

## 異なるレベルの微小振動下における独立橋脚の振動特性

宇都宮大学

学生員 ○ 竹嶋 竜司

学生員 齋藤 拓哉

宇都宮大学工学部 フェロー 中島 章典

日本大学 正会員 中村 晋

## 1. はじめに

常時微動計測は加振手段を必要とせず、供用中の橋梁でも簡便に計測できるという特徴をもっていることより、常時微動による計測あるいは計測結果を用いた研究が数多く行われてきている<sup>1)~3)</sup>。

しかしながら、常時微動は非常に微小な振動を計測していることより、風などの局所的な振動の影響が含まれたり、データ解析にデリケートさが要求されたりするため<sup>1)</sup>、常時微動計測で把握した振動特性が、実地震動のようなより大きな振動レベル下の振動特性にも対応するかどうか疑問視されることもある。

そこで本研究では、まず、2径間連続桁橋の上部工がまだ架設されていない独立橋脚1基について、微振動下の異なる振動レベルで振動計測を行い振動特性を検討した。

さらに、独立橋脚に見立てたRC橋脚模型を用いて、微振動下における振動計測に加え、実橋脚では計測規模や作業の難易度の関係上困難であった、より大きな振幅の振動下で計測された振動特性についても検討した。

以上の結果より、独立橋脚において常時微動のような微振動下の状況で計測された固有振動数や減衰定数などの振動特性と、それより大きな振幅の振動下で計測された振動特性との違いを確認した。

## 2. 振動計測

## (1) 実橋脚における計測

本研究で計測の対象とした橋梁は、栃木県那須塩原市内にある新田代橋である。2010年度では、まだ上部工が架設されていない状態であり、図-1のような1基の独立橋脚状態を対象として計測した。

微振動下の異なる振動レベルでの計測として、常時微動状態と、橋脚頂部にて複数人が同時に跳んだ衝撃による低振幅の自由振動状態で行った2ケースを対象とした。

## (2) 橋脚模型における計測

実橋脚では揺らすことが困難であった、より大きい振動レベル下での振動特性を検討するため、図-2のような独立橋脚に見立てたRC橋脚模型を作製し、反力床にボルトで固定した。

この場合、微振動下で異なるレベルの振動として、常時微動状態、常時微動よりも少し大きな低振幅加振時を対象とした。それに加え橋脚模型では、段階的により大きな衝撃を橋脚頂部に与えた自由振動状態も対象とした。

## 3. 振動特性の同定方法

## (1) 固有振動数の同定方法

常時微動計測のデータを用いて固有振動数を同定する方法の1つとして、構造物基部と構造物上部の計測データを用いて同定する方法がある。構造物基部で計測したデータを入力とし構造物上部で計測したデータを出力とした場合、それらの伝達関数の卓越振動数は構造物の固有振動数と一致することが知られている。そこで、構造物基部の計測データと、構造物上部の計測データに基づいて近似的に伝達関数を算出し、構造物の固有振動数を求めた。しかし、

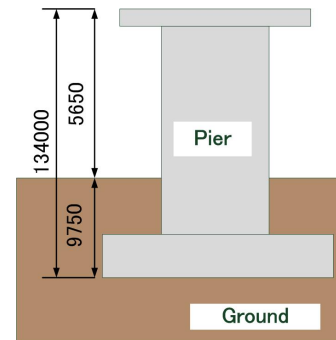


図-1 新田代橋のRC橋脚

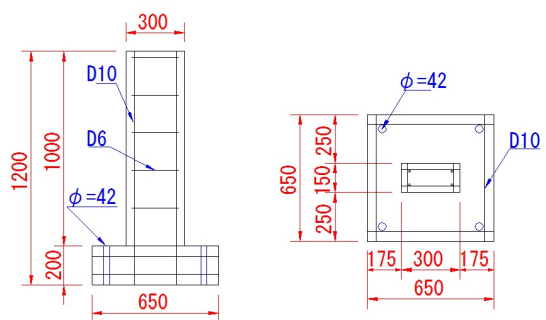


図-2 RC橋脚模型の概要

常時微動のような非常に微小な振動はノイズの影響を受けやすいとされている。そのため、本研究では橋脚頂部と地表面の計測データについてクロススペクトルの比をとることでノイズの影響を低減した伝達関数を算出した。

## (2) 減衰定数の同定方法

## a) 常時微動状態

常時微動や風応答などの不規則な時刻歴波形から減衰定数を評価する手法としてRD法が知られており、本研究においてもRD法を採用した。

RD法を適用する前に、橋脚頂部の時刻歴波形に対して自己相関関数を取り、計測データに含まれるノイズの影響を低減させた。また、その自己相関関数を任意の秒数ごとに区切り、その区間における最大値が重なるように波形を100波程度重ね合わせ、近似的な自由振動波形を取り出した<sup>2)</sup>。

しかし、橋脚模型の常時微動計測のような、他の振動の影響が見られるデータに対し自己相関関数をとった結果、他の振動成分も強調されてしまった。そこで、計測された時刻歴波形に対しバンドパスフィルタをかけ、橋脚模型の1次固有振動成分を抽出することとした。フィルタのバンド幅は同定した固有振動数の前後5%とした。

## b) 自由振動状態

RD法は常時微動のような不規則なデータに対して適用することが一般的である。しかし、本研究では複数回計測した自由振動波形のピークを重ね合わせることでノイズの影響を低減することを試みた。

**Key Words:** 常時微動, 振動レベル, 独立橋脚, 固有振動数, 減衰定数

〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学 Tel.028-689-6210 Fax.028-689-6210

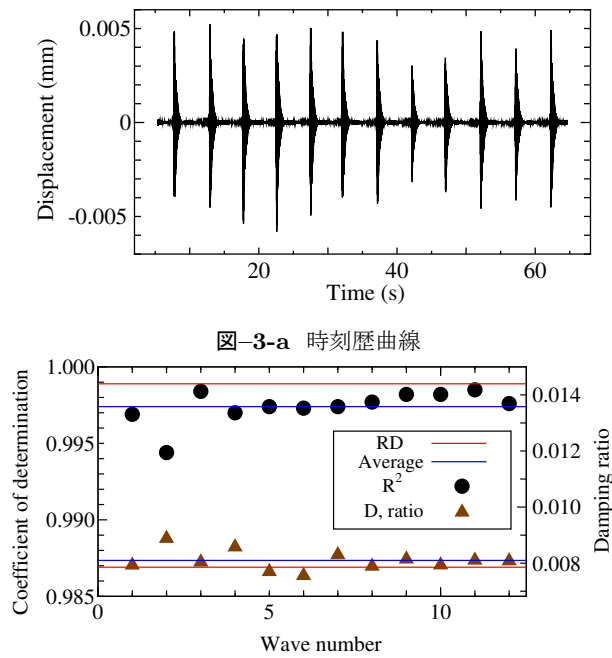


図-3 自由振動波形に RD 法を応用 (検討例)

1 例として橋脚模型の橋軸方向に低振幅加振を行ったケースの結果を図-3 示す。図-3-a は 12 回の加振によって得られた橋脚頂部の変位自由振動波形である。図-3-b の黒丸はそれぞれの波より求めた減衰定数であり、三角はその減衰定数を算出するために振幅の傾きを対数近似した時の相関を表す決定係数である。また、図中の青線は減衰定数および決定係数の平均値であり、赤線は 12 回の波形に対して RD 法を適用し得られた自由振動波形から求めた減衰定数とその時の決定係数である。減衰定数はどの波形でも 0.007~0.009 程度の値であった。また、決定係数はどの波形でも 1 付近と非常に高い値を示しているが、RD 法を適用した方がわずかながら高くなった。

4. 新田代橋の振動特性同定結果

(1) 固有振動数の同定結果

表-1 には、本研究によるすべての計測ケースの振動特性同定結果をまとめている。橋軸、橋軸直角方向ともに、常時微動状態と、それより少し大きな低振幅加振下の計測で得られた固有振動数は概ね近い値を示しており、振幅が大きい状況下の方が固有振動数は小さくなっている。

(2) 減衰定数の同定結果

表-1 より、減衰定数は橋軸方向では 0.02、0.03 と振幅が大きい状況下での計測の方が減衰定数は大きくなっている。しかし、橋軸直角方向では RD 法により適切な自由振動波形を得ることができなかった。これは、RD 法はスペクトルに明確なピークを持たない振動時や、共振振動数付近に他の卓越した振動数が存在する場合適用が難しいとされているためと考えられる<sup>3)</sup>。

5. 橋脚模型の振動特性同定結果

(1) 固有振動数の同定結果

表-1 より橋軸方向の計測において、微振動下とそれよりレベルの大きい振動下で同定した固有振動数は 70Hz 付近で概ね一致する結果となった。しかし、橋軸直角方向の

表-1 振動特性の同定結果

| 計測ケース      |            | 固有振動数 (Hz) |        | 減衰定数   |        |
|------------|------------|------------|--------|--------|--------|
|            |            | 橋軸         | 橋直     | 橋軸     | 橋直     |
| 実橋         | 常時微動計測     | 4.913      | 6.518  | 0.0220 | -      |
|            | 低振幅加振時     | 4.668      | 6.250  | 0.0355 | 0.0714 |
| 橋脚模型       | 常時微動計測     | 69.83      | -      | 0.0085 | -      |
|            | 低振幅加振時     | 69.81      | 125.00 | 0.0093 | 0.0211 |
|            | 200gal 程度  | 73.26      | 122.10 | 0.0070 | 0.0079 |
|            | 400gal 程度  | 72.57      | -      | 0.0072 | -      |
|            | 500gal 程度  | -          | 120.05 | -      | 0.0084 |
|            | 700gal 程度  | 72.53      | -      | 0.0087 | -      |
|            | 900gal 程度  | -          | 117.23 | -      | 0.0094 |
|            | 1200gal 程度 | 71.27      | -      | 0.0100 | -      |
|            | 1400gal 程度 | 70.66      | -      | 0.0129 | -      |
| 2000gal 程度 | 66.90      | 117.10     | 0.0130 | 0.0100 |        |

常時微動状態の計測により同定した固有振動数は、振幅が大きな振動下での計測ケースと異なる結果になった。これは、橋軸直角方向の計測において、ノイズの影響が残ってしまったためと考えられる。しかし、微振動下の状況であっても、低振幅加振を行うことにより、大きな振幅の振動下で計測した固有振動数に近い結果を得ることができた。

また、微振動下と振幅が大きな振動下同士の計測結果では、振幅増加に伴う固有振動数の低下を確認することができた。

(2) 減衰定数の同定結果

表-1 より、橋軸方向の減衰定数は微振動下の計測において、0.01 付近と安定した値を得ることができた。一方、それより大きな振幅の振動レベル下では、振幅増加に伴う減衰定数の増加を橋軸方向、橋軸直角方向ともに確認することができた。しかし、微振動下の測定と振幅が大きな振動下の測定間では、固有振動数の時と同様に振幅依存性の影響は確認することができなかった。これは、周囲に人や機械が活動している計測環境下では常時微動計測が難しかったためと考えられる。

6. おわりに

本研究では、常時微動のような非常に微小な振動から、実地震動のような振幅の大きな振動までの、異なるレベルの振動下で推定した独立橋脚の振動特性を検討した。

本研究の検討を通して得られた主な結論を以下に示す。

1. 常時微動計測では実橋脚および橋脚模型に対し、ノイズの影響を低減させた伝達関数を用いて適切な伝達関数の卓越振動数を選択することにより、固有振動数を推定することができた。
2. 常時微動状態に含まれるノイズの影響が大きく、対象構造系の振動特性を推定することが困難な計測状況下では、低振幅程度でも自由振動が発生するような加振を行うことにより、固有振動数、減衰定数を推定することができた。
3. 独立橋脚の振動特性として、振幅増加に伴い固有振動数は減少し、減衰定数は増加する傾向が見られた。

今後、常時微動計測データの有効利用につなげるためには、独立橋脚状態に加え、橋梁完成系に対して、さらに振動レベルに差をつけた計測を行い、検討を行っていく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築物の減衰、丸善、2000.10.
- 2) 中島章典、中野貴代美、中村晋：常時微動に基づく独立橋脚および橋梁完成系の振動特性の把握、構造工学論文集 Vol.56A、2010.3.
- 3) 小林慎祐、倉野悟、松本慎也、神野達夫、三浦賢治：地盤の減衰評価に対する RD 法の適用性の検討、日本建築学会中国支部研究報告書、第 31 巻、2009.3.