

斜杭基礎を有する軟弱地盤上橋脚の常時微動による振動モード

東海旅客鉄道(株) 正会員 ○阿知波秀彦 フェロー 関 雅樹
 正会員 荒鹿 忠義, 吉田 幸司, 岩田 秀治
 東京大学 正会員 小長井一男, 田中 秀岳, Jorgen Johansson
 正会員 Raquib Ahsan, Edwin Leon

1. はじめに

本稿では、斜杭基礎を有する軟弱地盤上橋脚および付近地盤の常時微動を測定、振動モード抽出を行った結果を報告するものである。対象構造は、斜杭基礎を有する橋梁であり、地盤上層が泥炭腐食土（ピート層）、下層がシルト・粘土層で、N 値が 1～3 程度である。斜杭には $\phi=508\text{mm}$ の鋼管が使用され、最も斜杭長が長い箇所では GL-40m 程度の支持層まで打ち込まれている（図 1）。斜杭基礎を有する軟弱地盤上橋脚は、地震時には特徴的な挙動を示すことが明らかとなっている¹⁾が、今回、実橋脚で常時微動を測定し、常時における挙動を明らかにするものである。

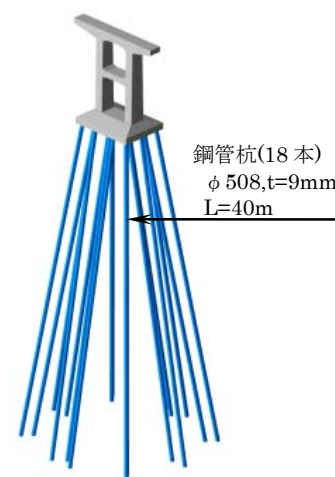


図1 検討対象橋脚

2. 常時微動計測

常時微動は、橋脚柱基部および中層梁上、橋脚柱から 5m および 7.5m 離れた地盤上で測定した（図 2）。橋脚の横断方向に中層梁があり、この上に 1 点（MD1 あるいは MD2）、そして柱基部に 2 点（MD3 および MD5）の三角形を構築し、各点に置かれた速度センサーからの 3 直交成分（x, y, z）の計測を行うことで橋脚フレームの振動モードを検出した。また、地上には北から南に横断する方向で 4 点の 3 成分速度センサーを、図 2 に示すように配置した。500Hz で 60 秒間(30,000 データ)の時刻歴速度データを記録した。AD 変換器のチャンネル数の制限から、全てのデータを全ての方向で同時に測定することが不可能であったため、測定は表 1 に示す 4 ケースに分けて実施した。測定は IMPACTIII を使用している。

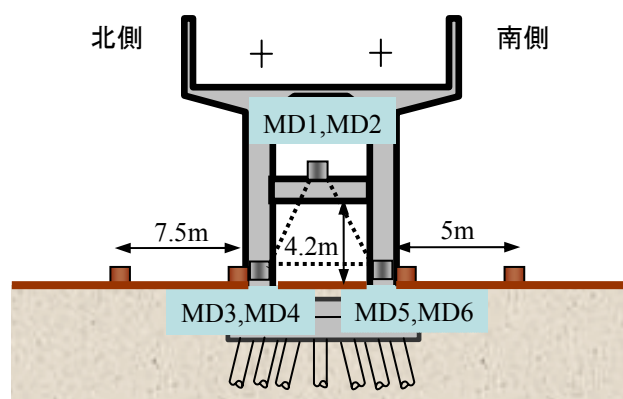


図2 センサーの配置 (P12)

3. 卓越振動数の抽出

図 3、図 4 に P12 橋脚の梁上で計測された線路直角方向の速度応答の Fourier スペクトルを示す。一般的に高架橋のような、(a)杭など地下に埋まった基礎に支持され、(b)地上に突出した構造物で微動を計測する場合、2 つの卓越したピークが現れる。その 1 つは、(1)上部構造物の振動が地盤を揺する形の慣性力相互作用である。あと 1 つは、(2)基礎が埋まっている地盤（堆積層）の卓越振動数成分であり、地盤が構造物を揺する、いわゆるキネマティック相互作用によるものである²⁾。(2)の振動数は構造物のない状態でも確認できるが、水平動のスペクトルと鉛直動のスペクトルのスペクトル比（H/V スペクトル）を求めることで、より明瞭となる。図 3 では 0.5Hz あたりに現

表 1 測定ケース

測定ケース	測定箇所	測定軸
case1	地盤上 2 箇所, 柱基部 2 箇所	橋軸方向, 鉛直方向
case2	地盤上 2 箇所, 柱基部 2 箇所	橋軸方向, 鉛直方向
case3	柱基部 2 箇所, 梁上	橋軸直角方向, 鉛直方向
case4	柱基部 2 箇所, 梁上	橋軸直角方向, 鉛直方向

キーワード 斜杭, 軟弱地盤, 常時微動, 相互作用

れるピークがそれに該当する。一方、慣性力相互作用は、図3では2~3Hzあたりにピークがあるものと推測されるが、多数のピークが密集して現れている。これは上部構造物が単純な構造でないこと(接近した振動モードの存在)、Fourier スペクトルの本質的な分解能の限界など、が重なったためであると思われる。そこで、この部分の抽出にMEM スペクトルを用い、その結果を図4に示す。図4から、2.3Hz付近に共通のピークがあることがわかる。MEM スペクトルはFourierのような物理量の線形スペクトルではないため、卓越振動数の抽出のみに用い、ここで抽出された振動数成分についてはFourier 振幅スペクトルと同位相スペクトルを用いて振動モードを抽出することにする。

4. 振動モード

4.1 慣性力相互作用による振動モード

観測された常時微動から慣性力相互作用で励起される振動モードの抽出を行った(図5)。このモードに対応する振動数は2.3Hzである。基礎・橋脚がフーチング部を橋軸直角方向外側に折れ曲がるような、「く」の字のモードが現れていることが、図5からわかる。図6に「く」の字のモードの模式図を示す。これは、斜杭の幾何学的な変形により、橋脚と基礎部分が逆向きに傾き、フーチングで折れ曲がるモードである。

4.2 キネマティック相互作用による振動モード

地盤の卓越振動数は0.5Hzであり、橋脚・桁の固有振動数より低いことと、斜杭が存在することにより、基礎・橋脚がフーチング部を橋軸直角方向外側に折れ曲がるような、「く」の字のモードが現れる。

図7に橋軸方向の振動モードを示しているが、中層梁よりもフーチングに近い部分の水平動が相対的に大きな動きをしており、「く」の字のモードが現れていることがわかる。

5. おわりに

斜杭基礎を有する軟弱地盤上橋脚について、常時から「く」の字のモードが発生していることが常時微動データの振動モードより明らかとなった。これは測定対象橋脚の斜杭基礎が有効に機能しているからであると推測される。今後は、検討対象橋脚を増やし、モード機構の詳細を明らかにしていく。

参考文献 1)阿知波ら：斜杭基礎を有する軟弱地盤上橋脚に対するシートパイルを用いた耐震補強の振動台実験，第62回年次学術講演会講演概要集，2007，2)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，丸善，1999.10

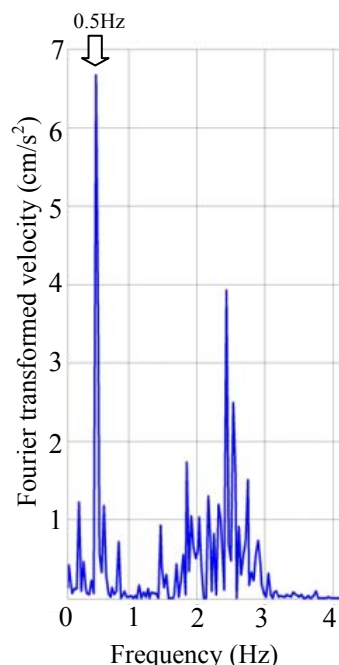


図3 梁上橋軸直角方向の速度 Fourier スペクトル

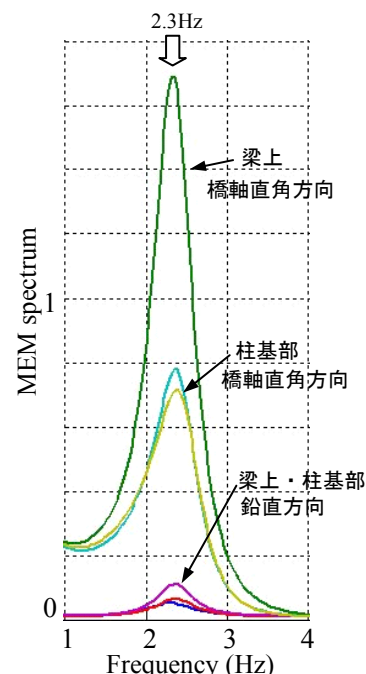


図4 梁上および柱基礎部の MEM スペクトル

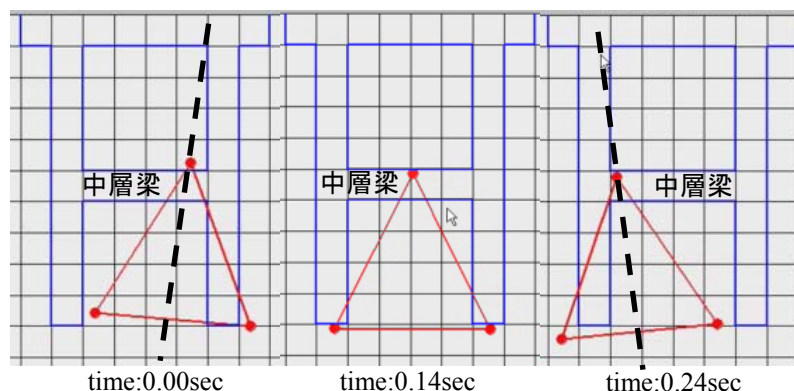


図5 橋脚の振動モード (2.3Hz)

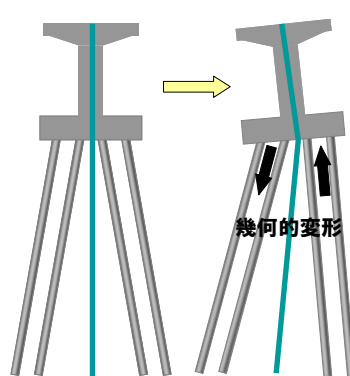


図6 「く」の字モード

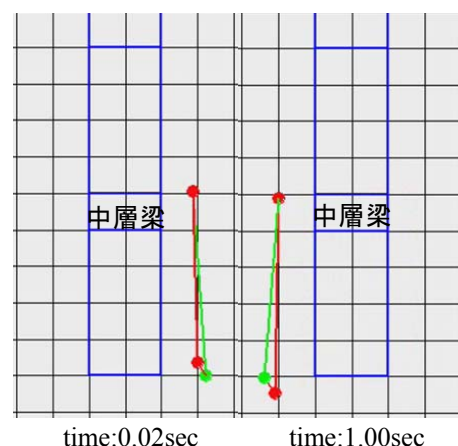


図7 橋脚の振動モード (0.5Hz)