

急傾斜地崩壊対策としての待受け擁壁安定性の検討に関する一考察

国土技術政策総合研究所 ○遊佐 直樹※、村田 郁央、野呂 智之
※現 国土防災技術（株）

1 はじめに

急傾斜地崩壊対策における待受け擁壁の設計は、自重や裏込土圧に加え、崩壊土砂による衝撃力を考慮して、静的な荷重のつり合いにより安定性を検討することとされている¹⁾。そのため、一般的に崩壊土砂により待受け擁壁に作用する荷重の時間変化や地盤変形による作用は考慮されていない。

一方で、落石対策便覧における落石防護擁壁の設計は、落石の持つ運動エネルギーを支持地盤の変形エネルギーに変えて吸収することにより落石を停止させるとして、設計がされている²⁾。また、道路土工における地震動の影響は、震度法により設計水平震度を用いて慣性力および地震時土圧を算出し、滑動・転倒・支持に対して静的照査法が採られてきた³⁾。また、近年、擁壁の地震時残留変位量を直接評価する手法がいくつか研究開発・提案されている^{例えば 4)}。

今後、地形・地質や地盤条件の違いを考慮した待受け擁壁の設計を行うためには、崩壊土砂の時間変化や地盤変形の影響を考慮した設計法の開発が必要となる。そこで、落石の設計で用いられているエネルギー法と盛土の地震時変位の計算で実績のあるマクロエレメント法を、崩壊土砂の衝撃力作用時における待受け擁壁の安定性について検討を行ったので報告する。

2 安定性照査方法

2. 1 エネルギー法

落石対策便覧では、擁壁を回転バネとせん断バネに支持される剛体と仮定し、衝突後の運動が1次固有振動モードに近似できるとして換算バネに置き換える。衝突によって擁壁に作用するエネルギーは換算バネ係数と擁壁の回転角から算定する。落石の衝突により擁壁に伝わったエネルギーを擁壁の許容変位量から定められる基礎地盤の塑性変形を考慮した可能吸収エネルギーと比較することにより安定性を照査するとされている²⁾。

2. 2 マクロエレメント法

マクロエレメント法は、擁壁の地震時の変位量を直接評価するニューマークの剛体すべりブロック法を3自由度に拡張したモデルで、基礎底面に作用する荷重に対して、基礎底面地盤の反力と変位を計算する。粘性地盤の場合、式(1)、(2)および図1で示される降伏曲面を定義し、外力と降伏曲面の関係から地盤の変位量を算出する手法である⁴⁾。外力の組合せ荷重と地盤反力の比較を行い、外力 $\leq$ 地盤反力の時、変位は起こらないが、外力 $>$ 地盤反力となったときその差だけ擁壁が変位をするとして、外力の時間変化に応じた変位量を計算する。

($V < V_{\max}/2$ の時)

$$F = \left(\frac{H}{H_{\max}} \right)^2 + \left(\frac{M}{M_{\max}} \right)^2 - 1 = 0 \quad (1)$$

($V \geq V_{\max}/2$ の時)

$$F = \left(\frac{H}{H_{\max}} \right)^2 + \left(\frac{M}{M_{\max}} \right)^2 - 16 \left(\frac{V}{V_{\max}} \right)^2 \left(1 - \frac{V}{V_{\max}} \right)^2 = 0 \quad (2)$$

ここで、 H ：水平荷重、 M ：モーメント荷重、 V ：鉛直荷重、 $H_{\max}$ ：最大水平荷重、 $M_{\max}$ ：最大モーメント、 $V_{\max}$ ：最大鉛直荷重を表す。

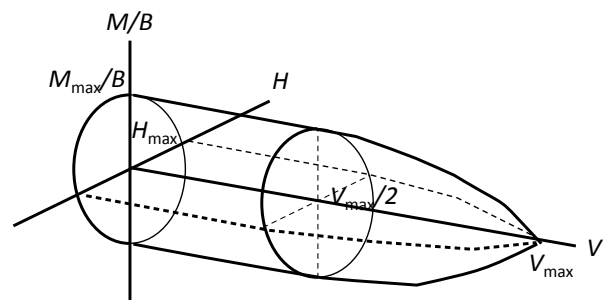


図 1 降伏曲面の概念図（粘性土）

3 崩壊土砂作用時の安定性照査への適用

3. 1 エネルギー法による検討結果

計算対象地の概要を図2に示す。エネルギー法では、崩壊土砂の質量が大きく影響するため、崩壊土砂量は斜面高さの統計値から設定した値と小規模な土砂量で設定した値について検討した。また、崩壊土砂の速度は国土交通省告示第332号に示される式（以降、告示式と呼ぶ）により算出

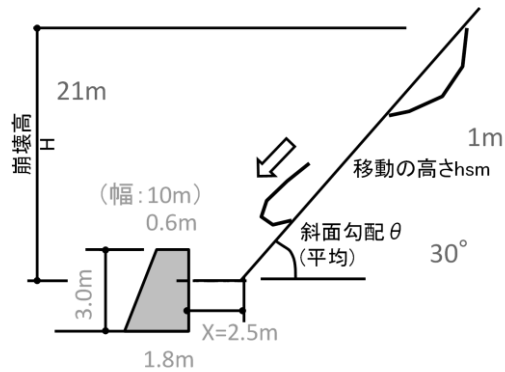


図 2 計算条件の概要

した。崩壊土砂の衝突による回転変形エネルギーを地盤の可能吸収エネルギーと比較すると、土砂量を斜面高さの統計値から設定した場合には大きく、小規模な崩壊量では小さい結果となった（表 1）。告示式で求まる衝撃力はどちらも同じであるが、判定結果が異なる結果となった。被災事例との対比による検証や崩壊時により擁壁に作用する土砂量の設定方法が今後の課題である。

表 1 エネルギー法による計算結果

項目	単位	斜面高さ	小規模
崩壊土砂量	m ³	150	2
崩壊土砂質量	kg	270,000	3,600
崩壊土砂の速度	m/s	6.78	
衝突後の擁壁速度	m/s	12.7	2.8
衝突位置での擁壁変位	m	0.647	0.065
擁壁回転角	°	11.9	1.3
崩土の衝突による弾性応答時の回転変形エネルギー	kJ	2211	22.3
地盤の可能吸収エネルギー	kJ	23.1	
判定		NG	OK

3. 2 マクロエレメント法による検討結果

計算条件を表 2 に示す。また、荷重波形は推定値として平成 27 年度の検討結果⁵⁾をもとに、ピーク荷重が告示式で求まる荷重と等しくなるように調整した波形を用いた（図 3）。計算結果は、重心位置で 0.022m 変位し、停止する結果となった（図 4）。擁壁自体の許容変位量の把握は必要であるが静的照査な安定性では不安定となる場

表 2 計算条件

入力値	設定値	単位	備考
外力波形荷重の時刻歴	図3	—	想定値(H27検討より)
非排水せん断強度cu	70	kN/m ²	土質試験結果
支持力係数Nc	5.14	—	φ=0の抵抗力
擁壁の基礎幅B	1.8	m	図2より
許容支持力度Vmax	300	kN/m	一般値

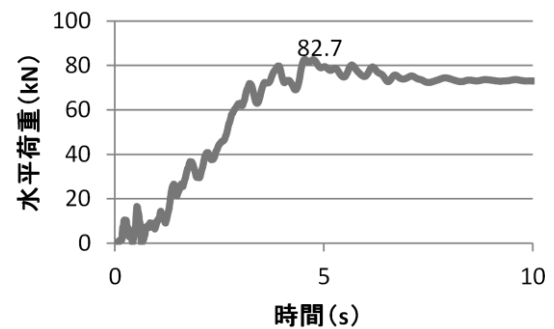


図 3 荷重波形

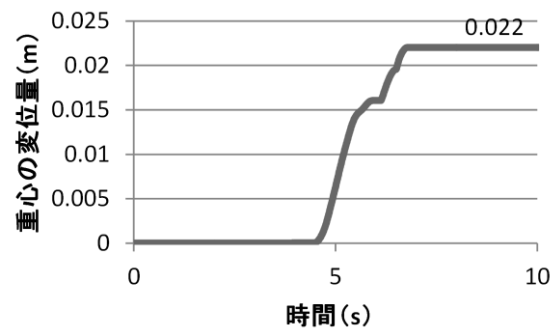


図 4 重心位置の変位量

合でも、動的な安定性の照査では、安定性が確保される可能性があることを確認することができた。

4 おわりに

検討の結果、以下の結論を得た。

- ・ 両手法の検討では、静的照査では不安定となる場合でも、条件によっては安定する場合があることが確認できた。
- ・ ただし、エネルギー法では土砂量の設定方法が課題として残り、マクロエレメント法では許容変位量の把握や波形設定方法に課題が残る。

今後は崩壊土砂の流下現象の解明と擁壁と地盤の安定性を定量的に把握することが必要と考えられる。

【参考文献】

- 1) 全国地すべりがけ崩れ対策協議会：崩壊土砂による衝撃力と崩壊土砂量を考慮した待受け擁壁の設計計算事例、2004
- 2) 社団法人日本道路協会：落石対策便覧、平成 12 年 6 月
- 3) 社団法人日本道路協会：道路土工擁壁工指針（平成 24 年度版）、平成 24 年 7 月
- 4) MITSU OKAMURA and KEIICHI TAMURA：PREDICTION METHOD FOR LIQUEFACTION-INDUCED SETTLEMENT OF EMBANKMENT, SOILS AND FOUNDATIONS Vol. 44 No. 4 pp 53-65, 2004
- 5) 遊佐ら：第 65 回平成 28 年度砂防学会研究発表会概要集 B、pp. 444～446、2016