

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

◀ まえがき ▶

飽和砂の液状化強度は、液状化に至らない微小応力履歴を受けることにより増加する。Finn, Bransby and Pickering¹⁾は単純せん断試験を行い、この現象を捕えた。その後、Seed, Mori and Chan²⁾は大型振動台実験により同様の結果を得た。彼等は、履歴による D_r の変化がほとんどないことから、強度増加をもたらす要因は K_0 の増加および砂の構造変化にあると考えた。一方、石原・岡田・上遠³⁾は静的三軸試験により同様の結果を得、強度増加の要因は微小な応力のくり返しによって塑性硬化が進行する事にあると述べている。

ここでは、中空ねじりせん断試験によりこの問題を検討した。実験結果において強度増加が見られ、その履歴の大きさに関係することがわかった。そこで、強度増加と K_0 の増加に基づくものと塑性硬化(構造変化)によるものの2つに分けることと試みた。

◀ 実験装置および方法 ▶

中空ねじりせん断装置⁴⁾を用いた。内径6cm, 外径10cm, 高さ約7.5cmの中空洞筒型供試体の下端を固定し上端に任意ねじりせん断力を与えるもので、側方変位拘束が可能である。試料は、 $G_0=2.73$, $e_{max}=1.03$, $e_{min}=0.48$, $D_{50}=0.40\text{mm}$, $U=3.16$ の富士川砂を用いた。

実験に際し、水中自由落下により $D_r=55\%$ の飽和供試体を作成後、 $K_0=0.5$ で軸圧 $\sigma_v=1.0\text{kg/cm}^2$ まで段階的に圧縮した。続いて、応力履歴を与える目的で、非排水・側方変位拘束条件下で、液状化した、範囲の振幅、周期1/sec、繰返し回数20回の正弦波形せん断力を加えた。その後、発生した過剰間げき水圧 Δu を消散させ、初期応力で再圧縮した。こうして得られた供試体は、非排水・側方変位拘束条件下で、種々の振幅で、周期1/secの正弦波形せん断力で液状化させた。以上の過程での測定項目は、せん断力、回転角、軸変位、間げき水圧およびセル圧である。

◀ 実験結果 ▶

図-1に、液状化回数 N とせん断力の無次元量 τ_d/σ'_v の関係を示す。飽和砂の受けた微小応力履歴は、発生過剰間げき水圧の無次元量 $\Delta u/\sigma'_v$ で示した。●印は履歴を受けないもの、○印は $0 < \Delta u/\sigma'_v \leq 0.5$ 、△印は $0.5 < \Delta u/\sigma'_v \leq 0.7$ のものである。△および○と●と比較すると、前者は後者より強度が大である。すなわち、飽和砂の液状化強度は、液状化に至らない微小応力履歴を受けることにより増加すると言える。同様に、△と○と比較すると、液状化強度は発生過剰間げき水圧が大きいか、大であることがわかる。

図-2は、実験値における D_r のバラツキの影響を除去する目的で、図-1を補正し $D_r=55\%$ としたものである。図-1と同じ傾向が見られることから、図-1の考察で得られた結論は、 D_r のバラツキとは無関係に成立すると言える。

次に、液状化強度増加をもたらす要因について考える。履歴による D_r の増加は、本実験の代表例56.4%→57.0%で明らかなように極めて小さい。従って、強度増加の要因としては、 K_0 の増加および塑性硬化が考え

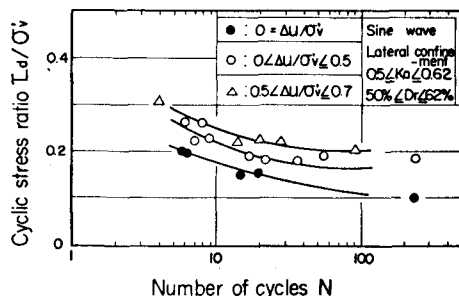


図-1. 微小応力履歴の影響

される。

さて、 K_0 と液状化強度の関係については Ishihara, Iwamoto, Yasuda and Takatsu⁵⁾により実験式が提案されている。これを用いて図-2を補正し、 $K_0=0.5$ としたのが図-3である。図-1の場合と同様に、履歴による強度増加、および強度増加が発生翌間引き水圧と共に大となる傾向が見られる。このことから、履歴による強度増加は K_0 の増加だけでは説明しきれないこと、すなわち塑性硬化に伴う強度増加の存在することと予想される。

▲ 結 論 ▲

飽和砂の液状化強度は、液状化に至らない微小応力履歴を受けることにより増加する。また、この強度増加は、微小応力履歴を受けの際の発生翌間引き水圧が大きい程、大である。

強度増加をもたらす要因として、 D_r の増加、 K_0 の増加、および塑性硬化が考えられる。このうち D_r の増加は無視し得る程小さく、また K_0 の増加だけでは現象を十分説明し得ない。このことから、塑性硬化が重要な要因の一つであることが予想される。

本論は、 $K_0=0.5$ における実験結果だけをもとに議論を進めたものである。今後、 K_0 を変えて実験・検証を行い、より一般的な結論を得るよう努めていく予定である。

▲ 謝 辞 ▲

本研究を進めるにあたり貴重な助言を頂いた、東大工学部研究生 森研二氏に感謝の意を表す。

▲ 参考文献 ▲

- 1) Finn, W.D.L., Bransby, P.L. and Pickering, D.J. (1970), "Effect of Strain History on Liquefaction of Sand", Proc. ASCE, Vol. 96, SM16, pp. 1911-1934.
- 2) Seed, H.B., Mori, K. and Chan, C.K. (1995), "Influence of Seismic History on the Liquefaction Characteristics of Sands", Rep. No. EERC 95-14, Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California, Berkeley.
- 3) 石原研一・岡田滋・上遠野均 (1997), "砂の变形特性に及ぼす応力履歴の影響について", 第12回土質工学研究発表会, pp. 291-294.
- 4) Ishihara, K. and Yasuda, S. (1975), "Sand Liquefaction in Hollow Cylinder Torsion under Irregular Excitation", Soils and Foundations, Vol. 15, No. 1, pp. 45-59.
- 5) Ishihara, K., Iwamoto, S., Yasuda, S. and Takatsu, H. (1977), "Liquefaction of Anisotropically Consolidated Sand", Proc. of the 9th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Vol. 2, pp. 261-264.

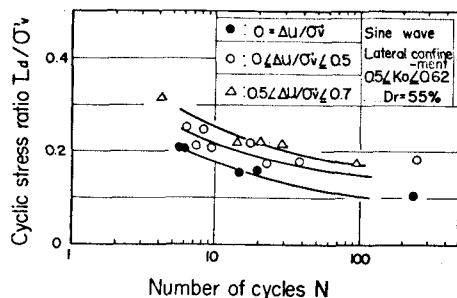


図-2. 微小応力履歴の影響 (Dr補正)

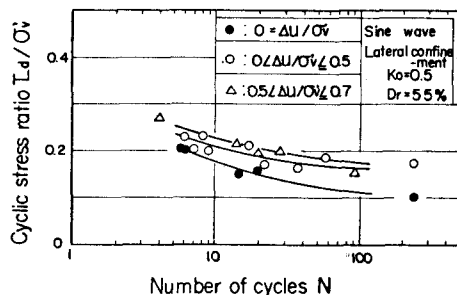


図-3. 塑性硬化による強度増加