

飽和砂地盤の再液状化について

山口大学工学部 正会員 山本 哲朗  
 宇部工業高等専門学校 正会員 大原 資生  
 山口大学大学院 学生会員 ○百合野博司

1. まえがき 飽和砂地盤の再液状化は、その地盤が過去の液状化時に受けた地動加速度よりも小さい加速度で発生するという事実がある。本文ではこのことを調べるために1983年日本海中部地震および1989年ロマブリエタ地震の際に再液状化を発生した飽和砂地盤および埋立て砂地盤<sup>1), 2)</sup>の再液状化ポテンシャルを簡易的な液状化判定法を用いて検討した結果、および飽和砂層の再液状化ポテンシャルに与える初回の液状化時の加速度、振動継続時間およびひずみ量の影響を振動台実験によって調べた結果がのべられている。

2. 原位置飽和砂地盤の再液状化ポテンシャル 1983年日本海中部地震および1989年ロマブリエタ地震の際に多くの地域で飽和砂地盤が再液状化を発生したことが報告されている<sup>1), 2)</sup>。本文ではとくに表-1の4地区の砂地盤を対象にしてその再液状化ポテンシャルを簡易的な液状化判定法<sup>3)</sup>を用いて検討した。その詳細は文献3)に譲るが、式(1)から地震時に地盤に生じるせん断応力比  $\tau_d / \sigma'_v$  を求め、また式(2)から地盤の液状化抵抗  $(\tau_d / \sigma'_v)_M$  を求める。そして  $\tau_d / \sigma'_v > (\tau_d / \sigma'_v)_M$  の場合には液状化は発生すると判断される。

$$\tau_d / \sigma'_v = 0.65 \alpha_{max} / g \cdot \sigma_v / \sigma'_v \cdot \gamma_d \quad (1)$$

ここで  $\tau_d$  : 動的せん断応力、 $\sigma'_v$  : 鉛直有効応力、 $\sigma_v$  : 鉛直全応力、 $g$  : 重力加速度、 $\gamma_d$  : 動的せん断応力の深さよる低減係数(=1 - 0.05z)、z : 深さ

$$(\tau_d / \sigma'_v)_M = \gamma_m \cdot (\tau_d / \sigma'_v)_{M7.5} \quad (2)$$

ここで  $(\tau_d / \sigma'_v)_{M7.5}$  : M=7.5の地震に対する原位置液状化抵抗、 $\gamma_m$  : 地盤のN値に対する補正係数

再液状化時および過去の液状化時の  $(\tau_d / \sigma'_v)$  および  $(\tau_d / \sigma'_v)_M$  の計算値は表-1に示すが、これからわかるように再液状化が発生したいずれの地盤において  $(\tau_d / \sigma'_v) \geq (\tau_d / \sigma'_v)_M$  となっており、再液状化ポテンシャルはかなり大きいという結果が得られた。

3. 飽和砂層の再液状化ポテンシャルに与える初回の液状化時の加速度、振動継続時間およびひずみの影響 先の研究<sup>4)</sup>と同ように振動台上にとりつけたケルマン型のせん断箱を用いて初回の液状化時の震度、振動の継続時間  $t_{L.S}$ 、ひずみの大きさを変えた実験を行い、それらの因子が再液状化ポテンシャルに与える影響を調べた。前回の実験では初回の液状化時と再液状化時には同じ震度を用いたが、原位置地盤では再液状化は過去の液状化に比べて小さい加速度でもって発生していることが多いことを考慮して、今回は初回の液状化実験では水平震度  $(k_h)_1 = 0.20$  とし、再液状化実験では  $(k_h)_2 = 0.15$  とした。添え字1, 2はそれぞれ初回の液状化、再液状化を意味する。実験は直径、高さが30cm×約5cmの飽和豊浦砂層(相対密度  $D_r = 55\%$ ) に対して初回の液状化実験を行い、液状化が発生した直後に排水バルブを開けて排水を行いながら振動を継続した。その時間  $t_{L.S}$  は約0~30秒間で数とおりに変えた。液状化時に発生した間隙水圧の消散を行った後、同じ砂層

表-1 飽和砂地盤の再液状化ポテンシャルの検討結果

Site	Liquefaction history	Earthquake	M	$\alpha_{max}$ (gal)	Sand ground analyzed	$\tau_d / \sigma'_v$	$(\tau_d / \sigma'_v)_M$	Judgment
Niiyamoto (Akita)	Past lique. Relique.	Niigata(1964) Nihonkai-Chubu M(1983)	7.5	90.6	N-value=0~6 (z<6m)	0.08	0.08	Lique. Relique.
			7.7	150		0.13	0.08	
Nakazato (Aomori)	Past lique. Relique.	Nihonkai-Chubu M(1983) Nihonkai-Chubu A(1983)	7.7	278	N-value=7~8 (z=2~6m)	0.33	0.18	Lique. Possibly relique.
			7.1	109		0.13	0.135	
Aomori (Aomori)	Past lique. Relique.	Tokachioki(1968) Nihonkai-Chubu M(1983)	7.9	213	N-value=4~17 (z=3.5~8.3m)	0.38	0.12	Lique. Relique.
			7.7	116		0.21	0.12	
San Francisco	Past lique. Relique.	San Francisco(1906) Loma Prieta(1989)	8.3	300	N-value=10 (z<5m)	0.39	0.17	Lique. Possibly relique.
			7.1	150		0.19	0.19	

に対して再液状化実験を行った。初期有効鉛直圧 $\sigma'_{v0}$ は49 kPaで、液状化時の砂層のせん断ひずみ全振幅 $\gamma_D$ は13.4%とした。初回の液状化と再液状化時の震度を $(k_h)_1 = (k_h)_2 = 0.15$ と同じにした実験も行った。この実験では初回の液状化時の $\gamma_D$ を13.4%とした他に、 $\gamma_D=5.0\%$ とした実験も行った。 $\gamma_D=5\%$ は液状化が発生した時のひずみ量に相当する。

図-1は初回に $(k_h)_1=0.20$ および $(k_h)_1=0.15$ の震度を受けて液状化した後の砂層が $(k_h)_2=0.15$ の震度を受けて再液状化を発生するまでのせん断応力の繰返し回数 $(n_L)_2$ と $t_{LS}$ の関係を示す。図-2は初回の液状化後の砂層の相対密度 $D_r$ と $t_{LS}$ の関係を示す。図-1、2からわかるように両方の砂層とも $t_{LS}$ の増加にともなって砂層の相対密度は増加しているが、初回に $(k_h)_1=0.20$ を受けた砂層の $(n_L)_2$ は $t_{LS}$ が増加するとともに単調に減少し、一方 $(k_h)_1=0.15$ を受けた砂層の $(n_L)_2$ は $t_{LS}=8$ 秒までは減少するものの、その後は一定値約120回となる。このように初回に $(k_h)_1=0.15$ を受けた砂層の $(n_L)_2$ は実験範囲の $t_{LS}$ において初回の液状化を生じるまでの回数 $(n_L)_1=55\sim 78$ 回よりも大きいので、初回に比較的小さい震度を受けて液状化した砂層の再液状化ポテンシャルは初回に比べてかなり小さくなっていると考えることができる。これに対して初回に $(k_h)_1=0.20$ を受けた砂層の $(n_L)_2$ は $t_{LS}=20$ 秒の付近で60回程度であり、それは初回に $(k_h)_1=0.15$ を受けた砂層の $(n_L)_1$ のバラツキの範囲内にあるので、初回の液状化時に比較的大きい震度を長い間受けた砂層では再液状化ポテンシャルは初回と変わらないかやや大きくなると考えることができる。すなわち初回の液状化時の震度と振動継続時間が大きくなると、液状化後の排水によって密度が増加した砂層の中に部分的にゆるい部分が多く形成されて再液状化ポテンシャルが大きくなるのであろう。図-3は初回の液状化時に $\gamma_D=5.0\%$  および13.4%を受けた砂層の $(n_L)_2/(n_L)_1$ と $t_{LS}$ の関係を示す。これから砂層の再液状化ポテンシャルの指標に相当する $(n_L)_2/(n_L)_1$ は初回の液状化時のひずみ振幅には影響を受けないことがわかる。

4. まとめ 日本海中部およびロマブリエタ地震の際に再液状化が発生した地盤の再液状化ポテンシャルは大きいという事実と一致した結果が簡易的な液状化判定法による検討から得られた。また初回の液状化時の加速度と振動継続時間が小さいときには飽和砂層の再液状化ポテンシャルは初回に比べて小さくなるが、それらが大きいときには再液状化ポテンシャルは変わらないかやや大きくなり、さらに再液状化ポテンシャルは初回の液状化に砂層に生じるひずみ振幅( $\gamma_D=5.0\% \sim 13.4\%$ )の影響を受けないことが実験的に示された。

参考文献 1) Yasuda, S. and Tohono, I.: Sites on Liquefaction Caused by the 1983 Nihonkai-Chubu Earthquake, Soils and Foundations, Vol.28, No.2, pp.61~71, 1988. 2) Yoshida, N. and Wakamatu, K.: Re-liquefaction of Fill Land-A Comparison between the Loma Prieta Earthquake and Japanese Earthquake, ISSULF, pp.3.1~3.15, 1990. 3) 吉見: 砂地盤の液状化(第2版)、技報堂出版、1991. 4) 山本・大原・百合野・西田: 液状化時の振動継続時間が飽和砂層の再液状化に及ぼす影響、地盤の液状化対策に関するシンポジウム発表論文集、pp.199~204、1991.

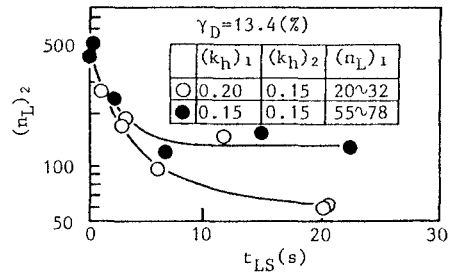


図-1  $(n_L)_2$ と $t_{LS}$ の関係

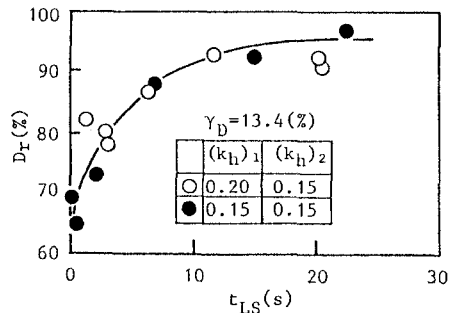


図-2 液状化後の砂層の $D_r$ と $t_{LS}$ の関係

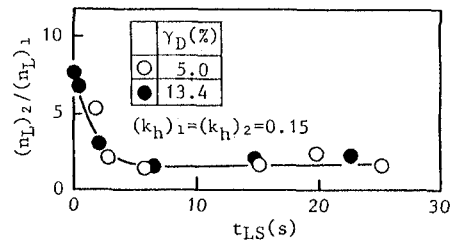


図-3 せん断ひずみ振幅の $(n_L)_2/(n_L)_1$ に与える影響