

I-569

杭基礎-地盤系の動的簡易解析モデルの構築

京都大学防災研究所 正会員 土岐憲三
 京都大学防災研究所 正会員 佐藤忠信
 竹中工務店 正会員 ○吉澤睦博

1. はじめに 本研究は上部構造物-杭基礎-地盤連成震動系における動的相互作用解析を簡便に行うために、杭頭部における静的な相互作用特性をSR(スウェーローッキング)モデルの並進ばね・回転ばねに置換して表現することにより簡便な動的解析モデルを構築するものである。

2. 多質点系モデル 解析対象は図-1(a)に示される上部構造物-杭基礎-地盤系で、砂地盤における鋼管杭を考えた。杭先端は支持基盤で変位と回転が固定されるとし、杭頭はフーチングに剛結している。この系を図-1(b)のように杭要素を離散化した集中質量系で表現し、各集中質量に相互作用ばねを付加してモデル化を行い、多質点系モデルとする。また杭は10等分割した。相互作用ばね特性は地盤の非線形挙動の把握するために修正Hardin-Drnevich型モデルを用い、地盤の非線形性に基づく履歴減衰を考慮した。H-Dモデルは初期剛性と降伏強度を用いた双曲線関数であり、初期剛性は動的効果を取り入れるために小長井¹⁾の動的水平ばねの実数部の値を、また降伏強度はBroms²⁾によるRankineの受動土圧の3倍の値を用いた。これらの値を決定する地盤データはN値より推定し、N値を深さ方向の関数と定義してその関数形を変えることにより地盤特性を考慮した。また、逸散減衰を表現する減衰係数は動的水平ばねの虚数部より算出した。

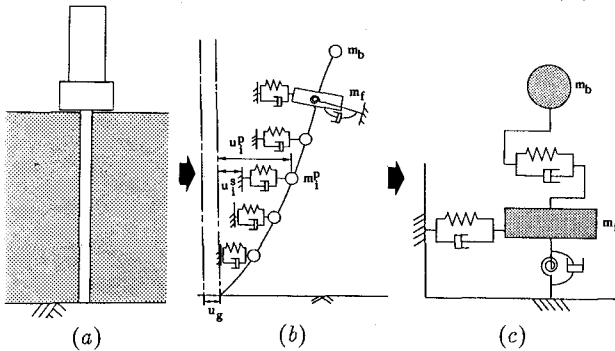


図-1 解析対象とモデルの概略図

表-1 杭の諸元

| | | |
|-----------|------------------------|------------------------|
| ヤング率 | (kgf/cm ²) | 2.1 × 10 ⁶ |
| 断面2次モーメント | (cm ⁴) | 1.54 × 10 ⁴ |
| 断面積 | (cm ²) | 8.01 × 10 |
| 重量 | (kgf/m) | 6.78 × 10 |
| 断面係数 | (cm ³) | 7.73 × 10 ² |
| 杭径 | (cm) | 4.0 × 10 |
| 杭長 | (m) | 6.0 |

表-2 上部構造物の諸元

| | | |
|---------|------------------------------|------|
| 質量 | (tf · sec ² /cm) | 0.02 |
| 慣性モーメント | (tf · sec ² · cm) | 400 |
| 重心高さ | (m) | 2.0 |

3. SRモデルへの置換手法 図-1(c)のSRモデルにより多質点系モデルの杭頭部における相互作用特性を表現するために、多質点系モデルの杭頭に静的載荷した結果を並進・回転ばねに取り入れる。SRモデルは並進と回転の連成を考慮していないが、実際の地震応答解析はその連成効果が大きい。そこで静的載荷を水平荷重とモーメント荷重を組み合わせを行い、連成を考慮したばね特性をSRモデルに取り入れた。載荷中は杭は弾性変形すると仮定すると、図-2に示されるように杭頭部の地盤反力-変位関係は杭の弾性分と相互作用の非線形分に分離できることが分かる。図-2(a)の実線より点線分を差し引いた値が図-2(b)に示されている。図中に示すように初期剛性 K_0 と降伏強度 Q_u および杭の剛性 K_p を定義し、(b)の曲線を K_0, Q_u を用いてHardin-Drnevich型モデルにより近似を行い、水平・回転ばねの骨格曲線を次式のように定める。

$$Q(x) = \frac{K_0 x}{1 + \left| \frac{x}{x_f} \right|} + K_p x \quad x_f = \frac{Q_u}{K_0} \quad (1)$$

組み合わせ荷重載荷の場合はその組み合わせにより降伏強度および初期剛性の値が変わる。図-3にその結果を示す。図-3(a)は降伏強度の組み合わせをプロットしたもので、水平荷重のみ載荷した場合の降伏強度 H_p 、

モーメント荷重のみの場合の降伏強度 M_p で正規化した値であり、次式の曲線上に乗ることが分かる。

$$\left(\frac{H}{H_p}\right)^{1.1} + \left(\frac{M}{M_p}\right)^{1.1} = 1 \quad (2)$$

ここで図に示すように角度 Φ をとると、これは相互作用ばねの並進・回転の分担率と考えられる。図-3(b) は分担率 Φ の値に対する並進・回転ばねの初期剛性の値と、それを指数関数により回帰分析した曲線である。 Φ の値によるパラメトリックな解析を行い並進・回転の連成効果をSRモデルに取り入れれば、多質点系モデルの杭頭の応答変位をSRモデルにより精度良く表現することが可能となる。

3. パラメータの簡易決定法 SRモデルに置換するための静的載荷は、全ての相互作用ばねが降伏するまで載荷を行って地盤のみの支持力を抽出するものとした。しかし実際の動的問題で杭全長にわたり相互作用ばねが降伏することは稀である。離散化質量を杭頭より順に質点1~10と数え、載荷を止める基準に降伏する相互作用ばねの位置を質点10より一つづつ上へ移動させた場合の降伏強度の値を図-4に示す。各値は質点10が降伏した場合の値で正規化してある。質点7~10のばねの降伏を載荷中止の基準した場合はほとんど等しいことが分かる。すなわち静的載荷は質点7のばねが降伏するまで行えば十分といえる。この質点7は動的解析をした際に線形領域に留まっている相互作用ばねの位置の深さとよく対応していることが分かった。

4. 参考文献 1)小長井一男:基礎構造物と地盤の動的相互作用の簡便な解析法について,東京大学生産技術研究所報告第40巻,第7号,1988年7月 2)Broms,B.B.: Design of Laterally Loaded Piles, SM3, ASCE, Vol.91, May, pp.79~99, 1965.

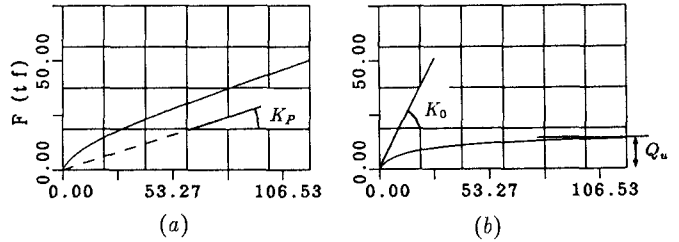


図-2 荷重-変位曲線

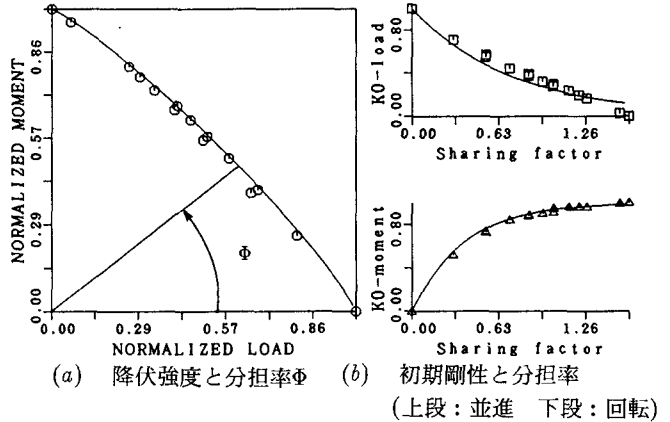


図-3 降伏強度と初期剛性

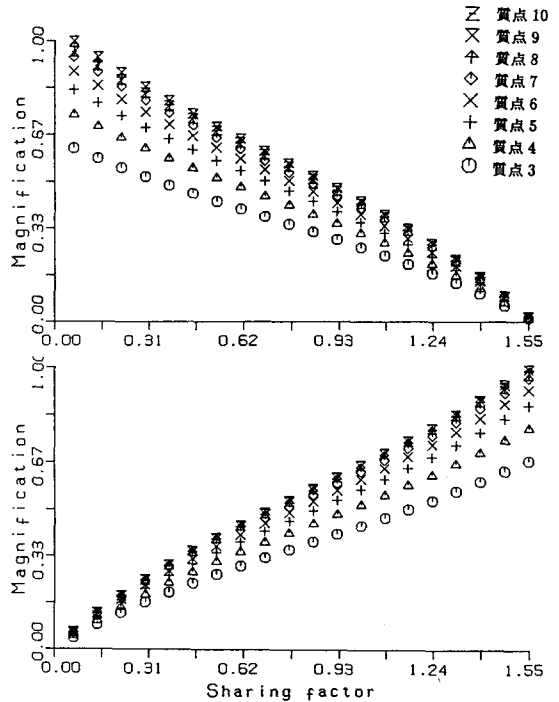


図-4 降伏強度の値の変化(上段:並進 下段:回転)