

水平盤状改良体を用いた地盤改良工法の液状化防止効果に関する3次元及び2次元解析

芝浦工業大学（正）足立 格一郎（学）○ 綿引 泰治（学）山口 宏志（現 三建設備工業）
（学）駒形 典一 小野田ケミコ(株)（正）西尾 経

1. はじめに 本研究では、軟弱砂地盤にジェットグラウト工法による水平盤状改良体を含む地盤改良体を打設し、その液状化防止効果を構造物・地盤連成地震応答解析プログラム‘DINAS’を用いて解析し、検討することを目的とした。さらに、最近広まりつつある3次元解析と実務で広く利用されている2次元解析を行い、この2種の解析手法の結果を比較・検討することを目的とした。

2. 解析モデル 本研究では、図-1を解析モデルの対象とした。図-1・Aは、横幅31.6mの3次元解析モデル中央部のXY断面図を拡大したものである。図-1・B,Cは、それぞれ3次元解析モデル2.8mタイプ、1.4mタイプのZX平面図であり、改良体が実際（現場）に近い杭状のモデルである。また、Z方向奥行きは4つに分割してあり、それぞれ1～4層目と呼ぶ。図-1・Dは、2次元解析モデルのZX平面図であり、改良体が実際とは異なる壁状のモデルである。これは、3次元解析モデルのように杭状にモデル化できないため、杭状部分の改良率（断面積）：41.3%を等価にして近似したものである。

解析対象モデルの条件は、改良体無、杭のみ（ただし、水平盤含む）、杭+中間盤（ただし、水平盤含む）の3つである。この、をまとめて、改良体有と呼ぶ。なお、0～-1m、-5～-6mに施工される厚さ1mの水平盤状改良体をそれぞれ「水平盤」、「中間盤」と呼ぶ。（図-1・A参照）

境界条件は、モデル上面は自由境界、底面は固定境界、側面は粘性境界、図-1・B,Cの（*）で示した面は摩擦の無い水平ローラー（X, Y: 自由, Z: 変位を拘束）としている。

3. 入力地震波 入力地震波は、1995年兵庫県南部地震の際に神戸ポートアイランドの-32.0mで観測された加速度記録である。その最大加速度 462cm/s^2 を 300cm/s^2 に修正し、3～13秒の波形を取り出し、X方向加振で10秒間の解析を行った。この10秒間の地震波波形を図-2に示す。

4. 解析手法 すべての解析モデルで全応力解析と有効応力解析を行った。全応力解析では修正R-Oモデルによる非線形解析、有効応力解析では修正R-Oモデルとおわんモデルを併用した圧密非排水条件下での非線形解析を行った。動的解析はNewmark-法を用いた直接積分法で行い、積分間隔は0.002秒に設定した。

解析の流れの要点を以下に示す。

モデルの作成、物性値などの諸条件の入力、固有値解析によるレーリー減衰の算出、静的解析による拘束圧の算出、上記～を用いて全応力・有効応力非線形動的解析。

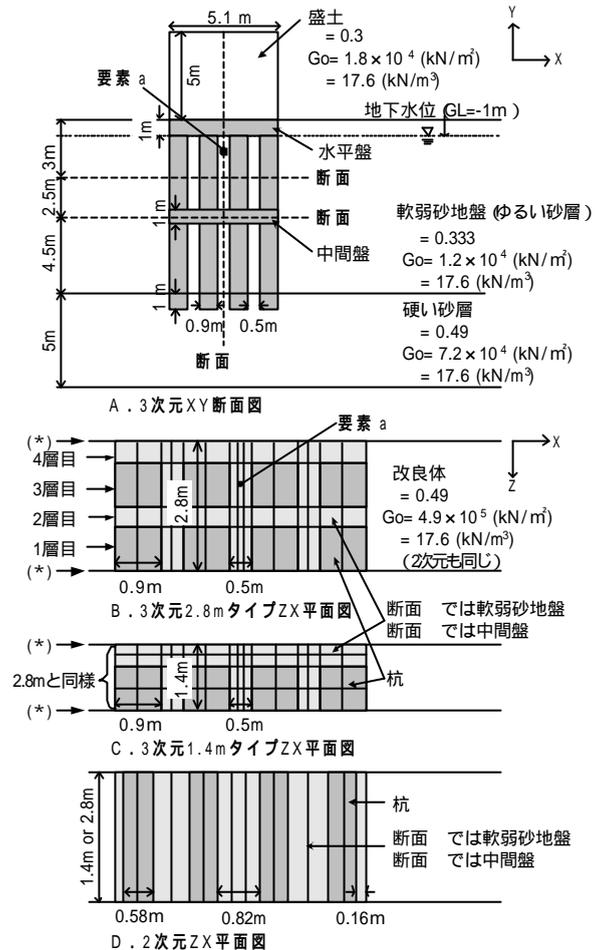


図-1 解析モデル

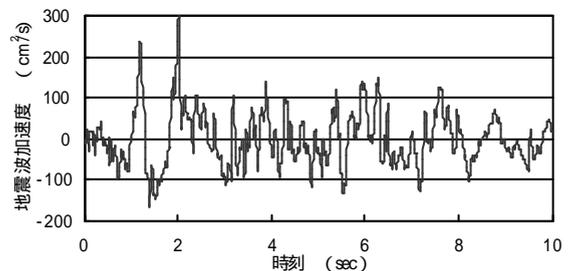


図-2 入力地震波

キーワード：液状化、水平盤状改良体、2次元解析、3次元解析、非線形有効応力解析

連絡先：〒108-8548 東京都港区芝浦 3-9-14 芝浦工業大学土木工学科地盤工学研究室

TEL 03-5476-3048 FAX 03-5476-3166

5. 解析結果・考察 以下に有効応力解析結果とその考察を示す。各断面および要素 a の位置は図-1 に示すとおりである。

図-3 は、3次元「杭+中間盤」の断面における -1 ~ -5m のせん断ひずみ_{xy} の最大値分布図である。2.8m タイプの 2 層目に最も大きなせん断ひずみが発生している。これは、杭のない（軟弱砂地盤のみの）層なので、杭のある 1・3 層目よりも大きなせん断ひずみが発生したと考えられる。また、1.4m タイプの 1・2 層目、3・4 層目の平均が、それぞれ 2.8m タイプの 1, 4 層目とほぼ同じ値で対応しているが、1.4m タイプでは 2.8m タイプの 2・3 層目の挙動をカバーしきれていないといえる。また、モデルの形状や拘束条件の影響などから考えると、2.8m の 2・3 層目が現実の挙動に近い結果になっていると判断されるので、以下の 3次元解析結果と考察では、2.8m タイプの 3 層目の結果を用いることとする。

図-4 は、断面のせん断ひずみ_{xy} の最大値分布図である。ただし、3次元解析結果はいずれも 2.8m タイプの 3 層目を用い、グラフは比較しやすいように拡大してある。ちなみに、途切れている部分（1 ~ -1m）のせん断ひずみの最大値は、3次元改良体無で 0.226（-0.3m）、2次元改良体無で 0.095（-0.3m）である。3次元・2次元解析とも、改良体無は、-0.3m 付近で非常に大きくなっている。杭のみは、-6m 付近で改良体無よりも大きくなっている。杭+中間盤は、いずれの深度においても小さくなっており、せん断ひずみを抑制していることがわかる。しかし、盛土部分では、杭+中間盤が一番大きく、剛性が大きいものほど大きくなっている。2次元解析モデルと 3次元解析モデルを比較すると、ほとんどの場所で 3次元解析モデルの方がせん断ひずみが大きくなっている。

図-5 は、要素 a の過剰間隙水圧比（過剰間隙水圧 / 初期の平均有効応力）の時刻履歴図である。改良体無は、過剰間隙水圧比が 1 に近づき液状化が進行していることがわかる。杭のみ、杭+中間盤は、最大でもそれぞれ 0.7, 0.3 程度にまで抑制されていることがわかる。この結果を見ても、中間盤が過剰間隙水圧の発生を抑制し、液状化防止に効果があることがわかる。

6. まとめ 今回の解析結果より、改良体を打設した方が変位やせん断ひずみが抑制され、さらに過剰間隙水圧の発生も抑制され、液状化防止効果があるといえる。また、杭のみよりも杭+中間盤の方が、液状化防止効果がより大きいといえる。中間盤の位置は、図-4 の 3次元改良体無・杭のみのせん断ひずみの最大値分布図によれば、今回の位置か、もう 1m 下が最も効果的な位置であると考えられる。

2次元解析と 3次元解析では、変位、せん断ひずみ、せん断応力、過剰間隙水圧比とも異なる結果になっており、解析結果を検討すると、3次元解析の方が現実の挙動に近い結果になっていると判断されるが、実験などと比較し検討する必要があるといえる。

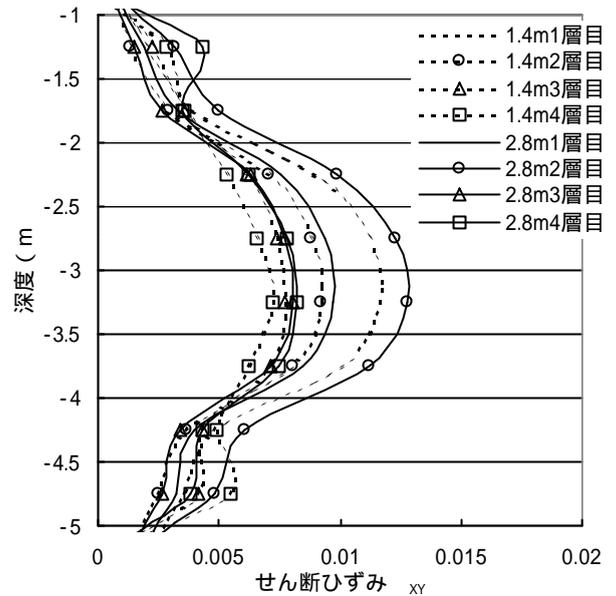


図-3 断面のせん断ひずみ分布図（3次元）

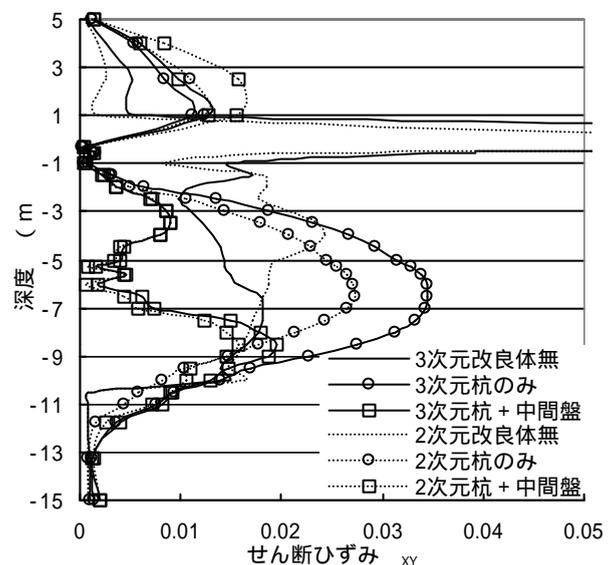


図-4 断面のせん断ひずみ分布図（2・3次元）

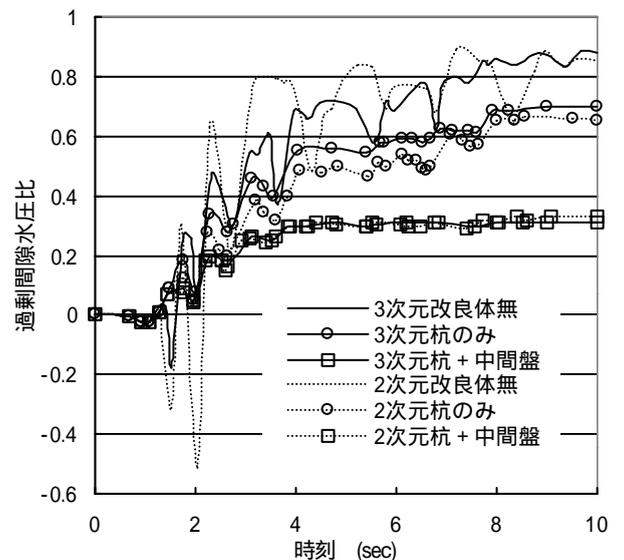


図-5 要素 a の過剰間隙水圧比の時刻履歴図