

I - 8

耐震性能照査に用いる構造解析モデルの検討

北武コンサルタント(株) ○正会員 笠井 尚樹
 北武コンサルタント(株) 正会員 渡辺 忠朋
 (財)鉄道総合技術研究所 正会員 谷村 幸裕
 北武コンサルタント(株) 片井 亮

1. 目的

橋梁等の構造物は、橋脚本体および杭等の種々の部材から構成されている。したがって、構造物全体の性能を合理的に照査するためには構造物全体系での地震時の応答を正しく評価できる構造解析モデルを用いて、構造物を構成する各部材の性能を照査する必要がある。また、動的非線形解析によって構造物の動的応答を算定する場合、構造物解析モデルの違いにより算定結果が異なることが推定される。

しかし、現状では、比較的簡易に構造物をモデル化する方法として基礎構造を上部構造の支持ばねとしてモデル化するSRモデルを用いて耐震性能を照査している場合が多いが、本来は上部構造と基礎構造を一体としてモデル化することが望ましく、SRモデルの適用にあたっては一体モデルとの差異を検証しておく必要がある。

そこで、SR(上部・下部分離)モデルとの比較検討のために上部・下部一体モデルを用いて動的非線形解析を行い、両者の応答性状の比較検討を行った。

以下に、その概要を示す。

2. 検討概要

本検討では、図1に示す鉄道用橋脚(杭基礎構造)を用いて行った。

なお、橋脚く体の非線形性のみ考慮することとし、杭部材および地盤ばねは線形とした。

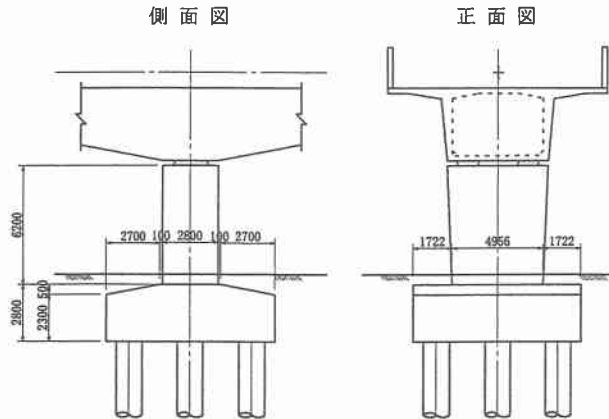


図1 検討対象物

A Study on Structural Analysis used Seismic-design

By Naoki Kasai, Tadatomo Watanabe, Yukihiro Tanimura, Ryo Katai

3. 検討モデル

3.1 構造物のモデル化

SRモデルの概要を図2に示す。SRモデルの基礎構造のばねは、橋脚-基礎-地盤ばねをモデル化した変位増分静的解析を行い、フーチング位置でのバネに置換した値を用いた。上部構造および基礎構造の一体モデルの概要を図3に示す。一体モデルでは、基礎地盤は、地盤バネにモデル化した。地盤バネは、杭と地盤（拘束自由度）の節点を接続するように配置した。

なお、本来、地盤そのものと基礎部材および構造物全体系を含めたモデルを一体モデルとすべきであるが、本検討では、上記のモデルを一体モデルと称することとした。

3.2 橋脚く体の非線形性のモデル化

橋脚く体の非線形性は、図4に示すように部材の曲げモーメントと部材角の関係で考慮することとし、復元力特性はJR総研モデル¹⁾²⁾とした。

なお、フーチングおよび杭は弾性体とした。部材の初期減衰は5%、地盤ばねの初期減衰は10%とした。

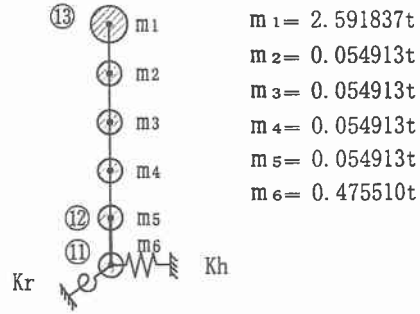


図2 SRモデル

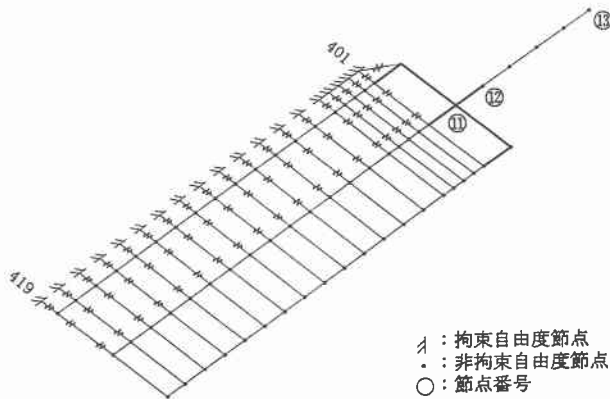


図3 一体モデル

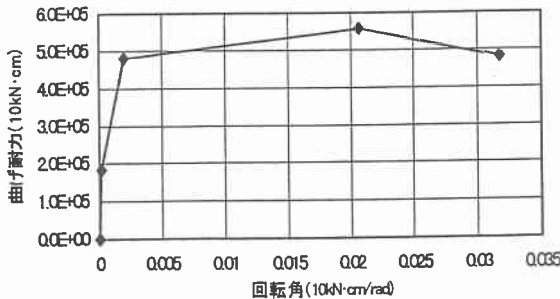


図4 橋脚く体の非線形性

3.3 地震波形の入力方法

一体モデルにおける地震波の入力方法は、以下の2種類とした。

I：地盤の応答解析により得られた地震波（加速度・速度・変位）を地層毎に与える

II：地表面波（加速度）を杭の各節点に入力

なお、一体モデルの入力地震動は、あらかじめ地盤の応答解析を行い、本検討の一体モデルにおける地盤をモデル化した節点に地震波形を入力した。

なお、SRモデルの入力波形との整合性を図るために地表面における加速度波形は、SRモデルと同一の波形になるように配慮してある。解析に用いた波形の例として地表面波形を図5に示す。また、検討ケースを総括して表1に示す。

表1 検討ケース

| | 解析モデル | 地震波形の入力方法 |
|-------|-------|-----------|
| CASE1 | 一体モデル | I |
| CASE2 | 一体モデル | II |
| CASE3 | SRモデル | II |

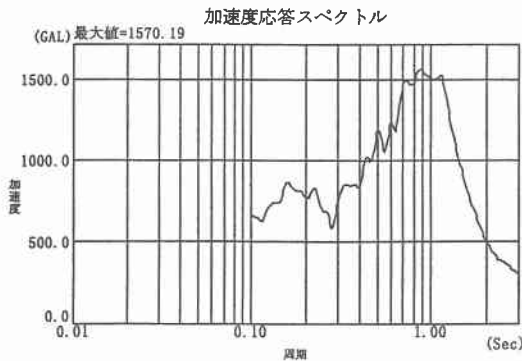
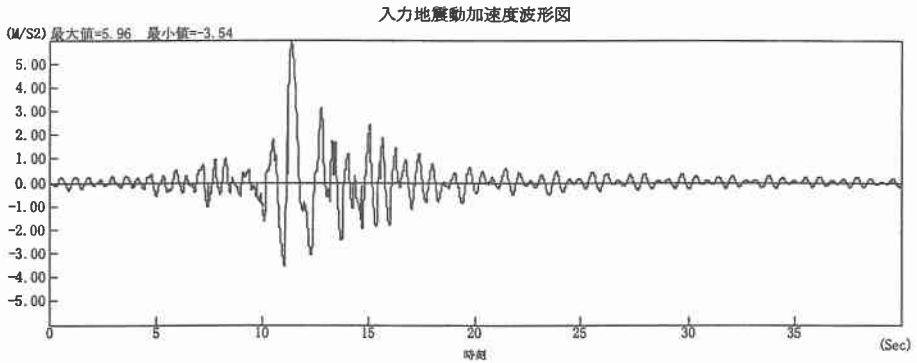


図5 地表面加速度波形

4. 解析結果

フーチング中心（節点 11）および橋脚天端（節点 13）の水平変位の時刻歴波形を図 6 に示す。また、橋脚基部が曲げひび割れ時、曲げ降伏、最大応答部材角に達する時点のフーチング中心（節点 11）の水平変位と最大水平変位および橋脚基部の最大応答部材角を表 2 に示す。

表 2 応答解析結果

| NAME | 変位 (cm) | | | | 回転角(rad) |
|-------|--------------|---------------|----------------|------------------|----------------|
| | θ_c | θ_y | θ_{max} | δ_{llmax} | θ_{max} |
| CASE1 | -2.15(-2.27) | -17.70(-9.19) | -13.45(-5.85) | -17.80(-9.24) | 0.0027 |
| CASE2 | -0.95 | -5.14 | -3.69 | -5.39 | 0.0033 |
| CASE3 | 1.15 | -7.15 | -3.53 | -7.45 | 0.0047 |

* () 内は、地盤との相対変位を表す

5. 考察

(1) 応答性状の比較

橋脚基部と橋脚天端の水平変位の時刻歴波形を図 6 に示す。

なお、図中には、橋脚く体の曲げひび割れ発生時、曲げ降伏時および最大水平変位時および最大応答部材角時の水平変位を示す。一体モデルおよび SR モデルのいずれのケースにおいてもフーチングの水平変位の最大値は橋脚のく体の曲げ降伏時と概ね一致する結果となっている。しかし、橋脚基部が最大応答部材角に達する時のフーチングの水平変位は、フーチングの水平変位が最大となる時点とは一致しない結果となっている。

構造物全体の動的な応答性状をマクロ的に捕らえる意味では、一体モデルも SR モデルも顕著な差異は認められない。しかし、この結果は、通常実施されている荷重分布を仮定した静的非線形解析では、このような現象は再現できないことから、静的非線形解析では構造物全体をモデル化しても動的な影響を適切に考慮した応答値を算定することが困難であることも意味しているものと考えられる。

(2) 応答値の比較

CASE1 および CASE2 は、一体モデルにおける地震動の入力方法が応答値に与える影響を検討したケースである。橋脚く体が曲げひび割れ、曲げ降伏する時点の基礎の変位や基礎の最大水平変位は、地盤毎の節点にあらかじめ実施した地盤の応答解析結果から得られた地震波形を入力した CASE1 の方が、大きな応答値を示す結果となった。しかし、橋脚く体の部材角の最大応答値は CASE1 の方が小さくなる結果となった。

CASE3 は SR モデルを用いた場合の検討ケースである。一体モデルの解析結果と比較すると、橋脚く体が曲げひび割れ、曲げ降伏する時点の基礎の変位は、加速度波形のみを入力した場合の CASE2 よりもやや大きな値となったものの、CASE1 よりも小さい値となっている。しかし、橋脚く体の最大応答部材角は、一体モデルに比べて大きな値となった。

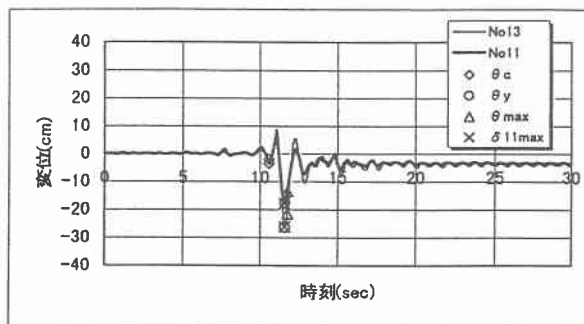
なお、本検討では、橋脚く体のみの動的応答に関しては、CASE3, CASE2, CASE1 の順に大きな応答部材角となった。

(3) 基礎部材の応答

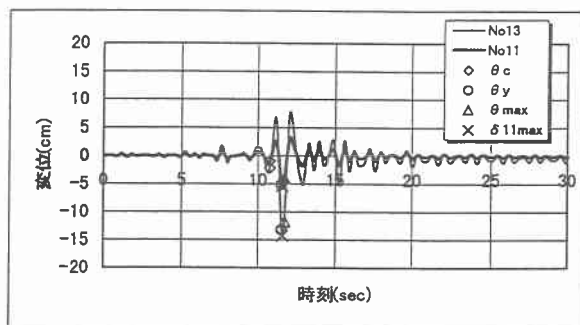
基礎部材の応答値の比較を行うために、CASE1 と CASE2 の一体モデル発生断面力に着目して杭の深度方向の曲げモーメントおよびせん断力の分布状況を図 7 に示す。

なお、図中には、参考として変位増分による静的非線形解析から得られた杭の断面力分布も合わせて示した。

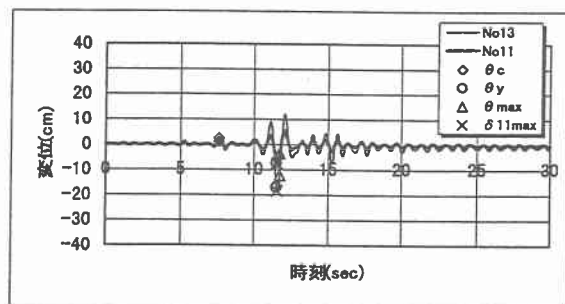
加速度波形のみを入力した CASE2 と静的非線形解析結果は、断面力の絶対値は異なるものの断面力の分布形状は概ね一致している。しかし、地層毎に異なる地震波形を入力した CASE1 と CASE2 では断面力の分布状況が異なる結果となっている。これは、CASE2 には地盤変位の影響が加味されていないことの影響と考えられる。



(a) CASE1



(b) CASE2



(c) CASE3

図6 水平変位時刻歴波形

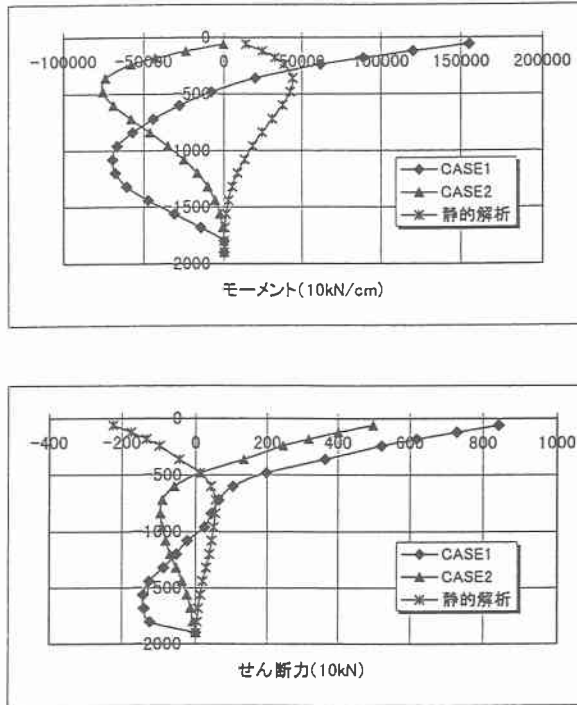


図7 杭のモーメント分布・せん断力分布

6. あとがき

構造物のモデル化の違いによる動的応答解析結果の差異について、杭基礎橋脚を例にとり比較検討を行った。その結果、解析モデルに関わらず橋脚く体が最大応答部材角に達する時の基礎構造が水平変位の最大値に達する時刻は異なり、静的な解析ではこのような現象は再現することが困難であること、SR モデルは橋脚く体自身の応答値に関しては一体モデルよりも大きな応答を示す傾向があること等が推測される知見が得られた。本検討は、橋脚のく体のみ非線形性を考慮した1例に過ぎないが、この種の検討の蓄積が精度の良い耐震性能照査方法の確立のためには必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），平成11年10月
- 2) 瀧口，渡辺，佐藤：RC部材の変形性能の評価，鉄道総研報告，Vol.13，No.4，1999.4