

ローカルサイト・イフェクトが多径間連続橋脚の 応答に及ぼす影響に関する基礎的研究

JFE エンジニアリング 正会員 能登晋也¹
名古屋大学 正会員 葛西昭²
名古屋大学 フェロー 宇佐美勉²

1 はじめに

1995 年の兵庫県南部地震以降、耐震設計や地震被害の想定を行う上で、不整形地盤や活断層に起因するような、内陸性地震に対して評価する重要性が叫ばれ始めた。その理由として、この地震ではこのようなローカルサイト・イフェクト¹⁾による被害が多く報告されたためである。ローカルサイト・イフェクトには一般に、「震源の影響」、「伝播経路の影響」、「地盤の影響」の3つに分類することができる。このうち、特に「地盤の影響」が過去の地震被害に大きく関与していることが多い。例えば、兵庫県南部地震では、震源から対象地点間における地盤の不整形性構造により「震災の帯」と呼ばれる被害の帯の形成が知られている。この原因として、神戸の特殊な地盤構造が影響していると言われている。

現在、地盤をばねでモデル化し、設計が行われているが、このようなローカルサイト・イフェクトを考慮するような地盤においては、ばねでモデル化することは困難になる。このような特殊地盤においては、現時点では地盤を考慮したモデルで地震応答解析をすることが合理的であると言わざるを得ない。

以上を受けて、本研究では、ローカルサイト・イフェクトの要因の1つである、「地盤の影響」を考慮するために、地震動が均等に伝播されないような不整形地盤を想定し、地盤の影響を考慮した場合の応答値を把握するために、地盤をメッシュ分割したモデルを利用し、橋脚、応答に着目した検討を行う。

2 解析概要

本研究では、構造物・地盤の連成効果を取り込むことのできる解析モデルを採用する。以下に、その解析モデルおよび手法についての概要をまとめる。

2.1 解析モデル

本研究で取り扱うモデルは、図-1 に示すような、4 径間連続高架橋を有する地盤一体型モデルである。橋梁部分は、上部構造部分と鋼製橋脚部分のみからなっており、上部構造両端部は移動支承で、橋脚と上部構造の接合部は鋼製支承を仮定している。鋼製橋脚の使用鋼材は SM490 材のみとし、断面形状は正方形補剛箱形断面である。材料の構成則には名古屋大学で開発されている修正 2 曲面モデルを用いている。具体的な構造パラメータについては、表-1 を参照されたい。基礎部分はフーチング・杭から成るもので、フーチングは剛体を仮定し、杭は鋼管杭とし、修正 2 曲面モデルを適用した。地盤部分については、平面ひずみ要素を用いてモデル化し、側面および底面には ABAQUS に準備されている無限要素で無限性を模擬した。図-1、表-2 に示す表層地盤と基盤の 2 層地盤を仮定し、表層地盤は N 値=10 を仮定して地盤物性値を算出し、材料非線形として Mohr-Coulomb 則を適用した。基盤は砂層とし弾性体を仮定した。また、地盤のひずみ要素にはそれぞれの高さに相当する拘束圧を導入している。

以上の解析モデルを基に、図-1 に示すような不整形地盤を想定する。解析モデルの右側に基盤に相当する地盤を仮定し、あたかもそこに岩盤が存在するような状態を仮定した。この岩盤は、砂質土層基盤のパラメータと同様である。図中の L_b は Pier3 から岩盤までの距離を示している。ここで、岩盤を垂直に配置しているのは、兵庫県南部地震以降明らかになった神戸の地

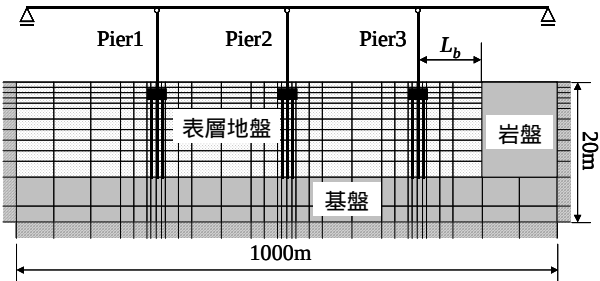


図-1 解析モデルの概念図

表-1 橋脚パラメータ

システムの固有周期 (s)	1.00
使用鋼材	SM490
ヤング率 (GPa)	206
ポアソン比	0.30
降伏応力 (MPa)	314
断面形状	正方形補剛箱形
設計水平震度	0.25
幅厚比パラメータ	0.35
細長比パラメータ	0.39
アスペクト比	0.50

表-2 地盤パラメータ

層	表層地盤	基盤
地盤の種類	粘性土	砂質土
層厚 (m)	15.0	5.0
単位体積重量 (kN/m ³)	17.6	19.6
ポアソン比	0.47	0.47
減衰定数	0.15	0.02
平均 N 値	10	50
せん断波速度 (m/s)	215	295
粘着力 (kPa)	58.8	0.0
せん断抵抗角 (度)	0.0	42.4

キーワード：ローカルサイト・イフェクト、鋼製橋脚、連続高架橋、地盤—構造物の動的相互作用

¹〒100-8202 東京都千代田区丸の内 1-1-2 TEL:03-3217-2138

²〒464-8603 名古屋市中種区不老町 TEL:052-789-4617

下構造によると、堆積層と基盤の地層境界は鉛直に近い極端な構造となっていることが背景にある。

2.2 解析手法および入力地震動

減衰定数は、橋脚および上部構造部分は0.05とし、杭基礎部分は0.10、基盤に相当する地盤は、0.02とした。また、表層地盤に関する減衰定数についてはいくつかの仮定のもと、本解析モデルにおいては0.15で妥当とし、減衰マトリクスに関してはRayleigh減衰を仮定し、固有値解析の主要モードをもとに作成した。その際、減衰定数が部材によって異なるので、複合モーダル減衰として、運動エネルギーに比例するようにモード比例減衰定数を求めた。地盤の減衰定数の算定方法および減衰マトリクスにおける主要モードの決定方法については文献2)を参照された。入力地震動はレベル2タイプ地震動の-1を基に解析モデル下端に入力する波形をFDEL³⁾によって作成した。なお、せん断剛性および減衰定数に関するひずみ依存特性に関しては文献4)を参考にした。そして、図-1中の岩盤までの距離 L_b を変化させ、弾塑性地震応答解析を行った。

3 橋梁システムの応答

岩盤までの距離 L_b を変化させて行った解析結果を図-2に示す。図は縦軸に橋脚頂部の橋脚基部に対する水平方向最大応答変位を降伏変位で無次元化したもの、横軸にPier3から岩盤までの距離をとったものである。なお、この相対変位は橋脚基部の剛体的な回転成分を除去している。まず、図-2の $L_b=360(\text{m})$ の場合は岩盤の存在しない整形地盤での応答とほぼ同等の結果を得た（以下 $L_b=360(\text{m})$ での応答を整形地盤での応答と同等とし述べる）。この距離より遠くに岩盤が存在する場合には本解析モデルの応答に岩盤の影響はなく、両端橋脚の応答が中央橋脚に比べ大きくなっている。しかし、岩盤が近づくにつれ整形地盤での応答とは大きな差が生じ、 $L_b=20(\text{m})$ ではPier1,2で、およそ $2\delta_y$ の応答差が生じている。この原因として、地震波の反射による影響が考えられる。波は柔らかい地盤から、硬い地盤に入射する際、その成分の多くは反射し再び柔らかい地盤に入射する。このような反射や波動相互の干渉による焦点効果が起こり、地震動が増幅したためと考えられる。これは、岩盤に最も近いPier3の応答の増幅具合により説明できる。 $L_b=360(\text{m})$ ではPier1の方が、多少大きな応答を示していたのに対し、岩盤が近づくにつれ、Pier3の応答が大きくなり、次第にPier1との応答差が大きくなっている。すべての橋脚において変位は増幅しているが、岩盤に最も近い橋脚の変位が著しくなることが理解できる。 $L_b=20(\text{m})$ とした場合、整形地盤に比べ、橋脚の応答が大きく増幅したことに加え、各橋脚間の最大応答変位にも大きな差が生じた。図-3に $L_b=20(\text{m})$ における、橋脚の復元力特性を示す。図は縦軸に橋脚の復元力を、横軸に図-2の縦軸同様の橋脚頂部における変位をプロットしたものである。

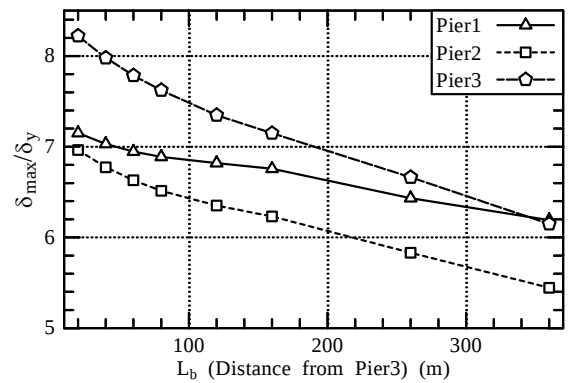


図-2 岩盤の影響による橋脚の最大応答変位

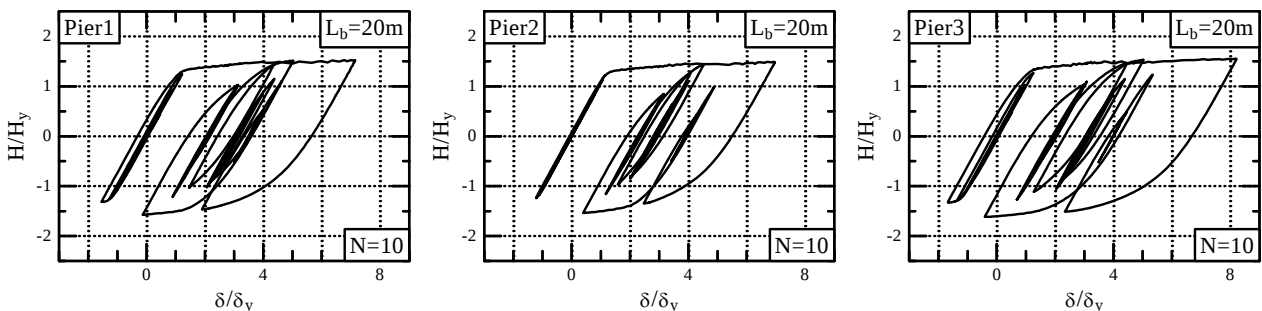


図-3 橋脚の復元力特性

4 まとめ

本研究では、「地盤の影響」によるローカルサイト・エフェクトが橋脚の応答に与える影響について、不整形地盤モデルを仮定することにより、検討を行った。以下に得られた結論・課題を述べる。

- ・橋梁システムの近辺に、基盤に相当する硬い層が存在する場合、橋脚の応答は増大する。中でも岩盤に近い橋脚の応答増大が著しい。これは地盤の境界での地震動の反射により、焦点効果が生じたためであると考えられる。
- ・ローカルサイト・エフェクトを詳細に検討するために、解析モデルの深さ方向の解析幅を大きくし、また、3次元解析により奥行き方向の逸散効果を考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 竹宮宏和：地震動、地震被害に見るローカルサイト・エフェクトの課題，第26回地震工学研究発表会パネルディスカッション，土木学会地震工学委員会，pp.51-54，2001。
- 2) 葛西昭・宇佐美勉・能登晋也：鋼製橋脚・地盤系の地震応答解析における減衰マトリクスに関する一考察，土木学会構造工学論文集，Vol.49A，pp.465-2003.3。
- 3) 杉戸真太・合田尚義・増田民夫：周波数特性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察，土木学会論文集，No.493/-27，pp.49-58，1994。
- 4) 建設省土木研究所地震防災部振動研究室：地盤の地震時応答特性の数値解析法 - SHAKE:DESR - (土研資料第1778号)，1982。