

VI-13

岩盤斜面のA E計測手法

北海道開発局開発土木研究所 正会員 池田憲二
北海道開発局開発土木研究所 正会員 日下部裕基
北海道開発局開発土木研究所 正会員 中井健司
(株)構研エンジニアリング 正会員 ○塩野康浩

1. はじめに

平成8年度に発生した豊浜トンネル崩落事故、および平成9年の第2白糸トンネル崩落事故を契機に、北海道開発局では崩落監視に関する調査研究を従前に増してより積極的に推進中である。また岩盤崩落監視手法の1つとしてA Eセンサを使用した岩盤斜面監視方法が各研究機関で取り組まれているが、計測方法・評価方法が確立されていないのが現状である。そこで北海道開発局では平成10年からA Eの研究開発を行っている各研究機関と北海道内7箇所の防災工事現場において共同研究を行っている。本報告書では 現在計測中である共同研究箇所の各A E計測手法の概要を紹介する。

2. A E共同研究箇所

A E共同研究を行っている箇所および共同研究機関を表1に、共同研究箇所位置図を図1に示す。

表1. A E計測箇所および共同研究機関

NO	箇所名	共同研究機関
A-①	潮見覆道 (2)	明治エンジニアリング株式会社
A-②	キナウシ覆道	株式会社フジタ
A-③	雷電トンネル (終点)	株式会社間組
	刀掛覆道	株式会社奥村組
	刀掛トンネル (終点)	川崎地質株式会社
A-④	宇遠別第2覆道	飛島建設株式会社
A-⑤	ルベシベツ覆道	西松建設株式会社



図1. A E共同研究箇所位置図

なお各箇所ともA E計測以外に亀裂計や傾斜計などによる動態観測および気象観測も行われている。

3. 各現場状況

3-1. 潮見覆道 (2)

計測対象岩体の概要

一般国道229号余市町の潮見覆道(スノーシェット)の山側斜面であり、斜面勾配約70°、第三紀の水冷破碎岩で構成される。計測対象岩体は独立した尾根部で周囲は亀裂で囲まれている。写真1に対象岩体を示す。岩体は防災工事としてロックボルトにより地山への固定が施されており、工事は終了している。

A Eセンサの設置方法

当箇所では、対策工として既に設置されているロックボルトをウェーブガイドとして使用し、頭部にA Eセンサを設置した場合の雑音対策の検討を目的としている。設置位置は図2に示すとおり施工されているロックボルトのうち岩体下部の3本に各1台づつとしている。A Eセンサはロックボルト頭部で地表に露出する形で設置するため、センサに直接当る雨滴、風、音(音波)および岩盤より伝わってきた雑振動による雑音を

Application of Acoustic emission to rock failure monitoring.

Kenji IKEDA, Yuki KUSAKABE, Kenji NAKAI, Yasuhiro SHIONO,

A Eとして検知する。この雑音を防振材等で覆うことにより除去を行った。図3に雑音除去用の保護カバーの形状を示す。防振材は天然ゴムの内側に吸収用スポンジを張ったもの、防振材の主材料としてゲル状のゴムを用いその保護に柔軟なゴムで補強したものの2種類設置し、雑音除去対策を行わないセンサとの比較を行うことによりその効果を検証する。



写真1. 潮見覆道(2) 全景写真

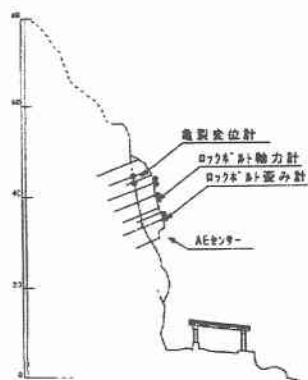


図2. AEセンサ配置図

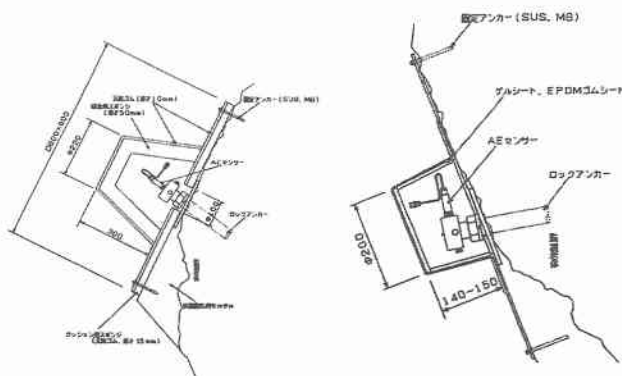


図3. 雑音除去用防振材の形状

3-2. キナウシ

計測対象岩体の概要

計測対象岩体であるキナウシトンネル坑口直上部は著しいオーバーハングをなし、海側には海食洞が存在する。地質は火山角礫岩などの火砕岩を主体とし、最下部に自破砕安山岩が分布する。写真2に計測対象岩体を示す。岩体は防災工事としてロックボルトにより地山への固定が施されており、工事は終了している。写真下部のトンネルは廃道であるが、直下部分に現在供用中のトンネル及び覆道が開通している。

A Eセンサの設置方法

図4にA Eセンサの配置図を示す。当箇所では斜面上部岩体の挙動による崩壊を計測する。上部の岩体にはボーリング孔を穿孔し、長さ2mのステンレス製ウエーブガイドにA Eセンサを取りつけ挿入後モルタル充填して設置する。図の位置に孔内に2台ずつ2孔合計4台設置する。下部の岩体については、旧道のトンネル坑口の上部付近に4ヶ所約2m



写真2. キナウシ全景写真

程度レッグハンマー等で削孔し、長さ 1mのステンレス製ウエーブガイドにAEセンサを取り付け挿入後モルタル充填して設置する。

計測システム

AEセンサの測定系を図5に示す。装置の特徴は通常のAE計測データに加えて岩盤内で発生した破壊音（AE）を、計測器に装備したスピーカにより直接聞くことが可能であると同時にテープレコーダ（DAT）にも記録できる点にある。これにより、今までで不明確であったAE現象とその物理的な現象との対応を人間の聴覚を利用して判断することができる。また、必要に応じて波形観察のためにオシロスコープを使用する。



図 4. A E センサ設置位置

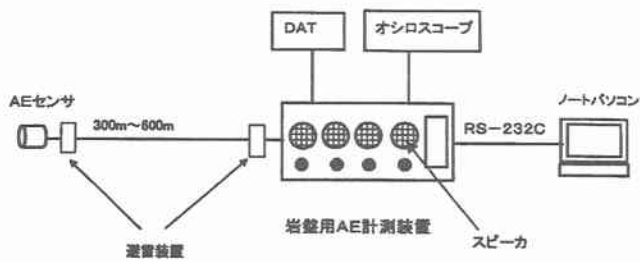


図 5. A E 測定システム

3-3. 雷電トンネル（終点）、刀掛覆道、刀掛トンネル（終点）

3-3-1. 雷電トンネル(終点)

計測対象岩体の概要

地質は第 3 紀火砕岩からなり 1～5mの火山角礫岩、凝灰角礫岩などが交互に堆積している。層理面は山側（起点側）に 15°～20°傾斜した受け盤になっている。写真3に対象岩体の全景写真を示す。②岩体の背面には高角の流れ盤亀裂が認められる。岩体は防災工事として切土が施されており、工事は終了している。



写真 3. 雷電全景写真



図 6. A E センサ配置図

A E センサの設置方法

当箇所では、3 機関からなる 1 チームで、雷電トンネル（終点）、刀掛竈道、刀掛トンネル（終点）の 3 地点の計測を行っている。

3 地点の A E 計測は以下の要点を基本にしている。

- ①通常の A E 計測は岩盤斜面を対象にした場合、できるだけ低い周波数を対象とするため、共振周波数が 15kHz の受振センサを採用し、岩体内の崩壊を誘発しそうな不連続面の A E を計測する。
- ②10Hz～1000Hz を測定対象とした低周波 A E 計測を併用し、より広範囲の A E を捉えるとともに、岩体の周波数特性の変化による岩体の状況変化を把握することも目的とする。
- ③落石の発生を捉えるための計測として、ケーブルセンサを設置する。特に、刀掛トンネル（終点）では計測対象岩体の範囲が広く有効な A E 計測を計画できないこともあり、落石検知として A E センサ、ケーブルセンサを防護ネットに取り付けた計測を実施する。

雷電トンネルでの A E センサ設置位置を図 6 に示す。雷電では岩体②を主対象とし、岩盤内の不連続面周辺に通常の A E 計測を、岩体の周波数特性の変化把握を兼ねて岩体の上部と下部に低周波 A E 計測を実施する。またボーリング孔 B-2 にケーブルセンサを設置する。ケーブルセンサの長さは 20m である。

3-3-2. 刀掛竈道

計測対象岩体の概要

ほぼ直立した急崖をなし、崖面の大部分は顕著なオーバーハングを伴う。地質は火山角礫岩、凝灰角礫岩などの火砕岩よりなる。写真 4 に対象岩体全景写真を示す。岩体は防災工事としてワイヤーロープ掛工が施されており、工事は終了している。

A E センサの設置方法

岩体⑤を対象とし岩盤内の不連続面周辺に通常の A E 計測を、岩体の周波数特性の変化把握を兼ねて岩体の上部と下部に低周波 A E 計測を、ボーリング孔 B-4 にケーブルセンサを設置する。また、対象岩体は対策工としてワイヤーロープ掛け工が施工されている為、ワイヤーに張力計を設置し張力状態を把握する。設置位置を図 7 に示す。



写真 4. 雷電全景写真



図 7. A E センサ配置図



写真 5. 刀掛トンネル全景写真



図 8. A E センサ配置図

3-3-3.刀掛トンネル

計測対象岩体の概要

平均勾配 75～80° の急崖からなり、中腹部および上部にオーバーハングを伴う岩塊が認められる。地質は火山角礫岩、凝灰角礫岩などの火砕岩よりなり中央部をほぼ垂直に安山岩脈が分布する。写真5に計測対象岩体を示す。岩体は防災工事として落石防止網が施されており、工事は終了している。

A E センサの設置方法

集中計測すべき個別岩体ではなく、斜面全体を対象とした計測が必要と考えられる箇所であるため、通常のA E計測は採用せず、比較的計測範囲の広い低周波A Eセンサを岩体下部を中心に設置する。また、低周波A Eセンサおよびケーブルセンサを防護ネット上に設置し落石検知を実施する。設置位置を図8に示す。

3-4. 宇遠別第2覆道

計測対象岩体の概要

周辺は海食により形成された急崖面をなしており、計測対象はその先端部に位置する。岩質は塊状のホルンフェルスからなっている。覆道上よりおよそ30mの付近には遷急点が認められその下方はおよそ80°の急崖面をなす。この部分には約60°の受け盤の亀裂が数条にわたり存在し、2～4mの厚さで板状に分離するような状態になっている。またこの亀裂に直交するような流れ盤の亀裂が多く生じており、ブロック化が進んでいる。写真6に対象岩体を示す。岩体は防災工事として部分切土およびグランドアンカーにより地山への固定が計画されており、現在工事が進行中である。

A E センサの設置方法

図9に計測機器設置概要図を示す。A Eセンサは鉄筋に1.5m間隔で設置し計測対象き裂を貫通するよう穿孔したボーリング孔内に挿入する。その後、孔壁とA Eセンサとの間は岩盤物性（強度、音響インピーダンス等）に近い材料物性を有するモルタルで充填する。この方法により、計測対象となるき裂からA Eセンサまでには潜在き裂は存在せず、き裂のない均質材料と見なすことができる。岩盤が変形・破壊するとき、孔内に充填したモルタルが確実に変形・破壊し、モルタル破壊によるA EはA Eセンサまで、均質材料中を伝播し検出可能となる。また、孔内に設置した鉄棒より、一旦モルタルに多くのき裂が生じ、材料的な限界状態に達しても、岩盤全体の終局崩壊はモルタル母材鉄棒との摩擦によるA Eとして鉄棒を介しA Eセンサで検出・追従することができる。

降雨落石等による弾性波（A E）を可能な限り避けて長期計測できるように岩盤表面に最も近い



写真 6. 宇遠別第2覆道全景写真

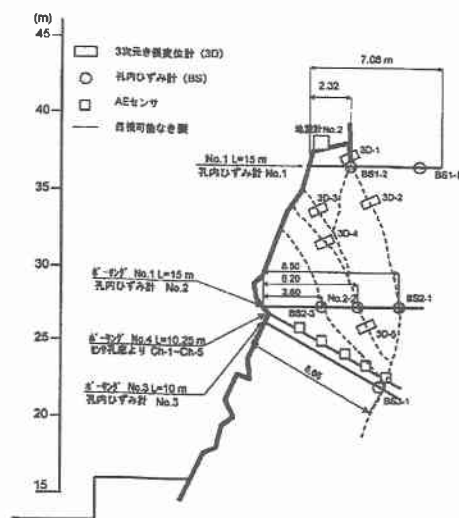


図 9. A E センサ配置図

CH5と岩盤表面までは2.55mとし、更に表面より1mを緩衝砂で置き換えている。また供給電源などから混入するノイズを把握する為に計測小屋内にもセンサを設置し、安定化電源装置+ノイズフィルタトランスを採用するとともにセンサ駆動電源も計測装置本体と切離し、別の専用電源ユニットを設置した。

3-5. ルベシベツ覆道

計測対象岩体の概要

標高130mほどの急崖部で侵食作用が著しい、基盤岩は花崗閃緑岩で0.5～1m程度の間隔が主体であり、これに沿って風化が進行し小規模崩落が認められる。写真7に対象岩体を示す。

A Eセンサの配置方法

計測の概要は、法面防災工事の対象となっている花崗岩体全体の挙動を捉えるために、写真7に示すように、A Eセンサ（加速度計）を岩体の上下左右、取り囲むようにそれぞれ1個、計4個のセンサを配置する。設置方法を図10に示す。岩盤斜面に対して水平やや上向きにL1.25m×φ45mmの削孔を行い、孔内にセンサ設置治具を岩着させて、その内部にマグネットを介した脱着可能な状態でセンサを設置する。

計測システム

センサで検知されたA Eの波動信号は、防護ネットに固定された防護箱内のプリアンプにて増幅（×100）された後、計測所内に設置された避雷器、バンドパスフィルタ（16kHzLPF）を介してデータチェンバおよびディジタルデータレコーダ（ウェーブメモリ）等に収録される。データチェンバはA Eの波動信号からA Eパラメータであるヒットタイミング、カウント、継続時間、最大振幅等が抽出・収録する役割を果たす。また、ウェーブメモリでA/D変換された波動信号（波形）はディジタルデータレコーダにて収録される。FFTアナライザではリアルタイムで波形をモニタリングできるとともに、周波数領域での特性（卓越周波数等）も把握可能である。

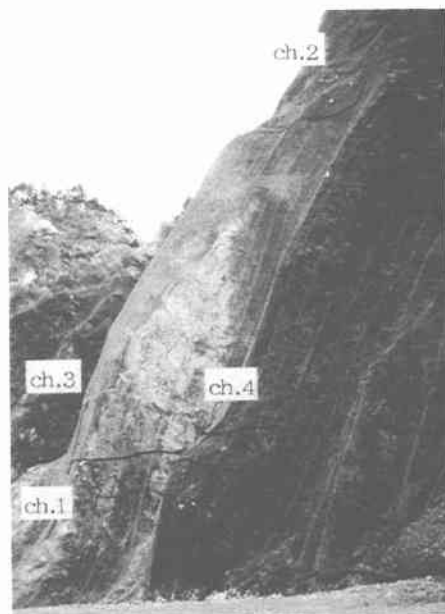


写真7. ルベシベツ覆道全景写真

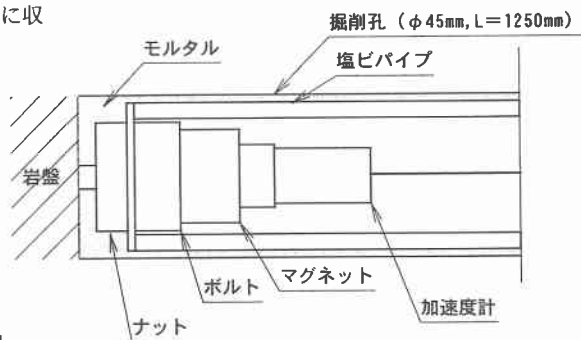


図10. A Eセンサ設置状況

4.まとめ

本報告では現在北海道開発局が取り組んでいるA Eセンサを使用した岩盤斜面監視方法の共同研究について各現場の概要を報告した。A Eセンサを使用した岩盤斜面監視方法はまだ研究段階であるが、現在各現場において計測されているデータを分析し、監視手法としての可能性、課題などを明らかにしていく方針である。