

Ⅲ - A186

阪神大震災における人工島の噴砂量の差の原因

(財) 電力中央研究所 正会員 田中幸久, 金谷守, 佐藤清隆
東京電力(株) 正会員 石川博之, 武田智吉

1. はじめに

兵庫県南部地震において、ポートアイランド、六甲アイランドでは、地震後に噴砂が多くみられたが、詳細に観察するとポートアイランドよりも六甲アイランドの南側やポートアイランド2期の方が噴砂量が少ない(図1参照)。近接する2つの人工島でこのような噴砂量の差が生じた原因を究明するため、前報¹⁾では六甲アイランドのまき土以外の埋立材料の液状化試験結果

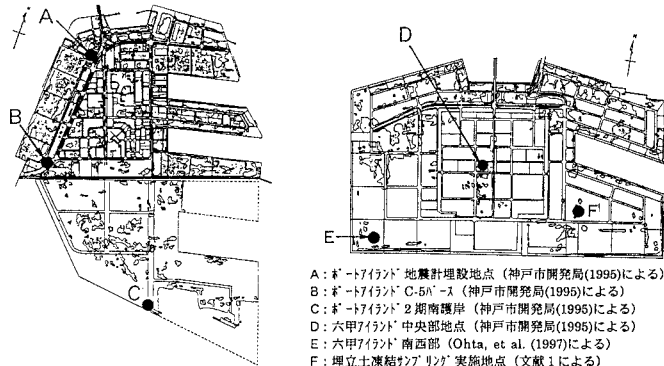


図1 地盤調査地点の平面位置(文献2より引用・加筆)

を報告した。本報告では、さらに地震応答解析を実施し、前報の結果とあわせて考察した結果を報告する。

2. 六甲アイランドE地点とポートアイランドA地点の地震応答シミュレーション解析

2.1 地盤ならびに入力地震動の概要

解析の対象とした地点はポートアイランドA地点(噴砂量大)、六甲アイランドのE地点(噴砂量小)であり、その平面上の位置を図1に示す。また、地盤柱状図を図2に示す^{2) 3)}。

入力地震動としては、ポートアイランドのA地点における観測波(NS成分, EW成分)に加えて、関西電力(株)新神戸変電所の地表で得られた本震の観測記録から基盤へ引き戻した作成波(NS成分, EW成分)を用いた。

2.2 解析手法と解析モデル

解析は、有効応力に基づく一次元非線形解析手法(NAFSS)⁴⁾と一次元等価線形解析を実施した。

有効応力解析では、埋立土層を有効応力モデルとすると共に、液状化の激しかったポートアイランドにおいては互層も有効応力モデルとした。その他の層のうち、埋立土層の応答に大きな影響を及ぼすことが予想される³⁾ Ma13沖積粘土層については、3種類の全応力非線形モデル(R-Oモデル, H-Dモデル, 修正H-Dモデル⁵⁾)でモデル化し、その他はR-Oモデルでモデル化した。

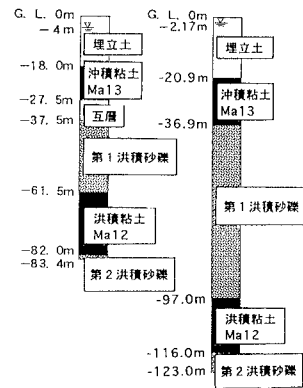
等価線形解析では、繰返し三軸試験による実測の $G/G_0 \sim \gamma$, $h \sim \gamma$ 関係をそのまま用いた。ただし、土の塑性的な性質が顕著となり $G/G_0 \sim \gamma$, $h \sim \gamma$ 関係を求めることが困難な大きなひずみにおける G は、沖積粘土Ma13についてモデル1(G/G_0 は、 $\gamma \leq 0.015$ まで減少し、 $\gamma > 0.015$ では一定)とモデル2(G/G_0 は、 $\gamma \leq 0.1$ まで減少し、 $\gamma > 0.1$ では一定)を設定した。

2.3 解析結果

(1) 加速度分布特性

キーワード: 兵庫県南部地震, 埋立地盤, 人工島, 噴砂, 地震応答解析

連絡先 (〒270-1194, 千葉県我孫子市我孫子 1646, TEL:0471-82-1181, FAX:0471-84-2941)



(a) ポートアイランドA地点 (b) 六甲アイランドE地点

図2 地盤の概要

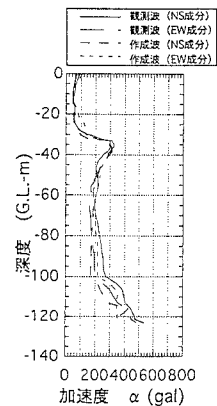


図3 加速度分布の一例 (R-Oモデル, 非線形, 六甲)

図3に、六甲アイランドの非線形解析の結果得られた最大加速度の深度分布の一例を示す。沖積粘土Ma13の部分で加速度が大幅に減少しており、いわゆる加速度低減効果³⁾が発揮されていることと埋立土中での加速度がほぼ一定であることが特徴的である。他の解析結果を示すことは紙数の関係でできないが、ポートアイランドに対する非線形解析結果ならびに六甲アイランドに対する等価線形解析結果には、図3と同様な特徴がみられた。また、ポートアイランドに対する等価線形解析結果では、Ma13層による加速度低減効果は認められなかったものの、図3の場合と同様に埋立土中の加速度はほぼ一定であった。

(2) 液状化発生の可能性

埋立土中の加速度がほぼ一定である原因は、地震時には軟弱なMa13層にひずみが集中していわゆる軟化して免震効果に似た効果が発揮され、埋立層に発生するせん断ひずみが小さくなるためである。そこで、図4に示すようなモデルを考えた。このモデルでは、埋立土中に発生するせん断応力比の値は、Ma13中のせん断応力比の値にほぼ等しい。そこで非線形解析結果について、Ma13中のせん断応力比と飽和埋立土中で生じるせん断応力比の平均値を比較したものが、図5である。多少のバラツキはあるが両者はほぼ一致している。紙数の関係で示せないが、等価線形解析結果についても図5の場合と同様に埋立土中に生じるせん断応力比はMa13層中に生じるせん断応力比にほぼ等しかった。ところで、図5によれば、六甲アイランドでは飽和埋立土層中で発生する応力比はいずれも液状化強度よりも小さく、液状化が生じる可能性が低いことがわかる。それに対してポートアイランドでは、飽和埋立土層中で発生する応力比はいずれの場合でも液状化強度より大きく、噴砂が多かった事実と符号している。

3. B地点, C地点ならびにD地点における液状化発生可能性の概略検討

文献2中に記載されているMa13層のせん断強度比が飽和埋立土層中で発生する応力比の上限値であり、兵庫県南部地震では、その上限値に達したと仮定して図1に示したB,C,D地点の液状化安全率を計算したものが表1である。判定結果は、実際の噴砂状況とよく整合している。

なお、本研究は電力9社と日本原子力発電(株)による電力共通研究の一部として実施したものであることを付記する。また、六甲アイランドの地盤データのうち、埋立土以外は文献3によったが、デジタル値等の詳細データは、萩野芳章氏(不動産建設(株))を通じて得られたことを記し、感謝の意を表する次第である。

参考文献: 1) 田中幸久ら(1997):六甲アイランドから凍結サブリングした試料の室内試験,土木学会第52回年次学術講演会概要集第3部(A), pp.176-177. 2) 神戸市開発局(1995):兵庫県南部地震による埋立地地盤変状調査(ポートアイランド, 六甲アイランド). 3) Ohta,H. et al.(1997): Seismic Deamplifying Effect of Soft Clay Layers, Proceedings of 14th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.2, pp.859-862. 4) 金谷守ら(1994):有効応力に基づく地盤の非線形解析手法の開発とその検証,土木学会論文集, No.505, III-505, pp.49-58. 5) 田中幸久(1990):礫の工学的特性と液状化対策への適用に関する研究,東京工業大学博士論文, pp.94-95.

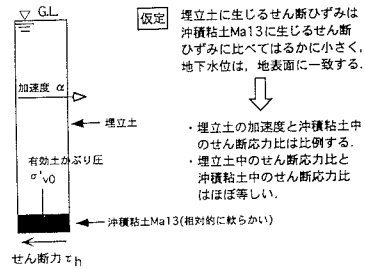


図4 地盤中のせん断応力比に関する考察

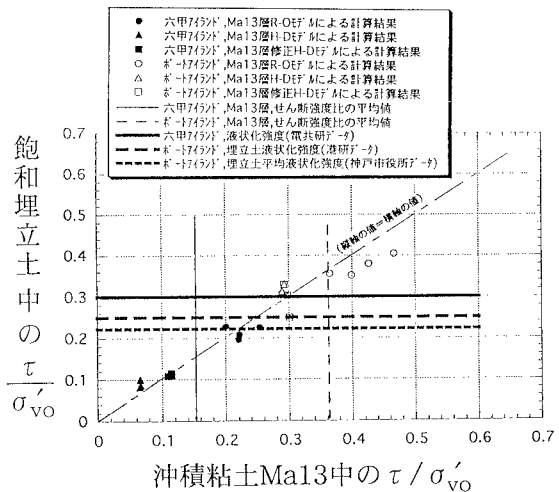


図5 地盤中に発生するせん断応力比の比較(非線形解析)

表1 B, C, D地点における液状化判定

地点名	沖積粘土Ma13層の τ/σ'_{vo}	液状化強度 R_L	推定した液状化安全率 $R_L/(\tau/\sigma'_{vo})$	各地点周辺の噴砂量
B	0.37	0.2~0.3	0.6~0.9	大
C	0.16	0.2~0.3	1.2~1.8	小
D	0.19	0.2~0.3	1.1~1.6	小