

(56) 液状化により生じた噴砂と沖積層における細粒分含有率と粘土分含有率

飛島建設 森伸一郎

○沼田淳紀

1. はじめに

1987年千葉県東方沖地震および1989年ロマ・ブリエタ地震では、東京湾およびサンフランシスコ湾の臨海埋立地で多くの液状化が生じた^{1) 2)}。我々は、これらの地震について現地調査を行うとともに噴砂を採取し、物理的性質および液状化特性を明らかにしてきた。これらの特徴は、①粒度特性としては、細粒分含有率が高く、多いものでは100%に近いものもあるのに対し、粘土分含有率はいずれも10%以下であった。また、細粒分含有率の多いものはすべて臨海埋立地で生じた噴砂であった^{2) 3)}。②再構成試料による液状化強度は、どの噴砂も豊浦標準砂と同じ程度であり低かった⁴⁾。

細粒分含有率が高く100%近いものもあるのに対し、粘土分含有率が10%以下であるという関係は、特異な性質と考えられたので、自然地盤や埋立土層についても細粒分含有率と粘土分含有率を調査し比較を行った。その結果、細粒分含有率が80~100%では、噴砂は明らかに特異であると考えられた⁵⁾。さらに、浚渫砂の素材と考えられる有楽町層について細粒分含有率と粘土分含有率との関係を求めたところ、自然地盤にも細粒分が多い割に粘土分が少ない土も存在している⁶⁾がその比率は小さく、特異な部類の土であると考えられた⁷⁾。

このような特異性は、浚渫などによる分級作用を受けた臨海埋立地特有の性質であるのか、液状化により土が噴出した際に分級作用を受けた噴砂特有の性質であるのか、という問題が残った。

そこで、東京湾沿岸の沖積層のデータから、土層・深度・地域などを念頭におき細粒分含有率と粘土分含有率との関係の詳細な分析を行った⁸⁾。さらに、数は少ないが埋立土層についても、その関係を調査した⁹⁾。

ここでは、2つの地震の噴砂の粒度特性を示すとともに、自然地盤と埋立土層の細粒分含有率と粘土分含有率の関係の分析結果を示し、前述した一連の比較検討を行った。

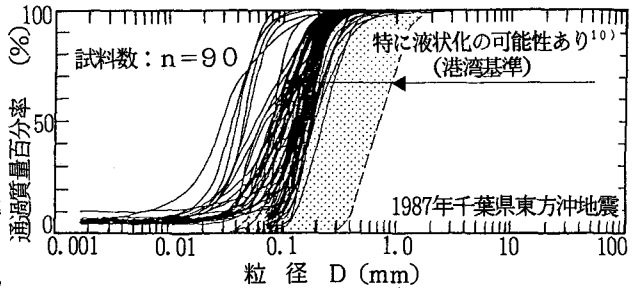


図-1 1987年千葉県東方沖地震で生じた噴砂の粒度曲線¹⁾

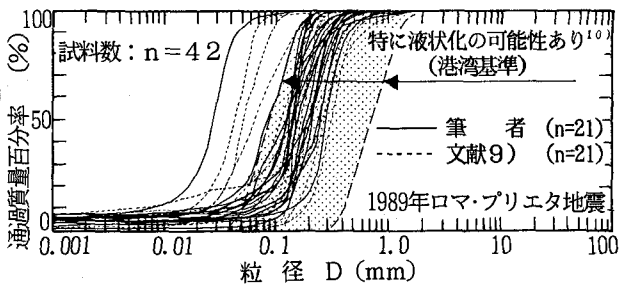


図-2 1989年ロマ・ブリエタ地震で生じた噴砂の粒度曲線^{2) 9)}

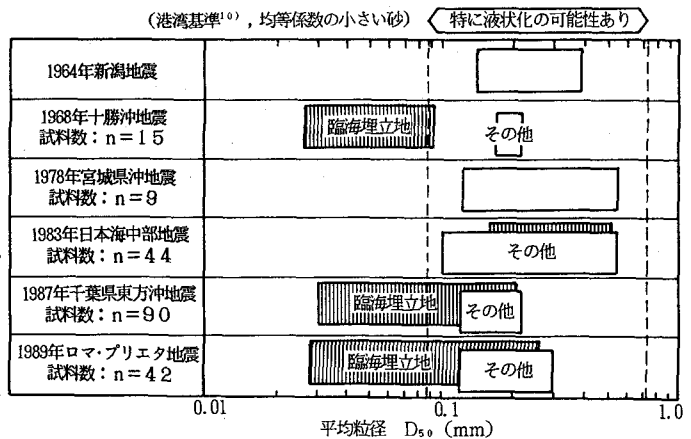


図-3 各々の地震で生じた噴砂の平均粒径D₅₀の範囲⁷⁾

YUは、 $P_c = 0.39 P_f$ (データ数n: n=712) となったが、データ数を増やして、以下のような各土層における細粒分含有率と粘土分含有率との関係を得た。(ただし、ALについてはT.P. -5m以浅)

<各土層の回帰式>

- 河成層 (AL) : $P_c = 0.47 \cdot P_f$
($r = 0.758$, $n = 286$)
- 有楽町層上部 (YU) : $P_c = 0.38 \cdot P_f$
($r = 0.755$, $n = 933$)
- 有楽町層下部 (YL) : $P_c = 0.41 \cdot P_f$
($r = 0.578$, $n = 1892$)

さらに、YUとYLの回帰式は比較的似ているので、YUとYLを合わせた海成層、ALを河成層として整理すると回帰式は以下のようになる。

<各堆積層の回帰式>

- 河成層 (AL) : $P_c = 0.47 \cdot P_f$
($r = 0.758$, $n = 286$)
- 海成層 (YU + YL) : $P_c = 0.41 \cdot P_f$
($r = 0.707$, $n = 2825$)

海成層 (YUとYL) は、臨海埋立地の主要な埋立素材と考えられるが、このようにこの層の細粒分含有率と粘土分含有率との関係は、おおそ $P_c = 0.4 \cdot P_f$ といえる。

河成層と海成層の細粒分含有率と粘土分含有率との関係を図-6および図-7に示す。これらの図には、回帰式も示す。

日本統一土質分類では、 $P_f = 50\%$ を砂質土と細粒土との分類の境界にしているのをこれを境にすると、噴砂に見られた粘土分含有率が10%以下というデータは、細粒分含有率が50%以下の範囲では、河成層と海成層の両方に存在している。特に、海成層ではその割合も多い。しかし、細粒分含有率が50%以上の範囲では、河成層でほとんどなく、海成層ではわずかに存在しているが、割合としては少なく極めて稀であることがわかる。

したがって、噴砂の関係は自然地盤と比較して、細粒分含有率が50%以下の範囲においては少なくないが、細粒分含有率が50%以上の範囲では特異な部類であると考えられる。

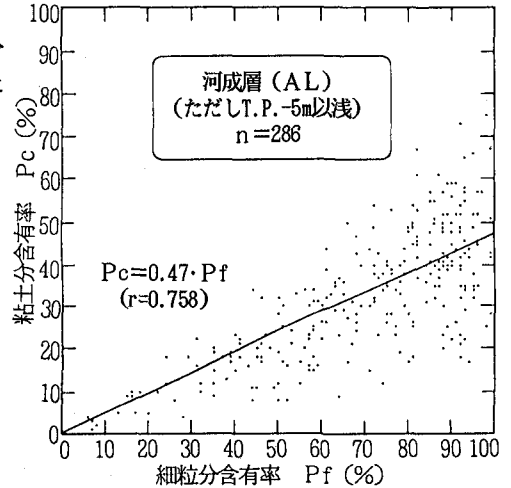


図-6 河成層のPfとPcとの関係

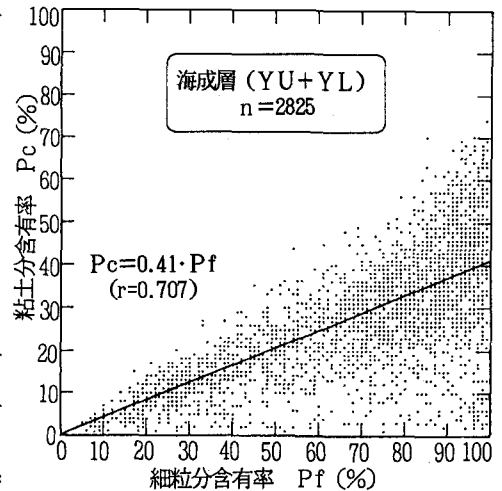


図-7 海成層のPfとPcとの関係⁸⁾

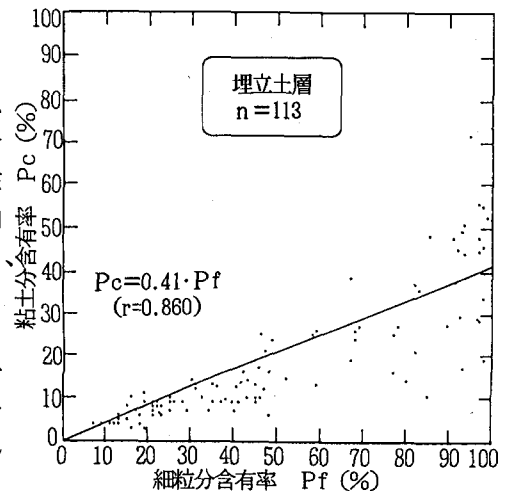


図-8 埋立土層のPfとPcとの関係⁸⁾

4. 埋立土層の細粒分含有率と粘土分含有率との関係⁸⁾

噴砂の細粒分含有率と粘土分含有率との関係の特異性が、浚渫などによる分級作用を受けた臨海埋立地特有の性質であるのか、または、液状化層の土が噴出した際に分級作用を受けた噴砂特有の性質であるのかを明らかにするために、東京および千葉の東京湾沿いの臨海埋立地における地盤調査結果より、数は113個と非常に少ないが、埋立土層の細粒分含有率と粘土分含有率を調べて整理した。ただし、これらのデータの中には浚渫砂や陸上土砂^{1,3)}などが含まれていると考えられる。この関係を図-8に示す。これを原点を通る1次式で回帰すると以下ようになる。

<埋立土層の回帰式>

$$\text{埋立土層: } P_c = 0.41 \cdot P_f \quad (r = 0.860, n = 113)$$

図-8および図-9より、埋立土層の関係は、臨海埋立地の主要な埋立素材と考えられる海成層と、分布においても回帰式においても同様でありその関係はおおよそ $P_c = 0.4 \cdot P_f$ といえる。

埋立土層において噴砂に見られた粘土分含有率が10%以下というデータは、細粒分含有率が50%以下の範囲では比較的多く存在しているが、細粒分含有率が50%以上の範囲では存在していないことがわかる。

したがって、細粒分含有率が多く粘土分含有率が10%以下という噴砂の特異性は、埋立土層との比較においても見られず、噴出した際に粘土が水に流され逸失するか、細粒分に比べ粗粒なものが噴出・上昇しないなどの分級作用を受けた噴砂特有の性質である可能性が高い。

5. 結論

- (1) 海成層(有楽町層上部Y_uと有楽町層下部Y_l)の細粒分含有率と粘土分含有率との関係は、おおよそ、 $P_c = 0.4 \cdot P_f$ といえる。
- (2) 臨海埋立地の主要な埋立素材と考えられる海成層と埋立土層とは、同様な細粒分含有率と粘土分含有率との関係である。
- (3) 細粒分含有率が50%以上の範囲において、噴砂に見られた粘土分含有率が10%以下というデータは、自然地盤では極めて稀であり、この範囲における噴砂の細粒分含有率と粘土分含有率との関係は特異であると考えられる。
- (4) この細粒分含有率と粘土分含有率の関係における噴砂の特異性は埋立土層においても見られず、噴出した際に粘土が水に流され逸失するか、細粒分に比べ粗粒なものが噴出・上昇しない等の分級作用を受けた噴砂特有の性質である可能性が高い。

しかしながら、調査した埋立土層のデータ数は少なく、また、埋立材料が浚渫砂か陸上土砂なのかなどは不明な点が多く今後の課題である。

謝辞

沖積層のデータは、全て東京都土木技術研究所編著の東京総合地盤図I、東京都地質図集3より使用させていただきました。また、東京工業大学名誉教授の吉見吉昭先生には、数多くの御教示、御議論をいただきました。さらに、当社の長谷川昌弘、立花秀夫、境野典夫の各氏をはじめ研究開発部の皆様には有意義な議論をしていただいた。末筆ながら感謝致します。

参考文献

- 1) 森伸一郎、滝本幸夫、長谷川昌弘: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発表講演集、pp.943~946、1988.6
- 2) 森伸一郎、沼田淳紀:1989年ロマ・ブリエタ地震における液状化調査と噴砂の物理的性質、第25回土質工学研究発表会発表講演集、pp.67~70、1990.6
- 3) 森伸一郎、滝本幸夫、長谷川昌弘: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48回年次学術講演会講演概要集III、pp.458~459、1988.10
- 4) 森伸一郎、沼田淳紀:埋立地の液状化で生じた噴砂に関する研究、第8回日本地盤工学学会シンポジウム(1990)論文集、pp.903~908、1990.12
- 5) 森伸一郎、池田隆明、滝本幸夫、長谷川昌弘:1987年千葉県東方沖地震で生じた噴砂のコンパクション特性、第24回土質工学研究発表会発表講演集、pp.287~270、1989.6
- 6) 森伸一郎、沼田淳紀、長谷川昌弘、佐野小彦:最近の地震で生じた噴砂の物理的性質、日本応用地質学会平成2年度研究発表会講演論文集、pp.53~56、1990.6
- 7) 森伸一郎、沼田淳紀、境野典夫、長谷川昌弘:埋立地の液状化で生じた噴砂の諸特性、土と基礎、Vol.39、No.2、pp.17~22、1991.2
- 8) 森伸一郎、沼田淳紀:沖積層の細粒分含有率と粘土分含有率、第28回土質工学研究発表会発表講演集、1991.7、(投稿中)
- 9) 柳沢英明、安田達、森伸一郎:ロマブリエタ地震震害調査報告、1.液状化による被害について、土木学会論文集、第424号/III-14、pp.19~27、1990.12
- 10) 日本港湾協会(運輸省港湾局監修):港湾の施設の技術上の基準・同解説、改訂版、pp.205~209、1989.6
- 11) 東京都土木技術研究所:東京総合地盤図I、東京都地質図集3、技報堂、1977.8
- 12) 貝塚義平、松田馨余編:首都圏の活断層と地形区分、内外地図、1982
- 13) 柴田敬編著:埋立て軟弱地盤の防災、森北出版、1982.5