神戸ポートアイランド改良地盤の応答特性についての考察

清水建設(株) 正会員 藤川 智 同上 福武毅芳

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震において,神戸ポートアイランドの鉛直アレー観測地点近傍(図 - 1)の締固め地盤改良範囲(改良域)では,周辺の未改良範囲(未改良域)と異なり液状化による噴砂跡は見られず,沈下量が小さく建物の被害もほとんど無かったと報告されている¹⁾。既往の研究^{例えば1)}では,この改良域の被害低減は,表層の液状化が抑制され未改良域に比べ沈下量が小さかったということで説明されている。一方で,改良層下に残された未改良層の強非線形化により,改良域地表面の応答が低減される一種の免震効果が生じていた可能性も指摘されている^{2),3)}。本研究では,未改良域と改良域に対して一次元有効応力解析を実施し,それらの応答特性について検討,考察を行った。

2. 解析条件

解析では未改良域で実施されている鉛直アレーの最深部の観測点である GL-83m以浅をモデル化した。図 - 2に示すように、未改良域を対象とした「未 改良モデル」と、改良域を対象とした「改良モデル」と、さらに改良層の下(GL-16~18m)に残された未改良(埋土)層が表層の応答に与える影響を検討するた め,この層も改良(埋土)層で置き換えた「仮想(改良)モデル」,の3つの一次元 成層モデルの解析を実施した。各解析モデルの地盤物性の設定は、改良層につ いては文献1)を参考にし,その他の層については文献4),6)のデータを参 考にした。著者らは文献3)で未改良層と改良層を含む二次元解析を実施して いるが,ここでは未改良層の液状化強度の設定を見直し,文献6)の要素試験 結果を参考にした。これは,文献3)で設定した未改良層の液状化強度がやや 強く改良層とほとんど差がないこと,文献6)の要素試験は凍結サンプリング を用いており当該地点に近い位置でサンプリングされていることを考慮した ためである。未改良層と改良層の液状化強度の要素試験結果6)(実験値)と要素 シミュレーション結果(計算値)を図 - 3に示す。その他の解析条件の詳細は文 献3)に準ずるためここでは省略させていただく。入力波5はGL-83mの鉛直 アレー観測記録の水平強軸成分を用い,底面固定条件で入力(E+F入力)した。 解析は有効応力解析⁷による。土の構成式には修正R-Oモデルとダイレイタン シーモデル(Bowlモデル8)を併用し、非排水条件を課すことにより過剰間隙水 圧を算定している。

3. 解析結果

(1)未改良モデル 図 - 4には観測加速度記録と各解析モデルの地表面加速度波形を示す。未改良モデルを観測記録と比較すると、最大値を示す時刻がやや異なるが液状化による長周期化など全体的によくシミュレーションできている。図 - 5には加速度と速度の最大値深度分布を、図 - 6にはせん断ひずみと過剰間隙水圧比の最大値深度分布を示す。未改良モデルの埋土層は、ごく表層を除いて過剰間隙水圧比が1.0まで上昇して完全液状化し、せん断ひずみの最大値は8%程度に達している。このため、埋土層下部で加速度振幅が大きく低減し、地表面にかけての増幅も小さい。速度分布については、埋土層下部で振幅低減が見られるが、上部では増幅している。これは、液状化に起因した加速度波形の長周期化によるものである。

(2)改良モデル これに対し改良モデルは, 改良した埋土層(GL0~-16m)の

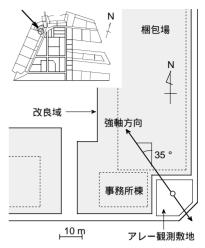


図 - 1 敷地概要

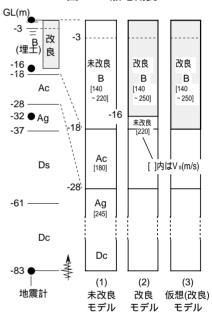


図 - 2 地層構成と解析ケース

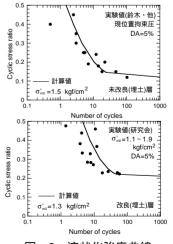


図 - 3 液状化強度曲線

Key Word: 兵庫県南部地震,神戸ポートアイランド,地盤改良,地層構成,有効応力解析

連絡先 : 〒100-0011 千代田区内幸町2-2-2富国生命ビル27F, Tel:03-3508-8101, Fax:03-3508-2196

せん断ひずみは1%以下と小さく液状化には至っていない。このため、加速度波形の長周期化は未改良モデルほど顕著でない。しかし、改良層下に残されたGL-16~18mの未改良層が液状化して非常に大きなせん断ひずみが生じており、未改良モデルのような埋土層下部での加速度応答の大きな低減は見られないが表層の増幅も小さい。さらに、沖積粘土層(Ac)と沖積砂礫層(Ag)のせん断ひずみが未改良モデルより大きく、Ag層の過剰間隙水圧の上昇もやや大きい。このため、Ac層とAg層で未改良モデルより応答値がやや小さくなっている。地表面の最大速度は、改良層が

液状化していないため未改良モデルより小さい。このように,改良モデルでは液状化しない改良層の存在によりその下層に残された未改良層およびAc層,Ag層の非線形化が未改良モデルに比べてより進み,これらが地表面応答の増幅抑制に寄与している可能性がある。また,改良モデルでは改良層が液状化していないことから,改良域の地表面沈下量は未改良モデルより小さかったことが推測される。これらより,改良域では地盤改良による被害抑制効果はあったものと考えられる。

(3)仮想モデル 埋土層全層(GL0~-18m)を改良した仮想モデルは,埋土層全層のせん断ひずみが小さい。しかし,埋土層より下層にあるAc層とAg層のひずみが改良モデルよりさらに大きく,Ag層では液状化寸前まで過剰間隙水圧が上昇している。これは,表層の埋土層の剛性が大きくなり,Ac層とAg層の剛性が相対的に小さくなったためである。しかし,全層で履歴により消費されるエネルギーのトータルは改良モデルとあまり変わらないため,地表の応答にはほとんど差がないものと考えられる。以上から,ここで検討対象としている改良域では,仮に埋土層全層が改良され未改良部分が残されていなかったとしても,Ac層とAg層の非線形化がより促進し,表層の応答には影響がなかったものと推察される。

4. まとめ

改良モデルでは,改良層下に残された未改良層の強非線形化のため,表層の応答はあまり大きくならない。また,仮想モデルは,埋土層以深の層の非線形化が改良モデルよりさらに進み,改良モデルと表層の応答はほとんど変わらない結果となった。これらは,表層の地層構成が異なっても,相対的な弱層でひずみが大きくなるため,地中で履歴により消費されるエネルギーにはあまり差が無かったためであると考えられる。しかし,埋土層の直下が仮により硬質な洪積層であるような地層構成ならば,改良層下に残された未改良層の有無が表層の改良層自体の非線形化に大きな影響を与えることも考えられる。このように液状化地盤における改良層を含む地層構成が表層応答に与える影響は興味深い。

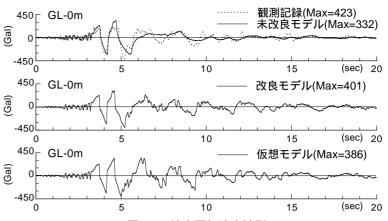


図 - 4 地表面加速度波形

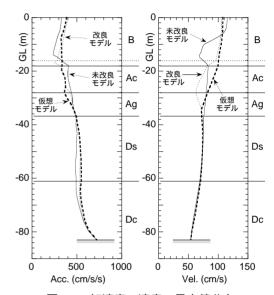


図 - 5 加速度,速度の最大値分布

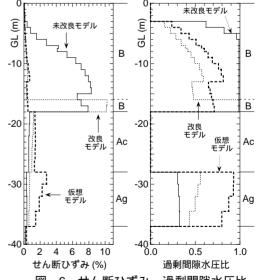


図 - 6 せん断ひずみ,過剰間隙水圧比 の最大値分布

参考文献 1) 阪神淡路大震災・地盤調査研究会:平成9年度報告書,1998. 2) 沼田・他:神戸ポートアイランドにおける地震応答解析と簡易液状化判定,10th JEES,pp.1481-1486,1998. 3) 藤川・他:神戸ポートアイランド鉛直アレー記録の二次元シミュレーション解析,第25回地震工学研究発表会,pp.321-324,1999. 4) 神戸市開発局: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)報告書,1995. 5) 関西地震観測研究協議会資料,1995. 6) 鈴木・他:神戸ポートアイランドの埋立マサ土地盤の静的及び動的強度特性,日本建築学会構造系論文集,第498号,pp.67-73,1997. 7) 大槻・他:不整形地盤における二次元建屋地盤系液状化解析,土木学会論文集,第368号/I-5,pp.363-372,1986. 8) 福武・他:任意方向単純せん断におけるダイレタンシ・の統一的解釈,土木学会論文集,第412号/III-12,pp.143-151,1989.