

(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・プリエタ地震では、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と存在している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⁸⁾。

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。

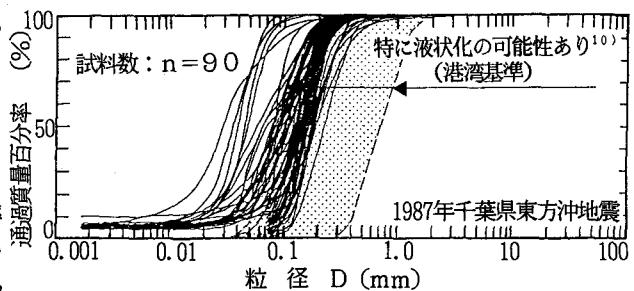


図-1 1987年千葉県東方沖地震で生じた噴砂の粒度曲線¹⁾

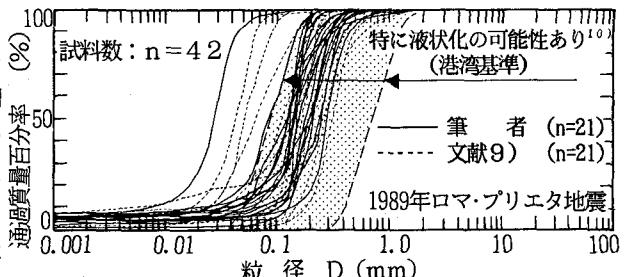


図-2 1989年ロマ・プリエタ地震で生じた噴砂の粒度曲線²⁾⁹⁾

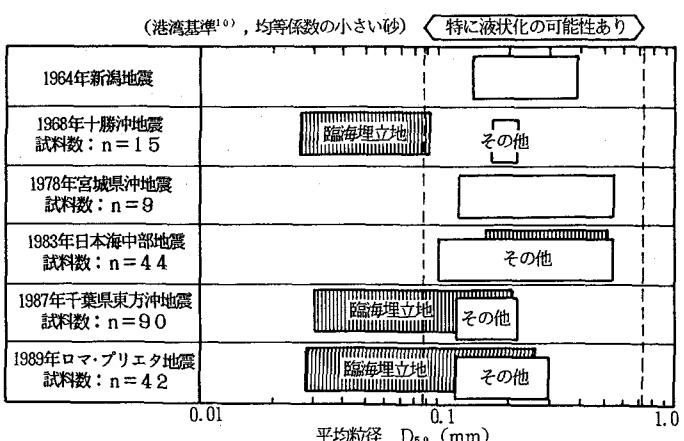


図-3 各々の地震で生じた噴砂の平均粒径 D_{50} の範囲⁷⁾

2. 噴砂の粒度特性^{1) 2) 7)}

図-1および図-2に、1987年千葉県東方沖地震¹⁾および1989年ロマ・プリエタ地震^{2) 9)}で採取した噴砂の全試料の粒径加積曲線を示す^{4) 7)}。

2つの地震の噴砂は、細粒分を多く含んでいるものがあるが、均等係数 U_c は小さく、粘土分含有率（粒径0.005mm未満）は全て10%以下であることがわかる。

さらに、臨海埋立地とそれ以外で生じた噴砂の粒度範囲を比較するために、両者の平均粒径 D_{50} の範囲を地震ごとに図-3に示す⁷⁾。

この図より、噴砂に細粒分が優勢なのは臨海埋立地に限定されること、また、それ以外で生じた噴砂は、港湾基準¹⁰⁾の『特に液状化の可能性あり』の範囲内であることがわかる。

図-4に過去の地震で生じた噴砂の細粒分含有率（粒径

0.074mm未満、 P_f と表す）と粘土分含有率（粒径0.005mm未満、 P_c と表す）との関係を示す^{2) 4) 7)}。噴砂の細粒分含有率は広く分布しているが、粘土分含有率はどの地震においてもおおむね10%以下であることがわかる。また図-3と同様に、細粒分が多い噴砂は、すべて臨海埋立地で生じていることがわかる。

3. 沖積層の細粒分含有率と粘土分含有率との関係^{5) 6) 7) 8)}

図-4に示した噴砂の関係は、特異な性質と考えられ、自然地盤と比較しこの関係が一般的なもののか、それとも、埋立土層や噴砂の特徴のかを明らかにするために、自然地盤における細粒分含有率と粘土分含有率について調査を行った。

調査は、東京総合地盤図 I¹¹⁾より東京湾沿岸の沖積低地のデータを対象とし、図-5に示す全メッシュについて次に示す条件に当てはまる土質データを拾い出した。条件は、①試料深さがGL-20mより浅いもの、②地盤図に冲積層 A L（以下 A L と表す）、有楽町層上部 Y U（以下 Y U と表す）または有楽町層下部 Y L（以下 Y L と表す）と記載されているもの、③細粒分含有率、粘土分含有率および試料採取深度が記載されているもの、とした。沖積層として A L、Y U および Y L を選んだが、A L は河成層¹¹⁾であり、Y U と Y L は海成層である⁸⁾。

各層の細粒分含有率と粘土分含有率との関係は、土層および深度を念頭におき分析を行った結果、原点を通る1次式で回帰するのが適当と考えられた⁸⁾。文献7) で

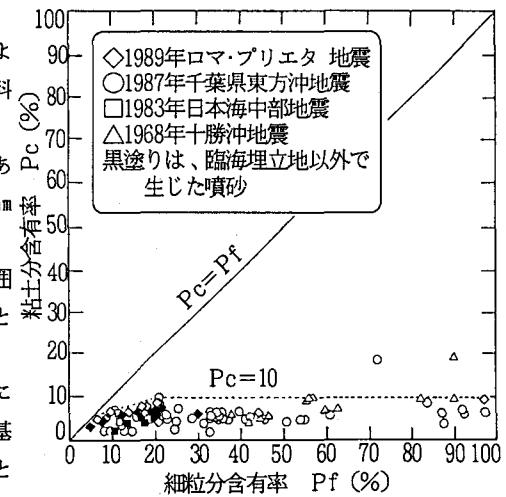


図-4 過去の地震で生じた噴砂の細粒分含有率 P_f と粘土分含有率 P_c との関係⁷⁾

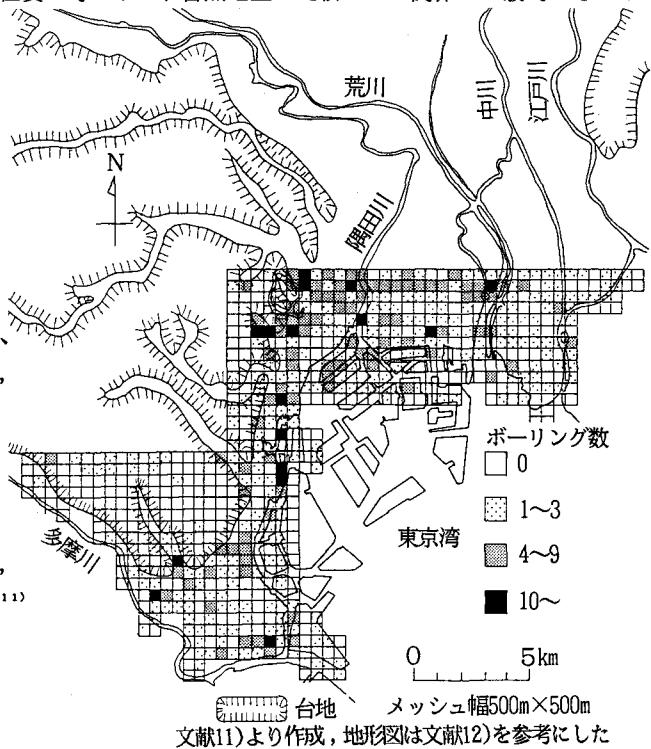


図-5 沖積層のデータ収集範囲⁸⁾

Y U 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、A LについてT.P.-5m以浅)

<各土層の回帰式>

$$\begin{aligned} \text{河成層 (A L)} &: P_c = 0.47 \cdot P_f \\ &(r=0.758, n=286) \\ \text{有楽町層上部 (Y U)} &: P_c = 0.38 \cdot P_f \\ &(r=0.755, n=933) \\ \text{有楽町層下部 (Y L)} &: P_c = 0.41 \cdot P_f \\ &(r=0.578, n=1892) \end{aligned}$$

さらに、Y U と Y L の回帰式は比較的似ているので、Y U と Y L を合わせた海成層、A L 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>

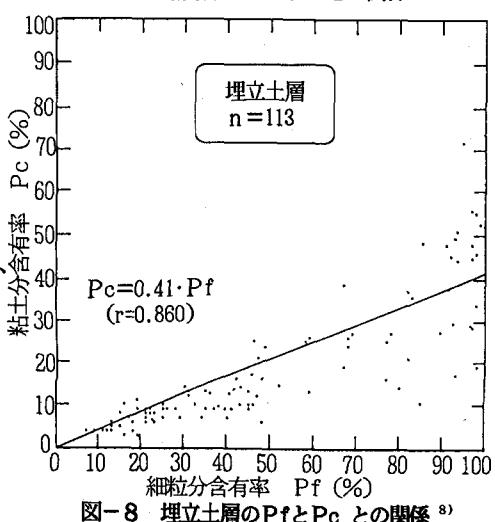
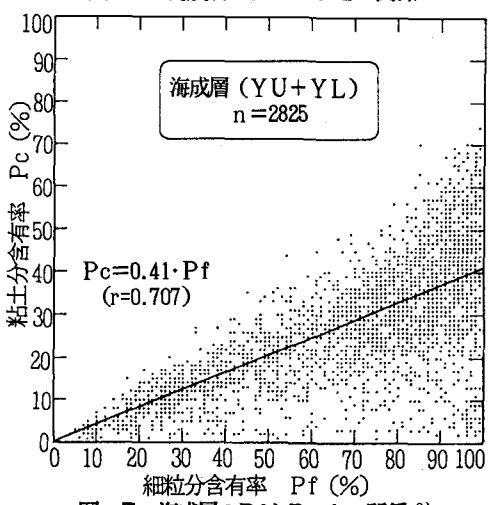
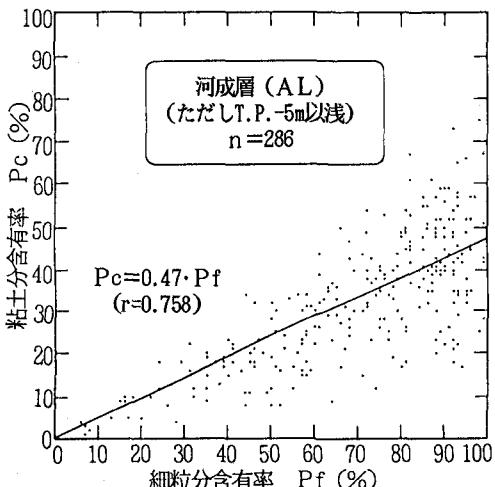
$$\begin{aligned} \text{河成層 (A L)} &: P_c = 0.47 \cdot P_f \\ &(r=0.758, n=286) \\ \text{海成層 (Y U + Y L)} &: P_c = 0.41 \cdot P_f \\ &(r=0.707, n=2825) \end{aligned}$$

海成層 (Y U と Y L) 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、おおよそ $P_c = 0.4 \cdot P_f$ 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でこれを境にすると、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、河成層ではなく、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。



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的性質であるのか、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的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¹³⁾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のようになる。

<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的性質である可能性が高い。

5. 結論

- (1) 海成層(有楽町層上部Yuと有楽町層下部Yl)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的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、御議論をしていただきました。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、高谷川昌弘: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・ブリュエ 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、高谷川昌弘: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43回年次学術講演会講演概要集III、pp. 458~459、1988. 6
- 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回日本地盤工学シンポジウム(1990)論文集、pp. 903~908、1990. 12
- 5) 森伸一郎、池田隆明、高谷川昌弘:1987年千葉県東方沖地震で生じた噴砂のコンパクター特性、第24回土質工学研究発表会発表講演集、pp. 257~270、1989. 6
- 6) 森伸一郎、沼田淳紀、長谷川昌弘、佐野公彦: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:冲積層の細粒分含有率と粘土分含有率、第26回土質工学研究発表会発表講演集、1991. 7. (投稿中)
- 9) 橋爪英司、安田進、森伸一郎:ロマ・ブリュエ地盤調査報告、1.1 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. 203~209, 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、技報室、1977. 8
- 12) 貝塚英平、松田春余編:首都圏の活構造と地形区分、内外地図、1982
- 13) 柴田徹徳著:埋立て軟弱地盤の防災、森北出版、1982. 5