

第I部門 多質点系動的解析による杭基礎SRモデルの検証に関する研究

京都大学大学院教授	フェロー	土岐憲三
京都大学大学院助教授	正会員	清野純史
京都大学大学院博士課程	学生員	小野祐輔
京都大学工学部	学生員	○藏重幹夫

1. はじめに

地盤-構造物系の動的相互作用は、土木構造物の耐震性能に多大な影響を及ぼす。この影響を評価する手法として、基礎-地盤系に対して Pushover 解析により相互作用ばねを求め、このばねを持つ SR モデルによって構造物全体系の動的解析を行う方法が考えられる。本研究では、この解析手法を多質点系動的解析と比較し、その適用性について検討した。また、解析対象とした構造物は都市内高架橋に多くみられる杭基礎構造物の T 型橋脚とし、支持地盤は図 1 に示すような A、B 2 種類のモデルを想定した。

2. 多質点系動的解析

集中質量法を用いて地盤-基礎-構造物系の離散化モデルを表現する。このモデルは Penzien 型モデル¹⁾に代表されるが、本研究で用いるモデルは、周辺地盤の付加質量効果を取り入れていないこと、及び地盤ばねの決定手法が異なっている。杭の各質点に杭-地盤間の相互作用を考慮した地盤ばねを取り付けたモデルで時刻歴応答解析を行う。地盤のばね定数は道路橋仕方書²⁾により決定し、地盤ばねは完全弾塑性型でモデル化した。解析に用いた全体モデルの概念図を図 2 に示す。群杭は一本の多質点にモデル化し、杭頭位置に回転ばねを取り付けた。また、回転ばね定数は杭先端固定時の杭の軸剛性と杭頭における拘束条件から求め、線形モデルとした。解析を行うにあたっては、まず構造物が存在しない状態での自由地盤に対して応答解析を行い、得られた地盤の応答変位を地盤ばねを介して入力した。

3. Pushover 解析³⁾に基づく SR 動的解析⁴⁾

Pushover 解析とは、非弾性系に対する荷重漸増法のことであり、地震による荷重を静的な荷重にモデル化し、その荷重を段階的に作用させることによって、構造物の保有性能を求めることができる。荷重は全てフーチング中心に作用させるものとし、荷重を分割回数 N で除し、段階的に作用さる。各段階での荷重-変位関係を算定し、得られた荷重（モーメント）-変位（回転角）曲線を地盤の骨格曲線（双曲線型曲線）に最小二乗法でフィッティングを行うことで、SR モデルのスウェイ・ロッキングに対応するばねを決定する。また、地盤の影響を杭側面に位置する水平方向地盤ばねと、杭先端に位置する鉛直方向地盤ばねによって表現している。地盤のばね定数、極限支持力及び群杭効果の補正係数については道路橋仕方書²⁾により決定した。水平方向地盤ばねの復元力特性については完全弾塑性型のバイリニアモデルとし、鉛直方向地盤ばねについては線形とした。これらの解析により得られた荷重-変位曲線と、この曲線をフィッティングした結果の一例を図 4 に示す。

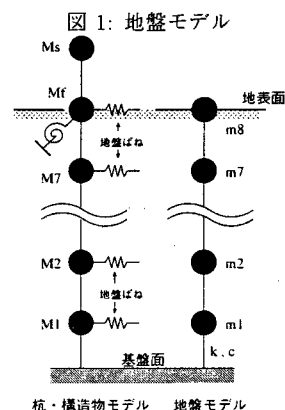
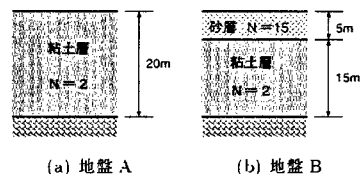


図 2: 多質点系の全体モデル

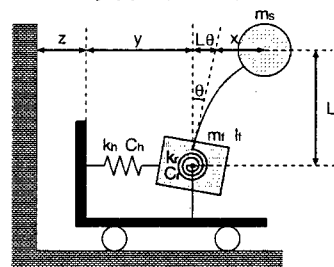


図 3: Sway-Rocking モデル

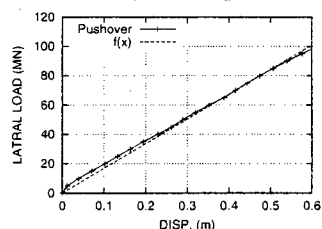


図 4: 荷重-変位関係

4. 2つの解析モデルの比較

Pushover 解析によって求められた相互作用ばねの値を用いて SR モデルで応答解析を行った結果と、多質点系動的解析によって得られた結果を比較する。その際、地盤と構造物の動的相互作用が構造物の耐震性能に及ぼす影響を評価するという観点から、両モデルによる解析結果をフーチングに対する上部構造物の相対変位を用いて比較を行っている。ただし、本研究において杭の曲げ変形を考慮しておらず、せん断変形のための解析結果となっている。地盤モデルは、固い支持層の上に N 値が 2 の軟弱粘土層が 20m 堆積している地盤 A と、15m の軟弱粘土層の上に N 値が 15 の砂層が 5m 堆積している地盤 B の 2 種類、杭モデルについては、杭径が 1.0m、1.2m、1.5m の 3 種類について解析を行った。

まず、地盤ばねが線形の場合の単杭について表したものが図 5 である。SR モデルと多質点系モデルの応答は、地盤 A においては振幅及び位相ともに良い一致を示しているが、地盤 B では、位相に多少のずれが生じている。これは、地盤 B の方が地盤 A よりも複雑で、Pushover 解析が多質点系ほど地盤の複雑性を表現できないことを表していると考えられる。次に地盤が線形の場合の 9 本杭の結果を図 6 に示す。このケースでは、いずれの地盤においても位相が逆転しており、また振幅も大きく異なっている。このような場合、構造物の耐震性能の評価に多大な影響を及ぼすため、SR モデルの設定にあたっては注意を払わなければならない。地盤の非弾性挙動を考慮した場合について表したものが図 7 である。地盤 A では両モデルの応答波形の位相がずれるに従って、振幅における差異が拡大しているのが認められる。一方、地盤 B では位相は良い一致を示しているが、SR モデルがやや大きな応答値を示している。

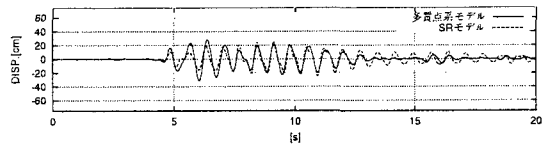
全体的に多質点系モデルの方が SR モデルよりも振幅が小さくなる傾向がある。これは、多質点系モデルでは多数のダッシュポットが存在するために、SR モデルよりも大きな減衰が働くためであるものと考えられる。

5. 結論

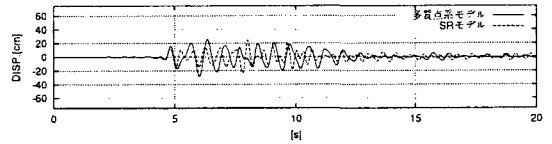
本研究では、Pushover 解析に基づいた相互作用ばねの値を用いて SR モデルで応答解析した結果と、多質点系動的解析した結果を比較した。これより Pushover 解析に基づく SR ばねの設定法では地震時の挙動を適切に表現できないケースがあることが分かった。今後、この結果に基づいて SR ばねの値を補正する手法を検討する予定である。

参考文献

- 1) Joseph Penzien et al : Seismic Analysis of Bridges on Long Pile, Journal of the Engineering Mechanics Division Proceedings, ASCE, NO.EM3, pp.223-254, 1964
- 2) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、下部構造編、耐震設計編、1996.12
- 3) 古川愛子：Pushover 解析に基づく杭基礎-地盤系のモデル化と非弾性挙動の解析に関する研究、京都大学卒業論文、2000
- 4) 小野祐輔：地盤と構造物の相互作用を考慮した必要強度スペクトルに関する研究、京都大学修士論文、1999

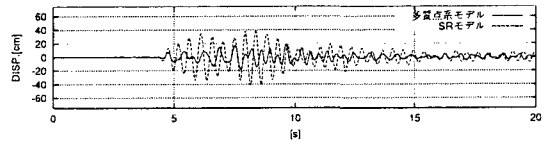


(a) 地盤 A

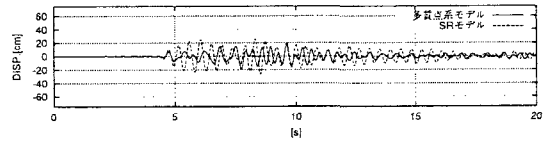


(b) 地盤 B

図 5: 地盤線形・単杭・杭径 1.2m の場合

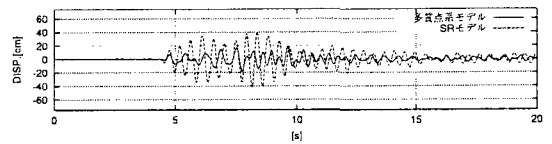


(a) 地盤 A

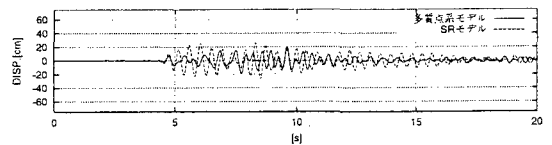


(b) 地盤 B

図 6: 地盤線形・9 本杭・杭径 1.2m の場合



(a) 地盤 A



(b) 地盤 B

図 7: 地盤線形・9 本杭・杭径 1.2m の場合