

I - B 407 地盤と構造物の動的相互作用を考慮した杭基礎の耐震設計法に関する研究

九州大学大学院 学生員 久納淳司  
九州大学大学院 フェロー 大塚久哲  
構造技術センター 正会員 岩上憲一

1. 目的

兵庫県南部地震等の被災事例を踏まえて、杭基礎においても合理的な設計法の確立が望まれている。現行指針における杭基礎の耐震設計では、周辺の地盤を非線形ばね、杭体を弾塑性体にてモデル化し、静的な水平力を作用させ、杭頭水平変位、杭の降伏、終局耐力、靱性率などを、橋脚の耐力との関連において照査する設計法が主流となっている。このような方法では、地震時における上部構造や橋脚の慣性力が杭体に及ぼす影響（慣性力相互作用）のみを考慮していることになり、地盤変位が杭体に及ぼす影響（基礎と地盤の剛性差による相互作用）は考慮されていないこととなる。一方、地盤と構造物をともにモデル化し、系全体に地震力を載荷する方法では、構造系の慣性力による影響に加えて、地盤変位の影響についても考慮することができ、地盤と構造物の動的相互作用をすべて考慮することができる。

本研究では杭周面地盤や先端地盤、杭の根入れ比などをパラメータとして、等しい入力地震動を想定した静的解析と動的解析を行い、これら諸条件が杭の挙動に及ぼす影響について検討するとともに、地盤と構造物の動的相互作用を考慮した解析手法の適用性を探る。

2. 動的解析

図-1に本研究で用いた動的解析モデルを示す。本解析モデルは自然地盤の変位を別途求め、その変位を相互作用ばねを介して杭体に作用させることにより、地震時に杭体が地盤変位により受ける影響を考慮することができ、同時に同じ地震動を構造系に入力することで、上部構造や橋脚など、構造系の慣性力による影響もあわせて考慮できるモデルである。

よすなわち本解析モデルは、構造系の慣性力による相互作用と、基礎の剛性と地盤変位による相互作用を同時に考慮でき、地盤と構造物の動的相互作用を考慮した解析が可能である。

解析における入力地震波は、基盤とみなせる地点で観測された、東神戸大橋-33m、神戸ポートアイランド-32m及びび-83mの3波形式とした。また自然地盤の復元力特性はR-Oモデルを、相互作用ばねの復元力特性は双曲線モデルをそれぞれ用い、杭体及び橋脚躯体にはトリリニア型のM- $\phi$ 関係を与えた。

3. 静的解析

静的解析に使用したモデルは図-1の動的解析モデルと同じであり、杭体と周面地盤の摩擦による抵抗、杭先端地盤の鉛直、せん断方向の抵抗についても考慮したモデルである。解析においては相互作用ばねのばね定数は、N値から求めたが、そのほかの値は動的解析と同じである。

さらに、道路橋示方書に規定されている杭基礎の解析モデルによる解析も行った。このモデルは、杭体及び地盤の鉛直方向抵抗を、フーチング下面にあるばねで考慮したモデルである。

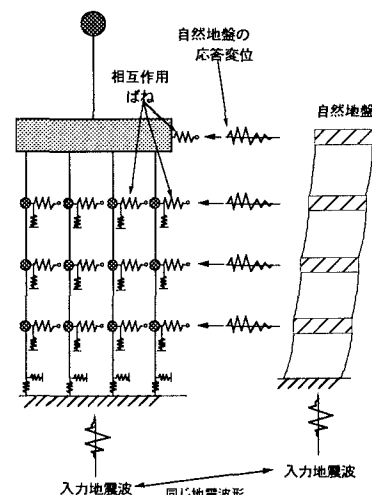


図-1 動的解析モデル

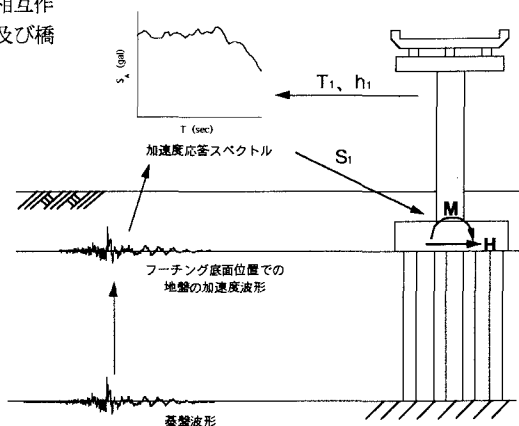


図-2 動的解析と比較をするための設計水平震度の考え方

keyword：杭基礎，動的相互作用，耐震設計

連絡先：〒 812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 TEL092-642-3268

この両モデルに図-2に示すように、フーチング下面位置での自然地盤の加速度波形から、周期 $T_1$ 、減衰 $h_1$ （ともにフーチングより上部の構造系の1次の固有周期とモード減衰）における加速度応答スペクトルを算出し、設計水平震度 $K_{hc}$ を求める。この設計水平震度が橋脚躯体及び上部構造に作用した場合にフーチング底面位置に生じる水平力 $H$ 、曲げモーメント $M$ を漸増荷重として作用させる。また、橋脚躯体の非線形性も考慮に入れて2段階で作用させ、そのときの応答を動的解析結果と比較する。

#### 4. 結果及び結論

本研究の解析結果に対する考察や、得られた知見は次のようなものである。

- 1) 図-3に示すように静的解析では、地震時に作用する荷重として上部構造及び橋脚の慣性力による影響のみを評価しているため、地盤の変位が卓越する条件では、静的解析において杭先端位置に発生する曲げモーメントを表現することは難しい。これに対して動的解析では構造系の慣性力による影響に加えて、地盤変位が杭体に及ぼす影響についても考慮することができる。
- 2) 図-4に示すように杭頭における最大応答変位は、根入れ比が大きくなるに従って、動的解析結果が大きくなっていることがわかる。これは、動的解析では根入れ比が大きいかほど地盤変位の影響も大きいことが挙げられ、根入れ比の増大とともに杭頭変位も増大する。しかし、静的解析ではその逆で根入れ比が大きくなるほど杭頭変位が小さくなるか、変化しないで一定の値をとる。これは、根入れ比が長くなれば、同じ荷重状態での杭の変位が周面地盤によって抑えられ、杭頭での変位が小さくなるからと考えられる。
- 3) ここには示していないが、杭頭変位は動的解析の結果において杭先端地盤の影響をほとんど受けないことがわかった。しかし、鉛直方向の地盤の抵抗を詳細に表現した当研究モデルによる静的解析では、杭先端地盤の影響が杭頭変位の応答に大きく影響していた。また振動エネルギーが地下へ逸散して失われる現象を相互作用ばねの減衰定数に付加することで考慮し、その減衰定数をパラメータとして行った解析では、杭頭変位や杭体に生じる曲げモーメントに及ぼす影響はほとんどないが、上部構造の応答に影響することがわかった。

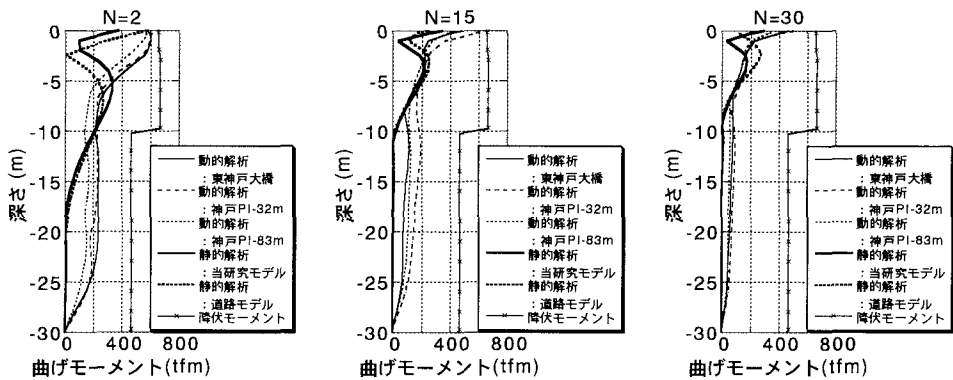


図-3 深さ方向曲げモーメントの最大値比較（杭先端地盤の変形係数 $E=300\text{kgf/cm}^2$ の場合）

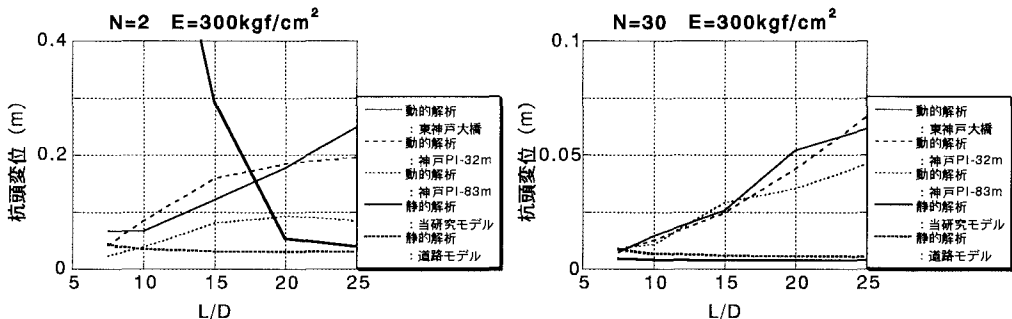


図-4 根入れ比別の最大杭頭変位比較（L：杭長、D：杭径=1.2m、解析ケースによらず一定）