島根県で発生した落石事故に関する報告書

平成 28 年 11 月

島　根　県　土　木　部

（落石事故再発防止検討委員会）

目次

1. 落石事故の概要..... 1
(1)事故発生場所..... 1
(2)発生日時..... 1
(3)事故発生状況..... 1
2. 落石の原因究明..... 2
(1)地質状況..... 2
(2)落石位置の検証..... 3
(3)落石の発生原因..... 5
(4)落下原因のまとめ..... 11
3. 対策工..... 13
(1)対策工の決定方法..... 13
(2)石の安定度の判定(従来の手法)..... 13
(3)石の落下経路の推定..... 14
(4)木の影響評価..... 15
(5)対策の必要性判定..... 17
(6)落石対策工の選定..... 18
(7)落石対策工の比較..... 22
4. 落石事故の再発防止策について..... 24
(1)落石事故再発防止に向けた島根県の現状..... 24
(2)落石事故の再発防止策について..... 25
5. 引用文献..... 27

巻末資料

巻末資料-Ⅰ　落石事故の再発防止に関する提言..... Ⅰ-1
巻末資料-Ⅱ　落石対策案..... Ⅱ-1
巻末資料-Ⅲ　石の不安定化に関する木の影響評価.... Ⅲ-1
巻末資料-Ⅳ　樹木状態の詳細調査票..... Ⅳ-1

1.落石事故の概要

(1) 事故発生場所

島根県邑智郡邑南町戸河内地内(図-1)

(細谷バス停付近)

主要地方道浜田作木線

(2) 発生日時

平成 28 年 5 月 4 日(水)15:55 ごろ

(3) 事故発生状況

写真-1 および写真-2 に事故発生付近の道路および斜面状況を示す。

県道脇の斜面より発生した落石が通行する自動車を直撃し、助手席に乗っていた一人の尊い命が失われた。

写真-1 事故発生付近の道路状況

写真-2 事故発生付近の斜面状況

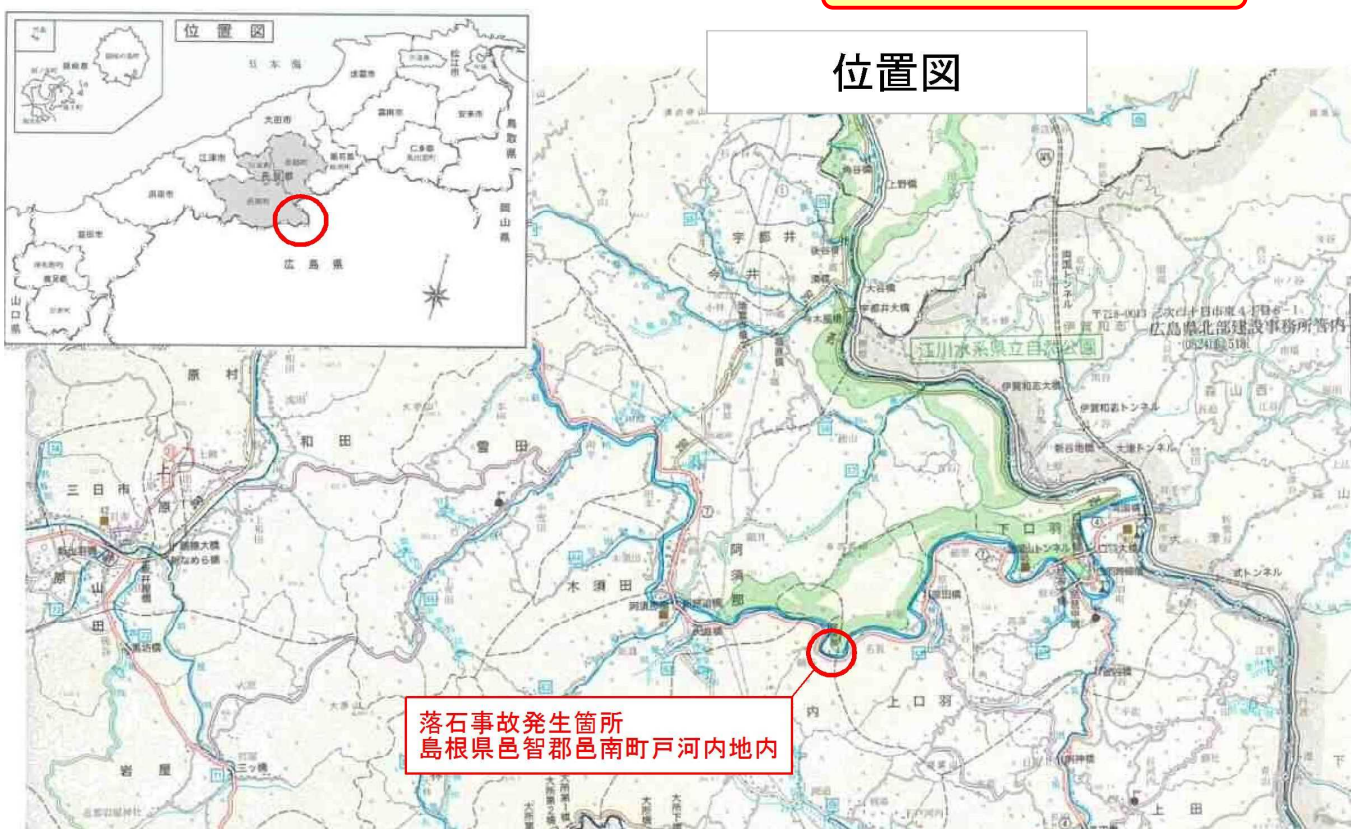


図-1 位置図

2.落石の原因究明

(1) 地質状況

現地踏査の結果、事故落石の発生源は閃緑岩の露頭であり、崖錐堆積物との境界付近に位置する。周囲には、閃緑岩の他に流紋岩・デイサイト、泥質岩の露頭も見られた。

落石経路上でボーリング調査および簡易貫入試験を実施し、落石発生源付近から約 2m下方では、軟岩状の閃緑岩が 1m 以深にあることを確認した(図-2 及び写真-3)。閃緑岩箇所では亀裂が発達しており、後述の亀裂解析を実施した。

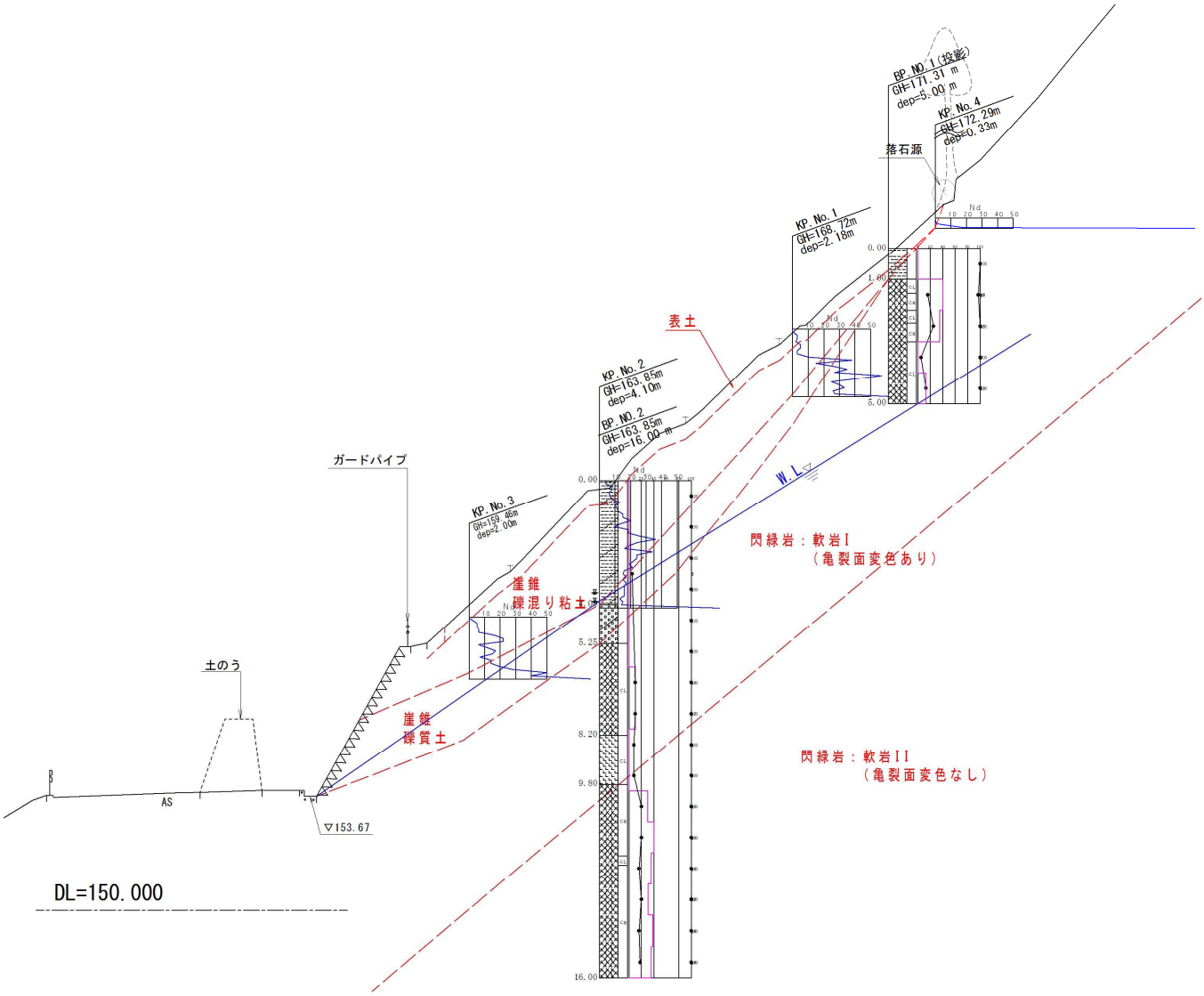


図-2　地質断面図

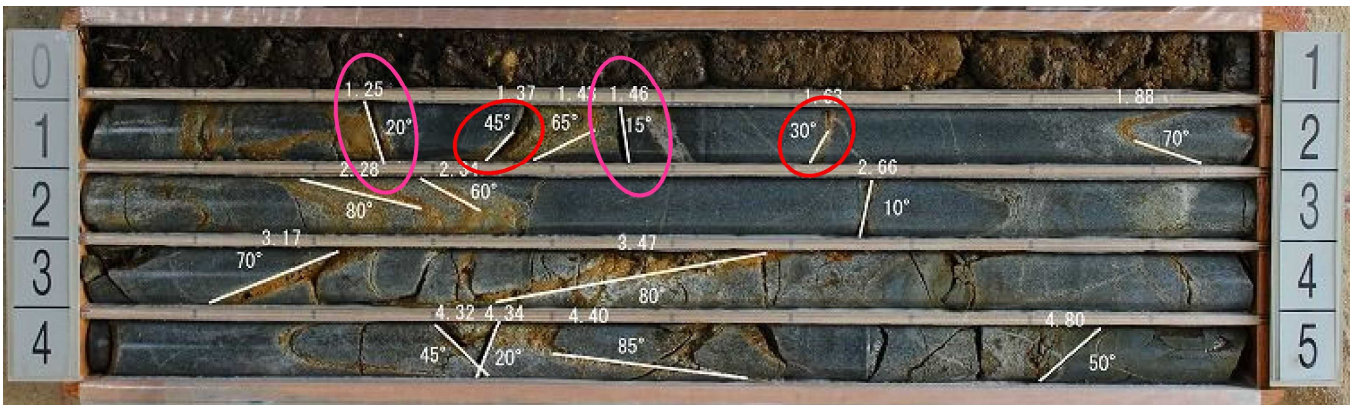


写真-3　BP.NO.1 コア写真

(2) 落石位置の検証

1) 形状からの検証

写真-4 は、落下した岩塊があったと思われる位置を正面から写した写真で、ここにはオニグルミの根（根A,B）が確認された。

写真-5 及び写真-6 は、くぼみの地形と落下した岩塊を 3 次元測量して、それぞれの 3D 模型を作成したものである。

くぼみの地形、落下岩塊の模型を組み合わせてみると、写真-7 の配置の時にくぼみの形状と落石岩塊がほぼ一致し、くぼみ位置が落石源と判断した。

写真-5　落下岩塊（上）実物（下）3D 模型

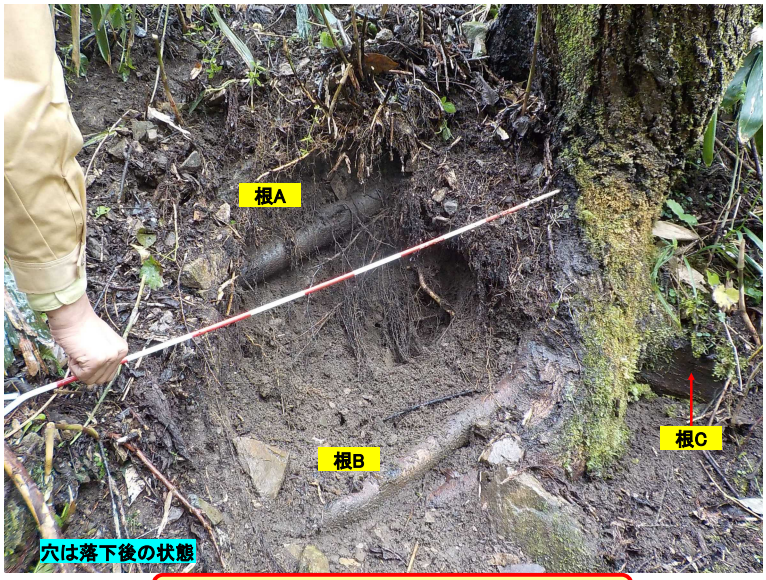


写真-4　落下した岩塊のあった位置

写真-7　くぼみと落下岩塊の組み合わせ

写真-6　地形の 3D 模型

2) 落石軌跡からの検証

図-3 は、写真-4 のくぼみの位置を落石源と仮定して、落下の軌跡を推定し図示したものである。赤線は現地の落石痕（写真-8）と車の位置関係をもとに落石の軌跡を推定したものである。青線はくぼみの位置から落下した岩塊を自由落下させた場合に計算上求められた軌跡である。この 2 つの軌跡は概ね一致した。

3) 結論

形状及び落石軌跡の検証から、写真-4 のくぼみの位置が落石源であると判断される。

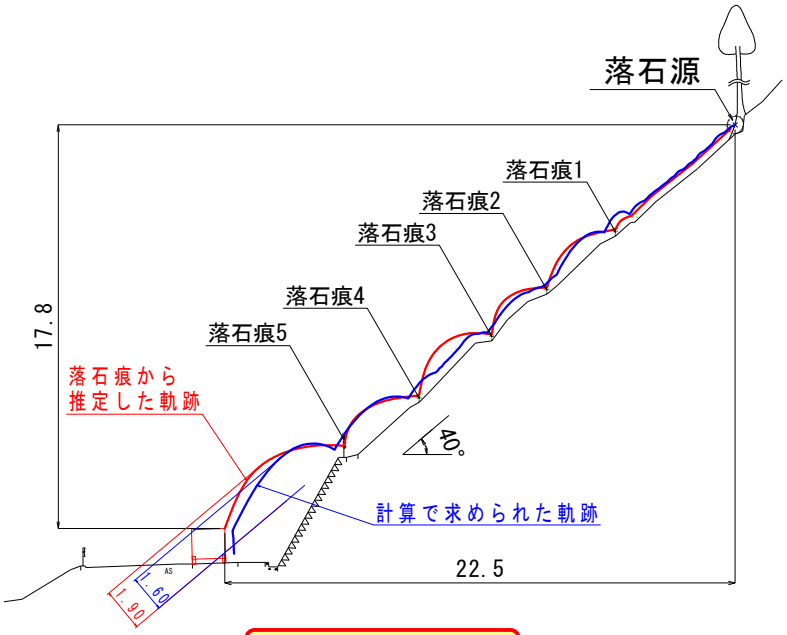


図-3　落石の軌跡

写真-8　落石痕の状況

(3) 落石の発生原因

1) 落石発生源付近の亀裂

落石発生源付近の亀裂傾向を調査するため、ボーリングコアの亀裂勾配(写真-3)、落下岩塊下の露頭、3D 模型組合せ時の落下岩塊の面(写真-7)、落石発生源付近の露頭(写真-9)をそれぞれ調査し、図-4 に亀裂の傾向をまとめた。

落下岩塊の下面にあたる流れ盤亀裂は、落下岩塊下の露頭やボーリングコアの亀裂傾向と同じであり、周囲の地盤に合致していると判断した。

亀裂の傾向から、落下岩塊は、地山の一部が浮石となった可能性があると判断した。

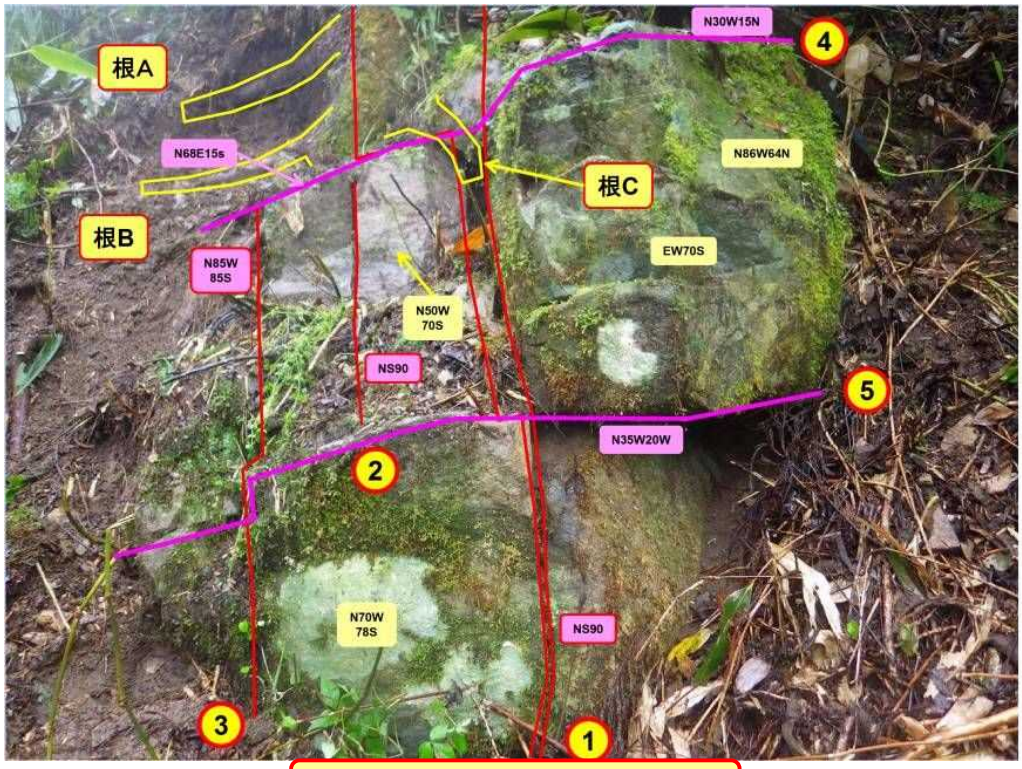


写真-9　落石発生源付近の露頭

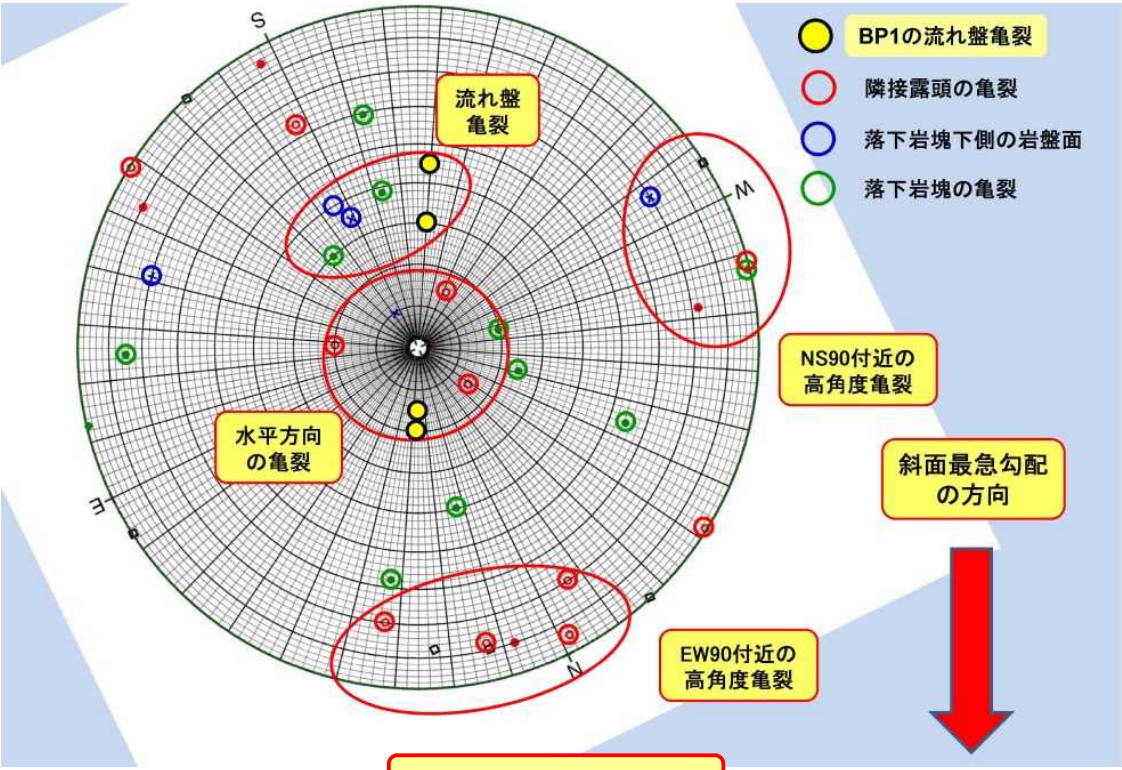


図-4　亀裂傾向の解析

2) 樹木の成長

① 木の幹の成長の影響

落石源に隣接したオニグルミの諸元は、幹直径 45cm（計測位置：高さ 1m）、樹齢 29 年（推定）、樹高 15mであるが、図-5 から平成 12 年に法面調査した時点では、幹直径が約 20cm であったと推定される。

写真-10 の赤線は落下した岩塊があったと想定される位置を示しているが、右側にあるオニグルミの成長を考慮すると、赤破線位置から移動したものと推定され、木の幹の成長が岩塊を移動させることにより、不安定化を招いたものと考えられる。

写真-10　木の幹の成長の影響

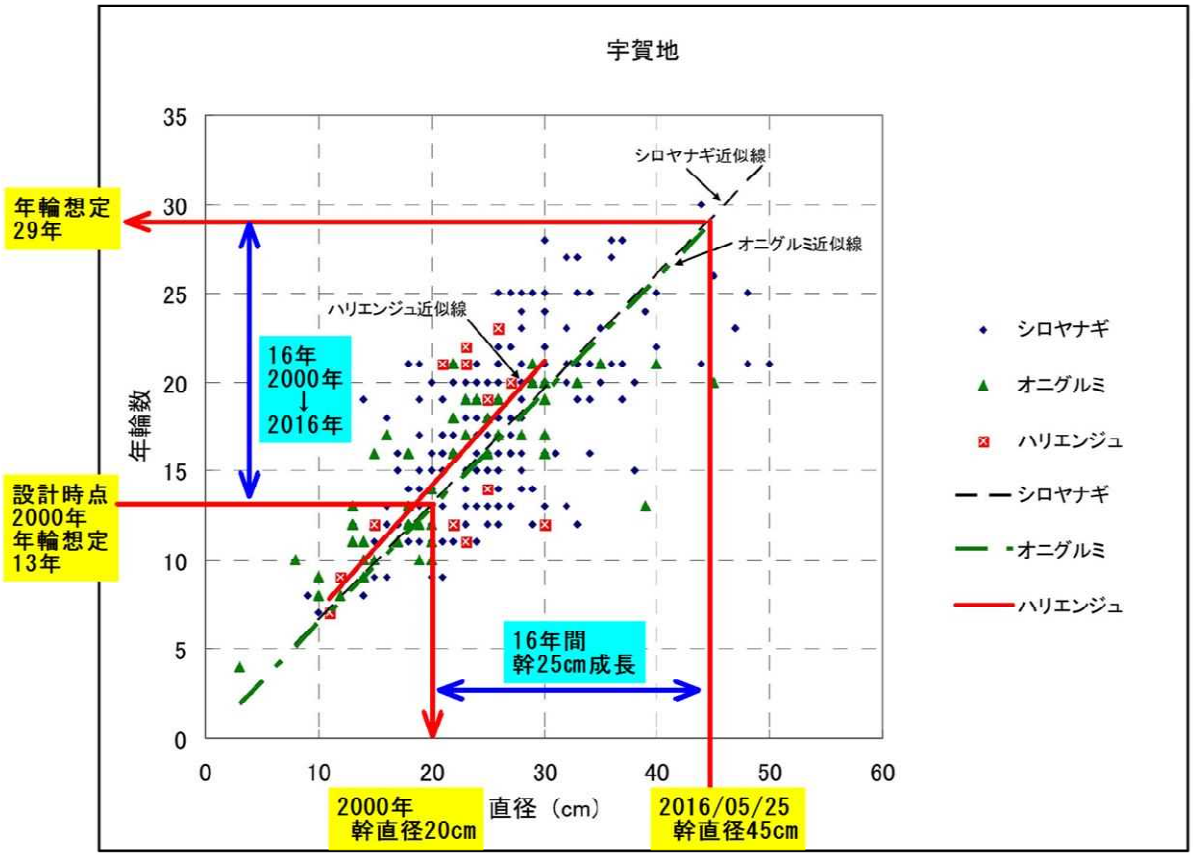


図-5　樹木の成長 [1] に加筆

② 木の根の成長の影響

落石源のくぼみの上下の両方に、隣接するオニグルミの根系が水平方向に伸びていた（写真-4）。根径は、それぞれ上 9cm（写真-4 根 A）、下 6cm（写真-4 根 B）である。

木の根の成長に伴い、石は根 B で上側に持ち上げられ、根 A 前側にも移動したため、不安定化を招いたと考えられる。さらに、これらの根が後述の強風による木の振動を、石に伝達したと考えられる。

3）木の根の観察

後述の木の引張試験後、落下岩塊に隣接していたオニグルミの木が、降雨の影響により倒木した。落石原因究明に繋がるため、根の状態について調査した（写真-11）。

図-6 に斜面下方から見た倒木前の根の模式図を示す。表層部の根は、楕円ではあるが比較的円い形状をしていた。一方、亀裂が開きにくい鉛直方向に発達している根には偏平な形状が見られた。根は鉛直方向にはあまり発達しておらず、主に表層部を水平に発達し、風により揺れやすい状態であったと考えられる。

倒木した根は石を抱えており、樹木の成長が浮き石・転石の不安定化の要因の一つとなる状況が見られた。

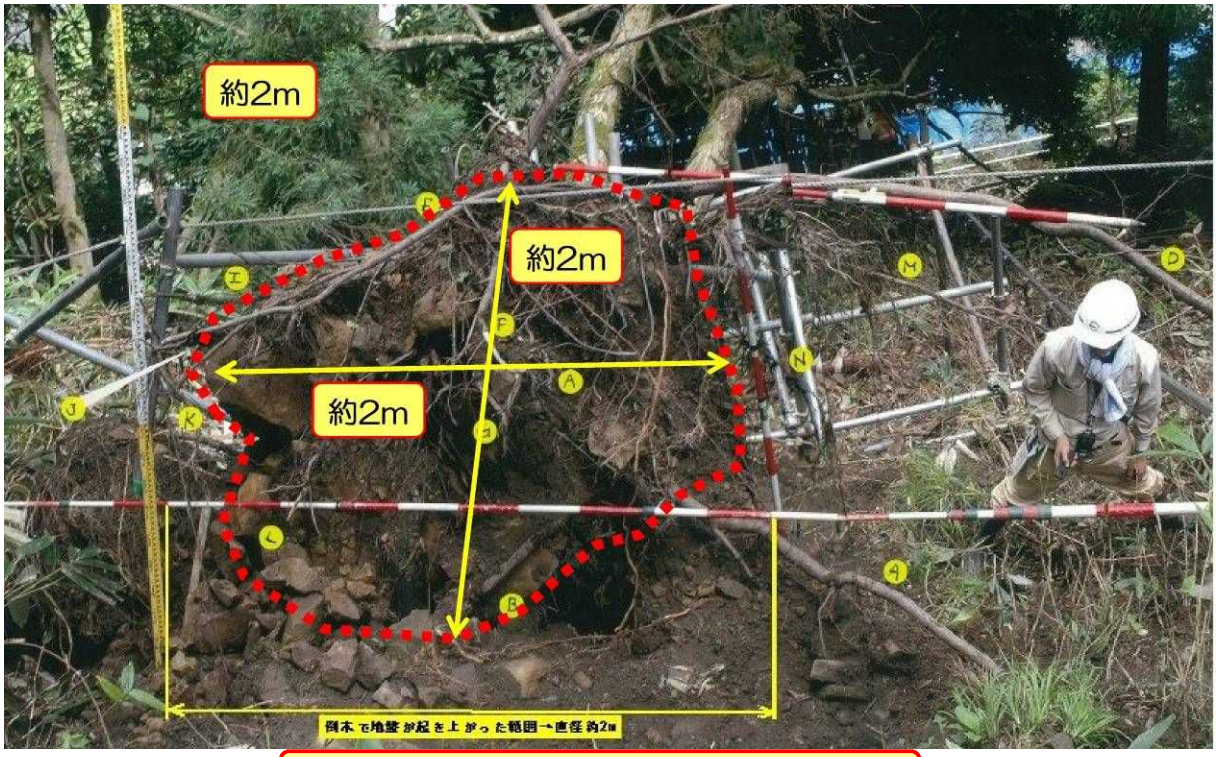


写真-11　落石発生源隣のオニグルミの根の状況

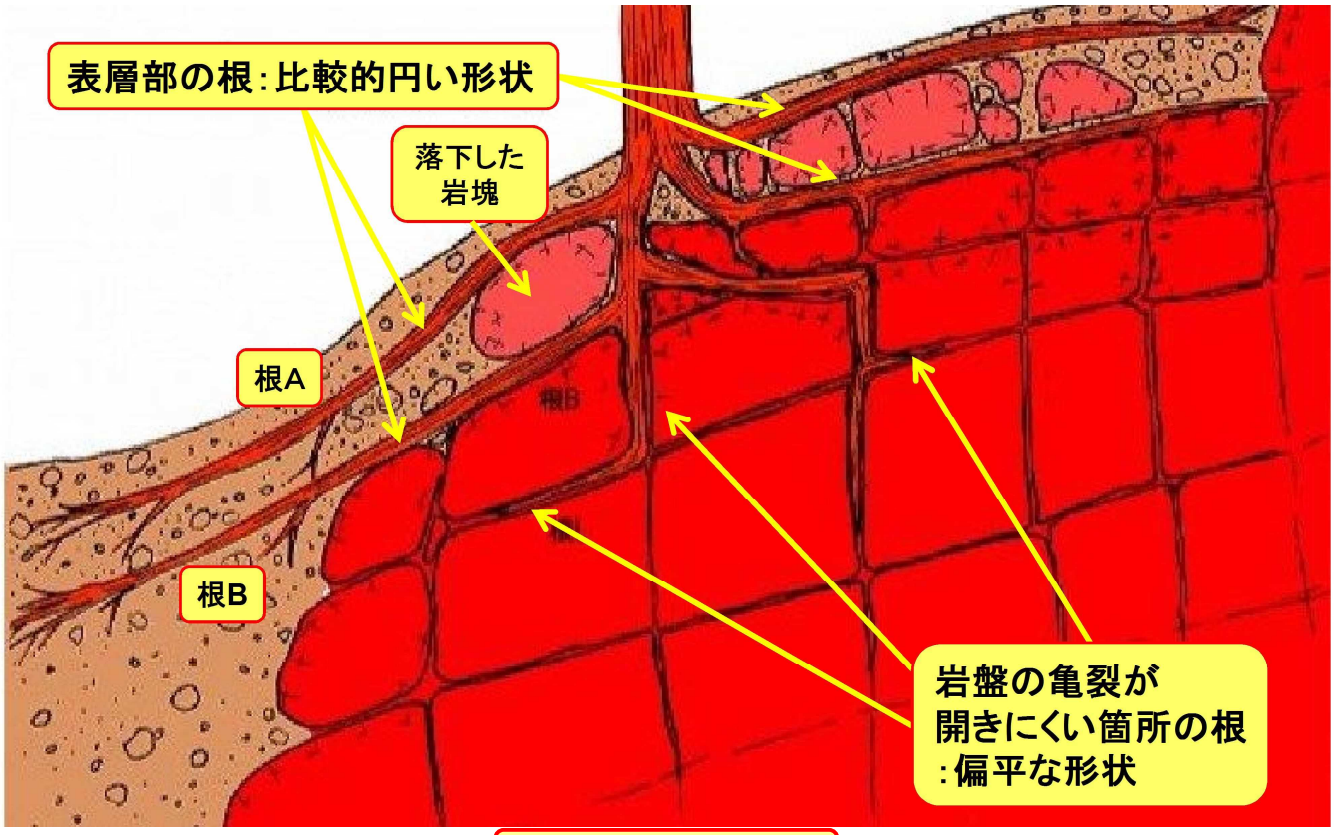


図-6　根系の模式図

4) 風の影響

5月4日落石発生時の最大瞬間風速は、24.2m/s(瑞穂観測所)[2)]であり、同観測所の観測史上最大の風速であった(図-7)。

当日の風について地元住民からの聞取り結果を以下にまとめた。

・当日は特に強い西風(谷の上流側から下流側に向かって)が吹いていた。

・ホダ木を置いている小屋のトタン屋根が大きな音を立てていたため、小屋の屋根が飛ばされるのではないかと心配しながら畑仕事をしていた時、大きな音がして事故が起きたことに気付いた。

・風速はどれくらいかはわからないが、滅多にないほど強い風だった。少なくとも、事故の日以来、そのような強い風は吹いていない。(聞き取りは 2016 年 6 月中旬に実施)

また、落石発生源の付近は雪折れによる倒木が集中しており、隣接のオニグルミに風が当たりやすい状況であったと考えられる(写真-12)。

なお、降雨および地震について調査したところ、誘因となるようなデータは確認されなかった。

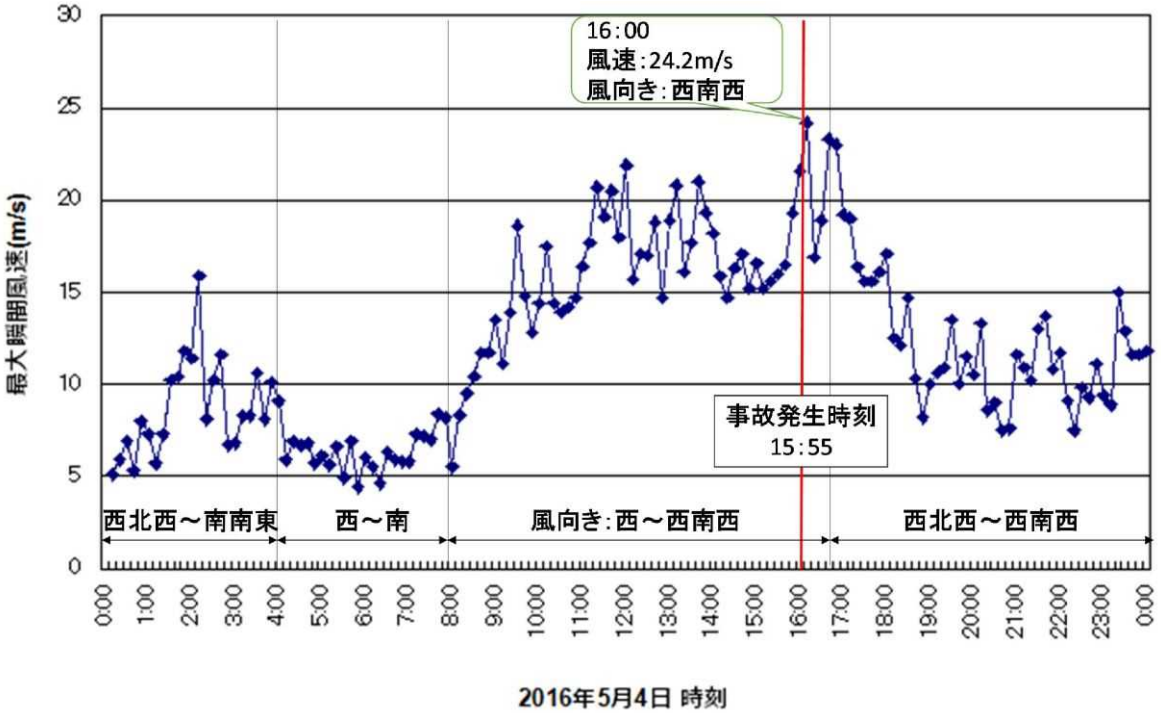


図-7　事故当日の最大瞬間風速データ：気象庁データ[2)]より作成

写真-12　落石発生源周辺の状況

5) 木の引張試験

最大瞬間風速 24.2m の風速時に、隣接する樹木の幹や根が変位し、落下岩魂を不安定化したことを確認するため、木の引張試験を実施した。木の引張試験は、落石発生源に隣接するオニグルミにワイヤーを設置し、ウインチで段階的に張力をかけ、木の幹と根に設置したダイヤルゲージで変位を計測した（図-8）。

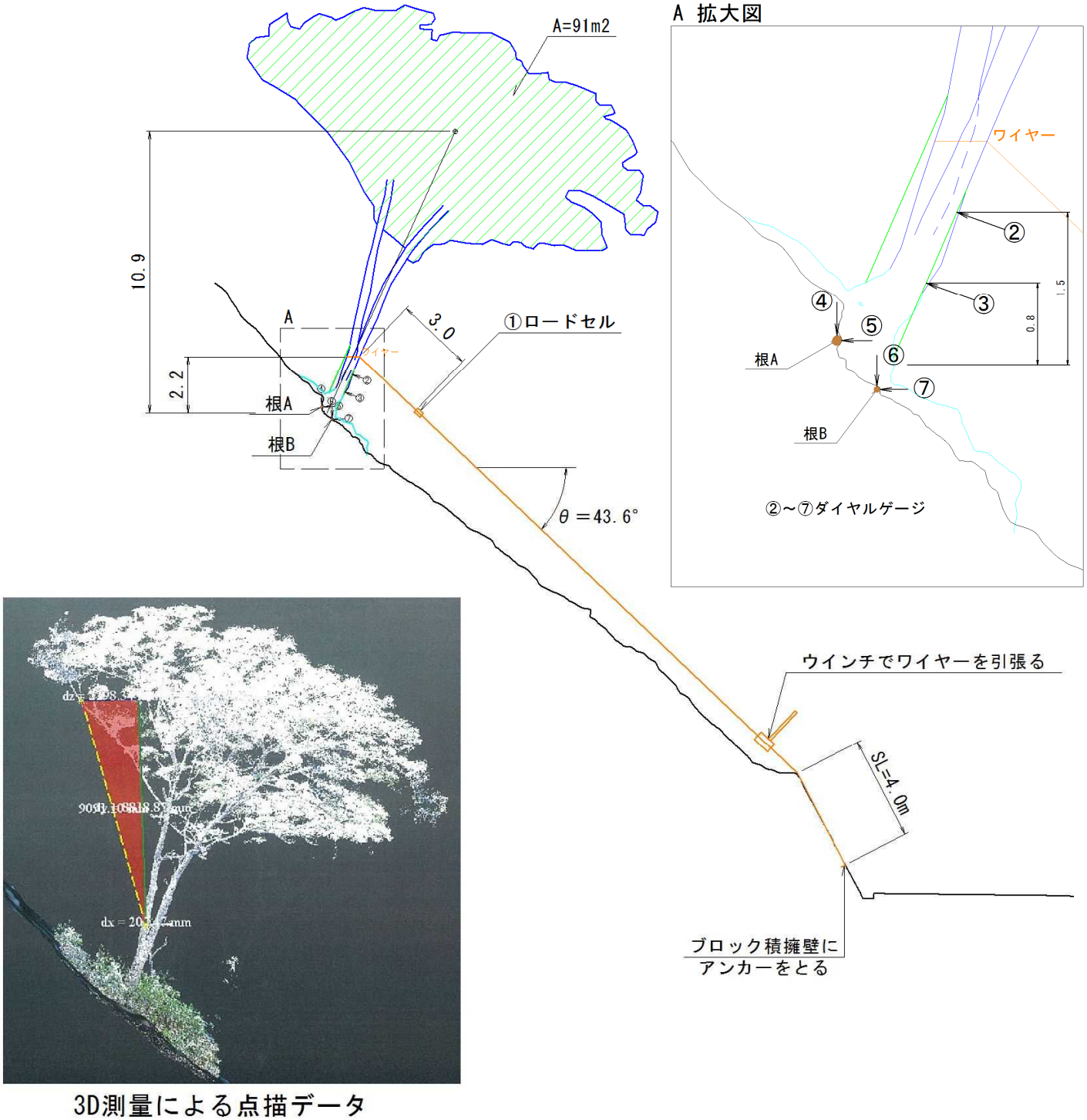


図-8　樹木引張試験の模式図

落石発生時に木に作用する風圧力は、式(1)により算出した。

$$P = \frac{1}{2} C_D \rho U^2 A \quad \text{— 式(1)}$$

ここで、P は風圧力、C_D は抗力係数、ρ は大気密度、U は風速、A は樹冠水平面積である。

抗力係数は、オニグルミの研究結果はなく、シラカンバの研究結果を参照して 0.1 とした[3)]。

樹冠水平投影面積は、3D スキャンで計測した木の点群データの包括線から計測した。計測したサイズは、実際に現地で調査したサイズとほぼ等しい。

風速 24.2m/s がオニグルミに作用した場合、風圧力 3.2kN が木の幹に作用すると算定した(表-1)。この風圧力に相当するワイヤ-張力を算定したところ 21.9kN となった(表-2)。

表-1　風圧力の試算

項目	記号	単位	数値
抗力係数	Cd	-	0.1
大気密度	ρ	kg/m2	1.2
風速	U	m/s	24.2
樹冠水平投影面積	A	m2	91
風圧力	P0	N	3197.6
風圧力	P1	kN	3.2

表-2　ワイヤー張力の試算

項目	記号	単位	数値
木の重心位置	L1	m	10.9
ワイヤー作用点	L2	m	2.2
風圧力	P1	kN	3.2
ワイヤー水平張力	Pah	kN	15.8
ワイヤー角度	θ	度	43.6
ワイヤー張力	Pa	kN	21.9

引張試験では、図-9 および写真-13 に示す計測器を設置し、ワイヤー張力はロードセル(①)、木の幹変位(②、③)、根 A の垂直変位(④)および水平変位(⑤)、根 B の垂直変位(⑥)および水平変位(⑦)を計測した。

写真-13　木の引張試験の計測状況

木の引張試験の時系列グラフを図-10 に示す。ワイヤー張力が増加するとともに、木の根に変位が観測された。張力が 9kN から 15.5kN となる段階で、木の根の移動量が増加した。次段階の張力を掛けようとしたところ、張力 16 kN で根の変位量が再度急増した。その後はワイヤーを 2 回引張ったが、張力は増加しなかった。16kN に到達した時点で山側の根が切断したものと推定される。

図-9 には、根の変位量を移動ベクトルとして示した。木の幹が下向きに動いた場合に、落石発生源にある木の根が石を押し出すように変位することが確認された。

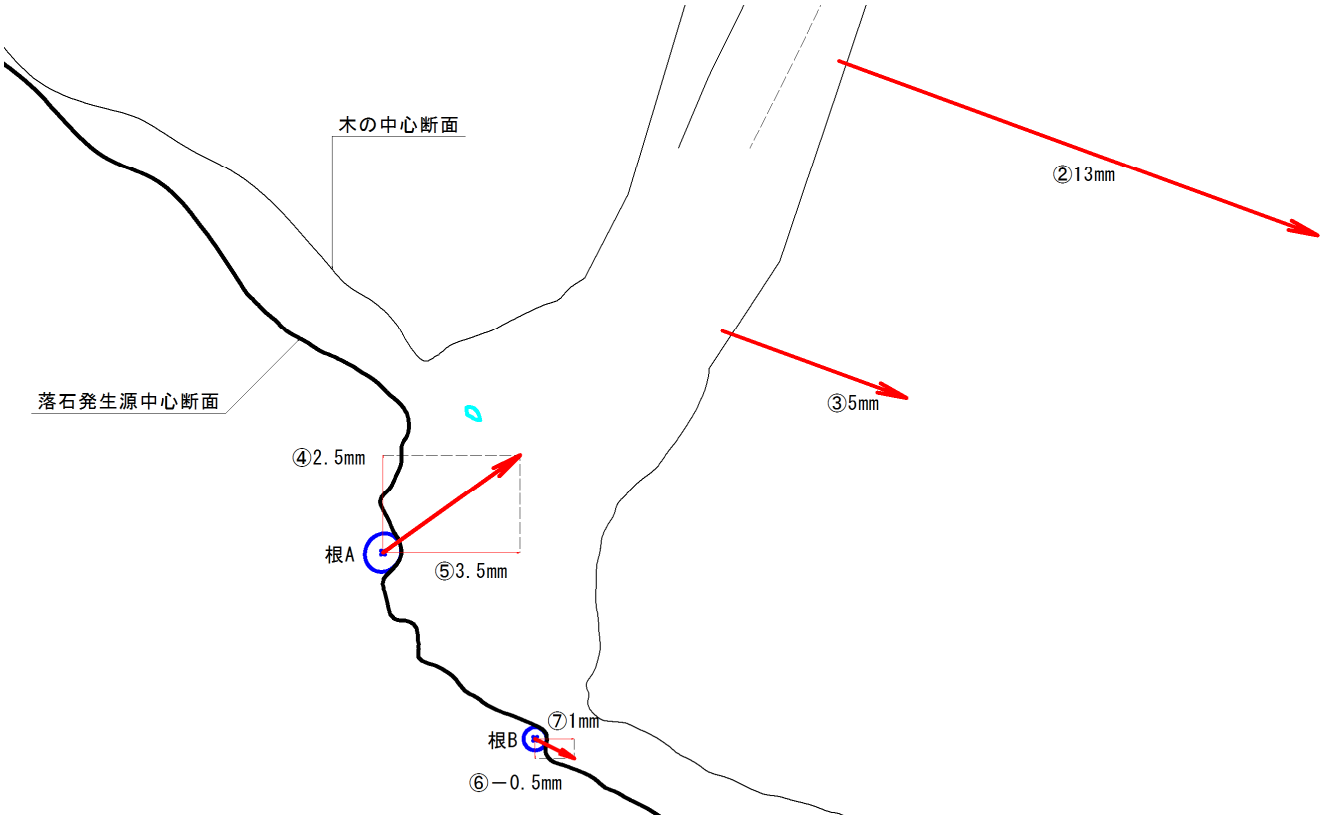


図-9　木の引張試験による根の移動ベクトル図

(4) 落下原因のまとめ

樹木（オニグルミ）の根元に残された窪みが、落下した岩塊の発生源であること、落下した岩塊の発生源から路上までの軌跡を確認した。

本件の落石発生メカニズムについては、以下のとおりである。

樹木の根元にあった岩塊は、根系の成長により押し出されるように不安定化が進行して、さらに、事故当時の最大瞬間風速は 24.2m/s（瑞穂観測所）であり、同観測所の観測史上最大の記録であったが、その強風により樹木が揺れ、根が揚動した。

その結果、不安定な岩塊に根の移動が加わる複合的な原因により、岩塊の落下に至った。

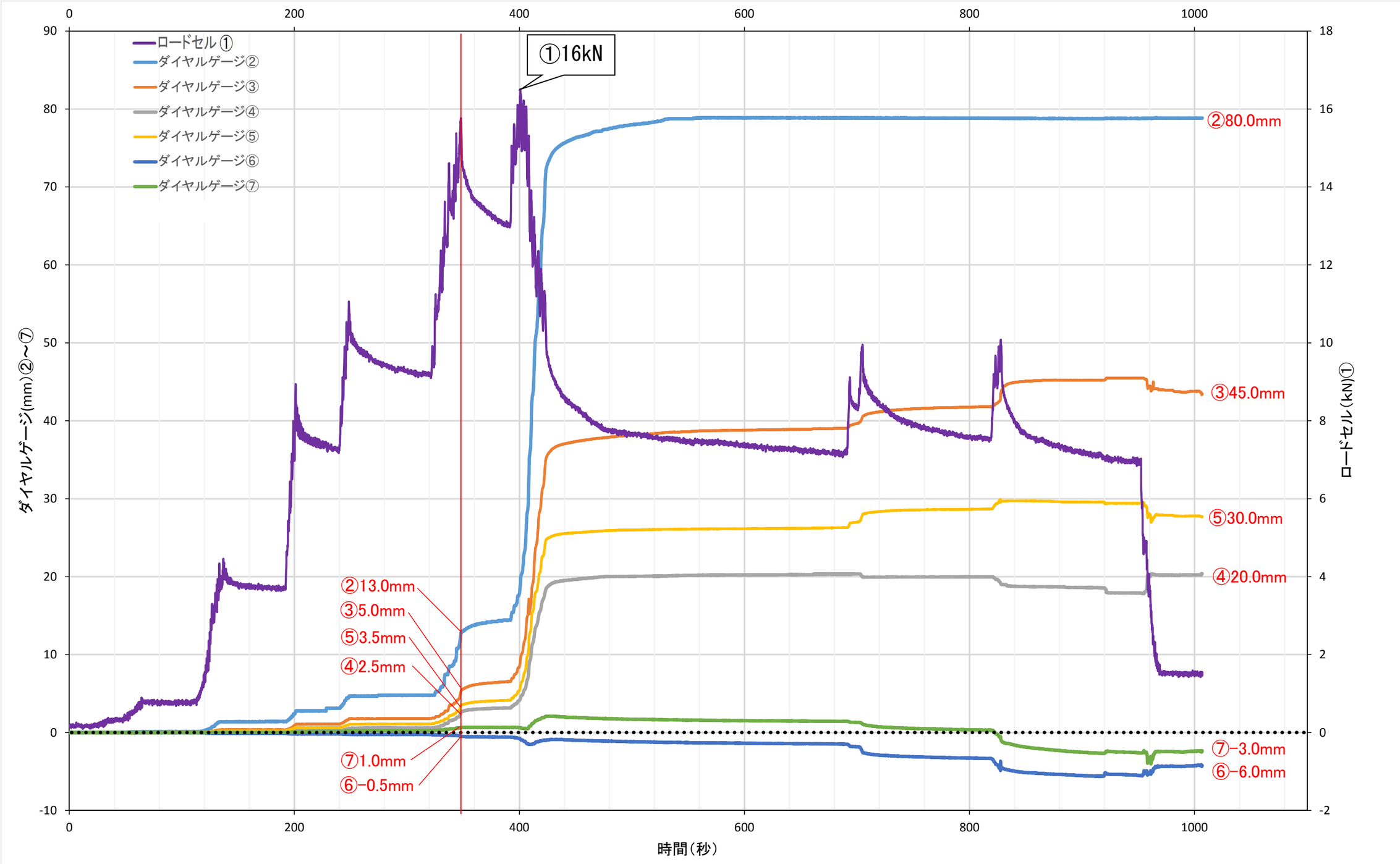


図-10　木の引張試時系列グラフ

3. 対策工

(1)対策工の決定方法

対策工法を検討するにあたって斜面を調査した結果、岩塊が 28 箇所確認された。これらについて、以下の流れで対策工を検討した。

ⅰ）石の安定度を判定（従来の手法による）

ⅱ）石の落下経路を推定し、道路に到達する可能性がある石を選定

ⅲ）木の影響を評価

ⅳ）石の安定度、道路へ到達の可能性、木の影響、を総合評価し、対策が必要な岩塊を決定

ⅴ）対策工法の選定

ⅵ）選定した対策工法を比較し、総合的に有利である対策工法を決定

(2) 石の安定度の判定（従来の手法）

調査で確認された石について、従来の手法[4)]を用いて安定度を調査した。安定度評価の基準を表-3、安定状態の判定結果を表-4 に示す。

表-3　石の安定度評価の基準[4)]

区分	石の安定状態	安定係数 α	点数
①	石が地山からほぼ完全に浮き上がったり（地上露出部分 100～90%）、木の根にのっているもの、または岩目が発達した極めて不安定な状態の石	1.00	20
②	石の下部の埋没が浅い（地上露出部分 90～70%）もの、または岩目がはっきりした不安定の状態の石	0.75	15
③	石の下部の埋没が比較的浅い（地上露出部分 70～50%）もの、または岩目があってやや不安定な状態の石	0.50	10
④	石の下部がほぼ埋没している（地上露出部分 50～30%）もの、または岩目はあるが明確でない、ほぼ安定した状態の石	0.25	5
⑤	石が地山に埋没しているもの（地上露出部分 30%以下）もの、または岩目が未発達で安定した状態の石	0	0

表-4 従来手法による石の安定度評価

落石源No.	形態	安定状態
1	浮石	③やや不安定
1.5	浮石	③やや不安定
2	浮石	②不安定
3	転石	④ほぼ安定
3.5	浮石	③やや不安定
4	転石	④ほぼ安定
5	転石	④ほぼ安定
6	転石	②不安定
7	転石	③やや不安定
7’	転石	④ほぼ安定
8	浮石	④ほぼ安定
9	転石	③やや不安定
10	転石	③やや不安定
11	転石	④ほぼ安定
12	転石	③やや不安定
13	転石	③やや不安定
14	転石	④ほぼ安定
15	浮石	②不安定
15-1	浮石	①極めて不安定
16	浮石	③やや不安定
17	浮石	②不安定
18	転石	④ほぼ安定
19	転石	②不安定
20	転石	②不安定
21	転石	③やや不安定
22	転石	②不安定
23	転石	④ほぼ安定
24	転石	④ほぼ安定

(3) 石の落下経路の推定

斜面内の岩塊 28 箇所について、以下の方法で落下経路を推定し、道路に到達する可能性がある石を対策の対象とした（図-11）。

ⅰ）落石源の位置から、最急勾配方向の平面軌道を推定する。

ⅱ）最急勾配方向から、道路に近くなる方向に 22.5 度ずらした平面軌道を算定する。

ⅲ）この 2 つの軌道のうち、道路までの距離が最短になる方を用いて、道路に到達する可能性を検討する。東側の谷へ落下する石は、道路へ到達しないと判断した。

ⅳ）この結果、23 箇所の岩塊が道路に到達する可能性があると選定した。

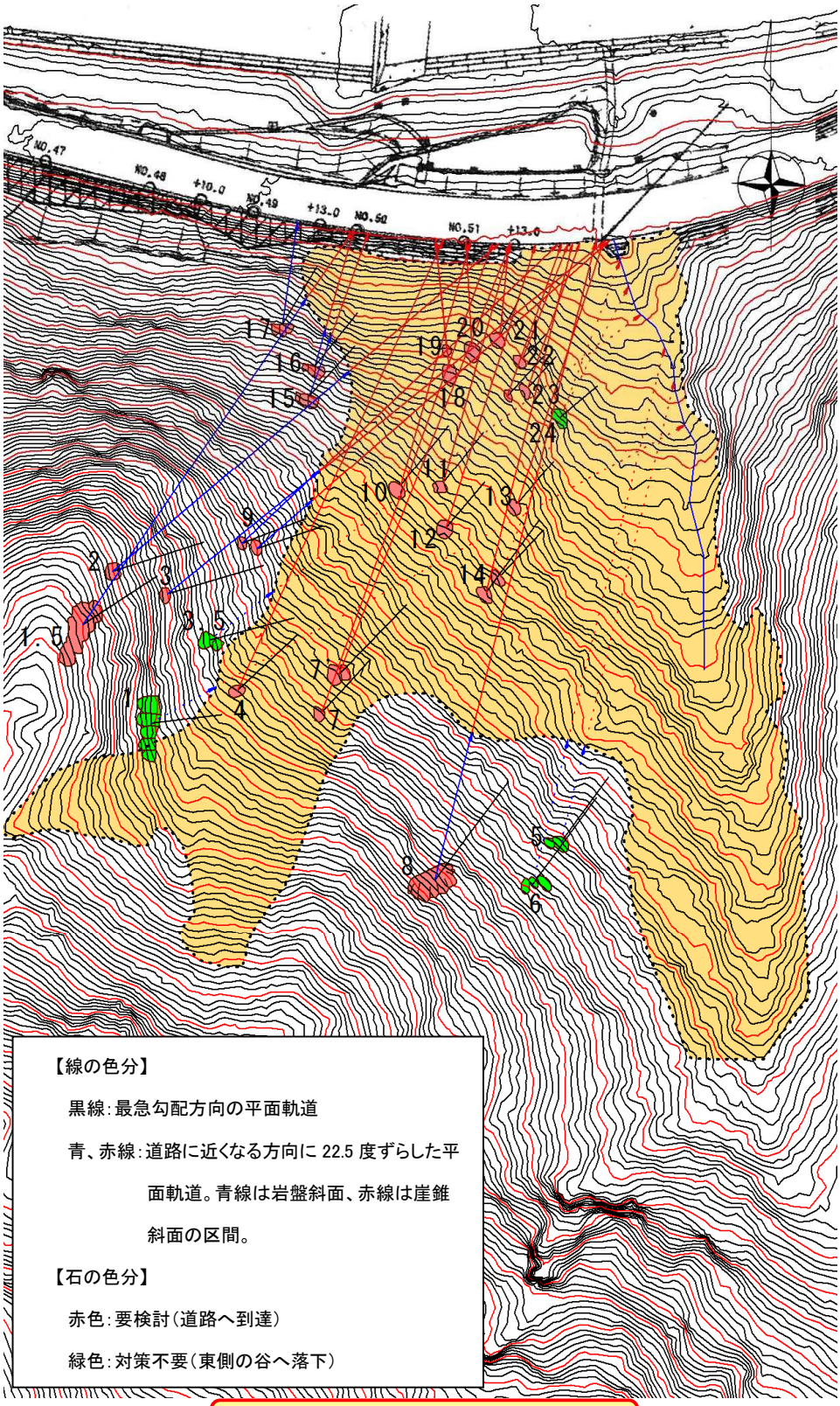


図-11　石の落下経路の推定

(4) 木の影響評価

対策工法を検討する過程で、近傍の樹木の根の影響を考慮して危険度を評価することが必要であるとしたため、現時点で安定度評価が必要な全ての落石源を抽出し、木の安定度評価を実施した（表−3）。

表−3に示した木の影響が転石および浮石の安定状態に与える影響として、以下の項目を想定した。

ⅰ）石と樹木との距離

幹中心と石までの距離を測定

ⅱ）樹木の幹径

胸高直径を測定

ⅲ）樹木の根茎の状態（根茎の亀裂への侵入）

深い：亀裂に根の侵入が確認でき、かつ根の形状が偏平なもの

浅い：亀裂に根の侵入が確認でき、かつ根の形状が比較的丸いもの

表面被覆のみ：木が乗っている・幹が接しているが、亀裂に根の侵入が見られないもの

無し：石と木が離れており根の影響が不明なもの

ⅳ）石の状態（亀裂の有無，亀裂の密度・規模／亀裂幅・深さなど）

顕著：浮石では亀裂が発達している。転石では周辺に破砕した小礫がある

普通：顕著ほどではないが、亀裂があると判断できるもの

少ない：浮石では亀裂はわずかなもの。転石の場合は石単体に亀裂が少ないもの

上記の項目に評点を与え、評点合計が 10 点以上であり、かつ樹木が雪折れしているものを除いた 10 箇所を「木の影響あり」と評価した（表−5）。なお、今回の評価項目および評点の重み付けは試行段階のものであり、今後さらなる検討を加えて精度を高めていく必要がある。

表-5　落石不安定化に対する樹木の影響評価一覧

落石番号	大きさ（m）	体積（m^3）	落石荷重（KN）	樹木の影響評価											
				石と木の距離		胸高直径		被覆状態（根茎の亀裂侵入）		岩塊の亀裂状態		評点合計	木の影響評価（10点以上での最終評価）	参考	
				距離(m)	評点	直径(m)	評点	被覆状態	評点	亀裂	評点			樹高（m）	樹種
1	1.0×1.0×0.8	0.80	24.00	2.0	3	0.03	0	深い	3	顕著	3	9	なし	3.0	ヤブニッケイ
1.5	0.7×0.7×0.7	0.34	10.29	1.3	3	0.03	0	深い	3	顕著	3	9	なし	2.0	ヒサカキ
2	0.6×0.5×0.7	0.21	6.30	0.0	6	0.20	2	深い	3	顕著	3	14	あり	7.0	ヒサカキ
3	0.6×0.8×1.0	0.48	14.40	0.8	6	0.30	3	無し	0	顕著	3	12	なし（雪折れ）	8.0	スギ（雪折れ）
3.5	0.8×0.6×1.2	0.58	17.28	0.0	6	0.05	0	浅い	2	顕著	3	11	あり	4.0	ヤブツバキ
4	1.0×1.0×0.8	0.80	24.00	1.1	3	0.02	0	無し	0	少ない	1	4	なし	2.5	ナツグミ
5	1.2×0.6×1.0	0.72	21.60	0.0	6	0.04	0	表面	1	普通	2	9	なし	3.0	アブラチャン
6	1.2×0.5×0.4	0.24	7.20	2.3	3	0.30	3	無し	0	顕著	3	9	なし	12.0	スギ
7	0.8×0.8×0.8	0.51	15.36	0.9	6	0.25	2	無し	0	少ない	1	9	なし（雪折れ）	8.0	スギ（雪折れ）
7'	0.8×1.0×2.0	1.60	48.00	1.6	3	0.30	3	無し	0	少ない	1	7	なし	16.0	スギ
8	1.2×1.0×0.8	0.96	28.80	0.0	6	0.30	3	深い	3	顕著	3	15	あり	10.6	ケヤキ
9	0.6×0.6×0.8	0.29	8.64	0.0	6	0.25	2	浅い	2	顕著	3	13	あり	11.0	ネム
10	0.6×0.8×1.0	0.48	14.40	2.0	3	0.40	3	無し	0	少ない	1	7	なし	15.8	スギ
11	0.6×0.6×0.5	0.18	5.40	1.4	3	0.30	3	無し	0	少ない	1	7	なし	16.5	スギ
12	0.6×0.6×1.0	0.36	10.80	1.0	6	0.30	3	無し	0	少ない	1	10	あり	16.5	スギ
13	0.5×0.6×1.2	0.36	10.80	0.0	6	0.35	3	浅い	2	普通	2	13	なし（雪折れ）	9.6	スギ（雪折れ）
14	1.0×0.6×0.6	0.36	10.80	3.1	0	0.30	3	無し	0	普通	2	5	なし	17.0	スギ
15	0.6×0.8×1.6	0.77	23.04	0.6	6	0.10	1	浅い	2	顕著	3	12	あり	6.2	ヤブニッケイ
15-1	0.3×0.4×0.4	0.05	1.44	0.6	6	0.10	1	無し	0	普通	2	9	なし	6.2	ヤブニッケイ
16	0.6×0.8×0.8	0.38	11.52	0.0	6	0.45	3	浅い	2	顕著	3	14	あり	15.0	オニグルミ
17	0.4×0.3×0.4	0.05	1.44	4.0	0	0.15	2	無し	0	普通	2	4	なし	4.0	センダン
18	0.8×1.4×1.2	1.34	40.32	0.5	6	0.30	3	深い	3	普通	2	14	あり	19.2	スギ
19	1.0×0.8×0.8	0.64	19.20	1.7	3	0.30	3	無し	0	少ない	1	7	なし	14.8	スギ
20	2.0×0.6×1.0	1.20	36.00	0.6	6	0.30	3	浅い	2	少ない	1	12	あり	17.5	スギ
21	0.8×1.7×2.0	2.72	81.60	0.0	6	0.30	3	浅い	2	少ない	1	12	あり	16.2	スギ
22	0.3×0.4×0.3	0.04	1.08	1.2	3	0.20	2	無し	0	普通	2	7	なし	14.2	スギ
23	0.6×0.8×0.9	0.43	12.96	1.7	3	0.30	3	無し	0	少ない	1	7	なし	17.0	スギ
24	1.2×1.0×1.0	1.20	36.00	1.2	3	0.30	3	無し	0	少ない	1	7	なし	17.6	スギ

＊評点については巻末資料Ⅲ(3)を参照

(5) 対策の必要性判定

前述(2)(3)(4)の検討をまとめて表-6 に示した。樹木の影響がある落石源では、安定度評価を1ランク危険側に評価した。

例)落石源 No.2:安定度調査「②不安定」 + 木の影響「あり」 ⇒ 安定度評価「①極めて不安定」

安定度が「極めて不安定」または「不安定」または「やや不安定」であり、かつ道路へ到達する 17 個(表-6 白抜き)の岩塊を対策工の設計対象とした。

表-6　対策が必要な岩魂を決定

落石源No.	形態	安定状態	木の影響		木の影響を考慮した安定状態	道路への到達可能性	対策の必要性
1	浮石	③やや不安定	なし	→	③やや不安定	なし	なし(谷に落下)
1.5	浮石	③やや不安定	なし	→	③やや不安定	あり	あり
2	浮石	②不安定	あり	↘	①極めて不安定	あり	あり
3	転石	④ほぼ安定	なし	→	④ほぼ安定	なし	なし
3.5	浮石	③やや不安定	あり	↘	②不安定	なし	なし(谷に落下)
4	転石	④ほぼ安定	なし	→	④ほぼ安定	なし	なし
5	転石	④ほぼ安定	なし	→	④ほぼ安定	なし	なし
6	転石	②不安定	なし	→	②不安定	なし	なし(谷に落下)
7	転石	③やや不安定	なし	→	③やや不安定	あり	あり
7'	転石	④ほぼ安定	なし	→	④ほぼ安定	なし	なし
8	浮石	④ぼぼ安定	あり	↘	③やや不安定	あり	あり
9	転石	③やや不安定	あり	↘	②不安定	あり	あり
10	転石	③やや不安定	なし	→	③やや不安定	あり	あり
11	転石	④ほぼ安定	なし	→	④ほぼ安定	なし	なし
12	転石	③やや不安定	あり	↘	②不安定	あり	あり
13	転石	③やや不安定	なし	→	③やや不安定	あり	あり
14	転石	④ほぼ安定	なし	→	④ほぼ安定	なし	なし
15	浮石	②不安定	あり	↘	①極めて不安定	あり	あり
15-1	浮石	①極めて不安定	なし	→	①極めて不安定	あり	あり
16	浮石	③やや不安定	あり	↘	②不安定	あり	あり
17	浮石	②不安定	なし	→	②不安定	あり	あり
18	転石	④ほぼ安定	あり	↘	③やや不安定	あり	あり
19	転石	②不安定	なし	→	②不安定	あり	あり
20	転石	②不安定	あり	↘	①極めて不安定	あり	あり
21	転石	③やや不安定	あり	↘	②不安定	あり	あり
22	転石	②不安定	なし	→	②不安定	あり	あり
23	転石	④ほぼ安定	なし	→	④ほぼ安定	なし	なし
24	転石	④ほぼ安定	なし	→	④ほぼ安定	なし	なし

水色:木の影響評価を加味しても、石の安定状態がほぼ安定のため対策不要

緑色:安定状態はやや不安定以上だが、谷へ落下するため対策不要

(6) 落石対策工の選定

落石対策工の設計については、想定される落石発生源の分布状況や規模、発生形態や斜面地形などを考慮し「落石予防工」と「落石防護工」を組み合わせて、４案を選定した(図-12)。

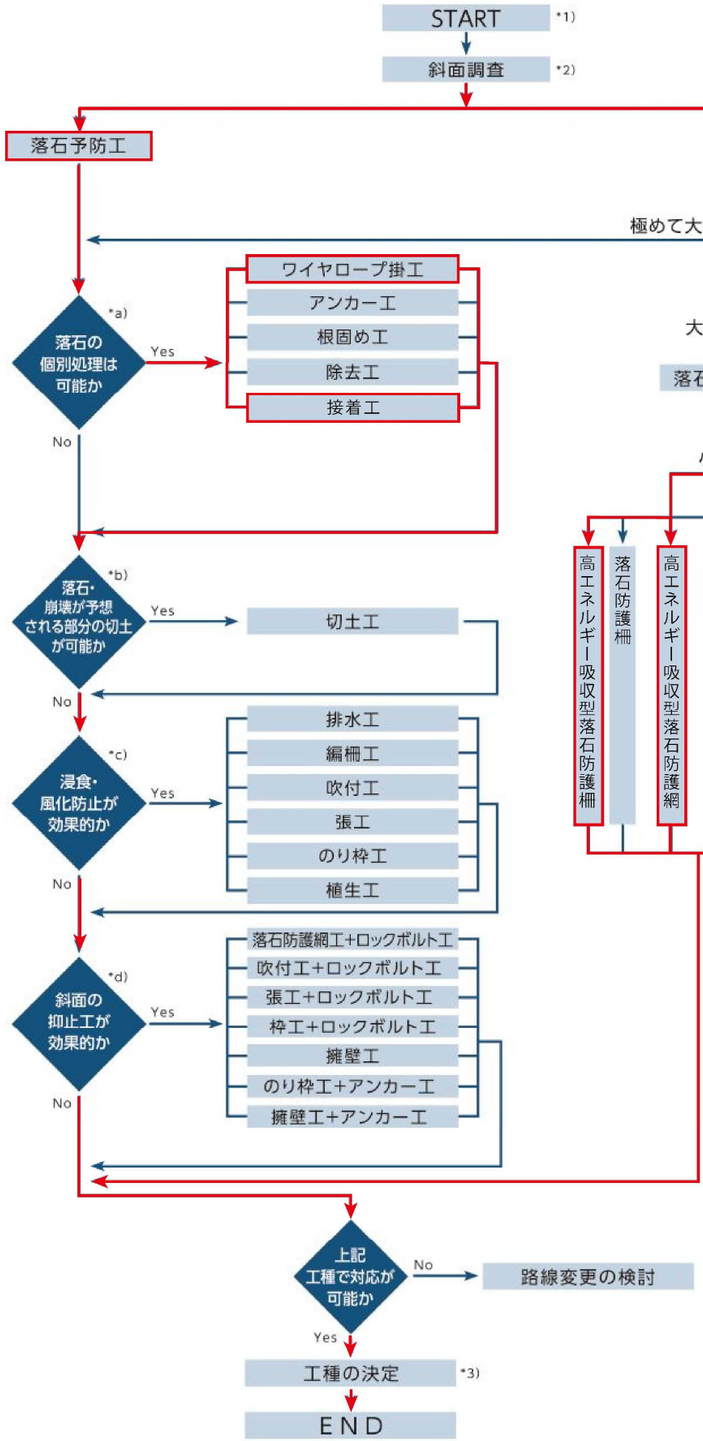
第 1 案:ポケット式落石防護網(通常型)+個別処理工

第 2 案:高エネルギー吸収型ポケット式落石防護網工

第 3 案:高エネルギー吸収型落石防護柵工(山腹設置)

第 4 案:高エネルギー吸収型落石防護柵工(道路際設置)

これらの4案について、図-13 に示した方法で落石エネルギー計算を実施し、表-7 に計算結果を示した。



落石対策便覧(H12.6)p92,93 に一部加筆

＊ 崖錐斜面内に不安定な落石が多数点在するため防護工が必要。

落石防護工として以下を選定。
ポケット式落石防護網（通常）
高エネルギー吸収型ポケット式落石防護網
高エネルギー吸収型落石防護柵（山腹設置）
高エネルギー吸収型落石防護柵（道路際設置）

落石防護工の選定理由

・落石防護柵
本地ではブロック積み擁壁天端に落石防護柵を設置することで径の小さい崖錐堆積物等の道路への落下を防ぐ。

・落石防護土提・落石防護擁壁
本地では道路際にスペースがなく、落石を反覆バウンドさせてエネルギーを吸収・消散させることができないため不適当である。

・多段式落石防護柵
本地では１段で落石防護が可能なため、多段にすると不経済となる。

・ロックシェッド
本地では他工法で落石エネルギーを吸収させることが可能であるため、不適当である。落石防護工のなかで最も極限耐荷力が大きいが最も高価である。

・覆式落石防護網
本地では背後斜面から落石があるためポケット式でないと落石を防護できない。

*1) フローに従い、適用可能な工種を並列的に抽出し、その中から実際に施工する工種を決定する。
*2) 落石予防工と落石防護工は、並列的に比較することとし、必ず両者とも検討する。
*3) 落石予防工間、落石防護工間および落石予防工と落石防護工間の組み合わせについても考慮する。

---

*a) 落石・崩壊が独立的に存在する斜面に適した工法である。 **→適しており採用する。**
*b) 勾配が緩く、除去した石・土砂の搬出が容易な斜面に適した工法である。 **→勾配が急であるため不適とした。**
*c) 比較的小規模な落石等が広範囲にわたり予想される斜面に適した工法である。 **→巨礫が広範囲に分布しており不適とした。**
*d) 落石予防工と落石防護工を組み合わせて用いることにより比較的大規模な落石・崩壊が広範囲にわたり、予想される斜面に適用可能な工法である。 **→落石により斜面不安定化はしないと判断し、適用しない。**

個別処理方法を現地踏査で選定

ワイヤロープ掛工→現地踏査により適しているので採用する。
アンカー工　→浮石、転石の大きさからアンカー工は不適とした。
根固め工　→本地は急こう配で施工性が悪いため不適とした。
除去工　→除去後の処理、背後の不安定化が懸念されるため不適とした。
接着工　→ワイヤロープ掛工の補助工法として、不安定岩塊の抜け落ち防止に併用する。

選定した工法
第１案：ポケット式落石防護網（通常）＋ワイヤロープ掛工
第２案：高エネルギー吸収型ポケット式落石防護網
第３案：高エネルギー吸収型落石防護柵（山腹設置）
第４案：高エネルギー吸収型落石防護柵（道路際設置）

図-12 落石対策工の選定 4)

落石エネルギーの計算

①落石エネルギー計算方法

落石対策便覧 p.19 の式（1-5）にて、落石エネルギーを検討する。

ただし本地は、岩盤斜面の下は、崖錐斜面となっているので、参図-1 のように計算する。

落石対策便覧 p.11 に「斜面が長大となって落下高さが 40m を越えると、落石速度は一定値（終端速度）に達する傾向にあることがわかっている」とされていることから、落下高さが 40m 以上の落石では、落石エネルギー計算に用いる落石の落下高さ H を 40m として計算した。落下高さは落石標高を基準として算出し、岩盤部と崖錐部の合計を落石エネルギーとした。

岩盤部

等価摩擦係数 μ　0.15　軟岩・凹凸中程度　落石対策便覧 p.18　表.1-3 より

岩盤部落下高さ　H1=落石標高(h0)-崖錐境界標高(h1)，(H1>40m の場合は H1=40m)

岩盤部斜面勾配　$\theta 1$：落下高さ H1 と、水平距離 L1（平面図から）より算出

崖錐部

等価摩擦係数 μ　0.25　土砂・凹凸小　落石対策便覧 p.18　表.1-3 より

崖錐部落下高さ　H2=崖錐境界標高(h1)-落石作用位置標高(h2)

(H1<40m かつ H1+H2>40m の場合は H2=40m-H1)

崖錐部斜面勾配　$\theta 2$：落下高さ H2 と、水平距離 L2（平面図から）より算出

②落石エネルギー計算結果

表-7 に落石エネルギー計算結果を示す。

③各対策工法の可能吸収エネルギー（抑止することができる最大エネルギー）

第 1 案　ポケット式落石防護網工

カタログスペックが En=150kJ となっている。

表-7 に防護できない石を示した。

第 2 案　高エネルギー吸収型落石防護網

カタログスペックが En=2000～4000kJ となっている。

本地は最小スペックで安全となるため、En=2000kJ タイプを採用した。

表-7 より、個別処理対応は不要である。

第 3 案　高エネルギー吸収型落石防護柵(山腹設置)

カタログスペックが En=500～3000kJ となっている。

本地の落石源全てに安全となる、En=1000kJ タイプを採用した。

表-7 より、個別処理対応は不要である。

第 4 案　高エネルギー吸収型落石防護柵（道路際設置）

カタログスペックが En=1000kJ となっている。

表-7 より、個別処理対応は不要である。

$$E=(1+\beta)\left(1-\frac{\mu}{\tan\theta}\right)m\cdot g\cdot H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{式（1-5）}$$

ここに，

$$(1+\beta)\left(1-\frac{\mu}{\tan\theta}\right)\leqq 1.0$$

E：落石の全運動エネルギー

β：回転エネルギー係数（0.1 としてよい）

μ：等価摩擦係数（**表 1－3** による）

θ：斜面勾配

m：落石の質量

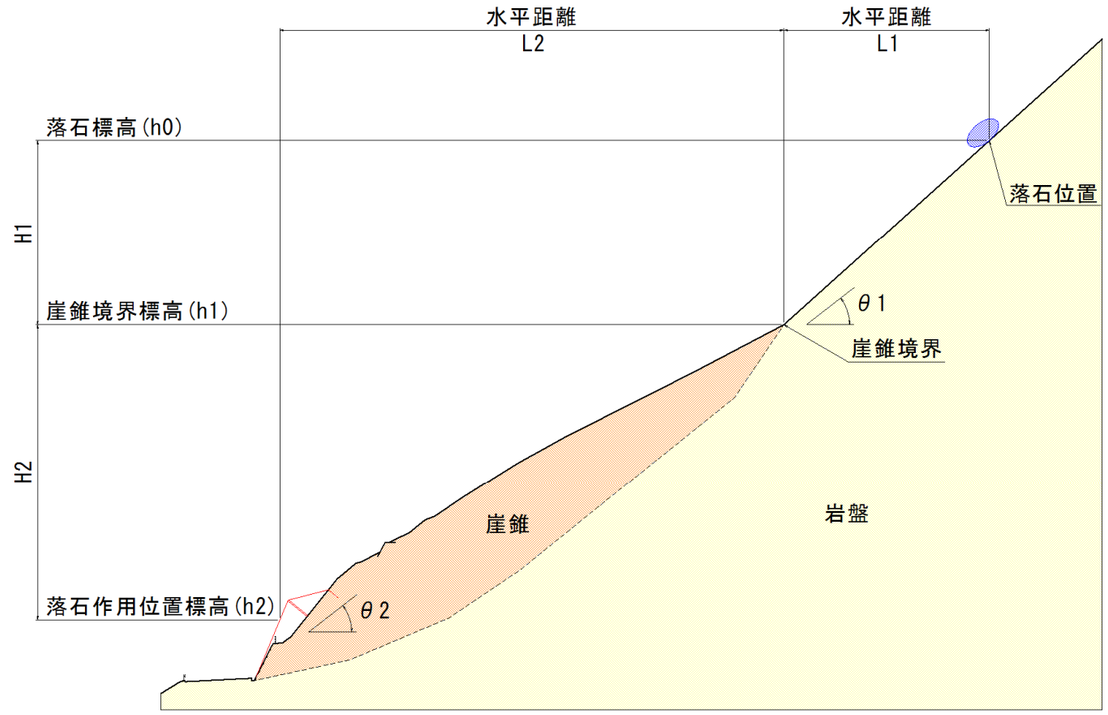
g：重力加速度

H：落石の落下高さ

表 1－3　斜面の種類と等価摩擦係数 μ の値（参考文献 1）を一部修正）

区分	落石および斜面の特性	設計に用いる μ	実験から得られる μ の範囲	
A	硬岩，丸状：凹凸小，立木なし	0.05	0～0.1	
B	軟岩，丸状～角状：凹凸中～大，立木なし	0.15	0.11～0.2	岩盤
C	土砂・崖錐，丸状～角状：凹凸小～中，立木なし	0.25	0.21～0.3	崖錐
D	崖錐・巨礫まじり崖錐，角状：凹凸中～大，立木なし～あり	0.35	0.31～	

落石対策便覧 [4] p18,19 に一部加筆



参図-1　計算断面模式図

図-13　落石エネルギーの計算

表-7 落石エネルギー計算一覧表（γ=30kN/m3）

落石番号	対策の必要性	大きさ（m）	球形直径変換 φ(m)	体積（m^3）	落石荷重（kN）	計算諸元		落石から崖錐境界までの水平距離 L1（m）	崖錐境界もしくは落石から第1案までの水平距離 L2（m）	崖錐境界もしくは落石から第2案までの水平距離 L2（m）	崖錐境界もしくは落石から第3案までの水平距離 L2（m）	崖錐境界もしくは落石から第4案までの水平距離 L2（m）	岩盤斜面平均勾配 θ1（°）	崖錐斜面平均勾配 θ2（°）				落石エネルギー（kJ）				防護工での対応が可能な箇所数			
						落石標高 h0（m）	崖錐境界標高 h1（m）							第1案	第2案	第3案	第4案	第1案	第2案	第3案	第4案	第1案 ポケット式落石防護網工（通常型）	第2案 高エネルギー吸収型 ポケット式落石防護網工	第3案 高エネルギー吸収型 落石防護柵工(山腹設置)	第4案 高エネルギー吸収型 落石防護柵工（道路際設置）
																						落石作用位置標高 h2=161.0m	落石作用位置標高 h2=163.5m	落石作用位置標高 h2=170.0m	落石作用位置標高 h2=158.5m
																						最大吸収E=150kJ	最大吸収E=2,000kJ	最大吸収E=1,000kJ	最大吸収E=1,000kJ
1.5	有り	0.7×0.7×0.7	0.869	0.34	10.29	255.0	172.5	75.8	15.9	14.7	1.8	17.8	47	36	31	54	38	390	390	390	390	×個別対応	○対応可能	○対応可能	○対応可能
2	有り	0.6×0.5×0.7	0.738	0.21	6.30	245.0	181.0	59.5	37.6	36.4	15.3	39.5	47	28	26	36	30	239	239	239	239	×個別対応	○対応可能	○対応可能	○対応可能
7	有り	0.8×0.8×0.8	0.993	0.51	15.36	221.0	－	－	95.8	94.6	80.9	97.7	－	32	31	32	33	406	398	408	412	×個別対応	○対応可能	○対応可能	○対応可能
8	有り	1.2×1.0×0.8	1.224	0.96	28.80	232.0	208.0	29.1	97.1	95.9	66.0	99.0	40	26	25	30	27	867	856	909	875	×個別対応	○対応可能	○対応可能	○対応可能
9	有り	0.6×0.6×0.8	0.819	0.29	8.64	217.0	198.0	20.3	63.0	61.8	42.1	64.9	43	30	29	34	31	266	262	276	269	×個別対応	○対応可能	○対応可能	○対応可能
10	有り	0.6×0.8×1.0	0.972	0.48	14.40	192.0	－	－	48.5	47.3	33.8	50.4	－	33	31	33	34	299	264	215	331	×個別対応	○対応可能	○対応可能	○対応可能
12	有り	0.6×0.6×1.0	0.883	0.36	10.80	191.0	－	－	57.0	55.8	38.0	58.9	－	28	26	29	29	187	161	137	211	×個別対応	○対応可能	○対応可能	○対応可能
13	有り	0.5×0.6×1.2	0.883	0.36	10.80	185.0	－	－	50.0	48.8	22.2	51.9	－	26	24	34	27	137	110	112	161	○対応可能	○対応可能	○対応可能	○対応可能
15	有り	0.6×0.8×1.6	1.136	0.77	23.04	190.0	175.0	12.4	20.9	19.7	6.2	22.8	50	34	30	39	36	555	500	420	607	×個別対応	○対応可能	○対応可能	○対応可能
15-1	有り	0.3×0.4×0.4	0.451	0.05	1.44	190.0	175.0	12.4	20.9	19.7	6.2	22.8	50	34	30	39	36	35	31	26	38	○対応可能	○対応可能	○対応可能	○対応可能
16	有り	0.6×0.8×0.8	0.902	0.38	11.52	184.0	174.0	7.5	19.6	18.4	4.8	21.5	53	34	30	40	36	215	187	148	241	×個別対応	○対応可能	○対応可能	○対応可能
17	有り	0.4×0.3×0.4	0.451	0.05	1.44	179.0	171.0	8.2	13.2	12.0	0.5	15.1	44	37	32	63	40	21	18	12	25	○対応可能	○対応可能	○対応可能	○対応可能
18	有り	0.8×1.4×1.2	1.369	1.34	40.32	176.0	－	－	24.1	22.9	9.3	26.0	－	32	29	33	34	398	300	163	488	×個別対応	○対応可能	○対応可能	○対応可能
19	有り	1.0×0.8×0.8	1.069	0.64	19.20	174.0	－	－	20.8	19.6	6.0	22.7	－	32	28	34	34	165	118	53	208	×個別対応	○対応可能	○対応可能	○対応可能
20	有り	2.0×0.6×1.0	1.319	1.20	36.00	173.0	－	－	20.0	18.8	5.4	21.9	－	31	27	29	34	277	190	65	357	×個別対応	○対応可能	○対応可能	○対応可能
21	有り	0.8×1.7×2.0	1.732	2.72	81.60	170.0	－	－	17.5	16.3	0.1	19.4	－	27	22	17	31	415	218	0	597	×個別対応	○対応可能	○対応可能	○対応可能
22	有り	0.3×0.4×0.3	0.410	0.04	1.08	170.0	－	－	23.6	22.4	0.1	25.5	－	21	16	17	24	4	1	0	6	○対応可能	○対応可能	○対応可能	○対応可能
対策工必要箇所数（全体）																						17箇所	17箇所	17箇所	17箇所
防護工での対応が可能な箇所数																						4箇所	17箇所	17箇所	17箇所
予防工での対応が必要な箇所数																						13箇所	0箇所	0箇所	0箇所

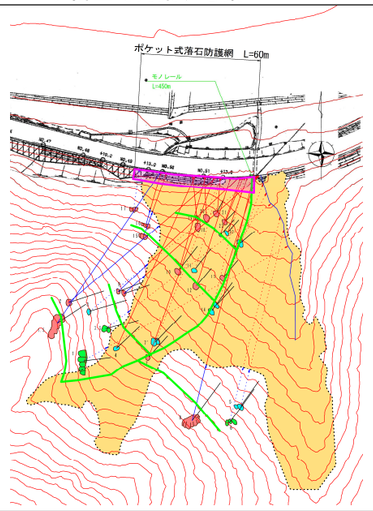
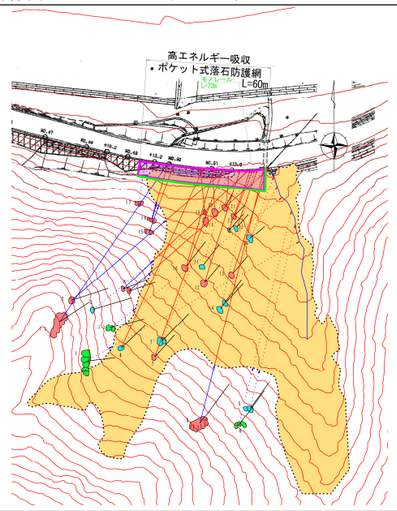
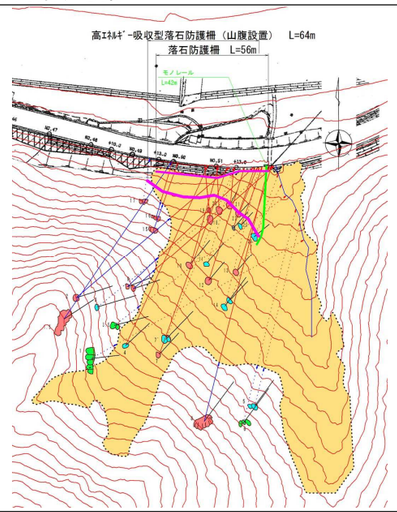
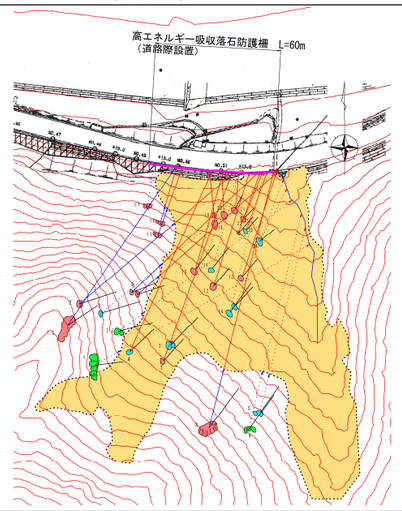
計算の詳細は巻末資料-Ⅱを参照

(7) 落石対策工の比較

表-8 で経済性、施工性、工期、維持管理などを比較検討した。比較の結果、経済性、施工性、工期、維持管理で総合的に有利である「高エネルギー吸収型ポケット式落石防護網工」を落石対策工として採用した。

なお、樹木の成長を考慮し、不安定な落石源では、周囲の伐採を行う。

表-8　落石対策工法比較表

		第１案　ポケット式落石防護網工(通常型) +ﾜｲﾔｰﾛｰﾌﾟ掛工	第２案　高エネルギー吸収型ポケット式 落石防護網工	第３案　高エネルギー吸収型落石防護柵工 （山腹設置）	第４案　高エネルギー吸収型落石防護柵工 （道路際設置）
概　　要		ポケット式落石防護網（起点側採用工法）及びワイヤーロープ掛工で対策する案	不安定な落石源を全て高エネルギー吸収型ポケット式落石防護網工により対策する案	高エネルギー吸収型落石防護柵工及びストーンガードにより対策する案	不安定な落石源を全て高エネルギー吸収型落石防護柵工により対策する案
平　面　図					
特徴	特　　徴	道路際に、起点側対策区間で設置されている通常型のポケット式落石防護網を設置、同対策で抑制できない岩塊（13 箇所）についてはワイヤーロープ掛工にて個別処理を行う。	道路際に高エネルギー吸収型ポケット式落石防護網を設置し、全ての落石を待ち受ける。	エネルギーの大きなものを含めた落石を斜面内で高エネルギー吸収型落石防護柵にて捕捉し、残斜面の小規模な落石をストーンガードにより対策する。	エネルギーの大きなものを含めた落石を道路際で高エネルギー吸収型落石防護柵にて捕捉する。
	メ リ ッ ト	・他案では落石源が落下することで、その背後の岩塊が不安定化する可能性があるが、個別処理の場合はそれがない。 ・光ケーブルの移設の必要がない。	・経済性：比較４案中、最も安価である。 ・施工性：道路付近の工事なので容易である。 ・工　期：比較４案中、最も工期が短い。 ・維持管理：落石が発生した際は道路際で処理可能であり、維持管理が容易である。	・高エネルギー吸収型落石防護柵工は補足実績が多く信頼できる工法である。	・経済性：最も安価な第２案と大差ないので、経済的である。 ・維持管理：落石が発生した際は道路際で処理可能であり、維持管理が容易である。
	デメリット	・経済性：比較４案中、最も高価である。 ・施工性：個別処理は斜面内での施工となる。 ・工　　期：仮設工・個別処理工に時間を要するため、最も工期が長くなる。 ・維持管理：個別処理箇所の点検・補修に時間・コストがかかる。	・ネット内にアンカーを設置する必要があり、ボーリング削孔が必要となる。	・経済性：比較４案中、３番目となり不経済である。 ・施工性：工種が２つあり、かつ斜面内作業となるため施工性に劣る。 ・工　期：保安林解除および光ケーブルの移設が必要となり、最も工期がかかる。 ・維持管理：柵の設置が斜面内となり、管理・補修が行いにくい。	・施工性：既設擁壁の途中に鋼管杭を設置する必要があり、施工性が悪い。 ・工　期：比較４案中、３番目に工期がかかる。
概算工事費		項目 / 単価(円) / 数量 / 工事費 ワイヤーロープ掛工 / 800,000 / 13箇所 / 10,400,000 ポケット式落石防護網(60m×10m) / 8,300 / 600㎡ / 4,980,000 仮設工 / 94,315 / 450.0m / 42,441,750 岩盤接着工 / 500,000 / 2箇所 / 1,000,000 合計 / 58,821,750	項目 / 単価(円) / 数量 / 工事費 高ｴﾈﾙｷﾞｰ吸収型落石防護網(60m×15m) / 23,234 / 915㎡ / 21,259,110 仮設工 / 187,396 / 72.0m / 13,492,512 合計 / **34,751,622**	項目 / 単価(円) / 数量 / 工事費 高ｴﾈﾙｷﾞｰ吸収型落石防護柵 / 560,159 / 64.0m / 35,850,176 仮設工(供用期間3ヶ月) / 247,246 / 42.0m / 10,384,332 落石防護柵(柵高2.5m) / 35,000 / 56.0m / 1,960,000 合計 / **48,194,508**	項目 / 単価(円) / 数量 / 工事費 高ｴﾈﾙｷﾞｰ吸収型落石防護柵 / 520,000 / 60.0m / 31,200,000 根固めコンクリート / 78,000 / 61.0m / 4,758,000 合計 / **35,958,000**
工　　期		16 ヵ月（保安林解除必要）	12 ヵ月（保安林解除必要）	19 ヵ月（保安林解除・電柱支障移転必要）	17 ヵ月（電柱支障移転必要）
評　　価		経済性、施工性、工期、維持管理で 不利となり採用しない。 ×	経済性、施工性、工期、維持管理で 最も有利となり採用する。 ◎	経済性、施工性、工期、維持管理で 他案より不利となり採用しない。 △	経済性、維持管理では１案、３案より優れるが 施工性、工期で２案より不利となり採用しない。 ○

4. 落石事故の再発防止策について

(1) 落石事故再発防止に向けた島根県の現状

1) 現状

島根県管理道では、小径のものを中心に年平均で延べ10，000箇所程度で落石が発生している（図-14）。

これらの落石をはじめとする道路の防災対策を計画的に進めるため、平成8・9年に全路線を対象に道路防災点検を行い、2，136箇所※1の要対策箇所と1，127箇所※1のカルテ監視箇所を選定した。

その後約20年間で要対策箇所のうち786※1※2箇所で対策工事を実施したが、未だ1，350箇所で対策が未着手のままとなっている。

※1：箇所数は、落石・崩壊、岩石崩壊、地すべり、雪崩等10項目の点検項目に該当するものの総計

※2：平成 28 年 3 月 31 日時点

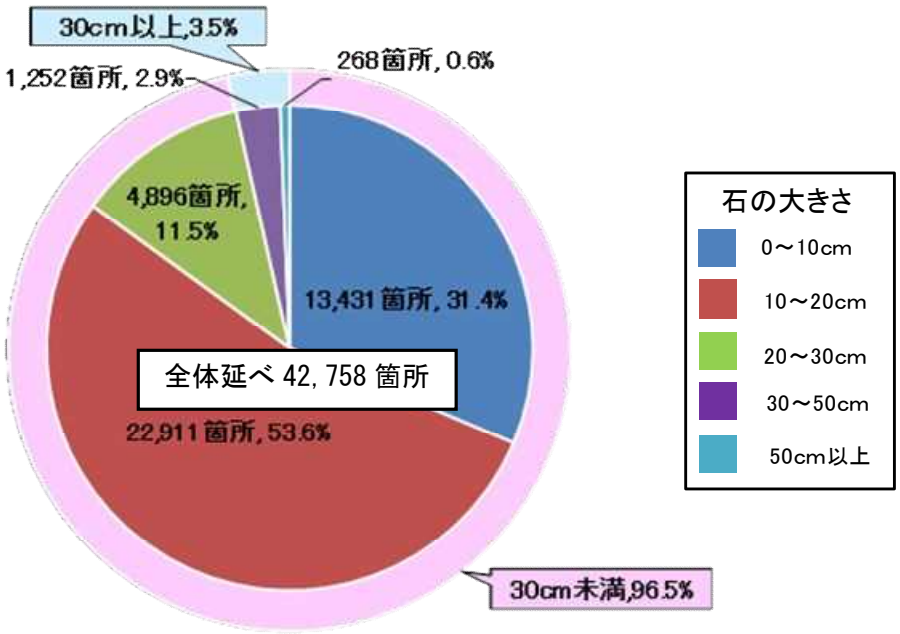


図-14　道路パトロール時に処理した落石の大きさ別箇所数(H24～H27)

(2) 落石事故の再発防止策について

1) 落石情報の収集

落石情報の収集においては県民の協力が大切であり、県民が情報を提供しやすい環境作りとして、危険箇所の位置がわかるような危険箇所番号標や関係機関の連絡先がわかる工夫が必要である。

道路パトロールではタブレット端末やスマートフォン等を活用して落石記録を蓄積するなど、質の向上と効率化が必要である。

2) 正確な現地情報の把握・活用と継続的かつ効率的な点検の実施

落石の安定度評価では、現在の安定度だけでなく、樹木・根系の成長性の影響を考慮した安定度の評価を行うことが有効である。参考として、樹木と根系の成長による落石形態を図-15 に示す。

落石情報をデータベース化し、落石履歴がある箇所は、優先的に現地情報を把握することが重要である。落石発生時には現地の状況を把握して記録し、データベースへ反映させることが重要である。

平成8～9年度に行った道路防災総点検からほぼ20年が経過しているため、今後の計画的かつ効率的な再発防止を図るために、既設の対策箇所を含めた総点検を速やかに実施し、その後も定期的な点検を実施することが重要である。

既に対策工事が行われている箇所においては、想定される災害の規模や形態に対して、既設の対策工が効果的であるかを評価することが必要である。

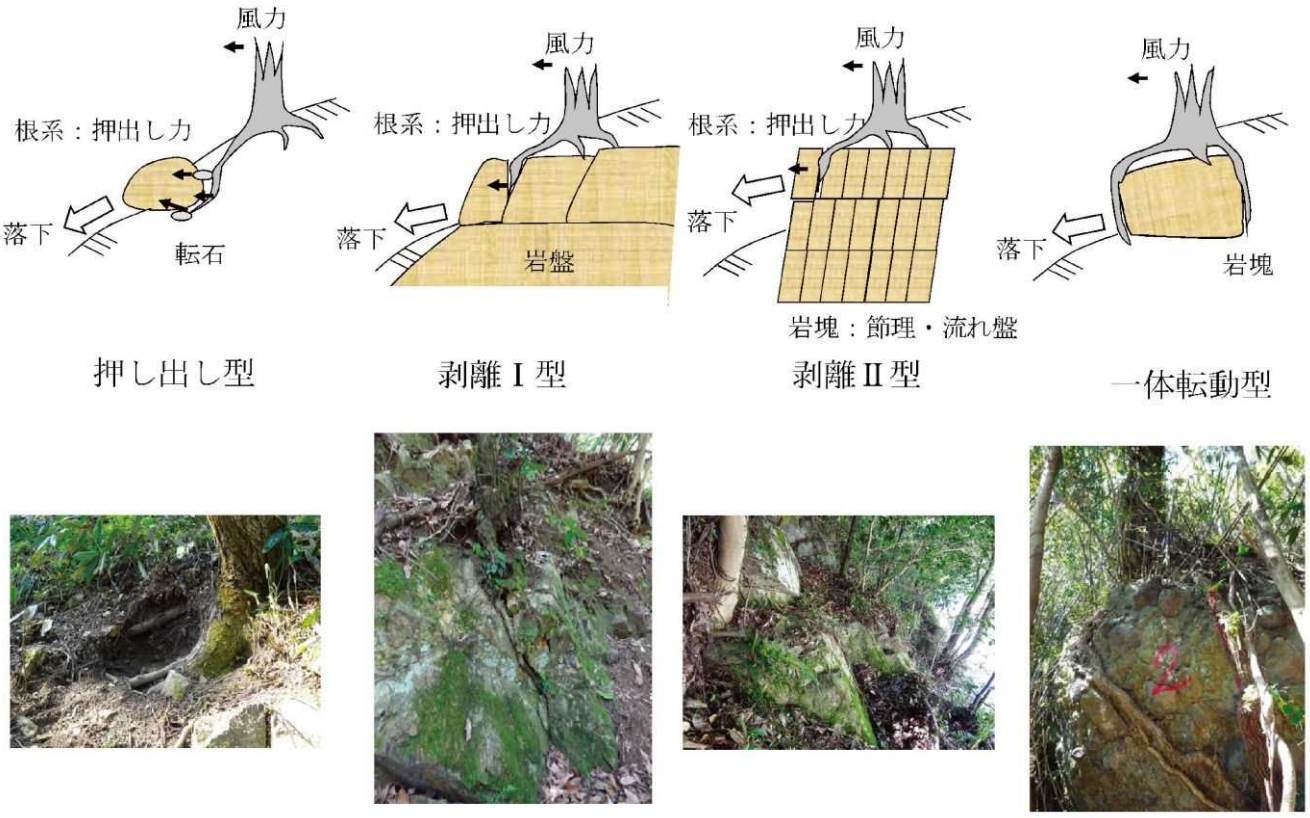


図-15 樹木と根系の成長による落石形態

3) 対策工の進め方と評価

対策工事は落石の履歴と路線の重要性を考慮して、優先度をつけて効率的に行うことが必要である。

樹木の成長が、浮き石・転石の不安定化の要因の一つである可能性があることから、対策工事（予防工）の一つの工種として伐採工の検討が必要である（図-16）。

落石の発生頻度が高い発生源から、発生頻度が稀な発生源へと段階的に落石対策工事を行うことにより、県全体での安全性を確保・向上させていくよう取り組むことが必要である（図-17）。

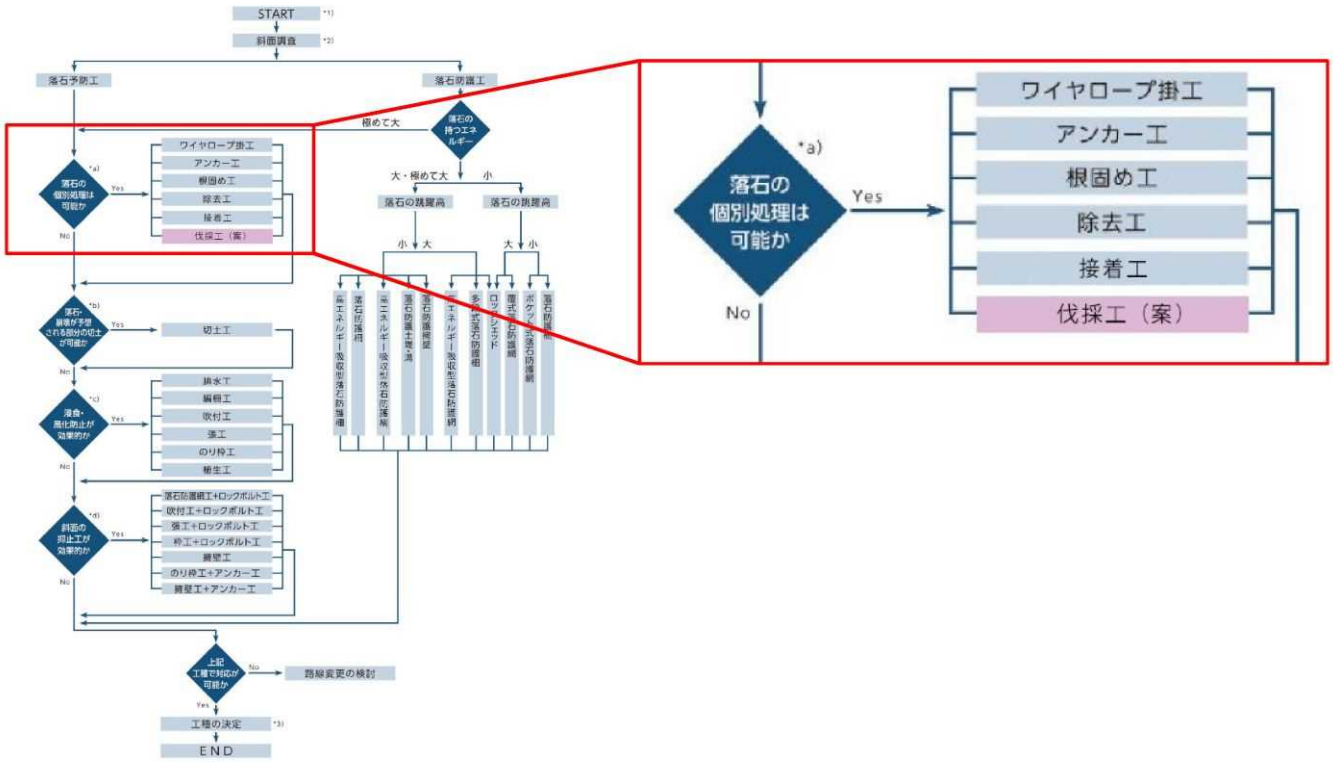


図-16　落石対策工 [4]として樹木の影響を考慮した伐採工の提案

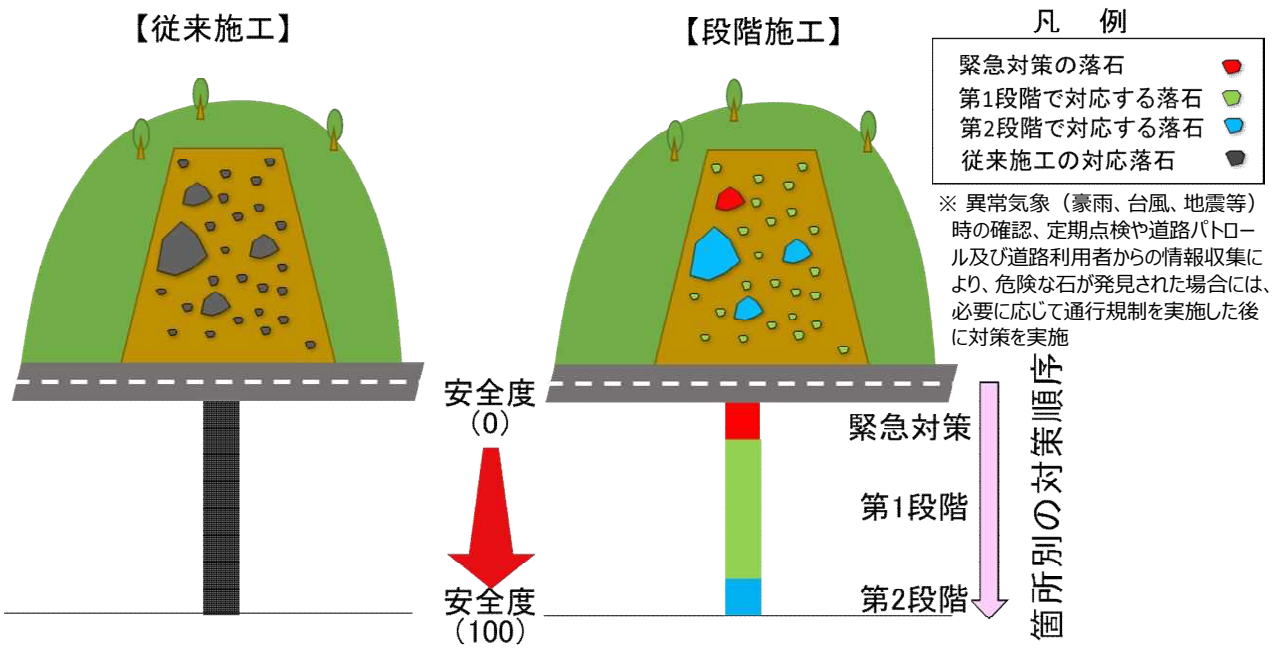


図-17　段階的に落石対策工事を行うイメージ

4）人材育成と技術力向上

職員や点検者に対しては落石等に対応するための技術力の向上を図るため、講習会を実施することが必要である。

職員が専門家と一緒に現地を見るなどにより、落石等に対する点検・対策における職員の技術力を高めることが重要である。

継続的な点検を通じて、職員・点検者とも現場での経験を積み重ねることにより、技術力の向上と後継者の育成に努めていくことが重要である。

5）教訓・知見の共有と発信

今回の事故およびその原因・対策の検討から、再発防止に関わる有益な教訓・知見が得られたが、それらは、島根県内に止まらず、国・他の自治体における類似事故の防止のために、共有できるように、県HP、行政機関間会議、学会など、あらゆる場を通じて、積極的に情報発信するとともに、必要な連携・協力を図ることが必要である。

５．引用文献

1）稲川 貢、後藤 博正、馬場 雅明（2007.9）樹齢から見た河道内樹木の発達過程に関する調査,北陸地方整備局 事業研究発表会

2）国土交通省気象庁 HP：瑞穂　2016 年 5 月 4 日（１０分ごとの値）
（http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/10min_a1.php?prec_no=68&block_no=1094&year=2016&month=5&day=4&view=）

3）清水美里（2012）屋上緑化木の抗力係数の現場測定, 北海道大学農学院修士論文,p.32

4）社団法人日本道路協会（2000）落石対策便覧,p.422

巻末資料

巻末資料－Ⅰ　落石事故の再発防止に関する提言

本委員会において、平成２８年５月４日に（主）浜田作木線（邑智郡邑南町戸河内地内）で発生した落石の原因を究明し、当該箇所の対策方法を検討するとともに、継続的な点検手法など落石事故の再発防止に向けた取り組みについて取りまとめた「落石事故の再発防止に関する提言」を次頁より示す。

落石事故の再発防止に関する提言

平成２８年８月

落石事故再発防止検討委員会

本委員会において、平成２８年５月４日に（主）浜田作木線（邑智郡邑南町戸河内地内）で発生した落石の原因を究明し、当該箇所の対策方法を検討するとともに、継続的な点検手法など落石事故の再発防止に向けた取り組みについて取りまとめた結果を、次ページのとおり提言するものである。

○原因について

樹木（オニグルミ）の根元に残された窪みが、落下した岩塊の発生源であること､落下した岩塊の発生源から路上までの軌跡を確認した。

本件の落石発生メカニズムについては、以下のとおりである。

樹木の根元にあった岩塊は、根系の成長により押し出されるように不安定化が進行して、さらに、事故当時の最大瞬間風速は 24.2m/s（瑞穂観測所）であり、同観測所の観測史上最大の記録であったが、その強風により樹木が揺れ、根が揚動した。

その結果、不安定な岩塊に根の移動が加わる複合的な原因により、岩塊の落下に至った。

○対策工法について

対策工法を検討する過程で、近傍の樹木の根の影響を考慮して危険度を評価することが必要であるとした。

その結果、現時点で安定度評価が必要な全ての落石源を抽出し、安定度評価を実施したが、樹木の影響がある落石源の安定度評価を１ランク危険側に評価して、対策工の設計を実施した。

工法選定においては、落石対策便覧に基づき「落石予防工」と「落石防護工」を組み合わせた４案を比較検討して、経済性、施工性、工期、維持管理において総合的に有利である「高エネルギー吸収型落石防護網工」とした。なお、再発防止策の提言Ⅲの伐採工も採用している。

【 提言 】

○再発防止策について

（提言Ⅰ）落石情報の収集

①落石情報の収集においては県民の協力が大切であり、県民が情報を提供しやすい環境作りが必要である。

②道路パトロールではタブレット端末やスマートフォン等を活用して落石記録を蓄積するなど、質の向上と効率化が必要である。

（提言Ⅱ）正確な現地情報の把握・活用と継続的かつ効率的な点検の実施

①落石の安定度評価では、現在の安定度だけでなく、樹木・根系の成長性の影響を考慮した安定度の評価を行うことが有効である。

②落石履歴がある箇所は、優先的に現地情報を把握することが重要である。

③平成８～９年度に行った道路防災総点検からほぼ２０年が経過しているため、今後の計画的かつ効果的な再発防止を図るために、既設の対策箇所を含めた総点検を速やかに実施し、その後も定期的な点検を実施することが重要である。

④既に対策工事が行われている箇所においては、想定される災害の規模や形態に対して、既設の対策工が効果的であるかを評価することが必要である。

（提言Ⅲ）対策工の進め方と評価

①対策工事は落石の履歴と路線の重要性を考慮して、優先度をつけて効率的に行うことが必要である。

②樹木の成長が、浮き石・転石の不安定化の要因の一つである可能性があることから、対策工事（予防工）の一つの工種として伐採工の検討が必要である。

③落石の発生頻度が高い発生源から、発生頻度が稀な発生源へと段階的に落石対策工事を行うことにより、県全体での安全性を確保・向上させていくよう取り組むことが必要である。

（提言Ⅳ）人材育成と技術力向上

① 職員や点検者に対しては落石等に対応するための技術力の向上を図るため、講習会を実施することが必要である。

② 職員が専門家と一緒に現地を見るなどにより、落石等に対する点検・対策における職員の技術力を高めることが重要である。

③ Ⅱ③で提言する継続的な点検を通じて、職員・点検者とも現場での経験を積み重ねることにより、技術力の向上と後継者の育成に努めていくことが重要である。

（提言Ⅴ）教訓・知見の共有と発信

○今回の事故およびその原因・対策の検討から、再発防止に関わる有益な教訓・知見が得られたが、それらは、島根県内に止まらず、国・他の自治体における類似事故の防止のために、共有できるように、県ＨＰ、行政機関間会議、学会など、あらゆる場を通じて、積極的に情報発信するとともに、必要な連携・協力を図ることが必要である。

付属資料

付１．落石事故再発防止検討委員会名簿（五十音順、敬称略）

名簿添付

付２．検討経緯

第１回検討委員会　平成２８年５月２２日（日）

「原因究明、対策検討、再発防止検討に必要な情報共有について」

①事故状況について

②島根県の概要について

③必要な調査項目について

検討委員会（現地調査）　平成２８年６月２日（木）

①国道３７５号（邑智郡美郷町長藤）

②（一）美郷飯南線（邑智郡美郷町川戸）

③（主）三瓶山公園線（大田市大田町大田）

第２回検討委員会　平成２８年７月８日（金）

「原因究明、対策工法の検討について」

①落石発生原因（素因、誘因）について

②対策工の検討について

第３回検討委員会　平成２８年７月２９日（金）

「落石事故の再発防止の検討について」

①落石情報の収集と活用について

②法面点検の継続と効率化について

③対策工の進め方と評価について

第４回検討委員会　平成２８年８月８日（月）

「落石事故の再発防止に関する提言について」

付属資料１

落石事故再発防止検討委員会　名簿

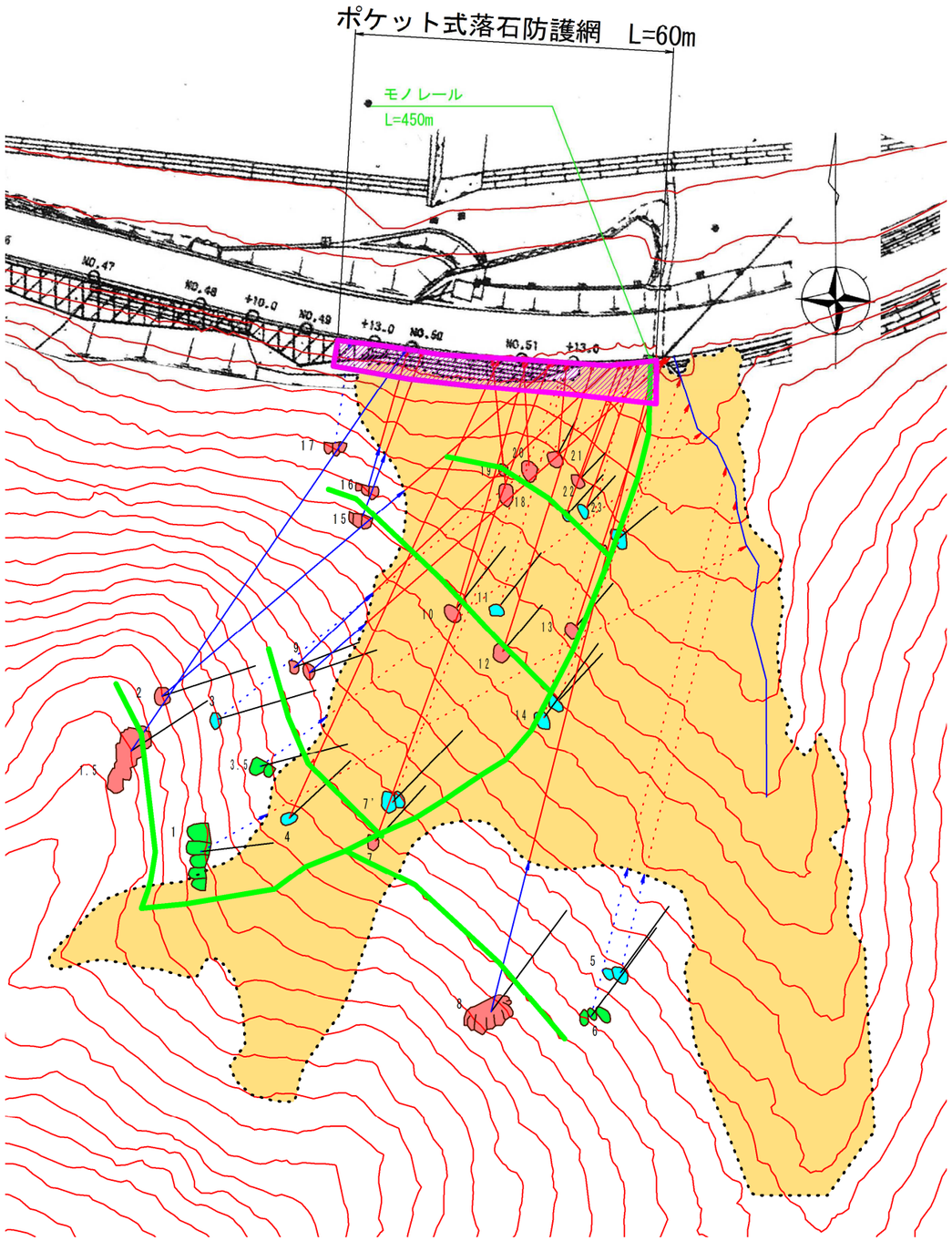
役　割	所　　属	役　職	氏　名	備　考
委 員 長	大阪大学大学院 工学研究科	教　授	常田（トキダ） 賢一（ケンイチ）	（地盤工学）
委　員	国立研究開発法人 土木研究所	総括主任研究員	浅井（アサイ） 健一（ケンイチ）	（道路斜面防災）
委　員	松江工業高等専門学校 環境・建設工学科	教　授	河原（カワハラ） 荘一郎（ソウイチロウ）	（土質工学）
委　員	土木学会 斜面工学研究小委員会	副 委 員 長	藤井（フジイ） 俊逸（シュンイツ）	（斜面工学）
委　員	島根大学大学院 総合理工学部研究科	教　授	汪（ワン） 発武（ハツブ）	（地質学） 道路防災ドクター （中国地方整備局）
事 務 局	島根県 土木部 道路維持課			

（五十音順、敬称略）

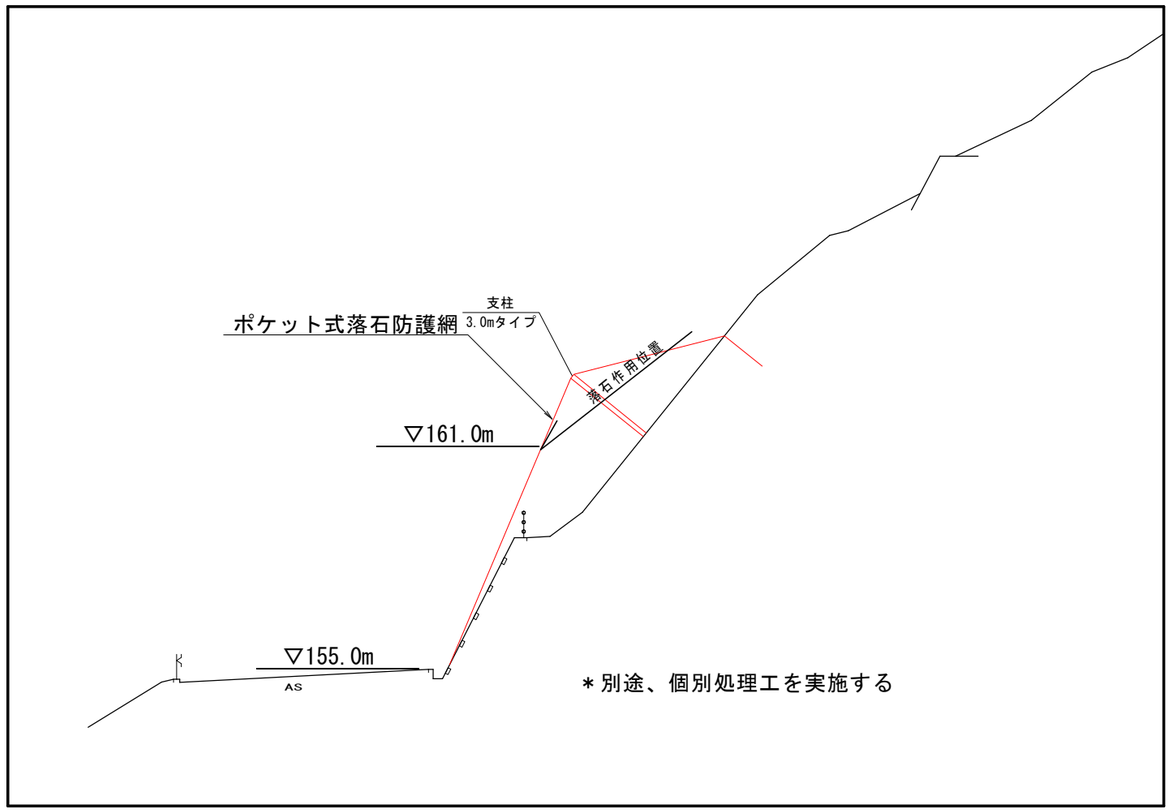
巻末資料－Ⅱ　落石対策案

落石対策工の設計については、想定される落石発生源の分布状況や規模、発生形態や斜面地形などを考慮し「落石予防工」と「落石防護工」を組み合わせて4案を選定した。これらの対策工案について次頁から平面図と断面図および落石エネルギー計算表を示す。

第１案　ポケット式落石防護網（通常型）＋ワイヤロープ掛工案



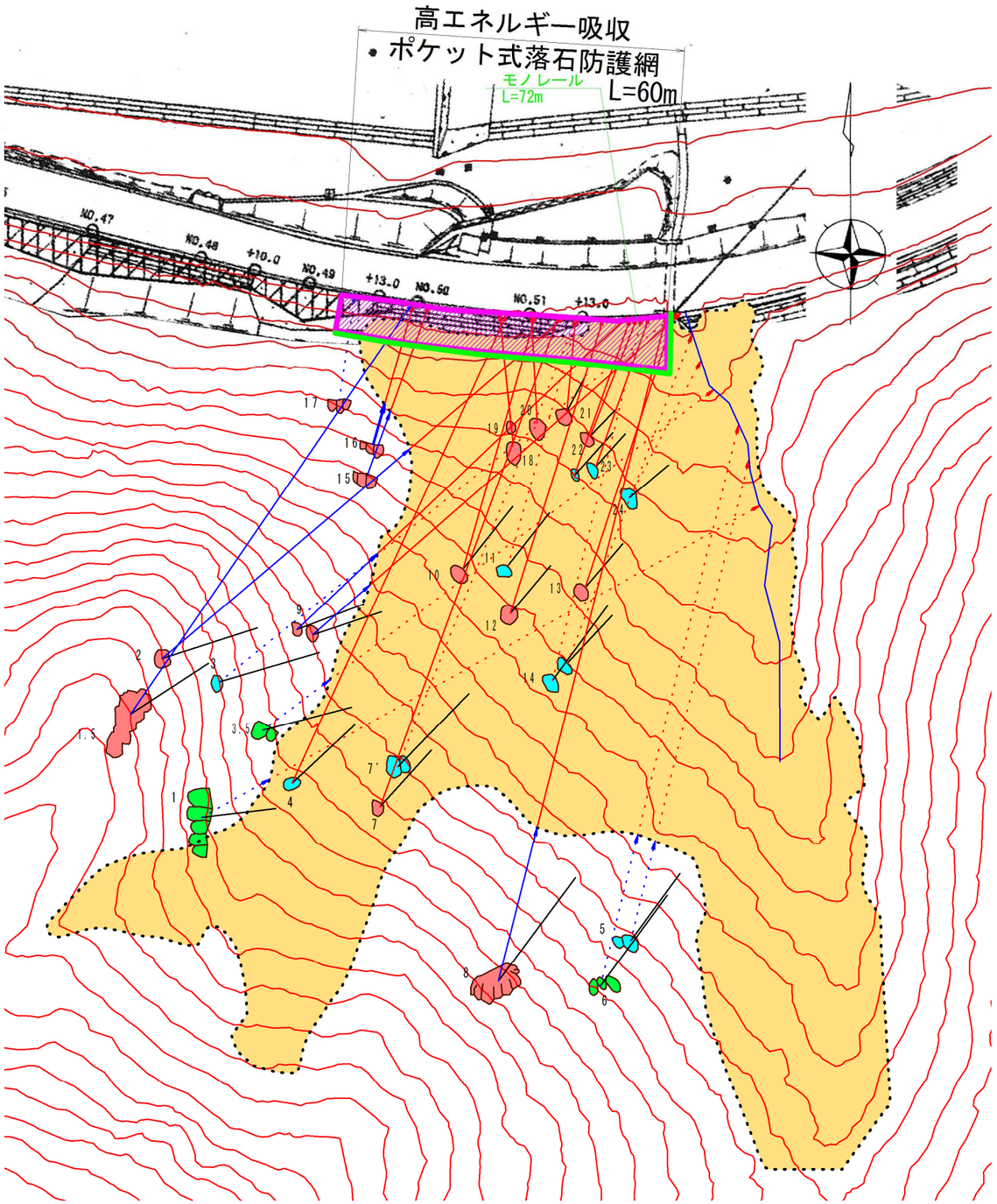
標準断面図



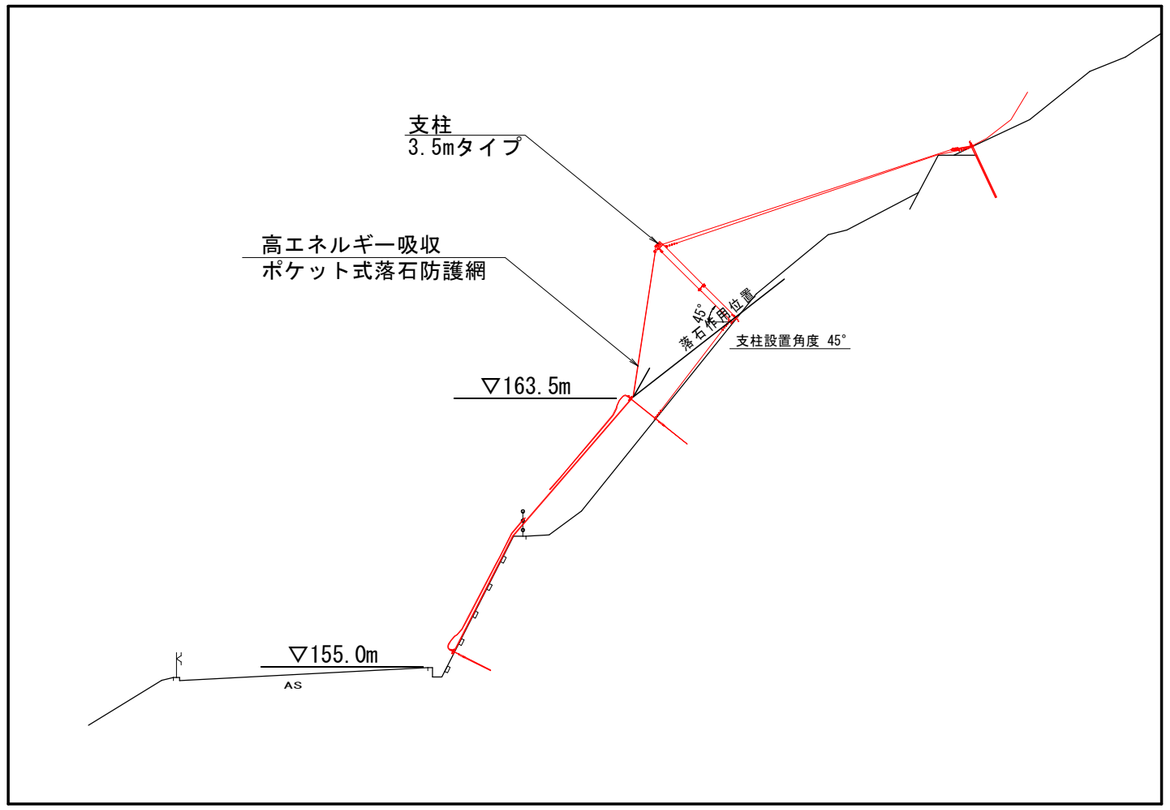
第1案　落石エネルギー計算表

落石番号	対策の必要性	大きさ（m）	球形直径変換（φm）	体積（m^3）	落石荷重（kN）	岩盤斜面平均勾配θ1（°）	崖錐斜面平均勾配θ2（°）	落下高さ（m）							落石から崖錐境界までの水平距離L1（m）	崖錐境界もしくは落石から第1案までの水平距離L2（m）	等価係数		落石エネルギー（kJ）	対策工法	備考
								落石標高h0（m）	崖錐境界標高h1（m）	岩盤斜面高さH1（m）	高さ（補正）（m）	落石作用位置標高h2（m）	崖錐斜面高さH2（m）	高さ（補正）（m）			岩盤	崖錐		ポケット式落石防護網工（通常型）150kJ	
1	無し	1.0×1.0×0.8	1.152	0.80	24.00	40	26	241.0	229.0	12.0	12.0	161.0	68.0	28.0	14.2	141.8	0.15	0.25	614	－	谷へ落下
1.5	有り	0.7×0.7×0.7	0.869	0.34	10.29	47	36	255.0	172.5	82.5	40.0	161.0	11.5	0.0	75.8	15.9	0.15	0.25	390	×個別対応	
2	有り	0.6×0.5×0.7	0.738	0.21	6.30	47	28	245.0	181.0	64.0	40.0	161.0	20.0	0.0	59.5	37.6	0.15	0.25	239	×個別対応	
3	無し	0.6×0.8×1.0	0.972	0.48	14.40	45	28	235.0	198.0	37.0	37.0	161.0	37.0	3.0	37.1	70.6	0.15	0.25	523	－	ほぼ安定
3.5	無し	0.8×0.6×1.2	1.032	0.58	17.28	40	27	227.0	214.0	13.0	13.0	161.0	53.0	27.0	15.4	103.6	0.15	0.25	466	－	谷へ落下
4	無し	1.0×1.0×0.8	1.152	0.80	24.00	－	35	227.0	－	－	－	161.0	66.0	40.0	－	94.9	0.15	0.25	676	－	ほぼ安定
5	無し	1.2×0.6×1.0	1.112	0.72	21.60	33	20	211.0	199.0	12.0	12.0	161.0	38.0	28.0	18.3	102.3	0.15	0.25	437	－	ほぼ安定
6	無し	1.2×0.5×0.4	0.771	0.24	7.20	37	21	219.0	199.0	20.0	20.0	161.0	38.0	20.0	26.4	100.8	0.15	0.25	180	－	谷へ落下
7	有り	0.8×0.8×0.8	0.993	0.51	15.36	－	32	221.0	－	－	－	161.0	60.0	40.0	－	95.8	0.15	0.25	406	×個別対応	
7'	無し	0.8×1.0×2.0	1.451	1.60	48.00	－	32	216.0	－	－	－	161.0	55.0	40.0	－	88.9	0.15	0.25	1259	－	ほぼ安定
8	有り	1.2×1.0×0.8	1.224	0.96	28.80	40	26	232.0	208.0	24.0	24.0	161.0	47.0	16.0	29.1	97.1	0.15	0.25	867	×個別対応	
9	有り	0.6×0.6×0.8	0.819	0.29	8.64	43	30	217.0	198.0	19.0	19.0	161.0	37.0	21.0	20.3	63.0	0.15	0.25	266	×個別対応	
10	有り	0.6×0.8×1.0	0.972	0.48	14.40	－	33	192.0	－	－	－	161.0	31.0	31.0	－	48.5	0.15	0.25	299	×個別対応	
11	無し	0.6×0.6×0.5	0.701	0.18	5.40	－	29	187.0	－	－	－	161.0	26.0	26.0	－	47.4	0.15	0.25	84	－	ほぼ安定
12	有り	0.6×0.6×1.0	0.883	0.36	10.80	－	28	191.0	－	－	－	161.0	30.0	30.0	－	57.0	0.15	0.25	187	×個別対応	
13	有り	0.5×0.6×1.2	0.883	0.36	10.80	－	26	185.0	－	－	－	161.0	24.0	24.0	－	50.0	0.15	0.25	137	○対応可能	
14	無し	1.0×0.6×0.6	0.883	0.36	10.80	－	25	193.0	－	－	－	161.0	32.0	32.0	－	68.8	0.15	0.25	176	－	ほぼ安定
15	有り	0.6×0.8×1.6	1.136	0.77	23.04	50	34	190.0	175.0	15.0	15.0	161.0	14.0	14.0	12.4	20.9	0.15	0.25	555	×個別対応	
15-1	有り	0.3×0.4×0.4	0.451	0.05	1.44	50	34	190.0	175.0	15.0	15.0	161.0	14.0	14.0	12.4	20.9	0.15	0.25	35	○対応可能	
16	有り	0.6×0.8×0.8	0.902	0.38	11.52	53	34	184.0	174.0	10.0	10.0	161.0	13.0	13.0	7.5	19.6	0.15	0.25	215	×個別対応	
17	有り	0.4×0.3×0.4	0.451	0.05	1.44	44	37	179.0	171.0	8.0	8.0	161.0	10.0	10.0	8.2	13.2	0.15	0.25	21	○対応可能	
18	有り	0.8×1.4×1.2	1.369	1.34	40.32	－	32	176.0	－	－	－	161.0	15.0	15.0	－	24.1	0.15	0.25	398	×個別対応	
19	有り	1.0×0.8×0.8	1.069	0.64	19.20	－	32	174.0	－	－	－	161.0	13.0	13.0	－	20.8	0.15	0.25	165	×個別対応	
20	有り	2.0×0.6×1.0	1.319	1.20	36.00	－	31	173.0	－	－	－	161.0	12.0	12.0	－	20.0	0.15	0.25	277	×個別対応	
21	有り	0.8×1.7×2.0	1.732	2.72	81.60	－	27	170.0	－	－	－	161.0	9.0	9.0	－	17.5	0.15	0.25	415	×個別対応	
22	有り	0.3×0.4×0.3	0.410	0.04	1.08	－	21	170.0	－	－	－	161.0	9.0	9.0	－	23.6	0.15	0.25	4	○対応可能	
23	無し	0.6×0.8×0.9	0.938	0.43	12.96	－	26	175.0	－	－	－	161.0	14.0	14.0	－	29.3	0.15	0.25	95	－	ほぼ安定
24	無し	1.2×1.0×1.0	1.319	1.20	36.00	－	23	172.0	－	－	－	161.0	11.0	11.0	－	26.2	0.15	0.25	176	－	ほぼ安定
対策工必要箇所数（全体）																				17箇所	
対策工対応可能箇所数																				4箇所	
個別対策工必要箇所数																				13箇所	

第２案　高エネルギー吸収型ポケット式落石防護網案



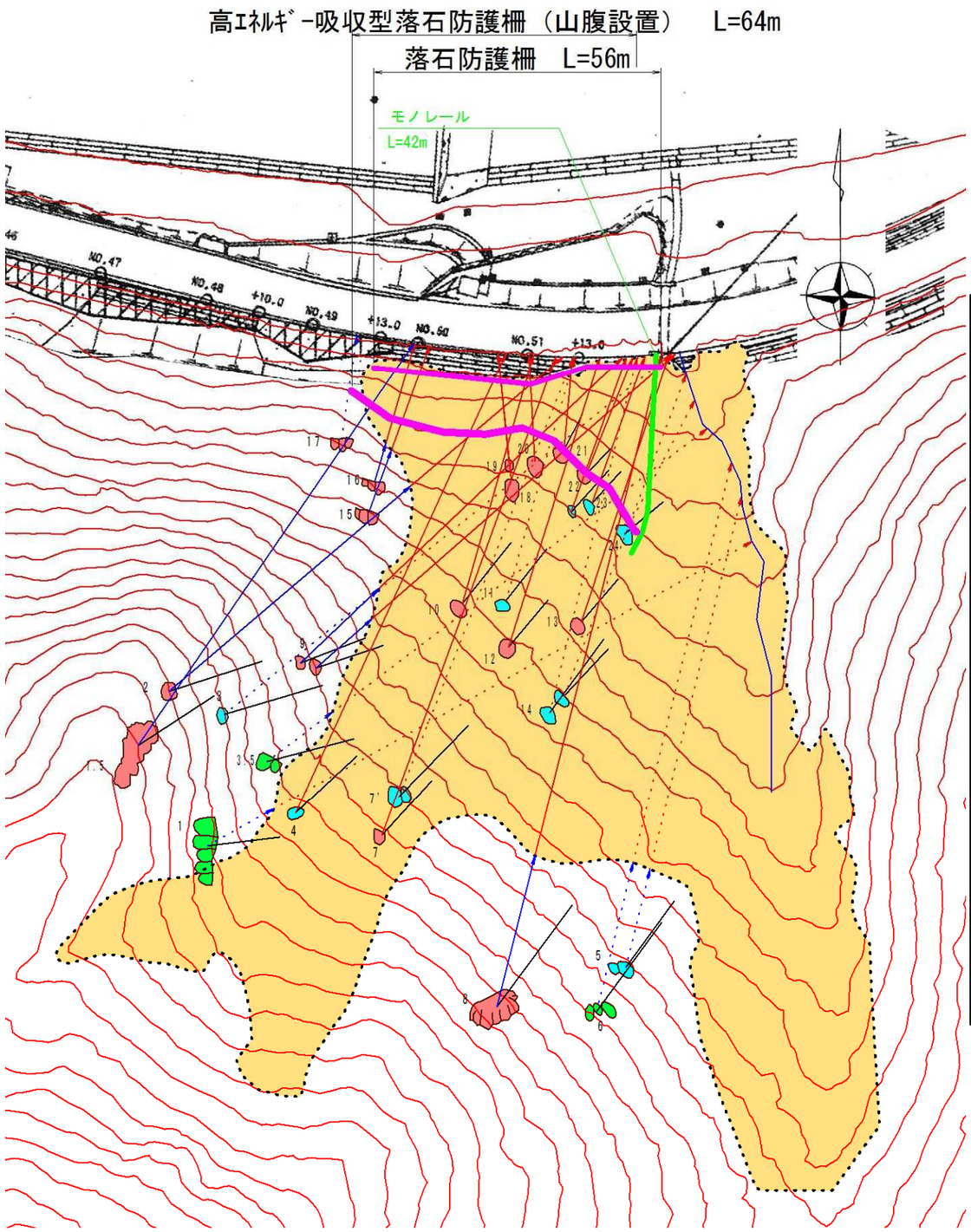
標準断面図



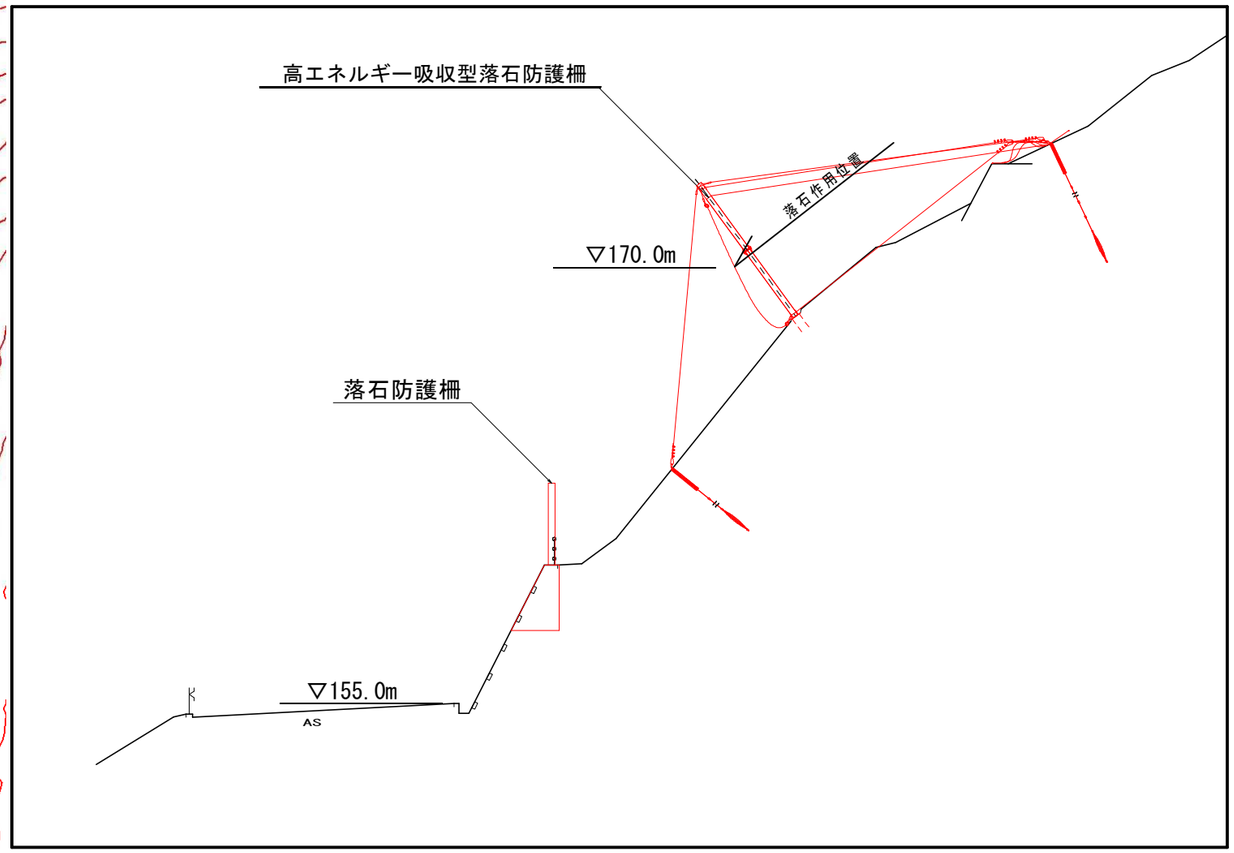
第2案　落石エネルギー計算表

落石番号	対策の必要性	大きさ（m）	球形直径変換（φm）	体積（m^3）	落石荷重（kN）	岩盤斜面平均勾配θ1（°）	崖錐斜面平均勾配θ2（°）	落下高さ（m）							落石から崖錐境界までの水平距離L1（m）	崖錐境界もしくは落石から第2案までの水平距離L2（m）	等価係数		落石エネルギー（kJ）	対策工法	備考
								落石標高h0（m）	崖錐境界標高h1（m）	岩盤斜面高さH1（m）	高さ（補正）（m）	落石作用位置標高h2（m）	崖錐斜面高さH2（m）	高さ（補正）（m）			岩盤	崖錐		高エネルギー吸収型ポケット式落石防護網工 2,000kJ	
1	無し	1.0×1.0×0.8	1.152	0.80	24.00	40	25	241.0	229.0	12.0	12.0	163.5	65.5	28.0	14.2	140.6	0.15	0.25	603	－	谷へ落下
1.5	有り	0.7×0.7×0.7	0.869	0.34	10.29	47	31	255.0	172.5	82.5	40.0	163.5	9.0	0.0	75.8	14.7	0.15	0.25	390	○対応可能	
2	有り	0.6×0.5×0.7	0.738	0.21	6.30	47	26	245.0	181.0	64.0	40.0	163.5	17.5	0.0	59.5	36.4	0.15	0.25	239	○対応可能	
3	無し	0.6×0.8×1.0	0.972	0.48	14.40	45	26	235.0	198.0	37.0	37.0	163.5	34.5	3.0	37.1	69.4	0.15	0.25	522	－	ほぼ安定
3.5	無し	0.8×0.6×1.2	1.032	0.58	17.28	40	26	227.0	214.0	13.0	13.0	163.5	50.5	27.0	15.4	102.4	0.15	0.25	456	－	谷へ落下
4	無し	1.0×1.0×0.8	1.152	0.80	24.00	－	34	227.0	－	－	－	163.5	63.5	40.0	－	93.7	0.15	0.25	666	－	ほぼ安定
5	無し	1.2×0.6×1.0	1.112	0.72	21.60	33	19	211.0	199.0	12.0	12.0	163.5	35.5	28.0	18.3	101.1	0.15	0.25	412	－	ほぼ安定
6	無し	1.2×0.5×0.4	0.771	0.24	7.20	37	20	219.0	199.0	20.0	20.0	163.5	35.5	20.0	26.4	99.6	0.15	0.25	174	－	谷へ落下
7	有り	0.8×0.8×0.8	0.993	0.51	15.36	－	31	221.0	－	－	－	163.5	57.5	40.0	－	94.6	0.15	0.25	398	○対応可能	
7'	無し	0.8×1.0×2.0	1.451	1.60	48.00	－	31	216.0	－	－	－	163.5	52.5	40.0	－	87.7	0.15	0.25	1230	－	ほぼ安定
8	有り	1.2×1.0×0.8	1.224	0.96	28.80	40	25	232.0	208.0	24.0	24.0	163.5	44.5	16.0	29.1	95.9	0.15	0.25	856	○対応可能	
9	有り	0.6×0.6×0.8	0.819	0.29	8.64	43	29	217.0	198.0	19.0	19.0	163.5	34.5	21.0	20.3	61.8	0.15	0.25	262	○対応可能	
10	有り	0.6×0.8×1.0	0.972	0.48	14.40	－	31	192.0	－	－	－	163.5	28.5	28.5	－	47.3	0.15	0.25	264	○対応可能	
11	無し	0.6×0.6×0.5	0.701	0.18	5.40	－	27	187.0	－	－	－	163.5	23.5	23.5	－	46.2	0.15	0.25	71	－	ほぼ安定
12	有り	0.6×0.6×1.0	0.883	0.36	10.80	－	26	191.0	－	－	－	163.5	27.5	27.5	－	55.8	0.15	0.25	161	○対応可能	
13	有り	0.5×0.6×1.2	0.883	0.36	10.80	－	24	185.0	－	－	－	163.5	21.5	21.5	－	48.8	0.15	0.25	110	○対応可能	
14	無し	1.0×0.6×0.6	0.883	0.36	10.80	－	24	193.0	－	－	－	163.5	29.5	29.5	－	67.6	0.15	0.25	150	－	ほぼ安定
15	有り	0.6×0.8×1.6	1.136	0.77	23.04	50	30	190.0	175.0	15.0	15.0	163.5	11.5	11.5	12.4	19.7	0.15	0.25	500	○対応可能	
15-1	有り	0.3×0.4×0.4	0.451	0.05	1.44	50	30	190.0	175.0	15.0	15.0	163.5	11.5	11.5	12.4	19.7	0.15	0.25	31	○対応可能	
16	有り	0.6×0.8×0.8	0.902	0.38	11.52	53	30	184.0	174.0	10.0	10.0	163.5	10.5	10.5	7.5	18.4	0.15	0.25	187	○対応可能	
17	有り	0.4×0.3×0.4	0.451	0.05	1.44	44	32	179.0	171.0	8.0	8.0	163.5	7.5	7.5	8.2	12.0	0.15	0.25	18	○対応可能	
18	有り	0.8×1.4×1.2	1.369	1.34	40.32	－	29	176.0	－	－	－	163.5	12.5	12.5	－	22.9	0.15	0.25	300	○対応可能	
19	有り	1.0×0.8×0.8	1.069	0.64	19.20	－	28	174.0	－	－	－	163.5	10.5	10.5	－	19.6	0.15	0.25	118	○対応可能	
20	有り	2.0×0.6×1.0	1.319	1.20	36.00	－	27	173.0	－	－	－	163.5	9.5	9.5	－	18.8	0.15	0.25	190	○対応可能	
21	有り	0.8×1.7×2.0	1.732	2.72	81.60	－	22	170.0	－	－	－	163.5	6.5	6.5	－	16.3	0.15	0.25	218	○対応可能	
22	有り	0.3×0.4×0.3	0.410	0.04	1.08	－	16	170.0	－	－	－	163.5	6.5	6.5	－	22.4	0.15	0.25	1	○対応可能	
23	無し	0.6×0.8×0.9	0.938	0.43	12.96	－	22	175.0	－	－	－	163.5	11.5	11.5	－	28.1	0.15	0.25	64	－	ほぼ安定
24	無し	1.2×1.0×1.0	1.319	1.20	36.00	－	19	172.0	－	－	－	163.5	8.5	8.5	－	25.0	0.15	0.25	89	－	ほぼ安定
対策工必要箇所数（全体）																				17箇所	
対策工対応可能箇所数																				17箇所	
個別対策工必要箇所数																				0箇所	

第３案　高エネルギー吸収型落石防護柵（山腹設置）



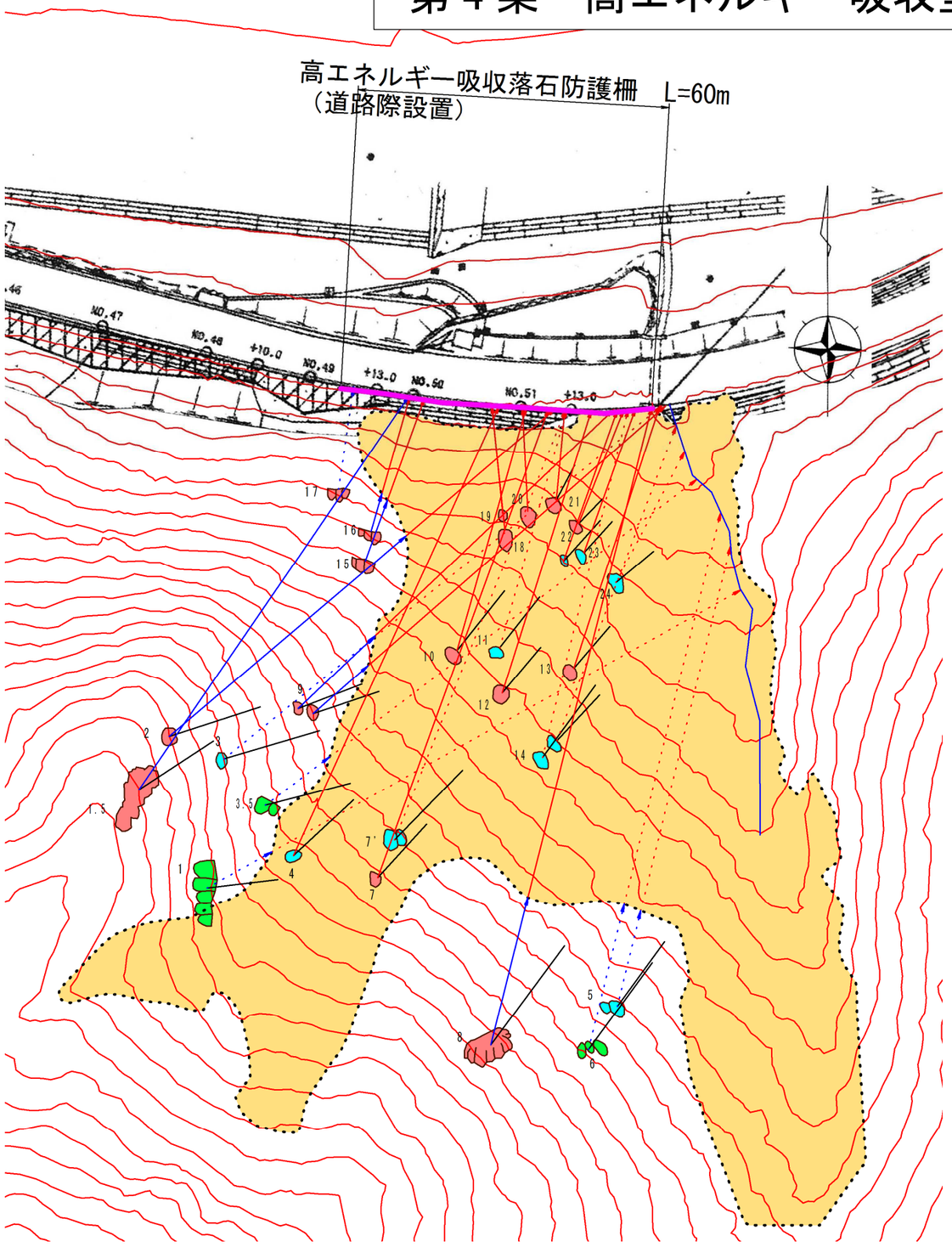
標準断面図



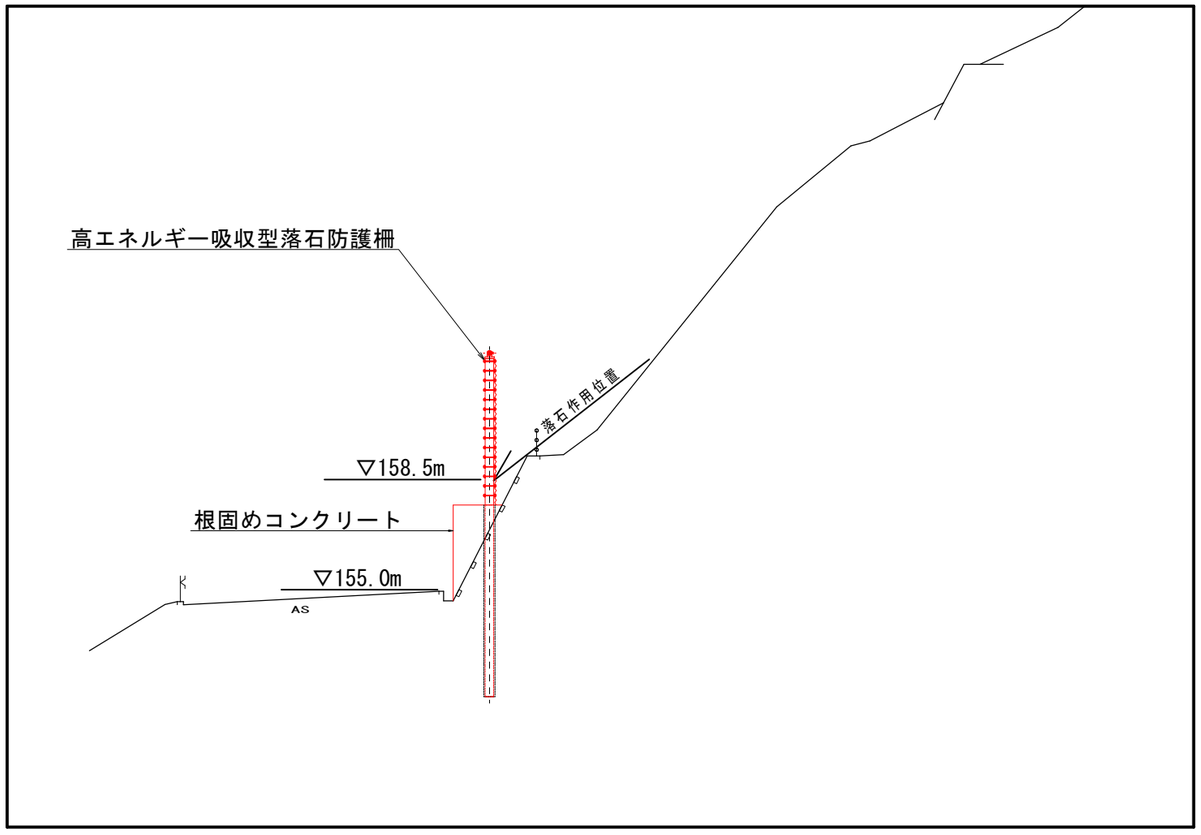
第3案　落石エネルギー計算表

落石番号	対策の必要性	大きさ（m）	球形直径変換（φm）	体積（m^3）	落石荷重（kN）	岩盤斜面平均勾配θ1（°）	崖錐斜面平均勾配θ2（°）	落下高さ（m）							落石から崖錐境界までの水平距離L1（m）	崖錐境界もしくは落石から第3案までの水平距離L2（m）	等価係数		落石エネルギー（kJ）	対策工法	備考
								落石標高h0（m）	崖錐境界標高h1（m）	岩盤斜面高さH1（m）	高さ（補正）（m）	落石作用位置標高h2（m）	崖錐斜面高さH2（m）	高さ（補正）（m）			岩盤	崖錐		高エネルギー吸収型落石防護柵工(山腹設置) 1,000kJ	
1	無し	1.0×1.0×0.8	1.152	0.80	24.00	40	32	241.0	229.0	12.0	12.0	170.0	59.0	28.0	14.2	93.0	0.15	0.25	708	－	谷へ落下
1.5	有り	0.7×0.7×0.7	0.869	0.34	10.29	47	54	255.0	172.5	82.5	40.0	170.0	2.5	0.0	75.8	1.8	0.15	0.25	390	○対応可能	
2	有り	0.6×0.5×0.7	0.738	0.21	6.30	47	36	245.0	181.0	64.0	40.0	170.0	11.0	0.0	59.5	15.3	0.15	0.25	239	○対応可能	
3	無し	0.6×0.8×1.0	0.972	0.48	14.40	45	33	235.0	198.0	37.0	37.0	170.0	28.0	3.0	37.1	43.4	0.15	0.25	527	－	ほぼ安定
3.5	無し	0.8×0.6×1.2	1.032	0.58	17.28	40	34	227.0	214.0	13.0	13.0	170.0	44.0	27.0	15.4	65.9	0.15	0.25	524	－	谷へ落下
4	無し	1.0×1.0×0.8	1.152	0.80	24.00	－	36	227.0	－	－	－	170.0	57.0	40.0	－	78.4	0.15	0.25	693	－	ほぼ安定
5	無し	1.2×0.6×1.0	1.112	0.72	21.60	33	27	211.0	199.0	12.0	12.0	170.0	29.0	28.0	18.3	57.1	0.15	0.25	558	－	ほぼ安定
6	無し	1.2×0.5×0.4	0.771	0.24	7.20	37	27	219.0	199.0	20.0	20.0	170.0	29.0	20.0	26.4	57.2	0.15	0.25	207	－	谷へ落下
7	有り	0.8×0.8×0.8	0.993	0.51	15.36	－	32	221.0	－	－	－	170.0	51.0	40.0	－	80.9	0.15	0.25	408	○対応可能	
7'	無し	0.8×1.0×2.0	1.451	1.60	48.00	－	32	216.0	－	－	－	170.0	46.0	40.0	－	73.2	0.15	0.25	1272	－	ほぼ安定
8	有り	1.2×1.0×0.8	1.224	0.96	28.80	40	30	232.0	208.0	24.0	24.0	170.0	38.0	16.0	29.1	66.0	0.15	0.25	909	○対応可能	
9	有り	0.6×0.6×0.8	0.819	0.29	8.64	43	34	217.0	198.0	19.0	19.0	170.0	28.0	21.0	20.3	42.1	0.15	0.25	276	○対応可能	
10	有り	0.6×0.8×1.0	0.972	0.48	14.40	－	33	192.0	－	－	－	170.0	22.0	22.0	－	33.8	0.15	0.25	215	○対応可能	
11	無し	0.6×0.6×0.5	0.701	0.18	5.40	－	28	187.0	－	－	－	170.0	17.0	17.0	－	31.4	0.15	0.25	54	－	ほぼ安定
12	有り	0.6×0.6×1.0	0.883	0.36	10.80	－	29	191.0	－	－	－	170.0	21.0	21.0	－	38.0	0.15	0.25	137	○対応可能	
13	有り	0.5×0.6×1.2	0.883	0.36	10.80	－	34	185.0	－	－	－	170.0	15.0	15.0	－	22.2	0.15	0.25	112	○対応可能	
14	無し	1.0×0.6×0.6	0.883	0.36	10.80	－	28	193.0	－	－	－	170.0	23.0	23.0	－	43.9	0.15	0.25	143	－	ほぼ安定
15	有り	0.6×0.8×1.6	1.136	0.77	23.04	50	39	190.0	175.0	15.0	15.0	170.0	5.0	5.0	12.4	6.2	0.15	0.25	420	○対応可能	
15-1	有り	0.3×0.4×0.4	0.451	0.05	1.44	50	39	190.0	175.0	15.0	15.0	170.0	5.0	5.0	12.4	6.2	0.15	0.25	26	○対応可能	
16	有り	0.6×0.8×0.8	0.902	0.38	11.52	53	40	184.0	174.0	10.0	10.0	170.0	4.0	4.0	7.5	4.8	0.15	0.25	148	○対応可能	
17	有り	0.4×0.3×0.4	0.451	0.05	1.44	44	63	179.0	171.0	8.0	8.0	170.0	1.0	1.0	8.2	0.5	0.15	0.25	12	○対応可能	
18	有り	0.8×1.4×1.2	1.369	1.34	40.32	－	33	176.0	－	－	－	170.0	6.0	6.0	－	9.3	0.15	0.25	163	○対応可能	
19	有り	1.0×0.8×0.8	1.069	0.64	19.20	－	34	174.0	－	－	－	170.0	4.0	4.0	－	6.0	0.15	0.25	53	○対応可能	
20	有り	2.0×0.6×1.0	1.319	1.20	36.00	－	29	173.0	－	－	－	170.0	3.0	3.0	－	5.4	0.15	0.25	65	○対応可能	
21	有り	0.8×1.7×2.0	1.732	2.72	81.60	－	17	170.0	－	－	－	170.0	0.0	0.0	－	0.1	0.15	0.25	0	○対応可能	
22	有り	0.3×0.4×0.3	0.410	0.04	1.08	－	17	170.0	－	－	－	170.0	0.0	0.0	－	0.1	0.15	0.25	0	○対応可能	
23	無し	0.6×0.8×0.9	0.938	0.43	12.96	－	49	175.0	－	－	－	170.0	5.0	5.0	－	4.4	0.15	0.25	56	－	ほぼ安定
24	無し	1.2×1.0×1.0	1.319	1.20	36.00	－	42	172.0	－	－	－	170.0	2.0	2.0	－	2.2	0.15	0.25	57	－	ほぼ安定
対策工必要箇所数（全体）																				17箇所	
対策工対応可能箇所数																				17箇所	
個別対策工必要箇所数																				0箇所	

第４案　高エネルギー吸収型落石防護柵（道路際設置）案



標準断面図



第4案　落石エネルギー計算表

落石番号	対策の必要性	大きさ（m）	球形直径変換（φm）	体積（m^3）	落石荷重（kN）	岩盤斜面平均勾配θ1（°）	崖錐斜面平均勾配θ2（°）	落下高さ（m）							落石から崖錐境界までの水平距離L1（m）	崖錐境界もしくは落石から第4案までの水平距離L2（m）	等価係数		落石エネルギー（kJ）	対策工法	備考
								落石標高h0（m）	崖錐境界標高h1（m）	岩盤斜面高さH1（m）	高さ（補正）（m）	落石作用位置標高h2（m）	崖錐斜面高さH2（m）	高さ（補正）（m）			岩盤	崖錐		高エネルギー吸収型落石防護柵工（道路際設置）1,000kJ	
1	無し	1.0×1.0×0.8	1.152	0.80	24.00	40	26	241.0	229.0	12.0	12.0	158.5	70.5	28.0	14.2	143.7	0.15	0.25	623	－	谷へ落下
1.5	有り	0.7×0.7×0.7	0.869	0.34	10.29	47	38	255.0	172.5	82.5	40.0	158.5	14.0	0.0	75.8	17.8	0.15	0.25	390	○対応可能	
2	有り	0.6×0.5×0.7	0.738	0.21	6.30	47	30	245.0	181.0	64.0	40.0	158.5	22.5	0.0	59.5	39.5	0.15	0.25	239	○対応可能	
3	無し	0.6×0.8×1.0	0.972	0.48	14.40	45	29	235.0	198.0	37.0	37.0	158.5	39.5	3.0	37.1	72.5	0.15	0.25	524	－	ほぼ安定
3.5	無し	0.8×0.6×1.2	1.032	0.58	17.28	40	28	227.0	214.0	13.0	13.0	158.5	55.5	27.0	15.4	105.5	0.15	0.25	473	－	谷へ落下
4	無し	1.0×1.0×0.8	1.152	0.80	24.00	－	35	227.0	－	－	－	158.5	68.5	40.0	－	96.8	0.15	0.25	683	－	ほぼ安定
5	無し	1.2×0.6×1.0	1.112	0.72	21.60	33	21	211.0	199.0	12.0	12.0	158.5	40.5	28.0	18.3	104.2	0.15	0.25	457	－	ほぼ安定
6	無し	1.2×0.5×0.4	0.771	0.24	7.20	37	22	219.0	199.0	20.0	20.0	158.5	40.5	20.0	26.4	102.7	0.15	0.25	185	－	谷へ落下
7	有り	0.8×0.8×0.8	0.993	0.51	15.36	－	33	221.0	－	－	－	158.5	62.5	40.0	－	97.7	0.15	0.25	412	○対応可能	
7'	無し	0.8×1.0×2.0	1.451	1.60	48.00	－	32	216.0	－	－	－	158.5	57.5	40.0	－	90.8	0.15	0.25	1278	－	ほぼ安定
8	有り	1.2×1.0×0.8	1.224	0.96	28.80	40	27	232.0	208.0	24.0	24.0	158.5	49.5	16.0	29.1	99.0	0.15	0.25	875	○対応可能	
9	有り	0.6×0.6×0.8	0.819	0.29	8.64	43	31	217.0	198.0	19.0	19.0	158.5	39.5	21.0	20.3	64.9	0.15	0.25	269	○対応可能	
10	有り	0.6×0.8×1.0	0.972	0.48	14.40	－	34	192.0	－	－	－	158.5	33.5	33.5	－	50.4	0.15	0.25	331	○対応可能	
11	無し	0.6×0.6×0.5	0.701	0.18	5.40	－	30	187.0	－	－	－	158.5	28.5	28.5	－	49.3	0.15	0.25	96	－	ほぼ安定
12	有り	0.6×0.6×1.0	0.883	0.36	10.80	－	29	191.0	－	－	－	158.5	32.5	32.5	－	58.9	0.15	0.25	211	○対応可能	
13	有り	0.5×0.6×1.2	0.883	0.36	10.80	－	27	185.0	－	－	－	158.5	26.5	26.5	－	51.9	0.15	0.25	161	○対応可能	
14	無し	1.0×0.6×0.6	0.883	0.36	10.80	－	26	193.0	－	－	－	158.5	34.5	34.5	－	70.7	0.15	0.25	200	－	ほぼ安定
15	有り	0.6×0.8×1.6	1.136	0.77	23.04	50	36	190.0	175.0	15.0	15.0	158.5	16.5	16.5	12.4	22.8	0.15	0.25	607	○対応可能	
15-1	有り	0.3×0.4×0.4	0.451	0.05	1.44	50	36	190.0	175.0	15.0	15.0	158.5	16.5	16.5	12.4	22.8	0.15	0.25	38	○対応可能	
16	有り	0.6×0.8×0.8	0.902	0.38	11.52	53	36	184.0	174.0	10.0	10.0	158.5	15.5	15.5	7.5	21.5	0.15	0.25	241	○対応可能	
17	有り	0.4×0.3×0.4	0.451	0.05	1.44	44	40	179.0	171.0	8.0	8.0	158.5	12.5	12.5	8.2	15.1	0.15	0.25	25	○対応可能	
18	有り	0.8×1.4×1.2	1.369	1.34	40.32	－	34	176.0	－	－	－	158.5	17.5	17.5	－	26.0	0.15	0.25	488	○対応可能	
19	有り	1.0×0.8×0.8	1.069	0.64	19.20	－	34	174.0	－	－	－	158.5	15.5	15.5	－	22.7	0.15	0.25	208	○対応可能	
20	有り	2.0×0.6×1.0	1.319	1.20	36.00	－	34	173.0	－	－	－	158.5	14.5	14.5	－	21.9	0.15	0.25	357	○対応可能	
21	有り	0.8×1.7×2.0	1.732	2.72	81.60	－	31	170.0	－	－	－	158.5	11.5	11.5	－	19.4	0.15	0.25	597	○対応可能	
22	有り	0.3×0.4×0.3	0.410	0.04	1.08	－	24	170.0	－	－	－	158.5	11.5	11.5	－	25.5	0.15	0.25	6	○対応可能	
23	無し	0.6×0.8×0.9	0.938	0.43	12.96	－	28	175.0	－	－	－	158.5	16.5	16.5	－	31.2	0.15	0.25	124	－	ほぼ安定
24	無し	1.2×1.0×1.0	1.319	1.20	36.00	－	26	172.0	－	－	－	158.5	13.5	13.5	－	28.1	0.15	0.25	256	－	ほぼ安定
対策工必要箇所数（全体）																				17箇所	
対策工対応可能箇所数																				17箇所	
個別対策工必要箇所数																				0箇所	

巻末資料-Ⅲ　石の不安定化に関する木の影響評価

(1) 木の影響評価の考え方

落石原因究明により、落石原因として岩塊に隣接する木が影響することが判明した。現在は安定しているように見えても、木の成長により安定度が経年的に低下する。そのため、落石源の安定度を評価する際に、木の影響評価を検討した。

木の影響評価方法は、他の事例がほとんどないため、簡易判定法と評点方式の 2 種類を考案し、試験的に実施した。

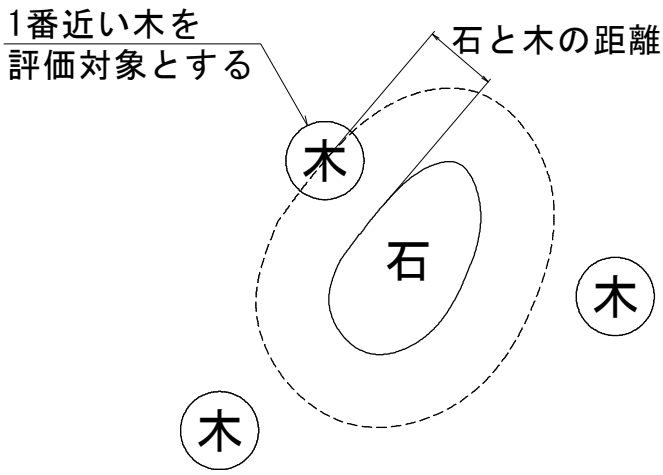
木の影響があると判定した落石源では、石の安定状態を従来手法による安定度評価から1ランク不安定側に評価した。

(2) 簡易判定法

簡易判定法は、石の周囲 1.0m に木があれば、機械的に木の影響ありと評価した。

石と木の距離は、石の表面と幹の中心をポールを用いて、水平距離を計測した。(写真Ⅲ-1) 石の周囲に木が複数ある場合には、一番近い木の距離で評価した。(図Ⅲ-1)

写真Ⅲ-1　石と木の距離の計測方法



図Ⅲ-1　石の周囲に複数の木がある場合の模式図（平面）

(3) 評点方式

1) 概要

評点方式では、石の周囲にある木や石の状態について、項目ごとに評点を与え、これらを合計して木の影響を評価した。

2) 評価項目

① 石と樹木との距離。

② 樹木の基本特性（樹種，樹高，樹齢，幹径など）。

③ 樹木の根茎の状態（根径，本数，成長方向，被覆状態など）。

＊被覆状態：表面被覆・根系の亀裂侵入（浅い・深い）

④ 石の状態（亀裂の有無，亀裂の密度・規模／亀裂幅・深さなど）。

なお、今回は評点には、反映しなかったが、参考資料として、樹種と樹高も調査した。

3) 評価項目の調査方法と評価基準

① 距離：幹中心と石までの距離（簡易判定法と同じ方法）。

② 胸高直径：胸高でポール・メジャーにより測定。

③ 被覆状態（根茎の亀裂への侵入）。

深い：亀裂に根の侵入が確認でき、かつ根の形状が偏平なもの。

浅い：亀裂に根の侵入が確認でき、かつ根の形状が比較的丸いもの。

表面被覆のみ：木が乗っている・幹が接しているが、亀裂に根の侵入が見られないもの。

無し：石と木が離れており根の影響が不明なもの。

④ 石の亀裂状態：根の影響とは無関係に評価した。

顕著：浮石では相対的に亀裂が発達しているもの。転石では周辺に破砕した小礫などが確認できたもの。

普通：顕著ほどではないが、亀裂があると判断できるもの。

少ない：浮石では亀裂はわずかなもの。転石の場合は石単体に亀裂が少ないもの。（転石が複数ある場合は、石と石の間は隙間と判断し、亀裂とは判定していない）

⑤ 樹種：現地で不明なものは葉を採取し、専門家により判定。（参考資料）。

⑥ 樹高：簡易レーザー測量により計測（参考資料）。

4) 評点

今回の検討では以下の通り評点をつけることで安定度を評価した。

① 距離：1m 以下（6），1～3m（3），3m を超える（0）	評点 Max：6
② 胸高直径：0.3m 以上（3），0.3～0.15m（2），0.15m～0.05m（1），0.0 5m 以下（0）	評点 Max：3
③ 被覆状態（根茎の亀裂への侵入）：深い（3），同浅い（2），表面被覆のみ（1），無し（0）	評点 Max：3
④ 石の亀裂状態：顕著（3），普通（2），少ない・無い（1）	評点 Max：3

なお、今回の評点は試行段階であり、今後さらなる検討を加える事が必要である。

(4) 木の影響評価のまとめ

1) 簡易判定法の結果と課題

簡易判定法で木の影響がありと判定したのは、全 28 箇所の内 15 箇所である。(表Ⅲ-1)

簡易判定法では、機械的に木の影響を評価した。そのため、木の影響ありと判定した中に、雪折れした杉をカウントしている。今回は、木の成長による経年変化による安定度の低下を検討しており、今後の成長がほぼ見込めない雪折れした木を含めると目的に合わず、木の影響なしと評価する必要がある。

調査過程で、胸高直径が数 cm の低木は調査員によっては木とカウントせず、誤って見逃していた事例があった。このことから、評価対象とする木の基準を明確にする課題がある。

また、簡易判定法は現場で判断できる利点があるが、木の影響をどこまで評価するかが曖昧になる課題がある。例えば、石 15-1 は石 15 の上に乗っている浮き石であり、従来法による安定度評価が異なるため分けてカウントされている。しかし、木の影響を評価する視点で調査したとき、石 15 が不安定化すれば石 15-1 も同時に不安定化するため、今回は影響評価の対象として同じ木を選定し、簡易判定法では石 15 と石 15-1 を同評価した(写真Ⅲ-2)。一方で、対象木は石 15-1 からは離れているため、直接的に安定状態に影響するのは石 15 のみであり、石 15-1 には影響しないと評価することもできる。簡易判定法では、このような現場状況における評価基準を明確にする必要がある。

表Ⅲ-1 簡易判定法による木の影響評価

落石番号	石と木の距離(m)	簡易判定法による木の影響評価
1	2.0	なし
1.5	1.3	なし
2	0.0	あり
3	0.8	あり
3.5	0.0	あり
4	1.1	なし
5	0.0	あり
6	2.3	なし
7	0.9	あり
7'	1.6	なし
8	0.0	あり
9	0.0	あり
10	2.0	なし
11	1.4	なし
12	1.0	あり
13	0.0	あり
14	3.1	なし
15	0.6	あり
15-1	0.6	あり
16	0.0	あり
17	4.0	なし
18	0.5	あり
19	1.7	なし
20	0.6	あり
21	0.0	あり
22	1.2	なし
23	1.7	なし
24	1.2	なし

写真Ⅲ-2 簡易判定法による評価が難しい現場状況の例

2)評点方式の結果と課題

評点方式で木の影響ありと判定したのは、全 28 箇所の内 12 箇所である(表Ⅲ-2)。評点の合計が 10 点以上となるものを木の影響ありと評価した。

判定基準を 9 点以上した場合には、石と木の距離について配点を大きくしているため、4 項目のうち、距離とあと 1 項目が該当すれば、影響ありと評価してしまう。また、現時点で距離が最も影響が強いとしていると考えているのに対し、仮に距離以外の 3 項目が満点の場合でも、木の影響ありと評価してしまうことになる。これらの不都合さをなくすため、評点合計 10 点以上を判定基準とすることが妥当であると判断した。

なお、今回は試行段階であるため、評価項目、配点、評価基準点については、さらなる検討を加える事が必要である。

表Ⅲ-2 評点方式による木の影響評価

落石番号	石と木の距離		胸高直径		被覆状態(根茎の亀裂への侵入)		石の亀裂状態		評点合計	評点方式による木の影響評価		参考	
	距離(m)	評点	直径(m)	評点	被覆状態	評点	亀裂	評点		4項目10点以上	参考:9点以上	樹高(m)	樹種
1	2.0	3	0.03	0	深い	3	顕著	3	9	なし	あり	3.0	ヤブニッケイ
1.5	1.3	3	0.03	0	深い	3	顕著	3	9	なし	あり	2.0	ヒサカキ
2	0.0	6	0.20	2	深い	3	顕著	3	14	あり	あり	7.0	ヒサカキ
3	0.8	6	0.30	3	無し	0	顕著	3	12	あり	あり	8.0	スギ(雪折れ)
3.5	0.0	6	0.05	0	浅い	2	顕著	3	11	あり	あり	4.0	ヤブツバキ
4	1.1	3	0.02	0	無し	0	少ない	1	4	なし	なし	2.5	ナツグミ
5	0.0	6	0.04	0	表面	1	普通	2	9	なし	あり	3.0	アブラチャン
6	2.3	3	0.30	3	無し	0	顕著	3	9	なし	あり	12.0	スギ
7	0.9	6	0.25	2	無し	0	少ない	1	9	なし	あり	8.0	スギ(雪折れ)
7'	1.6	3	0.30	3	無し	0	少ない	1	7	なし	なし	16.0	スギ
8	0.0	6	0.30	3	深い	3	顕著	3	15	あり	あり	10.6	ケヤキ
9	0.0	6	0.25	2	浅い	2	顕著	3	13	あり	あり	11.0	ネム
10	2.0	3	0.40	3	無し	0	少ない	1	7	なし	なし	15.8	スギ
11	1.4	3	0.30	3	無し	0	少ない	1	7	なし	なし	16.5	スギ
12	1.0	6	0.30	3	無し	0	少ない	1	10	あり	あり	16.5	スギ
13	0.0	6	0.35	3	浅い	2	普通	2	13	あり	あり	9.6	スギ(雪折れ)
14	3.1	0	0.30	3	無し	0	普通	2	5	なし	なし	17.0	スギ
15	0.6	6	0.10	1	浅い	2	顕著	3	12	あり	あり	6.2	ヤブニッケイ
15-1	0.6	6	0.10	1	無し	0	普通	2	9	なし	あり	6.2	ヤブニッケイ
16	0.0	6	0.45	3	浅い	2	顕著	3	14	あり	あり	15.0	オニグルミ
17	4.0	0	0.15	2	無し	0	普通	2	4	なし	なし	4.0	センダン
18	0.5	6	0.30	3	深い	3	普通	2	14	あり	あり	19.2	スギ
19	1.7	3	0.30	3	無し	0	少ない	1	7	なし	なし	14.8	スギ
20	0.6	6	0.30	3	浅い	2	少ない	1	12	あり	あり	17.5	スギ
21	0.0	6	0.30	3	浅い	2	少ない	1	12	あり	あり	16.2	スギ
22	1.2	3	0.20	2	無し	0	普通	2	7	なし	なし	14.2	スギ
23	1.7	3	0.30	3	無し	0	少ない	1	7	なし	なし	17.0	スギ
24	1.2	3	0.30	3	無し	0	少ない	1	7	なし	なし	17.6	スギ

樹種による根系の違いは、石の安定状態に影響を与える因子であると考えられる。今回の調査では、石に一番近い木として 10 種を確認した。今回の調査範囲がスギが植林された範囲内であることを考慮すると、天然の山ではさらに多くの樹種について判定を必要とする。さらに、それらの樹種について、根系の影響を考慮して評点を与えることは現時点では難しい。そのため、樹種については参考情報とし、評点に反映しなかった。

樹高については、現場の状況で直径データと相関があると判断したため参考情報とし、評点に反映しなかった。直径と樹高の相関から外れる例として、雪折れした杉が挙げられる。ただし、雪折れした杉については、簡

易判定法と同様の理由で、木の影響評価なしと評価する必要がある。

評点方式では、根の形状を確認するため石の周囲を掘る作業が発生することがあり、簡易判定法に比較して調査時間を多く必要とする課題がある。また、被覆状態や石の亀裂状態の項目では、評価方法が定性的であるため、調査員で評価基準を統一する必要がある。

3)木の影響の最終評価

簡易判定法と評点方式の結果と課題を考察し、木の影響についての最終評価を表 Ⅲ-3 に示した。簡易判定法と評点方式の結果が異なる場合は、評点方式の結果を優先し、雪折れの場合は影響なしと評価した。簡易判定法および評点方式と最終評価が異なる箇所については、その理由を表 Ⅲ-3 に付記した。

表Ⅲ-3 木の影響の最終評価

落石番号	簡易判定法による木の影響評価	評点方式による木の影響評価	最終的な木の影響評価	簡易判定法/評点方式と最終評価の差異について
1	なし	なし	なし	
1.5	なし	なし	なし	
2	あり	あり	あり	
3	あり	あり	なし(雪折れ)	雪折れのため影響なしと判断
3.5	あり	あり	あり	
4	なし	なし	なし	
5	あり	なし	なし	対象の木が細いため評点方式を優先
6	なし	なし	なし	
7	あり	なし	なし(雪折れ)	雪折れのため影響なしと判断
7'	なし	なし	なし	
8	あり	あり	あり	
9	あり	あり	あり	
10	なし	なし	なし	
11	なし	なし	なし	
12	あり	あり	あり	
13	あり	あり	なし(雪折れ)	雪折れのため影響なしと判断
14	なし	なし	なし	
15	あり	あり	あり	
15-1	あり	なし	なし	現場状況と評点方式の結果から、木の直接的な影響はなしと判断
16	あり	あり	あり	
17	なし	なし	なし	
18	あり	あり	あり	
19	なし	なし	なし	
20	あり	あり	あり	
21	あり	あり	あり	
22	なし	なし	なし	
23	なし	なし	なし	
24	なし	なし	なし	

今回の木の影響評価に関する取り組みについて、最終評価から逆算して考えた場合、以下のことが言える。

- 雪折れした木や枯木など、今後の成長が見込めない木は対象外とする。
- 簡易判定法の場合は、直径 5cm 以上の木を対象とすると、最終評価とほぼ合う。

今後、評点方式で木の影響を評価することが望ましいが、簡易判定法でもある程度の評価はできそうである。

巻末資料-Ⅳ　樹木状態の詳細調査票

木の影響ありと評価し、かつ対策が必要な落石箇所ついては、樹木の影響を詳細に調査した。次頁より調査結果を示した調査票を示す。

落石源番号	2	石と樹木の距離(m)	直上	
斜面内位置	西尾根斜面上方側面	樹高(m)	7.0	
石の形態	浮石	胸高直径(m)	0.2	
石の寸法(m)	0.6×0.5×0.7	樹種	ヒサカキ	
体積(m3)	0.2	樹木の関わり	○	1.石の上に乗っている。幹が接している。
質量(ton)	0.6		○	2.根が亀裂に食い込んでいる。
安定状態（従来法）	不安定			3.離れているが根が石に伸びている。
コメント	道路に落下する危険がある			4.その他

〈石写真〉

（正面）

（側面）

〈樹木写真〉

（石と樹木の位置関係）

（樹の影響）

（ハンマで叩くと浮いた音がする）

（根による石の下端浸食）

02-1_石の上に成長する樹木

02-2_亀裂に発達した根その１

02-3_亀裂に発達した根その２

02-4_根の発達により分離しつつある浮石

落石源番号	8	石と樹木の距離(m)	直上	
斜面内位置	東尾根斜面上方露岩	樹高(m)	10.6	
石の形態	浮石	胸高直径(m)	0.3	
石の寸法(m)	1.2×1.0×0.8	樹種	ケヤキ	
体積(m3)	0.96	樹木の関わり	○	1.石の上に乗っている。幹が接している。
質量(ton)	2.88		○	2.根が亀裂に食い込んでいる。
安定状態	ほぼ安定			3.離れているが根が石に伸びている。
コメント	底面がオーバーハングする浮石あり			4.その他

〈石写真〉

（正面）

（側面）

<樹木写真>

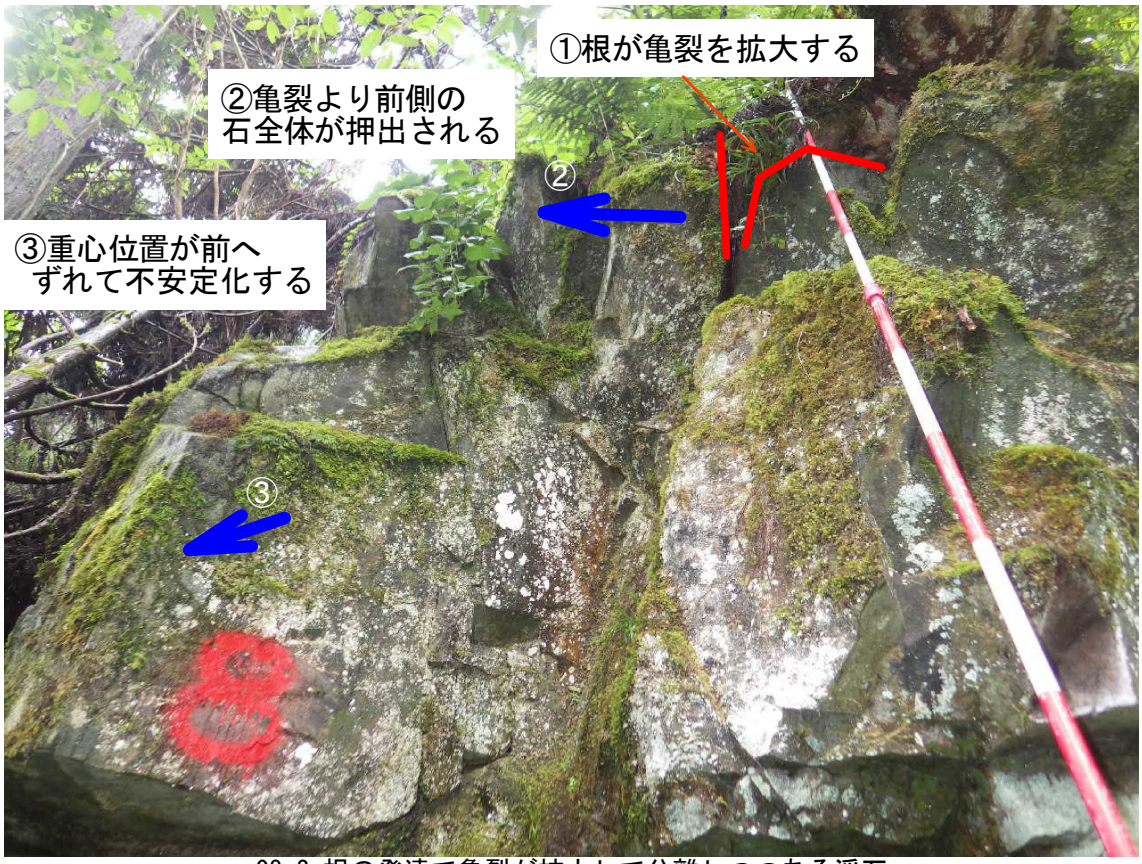
（石と樹木の位置関係）

（亀裂に発達する根）

（樹木の状況）

（赤枠の拡大:亀裂に発達する根）

08-1_石の上に成長した樹木



08-2_根の発達で亀裂が拡大して分離しつつある浮石

08-3_オーバーハング部背後に発達したヘアクラック

08-4_亀裂に進入する偏平な根

落石源番号	9	石と樹木の距離(m)	直上
斜面内位置	凹斜面央	樹高(m)	11.0
石の形態	転石	胸高直径(m)	0.25
石の寸法(m)	0.6×0.6×0.8	樹種	ネム
体積(m3)	0.29	樹木の関わり	○ 1.石の上に乗っている。幹が接している。
質量(ton)	0.87		○ 2.根が亀裂に食い込んでいる。
安定状態	やや不安定		3.離れているが根が石に伸びている。
コメント	崖錐中の転石が露出 背面に樹木あり		4.その他

〈石写真〉

（正面）

（側面）

<樹木写真>

（石と樹木の位置関係）

（根の影響）

（樹木の状況）

09-1_石の背後に接する樹木

09-2_樹木の方向に亀裂が発達している

09-3_亀裂の状況その１

亀裂深さ40cm
石と幹は接している。
木の成長により
石を押出す可能性がある。
亀裂内に根は視認できない。

09-4_亀裂の状況その２

落石源番号	12	石と樹木の距離(m)	0.6	
斜面内位置	凹斜面麓	樹高(m)	10.0	
石の形態	転石	胸高直径(m)	0.3	
石の寸法(m)	0.6×0.6×1.0	樹種	スギ	
体積(m3)	0.36	樹木の関わり		1.石の上に乗っている。幹が接している。
質量(ton)	1.08			2.根が亀裂に食い込んでいる。
安定状態	やや不安定			3.離れているが根が石に伸びている。
コメント	斜面麓の崖錐中転石		○	4.その他（根の影響はない）

<石写真>

（正面）

（側面）

<樹木写真>

（石と樹木の位置関係）

（石と樹木の隙間の状況）

（樹木の状況）

（赤枠の拡大:石は地表にあり、根の直接的な影響は見られない）

12-1_石の側方に隣接する樹木A

*石の周辺に木が複数あるときは、
樹木A、樹木B…と記号をつける。（以下同）

12-2_石と樹木Aの隙間

12-3_転石と地表の間に根の侵入は見られない

12-4_石の背後に位置する樹木B

12-5_転石背後の隙間

12-6_転石背後の隙間に根の侵入は見られない

落石源番号	15	石と樹木の距離(m)	0.6	
斜面内位置	落石跡直上	樹高(m)	6.2	
石の形態	浮石	胸高直径(m)	0.1	
石の寸法(m)	0.6×0.8×1.6	樹種	ヤブニッケイ	
体積(m3)	0.8	樹木の関わり		1.石の上に乗っている。幹が接している。
質量(ton)	2.4			2.根が亀裂に食い込んでいる。
安定状態	不安定		○	3.離れているが根が石に伸びている。
コメント	背面の開口が明瞭		○	4.その他（石の下端を不安定化させる）

<石写真>

（正面）

（側面）

<樹木写真>

（石と樹木の位置関係　その1）

（石と樹木の位置関係　その2）

（樹木の状況）

（赤枠の拡大:石の下端に根が浸食）

15-0-1_石の下端に位置する樹木

15-0-2_石の下端に位置する樹木

15-0-3_石に伸びる根

15-0-4_石の下端の岩盤斜面に根を張っている

落石源番号	15-1	石と樹木の距離(m)	0.6	
斜面内位置	落石跡直上	樹高(m)	6.2	
石の形態	浮石	胸高直径(m)	0.1	
石の寸法(m)	0.3×0.4×0.4	樹種	ヤブニッケイ	
体積(m3)	0.05	樹木の関わり		1.石の上に乗っている。幹が接している。
質量(ton)	0.15			2.根が亀裂に食い込んでいる。
安定状態	極めて不安定			3.離れているが根が石に伸びている。
コメント	巨浮石の上に乗る		○	4.その他

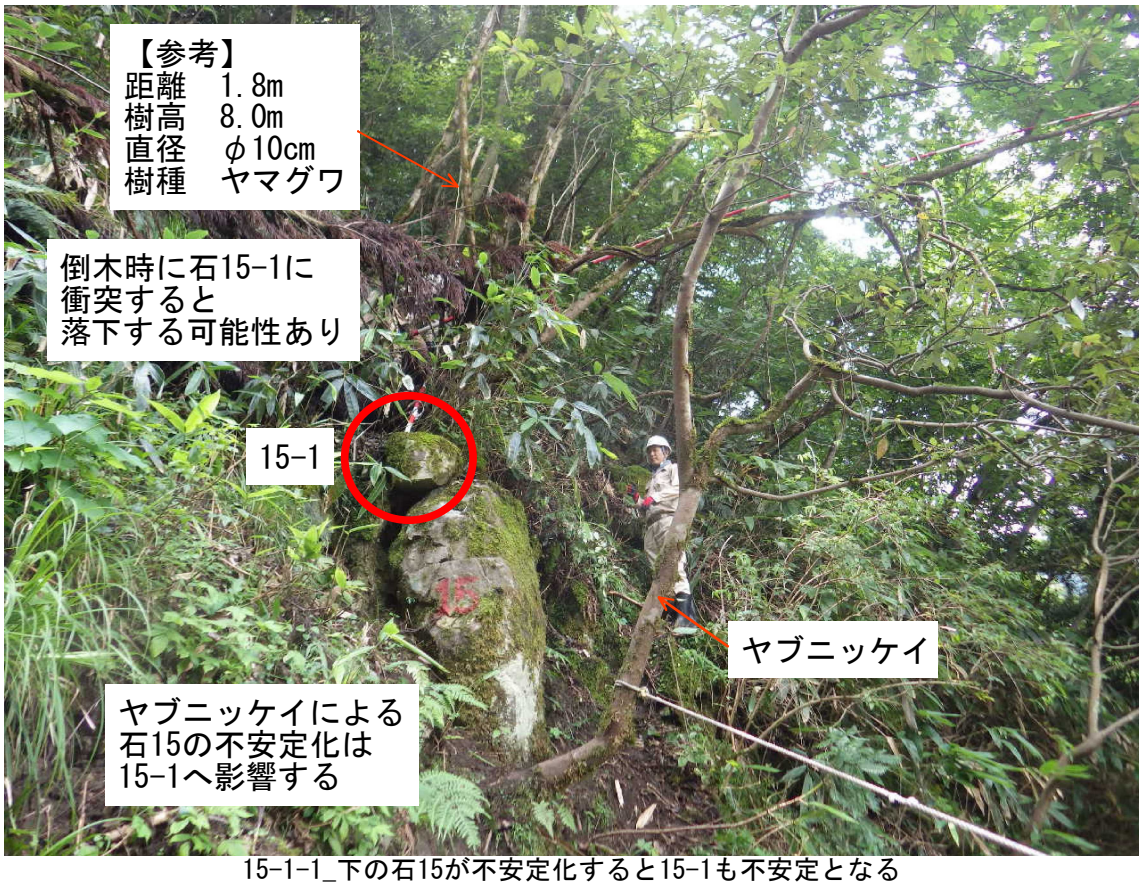
〈石写真〉

（正面）

（側面）

<樹木写真>

※15-1に影響する樹は、15と同じ。
15が不安定化すると、15-1も不安定となる。



15-1-1_下の石15が不安定化すると15-1も不安定となる

15-1-2_背後の樹木の根は石15-1へ伸びていない

落石源番号	16	石と樹木の距離(m)	倒木により土に乗っている	
斜面内位置	落石跡横	樹高(m)	15.0	
石の形態	浮石	胸高直径(m)	0.45	
石の寸法(m)	0.6×0.8×0.8	樹種	オニグルミ	
体積(m3)	0.38	樹木の関わり	○	1.石の上に乗っている。幹が接している。
質量(ton)	1.14		○	2.根が亀裂に食い込んでいる。
安定状態	やや不安定			3.離れているが根が石に伸びている。
コメント	浮石が積み重なる 落石は道路を直撃する			4.その他

〈石写真〉

（正面）

（側面）

<樹木写真>

（石と樹木の位置関係）

（倒木により石を背後から押している）

（樹木の状況）

16-1_石の上に倒木

16-2_石の上に倒木した樹木

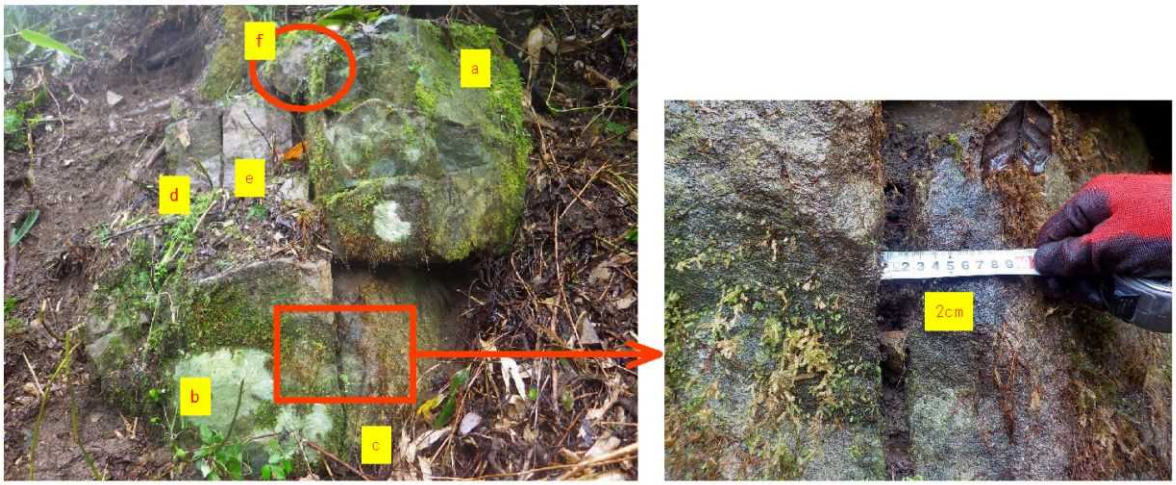
16-3_石の上に倒木

16-4_石の背後まで根が発達している

参考

倒木による落石源の影響

倒木箇所に隣接した不安定な浮石箇所（No.16）では、一部の礫の落下と、亀裂の拡大が見られた（図Ⅳ-1）。倒木の影響で隣接した既存の落石源の不安定化が進行している。



倒木前の状況

倒木後の状況

図Ⅳ-1　倒木前後の事故発生落石源付近(No.16)の状況：倒木前後を比較すると石ｂとｃの間の亀裂が 2cm から 3cm に拡大し、倒木前に石ｅ上に位置した石ｆは倒木時に落下した。

落石源番号	18	石と樹木の距離(m)	0.5	
斜面内位置	凹斜面麓/法肩上方	樹高(m)	19.2	
石の形態	転石	胸高直径(m)	0.3	
石の寸法(m)	0.8×1.4×1.2	樹種	スギ	
体積(m3)	1.3	樹木の関わり		1.石の上に乗っている。幹が接している。
質量(ton)	3.9			2.根が亀裂に食い込んでいる。
安定状態	ほぼ安定		○	3.離れているが根が石に伸びている。
コメント	やや扁平であり、崖錐土中に埋まる			4.その他

<石写真>

（正面）

（側面）

<樹木写真>

（石と樹木の位置関係）

（石に向かって伸びる根）

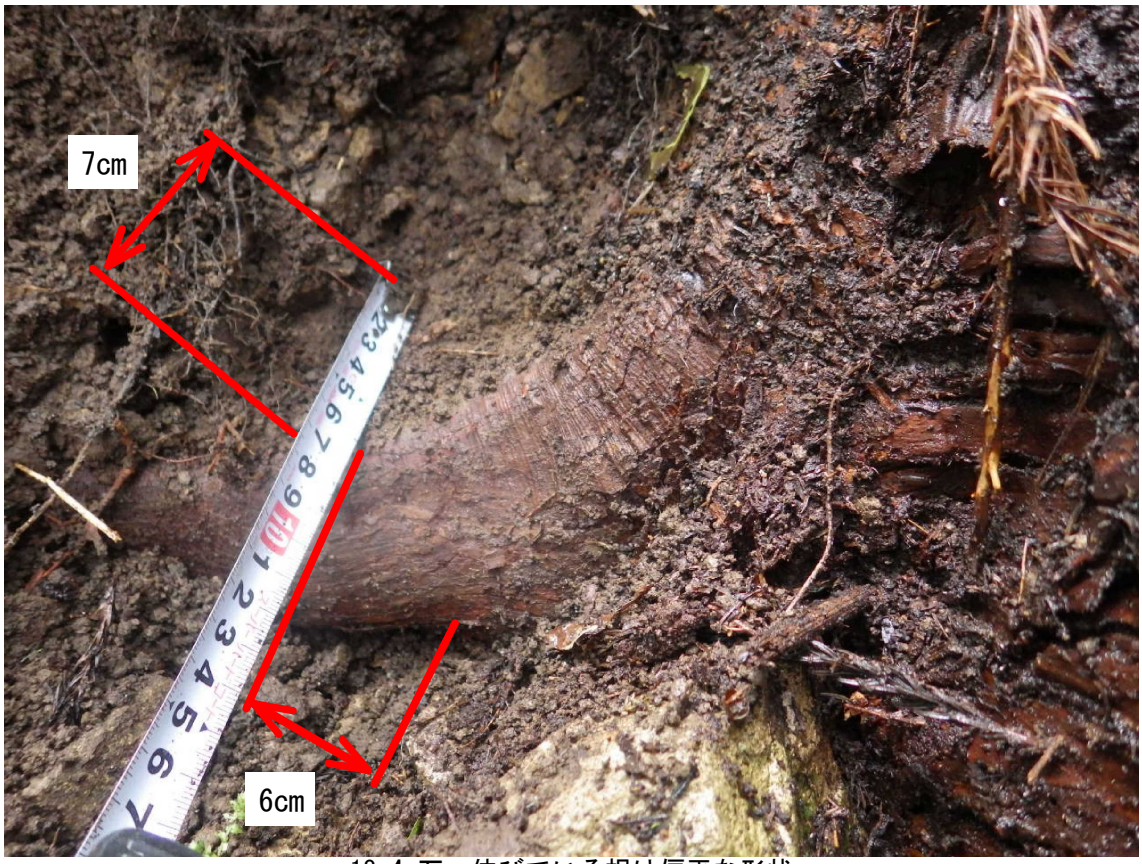
（樹木の状況）

（角ばった根）

18-1_石に隣接する樹木

18-2_石と樹木の隙間の状況

18-3_杉の根は石を破砕しながら成長している



18-4_石へ伸びている根は偏平な形状

落石源番号	20	石と樹木の距離(m)	0.6	
斜面内位置	法肩直上	樹高(m)	17.5	
石の形態	転石	胸高直径(m)	0.3	
石の寸法(m)	2.0×0.6×1.0	樹種	スギ	
体積(m3)	1.2	樹木の関わり		1.石の上に乗っている。幹が接している。
質量(ton)	3.6			2.根が亀裂に食い込んでいる。
安定状態	不安定			3.離れているが根が石に伸びている。
コメント	扁平であるが、法肩直上にある		○	4.その他（石の周囲を不安定化する）

〈石写真〉

（正面）

（側面）

<樹木写真>

（石と樹木の位置関係　その1）

（根の影響．地表では根の進入はない）

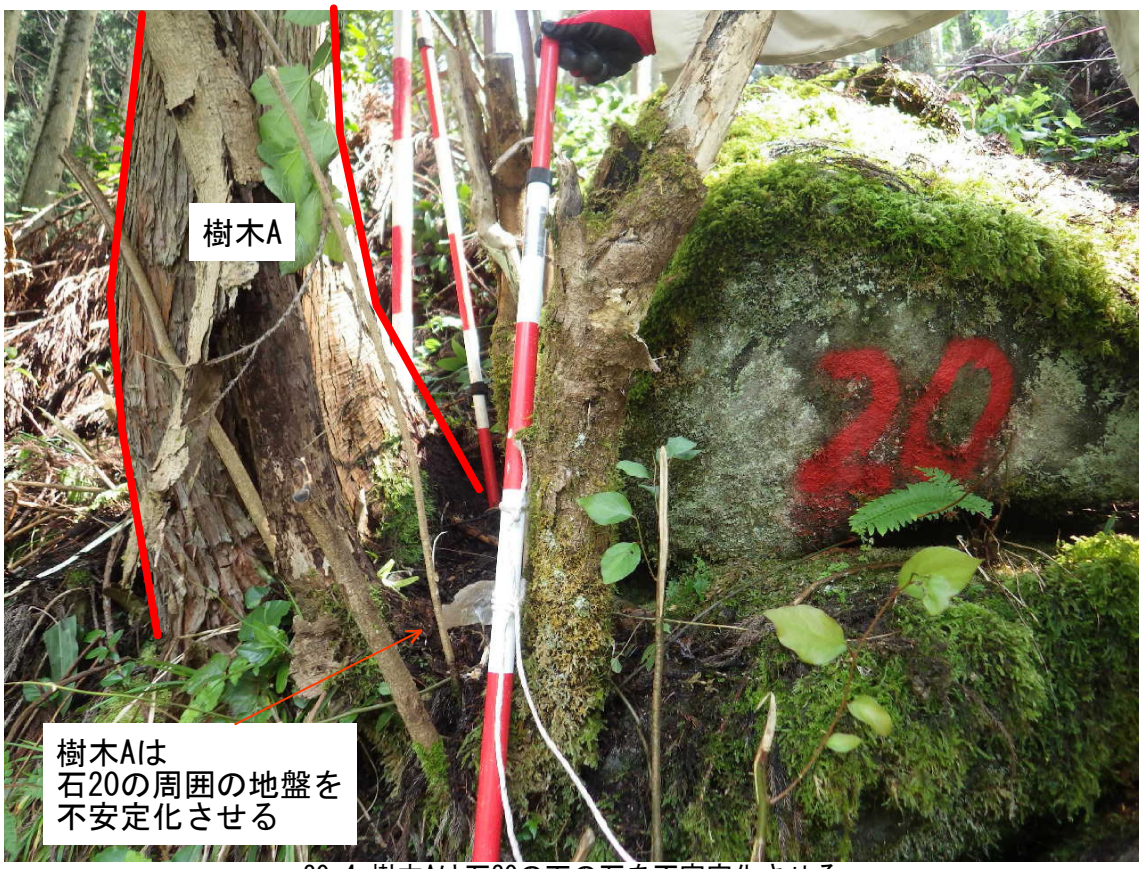
（樹木の状況）

（石と樹木の位置関係　その2）

20-1_石20周囲にある樹木位置関係

20-2_石に隣接する樹木A

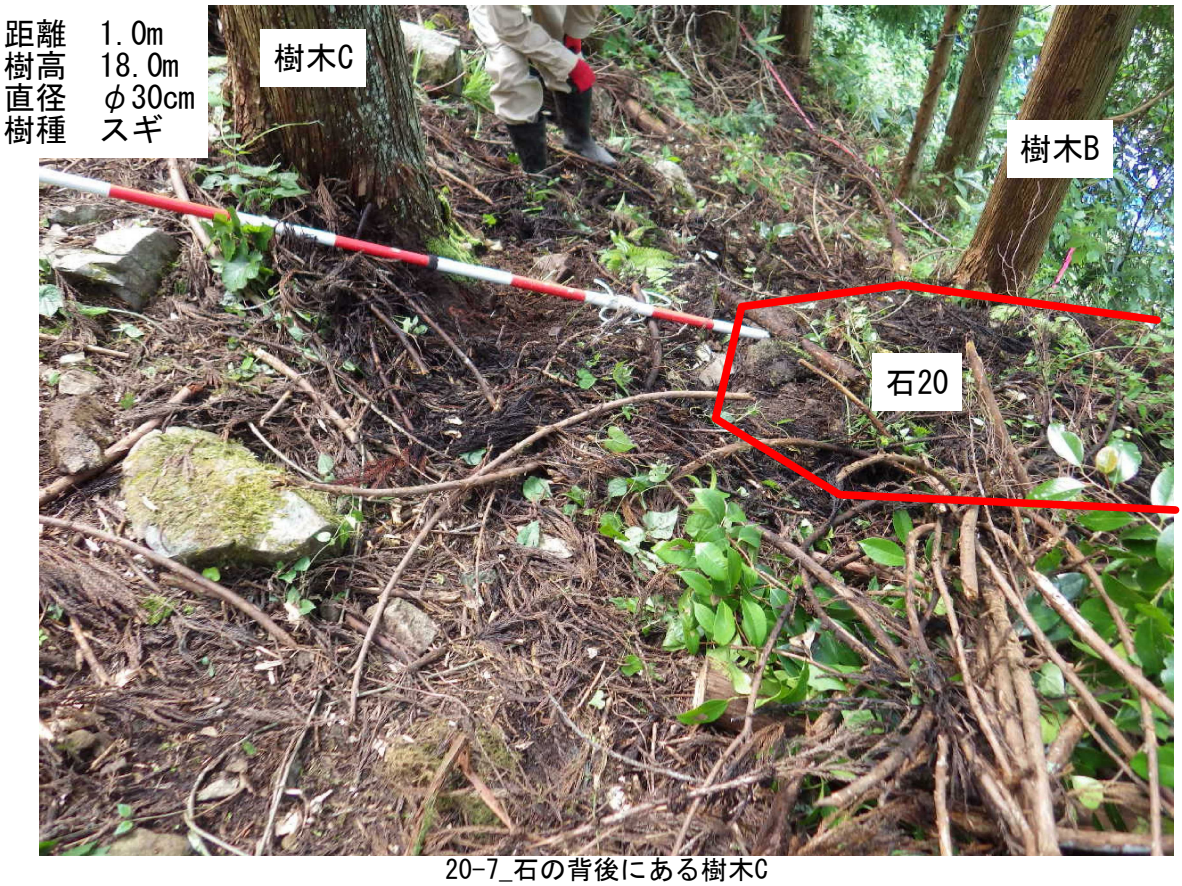
20-3_石と樹木Aの隙間



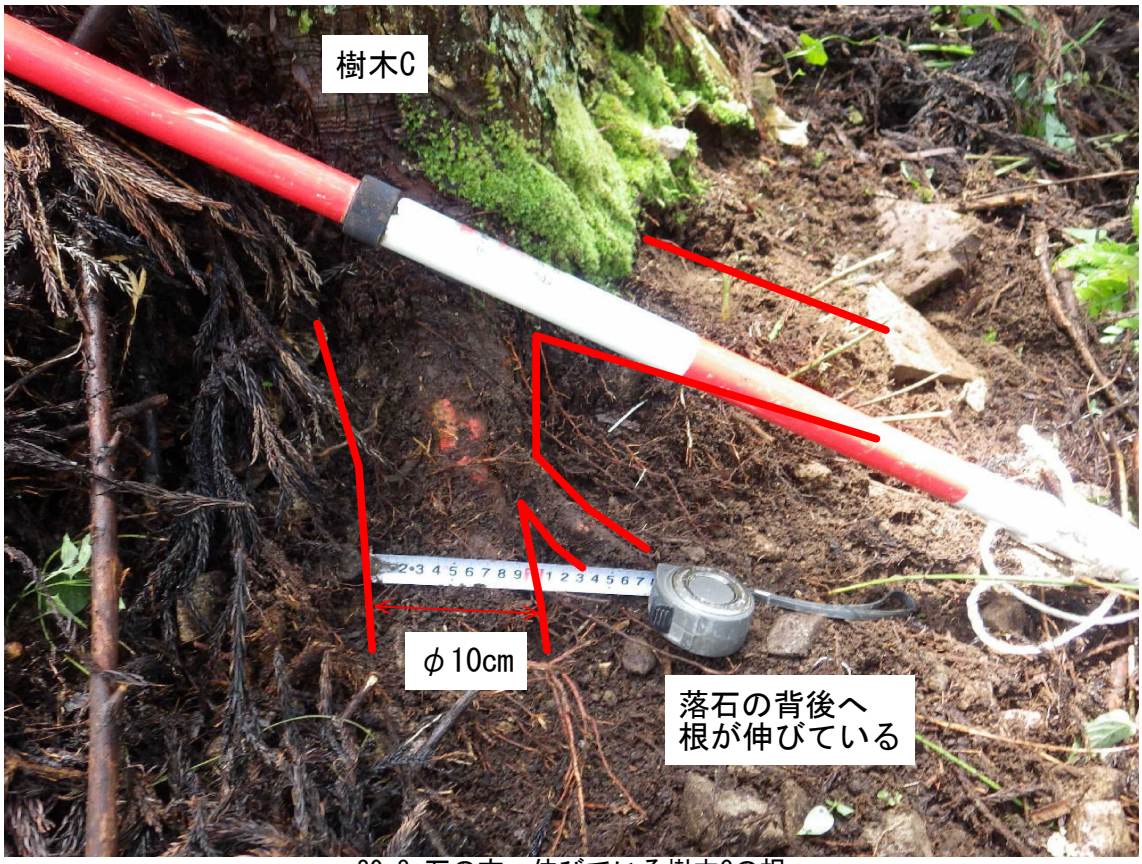
20-4_樹木Aは石20の下の石を不安定化させる

20-5_石に隣接する樹木B

20-6_石と樹木Bの隙間



20-7_石の背後にある樹木C



20-8_石の方へ伸びている樹木Cの根

落石源番号	21	石と樹木の距離(m)	下端が接している
斜面内位置	法肩上方	樹高(m)	16.2
石の形態	転石	胸高直径(m)	0.3
石の寸法(m)	0.8×1.7×2.0	樹種	スギ
体積(m3)	2.7	樹木の関わり	○ 1.石の上に乗っている。幹が接している。
質量(ton)	8.1		2.根が亀裂に食い込んでいる。
安定状態	やや不安定		3.離れているが根が石に伸びている。
コメント	扁平だが法肩の直上にある		4.その他

<石写真>

（正面）

（側面）

<樹木写真>

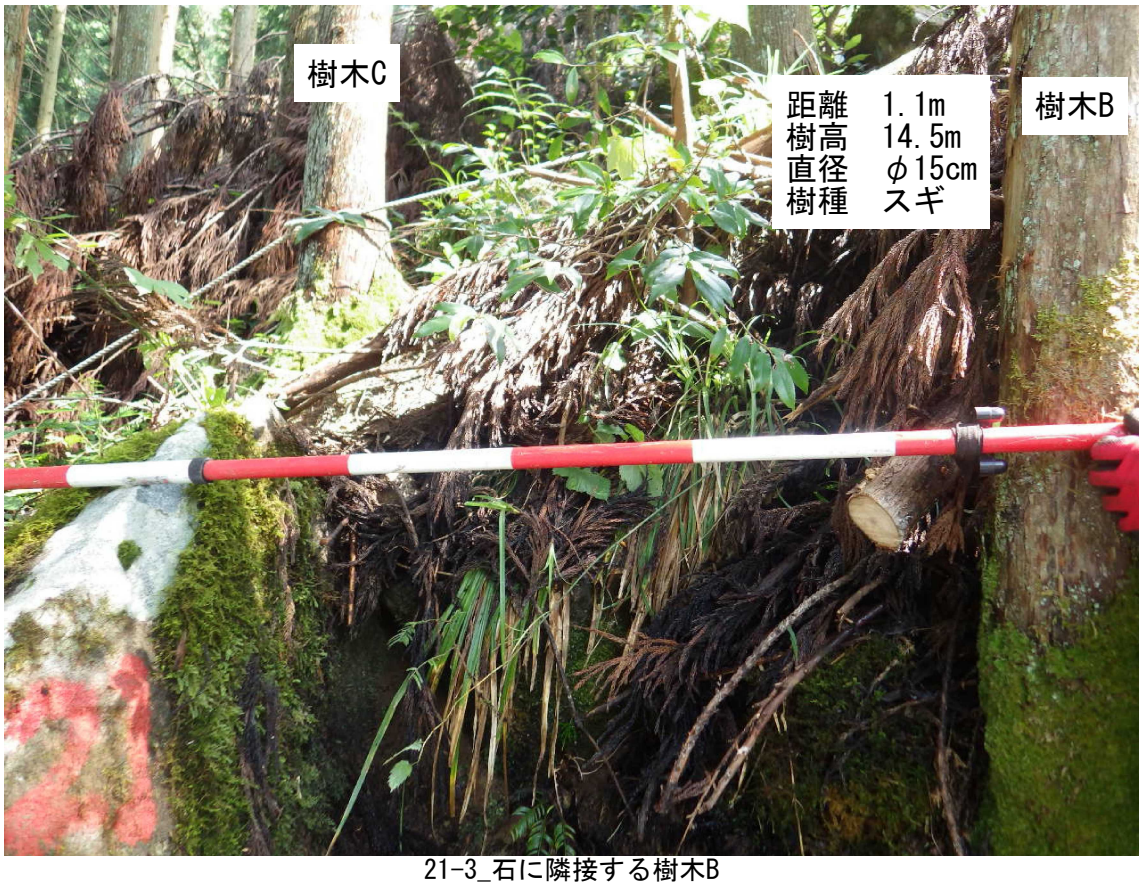
（石と樹木の位置関係）

（石の下端が樹と接触. 転石と地面には隙間があり、根の直接的な影響は見られない）

（樹木の状況）

21-1_石末端に接する樹木A

21-2_石と樹木Aの近景



21-3_石に隣接する樹木B

21-4_石と樹木Bの隙間

21-5_石と背後の樹木C

21-6_石の方へ伸びている樹木Cの根