

III-257

1987年千葉県東方沖地震で生じた噴砂の液状化特性（その1）

飛鳥建設 正会員 ○長谷川昌弘 境野典夫

正会員 森 伸一郎 沼田淳紀 太田直之

1. はじめに

1987年12月の千葉県東方沖地震では、東京湾の海岸埋立地で多くの液状化が確認されている。筆者らは、地震発生後噴砂の試料を21地域から92試料採取し、細粒分が多いこと、低塑性であること、粒子は粒状・砂屑状のものが目立つことを既に報告している。¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ここでは更に、噴砂の液状化特性を知る目的で繰返し三軸試験を実施したのでその結果を報告する。

表-1 物理特性一覧表

試料名	Z-10	G-5	W-1	P-6	Z-9	W-3	豊浦砂
採取地	塩浜	五井南	袖ヶ浦	千葉市	塩浜	袖ヶ浦	—
土質分類	ML	SM	SM	S-M	S-M	SPu	SPu
比重 G_s	2.655	2.717	2.697	2.700	2.658	2.709	2.64
細粒分含有率 PF (%)	92.7	42.6	22.6	12.6	7.5	3.0	0
粘土分含有率 PC (%)	6.1	5.2	5.8	5.6	5.5	2.6	0
10% 粒径 D_{10} (mm)	0.014	0.032	0.042	0.055	0.080	0.10	0.162
50% 粒径 D_{50} (mm)	0.036	0.088	0.11	0.12	0.13	0.14	0.205
均等係数 U_c (mm)	2.9	3.1	2.9	2.4	1.8	1.5	1.328
液性限界 W_L (%)	34.5	—	31.4	30.5	31.0	26.8	NP
塑性限界 W_p (%)	26.3	—	28.1	21.4	25.0	23.4	NP
塑性指数 I_p (%)	8.2	—	5.3	9.1	6.0	3.4	NP
最大間隙比 e_{max}	1.720	1.558	1.544	1.352	1.334	1.172	0.975
最小間隙比 e_{min}	0.898	0.850	0.882	0.770	0.790	0.692	0.599
供試体圧密後 相対密度 D_{rc} (%)	50.3 51.4 59.8	58.2 59.4 55.4	55.4 59.6 56.9	48.3	43.6	33.6	52.5 49.4 43.4

※ 豊浦標準砂以外の試料は全て東京湾海岸埋立地の噴砂

2. 試料

試料は、東京湾の海岸埋立地において発生した噴砂より採取した92試料の中から、表-1に示す6試料（試料名は、既発表のものと一致している。）を選んだ。6試料の選定理由は、①粘土分含有率PCが小さい（ $PC < 6.1\%$ ）、②均等係数 U_c がほぼ等しく小さい（ $U_c = 1.5 \sim 3.1$ ）、③細粒分含有率PFが異なる（ $PF = 3.0 \sim 92.7\%$ ）、④採取量がある程度多いことである。図-1に6試料の粒度分布を、図-2には選定した試料がPCがほぼ一定でPFが異なるということを平均粒径との関係で示した。

各々の試料に対して、最大最小密度試験を実施したので、表-1、図-3にその結果を示した。Z-10のように細粒分が多い試料もあるので、以下のようにして試験を実施した。試料を絶乾状態にした後にデシケータ内で常温にさまし、更に、室内で充分放置し空气中水分の吸水による質量変化がないようにする。また、試料がコーン内をスムーズに流れない場合には、試料の流れが止まる度にコーンを軽く叩く。

比較のために豊浦標準砂についても試験を実施したので、その物理特性等を表-1、図-1、図-2及び図-3に併記した。

3. 供試体作成及び繰返し三軸試験方法

繰返し三軸試験用供試体は、密度のパラツキを少なくする目的で、乾燥した試料を室内で充分放置した後に空中落下法にて作成した。寸法は直径5cm、高さ10cmである。用いたノズルは、「飽和砂の非排水繰返し三軸試験方法に関する研究委員会」⁵⁾が全国一斉試験の際に配布した鉛管ノズルである。

全ての供試体の共通条件は安田らにならい、⁶⁾⁷⁾作り方一定、つまり、空中落下法における落下高さ一定として全ての供試体を作成した。落下高さは、豊浦標準砂で相対密度 $D_r \approx 50\%$ を得られる38cmとした。Z-10の試料は、細粒分が多いためにノズル内を試料がスムーズに通過しない、そこで、試料投入中常にノズルを軽く叩くようにした。このように作成した供試体の圧密後密度を図-3に示した。PFが多くなると間隙比が大きくなる傾向がみられるが、どれも $D_r = 50\%$ 付近にあり、それほど大きな差はない。

試料投入後は、二酸化炭素を1時間程度流し、脱気水の通水を排水量が供試体の1～2倍程度になるまで行い、背圧を 2.0 kgf/cm^2 まで上げ、有効拘束圧 0.5 kgf/cm^2 で4～10時間圧密を行ない、B値が0.96以上であることを確認した後に試験を実施した。用いた試験機は、空圧制御式の繰返し三軸試験機であり、載荷

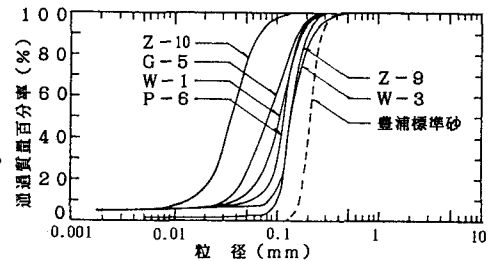


図-1 実験に用いた試料の粒度分布

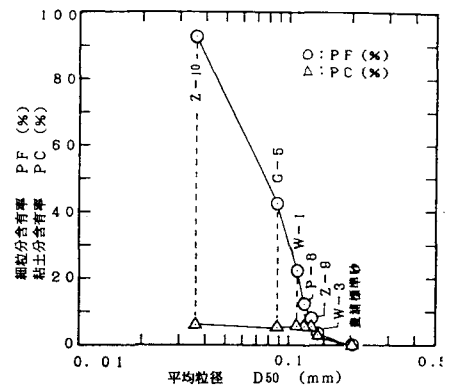


図-2 試料の細粒分含有率・粘土分含有率と平均粒径の関係

周波数は0.1Hzである。

表-1に示した全試料について、まず繰返し荷重一定（繰返し応力比 $SR = \sigma_d / (2\sigma_v)$ ）と0.13で試験を実施した。Z-10, G-5, W-1及び豊浦標準砂については、SRを変えて繰返し強度曲線を求めた。

尚、試料は採取量が少ないために繰返し使用した。

4. 試験結果及び考察

図-4に軸差応力、軸ひずみ、間隙水圧の時刻歴の一例を示す。

(a)は豊浦標準砂を(b)は細粒分の比較的多いG-5を示した。豊浦標準砂では、間隙水圧比 $(\Delta u / \sigma_v)$ が0.5程度になると間隙水圧は一気に拘束圧に近づき、ひずみ振幅も急増する。一方、噴砂は全てについて、残留間隙水圧上昇は拘束圧に近づくまで単調に増加する傾向にあり、ひずみ振幅も豊浦標準砂ほど急増しない。

図-5に両振幅ひずみ $DA=5\%$ に至る繰返し回数 N_c と SR との関係を示した。図中に示した斜線の範囲は、豊浦標準砂の一斉試験⁸⁾より得られたものである。今回のようにPCの小さい試料においては、 $SR=0.13$ 付近における N_c は、豊浦標準砂は弱めに、細粒分の多いものは強めとなるようだが、一斉試験結果のバラツキから、試験誤差も含めて考えるとPFによる明確な差は今まで言われているほどなく、むしろ、どれも同程度の N_c といえる。

噴砂の繰返し強度曲線は、豊浦標準砂のそれと比較して勾配が急であるようだが、石原⁹⁾らも一例を示しているように、今回の試験結果はPFの大きいものの方が液状化強度が必ずしも大きいとは言えないということを示唆している。しかし、物性が異なるということも念頭におく必要がある。

5. まとめ

今回採取した粘土分含有量が少なく低塑性で均等係数が小さい噴砂は、再調整試料ではあるが、細粒分の多少にあまり左右されず豊浦標準砂と同等程度に液状化し易いことを実験的に確認した。

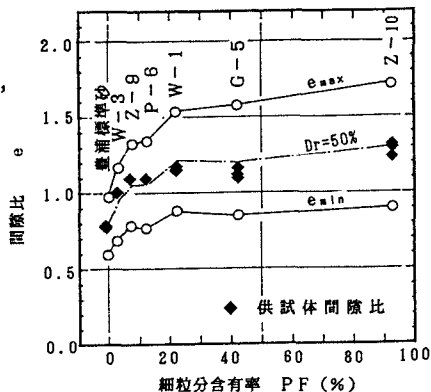


図-3 細粒分含有率と間隙比の関係

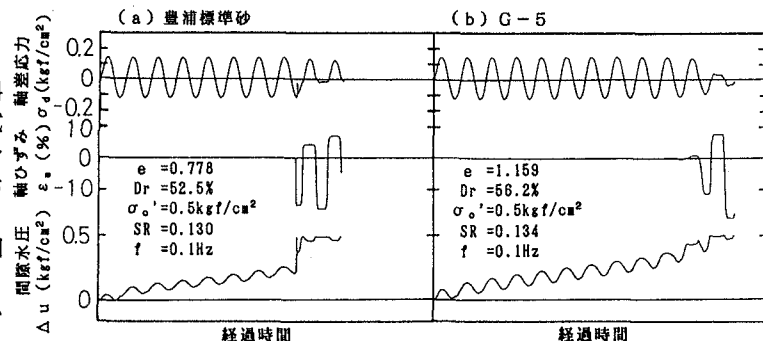


図-4 軸差応力、軸ひずみ、間隙水圧の時刻歴例

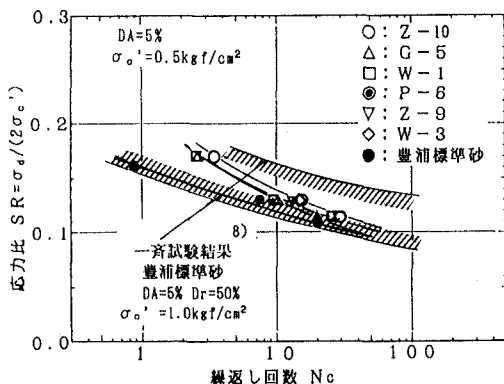


図-5 液状化試験結果

<参考文献>

- 1) 森, 滝本, 長谷川: 1987年12月17日千葉県東方沖地震における液状化調査, 第23回土質工学研究発表会講演概要集, 1988. 6
- 2) 森, 滝本, 長谷川: 1987年12月17日千葉県東方沖地震における液状化による噴砂の粒度特性, 土木学会第43回年次学術講演会第III部門, 1988. 10
- 3) 森, 池田, 滝本, 長谷川: 1987年千葉県東方沖地震で生じた噴砂のコンシステンシー特性, 第24回土質工学研究発表会講演概要集, 1989. 6
- 4) 滝本, 森, 長谷川, 上野: 1987年千葉県東方沖地震で生じた噴砂の粒子形状の観察, 第24回土質工学研究発表会講演概要集, 1989. 6
- 5) 土岐他: 委員会報告I, 土の非排水繰返し試験に関するシボジウム発表論文集, 1988. 12
- 6) 安田, 山本, 宮本: 試料の繰返し使用が液状化強度に与える影響, 土の非排水繰返し試験に関するシボジウム発表論文集, 1988. 12
- 7) 安田, 陶野, 森本他: 千葉県東方沖地震における埋立地の液状化発生特性, 地盤と土構造物の地震時の挙動に関するシボジウム発表論文集, 1989. 1
- 8) 龍岡: 委員会報告II, 砂質土および砂地盤の変形・破壊強度の評価に関するシボジウム発表論文集, 1984. 12
- 9) 古閑, 石原, 藤井: 細粒分を含む砂の三軸液状化試験, 第21回土質工学研究発表会, 1986. 6