

地盤物性など地盤のモデル化が構造物の非線形応答に与える影響

北海道大学大学院工学研究科 正会員 橋本 至  
北海道大学大学院工学研究科 F会員 林川 俊郎

1. はじめに

構造物の耐震性を適切に照査するには、構造物だけでなく地盤の非線形挙動を含めた応答解析が必要となる。<sup>1)</sup>一般に、地盤の地震時挙動の解析は時間領域での逐次積分法、又は周波数領域での複素応答法が用いられる場合が多い。前者は力学・数学モデルを用い、後者は複素剛性で表した等価線形化法を用いて地盤材料の非線形挙動を評価する手法である。これら手法は「大ひずみに対する応力の過大評価」、「大ひずみに対する減衰の過大評価」、「地震動の非定常性の評価」、「応答ひずみの適用範囲」などの課題が指摘されている。<sup>2)</sup>

本研究では実地盤をモデル化し、多用されているR-Oモデルおよび双曲線モデルを用いた解析、等価線形化法として代表的な解析コード“SHAKE”による解析を行い、得られる地表面応答波による構造モデルの応答を通して、構造物の非線形応答に与える地盤のモデルを含めた応答解析手法による影響を検討する。

2. 検討手法

(1) 地盤応答解析

検討に用いた地盤は鉛直アレー観測が行われている関西電力技術研究所地点<sup>3,4)</sup>(図-1参照)であり、地盤応答解析に用いたモデルなどは表-1に示す3ケースである。同表の上2ケースは時間領域の逐次積分法であり、“SHAKE”は周波数領域での複素応答法である。

(2) 入力基盤波形(図-2参照)

地震基盤位置に入力する波形は長周期成分を含む1995年兵庫県南部地震による関西電力技術研究所地点<sup>4)</sup>、および短周期成分が卓越する1993年釧路沖地震による釧路市西港地点<sup>5)</sup>の地中記録波を用いた。ただし、後者は前者による表層地盤の応答ひずみと同等(基準ひずみ程度)とするため振幅を2倍した。

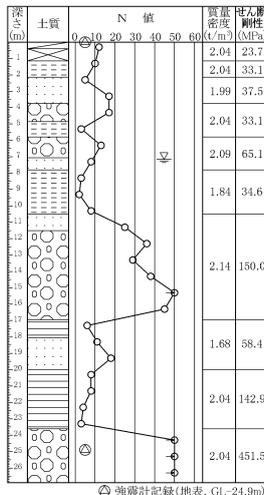


図-1 地盤構成

表-1 地盤の応答解析ケース

|         | 骨格曲線    | 履歴法則     |
|---------|---------|----------|
| R-O モデル | R-O モデル | Masing 則 |
| 双曲線モデル  | H-D モデル | Masing 則 |
| “SHAKE” | テーブル表示  | 等価線形     |

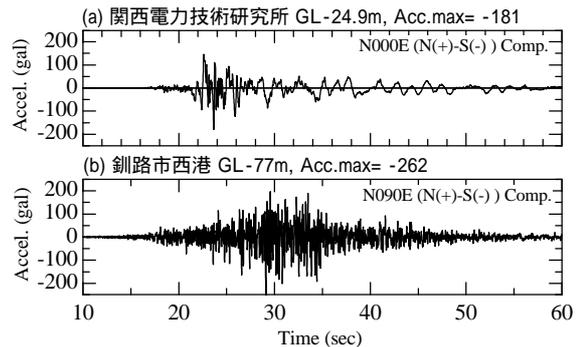


図-2 基盤入力波形

(3) 構造モデルと復元力特性

構造物は一自由度系モデルとし、復元力特性は橋梁のRC橋脚を想定して剛性低下型モデル(荷重除荷係数を0とした武田モデル)を用いた。

3. 解析結果

(1) 地盤の応答

対象とする地盤の振動特性を把握するために、基盤に対する地表面の周波数応答倍率を図-3に示す。同図は地盤の微小ひずみ時の剛性 $G_0$ および減衰定数 $h=2\%$ として算出したものである。地盤の固有振動数は1次から2.2, 5.5, 9.6 Hzであり、順次増幅倍率が低下している。

入力基盤波形ごとに3ケースの地盤応答解析による地盤の最大加速度の深さ方向を図-4に示す。同図(a)には記録値も付記したが、解析値は記録値と概ね整合していることが分かる。R-Oモデルによる加速度応答の最大値と双曲線モデルによるそれとは類似しているが、“SHAKE”による加速度応答値は他に比較し大きいだけでなく、入力基盤波形の卓越振動数の違いにより分布モードも異なる。これはこれまで指摘されている課題によるものと思われる。

(2) 構造物の応答

構造物応答への影響を把握するため、地盤地表面で得られた加速度波による弾性加速度応答倍率スペクトルを図-5に示す。それは地盤の1次固有振動数ないし地盤の非線形応答に伴うやや長周期側の周期でピークを示している。

つぎに、同波を用いて構造物の損傷程度を表す指標となる変位応答塑性率を図-6に示す。同図は各ケースの最大加速度

キーワード：地震応答解析、非線形応答、観測地震波形、地盤のモデル化、応答塑性率

北海道大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 札幌市北区北13条西8丁目 Tel, Fax 011-706-6172

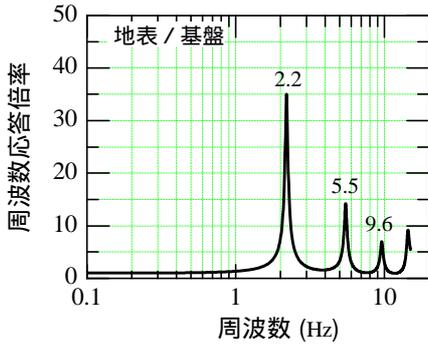


図-3 地盤の周波数応答倍率

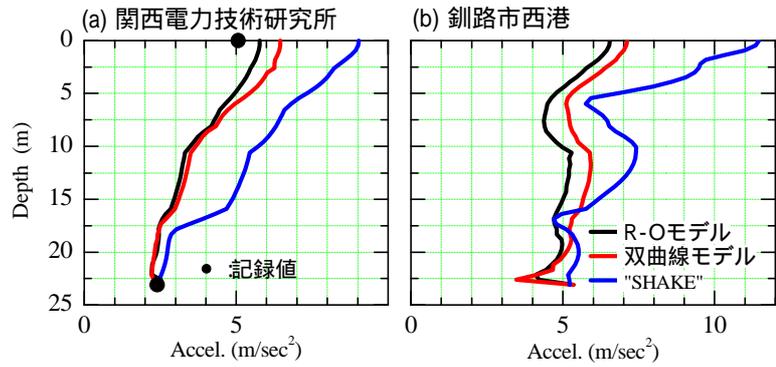


図-4 地盤の最大応答加速度の深度分布

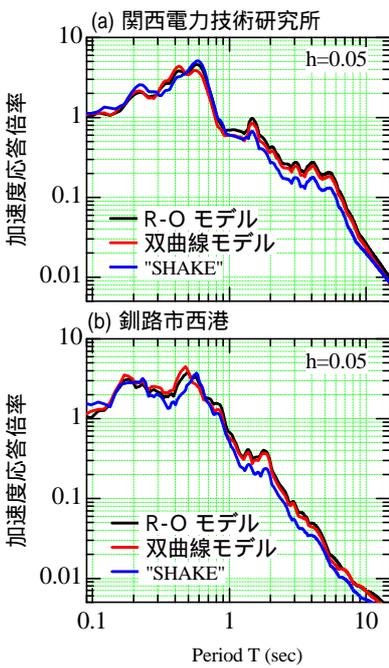


図-5 弾性加速度応答スペクトル

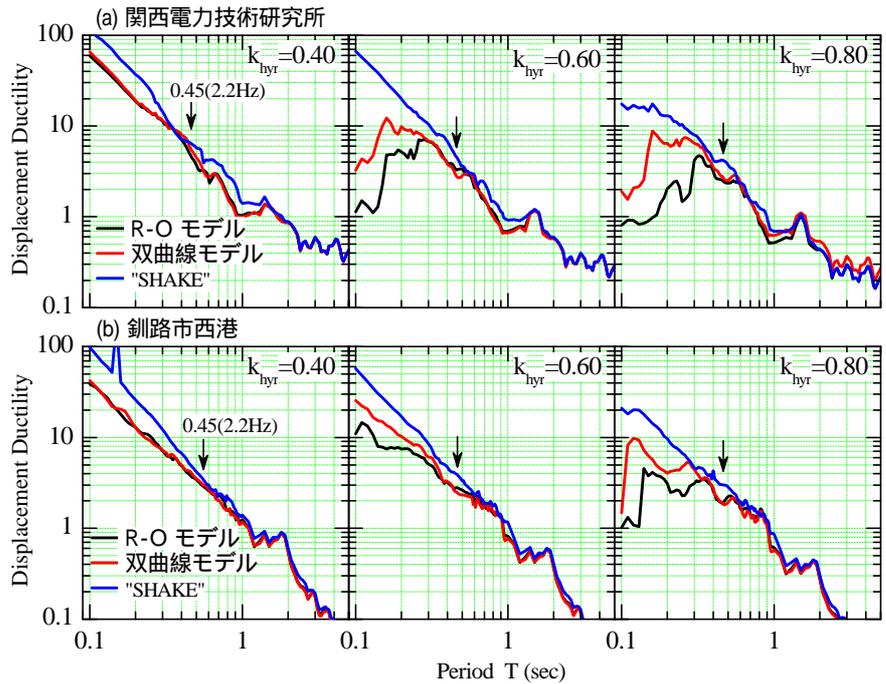


図-6 構造物の変位応答塑性率

応答値の差異による影響を除去するため、最大加速度を 1G に規準化し、降伏強度を降伏震度  $k_{hyr}$  で表し  $k_{hyr}=0.40, 0.60, 0.80$  について表したものである。構造物の変位応答塑性率は、その降伏強度、入力基盤波形、および地盤応答解析に用いたモデルに関わらず地盤の有する卓越振動数 2.2Hz（周期 0.45 秒）付近を境界に短周期側と長周期側とで異なる。長周期側では地盤物性のモデル化や計算手法による大きな差異が認められないのに対して、短周期側では地盤応答解析に用いたモデルによる差異が生じている。また、構造物の降伏強度が大きな場合にその差異が顕著となる。

4. まとめ

地上構造物の耐震性を地盤の地震時挙動とともに評価する際に、採用する非線形特性のモデル化および解析方法などにより得られる地盤の応答特性などが異なる。しかし、構造物の耐震性評価指標の一つである変位応答塑性率への影響は地盤の卓越周期より構造物の基本固有周期が長周期側にある場合において小さい。このことは地盤の卓越周期に比較して

長周期側にある構造物の変位応答塑性率は主として地表面最大応答加速度により決定されることを示している。

参考文献

- 1) 土木構造物の耐震設計法等に関する第 3 次提言, 土木学会, 平成 12 年 3 月
- 2) 入門・建物と地盤との動的相互作用入門, 日本建築学会 1996
- 3) 吉田望, 中村晋, 末富岩雄: 1995 年兵庫県南部地震における地盤の非線形挙動とその予測, 第 23 回地盤震動シンポジウム, pp93-52, 1995
- 4) (財)震災予防協会 強震動アレー観測記録データベース推進委員会 (強震動アレー観測 No.3)
- 5) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 データベース「港湾地域強震観測システム」