

高エネルギー吸収型防護柵による土石流捕捉事例の検証

(株)高速道路総合技術研究所	正会員	○永田 政司
(株)高速道路総合技術研究所	正会員	田山 聡
応用地質(株)	非会員	安藤 伸
応用地質(株)	非会員	大角 昌弘

1. はじめに

近年、土砂捕捉実績があることから高エネルギー吸収型の防護柵やネットタイプの工法が土石流捕捉工として用いられる事例が増えている。しかしながら、これらの工法は、対象とする設計外力が斜面崩壊時の衝撃力¹⁾のものや土石流流体力²⁾のものがあり、工法ごとに相違があることや、土砂流の捕捉に関する定量的な評価が難しいなど、土石流対策施設として設計するうえで課題がある。

本稿では、高エネルギー吸収型防護柵（以下、「高エネルギー柵」という）による土石流捕捉事例の検証を行い、土石流対策への適用について考察する。

2. 土石流発生状況

検討対象とする土石流発生事例は、平成23年5月28日から30日の温帯低気圧（台風2号）が誘因となり舞鶴若狭自動車道（福井県小浜市）で発生したものである。降雨量は、小浜西IC観測局において連続雨量341.5mm、時間最大雨量43.5mm/hを記録した。土石流崩壊後の溪流踏査図を図1に示す。図は、NEXCO西日本によって災害後の調査により作成されたものに加筆したものである。溪流の諸元は、流域面積0.012km²、溪流長150m、平均溪床勾配22°、最大溪床勾配40°、発生源の溪床勾配36°の1次谷であり、溪流の出口部から上流30m付近のところで流路が屈曲している。当該溪流には丹波帯の頁岩が分布し、崩壊前の現地調査では、左岸側に地すべり地形が確認されており、頭部に引っ張り亀裂が確認されるなど地すべりブロックは不安定な状況であったことから、道路防災上対策が必要と判断され、側道の山側に高エネルギー柵が施工された。土石流の原因は、地すべりが溪流を塞ぎ、後続降雨により崩落した堆積土砂の末端が二次崩壊したことによるものである。

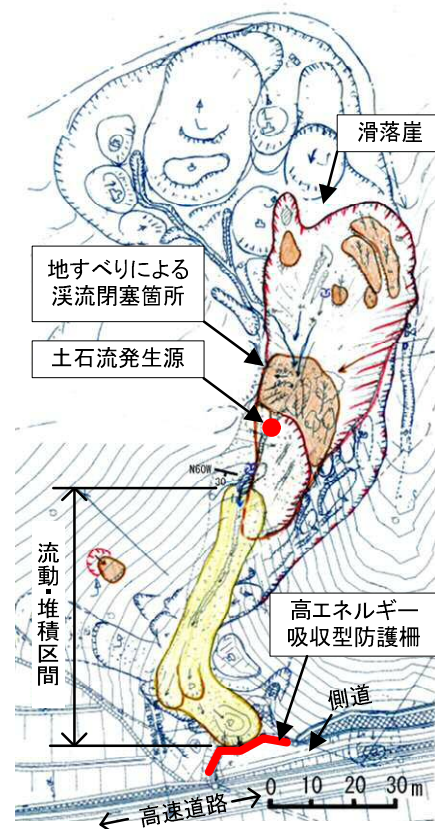


図1 土石流発生後の溪流踏査図
(NEXCO西日本作成資料へ加筆)

3. 土石流捕捉事例の検証

3-1. 土石流捕捉状況

捕捉状況を写真1に示す。写真より、流出土砂は、高エネルギー柵の支柱を曲げつつも土砂の全量が捕捉されており、土砂流出を寸前のところで防止できたことから、道路防災上の「限界状態」だったといえる。高エネルギー柵の構造は、鋼管支柱(STK400)とワイヤネット(FC6×24φ18mm等)により構成され、有効柵高2m(支柱高2.8m)、設置幅22m(支柱間隔5~6m)である。また、土石流堆積高さは約1.8m、流出土砂量は約3,900m³である。



写真1 土石流捕捉状況

キーワード 土石流, 豪雨, 地盤災害, 高エネルギー吸収型防護柵

連絡先 〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1 (株)高速道路総合技術研究所 TEL 042-791-1624

3-2. 土石流流体力による検証

捕捉事例の検証方法は、曲がった支柱へ作用したと想定される土石流流体力を算出し、支柱の極限耐力と比較した。土石流流体力の算出は、砂防基本計画策定指針²⁾によるものとし、図2に示す土石流発生後の現地測量データから作成した溪流の断面形状や、実際の流出土砂量を考慮して計算した。また、支柱へ作用する土石流流体力は、ネット構造によって衝撃エネルギーが吸収されることを考慮し、衝撃力の緩和係数³⁾により値を低減した。検証に用いた土石流流体力の計算条件とその結果を表1に示す。結果より、高エネルギー柵の支柱へ作用する断面力は181.4kN・mであり、支柱の極限耐力の94.2kN・mよりも約2倍程度大きいことが分かる。これより、少なくとも高エネルギー柵の支柱が曲げられるほどの力であったといえるが、実際の土石流は、溪流の屈曲部において減勢することや、支柱は完全に折れることなく停止したことから、高エネルギー柵へ作用した断面力はもっと小さいことが推測される。したがって、高エネルギー柵の適用限界を知るためには、溪流の屈曲部の影響等を考慮し、土石流捕捉時に支柱へ作用した外力についてさらに検証を進める必要がある。

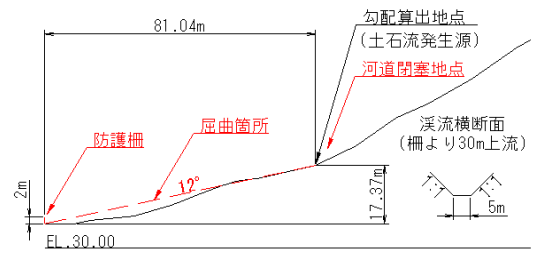


図2 溪流の断面形状

表1 土石流流体力の計算条件と結果

項目	数値	根拠
θ 渓床勾配(°)	12	実測値
n 粗度係数(土石流フロント部)	0.1	一般値 ²⁾
ϕ 渓床堆積物の内部摩擦角(°)	35	一般値 ²⁾
C* 渓床堆積物の容積土砂濃度	0.6	一般値 ²⁾
Cd 土石流容積土砂濃度	0.37	計算値 ²⁾
ρ_n 水の密度(kg/m ³)	1,200	一般値 ²⁾
σ 礫の密度(kg/m ³)	2,600	一般値 ²⁾
Dd 土石流水深(m)	1.35	計算値 ²⁾
γ_d 土石流の単位体積重量(kN/m ³)	16.9	計算値 ²⁾
Vdqp 流出土砂量(m ³)	3900	実測値
Qsp 土石流ピーク流量(m ³ /s)	62.6	計算値 ²⁾
U 土石流の流速(m/s)	5.6	計算値 ²⁾
支柱間隔(m)	6	
緩和係数 [※]	0.5	
F 土石流の流体力(kN/m)	71.7	計算値 ²⁾
q 単位面積あたりの土石流流体力(kN/m ²)	53.3	F/Da
支柱に作用する土石流流体力(kN/m)	159.8	q×6×0.5
流体力による支柱へ作用する断面力(kN・m)	181.4	フレーム計算

※ネット構造のエネルギー吸収により支柱に作用する力が低減されることを表す係数

3-3. 衝撃力を設計外力とする高エネルギー柵の検証

高エネルギー柵は設計外力として衝撃力を用いた工法が多い。そこで、それらを土石流対策として適用するための条件を知るため、上述の事例における衝撃力を算出し、土石流流体力と比較した。衝撃力の算出は、大臣告示式¹⁾によるものとし、移動時の土石等の内部摩擦角 30°(砂質土)や容積濃度 0.5, 流体抵抗係数 0.025 の値を算出式の一般値とした他は、基本的に土石流流体力と同じく現場の実測値をもとに計算した。また、結果は渓床勾配の変化に着目して整理した。計算結果を図3に示す。図より、捕捉事例の平均渓床勾配 12° では、算出式の特徴から衝撃力は算出されず、渓床勾配が大きくなると衝撃力は増大し、約 21° より小さい領域では土石流流体力の方が大きい、約 21° より大きい領域では衝撃力の方が大きくなる。元々衝撃力と土石流流体力は、斜面崩壊による土砂流出なのか、渓床堆積物等の土砂流動によるものなのかといった土砂流出の形態により区別する必要があることから、高エネルギー柵を土石流対策へ適用するためには、渓床勾配と土砂流出の形態に着目して設計外力の考え方を整理する必要があると考える。

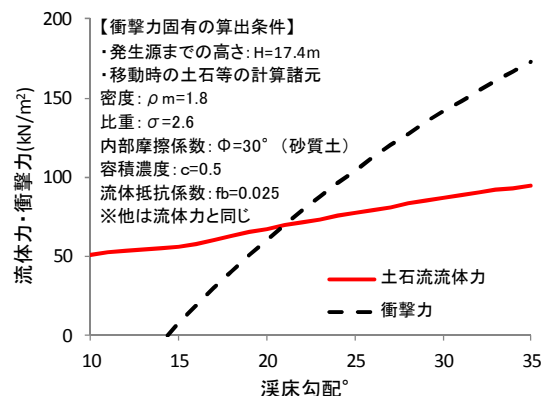


図3 土石流流体力および衝撃力の関係

4. まとめ

高エネルギー吸収型防護柵による土石流捕捉事例を検証した結果、土石流流体力が作用するとした場合に防護柵の支柱が曲がるほどの力が作用した。また、設計外力は、渓床勾配や土砂流出形態により「衝撃力」と「土石流流体力」とを区別して設定する必要があることを示した。今後は、土石流捕捉事例の検証を進め、高エネルギー吸収型防護柵の土石流対策への適用方法を検討していく。

<参考文献>

- 1)国土交通省：国土交通省告示第332号 土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律施行令第2条第2号の規定に基づき国土交通大臣が定める方法を定める告示，2001
- 2)国土交通省国土技術政策総合研究所：国総研資料第364号 砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)解説，2007
- 3)西田ら：ワイヤネットを支持面に用いた防護柵の実規模実験と解析，第10回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集，2010