験
流下土砂の比重	土圧計，捕捉土砂量計測
流下土砂の速度	高速度カメラ

5.3 実物大実験実施結果

図－5.2 に防護柵に土石流が衝突した状況を時系列で示す。先に述べたとおり、実験柵に堆砂した状態で土石流を衝突させたところ、土砂量が防護柵の捕捉量を上回り越流状態が確認され、越流後満砂状態となったが、ネットやロープ、支柱等の破断は確認されなかった。

5.4 測定結果

表－5.2 に測定結果を示す。初期状態における堆積土



図－5.2 実物大実験における土石流衝突状況

砂上端と同レベルで設置した土圧計による計測結果から流下土砂の比重は流下前土砂の比重よりも 0.43t/m³ 小さいことが確認された。これは斜面上方から投下した土砂が分散した状態で流下したことから、柵衝突時には土砂の空隙率が高くなったためと想定される。

また、「国土交通省告示第 332 号」における土石流により建築物に作用すると想定される力の大きさは、 $F_d = \rho_d U^2$ として示されている。ここで、 F_d ：流体力、 ρ_d ：土石流の密度、 U ：土石流の流速となることから、流下土砂の比重および高速度カメラにより測定した防護柵衝突直前の流下速度より、本柵に作用した流体力は $F_d = 1.78 \times 10.5^2 = 196.2 \text{ kN/m}^2$ と想定される。

表－5.2 測定結果

測定項目	測定結果
流下前土砂の比重	2.21(t/m ³)
流下土砂の比重	1.78(t/m ³)
流下土砂の速度	10.5(m/s)

6. まとめ

今回、無流水溪流に対応するために開発した防護柵において、水理模型実験によるネットの捕捉性能および実物大実験における柵の安全性および耐衝撃性能を確認することが出来た。

「無流水溪流対策に係る技術的留意事項（試行案）」によると、杭基礎構造においては透過部断面からの落水による支柱の根入れ深さの低下などが懸念される、と記されていることから、今後は適切な浸食対策を検討したい。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部(2022)；無流水溪流対策に係る技術的留意事項（試行案），P.8-12
- 2) 国土技術政策総合研究所(2016)；土石流・流木対策設計技術指針 解説，P.23
- 3) 国土交通省(2001)；国土交通省告示第 332 号，第 2 章 3 節
- 4) 東亜グラウト工業株式会社(2023)；サステイナブルバリア 設計・施工マニュアル