

III-700

三軸圧縮試験におけるAE特性（その2）

（株）フジタ 技術研究所 正会員○岸下崇裕 秩父顕美
同 上 菊池 正

1. はじめに

地盤構造物の安定性の監視等に非破壊検査手段としてAE計測法が利用されつつある。秩父らもAE信号の波形特性を表すAEパラメータを用いて砂の三軸試験時のAE信号の変化について検討を行ってきた¹⁾。しかし明確な評価基準は、パラメータ個々の変化だけでは得られなかった。そこで本報告では、三軸試験により計測されたAE信号の波形パラメータについて主成分分析を行い、それにより得られた総合特性値を用いて砂のせん断のメカニズムの変化を考察した結果について述べる。

2. 実験方法とAE計測方法

実験は供試体径が10cm、高さ20cmの三軸試験装置を用いて行った。図-1に三軸試験装置とセンサの設置位置を示す。試料には川砂、標準砂と珪砂を用い、飽和させた後に排水条件で実験を行った。載荷方法は一定の割合で軸方向応力（0.05kgf/cm²/分）を増加させる応力制御方式で実施した。AE計測は三軸試験装置の下部ベDESTALと三軸セル内の2箇所に低周波加速度センサを取付て行った。

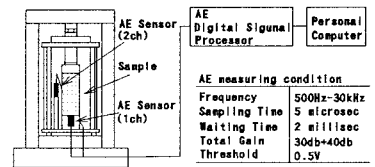


図-1 実験概要

3. 主成分分析

主成分分析は、互いに相関のある多種類の特性値の持つ情報を、互いに無相関な少数個の総合特性値にする役割を果たしている。主成分分析により与えられる総合特性値は、特性値の重みづけ平均を意味している。AE信号の主成分分析には、最大振幅(PA)、立上り時間(RT)、持続時間(DT)、AEエネルギー(EN)とエネルギーモーメント(EM)の5つの特性値を用い、相関行列から出発して行った。主成分分析により因子負荷量を、表-1に示す。表-1に示す因子負荷量より、第1・2主成分を判断すると次のようになる。

表-1 因子負荷量

	第1主成分	第2主成分
最大振幅	0.746	-0.600
立上り時間	0.679	0.610
持続時間	0.936	0.064
AEエネルギー	0.779	-0.567
モーメント	0.723	0.618

1)第1主成分 すべての係数が正でほぼ同じ大きさで、持続時間やエネルギーが主要な役割を果たしていることから、AE波形の大きさを表す因子であると考えられる。基準化（分散=1）された第1主成分得点(Y1)を得るために元の変数に対する式を下式に示す。

$$Y1=0.239*PA+0.012*RT+0.007*DT+0.001*EN+0.015*EM \quad (式-1)$$

2)第2主成分 最大振幅と立上り時間が主要な役割を果たし、最大振幅が大きく立上り時間が小さい（図-2中のB群の様なパチンと弾ける音）ときには負になり、反対に最大振幅が小さく立上り時間が大きい（図-2中のA群の様なザザザという摩擦音）ときには正になる。これは、AE波形の形状を表す因子であると考えられる。第2主成分得点(Y2)を、下式に示す。

$$Y2=-0.410*PA+0.020*RT+0.001*DT-0.001*EN+0.020*EM \quad (式-2)$$

4. 解析結果及び考察

ひずみの増加とともに変化する標準砂の主成分得点の分布傾向を図-3に示す。砂の三軸試験では、せん断の開始にともない土粒子の移動が活発に始まる。この時点（1%）までに発生するAEは、瞬発的なエネルギーが必要なために図-2中のB群に属しているものがほとんどである。さらに荷重が増加されると供試体内部に局所的な滑り破壊が発生し始める。この時点（4%～6%）では、B群に属する波形に加えて、A群

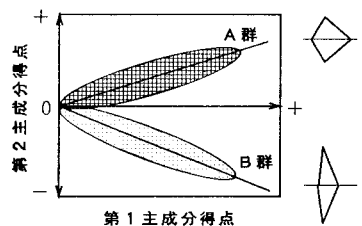


図-2 主成分得点分布イメージ図

に属する波形も増えてきている。さらに荷重が増加されるとこの局部的な滑り破壊は、成長し、最終的に供試体内に滑り面が形成され、降伏する。このような降伏状態でのA Eは、A群に属する波形がほとんどである。そこで軸ひずみに対するA群、B群に属するA E波と、軸差応力及び体積変化率との関係を図-4に示す。図に示す様にA群に属するA E波は、応力の増加や体積変化の増加に伴い漸次増加している。それに対してB群に属するA E波は、降伏状態まで徐々に増加し、軸差応力が約 6kgf/cm^2 より減少している。これは、滑り面が形成される段階において土粒子が移動し難くなり、比較的発生のしやすい面と面の滑りが発生するために、B群に属するA E波が降伏状態において減少し、A群に属するA E波が多数発生しているのだと考えられる。またせん

断開始直後（1%）において図-3に示す分布傾向では、B群の方が多数発生しているように見えるが、発生数からみるとA群の方が多数発生している。これは、せん断初期の段階においては圧縮に瞬発的なエネルギーが必要なため、B群に属するA E波の方が第1主成分の得点が大きくなり、広範囲に分布しているためだと考えられる。以上のことにより砂の三軸試験時に発生するA Eの傾向は、せん断開始直後では、軸圧縮にともないパチンと弾ける大きなA E波が発生し、その後供試体内部で局部的な破壊が発生し大きくなるにつれて、弾けるA Eに加えてザザザという滑りにともなうA E波が多数発生し、大きくなる。さらに局部的な破壊の進展とともに降伏状態では、圧縮によるA E波は減少し、滑りにともなうA E波が多数発生する。このように、A E波形パラメータによる総合特性値を用いることにより、砂のせん断メカニズムを推定することが可能である。

5. おわりに

以上の三軸試験により、以下のことが判明した。

- 1) 発生するA E波形の主成分分析の結果、第1主成分として大きさを表す因子と、第2主成分として形状を表す因子が得られ、その得点分布から圧縮による音と滑りによる音とに分類することが可能であることが分かった。
- 2) 主成分得点を用いてA E波を、圧縮による音と滑りによる音とに分類することにより、土構造物内部の破壊状況を推定することが可能になる。

【参考文献】

- 1) 秩父：砂のせん断試験におけるA E波形特性，第4回地下と土木のA E国内コンファレンス論文集，1991，7，pp. 36～41

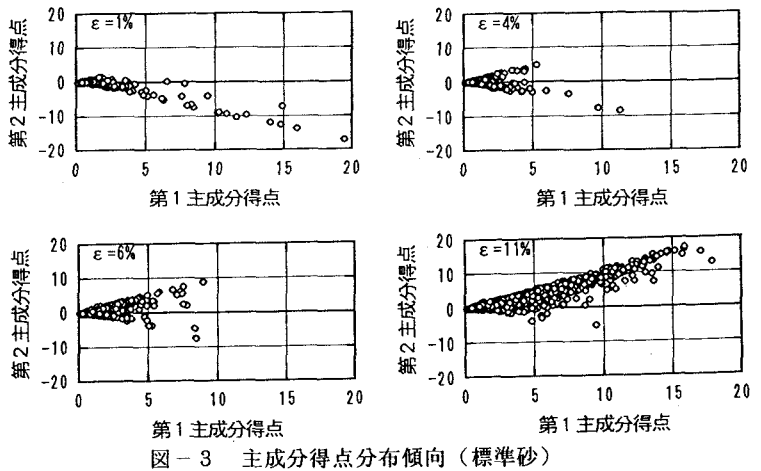


図-3 主成分得点分布傾向（標準砂）

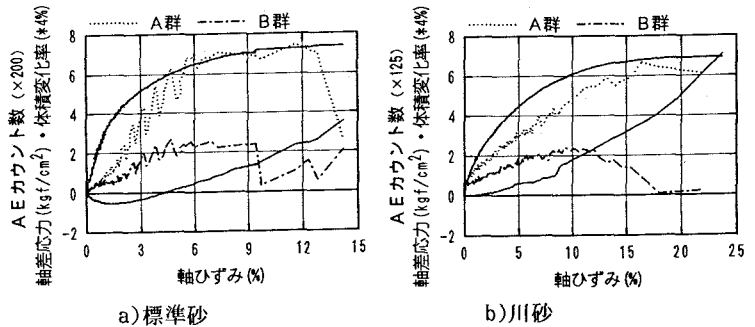


図-4 ひずみの変化にともなうA群、B群の発生傾向