

まさ土の繰返し三軸試験による液状化特性

呉工業高等専門学校

正員 小堀 慈久

国土交通省中国地方整備局

学生員 ○立畑 忠之

呉工業高等専門学校

正員 加藤 省二

1. はじめに

1995（平成7）年1月17日発生の阪神・淡路大震災、2001（平成13）年3月24日発生の芸予地震における液状化現象は各地に多大なる損害を与えた。路面の陥没、地盤沈下、構造物の傾斜などはその典型である。液状化現象とは、飽和状態において、土中の間隙水圧が地震動により静水圧以上に上昇し、有効応力を零ならしめる現象を言う。本研究ではこれら液状化に関する経験則に基づき、三軸圧縮試験機を用い軸方向に繰返し荷重を載荷することにより、恣意的に液状化状態を発生させ、発生 の難易・供試体に挙動などについて間隙比に着目して実験を行った。

2. 試験概要

2.1 実験概要 この実験は、飽和土に作用する地震力、波浪、交通荷重などの繰返し荷重に対する非排水条件下での強度特性を求めるために行うものである。なお、実際の動的繰返し応力の振幅と周期は不規則であり、動的応力と地盤内の静的圧密応力との相互関係を試験機内において再現することは困難であるが、本論文においては、地盤工学会規定の実験方法に従い、等方圧密した供試体の軸方向にのみ一様振幅の繰返し荷重を非排水条件のもとで載荷して土の液状化強さを求める。

2.2 実験装置 本研究で用いた荷重載荷装置は、概して動的発振機、空電変換機、空気圧シリンダの3つの部分に分類できる。動的発信機より発せられた正弦波電気信号を、空電変換機により空気の流量変化の波形に変換、その流量変化によって空気圧シリンダ中のピストンが上下し、セル室内の供試体に対し繰返し荷重が載荷される。系統図を図1に示す。

2.3 使用供試体 豊浦標準砂を使用し、間隙比 0.8, 0.9, 1.0 の三種を調製した。尚、表1に物性値、図2に粒径加積曲線を表し、以下に示す。

3. 解析項目

本実験においては、一つの間隙比に対して3本ないし4本の供試体において試験を行い、それぞれ応力振幅を増減してその振幅に対応する液状化発生までの繰返し回数を求めた。そのデータをグラフ化したものが液状化特性曲線である。

4. 試験結果及び考察

4.1 三軸繰返し試験データ 図3, 4, 5に典型的な実験データを示す。間隙水圧の上昇と変位との関係を見ると、変位の増大とともに間隙水圧の上昇が加速し、有効応力が低下し液状化に至っている。

表1 豊浦標準砂の物性値

Gs	D50(mm)	Uc	透水係数
2.64	0.16	1.46	1.1×10^{-3}

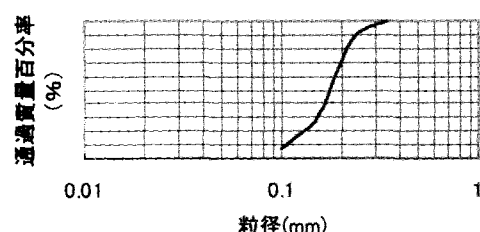


図2 粒径加積曲線

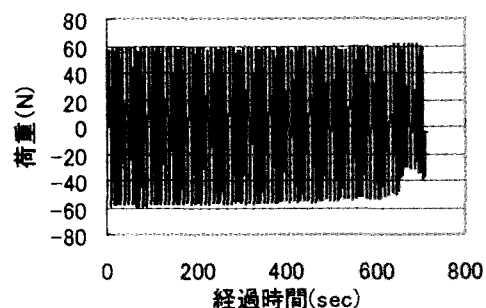


図3 荷重振幅 ($e=0.8$, $\sigma_3=50\text{kN/m}^2$)

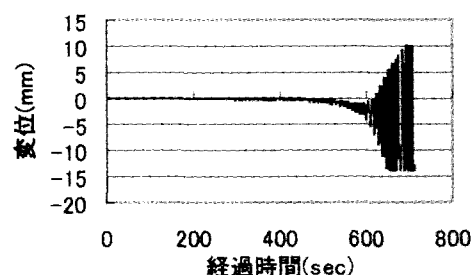


図4 軸変位

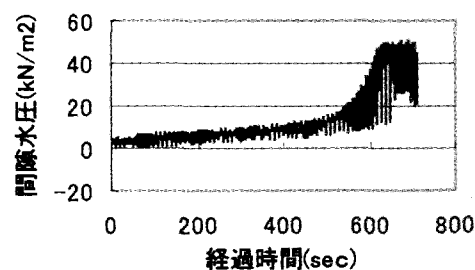


図5 間隙水圧の経時変化

4.2 液状化特性曲線 図6に実験により求められた液状化特性曲線を示す。この曲線において、間隙比三者を比較すると、間隙比が減少するに連れて一定の繰返し回数における応力振幅が大となっていることがわかる。これは、密詰めになるほど液状化に対する抵抗性が大きくなることを示している。負のダイレイタンスは間隙比が小さくなれば、つまり密詰めになれば発生しにくくなるので、これに起因する間隙圧の上昇が抑制されるためと考えられる。また一般に広く知られる事実として、地震荷重・交通荷重・波浪などの繰返し荷重、又はそれに類する荷重が大きくなれば当該地盤の液状化に対する抵抗性は弱まるが、このグラフからもこの事実が伺える。間隙比0.8の曲線はほぼ平坦で、4つあるデータポイントのうち、振幅の小さい2つのポイント間における繰返し回数の開きが極端に大きい。対して、0.9, 1.0二者においては、ほぼ滑らかな曲線となっており、データポイント間相互の開きは0.8のものとは比べれば均等に分布しているといえる。これは軸方向力の増大による負のダイレイタンス発生が間隙比によって大きく影響されるためと考えられる。また、この現象は間隙比減少に連れて土の材料としての剛性が高まっていると考えられる。つまり、剛性の高いものは脆性も高く、ある一定の応力に達すると突然破壊するものと似て、間隙比0.8の試料に関してもわずかな応力振幅の増加で突発的に液状化を起こしたのではないかと考えられるのである。よって不規則波形である地震波の作用に対しては危険の度合いが増すものと考えられる。

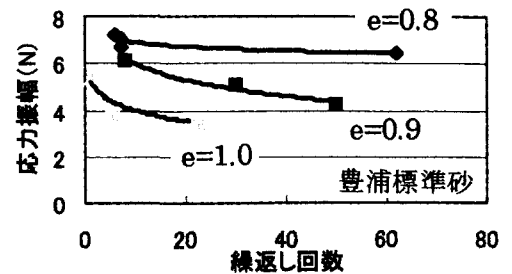


図6 液状化特性曲線

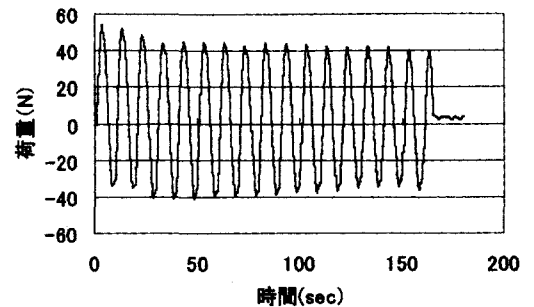
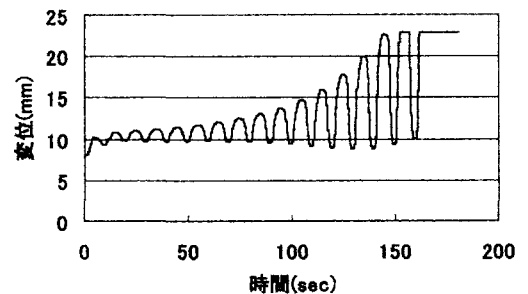
図7 まさ土の荷重振幅($e=1.0$, $\sigma_v=50\text{kN/m}^2$)

図8 まさ土の軸変位

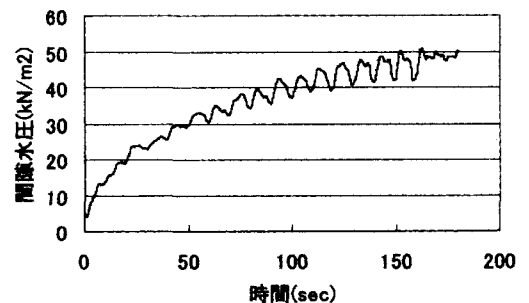


図9 まさ土の間隙水圧変化

4.3 まさ土の液状化特性 間隙比 $e=1.0$, $\sigma_v=50\text{kN/m}^2$ のまさ土の繰返し試験の結果を示す。図7は荷重と時間の関係を示す。時間に対して、荷重の変化はなく、200secで急激に低下している。図8は変位と時間の関係である。時間とともに、徐々に変位が増大しているのがわかる。図9は間隙水圧と時間の関係を示す。初期から間隙水圧が大きく上昇し、200secで最大となり、液状化が発生した。

5. まとめ

本研究で以下の知見が得られた。①繰返し三軸試験により液状化特性曲線が得られる。②液状化特性曲線から、間隙比により液状化する時間に差がある。③有効応力の減衰はある程度の応力作用後急激に進行する。④間隙比により液状化の難易は影響を受ける。⑤間隙比を低くすれば液状化抵抗は高まる。しかしながら低間隙比域においては有効応力が作用した場合、わずかな有効応力の変化で突発的な液状化が発生する可能性がある。⑥まさ土の場合、変位、間隙水圧ともに、初期より大きな上昇が見られた。

参考文献

- 1) 地盤工学会：土質試験の方法と解説，pp421～431, 1990, 地盤工学会
- 2) 石井義明他7名：最新土質力学，p185, 1998, 朝倉書店
- 3) 山内豊聡：土質力学，pp129～131, 2001, 理工白書
- 4) ベー・アー・フローリン，赤井浩一監修，大草重康訳：フローリンの土質力学，p32, 1969, 森北出版