

I-564

動的相互作用を考慮した杭基礎-構造物系の非線形最大応答予測

清水建設(株)

正員 宮田 和

京都大学防災研究所 正員 土岐憲三 佐藤忠信

1. まえがき: 本研究では、まず地盤-杭基礎系の動的相互作用を考慮したモデルとして、等価な並進・回転(S-R)ばね系に置換するための手法について検討を加える。次に、RC橋脚を対象とし、パワースペクトル密度関数の理論的な表現形式を利用しスペクトルモーメント法によって塑性率の期待値を計算して¹⁾、弾塑性応答値を推定する近似式を提案する。

2. 杭基礎系の簡易動的解析モデル: RC橋脚の杭基礎を地盤の非線形性や群杭効果を考慮した多質点系にモデル化し、その動特性を等価なS-Rモデルに置換する。解析の対象となるRC橋脚モデルは、ハイブリッド実験に使用されている試験体である²⁾。杭基礎を線形6自由度系にモデル化し、非線形復元力特性を持つ地盤のばねをつけた時の杭頭に静的に荷重を载荷した時の解析を行う。地盤のばねの復元力特性は、Hardin-Drnevich型のモデルで表す。図-1に示すように、対象とする杭基礎を先端固定のはりと考え、杭を複数の要素に分割し、はりの静変形問題のたわみ曲線の一般解より要素の合成マトリクスを求めると、約合式は以下になる。

$$[K_{ji}]\{u_i\} + f_i^p(u_i) = \{V\} \quad (1)$$

非線形復元力特性をHardin-Drnevichモデルとしたときのパラメータは初期剛性、降伏強度の2つであるが、これらが地盤の物性値、標準貫入試験のN値と土の有効単位重量のみで決定できるとした。地盤のモデルとしてN値の分布を深さ方向に一定(case1, 2, 3)、深さに対し直線的にN値が変化する(case4, 5)、深さの1/2乗に比例して変化する(case6, 7)という7つのcaseを考えた。

3. 杭頭に水平力が作用する場合の解析結果と考察: 図-2(a)はcase1の杭頭に水平力を载荷した時の杭頭での水平力と変位の関係を表したものであり、この関係から図-2(b)の地盤のばねを0としたときの杭頭での水平力と変位の関係を差し引いたのが図-2(c)である。図-2(c)は、変位がある程度以上になると荷重が一定値となる地盤のばねの非線形特性と類似となる。よって杭頭で現れる水平力と変位の関係は、地盤のばねと杭自身のばねの重ね合わせによって表現できるものと考えられる。case1のみを図-2に示したが、他のcaseについても同様な結果が得られた。また、杭頭に水平力とモーメントが作用する場合の解析においても、杭頭で現れるモーメントと回転角の関係、水平力と変位の関係は、地盤のばねと杭自身のばねの重ね合わせによって表現できるものと考えられる。ここでは、単杭について解析を行ったが群杭効果を考慮したモデルの解析についても同様な解析結果が得られた。

4. 等価なS-Rモデルへの置換: 3. で得られた結果から、杭頭部でのモーメントと回転角、水平力と変位の関係は、杭自身のばねと地盤の影響が現れたばねの2つに、分離することができる。よって、スウェイとロッキングのばねのスケルトンカーブを次式のように表す。

$$Q = \frac{K'_0 x}{1 + \left| \frac{x}{x_f} \right|} + K_P x \quad x'_f = \frac{Q'_u}{K'_0} \quad (2)$$

ここに、 K'_0 は図-2(c)での初期剛性、 Q'_u は図-2(c)での降伏強度、 x'_f は基準化ひずみ、 K_P は杭頭に力を作用させたときの杭自身のばねの剛性である。

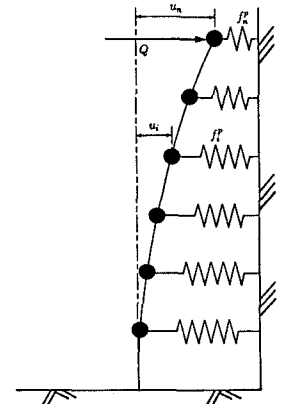


図-1 杭基礎のモデル

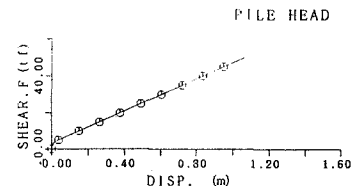


図-2(a) 杭頭での水平力と変位の関係

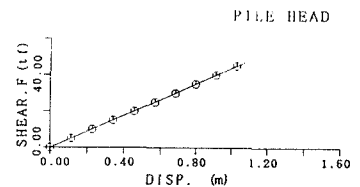


図-2(b) 地盤のばねを0としたときの杭頭での水平力と変位の関係

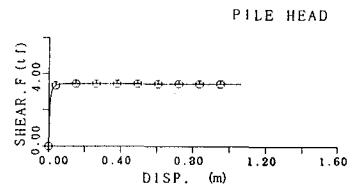


図-2(c) (a)-(b)

地盤の非線形性の影響を表現している図-2(c)での初期剛性と降伏強度が、地盤のばねの初期剛性と降伏強度を与える N 値とどのような関係にあるのかを示したのが、図-3(a)(b)である。横軸には、地盤の平均 N 値をとっている。

今までの解析では、杭は降伏しないと仮定して解析を進めたが、杭もある変位を超えると降伏すると考え、等価S-Rモデルを図-4のように仮定した。図-4では杭自身の降伏強度 Q_p を設定し、スケルトンカーブの初期剛性 K_{p0} で割った値を基準変位 x_p とし、 x_p の3倍の変位で杭が降伏し、杭自身の剛性 K_p の1/10の傾きで剛性が変化するとモデル化を行う。

5. 等価S-Rモデルを使用した確率論的応答解析結果と考察：基礎の動的構造特性が橋脚の非線形応答特性に及ぼす影響を調べるために、基礎の水平変形に対する塑性率 μ_B と橋脚の塑性率 μ_s の関係をプロットしたのが図-5である。基礎の塑性変形量が大きくなるにしたがって、入力地震エネルギーが基礎部分の履歴特性によって消費され、橋脚に入力される地震エネルギーが減少することを意味している。

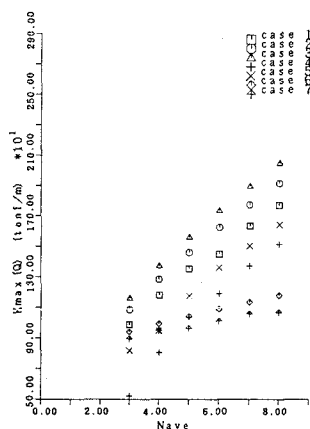


図-3(a) 平均 N 値と初期剛性の関係（水平力のみ载荷）

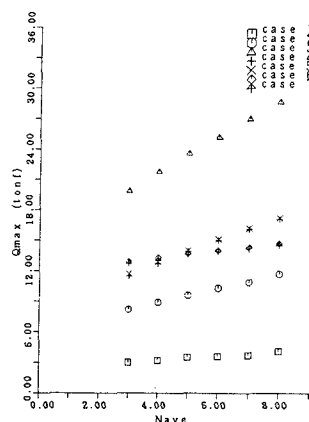


図-3(b) 平均 N 値と降伏強度の関係（水平力のみ载荷）

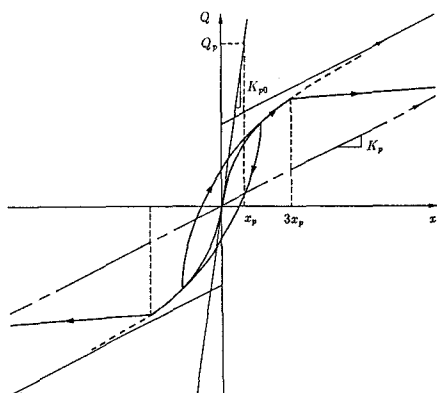


図-4 等価S-Rモデル

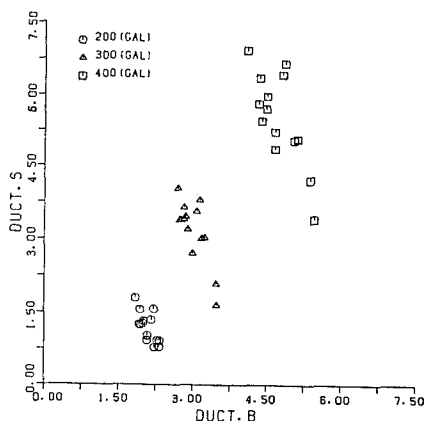


図-5 橋脚の塑性率 μ_s と基礎の水平変形の塑性率 μ_B との関係

参考文献

- 1) 土岐憲三, 佐藤忠信, 宮田和：非弾性動的相互作用を考慮した地盤－構造物系の最大応答予測, 第23回土質工学研究発表会, pp.835-838, 1988.
- 2) 土岐憲三, 佐藤忠信, 清野純史, Nozar Kishi Garmroudi, 吉川正昭：杭基礎の非線形復元力に関するハイブリッド実験, 京都大学防災研究所年報, 第32号, B-2, pp.11-22, 平成元年4月