

柔構造斜面崩壊対策待受け工の土石等捕捉事例を踏まえた性能検証

東亜グラウト工業株式会社 梅沢広幸, 西原正剛, 〇澤田梨沙, 奥田峻

1. はじめに

柔構造斜面崩壊対策待受け工(以下、インパクトバリアという)は、支柱、ワイヤロープ、ネット、エネルギー吸収装置(以下、ブレーキリングという)、地中反力体等から構成される急傾斜地崩壊対策工である^{1),2)}(図1)。現在、国内において118箇所³⁾の施工実績があり、そのうち3箇所³⁾で崩壊土石の捕捉実績がある。

設計は、柵の最大変形時に各部材に作用する力のつり合いをモデルにした許容応力度法(以下、現行設計法という)で行い(図2)、実物大実験により各部材の安全率、力のつり合い等の妥当性を検証している³⁾。

本稿では、土石捕捉事例に基づき、①設計モデル、②部材選定の2点に着目し、設計の妥当性について検証したので、報告する。

なお、①設計モデルの妥当性は、斜面の崩壊状況、地形等の現地条件からインパクトバリアに作用した力および土石捕捉量を設計条件と比較することで、②部材選定の妥当性は、部材の変形状況に基づく部材への作用力について推定し、現地条件を踏まえた現行設計法から求められた計算値と比較することで検証した。

2. 土石捕捉事例の概要

検証対象のインパクトバリアは、平成22年度に宮崎県の道路災害復旧工事において設置された。当該待受け工は、柵延長20m、柵高5mの構造で、平成24年7月の豪雨により上方斜面で発生した斜面崩壊に伴う土石を捕捉した。

図3に施工完了状況を、図4、図5、図6に土石捕捉状況を、表1に設計条件および追跡調査により確認された現地斜面崩壊条件を示す。また、図7に設計時および土石捕捉時の柵断面模式図を示す。なお、斜面崩壊前後の地盤線から推定した最大崩壊深は約1.5mであった(図8)。

3. 追跡調査結果と現行設計法計算値との比較

3.1 インパクトバリアに作用した力の比較

表2に設計条件および土石捕捉時におけるインパクトバリアに作用した衝撃力と堆積土圧を示す。土石捕捉時のインパクトバリアに作用した力は、斜面崩壊状況(図6、図7、図8)を考慮し、国土交通省告示第332号(平成13年3月28日)に示される算出式⁴⁾に基づき、衝撃力および堆積土圧を算出した。算出の結果、衝撃力は設計時よりも10%程度小さな値を示したが、現地の土石堆積高から求めた堆積土圧は設計時に比べ22%程度大きな値を示した。

なお、土石捕捉時の衝撃力が設計条件に比べ小さな値を示した要因は、設計条件より実現の最大崩壊深(D)が小さい値であったためである。

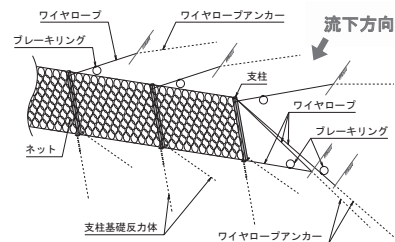


図1 インパクトバリア構造模式図

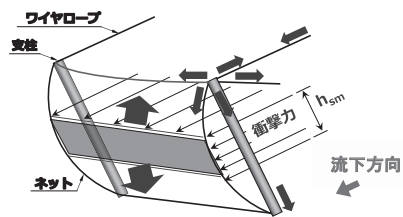


図2 設計モデル(衝撃力作用時)

表1 設計条件および
現地斜面崩壊条件

項目	記号	設計条件	実現象
斜面高	H	92.69m	106.9m
最大崩壊深	D	2.0m	1.5m
土石の移動の高さ	h_{sm}	1.0m	0.75m
斜面傾斜度	θ	35°	37°
有効柵高(堆積高)	h	4.5m	(4.5m)

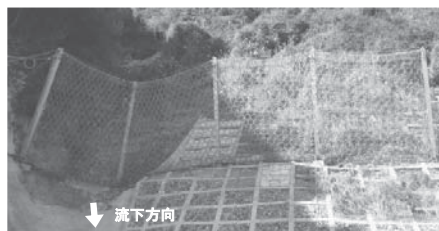


図3 施工完了状況



図4 土石捕捉状況

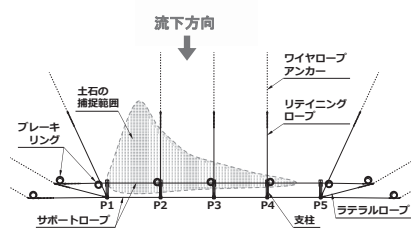


図5 土石捕捉状況(平面図)

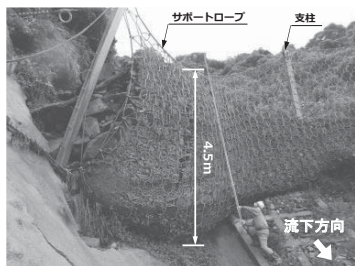


図6 土石堆積高

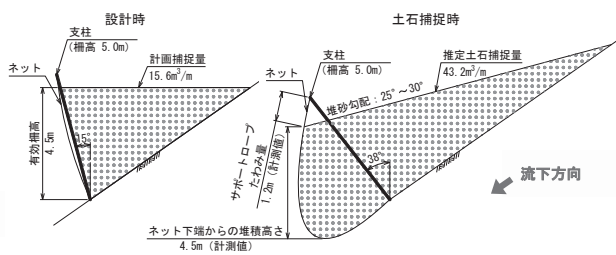


図7 設計時・土石捕捉時の柵断面模式図

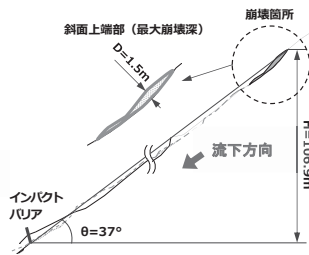


図8 現地斜面崩壊状況

3.2 土石捕捉容量の比較

インパクトバリアは、崩壊土石の衝撃に対して大きな変形を許容する構造物である。そのため、現行設計法における有効柵高の設定は、実物大実験に基づき、崩壊土石の捕捉による待受け工の変形後においても所定の捕捉容量を確保できるよう、ネットの変形および支柱の傾斜等を考慮している。検証対象のインパクトバリアにおける土石捕捉量は、斜面崩壊後の調査縦断面図および調査平面図を参考に算出し、 $V=360.9\text{m}^3$ との結果が得られた。設計時の計画捕捉量(312m^3)と比較すると 15%程度多く土石を捕捉した結果となった。

なお、単位幅あたりの最大捕捉量は、調査縦断面図から $43.2\text{m}^3/\text{m}$ との結果が得られ、設計条件 ($15.6\text{m}^3/\text{m}$) と比較すると 180%程度大きい値となった。設計条件に比べ著しく大きな値を示した要因は、設計条件では堆砂勾配を見込んでいないが、検証対象箇所においては堆砂勾配が $25^\circ \sim 30^\circ$ 程度あったこと、谷地形のため土石が集中して堆積したことが挙げられる。

3.3 部材への作用力の比較

部材への作用力は、支柱の山側控えロープであるリテイニングロープを対象とし、1) 調査結果に基づくブレイキリング作動量からの推定値と、2) 検証対象箇所の斜面条件等に基づき現行設計法により算出したロープ作用力とを比較した。

3.3.1 ブレイキリング作動量の計測結果に基づくワイヤロープ作用力の推定

調査結果によるワイヤロープ作用力は、ワイヤロープに接続されているブレイキリング作動量(図 9, 図 10)と静的材料引張試験における荷重・作動量関係曲線(図 11)から推定した。

検証対象箇所においては、主に左端の P1 支柱から P3 支柱の間に土石が堆積したことから(図 5), P2 支柱のリテイニングロープを比較対象とした。ブレイキリング作動量の計測値は 55cm であり、図 11 から 130kN 程度の荷重が作用したと考えられる。なお、P2 支柱には 2 本のリテイニングロープが接続されていたことから、リテイニングロープの作用力は、 $130\text{kN} \times 2 \text{本} = 260\text{kN}$ と推定した。

3.3.2 現行設計法に基づくワイヤロープ作用力の推定

検証対象箇所の現地斜面崩壊状況(図 6, 図 7, 図 8)を考慮した、現行設計法に基づくリテイニングロープ作用力最大値は、280.8kN となった。現行設計法に基づくリテイニングロープ作用力は、ブレイキリング作動量から推定した作用力と比べ 8%程度、大きな値を示した(表 3)。

4. 部材変形状況

図 12, 図 13, 図 14 にネットおよび支柱頭部、支柱基部の変形状況を示す。各部材において、土石の捕捉性能に影響する変形は確認されなかった。

5. まとめ

崩壊後の斜面状況、土石の捕捉状況から捕捉量およびワイヤロープ作用力を検証した結果、検証対象のインパクトバリアは、急傾斜地崩壊対策待受け工として必要と考えられる 3 つの条件(①土石の衝撃力は国土交通省告示第 332 号に示される条件を満足する構造であること。②所定の堆積土圧に耐えられる構造であること。③所定の土石の捕捉容量を確保できる構造であること。)を満足する構造で、かつ現行設計法は、設計モデルおよび部材選定において 1.1 倍程度以上の余裕がある安全側の設計手法であったことを確認した。

今後の課題としては、崩壊土石の衝撃に対する作用力を精度よく評価するため、ブレイキリングの動的材料引張試験を実施し、その荷重・作動量関係を把握すること、および追跡調査の実施数を増やし、今回行った検証方法により設計手法の妥当性に対する確度を高める必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 千葉ら(2011):柔構造バリアネットの斜面崩壊に対する効果について、砂防学会誌, Vol.64, No.1, p.25-29
- 2) 武蔵ら(2014):柔構造待受け工の衝撃力吸収過程に関する個別要素法シミュレーション、平成 26 年度砂防学会研究発表会概要集, p.B-248-B-249
- 3) 財団法人 砂防・地すべり技術センター(2011):建設技術審査証明(砂防技術)報告書「インパクトバリア工法」
- 4) 国土交通省告示第 332 号(2001):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 号第 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(平成 13 年 3 月 28 日)

表 2 設計条件および土石捕捉時の推定値

項目	記号	設計条件	土石捕捉時の推定値	設計条件に対する比率
		①	②	③=②/①
崩壊土石の衝撃力	F_{sm}	$135.9\text{kN}/\text{m}^2$	$120.7\text{kN}/\text{m}^2$	0.89
崩壊土石の堆積土圧	F_{sa}	$19.8\text{kN}/\text{m}^2$	$24.1\text{kN}/\text{m}^2$	1.22
土石捕捉量	V	312m^3	360.9m^3	1.15



図 9 ブレイキリング作動量計測状況

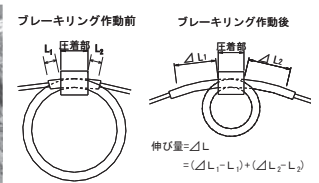


図 10 ブレイキリング作動量概念図

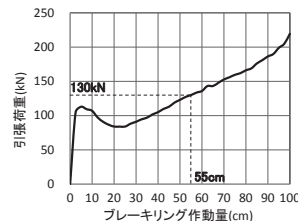


図 11 ブレイキリング荷重・作動量関係



図 12 リング状ネット変形状況



図 13 支柱頭部変形状況



図 14 支柱基部変形状況

表 3 リテイニングロープ作用力推定値および現行設計法の裕度

ブレイキリング作動量に基づく推定値	現行設計法に基づく作用力	現行設計法の裕度
④	⑤	⑥=⑤/④
260.0kN	280.8kN	1.08