

上越線の上部斜面に存在する巨大岩塊の対策—その2：対策設計概要

東日本旅客株式会社 高崎支社 ○正会員 中村 大輔
 東日本旅客株式会社 高崎土木技術センター 湯浅 啓司
 東鉄工業株式会社 (旧、JR 東日本コンサルツ) 正会員 羽矢 洋
 ライト工業株式会社 正会員 黒柳 啓

1. はじめに

上越線津久田・岩本間沿線の上方斜面上にある巨大岩塊の安全対策について、「その1：地盤・岩盤調査」では、対象とする巨大岩塊が位置する地形・地質条件と対策設計に必要な各種調査・試験結果および予想される崩壊形態について報告した。ここでは、その1に引き続き「その2：対策設計概要」として、当該岩塊の安全対策工事のための設計の概要について報告する。

2. 対策設計の基本

「その1：地盤・岩盤調査」に述べたとおり、岩塊の崩壊形態として以下の2通りを想定した。

- ① トップリングによる倒壊・崩落
- ② 円弧すべりによる滑動・崩落

上記に対し対策設計を考える上では、上記いずれかの崩壊に移行する際の内的、あるいは外的な要因として次のどちらか、または両方の要因が重なった場合を想定した。

- 1) 自重・風化によりせん断破壊が進行して崩壊する
 - 2) 主に地震等の外力による急激なせん断破壊によって崩壊する
- 対策工事は、上記の①、②および1)、2)に対し、いずれの組合せであっても安全性が担保されることが求められることを踏まえ、対策設計において以下の条件設定を行った。
- a) 崩壊形態：円弧すべりによる滑動
 - b) 想定するすべり線：調査結果に基づき決定
 - c) 現状の評価：安全率 1.0 の状況にあって、現状、安定に対し余裕度はゼロの状態にあると考える
 - d) 対策の基本：常時および地震時に於いて、所要の安全率を担保可能なまでに抑止力を付与する
 - e) その他：トップリングによる崩壊の場合、崩壊途中に分離する岩塊を捕捉可能なディテールとする

3. 岩塊の安定検討および必要抑止力の算定結果

上述したとおり「常時」および「地震時」に対し、所要の安全率を担保可能なまでに抑止力を付与することで安全性を担保させることを目標に設計を行った。そのためには、想定する円弧すべり面が現状において発揮している滑動抵抗力を予め把握し、その次に、常時・地震時、各々の安全率を満足するのに必要な抑止力を計算した。

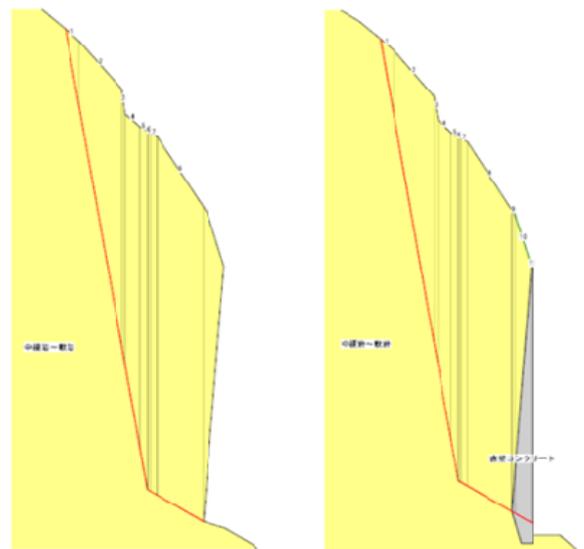
具体的には、調査結果に基づき開口亀裂に沿うすべり面を設定した上で、現状においては安全率 1.0 の安定状態にあるものとして、表1に示すとおり岩塊の単位体積重量(γ)および内部摩擦角(ϕ)を試験結果および文献 1)を参考に設定し、スライス法による円弧すべり解析により逆算的に粘着力(c)を求めた。こうして求めた値を岩盤のすべり面が有する強度定数とした。

必要抑止力の算定では、「東京 100km 圏降雨防災強化対策工事マニュアル 平成 16 年 10 月」の「切取」のケースに準じ、常時の安全率を 1.30、また、地震時(安全を考慮し設計水平震度 $K_h=0.25$)に対する安全率を 1.0 と定めた。なお、トップリ

表1 逆算解析に設定・算定した岩塊の定数

岩塊の単位体積重量	$\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$
すべり面に設定した摩擦角	$\phi = 30^\circ$
逆解析で得られた粘着力	$c = 37.65 \text{ kN/m}^2$

すべり面の安全率 $FS = 1.00$



(a) 対策前の評価モデル (b) 必要抑止力算定モデル
 図1 すべり円弧解析モデル

表2 必要抑止力算定に用いた定数

	単位体積重量 γ (kN/m ³)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
岩盤 (安山岩質溶岩)	26	37.65	30
コンクリート	23	0	40

表3 必要抑止力算定結果

	現況安全率	計画安全率	必要抑止力
常時	1	1.3	600.7 kN/m
地震時	—	1	798.7 kN/m

表4 アンカーの極限周面摩擦抵抗

地盤の種類		摩擦抵抗 (MN/m ²)
岩盤	硬岩	1.50~2.50
	軟岩	1.00~1.50
	風化岩	0.60~1.00
	土丹	0.60~1.20

グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説、地盤工学会、平成24年5月

キーワード 落石、岩盤崩落、グラウンドアンカー、鉄道防災、円弧すべり解析

連絡先 〒370-0052 群馬県高崎市旭町 190 番地 JR 東日本 高崎土木技術センター TEL 027-324-6594

ングによる崩壊となった場合、転倒モードから途中、岩塊は分裂し、崩落すると考えられることから、その対策として巨大岩塊前面にRC構造の前壁を構築した。

したがって、「常時」および「地震時」に所要の安全性を担保可能な抑止力を算定するに当たり、この前壁構築による付加重量も考慮している。なお、円弧すべり線がコンクリートを通る部分については抵抗力が過大とならないよう粘着力は見込まず、内部摩擦角 $\phi = 40^\circ$ のみを考慮することとした。表2に必要抑止力算定解析に用いた岩盤およびコンクリートの物性を示す。

以上の条件に基づき算定した必要抑止力の値を表3に示す。

なお、調査により地下水位は認められなかったことから水位は設定していない。

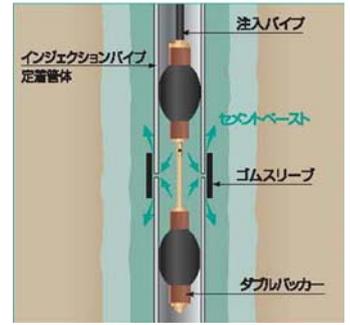


図2 RSIアンカーの取り付け概要図

4. 対策工の設計

対策工は、これまでに実施してきた調査・検討内容を総合的に判断し、グラウンドアンカー工+吹付砕工（現場吹付のり砕工：F500）を採用することとした。

なお、背面には著しい開口が存在するため開口部には岩盤接着工を図り、また岩塊基部の脆弱性を考慮し、根固め工を施工した。

アンカーの選択については、巨大岩塊の背面地山が多くの開口亀裂を有する「軟岩～硬岩」級の岩であり、注入材の流出やD級岩盤での拘束力の低下が懸念されることを踏まえ、繰り返し注入方式によりアンカー体を造成する『RSIアンカー工法』を採用することとした。

表5 極限引抜き力に対する安全率

アンカーの分類		安全率 f_s
ランクA	常時	2.5
	地震時	1.5~2.0

グラウンドアンカー設計・施工基準,同解説
平成24年5月 地盤工学会

表6 アンカー工計算結果一覧表

	抑止力 P_r (kN/m)	アンカータイプ	削孔径 (mm)	設計アンカー力 T_d (kN)	アンカー体長 (m)
常時	600.7	RSI-F70U	$\phi 115$	371.6	4.5
地震時	798.7	RSI-F70U	$\phi 115$	494.1	6

上表より、アンカー工の構造仕様は『地震時アンカー』とする。

定着地盤の安山岩質溶岩は主に軟岩～硬岩であるが、一部にD級岩盤の分布も確認されていることから、繰り返し効果による摩擦抵抗値の増加率は見込まないものとし、表4に示す軟岩の最小値 1.00 を用いることとした。

アンカーの極限引抜き力に対する安全率等の考え方を以下に示す。

- 1) アンカーの極限引抜き力に対する安全率(表5)
 $f_s = 2.5$ (ランクA: 常時)
 $f_s = 2.0$ (ランクA: 地震時)

- 2) アンカーの配置間隔

横方向間隔 @2.5m、縦方向間隔 @2.5m

- 3) アンカー傾角: 10° (地盤工学会基準では水平面から下向きに $5^\circ \sim 45^\circ$ の範囲)
- 4) テンドンとグラウトの許容付着応力度: $\tau_{ba} = 1.00 \text{ N/mm}^2$ (永久: $\sigma_{28} = 24 \text{ N/mm}^2$)
- 5) 地盤の極限周面摩擦抵抗値: $\tau = 1.00 \text{ N/mm}^2$
- 6) インジェクションパイプとグラウトの許容付着応力度: $T_{ta} = 0.50 \text{ N/mm}^2$
- 7) 繰り返し注入による摩擦抵抗値の増加率は 1.0 倍を見込み、 $\tau = 1.00 \times 1.0 = 1.00 \text{ N/mm}^2$ とした。

以上の検討結果により、表6に示すアンカー諸元および図3に示すアンカー配置として設計した。

参考文献

- 1) (社)地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説、平成21年11月
- 2) (社)地盤工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準,同解説、平成24年5月
- 3) RSIグラウンドアンカー工法設計・施工マニュアル

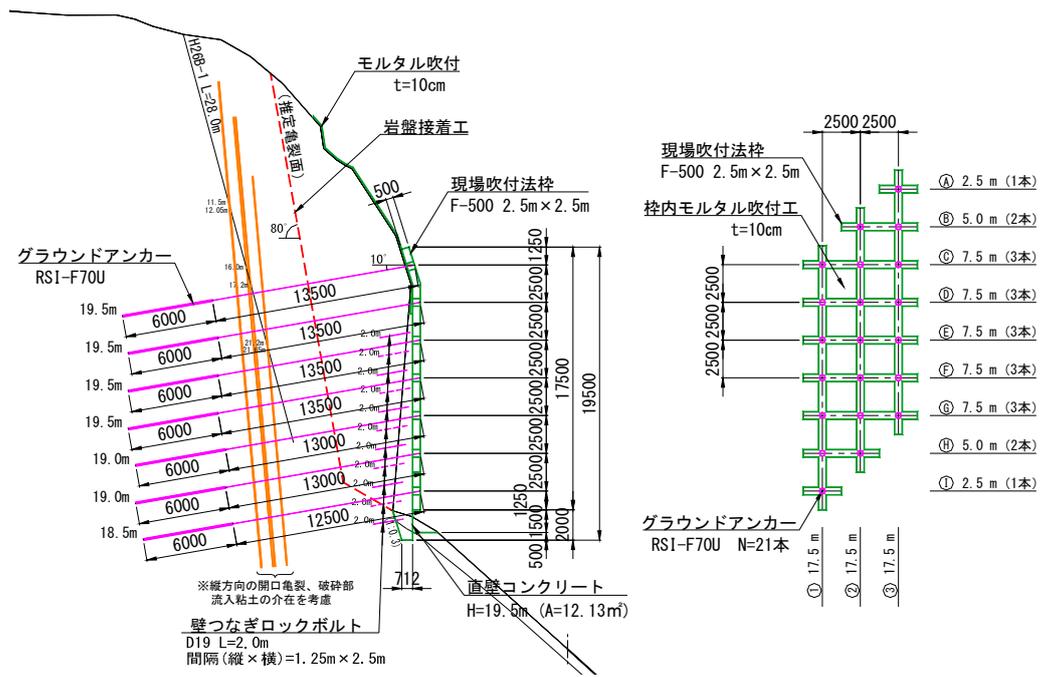


図3 グラウンドアンカー配置諸元図