

(Ⅲ-82) 中空ねじりせん断試験機を用いた単調載荷による水膜生成試験

中央大学 学生会員 翁川真一
中央大学 正会員 國生剛治
中央大学 学生会員 鈴木広太
中央大学 学生会員 岸本隆

1. はじめに

地震の震動から多少の時間遅れをもって生じる大規模な側方流動の一因として、成層構造をなす砂地盤の液状化によって生成される水膜が考えられる。本研究では中空ねじりせん断試験機により、低透水層直下の砂要素の液状化挙動をシミュレートする試験法を開発し、豊浦標準砂を対象とした非排水せん断試験を行っている¹⁾。

今回は、中空ねじりせん断試験機を用いて単調載荷による鉛直変位拘束試験と鉛直変位非拘束試験を行い、相対密度をパラメータとした挙動の違いを比較・検討した。

2. 試験方法

中空ねじりせん断試験機は供試体外径 100mm、内径 60mm、高さが 200mm の空圧載荷タイプである (詳細は文献¹⁾ を参照)。

試験に用いる供試体は豊浦標準砂 ($\rho_s=2.643\text{g/cm}^3$) を $Dr=20\%$ 以下のものはウェットタンピング法、 $Dr=20\%$ を超えるものは空中落下法で $Dr=20\sim 60\%$ になるように調整して作成した。B 値が 0.95 以上であることを確認し、有効拘束圧 $\sigma'_v=98\text{kPa}$ で等方圧密した後、鉛直変位拘束・非拘束試験を非排水状態で行った。

図 1 に原地盤と鉛直変位拘束試験の供試体の対応関係を示す。供試体上部との境界面となる上部載荷盤を低透水層と見なし、ポラスメタルから金属歯を取り外して平坦な面として、鉛直変位の拘束と透明ラップフィルムによる水平変位の拘束によって供試体の形状変化を抑えた方法で試験を行う。通常の鉛直変位非拘束試験では砂の沈下にあわせて上部載荷盤も降下するが、鉛直変位を拘束することで液状化後に砂のみが沈下して低透水層とみなす載荷盤の下部に水膜が形成されるまでのメカニズムを調べることができる。載荷は応力制御で、せん断応力が $\Delta\tau=0.2\text{kPa/s}$ の一定速度で増加するようにした。供試体が液状化して載荷装置のふり幅の限界 ($\gamma\approx 25\%$) に達した時点か、およそ 300 秒で載荷終了とした。

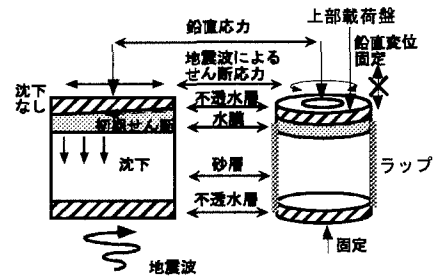


図 1 原地盤と供試体の対応関係

3. 試験結果と考察

図 2 に鉛直変位拘束・鉛直変位非拘束の単調載荷試験におけるせん断応力(τ)～せん断ひずみ(γ)曲線を示した。どちらの試験結果からも相対密度によりその挙動に大きな違いがあることが分かる。

はじめに鉛直変位拘束試験について見ると、 $Dr=9\%$ ではせん断応力が $\tau=20\text{kPa}$ 付近でピークを示した後、せん断応力の減少とともにせん断ひずみは急増する。とくに、 $\gamma=14\%$ 付近で応力は多少回復した後、再び減少しゼロに近づいていく。これは液状化により供試体上部に水膜もしくは間隙の大きな部分が形成され、上部載荷盤に対する供試体の抵抗が無くなりせん断応力が計測されなくなるためと考えられる。供試体上部を撮影したビデオ画像によれば、せん断中には明瞭な水膜は観察されないが、試験後せん断ひずみをゼロに戻した時点では平均厚さ 5mm の水膜の生成が確認できた。ただしこの場合、載荷装置の振り幅の限界に達して衝撃が加わってしまったため、水膜の生成にあたってせん断力以外の力が働いてしまったと考えられる。 $Dr=18\%$ 、 31% では、一度はせん断応力が減少してせん断ひずみが増加するが、その後せん断ひずみの増加とともににせいでせん断応力は回復して増加する。これは載荷により一度は弱くなった供試体が、ひずみ

キーワード：ねじりせん断試験機・側方流動・水膜

連絡先：〒112-8551 文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 TEL03-3817-1799 FAX03-3817-1803

の増加に伴った砂のダイレイタンスー効果により有効応力が回復したためである。Dr=31%のものではせん断ひずみをゼロに戻した時点で、厚さおよそ 1mm の水膜が確認された。Dr=60%ではせん断応力は減少することなくひずみの増加とともに増大している。以上のことから、相対密度の低いものでは砂のダイレイタンスー効果による有効応力の回復が見られず、水膜生成の影響によると考えられるせん断応力の減少があることがわかる。

次に鉛直変位拘束試験と鉛直変位非拘束試験を相対密度ごとに比較する。Dr=9%では両方ともせん断応力は減少し、それに伴ってせん断ひずみを生じる。しかし、鉛直変位非拘束のせん断応力のほうが全体的に大きな値を示しており、 $\gamma=15\%$ 付近から応力は上昇しているという違いが見られる。これは、変位拘束においては砂粒子の沈降による水膜生成によって力が伝達されなくなるが、変位非拘束では液状化後もわずかではあるが供試体上部の接触によるダイレイタンスー効果が発揮されたのではないと思われる。次に、およそ Dr=20~60%のものを比較すると、供試体は液状化に至らないためほぼ同様な傾向を示していることがわかる。

図 3 は図 2 と同じ試験から得られた鉛直応力増分 ($\Delta\sigma_v$) ~せん断ひずみ (γ) の関係を示している。鉛直変位拘束試験の結果を相対密度ごとに比べると、Dr=9%では供試体の抵抗を受けないため鉛直応力増分は小さい値を示す。Dr=60%では水膜も生成されず大きな抵抗を受けるため鉛直応力増分も大きな値となる。つまり、鉛直変位を拘束しているために、相対密度の高いものほど砂のダイレイタンスー効果により鉛直応力は大きくなっている。一方、鉛直変位非拘束試験では本来ならば鉛直応力は一定で応力増分はゼロのはずであるが、実際はある程度変動し鉛直応力の最大値は相対密度によらず同じような大きさを示している。これは試験機の鉛直载荷ロッドと支持ベアリングとの摩擦の影響が大きく、鉛直変位に伴って鉛直応力も多少変動してしまうためと考えられる。その値はわずかだが、結果として鉛直変位を拘束した状態に近いものになると考えられる。もし、鉛直応力が理論的に一定値を保てたとすれば、図 2 に示す変位拘束と非拘束の応力~ひずみ関係の差異はもう少し大きくなっていった可能性がある。

4. まとめ

- ・単調载荷鉛直変位拘束試験では相対密度が 9%ときわめて低い場合、せん断応力がゼロに近づく傾向がとらえられ、それは間隙の大きな部分が供試体上面に生成されたためと考えられる。
- ・鉛直変位拘束試験と非拘束試験の応力~ひずみ関係は相対密度の低いものでは違いが現われるが、高いものは差異が見られなかった。
- ・せん断中の鉛直応力の変動は鉛直変位拘束では相対密度の大きいものは大きく、小さいものは小さい値を示した。鉛直変位非拘束では相対密度にあまり依存しなかった。

【参考文献】 1) 國生剛治, 吉川太郎, 鈴木広太, 岸本隆・中空ねじりせん断試験機を用いた水膜生成メカニズムの基礎的研究, 土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集, 第 3 部(A), pp.286-287, 2001

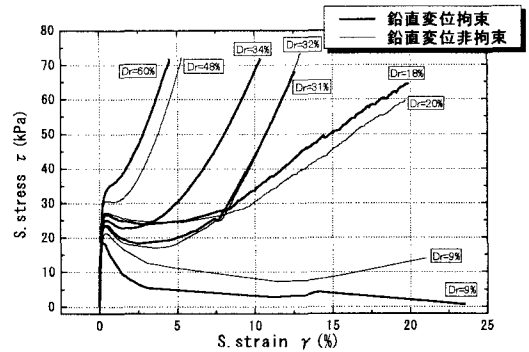


図 2 せん断応力~せん断ひずみ関係

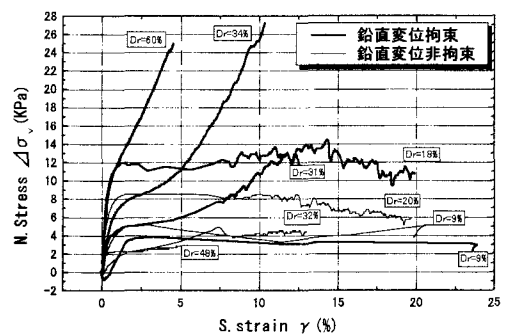


図 3 鉛直応力増分~せん断ひずみ関係