

杭基礎構造物のSRモデルによるモデル化とその検証

京都大学大学院 学生員 小野祐輔
 京都大学工学研究科 フェロー 土岐憲三
 京都大学工学研究科 正会員 清野純史
 京都大学大学院 学生員 藏重幹夫

1. はじめに

近年都市直下で発生する大規模な地震に対して、構造物が示す非弾性挙動並びに終局状態を考慮した設計を行うためにPushover解析が行われるようになった。しかしながら、Pushover解析で得られる結果は静的な荷重に対するものであり、設定された地震波に対する構造物の動的挙動を的確に把握するためには動的解析が不可欠である。そこで、本研究ではPushover解析に基づき、設定した簡易なSRモデルを用いた動的解析結果をより詳細な多質点モデルを用いた地震応答計算の結果を比較することで、その適用性について検討した。本研究で対象とした構造物は図-1に示すような杭基礎構造物であり、支持地盤は図-2に示すようなA, B2種類のモデルを想定した。

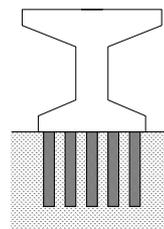


図-1 杭基礎構造物

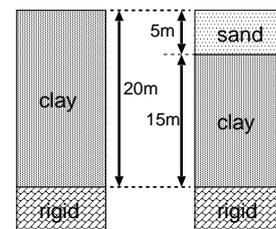


図-2 地盤モデル

2. Pushover解析を用いたSRモデルの設定

Pushover解析とは、非弾性系に対する荷重漸増法のことである。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。ここでは水平荷重とモーメントをそれぞれフーチング中心に段階的に作用させ、得られる荷重(モーメント)-変位(回転角)曲線に対して、最小二乗法を用いて双曲線型関数にフィッティングを行なうことで、SRモデルの相互作用ばねをモデル化する¹⁾²⁾。

本研究では杭体を梁要素とし、フーチングは剛な梁としてモデル化を行った。各杭はフーチングに剛結するものとし、杭先端は固定条件とする。また杭の非弾性挙動を考慮した解析を行う場合には、杭体を軸力変動を考慮したトリリニアモデルとした。地盤の影響は地盤ばねで表現し、杭を表す梁要素の各節点に水平方向地盤ばね、及び杭先端に鉛直方向地盤ばねを設置した。地盤のばね定数、極限支持力並びに群杭効果の補正係数については道路橋示方書³⁾⁴⁾を参考に決定した。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モデルとし、鉛直方向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双曲線にフィッティングを行った結果の一例を図3に示す。

以上の解析によって得られた相互作用ばねを用いてSRモデルを構築する。ここでは上部構造及びフーチングをそれぞれ1つの質点で表し、3自由度2質点系モデルを用いた。このSRモデルに与える入力地震動は、図2の成層地盤に対する応答解析を行った結果地表部で得られる波形を用い、相互作用ばねはMasing則に従って履歴を描くものとした。

3. SRモデルと多質点系モデルによる応答の比較

地盤-杭-構造物の連成振動系を多質点系に置換するモデル化はPenzienら⁵⁾により考案された方法を基本とすることが多い。本研究では付加質量効果を考慮しないことでPenzienモデルを簡略化したモデルを用いた。地盤ばねは前節と同じものである。また入力に関しては、地盤の影響を考慮するため、自由地盤

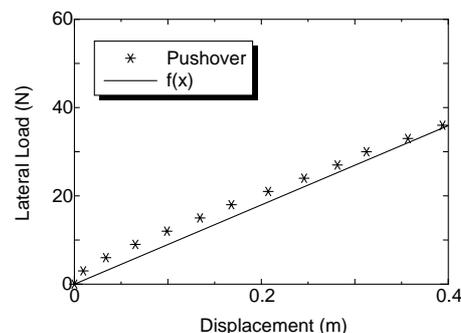


図-3 荷重-変位関係

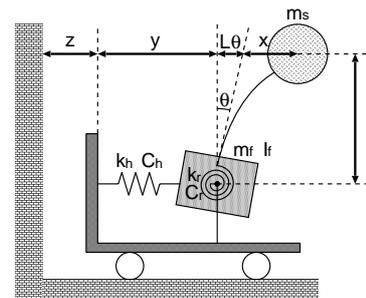


図-4 3自由度2質点SRモデル

表-1 構造物の諸元

上部構造物の重量 W_s (tf)	1069.005
杭基礎構造物の重量 W_f (tf)	2107.030
フーチングの慣性モーメント I_f (tf·m ²)	445124.070
橋脚の高さ L (m)	12.0
杭長 L_p (m)	20.0

Key Words: 杭基礎, SRモデル, Pushover解析, 非弾性挙動

〒606-8501 京都市左京区吉田本町, Tel.075(753)5133, Fax.075(762)2005

において地震応答解析を行い、得られた応答変位を地盤ばねを介して杭の各要素に入力した。上部構造物とフーチングは前節のSRモデルと同様にそれぞれ1つの質点で表されている。

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なった結果と、多質点系動的解析によって得られた結果を示す。入力地震動としては1995年兵庫県南部地震において神戸海洋気象台で記録された加速度波形NS成分を与えた。解析に用いた上部質量及びフーチングの諸元を表-1に示す。杭径は1.0m, 1.2m, 1.5mについて解析を行った。なお、ここでは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について比較を行っている。

まず解析上最も基本的なケースである地盤ばねが線形、単杭の場合について示す(図5)。地盤AではSRモデルによる波形と多質点モデルによるものとは、入力の主要動に対応する部分において良い一致を示している。波形の後半部において多質点系モデルの方が早く減衰しているが、これは多質点系モデルではダッシュポットが数多く存在するため、SRモデルよりも大きな減衰を生じているものと考えられる。また地盤Bが地盤Aよりも両モデルの波形の違いが大きくなっている。

次に地盤が線形で9本杭基礎の場合を図-6に示す。このケースでは、いずれの地盤においても応答波形の位相が逆転している。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恐れがあるため、SRモデルの設定にあたっては最も注意すべき現象である。地盤の非弾性挙動を考慮した場合の両モデルによる結果を杭が9本の場合について図-7に示す。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、振幅における差異も成長していくことが認められる。一方、地盤Bでは位相は良い一致を示すものの、SRモデルがやや大きな応答値を示している。

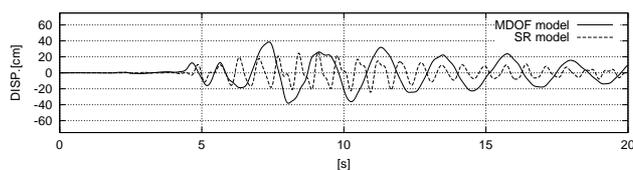
これらの結果を通して、多質点系モデルの方がSRモデルよりも振幅が小さくなる傾向がある。この原因として、両モデルの間で減衰の大きさの不整合が起きていること、並びに振動モードに差異が生じていることが考えられる。

4. まとめ

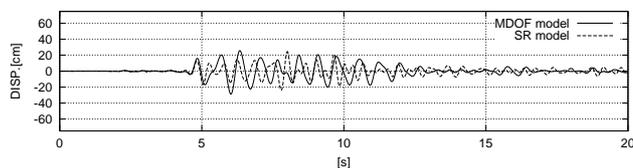
本研究では、Pushover解析に基づくSR動的解析と多質点系動的解析とを比較した。その結果、2節で述べたPushover解析によるSRばねの設定法では、地震時の構造物の挙動を適切に表現できないケースがあることが分かった。今後、この結果に基づいてSRモデルの適用性を評価するとともに、構造物や地盤の特性に応じて適切にSRばねの値を補正する手法を検討する予定である。また、SRモデルでは多質点系モデルよりも減衰が小さく評価される傾向があることから、SRモデルによる動的解析を行う際の減衰の設定方法についても検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 吉澤睦博: 杭基礎-地盤系の動的相互作用解析におけるS-Rモデルの構築, 京都大学修士論文, 1992
- 2) 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
- 3) 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 下部構造編, 1996.12
- 4) 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 耐震設計編, 1996.12
- 5) J. Penzien et al: Seismic Analysis of Bridges on Long Pile, Journal of the Engineering Mechanics Division Proceedings, ASCE, NO.EM3, pp.223-254, 1964

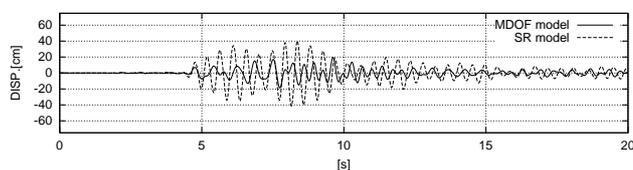


(a) 地盤A

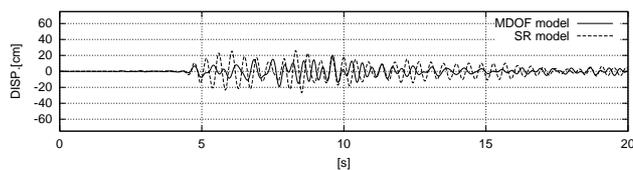


(b) 地盤B

図-5 地盤線形・杭($\phi=1.2\text{m}$) 1本の場合

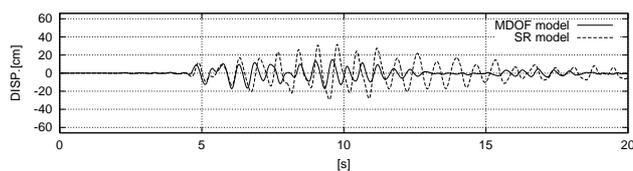


(a) 地盤A

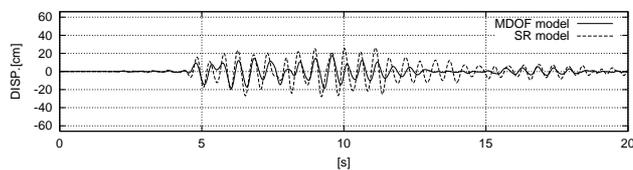


(b) 地盤B

図-6 地盤線形・杭($\phi=1.2\text{m}$)9本の場合



(a) 地盤A



(b) 地盤B

図-7 地盤非線形・杭($\phi=1.5\text{m}$)9本の場合