

奥行方向にせん断ばねで結合した自由地盤による地盤の3次元効果の導入に関する検討

伊藤忠テクノソリューションズ 正会員 ○馬淵 倉一
 鉄道総合技術研究所 正会員 室野 剛隆
 鉄道総合技術研究所 正会員 田中 浩平

1. はじめに

構造物・地盤の連成モデルによる有限要素法解析は、3次元モデルによる解析も実施され始めているが、作業コストから実務上は2次元断面モデルによる解析が実施されることが多い。このような2次元モデルにおいて、面外への波動伝播のような3次元効果を簡易に導入するための疑似3次元モデルとして、面外ダンパー¹⁾による方法などが提案されている。本検討では、奥行方向に自由地盤を設置し、解析対象地盤とせん断ばねで結合することで、3次元効果を導入する方法を提案し、従来の2次元モデルや面外ダンパーモデルによる解析結果との比較を実施した。

2. 提案した疑似3次元モデル

提案モデルの概要を図1に示す。構造物・地盤をモデル化した2次元解析モデルと奥行き方向の自由地盤のモデルを作成し、両者をせん断ばねで結合することにより、奥行方向地盤の3次元的效果を考慮する。奥行方向の自由地盤については、解析対象地盤の影響を受けないように奥行幅100mに設定した。解析地盤の奥行幅はフーチングの幅8mとした。せん断ばねの非線形性は、修正ROモデルの履歴モデルを用いた。せん断ばね剛性は、対象地盤の両側の自由地盤があることを想定し、(1)式で設定した。

$$K = 2GA/L \quad (1)$$

ここで G は、ばねで連結される節点周辺の平面ひずみ要素が有するせん断剛性である。 A は平面ひずみ要素の面積、 L は連結ばねで表現する地盤の奥行き幅を表す。連結ばねにより、杭が周辺地盤に与える影響を表現するため、 L はこの影響範囲で設定されることが望ましい。本検討ではその影響範囲 L として、フーチング幅8.0mを設定した。杭は線形梁要素でモデル化し、杭は奥行方向の杭を1本に縮約して物性値を設定した。また、フーチング基礎は、図2に示したフーチング基礎が、線路方向に連続した線形梁要素としてモデル化されている。

3. 杭基礎の地震時応答解析の概要

本検討に用いる解析モデルの概要を図2に示す。地盤の構成式は、応力～ひずみ関係として、偏差応力空間に拡張した^{2),3)}GHE-Sモデル⁴⁾を用い、パラメータは、文献⁴⁾で与えられる砂質土と粘性土の標準パラメータを用いた。面外ダンパーモデルの減衰定数は、自由地盤に対して実施した逐次非線形解析結果より得られた収束剛性を用いて設定した。入力地震波は、モデル底面に文献⁵⁾に示されているL2スペクトルⅡ(G1地盤)を2E入力した。

4. 解析結果

各モデルで評価された地盤の最大ひずみ分布を図3に示す。奥行きに設置した自由地盤では、地盤が傾斜する部分の粘性土($V_s=150\text{m/s}$)と砂礫層($V_s=350\text{m/s}$)の境界で大きなひずみが発生する。この部分のひずみは、杭による地盤の拘束効果が高い2次元モデルで最も小さくなる。面外せん断ばねモデルと面外ダンパーモデルで比較すると、後者のほうが2次元モデルに近く、該当部分でのひずみが小さい。これは、ダンパーモデルで収束剛性を用いて減衰定数を評価しているため、減衰定数が小さくなり、自由地盤との相互作用が生じにくくなるためと考えられる。それに対し、面外せん断ばねモデルのひずみ分布は自由地盤側に近くなり、相互作用の影響を強く受けている。

各杭位置での応答値を図4に示す。2次元モデルの杭の相対変位は、3つのモデルで大きな違いはみられなかった。杭のせん断力や曲げモーメントは、面外ダンパーモデルと面外せん断ばねモデルは2次元モデルと比較して大きくなる。これは、3次元効果を導入することにより、杭の応答値が大きくなることを表している。その程度は、面外せん断ばねモデルで大きくなり、これは相互作用の影響が大きいことに起因する。

キーワード 疑似3次元モデル、面外せん断ばね～変位関係、地盤と構造物の相互作用、傾斜地盤、杭基礎

連絡先 〒100-6080 東京都千代田区霞が関3-2-5 伊藤忠テクノソリューションズ(株) TEL 03-6203-7368

5. まとめ

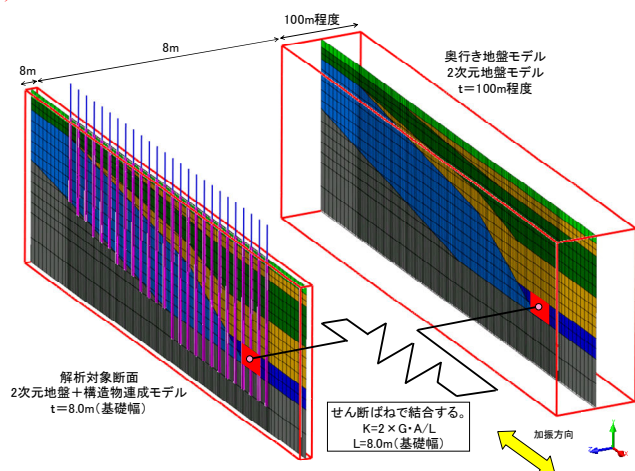
構造物・地盤の連成モデルによる2次元有限要素法解析において、3次元効果を導入する方法として、奥行方向に設置した自由地盤と解析対象となる地盤をせん断ばねで結合する疑似3次元モデルを提案した。従来の2次元モデルや面外ダンパーモデルと、提案した手法の解析結果を比較した。その結果、以下の結論を得た。

- 1) 2次元モデルでは、杭が地盤を強く拘束するため、地盤のひずみ量や杭の応答値は小さくなる。
- 2) 面外ダンパーモデルと提案モデルの比較では、杭の応答値はダンパーモデルで小さくなる。これは、ダンパーの減衰定数が、収束剛性によって設定されているためである。

今後は、提案手法の妥当性の検討のため、3次元モデルの解析結果との比較や連結ばねで表現される地盤の奥行き幅の設定方法について検討を実施する予定である。

参考文献：

- 1) Lysmer, J.; Udaka, T.; Tsai, C.; Seed, H.B. FLUSH - a computer program for approximate 3-D analysis of soil-structure interaction problems, 1975
- 2) 小堤治：液状化地盤上の地盤・構造物系の地震被害推定に関する数値解析法の研究, 京都大学博士学位論文, 2003
- 3) Nishimura S. and Towhata I.: A Threedimensional Stress-strain Model of Sand Undergoing Cyclic Rotation of Principal Stress Axes, Soils & Foundations, Vol.44, No.2, pp.103-116, 2004
- 4) 室野剛隆, 野上雄太：S字型の履歴曲線の形状を考慮した土の応力～ひずみ関係, 第12回日本地震工学シンポジウム, pp.494-497, 2006
- 5) (財) 鉄道総合研究所編：鉄道構造物等標準同解説, 耐震設計, 丸善, 2012



※異なる地盤物性をもつ地盤が隣接する場合は、同一節点に複数のばねを設定

図1 面外せん断ばねによる疑似3次元モデル概要

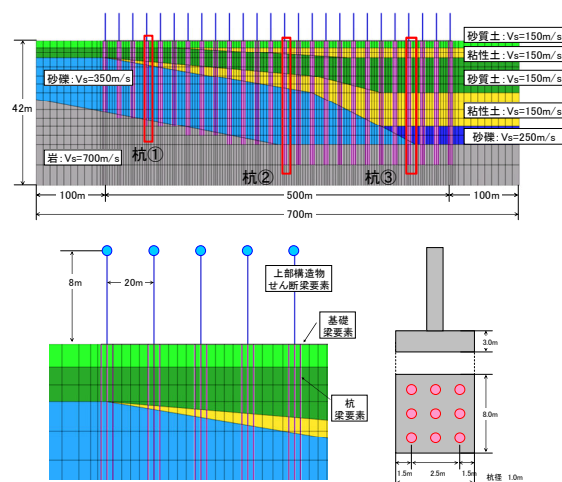


図2 構造物および地盤のモデル化概要

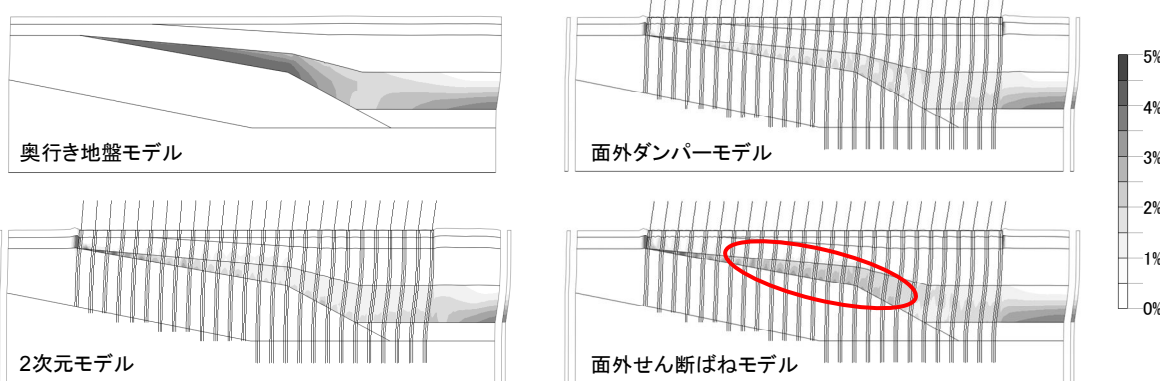
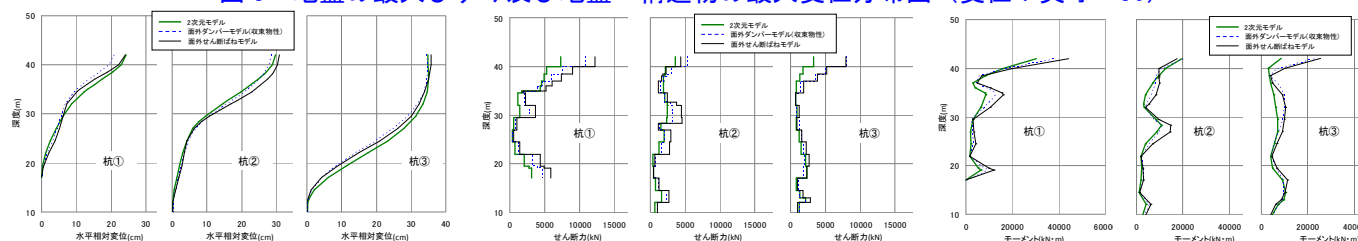


図3 地盤の最大ひずみ及び地盤・構造物の最大変位分布図 (変位：実寸×30)



(a) 相対変位

(b) せん断力

(c) 曲げモーメント

図4 杭の応答値 (太緑線：2次元モデル, 青点線：面外ダンパーモデル, 実線：提案モデル)