

落石対策工検討箇所調査事例

沼宮内 信*

1. はじめに

新潟県の佐渡島は、周囲約200km、面積は淡路島の1.5倍を有し、島の海沿いを周回する道路が整備されている(図-1)。佐渡島は北側の大佐渡山地、南側の小佐渡山地と、その間に挟まれる国中平野から構成されており、周回道路は海岸沿いにわずかに存在する低地や段丘面を通過しており、迂回路がない地区も多い。道路の山側が急峻な斜面を呈している箇所では、毎年のように通行不可となる土砂災害が発生し、住民の生活や観光に大きな支障を与えるケースも少なくない。



図-1 佐渡島の主要道路と業務事例位置

平成18年2月に、図中箇所にて大規模な落石が発生し、数日にわたり周回道路が通行止めとなった。本稿では、この土砂災害の対策工検討業務を紹介する。

2. 落石災害事例

(1) 災害規模

落石災害は平成18年2月17日に発生した。落石の規模等を表-1に示す。図-2に崩壊ブロック平面図を示す。

落石は直径1m程度の岩塊が、周回道路に到達し、道路山側にある倉庫を一部破壊した。更に細かい岩片が一周線を越えて海岸近くの水田に到達した。幸いにも、人的被害は生じなかったが、数日に渡り通行止めとなった。

斜面末端部まで到達した岩塊は全体の5%以下であり、95%以上の岩塊は、斜面中に堆積している。斜面末端部に到達していない最大岩塊は2m×1.5m×0.8mである(写真-1)。

*川崎地質(株)

斜面末端部に到達した岩塊リストを、表-1に示す。

表-1 斜面末端部に到達した岩塊規模

滑落岩塊 (推定)	長さ12m×幅8m×奥行き2m	192m ³
末端部に世到達した主な岩塊		
落石 1	L=2.0m, W=1.5m, D=1.0m	3.0m ³
落石 2	L=1.0m, W=1.5m, D=1.0m	1.5m ³
落石 3	L=0.7m, W=0.7m, D=0.7m	0.34m ³
落石 4	L=0.6m, W=0.6m, D=0.4m	0.14m ³
落石 5	L=1.8m, W=1.2m, D=0.8m	1.7m ³
落石 6	L=1.0m, W=1.0m, D=0.8m	0.8m ³
落石 7	L=1.5m, W=1.0m, D=1.0m	1.5m ³
落石 8	L=0.3m, W=0.3m, D=0.2m	0.02m ³
合計		9m ³

滑落土塊の4.5%



写真-1 最大岩塊



図-2 落石到達範囲と不安定岩塊の分布

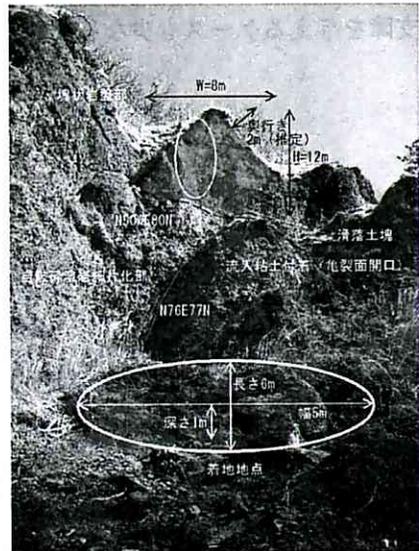


写真-2 落石発生源

現地踏査の結果想定される滑落岩塊は、192m³ (長さ12m、幅8m、奥行き2m) であり (写真-2)、斜面中腹で破壊され、末端部には最大2m×1.5m×0.8mの岩塊が到達した。

(2) 発生状況

発生した落石は、滑落岩塊の下部に分布する細片化部が侵食を受け、不安定な形状をした部分が2方向に発達した亀裂が分離した、平面〜くさび形の崩壊であると考えられる。ただし、2方向の亀裂はほとんど垂直に近いため、崩落型であるとも言える。

災害発生時の気象条件を図-3に示す。

崩壊当日は最低気温が氷点下であり、亀裂にしみこんだ水が凍結融解することで、亀裂の緩みが極限状態まで進んだ。この緩みが、当該斜面を構成する自破碎溶岩¹⁾ 細片部に存在する小亀裂に応力が集中し、破壊した事により崩壊が発生したものと考えられる。

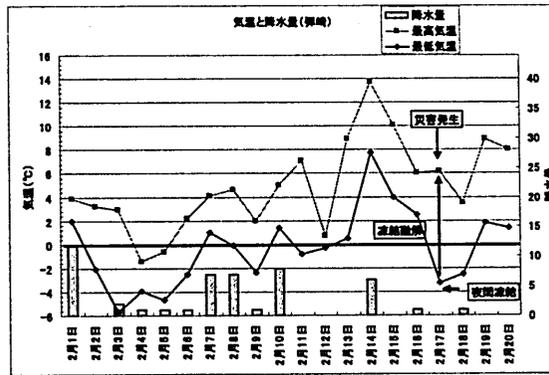


図-3 気象条件

(3) 地質調査で明らかにした点

当該箇所では、切り立った岩盤が露出しており、オーバーハングしている箇所も認められる。亀裂が発達するため、同様な落石災害が発生する可能性があり、落石対策工の検討を行った。以下に地質調査で明らかにした点を示す。

1) 落石発生状況の詳細

地質調査では今回発生した落石の状況を、踏査により詳細に把握した。ここで確認した項目は、以下の点である。

- ① 落石発生源（位置、大きさ、落石の発生形態）
- ② 落石経路および到達範囲
- ③ 斜面中や末端部に分布する岩塊の位置や大きさ

落石発生源は比高差80m程度斜面上方に位置しており、落石の到達範囲は発生源から150m程度であった。

2) 斜面に存在する不安定岩塊の抽出

今回発生した落石箇所以外に落石発生源となりうる箇所の抽出を行い、それぞれの規模、崩壊形態について明らかにした。表-2に不安定岩塊の一覧を示す。

表-2 不安定岩塊一覧

不安定岩塊	規 模			不安定状況	崩壊のタイプ
	高さ (m)	幅 (m)	奥行き (m)		
不安定岩塊 1	12	8	5	開口亀裂に挟まれている 末端部は侵食され、オーバーハングしている A断面に図示	転倒型 崩落型
不安定岩塊 2	3	5	2	開口亀裂が近傍に存在。 オーバーハングしている	崩落型
不安定岩塊 3	5	5	3	開口亀裂が近傍に存在。 オーバーハングしている	崩落型
不安定岩塊 4	5	5	1	開口亀裂が近傍に存在。 オーバーハングしている	崩落型
不安定岩塊 5	4	5	1.5	開口亀裂が近傍に存在。 独立した突起状の岩塊であり、転倒する可能性 がある。	転倒型
不安定岩塊 6	21.5	8	5.4	副断面に図示	平面型 くさび形

落石発生源となりうる岩塊は6カ所確認された（写真3～写真8）。

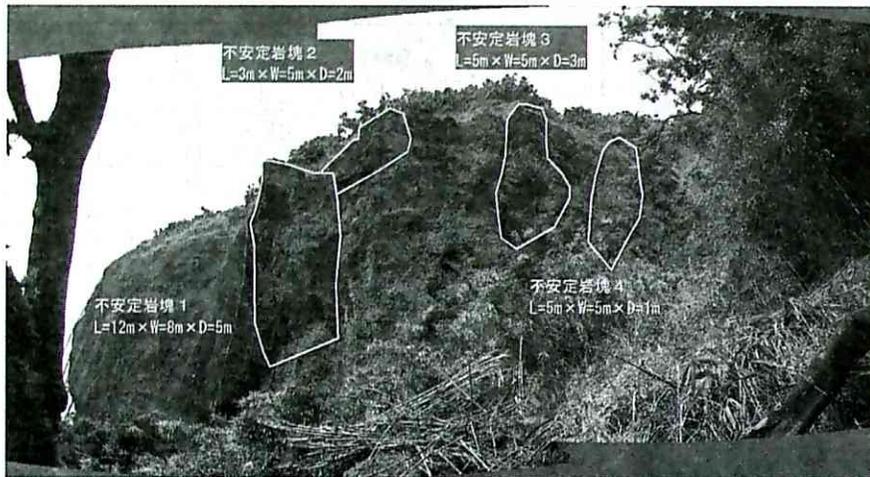


写真-3
不安定岩塊1～4

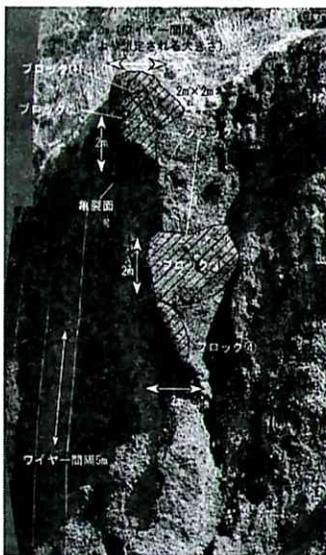


写真-4、5 不安定岩塊1

不安定岩塊1が落下して分離すると
想定される小ブロック(①～④)
それぞれの境界は、亀裂、クラックの分布
より推定



写真-6 不安定岩塊3



写真-7 不安定岩塊5

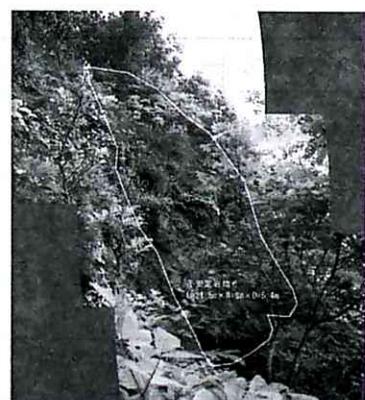


写真-8 不安定岩塊6

3) 検討断面図の作成

地質調査の結果を踏まえ、落石エネルギー検討に必要な断面図を作成した(図-4)。当該斜面は落石発生源が複数箇所想定され、さらに落石到達範囲の左右で保全対象までの距離が異なるため、検討断面を2断面とした。

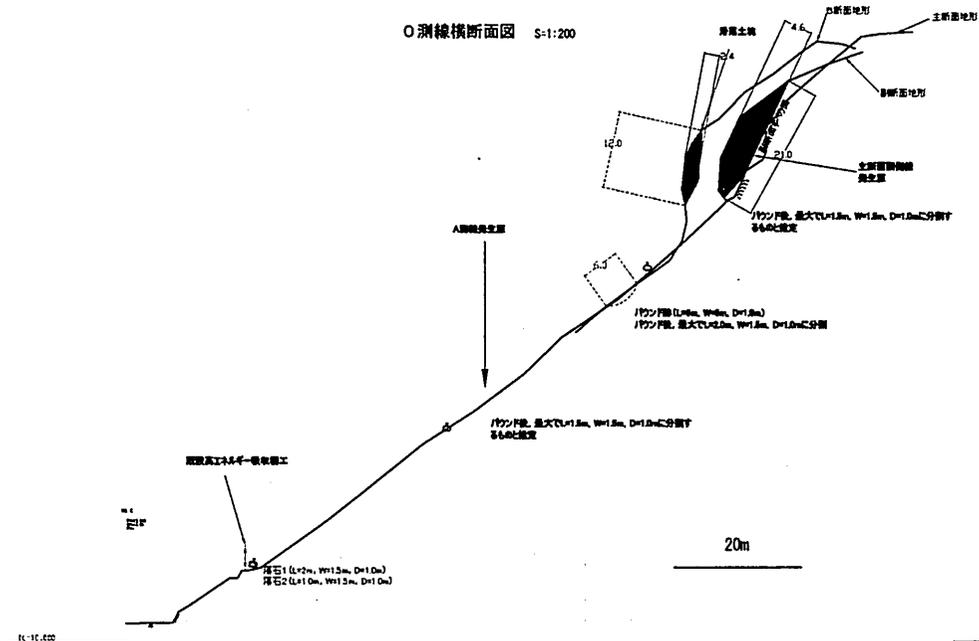


図-4 検討断面

4) 落石シミュレーションによる等価摩擦係数の逆算

実際に発生した落石災害により、どの程度の岩塊が、どの範囲に到達するかが既知のため、等価摩擦係数を変数として試行計算を繰り返す事により、現場状況に合った等価摩擦係数²⁾³⁾を算出した。算出に使用した解析方法は、落石を球体と仮定し落石の運動を運動形態毎に解析を行う2次元解析(吉田らの手法⁴⁾)を用いて行った。落石のエネルギーは、下式により算出した。算出の結果、最も現実に近い値となった等価摩擦係数は、 $\mu = 0.05$ であった。

等価摩擦係数は、斜面状況や落石の岩質に応じて異なる値を示すものであり、落石対策便覧には一般的な値が示されている。当該箇所の地質は発生箇所付近では自破碎状溶岩(軟岩~硬岩)であるが、斜面状況は崖錐斜面であるため、表-3より $\mu = 0.15 \sim 0.35$ を選択するのが妥当と考えられる。落石エネルギーの算定式より、 μ の値が小さいほど、エネルギーが大きく算定されるため、落石シミュレーションによる逆算を行ったことで、安全側の配慮ができたものと評価される。

表一 3 落石対策便覧に示された等価摩擦係数

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
C	土砂・崖線、丸状～角状：凹凸小～中、立木なし	0.25	0.21～0.3
D	層線・巨礫まじり崖線、角状：凹凸中～大、立木なし～あり	0.35	0.31～

落石エネルギー算定式

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

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 (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

3. まとめ

落石対策工を検討する際には、対策工を施工する位置で、どの程度のエネルギーを持った落石が想定されるかを明らかにする必要がある。そのためには、想定される落石の規模や性状を十分に把握することが不可欠である。

落石対策を検討するにあたり最適な対策工を選定するためには、想定される災害の規模や周囲の環境が十分に把握されている必要がある。そのため、落石対策工方針は調査情報の精度に依存する点が非常に大きい事を理解する必要がある。

落石シミュレーションは、落石を球体剛体としてモデル化する質点系解析法や、任意形状の剛体でモデル化する個別要素法、変形体としてモデル化する不連続変形法など様々あるが、それぞれの解析手法に必要なパラメーターの設定方法については検討の余地があるものと考えられる。

パラメーターに十分な根拠もなくシミュレーション等の数値解析を行うことは、危険側の判断を行う可能性があることが本調査事例より言えると考えられる。

参考文献

- 1) 金属鉱業事業団 (1988)：昭和61年度広域地質構造調査報告書－佐渡地域－
- 2) ㈱日本道路協会 (2005)：落石対策便覧
- 3) 高速道路調査会 (1974)：落石防護施設の設置に関する調査研究報告書
- 4) ㈱日本道路協会 (2002)：落石対策便覧に関する参考資料

－落石シミュレーション手法の調査研究資料－