

## 73 斜面崩壊前兆現象に関する基礎実験

建設省土木研究所 ○杉原忠弘  
中村良光  
工藤賢二

### 1. まえがき

これまでに研究されてきた斜面崩壊前兆現象を崩壊予測の要因とする主要な手法には、①地表面変位及び移動速度 ②地中ひずみ ③間隙水圧 ④破壊音（AE）<sup>1)</sup>によるものがある。

この中でAEによる崩壊予測は、斜面変形量の計測といった外的現象の予測手法に対して土塊の内部構造の変化量を音として計測する微視的現象からの予測手法であると位置づけられ、より早い段階でAEをとらえ崩壊予測の指標として評価手法が確立されれば、有効な予知手段となる。

本研究では、降雨による斜面崩壊実験を行い、一連の崩壊過程で発生するAEの測定を試み、測定したAEの特性、地表面移動量との関連について報告する。

### 2. 実験の概要及び計測

斜面崩壊実験は、供試土として山砂（シルト混じり砂比重2.69）を用いて斜面勾配55度の模型斜面を作成し降雨強度10mm/hの散水を崩壊するまで継続した。今回実験に用いた模型斜面（長さ2m×幅1.5m×深さ0.7m）の概略と計器埋設位置を図-1に示す。

音の検出方法としては、周波数範囲20Hz～100KHzのマイクロホンを用いて地盤内で発生する音を直接検出する方法と地盤内に埋められた検出体が発生する二次的な音（二次発生音）を検出する方法を採用した。各検出器の構造、設置方法は、次のとおりである。

#### ① 直接検出方式 A型

地盤内に上部が解放された樹脂製容器に小石を満たしその間にマイクロホンを入れ、さらに容器中に水を満たしマイクロホンが水を媒体として地盤と接触する構造とし、斜面実験槽の底部に埋設した。

#### ② 直接検出方式 B型

マイクロホンを入れた内径16mm、長さ200mmのビニールホースに水を満たして密封し、地盤内で発生するAEの集音範囲を広げる構造とし、すべり面と平行に埋設した。

#### ③ 二次発生AE検出方式

②と同じ長さのビニールホース内に直径3mmの発砲スチロール粒を満たし、マイクロホンを封入したものとすべり方向に対して直角に埋設し、ホースのひずみによって生じるスチロール粒の摩擦音を検出する構造とした。

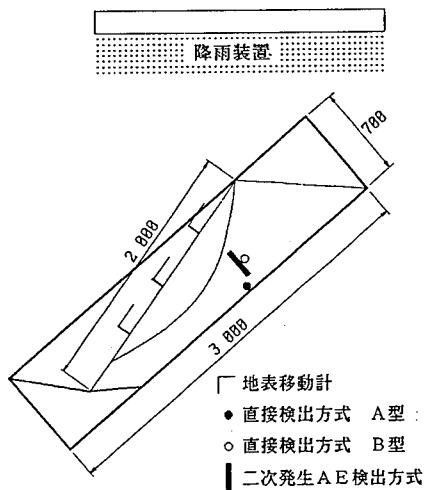


図-1 模型斜面と計器埋設位置

A E の収録及び解析方法のフローチャートを図-2に示す。解析方法については、収録されたA E をデータレコーダーによって再生し原波形の波高から、経過時間とA E 発生状況、周波数帯域とS/N比の関係等を調査した。またA E 発生度数の解析を行うためにデータレコーダーによって再生された原信号を任意の周波数帯成分に分離し、波高検出回路によって一定波高以上のパルスを整形した後にカウンターで計数しパソコンで度数分布を解析した。

### 3. 解析結果

斜面土層は、散水開始後60分過ぎから移動が始まり160分頃にヘアクラックの発生とともに加速しながら230分に崩壊した。この一連の崩壊過程の中で各検出器がとらえた崩壊前後のA E の波形記録を図-3に示す。

この実験でとらえたA E 波形の基本的パターンは、次のとおりである。

①断続的に発生する破裂音が主体であり、A E の振幅は千差万別であるが崩壊が近くにしたがって振幅の大きい波形が多くなる。

②散発的に発生するA E の多くは2~5周期程度持続する破裂音的な性格を持つものが多く、地盤のひずみ量が増し、A E 発生頻度が増大してくると音の持続時間が長くなり崩壊数分前には連續音になる。

③、持続時間が増大するに従って振幅が増す傾向を示す。これは音源が多くなるに従って個々の波形が重なりあい、パワーも増大するためであると考えられる。

次に各検出器で得られた波高記録の特徴は、次のとおりである。

①直接検出方式の周波数成分は低域(45 Hz中心)から高域(2.8 kHz中心)付近の広域にわたっており、帯域レベルとしては355 Hz中心以下が主成分である。卓越した波高値と暗騒音の比(S/N比)はマイクのみを用いた直接検出方式A型が、直接検出方式B型よりやや高い。これは、地表面から検出器までの深さに関係していると思われることから地表面で発生する降雨音の影響と見られる。

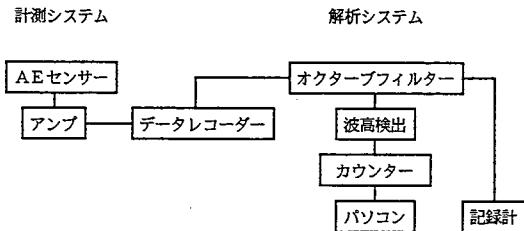


図-2 A E 測定及び解析フロー図

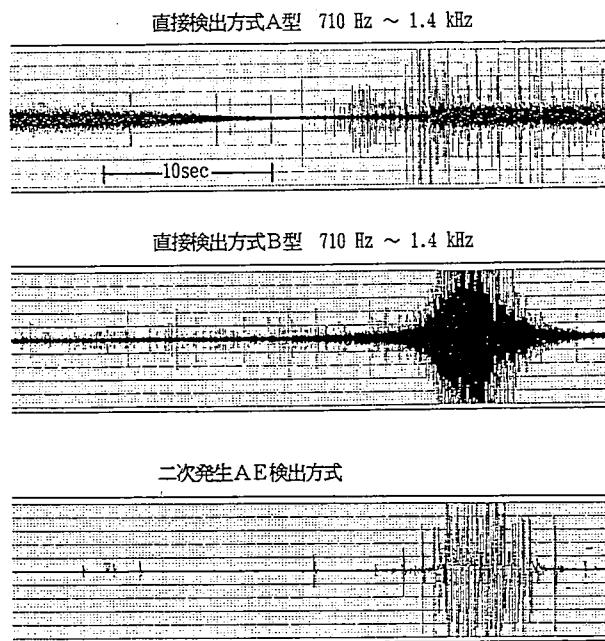


図-3 各A E 検出器がとらえたA E 波形

②二次発生方式では、1 KHz 以下の測定範囲ではあるが、暗騒音が極めて小さいこと、地盤との関係がないこと等から S/N 比は極端に高く、周波数成分についての検討は今回の実験では行わなかった。

この AE の発生状況について地表面移動量との関係を調査するために単位時間内に発生する AE の発生度数、及び累積発生度数で評価した。この場合、検出された信号の波高値の高低は連続的に分布しており、しきい値の定義次第で異なる解析結果が得られる可能性が大きいが、暗騒音の約 2 倍程度を AE と関連のある有為なレベルと仮定して解析を行った。

一連の崩壊過程における AE の累積発生度数の解析結果及び地表面移動量の関係を図-4 に示す。

この図から、地表面移動量は定常状態から加速度的な動きへなめらかな増加を示している。これに対して直接検出方式 A 型の AE の累積発生度数分布は、段階的に発生度数の増加がみられ、170 分過ぎから急激な増加を示し地表面移動量とほぼ相関した形となっている。直接検出方式 B 型でも段階的な発生度数の増加がみられるものの A 型ほどではなくほぼ定常的な増加傾向を示す。これは、前述した S/N に関係しているものと思われる。直接検出方式に対して二次発生 AE 検出方式では、地表面変位がある程度進行した時点で急激に AE が発生しており、その後ある程度定常状態を保った後に顕著な発生度数の増加がみられる。このことから、二次発生 AE 検出方式で AE が発生する時点及び増加する時点は、ビニールホースにひずみを起こさせる応力状態に達した時点と考えられる。

次に AE の単位時間内発生度数と地表面移動速度の関係を示したものが図-5 である。この図から地表面移動速度は、定常的な速度変化を段階的に示した後に加速度的な変化に移行している。直接検出方式では 180 分以降を 3 次クリープとした場合、その時点までは移動速度が増加するにしたがって発生度数が増加する傾向がみられ速度と発生度数に概ね相関がみられる。この速度変化のそれぞれの時点で発生度数が顕著に増加する傾向があり、特に直接検出方式 A 型では 3 次クリープ開始時点で顕著な発生度数の増加を示す。この時点を過ぎると発生度数が低下しその後顕著な増加が継続する。これは、一時的に移動速度が定常状態となる時点がありこの変化が AE の発生度数の低下に結びついたものと思われるが、今回の解析では、明らかにできなかつた。直接検出方式に対して二次発生 AE 検出方式における発生度数の特徴としては速度変化時点にお

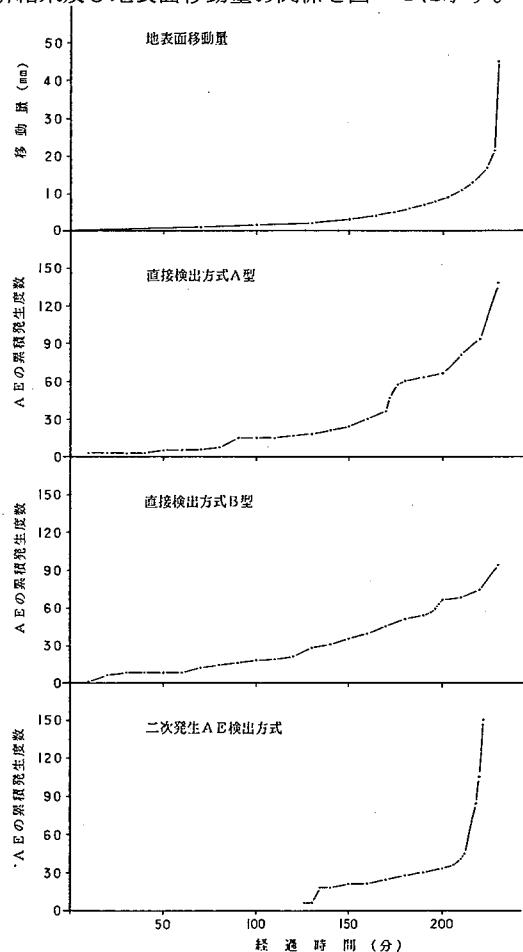


図-4 地表面移動量と AE 累積発生度数分布  
この図から地表面移動量は定常状態から加速度的な動きへなめらかな増加を示している。これに対して直接検出方式 A 型の AE の累積発生度数分布は、段階的に発生度数の増加がみられ、170 分過ぎから急激な増加を示し地表面移動量とほぼ相関した形となっている。直接検出方式 B 型でも段階的な発生度数の増加がみられるものの A 型ほどではなくほぼ定常的な増加傾向を示す。これは、前述した S/N に関係しているものと思われる。直接検出方式に対して二次発生 AE 検出方式では、地表面変位がある程度進行した時点で急激に AE が発生しており、その後ある程度定常状態を保った後に顕著な発生度数の増加がみられる。このことから、二次発生 AE 検出方式で AE が発生する時点及び増加する時点は、ビニールホースにひずみを起こさせる応力状態に達した時点と考えられる。

ける発生度数の増加が顕著であるが定常速度の範囲ではその後低下する。

以上のことから今回の実験では、定性的な評価ではあるが、地表面移動速度とAE発生度数に概ね相関があること、地表面移動速度の変化時点にAE発生度数の相対的に顕著な増加がみられ、特に加速度変化時点後に顕著な増加が継続するという点がAEによる崩壊前兆としての傾向であった。

#### 4.まとめと今後の課題

本実験では、AEの測定について直接検出方式、二次発生AE検出方式を用いて地盤内及び検出体が発生するAEと地表面移動量との関係について解析を行った。直接検出方式では、測定された周波数帯域が全域にわたっており、その主成分は355Hz以下が中心であった。これをS/Nで見た場合A型がB型に比べS/Nが高い結果が得られたが、これは地表面からの設置深さとの関連もあると考えられることから、同一深度に設置して評価する必要がある。

さらにこれを実用化するに当たっての重要な要素は、従来から言われているとおり降雨、風、雷音、交通混雑等とAEの関係であると思われる所以、S/N比の改善とともに現地における地盤内の音を調査することが必要である。

直接検出方式に対して、二次発生AE検出方式のメリットは、S/Nが高くAE検出に不安がないことであるが地中ひずみ等の検出手段との優位性が不明であり、AE検出感度の向上とともに今後の課題である。

次に、現在一般的に崩壊予測に用いられている地表面移動量とAE発生度数との関係について解析したところ地表面移動速度とAE発生度数にはある程度相関がみられ崩壊予測の可能性を示唆する結果が得られたが、崩壊現象に結びつくAEの指標を評価するためには、土質、含水比、斜面の構造、崩壊形態、植生などによるAEの発生形態や周波数成分について検討する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 谷本喜一、田中泰雄：アコースティック・エミッションによる斜面崩壊の予知について  
マサ土地帶における土砂災害の予測と防止に関する研究、文部省科学研究 昭和61年

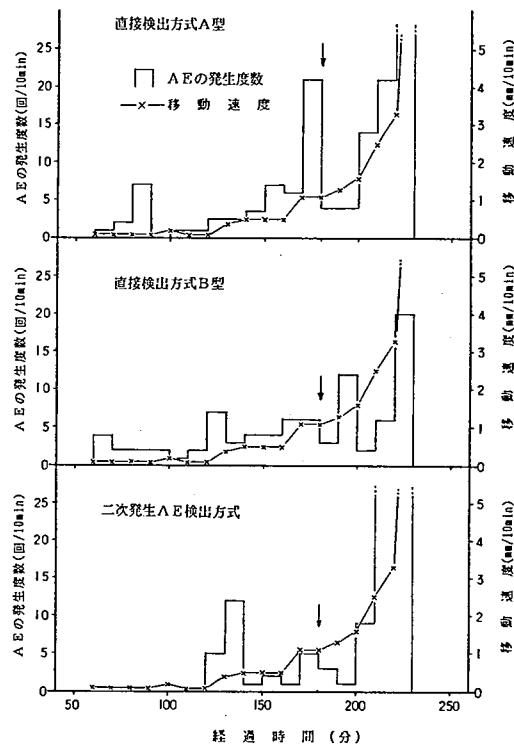


図-5 地表面移動速度とAE発生度数分布