

(株)第一コンサルタンツ 右城 猛
(株)第一コンサルタンツ ○水田勝也

1. まえがき

現在、落石による道路災害に対処するために様々な落石対策工が施工されている。設計では、落石による荷重を静的に特定の位置に作用させた解析を行っている問題がある。そこで本研究は、落石対策工の代表的工法である落石防止柵について、エネルギー基準に基づいた設計法を提案するものである。この方法を適用すれば、落石の衝突位置によって落石防止柵の破壊モードを考慮した解析がより合理的にできる。

2. 現状の設計法の問題点

落石防止柵の基礎の設計では、まず防止柵支柱の降伏荷重 P_y を求め、この荷重が図-1 のように静的に作用するものと仮定している。降伏荷重を算定するには落石の衝突位置を特定する必要があるため、柵高の $2/3$ の高さに落石が衝突するものと仮定している。しかし、落石の衝突位置はその都度異なるため特定することに無理がある。そこで、落石が落石防止柵の付け根から任意の高さ y に衝突し、支柱が降伏したときに基礎底面に作用するモーメントを計算すると、落石の衝突位置が低いほど底面のモーメントは大きくなり付け根に衝突すれば無限大となる。また、柵高 h_f が異なれば衝突位置が変化するため降伏荷重と底面のモーメントも変化し、柵が高くなるほど基礎底面に作用するモーメントが小さくなり、基礎も小さくできる不思議な結果が得られる。

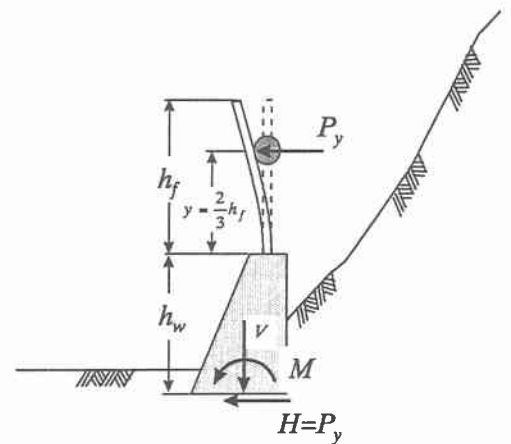


図-1 現状の落石防止柵基礎の設計

3. 落石防止擁壁の破壊形態と吸収エネルギー

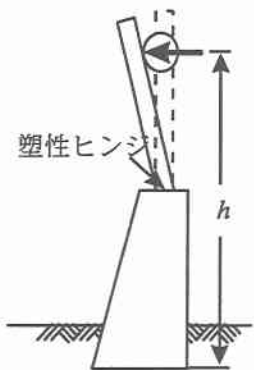
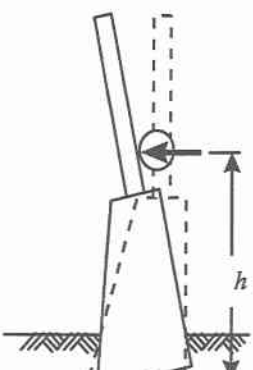
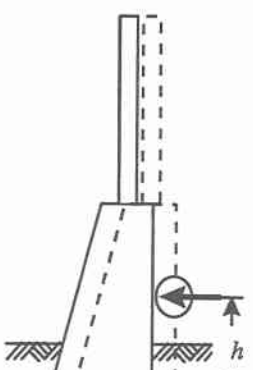
落石防止柵に落石が衝突するものとすれば、落石防止柵の支柱、ロープ、金網及び擁壁基礎地盤の変形によってエネルギーが吸収される。これらによる吸収エネルギーの総和が落石の運動エネルギーよりも小さいと落石防止柵は破壊する。落石防止柵の破壊形態は表-1 に示すように、支柱の降伏と基礎の転倒か基礎の滑動の3種類に分類できる。どの破壊形態をとるかは落石の衝突高さ h によって異なり、表-1 の判別式で判定することができる。また、破壊形態が特定されれば落石防止柵の吸収エネルギーは、表-1 で算定することができる。

$$M_0 = \frac{BV}{6} \cdots \cdots (1) \quad \theta_a = \frac{1}{F_s} \tan^{-1} \frac{x_G}{y_G} \cdots \cdots (2) \quad H_u = V \cdot \mu \cdots \cdots (3) \quad M_y = 2\sigma_y \cdot Z \cdots \cdots (4)$$

$$M_{Na} = \left(3 - 2 \sqrt{\frac{M_0}{K_r \cdot \theta}} \right) M_0 \cdots \cdots (5) \quad K_r = \frac{B^3 \cdot L}{12} k_v \cdots \cdots (6) \quad k_v = 7,567 N (B \cdot L)^{-0.375} \cdots \cdots (7)$$

ここで、 M_{Na} :許容非線形応答モーメント、 M_0 :基礎が浮き上がりを生じ始めるモーメント、 K_r :回転バネ定数、 θ_a :許容回転角、 M_y :ストーンガード支柱の降伏モーメント、 σ_y :支柱の降伏強度、 Z :支柱の断面係数、 B :基礎幅、 V :擁壁の自重、 H_u :擁壁が滑動を生じる限界水平力、 δ_a :基礎の許容水平変位量、 μ :基礎底面の摩擦係数、 L :擁壁の延長、 k_v :鉛直方向地盤反力係数、 N :地盤の N 値、 F_s :転倒に対する安全率(1.2)、 x_G :基礎のつま先から図心までの水平距離、 y_G :基礎のつま先から図心までの鉛直距離。

表-1 落石防護工の破壊形態と吸収エネルギー

破壊形態			
	(a) 支柱が降伏	(b) 基礎が回転（転倒）	(c) 基礎が滑動
破壊形態の判別式	$h > \frac{M_{Na}}{M_{Na} - M_y} h_w$	$\frac{M_{Na}}{H_u} < h \leq \frac{M_{Na}}{M_{Na} - M_y} h_w$	$h \leq \frac{M_{Na}}{H_u}$
吸収エネルギー E (kJ)	$E = M_y \cdot \theta_{px} + 25$	$E = \frac{M_0^2}{2K_r} \left\{ \frac{8M_{Na}^2}{3(3M_0 - M_{Na})^2} + \frac{1}{3} \right\}$	$E = H_u \cdot \delta_a$

4. 解析結果

図-2 はごく標準的な落石防止柵工を仮定して、エネルギー基準を用いて設計した結果を示したものである。落石が柵の上部 0.85m の範囲に衝突すれば、落石防止柵の支柱は降伏し、落石防護工が吸収できるエネルギーは 48kJ である。落石が地盤面より 0.47m までの高さに衝突すれば基礎は滑動を生じる。滑動による許容変位量を 0.5m とすれば落石防護工が吸収できるエネルギーは 124kJ である。地盤面から 0.47～2.65m の範囲に衝突すれば基礎は回転する。そのときの落石防護工が吸収できるエネルギーは 135kJ である。従って、この落石防護工のエネルギー吸収能力は 48kJ となり、落石防止柵の強度を高めるか、基礎の断面を小さくした方がよりバランスのとれた設計になると判断できる。本設計では、設計荷重として土圧を考慮しなかったが、背後のポケットに崩土が堆積する恐れがある場合には、崩積土による土圧を考慮しなければならない。

5. あとがき

エネルギー基準を適用すれば、落石の衝突位置を考慮した解析が可能であり落石防止柵の安全性を合理的に評価できる。また、柵と基礎の剛性のバランスがとれた設計を行うことも可能となる。

【参考文献】

- 1) 右城猛：新・擁壁の設計法と計算例，理工図書，1998
- 2) 四国地方建設局：ストーンガード基礎の考え方(案)，1991

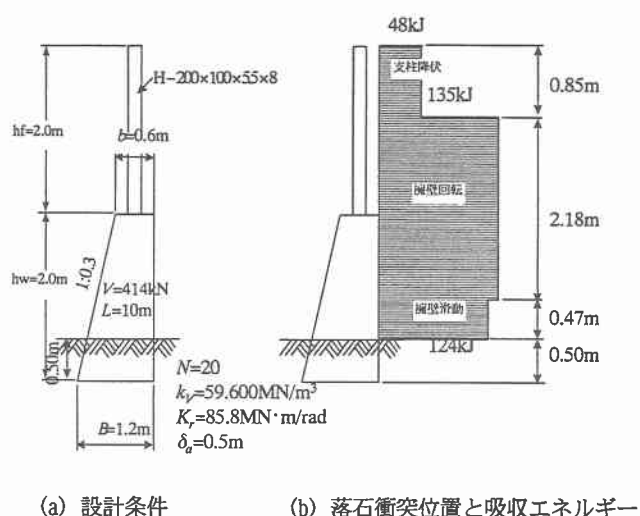


図-2 エネルギー基準による解析結果