

III-A 95

液状化砂層の最大応答と入力動の大きさ

奥村組 技術研究所 正会員 日下部 伸
奥村組 電算センター 正会員 森尾 敏

表-1 正規化粒度砂の諸元

砂の種類	e*max	e*min	間隙比幅	$\rho_s(g/cm^3)$
豊浦：ぎざ無し	0.975	0.607	0.368	2.645
若狭：ぎざ有り	1.218	0.747	0.471	2.705

1. まえがき

著者らは、「砂粒子表面形状」が地震時液状化抵抗の重要な要因であることをオンライン地震応答実験手法¹⁾を用いて明らかにしてきた²⁾。砂粒子表面形状を簡便に定量化する方法として、豊浦砂と同一の粒度分布に調整した正規化粒度砂の最大間隙比を用いることを提案するとともに、この「正規化最大間隙比」が、液状化抵抗に深く関与する「繰返し載荷時の変相線」の内部摩擦角を評価する指標として有用であることを示した³⁾。加えて、同一の入力動に対して粒子表面形状に起因する液状化に対する「ねばり」と最大応答の関係を調べた。その結果、液状化に対する「ねばり」の相違に関わらず、液状化砂層の応答加速度や応答速度および復元力（せん断応力）の最大値は、ほぼ同様であるという実験結果を得た⁴⁾。これらの結果を踏まえ、本研究では入力動の大きさと液状化砂層が地震中に発揮し得る最大応答値との関係について検討を加える。

2. 実験内容

実験には粒子形状が概ね類似で、かつ正規化最大間隙比が異なる典型的な2種類の砂（ぎざ無しの豊浦砂とぎざ有りの若狭砂）を用いた。若狭砂は、75, 106, 250, 425 μ mの4枚のふるいを使用して「豊浦標準砂」と同一の粒度に調整されている。表-1に2種類の正規化粒度砂の諸元を示す。空中落下法により作製した中空供試体（外径100mm, 内径60mm, 高さ100mm）に、先ず有効側方向応力 σ'_h を等方的に載荷後、異方分の有効軸方向応力を載荷し所定の σ'_v とした($K=\sigma'_h/\sigma'_v=0.5$)。

解析対象地盤は、文献⁵⁾の委員会が設定した1964年・新潟地震・川岸町モデルに準じたものであり、図-1に示す様に2種類のサブストラクチャ・オンライン実験を実施した。入力動は同委員会が設定した図-2に示す加速度波形を基盤より入力した。シリーズ1は、地下水位（深度2m）以下の6層（S1~S6）全層をオンライン実験し、地下水位が浅い2層（M1, M2）を線形弾性計算（せん断剛性Gは218kgf/cm²）とした。入力最大加速度振幅は100galに設定した。表-2に土層分割、湿潤密度 ρ_t 、初期応力状態、圧密打ち切り時の相対密度 D_r 、間隙比 e を示す。同表中の（a）と（b）はそれぞれぎざ無しの豊浦砂の2回の実験ケースを（c）はぎざ有りの若狭砂の実験ケースを示す。ケース（b）は、ケース（a）が終了後、各供試体の過剰間隙水圧を独立に消散させ、初期有効拘束圧で再圧密後、同一の入力条件で再実験したものである。

シリーズ2は、図-1と表-3の解析条件が示す様に、オンライン実験は深度4~6mの1層（S2）のみで、他の土層は全て線形弾性計算とした。表-4にオンライン実験部分の実験条件を示す。このシリーズでは入力動の最大値を75, 100, 150galの3種類に設定した。いずれのシリーズでもやや緩詰め砂のみを対象としている。

表-2 実験・解析条件（シリーズ1）

深度 (m)	土層分割	湿潤密度 (t/m ³)	初期応力状態 (kgf/cm ²)	(a) 豊浦砂		(b) 豊浦砂(再)		(c) 若狭砂	
				D_r (%)	e	D_r (%)	e	D_r (%)	e
0~1	(1) M1	1.8	σ'_v						
1~2	(2) M2	1.8							
2~4	(3) S1	1.9	0.450	0.225	49	0.795	49	0.794	51
4~6	(4) S2	1.9	0.630	0.315	50	0.791	51	0.789	52
6~9	(5) S3	1.9	0.655	0.428	47	0.802	47	0.801	52
9~12	(6) S4	1.9	1.125	0.583	49	0.796	49	0.795	50
12~15	(7) S5	1.9	1.395	0.688	52	0.784	54	0.773	52
15~18	(8) S6	1.9	1.665	0.833	50	0.791	50	0.790	51

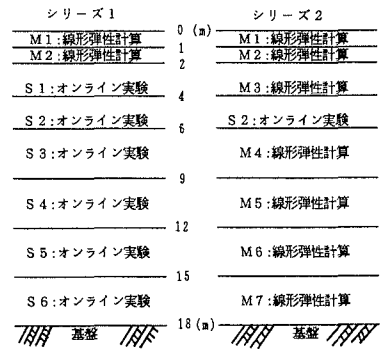


図-1 サブストラクチャ・オンライン実験

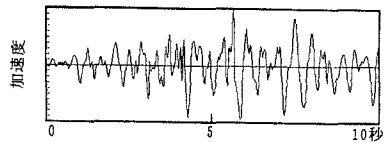


図-2 加速度波形

表-3 解析条件（シリーズ2）

深度 (m)	土層分割	湿潤密度 (t/m ³)	せん断剛性 G (kgf/cm ²)
0~1	(1) M1	1.8	218
1~2	(2) M2	1.8	218
2~4	(3) M3	1.9	428
4~6	(4) S2	1.9	オンライン
6~9	(5) M4	1.9	650
9~12	(6) M5	1.9	650
12~15	(7) M6	1.9	1111
15~18	(8) M7	1.9	1111

表-4 実験条件（シリーズ2）

砂の種類	相対密度 (%)	入力加速度 (gal)
豊浦・ぎざ無し	53	150
若狭・ぎざ有り	45	150
豊浦・ぎざ無し	54	100
若狭・ぎざ有り	50	100
豊浦・ぎざ無し	52	75
若狭・ぎざ有り	51	75

3. 実験結果と考察

オンライン地震応答液状化実験で得られた復元力（せん断応力）、加速度応答、速度応答の時刻歴の一例をそれぞれ図-3, 4, 5に示す。

(1) 入力加速度の最大値と τ の関係

入力加速度の最大値とせん断応力 τ の最大値の関係を示した図-6から以下のことが知れる。砂の堆積環境と密度、初期応力条件が同一の場合、入力加速度の最大値の大きさに関わらず地震応答液状化過程で発揮されるせん断応力の最大値 τ_{max} は、あまり変化がない様である。この傾向は、ぎざ無しの豊浦砂とぎざ有りの若狭砂について共通である。また、図中に併記したシリーズ1の全層オンライン実験の(a), (b), (c)の同一層のS2の τ_{max} とも調和的である。これは、 τ_{max} が他の層の挙動の影響を受けにくいことを示唆している。

(2) 入力加速度の最大値と加速度の関係

入力加速度の最大値と加速度の最大値の関係を示した図-7から以下のことが知れる。入力加速度の最大値の大きさにかわらず地震応答液状化過程で発生する加速度の最大値は、あまり変化がない様である。この傾向は、ぎざ無しの豊浦砂とぎざ有りの若狭砂について共通である。また、図中に併記した全層オンライン実験の(a), (b), (c)の同一層のS2の加速度の最大値とも調和的である。これは、液状化に至る過程での加速度の最大値が他の層の挙動の影響を受けにくいことを示唆している。加速度の最大応答率は、75gal入力時で1.2, 100gal入力時で1.0, 150gal入力時で0.7であり、入力加速度が大きくなるほど加速度の最大応答率は小さくなる結果が得られた。

(3) 入力加速度の最大値と速度の関係

入力加速度の最大値と速度の最大値の関係を示した図-8から以下のことが知れる。せん断応力と加速度の最大値は入力加速度の最大値によらずほぼ一定であった。これに対し、速度の最大値は入力加速度の最大値の大きさに応じて大きくなる様である。この傾向は、ぎざ無しの豊浦砂とぎざ有りの若狭砂について共通である。また、図中に併記した全層オンライン実験の(a), (b), (c)の同一層のS2の速度の最大値もやや大きな値となっており、せん断応力と加速度の傾向とはやや異なる結果となっている。

4. まとめ

入力動の大きさと液状化砂層が地震中に発揮し得る最大応答値との関係について検討を加え、以下の結果を得た。

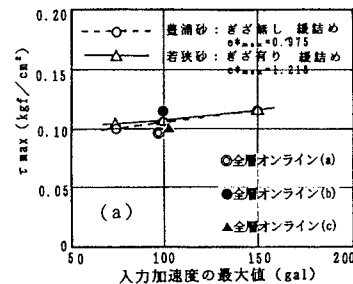


図-6 τ_{max}

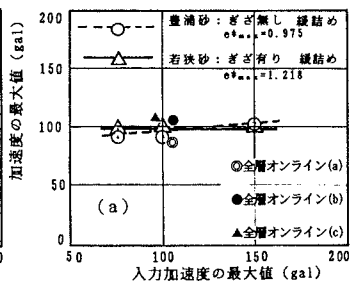


図-7 加速度の最大値

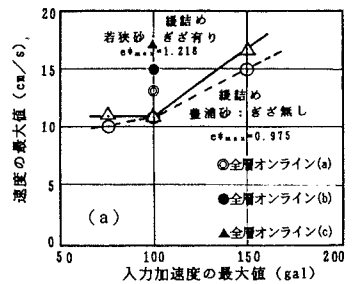


図-8 速度の最大値

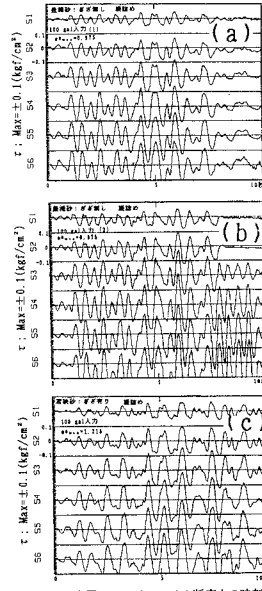


図-3 全層オンラインのせん断応力の時刻歴 (シリーズ1: 締結め砂: 100 gal 入力)

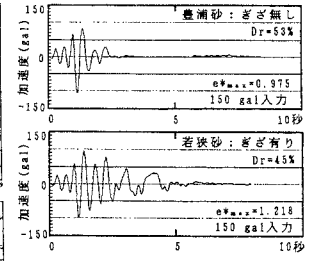


図-4 加速度の時刻歴

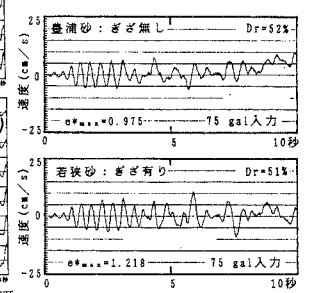


図-5 速度の時刻歴

せん断応力と加速度の最大値は入力加速度の最大値によらずほぼ一定であるのに対し、速度の最大値は入力加速度の最大値の大きさに応じて大きくなる様である。この傾向は、ぎざ無しの豊浦砂とぎざ有りの若狭砂について共通である。

参考文献

- 1) Kusakabe, S. and Morio, S.: The Development of a Substructure On-Line Testing System for Seismic Response Analysis of a Geotechnical System, Soils and Foundations, Vol. 35, No. 2, pp. 117~125, 1995.
- 2) 日下部 伸・森尾 敏: 粒子表面形状が異なる砂の地震応答液状化抵抗, 土木学会論文集, No. 517/III-31, pp. 149~158, 1995.
- 3) 日下部 伸, 森尾 敏, 兵動 正幸, 村田 秀一: 砂粒子表面形状が非排水ねじり単純せん断時の変相線と破壊線に及ぼす影響, 土木学会論文集III (登載予定), 1996.
- 4) 日下部 伸, 森尾 敏: オンライン実験による地震時液状化抵抗と最大応答, 「第31回地盤工学研究発表会」, (投稿中), 1996.
- 5) (社) 土質工学会: 地盤と土構造物の地震時の挙動に関する研究委員会, シンポジウム論文集, pp. 50~61, 1989.