

常時微動下における鉄道構造物の振動特性の把握

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 徳永 宗正  
 (財)鉄道総合技術研究所 正会員 曾我部 正道  
 (財)鉄道総合技術研究所 正会員 谷村 幸裕  
 (財)鉄道総合技術研究所 正会員 浅沼 潔

**1. 目的** 構造物の振動特性である等価固有周期等は、構造物が保有する耐震性能や地震時の列車走行性を左右する重要な影響因子である。著者らは構造物の耐震性能に大きく寄与する橋軸直角方向の 0Hz ~ 2Hz 程度の振動特性から、構造物の等価固有周期<sup>1)</sup>を推定する手法の開発を目的に、微動計により計測した常時微動をもとに検討を行ってきた<sup>2),3)</sup>。しかし、振動数領域に変換した常時微動波形には、ピークを明確に識別できない例や、構造種別によりピークが卓越する領域が異なる例もあり、工学的解釈が難しい例も多く存在した。そこで本稿では、鉄道ラーメン高架橋、壁式橋脚を対象として、常時微動から得られる卓越周期の影響因子を明かにすることを目的に、常時微動から得られる卓越周期とプッシュオーバー解析から得られる構造物の固有周期とを比較し検討を行った。

**2. 検討方法** 表-1に対象構造物一覧を示す。本論文で対象としたのは、それぞれ構造形式、地盤、建設時期が異なる3体である。

表-1 対象構造物一覧

	構造形式	地盤種別	柱高さ(m)	建設時期
R1	桁式ラーメン高架橋	G5	10.0	新設
R2	張出式ラーメン高架橋	G2	6.5	供用40年程度
P	壁式橋脚	G4	6.2	新設

図-1に対象構造物に設置した微動計設置図を示す。測定に関しては、4つの3ch速度計を用いて常時微動による構造物及び表層地盤の微動をサンプリング周波数は200Hz、測定時間は60秒として測定した。各微動計にて3回測定した時系列波形をフーリエ変換により振動数領域に変換し、hanning法により平滑化を行った後、3回測定分のフーリエスペクトルを平均化した。図-1に示す速度センサBで測定された橋軸直角方向の天端振動のフーリエスペクトルをB(x)、同様に基礎振動のフーリエスペクトルをC(x)、地表面振動のフーリエスペクトルをA(x)、基盤面振動のフーリエスペクトルをA(z)とした<sup>4)</sup>。

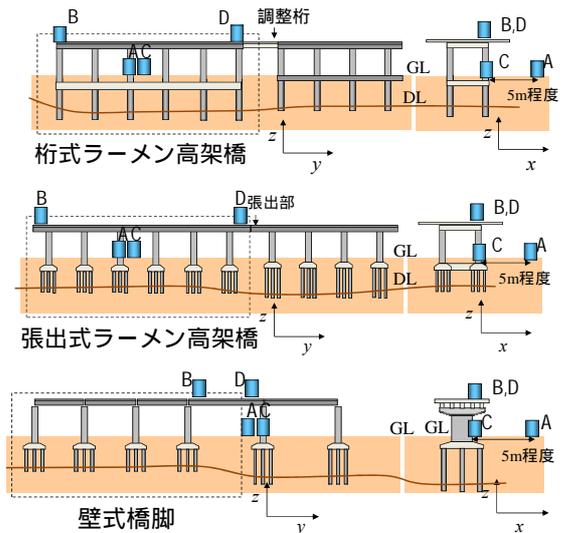


図-1 微動計設置箇所

図-2, 図-3に対象とした構造物の解析モデルの概念図、単純化した構造物の振動性状の概念図をそれぞれ示す。解析は設計図書に基づき耐震標準に準拠して行った。本稿は微小の弾性挙動を対象にした検討であるため、地盤ばねの初期剛性は実際の挙動に近いと考えられる耐震標準<sup>1)</sup>の10倍の値を採用した。基礎の支持力係数 $\alpha_f$

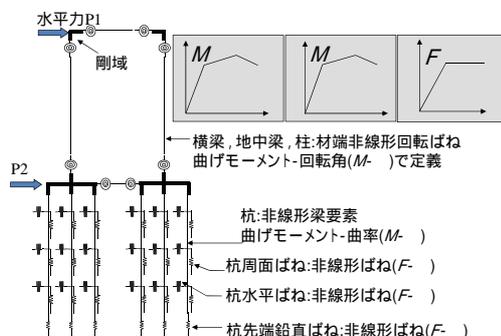


図-2 解析モデル概念図

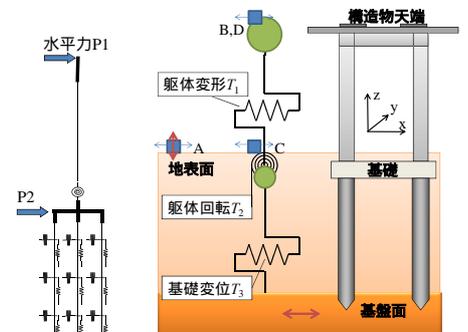


図-3 単純化した構造物の振動性状概念図

は1.00, 材料修正係数 $\rho_m$ は1.20とした。このモデルに対して変位制御によるプッシュオーバー解析を行った。

構造物天端の水平変位は躯体変形, 躯体回転, 基礎変位の各成分により構成され、それぞれ図-3に示すばねの変形によ

キーワード: 常時微動, ラーメン高架橋, 壁式橋脚, 振動特性, 耐震性能, 等価固有周期

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部 構造力学 TEL042-573-7290

り単純化できる。プッシュオーバー解析から得られる各成分の弾性変形から躯体変形による固有周期  $T_1$ (解析値), 躯体回転による固有周期  $T_2$ (解析値), 基礎変位による固有周期  $T_3$ (解析値), 全体系の固有周期  $T_{123}$ (解析値)を算出し,  $T_1$ (測定値),  $T_2$ (測定値),  $T_{123}$ (測定値)を同定する際の参考値とした。 $T_1, T_2$ は上部工固有の振動であるため基礎から天端までの増幅率  $B(x)/C(x)$ から,  $T_{123}$ は全体系振動モードであるため基礎面から天端までの増幅率  $B(x)/A(z)$ から, 地盤の固有周期  $T_g$ は  $A(x)/A(z)$ から同定できる<sup>4)</sup>と考えられる。 $B(x) \cdot C(x)/A(z)^2$ は基礎面から天端までの増幅率と基礎面から基礎までの増幅率の積であるため, 地表面と天端の変位に関する振動モードである  $T_{123}, T_g$ で明確なピークを示す性質がある。 $T_3$ は, 基礎面から基礎までの増幅率  $C(x)/A(z)$ や上記  $B(x)/C(x), B(x) \cdot C(x)/A(z)^2$ から同定できる可能性はあるが, 本稿では検討を省略した。固有周期の同定は, 地表面の振幅, 天端の振幅, 位相差を考慮した振動モード図を確認しながら行った。

**3. 検討結果** 図-4~図-6に固有周期の測定値と解析値を比較したもの, および各卓越周期における振動モードを示す。図には地盤の固有周期の設計値, 測定値も参考に記載している。図から, 測定値と解析値は概ね一致しており, 振動モードも対象とする部材変形と一致していることが分かる。 $B(x)/A(z)$ から R1, R2 では全体系振動モードの卓越周期(それぞれ  $T_{123}=0.464, T_{123}=0.280$ )が確認でき, Pでは複数の卓越周期が確認できるが, 増幅率の積  $B(x) \cdot C(x)/A(z)^2$ において明確な卓越周期を確認できることから  $T_{123}$ を識別できる。 $B(x)/C(x)$ から R1 では上部工特有の固有周期である  $T_1$ (測定値)=0.375,  $T_2$ (測定値)=0.261, R2 は  $T_1$ (測定値)=0.253,  $T_2$ (測定値)=0.073, P は  $T_1$ (測定値)=0.094,  $T_2$ (測定値)=0.213 を得ることができる。また,  $T_2$ (測定値)は G5 地盤の R1 で 0.261, G4 地盤の P で 0.213, G2 地盤の R2 で 0.073 と地盤種別に大きく依存することが分かる。

**4. まとめ** (1) 基礎から天端までの増幅率より得られるピークは, 躯体変形による固有周期, 躯体回転による固有周期を表していると考えられる。(2) 基礎面から天端までの増幅率より得られるピークは, 全体系の振動による固有周期を表していると考えられる。(3) 壁式橋脚のように基礎面から天端までの増幅率から卓越したピークが得られない場合, 増幅率の積を用いることで全体系の振動による固有周期を明確にできる可能性がある。(4) 常時微動下においてラーメン高架橋は全体系振動モードが卓越しやすいが, 壁式橋脚は特定の卓越振動モードが得られないため振動モード形状や上記手法等を参考に詳細に検討する必要がある。

**参考文献** 1) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計), 丸善, 1999. 2) 丸山直樹ら: 常時微動測定による鉄道ラーメン高架橋の等価固有周期の推定, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.2, 2009. 3) 徳永宗正ら: 常時微動測定による既設鉄道高架橋の等価固有周期推定法, コンクリート工学年次論文集, 2010. 4) 中村豊: 常時微動計測に基づく表層地盤の地震動特性の推定, 鉄道総研報告, Vol.2, No.4, pp.18-27, 1988.

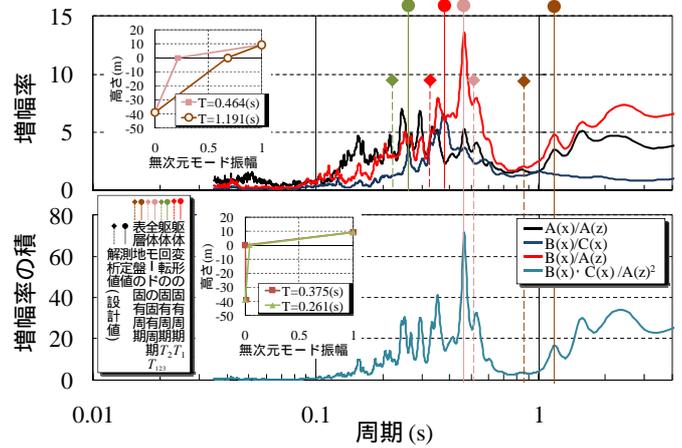


図-4 解析値(設計値)と測定値の比較(R1)

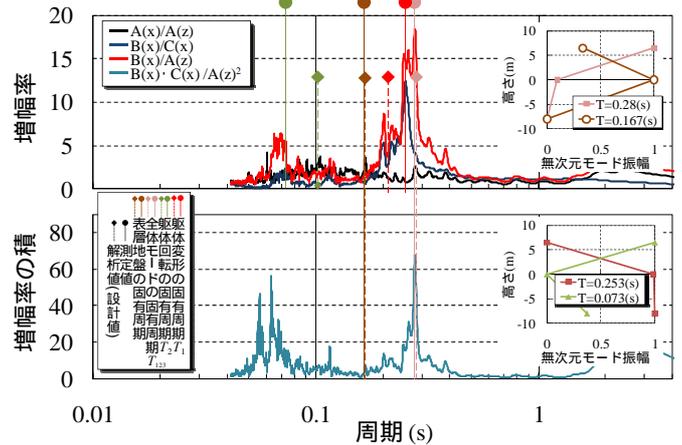


図-5 解析値(設計値)と測定値の比較(R2)

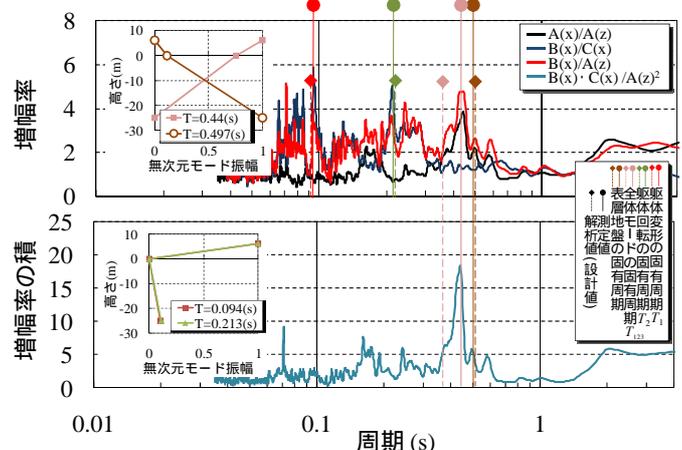


図-6 解析値(設計値)と測定値の比較(P)