

A E を利用した岩盤斜面の挙動モニタリング

Monitoring of behaviors of a rocky slope by using the acoustic emission

北海道開発局 開発土木研究所	正会員	池田憲二	(Kenji Ikeda)
北海道開発局 開発土木研究所	正会員	中井健司	(Kenji Nakai)
北海道開発局 開発土木研究所	正会員	日下部祐基	(Yuki Kusakabe)
西松建設株式会社 技術研究所	〇正会員	石山宏二	(Koji Ishiyama)
西松建設株式会社 札幌支店		高橋幸三	(Yukizou Takahashi)
西松建設株式会社 技術研究所		齋藤 潤	(Jun Saito)
西松建設株式会社 技術研究所		秋山演亮	(Hiroaki Akiyama)

1. はじめに

豊浜トンネル坑口での岩盤斜面崩落事故を契機に、平成 10 年度から北海道開発局開発土木研究所を中心として、岩盤斜面のモニタリング手法に関する複数の共同研究が実施されている¹⁾。本研究はその一環として、一般国道 336 号広尾町ルベシバツ覆道上の岩盤斜面（岩体）において、主に AE を利用したモニタリングシステムによる岩盤斜面の挙動計測を行い、現在、以下に示す 3 つの検討項目に取り組んでいる。

①原位置での長期にわたる動的計測（AE）と静的計測（傾斜計・鋼管ひずみ計等）を実施し、蓄積されたデータの比較から斜面の挙動（特徴）を把握する。

②豊浜トンネル等の崩落事故原因の 1 つとして、北海道南西沖地震の影響が推測されていることから、岩盤への地震の影響を検討する。

③AE データに基づく崩落の危険性評価法を確立するために、可視化技術により得られた波形信号からノイズを除去（AE のみを抽出）する手法を開発する。

そして、最終的には岩盤崩落のモニタリング技術として、未だ確立されていない AE を利用した計測・評価技術を開発・実用化し、AE データに基づいた危険箇所の抽出・特定と適切な対策工の選定・提案を目指すものである。

2. 計測対象岩体の概要

ルベシバツ覆道区間には、えりも町側に花崗岩が分布し、広尾町側には先白亜紀の日高累層群楽古層の砂岩・粘板岩薄互層が分布している。図 1 に示す対象岩体周辺は、日高累層群とそれに併入した花崗岩との境界付近に位置しており、対象岩体（ $H=45\text{m}$, $W=20\text{m}$, $D=6\text{m}$: $V=3000\text{m}^3$ ）は亀裂質な花崗岩である。

岩体の亀裂の特徴として、斜面のえりも町側では、開口したほぼ鉛直な傾斜で国道に直交する亀裂系（約 1m 間隔）が卓越しており、広尾町側では図 2 に示すように上記に加えて国道に平行で、かつ岩体に対し低角な差し目の亀裂系が顕著である。

この花崗岩から採取された 2 本のボーリングコアを用いて岩石試験を行った結果、一軸圧縮強度は約 36～110MPa、 V_p は約 4.9～5.5km/s と一部風化の影響が見られたが、硬岩の性状を示した。

3. 原位置計測の概要

計測対象岩体には、先に述べた AE 計測を主とする動的な計測システム、および傾斜計・鋼管ひずみ計と気象計測を主とする静的な計測システムが設置されており、表 1 に計測項目一覧を示す。ここで、AE 計測以外を一般計測と称し、その中の静的データは全て 1 分間隔でサンプリングされている。

計測機器の全体配置概略を図 3 に示すとともに、AE

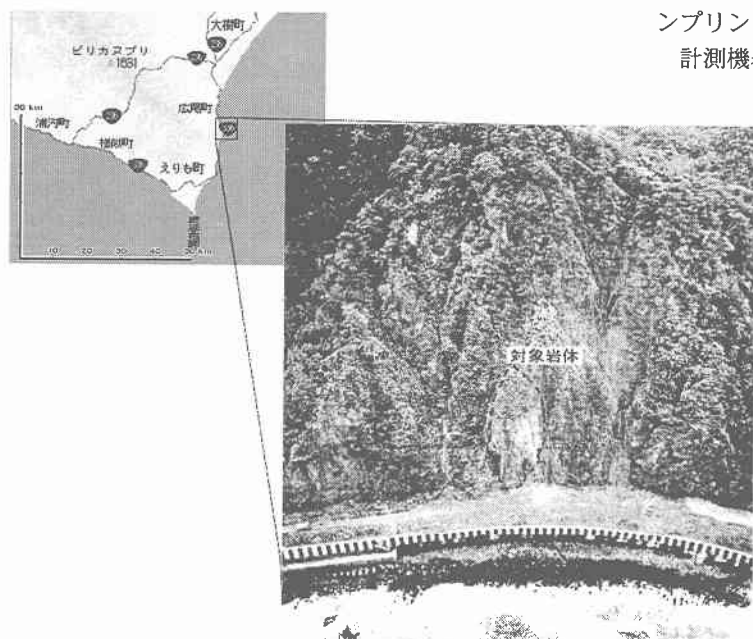


図1 ルベシバツ覆道の位置図及び計測対象岩体全景



図2 広尾町側斜面の亀裂状況

表1 計測項目一覧

設置計測器	計測項目	測定方式	個数	備考
鋼管ひずみ計	軸ひずみ、曲げひずみ (軸応力、曲げ応力に換算)	静的	1カ所(1本) 全5点	深度 No.1:8.8m, No.2:6.8m, No.3:4.8m, No.4:2.8m, No.5:0.8m
孔内温度計	地山温度	静的	1カ所(1本) 全3点	深度 No.1:2.0m, No.2:1.0m, No.3:0.5m
三成分 地震計 (速度計)	地震による地山振動	動的	3点×2カ所	100Hzサンプリング 1分間の平均振幅値を出力
三成分 高感度地震計 (速度計)	落石による地山振動	動的	3点×3カ所	100Hzサンプリング 1分間の平均振幅値を出力
二軸傾斜計	斜面法線方向傾斜角(X軸) 接線方向傾斜角(Y軸)	静的	4カ所	各AEセンサ孔口近傍斜面上に設置 温度補償機能有り
気象	外気温 湿度 降雪降雨 風向風速	静的	各1点	
AEセンサ (加速度計)	AEパラメータ AE波形	動的	4カ所	AEパラメータとは、ヒットタイミング、カ ウント、継続時間、ライズタイム、最大 振幅値

計測システムの系統図を図4に示す。

AE 計測の適用に際しては、通常、崩壊形態(破壊地点)が1つに特定できない岩盤斜面が多いと考えて、比較的広い計測範囲となる計測対象岩体全体の挙動を、少ない数の AE センサ(加速度計:20kHz 共振)で捕捉するシステムの開発・採用を試みることにした。そこで、図3に示すように計4個の AE センサを岩体の上下左右、取り囲むように配置した。ただし、センサ配置箇所周辺は、オーバーハングあるいは亀裂面に小岩塊が張付く等、局所的な破壊の危険性が想定されるが、その場合にもセンサは岩体に残ることができる安全領域を選び設置している。

AE センサで検知された信号は、図4に示すように計測小屋内のデータチェンパにて AE パラメータが抽出・記録されるとともに、ウェーブメモリにて波形が抽出され、デジタルデータレコーダにてこれが記録される。トリガ機能は各 ch.個別に有し、しきい値は ch.毎に共通である。当初、できるだけ多くの信号取得を目的として、各 ch.ともにバックグラウンドノイズよりやや高めめの約 0.5gal にしきい値を設定していたが、ノイズ取得率があまりにも大きいので 1gal に変更した経緯がある。

AE センサは、図5に示すように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設置した。これは、長期計測を考慮して、万が一センサが故障した場合でも同じ場所へ交換設置が可能とするためである。孔口は小動物等が進入しないように蓋をし、防護管内部にセンサーケーブルを配した。

4. 地震時の岩盤斜面の挙動

本サイトは浦河沖、あるいは釧路沖などの地震多発地帯と近接している環境にあることを活かし、地震時を挟んでその前後における AE 発生状況および一般計測データの変化に着目し、地震(外力)と岩盤斜面の挙動に関して比較検討を試みることにした。仮に、地震によって岩体にダメージが蓄積されたとすれば、地震発生直後に何らかの変形・破壊が生じたと推測され、これを AE で検知することができると考えた。

ここで、平成 11 年 8 月 23 日 19 時 8 分頃に浦河沖(深さ 60km)で発生した M4.8 の地震前後の岩体挙動に着目し、23 日 15 時~24 日 15 時までの 15 分間当りの AE

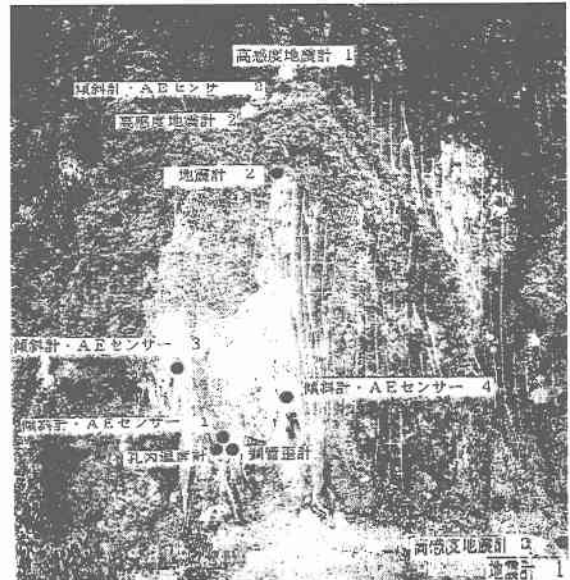


図3 計測対象岩体に対する計測機器全体配置概略図

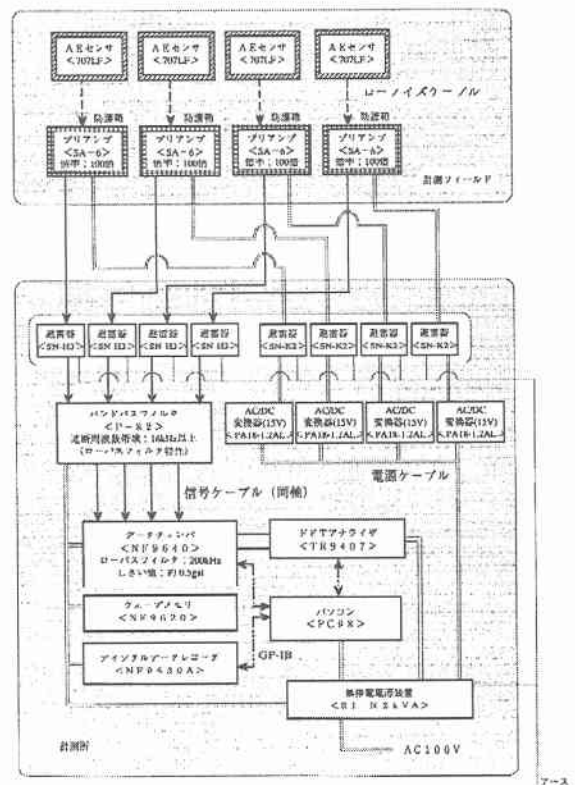


図4 AE 計測システム系統図

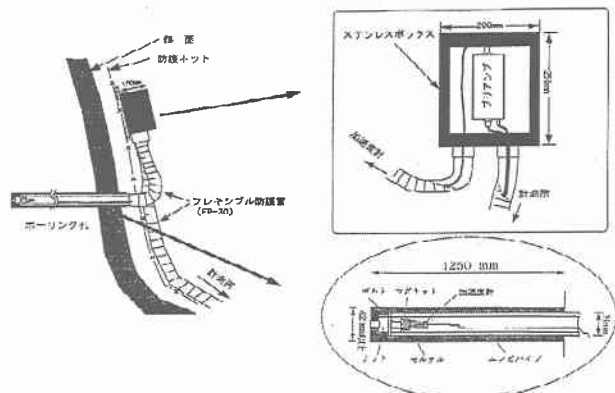


図5 AE センサ設置状況

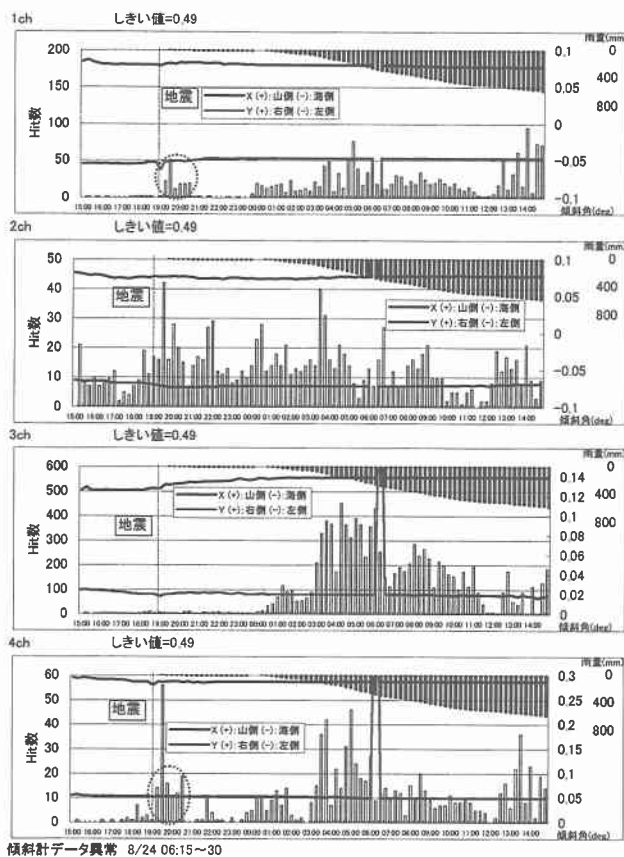


図6 AE発生数と傾斜計・降雨量変動の関係

発生（ヒット）数と傾斜計・降雨量の関係を図6に、また ch.1 のヒット数とその近傍に設置された鋼管ひずみ計・降雨量のデータ変動を図7に示す。図6から、現システムの課題でもある、降雨ノイズの影響によると考えられる見かけ上の AE 発生数の増加傾向が読取れる。

地震発生から約 30 分後にも微量な降雨が 4 時間程度認められ、その影響は明らかでないが、地震直後から約 2 時間の間に ch.1 と ch.4 には地震の影響と推測される AE 発生数の急増時間が存在している。その後、24 日 1 時頃から本格的に連続した降雨が見られるが、その 1 時間前の 0 時頃にも再び ch.1, ch.3, ch.4 で AE 発生数の増加が見られる。ただし、地震発生後約 5 時間を経過した後のこの挙動が地震の影響（応力再配分）によるものかは一概に断定できない。一般計測データを見ると、24 日 6 時半頃に異常点が見られるものの、全ての傾斜計で地震発生時の挙動は捉えられていることが分かる。特に、ch.3 では 9 時間程度かけて徐々に山側（足元が海側）へ傾斜する傾向が読取れる。図7の鋼管ひずみ計の挙動に着目すると、センサー1,2,3 の軸応力に明らかな変動が見られ、その内センサー2 の軸応力は地震後 10 時間程度変動した後、定常状態に戻っている。さらに、センサー5に至っては地震を境に 1 日程度かけて変動が継続する傾向も示されている。したがって、ある程度の地震（外力）が作用すると、発生後 10 時間から 1 日程度かけて地山の応力再配分が生じ、微量ではあるが岩体にダメージ（変形）が蓄積する可能性が示されたと考える。また、その際に AE が発生し、これを検知することも十分可能であると考えられる。

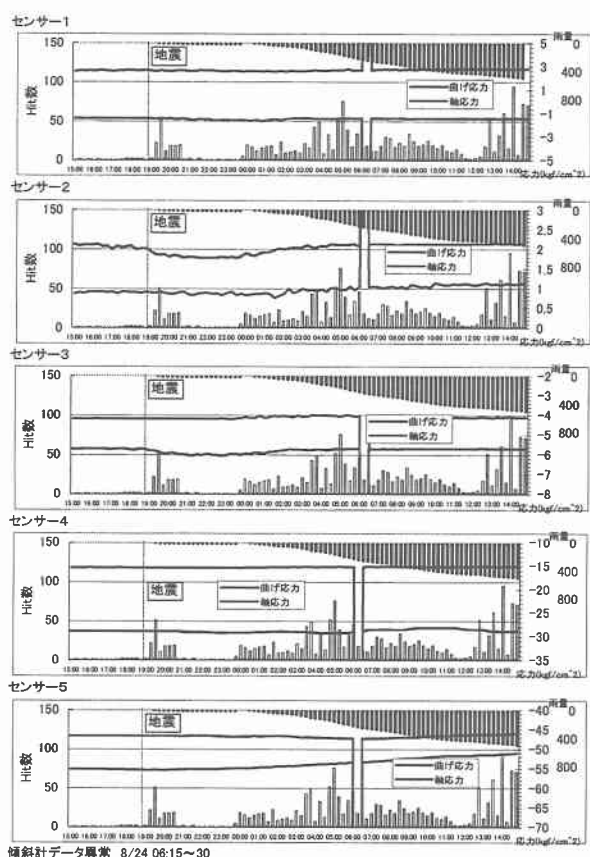


図7 ch.1 ヒット数と鋼管ひずみ計・降雨量変動の関係

5. 波形データの可視化によるノイズ分離

大量のデータが収集される自動化された AE 計測では、そのデータ内から有意なデータを迅速に抽出し、解析に供することが不可欠である。またその手法は、現場等での運用を考えれば極力簡便なものであることが望ましい。

例えば、情報として必要としている AE 信号（波形）は図8に示すようなものである。しかし、しきい値の設定によってデータ取得時のノイズデータを極力除去しようとするものの、電波の影響等によるノイズレベルやバックグラウンドの形状が変化することに伴い、実際には図9に示すような意味のないデータが大量に取得されているのが現状である。

そこで、得られた波形データを効率良く鳥瞰し、有意なデータを発見しやすくするために、波形データを可視化してデータの優劣を判別する手法を試み、その妥当性を検討することとした。可視化には“Noesys”ソフトを使用し、その原理を図10に表す。図は、1 波形データ (2kword) が画像の横 1 ラインを構成し、振幅の大きさは LUT を調整することで表現されている。これにより、1 枚の可視化画像に 1024 個の波形が表示可能となるため、本計測で採用したデジタルデータレコーダの収集能力 (5000 波形 max/週) から、ほぼ 5 枚の画像で 1 週間分の収集波形を鳥瞰することができるようになる。また、ノイズの形態変化が往々にして見られる本計測においても、可視化した画像データで LUT を適当に変更しつつ、そのパターンを見ることで、迅速にデータの優劣を判定することが可能となる。

本計測では、降雨時の AE 信号にノイズが混入し、必要な AE データ取得が困難となる状況が何度となく見ら

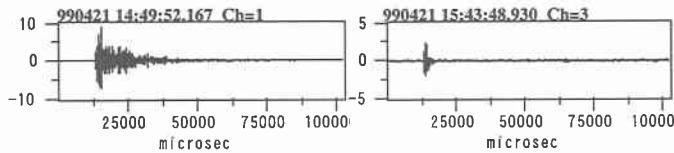


図8 AE 信号 (波形) の典型例

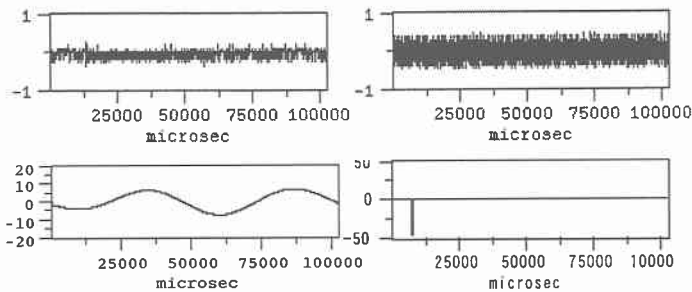


図9 観測データ内に含まれた意味のない波形データ例

れたことから、降雨時に取得された波形データの可視化画像および AE 発生状況と降雨データとの比較検討を行い、可視化処理によるデータ判別手法の有効性について検証を試みた。

まず、ヒットカウントと降雨データ（平成 12 年 4 月）との対比を行い、その中でも特にその相関が著しい ch. 3 の結果を図 11 に示す。図から、雨が降ると明らかにヒット数が増大する傾向が見られた。そこで、比較的降雨量の多い 4 月 10 日の週データに着目し、取得された波形データ（最初の 1024 波形）の可視化を行い、その画像を図 12 に示す。図を見ると、画像パターンが途中（No.501 データ）で明らかに変化していることが分かる。図下部(b)のようにラインの濃淡が複雑に見えるのは、それだけバックグラウンドのノイズレベルが上昇したことを表す。図 13 にそれぞれの領域の典型的な波形データを示す。ここで、(a)はバックグラウンドの低い波形（図 12 の上部領域）であり、(b)は高い波形を示している。

バックグラウンドレベルが大きく変化する No.501 データの取得時間は、そのヒットタイミングから 4 月 10 日に多く雨が降ったその時間帯に相当することが分かっている。したがって、始めは通常の低いノイズレベルであり、妥当な AE 計測が行っていたものが、途中から降雨の影響により波形パターンが変化し、AE 信号がノイズレベルに埋もれ始め、得られたデータは大量の無意味な波形データに化していったと考えられる。

このように、波形の可視化処理を行い、LUT を調整することで、ノイズレベルに埋もれていない有意な AE 信号を抽出できる可能性を見出せたと考える。ただし、このようなバックグラウンドレベルの変化等の現象は、センサの不具合によるものか、あるいはセンサ設置地点周辺の状況変化によるものなのかは、今後より多くの事例を検討し、引続き原因究明を行う予定である。

6. おわりに

本報告は、北海道開発局が中心となって取り組んでいる、AE を利用した岩盤斜面のモニタリング技術に関する共同研究の一環として、一般国道 336 号ルベシベツ覆道上の岩盤斜面（岩体）を対象とした AE および一般計

Visualization of AE Wave data

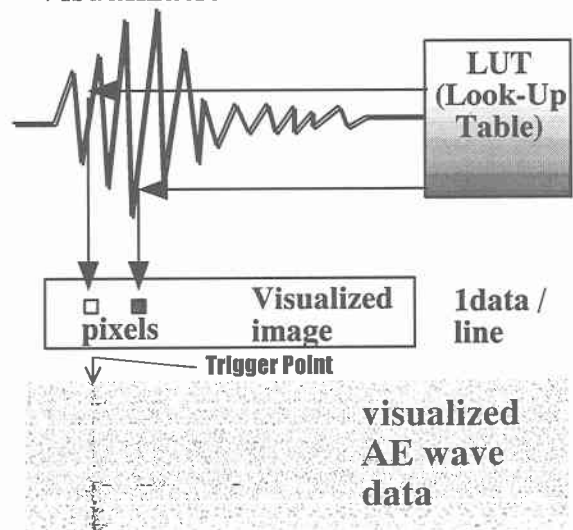


図10 AE 波形の可視化説明図

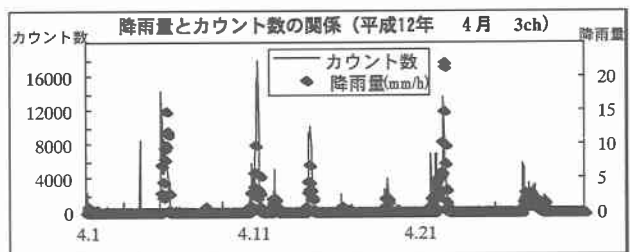


図11 降雨と AE 発生状況 (ch.3) との関係



図12 波形データの可視化画像 (H12.4.10~)

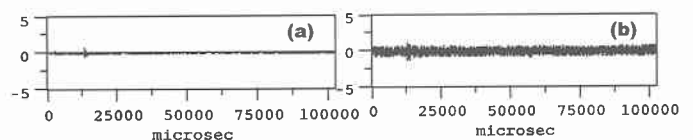


図13 図12で示されたノイズレベルの異なる領域の典型的波形データ

測の結果、および波形データの可視化によるノイズ分離の試みに関して、現在までに得られた成果をまとめたものである。

AE を利用した岩盤斜面のモニタリング技術の実用化には未だに多くの課題を抱えているが、現場で長期にわたり蓄積された貴重なデータを活かし、その可能性を求めて、さらなる分析を進めていく予定である。

<参考文献>

- 1) 池田憲二、日下部祐基、中井健司、塩野康浩：岩盤斜面の AE 計測手法、土木学会北海道支部 論文報告集第 56 号 (A)、2000.2、P.792-P.797.