

ケーブルクレーンおよびドリル付き 油圧くさび破碎機を用いた硬岩掘削作業

—東九州自動車道上野原トンネルにおける急崖対策工—

柚木崎 守・藤澤 聖夫・金谷 篤広

北海道の豊浜トンネルにおける巨大岩塊崩落事故を契機に、東九州自動車道上野原トンネル工事においてもトンネル坑口上部に位置する巨大岩塊の対策工が検討された。その結果、この巨大岩塊を除去する工事を施すこととなった。この岩塊は柱状節理および板状節理が発達し一部オーバーハングを呈しており、非常に不安定な状態となっているが、安山岩からなる硬岩であり、施工ヤードは狭く高位置にあるため施工においては一般的な機材では困難であることが予想された。また、運搬においては急勾配のシラス山に搬入路を設置しての作業は地滑り等による事故が懸念された。よって、当工事ではこれらの問題をクリアする機材の開発、設置を行い安全施工を行った。本報文は当工事における施工および機材の概要について報告する。

キーワード：落石処理工，ケーブルクレーン，ドリル付き油圧くさび破碎機，硬岩掘削，シラス，環境保全

1. はじめに

東九州自動車道は北九州市を起点とし、福岡、大分、宮崎、鹿児島各県を結び、鹿児島市に至る総延長 436 km の高速自動車国道である。

当路線は九州縦貫自動車道および九州横断自動車道とともに九州の高速自動車国道のネットワーク

を形成し、東九州地域の産業、経済、文化の振興と均衡ある発展を図り、また、交通混雑の緩和、輸送時間の短縮など沿線諸都市の生活向上、活性化に資するため計画されたものである。

本工事はその東九州自動車道の一環として国分インターチェンジ付近（図-1 参照）の上野原トンネル等を施工するものである。この上野原トンネル終点側坑口上部（写真-1 参照）には、安山岩の巨大な崖面が屹立している。その崖面上には多くの巨大転石が点在し、また、崖面は柱状節理を呈し、その表面は海からの強風等により劣化した亀裂および抜け落ちによるオーバーハング形状

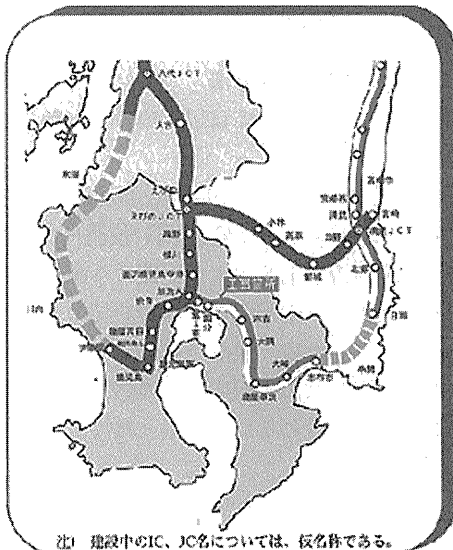


図-1 作業所位置図



写真-1 坑口上部の巨大岩塊

や、大小の浮き石により不安定な状況下にある。このため、高速道路共用後の防災の観点から落石に対する適切な処置が検討された結果、岩塊の撤去を目的とする落石処理工を施すこととなった。

2. 地形・地質状況

当該地区周辺は、錦江湾（鹿児島湾）の最奥北東部に位置する。錦江湾北部は直径二十数 km におよぶ始良カルデラからなり、上野原台地はこのカルデラ北東部に当たる。

当工事箇所は、上野原台地（標高約 250 m、写真—2 参照）の西端部にあたる。上野原台地は南西側と北西側に平均 40°の急斜面を持つ台地でその縁辺部を溶岩の急崖が取巻いている。当該崖面（通称劔岩）は最大比高 60 m で一部オーバーハングを呈した状況にあり、崖面の傾斜は 70°～90°である。また、劔岩周辺の崖の下限は一定ではなく、劔岩東側および北側で標高 100～200 m、南壁（南側）で標高 70～90 m、正面壁（西側）では標高 55 m 程度となっており、この地域周辺は急崖地区と指定されている。



写真—2 上野原台地

当該地域付近の地質は大きく分類すると、上野原台地を形成する火山岩類と低地を形成する沖積層に区分される。上野原台地は地質的に細区分すると、台地下部および中部は安山岩質溶岩（An、表—1 参照）と火山碎屑岩類（Tb、Tf）の互層から構成されており、これらは梅ヶ谷岩類と呼ばれている。台地上部は入戸火砕流堆積物（Wpf）から成る。

表—1 地質層序表

| 地質時代 | 地質名 | 記号 | 地質状況 | | |
|------------------|----------------------------|----------|-----------------------------------|--|---|
| 新 生 代 紀 | 完 新 世 | 岩錘堆積物 | dt | 台地斜面上に分布。非常にルーズな堆積物である。転石を多く含む礫混じり砂～礫質土。 | |
| | 第 四 紀 更 新 世 | 入戸火砕流堆積物 | Wpf | 淡灰色を呈し、スコリア、転石を混入する「しらす」である。 | |
| | | 梅ヶ谷安山岩類 | 安山岩 | An | 台地中腹に分布し、急崖を形成する。灰色を呈し、緻密で非常に硬質な岩である。柱状節理・板状節理が発達し開口している。 |
| | | | 凝灰角礫岩及び火山角礫岩 | Tb | 台地下部に分布。礫部は比較的硬質であるが、マトリックスは軟質で風化により脆弱となる。 |
| 凝灰岩及び火山角礫岩 | Tf | | 軟質で比較的均質である。風化は、一様に進み、粘土化して脆弱となる。 | | |

梅ヶ谷安山岩類と入戸火砕流堆積物は、新生代第四紀更新世に形成されたものと推定されており、台地の斜面には崖錘堆積物が分布している。落石処理工を施す「劔岩」は、崖面は柱状節理及び板状節理が発達し、部分的に開口しているが、安山岩質溶岩から成る硬質で緻密な岩塊であり、ハンマでの打撃音は軽い金属音がし、容易に砕くことはできない状態にある。

また、崖下には国道 10 号線、県道敷根日当山線および一般家屋が建ち並び、上野原台地上部は精密機械工場地域となっている。

3. 施工条件・機材条件

前述の地形・地質状況より以下の施工条件および使用機材の条件が考えられる。

（1）資機材搬出入方法

資機材の搬入については以下のことが懸念された。

- ① 切土肩は上野原台地頂上より約 100 m 低く、本線高より約 130 m 高い位置にある。
- ② 上野原台地上部および下部より搬入路を設置した場合、崖錘部のシラスを切土しなければならないため、地滑り等による事故が懸念される。また、転石や地山の岩塊等が現れることが予想されるため、搬入路設置に時間を費やす。
- ③ 搬入路を設置した場合、大規模な山林伐採を行わなければならない。また、民地の保証範囲も広がる。

- ④この地域は急崖地域であるため、搬入路は急勾配となり、これを用いた搬出入は重機の転落および地盤の滑落による落石等が懸念される。
- ⑤ 搬入路を設置した場合、落石処理工施工期間が長い場合、搬入路の切土法面に対して保護工が必要となる。
- ⑥ 掘削開始後は重機等の故障の対処方法が懸

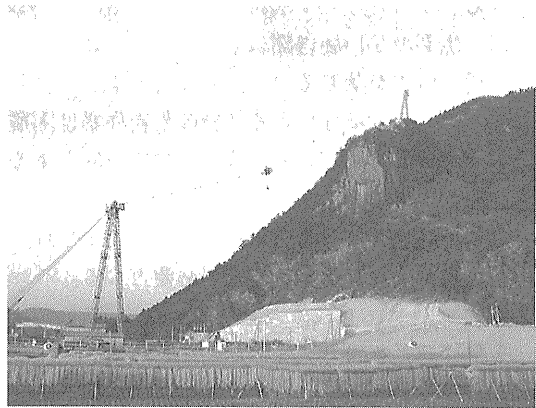
念される。

- ⑦ 大規模な山林伐採は地滑りの原因ともなり、景観面でも良いイメージを与えない。

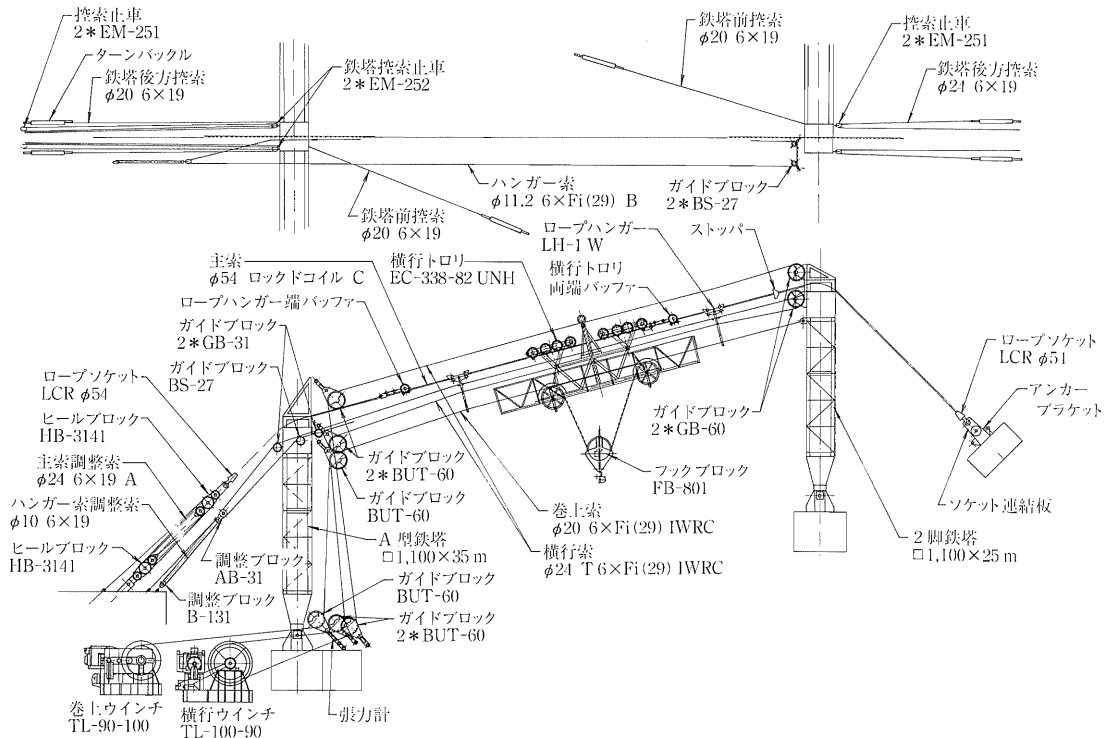
上記の事により、安全性、施工性等を考慮し、搬入路を設置せずに掘削ヤードに資機材が搬入できるケーブルクレーンを設置するものとした(表—2、写真—3、図—2参照)。

表—2 ケーブルクレーン性能諸元表

| 形 式 | 両 端 固 定 式 |
|---------|--------------------------------|
| 吊上装置の等級 | D級(1,500~3,200 h, 常態で定格の80%以上) |
| 定 格 荷 重 | 7.50 t |
| 吊 上 荷 重 | 8.25 t |
| 支間水平距離 | 280 m |
| 支間高低差 | 139.7 m |
| 平均傾斜角 | 26.5159° |
| 主索中央垂下量 | 14.0 m |
| 揚 程 | 90.0 m |
| 巻 上 速 度 | 50.0 m/min, 90 kW |
| 横 行 速 度 | 90.0 m/min, 110 kW |
| 主索中央垂下量 | φ54, ロックドコイル C |
| 巻 上 索 | φ20, 6×Fi (29) IWRC B |
| 横 行 索 | φ20, T6×Fi (29) IWRC B |
| 下 部 鉄 塔 | 35.0 m A型柱 |
| 上 所 鉄 塔 | 25.0 m 二脚柱 |



写真—3 ケーブルクレーン全景



図—2 ケーブルクレーン詳細図

(2) 掘削工法

掘削工法の選定については以下のことが懸念された。

- ① 火薬を用いた掘削は、国道、県道および一般家屋等が近接するため、大規模な落石および飛石等による事故が懸念される。また、精密機械工場等との協議が必要となる。
- ② 人力掘削では人体への影響が懸念され、また、岩石強度が高いため、事実上不可能である。
- ③ 亀裂のない硬岩部の掘削をブレイカで行う場合能力が落ちる。
- ④ ブレイカ単独による硬岩の割岩作業は困難であると考えられるため、割岩を目的とするものが必要である。
- ⑤ 静的破碎剤を用いるとコストが高くなり、鉄砲現象等に対する防護が必要となる。
- ⑥ 掘削ヤードは最大で約700 m²となるが、最終は約250 m²となり、大型重機(0.7 m³級バックホウ)が3台程度動くのが精一杯である。
- ⑦ ケーブルクレーンによる搬入を行うため、重機についても軽量化が求められる(分割搬入できるもの等)。

上記のことより今回のような硬岩を機械掘削するには、まず、岩塊に亀裂を発生させられるもの、作業ヤードが狭いため旋回範囲が小さくて済むもの、作業性を考慮しアタッチメント等の変更が可能なもの等が求められ、今回、玉石重機(株)および平戸金属工業(株)にドリル付き油圧くさび破碎機を研究開発して頂き、ブレイカとの併用による掘削工法とした(写真-4、表-3参照)。

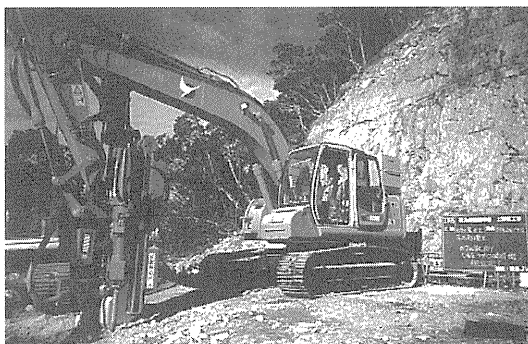


写真-4 ドリル付き油圧くさび破碎機

表-3 ドリル付き油圧くさび破碎機能力表

| | | |
|-------|-----------------------------|-----------------------------|
| 本体 | 運転整備重量 | 24,700 kg |
| | エンジン出力 | 135 PS/1,950 rpm |
| | 総排気量 | 6,494 cc |
| | 本体機械長 | 4,170 mm |
| | 本体機械幅 | 2,880 mm |
| | 後端旋回半径 | 2,085 mm |
| | 走行速度(高速/低速) | 5.3/3.4 km/h |
| 体 | 登坂能力 | 35度 |
| | 接地圧 | 0.054 N/mm ² |
| くさび装置 | 排出ガス対策機 | ○ |
| | シリンダ圧力 | 1,275 kN |
| | 割岩力 | 12,750 kN |
| | 割岩幅 | 25 mm |
| | 実施穿孔長 | 1,200~2,300 mm |
| ウエッジ | ウエッジ長 | 700 mm |
| | ウエッジ幅・形状 | 95 mmストレート |
| | ウエッジ有効長 | 645 mm |
| 穿孔装置 | 穿孔径 | φ100 mm |
| | 穿孔可能長 | ~6,500 mm |
| | 中間ロッド追加方式 | 220 rpm |
| | 回転数 | 2,500 bpm |
| 適用品 | 適用ロッド | 38 R-3,000 mm |
| | 適用ビット | 38 R-102 mm |
| 集塵機 | 常用圧力 | 0.686 N/mm ² |
| | 吐出空気量 | 2.5 m ³ /min |
| 機能 | アタッチメント | バケット・ブレイカ使用可能 |
| | ロックボルト施工長 | ~6,500 mm |
| | 水平穿孔 | 水平穿孔仕様 |
| 盤下げ能力 | 穿孔・割岩チェンジ機能 | 移動による位置合せ |
| | 軟岩 I | 19.5~60.0 m ³ /h |
| | 軟岩 II | 18.0~36.0 m ³ /h |
| | 中硬岩 | 16.5~25.0 m ³ /h |
| | 硬岩 I | 15.0~18.0 m ³ /h |
| 硬岩 II | 13.5~16.5 m ³ /h | |

(3) 準備工の必要性

掘削時においては以下のことが懸念された。

- ① 掘削時に地山の崩落、浮石、転石の転落が懸念される。
- ② 地山が崩壊した場合、作業員が地山崩壊に巻き込まれる。
- ③ ケーブルクレーンが県道を跨ぐルートとなる。

上記のことより以下の準備工を施工することとした。

(a) 落石防護工の施工

崩壊が起こると考えられる地山にロープネットを設置し、地山の大規模な崩壊の防止を目的とし、麓には防護柵および土砂ポケットを設置し、落石時に国道および一般家屋に被害を及ぼさないことを目的とする。

(b) 県道の迂回

ケーブルクレーンによる資機材運搬時に吊り荷

等の落下による事故防止を目的とする。

(c) 計測器機および警報装置の設置

作業員の安全を確保するため、地山に計測器機を設置し、管理値を超えると警報により作業員に連絡し、重大災害の防止を目的とする。

4. 施工概要

崖面掘削は以下の4つの施工段階からなる。

(1) 転石処理・人力掘削

施工は0.1 m³級ブレイカ兼用バックホウおよび削岩機等による人力掘削を行い、法肩に位置する危険な転石を除去し重機搬入ヤードを造成する。

(2) 重機1台体制（切取り開始～EL 136 m まで）

重機搬入ヤードが（直径4m程度の平場）が確保でき次第ケーブルクレーンによって0.3 m³級バックホウを搬入する。重機については施工ヤード拡大に伴い、大型化する。重機の大型化については掘削終了時の施工ヤード等を考慮し、ここでは0.45 m³級バックホウまでとする。また、1台のみの稼働スペースしかないため、搬入する重機は重さに応じて分割搬入する。また、ブレイカ兼用バックホウとし、破碎、掘削、積込みを交互に行う。

(3) 重機2台体制（EL 136～130 m まで）

重機1台体制時の0.45 m³級バックホウに加え、大型ブレイカ（0.7 m³級バックホウ）が稼働可能なスペースができたなら、ケーブルクレーンで分割搬入を行い、重機2台体制により破碎、掘削、積込みを行う。

(4) 重機3台体制（EL 130～80 m まで）

重機が3台稼働可能なスペースができた時点で、ドリル付き油圧くさび破碎機をケーブルクレーンで分割搬入する。掘削の施工順序は表—4の①～③とする。

各施工段階での発生破碎岩は掘削ヤードで専用のざりバケット（3.6 m³）に積込み、ケーブルク

表—4 掘削の施工順序

| | |
|---|-----------------------|
| ① | ドリル付き油圧くさび破碎機により削孔、削岩 |
| | ↓ |
| ② | ブレイカにより削岩、破碎 |
| | ↓ |
| ③ | バックホウにより集積、積込み |

レーンで搬出する。

今回、施工においては、上記の4段階以外に2台体制となる前に、もう1度0.3 m³級バックホウを再搬入し、変則2台体制として作業を行った。また、3台体制後、削孔能力を上げるため、小型のクローラドリルを搬入し、4台体制での施工を行った。

5. おわりに

今回のような大規模な崖面切取り作業は、崖下にポケット等を造成し、そこに切取り破碎岩を落とし込む施工方法が通常である。しかし、当該地域の地形・地質状況、投石による事故の防止等より、今回、ケーブルクレーンを設置し作業を行った。このことにより、より安全に作業することができ、重機等の故障、増加等に対応でき、様々な面で利点が多かった。

また、前述の施工方法ではポケットおよび施工ヤードまでの進入路等の設置による山林伐採等の環境破壊は避けることはできない事実であり、現在の土木工事の意図に反するところがある。このようなことも考慮すると今回のケーブルクレーンの設置による施工は山林伐採等も最小で済んだこと、ケーブルクレーン自体は高価なものであるが、進入路等の維持管理費等に比べると安価であること等により、最適なものであったと考えられる。

また、ドリル付き油圧くさび破碎機についても、従来のものに比べ、削岩能力、旋回能力のアップ等により様々な面で利点が多かった。その中でも突出すべきことはウェッジのテーパをなくしストレートにすることにより、ウェッジ長を短縮し狭いヤードでの作業を可能にしたこと、また今回は施工しなかったが、中間ロッドを追加することによりロックボルト等の穿孔を可能にしたこ

とであると考える。

今回の工事の課題として、

- ① ケーブルクレーンについては強風時の破碎岩運搬の中断、索道下でしか積込みができないための掘削の困難さ、
- ② 無線による合図が主であるためクレーン運転士の熟練度が要求されること、
- ③ ずりバケットからの排土時の荷のぶれによる危険性、

等が考えられる。

また、ドリル付き油圧くさび破碎機については今回のような硬岩掘削での穿孔速度の増加が期待される。

最後に、今回の作業において掘削された破碎岩を再利用し本線に盛土するため、当作業所では破碎機による二次破碎を行った（写真—5 参照）。

二次破碎をこのように行うことにより、岩塊は



写真—5 破碎機による2次破碎状況

良質な盛土材となり本線の盛土の品質も向上したと考えられる。また、ブレーカ等による破碎に比べ低音、低振動であり、破碎後の岩塊は細かく破碎される。このことより建設機械による騒音等の防止にもつながり、積込み、運搬、敷均し等に使用する建設機械の寿命も延びるのではないかと考えられる。

今後、割岩作業を行わなければならない工事において破碎機が多く導入されることを期待する。

【筆者紹介】



柚木崎 守 (ゆきざき まもる)
鉄建建設株式会社
JV 上野原作業所
所長



藤澤 聖夫 (ふじさわ たかお)
徳倉建設株式会社
JV 上野原作業所
副所長



金谷 篤応 (かなたに あつまさ)
鉄建建設株式会社
JV 上野原作業所
落石処理工担当