液状化対策地盤の振動応答特性の不均質性に関する一考察

名古屋工業大学	学生員	佐藤友美	正会員	前田健一
応用地質株式会社	正会員	林宏一	正会員	村田芳信
名古屋工業大学	学生員	伊藤久揮	学生員	高木敦士

1. はじめに

サンドコンパクションパイル工法に代表されるように液状化対策地盤は改良体が介在する不均質地盤で ある。著者らは均質化法を用いて不均質な改良地盤全体の動的特性を解析することを提案している¹⁾。

本報告では、不均質な改良地盤の波動伝播特性を差分法による三次元粘弾性波動場解析を用いて明らかに することで動的特性における改良効果とその合理的な把握方法について検討する。さらに、改良体とその周 辺地盤の剛性比や置換率などについて広範な条件下における改良地盤の応力ひずみの分担特性が非線形に変 化することを示す。

2. 差分法による三次元粘弾性波動場解析

差分法を用いて SCP 改良地盤の三次元粘弾性波動計算^{2),3)} を行い、模擬的な打撃点を地盤下部(深度 30m)に与え地表面 方向に伝播する実体波(せん断波)の位相速度特性と地表面の 打撃点から発生する表面波(Rayleigh 波)の位相速度特性につ いて調べた。解析に用いた地盤モデルを図-1 に示す。SCP は半 径を 0.8mで四角形配置、改良深度は 30m と設定した。置換率 a_sと SCP 部分(Inclusion)とその周辺地盤(Matrix)の二相の せん断波速度 V_s¹, V_s^Mを変化させた。本論文では、地盤材料物 性の深度方向の変化を考えない単純化したモデルを用いたこと で、着目した 10~30Hz の範囲で表面波の位相速度に分散現象 はほとんどみられなかった。そこで 20Hz の位相速度を表面波 によるせん断波速度の代表値とした。

まず、実体波の伝播特性を調べた。種々の改良条件下におい て、SCP部分と周辺の地盤部分のそれぞれに受信点を置き観測 された位相速度の関係を図-2 に示す。図から、位相速度は置換 率や地盤物性として設定したせん断波速度(V_s^I, V_s^M)によって 強く影響を受けるが、SCP部分と周辺地盤の部分を伝播する位 相速度は等しく、また $V_s^I \ge V_s^M$ をそれぞれ上限・下限値とする ことが分かる。この傾向は V_s^I/V_s^M =10 程度でも同様であった。 したがって、柱状に改良された地盤内に伝播するせん断波の速 度は、改良体と周辺地盤の相互作用を受け代表的な値をもつ巨 視的な応答値を示すことが分かった。通常の地盤改良では対象 となる改良部分と周辺部分の速度比が極端に大きくないため、 他工法の改良地盤においても同様の結果が得られると考えられ る。

図-3は、同様の条件下における実体波のせん断波速度と表面



図-1. 差分法による三次元波動場解析の地 盤モデル



図-2. 種々の改良条件下における SCP 部分 と周辺の地盤部分とのそれぞれで観測され た位相速度の比較:実体波による計算



結果と実体波による計算結果の比較

キーワード 表面波探査,波動伝播,均質化法,非線形,分担特性 連絡先 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 TEL.052-735-5497 FAX.052-735-5497 波速度とを比較したものである。図から表面波速度は実体波の せん断波速度とほぼ一致(0.96 倍)しており、波動伝播特性に 強い異方性はみられないことが分かる。また、表面波により推 定されたせん断波速度を用いて鉛直方向の波動伝播特性が評価 できるといえる。著者らは均質化法を用いた改良地盤全体の動 的特性を解析することを提案している。そこで、図-4 に示すよ うに差分法で計算されたせん断波速度と均質化法で求めたせん 断波速度(平均化剛性から算出)を比較した。両方の値は一致 し、均質化法を適用することの妥当性を示している。



図-4. 三次元差分法解析による位相速度 (実体波による計算)と均質化法による予 測結果(平均化剛性から位相速度を算出) との比較

3. 均質化法によるせん断応力とせん断ひずみの分担割合

均質化法による周辺地盤(Matrix)領域と SCP(Inclusion)領域のせん断応力とせん断ひずみの分担割合 について調べた(詳細は文献⁴⁾参照)。一層のみについて置換率 a_s と SCP 部分とその周辺地盤の二相の初期 せん断剛性 G_0^{I}, G_0^{M} を変化させ解析を行った。本報告では $G_0^{M}=16$ MN/m²一定の場合のみとし、履歴モデルに は H-D モデルを使用した。破壊強度は Inclusion と Matrix それぞれ相対密度が 90%, 30%相当とした。

種々の条件下における Inclusion と Matrix の応力とひずみの分担割合を図-5,6 に示す。応力の分担割合は 置換率と剛性比に影響され、低置換率の場合、Inclusion には Matrix の4 倍程度の応力が分担される。一方、 ひずみの分担割合は Matrix については種々の条件下での変化は見られず、Inclusion の1.5 倍程度のひずみを 分担する。Inclusion では剛性比が増すと分担割合が減少する。



図-5. 種々の条件下における Inclusion と Matrix の 応力分担割合

4. まとめ

改良体とその周辺地盤に伝播するせん断波動は改良地盤 内で均質な速度を有し、表面波速度と等しいことから、そ の探査結果の有用性が分かった。また、せん断応力とせん 断ひずみは Matrix 部分と Inclusion 部分に非線形に分担さ れることがわかった。したがって、今後の性能設計の指標 として、地盤全体の挙動を捉えた固有周期や振動モード、 各部分への応力・ひずみの分担割合の不均質性による不陸 問題を検討する必要がある。そのためには、改良地盤全体 と各部分のそれぞれの応答(改良地盤のマイクロメカニク ス)を把握できる解析手法とそれに適した調査方法の開発 (図-7)が今後の課題である。



図-6. 種々の条件下における Inclusion と Matrix の ひずみ分担割合



する考察

参考文献:1) 佐藤, 桑原, 前田: 第47回地盤工学シンポジウム, pp173-178, 2002. 2) Hayashi, K., Burns, D. R, and Toksoz, M N.: Bulletin Seismological Society of America, 91, 1750-1764, 2001. 3) 林, 鈴木: 物理探査学会第103回学術講演論文集, 226-230, 2000. 4) 佐藤, 前田, 伊藤, 高木: 第39回地盤工学研究発表会, 2004(掲載予定).