

大断面山岳トンネル工法における「山はね現象」対策

右高 弘治*
Hiroji Migitaka

内藤 達久**
Tatsuhisa Naitō

1. はじめに

東京と新潟を結ぶ関越自動車道は、昭和60年10月に東京～新潟間が直結された。この区間のうち月夜野 IC～湯沢 IC 間は暫定2車線で供用されたため、開通当初からこの区間で渋滞が生じた。このため暫定2車線区間を早く完全4車線とすることになり、関越トンネルも昭和61年6月新潟県、群馬県の両側から工事が発注された。

関越トンネルは、谷川岳連峰を貫く延長約11kmの長道路トンネルであり、一期線では在来工法が採用されたが、今回の二期線では、急速施工を行うため全断面 NATM (タイヤ工法) を採用した。本報告では、一期線工事において問題となった掘削時の山はね現象が、二期線においても同じ区間で施工に影響を与えるであろうという認識のもとに、種々の対策を実施した結果について概説するものである。

2. 工事概要

工事名称 関越トンネル上り線湯沢側工事

企業先 日本道路公団

工期 昭和61年6月11日～平成2年8月14日

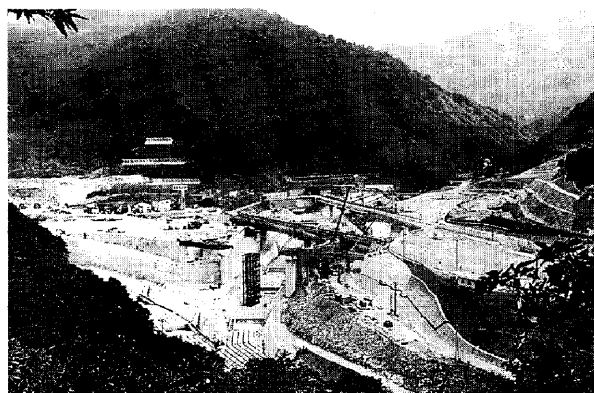


Photo 1 現場全景

*関東(支)関越湯沢(出)主任
**関東(支)目黒(出)

工事延長 5,490m

工事数量 トンネル掘削……………463,000m³

吹付けコンクリート……………125,000m³

ロックボルト……………36,000本

3. 山はね現象

3-1 山はねとは

山はねとは、坑道やトンネル掘削中に切羽や周壁の一部が急激に、瞬間的に、あるいは爆発的に崩壊する現象であり、この現象の発生要因は、土被り、地質状況(断層破碎帯・き裂・節理・岩質等)、岩盤の変形、破壊特性(岩盤内のひずみエネルギーの蓄積・放出)および発破による破壊等があり、これらの要因が複雑に関係して、山はねが発生していると考えられている。しかし、この破壊現象の発生機構はまだ充分には解明されていない。

3-2 山はねの発生状況

昭和63年11月初旬に STA81+80付近で大規模な山はねが発生して以来、貫通点である STA63+70までの延長約1,810mにわたって山なりや切羽での岩片の剝離、飛石、時には大規模な崩落がみられた。また、切羽後方の既設吹付けコンクリートにも亀裂が入るなどの山はねおよび付随する現象が発生した。

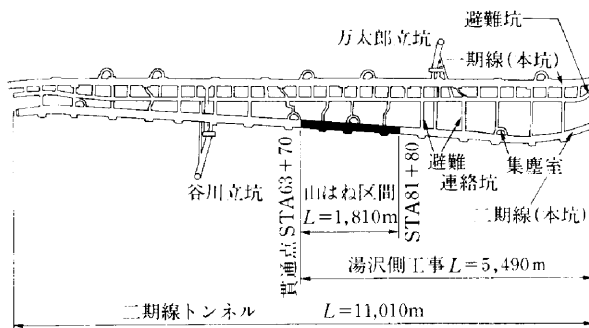


Fig.1 トンネル全体図



Photo 2 山はね状況(切羽崩壊)

3-3 山はねの対策工法

山はねに対する対策工として、一期線での施工実績を検討するとともに、現場で種々の試験施工を実施して、Table 1のように山はね支保パターンを決めた。



Photo 3 山はね状況(坑壁剥離)

4. AE 計測

4-1 AE とは

岩石に限らず固体が破壊に至る過程で、微小な破壊音を発する現象を AE (Acoustic Emission) と称している。一期線の施工では、この AE 計測を山はねに対する安全管理対策の一つとして試験的に実施しており、AE 発生頻度により切羽付近での作業前の待機時間設定の判断基準とした。

4-2 AE 計測システム

二期線の工事でも、山はね発生に対する施工管理の一つとして AE 計測を実施した。山はね危険区域に入る前に予備試験を行い、本坑切羽付近での岩盤破壊に伴う AE が約80m~100m 離れた避難坑で計測可能なことを確認し、山はね警戒区域に入ってから昼夜の監視体制で本計測を実施した。

AE センサーを Fig. 2 のように 4 点設置し、切羽の進行にあわせて坑口側のセンサーを切羽側へと順次再設置した。このセンサーから得られた波形データを AE 計測装置が設置してある約 7 km 離れた事務所まで、光ファ

Table 1 山はね対策支保パターン

支保パターン		A _I	B _{III-I}	B _{III-II}	B _{III-III}
地 山 状 況		山はね警戒区域 (AE 発生区域全般)			
		発破後 山なりが発生する	発破後 山なりが発生する	削孔中に切羽に クラックが発生する 切羽より岩片の剥離や 飛散が発生する 吹付け面にクラックが 発生する	
施工時の注意事項			コソクを十分に行う 切羽、坑壁観察を 慎重に行う	コソクを十分に行う 切羽、坑壁観察を 慎重に行う	コソクを十分に行う 切羽、坑壁観察を 慎重に行う 必要に応じて 待機時間を取る
発破進行長		2.5m	2.5m	2.5m	1.5m
坑 壁 部	ロ ッ ク ボ ル ト	L=3.0m 11本/列 ctc=2.5m	L=3.0m 13本/列 ctc=2.0m	L=3.0m 13本/列 ctc=2.0m	L=3.0m 13本/列 ctc=1.0m
	吹付けコンクリート	通常コンクリート t = 5 cm	ファイバーコンクリート t = 5 cm	ファイバーコンクリート t = 5 cm	ファイバーコンクリート t = 7 cm
切 羽 面	ロ ッ ク ボ ル ト				L=4.0m 標準として 22本/面
	吹付けコンクリート			通常コンクリート t = 5 cm	通常コンクリート t = 5 cm
補 足 事 項			坑壁の状況により増しボルト、増し吹き、金網工を追加する		

イバーケーブルを用いて転送した。

4-3 AE管理体制

AE計測は装薬から削孔までの全サイクルで実施した。AEイベント数は作業ノイズが入らない発破後の2時間で算出し、この間におけるAEイベント数、最大振幅値および切羽付近の山はね発生状況で支保パターンの選定を行った。

また、発破5分前に切羽から電話回線による連絡が事務所内の山はね警報装置に入ると、自動的にAE計測装置が作動し、切羽近傍のセンサーでAEイベントが150以上になる、切羽付近および事務所内の山はね警報表示盤が点灯するようにした。この設定はかなり危険度の高いレベルに合わせており、この警報装置が作動したときは、山はねに対してより細心の注意は払って施工した。

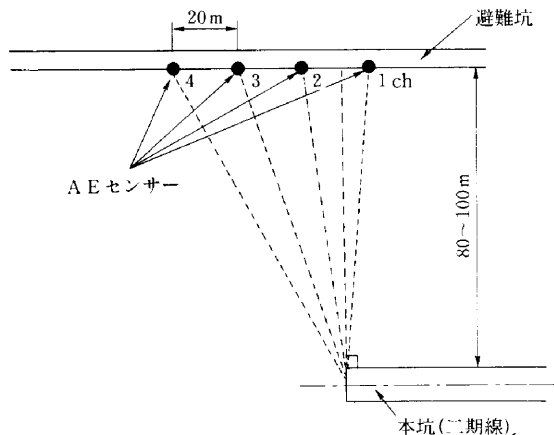


Fig.2 AEセンサー配置図

5. 山はね対策工の管理システム

AEの発生状況と山なり・山はね発生状況との相関性を確認し、STA75+18付近でのAE発生状況と切羽観

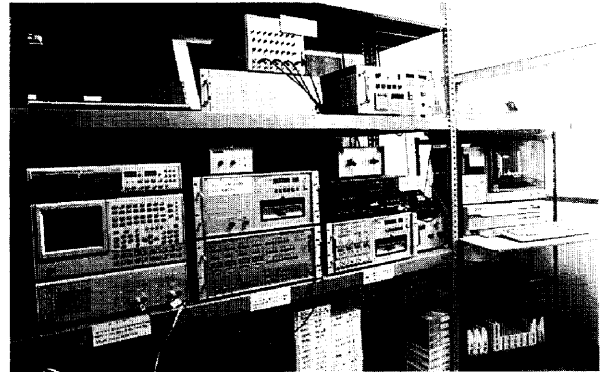


Photo 4 AE計測機器



Photo 5 山はね警報表示盤

Table 2 支保パターン点数評価

(1) AEイベント数	AEイベント数×1.6=評価点数
(2) AE最大振幅値	AE最大振幅値=評価点数 (ただし50gal以上は、評価点数を50点とする)
(3) 切羽状況	発破直後の山なり・山はね発生状況
	・爆発的な山なりが発生し、剝離や崩落が見られる.....50点
	・断続的に大規模な山なりが発生する.....40点
	・断続的に小規模な山なりが発生し、数回大規模に山なりする.....30点
	・断続的に小規模だけの山なりが発生する.....20点
	・ほとんど山なりが発生しない.....0点
支保パターン評価	
支保パターン	総合点数
A _I	0~19
B _{III-I}	20~49
B _{III-II}	50~99
B _{III-III}	100以上

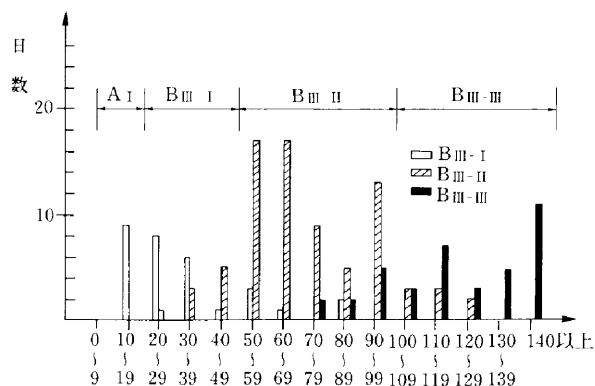


Fig.3 点数評価頻度分布

察を点数で評価して各対策支保パターンを選定する方法を採用した。途中で評価方法の見直しを行い、最終的には Table 2 のように AE 計測を重視した支保パターン点数評価システムとした。支保パターンの管理値（総合点数）は Fig. 3 に示した点数評価頻度分布のような状況であった。

以後、貫通を迎えるまで AE 計測による施工管理体制を続け、山はね区間の掘削を無事終了した。

6. おわりに

今回、AE の発生数と地山状況との相関性を確認し、山はね区間全域において AE 計測を行い、鏡ロックボルト、鏡吹付けコンクリート、坑壁スチールファイバー配合吹付けコンクリート施工の“山はね対策工管理基準”と“AE 計測による日常管理システム”を確立した。

トンネル支保パターンを経験・感覚で判断していたことに比べて、現場の状況やデータを実施工にリアルタイムでフィードバックできたという意味で有意義であった。

今後は、ここで蓄積した膨大なデータを詳細に検討し、山はね等のぜい性破壊現象が発生すると予想される将来の地下空洞や同種のトンネルなどの施工に生かす所存です。