

地動変位を考慮した橋脚—杭基礎構造系の動的応答解析

佐賀大学理工学部 ○学生会員 松尾悠貴

正会員 荒牧軍治

学生会員 今村 敬

1. まえがき

佐賀平野には超軟弱地盤の有明粘土層(N値=0)が平均的に20m前後の厚さで広く分布している。このような超軟弱地盤地域に地震が起こった場合、地動変位が非常に大きくなり、その地盤上の構造物の振動は地盤の変位に大きく影響される。

今回の研究では、有明粘土地盤地域に建設された杭基礎—橋脚—上部構造物を想定し、はり—質点系モデルを用いて動的応答解析を行った。設計において一般的な解析方法である、地表面加速度波形を基盤層に入力し、地盤は杭を支持する側に作用するとするモデル(単一入力モデル)では有明粘土層のような超軟弱地盤での地震時における地盤の大変位の影響を十分に考慮することはできない。地動変位の影響を考慮するため、地表面加速度から重複反射理論を用いて得られた基盤加速度を基盤層に入力すると同時に、軟弱地盤層から非線形ばねを介して地動変位波形を同時に多点入力する、いわゆる Penzien 型モデルを用いて動的応答解析をおこなった。

2. 解析地盤と杭基礎構造物

表-1 地盤特性

解析には16m程度の有明粘土層が堆積する地盤中に杭基礎が埋設されているモデルを用いた。(図-1)

	土質区分	層厚 (m)	平均N値	S波速度 (m/s)	粘着力 (kN/m ²)	単位体積重量 (kN/m ³)
第1層	有明粘土	8.7	0	70	20.0	14.2
第2層	有明粘土	7.0	0	90	30.0	14.7
第3層	砂質土	1.4	50	400	0.0	19.6

地盤特性を表-1に示す。なお、有明粘土の物性値は佐賀県の六角川周辺で行った土質調査により求めた値を参考にしている。

解析に用いた杭基礎—橋脚構造物は、図-2に示すように、橋脚高さ10.0m、杭長14.9mの構造物で、分散支承の上に600tの上部構造物が結合されている。

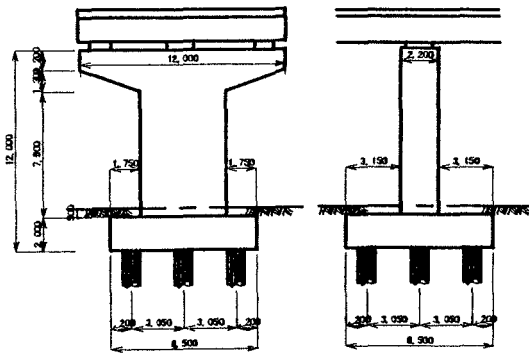


図-2 モデル橋脚

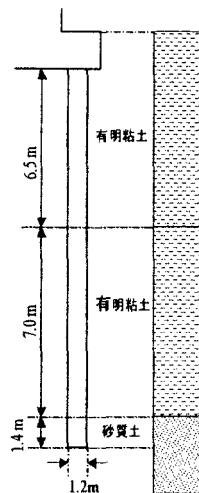


図-1 柱状図

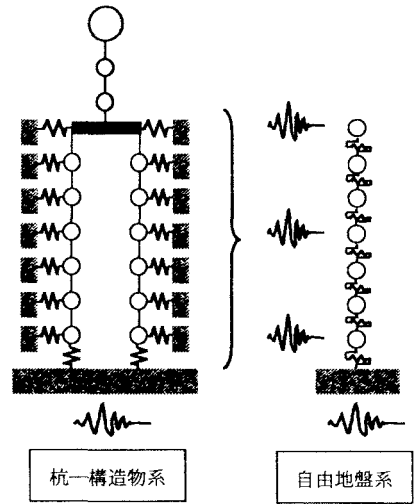
3. 解析に用いたプログラムについて

解析には、佐賀大学構造システム研究室で開発中の、オブジェクト指向構造解析プログラムを用いた。本解析プログラムは、3次元曲げ要素を中心に、トラス要素、ばね要素、三角形平面要素、杭要素等が用意されており、静的、動的弾塑性解析が可能である。また、バイリニア、トリリニア、最大指向点モデル、武田モデル、武藤モデル等の材料非線形モデル使用でき、道路橋仕方書、鉄道橋仕方書等に適合した動的解析ができる。時刻歴解析法については、Wilsonの θ 法、newmarkの β 法、線形加速度法等を基礎として、反復収束法、酒井等が提案した反復収束を必要としない材料非線形動的解析法を用意している。

4. 解析方法

本解析では、前述したように Penzien 型モデルを用いた。Penzien らによって提案されたモデルでは、上部構造物および杭からなる構造物系と構造物の振動の影響を受けない自由地盤系の2つの系から構成される。両者は、お互い十分に隔たったものとして扱われ、中間に存在する地盤の影響を相互作用ばね（バイリニア）とダッシュポットとして表し、これらにより両者を関連付ける。解析手順は以下の通りである。

- i) 構造物の振動の影響を受けない自由地盤系モデルにより、各深さ位置における地震動を求める。自由地盤系モデルは成層地盤を単位断面積を有する土柱と考え、多質点せん断ばねモデルとして表す。
- ii) 地盤、杭基礎、および上部構造物を一体化した質点系モデルに加速度波形と i) で求めた各深さ位置での地震動変位を多点入力する。

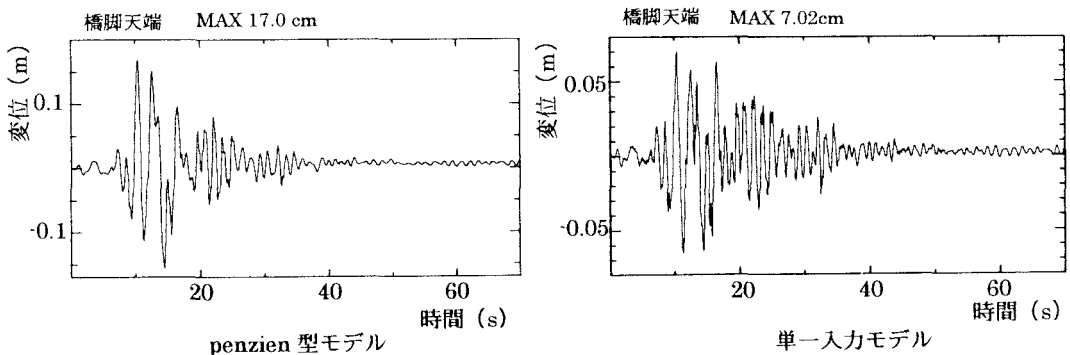


図一3 Penzien 型モデル（多点入力）

5. 解析結果

1995 年の阪神淡路大震災時に神戸ポートアイランドで観測された加速度波形を、地盤表面で最大加速度 (max 210gal) に調整し、重複反射理論を用いて基盤加速度を求め入力加速度とした。解析方向は橋軸方向である。単一入力モデルにおいては、地表面加速度を基盤層に入力し、地盤は杭基礎を支持するものとした。(鉄道構造物等設計標準・同解説、耐震設計 12.5.1.4 参照)

Penzien 型モデルと、単一入力モデルにより得られた橋脚天端における変位は図一4 のようになり Penzien 型モデルの方の変位が 2.5 倍近く大きくなるのが確認できた。道路橋設計仕方書では、慣性力の影響のみを評価する単一入力モデルを考慮しているが、超軟弱な有明粘土地盤が厚く堆積する地域における耐震設計においては、慣性力の影響の他に地盤変位の影響も考慮できる Penzien 型モデルを採用した動的解析を行う必要がある。その他の計算結果については講演時に発表する。



図一4 橋脚天端位置における変位波形

参考文献

- 1) Robert L. Wiegel EARTHQUAKE ENGINEERING
- 2) 日本道路協会 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編
- 3) 鉄道総合技術研究所 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計
- 4) 酒井久和、澤田純男、土岐憲三：収束計算を行わない動的非線形 FEM のための時間積分、土木学会論文集 1995.1 No.507 pp137-147