

地盤 - 構造物系の振動を考慮した橋梁耐震設計支援プログラムの開発

佐賀大学大学院工学系研究科土木工学専攻 学生会員 徳田 至
 正会員 荒牧 軍治
 正会員 大塚 哲哉
 非会員 今村 敬

1. はじめに

超軟弱な有明粘土が深く堆積する佐賀平野に自動車専用有明沿岸道路が計画されている。このような超軟弱地盤地域に地震が起こった場合、地盤変位が非常に大きくなり構造物の振動は地盤の変位に大きく影響される。道路橋示方書耐震設計編は杭基礎に及ぼす地盤変位の影響を考慮することを規定していないが、鉄道構造物等設計標準は地盤変形の影響を考慮した動的解析を行う必要があるとしている。

本研究では、オブジェクト指向統合耐震ソフトウェア開発の一環として、各種、提案されている橋脚等の非線形履歴モデルの開発と、地盤変位を考慮した杭基礎 - 上部構造弾塑性応答解析プログラムの構成と計算結果についての考察を行う。

2. 解析モデル

解析には、表-1 に示す佐賀県六角川周辺での土質調査結果に基づいて、道路橋示方書に規定する震度法により設計されたモデルを用いた。地盤、基礎および上部構造物の一体解析は、設計実務上有用でかつ、非線形性を考慮できる手法として質点系モデルを採用し、鉄道構造物等設計基準に基づき、慣性力の影響の他に地盤変位の影響も考慮できる Penzien 型モデル(図-1)で行うこととした。

3. 解析方法

解析には、佐賀大学構造システム工学研究室で開発中のオブジェクト指向統合耐震設計支援プログラム SESAS に非線形履歴モデル(地盤ばねに標準型バイリニアモデル、橋脚基部および杭の塑性ヒンジに武田型トリリニアモデル、土の応力 - ひずみ関係に修正 Ramberg-Osgood 型モデル)を追加して使用した(図-2 参照)。地盤 - 構造物系一体解析の解析手順は図-3 のようになる。自由地盤系の解析によって得られる応答波形を杭 - 構造構造物系に入力することで、地盤 - 構造物系一体解析の解析を行うことができるようにした。また、自由地盤系と杭 - 構造構造物系の解析を別々に行うことにより他のソフトによる応答波形の入力も可能にした。振動系の時刻歴応答解析を行う場合の運動方程式の数値積分には、中央差分法と平均加速度法の特徴を利用した収束計算が不要な高精度の時間積分法である酒井らの方法を用いた。

4. 修正 Ramberg-Osgood 型モデルを使った自由地盤系解析
 非線形解析では、成層地盤を単位断面積を有する土柱と考

表-1 地盤物性値

地盤条件	地盤種類	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	単位体積重量 (kN/m ³)
第1層	粘性土	2.5	84.20	15.0
		4.0	84.20	15.0
		3.0	84.20	15.0
		2.0	89.10	15.0
		2.0	97.50	15.0
		2.0	104.80	15.0
		2.0	111.30	15.0
		2.0	117.20	15.0
第2層	砂質土	4.0	248.58	18.0
第3層	粘性土	3.0	288.45	17.0
第4層	粘性土	4.0	144.22	15.0
第5層	砂質土	6.0	273.60	19.0

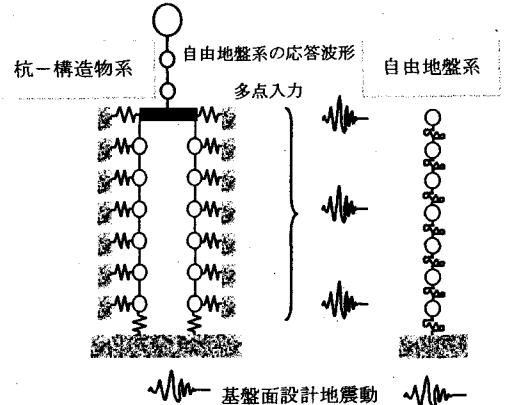


図-1 Penzien 型モデル(多点入力モデル)

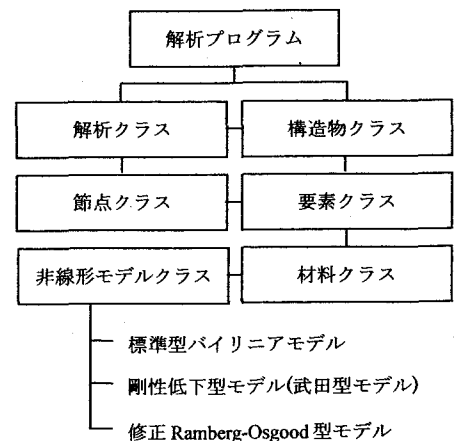


図-2 SESAS のクラス構成と非線形モデル

え、多質点系せん断ばねモデルとして表す。これは、図-4に示すように質量節点間をせん断ばねで結んだモデルである。せん断ばねの履歴ループは修正 Ramberg-Osgood 型モデルに従うものとし、応力-ひずみ関係は次式で与えられる。

$$\gamma = \frac{\tau}{G_{\max}} \left\{ 1 + \alpha \left| \frac{\tau}{\tau_f} \right|^\beta \right\} \quad (1)$$

ここで、 $G_{\max}$ は初期せん断弾性係数、 α および β は最大

減衰定数 $h_{\max}$ によるパラメータ、 τ_f は $G_{\max}$ と規準ひずみ γ_r

によるパラメータである。履歴曲線の形状および履歴曲線の反転と骨格曲線への乗り移りのルールとしてはメージング則を使用し、非線形方程式の解法にはニュートン法を使用し近似解を求めることとした。

5. 結果

図-5 は、自由地盤系の地表面でのレベル1地震動による応答波形を SESAS と成層地盤地震応答解析プログラム k-SHAKE+ for Windows で比較したものである。レベル1地震動では、ほとんど差が生じなかったが、レベル2地震動のような強震では、差が生じた。

6. まとめ

今回の研究で、地盤および橋脚等の非線形履歴モデルが完成し、地盤変位を考慮した杭基礎-上部構造弾塑性応答解析プログラムを完成することができた。しかし、非線形応答が一波形中に大きな非線形応答を示す場合に自由地盤系での応答波形に差が生じるという問題が残っている。SEAS と k-SHAKE+ でこのような差が生じた原因としては、モデルの表現方法の相違、運動方程式の直接積分法に SESAS では酒井らの方法、k-SHAKE+ では線形加速度法(ニューマークの β 法の $\beta = \frac{1}{6}$)を使用している点などが考えられる。今後の課題として SESAS でも線形加速度法による解析を行うなど、自由地盤系の応答波形の精度を上げる必要がある。

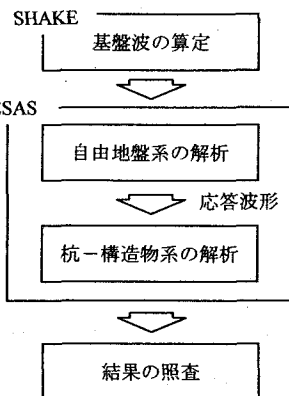


図-3 地盤-構造物系一体解析の解析手順

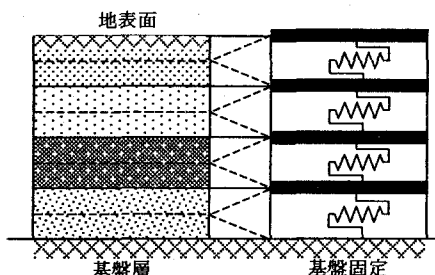


図-4 解析モデル概念図

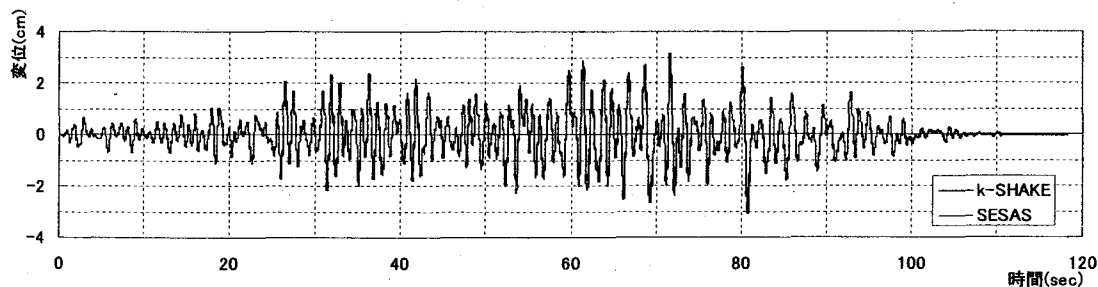


図-5 自由地盤系の地表面での応答波形の比較

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 平成14年3月
- 2) 鉄道総合技術研究所 鉄道構造物等設計基準・同解説 耐震設計 平成11年10月