

液状化時のせん断抵抗の時間変化と液状化後の地表面沈下量の関係

東北学院大学 非会員 ○秋山 真伍、齋藤 功次
東北学院大学 正会員 山口 晶

1. はじめに

本研究では、打撃の与え方を変えた土槽の液状化実験を行い、ベーンせん断試験により液状化時の土のせん断抵抗を連続的に計測した。この結果から、液状化中、液状化後のせん断抵抗と地表面沈下量の関係を調べた。さらに、ベーンの数を変えて実験を行い、その影響を調べた。

2. 実験条件

実験概要図を写真-1 に示す。試料は豊浦砂を用いた。豊浦砂を高さ 30cm、幅 40cm、奥行 32cm のアクリル製の土槽に層厚 20cm に敷き詰め、模型地盤を作製した。地盤の相対密度は 30%から 35%を目標とした。間隙水圧計は底面と中間（底面から 12cm）の位置に設

置した。模型地盤作製後、電動ベーンせん断試験機を土槽上部の固定台に設置し、高さ 3cm、幅 3cm の 4 枚ベーンまたは 8 枚ベーンを地盤に挿入しせん断抵抗を測定した。ベーンを写真-2 に示す。写真-1 に示すテープの位置が、中間の間隙水圧計とベーンの位置に該当する。

4 枚ベーンの実験条件を表-1 に、8 枚ベーンの実験条件を表-2 に示す。ベーンの回転速度を 5 度/分とした。両実験とも、測定時間を 6 分とし、3 分経過後に打撃を与え、液状化を発生させる。打撃にはゴムハンマーを使用した。ハンマーの柄を回転しやすいように台に設置した。ハンマーの質量 423g、打撃部から固定点の距離は 24cm となる。打撃条件 1 回は、垂直面（打撃面）とゴムハンマーの角度を 30 度、60 度、90 度とし、それぞれの角度から静かに手を離し、自由回転状態で

1 回だけ土槽に打撃を与えた。また、打撃条件連続では、10 秒間、30 秒間、60 秒間連続で打撃を与えた。液状化終了後、地表面の沈下量も計測した。

ベーンせん断試験からのせん断抵抗の計算は、参考文献 1) の式に

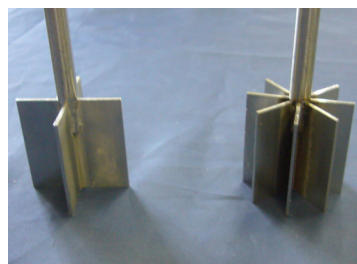
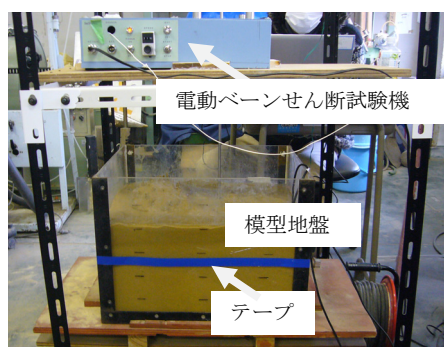


写真-1 電動ベーンせん断試験概要

写真-2 4 枚ベーンと 8 枚ベーン

表-1 4 枚ベーンの実験条件

実験名	Test4D-30	Test4D-60	Test4D-90	Test4S-10	Test4S-30	Test4S-60
打撃条件	1 回 30 度	1 回 60 度	1 回 90 度	連続 10 秒	連続 30 秒	連続 60 秒
液状化前相対密度(%)	32	31	30	33	31	34
液状化後相対密度(%)	40	40	37	45	56	79
沈下ひずみ比(%)	19	21	14	26	56	100
液状化前最大せん断抵抗 $\tau_0(\text{N/m}^2)$	971	1394	1326	1665	987	1597
液状化中平均せん断抵抗 $\tau_1(\text{N/m}^2)$	94	104	67	134	76	116
液状化後最大せん断抵抗 $\tau_2(\text{N/m}^2)$	589	694	727	839	546	3759
液状化中せん断抵抗比 $\tau_1/\tau_0(\%)$	0.09	0.07	0.05	0.08	0.08	0.07
液状化後せん断抵抗比 $\tau_2/\tau_0(\%)$	0.61	0.50	0.55	0.50	0.55	2.35

表-2 8 枚ベーンの実験条件

実験名	Test8D-30	Test8D-60	Test8D-90	Test8S-10	Test8S-30	Test8S-60
打撃条件	1 回 30 度	1 回 30 度	1 回 90 度	連続 10 秒	連続 30 秒	連続 60 秒
液状化前相対密度(%)	37	31	31	32	35	34
液状化後相対密度(%)	41	39	38	51	61	80
沈下ひずみ比(%)	10	17	14	41	57	100
液状化前最大せん断抵抗 $\tau_0(\text{N/m}^2)$	1141	1116	1360	857	953	1039
液状化中平均せん断抵抗 $\tau_1(\text{N/m}^2)$	154	105	114	184	25	97
液状化後最大せん断抵抗 $\tau_2(\text{N/m}^2)$	876	820	506	580	571	3284
液状化中せん断抵抗比 $\tau_1/\tau_0(\%)$	0.14	0.09	0.08	0.21	0.03	0.09
液状化後せん断抵抗比 $\tau_2/\tau_0(\%)$	0.77	0.73	0.37	0.68	0.60	3.16

電動ベーン、液状化、せん断抵抗、沈下量

東北学院大学工学部 宮城県多賀城市中央 1-13-1

基づいて計算した。

3. 実験結果・考察

例として Test4D-30 と Test4S-60 のせん断抵抗を図-1 に、過剰間隙水圧比を図-2 に示す。液状化前の最大せん断抵抗 τ_0 、液状化中の平均せん断抵抗 τ_1 、液状化後の最大せん断抵抗 τ_2 を読み取った。液状化中の平均せん断抵抗は、過剰間隙水圧比が 1.0 以上を示した時間における平均値である。これらの値より、液状化中せん断抵抗比 τ_1/τ_0 と液状化後せん断抵抗比 τ_2/τ_0 の値を算出した。

また、液状化の激しさとせん断抵抗の関係を考えるために、地表面沈下量に着目した。特に 4 枚ベーンの実験では Test4S-60、8 枚ベーンの実験では Test8S-60 における沈下ひずみを 100% とし、それぞれの実験の沈下ひずみをこれに対する比（沈下ひずみ比）で表した。連続 60 秒打撃は、地盤の液状化の程度が最大

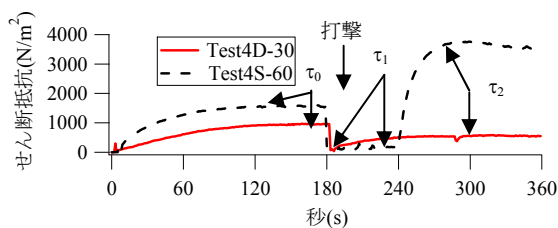


図-1 Test4D-30 と Test4S-60 のせん断抵抗

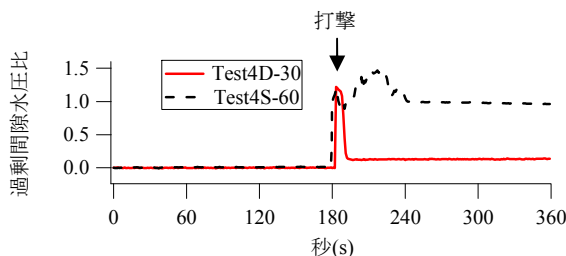


図-2 Test4D-30 と Test4S-60 の過剰間隙水圧比

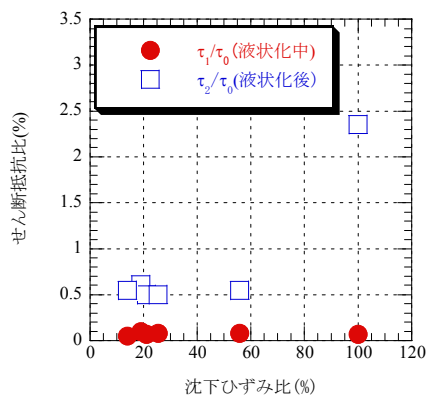


図-3 4 枚ベーンの沈下ひずみ比とせん断抵抗比の関係

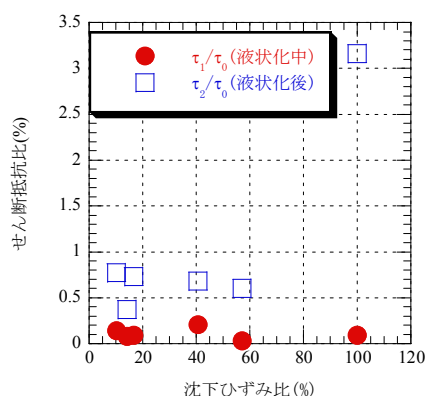


図-4 8 枚ベーンの沈下ひずみ比とせん断抵抗比の関係

(100%) になると考えて、各実験における沈下ひずみが液状化の程度を表現すると考える。

これらの結果を表-1、表-2 に示した。なお、すべての実験条件で、過剰間隙水圧比は 1.0 以上となり、液状化していることを確認した。

沈下ひずみ比とせん断抵抗の関係について、図-3 に 4 枚ベーン、図-4 に 8 枚ベーンの結果を表す。

図-3、図-4 より、液状化中せん断抵抗比 τ_1/τ_0 は、沈下ひずみ比が増加してもせん断抵抗比の値に差はなく、ほぼ一定値で、4 枚ベーンでは 0.07%、8 枚ベーンでは 0.11% となっている。また、液状化後せん断抵抗比 τ_2/τ_0 では、沈下ひずみ比が 60% まではほぼ一定であるものの、それ以降、急激に増加していることがわかる。

なお、これまでの著者らの再液状化実験²⁾より、再液状化を繰り返すと、底面から密になっていくという結果が得られている。液状化した地盤は、せん断抵抗が低下する上層とせん断抵抗が増加する下層に分かれ、60 秒連続打撃の実験ではベーンが密になる層の範囲になったと考えられる。

また図-3、図-4 より、4 枚ベーン、8 枚ベーンのせん断抵抗を比較すると、8 枚ベーンのせん断抵抗の値が大きいことがわかる。これは、ベーンの数が多いほど、砂を拘束したためではないかと考えられる。

4. まとめ

本研究から、液状化中の地盤は液状化前のせん断抵抗に対して 0.07% 程度まで減少することが分かった。また、液状化後の地盤では、せん断抵抗が減少する層と増加する層の 2 層が存在することが分かった。なお、ベーンの数で実験結果を比較すると、8 枚ベーンのせん断抵抗の値が高いという結果となった。どのようなベーンが計測により適しているか検討する必要がある。

参考文献

- 1) 河上房義、森北出版株式会社、土質力学第 6 版
- 2) 山口晶・吉田望・飛田善雄、再液状化メカニズムに関する実験的研究、日本地震工学会論文集、第 8 巻第 3 号、pp.46-61、2008。