

基礎-地盤-構造物系の非線形動的相互作用 に関する研究

山下典彦¹・原田隆典²

¹正会員 博(工) 神戸市立工業高等専門学校講師 都市工学科 (〒651-2194 神戸市西区学園東町8-3)

²正会員 工博 宮崎大学教授 工学部土木環境工学科 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1)

我が国では、その地形条件から道路ネットワークの形成に際しては道路橋の建設が要となる。しかし、地震時における構造物と地盤との動的相互作用の問題が、耐震設計指針や基準に考慮されていることは稀である。これは、動的相互作用の解析が煩雑であることに起因するが、こうした現状を改善するためには動的相互作用の効果をより簡単な形式で表現し、簡易な形で耐震設計に取り入れる必要がある。そこで、本研究では群杭基礎-地盤-構造物系と等価なスウェイ-ロッキングモデルを用いて非線形動的相互作用を考慮した応答スペクトルについて考察した。

Key words : *Dynamic Soil Structure Interaction, Sway-Rocking Model, Response Spectrum, Ductility Factor, Yield Seismic Intensity*

1. まえがき

基礎-地盤-構造物系の動的相互作用の問題が、耐震工学の分野で本格的に研究され始めて、もう数十年が経過している。しかし、この問題はなお難題の一つであり、解析モデルに依存して計算結果はかな

りの幅をもつことが知られている。さらに、このような現状が影響してか、動的相互作用の効果が耐震設計指針の中に加味されにくいのが現状である。そこで、本研究では、このような耐震設計の現状を改良し、より合理的な耐震設計の方法を策定することを目的に群杭基礎-地盤-構造物系の非線形動的相互

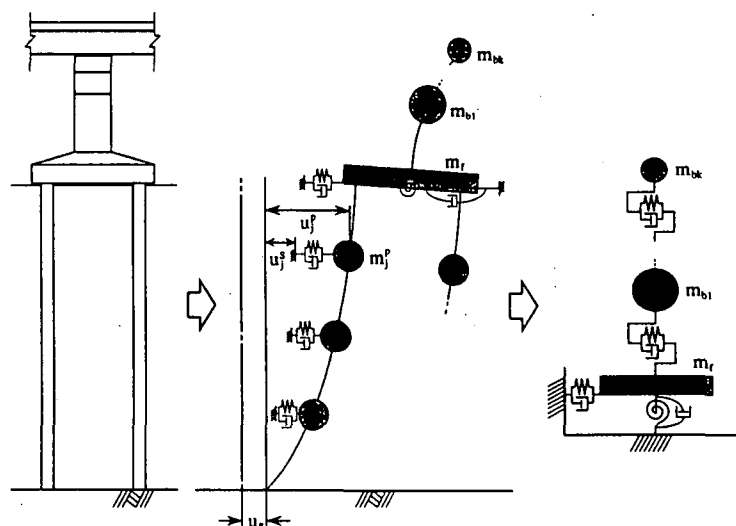


図-1 群杭基礎-地盤-構造物系のモデル化の概念

作用の影響について検討を行った。

2. 動的相互作用モデル

図-1 (a)に示す都市内高架橋で多く見られる非合成鉄桁-鉄筋コンクリートT型橋脚を考え、それらは $n \times n$ の群杭基礎に支持されている。まず、その解析モデルとして図-1 (b)に示すように杭基礎を離散化した多質点系モデルを構築し、そのモデルに静的荷重載荷を行うことで群杭基礎-地盤系の相互作用特性を杭頭部において評価する。次に、杭頭部における水平荷重-水平変位、モーメント荷重-回転変位の関係を図-1 (c)に示すSRモデルの並進と回転ばねの特性とし、初期剛性と降伏強度より決定されるHardin-Dmervich型モデルで表現する。なお、ここで用いている力学モデルでは並進と回転の連成を考慮していない。さらに、上部構造物については復元力特性として剛性劣化型の武藤のTrilinear型のモデルを用いた。

3. 動的相互作用を考慮した応答スペクトル

ここでは、上述した群杭基礎-地盤-構造物系を表現した3自由度系の等価SRモデル¹⁾とそのモデルの基礎を固定したものおよび1自由度系の絶対加速度応答スペクトルを計算し、3自由度系と1自由度系の比率をとることにより応答スペクトル²⁾がどのように変化するかを調べた。この場合、1自由度系は線形の応答スペクトルのみで、等価SRモデルの上部構造物については、図-2に示す復元力特性において降伏震度 q_y を決定し、各固有周期に対応する剛性を k_e とした上で降伏変位 δ_y を決め、弾性限界変位 δ_c を降伏変位 δ_y の1/3と仮定し初期剛性 k_1 を算出した。その際、初期剛性 k_1 より第2剛性、第3剛性をそれぞれ1/10、1/100とした。

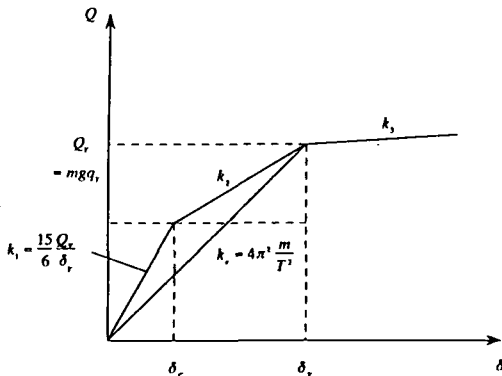
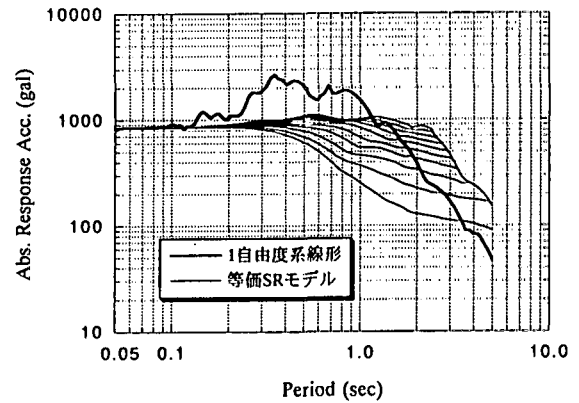


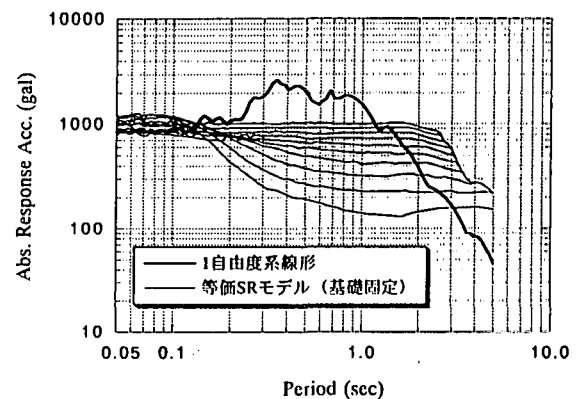
図-2 上部構造物の復元力特性

4. 数値計算例

等価SRモデルとしては、阪神高速道路3号神戸線上の橋脚P137を対象に数値解析を行い、入力地震動は神戸海洋気象台の波形を等価SRモデルの地表面に作用させ、降伏震度 q_y を0.1~1.0の範囲内において0.1刻みで計算を行った。図-3 (a)に等価SRモデルの応答スペクトルを示す。この図は、上より降伏震度 q_y が1.0から0.1の場合の応答スペクトルを示しており、0.3秒より短周期側では設定した降伏震度による違いは明確ではないが、周期が長くなるにつれて違いが顕著に現れている。例えば、2秒では絶対加速度応答が降伏震度1.0で設計したものは800gal、降伏震度0.1で設計したものは140galとなっている。図-3 (b)は等価SRモデルの基礎を固定した応答スペクトルを示すが、短周期側で降伏震度が小さいほど大きな絶対加速度応答値を示している。図-4 (a)は等価SRモデルと1自由度系の絶対加速度応答スペクトルの比率をとったもので降伏震度にかかわらず長周期側で1.0を越えている。図-4 (b)では、短周期および長周期側で1.0を越えている。



(a) 等価SRモデル



(b) 等価SRモデル (基礎固定)

図-3 等価SRモデルの応答スペクトル

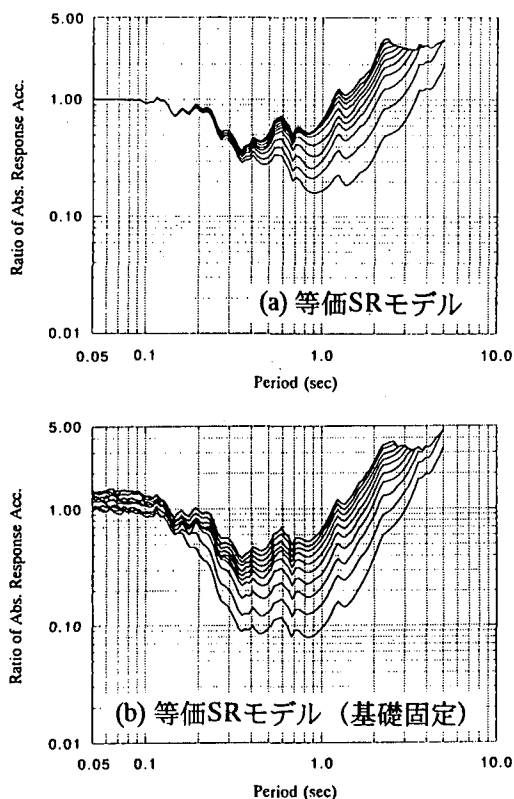


図-4 等価SRモデルの応答スペクトルの比率

図-5 は上部構造物の相対変位の最大値を示す。短周期側の上より降伏震度 q_y が0.1から1.0の場合を示しているが、0.4秒付近から逆転している。さらに、等価SRモデルの基礎固定した場合が、固定しない場合と比較して全周期にわたって変位値が大きくなっている。図-6 は上部構造物の塑性率を示したものであるが、上より降伏震度 q_y が0.1から1.0の場合である。基礎を固定した場合、短周期側で非常に大きな塑性率を示していることがわかる。

図-7 に周期が0.1および1.0秒の上部構造物の相対変位、絶対加速度、履歴ループを示す。降伏震度 q_y は0.1で、等価SRモデルとその基礎を固定した場合である。これより、上部構造物の剛性が小さい場合に変位が大きく、加速度が小さくなっていることがわかる。また、剛性が大きい場合は、その逆である。

5. まとめ

群杭基礎-地盤-構造物系と等価なSRモデルを用いることで、絶対加速度応答スペクトルを計算し動的相互作用の影響を調べたが、その効果を整理するには至っていない。今後は、上部と下部のエネルギーのやり取りをどう設計体系に整理するかを踏まえ、塑性率をパラメータとしてより詳細な検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 山下典彦：構造物-地盤系の動的相互作用解析による杭基礎の耐震設計に関する研究，京都大学学位論文，1997.
- 2) 山下典彦，原田隆典：基礎-地盤-構造物系の非線形動的相互作用を考慮した応答スペクトル，第2回地震時保有体力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，土木学会地震工学委員会，pp.309-312,1998.

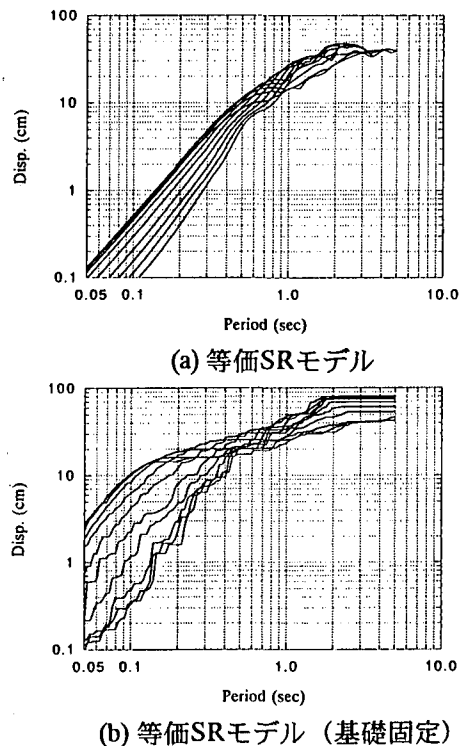


図-5 等価SRモデルの上部構造物の最大相対変位

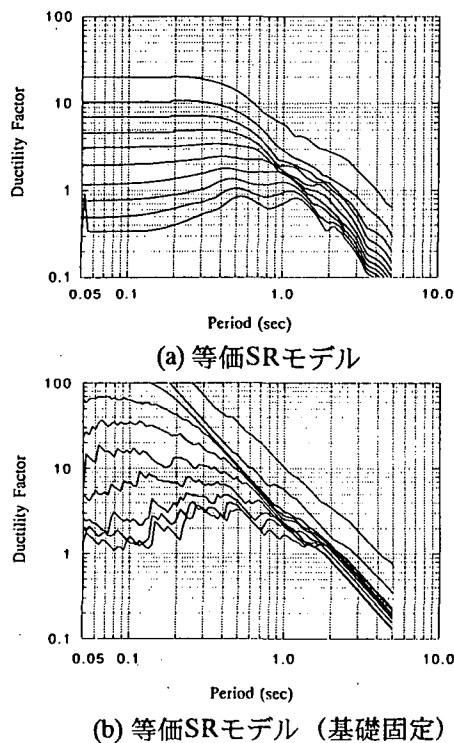
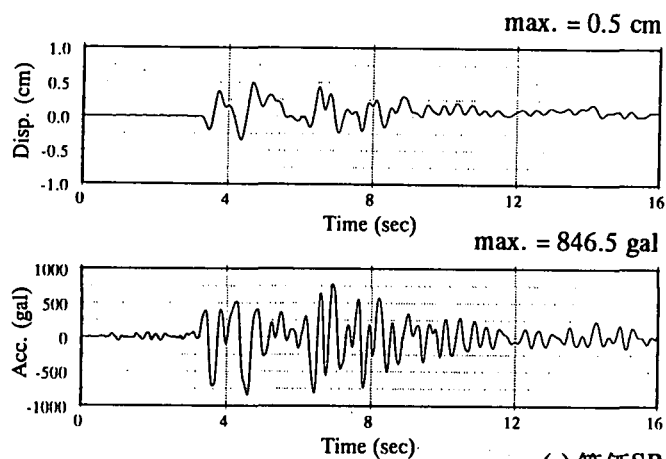
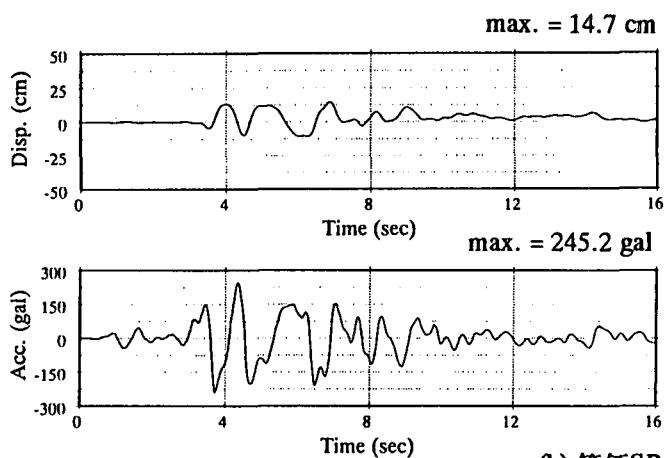
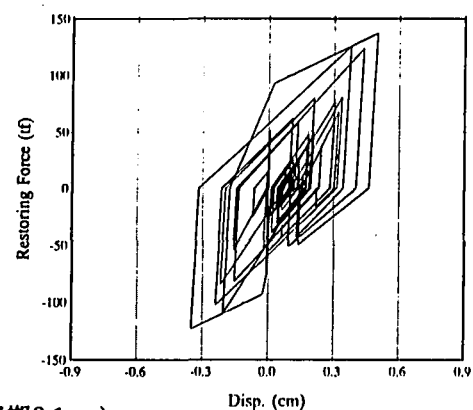


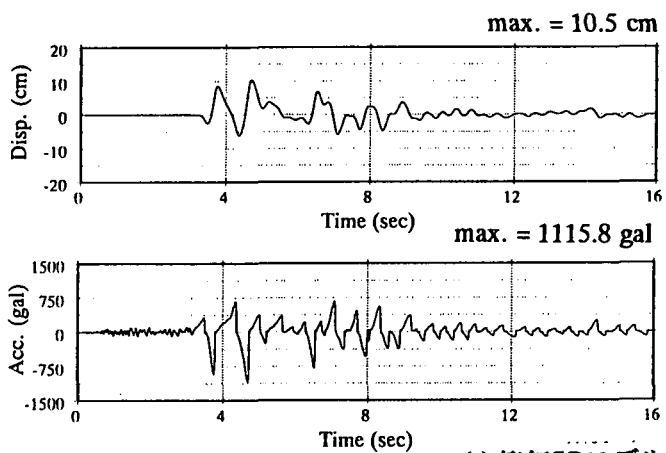
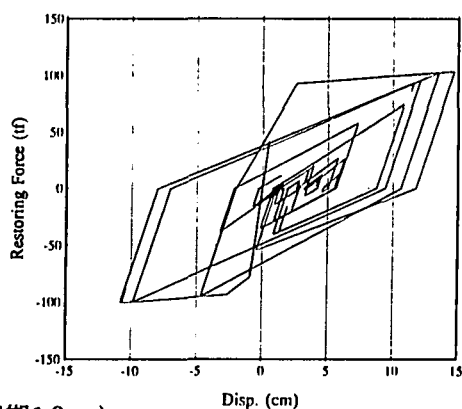
図-6 等価SRモデルの上部構造物の塑性率



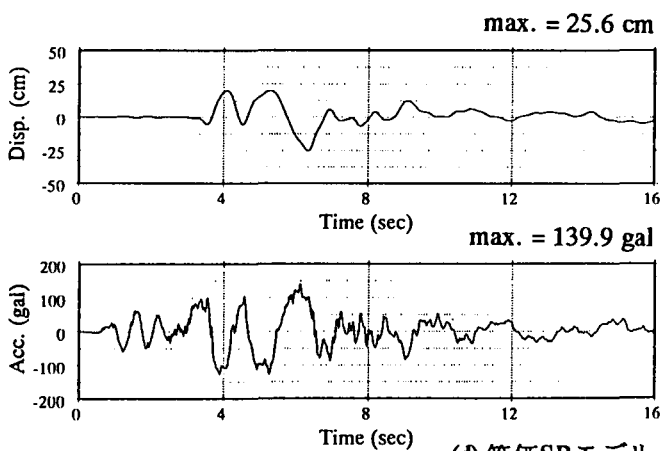
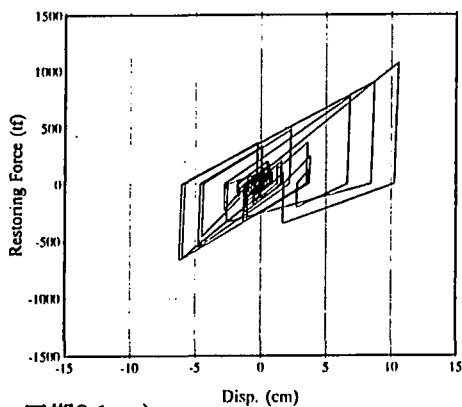
(a) 等価SRモデル (周期0.1sec)



(b) 等価SRモデル (周期1.0sec)



(c) 等価SRモデル (基礎固定, 周期0.1sec)



(d) 等価SRモデル (基礎固定, 周期1.0sec)

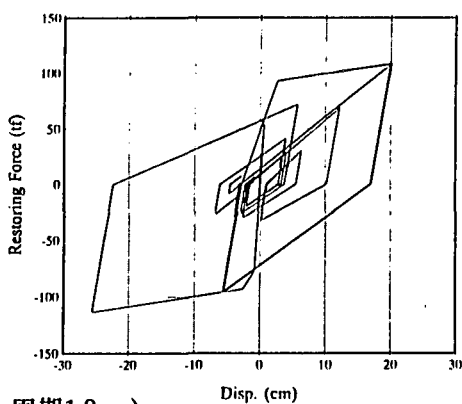


図-7 等価SRモデルの上部構造物の応答