

神戸大学工学部	正会員	田中 泰雄
神戸大学工学部	正会員	谷本 喜一
神戸大学大学院	学生員	籠谷 直也

1. まえがき

外力によって土が変形すると、粒子間結合の変化や粒子相互の移動が生じ、それによっても一般に土の音響エネルギーが放出されることが知られている(アコースティック・エミッション; AE)。これまで、先行圧縮を受けた砂質土の三軸せん断中のAE特性について研究してきたが、AE計測によって変形が弾性状態から塑性状態に転ずる様子が明瞭に示されることが判明した。

土の変形は一般に体積ひずみとせん断ひずみの2成分に大別されるが、本研究では、土の変形とAEとの関係を明確にするため、変形初期における両ひずみ成分の変化とAEとの関係について検討した。

2. 実験方法

六甲山系から採取したまさ土を用い、ゆる詰め状態($\rho_s \approx 1.6 \text{ t/m}^3$)の飽和供試体を作成して次のような三軸試験を実施した。一つは側圧一定条件の圧縮または伸張試験であり、他の一つは平均主応力一定条件の圧縮または伸張試験である。何れの場合も供試体に先行圧縮を与えるために、まず所定の応力(6 kgf/cm^2)にまで等方圧密した後に除荷を行い、目標の過圧密比(O.C.R.)に達してから三軸せん断を行った。なお、平均主応力一定試験については、体積変化量に対するメンブレン貫入量の補正を行っている。一方、せん断中のAE計測は三軸ペダスタルに組み込まれたAEセンサーにより行っているが、装置の詳細については既報の論文¹⁾を参考にされたい。

3. 実験結果および考察

等方圧密過程において得られた $e \sim \log p$ 関係とAE特性を示すと図-1のようである。圧密は段階载荷によって行われ、各段階において応力を 0.4 kgf/cm^2 ごとに増加しその応力状態を2分間保っている。AE特性として、各段階におけるAE計数の累計数を求め、その総数の変化を図に示している。図のように载荷段階が約 1.2 kgf/cm^2 を越えると供試体の圧縮性が増加しており、ほぼ正規圧密領域に達したと考えられる。一方、AE特性に着目すると、供試体が正規圧密状態に達したと判断される载荷段階以上でAE総数が急増している。正規圧密過程における体積ひずみは塑性成分が卓越していると判断され、またAEは土粒子の滑りなどの非可逆的な動きに対応すると考えられる。従って、等方圧縮中のAEは塑性体積ひずみに対応すると判断される。

次に過圧縮状態の供試体について、平均主応力一定の条件でせん断した場合の応力ひずみ関係とAE特性を示したものが図-2である。図のようにAEはあるひずみが発生した後に急増しており、このAE急増点に対応する主応力差 γ_y が応力ひずみ曲線上に求められる。既報^{2),3)}のようにAE急増点は変形時の弾性域と塑性域の境界を示すと考えられ、 γ_y は降伏応力と呼べるであろう。また、同報告^{2),3)}に発表したように、異なるO.C.R.の試料について降伏応力を求めると、応力空間上に一つの降伏曲面が得られる。図-2から分るように、降伏応力以下では体積ひずみはほとんど発生していない。弾性体は平均主応力一定下で体積が変化しないため、これは土の弾性的挙動を表わしている。また、 γ_y 以下では軸ひずみに対

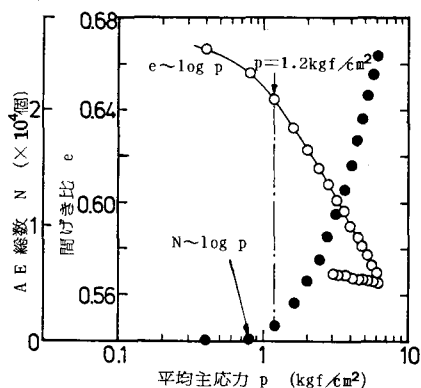


図-1 等方圧密過程の体積変化とAE特性

応して主応力差はほぼ直線的に増加している。

一方、側圧一定試験では降伏応力以下の載荷過程において体積変化が計測された。応力とひずみの関係を体積変化とせん断に関するものに分離して表わしたものが図-3と図-4である。図-3のように、載荷中に平均主応力が増加するため、降伏応力以下で緩やかな

体積圧縮が見られる。その後、AEの急増に対応して体積変化も急増する。なお図中の実線は、等方圧載荷過程の除荷曲線から膨潤指数を求め、弾性状態における体積変化と平均主応力の関係を推定したものである。推定値と実測値とは良い対応を示している。一方、図-4のように、降伏応力以下ではせん断ひずみと主応力差の関係はほぼ直線的であるが、それ以降における両者の関係は非線形であり、AEの急増とともにせん断ひずみが急増している。

以上のように、降伏応力以下では土はほぼ弾性的な挙動を示すが、それ以降ではせん断変形と体積変化のいずれにおいても変形量が増大し、またAEも急増する。弾性域を越えた変形は塑性成分が大部分を占めるため、音響エネルギーであるAEは、外力によって供試体になされた仕事のうち、塑性変形により消費されたエネルギーと関係すると考えられる。ここで、Roscoe らによれば塑性変形により消費されたエネルギーは、次式により表わすことができる⁴⁾；

$$\dot{W}^p = p \cdot d\varepsilon_v^p + q \cdot d\varepsilon_s^p \quad (\varepsilon_v^p: \text{塑性体積ひずみ}, \varepsilon_s^p: \text{塑性せん断ひずみ})$$

今回の平均主応力一定試験の結果から、単位時間当りの塑性変形による消費エネルギー $\dot{W}^p$ を求め、AE計数率(単位時間当りのAE計数)と比較したものが図-5である。なお、前述のように平均主応力一定条件では体積ひずみは全て塑性成分と考えられる。また、せん断ひずみについては、応力-ひずみ曲線の初期部分からせん断剛性率を求め、弾性せん断ひずみを全せん断ひずみから取り除いている。図のように、AE計数率と消費エネルギーとの間にはほぼ直線的な関係があると判断される。

参考文献

- 1) 谷本他(1982): "三軸せん断中のAE特性に関する研究", 土質工学会論文報告集 Vol.22
- 2) 谷本他(1984): "砂の弾性領域とAE特性との関係について", 第19回土質工学研究発表会
- 3) 谷本他(1985): "AE計測による砂質土の降伏応力の決定法について", 第20回土質工学研究発表会
- 4) 例えは Schofield & Wroth(1968), "Critical State Soil Mechanics", Chap.5

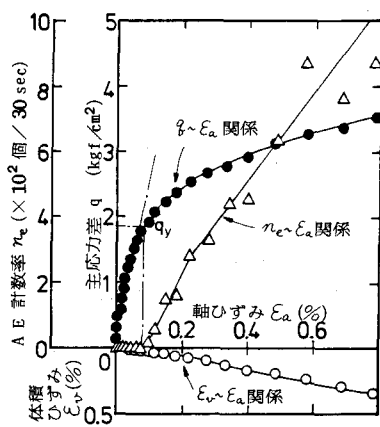


図-2 平均主応力一定圧縮試験結果
($p = 4 \text{ kgf/cm}^2$: 一定)

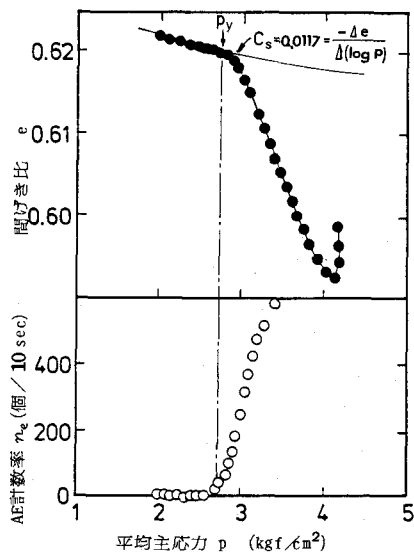


図-3 側圧一定圧縮試験の体積変化とAE特性
($\sigma_3 = 2 \text{ kgf/cm}^2$: 一定)

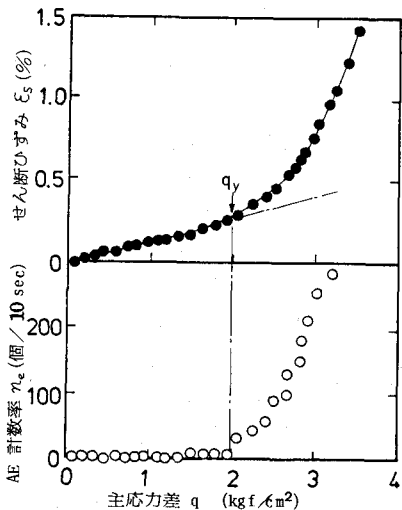


図-4 側圧一定圧縮試験のせん断変形とAE特性
($\sigma_3 = 2 \text{ kgf/cm}^2$: 一定)

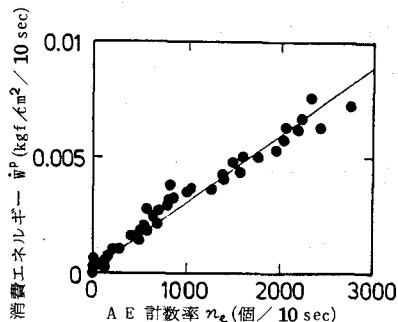


図-5 AE計数率と消費エネルギーの関係
($p = 3 \text{ kgf/cm}^2$: 一定)