

粘性土，中間土，砂質土に至る土試料の繰返し載荷によるせん断挙動

中央大学 学生会員 ○津田 祥樹

中央大学 正会員 金澤 伸一

中央大学研究開発機構 正会員 石井 武司

中央大学 正会員 齋藤 邦夫

1. はじめに

地盤は大きく砂地盤と粘性土地盤に大別される。砂地盤は基礎地盤として良好であるが，地震による影響では，条件によっては液状化が問題となる．一方，粘性土地盤は液状化の可能性は低いが，実際の地盤は，砂・粘性土の中間的性質(中間土)を有しており，細粒分を含む地盤での液状化は報告されている．液状化対策として土のせん断特性を把握することができれば，粒度構成の違いによる液状化耐性の指標づくりに役立つと考えられる．そこで本研究では，粘性土,中間土,砂質土に至る様々な粒度構成の地盤材料を人工的に調整した試料を対象とし，各試料のせん断における特徴を明らかにした．特に砂分量の多い試料を中心に非排水繰返しせん断試験を行った．そして，繰返し載荷を付与した場合のせん断挙動を評価するため，剛性低下率と累積損失エネルギー等の特性について調べた．

2. 使用材料

本研究では，東京湾汐留地区で採取した塑性指数 $I_p=40$ の粘性土に珪砂 7 号を混合し，粘性土に対して砂分量が 50～90%となるように調整した中間土および砂質土を用いた．以下，汐留粘土を S40，人工調整した試料をそれぞれ砂分量に応じて，SK50～SK90 とよぶことにする．各試料の物理特性を表-1 に示す．

表-1 試料の物理特性

試料名	粘性土	中間土		中間土～砂質土				砂質土	
	汐留粘土(S40)	SK50	SK60	SK70	SK75	SK80	SK85	SK90	珪砂7号
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.70	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
液性限界 w_L (%)	66.4	42.9	39.1	30.6	NP	NP	NP	NP	NP
塑性限界 w_p (%)	27.2	21.9	22.9	24.0	NP	NP	NP	NP	NP
塑性指数 I_p (%)	39.2	21	16.2	6.6	NP	NP	NP	NP	NP
シルト分 (%)	8.5	50.0	60.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0	97.8
シルト分 (%)	41.5	23.2	18.8	14.4	12.2	10.0	7.8	5.6	2.2
粘土分 (%)	50.0	26.8	21.2	15.6	12.8	10.0	7.2	4.4	0.0

3. 実験概要

本研究における供試体作製法は粘性土 S40,SK50～SK70 までの中間土は予備圧密法で，SK75～珪砂 7 号の砂質土ではウェットタンピング法(以下，W.T 法

とよぶ)を採用した．この選択理由は二つある．一つ目は砂分量の多い試料では予備圧密法での供試体自立が困難であるためである．二つ目は供試体作製方法の違いにより，せん断特性への影響が考えられるが，W.T 法で作成した供試体は予備圧密法で作成した供試体の再現ができる¹⁾からである．実験手順は d50mm×h100mm の供試体を通水後，背圧 $u_b=200\text{kPa}$ ，有効拘束圧 $\sigma'_c=200\text{kPa}$ の下で等方圧密を行った．その後，ひずみ片振幅 $\epsilon=0.5\%$ ，載荷周波数 $f=0.1\text{Hz}$ ，付与する繰返し載荷回数 $N=100$ 回とした非排水せん断試験を実施した．現在，地盤の液状化強度を評価する場合は応力制御が多く用いられているが，せん断強度の喪失という液状化現象の本質に適していない²⁾．そこで本研究では，剛性低下からせん断剛性の喪失を液状化と判断し，液状化に至らなかった試料にもせん断挙動を把握できるひずみ制御で実施した．また粒度構成の違いによるせん断特性の評価にも適しているからある．

本研究では様々な試料の地震時のせん断挙動を剛性低下率と累積損失エネルギーに着目して比較した．ともに，せん断応力とせん断ひずみの関係から算定できるからである．定義は以下の通りである．剛性低下率 ΔG は試料の載荷過程において強度を評価するために用いた．1 サイクル目の載荷における履歴ループの割線弾性係数 G_1 で N 回目の載荷における G_N を除することで算出した．この傾きの変化によりせん断剛性と低下の割合比較を行った．累積損失エネルギー ΔW は外力を受けた際に地盤が塑性変形することによって費やされるエネルギー量がある時刻まで地盤に蓄積された(1)式，で定義されている．図-1 は，繰返し載荷試験における $\tau\sim\gamma$ 関係を表す模式図である．

$$W(t) = \int_f \tau(\gamma) d\gamma = \int_0^t \tau(t)\dot{\gamma}(t) dt \quad (1)$$

4. 実験結果及び考察

図-2 に各試料の载荷過程によるせん断応力～ひずみのグラフを示す。砂分量が多くなるにつれて履歴ループの傾きが小さくなっていくことが読み取れる。このことから剛性が低下していることがわかる。また面積においても徐々に減少しており、損失エネルギーの低下がわかる。

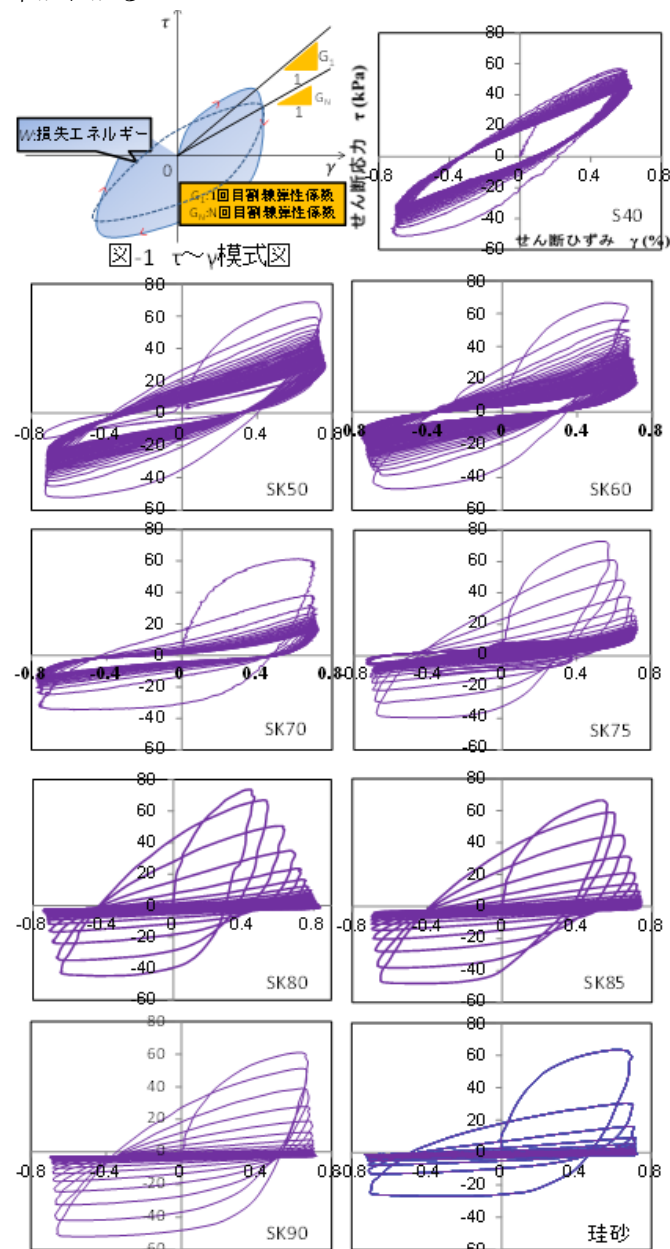


図-2 せん断応力～ひずみの関係

図-3 は、正規化累積損失エネルギーと剛性低下率の関係である。細粒部を多く含む S40 では、損失エネルギーが増大しているのに対して、剛性低下率の変化は小さく、動的せん断エネルギーの吸収能力が高いと考えられる。また中間土～砂質土に至る SK70 は繰返し载荷を受けるごとに累積損失エネルギーが増えるものの、剛性低下率は少しずつ低下している。しかし SK80 以降の砂質土は対照的に载荷終了まで損失エネルギーはほぼ一定で、剛性が急速に

低下している状況が捉えられている。特に SK85 以降の試料では 15～20 回程度の载荷回数時点で液状化を引き起こしていた。また砂質土に限りなく近い SK75 に関しては SK70 に類似した曲線を描くが、いずれ剛性が喪失すると判断できる。砂分量が 75% の土は中間土と砂質土に重複する³⁾こともふまえると、SK75 は中間土と砂質土の特徴もあると判断でき、中間土と砂質土の剛性は連続性をもつことがわかった。

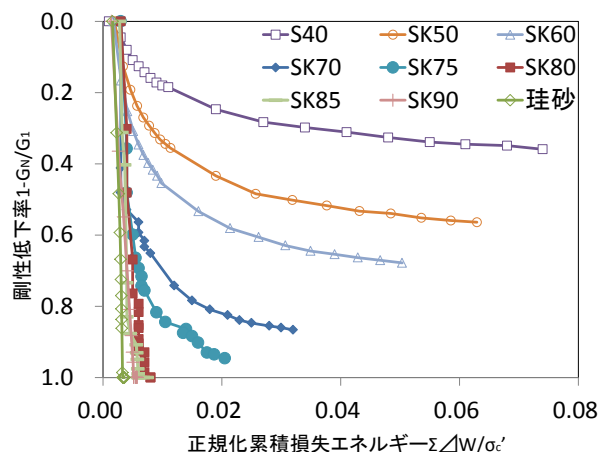


図-3 剛性低下率～正規化累積損失エネルギー

5. まとめ

本研究で得られた粘性土、中間土、砂質土に対するせん断特性を示す。

①粘性土は繰返しせん断を吸収して、剛性がある一定の値に収束し、剛性低下を抑止した。これは有効応力を消失しなかったためである。

②中間土は二つのグループに分別できる。砂分量 60% 以下の試料では粘性土同様に、剛性低下率が一定の値に収束する。しかし砂分量 70% 以上の試料では剛性の低下はするが、収束はせずに剛性は喪失すると判断できる。特に SK70 を境界にせん断挙動が分かれる。

③砂質土はせん断エネルギーの吸収に限界があることが判断できた。これにより過剰間隙水圧が上昇したために、剛性は低下して喪失することがわかった。

このように各試料では砂分量の違いによって性質が異なることがわかった。

5. 今後の取り組み

载荷周波数や地震波のようにひずみを载荷中に変えた場合も同様の結果が得られるのかを検討する。

【参考文献】1) 田嶋厚史：中間土および砂質土の繰返しせん断特性に関する研究，中央大学卒業論文，2011。2) 増田昌昭：ひずみ制御繰返し三軸試験による土の非排水繰返し強度評価，地盤工学研究発表講，1997。3) 社団法人土質工学会：ジオテクノート 2 中間土-砂か粘土か-，1992。