

飛島建設㈱ 正会員 ○森伸一郎 正会員 関 眞一
正会員 三輪 滋 正会員 戸早孝幸
正会員 浅野俊太郎

1. はじめに

1990年7月16日にフィリピン・ルソン島中部においてM7.8 (USGS) の地震が発生した。筆者らは、現地調査を実施し、地震被害および液状化発生地点を前報¹⁾にて報告した。本報文は、調査時に採取した液状化による噴砂および地山の砂について、物理試験および繰返し三軸試験を実施したので、結果を報告する。

2. 液状化噴砂の物理特性

採取した13試料について、比重試験、粒度試験、コンシステンシー限界試験を実施した。試験方法はJIS規格²⁾に準拠し、粒度試験については0.212、0.180、0.125mmの各ふるいを加えた。表-1に物理試験結果の一覧を示す。比重の大きいA-1試料からは多量の砂鉄(黒色)が検出されたが、噴砂の比重は2.75~2.81である。また、コンシステンシー限界試験では、全試料がNPであった。噴砂全試料の粒径加積曲線を図-2に示す。細粒分含有率PFは4~25%、粘土分含有率PCは2~7%であり、特に大きくはない。過去の地震で生じた噴砂⁴⁾と同様にPCは10%以下であった。さらに、均等係数Ucは概ね2~5と小さく、均一な粒径であると言える。また、粒径分布もかなり狭い範囲に限定されており、これまで言われてきた液状化しやすい砂の粒径分布の範囲内³⁾にある。図-3、4には、ダグバン、カルメン橋で採取した噴砂の粒径加積曲線を示すが、地域による明瞭な違いは無い。図-5には、ダグバン市内で最も傾いた(傾斜角17度)被害であったRC建築物の脇より噴出した砂より採取したD-8試料の粒径加積曲線を示す。この試料は細粒分がかなり多く、他の噴砂とは異なる粒度組成を呈している。これは、大きな窪みの内部の傾いた地表面から採取したことや冠水していたことから判断して、噴出後の分級作用⁵⁾や外部からの流入等により、細粒分・粘土分の含有率が高くなったものと推察される。従って、噴砂全体の特性を代表しているとは考えられないため、この試料は噴砂試料としては取り扱うべきでないと判断した。

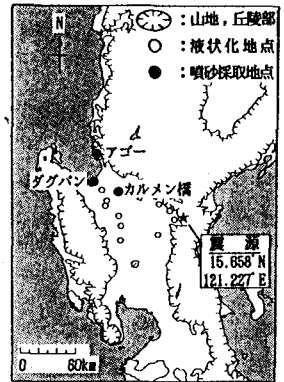


図-1 液状化発生地点¹⁾

表-1 1990年フィリピン・ルソン島地震における噴砂の物理試験結果一覧

No	試料名	土質分類	比重	PF %	PC %	D50 mm	Uc	噴砂の品質	色調	混在物等	関連する構造物被害等
アゴー (Agoo) 震央距離 116 km											
1	A-1	S-F	3.355	12	5	0.21	4.5	地山	暗灰	多量の砂鉄塊状のシルト	ガソリンタンクの浮上
カルメン橋 (Carmen Bridge) 震央距離 74 km											
2	C-1	SF	2.781	25	5	0.16	11.0	L	暗緑灰		橋脚の移動・傾斜(P2)
3	C-2	S-F	2.807	9	7	0.29	3.6	L	暗灰褐	塊状のシルト	橋脚の移動・傾斜(P3)
4	C-3	SF	2.792	28	8	0.12	7.0	地山	暗灰褐	雲母片	橋脚の移動・傾斜(P12)
ダグバン (Dagupan) 震央距離 104 km											
5	D-1	S-F	2.788	6	5	0.20	2.1	L	暗緑灰	雲母片・貝殻片	RC建物の沈下・傾斜
6	D-2	S-F	2.808	8	5	0.18	1.8	L	暗緑灰	雲母片・腐植木片	木造民家の亀裂
7	D-3	S-F	2.782	9	3	0.16	2.0	L	暗緑灰	雲母片・腐植木	ブロッコ造民家の沈下・傾斜
8	D-4	SF	2.771	21	7	0.14	5.3	LE	暗緑灰	雲母片・貝殻片	建物の沈下、床の亀裂
9	D-5	S-F	2.803	8	6	0.17	2.0	L	暗緑灰	雲母片・貝殻片	区域全体の沈下
10	D-6	S-F	2.769	13	7	0.14	3.8	LE	暗緑灰	雲母片・貝殻片	建物の沈下、床の亀裂
11	D-7	S-F	2.762	6	2	0.24	2.6	L?	暗緑灰	雲母片	ガソリンタンクの浮上
12	D-8	S-F	2.746	40	11	0.11	31.0	(L?)	暗緑灰	雲母片・礫	RC建物の傾斜(17°)
13	D-9	SPu	2.768	4	2	0.28	2.1	L	暗灰褐	礫	ガソリンタンクの浮上

LE: 乱されていない噴砂口であり混入物は極少ない噴砂と判断される。、L: 噴砂口は乱れているが混入物は少ない噴砂と判断される。、L?: 混入物の可能性がある噴砂である。、PF: 細粒分含有率(<0.074mm)、PC: 粘土分含有率(<0.005mm)、D50: 平均粒径、Uc: 均等係数

3. 液状化噴砂の液状化特性

ダグバンで採取した噴砂を再構成して繰返し三軸試験を実施した。試料は同一の粒度組成とみなせるD-2、3、5の混合試料とし、試験に際しては繰返し使用はしていない。供試体は、空中落下法（落下高さH=38cm：豊浦標準砂で $D_r \approx 50\%$ となる高さ⁹⁾）により作成した。寸法は直径5cm×高さ10cmである。拘束圧 σ'_c は0.5kgf/cm²とし、0.1Hzで繰返し載荷した。圧密後の供試体の相対密度(D_{rc})は57~59%であった。図-6に繰返しせん断応力比SRと両振幅軸ひずみDAが2、5、10%に達する繰返し回数 N_c との関係を示す。繰返し回数20回でDAが5%に達する液状化強度 R_{20} は0.15である。繰返し回数が20回程度より大きくなると異なる軸ひずみ両振幅による液状化強度に違いは見られない。

この地震では強震記録が得られていない。そこで、試験の密度は原地盤の密度を反映させたわけではないが、仮に原地盤がこの程度の液状化強度であるとして地表面の加速度を推定してみる。石原の方法⁷⁾により、地震波振幅の不規則性に関する補正係数を0.7、静止土圧係数を0.5、土の湿潤密度を1.8、地下水位を1.5mとすれば、液状化安全率 $F_L=1.0$ となる地震時の地表の最大加速度 A_{max} は約0.07Gとなる。したがって、ダグバンの地表の最大加速度は少なくとも0.07G以上と考えられる。

4. まとめ

1990年フィリピン地震による液状化噴砂の物理特性、液状化特性は次のようにまとめられる。

- 1) 噴砂の粒度特性は各試料とも類似しており、粒径加積曲線は液状化しやすい砂の粒度分布の範囲内にあり、細粒分は特に多くはない。
- 2) 相対密度60%程度に再構成した噴砂の液状化強度 R_{20} は0.15である。

<参考文献>

- 1) 三輪, 戸早, 森, 関: 1990年フィリピン・ルソン島地震における液状化調査, 日本建築学会関東支部研究報告集(構造系), 1991.3, pp.109~112
- 2) 土質工学会: 土質試験法(第2回改訂版), 1981.10
- 3) 日本港湾協会(運輸省港湾局監修): 港湾施設の技術上の基準・同解説, 改訂版, 1989.8, pp.203~209
- 4) 森, 沼田: 埋立地の液状化で生じた噴砂に関する研究, 第8回日本地震工学シンポジウム, 1990.12, pp.903~908
- 5) 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回年次学術講演会概要集(第III部門), 1988.10, pp.458~459
- 6) 沼田, 太田, 森, 境野, 長谷川, 滝本: 1987年千葉県東方沖地震で生じた噴砂の液状化特性(細粒含有率の差異の実験的検討), 土木学会第20回地震工学研究発表会講演集, 1989.7, pp.241~244
- 7) Ishihara, K., Kawase, Y., Nakajima, M.: Liquefaction characteristics of sand deposits at an oil tank site during The 1978 Miyagiken-Oki Earthquake, Soils and Foundations, Vol. 20, No. 2, 1980.6., pp.97~111

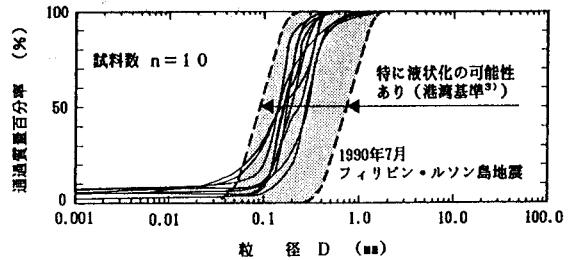


図-2 噴砂全試料の粒径加積曲線

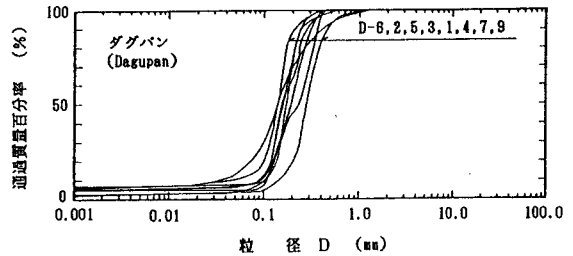


図-3 噴砂の粒径加積曲線(ダグバン)

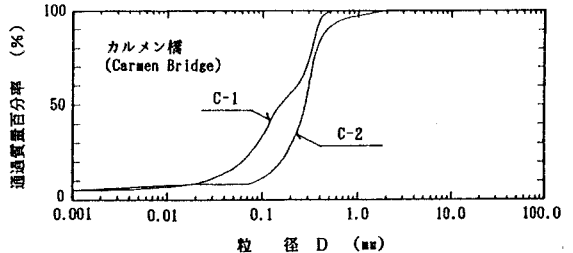


図-4 噴砂の粒径加積曲線(カルメン橋)

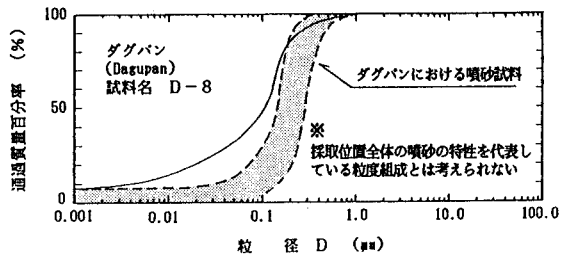


図-5 D-8試料の粒径加積曲線

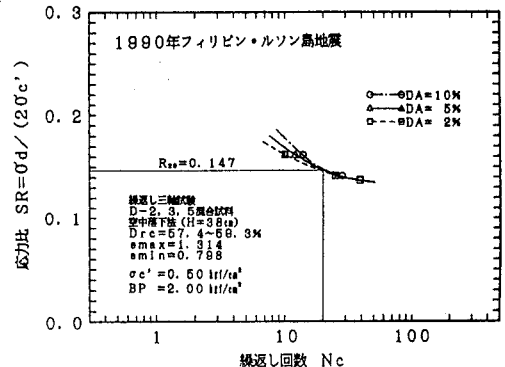


図-6 繰返しせん断応力比と繰返し回数との関係