

神戸大学工学部 正員 ○田中 泰雄
前田建設工業㈱ 森田 篤
神戸大学大学院 小林 知宏

1. まえがき

土が塑性変形を生じる際に、音響エネルギーを放出(アコースティック・エミッション、AE)するがこの現象に着目して、これまで砂質土の降伏応力とAE特性との関係について研究してきた。その結果、降伏特性は過去に受けたせん断応力の履歴の違いに強く影響されることが判明した¹⁾。例えば、等方圧密された供試体が排水条件で圧縮せん断履歴を受けた場合、等方圧密で形成された降伏曲面は応力空間において圧縮側に移動する¹⁾ことなどである。排水条件でせん断履歴を受けた場合の降伏曲面の変化については、ある程度成果が得られたが、砂の液状化現象のように、非排水せん断履歴を受けた砂の降伏曲面の変動については、まだ成果が得られていない。本研究では、一度等方圧密した供試体に、非排水条件で圧縮せん断応力を加えた場合に、降伏曲面がどのように変化するかを検討した。

2. 実験方法

三軸試験装置およびAE計測機器の主な構成は、既報の論文²⁾とほぼ同じである。本研究では非排水試験を行ったが、通常の排水コックを閉じる方法を用いず、時松ら³⁾が用いたのと同じく、メンブレン貫入を考慮し、排水・体積一定条件でせん断している。試料は、六甲山系から採取されたまき土である。供試体の直径は50mmであり、ゆる詰め($\rho_d \approx 1.7 \text{ t/m}^3$)となるように作成され、脱気水によって飽和されている。供試体に与えた応力履歴を示すと図-1のようである。まず、等方圧密履歴を与えるために、初期状態(点a)から段階的に $p=6.0 \text{ kgf/cm}^2$ になるまで等方圧密し($a \rightarrow b$)、点bの応力状態で一定時間静置した後、 $p=5.0 \text{ kgf/cm}^2$ になるまで除荷した($b \rightarrow c$)。次に非排水条件で圧縮せん断履歴を与えるために、点cから側圧一定条件で主応力差 $q=3.0 \text{ kgf/cm}^2$ の状態まで圧縮し($c \rightarrow d'$)、点 d' の状態で一定時間静置した後を除荷した($d' \rightarrow c$)。この時、せん断にともなって正の間隙水圧が発生するために、有効応力経路としては図中の実線で示した点fに至る経路($c \rightarrow d \rightarrow e \rightarrow f$)となる。なお、点bやdにおける静置時間は約20-30分である。このように、同一の非排水せん断履歴を与えた供試体について、図-1中の一点鎖線で示すような種々の応力経路で圧縮せん断試験を行った。また比較のために、単純に $p=6.0 \text{ kgf/cm}^2$ まで等方圧密し、さらにOCR=1~6になるように等方除荷したのちに側圧一定条件で非排水せん断するシリーズを、上記の実験に合わせて行った。

3. 実験結果および考察

まず、等方圧密履歴だけを受けた供試体の非排水試験結

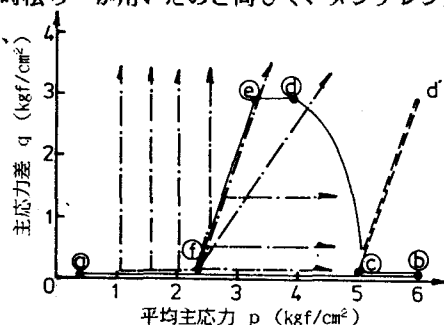


図-1 応力履歴経路

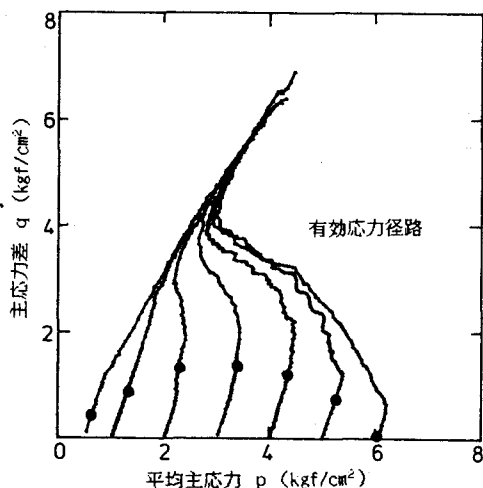


図-2 非排水せん断時の応力経路

果を図-2に示す。図-2は有効応力径路を示したものであるが、これまで報告されているもの⁴⁾と同様な結果が得られている。本研究では、非排水条件を保つために、測定誤差が0.03ccの精度で体積一定となるよう制御したが、せん断初期の部分で若干間隙水圧の発生が遅れることが分かった。しかしその後のせん断過程では、通常の非排水試験と同様な結果が得られている。また既に報告した⁴⁾ように、非排水せん断過程においても、載荷初期においてAEが発生せず、ある変形が起こった後にAEが発生する。図-2に●印で示したのはAEが発生した応力で、これらを結ぶと等方圧密砂ではp軸に関してほぼ対称な降伏曲面が得られることが分かる。

次に非排水せん断履歴を受けた砂を、p一定条件でせん断した場合の応力～ひずみ～AE関係の例を示すと、図-3、4のようである。両図は拘束圧 $p = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ の試験結果であり、図-4はせん断時の微小部分を示したものである。図より、せん断初期はAEが発生せずに軸ひずみが生じることがわかる。しかし、ある応力に達するとAEが急増しているため、AEと塑性変形の関係からAE急増点における応力は降伏応力と考えられる。

次に、非排水せん断履歴を受けた供試体の降伏曲面を求めて、 p' - q 面上に描くと図-5のようである。同図には、等方圧密砂の降伏曲面も併せて示されている。図のように、非排水せん断履歴を受けた砂の降伏曲面の形状は、等方圧密砂のものに比べて、せん断応力を受けた方向に大きく移動しているのが分かる。この様な傾向は、排水条件でせん断履歴を受けた場合と同様な結果であるが、大きく異なるのはp軸上で降伏曲面の位置が 6.0 kgf/cm^2 から約 3.0 kgf/cm^2 へと、非常に縮小していることである。このように非排水条件で一度せん断応力を受け、降伏曲面の大きさが縮小して行くと、次に伸張もしくは圧縮側にせん断応力が加わって正の間隙水圧が発生すると、さらに降伏曲面の大きさが縮小され、ついには液状化に至る可能性を示唆していると考えられる。

参考文献 1)田中泰雄・谷本喜一・籠谷直也(1986), 土木学会第41回講演会, 265-266, 2)Tanimoto, K. and Tanaka Y. (1986) S&F, Vol.26, 69-80, 3)Tokimatu, K. and Nakamura K., S&F, (1986), Vol.26, 127-138, 4)Tanimoto, K. and Tanaka, Y.(1985), ISSMFE, Vol.2, 1069-1072

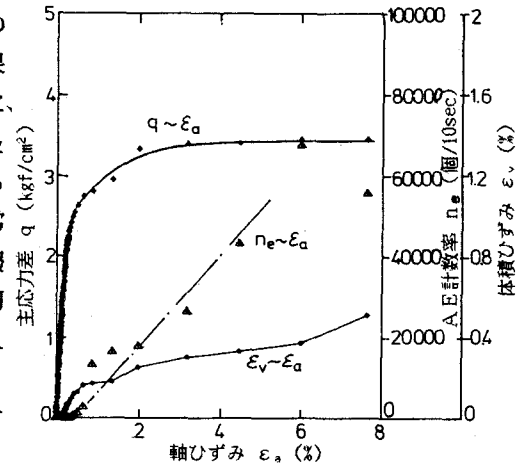


図-3 p一定圧縮試験結果

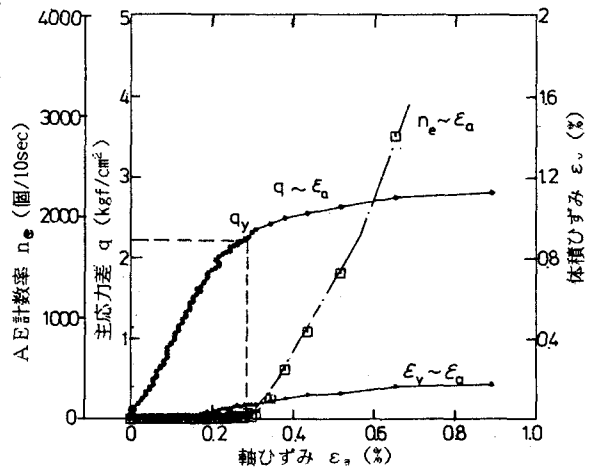


図-4 微小ひずみ部分

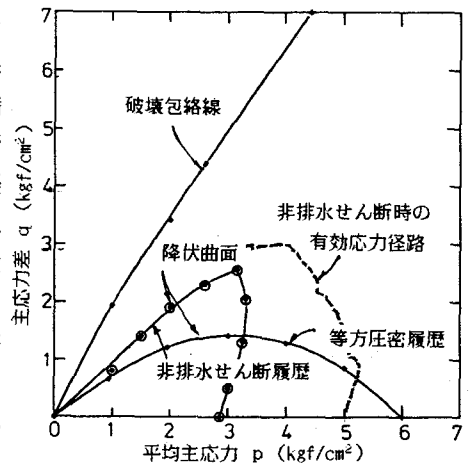


図-5 降伏曲面の比較