

2次元 FEM による杭基礎の動的相互作用解析

福井工業大学 正員 谷脇一弘 (株)レオパレス 21 正員 ○三宮麻友子
愛媛大学工学部 フェロー 森伸一郎 愛媛大学工学部 正員 大賀水田生

1. はじめに

現在の道路橋示方書による設計においては、杭および地盤を質点系に置き換え、上部工からの慣性力のみを考慮して設計している。しかし実際の地震時の挙動は、慣性力のみならず地盤が地震動を受けて変形することにより、地盤・構造物系は動的相互作用の複雑な挙動を示すこととなる。本研究では、高知県の第2甲原川橋のP1橋脚を対象とし、2次元FEMモデルを用いて非線形地震応答解析を行い、動的相互作用を考慮した杭基礎の安全性について検討を行うとともに、杭基礎の最大断面力に与える地盤変位および慣性力の影響を明らかにしたものである。

2. 解析モデルおよび入力波

本研究で対象にした橋梁は、4径間連続PRC中空床版橋からなる全長110mの橋梁である。この橋梁の最も軟弱な地盤に構築されているP1橋脚を2次元FEMモデルとして解析を行っている。基礎であるフーチングの平面的な寸法が10m×10m、杭は杭径 $\phi 1500$ 、杭長27mの場所打ち杭が9本配置されている。

橋脚・フーチング・杭部分のモデル図を図-1に示す。橋脚先端には上部工反力を考慮している。橋脚の③、④部材は非線形解析をより正確に行うために10分割し、一つの要素長をおよそ30cm程度としている。フーチングは、四角形要素を用いて実際の形状をモデル化し、橋脚と杭は剛部材を用いて連結している。杭の要素長は1m程度となるように分割している。解析は奥行に配置された3本の杭を1本の杭としてモデル化しているため、断面積および断面二次モーメントの値は3倍の値を入力している。非線形解析においては、橋脚および杭に武田モデルを用いている。

橋脚・フーチング・杭・地盤全体系モデル図を図-2に示す。地盤は、四角形平面要素を用いてモデル化し、各要素の奥行はフーチング幅の2倍で20mとした。境界条件として底面は固定、側面は2次元側方境界要素を使用している。この境界要素では、地盤の要素と剛な要素を切り欠き力およびダンパーを用いて接続し自由地盤を模擬している。非線形解析においては、Ramberg-Osgoodモデルを用いている。

全体系解析においては、杭間の地盤のすり抜け効果を表現するために杭と地盤の間にばねを設ける方法も報告されているが、ばねの物理的意味や値の評価が難しいことより、本研究では杭と地盤、フーチングと地盤とは直接接続している。

時刻歴応答解析に用いた入力波は、図-3に示す南海地震サイト波とする。また、すべての解析において自重を考慮している。

3. 解析結果および考察

1) 応答変位(相対変位)および伝達関数の検討 線形、地盤のみ非線形および非線形地震応答解析により得られた橋脚先端の応答変位を図-4に示す。線形の場合の絶対最大値は11.3cmとなっている。地盤のみ非線形の場合は、1.2倍の13.5cmとなっており、1.7cmの残留変位が生じている。また、非線形の場合は、線形時の1.5倍の16.5cmとなり、地盤のみ非線形とした場合よりさらに大きくなっている。図-5に示す伝達関数では、線形時で1.66Hzの振動数において卓越しており、全体系モデルの1次モードの固有振動数である1.64Hzとおおむね一致している。地盤のみ非線形および非線形の場合はそれぞれ1次の卓越した振動数が1.22Hz、1.17Hzへと減少し、長周期化されている。

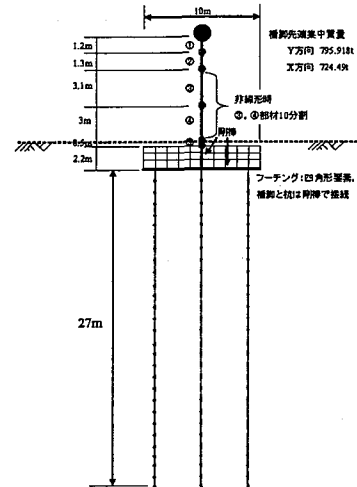


図-1 橋脚・フーチング・杭のモデル

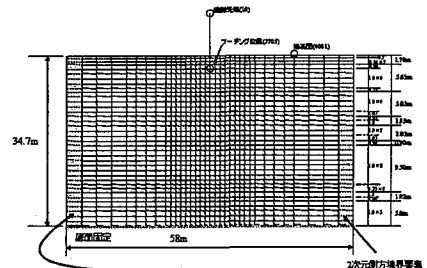


図-2 全体系モデル図

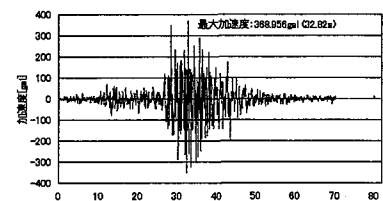
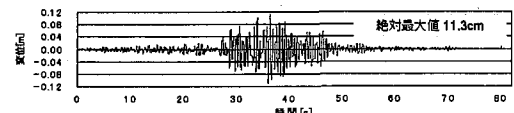
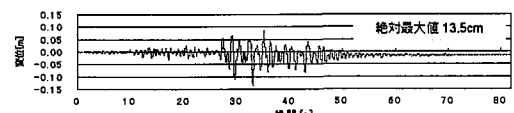


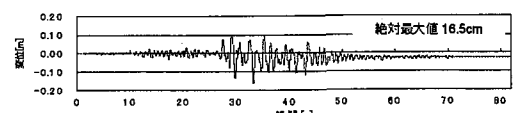
図-3 南海地震サイト波



(a) 線形の場合



(b) 地盤のみ非線形の場合



(c) 非線形の場合

図-4 橋脚先端の応答変位

2) 橋脚・杭の最大曲げモーメントの検討 図-6 に示す線形、地盤のみ非線形および非線形地震応答解析により得られた中列の杭1本当たりの最大曲げモーメント分布では、杭頭の最大曲げモーメントに着目すると、線形の場合には12434kNmの大きな曲げモーメントが生じている。一方、地盤のみ非線形とした場合には7247kNmと大きく減少している。非線形の場合には、4487kNmと最大曲げモーメントの値は最も小さくなっている。非線形地震応答解析の結果よりひび割れが杭全体に生じるが、降伏はしないことが明らかとなった。

図-7 に示す線形、地盤のみ非線形および非線形地震応答解析により得られた橋脚および杭9本の最大曲げモーメント分布より明らかなごとく非線形地震応答解析の結果では、橋脚の下部は降伏曲げモーメントより大きくなっており、フーチング上端2.3m位置から降伏することが明らかとなった。

3) 地盤変位による最大曲げモーメントへの影響

地盤変位による最大曲げモーメントへの影響を検討するため、橋脚・フーチングおよび杭の質量を無視し、慣性力による影響を削除して非線形地震応答解析を行った結果(構造物の質量なし)および非線形地震応答解析の結果(構造物の質量考慮)との比較を行った。杭1本当たりの最大曲げモーメント分布を図-8に示す。図より明らかなごとく、最大曲げモーメントのおよそ97%は地盤の影響により生じており、構造物に生じる慣性力の影響はわずか3%程度である。

4) 慣性力による最大曲げモーメントへの影響

現行の道路橋示方書に従った慣性力に基づく設計法で用いられている曲げモーメント分布を比較するため、構造物の質量を考慮して非線形地震応答解析より得られた最大加速度を用いて計算された慣性力を静的荷重として与え、非線形静解析を行った結果(慣性力による非線形解析)および構造物の質量を考慮した非線形地震応答解析(非線形地震応答解析)との比較を行った。橋脚および杭9本の最大曲げモーメント分布を図-9に、杭1本当たりの最大曲げモーメント分布の比較を図-10にそれぞれ示す。橋脚基部の最大曲げモーメントは、非線形地震応答解析の最大曲げモーメントの53%と小さくなっており、橋脚の降伏は見られない。また、杭頭の最大曲げモーメントでは、非線形地震応答解析の34%のみの過小評価となっていることが明らかとなった。さらに、地盤変位による最大曲げモーメントへの影響の検討から明らかなごとく、杭頭の最大曲げモーメントの内、慣性力による成分は122kNm~149kNmとなっており、位相差により慣性力による非線形解析より得られた

最大曲げモーメントの8%程度しか寄与していないことが明らかとなった。

謝辞

本研究は、その一部を地盤工学会四国支部内に設けられた JH 四国道路耐震性評価委員会(委員長 矢田部龍一 愛媛大学教授)の一環として

実施したものであり、西日本高速道路高松技術事務所の関係者および基礎 WG 委員会委員の方々には大変お世話になりましたことを記して謝意を表します。

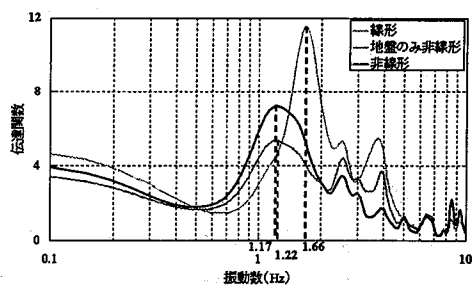


図-5 全体系橋脚先端部の伝達関数

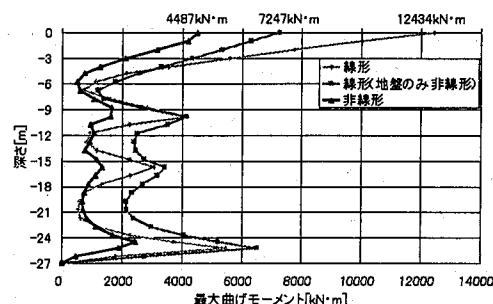


図-6 最大曲げモーメント分布の比較 (杭1本当たり)

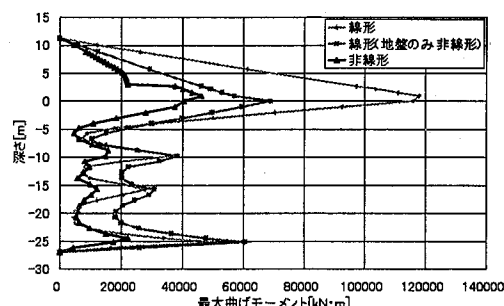


図-7 橋脚・杭9本の最大曲げモーメント分布

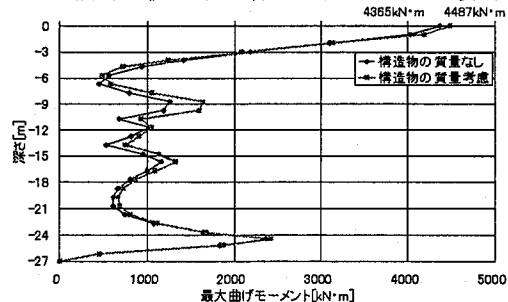


図-8 地盤変位による杭1本当たりの最大曲げモーメント分布への影響

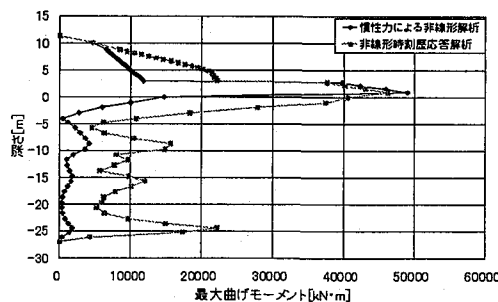


図-9 慣性力による橋脚・杭9本の最大曲げモーメント分布

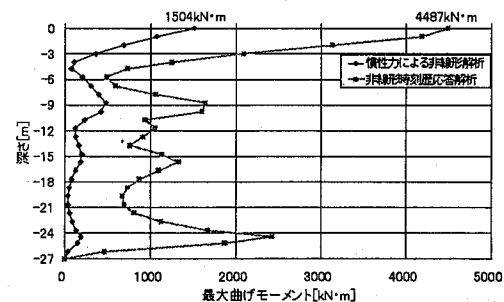


図-10 慣性力による杭1本当たりの最大曲げモーメント分布