

岩盤急斜面における AE の発生形態

寺岡伸幸* 岡崎健治**

1. まえがき

岩盤急斜面において、しばしば崩壊や落石による災害が発生している。その予知はきわめてむずかしく、従来のひずみ計や傾斜計などによる岩盤の挙動の測定では、多くの場合困難である。

そこで、計測技術が発達しつつある AE (アコースティック・エミッション) 法¹⁾を用いて岩盤急斜面の挙動計測を行い、崩壊や落石による災害の予知の研究を行った。

本文では、これらの AE 計測結果および崩壊や落石の誘因と考えられる気象条件や地震などとの関係について、明らかにできたことがらとそれらに対するいくつかの考察について報告する。

2. 調査個所の地形地質と計測概要

計測は、一般国道 336 号広尾町ルベシベツのルベシベツ第 2 覆道の上の岩盤急斜面で行った。

調査個所の地質は、先白亜紀の塊状砂岩および一部ホルンフェルスを含む砂岩、粘板岩の互層からなる。岩質は硬質であるが、数 cm～数 10 cm の間隔で多数の割れ目が存在する。地形は、比高 160 m あまり平均傾斜 70～80° に及ぶ急崖が海岸沿いに連続している(図-1)。岩盤には多数の割れ目が発達しているため、大規模な崩壊が発生しやすい状態にある。また、落石は頻繁に起こり人災をも引き起こしている経緯がある。このため、岩盤斜面でいつどのような原因で、どの程度の AE イベント(以下、AE とする)が発生しているのかを明らかにするために、1991～1993 年の約 3 年間にわたり AE 計測を行い、必要に応じ随時 AE 波形の記録も行った。また、AE の発生誘因や発生形態を調査するために、気温、岩盤温度、雨雪量の計測も同時に行った。

*地質研究室研究員 **同室員

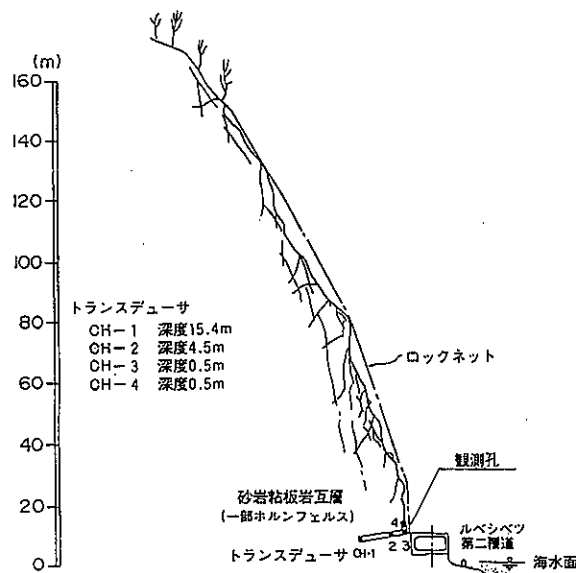


図-1 調査地の地形および AE トランスデューサの位置

3. AE 計測法

AE 計測は、AE トランスデューサを岩盤に直接岩着させる方法と AE トランスデューサを地すべり観測用に開発された AE 計測用ロッド²⁾とともに、岩盤中に埋設する 2 つの方法で行った。図-2 のブロックダイアグラムに本システムにおける信号処理のプロセスを示し、以下に説明する。

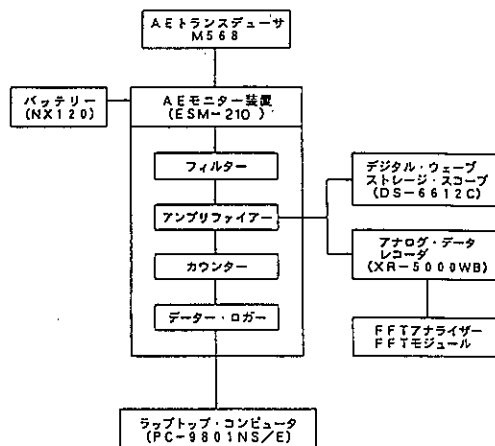


図-2 AE 計測システム

3.1 AE トランスデューサ

岩盤の破壊などに起因して発生したAE波は、その発生源付近では広い範囲の周波数成分で構成されているが、伝播過程で高周波成分がより減衰しやすい。このため現場計測では、伝播してくるAE波の周波数帯域に対して高感度な応答特性を有するトランスデューサを使用する必要がある。本計測ではこの点を考慮し、圧電型の加速度型振動計Marubun M568を用いた。M568は感度2v/g、応答周波数300~5,000Hz(±3dB)、大きさは直径35mm、長さ65mmである。図-3に、本トランスデューサの特性を示す。これは、後述する周波数解析結果より、本測定においては十分な周波数領域の特性を持つものである。

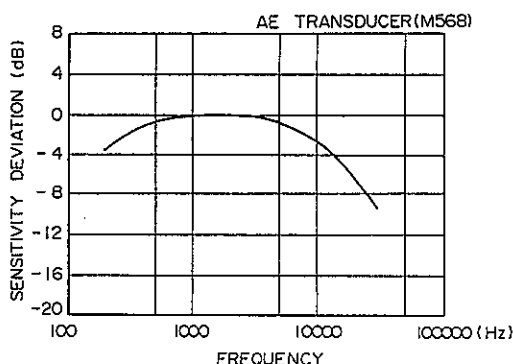


図-3 AEトランスデューサの特性

3.2 AE 計測用ロッド

計測に用いたロッドの構造を、図-4に示す。ロッドはウェーブガイドとしてAE波を伝えるとともに、岩盤の変形や破壊に伴いロッドに変形が生じるとロッド内のロジンが破壊し、AE波を発生する。このAE波を計測、解析することにより、岩盤の挙動の計測が可能である。図に見るように、ロッドは外管、内管の二重構造になっており、外管の直径は76mm、内管の直径は48.6mmであり、上下両端にAEトランスデューサを取りつける構造である。なお、本計測では、現場における岩盤の状態と設置孔の傾斜角度などを検討し、内管のみを岩盤中の設置孔に挿入し、モルタルを充填して内管を直接岩着させた。

3.3 AE モニター装置

図-2のブロック・ダイアグラムに示すよう

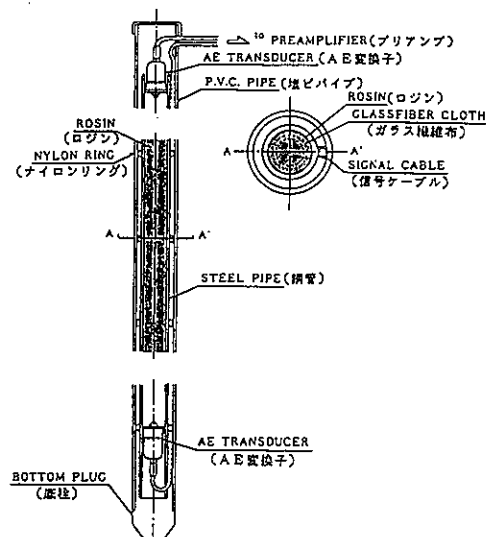


図-4 AE計測ロッドの構造

に、まず、トランスデューサで検出されたAE波は、モニター装置(Marubun ESM-210)に入力され、1~5kHz(6dB/OCT)のバンドパスフィルターおよび40dB(ゲイン誤差3%以下)のアンプによって波形処理をした後、10m・secの不感時間で、しきい値(0.434v)を超えた波形だけイベントパルスに変換して、3分インターバルでその発生頻度を計数した。この計数値はデータロガーにメモリーされ、パソコンにより定期的に回収した。

3.4 AE トランスデューサの配置

図-1に、AEトランスデューサの配置を示す。AEトランスデューサは、CH-1~4の4個設置した。CH-1(深度15.4m)、CH-2(深度4.5m)、CH-3(深度0.5m)は、AEロッドと一緒に埋設した。また、CH-4(深度0.5m)は、AEロッドと水平距離で50cm離して岩盤内に直接埋設した。したがって、CH-1~3は直接岩盤中で発生したAE波とAEロッドを介したAE波を検出するのに対して、CH-4は直接岩盤中で発生したAE波のみを検出する。

4. 現場におけるAEの波形観測

AEロッドに取りつけられたひとつのAEトランスデューサで、岩盤のどの程度の範囲までに発生したAEが捕らえられるか、またどのような周波数のAEが検出されるか斜面崩壊の予

知という点からは重要である。現場において、岩盤崩壊時に発生するAE波の到達距離と周波数を調査する必要があるが、現場の岩盤ではAEトランスデューサから適当な距離でいくつかの岩盤の崩壊を実際に生じさせることはできない。このため人力によるハンマー打撃し、この程度のエネルギーにおいてAE波の到達距離と周波数について調査した。

また、実際現場計測中に捕らえたAE波形の周波数について調査した。

4.1 人力によるハンマー打撃

打撃箇所は、ロッドの埋設位置を中心として-5m(左方向)、0m、+5m、+10mの水平距離とした。図-5に、-5m地点で打撃したときのCH-1,3で捕らえた波形を示す。図の(b)に見るように、-5m地点の打撃では深度15.4mに設置したCH-1でもAE波が捕らえられている。また、+5m、+10m(右方向)での打撃時の波形のうち+5m地点は、各チャンネルに

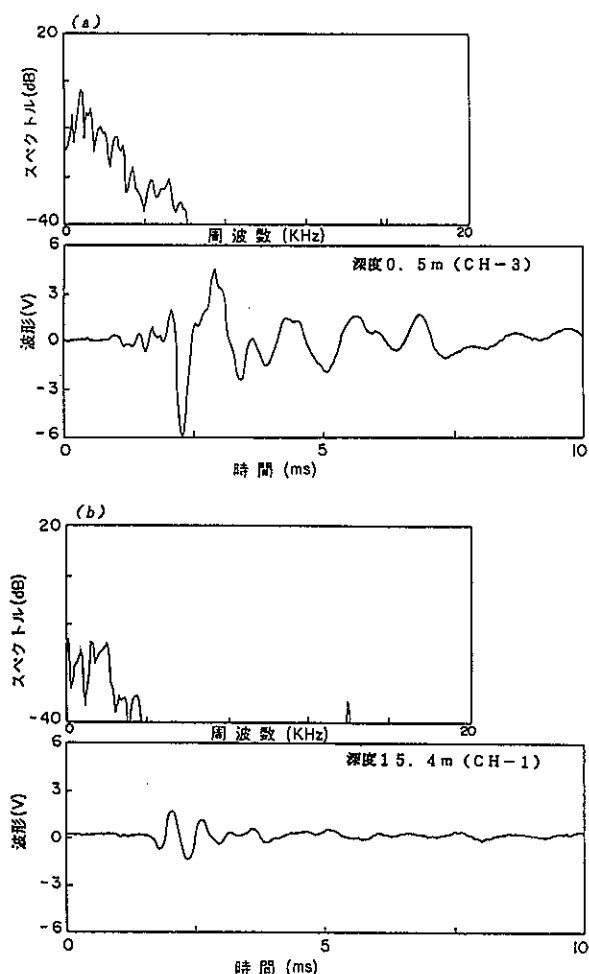


図-5 ハンマーで岩盤を打撃したときに発生するAE

において左方向の打撃時より振幅は小さいが捕らえられていた。しかし、+10m地点の打撃での波形では、振幅はさらに小さく、しきい値を下まわるノイズレベルであった。これより当箇所では、人力によるハンマー打撃程度のエネルギーで発生したAE波は、±5mの距離ではAEトランスデューサに到達するが、+10mでは減衰が著しく到達しない。AE波の減衰は、岩盤に存在する多数の割れ目のためと考えられる。当箇所では、ロッド埋設位置より右側は左側より割れ目が多く、AE波は伝播過程でより大きく減衰したものと考えられる。

4.2 現場計測中のAE波形の周波数解析

図-6に、現場計測中にAE波形記録装置を用いて実際に捕らえたAE波形およびその周波数成分の解析結果を示す。周波数解析は、固有振動数の調査や応力のかかり方の違いによる周波数分布の変化を捕らえるために行った。岩盤中のある地点より発生したと思われるこのAE波形は、図に見るように1事象が約500μsecで減衰している。周波数も低く、岩質材料特有の性質を示している。他に得られたデータも含めて検討しても、実際に測定対象とする周波数は20kHz程度までであり、固有振動数はおよそ15kHz程度である。

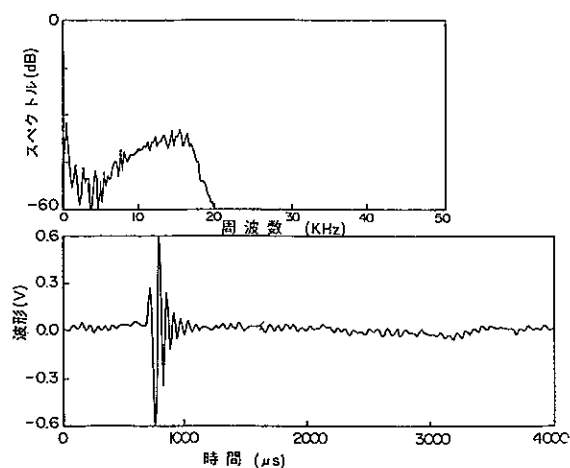


図-6 AE波形とスペクトル

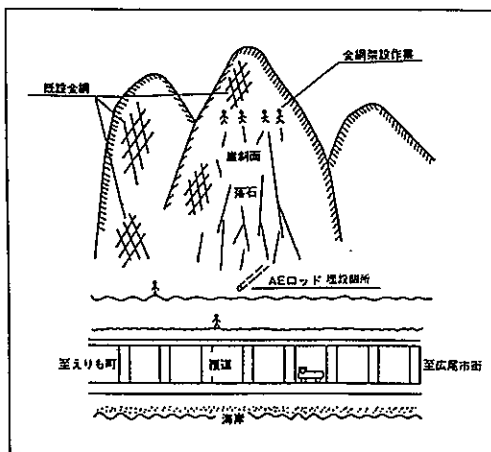
5. 現場における年間のAE計測

現場における年間のAE計測において、AEおよび気温、岩盤温度、雨雪量の計測結果より、AEの発生形態をある程度明らかにできた数例を以下に示す。

また、実際現場における波形観測によると、雨(いわゆる雨音)、波、風、自動車などのノイズはAEとして計数されていない。

5.1 落石とAE

図一7に、金網架設工事状況を示す。図に見るように、4人の作業員がAEロッド埋設個所の真上より行っている金網架設作業とそれに伴う落石状況である。落石は大きさにして直径数cm～数10cmのものが、時間にして93年8月23日、15:00～18:00ころ(作業時間)までの間に頻繁に継続したかなり規模の大きなものである。

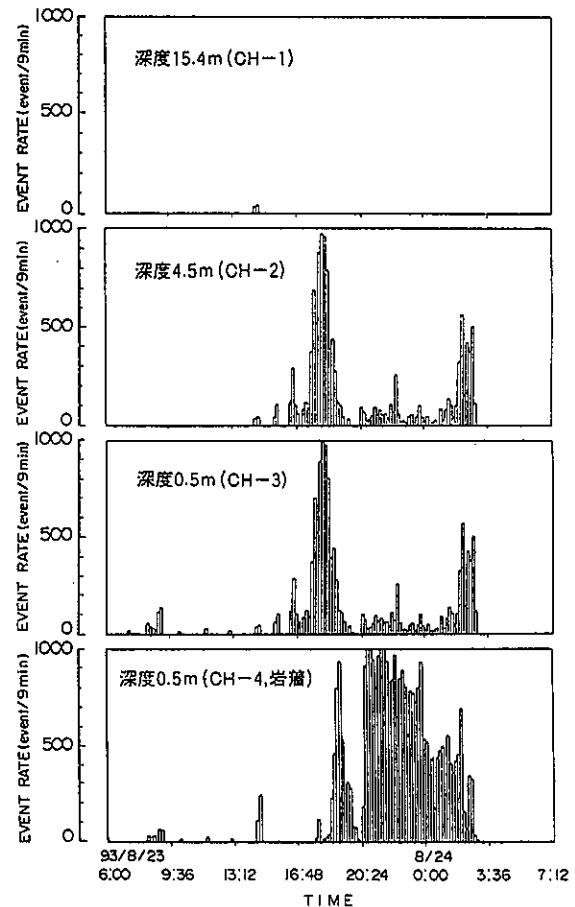


図一7 金網架設状況

また、図一8にその時間帯のAE発生の時系列分布を示す。図より、作業開始による落石とともにAEが発生し、作業終了後も深夜にわたってAEが発生している。さらにAEは、CH-2～4まで同様な発生形態を示し、約1000回/9min発生しているが、CH-1ではまったく発生していない。つまり、当個所では、このように大きな規模の落石が発生しても、岩盤表面の落石程度のエネルギーではAE波は減衰などによりCH-1までは伝わらないものと考えられる。したがって、深夜にわたるAEの発生は、岩盤内部の変化によるものではなく、二次的な落石によるものと考察するのが妥当といえる。

5.2 地震とAE

当個所は全国でも有数の地震多発地帯であり、AE計測期間でも震度3(弱震)以上の地震が3年間で22回観測されている。このような地震の影響による斜面崩壊が懸念されているため、地



図一8 落石とAE

震時にAEがどのように発生しているかを調査した。

図一9に、地震時に発生したAEの代表例を示す。図一9の(a)の地震は、91年6月13日、5:12発生、震度3で、(b)の地震(釧路沖地震)は、93年1月15日、20:06発生、震度5である。これらの地震発生時間は広尾測候所内の地震計で観測したものであるが、当個所との到達時間差は距離からしても数秒($P=7\sim8\text{km/s}$, $S=3\sim4\text{km/s}$)であり、発生時間はほぼ一致している。(a)の地震は、地震の継続時間を考慮しても、その発生時の前後の時間にはAEの発生は見られない。また、その他の震度4以下の地震でも同様である。しかし、(b)の地震(釧路沖地震)は、図に見るようにCH-2～4においてAEが地震発生とほぼ同時にそれぞれ50～60回/3min発生している。しかし、この規模の地震が発生しても、CH-1にはAEの発生がない。

これらの結果より、釧路沖地震以外でAEが

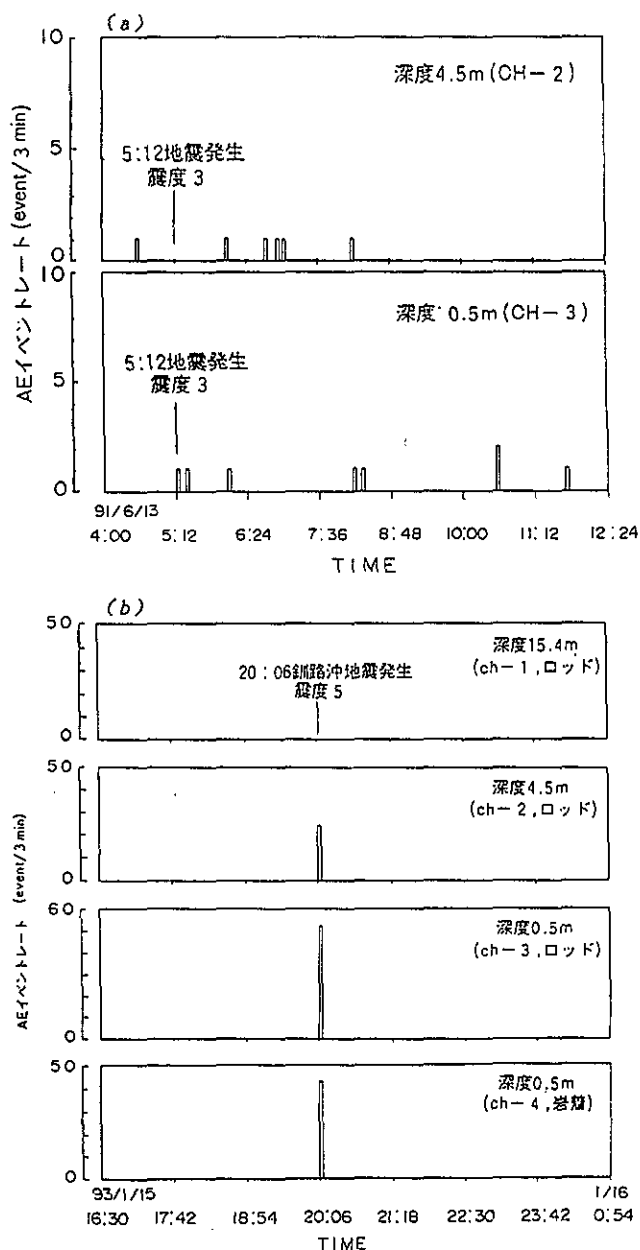


図-9 地震とAE

発生していないのは、地震波自体の固有振動数が一般に数Hz程度で、AE データロガーのバンドパスフィルターにより除去されるため、当然 AE としては計数されない。しかし、釧路沖地震では、当個所で震度5という大規模な揺れに伴い、崩壊および落石などが生じ、このような現象にいたったものと考えられる。さらにCH-1でAEが発生していないことを考慮すると、前述の落石の例のように岩盤表面付近で発生したものと考えられ、岩盤内部の変化によるものよりも、特に、落石の可能性が大きいと推定される。

5.3 雨量とAE

現在当個所は、降り始めからの積算雨量が80mmを超える場合、交通規制が行われているため、雨量とAEの関係を調査した。図-10に、AE発生と降り始めより短期間で50mm以上積算雨量があったときの雨量の関係を示す。

図の(a)は、降り始めより約60mmの積算雨量がある。降り始めより約2～3時間後にAEが発生し始め、降雨の終了とともにAEの発生は終了している。また、岩盤表面付近のCH-3、4のみにAEが発生している。しかし、相対的にAEは少なく、他に得られたデータを含めても降雨のみでは、この程度のAEの発生である。図の(b)は地震が発生した後に、降り始めより約150mmの積算雨量がある多雨の例である。91年8月20日の7:30に震度1の地震が発生した後、91年8月21日の5:00ころより雨が降り始め、降り始めより5時間、雨量にして50mm程度でAEが急増している。また、図の(c)は(b)と同様であるが、積算雨量にして250mmを超えたころからCH-1,2までAEが発生している。雨量も多いが地震を伴うと1～4CHにまでAEの発生が及んでいる。さらに図の(d)は、降り始めより約70mmの積算雨量があり、図の(a)と同様に降り始めより2～3時間後にAEが発生し始めているが、地震発生とともにAEは急増している。

これら図示した4つの例と他に得られたデータも含めて総合的に考察すると、降雨のみの場合と降雨中およびその前後に地震を伴う場合では明らかにAEの発生形態が異なる。降雨のみの場合は降り始めの雨による影響で、岩盤表面付近の緩んでいる岩盤からのAEの発生が考えられる。また、長時間、雨が続くことにより浸透水の影響で岩盤内部に変化が生じ、それに伴うAEの発生が考えられる。一方、これに地震を伴うことにより、これらの現象が助長されて急激なAEの増加につながっていると考えられる。また、全体的に岩盤表面付近に設置したトランスデューサ(CH-3,4)でAEが多く計測されている。しかし、図の(c)のような規模の地震と雨量の場合には、CH-1,2までもAEが及んでおり、さらにこれらの現象が助長され岩盤内部に変化が生じ、それに伴うAEの発生と考えられる。これらの地震と雨の影響は、図の(d)

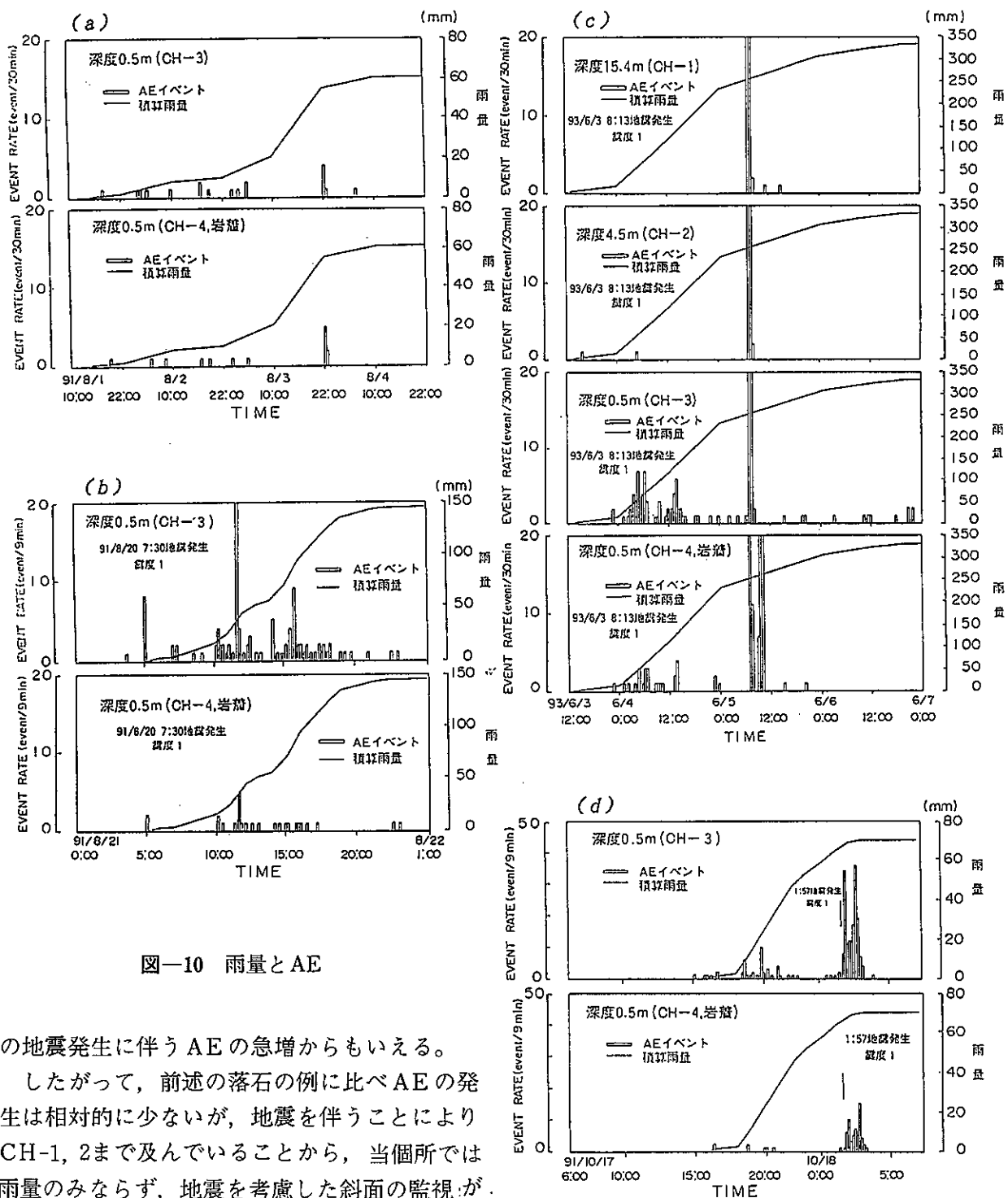


図-10 雨量とAE

の地震発生に伴うAEの急増からいえる。

したがって、前述の落石の例に比べAEの発生は相対的に少ないが、地震を伴うことによりCH-1, 2まで及んでいることから、当該所では雨量のみならず、地震を考慮した斜面の監視が必要と考えられる。

5.4 気温および岩盤温度とAE

岩盤斜面におけるAEの発生形態は当然地域により異なるが、同様な計測を行った上川町層雲峡地区では一般に凍結した岩盤が融解する5～6月に多発している^{3), 4)}。

一方、当該所では、地震や雨の影響が大きいいため、AEの発生は年間を通じて顕著な特徴はなく、冬季の平均気温や岩盤内温度が0℃以下になることが少ないことから、当初は岩盤の凍

結融解が少ないと考えられた⁵⁾。しかし、岩盤の融解時期は、1991～1993年のいずれも4～5月であり、この時期においてAEの多発現象が見られる。

図-11に、1993年4～5月のAEの多発現象を示す。図に見るように、AEはCH-1～4の全チャンネルにおいて同様な発生形態を示し、10000回弱/2.5h発生している。これは、計器の故障によるノイズや工事はもちろん、地震およ

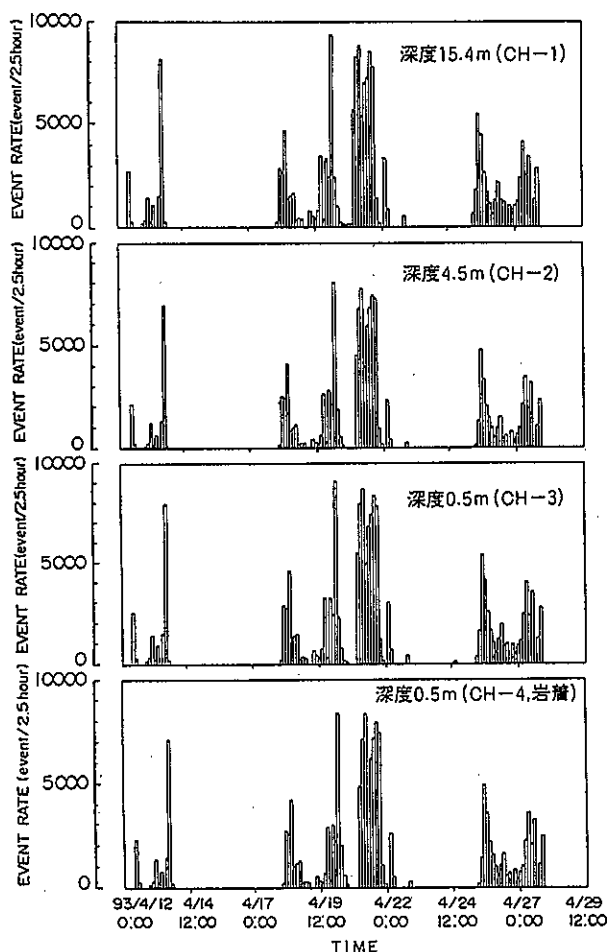


図-11 融解期の AE

び雨の影響もほとんどない期間である。これらを考慮し、本計測における他のデータも検討しても、このようなオーダーの多発現象はない。つまり、このような多発現象が全チャンネルに及んでいるということは、岩盤内部でかなり大きい変化が生じたためと考えられる。さらに、1991年および1992年も多少のずれはあるものの、この時期に同様な現象が見られ、自然の岩盤斜面における現象であることを考慮すれば非常に類似しており、この時期特有の発生形態と考えられる。したがって、当個所においても岩盤の融解に伴う岩盤内部のなんらかの変化による AE の発生と考えられる。

また、全チャンネルにおける突出した AE の

発生より、この時期に当岩盤斜面は不安定化が促進されたものと推測される。

6. あとがき

当個所の AE の年間計測において実際に岩盤斜面が大崩壊し、その前後の AE 発生形態を探究することができれば、斜面崩壊予知の可能性が大きい。これはあくまでも自然現象なので不可能に近い。しかし、これまでに雨量、地震、温度などの影響による AE 発生形態を、ある程度明らかにすることができた。

また、現在、現地試料を用いた室内でのモデル実験より、主に破壊過程における AE 波の固有振動数の変化などの研究を行っている。これらを明らかにできれば、現地でも同様な現象が起きていることが推定されるため、今後、AE のみならず AE 波の観測を含めて研究を進めていきたい。

最後に、AE 計測にあたり御指導いただいた北海道大学工学部の中島巖教授、また、調査で御世話になった帯広開発建設部の関係各位に対し、厚く御礼申しあげる。

参考文献

- 1) 大津政康：アコースティック・エミッションの特性と理論，森北出版，1988年。
- 2) NAKAJIMA, Iwao et: The observation of landslide by the acoustic emission monitoring rod, Proceedings of 9th international acoustic emission symposium, 1988.
- 3) 根岸正充ほか：層雲峡溶結凝灰岩における斜面崩壊形態と AE による崩壊予知に関する基礎研究，開発土木研究所月報 No453, 18-28, 1991.
- 4) 佐藤孝司ほか：AE による岩盤急斜面の挙動計測，第35回北海道開発局技術研究発表会，1992.
- 5) 岡崎健治ほか：AE による岩盤急斜面の挙動計測(その2)，第36回北海道開発局技術研究発表会，1993.