

## 横断歩道橋を対象とした3次元振動特性同定と損傷位置同定

広島県西部建設事務所 安芸太田支所 正会員 ○綿崎 良祐  
 北見工業大学 社会環境工学科 正会員 宮森 保紀  
 株式会社オリエンタルコンサルタンツ 正会員 門田 峰典

### 1. はじめに

センサーを用いて構造物の振動を測定し、その振動特性の変化から劣化や損傷の進行状況を評価する「構造ヘルスマニタリング(Structural Health Monitoring, SHM)」を、社会基盤施設の維持管理に活用することが期待されている。SHMでは、局所的な損傷を把握するために密にセンサーを配置する必要があるが、データ処理機能と無線通信機能を備えたスマートセンサーが有用と考えられる。本研究では、損傷を有する実横断歩道橋において補修前後でスマートセンサーを用いた振動測定実験を行い、3次元での振動特性を同定し、固有振動特性の変化を確認した。また、損傷位置の特定を目的としてモード形状の変化に着目し、損傷位置の検出方法を検討した。

### 2. 振動測定実験

本研究では実構造物が損傷した場合の振動特性の変化を確認することを目的とし、スマートセンサーを用いた多点振動測定実験を行った<sup>1)</sup>。対象橋梁は北海道北見市内に位置する横断歩道橋(橋長 20.16m, 支間長 18.48m, 幅員 1.5m)である。本橋は片側の主桁に亀裂および変形を生じていた。実験は補修前の損傷した状態での振動測定を2014年7月に行った。同年8月に補修が行われ、補修後の測定を9月に行った。取得した振動データから3次元の振動特性を求める。図1にセンサーの配置と加振位置を示す。使用したセンサーはスマートセンサーシステム Imote2 と、センサーボード SHM-A および SHM-H である。センサーは片側7基、計14基設置した。各測点にて3軸方向の加速度を測定した。センサーは鋼板に両面テープで固定し、床版上に設置した。加振方法は人力加振であり、人間1人が跳躍し、着地時に発生する減衰自由振動を測定した。測定時のセンサーのサンプリング周波数は280Hz、1サンプル当りの測定時間は60秒間である。加振位置は複数のモードを励起させるために計6か所で行った。また、加振を行わない常時微動の測定も行った。

### 3. 実験結果

表1に算出した固有振動数と減衰定数を示す。また、図2にモード形状の例を示す。モード図中の赤線が補修後(9月)のモード形状、青破線が補修前(7月)のモード形状である。図中のプロットは各測点を示し、右手前から1~7、右奥から8~14である。損傷に最も近い測点は6となる。モード形状は3軸すべての振幅の最大値を1として基準化している。補修前後の振動モードを比較したところ、固有振動数に大きな変化はない。減衰定数は多くのモードで補修後が大きいが、一部のモードは補修前が大きく、損傷による影響を捉えることは困難である。

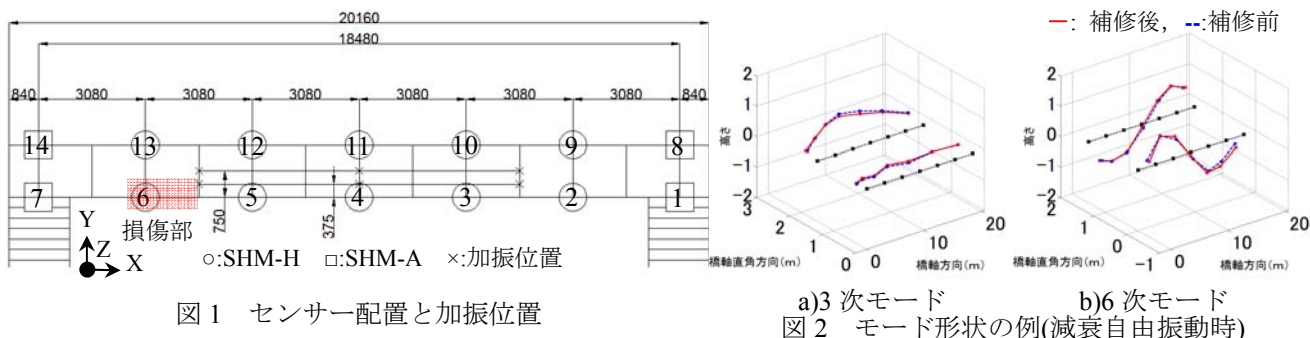


図1 センサー配置と加振位置

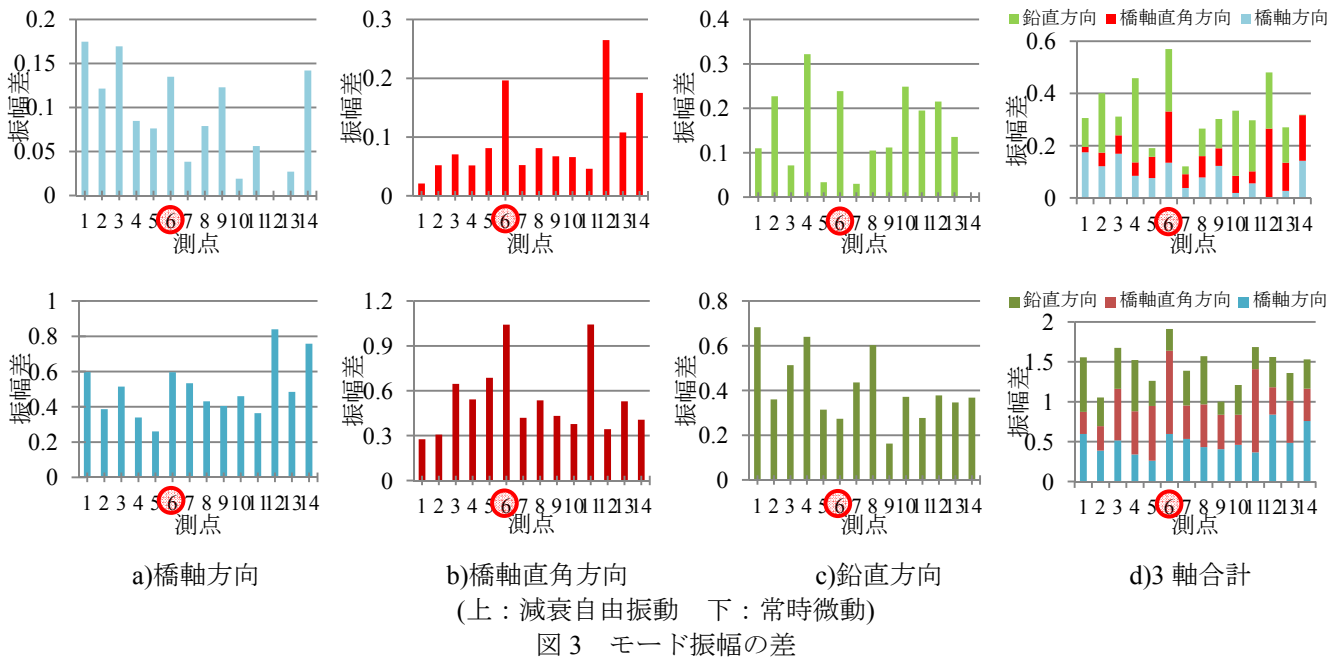
図2 モード形状の例(減衰自由振動時)

表1 固有振動数と減衰定数

			1次	2次	3次	4次	5次	6次
減衰自由振動	補修前	固有振動数(Hz)	4.3	4.9	8.1	9.8	15.6	20.9
		減衰定数	0.008	0.009	0.013	0.009	0.005	0.011
	補修後	固有振動数(Hz)	4.2	4.9	7.9	9.8	15.7	20.9
		減衰定数	0.011	0.015	0.017	0.011	0.007	0.014
常時微動	補修前	固有振動数(Hz)	4.4	4.9	8.2	9.9	15.7	21.1
		減衰定数	0.005	0.007	0.011	0.007	0.015	0.012
	補修後	固有振動数(Hz)	4.4	5.0	8.2	9.9	15.5	21.2
		減衰定数	0.012	0.004	0.008	0.017	0.030	0.017

キーワード スマートセンサー, 損傷位置同定, 横断歩道橋, 構造健全度診断(SHM)

連絡先 〒090-8507 北見市公園町165 北見工業大学社会環境工学科 TEL: 0157-26-9472



#### 4. 損傷位置検出の検討

本研究ではモード振幅の変化から損傷位置を同定するため、補修前後のモード振幅の差分について検討を行った。

##### 4.1. 振幅差の計算方法

振幅差の計算方法を以下に示す。フーリエ解析から求めた各軸のモード振幅の各測点における差分を計算する。次にモード毎に算出した差分を測点毎に加算する。各測点における全モードの差分の合計は式(1)で表される。

$$\Delta\Phi = \sum_{i=1}^N |\Phi_{ii} - \Phi_{Di}| \quad (1)$$

ここで補修後の*i*次モードの振幅を $\Phi_{ii}$ 、補修前の*i*次モードの振幅を $\Phi_{Di}$ 、*N*は同定されたモード数である6とする。

##### 4.2. 算出結果

減衰自由振動と常時微動の解析結果におけるモード振幅の差分を方向毎に整理して図3a)~c)に示す。縦軸が振幅差、横軸が測点であり、測点6が損傷近傍の測点である。橋軸方向では、減衰自由振動時の振幅差は比較的小さく、常時微動時の振幅差は大きい。また損傷付近である測点6に差が現れたが、最も大きく変化した測点は減衰自由振動時では橋脚上の測点1、常時微動時では損傷していない桁側の測点12であり、損傷位置の特定は困難である。橋軸直角方向では、両波形において損傷付近である測点6で大きく差が現れた。多くのモードが鉛直方向と橋軸直角方向に振幅を有するため、損傷位置の特定において重要な着目点になると考えられる。鉛直方向では、測点1、4、6などの振幅差が大きい。このように軸毎で振幅差を比較した場合、損傷位置は判然としない。

以上から、本橋においては一般的に行われる鉛直方向のみの振動測定では損傷位置を特定することは困難である。そこで3軸すべての振幅を用いることで損傷位置の特定が可能であるか検討を行った。3軸の振幅差を各測点で合計した結果を図3d)に示す。方向毎の振幅差では損傷付近の測点6は最大にならなかったが、3軸を足し合わせることで測点6が最大となった。損傷付近以外の測点でも振幅差が大きく、正確な損傷位置の特定には至らないが、3次元での振動特性同定により構造全体のモード形状の変化を捉えることができたと考えられる。以上のことから、3次元の固有振動特性同定によるモード振幅の変化から損傷付近の測点を捉えることができ、損傷位置検出は可能であると考えられる。また図3d)において、常時微動時に比べて減衰自由振動時の損傷付近の測点6が他の測点より大きく現れていることから、本手法における損傷位置検出にはある程度の加振力が必要であると考えられる。

#### 5. おわりに

本研究では損傷を有する実横断歩道橋において補修前後で3次元の固有振動特性同定を行い、モード振幅の変化を確認した。また、モード振幅の差から損傷位置の特定を検討した。各軸を個別に比較した場合の振幅差からは損傷位置を特定できなかったが、3軸を足し合わせることで損傷位置検出は可能であることがわかった。今後の課題として、損傷付近以外の測点において検出された振幅差について、部材の温度差など損傷以外で振動特性に変化を与える要因を考慮することが挙げられる。

**謝辞** 本研究の一部は科学研究費補助金(若手研究(B)、課題番号:25870025)ならびに、鹿島学術振興財団2012年度研究助成による支援を得ました。また実験に際しては、国土交通省北海道開発局北見道路事務所の協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

**【参考文献】** 1) 門田峰典, 宮森保紀, 綿崎良祐, 三上修一, 齊藤剛彦: 実損傷を有する横断歩道橋の補修によるモード形状の変化, 構造工学論文集, Vol.61A, 2015.