「落石対策Q&A」の概要

平成22年7月27日、ホテルパールガーデン

社団法人地盤工学会四国支部落石対策研究会　右城猛

平成２１年度地盤工学会四国支部の現場見学会(安和海岸)

「落石対策Q&A」の特徴

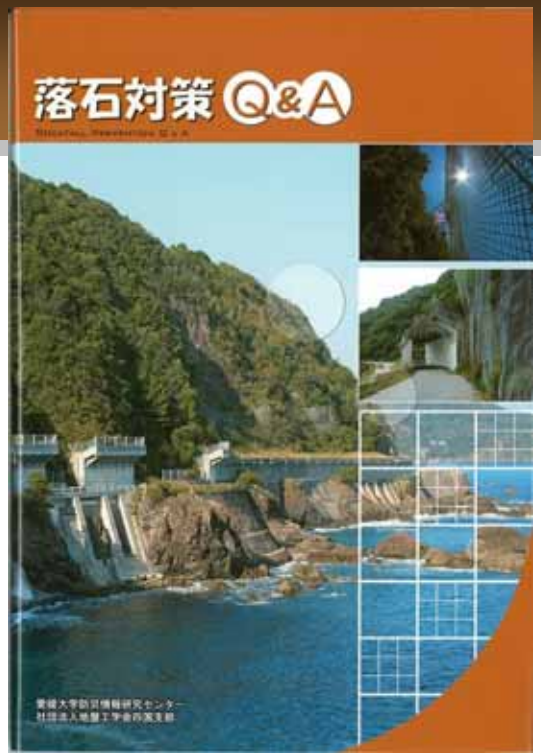
1. 落石防護工の設計で、技術者の多くが疑問に感じていることをQ&A形式で６８項目について記述した。

2. 回答は、地盤工学会四国支部の技術研究発表会やシンポジウム等で発表された論文を引用して記述した。

3. 四国で行われた現地調査や実験から得られた写真や図面を用いて回答の根拠を明確にした。

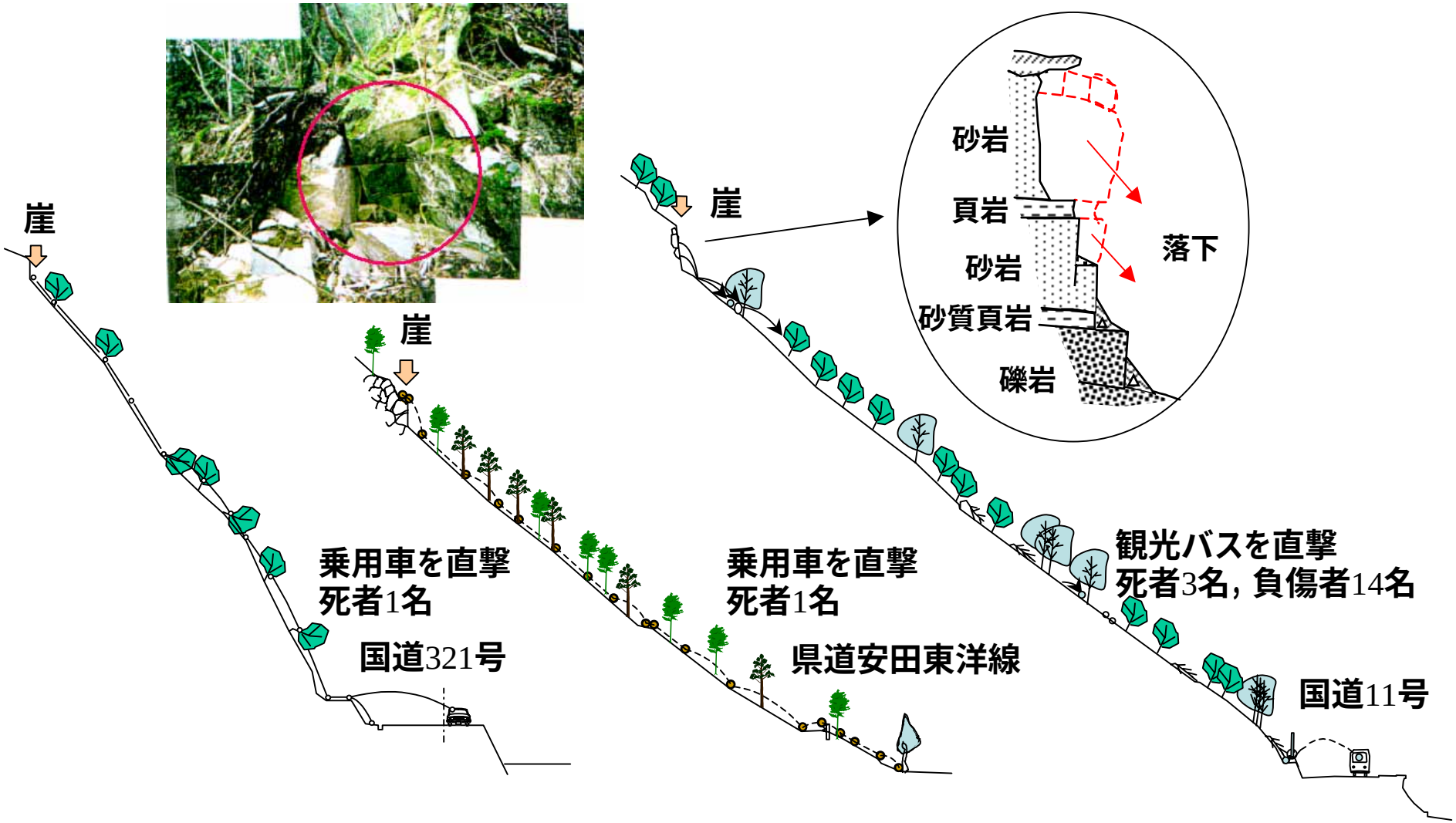
4. 提案した理論式や設計法については、具体的な数値計算例を示した。

落石対策Q&A　目次



1章　落石調査と危険度判定
2章　落石の運動とエネルギー
3章　落石対策工の選定
4章　ポケット式落石防護ネット
5章　落石防護柵
6章　落石防護擁壁
資料編
資料1　アメリカにおける落石の危険度評価システム
資料2　ワイヤネット式落石防護柵の挙動の分類と検証のガイドライン
資料3　芸予地震の落石と道路防災点検の評価
資料4　エネルギー吸収装置付き落石防護ネットの現場実験
資料5　落石防護柵端部の計算例
資料6　落石防護擁壁の計算例

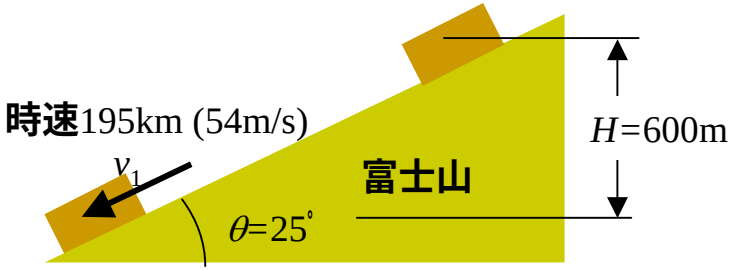
死亡事故を起こした落石の発生源は崖部



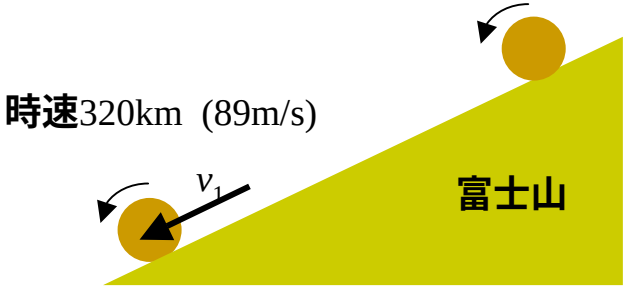
高知県大月町(1988)　　高知県北川村(1996)　　徳島県鳴門市(1990)

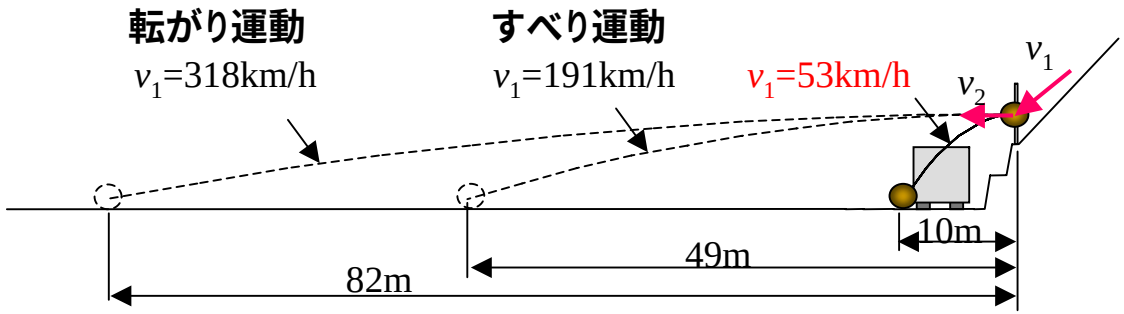
落石の速度は意外と遅い(富士山落石事故)

すべり運動(μ =0.35)



円柱の転がり運動





落石が新幹線のように速ければキャンピングカーの上を飛び越える。落石事故は起きなかったはず。

道路際で逆算した等価摩擦係数

落石の運動をすべり運動と仮定して

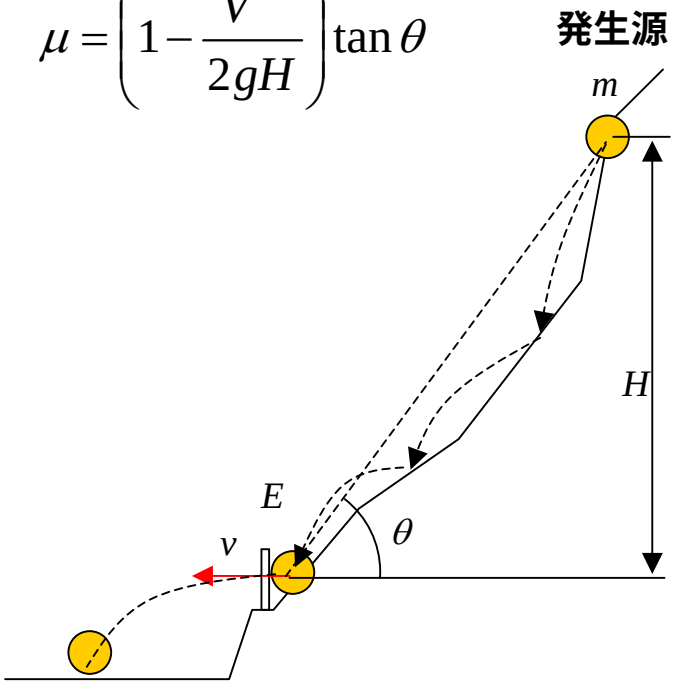
エネルギーから逆算

$$\mu = \left(1 - \frac{E}{mgH(1+\beta)}\right)\tan\theta$$

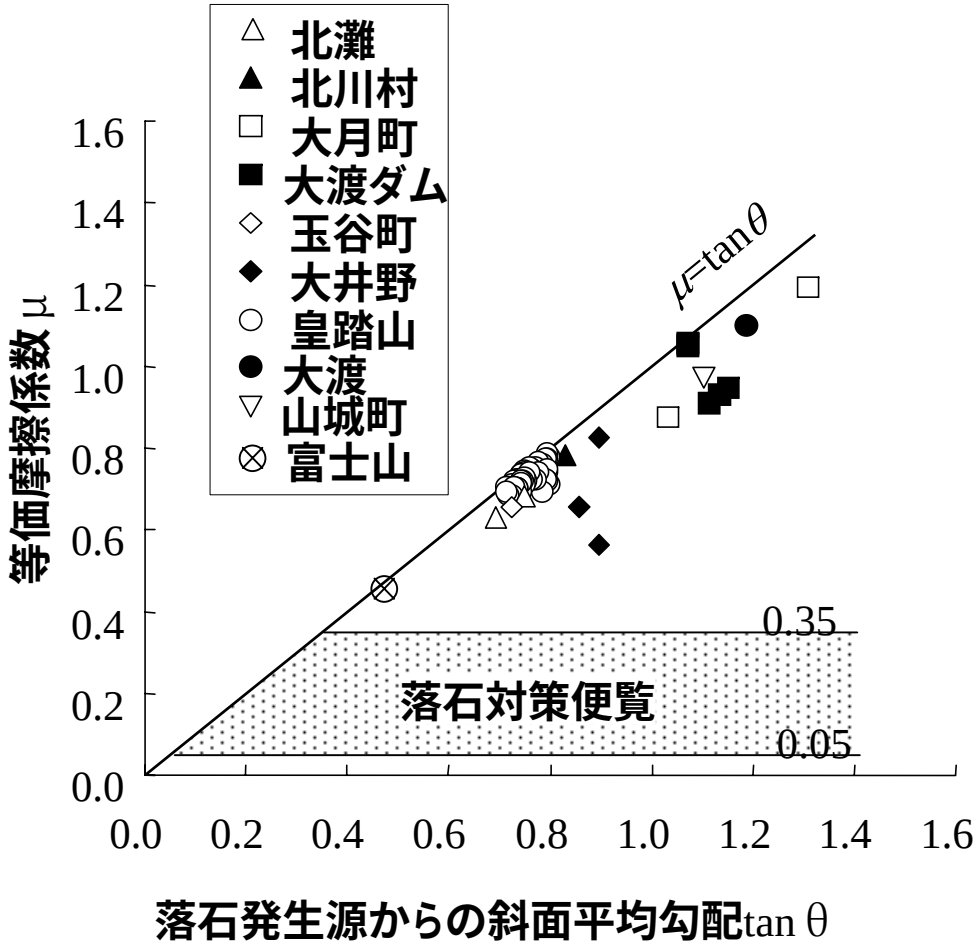
β = 0.1

速度から逆算

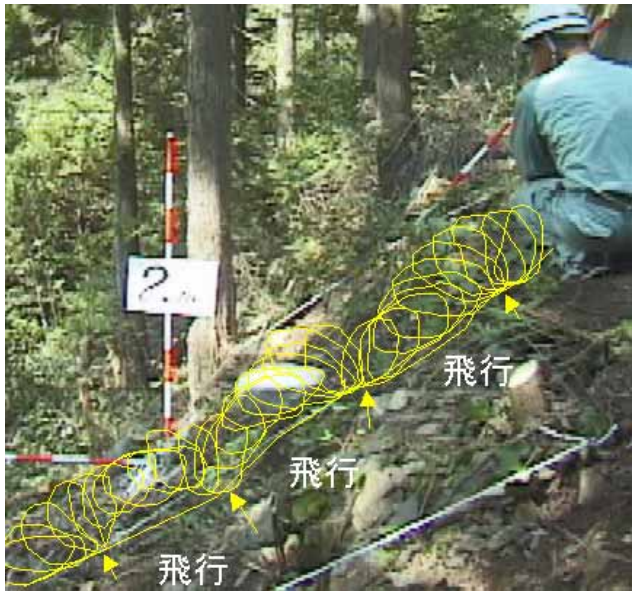
$$\mu = \left(1 - \frac{V^2}{2gH}\right)\tan\theta$$



逆算された等価摩擦係数は0.5〜1.2と大きい

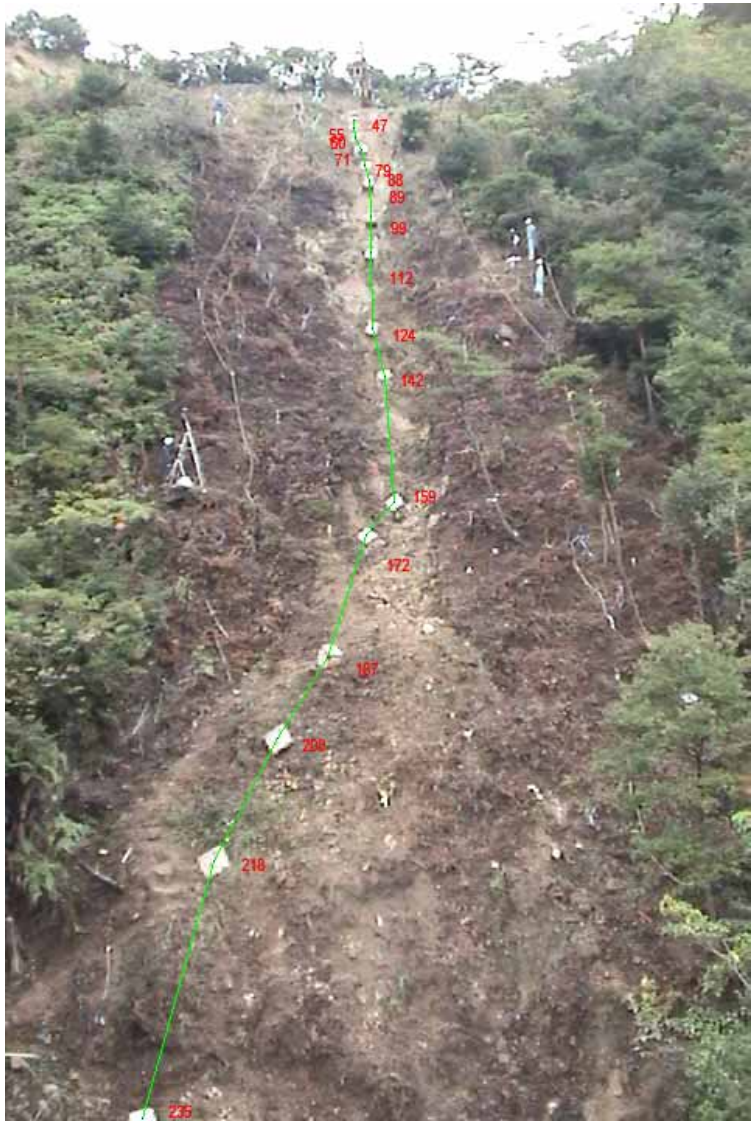


落石の運動はバウンドが主体的



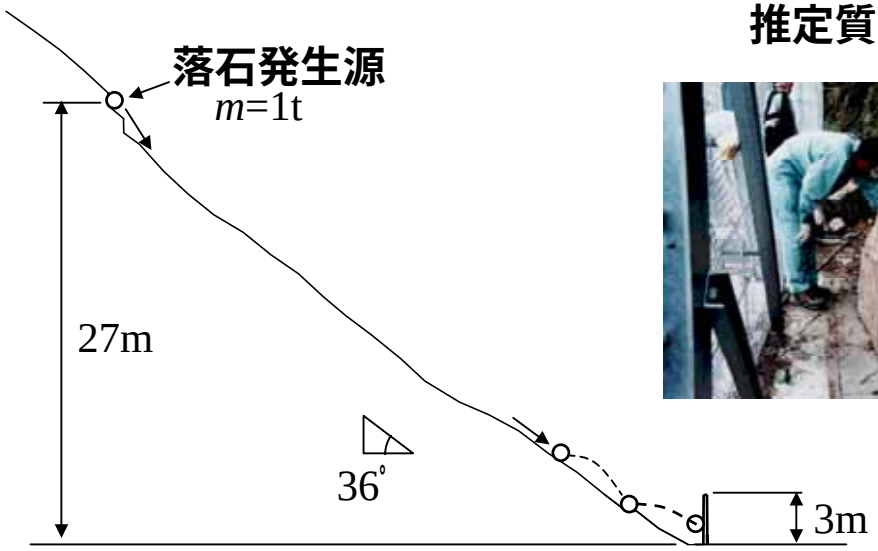
西土佐村落石実験(高知県、2000年)

土居町落石実験(四国技術事務所、2003年)



土居町落石実験(四国技術事務所、2003年)

落石の運動エネルギーも意外と小さい

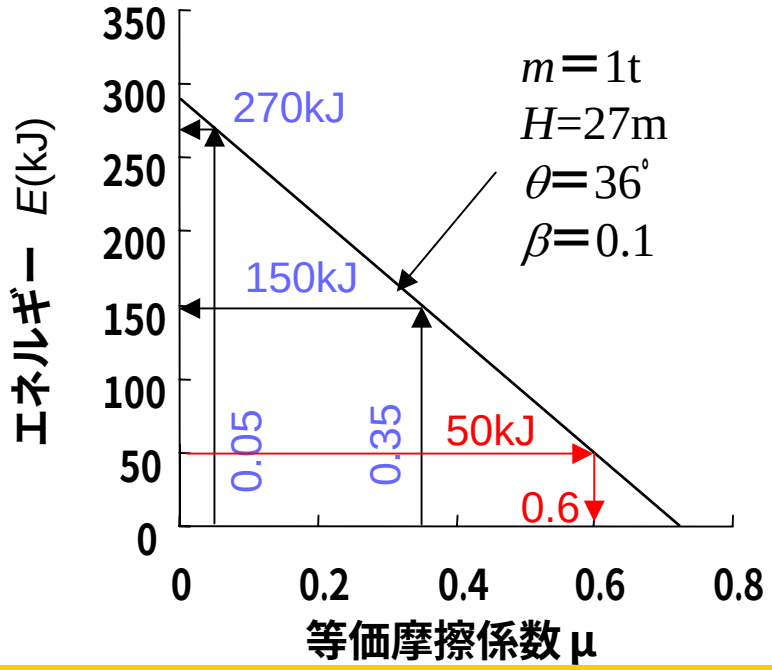


推定質量 m=1t

$$E = mgH\left(1-\frac{\mu}{\tan\theta}\right)(1+\beta)$$

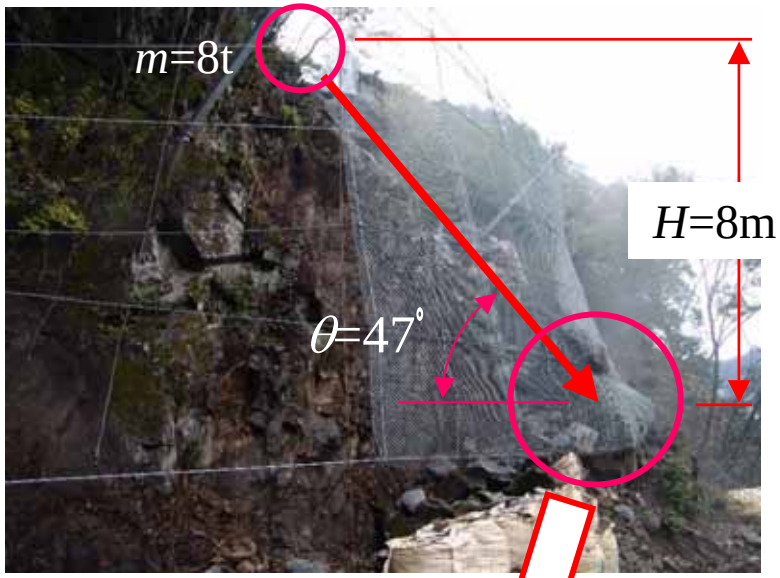
β = 0.1

$$\mu = \left(1-\frac{E}{mgH(1+\beta)}\right)\tan\theta$$



等価摩擦係数を0.35とすると150kJのエネルギーを吸収したことになるが、防護柵の性能は50kJ以下。
等価摩擦係数を0.6以上と考えるのが妥当。

落石の運動エネルギーも意外と小さい



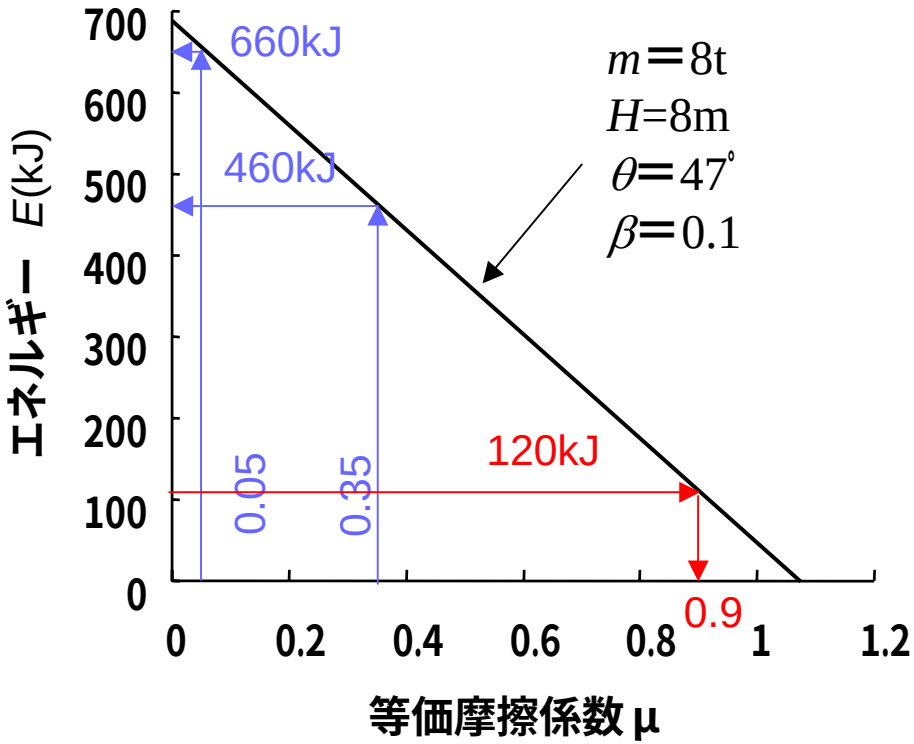
この防護ネットのエネルギー
吸収性能は120kJ程度

E=460～660kJ ？

$$E = mgH\left(1-\frac{\mu}{\tan\theta}\right)(1+\beta)$$

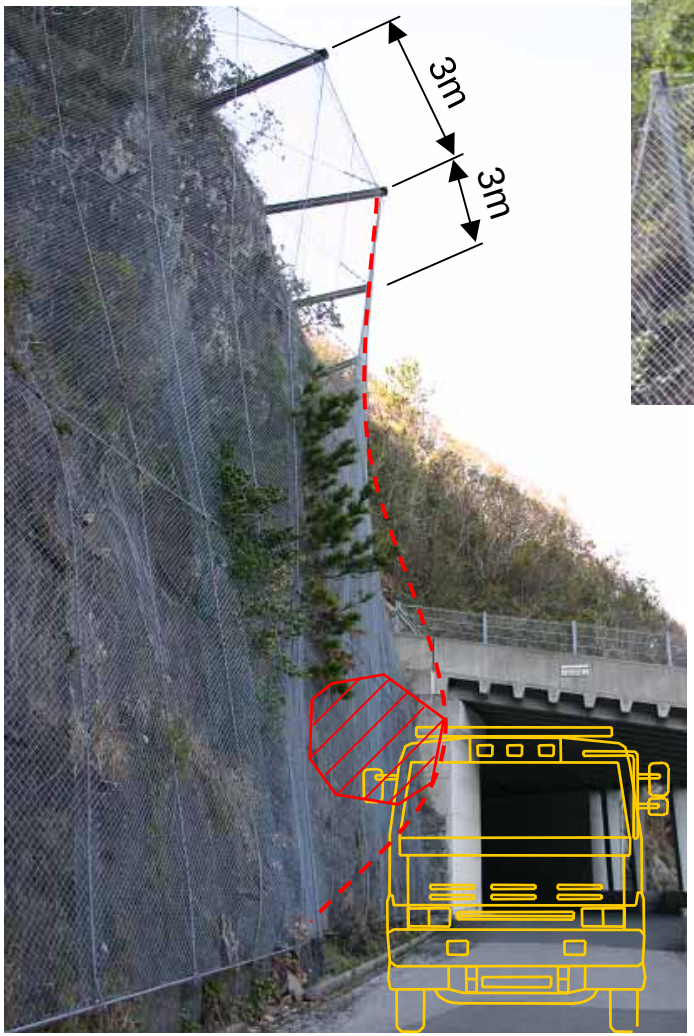
$\beta = 0.1$

落石対策便覧 μ =0.05～0.35



ポケット式落石防護ネットの問題点

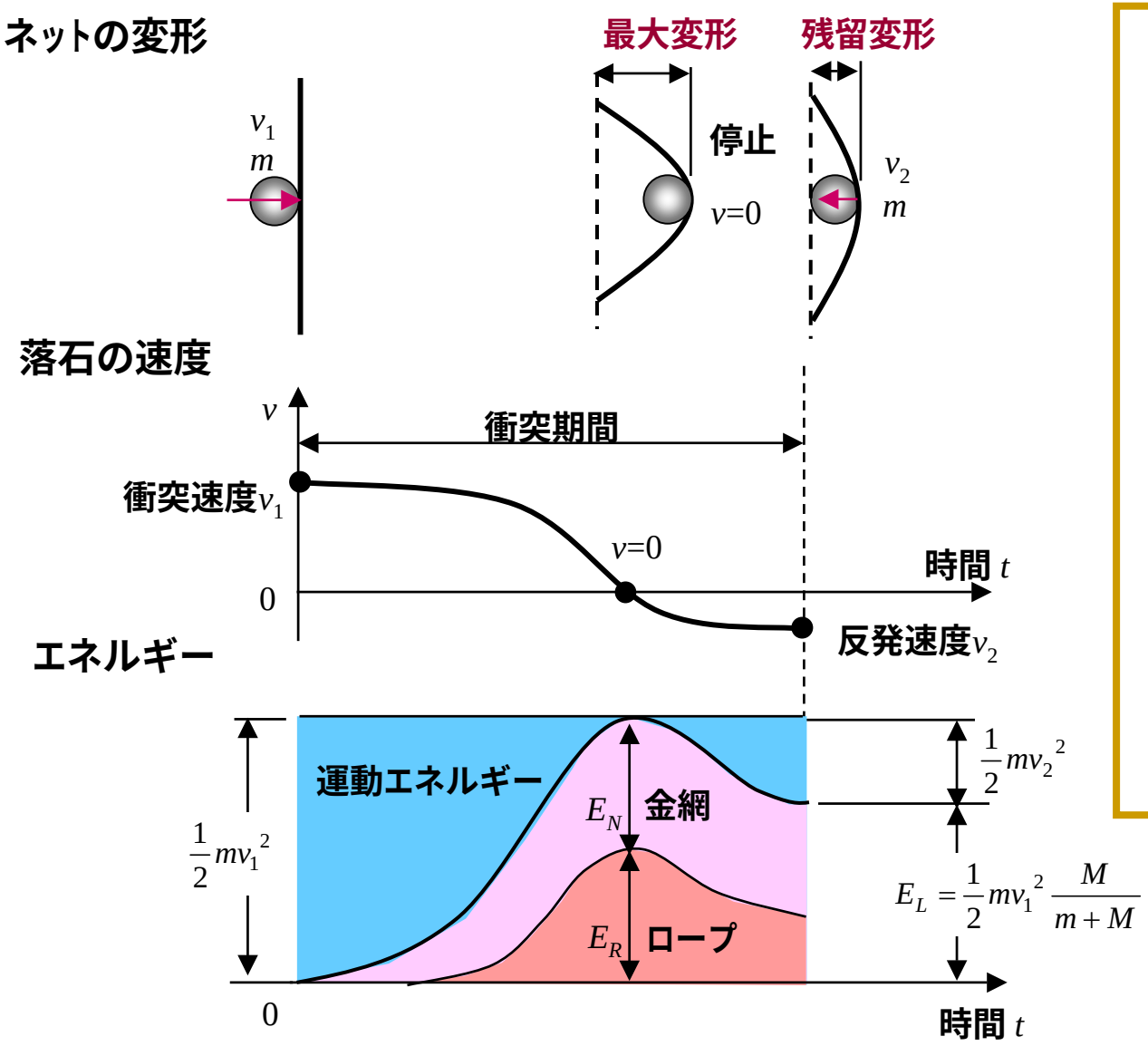
ネットの過大変形



金網の破網

吊りロープの破断、支柱の破損

ポケット式落石防護ネットの可能吸収エネルギー

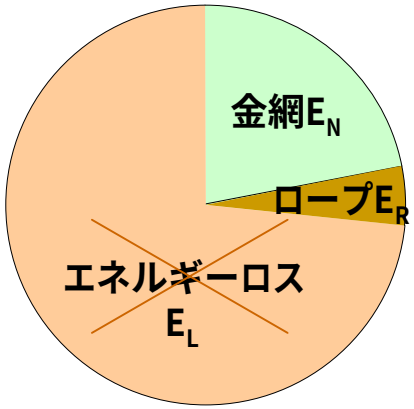


従来の設計の考え方
(道路土工指針から削除)

$$E_T = E_N + E_R + E_L$$

$$E_L = \frac{1}{2}mv_1^2 \frac{M}{m+M}$$

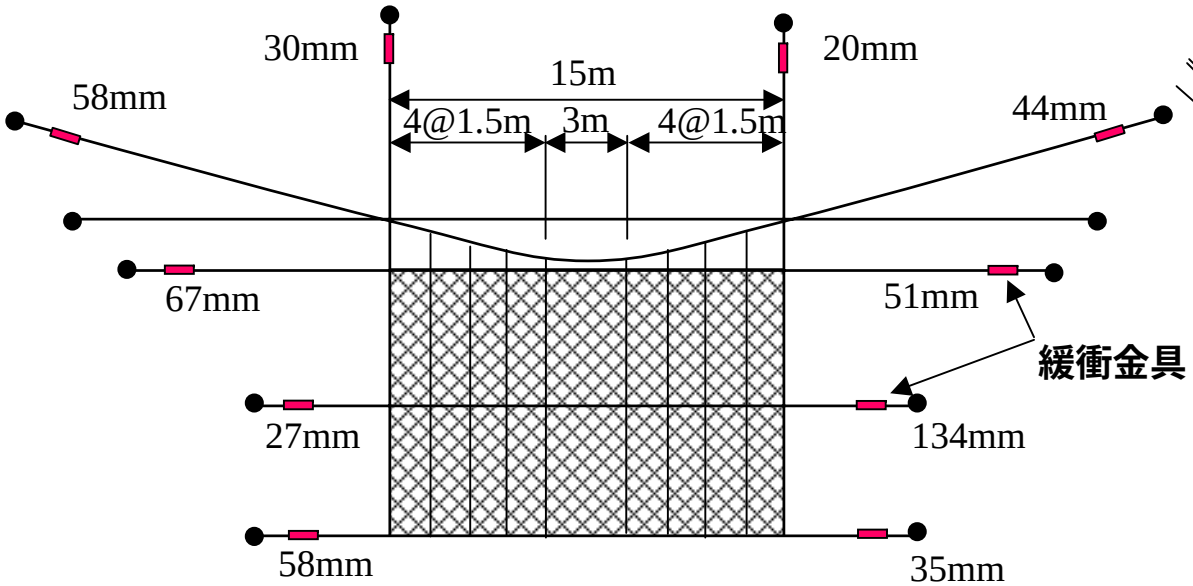
質点系の非弾性衝突

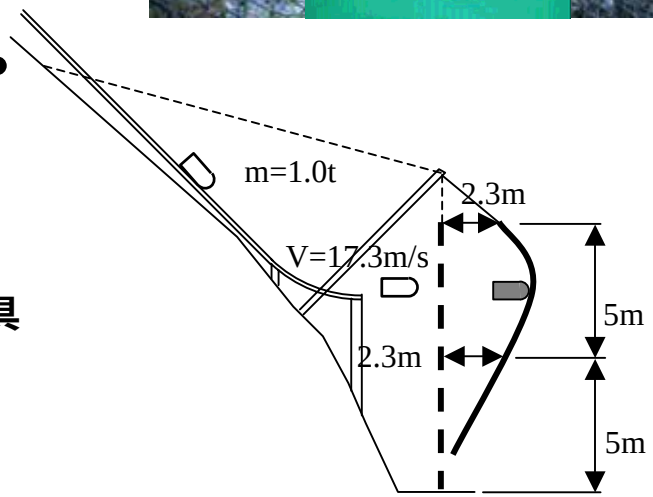


今後

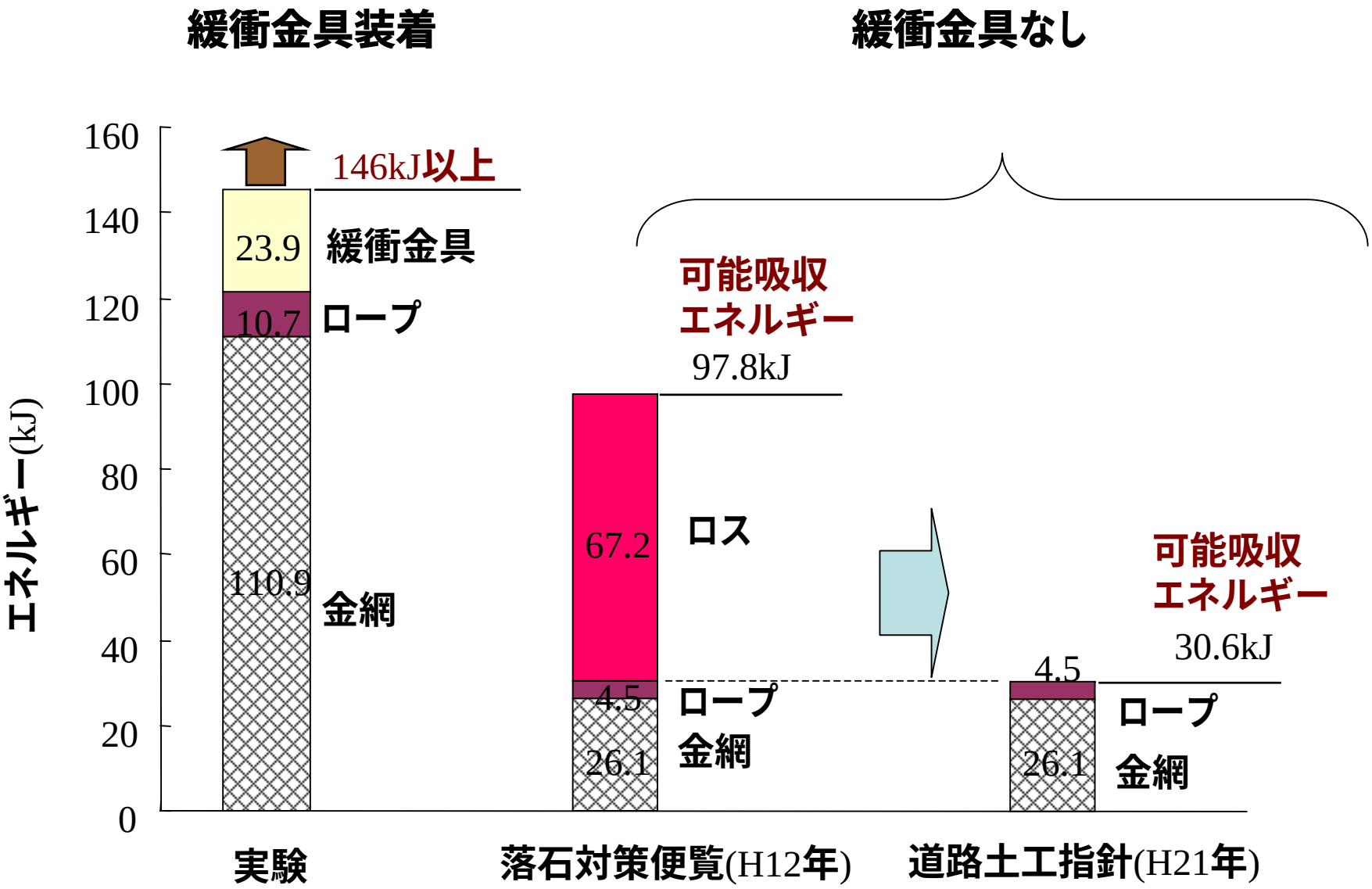
$$E_T = E_N + E_R$$

ポケット式落石防護ネットの現場実験

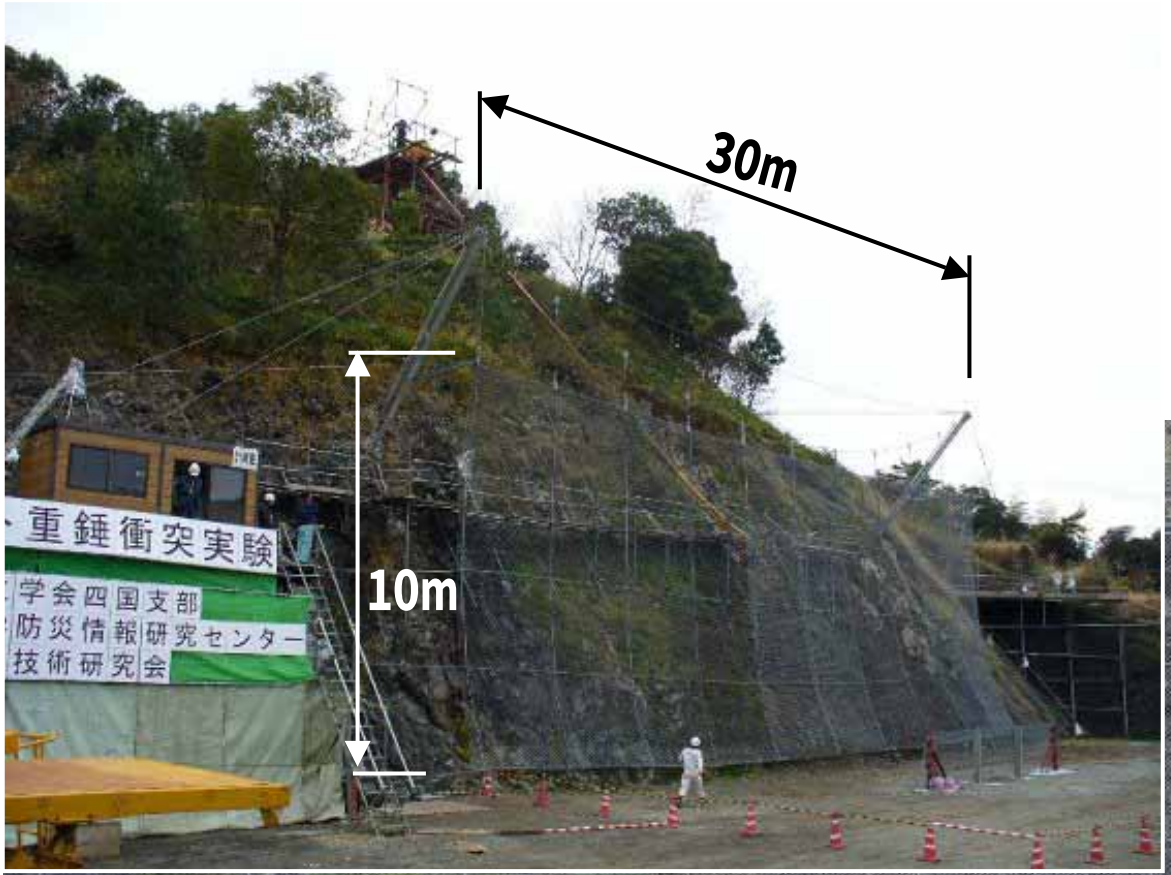




ポケット式落石防護ネットのエネルギー吸収性能



第3回目の公開実験　400kJに挑戦



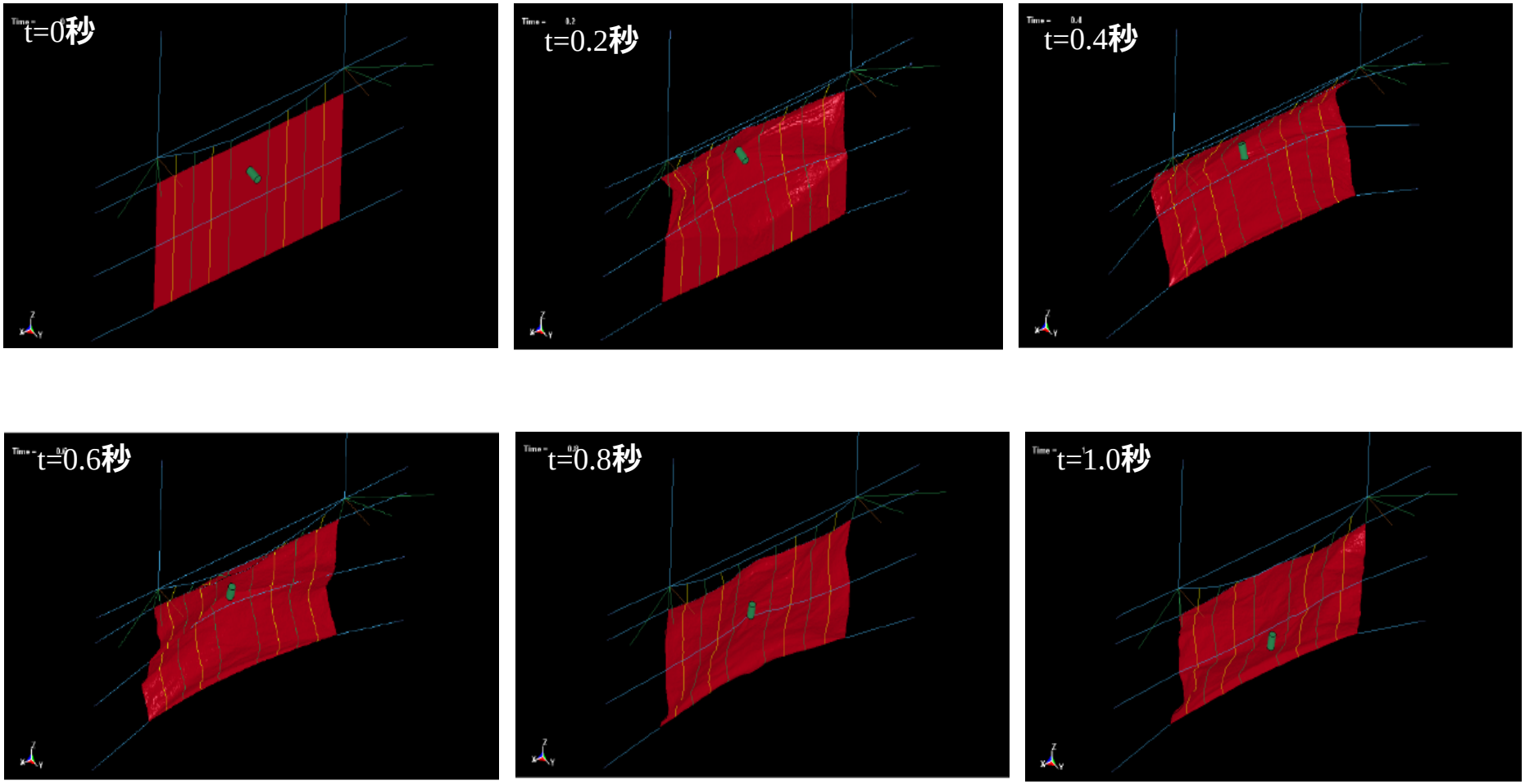
４００kJのコンクリート塊を受け止めた様子

緩衝金具(ダンパー)を適切に配置すれば400kJのエネルギー吸収も可能

４００kJのコンクリート塊の衝突と金網の変形

ネットは大きく変形、振動する

ポケット式落石防護ネットのLS-DYNAによる解析



愛媛大学　木下尚樹先生による

LS-DYNAによって現地実験を再現できる

ストンガードの構造的問題点　その1

端末支柱のウェブが局部破壊

引付棒のナットが過小

端末支柱と斜材の連結部の強度不足

連結ボルトが破断

ストンガードの構造的問題点　その2

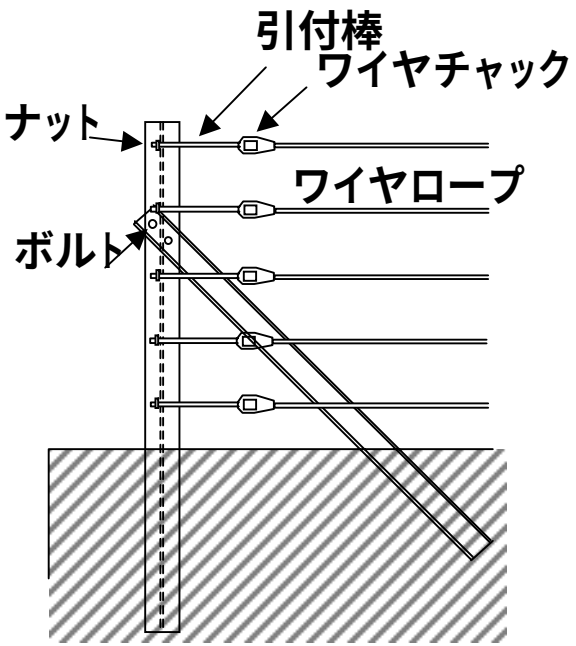
金網の破網　(可能吸収エネルギーは小さい)

ワイヤチャックは衝撃に弱い

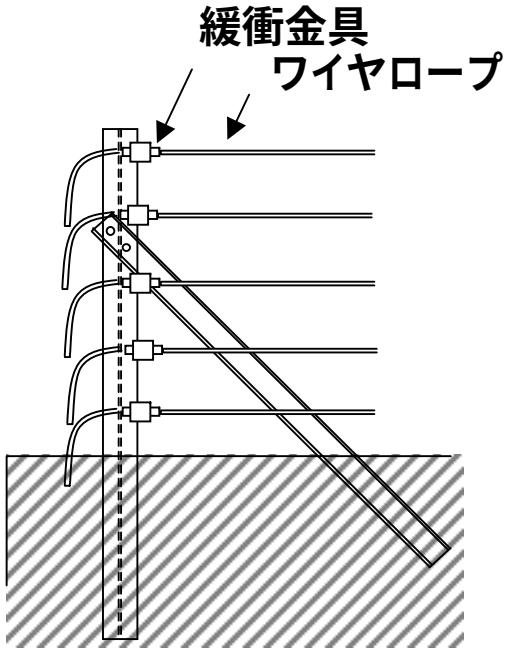
楔が緩んでロープが引き抜ける

中間支柱は座屈変形する

緩衝金具を付ければ性能が2～3倍に向上



現状の柵端部



改善後の柵端部のイメージ

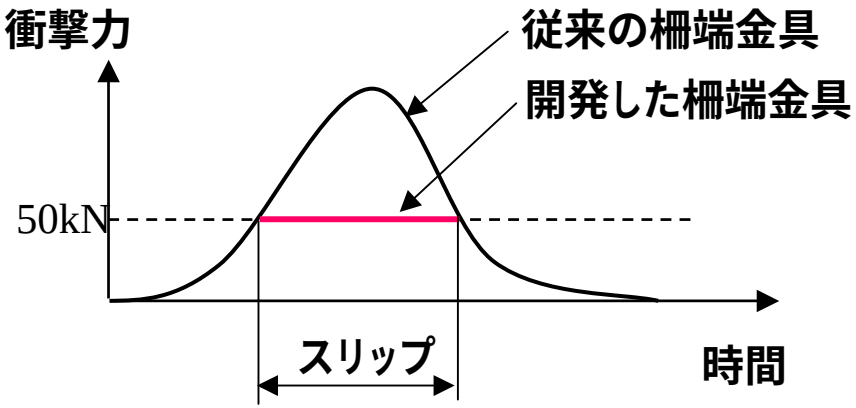
ワイヤチャック

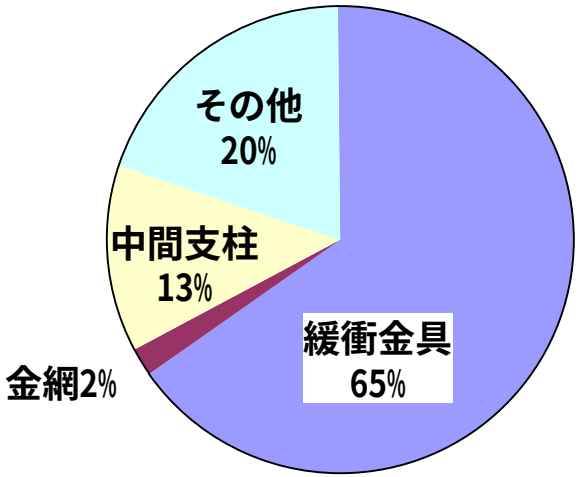
緩衝金具

１００kJの重錘を受け止めた

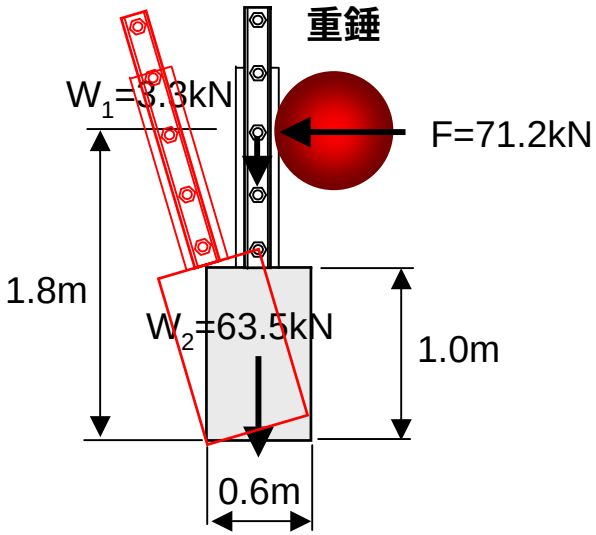
100kJの重錘を受け止めた

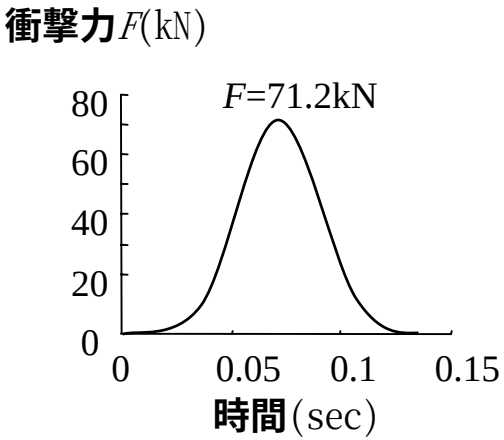
100kJの内訳





安全率が0.16でも基礎は転倒しない

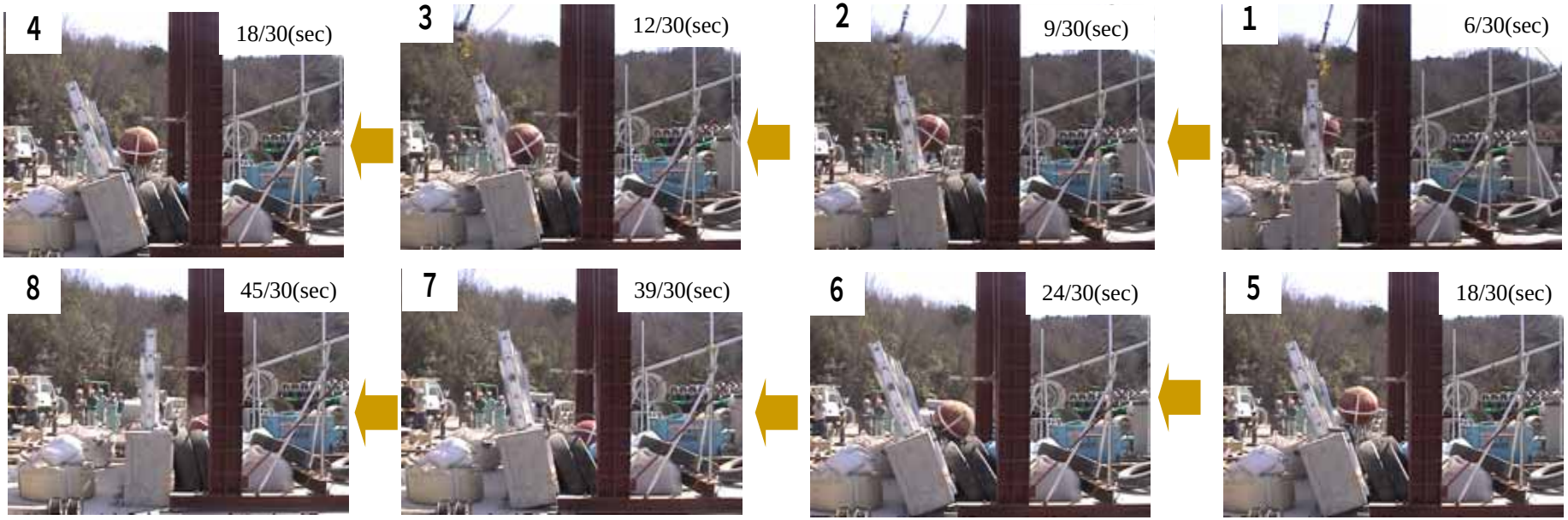




転倒の安全率

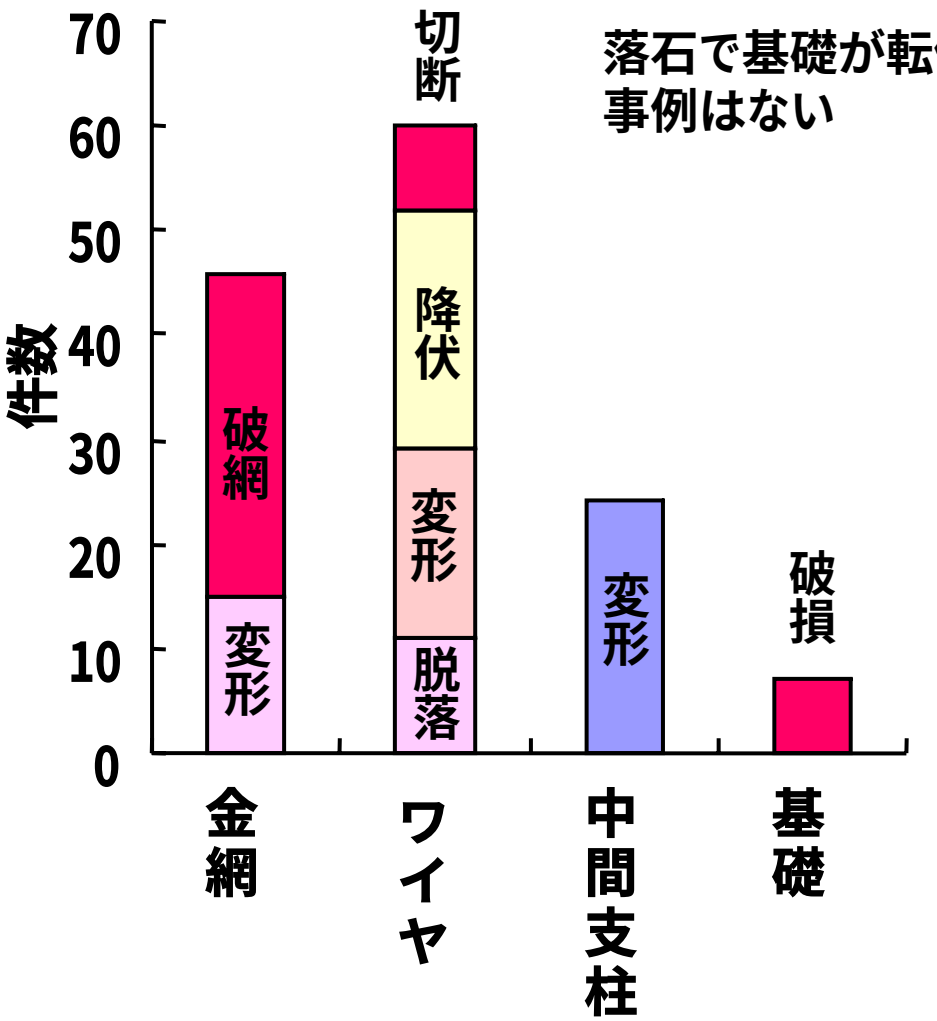
$$F_s = \frac{(3.3+63.5)\times 0.3}{71.2\times 1.8} = 0.16$$

転倒の安全率が1以下になれば回転運動を開始



ストンガードが損傷しても基礎は転倒しない

平成9年度落石に関する実態調査報告書 (土木研究所)



落石で基礎が転倒した事例はない

2001年芸予地震

1997年鹿児島県北西部地震

まとめ

1. 既存の落石防護工の可能吸収エネルギーは、現行の計算式で求められる値よりもかなり小さい(過大評価している)。
2. 落石の運動エネルギーも過大に予測していたので、結果オーライの設計になってっていた。
3. 落石防護工の可能吸収エネルギーは、落石の形状、質量、速度、衝突位置などによって異なる。製品に性能を表示する場合には、どのような条件で決められた値かを明記すべき。
4. 落石は衝撃荷重であるので、静的解析は不適。動的解析によって設計を行うべきである。
5. エネルギー吸収性能を向上させるには、緩衝金具(ダンパー)を装着するのが効果的。