

〇川崎重工業(株) 正員 岡田康一
 東京大学工学部 正員 石原研而
 新日本製鉄(株) 鳥嶋肇一

◀ まえがき ▶

液状化を起こさせぬ微小応力履歴(以下、履歴と略記する。)を受けた飽和砂は、大きな液状化強度を示す事が知られている¹⁾。しかし、履歴と液状化強度の量的関係は、いままで明らかにされていない。ここでは、この問題を取り上げ、中空ねじりせん断装置を用いた実験的検討を試みた。履歴に伴う液状化強度増加の主な原因は、砂の塑性硬化にあると考えられる。ところで、Ishihara et al.(1975)²⁾の弾塑性モデルによると、履歴(振幅 τ_0)は応力面 τ - σ_v 上に、勾配 τ_0/σ_v で原点を通る直線の yield loci を境界とする、間げき水圧が發生(にくい)弾性領域と形成する(図-1)。従って、 τ_0/σ_v は履歴による塑性硬化度を示すパラメータと言える。ここでは、実験結果において塑性硬化度 τ_0/σ_v で履歴を表示し、飽和砂の液状化強度と履歴の関係を検討した。その結果、液状化強度—履歴関係が定量的に表現し得る事が示された。

◀ 実験装置および方法 ▶

中空ねじりせん断装置により、富士川砂($G_s=2.73$, $e_{max}=1.03$, $e_{min}=0.48$, $D_{50}=0.40\text{mm}$, $U=3.16$) から成る中空円筒供試体(内径6cm, 外径10cm, 高さ約7.5cm)に於いて実験を行った¹⁾。

水中自由落下により供試体作成後、応力比 $K=0.5, 1.0$ で軸圧 $\sigma_{v0}=1.0\text{kg/cm}^2$ まで圧密した。続いて、非排水・側方変位拘束条件下で、

正弦波形せん断力(振幅 τ_0 , 周期1sec)を液状化しない範囲で載荷した後、発生過飽間げき水圧 Δu を消散させ、初軸軸圧 σ_{v0} で K_0 圧密した。こうして得られた供試体に於いて、非排水・側方変位拘束条件下で、正弦波形せん断力(振幅 τ_{20} , 周期1sec)を20回載荷し、液状化させた。

◀ 実験結果および考察 ▶

図-2に、塑性硬化度 τ_0/σ_v と20回の載荷で液状化を生ずる応力比 τ_{20}/σ_{v0} の関係を示す。

○印および△印は、各々 $K=0.5$ および 1.0 で圧密した供試体に於ける実験結果である。○印で表わした τ_{20}/σ_{v0} の値は、 $0 \leq \tau_0/\sigma_v < 0.3$ の範囲で0.16から0.23へと約1.3倍に単調増加し、その後 $0.3 \leq \tau_0/\sigma_v \leq 1.0$ の範囲ではほぼ一定である。△印は○印と同傾向であるが、0.21から0.25へと約1.2倍に増加し、全体的に値が大である。すなわち、履歴を受けた砂の強度は K に無関係に、塑性硬化度に対して一定傾向を示し、 $0 < \tau_0/\sigma_v < 0.3$ で単調増加、 $0.3 \leq \tau_0/\sigma_v \leq 1.0$ ではほぼ一定である。これを弾塑性モデルに当てはめ

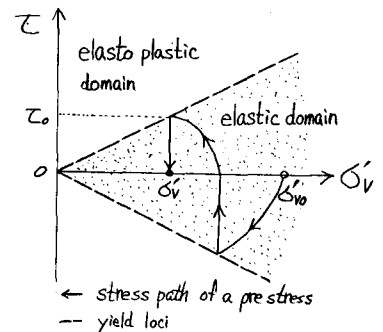


図-1、履歴により形成される弾性領域

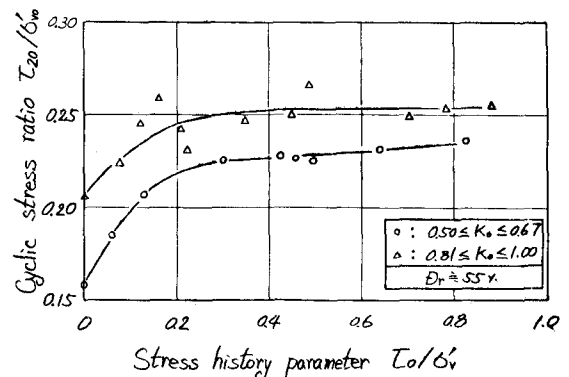


図-2、塑性硬化度 τ_0/σ_v を用いた強度—履歴関係

て考えると、履歴により形成される弾性領域は $0.3 \leq \tau_0/\sigma_v' \leq 1.0$ の履歴に対しては一定となり、拡大も消滅もしないことになる。ところが、実際の弾塑性モデルでは、富士砂の変相角 $\theta = \tan^{-1} 0.5$ なので、弾性領域は yield loci $\tau_0/\sigma_v' = 0.5$ まで拡大し得る。一方、 $0.5 \leq \tau_0/\sigma_v' \leq 1.0$ のせん断力は砂を液状化させるため、弾性領域は消滅する。このように本実験結果は、必ずしも弾塑性モデルの示す所と一致していない。この点に関しては、今後さらに検討を進める必要がある。

続いて、履歴 ($0.3 \leq \tau_0/\sigma_v' \leq 1.0$) による砂の強度増加量、および履歴 ($0.3 \leq \tau_0/\sigma_v' \leq 1.0$) を受けた砂と履歴を受けない砂との強度比の K による差をみる。 $K=0.5$ の場合 各々 0.07 および 1.4:1 なのに対し、 $K=1.0$ の場合は、0.04 および 1.2:1 である。強度増加量および強度比共に $K=0.5$ の場合が $K=1.0$ より大となるのは、履歴に伴う K_0 変化が前者では強度増加、後者では強度減少をもたらすためと考えられる。

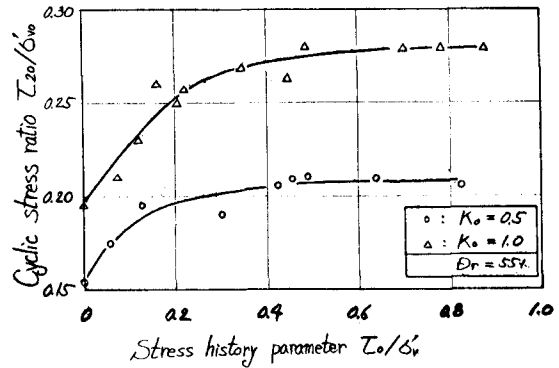


図-3. 塑性硬化

図-3では、図-2に含まれる K_0 変化の影響を除き、塑性硬化 (構造変化) による強度増加をみた。

図-2と同様の強度増加傾向が見られる。 K による差をみると、 $K=0.5$ の場合、履歴 ($0.3 \leq \tau_0/\sigma_v' \leq 1.0$) による強度増加量 0.05 は、履歴を受けない砂の強度の3割なのに対し、 $K=1.0$ の場合の増加量 0.08 は4割に達している。増加量、率共に $K=1.0$ の方が大であるのは、圧密に伴って形成される砂構造が K に依存するためと考えられる。すなわち、圧密的 K が大きい程、砂粒子は縦長に配列され易く、水平せん断力に対し不安定な構造ができ、従って履歴を受けて安定化する程度が大となると考えられる。

結論

微小応力履歴と塑性硬化度 τ_0/σ_v' で表わすと、液状化強度—履歴関係は定量的に表し得る。すなわち、液状化強度は、 $0 < \tau_0/\sigma_v' < 0.3$ で 1.2 倍 ($K=1.0$) または 1.4 倍 ($K=0.5$) に単調増加し、 $0.3 \leq \tau_0/\sigma_v' \leq 1.0$ で一定となる。

強度増加を量的にみると K により異なっている。この原因は、履歴に伴う K_0 変化状況および圧密に伴って形成される砂構造が、 K に依存するためと考えられる。

今後の課題として、より厳密な実験および検討を進め、液状化強度—履歴関係と定式化すること、が考げられる。

参考文献

- 1) 月岡康一・石原研而 (1977): “応力履歴の砂の液状化強度におよぼす影響”, 土木学会第32回年次学術講演会講演概要集, 第3部, pp. 243-244.
- 2) Ishihara, K., Tatsuoka, F. and Yasuda, S. (1985): “Undrained Deformation and Liquefaction of Sand under Cyclic Stress”. Soils and Foundations, Vol. 15, No. 1, Mar., pp. 29-44.