

液状化の影響を受けているタンク基礎の地震時沈下特性に関する研究

東北大学 学 ○高橋啓久 正 風間基樹, 渦岡良介, 仙頭紀明
(株) 大林組技術研究所 正 樋口俊一

1. はじめに

飽和砂地盤上に建設された貯蔵タンクは、地震によって基礎地盤が液状化したり、せん断破壊して不同沈下が生じることが問題となっている。水平地盤が液状化した場合の沈下に関する研究に比較して、タンク基礎直下地盤のような初期せん断を受けている地盤のせん断破壊による沈下の評価は十分でないのが現状である。

本研究では、中空ねじりせん断試験機を使用し、タンクの自重を軸差応力として与えることによってタンク直下地盤の応力状態を模擬した。そして、繰返しせん断応力を与えることで地震時沈下特性を明らかにすることを目的とした。

2. 試料の物性・力学試験

試料には岐阜珪砂 7 号を使用した。力学試験としては中空ねじりせん断試験機を用いて単調載荷試験（ $\bar{CU}$ 試験）を行い、内部摩擦角を求めた。拘束圧については鉛直有効応力が 100kPa で側圧係数 $K=1.0$ と $K=0.4$ の 2 ケースを行った。物性と力学試験の結果を表 - 1 に示す。等方応力状態（ $K=1.0$ ）よりも異方向応力状態（ $K=0.4$ ）の方が内部摩擦角が 5° 大きい値になった。

表-1 珪砂 7 号の物性と強度定数

Soil particle density ρ_s	2.648	
Maximum void ratio e_{max}	1.214	
Minimum void ratio e_{min}	0.678	
Internal friction angle $\phi(^{\circ})$	$K=1.0$	28
	$K=0.4$	33

3. タンク直下地盤の応力状態を模擬したせん断試験

タンク直下地盤の地震時沈下特性を検討するために、中空ねじりせん断試験を行った。供試体の寸法は外径 7cm、内径 3cm、高さ 10cm である。試験は、各供試体に対して背圧を 98kPa、196kPa、または 294kPa 載荷して飽和させた。B 値は 0.91 以上のものを採用した。表 - 2 のような異方又は等方応力状態で圧密した後、非排水条件の下、表 - 2 に示した繰返しせん断応力比で繰返し載荷を行った。載荷回数は 50 回としたが、軸ひずみが 15%を超えた場合は

そこで載荷を終了した。

載荷回数が 1~5 回目までの K 値と軸ひずみの関係を図 - 1 に示す。1 回目の載荷後では、側圧係数 K が小さい方が軸ひずみは大きい。しかし、異方応力状態では、載荷回数が増すと、 K 値が大きい方が軸ひずみが大きくなっている。 $K=0.8$ では載荷回数 5 回で 15%に近い大きなひずみが生じた。なお等方応力状態では 1 回目の載荷で液状化し、軸ひずみはほとんど生じなかった。

異方応力状態における有効応力経路を図 - 2 と図 - 3 に示す。側圧係数が大きいほど平均有効応力が減少していることがわかる。つまり、 $K=0.8$ の時は徐々に平均有効応力が低下し、約 10kPa になった。その結果、図 - 1 に示したように軸ひずみの増加割合も次第に大きくなった。一方、 $K=0.4$ の時では、約 3 波で平均有効応力が約 40kPa に収束し、軸ひずみの増加割合も小さくなった。

次に各載荷回数における拘束圧と軸ひずみの関係を図 - 4 に示す。また、各拘束圧における載荷回数と初期鉛直応力で正規化した割線剛性の関係を図 - 5 に示す。図 - 5 より 1 回目の載荷では、拘束圧によらず、正規化した割線剛性はほぼ等しく、軸ひずみもほぼ等しくなった。また、載荷回数が増えるにしたがって、拘束圧が大きいほど割線剛性の増加割合が大きくなることがわかる。この増加割合が大きくなると、ひずみの増加割合が小さくなっている。拘束圧が小さい場合は載荷回数が少ない時に軸ひずみの増加が大きくなり、拘束圧が大きい場合は載荷回数が少ない時の軸ひずみの増加は小さくなる。

最後に、ケース 1 の平均有効応力と偏差応力の関

表 - 2 実験ケースと供試体詳細

Test No.	$Dr(\%)$	σ'_{v0}	τ/σ'_{v0}	K
1	50	100	0.2	0.4
2				0.6
3				0.8
4				1
5		50	0.15	0.4
6		100		
7		200		

係を図 - 6 に示す。応力経路が載荷とともに限界状態線を越え、内部摩擦角が大きくなっていることがわかる。その結果、図 - 7 のせん断応力とせん断ひずみの関係(ケース 1)を見てもわかるように、供試体は載荷回数とともに硬化していることがわかる。

4. まとめ

異方応力状態における砂質土の地震時沈下特性について、以下の結論を得た。

- ・ 側圧係数が小さいほど、載荷回数が少ない時の軸ひずみは大きい。
- ・ 側圧係数が大きい $K=0.8$ のケースでは載荷により平均有効応力は 10kPa まで減少し、軸ひずみが 15% 近く生じた。
- ・ 拘束圧が大きい程載荷回数が増えるにしたがって割線剛性の増加割合が大きくなり、軸ひずみの増分も小さくなる。
- ・ 拘束圧が小さい程軸ひずみは大きくなった。

今後は、オンライン実験を行い、不規則繰返しせん断が沈下に及ぼす影響を調べる予定である。

参考文献

- 1) 地盤工学会：土質試験の方法と解説（第一回改訂版），第 6 刷，pp.601 - 702 2001.
- 2) Pradhan, T.B.S. : The behavior of sand subjected to monotonic and cyclic loadings, A dissertation submitted for the doctor of engineering at the graduate school of civil engineering, Kyoto university, 1989.

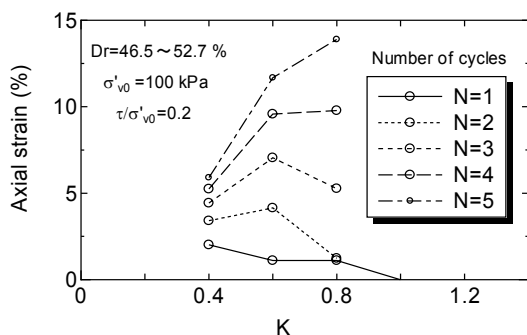


図 - 1 各載荷での K 値と軸ひずみ

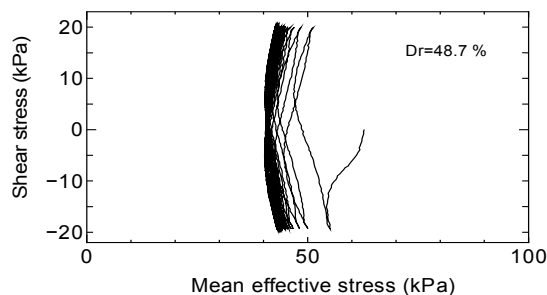


図 - 2 有効応力経路(ケース 1, $K=0.4$)

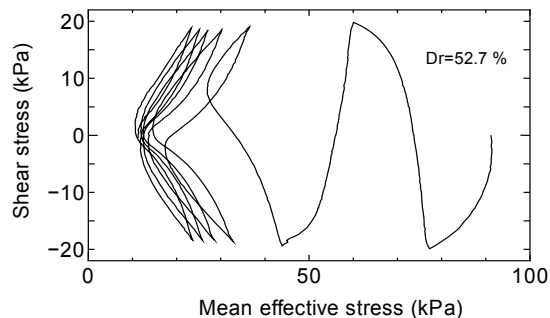


図 - 3 有効応力経路(ケース 3, $K=0.8$)

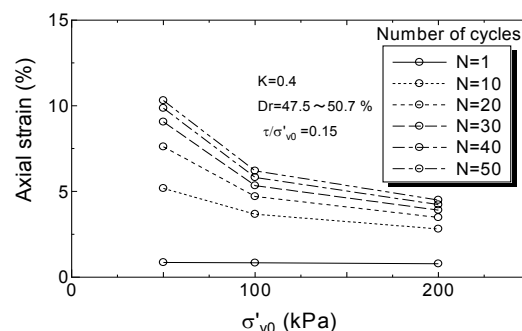


図 - 4 各載荷での拘束圧と軸ひずみ

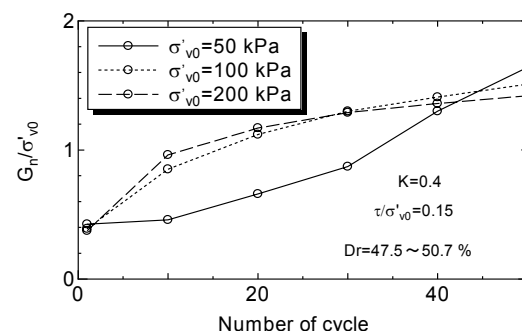


図 - 5 載荷回数と正規化した割線剛性

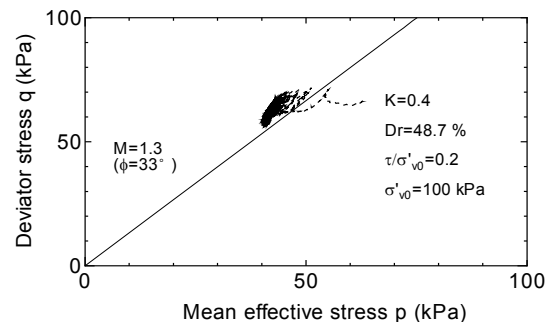


図 - 6 p-q 平面

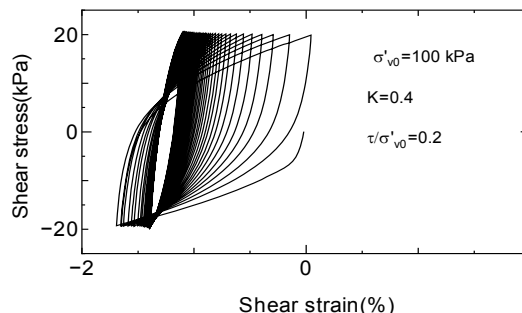


図 - 7 せん断応力とせん断ひずみの関係(ケース 1)