

柔構造斜面崩壊対策待受け工の開発について

有間 美加¹・栗澤 尚也

¹東亜グラウト工業株式会社 技術開発部 (〒160-0004東京都新宿区四谷2丁目10-3)

従来から待受け工として多用されてきたコンクリート擁壁は、崩壊土石等の衝撃力と堆積土圧に対する大きな抵抗力と所定の捕捉容量を得るため、構造が大型化してきています。そのため、保全対象物と斜面が近接している場合や、景観・土地利用上の規制に対応できない等の問題が発生してきました。このようなケースに対応するため、狭小な範囲に適用でき、かつ大きな衝撃に耐えることができる待受け工として、柔構造斜面崩壊対策待受け工を開発しました。実物大実験と数値シミュレーションの結果、最大衝撃力 150 kN/m^2 、落石衝突エネルギー $1,100 \text{ kJ}$ まで対応可能であることが確認され、国内の多くの斜面で適用が可能と考えます。

キーワード 斜面防災，新技術，実物大実験，斜面崩壊対策

1. はじめに

従来は、土砂災害の防止を目的とする待受け対策は、コンクリート製の剛な構造物によるものが主流でした。土砂災害防止法の施行に伴い、待受け工の設計条件が明確化されたことで、衝撃力と崩壊土砂量を考慮した設計手法に対し、従来から多用されてきた待受け擁壁では大きな抵抗力と所定の捕捉容量を得るため、構造が大型化する傾向があります。

特に保全対象物と斜面が近接している場合では、待受け擁壁では規模が著しく大きくなることで、斜面に切土が必要となり、新たに斜面安定化対策工が発生したり、適用が困難になるケースがあります。さらにコンクリート擁壁では地山改変量が大きくなるため、景観上の規制や土地利用上の制約に対応できない等の問題が発生してきました。



写真-1 柔構造斜面崩壊対策待受け工設置事例

このようなケースに対応するため、狭小な範囲に適用でき、かつ土砂災害防止法に対応した大きな衝撃に耐えることができる待受け工として、柔構造斜面崩壊対策待受け工を開発しました。

2. 柔構造斜面崩壊対策待受け工の概要

柔構造斜面崩壊対策待受け工は、従来、落石対策工として適用されてきた高エネルギー吸収型落石防護柵を応用し、崩壊土砂捕捉用に改良した待受け工です。

柔構造斜面崩壊対策待受け工は、衝撃力に対し部材がバランスよく変形することで高い運動エネルギーを吸収し、安全に崩壊土砂を捕捉することができます。

構造はネットに作用した衝撃力等が、特殊な素線をリング状にして編んだ柔構造ネットと、ワイヤーロープに

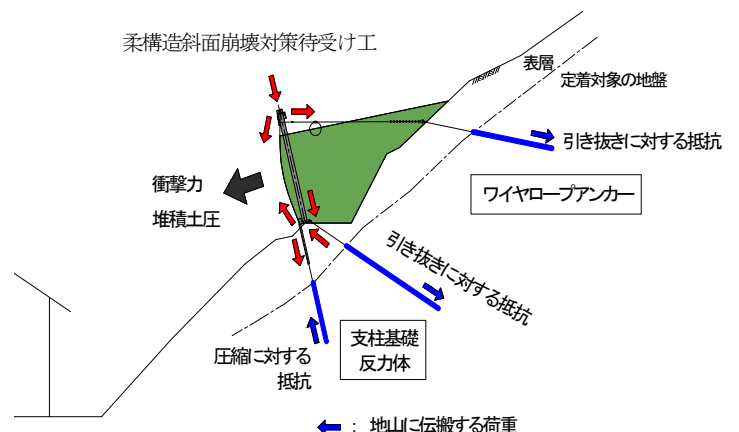


図-1 柔構造斜面崩壊対策待受け工概念図

接続された衝撃緩衝部材の変形で軽減され、最終的にはアンカー材の引き抜き・圧縮抵抗で対抗させるものです。

3. 開発手順

従来、高エネルギー対応の落石防護柵は、落石の運動エネルギーを対象として開発・設計がなされてきた反面、崩壊土石等に対しては衝撃力・堆積土圧といった力で設計することが必要となりました。

そこで、部材の変形バランス・部材に作用する力のつり合いを考慮した設計方法を考案し、実物大実験を行い、安全性を検証しました。このような方法を考えた理由は、待ち受け工設計条件として、衝撃力・堆積土圧が与えられることから、これらに対応すべく、明解な設計方法を作成する必要があったことです。

また、崩壊土砂に加えて、落石捕捉への需要も高くなってきたことから、重錘衝突実験を行い、落石に対する性能の確認も行いました。

(1) 開発目標

設計の汎用性に加え、待ち受け工としての要求性能を満たすため、以下の目標を設定しました。

①崩壊土石等に対する荷重抵抗性能

崩壊土石等の衝撃力および堆積土圧に対して、構造設計（許容応力度法）を行い、標準部材による部材構成が可能であり、現地実験等を通じて構造の安全性が確認できること。

②崩壊土石等の捕捉容量確保に対する性能

崩壊土石等の捕捉による柵の変形後も所定の捕捉容量を確保でき、保全対象物の安全を確保できること。

(2) 構造設計計算による部材構成

崩壊土石等に対する荷重抵抗性能の構造設計は、下記の方法で設定しました。

①崩壊土石等の衝撃力および堆積土圧は、国土交通省告示 F_{sm} 式および F_{sa} 式を使用し、許容応力度法により部材設計を行う。

②部材の安全率は、実験結果や類似の柔構造物工法の崩壊土石等捕捉結果を踏まえて安全側に設定する。

また、崩壊土石等の捕捉容量確保に対する性能は、下記のように設定しました。

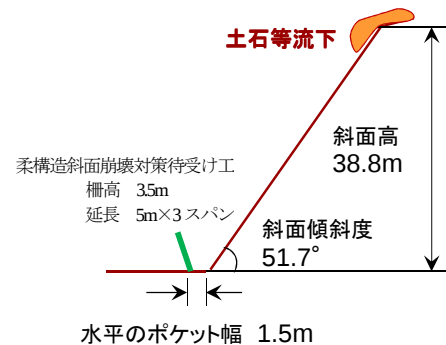
・崩壊土石等の捕捉による柵の変形後も所定の容量を確保できるよう、柵高を決定する。

設計計算結果から、目標とする荷重作用時の許容応力度法による構造計算により、標準部材による部材構成が可能であることがわかりました。また、部材に作用する力を求めるため必要な変形量などは実物大実験によることとしました。

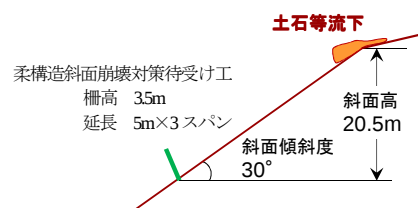
(3) 実物大実験

実物大実験は、斜面形状と柵設置位置の異なる2か所の実験施設で実施し、柵の安全性、変形性能、土石等捕捉性能の検証を行いました。

実物大実験 (A)
スイス セントレオナルド



実物大実験 (B)
スイス フェルタイム



図ー2 実物大実験の施設概要

斜面上部に設置した流出装置から土砂を流下させ、斜

面下端部に設置した柔構造柵で捕捉させる構造となっています。

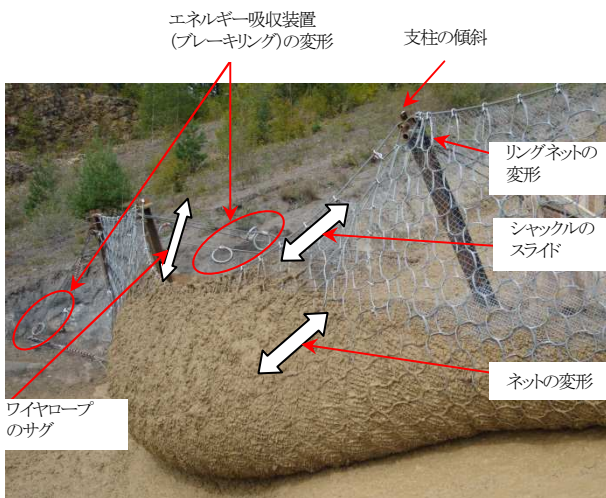
実物大実験（A）の流下装置には 50 m³ の実験材料を満載しました。使用した実験材料は礫、砂、シルトと水を混ぜ合わせ、最大粒子径は 10 cm としました。数回に分けて土砂を流下させ、満砂状態にして柵の安定を確認しました。観測事項を以下に示します。

- ①土砂衝突時に部材にかかる引張荷重を荷重計で計測。
- ②土石等の移動の速度（V）および移動の高さ（h_m）を実験ビデオより推定し、国土交通省告示式により衝撃力を推定した。部材に作用する荷重を上記計算より推定した。
- ③実験で観測された荷重と計算値を比較した。
- ④支柱設置部分及び支柱間において土砂の堆積状況と支柱の傾きをスケールで計測し、土砂の堆積状況を計測した。

これにより、以下のことが確認されました。

- ①最大衝撃力 150 kN/m² に対応できる。
- ②実験で計測された荷重と許容応力度法による構造計算の荷重は、後者の方が安全側となる。
- ③柵の最大変形量（斜面平衡方向）は支柱高となる。

現地実験では、リテイニングロープおよび支柱に流下土石等が直接作用したが、構造に支障を及ぼす程度の変形は確認されませんでした。



図ー 3 実物大実験における柵の変形

現地実験では 3.5 m の柵高で検証しましたが、目標とする最大柵高 5.5 m の場合において、許容応力度法により計算を行いました。さらに、同条件で有限要素法による数値シミュレーションを行い、部材の安全性を確認しました。

これらにより、最大衝撃力150kN/m²の崩壊土石に対応でき、この場合、保全対象物との隔離は支柱高以上必要であることがわかりました。

柔構造斜面崩壊対策受け工はネット構造であるため、細粒分土砂や水分が透過することがあります。実物大実

験（A）においては、支柱基礎と地盤部に間隙があったため土砂が流出したため、以降の仕様において、ワイヤメッシュを巻き込むことで流出しないよう改善しました。ネット面から透過する細粒分土砂は、保全対象物にほぼ影響のない範囲であると考えます。

(4) 落石に対する性能

落石に対する性能を確認するためには、部材の変形・力のバランスや伝搬が崩壊土石等とは異なるため、新たに実物大実験を行って捕捉性能を確認することとしました。

実験の仕様・方法については、従前の設計事例等から頻度の高い崩壊土石等の衝撃力・落石の運動エネルギーを対象として下記のように設定しました。

実験仕様柵	柵高4.0m（鉛直設置）
	延長5.0m×3スパン＝ 15.0m
	対象とする衝撃力 F=118 kN/m ²
実験方法	重錘衝突方向 水平
	重錘質量 3.2t
	重錘速度 22.9 m/s
	重錘の運動エネルギー 850kJ
	重錘を台車に載せて移動させ、台車を急止させる



写真ー 2 実験柵

当実験の結果、以下のことがわかりました。

- ①前記仕様の柵で、構造に支障を及ぼす程度の変形を生じないで、850 kJ の重錘を捕捉できた。
- ②柵（ネット）の最大変形量は 5.2 m で、土砂捕捉時のそれと比べると、約 13 倍となった。
- ③ワイヤロープに接続されたエネルギー吸収装置（ブレーキリング）は土砂捕捉時に比較して均等に作動した。
- ④運動エネルギーの約半分がブレーキリングの変形により吸収された。
- ⑤水平方向の重錘衝突では主にリングネットの弾性により、重錘がほぼ柵位置まで戻って停止し、ほとん

どのリングネットは弾性変形内であった。塑性変形の大きかった部分は、重錘衝突個所と支柱とリングネット接続部分であった。

実物大実験により、対象衝撃力 118 kN/m^2 仕様の防護柵に対し、運動エネルギー 850 kJ が対応可能であることがわかりました。そこで、対象衝撃力 150 kN/m^2 仕様の柵に対し、許容応力度法で計算を行いました。また、同条件でシミュレーションを行った結果、最大運動エネルギー $1,100 \text{ kJ}$ まで対応可能であることがわかりました。



①重錘衝突の約2m手前



②変形開始



③最大変形時



④落石停止時

図-4 実物大実験による重錘捕捉状況

4. 結論と今後の課題

(1) 実験結果からの結論

柔構造斜面崩壊対策待受け工は、実物大実験と数値シミュレーションの結果、最大衝撃力 150 kN/m^2 までの崩壊土石等の衝撃力に対応できる待ち受け工として、設計条件に応じて固有の仕様が決定され、変形後も所定の捕捉容量を確保するための柵高設定が可能であること、さらに、落石に対する捕捉性能も $1,100 \text{ kJ}$ まで対応可能であることが確認されました。

高エネルギー吸収型落石防護柵は、多くの実物大実験に基づいて、 $250 \sim 3,000 \text{ kJ}$ 間 6 段階の仕様が決定されています。

柔構造斜面対策待受け工は、崩壊土石等の捕捉容量の確保を目的として、土石捕捉後の柵高減少を少なくするため、部材に工夫を加えています。そのため、落石の捕捉性能に違いが生じることとなりました。したがって、落石と斜面表層崩壊土石等の両方の防護を前提に工法選定を行う場合、主対象とする対策によって使い分けることで、国内の多くの斜面で適用が可能と考えます。

(2) 今後の課題

崩壊土砂がネット面に作用した場合、衝撃による作用力がネット端部に集中する傾向があります。応力が集中する部分のリングネットを強化することで、さらに大きな衝撃に対応できるものと考えられます。

また、施工実績が増えてきたことで、実際に崩壊土石等を捕捉する事例も増えてきました。現場施工と衝撃力を受けた実態調査と、維持管理工事の追跡調査を行い、維持管理手法の検証と、さらなる改良の必要性があると考えます。



写真-3 土砂を捕捉した例

参考文献

- 1)建設技術審査証明（砂防技術）報告書
- 2) 土木施工：崩壊土砂・落石捕捉から津波による漂流物対策への応用柔構造物インパクトバリア工法の開発と今後の展開