

## (15) 関越トンネルにおけるA E特性

日本道路公団	多賀直大
西松建設(株) ○	石山宏二
西松建設(株)	平田篤夫
西松建設(株)	稲葉 力

### Characteristic of Distribution of Microseismic Events in Excavation of The Kan-etsu Tunnel

Naoharu TAGA, Japan Highway Public Corporation  
Koji ISHIYAMA, Nishimatu Construction CO., LTD.  
Atsuo HIRATA, Nishimatu Construction CO., LTD.  
Tsutomu INABA, Nishimatu Construction CO., LTD.

#### Abstract

The Kan-etsu tunnel is located along the Kan-etsu expressway near the Joetsu border and is now under constructed through the Tanigawa Range. The rock burst and strong rock noise occurred in excavation of this tunnel, especially at the section between 4,480m and 4,860m from Yuzawa side. We have already carried out acoustic emission monitoring. Then we analyze the microseismic energy release due to face advance and the distribution of the epicenters. It is discussed that microseismicity in this section is attributable to the stress concentration due to face advance and that the fractures play an important role in determining the local field stress.

#### 1. はじめに

関越トンネルは、関越自動車道の内、群馬県と新潟県の境に位置する谷川岳を貫く延長約11kmの長大トンネルである。既に下り線にあたる一期線は供用され、上り線となる二期線も昭和61年着工、本年10月に貫通式を迎へ供用に向けて施工中である。一期線に続き二期線工事においても、当湯沢側工区で山はね現象が発生した。一期線で経験した山はね現象が、同様の掘削環境である二期線工事においても当然発生するであろうという前提のもと、施工管理対策の一つとして一期線でも実績があり山はね事前予知の可能性が高いA E計測を実施した。

第21回本シンポジウムにおいて、A E(Acoustic Emission)の計測体制ならびに坑口から3,640m付近から約50mの区間にわたって発生した山はねおよびA Eの発生状況について報告した<sup>1)</sup>。

本報告は、昨年引き続き山はね危険全区間のうち、山はねやA Eが顕著に発生したため重点的にA E計測を実施した、坑口から4,480mから約400mにわたる区間およびその区間に位置する第3集塵機室を対象とし、A Eの発生位置や規模がどのような空間的分布特性を有するのかを検討した。

#### 2. A E計測体制

解析の対象とした区間を図-1に示す。掘削手順としては、坑口より4760m掘削後、第3集塵機室を本坑から避難坑側に平行に掘削する。この区間の土被りは、約650mから960mに徐々に厚さを増す。A Eセンサー(圧電型加速度計)は避難坑覆工壁面より1m奥の岩盤へマグネットにより装着、20m間隔で4点配置し、岩

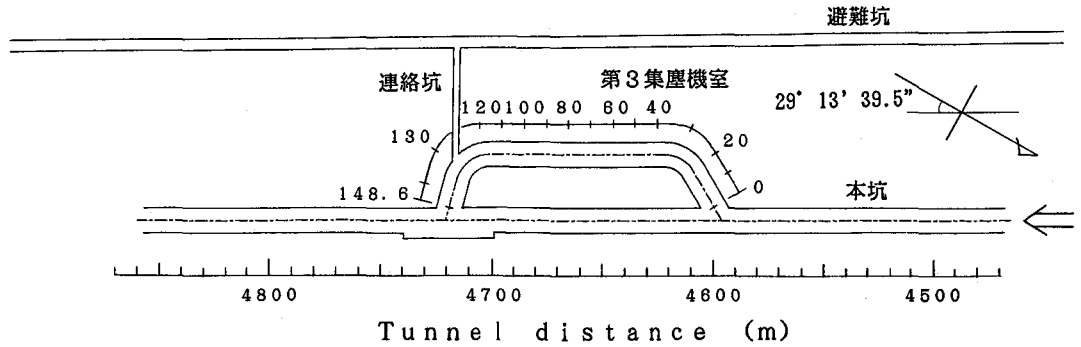


図-1 AE計測データ対象区間平面図

盤の破壊にともなうAEを検知する。センサーから送られた信号は光ファイバーを経由してAEアナライザーに入力され、解析に必要なパラメータ（イベント、イベントタイミング、最大振幅など）を信号より抽出する。なお、AEアナライザーのしきい値は1gal、デッドタイムは100msecとし、計測システムの総合周波数特性は100Hz～5kHzである。また、波形データはウェーブメモリを経由してデジタルテープに記録する。

### 3. 位置標定法

AEセンサーが本坑と同一平面上の避難坑に、一直線上に配置してあるため、二次元的な位置標定となる。うえ、避難坑軸に対しどちら側で発生しているのか特定できない。そこで、4チャンネルの内、任意の3チャンネル以上で、±5msec以内にしきい値を越えたイベントをAEと判定する。AEの発生位置は避難坑より掘削中のトンネル側とし、点震源とする。また、岩盤を等方均一な弾性体と仮定し、発破初動の立上がり時間を波形データから読取り、発破点と各センサーとの位置関係よりその場における平均的な弾性波伝播速度 $V_p$ を算出する。本標定では本坑発破初動到達時間差から求めた $V_p=4700\text{m/sec}$ を採用した。 $V_p$ の誤差が±300m/secとすると、標定位置に4m程度の誤差が見込まれる。評価誤差をある程度含んだ $V_p$ とイベントタイミング差により、ゾーニング法を用い位置標定を行った。

図-2のフローチャートを用いてゾーニング法を説明する。AE発生位置の初期値を切羽センターとし、これを基準点 $(x_0, y_0)$ とする。基準点を囲むように $x_0, y_0$ に±rを加えた4個の補助点 $(x_i, y_i)$ を設定し、ゾーンを形成する。rの初期値は10mとした。これら5個の点と各センサーとの距離 $D_j(i)$ を $V_p$ で除し、AE信号到達時間を算出し、各チャンネル間の時間差 $T_j(ii, ij)$ を求める。各点においてイベントタイミング差 $E(ii, ij)$ と得られた時間差 $T_j(ii, ij)$ との差をとり、これを累積した値を回数nで除し、得られた値 $A_j$ をそれぞれ比較する。最小値 $A_p$ となった発生点を次の基準点とし、 $A_p$ が先のイタレーションによって得られた $A_m$ と経験的に $10^{-14}\text{sec}$ の単位までひとしくなるようイタレーション

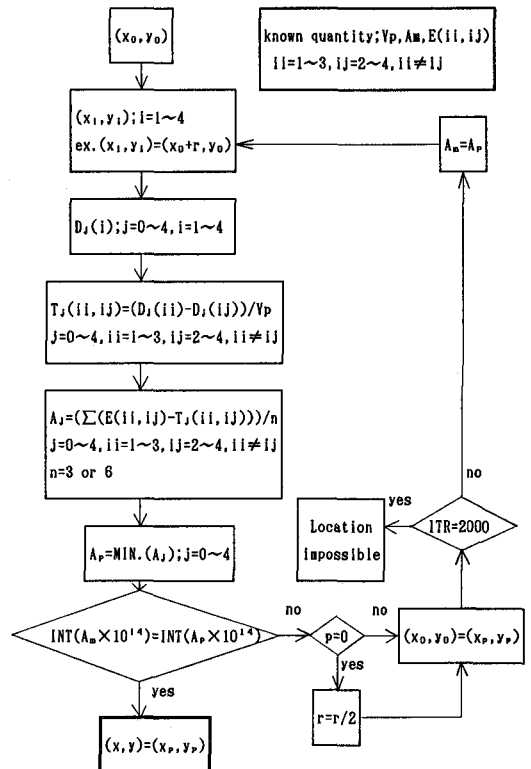


図-2 ゾーニング法フローチャート

ンを続ける。このとき、 $A_p=A_0$ であるなら $r=r/2$ とし、ゾーンを縮小してイタレーションを行う。イタレーション ITRを2000回行って発生位置が収束しない場合は、位置標定不能とする。標定率は、同一AEと判定した個数5906に対し78%であった。また、この手法の特徴によって、標定された位置の誤差 $A_p$ は種々異なるので、精度の低いデータをカットするために経験的に $A_p < 10^{-8} \text{sec}$ を対象データとすることにし、最終的に位置標定率は54%となった。

#### 4. AE発生分布特性

図-3は対象区間における標定されたAEの発生分布平面図、これに切羽観察より得られた顕著な割れ目の配置を重ねた図である。○のセンターがAE発生位置に、面積が相対エネルギーに相当する。ここではAEエネルギーを便宜的に、波動の減衰が単純に距離の二乗に比例すると仮定して、各チャンネルでえられた最大加速度振幅に距離の二乗を乗じ、平均して求めた値を源波動の最大加速度とし、これを二乗することによって、正規化したエネルギーとして表現する。避難坑の口はセンサーの設置位置を表し、番号は割れ目番号を示す。広範囲にわたりAEが発生しているようであるが、明らかに発生密度に濃淡があり、トンネル周辺の特定な区域に大きなAEが集中しているのがわかる。特に坑口から約4600m前後より、AEが集中発生している箇所が断続的に現れていることがわかる。トンネル掘削にともなうAE発生要因の1つに割れ目が関連しているという見地から、図-4に図-3中に示した割れ目に一期線のデータを加えてシュミットネットに示し、関連を検討する。図中の番号が同じ割れ目は走行・傾斜が同一のものを示す。図からこの区間に

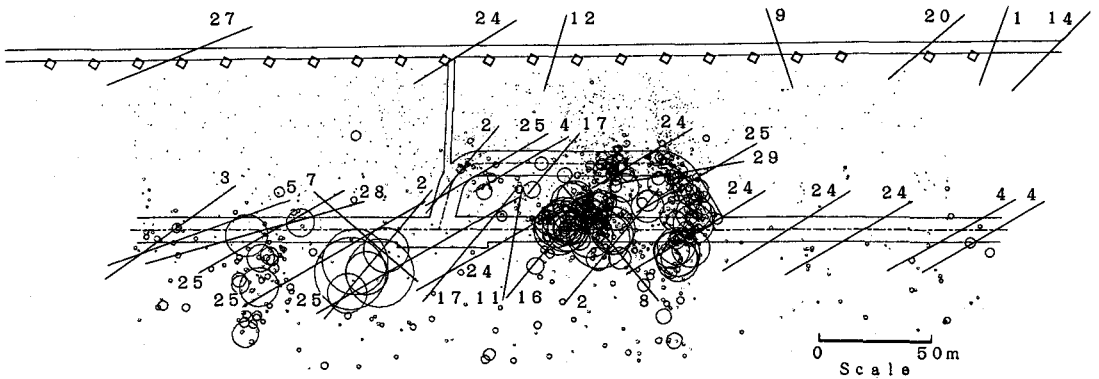


図-3 AE発生分布ならびに割れ目平面図

おける割れ目系の卓越方向は $N60 \sim 80W$ 、またそれとは共役な方向の $N10 \sim 40E$ であり、ほとんど垂直な傾斜であることが示された。この約100mの区間における、割れ目と切羽進行にともなうAEの発生位置との関連を、図-5に連続した35の切羽周辺平面図として示す。この区間の岩盤は、割れ目およびその近傍のやや軟質な部分を除いて堅硬な石英閃緑岩よりなる。また、その時の各切羽におけるAE発生数および累積エネルギーの推移状況と、切羽に現れている割れ目を図-6に示す。□が発生数、×が累積エネルギーを表す。この図から発生数とその累積エネルギーにはほぼ同様な増減傾向は見られるが、割れ目と切羽が交差している場合、発生数が少ない場合でも累積エネルギーは大きいことから、大きなAEの発生率が高く、危険な状態にあると考えられる。また図-5から、切羽が割れ目に接近するにつれて、割れ目に沿った切羽近傍で多くのAEが発生している<sup>2) 3)</sup> 様子がうかがえる。この

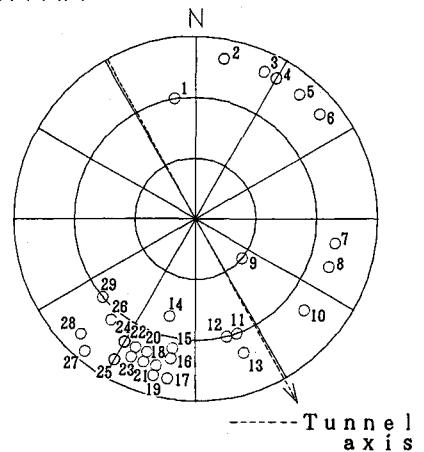


図-4 シュミットネットに示す割れ目およびトンネル軸

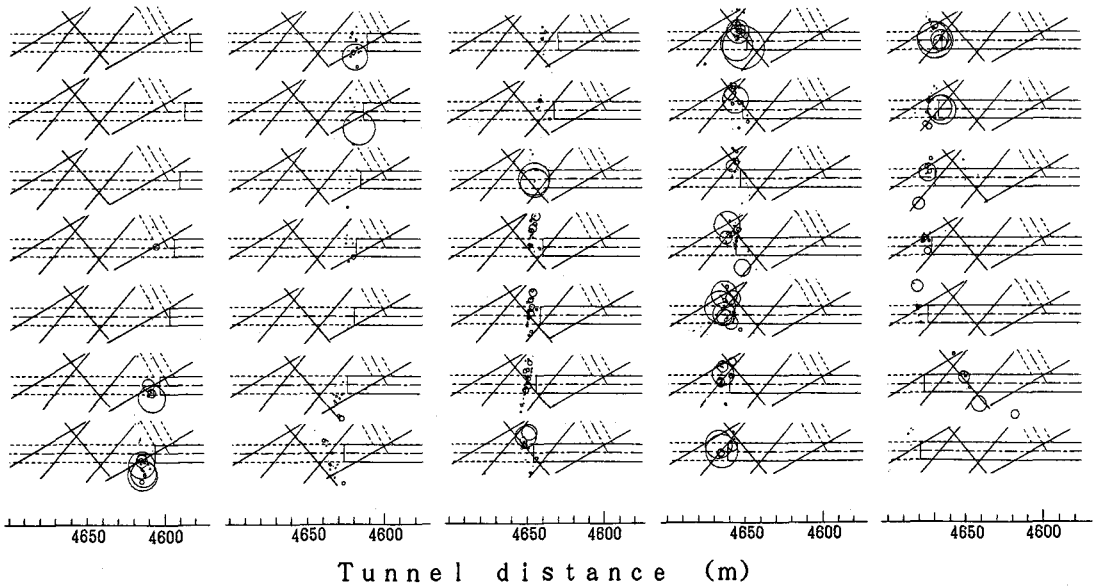


図-5 割れ目と切羽進行にともなうAE発生分布

現象は、昨年の本シンポジウムで報告した山はね発生状況と一致するものである。特に割れ目どうしが交差し、岩盤ブロックの端部が鋭利な幾何形状を示す場合に顕著に現れているようである。一期線の報告<sup>4)</sup>では、AE活動は割れ目の発達していない区域ほど活発で、湧水が認められるような破碎帯では起らないとしているが、にじむ程度の湧水が認められた割れ目沿いにおいても多数のAEが発生して

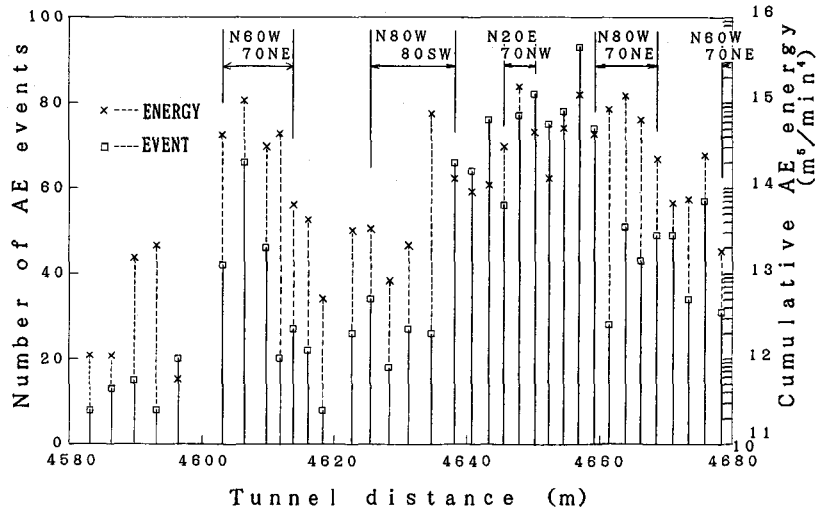


図-6 切羽あたりのAE発生数ならびに累積エネルギーの推移状況

いるのと同時に、爆発的な山なりが切羽で観察されている。また、切羽が割れ目を通ると、その割れ目からはほとんどAEは発生していない。しかし、34番目の切羽に見られるように、切羽より離れた約20m後方の割れ目に沿ってもAEは発生している。割れ目を境とした岩盤ブロックでは、AEが多発するブロックとそうでないブロックがあり、多発する割れ目を境に接しているブロック間でも放出エネルギーに差が現れている。発生位置から見たAEには、掘削にともなう切羽近傍の応力集中に直接的に起因するものと、岩盤ブロック間の割れ目のすべりに起因する2つのタイプがあると考えられることができる。

時間経過にともなう分布特性を明らかにするために、138箇所の切羽における発破後の時間と切羽センターから標定位置までの距離との関係(上図)ならびにAEエネルギーとの関係を図-7に示す。発破直後では、切羽周辺でもAEが発生しているが、切羽から離れた位置に比較的小さいエネルギーのAEが多数発生しているのが特徴である。この現象はトンネル掘削による応力再配分あるいは発破による衝撃と、AEの発生メカニズムとになんらかの関係があると推察される。同じく平均化した、発破後の時間経過にともなう6秒間隔

あたりのAE発生率(上図)、ならびにその時間内におけるエネルギーの放出率を図-8に示す。AEの発生率は時間とともに明らかに減少し終息していくようであるが、エネルギー放出率は一様に減少せず、時間が経過しても発破直後と同規模のエネルギーが放出される危険性もといえよう。

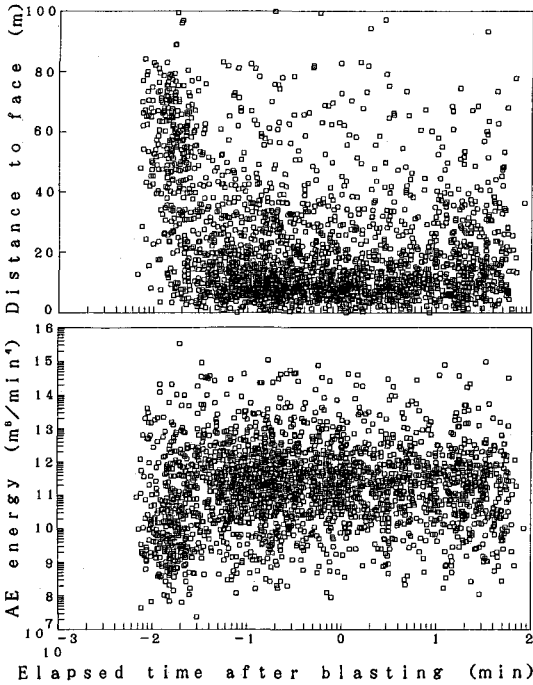


図-7 発破後の時間経過にともなう切羽センターから標定位置までの距離ならびにAEエネルギー

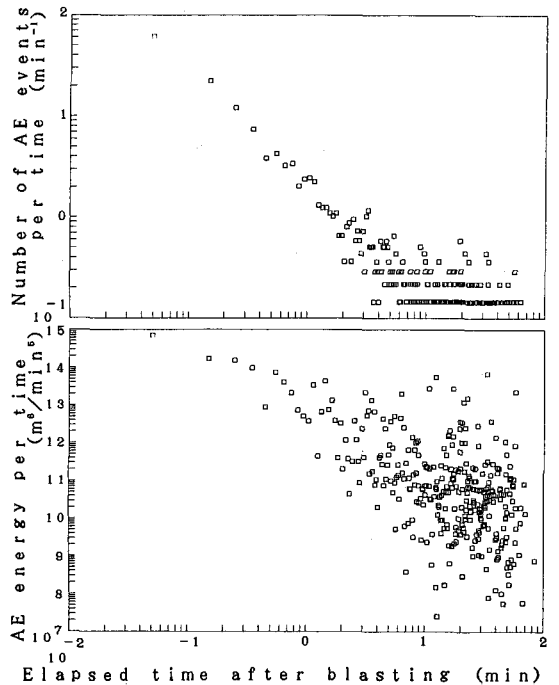


図-8 発破後の時間経過にともなう6秒間隔あたりのAE発生率ならびにエネルギーの放出率

## 5. まとめ

AEの発生メカニズムを解明することを目的として、どのような発生位置または規模の空間的、時間的分布を有するのか、割れ目との関連とあわせて検討した。その結果、切羽とAEの発生位置との関連から大きく2つのタイプにわけることができ、AEの発生には割れ目が間接的あるいは直接的に強く影響していることが示された。今後、山はねを予知する場合には地山状況の観察がより重要であると同時に、AE計測がより有効な手法の一つだと考える。

謝辞 北海道大学中島教授、熊本大学菅原教授、金子助教授には貴重な御意見を頂きました。また、大成・西松・佐藤関越トンネル共同企業体の職員の方々にはAE計測に御協力頂きました。多大な御協力を頂いた関係各位に心から感謝致します。

## 参考文献

- 1) 多曾直大等：関越トンネル掘削にともなうAE活動，第21回岩盤力学シンポジウム。
- 2) 猪間英俊：関越トンネルにおける山はね，応用地質22巻3号，1981。
- 3) Katsuhiko, Kaneko, Katsuhiko, Sugawara and Yuzo, Obara: Rock Stress and Microseismicity in a Coal Burst District, Second Int. Symp. of Rockburst and Seismicity in Mines, Minnesota, USA, June 8-10, 1988.
- 4) Nakajima, Iwao and Watanabe, Yoshiteru: Acoustic Emission Monitoring of Rock Burst in Excavation of the Kan-etsu tunnel, Proceedings of the 7th International Acoustic Emission Symposium, Zao, Japan, Oct. 23-26, 1984.