

硬岩地山のトンネル施工におけるAE計測

大成建設（株）技術研究所 正会員 小川豊和 正会員 川上 純 正会員○谷 卓也
大成建設（株）広島支店 正会員 小林光雄

1. はじめに

広島高速道路公社発注の西風新都線トンネル建設工事第3工区（広島市安佐南区）では、掘削の進行に伴い山鳴りが発生しはじめ、吹付けコンクリートにクラックが見られた。トンネルの地質状況は新鮮で堅硬な花崗岩であり、山鳴りが観測され始めたときの土かぶり約40mであった。山鳴りおよびコンクリートのクラック発生の要因は、図1.1に示すように発破による応力解放でトンネルの周縁（特に天端付近）に新たに応力集中が生じ、岩盤内に微小破壊が生じたためと考えられる。そのため、発破後にAEが多発すれば、応力集中の度合いが大きく、吹付けコンクリートの剥落等が発生する可能性が高いと判断できる。そこで、発破直後にAE（アコースティック・エミッション）測定を実施し、施工の安全性を確保することとした。なお、山はねが発生した関越トンネルや雁坂トンネルではAE計測が実施され、その計測値が施工管理に用いられた例がある¹⁾²⁾。

2. 計測方法

AEは応力再配分が起こる掘削直後に多く発生することが確認できたため、AE計測は発破直後から5分間、加速度センサーにより計測することとした。センサーの個数は、発破による飛石などで1つのケーブルが破断した場合にも計測が継続できること、AEカウント数と距離の関係を検討ができることから2個とし、切羽から20mと40mの位置に設置した。掘削に伴い、切羽とセンサーとの距離が40m以上となった場合は、切羽から遠いセンサーを切羽の手前20mの位置に盛り変えた。センサーは、発破の飛石から防護するために、約10cmの吹付けコンクリートを削った凹部の岩盤上に鉄板を石膏で固定し、そこに磁石のアタッチメントを介して取り付けした（図2.1参照）。AE計測装置で計測されたデータは、一旦トンネル内のコンピュータに取り込まれ、そのデータを坑外に設置した別のコンピュータに保存した後、データの解析をおこなった（図2.2参照）。

3. 計測結果

3.1 発破後のAEの発生状況

図3.1に、発破後のAE発生状況例を示す。横軸は時間で、縦軸は加速度振幅である。図中、5gal程度のバックグラウンドノイズ（横に走る太い線）と、発破による振動およびその後に発生したAEが見られる。図には、肉眼で認識できるいくつかのAEを矢印で示した。矢印で示したAEのうち、一番右のイベントについて横軸の時間を400倍したも

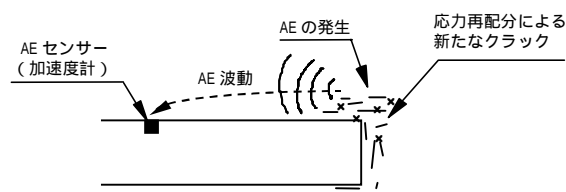


図1.1 応力再配分による新たなクラックとAEの発生

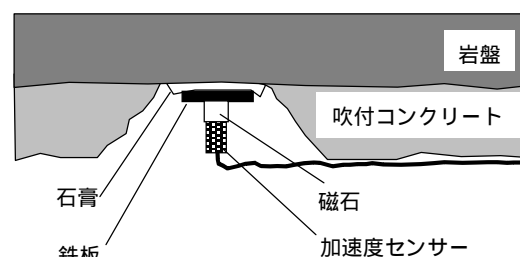


図2.1 センサーの取り付け方法

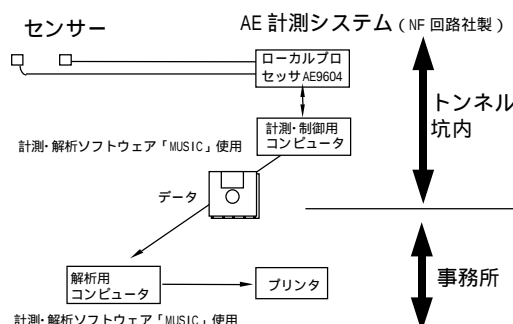


図2.2 計測システム

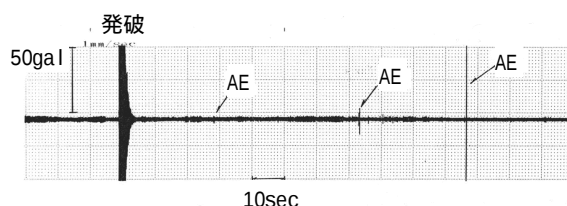


図3.1 AE計測例（加速度波形）

キーワード：AE、山鳴り、硬岩地山、施工管理

連絡先：〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設（株）技術研究所 Tel:045-814-7237 Fax:045-814-7253

のが図3.2である。本AE計測では、発破後、坑内2ヶ所に設置したセンサーの両方で、ほとんど毎回AEの発生が確認できた。また、切羽から離れるにつれ、AEカウント数は減少する傾向が見られた。

3.4 AEの振幅分布

岩石やコンクリートなどの微視的に不均一な構造を持った材料では、AEの発生頻度 n と振幅 a の間には $n = k \cdot a^{-b}$ のべき乗の関係が成立することが知られている（ k は比例定数）。 n と a を両対数紙上にプロットしたとき右下がりの直線となり、この傾きをAEの b 値と呼ぶ。岩石試料を一定速度で載荷した場合、応力の増加に伴って破壊に近づくにつれ b 値は低下し、破壊前に b 値はほぼ1となる事例が示されている³⁾。これは、最終的な破壊の直前には微小な破壊が重なり合うようになり、大きな破壊が相対的に増加するためと解釈されている。

今回計測したAEデータに基づいて、加速度振幅とAE発生数の累積加算値を図3.3にプロットした。図より、両者は直線関係で近似され、その傾き（ b 値）はほぼ1となる。この結果、破壊論で理論的に検証されている破壊の前兆現象を示していると言える。

3.5 切羽からの距離とAE発生数の関係

図3.4に、各計測毎のAE発生頻度とトンネル切羽から測定点までの距離を両対数でプロットした。両者の関係は、右下がりの直線関係で表される。また、その傾きはほぼ2となり、AEカウント数は、距離の2乗に逆比例していることになる。言いかえると、今後の計測管理においては、ある基準の距離に対してAEカウント数を正しく評価する必要があると言える。

4. 評価点法による施工管理

本トンネルにおいて、吹付けコンクリートに剥落、クラック等の変状が発生した場所の岩盤状況をまとめると、「岩盤は新鮮な硬岩で風化した岩盤では変状が見られない。」、「湧水はほとんど見られない。」、「岩盤の節理は水平方向が卓越しており、節理の間隔が狭い。」といった特徴がある。過去に山鳴りおよび山はね現象が発生した関越トンネルや雁坂トンネルにおいても、上述したと地の山状況が報告されている。以上より、本トンネルにおける変状は、水平方向の地圧の卓越による山はね現象に類似したものと考えられる。また、本トンネルでは、このような岩盤状況とAEの発生数が対応していることから、掘削面の岩盤の状況からも変状発生の可能性を推定できると考える。現在、本トンネルでは、AE計測結果と切羽観察結果を点数化して地山の安全性を評価し、施工をすすめている。

<参考文献>

- 1) 望月常好・穂刈利夫・斉藤義信・桑田俊男：土かぶり200mで山はね現象に遭遇，国道140号雁坂トンネル，トンネルと地下，Vol.21，No.9，1990，土木工学社。
- 2) 多賀直大・石山宏二・平田篤夫・稲葉力：関越トンネルにおけるAE特性，第22回岩盤シンポジウム，1990。
- 3) 勝山邦久：現場技術者のためのAE技術の応用，アイピーシー，p.140，1994。

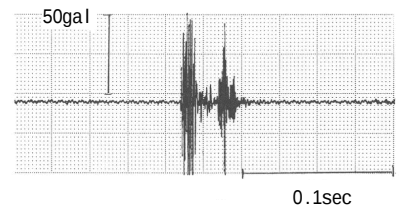


図3.2 AE計測例(時間軸は図3.1の400倍)

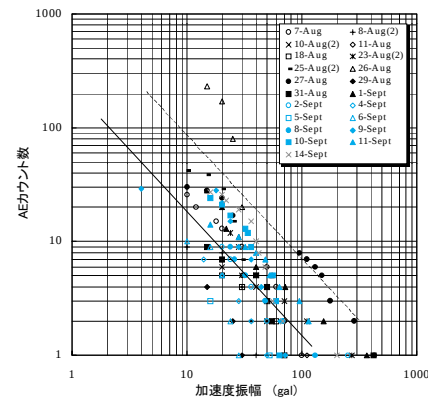


図3.3 加速度振幅とAEの関係

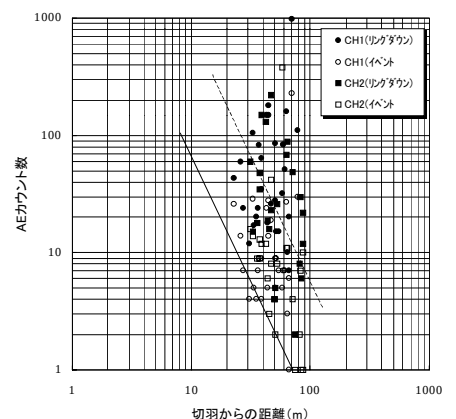


図3.4 切羽からの距離とAE発生数