

常時微動計測を利用した RC 橋脚の固有振動特性に関する考察

東京工業大学大学院 ○ 学生員 角田真彦 , 宇都宮大学大学院 正会員 中島章典
 日本大学 正会員 中村晋 , 栃木県宇都宮土木 長瀬政明

1. はじめに

橋梁などの構造物は地盤に支持されているため、地盤がその振動特性に影響を及ぼすが、橋梁全体系の振動計測を行うと、地盤の影響を含む複数の橋脚、上部構造、支承などが橋梁全体系の振動特性に複雑に影響を及ぼすため、地盤の影響のみを明確に把握することが難しい。しかし、地盤に支持された橋脚単体の振動計測を行えば、地盤が橋脚の振動特性に及ぼす影響を把握しやすいと考えられる。

そこで本研究では、図-1 に示すような上部構造がまだ架設されていない単体の RC 橋脚を対象とした常時微動計測を行った。また、地盤の影響をばねでモデル化した橋脚-地盤系モデルの固有値解析を行い、その結果を計測結果と比較することによって地盤が橋脚の固有振動特性に与える影響を考察した。計測においては、RC 橋脚を対象として常時微動計測を実施し、計測データを用いて固有振動数を同定した。また、固有値解析においては、解析モデルの地盤条件を段階的に変化させ、固有振動数を算出した。計測結果から同定した固有振動数と解析から得られた固有振動数を比較し、各モデルの再現性を検討した。そして、解析結果に基づいて、地盤が橋脚の振動特性に及ぼす影響について考察した。

2. 常時微動計測概要

本研究で計測対象とするのは、宇都宮市内にある新鬼怒川渡河橋の橋脚である。橋脚総数は 16 本であり、そのうち、P6 から P10 の 5 本について橋脚単体の状態で常時微動計測を行った。橋脚はいずれも張出し RC 橋脚、基礎形式は直接基礎である。橋脚の頂部位置と地盤表面位置の 2 箇所に速度計を設置し、橋軸方向、橋軸直角方向、鉛直方向の 3 方向について、速度の時刻歴を時間刻み 0.01 秒で 180 秒間 (18000 点) 計測した。1 回目に橋軸方向と鉛直方向の計測を実施し、2 回目に橋軸直角方向と鉛直方向の計測を実施した。得られた常時微動計測データを FFT 解析し、これらのフーリエスペクトルを求め、橋脚頂部のフーリエスペクトルを地表面位置のフーリエスペクトルで除したスペクトルのピーク位置の振動数から各橋脚の固有振動数を同定した。

3. 解析概要

(1) 橋脚のモデル化

実橋脚を図-1 に示すように、有限要素法に基づき、全要素数 13 のはり要素でモデル化し、固有値解析を実施した。実橋脚のモデル化にあたり、フーチング、張出し部分、せん断変形の影響を考慮した。橋脚は鉄筋 (弾性係数: E_s) とコンクリート (弾性係数: E_c) とが一体となって断面を構成する RC 部材である。このモデル化にあたっては、鉄筋とコンクリートの弾性係数比

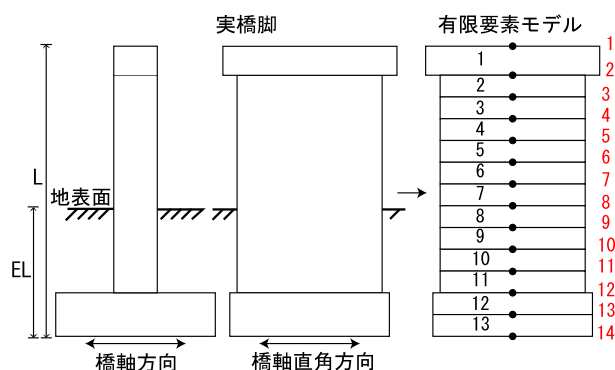


図-1 実橋脚と有限要素モデル

表-1 図-1 の諸量

橋脚名	P6	P7	P8	P9	P10
L (m)	20.1	21.1	22.0	23.0	24.0
EL (m)	10.4	9.9	9.1	9.6	11.1

$n(=E_s/E_c)$ を求め、鉄筋の断面積を n 倍することで、鉄筋を弾性係数が E_c のコンクリートに置き換え、実断面を均一なコンクリートの換算断面に置換した。

(2) 地盤のモデル化

橋脚周辺の地盤のモデル化は以下のように、段階的に行った。まず、橋脚周囲の根入れ部分の地盤を考慮しない場合をモデル化した。まず、橋脚基部の節点を水平、鉛直、回転方向に完全拘束した場合 (固定端条件)、および橋脚基部の節点に水平、鉛直、回転ばねを挿入し、フーチング下面の地盤の影響を設計計算書の情報に基づいて考慮した場合の 2 通りで解析を行った。

次に、根入れ部分の地盤のモデル化を行った。対象とする橋脚は地盤に根入れされた状態にあることから、周囲の地盤が橋脚の振動を拘束する状態をモデル化する必要がある。橋脚が振動すると周囲の地盤は変形し、その変位量に依存した反力を橋脚に伝える。したがって、橋脚周囲の根入れ地盤の影響もばねを用いてモデル化する。根入れ部分は図-1 に示す地表面以下の節点に水平ばねを挿入することでモデル化する。この時、単位面積あたりの水平ばねのばね定数は道路橋示方書 IV- 下部構造編を参考に、地盤の変形係数を用いて決定した。また、地盤の変形係数は P10 橋脚において、橋軸方向固有振動数の実測値と根入れを考慮したモデルの解析値が一致するように決定した。この変形係数から単位面積あたりのばね定数を算出し、これに橋脚の各要素の地盤と橋脚の接触面積を掛けることで水平ばねのばね定数を決定した。

Key Words: 常時微動計測, 固有値解析, RC 橋脚, 固有振動特性

〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 東京工業大学大学院土木工学専攻 Tel.03-5734-2584 Fax.03-5734-3577

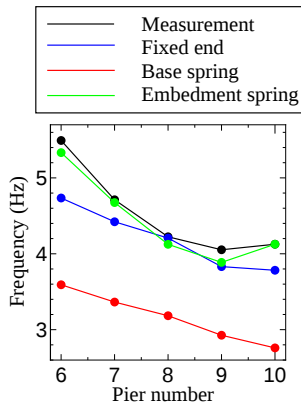


図-2 実測結果と解析結果
の1次固有振動数の
比較 - 橋軸方向

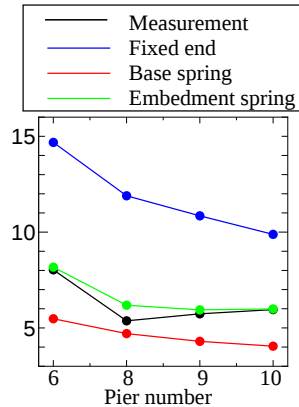


図-3 実測結果と解析結果
の1次固有振動数の
比較 - 橋軸直角方向

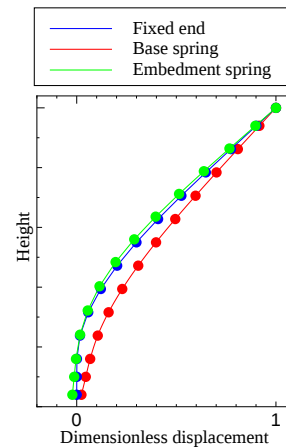


図-4 1次振動モード - 橋軸
方向

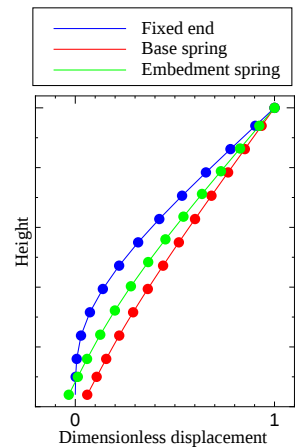


図-5 1次振動モード - 橋軸
直角方向

表-2 計測から同定した橋脚の1次固有振動数 (Hz)

橋脚名	P6	P7	P8	P9	P10
橋軸方向	5.493	4.712	4.224	4.053	4.126
橋軸直角方向	8.032	—	5.371	5.373	5.957

4. 解析結果と実測結果の比較

表-2に常時微動計測から同定した各橋脚の1次固有振動数を示す。また、図-2,3に計測から同定した橋脚の固有振動数と解析結果の比較を示す。縦軸は各橋脚の1次固有振動数を表し、横軸は橋脚名を表す。

図-2,3の実測値と基部を固定した場合の解析結果を比較すると、橋軸方向では、実測値よりも解析値が高く、橋軸直角方向では、解析値よりも実測値が高いことが確認でき、方向によって傾向が異なる。よって、この解析モデルは橋脚-地盤系の固有振動特性を表すことができていない。基部にばねを挿入すると、両方向ともに実測値より解析値の方が低くなるが、この場合も実測値との誤差が大きく、解析モデルは実際の橋脚-地盤系の振動特性を再現できていない。根入れを考慮した解析モデルは、両方向ともある程度実測値に近い結果になり、解析モデルの再現性のある程度確認できる。

5. 地盤が橋脚の振動特性に与える影響

図-4,5にP10橋脚の1次振動モードを示す、横軸は無次元化した変位を表し、縦軸は橋脚の高さを表す。

図-2,3の基部を固定した場合と基部にばねを挿入した場合の解析結果を比較すると、橋軸方向、橋軸直角方向ともに橋脚の基部にばねを挿入したモデルの固有振動数が基部を固定したモデルの固有振動数よりも低い結果となった。つまり、橋脚の下の地盤は固有振動数を下げる働きをしている。特に橋軸直角方向では、橋脚の基部にばねを挿入したモデルの固有振動数が橋脚の基部を固定したモデルの固有振動数よりも大幅に低くなることを確認でき、図-4,5を見ると、橋軸直角方向のモード形状は橋軸方向のモード形状よりも直線的であることも確認できる。これは、図-1を見るとわかるように、橋軸直角方向では、橋脚の剛性が高いためだと考えられる。

よって、基部にばねを挿入すると、橋軸方向に比べて、固有振動数が大幅に低くなり、橋脚のモード形状が直線的で橋脚基部の回転変位も多くなる。

図-2,3から、根入れ部分をモデル化した場合では、根入れの地盤によって、基部にばねを挿入した場合から固有振動数が上昇している。また、橋軸方向では、基部を固定した場合の固有振動数よりも根入れを考慮した場合の固有振動数が高く、根入れの影響が強くあらわれている。図-4の根入れを考慮したモデルの振動モードを見ると、橋軸方向では、根入れを考慮したことで橋脚に曲げ変形が再び生じ、橋脚基部の回転変形も減少しているのに対して、図-5を見ると、橋軸直角方向では、根入れを考慮しても橋脚は直線的に変形し、橋脚基部の回転変形もほぼ変化がみられない。このように、根入れ部分の地盤の反力が橋脚の固有振動特性に与える影響は、橋軸直角方向よりも橋軸方向で強くあらわれている。これは、地盤の水平反力を受ける橋脚の面積が橋軸直角方向よりも橋軸方向の方が広く、地盤からの拘束力が強いからだと考えられる。そのため橋軸方向では、根入れの影響が固有振動数に強くあらわれる。

6. まとめ

固有振動数の実測値と基部を固定したときの解析値を比較したところ、地盤が橋脚の固有振動特性に与える影響は橋軸方向と橋軸直角方向で異なる傾向がみられた。解析値に基づき、この傾向の差異について考察したことを以下にまとめる。

- 橋軸方向では、橋脚の剛性が低く、根入れ地盤の反力を強く受けるので、実測値は基部を固定した解析値よりも高くなる。
- 橋軸直角方向では、橋脚の剛性が高く、根入れ地盤の反力は弱いので、実測値は基部を固定した解析値よりも低くなる。

参考文献

- 1) 風間 基樹, 稲富 隆昌: 剛体-ばねモデルを用いた根入れのある剛体構造物の地震応答解析, 土木学会論文報告集, 第410号, pp425-434, 1989.10.
- 2) 小坪 清真, 鳥野 清: 常時微動測定による構造物の振動性状解析, 土木学会論文報告集, 第222号, pp25-36, 1974.2.