

# SR フェンス実証実験報告書

## 1. 目的

国土の約 70%を山地が締めるわが国の道路は、山肌を縫うように整備されてきたため切土斜面が多い。近年、切土斜面においては、風化等に伴う小石や土砂の流出、あるいは落石や吹付けコンクリートの剥落といった災害が頻繁に発生している。このような落石等の約 95%は、30cm×30cm 未満の小規模サイズであり、運動エネルギーは 5kJ 程度以下と想定される。路面への落石が確認されると、その度に道路維持工事によって除去作業を行っているのが現状である。

そこで、道路への土砂の流出や、小規模落石等を防止することができるうえ、工期短縮、コスト縮減、早期整備といった効果を期待することができる SR フェンスを考案し、その性能を検証する目的で実物規模の実験を行った。

## 2. 構造概要

SR フェンスは、プレキャストコンクリート製の車両用防護壁(以降「基礎擁壁」と呼ぶ)と落石防護柵(以降「防護柵」と呼ぶ)を組み合わせたものである。基礎擁壁の連結部に鋼管(φ48.6×3.5t-2255(STK490))を差し込みヒンジ連結し、その鋼管が防護柵の支柱として機能する。阻止面は、軽量剛性繊維網(複合ポリエステル製ラッシュェル網)とワイヤロープ(6×24 G/O φ10)を3段に配置した簡易な構造である。

## 3. 実験概要

実証実験は、(有)須崎サブコン工場内の天井クレーンを利用した振り子方式とし、SR フェンスに重錘を衝突させて挙動を観測するものである。実験に使用した供試体の概要と実験装置を図-1、写真-1 に示す。

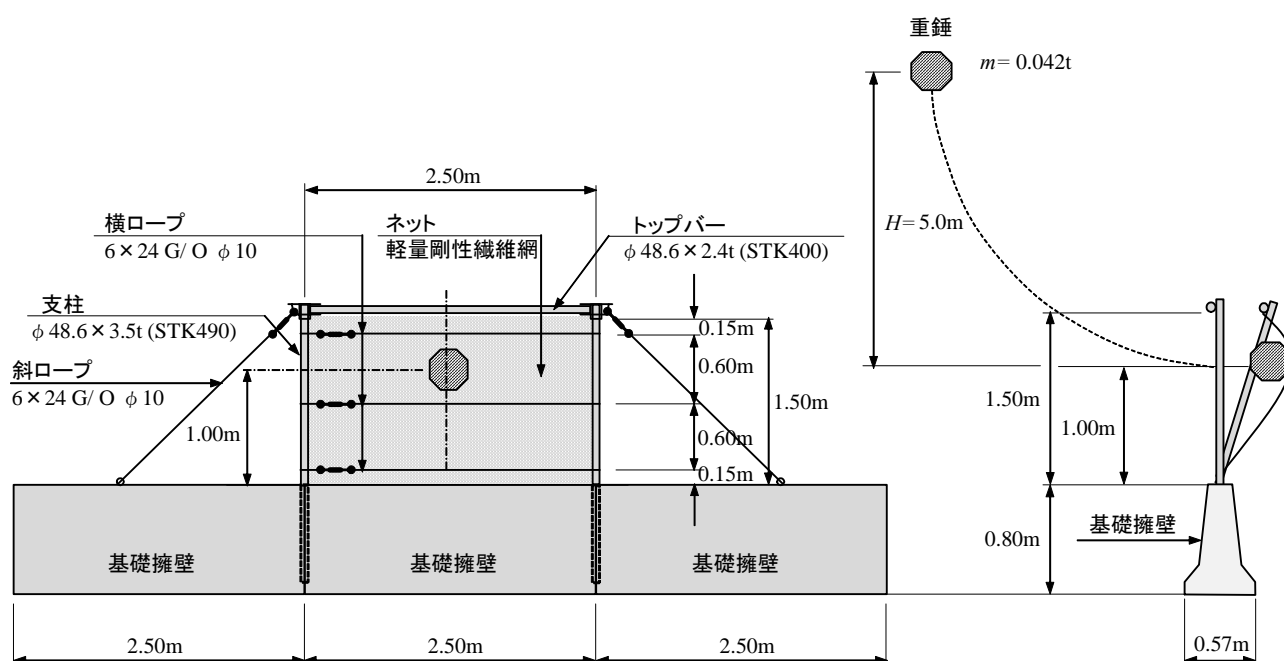


図-1 供試体の概要図

基礎擁壁の大きさは高さ 0.8m, 底面幅 0.57m, 延長 2.5m, 質量 1.3t である。設置ブロック数は, 安定計算上, 最も不利になる 3 ブロック (最小ユニット) とし, 工場内のコンクリート床面に直置きした状態で, アンカー等による固定はしていない。

重錘はスイス基準の SAEFL<sup>※</sup>型, コンクリート製の多面体で, 質量  $m=42\text{kg}$  のものを使用した (写真-2)。

衝突位置は, 支間中央, 阻止面の高さ 1.5m に対して下端から 1.0m の箇所である。

重錘は落下高さ 5.0m から阻止面に対して直角に衝突させた。

重錘の衝突速度は  $v=9.9\text{m/s}$ , 衝突エネルギーは  $E=2.1\text{kJ}$  である。

重錘衝突時の供試体の挙動は, 計 3 台のビデオカメラを左右側面に各 1 台, 正面に 1 台設置して撮影した。

支柱の変位量は, 実験終了後に支柱を抜き出して計測した。

衝撃力による基礎擁壁の変位量は, 各ブロックの端部で計測した。



写真-1 実験装置



写真-2 SAEFL 型の重錘

#### 4. 実験結果

##### (1) 吸収エネルギー

本実験では, 供試体を補修せずに使用し, 計 3 回繰り返し同じ場所に重錘を衝突させた。阻止面は, 重錘を受け止めて静止したのち, 重錘を後方に跳ね返した。重錘が最高到達点まで跳ね返った高さは 0.3m であった (写真-3)。

S R フェンスが吸収したエネルギーは式 (1) で表される。

$$E_K = m \cdot g \cdot H \cdot n \text{ ----- (1)}$$

ここに,  $m$ : 重錘の質量 (=0.042t)

$g$ : 重力加速度 (=9.8m/s<sup>2</sup>)

$H$ : 落下高さ (=5.0m)

$n$ : 連続衝突回数 (=3 回)

$$E_K = 0.042 \times 9.8 \times 5.0 \times 3 = 6.2 \text{ kJ}$$

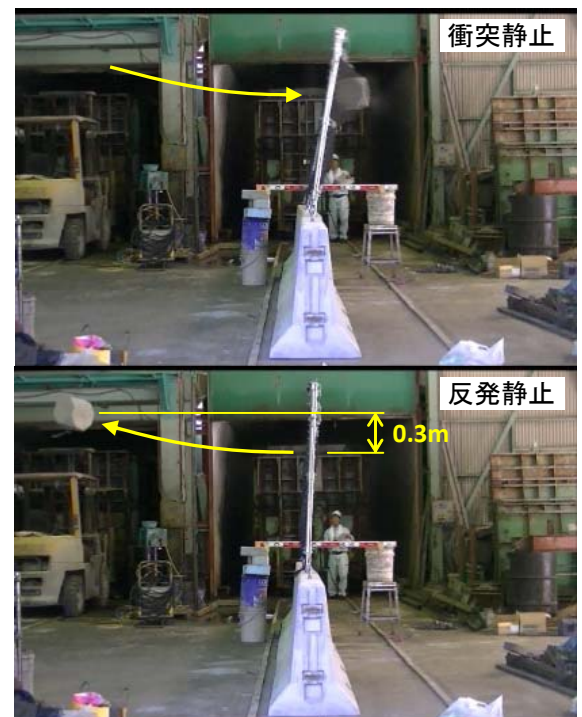


写真-3 重錘の衝突

## (2) 支柱の変形

重錘を 3 回連続で衝突させた後に支柱を抜き出して計測した支柱の変位を表-1 に、支柱が基礎擁壁の上端にあたる位置から変形している状況を写真-4 に示す。

表-1 支柱の変位

左側支柱			右側支柱		
変形部長さ	水平変位量	変位角	変形部長さ	水平変位量	変位角
1555mm	225mm	8.3°	1555mm	300mm	11.1°



(a) 左側支柱 水平変位量225mm



(b) 右側支柱 水平変位量300mm

写真-4 支柱の変形状況

表-1 に示す計測結果より、重錘衝突位置（阻止面下端より 1.0m）における変形量を求めると、左側支柱は  $\delta_l=145\text{mm}$  (変位角  $8.3^\circ$ )、右側支柱が  $\delta_r=196\text{mm}$  (変位角  $11.1^\circ$ ) であった。支柱の降伏荷重は  $P_y=1.644\text{kN/本}$ 、重錘衝突位置における降伏変位は  $\delta_y=21.6\text{mm}$  であるので、支柱が吸収したエネルギーは図-2 より式 (2) で求められる。

$$E_p = p_y \cdot \left( \delta - \frac{\delta_y}{2} \right) \text{----- (2)}$$

左側支柱

$$E_{pl} = 1.644 \times \left( 0.145 - \frac{0.0216}{2} \right) = 0.2 \text{ kJ}$$

右側支柱

$$E_{pr} = 1.644 \times \left( 0.196 - \frac{0.0216}{2} \right) = 0.3 \text{ kJ}$$

左右支柱合計

$$E_p = E_{pl} + E_{pr} = 0.2 + 0.3 = 0.5 \text{ kJ} \text{----- (3)}$$

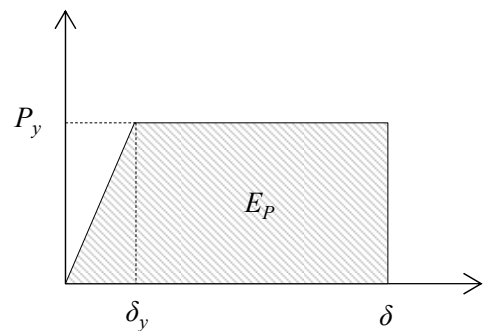


図-2 支柱の吸収エネルギー

## (3) エネルギー収支

衝突時に重錘が S R フェンスに持ち込んだ運動エネルギーは、支柱の変形・阻止面（ネット・ワイヤロープ）の変形、及びこれら部材の振動、基礎擁壁の重心上昇などに変化したと考えられる。なかでも、阻止面が変形することによって吸収されたエネルギーが大半を占めるものと思われる。ここで、振動や重心上昇などをその他のエネルギーとすると、実証実験で確認したエネルギー収支は式 (4) で表される。

$$E_K = E_P + E_S \text{ ----- (4)}$$

ここに、 $E_K$ ：可能吸収エネルギー(=6.2kJ)

$E_P$ ：支柱の吸収エネルギー(=0.5kJ)

$E_S$ ：阻止面その他の吸収エネルギー(=6.2-0.5=5.7kJ)

#### (4) 阻止面の反発係数

阻止面は、高さ  $H=5.0\text{m}$  から落とした重錘を受け止めて静止したのち、重錘を後方に跳ね返した。重錘が最高到達点まで跳ね返った高さは  $H'=0.3\text{m}$  であった(写真-3)。この結果から、阻止面の反発係数は式(5)で求められる。

$$e = \sqrt{\frac{H'}{H}} = \sqrt{\frac{0.3}{5.0}} = 0.24 \text{ ----- (5)}$$

#### (5) 基礎擁壁の滑動

S Rフェンスに重錘を衝突させた結果、基礎擁壁に微量の変位が生じた(図-3)。変位は両サイドのブロックに観測された。中央のブロックは、ビデオ映像で確認すると、前方へわずかに回転運動が観測されたが、滑動はしていない。

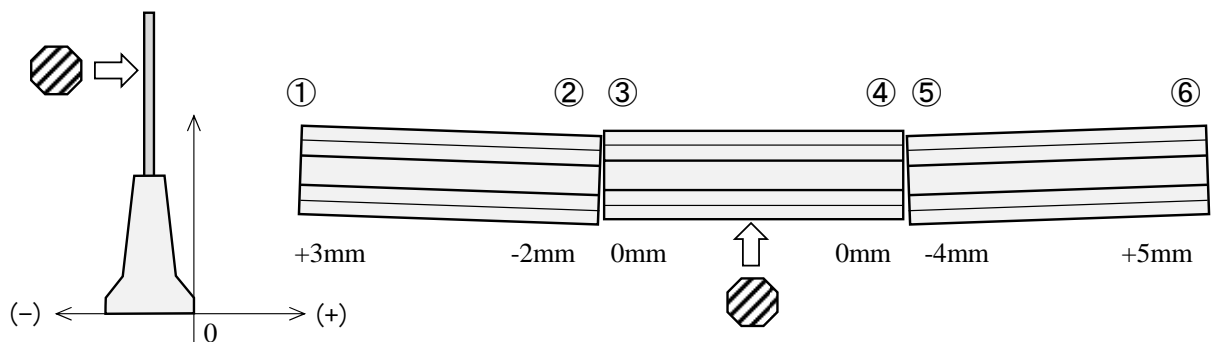


図-3 基礎擁壁の滑動

#### (6) 基礎擁壁の有効ブロック数

重錘の衝突により基礎擁壁の転倒安全率  $F_s$  が 1 を下回ると、基礎擁壁は、つま先 A を中心に角速度  $\omega_A$  で回転運動を始める。転倒の安全率は式(6)で表される。また、防護柵に持ち込まれる運動エネルギーのすべてが基礎擁壁の重心上昇に変化すると仮定すれば、基礎擁壁の回転角  $\theta$  は式(7)で求められる。

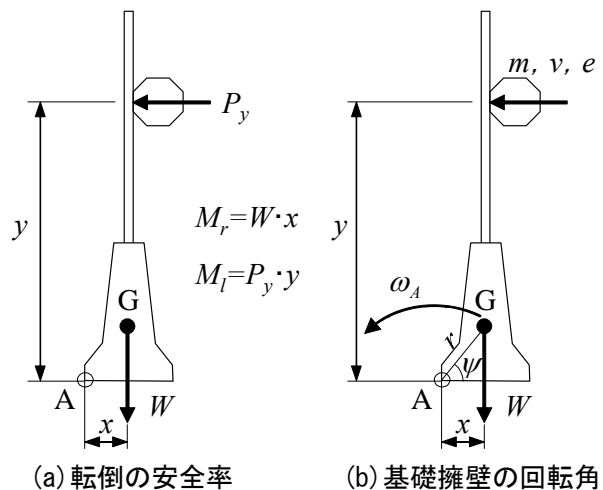


図-4 記号説明図

$$F_s = \frac{M_r}{M_l} \text{-----} \quad (6)$$

ここに、 $M_r$ ：基礎擁壁の A 点に関する抵抗モーメント

$M_l$ ：基礎擁壁の A 点に関する転倒モーメント

$$\theta = \sin^{-1} \left[ \frac{I_A \cdot \omega_A^2}{2r \cdot W} \left\{ \frac{m \cdot v(1+e)y}{I_A + m \cdot y^2} \right\}^2 + \sin \psi \right] - \psi \text{-----} \quad (7)$$

ここに、 $m$ ：重錘質量

$v$ ：重錘の衝突速度

$e$ ：反発係数

$y$ ：重錘の衝突高さ

$I_A$ ：基礎擁壁の A 点に関する慣性モーメント

$W$ ：基礎擁壁の重量

$r$ ：基礎擁壁の図心から A 点までの距離

$\psi$ ：基礎擁壁の図心と A 点を結んだ線が底面となす角

転倒に関与する基礎擁壁の有効本数を変化させて計算した結果を表-2 に示す。今回の実験では重錘衝突時に基礎擁壁は、わずかに前方へ回転した。基礎擁壁は 1.5 本分が有効に抵抗したと考えられる。

表-2 基礎擁壁の有効本数

基礎擁壁の有効本数	転倒の安全率	回転角
N=1.0 本	Fs=0.66	$\theta=8.6^\circ$
N=1.5 本	Fs=0.99	$\theta=4.5^\circ$
N=2.0 本	Fs=1.32	$\theta=0^\circ$
N=3.0 本	Fs=1.97	$\theta=0^\circ$

## 5. まとめ

SRフェンスは、質量  $m=42\text{kg}$  の重錘を衝突速度  $v=9.9\text{m/s}$  で、部材を補修することなく計 3 回繰り返し同じ場所に衝突させた結果、支柱や阻止面の変形などにより  $E_k=6.2\text{kJ}$  のエネルギーを吸収した。

- ① 2 本の支柱は、1 回目の衝突で降伏したが、3 回連続衝突させたあとの変位角は平均すると約  $10^\circ$  に止まった。
  - ② ネットは、3 回連続衝突させても破網に対して安全であることを確認できた。
  - ③ 基礎擁壁は、転倒に対して安全であることを確認できた。
- 奥付頁に重錘の衝突状況写真を記載する(写真-5)。

---

※) SAEFL(Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape)

環境・森林・景観に関するスイス機関

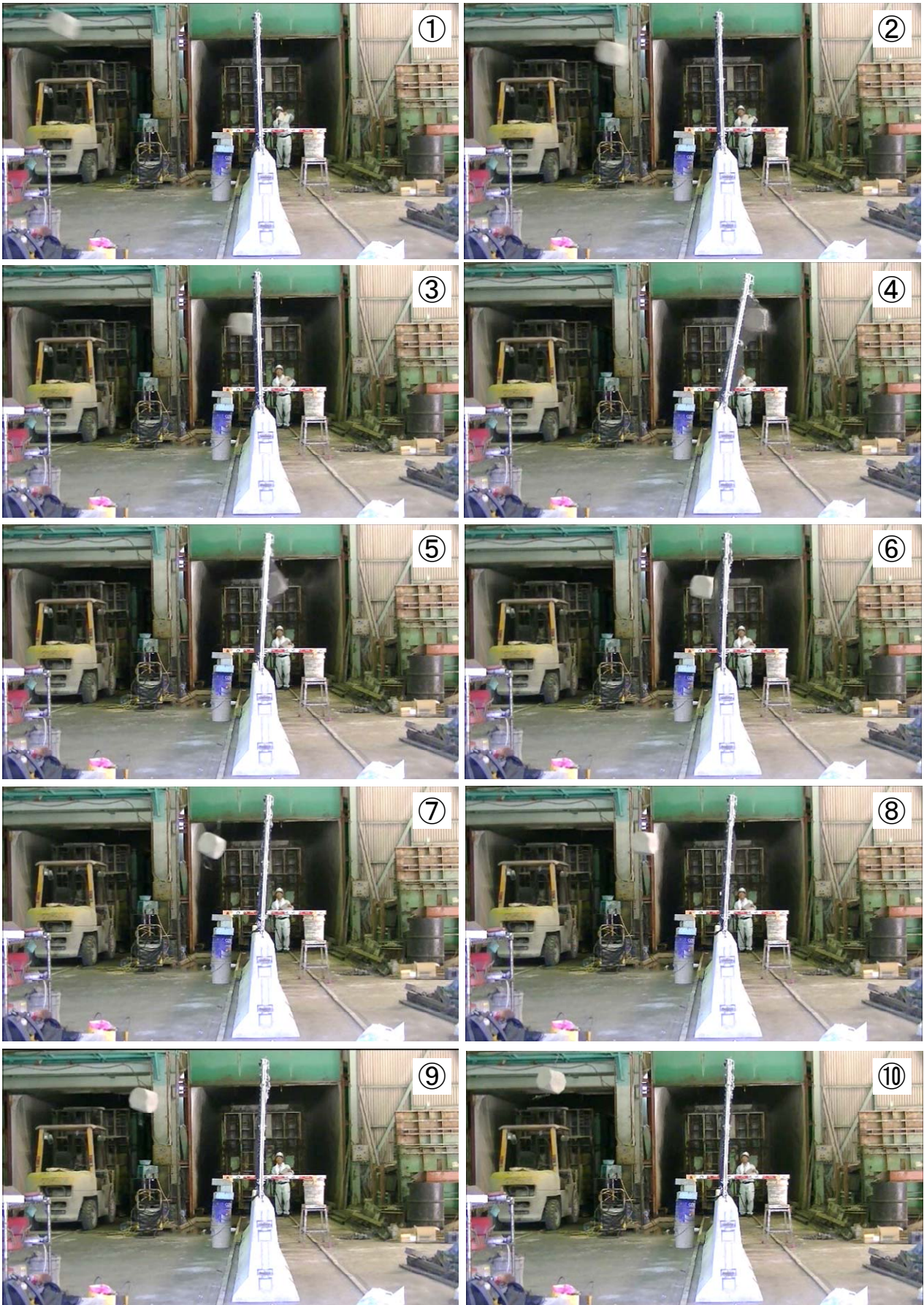


写真-5 重錘の衝突状況