

III-351 二方向単純せん断・中空ねじりせん断試験装置による砂の排水せん断特性

東北大学工学部 正 菅野高弘 正 柳澤栄司
東北大学大学院 学 加藤定良 樋口俊一

1. まえがき せん断時の飽和砂の排水せん断変形挙動に関して基礎的な知見を得るために、二方向単純せん断試験装置および中空ねじりせん断試験装置を用いて実験を行なった。本報告では応力履歴による塑性ひずみ増分ベクトル $\delta\epsilon$ の方向および変相応力について弾塑性理論的な立場に基づく若干の考察を行なった。

2. 実験装置および供試体 二方向単純せん断試験装置: Love波伝播時の応力・ひずみ状態を再現すべく開発した装置であり、図1に示す

ような二方向のせん断成分を持つものである。図中 X_1 - X_3 平面が地表面となり、Love波の進行方向は X_3 軸方向である。実験に使用した試料は豊浦標準砂 ($G_s=2.621$, $e_{max}=0.926$, $e_{min}=0.593$) であり、乾燥試料を直径1cmのバルから落下高さ約1cmで三層に分け落下させ、各層を軽く平板でタピングして10cmの高さに調整して供試体を作成した。有効鉛直応力 $\sigma_v=0.5\text{ kgf/cm}^2$ で圧密を行

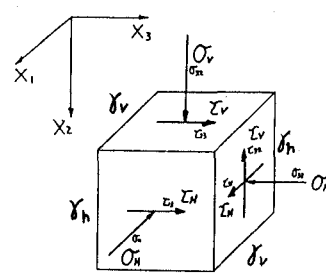


図1 応力・ひずみ状態（二方向）

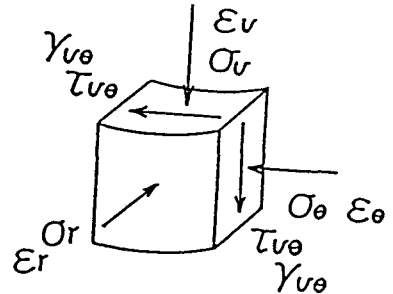


図2 応力・ひずみ状態（中空）

ない、実験開始時の相対密度 $D_r=41 \pm 3\%$ で種々の応力経路による排水せん断実験を行なった。作成した供試体は砂粒子の長軸方向が水平方向に卓越する成層地盤に近い構造をしていると思われる。

中空ねじりせん断試験装置: 供試体の形状は、外径25cm、内径20cm、高さ25cmで図2に示すような応力成分を有している。使用した試料は二方向と同じ豊浦標準砂である。供試体は多重ふりい落下法により作成し、バググレスシャ-2.0kgf/cm²、等方圧密圧1.0kgf/cm²を載荷し、相対密度 $D_r=70 \pm 2.5\%$ で中間主応力の相対的な大きさを表すパラメータ $b=0.5$ として実験を行なった。

3. 試験結果および考察 二方向単純せん断試験: 実験した応力経路は縦軸に τ_v 、横軸に τ_h を取った平面において、図3に示すように単調載荷試験および、載荷・除荷後に所定方向へ再載荷（図4、5）したものである。応力経路の方向は τ_h 軸から反時計回りの角度で表している。単調載荷の場合、図3に示すように、0°、90°方向載荷においては応力経路の方向と塑性ひずみ増分ベクトル $\delta\epsilon$ の方向は一致している。図4、5に示すように、ある方向に載荷・除荷の履歴（90°、0°）を受けた後の0°、90°方向の再載荷時の塑性ひずみ増分ベクトル $\delta\epsilon$ の方向は

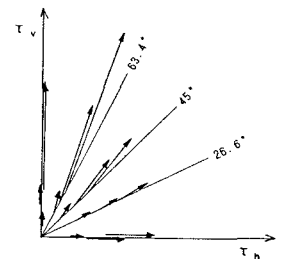


図3 塑性ひずみ増分ベクトル（単調載荷）

初期載荷方向から離れる方向に向いていることがわかる。単調載荷時の等ひずみ線および変相線を図6に示す。両者はほぼ、同一の形状の楕円で近似できると

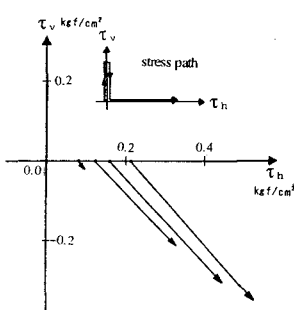


図4 塑性ひずみ増分ベクトル

思われ、剛性が τ_v 方向に小さく τ_h 方向に大きい供試体の異方性を表していると考えられる。

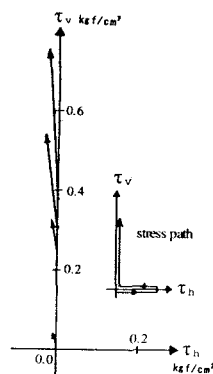


図5 塑性ひずみ増分ベクトル

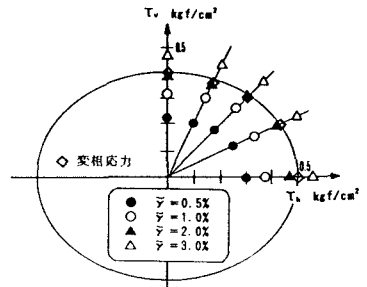


図6 等ひずみ線、変相線

中空ねじりせん断試験：二方向実験と同様に、応力経路を縦軸に $2\tau_{v\theta}/(\sigma_v+\sigma_\theta)$ 、横軸に $(\sigma_v-\sigma_\theta)/(\sigma_v+\sigma_\theta)$ の応力平面において図7、9に示すとおりに設定して実験を行なった。応力経路の方向は横軸からの反時計回りの角度で表している。図8に示す単調載荷時の塑性ひずみ増分ベクトルは、供試体の固有異方性のため各ベクトルが応力経路方向（主軸）から 90° 方向にずれている。例として図10に示すように、 0° 方向に載荷・

除荷の履歴を受けた後の各応力経路において塑性ひずみ増分ベクトルの方向は初期載荷方向から離れる方向に向いていることがわかり、他の方向についても同様である。単調載荷時の等ひずみ線および変相線を図11に示す。等ひずみ線は供試体の固有異方性によって三軸圧縮側に張り出した形状となっているが、変相線はほぼ真円となっており固有異方性の影響を受けないものと思われる。供試体が水平成層地盤に近い構造を持っているため、塑性ひずみ増分ベクトル方向に及ぼす固有異方性の影響が単調載荷試験によって評価でき、応力履歴の影響が単調載荷の結果との差として表されるものと考えられる。以上より、弾塑性論で用いられる塑性ポテンシャルの形状を考察する場合、応力履歴によって形状が変化、移動するもの、あるいは複数の塑性ポテンシャルを仮定する必要があると思われる。本報告では応力履歴即ち誘導異方性の観点から考察を行なったが、応力増分方向と塑性ひずみ増分ベクトル方向の関係も明らかにする必要がありますと思われる。

また、変相線については、二方向せん断試験の場合等ひずみ線と同様な形状となり、中空ねじりせん断試験の場合ほぼ真円になることから、二方向せん断試験においては、砂の固有異方性に加えて K_0 状態におけるせん断変形であるという境界の拘束条件による変相応力への影響も含まれているものと考えられる。一般に地盤内の応力状態は K_0 状態と仮定されており、これを考慮することの必要性が示唆されたものと思われる。

4. あとがき 二方向単純せん断試験装置および中空ねじりせん断試験装置を用いて得られた実験結果から、成層地盤に近い構造を持った供試体について塑性ひずみ増分ベクトルの方向および変相応力について若干の考察を行なった。塑性ポテンシャルに関しては供試体の固有異方性および応力履歴を反映できるようなベクトルを構築する必要があり、変相応力に関する考察から、変形の拘束条件も考慮する必要があることが示唆された。しかし、変形の拘束条件による影響の有無を明確にし、定量的に論ずるにはデータの蓄積が必要であると考えている。

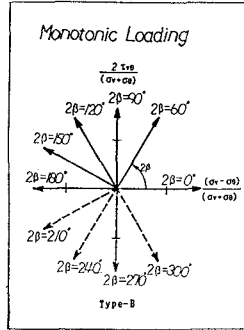


図7 単調載荷応力経路

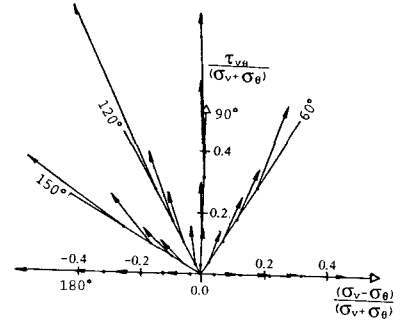


図8 塑性ひずみ増分ベクトル

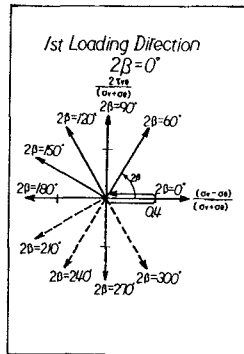


図9 応力経路(初期載荷 σ')

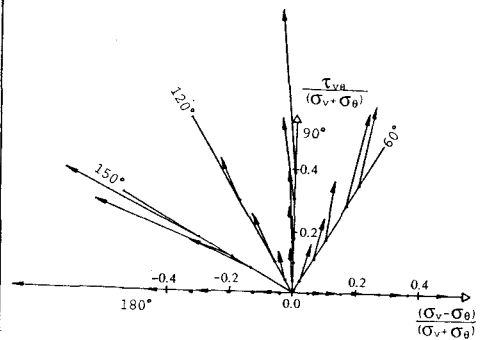
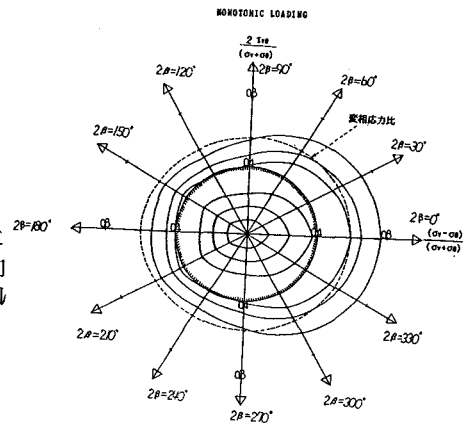


図10 塑性ひずみ増分ベクトル



内側より0.02, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0 (%)

図11 等ひずみ線、変相線