

ネットを用いた砂防構造物に求められる機能・性能に関する一考察

(一財) 砂防・地すべり技術センター ○石垣拓也 後藤智和 井上隆太

1. はじめに

近年、砂防堰堤工事の仮設安全対策や応急対策（以下、「応急対策工」という）として、工事地点より上流の溪流内に、砂防堰堤の分類¹⁾に示される強靱ワイヤーネット工等のネットを用いた砂防構造物（以下、「ネット系砂防構造物」という）が使用される事例が増えている。国内では、このようなネット系砂防構造物は、一般に仮設構造物として使用されており、溪流内に設置した際の常時流水や流砂、土石流に対する機能・性能については知見が少ない。一方、海外では砂防堰堤として設置されている例があることや、国内においても小規模な土石流対策への発展が検討されていることなどから、溪流に設置したネット系砂防構造物の機能・性能の検証や分析、及び適用範囲の明確化が必要であると考えられる。

そこで、本研究では基礎検討として、土砂捕捉事例等を参考にネット系砂防構造物の機能・性能に関する分析を行った。

2. 機能・性能の定義

基準類²⁾を参考に整理すると、砂防構造物における機能とは「土砂の生産・流送・氾濫、及び堆積に伴う負の影響を低減すること」であり、性能とは「機能を発揮するために必要となる、構造上保持すべき強度、安定性のこと」である。

ここで、土石流対策として用いられる砂防構造物である砂防堰堤（不透過型砂防堰堤、透過型砂防堰堤）を例に挙げ、具体的な機能・性能を整理した（表1）。

ネット系砂防構造物は、鋼製部材によって構成されており、平常時は流水や流砂等が通過する透過構造であることから、土石流対策としての機能・性能については、透過型（鋼製透過型）砂防堰堤と比較・検討することとした。

3. ネット系砂防構造物の構造について

応急対策工として使用されるネット系砂防構造物は、道路や鉄道、民家裏などにおける落石や斜面の崩壊土砂を受け止める落石・崩壊土砂防護柵を準用したものが多く、これらの防護柵は、捕捉面構造や基礎構造、対応可能な吸収エネルギーなどの違いによって様々な種類がある。

そこで、応急対策工として使用される工法その他、落石・崩壊土砂対策工（吸収エネルギー250kJ以上の高エネルギー吸収柵⁴⁾）も対象にweb調査等を行い、検索で該当した20工法程度にて捕捉面構造や基礎構造の分類、及び吸収エネルギーとの関係性を整理した。その結果、図1に示すように捕捉面や基礎の構造を分類すると、捕捉面構造4種類、基礎構造3種類にそれぞれ分けられた。捕捉面構造については、礫衝突を想定した場合、①捕捉した礫等の衝撃がワイヤーロープを伝って端部部材（支柱部材等）に伝わりやすい構造、②捕捉した礫等の衝撃を捕捉面全体で分散する構造、の2種類に分けられた。

表1 ネット系砂防堰堤に求められる機能・性能^{2), 3)}

種類	機能	性能
不透過型砂防堰堤	・土石流・流木の発生抑制や捕捉	・転倒、滑動、地盤支持力の安定性の条件を保持する（外的安定性）
透過型砂防堰堤	【土石流時】 ・土石流・流木の捕捉 【平常時】 ・土砂調節（土石流時まで土砂を溜めず捕捉容量を確保） ・環境保全（上下流で落差をなくし生態系に配慮）	・部材あるいは構造全体が限界を越えて変形もしくは破壊しない（内的安全性）

基礎構造	CON基礎	—	落石・崩土対策工 250～3000kJ (該当数5)	—	—
	杭基礎	小規模溪流対策工 150kJ(該当数1)	応急対策工 不明(該当数1) 落石・崩土対策工 250～3000kJ (該当数8)	—	応急対策工 51.2kJ ※1 (該当数1)
	アンカー基礎	—	落石・崩土対策工 250～3000kJ (該当数4)	落石・崩土対策工 250～500kJ (該当数2)	応急対策工 不明(該当数3) 落石・崩土対策 250～5000kJ (該当数4)
	ワイヤーロープ・ネット	①捕捉した礫等の衝撃がワイヤーロープから端部部材に伝わりやすい	②捕捉した礫等の衝撃を捕捉面内で分散する	ネット	リングネット
上部工（捕捉面）構造					

※1：支柱部材に対する重錘落下試験結果の値（参考値）。
他は捕捉面への重錘落下試験結果が基となっている。

※2：○内は調査した範囲で該当した工法数。

図1 ネット系の工法の構造的特徴による分類

また、これらの分類にそれぞれ該当した工法数と、該当した工法の対応できる吸収エネルギーを図1に示した。

ワイヤーロープのみを用いた捕捉面形状の工法については、無流水溪流（小規模溪流）の土石流対策向けの工法のみであった。対照的に、ワイヤーロープとネット（ひし形金網等）を組み合わせた捕捉面構造の工法は、該当工法数が最も多かった。また、応急対策工として使用されるネット工は、吸収エネルギーは50～150kJ程度であり、高エネルギー吸収柵の落石・崩壊土砂対策工に比べて小さい傾向であった。なお、捕捉面構造がネットのみの工法は、調査した範囲では基礎構造の種類がアンカー基礎のみであり、吸収エネルギーは250～500kJと、落石・崩壊土砂対策工の中では小さい傾向であった。ただし、吸収エネルギーは捕捉面構造や基礎構造によって決まっているわけではなく、捕捉面を構成する部材強度や基礎構造との組合せによって変わるようである。

3. 土砂捕捉事例の分析

次に、応急対策工として使用されたネット系砂防構造物の土砂捕捉事例を収集し、機能・性能について分析した。

土砂捕捉事例に関する情報はまだ少なく、ここでは、図1の右下赤枠（アンカー基礎+リングネット捕捉面構造）に該当する応急対策工の土砂捕捉事例を参考に検討した。対象とした事例は、流域面積が約 0.5km²、設置箇所の平均溪床勾配 1/4、溪流幅約 10m（設計時の土石流ピーク流量 26.3m³/s、土石流水深 0.7m、流速 3.7m/s、土石流流体力 16.0kN/m）の溪流に設置された応急対策工である。捕捉面の四辺はワイヤーロープと連結されており、ワイヤーロープ端部はアンカーと連結されている。柵高は H=3.0m（支柱を含めた全高）、延長は 15.0m（5.0m×3 スパン）、捕捉面面積は 45.0m² となっている。また、捕捉した土砂量は推定で 370m³ 程度であり、捕捉面を観察すると直径 0.1～1.0m 程度の礫で構成されていた。なお、流出回数については不明であり、複数回の流出によって土砂が堆積した可能性もある。

ここで、土砂捕捉状況のイメージ（概略図）を図2に示す。捕捉後の側面図（図2-②）に示したように、捕捉後は支柱が下流側へ傾倒し、捕捉面（ネット）も大きく変形して、最大で 2.0m 程度下流側にはらみ出している。捕捉面部材に破損は見られなかったが、捕捉後の正面図（図2-④）に示したように、捕捉後は柵高が最大 1.0m 程度低くなっており、越流によって土砂が一部下流へ流出している。また、洗堀によってアンカー頭部（地表面付近）が最大 1.0m 程度露出している箇所があることも確認された。

以上を踏まえて、土石流対策である鋼製透過型砂防堰堤と比較した場合におけるネット系砂防構造物の機能・性能を整理すると、以下の通りである。

- 1) ネット系砂防構造物は、捕捉面の変形によって衝撃エネルギーを吸収する性能を持ち、捕捉面のネットによって土砂や礫を捕捉する機能を有する。
- 2) ただし、土砂を捕捉した際に捕捉面の高さが低くなるため、後続流が越流しやすくなる恐れがあり、計画捕捉量を検討する際には注意が必要である。（機能に関わる懸念事項）
- 3) 常時流水等によってアンカーや基礎部が洗堀され、耐衝撃性や堆砂圧等の静荷重に対する耐力が低下する恐れがある。（性能に関わる懸念事項）
- 4) 鋼製透過型砂防堰堤は、捕捉面を構成する鋼管のへこみ変形とたわみによって礫等の衝突を吸収する機構で、一部の部材の変形や破損により耐荷性能が低下しても礫捕捉性能を維持できる⁹⁾。それに対し、ネット系砂防構造物は、土砂捕捉によって捕捉面が変形すると、捕捉面全体のエネルギー吸収性能が低下するため、捕捉面の堆砂していない箇所（捕捉面上部など）に後続流の衝突が考えられる場合は、別途検討が必要と考えられる。（機能・性能に関わる懸念事項）
- 5) 捕捉面であるリングネットの目合いが小さい（直径 0.2m）ため、平常時に流木や細粒土砂で目詰まりし、土石流を捕捉する前に土砂が堆積する事によって捕捉面が変形する可能性がある。（機能・性能に関わる懸念事項）

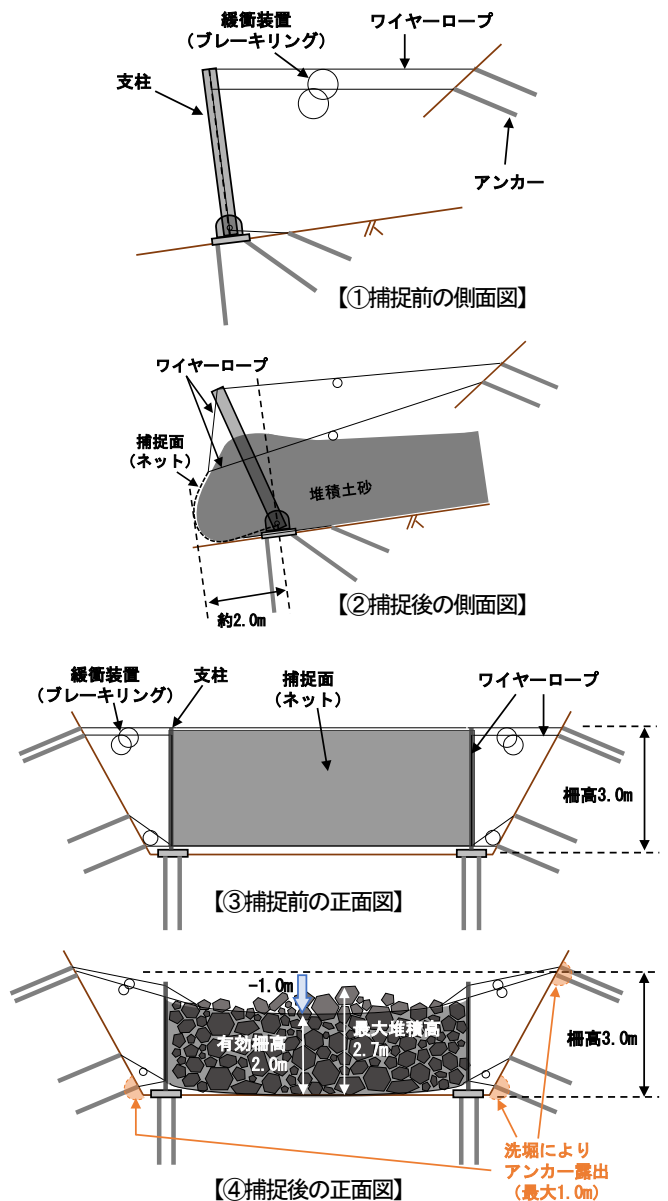


図2 土砂捕捉状況イメージ図

4. まとめ

ネット系砂防構造物は、捕捉面の変形によって衝撃を吸収する性能と土砂を捕捉する機能を有するが、土石流対策として鋼製透過型砂防堰堤と比較した場合、土砂捕捉前後で捕捉面高さが変わる点や、衝突に対する考え方、洗堀などへの対策などについて詳細な検討が必要であると考えられる。謝辞：事例調査等にあたり、東亜グラウト工業株式会社に情報提供をしていただいた。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 国土交通省 HP：「砂防堰堤の分類」
https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/sabo01_tk_000026.html
- 2) 国土交通省 河川砂防技術基準 計画編
- 3) 石川信隆ら：鋼製透過型砂防堰堤の性能設計に関する一提案
 (令和5年度砂防学会研究発表会概要集, R5-15, p.B-204～205)
- 4) (公社)日本道路協会：落石対策便覧(平成12年6月版, 平成29年12月版)
- 5) (一財)砂防・地すべり技術センター：新編・鋼製砂防構造物設計便覧
 (令和3年版)