

模擬岩盤の破壊にともなう AE アクティビティ

飛島建設技術研究所 正会員 塩谷智基, 正会員 三輪 滋
北海道開発局開発土木研究所 正会員 池田憲二, 正会員 日下部祐基
構研エンジニアリング 正会員 川瀬良司, 正会員 塩野 康浩

はじめに 地盤や岩盤の微小振動 (AE) が終局破壊の予知予測の一助となるよう期待・研究¹⁾されている。この分野の AE 適用は、1940 年代に Obert ら²⁾により鉱山に適用されたのを創始とし、その後も多くの研究者により検討・報告されてきた。彼らが報告した AE 現象は、「発生数の大小」が議論の骨幹をなし、現在のデジタル信号処理 (DSP) 技術を応用した計測装置での AE 計測・解析に完全に適用できる成果とはいえない。一方、岩盤斜面における AE 特性と岩盤の挙動を比較した事例は少なく、例えば、「どの程度のひずみレベルに対応した、どの程度の AE 信号が得られるか」という問題に対し、即答できない現状がある。本論文では、DSP からなる AE 計測装置を模擬岩盤斜面の破壊実験に適用し、得られる AE 特性と岩盤挙動を比較検討し、現在の AE 計測の適用性を検討する。

機器配置 図-1 に示す模擬岩盤は、高さ 5 m の RC 橋脚を心材とし、周辺に小岩塊 (ϕ : 30~50 cm), 1 : 0.3 の勾配に積重ねた大岩塊 (ϕ : 100 cm) から構成され、間隙は低強度のエアモルタル ($\sigma_c = 0.5 \sim 0.6$ MPa) で充填される。大岩塊の底盤は鋼製ステージを介し 6 組の油圧ジャッキにより支持される。ステージ降下で、岩塊自重と岩塊せん断強度に依存した破壊面の進行が模擬可能となり、ステージ上昇で、強制変位や荷重が与えられるときの破壊面の逐次進行が模擬できる。AE 計測は、一般的に行われるウェーブガイド^{3) 4)} は用いず、4 個の AE センサ (40dB

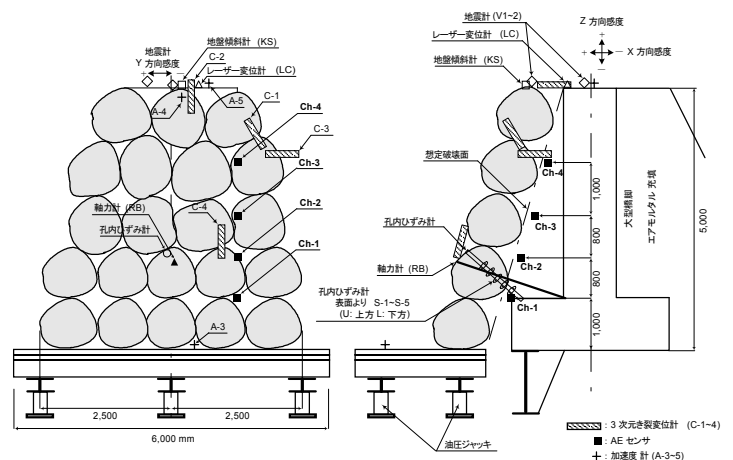


図-1 模擬岩盤の概要と計測器械配置図

プリアンプ内蔵) を想定破壊面を挟み、15cm~20cm 不動岩塊側に底部より設置して行った。AE 信号は、DSP からなる MISTRAS AE 計測システム (PAC 社製) で AE パラメータと AE 波形 (1 MHz sampling, 2 kword データ長, 10 ms 休止時間) を同時収録した。AE 以外に、3 次元き裂変位計、傾斜計、孔内ひずみ計、温度計、速度計、加速度計などが図-1 のように設置されている。

実験概要 実験は、**実験 1)** 運動岩塊下部のステージ降下・上昇による実験、**実験 2)** 岩塊周辺または、岩塊自身をバイブロハンマーで加振する実験、**実験 3)** 実験 1), 2)後に剥離岩塊を除去、その後、斜面上部にウエイトによる載荷と心材橋脚を加振する実験である。本論文では、紙面の都合上、実験 1), 2)を中心に述べる。

実験結果および考察 図-2 に実験 1 のステージ降下より得られた累積 AE 発生数、沈下量、最も大きな値が得られた孔内ひずみ計 S-1 の経時変化を示す。同図より、初期のステージ降下で最下部の AE センサ Ch-1 の AE 発現が認められる。その後、13 mm までの降下が与えられたが、Ch-1 のみの AE 発生となった。一方、ひずみも AE と同様に初期のステージ降下で増加するが、急増点は AE に比べ遅れる傾向であった。得られた累積 AE 発生数とひずみ (S-L-1) を比較すると、「1 つの AE 発生は、“0.1~0.2 μ ” のひずみ」に対応していた。図-3 に AE リングダウンカウント、AE エネ

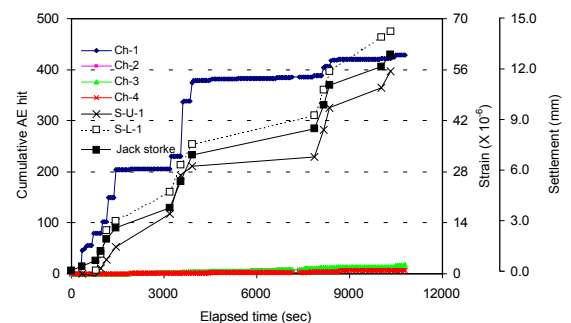


図-2 累積 AE 発生数・沈下量・ひずみ

ルギーの 100 データ移動平均値を示す。両パラメータとも初期沈下に対応した著しい増加が認められ、最大値に至った 1400 秒後、急激低下する。300 以上の AE エネルギーを励起させた破壊現象は、既往の研究⁵⁾より、主にせん断破壊が生じる材料の終局状態といえ、Ch-1 付近の材料は、エネルギーの最大値付近で限界状態に達し、直後に大規模な局所破壊を生じた可能性が高いと考えられる。実験 1 のステージ上昇までに得られた AE 位置標定結果を図-4 に示す。白円がゾーン標定、網掛円が位置標定結果を示す。2200 秒後にゾーン 1 で AE 源が数多く得られ、2400 秒から 2500 秒にゾーン 2、そしてゾーン 3 への AE 源の移行が認められ、下部から上部への局所破壊の進展が AE 源より観察される。さらに、2800 秒に大規模な AE 源がゾーン 1～ゾーン 3 に連続的に認められることから、それまでに形成された破壊面に沿い 2 段階目までの岩塊が連続的に変形したものと考えられる。

図-5 に 2 段階目岩塊に設置した孔内ひずみ計の経時変化を示す。(a)～(b)のステージ降下により不動土塊に設置した S-U-5 でマイナス（圧縮）のひずみが得られ、運動土塊中にある S-U-1～S-U-4 でプラス（引張）が得られる。この傾向は、岩塊が斜め下方に変形したことを示すが、ひずみの変化傾向は、ステージの降下に追従しておらず、一時的挙動と考えられ、ステージと岩塊間に隙間ができた可能性が高い。(c)～(d)のステージ上昇過程にひずみの変化は認められず、上述の隙間の存在が明らかとなる。ひずみが再度変化する 2100 秒に岩塊とステージは接触し、ひずみの変化傾向が転じる 2400 秒以降で全ひずみがプラス（引張）となり、大規模な破壊の進展および岩塊の移動開始が推察される。これらひずみより推定された岩盤内部の破壊は、AE 源推移より判断された破壊挙動と合致していた。破壊の進展は、改良 b 値⁶⁾解析でも同様な傾向⁷⁾が得られている。図-6 に実験 2 の Ch-1 で得た AE のリングダウンカウント (Rc) とエネルギー (En) 移動平均値をステージ上の加速度波形とともに示す。各平均値ともに、特徴的な周期性が認められ、局所破壊時に比べ、エネルギーが 3 倍以上の 1200、リングダウンカウントが 2.5 倍以上の 40 となった。リングダウンカウントは別紙⁷⁾に譲り、エネルギー変動より、岩盤の終局破壊開始を与える AE エネルギーは 400 以上であるといえる。また、加速度初動と AE 発現を検討した結果⁷⁾、50 gal の起振力が AE 発現の下限値となった。

結論 1) 実験 1 で得た AE とひずみより、1 つの AE は $0.1\sim0.2\mu$ のひずみに対応していた。2) AE エネルギーや改良 b 値が局所破壊の評価に有効であった。3) 岩盤表面の変状前に、岩盤内部で局所破壊が生じ、これらは AE 法により定性的に判断できた。4) 潜在き裂を有する岩盤では、加速度 50 gal が AE 発現の下限値となった。5) 岩盤の終局破壊開始を与える AE エネルギーは 400 以上であった。

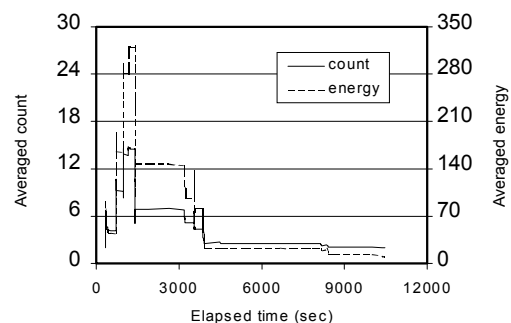


図-3 累積 AE 発生数・沈下量・ひずみ

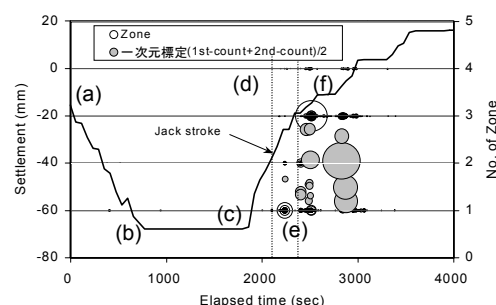


図-4 沈下量と AE 位置標定結果

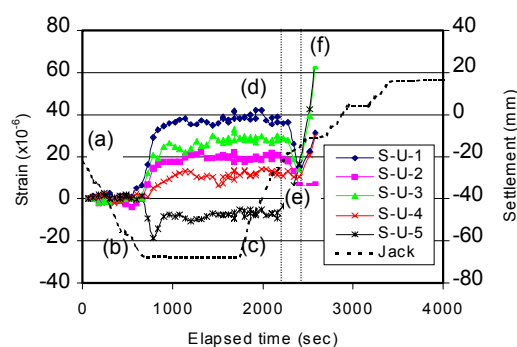


図-5 ひずみと沈下量

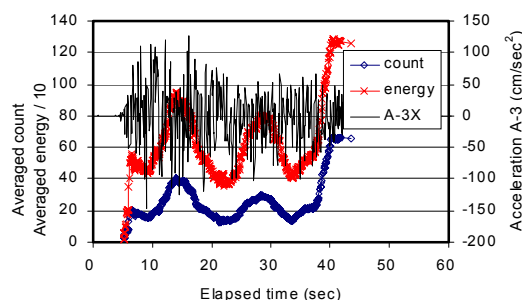


図-6 加振による平均 Rc と平均 En 挙動

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, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 56 号(A), pp. 792-797, 2000. 2) Obert, L., "Use of Subaudible Noises for Prediction of Rock Burst," Report Invoice 3555, United States Bureau of Mines, 1941. 3) 塩谷智基・青木朋也・藤井清司・天羽恵子:AE 斜面崩壊予測におけるウェブガイド設置方法, 第 29 回土質工学研究発表会講演概要集, pp. 1817-1818, 1994. 4) Shiotani, T. and Ohtsu, M., "Prediction of Slope Failure Based on AE Activity," ASTM, Acoustic Emission: Standards and Technology Update, ASTM STP 1353, S. J. Vahaviolos, Ed., pp. 156-172, 1999. 5) Shiotani, T., Miwa, S. and Ohtsu, M., "Detection and Evaluation of Acoustic Emission due to Rock Slope Failure," An International Conference on Geotechnical & Geological Engineering (GeoEng 2000), submitted. 6) Shiotani, T., Fujii, K., Aoki, T. and Amou, K., "Evaluation of Progressive Slope Failure Using AE Sources and Improved b -value on Slope Model Tests," JSNDI, Progress in Acoustic Emission VII, pp. 529-534, 1994. 7) 池田憲二・日下部祐基・塩谷智基・三輪滋:模擬岩盤斜面での岩盤変状と AE 計測, 土木学会北海道支部論文報告集 第 56 号(A), pp. 802-807, 2000.