

中国地質調査業協会 第22回技術講演会 「落石対策計画のための調査」



内海建設コンサルタント株式会社
尾刀 仁

1

はじめに

落石調査の目的

- 対象とする斜面での落石災害発生の可能性について検討し、落石対策計画立案のための基礎的な情報を得ること

調査担当者のあるべき姿

- 対策工計画時に調査結果がどのように利用されているか理解しておく必要がある

2

本日の話題

1. 落石の概念

2. 落石調査の区分

3. 精査の内容

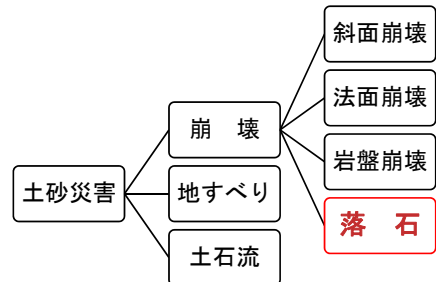
4. 詳細地表踏査の内容

5. 落石対策工の計画

3

1. 落石の概念

土砂災害の分類



4

落石の定義

- 落石とは、岩盤の不連続面（岩盤中に発達する節理、片理、層理等の割れ目）が拡大して、岩塊や礫がはく離したり、表層堆積物、火山噴出物、固結度の低い砂礫層の中の岩塊、礫が表面に浮き出して斜面より落下する現象をいう。

落石対策便覧」P6より

5

落石の発生形態

抜落ち型落石（転石型落石）

- 玉石、礫のまわりのマトリックス（基質）部分が浸食されることにより、バランスを保てず、落石となる。
- 比較的緩傾斜の土砂斜面に多い。

はく離型落石（浮石型落石）

- 不連続面に囲まれた岩片が、はがれて落下する。
- 急傾斜またはオーバーハング状の岩盤斜面に多い。

6

落石の発生形態

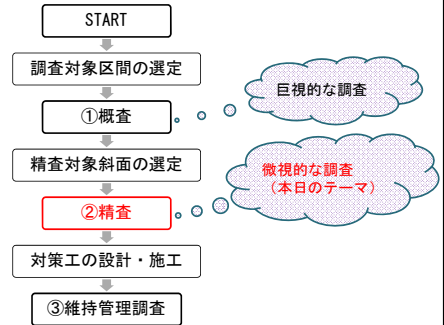


転石の例



浮石の例

2. 落石調査の区分



3. 精査の内容

測量	◎
リモートセンシング	△
詳細地表踏査	◎
物理探査	△
ボーリング	○
岩石試験	△

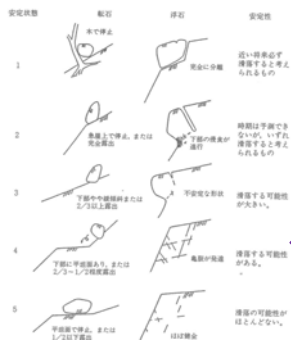
◎必ず実施するもの
○場合によって実施するもの
△あまり実施しないもの

4. 詳細地表踏査の内容

浮石・転石の調査項目（観察項目）一覧表

とりまとめ項目	内 容
1 浮石・転石の番号	落石の危険性のある浮石・転石に連続した番号を附記する
2 種別	浮石・転石の区分を明示する
3 石の安定状態	「落石防止便覧」P53により評価する
4 浮石・転石の標高	現地踏査により定めた浮石・転石の位置の標高
5 道路の標高	落石時に達する道路位置の標高
6 道路からの比高	(浮石・転石の位置の標高) - (道路位置の標高)
7 道路までの距離	浮石・転石位置から道路までの水平距離
8 斜面勾配	現地踏査より定めた浮石・転石位置の斜面勾配
9 平均勾配	浮石・転石の位置より道路面までの平均勾配
10 浮石・転石の大きさ	縦×横×奥行で明示する
11 体積	上記の浮石・転石の体積
12 重量	「落石防止便覧」P20により、落石の比重を2.6として計算する
13 地質・岩石名	岩種を明示する
14 落石エネルギー	「落石防止便覧」P16により算出する
15 状況写真	上記の浮石・転石等の状況が判る写真を添付する

現地観察による安定度評価



安定状態 4 について
対策の対象とするか
道路管理者と協議

「落石対策便覧」P53より

安定度評価の例



安定状態 1 の転石



安定状態 3 の転石

安定度評価の例



安定状態 1 の浮石



安定状態 2 の浮石

落石発生源個別調査一覧表 (例)

発源地 番号	種別	位置 座標	傾斜 角度	高さ m	面積 m ²	1回の長さ m	体積 m ³	崩落 回数	崩落 時期	崩落 状況	崩落 原因
1	浮石	2, 22, 21, 22	42	5.2	1.4	1.2	0.462	20	10.4.23	1) 中継路直下	崩落原因不明
2	浮石	2, 22, 21, 24	42	5.2	1.4	1.2	0.462	20	10.4.23	2) 中継路直下	崩落原因不明
3	浮石	2, 22, 21, 25	42	5.2	1.4	1.2	0.462	20	10.4.23	3) 中継路直下	崩落原因不明
4	浮石	2, 22, 21, 26	42	5.2	1.4	1.2	0.462	20	10.4.23	4) 中継路直下	崩落原因不明
5	浮石	2, 22, 21, 27	42	5.2	1.4	1.2	0.462	20	10.4.23	5) 中継路直下	崩落原因不明
6	浮石	2, 22, 21, 28	42	5.2	1.4	1.2	0.462	20	10.4.23	6) 中継路直下	崩落原因不明
7	浮石	2, 22, 21, 29	42	5.2	1.4	1.2	0.462	20	10.4.23	7) 中継路直下	崩落原因不明
8	浮石	2, 22, 21, 30	42	5.2	1.4	1.2	0.462	20	10.4.23	8) 中継路直下	崩落原因不明
9	浮石	2, 22, 21, 31	42	5.2	1.4	1.2	0.462	20	10.4.23	9) 中継路直下	崩落原因不明
10	浮石	2, 22, 21, 32	42	5.2	1.4	1.2	0.462	20	10.4.23	10) 中継路直下	崩落原因不明
11	浮石	2, 22, 21, 33	42	5.2	1.4	1.2	0.462	20	10.4.23	11) 中継路直下	崩落原因不明
12	浮石	2, 22, 21, 34	42	5.2	1.4	1.2	0.462	20	10.4.23	12) 中継路直下	崩落原因不明
13	浮石	2, 22, 21, 35	42	5.2	1.4	1.2	0.462	20	10.4.23	13) 中継路直下	崩落原因不明
14	浮石	2, 22, 21, 36	42	5.2	1.4	1.2	0.462	20	10.4.23	14) 中継路直下	崩落原因不明
15	浮石	2, 22, 21, 37	42	5.2	1.4	1.2	0.462	20	10.4.23	15) 中継路直下	崩落原因不明
16	浮石	2, 22, 21, 38	42	5.2	1.4	1.2	0.462	20	10.4.23	16) 中継路直下	崩落原因不明
17	浮石	2, 22, 21, 39	42	5.2	1.4	1.2	0.462	20	10.4.23	17) 中継路直下	崩落原因不明
18	浮石	2, 22, 21, 40	42	5.2	1.4	1.2	0.462	20	10.4.23	18) 中継路直下	崩落原因不明
19	浮石	2, 22, 21, 41	42	5.2	1.4	1.2	0.462	20	10.4.23	19) 中継路直下	崩落原因不明
20	浮石	2, 22, 21, 42	42	5.2	1.4	1.2	0.462	20	10.4.23	20) 中継路直下	崩落原因不明

落石発生源個別調査票 (例)

落石発生源個別調査票

調査番号: 100-100-100-100

調査日時: 2010.10.10

調査場所: 山形県 100-100-100

調査者: 100-100-100

調査対象: 100-100-100

調査内容: 100-100-100

調査結果: 100-100-100

調査写真: 100-100-100

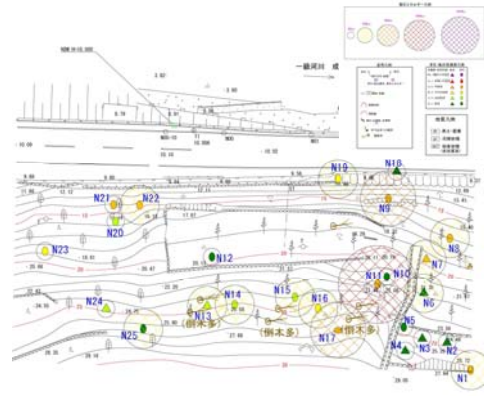
調査コメント: 100-100-100

調査者署名: 100-100-100

調査者印: 100-100-100

調査場所写真: 100-100-100

落石源位置図 (例)



落石エネルギーの算出

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

ここに、

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

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

θ: 斜面勾配

m: 落石の質量

g: 重力加速度

H: 落石落下高さ

エネルギー大



斜面勾配が急

落石質量が大

等価摩擦係数が小

落下高さが大

落石エネルギーは、落石防護工の工種選定に直接影響する。

落下高さについて

斜面が長大となって落下高さが40mを超えると落石速度は一定値に達する。

「落石対策便覧」P11~12より

落下高さが40mを超えると落下高さ40mとしてエネルギーを算出する。

等価摩擦係数について

斜面の種類と等価摩擦係数 μ の値

区分	崖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	懸崖、先状：四凸小、立木なし	0.05	0~0.1
B	懸崖、丸状～角状：四凸中～大、立木なし	0.15	0.11~0.2
C	土砂・崖脚、丸状～角状：四凸小～中、立木なし	0.25	0.21~0.3
D	崖脚・巨礫張り崖脚、角状：四凸中～大、立木なし～あり	0.35	0.31~

- 落石対策便覧では $\mu=0.05\sim0.35$ の値を用いることになっている。
- しかし、落石便覧式で算定される落石速度、落石エネルギーは過大であるとの実験事例もある（ $\mu=0.6\sim1.2$ 相当）。
- 余程のハゲ山でない限り、 $\mu=0.35$ として、エネルギー算出するのが無難である。
- なお、道路脇の崖から落石が自由落下する場合には、等価摩擦係数は0となる。

19

落石の落下軌跡の推定

- 落石対策便覧：資料編P266～に記載されている分散角（ 45° ）を機械的に適用しない。

等高線が単調な斜面で行われた実験結果であることに留意。

20

落石の落下軌跡の推定

- 調査時に、落石源周辺の小地形を読み取り、落下軌跡を推定することが重要である。

落石防護工の設置延長（対策延長）を決定する上で重要である。

21

調査結果の整理

調査結果の要約（例）

区分	道路延長	地形区分	既設対策工	落石源箇所数	落石エネルギー
①	40m	尾根型斜面	なし	20	30kJ~50kJ
②	30m	谷型斜面	ポケット式落石防護網	50	50kJ~300kJ
③	60m	直線斜面	擁壁+落石防護柵	70	40kJ~100kJ

地形、既設対策工、落石発生源の分布等の状況から、調査区域を分割する。

22

5. 落石対策工の計画

落石対策工の分類

対策工の分類	予防対策	防護対策
対策の概要	発生源となる浮石や転石の落下を抑制する	斜面を落下してくる落石が保全対象に到達することを阻止する
施工場所	発生源斜面	斜面途中、保全対象際
主な工種	小割除去工 根固め工 ワイヤーロープ掛工 岩接着工	落石防護柵 落石防護網 落石防護擁壁 ロックシェッド

23

落石対策計画の基本的な考え方

落石対策としては発生源における対策、すなわち、落石予防工が効果的であると考えられるが、落石斜面が長大急峻で施工が困難である等、落石予防工を計画することが必ずしも適切とは言えない場合もある。

特に対策斜面が広大で多数の落石発生源が分布している場合には、工事費が莫大となることから、対策案の比較検討により最も効率的で経済的な対策方針を選定する必要がある。

このため、予防工の有効性に配慮した上で、現地の状況により防護工を含めた工種を組み合わせるなどして、最も効果的な工種を選定する。

24

落石対策工の選定手順

一次選定

現場条件から、実際に適用可能な工法を抽出する。

二次選定

一次選定された予防工、防護工の組み合わせについて、比較検討を行い、最良案を選定する。

防護工の吸収エネルギーと予防工数量のバランスから最も経済的となる組み合わせを模索する。

25

落石予防工の要否判定 (例)

石番号	種別	個数	落石エネルギー (kJ)	落石予防工の要否				落石予防工
				第1案 防護工なし	第2案 (在来型) 落石防護柵 ~ 50 kJ	第3案 高エネルギー 吸収柵 ~ 250 kJ	第4案 高エネルギー 吸収柵 ~ 500 kJ	
4-1	浮石群	8	66	○	○			除去工
4-2	浮石群	7	28	○	○			除去工
4-3	浮石群	15	48	○				除去工
4-4	浮石群	10	82	○	○			除去工
4-5	浮石群	3	2288	○	○	○	○	除去工 根固め工
4-6	浮石群	7	78	○	○			除去工
4-7	浮石群	5	33	○	○			除去工
4-8	転石	1	45	○				除去工
4-9	浮石群	7	12	○				除去工
4-10	浮石群	7	37	○				除去工
4-11	転石	1	23	○				除去工
4-12	浮石群	10	464	○	○	○		除去工
4-13	転石	8	65	○	○			除去工
4-14	浮石	1	194	○	○			除去工
4-15	浮石群	7	168	○	○			除去工
4-16	浮石	1	13	○				除去工
4-17	浮石群	10	12	○				除去工
4-18	転石	5	34	○	○			除去工
4-19	浮石群	5	420	○	○	○		除去工
4-20	浮石群	5	244	○	○			除去工

防護工の吸収エネルギーが小さい場合には予防工数量が多くなり、逆に吸収エネルギーが大きい場合には予防工数量が少なくなる。

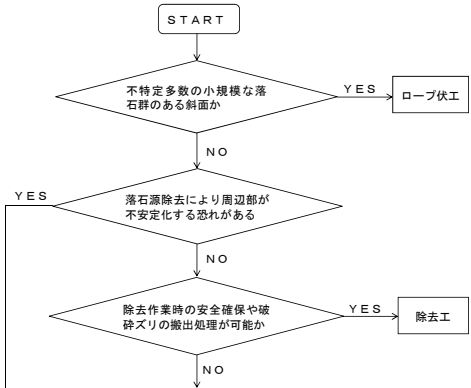
26

予防工と防護工の組合せ比較 (例)

案	防護工	予防工	合計	評価
第1案	なし 0千円	20箇所 30,000千円	30,000千円	
第2案	(在) 落石防護柵 3,000千円	10箇所 15,000千円	18,000千円	
第3案	高エネルギー柵 (250kJ) 9,000千円	3箇所 3,000千円	12,000千円	○
第4案	高エネルギー柵 (500kJ) 12,000千円	1箇所 2,000千円	14,000千円	

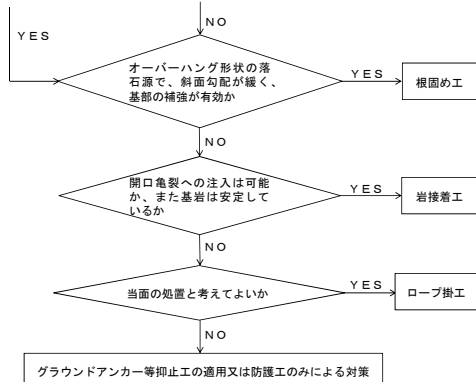
27

落石予防工の選定フロー (案)



28

落石予防工の選定フロー (案)



29

落石予防工



ロープ伏工施工例



ロープ掛工施工例

30

落石予防工

ロープ伏工

- ・ 格子状に組んだワイヤーロープを、2m 間隔で設置されたアンカーで斜面に固定する。
- ・ 比較的長い期間の設置にも十分耐えられるものになっている。
- ・ 落石源重量と斜面勾配により、適用範囲に制限あり。

ロープ掛工

- ・ 横方向主体のワイヤーロープ単体を数本用いて、アンカーで斜面に固定する。
- ・ 仮設物として取り扱うことが望ましい。
- ・ 落石源の規模が大きい場合でも適用できる。
- ・ ロープ掛工に類似した新工法あり。

31

落石予防工



小割除去工施工例



小割除去工施工例

32

落石予防工

小割除去工

- ・ 斜面上から危険な浮石・転石そのものを除去することから、最も確実な落石予防工である。
- ・ 採用にあたっては、道路上へ仮設防護柵が設置できること（又は通行止めが可能であること）と、落石源直近までモノレールが架設できること（破碎ズリの搬出処理が可能であること）が必須条件となる。

33

おわりに

- ・ 落石対策計画のための調査（精査）は、石一個一個を対象としており、忍耐力が求められる。
- ・ 落石対策を必要とする安定度を、道路管理者へ確認の上、調査を開始する。
- ・ 調査時に、落石源周辺の小地形を読み取り、落下軌跡を推定することが重要である。
- ・ 予防工の工種選定は調査担当者側で行うことが合理的である。

34

以上です
ご清聴ありがとうございました



35