

Ⅲ-A62

平均主応力一定の液状化試験結果について

基礎地盤コンサルタンツ(株) 正会員 黄 永男
土谷 尚
山田真一

1. はじめに 阪神大地震のような直下型地震への対策として、昨年から設計震度の大幅な見直しが行われ、これまでは液状化検討が不要と見なされた比較的密な砂・礫質地盤も検討対象になるようになった。地震時の地盤強度、すなわち液状化強度を求めることを目的とする繰返し三軸試験は、もともと遠距離型地震を想定して緩い砂質土を対象として基準化したもので、よく締まった砂質土への適用性については不明瞭点が残されている。そこで、地震時の地盤応力状態をできる限り再現する発想から平均主応力一定の繰返し三軸試験装置を考案し、豊浦標準浦砂を用いてその試験方法の妥当性を検討した。試験装置の詳細については参考文献に譲ることにして、ここでは試験結果の報告及び2、3の考察を加筆することにする。

2. 試料及び試験条件 試験で用いた試料は豊浦標準砂である。供試体は空中落下法により作製し、直径は5cm、高さは10cmである。試験条件は圧密応力 $\sigma'_v = 98 \text{ kPa}$ 、背圧 $= 196 \text{ kPa}$ 、 $B = 0.95$ 以上、繰返し荷重は頻度0.1Hzのサイン波荷重である。等方圧密の完了後、平均主応力が一定を保つように、軸と側両方向の荷重を制御しながら繰返し載荷を行った(CMPT)。また、上述の条件で従来式の側圧一定の繰返し三軸試験(CLPT)も実施した。供試体の相対密度は中密の $Dr = 60\%$ と密の $Dr = 80\%$ の二つ通りである。

3. 試験結果と考察

図-1に側圧一定(CLPT)、図-2に平均主応力一定(CMPT)の繰返し三軸試験結果の例を示す。繰返し載荷時の軸ひずみと過剰間隙水圧の経時変化を示したものである。相対密度は60%、偏差応力の振幅は $q_d = 35 \text{ kPa}$ である。これらの図からも分かるように、繰返し載荷の初期段階においては、変形はほとんど生じないが、間隙水圧は繰返し回数とともに上昇する。間隙水圧がある程度まで上昇すると、変形振幅の増加は著しくなり、これとともに間隙水圧のピークは急激に圧密応力のレベルに至る。CLPTでの間隙水圧の変化はCMPTでのものと比較して変動が大きいものの、両試験ともで間隙水圧の上昇傾向が支配的なものである。この意味で、緩い・やや密な地盤が対象となる場合、平均主応力一定式ならびに従来の側圧一定の繰返し三軸試験ともは、地震時の液状化挙動をよく再現していると思われる。

繰返し載荷時の密な砂($Dr = 80\%$)の挙動は、図-3と図-4に示す通りである。図-3はCLPT結果、図-4はCMPTの結果であり、繰返し応力は $q_d = 98 \text{ kPa}$ と圧密応力と等しい。変形振幅は間隙水圧ピークが圧密応力と同じ大きさに達した後も、中密砂のように変形の急増はなく、繰返し回数の増加と共に徐々に増加するのが特徴である。締まった砂の場合には大きなダイレタンシーが働くためである。

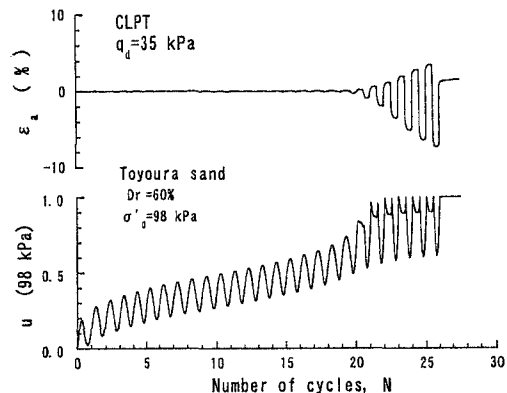


図-1 軸ひずみと間隙水圧の変化(側圧一定)

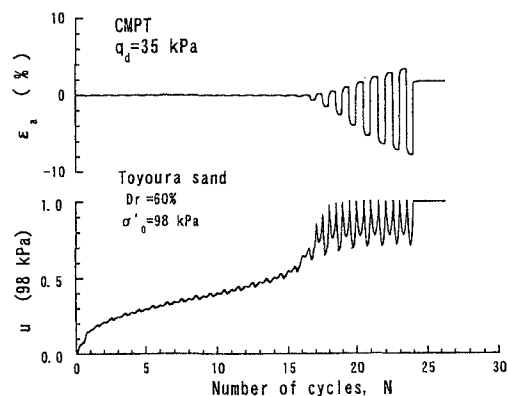


図-2 軸ひずみと間隙水圧の変化(平均主応力一定)

キーワード：液状化、繰返し荷重、室内試験、砂

東京都大田区石川町2-14-1

Tel:03-3727-6158

Fax:03-3727-6247

図-3と図-4から明らかなように、CMPTの繰返し载荷過程においては、間隙水圧はゼロ以上を呈するが、CLPTの場合には間隙水圧が負になる時がある。液状化の標準試験で、負の間隙水圧が出るのものに不自然と思われる。実際地盤では、地震時に負の間隙水圧が発生しない筈であろう。

全応力から見ると、三軸試験での繰返し応力が大きい場合、供試体が伸張応力状態に陥ることがある。但し、土の限界応力状態は有効応力の破壊線より決められるため、供試体が伸張応力状態に入る前から負の間隙水圧によって有効応力が増加することになる。従来の側圧一定の繰返し三軸試験では、繰返し応力比が0.5に近づくと負の間隙水圧が発生することになるが、平均主応力一定式の場合には、その値が概ね0.75まで向上される。また、平均主応力が一定を保つから、試験で測定した間隙水圧は繰返し载荷と砂のダイレタンシーのみの影響を表すものと考えられる。従来の側圧一定式では、平均主応力が繰返し応力と連動して変化するため、測定した間隙水圧にはその成分も含まれる。

図-5は繰返し応力比と軸ひずみ両振幅が5%に達するに必要な繰返し回数 N との関係を示したものである。応力比 $\sim N$ の関係は相対密度に大きく左右されるが、繰返し応力の载荷条件、すなわち、側圧一定か平均主応力一定かの条件には影響されないように認められる。本試験においては、 B 値がほぼ1に等しく、完全飽和のきれいな砂であるため、両方式の繰返し三軸試験での有効応力経路は同じになる筈である。故に、図-5に示した結果は有効応力に着目すると当然なこととして認められる。一方、平均主応力一定の繰返し三軸試験装置の高精度の裏づけにもなる。

4. まとめ

地震時の地盤の応力状態をできる限り再現する点で平均主応力一定の繰返し三軸試験は従来方式より優れている。今回の試験結果から、特に締まった砂の場合、その妥当性は明らかである。また、平均主応力一定の試験では、軸応力と側応力の変化が異相性を持つため、伸張時によく現れるネッキングのような変形集中の可能性が低く、ばらつきが少ない結果が得られると思われる。

〈参考文献〉

土谷尚ら（1997）“平均主応力一定の液状化試験装置試作”、土木学会第52回年次学術講演会第Ⅲ部門。

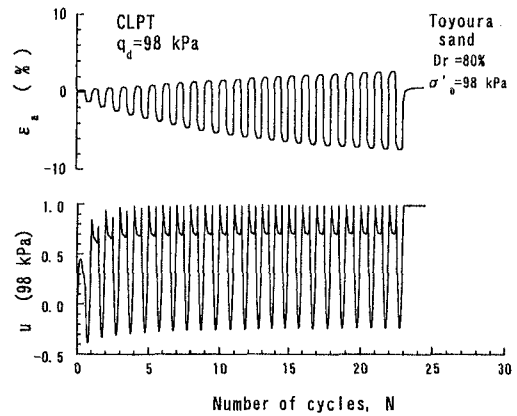


図-3 軸ひずみと間隙水圧の変化（側圧一定）

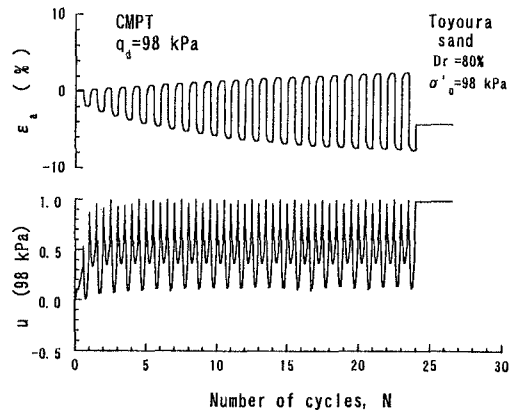


図-4 軸ひずみと間隙水圧の変化（平均主応力一定）

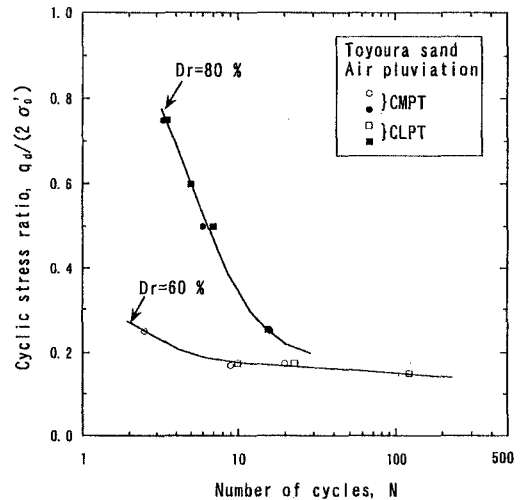


図-5 繰返し応力比と繰返し回数との関係