

発破振動抑制による落石対策

(社)北海道土木施工管理技士会

岩田地崎建設株式会社

土木部土木課

主任

河崎 貴紀[○]

Takatoshi Kawasaki

工事長

小田桐 道弘

Michihiro Odagiri

1. はじめに

道道枝幸音威子府線は、宗谷南部地域の中心である枝幸町市街地から旧歌登町の市街地を經由し、音威子府村に至る幹線道路である。

事業区間沿線には落石発生箇所があり、安全で信頼性の高い道路交通の確保が必要である。そこで落石発生箇所を解消するために、道路改良（歌登トンネル）工事を実施する事になった。

工事場所：北海道枝幸郡枝幸町歌登パンケナイ

工 期：平成18年10月11日～

平成20年12月10日

延 長：L=526.50m

工 法：NATM 工法

掘削工法：発破掘削 補助ベンチ付全断面工法及び、ショートベンチ工法

掘削断面積：60.16～74.10m²



図-1 トンネル位置図



写真-1 路線位置（航空写真）

(1) 工事概要

工 事 名：道道枝幸音威子府線

道路改良（歌登トンネル）工事

発 注 者：北海道稚内土木現業所

(2) 地形概要

本トンネル施工箇所は、北見幌別川の左岸側に位置する。周辺の地形は標高100～200mの山地地形、斜面上に保存される段丘面および北見幌別川など河川沿いに形成される低地よりなる。

起点坑口付近の斜面は25～40°の急斜面を形成している。現河床からの比高15m付近には明瞭な

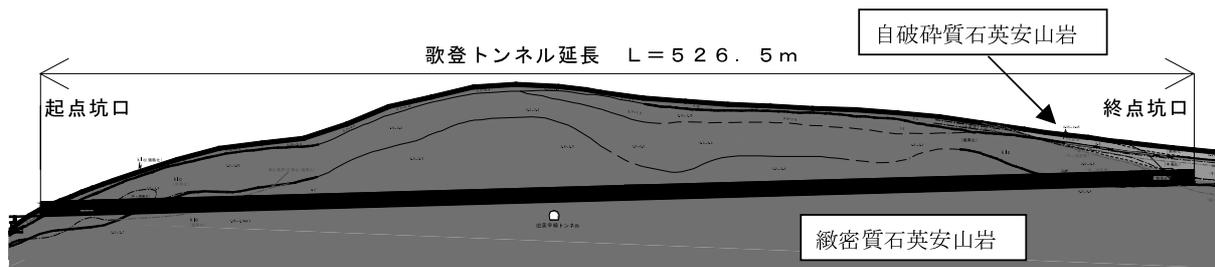


図-2 地質縦断面図

遷急線が認められ、この下位では露岩箇所が点在する。

終点坑口付近では段丘面へ連続する傾斜5～10°の緩斜面が広がる。大局的には凸状断面を示し、縦断方向では不明瞭な遷急線、遷緩線が見られるが、ほぼ一定勾配の斜面となっている。

(3) 地質概要

周辺の地質は金駒内溶岩および第四期の被覆層より構成される。

金駒内溶岩は多孔質石英安山岩と緻密質石英安山岩に区分される。終点側坑口付近には緻密質石英安山岩の上位に自破碎質石英安山岩、凝灰岩、凝灰質泥岩が累重する。自破碎質石英安山岩は緻密質石英安山岩の急冷相で非常にガラス質である。凝灰岩、凝灰質泥岩は火山ガラスに富む細粒な岩石でいずれも固結度は低い。

第四期層は2段の段丘堆積物、崖錐堆積物および沖積層からなる。高位段丘堆積物は砂礫、礫質土主体、低位段丘堆積物は粘土主体である。沖積層は起点側イタコマナイ川流域では礫質土・砂礫とシルトの互層からなるのに対し、終点側低地部では腐植土をとまなう粘土を主体とする。

2. 起点側の発破振動抑制による落石対策と管理

地形概要で記述したように、起点側の斜面には露岩箇所が点在しており（写真-2）、主要な浮き石および不安定ブロックは、既にロックネット工およびロープネット工、落石防護柵により対策済みであるが、落石の衝突によると考えられる防護



写真-2 現道上の露出した岩塊

柵の破損が多数認められる。

上記落石はロックネット敷設範囲外の小規模な浮き石およびロープネット内の浮き石が補助ロープ間隔50cm内から抜け落ちたものと考えられ、トンネルの発破振動に伴いこれら浮き石が落下する可能性があった。

そこで、対策の工法として雷管の段当たりの総装薬量を減らし振動を抑制する制御発破を選択し、測定管理を行った。

(1) 発破振動の予測

発破振動を予測する式は、一般的に用いられている吉川の式により検討を行った。

以下に、予測式を示す。

$$V = K \cdot W^{3/4} \cdot D^{-2} \quad (\text{吉川の式})$$

V：変位速度 (kain)

K：発破条件や岩盤特性により変化する係数

芯抜き K = 450～900

払い K = 200～500

踏まえ K = 300～700

W：雷管の段当たりの総装薬量 (kg)

D：発破中心からの距離（m）

寸法（449（W）×270（H）×240（D）mm）

重量（17kg）

(2) 自主規制値の設定

発破振動に伴う岩盤斜面への影響は、爆破パターン、地質状況、装薬状況、起砕状況により異なるが岩盤斜面への影響について Oriard の示した値がある（表-1 参照）。それによると浮き石の落下に対する変位速度は5.1～10.2kain とされており、発破掘削時の変位速度は、安全側となる5.1kain 以内とする事が望ましく、本工事ではさらに安全を考え3.5kain（文献値の70%）以内を自主規制値に設定した。

表-1 岩盤斜面に対する変位速度の影響

変位速度 (kain)	岩盤斜面に対する影響
5.1～10.2	斜面上の浮き石が落下
12.7～38.1	ゆるんだ岩石の崩落
63.5 以上	弱い斜面に損傷が起こる

(3) 測定方法と測定装置

測定方法は、危険と思われるポイント付近の岩壊部にセンサーを固定し、発破毎にデータを記録した。

測定装置（写真-3 参照）は、北斗理研製の下記の仕様のもを用いた。

仕様：測定最大範囲

（速度 0～50kain、加速度 0～10G）

サンプリング

（0.1msec、0.2msec、0.5msec）

電源（AC100V・DC12V・内蔵バッテリー）

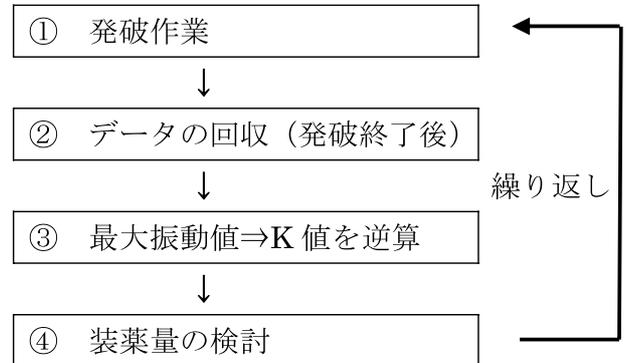
入力チャンネル（3ch）



写真-3 発破振動監視装置（GW-300）

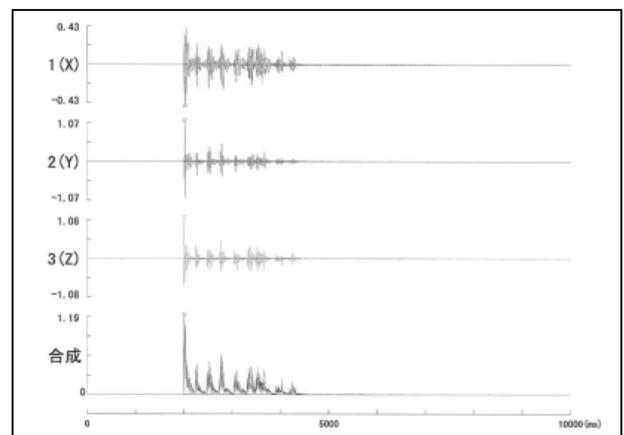
(4) 測定結果の検証例

・管理フロー



測定結果の一例を図-3 に示し、この管理方法について説明する。

図-3 では、瞬発（心抜き）で1.182kain の最大振動値を示している。ここで、吉川の式を用いてK 値を逆算するとK = 430となる。このK 値を基に、自主規制値の3.5kain 以内で収まる薬量と距離を求め、次の発破作業の参考にする。



※発破データ

- ・発破日時：H19年7月5日14時6分
- ・心抜きの薬量：7.2kg
- ・使用した段数：1～10段
- ・センサーまでの距離（斜距離）：40.0m

測定位置 (m)	最大振動値 (kine)	周波数 (Hz)
1(x) : 40.	1(X) : 0.425	1(X) : 28
2(y) : 40.	2(Y) : 1.063	2(Y) : 45
3(z) : 40.	3(Z) : 1.077	3(Z) : 58
	合成 : 1.182	

図-3 出力データ

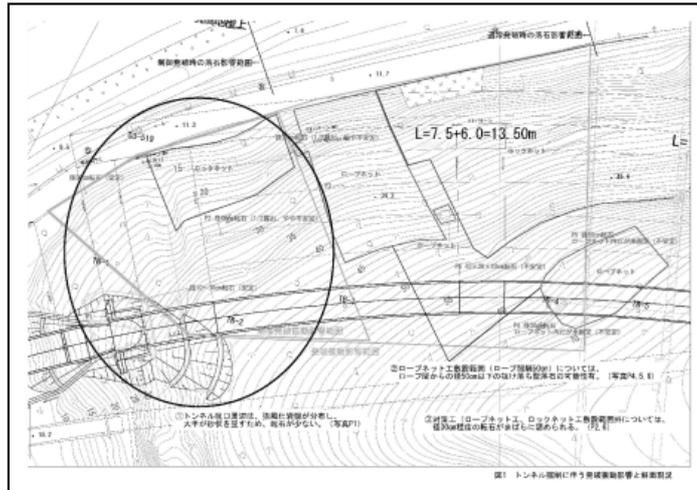


図-4 起点側坑口付近現況

(5) 日々の管理

事前の調査により起点坑口から131.5m区間が落石の可能性がある区間と考えられていた為（図-4参照）、掘削の残り150mの地点からデータの収集を開始した。

発破毎にK値の計算及び統計処理を随時更新し、その結果から制御発破による施工区間を決め、通常発破を貫通地点より25m手前まで、25m～21mの区間を制御発破（分割発破）区間とした。ただし実際の施工は、さらに安全性を考慮して60m（土被り約20m程）～21mの区間で制御発破を行った（残り21mは機械掘削で施工）。

今回の対象区間であるDII（段）パターンの発破パターンを図-5に示す。

DII（段）パターンの通常発破はショートベンチ工法で上、下半に分けて行い、また分割発破の際は上半を心抜き部と払い部に分割しジャイアントブレイカーで仕上げ掘削を行いながら施工した。

掘削終盤を分割発破で対応し、またセンサーと発破元の距離が近づいてくると、K値も3,000近い値がでる時もあったが、振動値は3.5kain以内で最後まで収める事ができた。

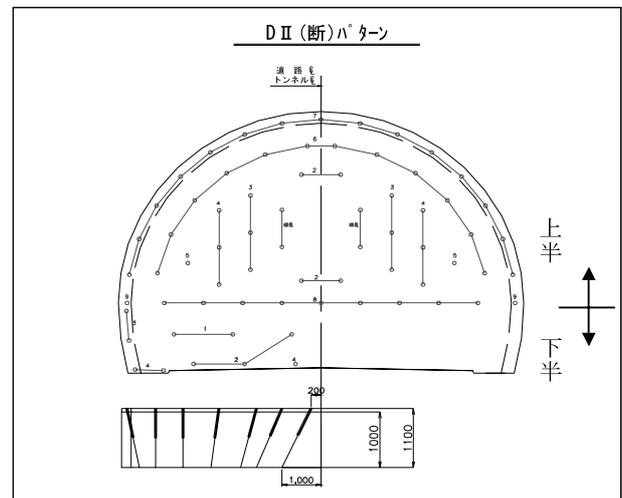


図-5 発破パターン

3. おわりに

今回の事例は、事前のボーリング調査でDIIの判定で、採取したコアも悪かったので当初はジャイアントブレイカー（3,000kg級）による掘削でいけるだろうと考えていた。しかし掘削してみると脆弱な部分も一部存在はしていたが、非常に密で硬質な岩の割合が多く、発破掘削が必要となり、今回のような落石対策を実施する事になった。

発破振動を測定しながら、装薬量を制御し発破による振動を抑制することで落石もなく無事貫通することができた。

今後のトンネル掘削において、岩盤斜面への影響及び土被りの影響を考えた場合の参考にしていただければ幸いである。