

東京都立大学工学部 正会員 国井 隆弘

前田建設工業(株)技研 正会員 〇佐本 孝久

1. まえがき

耐震工学の面から地震観測が重視され、現在、種々の土木構造物に対して着々と地震記録が観測され集積されつつある。観測システムも地盤と構造物での同時記録観測が行なわれ、両者の相互作用の問題にとって貴重なデータとなっている。一方、記録された地震波は、定常不規則な確率過程のランダム波と解析が行なわれてきたが、最近、その非定常的な特性が注目され、特に、地震動の継続時間内での周波数特性の変動が問題となってきた。そこで、松代群発地震時に長野県善合橋で観測された地盤上と橋脚上の同時記録を用いて、両波形のランニングフーリエスペクトル解析による応答特性から、2自由度のロンギング振動を生じると考えられる橋脚-地盤系の固有円振動数の時間的変化を推定した。その結果より、橋脚-地盤系の地震時の挙動が実記録からある程度推定できる。更に、橋脚-地盤系と剛体とバネからなる力学モデルに置換し、バネ定数と減衰定数の時間的変化に注目し、その結果を用いて、時間と伴にバネ定数と減衰定数が変化する振動系に対して、地盤上の実記録を入力として、等価線型化手法による応答計算を行ない橋脚上の応答波形を再現し、実記録との比較を試みた。

2. 地震波の解析

解析に用いた地震記録は、表1に示すように入力及び応答加速度の最大値とその比が異なる3種類の波形を用いた(0.01秒間隔のデジタル値)。ランニングフーリエスペクトル解析は、各原波形の2秒間毎のデータについてフーリエ解析を行ない、0.1秒ずつ継続時間内と移動させた。なお、2秒間内には、振動周期の数サイクルの特性が含まれているものと考えられる。

3. 固有円振動数の時間的変化

各地震波のランニングフーリエスペクトル解析より推定される橋脚-地盤系の1次、2次の固有円振動数の時間的変化を、橋脚上の実記録と対比させて図2~図7に示す。これより、固有円振動数が加速度レベルに対応しながら変動し、継続時間内で非定常的な性質を示している。また、図8は以上の結果から0.5秒毎に値をピックアップし各波形をまとめたものであるが、加速度レベルが大きい程固有円振動数が低下し、非線型的な傾向を示している。(図3、5、7の点線は、定常スペクトル解析から得られる固有円振動数を示す。)

表1 最大加速度 (gal)

	橋脚上(A)	地盤上(B)	A/B
No.47	121.38	230.50	0.53
No.197	99.88	95.75	1.04
No.16	25.38	14.50	1.75

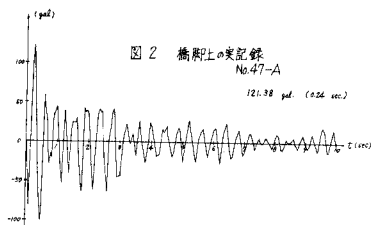
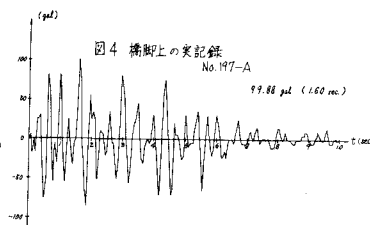
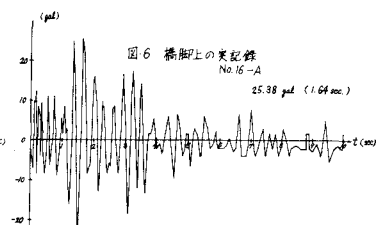
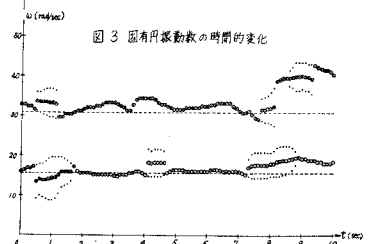
図2 橋脚上の実記録
No.47-A図4 橋脚上の実記録
No.197-A図6 橋脚上の実記録
No.16-A

図3 固有円振動数の時間的変化

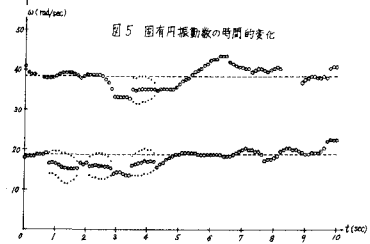


図5 固有円振動数の時間的変化

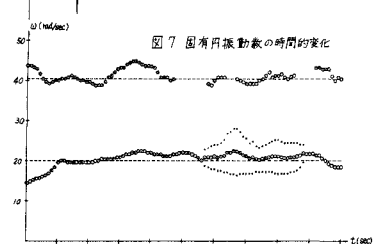


図7 固有円振動数の時間的変化

4. 振動系の力学モデル

橋脚-地盤系を水平運動と回転運動からなる2自由度のロッキング振動を行なうとして、図11に示すような力学モデルに置換すると、1次、2次の固有円振動数 ω_1, ω_2 の関数としてバネ定数 K_1, K_2 の値が求まる。

5. バネ定数の時間的变化

固有円振動数の時間的变化から、バネ定数の時間的变化と求めたのが図10である。このバネ定数は、前述と同様2秒間に含まれる数サイクルの振動特性を示す平均的なバネ定数であると考えられる。

この結果より、 K_1 はロッキング振動の1次モードに、 K_2 は2次モードに強く影響されと考えられるため、 K_1 は1次の固有円振動数 ω_1 と K_2 は、2次の固有円振動数と同様な変化傾向を示している。

6. 減衰定数の時間的变化

減衰定数の時間的变化は、橋脚上の応答量に及ぼす2次モードの影響が小さいため、2次の減衰定数を固定して、1次の減衰定数の時間的变化にのみ注目した。まず、減衰定数をパラメーターとして変化させて応答計算を行ない、得られた波形のスペクトル値、最大加速度値、パワー等の値が実記録のそれらの値に合致するように減衰定数を決めた。その結果、パワーによって検討した場合がよい傾向を示したため、ここでは、その値を採用し、図9に示す。図より、やはり加速度レベルの大きい程減衰定数が増加している傾向を示している。

7. 橋脚上の応答波形の再現性

以上の結果を用いて、バネ定数・減衰定数が時間と共に変化する振動系に地盤上での実記録を入力として応答計算した結果を、各地震の場合について図12に示す。これより、各波形とも、よい再現性を示していると思われる。

8. まとめ

実地震記録の非定常スペクトル解析により、地震時の橋脚-地盤系の非定常的な非線型挙動が推定できる。すなわち、加速度レベルの比較的大きい地震の場合には、応答加速度のレベルとともに振動系の固有円振動数が変動し、特に、主要動付近では固有円振動数が著しく低下していることから、その時間帯では、橋脚近傍の地盤の剛性が低下し非線型性を示しているものと思われる。また、以上の現象を考慮した非定常的な力学モデルを用いることにより、より良い応答波形の再現性が得られるものと思われる。

<謝辞>

本研究を進めるにあたり、多大な援助をいただいた菊地敏男氏(大林組・技研)にお礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 福井・国井・金井「強震記録から推定される井筒基礎橋脚の動特性(初2)」土木学会30回講演概要集
- 2) 国井・菊地「強震記録から推定される井筒基礎橋脚の動特性」土木学会29回講演概要集

