

簡易的 A E カウント装置の構築と現場への適用

田野 久貴¹・阿部 大志²・渡辺 英彦³

¹正会員 日本大学工学部 土木工学科 教授 (〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定中河原 1 番地)
E-mail:tano@ce.nihon-u.ac.jp

²学生会員 日本大学工学部 工学研究科土木工学専攻/財団法人 道路保全技術センター 東北支部
道路防災課長 (〒980-0802 宮城県仙台市青葉区二日町16-1)

³正会員 日本大学工学部 土木工学科 助教授 (〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定中河原 1 番地)

現場において設置の容易な簡易的 A E カウント装置の開発を数年来試みている。本装置は、レートカウントのみに特化することにより乾電池で 6 か月程度駆動する経済性の高いシステムとなっている。すでに、国内・外 10 か所の現場においてこれらを適用して数多くのデーターを得ている。これらには、地すべり、不安定斜面、岩盤劣化、トンネル覆工の損傷やトンネル切り羽近傍の変位などに伴う A E の結果等が含まれている。本文ではこれらのうち、二三の結果について降雨との関係を中心に報告する。

Key Words : AE counting system, field measurement, monitoring, landslide, rainfall

1. はじめに

Acoustic Emission, いわゆる A E は、例えば巨視的変状に先立つ微視的破壊現象を把握する手法として期待されるものである。周知のように、室内実験はむしろ現場に適用した報告も多く見受けられ、様々な成果も得られている。しかし、現場のモニタリング手法として幾つかの手法があげられた場合、その順位は決して高くはないということをしばしば経験する。その主な理由は、①装置が大がかりで一般に高価である、②室内仕様がほとんどであるため AC 電源を使用する、③ノイズのチェックが必ずしも容易でないなどが挙げられる。一方、自然の挙動は複雑であるから数多くの測点を設けないとその挙動の把握が困難であることも背景となっていると言えよう。そこで、室内実験の延長ではなく、はじめから現場で長期に使用し、可能な限り経済的なモニタリングシステムの構築¹⁾が必要であるという考えに至った。経済性と高性能とは多分に相反する面があり、本システムの感度はそれほど高くないが、得られているデーターからほぼ実用の段階に達していると考えている。

可能、かつ小型軽量となった。システムの例を写真 2-1 に、その構成を図 2-1 に示す。すなわち、センサー、アンプ、パルスジェネレーター、ローガーより構成され、データーは回収器もしくはパソコンで収録される。NUAECS の仕様概要を表 2-1 に示す。本システムのアンプは、室内仕様ではブリアンプに相当するものである。したがって、増幅率はそれほど (25dB 程度) 高くない。

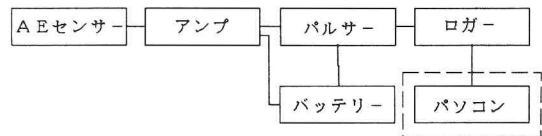


図 2-1 A E カウントシステムブロック図

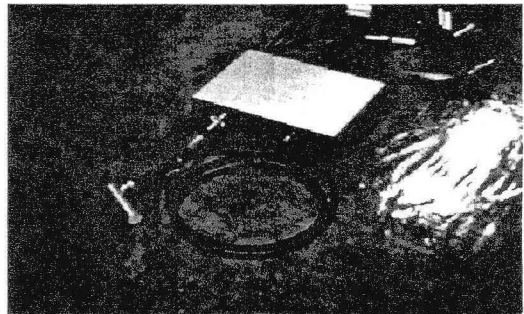


写真 2-1 A E センサー、アンプ・パルサー

2. 簡易 A E カウント装置の概要

A E カウントシステム NUAECS (Nihon University's AE count System) は、上記の問題点を考慮した結果、A E のカウントのみに特化することとした。これにより、省電力であることから乾電池仕様となり野外で容易に設置

表2-1 AEカウント装置の概要

装 置	仕 様
センサー	NB型: 140kHz NU型: 15~100kHz
アンプ	感度: 25dB
パルス発生部	しきい値: 5mV~最大カウント数: 約30/秒
ロガー部	3タイプ (別表参照)

表2-2 ロガーの種類と記録間隔・記録時間³⁾

タイプ	記録間隔と 記録時間 () 内最大)		回収方法
	最小	最大	
A	10分(固定)	10分(400日)	バリエ直結
B	1秒(4.5時間)	1時間(660日)	無線 (バリエ)
C	1秒(9時間)	24時間(3200日)	バリエ+回収器



写真2-2 滑落崖に設置した例 (分離型)

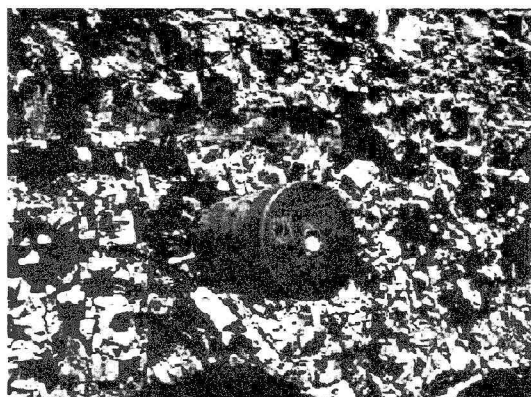


写真2-3 滑落崖に設置した例 (一体型)

記録間隔および記録時間の長さは表2-2に示すように用いるロガーによって異なる。記録間隔は短いほど良いが、長期にわたる計測では1秒間隔は現実的ではなく、

現場では10分間隔を標準としている。なお、トンネルの切り羽では2秒、10秒等で計測³⁾を実施している。センサーのうち、NB型は市販品で140kHz付近にピークのある高感度のもので、システム構築当初からこれを用いた。NU型は試作したもので15kHzから100kHzまでおおむね平坦な特性を示すものである。現場に設置した事例を写真2-2および写真2-3に示す。それぞれ地すべりの滑落崖近傍に設置した場合であるが、前者はセンサーとアンプ類分離型、後者は一体収納型でよりコンパクトにした例である。写真2-4は無線型かつ一体型の例であり、背面に突き出たセンサーが地盤あるいはウェーブガイドと接するような構造となっている。その他ボーリング孔に設置した事例もある。多くの場合ウェーブガイドを使用している。



写真2-4 センサー・アンプ一体型の例 (無線式)

3. 地すべりの影響を受けるAトンネルの事例

(1) トンネルと地すべりの状況

Aトンネルは1994年に竣工された全長350mのトンネルであり、NATM工法で建設された。完成後の1996年ころからトンネルライニングに亀裂が顕著になり現在は使用されていない。

現場付近は、第三紀後期中新世から第四紀更新世にかけて形成されたカルデラ火山群に位置している。その火山群の東南端に位置し、カルデラ形成にともなって大量に生成された岩屑なだれ堆積物が分布している地域である。図3-1にAトンネルと地すべりブロックの位置関係を示した。

トンネルに影響する地すべりの規模は、約幅350m、奥行き400m、すべり面までの深さが50mと推定されている。

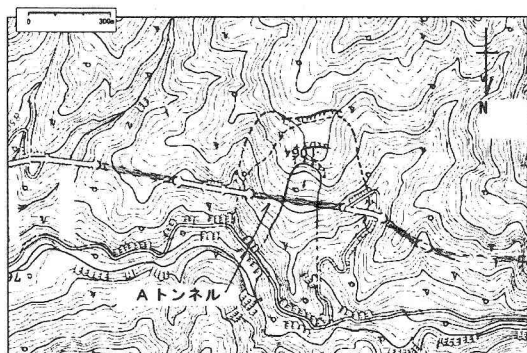


図3-1 Aトンネルと地すべり地形判読図

(2) 計測条件と計測方法

AEカウントシステムを図3-2に示すようにトンネル坑内と地すべり滑落崖の岩盤斜面に設置した。No. 1のAE観測点はすべり面の近くに配置し、No. 2のAE観測点は地すべりによって損傷を受けたトンネル覆工に配置した。

一方、地すべりの挙動は地下水の上昇に起因することが多いとされることから、地下水供給の要因である降雨量を計測した。降雨量の計測には転倒ますタイプの雨量計を用いた。雨量計は、終点側坑口部に設置した。

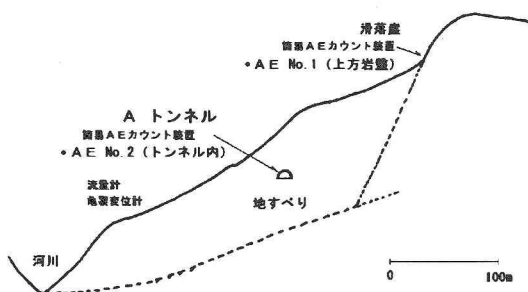


図3-2 計測機器配置の概要図

(3) 計測結果および考察

図3-3および図3-4に地すべり滑落崖のNo. 1観測点とトンネル覆工のNo. 2観測点のAE累積カウントと累積雨量の関係を示した。降雨後にAEが発生する相互関係があるように見える。

図3-3は、1日から2日の間に累積降雨が約300mmに達する集中豪雨での条件下の観測記録である。No. 1のAEカウントは、降雨開始から約12時間経過し発生し始めている。一方、No. 2のAEカウントの発生数は比較的に少ないが、同様の降雨でNo. 1のAE発生から約36時間後に発生している。AトンネルでのAE発生は降雨開始後2日間の遅延時間を有する。このようなAE発生の傾向を示すのは、地下水の浸出に関連すると考えられる。

一方、図3-4は、約10日間において降雨が連続した長雨での観測記録である。この降雨後に、トンネル内の累積AEカウントが急増を示す。

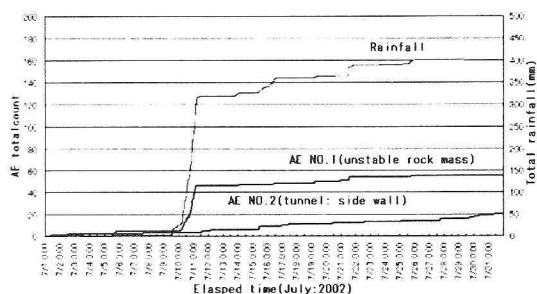


図3-3 降雨と岩盤、覆工におけるAE発生の時間差⁵⁾
(Aトンネル：7月)

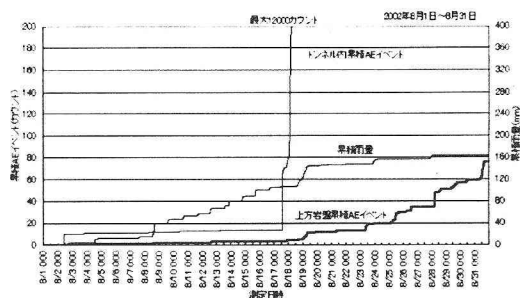


図3-4 降雨と岩盤、覆工におけるAE発生⁵⁾の時間差
(Aトンネル：8月)

4. トルコ・ハバダー町におけるクリープ性地すべりの事例

(1) ハバダー町の地すべりの概要

ハバダー町は、トルコ南西部にあるデニズリー市の西方に位置する人口約5000人の町である。1940年代から写真4-1に示す不安定領域と移動方向を有する地すべりの指摘を受けている。



写真4-1 トルコ・ハバダー町の不安定地域と移動方向²⁾

(2) 計測方法および計測結果

AEカウントシステムを谷に向かって滑っているすべり面近傍の谷底部に設置した。観測期間2002年10月～

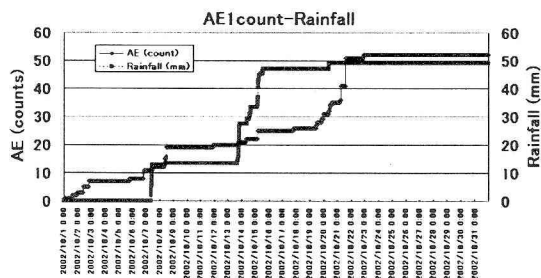


図4-1 降雨とAEトータルカウントの関係
(10月：トルコ・ババダー町)

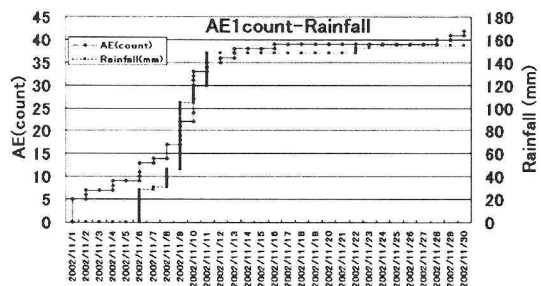


図4-2 降雨とAEトータルカウントの関係²⁾
(11月：トルコ・ババダー町)

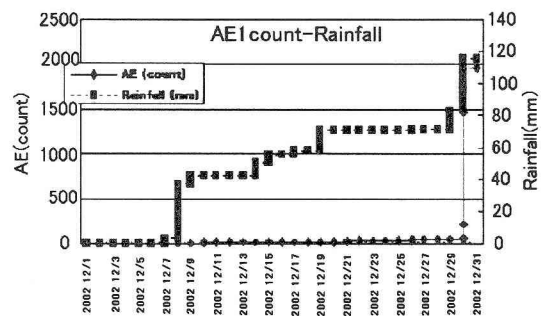


図4-3 降雨とAEトータルカウントの関係²⁾
(12月：トルコ・ババダー町)

12月までの降雨とAEカウント関係を図4-1～図4-3に示した。

図4-1および図4-2においては降雨後に累積AEカウントが増加する傾向が確認される。地すべり末端でのAEカウントは降雨から遅延して発生している。10月では遅延時間が約7日であったが、11月には1～2日程度まで接近する傾向を示し興味深い。しかし、図4-3に示される12月における数回の降雨があり、12月末日まで80mmの累積雨量を記録しているにも関わらずAEカウント数が非常に少ない。そして、12月30日に集中してAEが発生しているが、3ヶ月の間に降雨とAEの対応に変化が見られる。

5. 繰り返し劣化（凍結・融解、乾燥・湿潤）を受けるオーバーハング岩盤の事例

(1) 岩盤斜面のオーバーハング状況

岩盤斜面の規模は高さ約35m、幅70mである。地質は主に新第三紀凝灰岩であり、部分的に細粒凝灰岩や礫質凝灰岩層を含んでいる。AEカウントシステムは、残存している幅8mのオーバーハング部直下で降雨による雨滴の影響を直接受けにくい直壁部分に設置した。なお、岩盤斜面には開口亀裂やオーバーハングしている箇所が多く、これらの対策として根固め工などの対策が施されている。岩盤斜面の状況を写真5-1に示した。

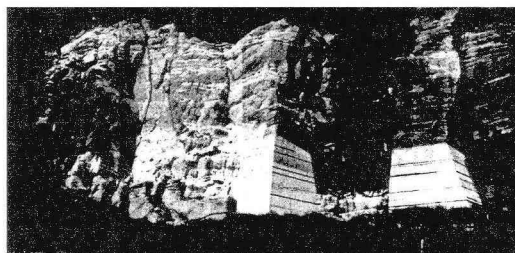


写真5-1 岩盤斜面状況

(2) 計測条件と計測方法

オーバーハング部直下で降雨による雨滴の影響を直接受けにくい直壁部分にAEカウントシステムを設置し計測を行った。AEセンサーの設置状況を図5-1に示した。NBセンサーは、壁面から深度40cmの位置まで削孔しウェーブガイド用いて計測を行った。

なお、降雨量を把握するために岩盤斜面の下方に転倒ます型の雨量計を設置した。

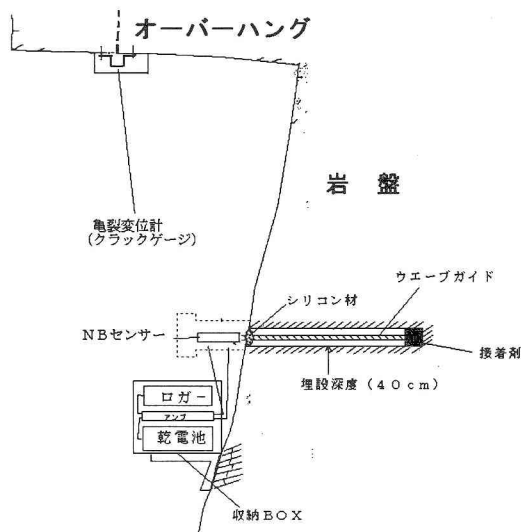


図5-1 計器設置状況図

(3)計測結果および考察

観測期間 2003 年 3 月から 12 月までの記録結果を図 5-2 にまとめて示した。

降雨開始から 2 日ないし 3 日後の 8 月 27 日および 9 月 25 日に AE が急増する関係があることが確認された。

AE カウント発生傾向としては 9 月 25 日以前は、AE 発生数が少なく比較的に不連続であり階段状の増加傾向を示すのに対して、これ以降は AE カウント数が連続し増加する傾向にある。

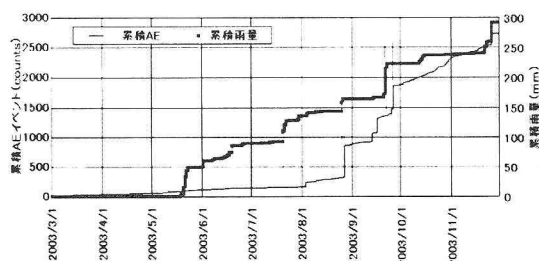


図 5-2 降雨と AE トータルカウント

9 月 22 日降雨終了後の約 3 日後に AE カウント数が急増するなど降雨後 2～3 日後にの AE カウント数が急増している。降雨の浸透などの影響によって発生する AE カウント数であると考えられる。また、当該現場においてもウェーブガイドを用いた AE 計測が有効であることを確認した。

6. 被災後まもない後退性岩盤地すべりの事例

(1) 岩盤地すべりの状況

地質は、新第三紀中新世の女川層の泥岩および凝灰岩を主体とした流れ盤構造である。地すべりは平成 16 年 2 月 8 日 10 時頃に発生しており、降雨と融雪による地下水上昇に伴う不安定化が原因と考えられている。写真 6-1 に地すべりの状況を示した。地すべりの規模は、幅約 170m、長さ 120m、深さ 25 から 30m で、幅約 40m の直線的な陥没帯を伴った岩盤すべりである。地すべりの背後は、同斜構造の地質構造であることが推定され、地すべりの後方拡大が懸念されていた箇所である。

(2) 計測条件と計測方法

岩盤すべりによって形成された滑落崖に地面から約 1m 上の位置にウェーブガイドを埋設し、AE カウントシステムを設置した。計測期間は、8 月上旬に対策工事が本格的に開始したために 5 月上旬から 7 月中旬となった。一方、AE 計測の他に転倒ます型の雨量計、パイプ歪計および孔内水位計を自動計測した。計測機器配置状

況と地すべりの模式断面図を図 6-1 に示す。



写真 6-1 地すべり状況空中斜め写真

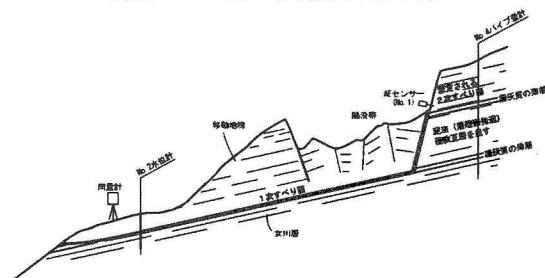


図 6-1 地すべりの模式断面および計器配置状況 6)

(3)計測結果および考察

図 6-2 は、ひずみ量と累積雨量、AE の累積カウント数の関係を示したものである。AE カウントは、降雨に対して約 1 日遅れで急激に発生していることが確認できる。また、AE とひずみの関係は、AE が急激に発生したのとはほぼ同時に、ひずみも徐々に累積する傾向を示している。図 6-3 は、降雨後に AE が急増した 6 月 21 日に着目してデータを詳細 (10 分間隔) に見たものである。示したものである。AE カウントは降雨後に連続して発生している。降雨により岩盤に水が浸透していき、1 日遅れで AE が発生している。局部的なものであるが、岩盤がすべる過程で AE が発生していることが考えられる。

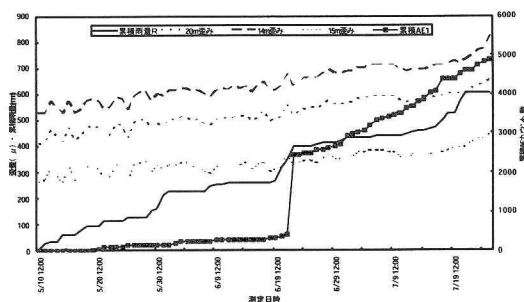


図 6-2 ひずみ・累積雨量と AE 発生状況 6)

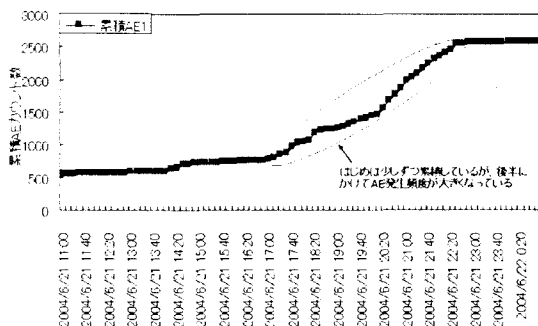


図6-3 6月21日のAE発生状況

7. おわりに

各計測事例によって得られた事項を以下にまとめる。

- (1) AEのカウントのみを長期間記録する、簡便な野外用AE装置を構築した。
 - (2) これらを多くの現場に適用し得られた結果のうち、本文では主として降雨との関係を取りまとめた。
 - (3) 降雨とAE発生関係には多くの場合、時間に位相差をもつ強い相関が認められた。
 - (4) 直接降雨の打撃を被らない現場に置いて同様の傾向を示すことから、これらのAE活動は地盤の微視的な変化を捕捉しているものと考えられる。
 - (5) 本研究によりコストを抑えたAEカウント装置の構築が可能であり、その分計測点を増やすことでより多いAE活動の把握が可能となるものと期待される。
- 今後は、降雨以外の各種パラメータとAE活動の関係を把握するための計測や室内実験を実施する予定である。

謝辞：本報告をまとめるに当たり、種々の便宜を図っていただいた福島県土木部ならびに秋田県秋田地域振興局建設部の関係諸氏、また、トルコ・ババダー町の計測に関して協力頂いた、東海大学アイダン・オメール教授、パムッカレ大学クムッサー・ハシル教授に深甚なる謝意を表する。また、AEシステムの開発には文部科学省科学研究費補助金 (No. 16560436) および学術フロンティア推進事業の助成を受けたことを記し重ねて謝意を表する。

参考文献

- 1) 芹澤恒, 田野久貴：簡易的AEカウント装置の試作と現場への適用, 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要, pp. 334-335, 2003.
- 2) TANO, H. & O. Aydan, et al : The assessment of the Babadag landslide behavior by a simple filed measurement system, Proc. Int. Colloquium on the instrumentation and monitoring of landslides and earthquakes in Japan and Turkey, TANO, H. & O. Aydan (eds), pp. 1-9, 2003.
- 3) 田野久貴, 阿部大志：アクティブ・ダムー法によるAEカウントシステムの構築と応用, 日本応用地質学会東北支部第12回研究発表会講演集, pp. 23-28, 2004.
- 4) 阿部大志, 田野久貴, 渡辺英彦：AEを用いた岩盤すべりの基礎実験と考察, 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要, pp. 420-421, 2005.
- 5) Hisataka TANO, T. Abe, O. Aydan : The development of an in-situ AE monitoring system and its application to rock engineering with particular emphasis on tunneling, Proc. of the 31st ITA-AITES world tunnel congress, pp. 1245-1252, 2005.
- 6) 阿部大志, 田野久貴, 高橋裕樹：AEによる岩盤斜面のすべり挙動把握の試み, 第40回地盤工学研究発表会, pp. 2429-2430, 2005.

DEVELOPMENT OF AN AE COUNTING SYSTEM AND ITS APPLICATION TO FIELD MEASUREMENT

Hisataka TANO, Taishi ABE and Hidehiko WATANABE

An ultrasonic elastic wave caused by fracture of materials is called as "AE". It is expected that such a signal of wave is generated by a movement of landslide and unstable rock mass. A conventional AE system generally requires AC power and is used in laboratory. Therefore, such a system is not useful for long-term measurement in field. So, we are making a simple AE system consisted of main three parts (sensor, amplifier and logger). The logger can records only a rate pulse count so that the counting system is made compactly and economically. Such system has applied to many field studies. In this paper the relation between the AE activities and the rainfall is reported and discussed. The instruments are quite useful for monitoring in the field.