

## 非接触微動測定による構造物振動特性同定に関する基礎的検討

鉄道総合技術研究所 正会員 ○上半 文昭  
 東京大学生産技術研究所 正会員 目黒 公郎

## 1. はじめに

これまで著者らが提案してきた鉄道 RC 構造物の地震損傷度や劣化度の振動診断技術<sup>1), 2)</sup>において、構造物の振動モード形を診断指標として用いることがある。その場合、モード形を得るのに十分な複数点の振動を測定する必要があり、構造物へのセンサの接着やケーブル類の配線、および、それらの撤去作業に多くの時間を要する。また高架橋の柱上端等にセンサを設置する場合、危険を伴う高所作業が発生する。そこで、構造物の振動測定を効率よく安全に行うために、レーザドップラ速度計を用いた非接触測定の実用性を検討した。ここでは、平時の極微小な振動である微動の高精度な非接触測定法を提案し、構造物の振動特性を非接触かつ無加振で同定可能であることを模型実験で確認する。

## 2. 非接触振動測定手法

## (1)非接触振動測定装置

本研究では非接触振動測定装置としてレーザドップラ速度計（以下、非接触速度計）を使用する。同装置はドップラ効果と光ヘテロダイン干渉法を利用して、センサと物体間の相対速度を非接触で検出できる。

## (2)微動測定記録の補正法

センサと測定対象間の相対速度を検出する非接触速度計で振幅レベルの非常に小さい微動を測定する場合、測定記録に占める非接触速度計本体の振動の影響が大きくなる。特に屋外での構造物測定では、非接触速度計と三脚からなる系の固有振動および地盤に入力される各種ノイズ振動や風等の外乱の影響を無視できない。そこで、接触型の振動計を非接触速度計に取り付けて、非接触速度計本体の振動速度を記録し、その記録を用いて非接触速度計本体の振動の影響を除去することにした（図1）。非接触速度計とそれに取り付けた接触型の振動計が記録する時系列振動速度データをそれぞれ  $V_L(t)$ 、 $V_S(t)$ 、測定対象の振動方向がセンサとその測定対象を結ぶ線と成す角を  $\theta$  とするとき、測定対象の絶対速度の時系列データ  $V(t)$  を次式で得る。

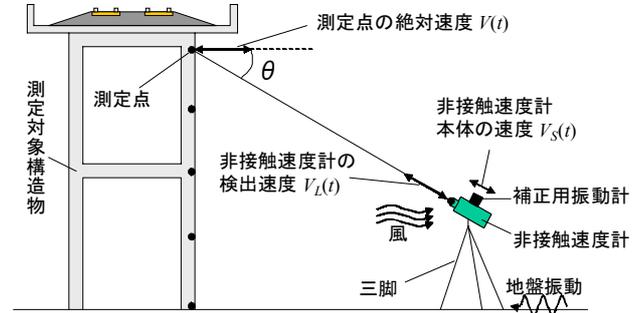


図1 構造物の非接触振動測定

$$V(t) = [V_L(t) + V_S(t)] / \cos\theta \quad \dots \dots \text{(式1)}$$

測定対象の振動に対して非接触速度計本体の振動が十分小さい場合には  $V_S(t)$  を無視して良い。

## (3)構造物の振動モード形の推定法

前記手法で構造物各部の多点同時測定を行えば構造物の振動モード形を調べられる。しかし、今のところ非接触速度計の価格は従来の構造物検査用振動計の約10倍程度であるため、構造物検査の現場に普及している測定装置と同程度の価格で多点測定用の非接触測定装置を構成することは難しい。一方、一つの非接触速度計を用いて構造物をスキヤニングして振動モード形を推定する手法が考えられるが、微動を用いる場合には微動の時間的な非定常性の影響を考慮する必要がある。そこで、構造物各部の振動を非接触測定する際に、構造物上のある基準点に接触型の振動計を取り付けて振動を同時測定し、同定対象のモード成分のスペクトル振幅（各部測定時の基準点の振動レベル）を調べ、その値で非接触測定による構造物各部の振動のスペクトル振幅を除き、各部測定時の振動レベルで基準化したモード振幅を得る。低次モードのおよその振動モード形は予測可能であるので、得られたモード振幅を用いて構造物の振動モード形を推定できる。

## 3. 非接触速度計本体の振動の影響除去

非接触速度計本体の振動の影響を除去する手法の効果を実験で確認する。図2に示すように、鉄道ラーメン高架橋に見立てたフレーム構造模型上点Aの微

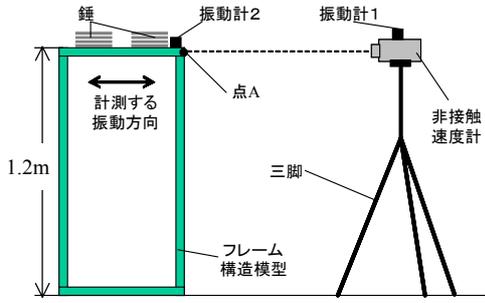


図2 非接触速度計本体の振動除去に関する実験

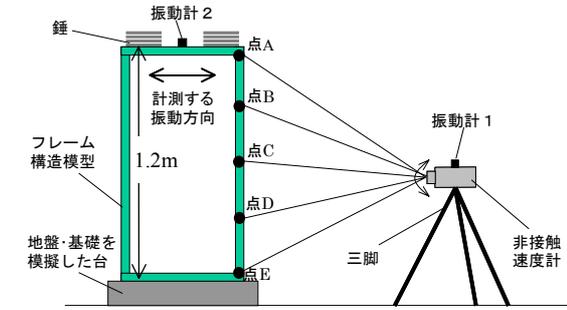


図4 振動モード形推定に関する実験

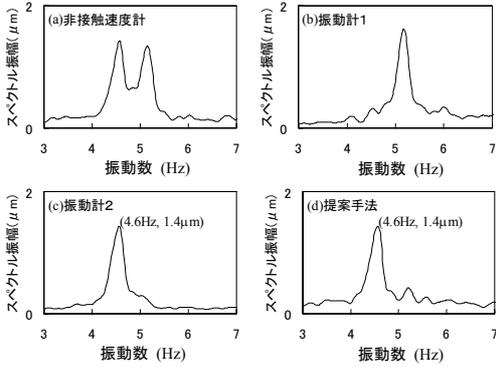


図3 振動速度記録のフーリエスペクトル

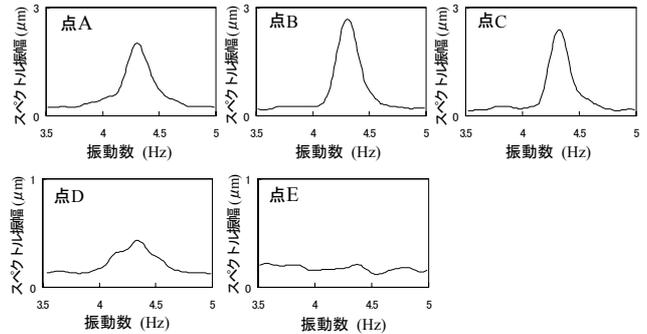


図5 模型各部の振動速度記録のフーリエスペクトル

動を三脚上に設置した非接触速度計（GRAPHTEC 社製レーザドップラ速度計）で測定した。また非接触速度計本体の振動を振動計1，フレーム構造模型上の点A付近の振動を振動計2で同時測定した。実験で得られた振動速度記録のフーリエスペクトルを図3に示す。非接触速度計の測定結果(a)は、非接触速度計本体の振動(b)の影響を受けているが、提案手法で得られた結果(d)は、点Aの振動特性の正解値である振動計2の測定結果(c)とほぼ等しい振動特性を与えている。

4. 振動モード形の推定

提案手法を用いてフレーム構造模型の1次振動モード形を推定する。模型は地盤・基礎を模擬した台上に設置した。図4のA～E点を非接触速度計で、非接触速度計本体を振動計1で測定し、振動計2を基準センサとした。非接触速度計本体の振動の影響を除去した各点の振動速度記録のフーリエスペクトルを図5に示す。図5の各スペクトルのピーク値、基準点（振動計2）で得られたスペクトルのピーク値、および、提案手法で推定した模型の1次モード振幅を表1に示す。

表1 モード振幅の推定結果（点Aを1として正規化。）

	高さ (m)	スペクトルピーク値 (μm)		1次モード振幅推定値
		非接触速度計	振動計2	
点A	1.17	2.00	2.27	1.000
点B	0.90	2.66	3.39	0.878
点C	0.60	2.39	4.92	0.500
点D	0.30	0.43	2.20	0.129
点E	0.03	0.21	2.24	0.000

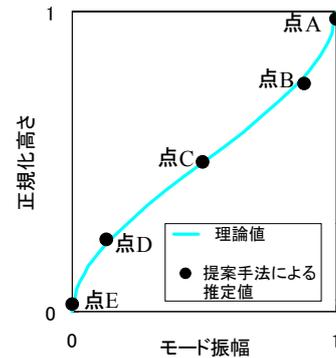


図6 振動モード形の理論値と推定結果

提案手法により推定されたモード形を理論値（下端固定—上端回転のみ固定の柱の1次モード形）と比較して図6に示す。両者はよく一致している。

5. おわりに

微動の非接触測定により、無加振・非接触で構造物の振動特性を同定する手法を提案し、その妥当性を模型実験で確かめた。非接触振動測定は、車両走行による振動や打撃による衝撃振動などの測定にも適しており、今後鉄道構造物の検査に積極的に活用したいと考えている。既に実構造物を対象とした屋外測定も実施しているので別の機会に報告したい。

参考文献

- 1) 上半文昭, 目黒公郎: 応用要素法による鉄道構造物の損傷度評価と地震時被害把握システムへの応用, 鉄道力学論文集, Vol.5, pp.25-30, 2001.
- 2) 上半文昭, 目黒公郎: 微動測定を利用した地震時構造物損傷度検査手法に関する実験的研究, 日本地震工学シンポジウム論文集, 第11巻 (CD-ROM), 2002.