

Ⅲ－9

シルトを含む砂のせん断挙動に関する研究

東北大学工学部（学）○草野 満

東北大学工学部（学）黄 大 振

東北大学工学部（正）柳 沢 栄司

1. まえがき

砂のみでできている地盤において地震などによる繰り返しせん断荷重を受けると液状化現象が起こりやすいことはよく認められている。しかしきれいな砂のみでなく直径0.074mm以下の細粒分を含む地盤でも液状化現象は起こり得る。特に最近の例として1989年Sanfranciscoのロマプリエータ地震の時にシルト質地盤で液状化が発生したことが報告されている。本研究では、細粒分、その中で特にシルトを含む砂の液状化強度試験を行った。その結果、液状化強度の差は特にダイレイタンスーによるものと考え、三軸試験を排水および非排水条件で行い比較を試みた。

2. 試料及び実験方法

1) 試料

試料には、砂は豊浦標準砂（ $G_s=2.61$, $e_{max}=0.957$, $e_{min}=0.557$ ）を用い、シルトは標準砂製造の際にできたシルト分を水洗し、Stoke'sの法則を用いて粘土分を除去した。そのシルトを標準砂に入れてそれぞれの質量比（0, 10, 30, 50, 70, 100）%で混入した試料を使った。試料の粒径加積曲線を図-1に示した。粘土分はほとんど除去され、シルト100%の試料で10%以下である。試料は人工的に混合したものであり、粒度曲線はあまり滑らかな形ではないが、シルト含有量は意図した通りになっている事が分る。

2) 供試体および実験方法

三軸試験には応力制御三軸試験装置を用い、平均主応力を一定に行った。供試体は約340gのランマーにより軽く突き固めながら相対密度が50%になるように密度を調整して作成した。表-1はそれぞれの平均粒径、単位重量 γ_s 、圧密後の間隙比 e と塑性指数 I_p を表している。これより明らかに塑性指数はすべてNPであった。供試体はCO₂循環、脱気水循環し、飽和された後、背圧を1.0kg/cm²かけ、拘束圧1.0kg/cm²で3～24時間にわたって圧密した。その後、応力制御で排水、非排水の二つの条件でせん断試験を行った。なお、B値は0.95以上のものを採用した。

3. 液状化試験結果

図-2は単純せん断試験装置を用いて得られた繰り返し回数20回での液状化に必要な応力比とシルト分含有量の関係を表している。シルト分含有率30%ま

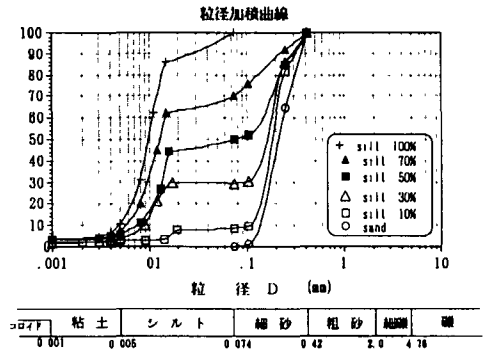


図-1 試料の粒径加積曲線

表-1 試料の物理諸量

試料	D ₅₀	U _c	G _s	V _d (g/cm ³)	塑性指数
SAND	0.21	1.47	2.643	1.51-1.52	NP
Silt10%	0.19	1.81	2.640	1.53-1.55	NP
Silt30%	0.17	20.5	2.642	1.55-1.59	NP
Silt50%	0.074	17.3	2.643	1.54-1.55	NP
Silt70%	0.012	2.55	2.643	1.52-1.54	NP
Silt100%	0.009	2.82	2.644	1.52-1.53	NP

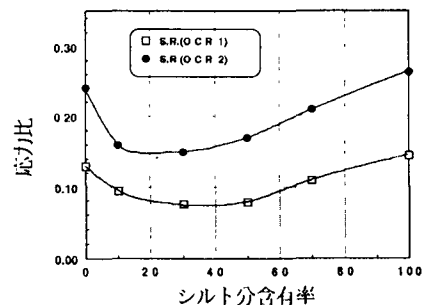


図-2 シルト分の含有率と繰り返し回数20回の時の応力比の関係

ではシルト分が多いほど液状化強度は小さくなり、その以後はシルト分の増加によって次第に大きくなることが明瞭に現れている。この現象は過圧密比を変えても表され、全体的な強度は高くなるがやはりシルト含有率30%の時一番低い結果が得られた。

4. 三軸試験結果と考察

図-3は三軸排水試験における軸差応力と体積ひずみの関係を表したものである。砂からシルト 30%までは負の体積ひずみの量が徐々に大きくなり、その後シルト含有率が増えるにしたがって負の体積ひずみの量が少なくなっていることが分かる。図-4は粒子接点に着目した微視的観察から松岡によって提案された応力-ダイレイタンスー式に代入して整理したものである。そのダイレイタンスー式は次のようである。

$$\tau/\sigma_n = \lambda(-d\varepsilon_n/d\gamma) + \mu$$

ここで λ はダイレイタンスーによる抵抗力、 μ は摩擦による抵抗力を表している。また、この理論はすべて破壊面すなわち $(45^\circ + \phi_m/2)$ 面上での応力状態なので三軸試験の結果を適用するために $(45^\circ + \phi_m/2)$ 面上の応力-ひずみに換算した。図-4から明らかに縦軸と横軸をそれぞれ τ/σ_n と $(-d\varepsilon_n/d\gamma)$ として描いてみるとデータはほぼ直線上にのる事になる。この直線の傾きが上に述べた λ の値になるが、 λ の値は30%まで徐々に小さくなり30%以上は再び大きくなることが表された。このことは砂粒子間にシルトの粒子が挟んでベアリング的な役割を果たしてダイレイタンスーによる抵抗力を弱めているためと判断される。非排水実験結果の有効応力径路を表しているのが図-5である。各試料の変相点での応力比を比べてみると砂の場合一番大きく次に 10%その後30%から100%まではほぼ同じ応力比に表された。またここには述べてないが軸差応力と軸ひずみの関係においてせん断時における応力比はやはり 30%の試料が一番小さかった。

5. まとめ

今までの結果を総合してみるとシルトを含む砂でも液状化の可能性はあり、さらに低含有率の場合はきれいな砂より低い液状化強度を示す。その原因はダイレイタンスーによる抵抗力の差にあると判断される。また0.074mm以下の細粒分でも粘土とシルトはその性質を異にするため別々に考える必要がある。

6. 参考文献

- 1) 黄大振, 仙頭紀明, 柳沢栄司; 細粒分(特にシルト)を含む砂の液状化強度; 土木学会年次学術講演会講演概要集pp704~705
- 2) 松岡 元; A MICROSCOPIC STUDY ON SHEAR MECHANISM OF GRANULAR MATERIALS; 土質工学会論文集PP29~43

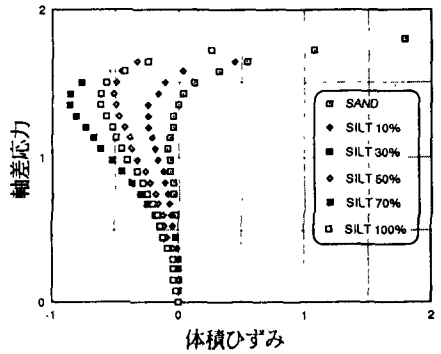


図-3 せん断力と体積ひずみ関係

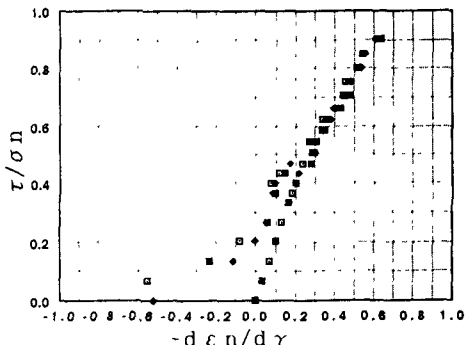


図-4 応力-ダイレイタンスー関係

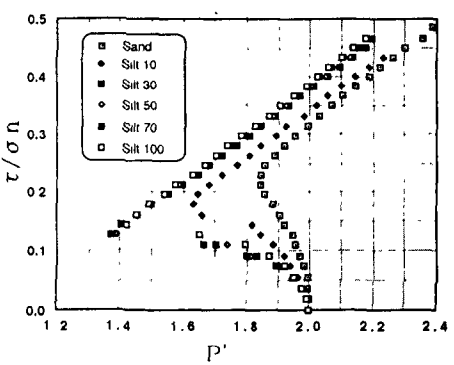


図-5 有効応力径路