

がけ崩れによる家屋および擁壁の被災実態調査に基づく崩土の作用荷重・エネルギーの推定

国土交通省国土技術政策総合研究所 ○曾我部匡敏, 内田太郎, 水野秀明, 寺田秀樹  
大日本コンサルタント株式会社 太原 晶

1. はじめに

急傾斜地崩壊防止工事において、待受け式擁壁が計画されることがある。設計する上で、崩壊土砂（以下、「崩土」という）の衝撃荷重の空間分布や擁壁支持地盤の変形など、様々な情報を考慮すると、考慮しない場合に比べて、より小さい断面の擁壁で崩土を待受けすることができる可能性がある。しかし、これまで、数多くのがけ崩れに関する災害調査<sup>1)</sup>が行われ、がけ崩れに関する多くの情報を示しているものの、崩土が擁壁に作用する力などの実態（例えば、衝撃荷重、エネルギー、荷重の空間分布、作用時間など）について十分に把握されているとはいえない。

そこで、待受け式擁壁のより合理的な設計手法の提案を念頭に置き、がけ崩れによる家屋及び擁壁の被災実態調査を行い、調査結果に基づいて、崩土が擁壁に作用したピーク荷重・エネルギー、エネルギーから求められる有効質量を推定した。また、推定されたピーク荷重から、その空間分布特性について検討した。本稿では平成15年7月に発生した静岡市丸子井尻地区の事例について報告する。

2. 推定方法

2.1 作用したピーク荷重の推定方法

擁壁や家屋に作用した崩土のピーク荷重 ( $F_{peak}$ ) は、落石防護柵の支柱、家屋の柱の降伏応力 ( $\sigma_u$ )・断面係数 ( $Z$ )、崩土の作用高さ ( $h$ ) からそれぞれ推定できる。つまり、

a: 崩土が作用し、支柱や柱が変形・破壊した場合

$$F_{peak} \geq 2 \cdot \sigma_u \cdot Z h^2 \dots (1)$$

b: 崩土が作用したが支柱、柱が変形・破壊しなかった場合

$$F_{peak} < 2 \cdot \sigma_u \cdot Z h^2 \dots (2)$$

であったことがわかる。なお、①支柱・柱に対する崩土の荷重は等分布であったとする。②支柱・柱に作用する崩土の高さは、崩土の堆積高さと同定し算出した。

2.2 作用したエネルギーの推定方法

落石防護柵の支柱に作用した崩土のエネルギー ( $E$ ) は、支柱付け根が変形するときのモーメントに変形角度を乗じたものと考えられる。なお、変位角度は縦断方向とした。

$$E = M \cdot \delta \theta \dots (3)$$

$M$ : 支柱に作用する曲げモーメント (N・m)

$\delta \theta$ : 変位 (rad),  $\delta$ :  $\pi/180$ ,  $\theta$ : 変位角度 (°)

3. 調査事例 (静岡市丸子井尻地区)

3.1 概要

平成15年7月4日未明、静岡市丸子井尻地区では、平均斜面勾配39°、高さ35mの斜面において崩壊が発生した(図-1)。同地区には、高さ5m~8mのもたれ式擁壁が設置されていた。斜面下端から擁壁までの間はほぼ水平であり、距離は1.7m、擁壁の空き高さは1.0mであった。斜面下端から崩壊地頭部までの比高差は22.5m、崩壊幅は最大10.1m、最大崩壊深は2.3mであった。崩壊土量は、崩壊地の測量によると、約130m<sup>3</sup>程度であったと考えられる(図-2)。崩土が擁壁に作用している幅は12.9m、擁壁背面の堆積深は、写真、痕跡より最大2.5mであったと推定した(図-3)。

3.2 擁壁・落石防護柵の被災状況

本調査では、斜面に向かって左側より落石防護柵の支柱を順次、支柱①、②と呼ぶ(端末支柱は「端」と付記する)。落石防護柵の支柱②、③は図-4のように変形していたが、支柱①端、④、⑤端は、崩土が堆積していたものの変状は見られなかった。また、設置されている擁壁の目地、擁壁下端の水路に注目して擁壁、擁壁支持地盤の調査を行なったが、変状は見られなかった。

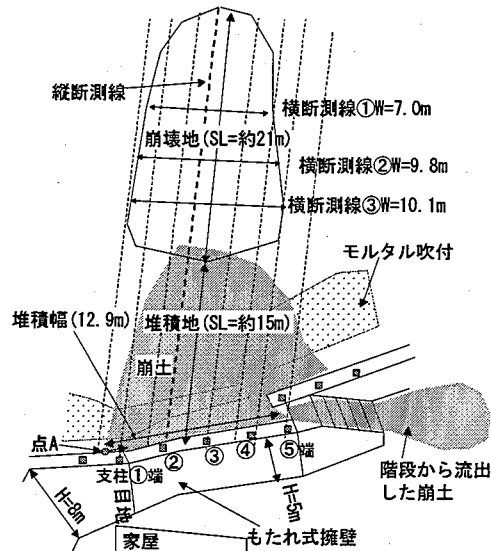


図-1 丸子井尻地区で発生しがけ崩れの平面図

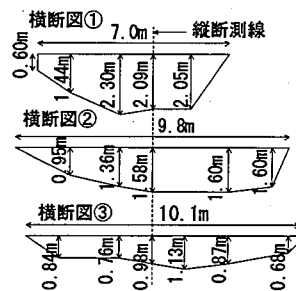


図-2 崩壊地の横断面

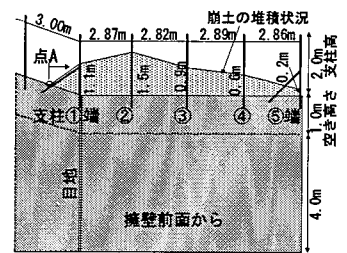


図-3 堆積土砂の横断面

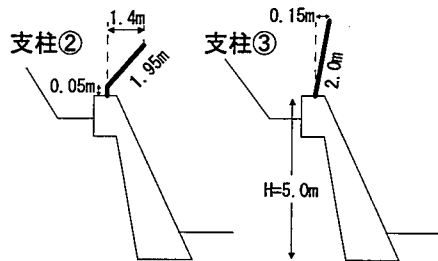


図-4 落石防護柵の支柱の変位状況

4. 考察

4.1 作用したピーク荷重の推定

4.1.1 落石防護柵の降伏応力から推定したピーク荷重  
崩土が支柱に作用したピーク荷重を、落石防護柵の被災

状況から推定した(図-5)。支柱①端～支柱②, 支柱②, 支柱③, 支柱③～支柱④, 支柱⑤端において, それぞれ 13.3 ~85.7 kN/m<sup>2</sup>, 13.3 kN/m<sup>2</sup> 以上, 36.8 kN/m<sup>2</sup> 以上, 36.8 ~82.2 kN/m<sup>2</sup>, 2,720 kN/m<sup>2</sup> 未満程度の荷重が作用していたことが推定できた。なお, 支柱⑤端については, 崩土の作用高が0.2mと小さく, さらに支柱の断面係数が大きいので, 推定された値が大きいものとなった。

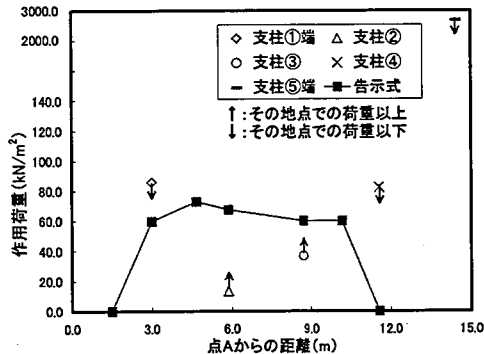


図-5 推定した作用したピーク荷重

#### 4.1.2 崩壊地形状から推定したピーク荷重

崩壊地形状に関する現地測量結果(崩壊厚, 崩壊地の高さ)をもとに, 図-1 に点線で示したように斜面を分割して断面毎に国土交通大臣が告示する土石等の移動による力の算出式<sup>2)</sup>(以下「告示式」という)により, 衝撃荷重を求めた(図-5)。計算によると, 最大荷重は72.8 kN/m<sup>2</sup>であった。また, 最大荷重の80% (約60 kN/m<sup>2</sup>) 以上であった幅は, 崩土堆積幅12.9 mのうち, 7 m程度であった。

また, 図-5 に示したように, 崩壊地形を考慮し, 告示式から得られた荷重値は, 各支柱の降伏応力から求められたピーク荷重と整合が取れている。これは, 崩壊地の形状が三次元的に推定できると, 擁壁に作用する荷重の空間分布が推定できる可能性があることを意味している。

#### 4.1.3 平均化した幅と平均荷重の関係

図-5 に示した崩壊地の三次元形状と告示式を用いて得られた擁壁地点での各断面でのピーク荷重を基に, 以下の手順に従って任意の幅毎に, その幅に作用したピーク荷重の平均値を求めた(図-6)。

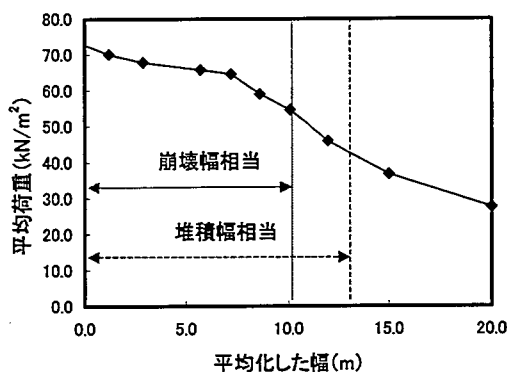


図-6 平均化した幅と平均荷重の関係

- 手順1: 各断面の荷重を基に平均化の対象とする幅における荷重の積算値を算出する。
- 手順2: 手順1を平均化する幅で除して, その幅におけるピーク荷重の平均値を算出する。
- 手順3: 幅毎に, 最大となる平均のピーク荷重を算出する(図-6にプロットした点)。

崩壊幅(10.1 m)相当を対象としたときの平均荷重は, 最大荷重の約75%, 堆積幅(12.9 m)相当を対象としたときは, 約58%程度の荷重になると推定された。

## 4.2 作用したエネルギーの推定

### 4.2.1 作用したエネルギーの推定

擁壁の安定性を評価する方法のひとつに, 崩土の運動エネルギーが擁壁や支持地盤等に貯えられる効果を定量化する方法がある。

ここでは, 落石防護柵の支柱の変形角度から, 式(3)を用いて作用エネルギーを推定した(表-1)。なお, 支柱①端, ④, ⑤端は, 崩土が作用したが変位が見られなかったため, 今回は対象外とした。

表-1 推定された作用したエネルギー

	有効作用幅	変位角度	作用モーメント	エネルギー	有効質量
記号	W	$\theta$	M	E	m
単位	m	°	kN・m	kN・m	t
支柱②	2.85	46.5	42.54	34.50	1.56以上
支柱③	2.86	4.3	42.54	3.19	0.14以上

### 4.2.2 有効質量の推定

前節で算出した崩土が支柱に作用したエネルギーと芦田・江頭式<sup>3)</sup>から求めた速度を用い, 崩土の有効質量を推定した(表-1)。なお, 崩土の速度の推定に用いた流動深( $h_w$ )は, 調査地の最大崩壊厚の1/2(0.9 m)とした。

有効質量が推定できると, 崩土の運動エネルギーが推定できる。これは, 崩土の運動エネルギーからも擁壁の安定性を評価できる可能性があることを意味している。

## 5. まとめ

本稿のまとめは以下のとおりである。

- (1) 擁壁に作用した崩土のピーク荷重は, 被災した支柱や柱から推定できた。また, 崩壊地の形態が三次元的に推定できれば, 告示式によって荷重の空間的分布が推定できる可能性を示した。
- (2) 調査結果に基づくと, 調査箇所では崩壊幅, 堆積幅相当に作用した平均のピーク荷重は, 崩壊最深部の荷重に対してそれぞれ75%, 58%程度であることを示した。
- (3) 擁壁に作用した崩土のエネルギーを, 被災した支柱の曲げ角度等から推定した。支柱の運動エネルギー=崩土の運動エネルギーとすると, 崩土の有効質量が求められた。

今後, 本稿で示したような調査を継続し, 同様な整理を行い, 待受け式擁壁のより合理的な設計手法の提案に向けての基礎資料として活用していく予定である。

最後に, 災害調査時に協力して頂いた静岡県土木部河川砂防総室砂防室, 静岡土木事務所用宗支所並びに各都道府県砂防担当の方々に心より御礼申し上げます。

### <参考文献>

- 1) 例えば, 門間敬一・千田容嗣・海老原和重(1999): がけ崩れの実態, 土木研究所資料, 第3651号
- 2) 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二条第二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, 2001.3.28
- 3) 芦田和男・江頭進治・神矢弘(1985): 斜面における土塊の滑動・停止機構に関する研究, 京大防災研年報, 第28号B-2, pp.297-307