

杭基礎式構造物の多質点系モデルによる地震応答解析について

砂坂善雄¹

¹正会員 工修 鹿島建設(株) 土木設計本部設計技術部 (〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30)

本報告では、構造物・地盤の非線形性、地震時の地盤変形の影響等を考慮した構造物-杭基礎-地盤系の多質点系モデルによる地震応答解析の概要、解析上の留意点等について述べる。

Key Words: earthquake response analyses, non-linearity, pile stress, measure for liquefaction

1. はじめに

兵庫県南部地震後、土木構造物の設計において2段階設計法が導入され、レベル2地震動に対して部材の損傷度を考慮した安全性の照査が求められるようになってきた。兵庫県南部地震では杭基礎の被害は、杭頭付近だけではなく地中の液化化層と非液化化層の境界付近でも発生しており、地震時の上部構造物の慣性力だけでなく、地盤変形の影響が大きかったと考えられている。杭基礎式構造物のレベル2地震動に対する安全性の検討においては、地震時の地盤変形の影響を考慮し、構造物・地盤の非線形性を考慮した解析を行う必要がある。

本報告では、構造物・地盤の非線形性、地震時の地盤変形の影響等を考慮した構造物-杭基礎-地盤系の多質点系モデルによる地震応答解析の概要、解析上の留意点等について述べる。

2. 解析方法

杭基礎式構造物の地震応答解析としては、杭基礎-上部構造物系と自由地盤系を集中質点系に置換し、相互作用ばねで結んだ多質点系モデルと、杭をソリッド要素あるいはビーム要素にモデル化した有限要素法の離散化モデルに代表される。これらの解析では、土の非線形性を考慮した全応力解析や有効応力解析により非線形地盤や液化化地盤の影響を解析モデルに取り入れている。

多質点系モデルを用いた研究としては、Matlock et al.¹⁾の海洋プラットフォームを対象とした解析やNishizawa et al.²⁾による液化化地盤における杭基礎構造物の被害を対象とした研究がある。また、振動台を用いた液化化地盤内の杭基礎の応答をシミュレーション解析したKagawa et al.³⁾や森等⁴⁾の研

究がある。ここでは、宮本等⁵⁾が提案した多質点系モデルを例に解析方法について述べる。

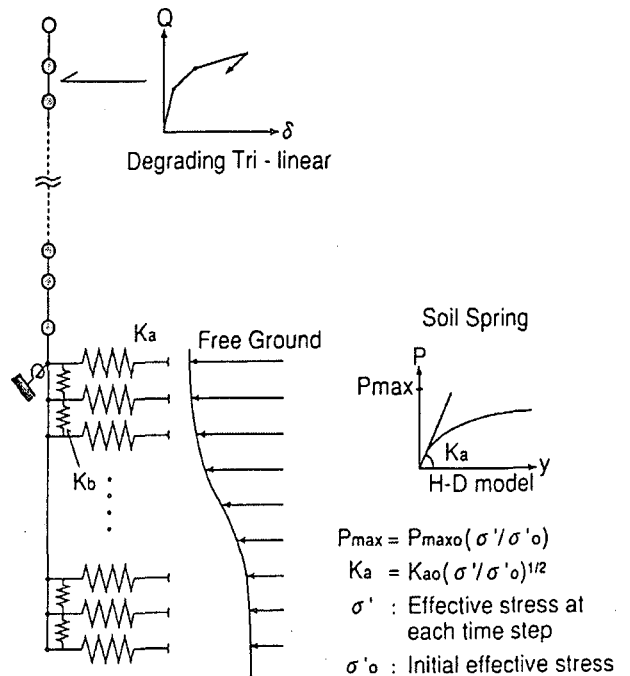


図-1 解析モデル図

構造物-杭基礎-地盤系の地震応答解析モデルを図-1に示す。構造物、杭基礎は、多質点系にモデル化している。杭基礎の多質点系モデルは、複数本配置された杭を1本の多質点曲げせん断棒にモデル化し、基礎位置に回転ばね、各質点に杭と地盤の相互作用ばねを取り付けたモデルである。相互作用ばねは、三次元薄層要素法により評価し、群杭効果を考慮すると共に、杭と地盤との相対変位により生じる非線形性及び液化化による有効応力の低下による非線形性を考慮する。全体系の地震応答解析は、

自由地盤の各質点深さでの変位応答波形を相互作用ばねを介して全体系モデルに入力することにより行う。

本解析のフローを図-2に示す。構造物-杭基礎-地盤系の地震応答解析は、次の4つのステップで実施する。

(ステップ1):地盤の地震応答解析の実施

地盤モデル及び入力地震動を設定し、地盤の地震応答解析を実施し、地盤の応答波形、地盤の等価せん断弾性係数、等価減衰定数を求める。

(ステップ2):解析モデルの設定

ステップ1で評価した等価物性値を用いて、三次元薄層要素法により、群杭効果を考慮した相互作用ばねを評価する。さらに、構造物と杭基礎の構造諸元から、構造物及び杭基礎のばね-質点モデルを作成する。

(ステップ3):全体系の動的な連成解析

以上で設定された解析条件に基づき、構造物-杭基礎-地盤の全体系の動的な連成解析を実施する。

(ステップ4):解析結果に基づく応答値の検討

全体系の動的な連成解析結果を用いて、各構造部材に発生する断面力及び変形、損傷度を照査する。

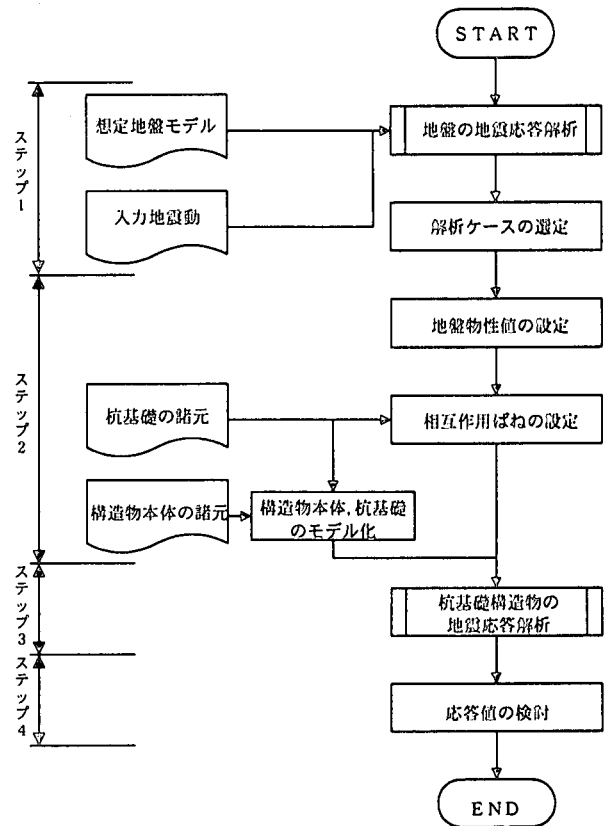


図-2 解析フロー

3. 解析上の留意点

杭基礎式構造物の多質点モデルによる地震応答解析を行うに当たっての留意点を以下に述べる。

(1)地盤の非線形性

地盤の応答変位を算定するに当たって、地盤の非線形性の評価は重要である。解析の目的、要求される精度に応じて地盤の非線形性を評価し、等線形化法、全応力非線形解析、有効応力解析等妥当な方法により解析する必要がある。

(2)地盤ばねの非線形性

地盤ばねの評価方法は多種多様であるが、多質点モデルにおいて杭と地盤の相互作用を表現する重要な要素であるので、より合理的な方法で評価するのが望ましい。初期剛性としては、道路橋示方書に示されているような簡便な方法もよく使われているが、薄層要素法等により厳密に求めるのが望ましい。また、群杭効果を適切に評価することも重要である。地盤ばねの非線形モデルとしては、H-DモデルやR-Oモデルがよく用いられる。

(3)杭の軸力変動の影響

RC杭においては、杭の非線形特性は軸力変動により影響を受けるが、多質点系モデルにおいてはその影響が考慮されることは少なかった。今後は、杭基礎式構造物の地震応答解析においてその影響を考慮する必要性が高まると考えられ、解析手法も開発されつつある。

4. おわりに

構造物・地盤の非線形性、地震時の地盤変形の影響等を考慮した構造物-杭基礎-地盤系の多質点系モデルによる地震応答解析の概要、解析上の留意点等について述べた。助言をいただいた鹿島小堀研究室宮本裕司次長に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Matlock H., G. R. Martin, I. P. Lam and F. T. Chan: Soil-pile interaction in liquefaction in liquefiable cohesionless soils during earthquake loading, Proc. of the 11th int. conf. Recent Advances in Geotechnical Earthq. Eng. And Soil Dynamics, Vol. II, pp.741-748, 1981.
- 2) Nishizawa T., S. Tajiri, S. Kawamura: Excavation and response analysis of a damaged RC piles by liquefaction, Proc. of the 8th World Conf. Of Earthq. Eng., Vol. III, pp.593-600, 1984.
- 3) Kagawa T, L. M. Kraft: Lateral pile response during earthquakes, Journal of the Geotechnical Eng. Division, ASCE, Vol. 107, No. GT12, pp.1713-1731, 1981.
- 4) 森伸一郎、滝本幸夫他：液状化地盤における杭基礎構造物の動的相互作用と液状化解析の適用性、構造物の基礎と地盤との動的相互作用に関するシンポジウム、pp.173-180, 1990.
- 5) 宮本裕司ほか：非線形、液状化地盤における杭基礎の地震時応答性状に関する研究、日本建築学会構造系論文報告集、第471号、pp.41-50, 1995
- 6) 酒向裕司、宮本裕司：変動軸力を考慮した杭基礎の地震応答に関する解析的検討、日本建築学会構造系論文報告集、第523号、pp.79-86, 1999.