

## 液状化強度曲線の基本特性について

中部土質試験協同組合

○池田 謙信, 坪田 邦治, 久保裕一, 石原聖子

## 1. はじめに

土の繰返し非排水三軸試験(以下、液状化試験)は、地盤の液状化判定に必要な強度定数を求めるための試験として現在広く利用される。通常の調査では、現地から乱れの少ない試料をサンプリングし、試験で必要となる4本の供試体を用意するため、供試体の寸法により50~70cmの試料を用いて試験を行う。これらの結果は、繰返し回数 $N_c$ と繰返し応力振幅比 $\sigma/2\sigma'_{d0}$ の係数に整理し、両振幅軸ひずみ $DA5\%$ の液状化強度曲線について、 $N_c=20$ 回に対応する繰返し応力振幅比を求め、液状化強度 $R_{L20}$ として報告する。

自然地盤での試験結果は、試験に供した50~70cmの試料における密度、あるいは粒度の不均質性により、ばらつきを持った試験結果となることが多い。これらの場合、4点の平均値から求めた曲線、または安全値を見越し低い試験結果から求めた曲線を用いて $R_{L20}$ を算出する。一方、地盤材料は、一般の工業製品における材料とは異なり、元来不均質性を持った材料であることから、試験結果は1本の液状化強度曲線上に必ずしもあるわけではなく、ある程度の幅を持つゾーンに分布するものと考えられる。

本報文では、地盤材料が持つ液状化強度曲線の基本特性を把握するため、密度の不均質性を極力排除した再構成試料を用いて、同一の繰返し応力振幅比で複数回液状化試験を行った。試料の均質性が両振幅軸ひずみ $DA5\%$ に達する回数、算出される液状化強度 $R_{L20}$ に対して与える影響についてまとめ報告する。

## 2. 試験試料および試験方法

## (1) 試験試料について

一般に、供試体断面の粒度構成において、不均質な断面が連続する試料は試験結果にばらつきが生じ易く、均質な断面が連続する試料はばらつきが生じ難いと考えられる(写真-1参照)。本試験では、図-1に粒度構成を示す不均質断面を想定した $U_c=304$ と粒径幅の広い細粒分質礫質砂(以下、well gradedとして試料W)、均質断面を想定した $U_c=1.73$ と粒径幅が分級された砂(以下、poor gradedとして試料P)を試験試料として採用した。

## (2) 試験方法について

- ①供試体作製条件は、極端な密度条件での作製は難しく、ばらつきの原因となることから、やや密詰め程度を目標に試作を繰返し、条件を決定した。試料Wは、密度： $D_c=95\%$ (締固めA-c法より)、含水比： $w_n=22.4\%$ 、試料Pは、 $D_r=70\%$ (砂の最小最大密度試験より)含水比： $w=4\%$ (試料凍結が可能な含水比)とした。供試体サイズは、直径50mm、高さ100mmとし、突固めにより作製した。

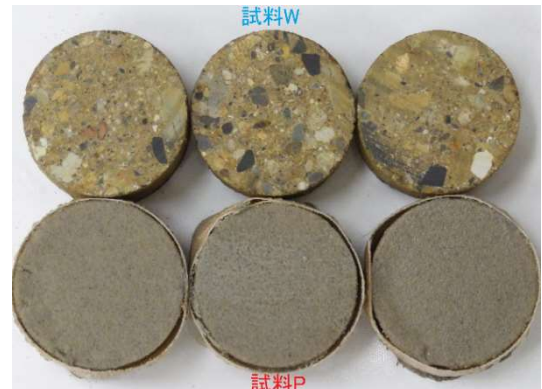


写真-1 試験に用いた供試体の断面構造

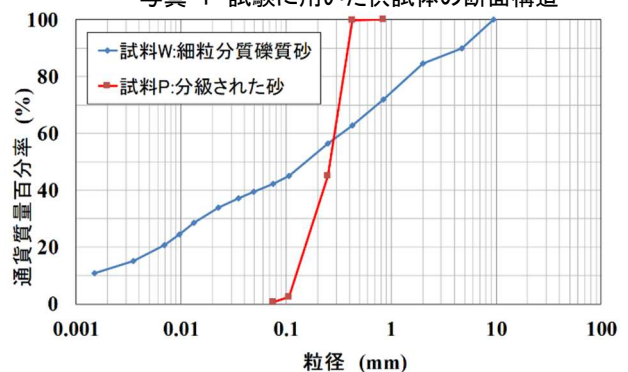


図-1 試験に用いた試料の粒径加積曲線

- ②液状化試験は、二重負圧法を用いて飽和作業を行い、 $100\text{kN/m}^2$ の圧力で圧密した後、非排水状態のもと $0.2\text{Hz}$ の周波数により繰返し载荷を行った。
- ③試験数は、十分な数ではないが、時間的な制約もあり、各試料について同一の繰返し応力振幅比で5回試験を行うこととした。

## 3. 試験結果

## (1) 力学特性について

各試料について、繰返し载荷回数が20回程度の代表的な繰返し軸差応力-平均有効主応力(有効応力経路)と繰返し軸差応力-軸ひずみの関係を図-2、3に示す。

有効応力経路について、両試料とも繰返し载荷に伴い間隙水圧が上昇し、破壊線に近づいた後しばらく液状化には至らない。このことから、やや密度が高い試料であることがわかる。

繰返し軸差応力-軸ひずみについて、試料Wは繰返し载荷の回数に伴い、ひずみが一定の幅で増加するのに対し、試料Pは繰返し载荷の回数の増加に伴い、ひずみの増加量が増える傾向にある。これは、通常緩い砂で起こる傾向であり、緩い砂ほど顕著なものではないが、やや密度が高い砂としては特異な傾向といえる<sup>1)</sup>。試料Pの粒径幅は、極めて狭く、土粒子同士の接触点が相対的に少ないものと推察され、これによりひずみの進行が加速したものと考えられる。

## (2) 試験結果と考察

表-1に各試料の試験結果を示す。液状化強度曲線は、修正ニューマーク D 法で用いられる式(1)により近似し  $R_{L20}$  を求めて評価した。また、各試料の繰返し応力振幅比における到達回数が最も高い値と低い値を採用した液状化強度曲線と到達回数の分布状況を図-4, 5に示す。

$$R_L = \alpha \times N_c^{-\beta} \quad \dots \text{式(1)}$$

試料 W について、各繰返し応力振幅比における DA5% ひずみに達する回数は、3回から7回の幅を持ち、 $R_{L20}$  の最大値は0.416、最小値は0.396であった。(図-4)

試料 P について、各繰返し応力振幅比における DA5% ひずみに達する回数は、3回から5回の幅を持ち、 $R_{L20}$  の最大値で0.344、最小値は0.310であった。(図-5)

到達回数について、最も差が生じたのは、両試料とも最小の繰返し応力振幅比での試験結果であった。繰返し応力振幅比が小さくなると、必然的に DA5% ひずみまでの到達回数は増加することから、繰返し回数がどの程度の回数であるかによって到達回数の差が増減しているものと考えられる。これを元に整理し直すと、両試料を通じ繰返し回数が1桁台での到達回数の差は3回、10回台では4.5回、20回台では4回、30回台では5回、40回台では7回という結果となる。また、両試料の断面構造の違いによる試験結果への影響については、今回の結果では顕著な差異は認められなかった。これは、試料 P の粒径幅が極端に狭く、土粒子同士の接触点が少ないことから、ひずみの進行が加速し易く、繰返し載荷回数にばらつきが生じ易い試料であったためと考えられる。

$R_{L20}$  について、試料 W は最大値最小値の差が0.020、試料 P は0.034であった。本試験から、 $R_{L20}$  への影響は、数値上それほど高くないように感じられる。しかし、液状化判定を行う際は、液状化抵抗率  $F_L$  について1.0を基準に判定するため、 $F_L \approx 1.0$  の場合、影響は少なからずあるものと考えられる。また、同じ試料でも密度が高く液状化強度が高い場合、曲線はより縦長の形状となるため、更にこの差は拡大する可能性もあると考えられる。

## 4. まとめ

粒度構成の異なる2試料に対し、同一の繰返し応力振幅比で液状化試験を5回行った。その結果、DA5% ひずみに到達する回数の差は、両試料とも繰返し載荷回数が多くなるほど生じやすく、20回程度の繰返し載荷回数であれば約4回であった。また、これら到達回数の差が試験結果  $R_{L20}$  へ与える影響は、大きい試料で0.034であった。

今回採用した試験試料からは、断面構造による顕著な違いは見られなかったため、今後より自然地盤に近い粒度構成の砂試料を用いて再検証したいと考える。

## 《引用・参考文献》

- 1) 地盤工学会編：地盤材料試験の方法と解説-二分冊の2-, p.742, 2009.11.

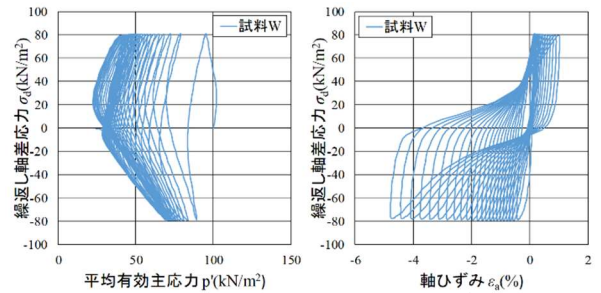


図-2 試料 W: 有効応力経路と応力-ひずみの関係

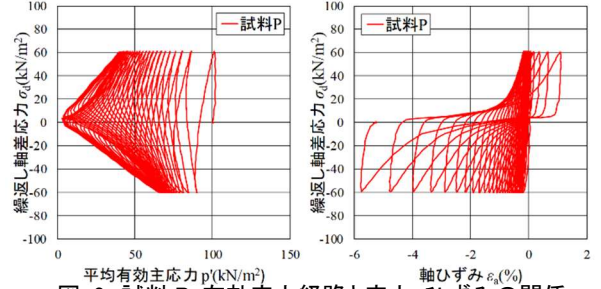


図-3 試料 P: 有効応力経路と応力-ひずみの関係

表-1 試験結果

試料名	試料W				試料P			
試験No.	1				1			
供試体No.	1	2	3	4	1	2	3	4
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_v'$	0.356	0.402	0.441	0.491	0.253	0.302	0.400	0.498
DA 1%に達した回数	13.0	4.5	1.5	0.8	22.0	15.0	2.5	1.5
DA 2%に達した回数	29.0	12.0	5.5	2.5	26.0	20.0	7.5	4.5
DA 5%に達した回数	44.0	24.0	11.0	5.5	31.0	25.0	12.0	9.0
試験No.	2				2			
供試体No.	1	2	3	4	1	2	3	4
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_v'$	0.358	0.403	0.445	0.490	0.251	0.307	0.401	0.498
DA 1%に達した回数	11.0	4.5	1.5	0.7	23.0	15.0	5.5	1.5
DA 2%に達した回数	26.0	11.0	6.5	1.5	30.0	20.0	11.0	5.5
DA 5%に達した回数	41.0	22.0	13.0	4.5	36.0	25.0	16.0	9.5
試験No.	3				3			
供試体No.	1	2	3	4	1	2	3	4
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_v'$	0.356	0.398	0.449	0.495	0.254	0.305	0.402	0.500
DA 1%に達した回数	10.0	4.5	1.5	0.7	25.0	12.0	5.5	1.0
DA 2%に達した回数	25.0	12.0	5.5	1.5	29.0	19.0	9.5	3.5
DA 5%に達した回数	40.0	21.0	12.0	5.5	33.0	25.0	13.0	6.5
試験No.	4				4			
供試体No.	1	2	3	4	1	2	3	4
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_v'$	0.355	0.401	0.446	0.496	0.254	0.305	0.400	0.500
DA 1%に達した回数	14.0	3.5	1.5	0.8	26.0	12.0	5.5	1.0
DA 2%に達した回数	27.0	11.0	6.0	2.5	31.0	17.0	10.0	4.0
DA 5%に達した回数	42.0	21.0	13.0	7.5	35.0	22.0	16.0	7.5
試験No.	5				5			
供試体No.	1	2	3	4	1	2	3	4
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_v'$	0.361	0.399	0.448	0.489	0.255	0.302	0.401	0.497
DA 1%に達した回数	16.0	4.5	1.0	0.8	25.0	12.0	6.5	1.5
DA 2%に達した回数	32.0	12.0	3.5	2.5	29.0	16.0	11.0	4.5
DA 5%に達した回数	47.0	21.0	8.5	6.5	33.0	21.0	15.0	7.5

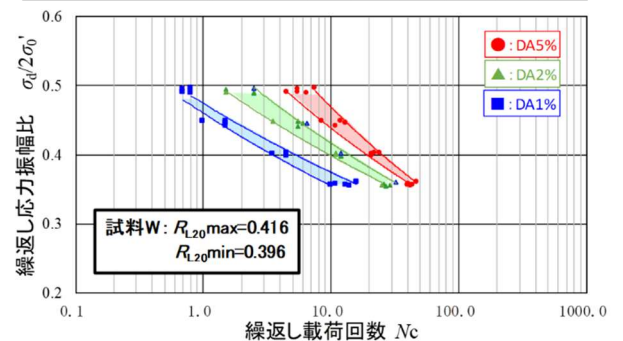


図-4 試料 W: 液状化強度曲線と到達回数の分布

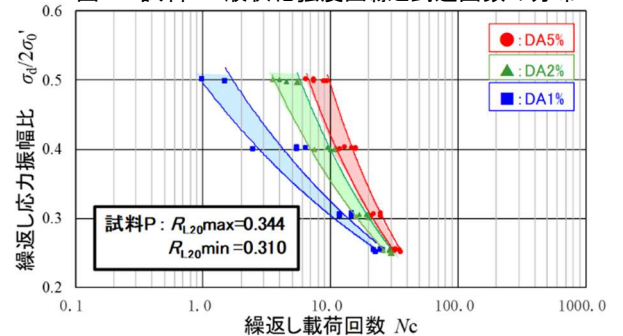


図-5 試料 P: 液状化強度曲線と到達回数の分布