

道路斜面の崩落に対する応急緊急対策技術の開発

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21～平 23

担当チーム：土砂管理研究グループ（地すべり）

研究担当者：武士俊也，千田容嗣，石田孝司

【要旨】

道路斜面が被災を受けた場合や道路法面工事などの際に用いられる仮設防護柵は、斜面からの落石や斜面崩落の規模等を考慮して設置されるものではない。そのため、斜面崩落等の災害時や切土工事等で斜面の緩みが進行し、結果として大規模な斜面崩落や地すべりが発生した場合、仮設防護柵はもとよりその脇を通行する車両等が被災する事例の報告もある。本研究では、仮設防護柵の適用範囲を明確にし、これを設置する際に考慮すべき事項等を整理するとともに、仮設防護柵を用いる斜面において大規模な斜面崩落や地すべりの前兆現象である落石や小崩落の発生を的確に検知し、フェールセーフの道路管理に資するシステム開発を行うことを目的としている。そのために、まずは実際に現場で用いられている仮設防護柵の部材や構造、土留材固定方法等の実態をアンケート調査により整理した。次いで、仮設防護柵が耐えうる落石規模を明確化した。一方で、落石や小崩落の発生を検知しその頻度変化を把握するシステムを開発した。また、仮設防護柵を設置しようとする斜面の点検手法を整理した。これらの検討結果を基に、仮設防護柵の設置手引き（試行案）を作成するとともに、仮設防護柵の適用範囲外の土砂崩れに対する道路管理手法について検討を行った。

キーワード：仮設防護柵、落石頻度変化、地すべり、斜面点検手法、落石検知システム

1. はじめに

道路斜面の災害対策時や道路法面工事などの際に飛散防止等の目的で多く用いられる仮設防護柵は、斜面からの大規模な落石や斜面崩落から通行車両を保護する目的で設置されるものではない。しかし、降雨や凍結融解、切土工事等により斜面の緩みが進行することで、結果として適用範囲外の規模の落石や斜面崩落が発生し、仮設防護柵脇の通行車両が被災する事例の報告¹⁾がある。そのため、仮設防護柵の適用範囲を明確にすると共に、適用範囲外の現象の前兆現象と考えられる、仮設防護柵が破壊しない程度の小規模な落石や崩落を精度良く検知し、通行車両が被災を受ける前に規制するなどのフェールセーフの道路管理手法の開発が求められている。

本研究は、仮設防護柵の適用範囲（適用条件）を明確にするとともに、仮設防護柵では対象としない規模の落石や斜面崩落の前兆となる落石や小規模崩落を的確に検知するためのシステム開発を行うことを目的としている。

平成 21 年度には、斜面崩落現象、及び落石検知センサの開発や適用に関連する文献収集と整理を行った。また、仮設防護柵を設置する際にどのような基準が用いられているかを調査するとともに、仮設防護柵の適用範囲について検討した。一方で、仮設防護柵用落石等検知シ

ステムの開発に向けて、落石等の振動波形を交通振動等と分離するために、仮設防護柵に加速度センサおよび速度センサを取り付けての振動波形把握のための現地実験を行った。

平成 22 年度には、仮設防護柵設置期間中に発生する落石や崩落を予め想定するための斜面点検手法について、施工企業からの聞き取りや斜面技術者の見方などを基にして整理した。また、仮設防護柵に落石が衝突した際の変形・破壊機構を把握するための実験計画に資するため、仮設防護柵の構造に関する実態調査を行った。このほか、平成 21 年度に現地実験を行った崩落検知システムの適用性等の確認を目的とした現場実証試験を行った。

2. 仮設防護柵の構造に関する実態調査

現場で施工されている仮設防護柵の構造や用いる部材の組み合わせ、土留材の接合方法等の実態を把握するために、(社)全国特定法面保護協会、および(社)斜面防災対策技術協会を通じて会員各社に対してアンケートを行い、その結果を整理した。

仮設防護柵に用いた支柱の材料を図-1 に示す。支柱として最も多く用いられていた部材は H300、次いで H200 であり、両者で全体の 7 割近くを占めた。また、支柱間

隔について図-2に示す。支柱間隔は2mのものが多かった。

次に、仮設防護柵に用いた横材の材料を図-3に示す。横材として最も多く用いられていた部材の材質は鋼矢板、次いで軽量鋼矢板であり、両者で6割を越えていた。支柱と横材の組み合わせは、鋼矢板 SP-II型に対してH200(10%)、H300(8%)、H350(3%)、また軽量鋼矢板LSP-IIではH300(8%)のみであった。

横材の固定方法を図-4に示す。固定方法は金具が最も多く、次いで溶接、はめ込みの順となった。

図-5は支柱と横材の固定に際して、固定強度を考慮して横材を固定しているか否かに関する結果を示す。ここでは固定強度を考慮していないという結果が大半を占めており、その理由としては、固定金具を使用していること、大きな落石等は対象としていないこと、仮設工作物であり固定されていれば良いと考えていることが挙げられていた。なお、図-6には溶接の場合で固定強度を考慮

した場合の決定根拠を示した。決定根拠としては、計算により決定が2件、現場代理人の判断が1件、設計書に記載が1件であった。

仮設防護柵の構造と部材規格の決定に際しては、想定される落石の位置と大きさから計算により衝撃エネルギーを計算して決定している場合があるほか、任意仮設の場合多くは発注者が保有する標準形式に準拠し、想定される落石や斜面状況に応じて使用部材の規格を決定している場合が多い。一方、横材の固定方法については決まりがなく、施工者によってまちまちであることがわかった。

2. 仮設防護柵の適用範囲

2.1 仮設防護柵の設計の考え方

仮設防護柵の設計に際して一般化された設計手法は存在しない。このような中、設計や構造に関して参考となる文献や資料を収集し、設計方法について検討を行った。

落石防護工には、エネルギー計算により設計する施設（ワイヤーやネットの伸びを利用した比較的柔軟な構造）と、落石による衝撃力を静的荷重に置き換えて設計する施設（ロックシェッド等比較的剛な構造物）に区分される。仮設防護柵の破壊形態は、支柱や横材等の節点が少なく剛性が小さいため、鋼材は曲げ破壊しやすいと考えられる。また種々の指針類ではいずれも曲げ降伏以降の塑性変形する時のエネルギー吸収量を算定し、対象とする落石エネルギーを上回るかどうかについて照査する方法を示している。このことを踏まえ、この検討ではエネルギー計算により照査することとした。

落石はその跳躍高で柵に直角に衝突するものとする。落石跳躍高は、一般に斜面に平行に2m以下とされており、また柵位置での跳躍高はのり尻部での平場の有無などを考慮して決定する（落石対策便覧より）。可能吸収エネルギーの算定に際しては、落石が仮設防護柵に衝突する位置によって破壊モードや破壊する場所、可能吸収エネルギー等が異なることが想定された。そこで、図-7に示す検討フローを作成し、これに基づいて検討を行った。また、基礎の設計については、落石が支柱に衝突する場合と横材中央に衝突する場合とでそれぞれ支柱1本に作用する水平力および曲げモーメントを考慮し、受働土圧のつりあいによる方法（落石対策技術マニュアル・落石止柵）によることとした。

2.2 設計例

支柱高5m、基部高さ0.2m、落石跳躍高3.333m、支

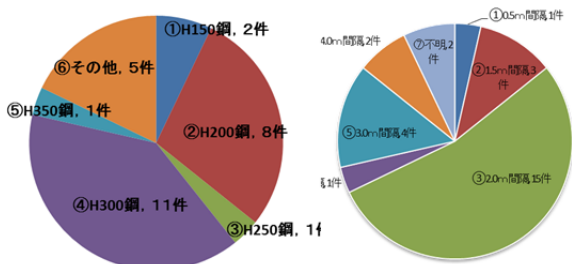


図-1 仮設防護柵に用いた支柱

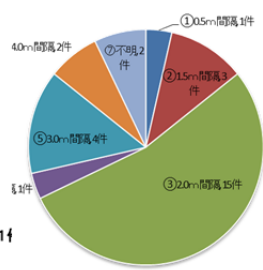


図-2 支柱間隔



図-3 仮設防護柵に用いた横材の材質

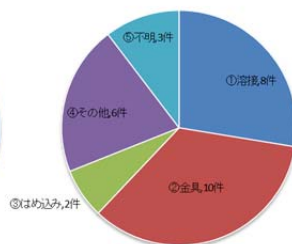


図-4 横材の固定方法

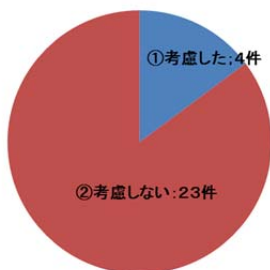


図-5 固定強度の考慮の有無

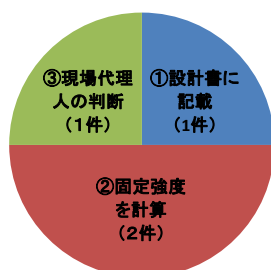


図-6 固定強度の決定根拠

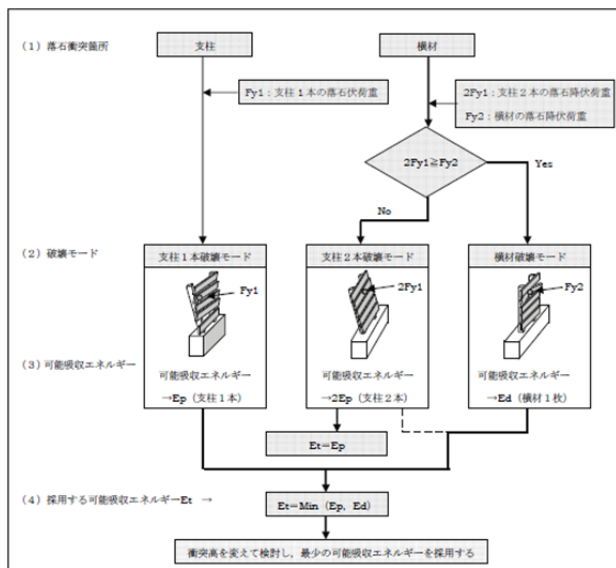


図7 可能吸収エネルギーの検討フロー

柱 H200, 横材 鋼矢板 SP-II型の場合の仮設防護柵の設計例を以下に示す。

2.2.1 地上部の検討

(1)仕様

- ①衝突高 ・ 落石跳躍高 h1 : 3.333m
- ・ 基部高さ h2 : 0.2m
- 横材幅 w=0.4m の中間に衝突すると仮定した
- ②柵高 ・ 支柱高 h : 5.00m
- ③支柱 ・ 規格 : H200
- ・ 断面係数(Z1) : 472cm³
- ・ 降伏点応力(σy1) : 245N/mm²
- ・ 支柱間隔(L) : 2.0m
- ・ 許容変位角(φ1) : 15° と仮定する。
- ④横材 ・ 規格 : 鋼矢板 SP-II型
- ・ 断面係数(Z2) : 152cm³
- ・ 降伏点応力(σy2) : 295N/mm²
- ・ 許容変位角(φ2) : 15° と仮定する。
- ・ 横材幅 (w) : 0.4m
- ⑤風荷重 ・ 風強度 (p) : 0.002N/mm²

(2)破壊モードの判定

①落石衝突高さ h1=3.333m の場合

横材衝突時の可能吸収エネルギーについて検討する。

(i) 支柱 1 本破壊モード Fy1 , および支柱 2 本破壊モード 2Fy1

$$Fy1 = \sigma y1 \times Z1 / h1 - 3/4 \times p \times L \times h \quad \dots (式 2.1)$$

ただし>0 であること

$$= 245 \times (472 \times 10^3) / 3333 - 3/4 \times 0.002 \times 2000 \times 5000$$

$$= 19695 (N) = 19.7 (kN)$$

$$2Fy1 = 2 \times 19.7 = 39.4 (kN)$$

(ii) 横材破壊モード Fy2

$$Fy2 = 4 \times \sigma y2 \times z2 / L - 1/2 \times p \times w \times L \quad \dots (式 2.2)$$

$$= 4 \times 295 \times (152 \times 10^3) / 2000 - 1/2 \times 0.002 \times 400 \times 2000$$

$$= 88880 (N) \approx 88.9 (kN)$$

(iii) 破壊モード判定

支柱 2 本破壊モード 2Fy1 と横材破壊モード Fy2 の比較する

$$2 \cdot Fy1 (39.4kN) \leq Fy2 (88.9kN)$$

したがって、支柱 2 本破壊モードとなる。

(iv) 可能吸収エネルギー

●支柱 2 本破壊モードの可能吸収エネルギー

支柱 2 本破壊モードとなる場合は、支柱 1 本破壊モードの可能吸収エネルギーを採用する。

$$Ep = Fy1 \times \delta 1 \quad \dots (式 2.3)$$

$$= 19.7 \times (3.333 \times \tan 15^\circ) \approx 17.6kJ$$

δ 1 : 支柱の変位量 (=h1×tan φ 1), (φ 1=15°)

●仮採用する可能吸収エネルギー

落石衝突高さ h1=3.333m では、支柱 1 本の可能吸収エネルギー Ep=17.6kJ が仮採用される。

②落石衝突高さ h2=0.200m の場合

横材衝突時の可能吸収エネルギーについて検討する。

(i) 支柱 1 本破壊モード Fy1 , および支柱 2 本破壊モード 2Fy1

$$Fy1 = \sigma y1 \times Z1 / h1 - 3/4 \times p \times L \times h \quad \dots (式 2.4)$$

ただし>0 であること

$$= 245 \times (472 \times 10^3) / 200 - 3/4 \times 0.002 \times 2000 \times 5000$$

$$= 563200 (N) = 563.2 (kN)$$

$$2Fy1 = 2 \times 563.2 = 1126.4 (kN)$$

(ii) 横材破壊モード Fy2

$$Fy2 = 4 \times \sigma y2 \times z2 / L - 1/2 \times p \times w \times L \quad \dots (式 2.5)$$

$$= 4 \times 295 \times (152 \times 10^3) / 2000 - 1/2 \times 0.002 \times 400 \times 2000$$

$$= 88880 (N) \approx 88.9 (kN)$$

(iii) 破壊モード判定

支柱 2 本破壊モード 2Fy1 と横材破壊モード Fy2 の比

較する,

$$2 \cdot Fy1 (1126.4kN) \geq Fy2 (88.9kN)$$

したがって、横材破壊モードとなる。

(iv) 可能吸収エネルギー、

●横材破壊モードの可能吸収エネルギー Ed

$$Ed = Fy2 \times \delta 2 \dots \dots \dots (式 2.6)$$

$$= 88.9 \times (1/2 \times 2.0 \times \tan (15/2))$$

$$= 11.7 kJ$$

$\delta 2$: 横材の変位量 $= 1/2 \times L \times \tan (\phi 2/2)$, ($\phi 2=15^\circ$)

●支柱1本破壊モードの可能吸収エネルギー Ep

$$Ep = Fy1 \times \delta 1 \dots \dots \dots (式 4.6.7)$$

$$= 563.20 \times (0.200 \times \tan 15^\circ)$$

$$\approx 30.2 kJ$$

$\delta 1$: 支柱の変位量 $(=h1 \times \tan \phi 1)$, ($\phi 1=15^\circ$)

●仮採用する可能吸収エネルギー

$$Et' = \text{Min} (Ed, Ep) = \text{Min} (11.70, 30.18)$$

$$= 11.7 kJ$$

したがって、落石衝突高さ $h1=0.200m$ では、横材の可能吸収エネルギー $Ed=11.70kJ$ が仮採用される。

③仮設防護柵全体で採用する最少の可能吸収エネルギー $h1=3.333m$ では支柱1本破壊モードの $Ep=17.6kJ$ となり、 $h2=0.200m$ では横材破壊モードの $Ed=11.7kJ$ となる。

したがって、仮設防護柵全体では横材破壊型を採用し、 $Et=Ed=11.7kJ$ となる。

2.2.2 基礎部の検討

横材破壊モードである場合の基礎天端に作用する外力は次のとおりである。

なお横材破壊であるため、水平力は衝突高に関係なく一定であるが、曲げモーメントは衝突高が高い方が基礎に作用する曲げモーメントが大きくなるため、落石の衝突高は跳躍高で検討する。

支柱1本に作用する水平力(H1)

$$H1 = \{Fy2 + p \times 2 \times L \times h\} / 2 (N) \dots \dots \dots (式 2.8)$$

$$= (88880 + 0.002 \times 2000 \times 5000) / 2$$

$$= 55440 (N)$$

$$= 54.4 (kN)$$

支柱1本に作用する曲げモーメント (M1')

$$M1' = \{Fy2 \times h1 + p \times 2 \times L \times h2 \times 1/2\} / 2 \dots \dots (式 2.9)$$

$$= (88880 \times 3333 + 0.002 \times 2 \times 2000 \times 5000 \times 1/2) / 2$$

$$= 198118520 (N \cdot mm)$$

$$= 198.1 (kN \cdot m)$$

(1)安定計算

(i) 基礎形状

上部工の形状および地盤条件は、以下の条件とする。

◎上部工

形状 : H200+SP II $h=5.00m$ $L=2.00m$

水平力 : $H2=54.4kN$

モーメント : $M2' = 198.1kN \cdot m$

◎基礎工

形状 : 連続基礎 コンクリート形状

基礎幅 : $B=1.0m$

◎地盤条件

土砂地盤 : $\phi=35^\circ$, $c=0kN/m^2$, $\gamma s=20kN/m^3$, $\mu=0.6$ $qa=450kN/m^2$

(ii) 安定計算手法

(a)基礎前面、背面の受働土圧係数($Kp1, Kp2$)の計算

$$Kp = \cos 2\phi / [1 - \sqrt{\sin \phi \times \sin (\phi + \beta)}] / \cos \beta \dots \dots \dots (式 2.10)$$

$$= \cos 235 / [1 - \sqrt{\sin 35 \times \sin (35 + 0)}] / \cos 0$$

$$= 3.69$$

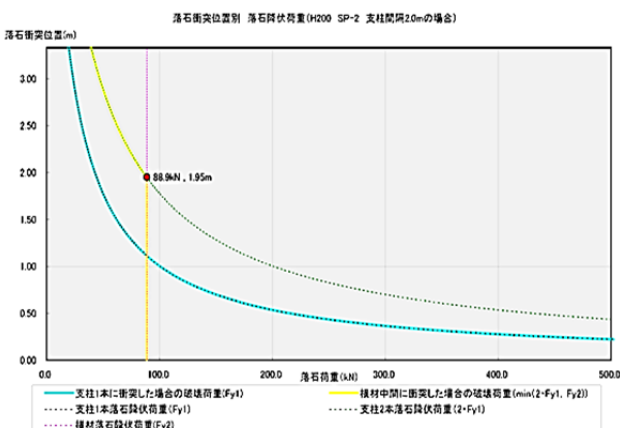


図-8 落石衝突位置別 落石降伏荷重の一例
(支柱 H200, 柵高 h=5.0m, 横材 SP-II, etc L=2.0m)

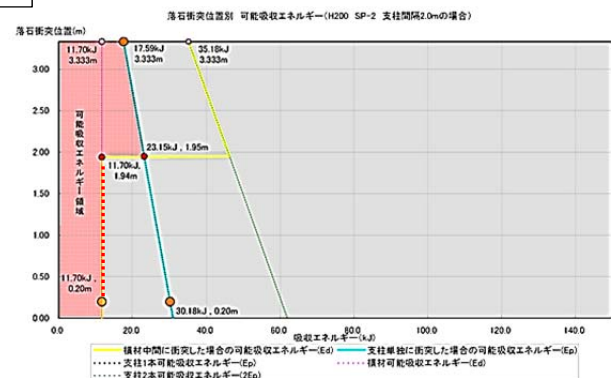


図-9 落石衝突位置別 可能吸収エネルギーの一例
(支柱 H200, 柵高 h=5.0m, 横材 SP-II, etc L=2.0m)

図の取り寄せ中

β : 地表面の傾斜 (ここでは 0° とした)

(b)受働土圧における粘性土の自立高さ(Z)の計算

$$Z = (2 \times c / \gamma_s) \times \tan(45 - \phi/2) \dots\dots\dots (式 2.11)$$

$$= (2 \times 0 / 20) \times \tan(45 - 35/2)$$

$$= 0.00(m)$$

c : 粘着力

ϕ : 内部摩擦角 ($^\circ$)

γ_s : 支持地盤の単位体積重量

(c)基礎底面の鉛直反力(Rb)の計算

基礎の有効長 (Le)

支柱や上下の横材が連結していないことを考慮し、支柱の有効長は支柱間隔程度とした。

$$L_e = \varepsilon \times L \dots\dots\dots (式 2.12)$$

$$= 1.0 \times 2.0$$

$$= 2.0m$$

ε : 基礎の有効係数 (1.0)

L : 支柱間隔

鉛直反力 (Rb)

$$R_b = N$$

$$= \gamma_c \times B \times L_e \times D_f \dots\dots\dots (式 2.13)$$

$$= 23 \times 1.0 \times 2.0 \times D_f$$

N : 基礎自重

γ_c : 基礎コンクリートの単位体積重量(23kN/m³)

B : 基礎幅

Le : 基礎の有効長

Df : 根入れ長

偏心量 (e)

$$e = B/2 \dots\dots\dots (式 2.14)$$

$$= 1.00 / 2$$

$$= 0.5m$$

B : 基礎幅

(d)基礎底面の水平反力(Pb)の計算

$$P_b = R_b \times \tan \delta \dots\dots\dots (式 2.15)$$

$$= (\gamma_c \times B \times L_e \times D_f) \times \tan \delta$$

Rb : 鉛直反力

γ_c : 基礎コンクリートの単位体積重量

B : 基礎幅

Le : 基礎の有効長

Df : 根入れ長

δ : 底面と地盤の摩擦角($^\circ$)

(e)必要根入れ長(Df)の計算

水平力の釣り合いから、次式が成立する。

$$H \cdot P_p1 + P_p2 + P_b = 0 \dots\dots\dots (式 2.16)$$

基礎前面, 背面の受働土圧合力(Pp1,Pp2)は次式より求める

基礎前面の天端における受働土圧強度

$$P_1 = \gamma_s \times Z \times K_{p1} \dots\dots\dots (式 2.17)$$

基礎前面の根入れL0における受働土圧強度

$$P_2 = \gamma_s \times (Z + L_0) \times K_{p1} \dots\dots\dots (式 2.18)$$

基礎前面の受働土圧合力

$$P_{p1} = 1/2 \times \gamma_s \times (p_1 + p_2) \times L_0 \times L_e \dots\dots\dots (式 2.19)$$

$$= 1/2 \times \gamma_s \times (2 \times Z + L_0) \times L_0 \times K_{p1} \times L_e$$

基礎背面の根入れL0における受働土圧強度

$$P_3 = \gamma_s \times (Z + L_0) \times K_{p2} \dots\dots\dots (式 2.20)$$

基礎背面の根入れDfにおける受働土圧強度

$$P_4 = \gamma_s \times (Z + D_f) \times K_{p2} \dots\dots\dots (式 2.21)$$

基礎背面の受働土圧合力

$$P_{p2} = 1/2 \times \gamma_s \times (p_3 + p_4) \times (D_f - L_0) \times L_e \dots\dots\dots (式 2.22)$$

$$= 1/2 \times \gamma_s \times (2 \times Z + L_0 + D_f) \times (D_f - L_0) \times K_{p2} \times L_e$$

(式 2.17) に (式 2.15), (式 2.19) および (式 2.22)

を代入して整理し, L0に関する方程式を解いて

L0

$$= Z + Z^2 + K_{p2} / (K_{p1} + K_{p2}) \times (D_f + 2 \times Z) \times D_f + 2 \times (H + P_b) / \{ \gamma_s \times L_e (K_{p1} + K_{p2}) \} \dots\dots\dots (式 2.23)$$

$$\dots\dots\dots (式 2.23)$$

Kp1, kp2 : 基礎前面, 背面における受働土圧係数

z : 粘性土の自立高さ

Df : 基礎の根入れ長

L0 : 基礎天端から回転中心 (0点) までの深さ

Le : 基礎の有効長(m)

γ_s : 支持地盤の単位体積重量

(f)転倒に対するモーメントの安全率計算

O点における転倒モーメント(Mo)と抵抗モーメント(Mr)から安全率(Fs)を求める。

転倒モーメント (M0)

$$M_o = M + H \times L_0 \dots\dots\dots (式 2.24)$$

M : 曲げモーメント

H : 水平力

L0 : 基礎天端から回転中心 (0点) までの深さ

抵抗モーメント (Mr)

$$M_r = 1/6 \times \gamma_s \times L_e \{ K_{p1} (L_0 + 3Z) L_0^2 + K_{p2} (L_0 + 2D_f + 3Z) (D_f - L_0)^2 \}$$

$$+ 1/2 \times R_b \times B + P_b \times (D_f - L_0) \dots\dots\dots (式 2.25)$$

γ_s : 支持地盤の単位体積重量

Le : 基礎の有効長(m)

Kp1, kp2 : 基礎前面, 背面における受働土圧係数

z : 粘性土の自立高さ

L0 : 基礎天端から回転中心 (0点) までの深さ

Df : 基礎の根入れ長
 Rb : 鉛直反力
 B : 基礎幅
 Pb : 基礎底面の水平反力

安全率

$$F_s = M_r / M_o \dots\dots\dots (式 2.26)$$

Mr : 抵抗モーメント

M0 : 転倒モーメント

(式 2.23) において Df を仮定して L0 を求める。

次に、(式 2.26) により、安全率 Fs を計算する。

このとき、安全率 $F_s \geq 1.2$ となる Df を 試行計算により求める。

(計算結果)

基礎の根入れ必要長の計算結果を以下に示す。

表-1 基礎必要根入れ長の計算結果

必要根入れ長 Df (m)	回転中心 深さ L ₀ (m)	基礎底面 鉛直反力 Rb (kN)	基礎底面 水平反力 Pb (kN)	転倒 モーメント Mo (kN・m)	抵抗 モーメント Mr (kN・m)	安全率 Fs=M _r /M _o
2.70	2.145	124.20	86.97	314.89	410.32	1.30

※ Df は 10cm ラウンドとした。

3. 斜面調査・点検手法について

3.1 実態調査

3.1.1 調査方法

仮設防護柵設置前の斜面調査・点検方法に関する実態把握、および仮設防護柵の構造に関する実態把握のためのアンケート調査を実施した。調査にあたり、(社)全国特定法面保護協会、及び(社)斜面防災対策技術協会の協力を得て、協会連絡網(電子メール)を通じて各会員各社(設計者、施工者)に依頼を行った。回答は総数 37 回答であった。また、仮設防護柵を設置しての斜面工事の施工実績を有する 6 社を対象として聞き取り調査を実施した。これらの結果を以下に示す。

3.1.2 調査結果

(1) 仮設防護柵設置前の調査・点検手法

ここでは、施工者が仮設防護柵を設置する前にどのように斜面を点検しているかに関する調査結果について整理した結果の一部を以下に記す。

落石の判断に際しては、地表踏査により斜面に存在する不安定な浮石や転石を特定し、斜面形状などから落石エネルギーを推定できるデータを把握している場合が多かったほか、落下経路を把握するための地形測量を併用している場合もあった。ただし、少数ではあるが、道路からの目視で済ませている場合や、仮設ということから斜面調査・点検を実施していないという回答も見られた。浮石や転石が落石に発展する危険性の判断手法としては、

比較的新しい落石発生履歴や先駆的な小規模の落石の発生などが確認された場合に危険と判断する、或いは落石対策便覧などを参考として不安定な状態の浮石・転石の確認を行うという回答が多かった。このほかには、斜面やのり面の比高が高く勾配が急な場合や、法面・斜面に露岩が認められる場合、浮石・転石の規模が大きい場合に危険と判断するという回答もあった。

斜面崩落の判断に際しては、踏査により亀裂や段差などの微地形や地質・土質の分布状況を確認するといった回答が多かった。その他としては崩土の分布などを参考に、或いは空中写真判読結果を参考にするといった回答もあった。危険性の判断手法としては、新しい段差地形や引張亀裂、滑落崖の存在を確認した場合や、樹木の傾倒、湧水や湧水跡を求める場合などが挙げられていた。

(2) 調査・点検結果への対応

適切な調査・点検を実施し、その結果、危険と認められる浮石や転石が認められ、想定される落石エネルギーに対して仮設防護柵では対応できないと判断される場合には、固定や小割り除去、仮設防護ネット設置などの発生源対策を行う、或いは計測器を用いた日常管理を行うと回答した会社がある一方で、適切な調査・点検を実施していないため、適切な処置をせずに仮設防護柵を設置している例も見られた。また、仮設防護柵の規格決定に関して、「仮設防護柵の H 鋼の規格はダウンザホールハンマー等の削孔機の規格で決まる中、最大径は 500~550mm であるため、独立基礎で設置可能な H300 程度までとなる。そのため、想定される落石に合わせて H 鋼の規格を上げることは実際にほとんど行わない」との意見もあった。

その他特記すべき意見として、「施工者は道路防災点検結果や調査・設計時の報告書の内容を知らない場合がある。施工者がこれらの内容を把握しておくことで施工中の安全管理に役立つ場合も多い」とする意見があった。

(3) 斜面調査・点検後に発生した落石や斜面崩落

斜面調査・点検後に落石が発生した場合、その多くは調査・点検の際に特定した位置から発生したが、特定していなかった位置から発生した場合も 1/3 程度みられた。斜面調査・点検時に落石を見落とさないためのポイントとして挙げられた主要な意見を以下に示す。

- ・豪雨や凍結融解の影響を予測しながら観察する。
- ・斜面下部の地形と硬度を確認した上で跳躍の可能性を考える。
- ・周辺に生息する動物(イノシシ等)の生態を考慮する。
- ・点検範囲に関して、上方(尾根まで)、側方(地形を見

て十分に)に注意する。

- ・安定性の評価は、確認した時点からの時間の経緯とともに変化することを念頭に置く。

前記したように、落石については多くは特定した位置から発生していたが、斜面崩落の場合、多くは当初特定しなかった現象が発生していた。斜面調査・点検時に斜面崩落を見落とさないためのポイントとして挙げられた主要な意見を以下に示す。

- ・斜面表層の状況をより詳細に把握する。
- ・調査の結果斜面が不安定化する可能性があるかと判断された場合には追加でボーリング調査を行う必要がある。
- ・本工事の施工中にも専門技術者を配置して法面の安定性を把握すべきである。
- ・湧水がある場合には水抜きも必要である。

3.2 仮設防護柵設置に先立つ斜面調査・点検手法(案)

斜面・法面の恒久対策工は、詳細調査により把握した斜面や落石の安定度や規模に応じて、様々な工法を組み合わせた効率的・効果的な設計と施工がなされる。一方で仮設防護柵は、設計時の仮設の項目として、詳細調査や対策工法および路線の重要性から、また斜面災害時には不安定岩塊の状況などから構造や延長が検討される。ここでは、前記したアンケート調査結果や聞き取り調査結果、また我々の斜面調査ノウハウ等を反映させ、仮設防護柵設置予定箇所位置する斜面において想定される現象を把握するために、斜面調査・点検手法(案)として整理した。その内容を抜粋して以下に記す。

図-10には、落石が懸念される箇所における仮設防護柵設置フロー(案)を示す。仮設防護柵より谷側の通行者に被害を及ぼす程度の現象が発生するかどうかを判断することが重要であり、その点検ポイントを抜粋して示す。

図-11には浮石・転石の安定度評価の例を示す。このような形でビジュアルに実例を示すことにより、現場担

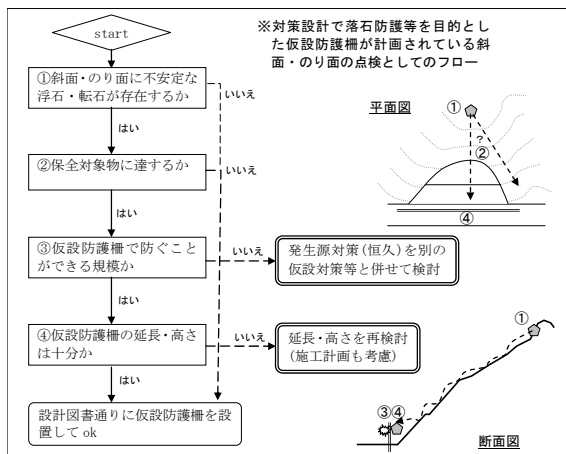


図-10 落石が懸念される箇所における仮設防護柵設置フロー(案)

当者が浮石や転石の危険度を評価する際の目安を分かりやすく示した。なお安定度は落石対策便覧に準じた1~5の5段階評価とし、数値が大きいほど安定状態にある。

次に、仮設防護柵により防護が可能な落石の大きさと位置の目安を把握するため、落石対策便覧を参考として算出を行った。検討結果を図-12に示す。ここでは、仮設防護柵の部材の組み合わせとして多かったパターンとして、鋼材H300と鋼矢板Ⅲ型を組み合わせたパターン①、鋼材H200と鋼矢板Ⅱ型を組み合わせたパターン②、鋼矢板H200と木矢板を組み合わせたパターン③を検討対象とし、斜面傾斜角と落石発生源までの比高差の関係を落石径毎にグラフ化した。なお検討に際しては支柱間隔を2mとしたほか、落石衝突位置は支柱に比べて降伏荷重が小さな横材の中央に衝突することを想定し、横材の部材単体として計算を行った。仮設防護柵の部材が降伏点に至ることなく機能できる落石の目安はその位置(比高差)や斜面傾斜角によって異なるが、仮設防護柵が破壊せず耐えられる落石径は、H300に対して多く用いられているⅢ型鋼矢板でφ30cm、斜面勾配が急な場合は落石位置が5m程度までしか機能しないなどのことがわかる。この図-12は、現場において早見表として活用することを想定している。



図-11 浮石・転石の安定度評価の例

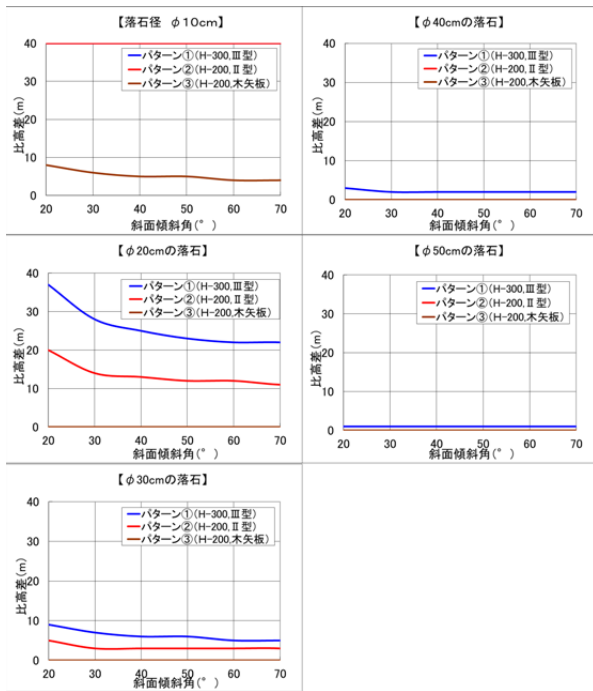


図-12 落石に対する仮設防護柵適用に際しての早見表

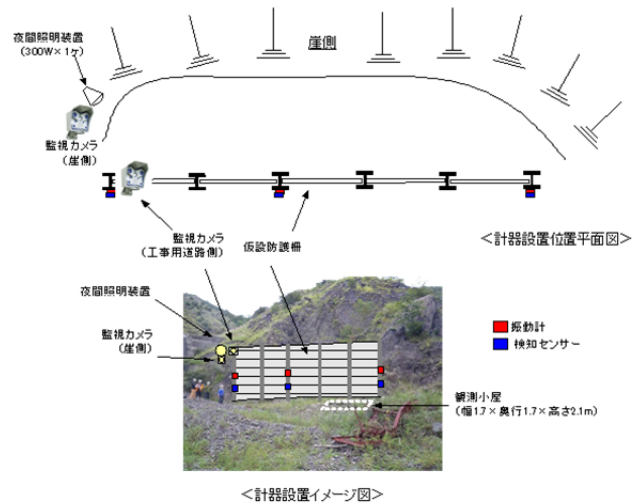


図-13 仮設防護柵における検知センサ等の配置図



写真-1 対象斜面と仮設防護柵

写真-2 支柱に設置したセンサ

4. 落石検知システムの開発

4.1 概要

本研究の中では、大規模な落石や岩盤崩落、斜面崩落の前兆現象として発生する落石を仮設防護柵に設置するセンサにより捉え、その情報を道路管理者や道路ユーザーに伝えるためのシステム開発をひとつの目標としている。平成 21 年度には速度センサおよび加速度センサの 2 種類を用い、土木研究所構内および 2 箇所の仮設防護柵設置現場における現地実験を通して、落石による振動波形の特性や、落石衝突位置からの離隔距離による振動の減衰特性などを把握したほか、落石と道路交通など落石以外の振動との分離方法について検討を行うための基礎実験を実施した。これを受けて平成 22 年度は、落石が想定される斜面下部に仮設防護柵（鋼矢板タイプ）を設置し、約 5 ヶ月間の現場実証試験を通じて落石検知システムの適用性等について検証した。

4.2 現場実証試験の方法

現場実証試験は、平成 22 年 12 月 8 日より開始し、平成 23 年 4 月下旬まで、国土交通省関東地方整備局渡良瀬川河川事務所の砂防事業実施区域内（栃木県日光市足尾町）で実施した。落石が想定された斜面の脚部に軽量鋼矢板を横材とする 5 スパンの仮設防護柵を施工し、ここに落石検知センサおよび検出システムを設置した。検知センサ等の配置図を図-13 に、対象斜面と施工した仮設防護柵を写真-1 に、仮設防護柵に設置した落石検知セ

表-2 現場実証試験に用いた仮設防護柵の仕様

項目	規格
延長	10.0m(2m×5スパン)
地上高さ	4.0m
支柱	H形鋼 150×150×7×10
横材	軽量鋼矢板 LSP-I 型 板厚t=4mm

ンサを写真-2 に示す。また、施工した仮設防護柵の仕様を表-2 に示す。崩落検知センサは、速度型崩落検知センサ、加速度型崩落検知センサそれぞれ、仮設防護柵の両端の支柱、および端から 2 スパン離れた支柱の計 3 箇所の支柱に取り付けた。

現場実証試験に際しては、センサが感知した現象が落石か否かを判別するために、仮設防護柵脇にマイク付きカメラと照明を設置し、記録した画像の解析により落石発生日時と規模を確定した。

対象斜面は風化が進行した岩盤斜面であり、斜面上には数 10cm オーダーの緩みも確認された。斜面形状は浅い沢型であり、遷急線までの比高は約 25m である。

4.3 落石発生状況

ここでは、計測を開始した平成 22 年 12 月 8 日から平成 22 年度最後にデータ回収を行った平成 23 年 3 月 11 日までの約 3 ヶ月間の結果を示す。なお、1 月 12 日夕刻から 2 月 22 日までの間は電源トラブルの影響でデータ

を取得することができなかった。落石発生状況の解析に際しては、衝撃音からほぼ確実に落石と認知できるものを拾い出すこととし、同時刻に複数発生した場合には単独・複数の区別はせずに1イベントとしてカウントした。その結果、3月11日までの間に発生したイベント総数は184であった。

4.4 現場実証試験の結果

4.4.1 速度型崩落検知センサ

振動波形の一例として、3月7日14時31分に発生した比較的規模の大きな落石が衝突した際の計測結果を図-14に示す。図中、ch-1は仮設防護柵に向かって左端の支柱に取り付けたセンサであり、その右側がch-2、右端にch-3となっている。また、ch-4は仮設防護柵設置地盤より比高差約1.5mの岩盤斜面に設置したセンサである。この時の落石はカメラ画像および音声により落石を捉えられており、10個程度の落石（うち最大の落石直径約30cm）が仮設防護柵に衝突していた。Ch-4の振動波形の継続時間が長いことから、複数の落石が団子状もしくは土砂状となって落ちていると捉えることができる。また、ch-1では大きな振動波形はなく、またch-2とch-3の周波数特性（図の下段）がほぼ同じであることは、衝突位置はセンサの中間となる4スパン位置に衝突していることを示しており、これはカメラ画像とも調和的であった。

平成21年度の現地基礎実験、および今回の現場実証

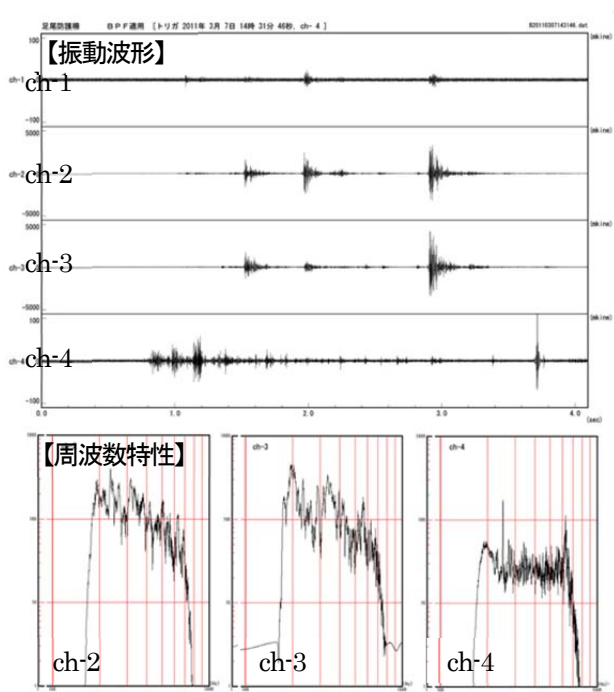


図-14 速度型センサにより検知した落石波形の一例 (2011/3/7 14:31:46)

試験の結果、落石の周波数は200Hz以上300Hz未満の卓越周波数の比率が85%以上であることがわかった。これらの計測結果を基に、落石とそれ以外の振動を分離する検知システムの構築を図る予定である。

4.4.2 加速度型崩落検知センサ

4.4.1で一例として示した落石を加速度型崩落センサにより捉えた結果として周波数と加速度応答の関係を図-15に示す。なお、仮設防護柵に向かって左端の支柱に取り付けたセンサがS-1、右端がS-3である。落石により180Hz付近に卓越周波数が見られた。平成21年度の現地基礎実験の結果からは、落石を他の振動と分離するために200Hzのハイパスフィルターを適用し、適当な振幅しきい値を設定することで落石の判別が可能との結果を得ていた。そのため、180Hz付近の周波数をカットしないしきい値の設定が必要と考えられる。他の全ての落石事例を検証し、落石とそれ以外の振動を分離する検知システムの構築を図る予定である。

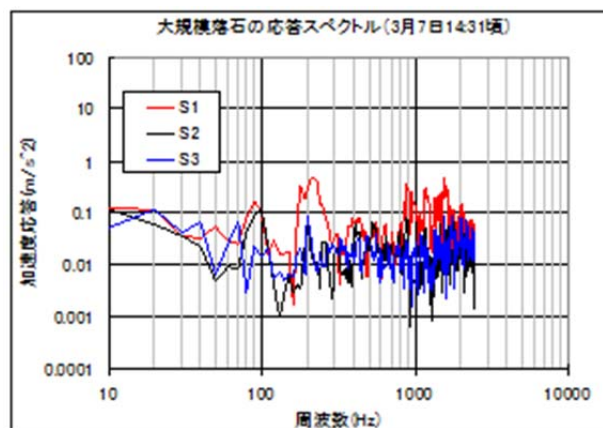


図-15 加速度型センサにより検知した落石波形の一例 (11/3/7 14:31:46)

5. まとめ

前記した検討結果を基に、仮設防護柵の手引き（試行案）を作成したほか、仮設防護柵の適用範囲外の土砂崩れに対する道路管理手法について検討を行った。今後は、多くの仮設防護柵が設置された斜面における観測を行い、地すべりの前兆現象としての落石頻度変化の目安値を設定するための研究が望まれる。

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR EMERGENCY MEASURES OF SLOPE FAILURE AT ROAD SIDE

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2009-2011

Research Team : Erosion and sediment control

research group

(Landslide research team)

Author : **TAKESHI Toshiya, CHIDA Yoji,**

ISHIDA Koji

Abstract : Temporary guard fence which is used in case of after slope failure is not considered falling rocks or slope failures. However, there are cases that temporary guard fence or passing vehicle have suffered from falling rocks or slope failure those are beyond expectation. So we analyzed about the applicable condition of temporary guard fence. And we tried to develop the system that could catch the detections of falling rocks that is precursory phenomenon of slope failure. We organized the true state about methods of slope investigation and structure of temporary guard fence. And we put in operation the verification test intend to confirm the applicability and weatherability about the detection system of slope failure. As a result, we have found some functional limit for temporary guard fence, and some characteristics of vibration wave profile about falling rocks.

Key words : temporary guard fence, falling rocks, slope failures, detection sensor, methods of slope investigation