

橋梁損傷と振動特性の変化に関する研究

神戸大学工学部 正員 宮本文穂 阪神高速道路公団 正員 山本昌孝
 神戸大学工学部 正員 森川英典 山口県庁 正員 桜井敏幸

1. はじめに

近年、橋梁の維持管理が注目されつつあり、特にその核となる損傷評価については、客観的・合理的手法の確立が要求されている。そこで、本研究では、損傷と振動特性の変化との関係に着目し、区分モード合成法を適用して効率化した固有値解析手法によりモデル解析を行って損傷の動的感度を把握すると共に、実橋における振動試験により得られる振動特性に動的S.L.法を適用し、各部の構造パラメータを同定することにより損傷を評価する方法を検討した。さらに人工損傷を導入した実橋への本手法の適用を試み、その有効性を検討した。

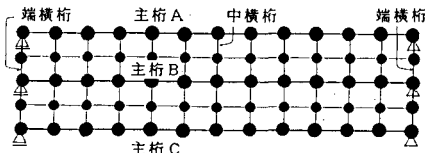
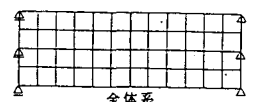


図-1 橋梁モデルの例

2. 橋梁損傷評価のためのモデル計算手法

2.1 橋梁のモデル化 橋梁の振動挙動を的確に捉えるため、次の特徴を有する橋梁モデルを作成した(図-1参照)。(1)橋梁全体を、床版も考慮してすべて梁モデルで格子状に分割する。(2)質量は、回転慣性質量も含め、各梁の両端に集中させる。(3)支承部の損傷は支点回転拘束ばねの導入により取扱う。



2.2 区分モード合成法を適用した固有値解析手法 部分構造合成法の1手法である区分モード合成法¹⁾は、図-2に示すように一旦構造系を分割して分系毎に固有値解析を行って振動特性を求め、それを再び合成して全体系の解析をモード座標系で行うもので、一般の物理座標系の運動方程式を用いて行う固有値計算よりもはるかに小さい自由度での計算が可能である。

今回この手法において一般粘性減衰を考慮し、複素固有値解析への適用を試みた。その結果、一般的な固有値解析手法とほぼ同精度での解析が比較的容易に行えることを確認した。

2.3 動的感度係数を利用したSystem Identification法 動的S.L.法は、実橋試験における振動特性を基にしてこれと一致するように解析モデルの構造パラメータを同定する手法である。図-3に動的S.L.法のフローを示す。比較する振動パラメータとして、固有値 μ と振動モード z を考慮し、これらを無次元化し、測定値との誤差を最小にするような目的関数を次式のように定義する。

$$Err^2 = W_1 (\mu_p / \mu_p^* - 1)^2 + W_2 \sum_{k=1}^n (z_{pk} / z_{pk}^* - 1)^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

ここで、 p は振動次数、 n はモードの誤差評価を行う測点数、 μ^* 、 z^* は実測値(モード解析値)、 W_1 、 W_2 は固有振動数と振動モードの比が同一となるような重みで $W_1=1.00$ 、 $W_2=0.25$ とした。

これに対し、目的関数に対する各パラメータの感度を求め、ムーブリミット内で目的関数の線形近似を行って、直線的に最小値に近づけていく、S.L.P (Sequential Linear Programming; 逐次線形計画法)による最小値探索手法²⁾を用いて同定を行った。モデルによる精度解析の結果、初期値とムーブリミットの設定を適切

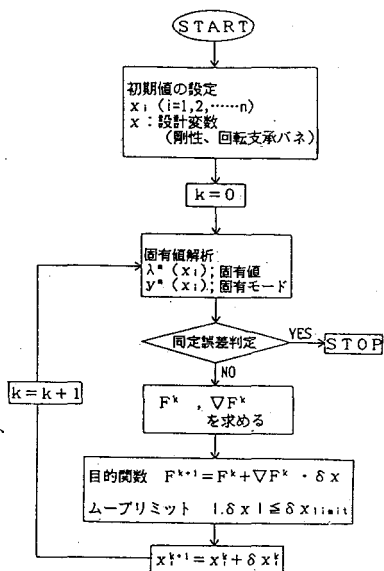


図-3 動的S.L.法のフロー

に行うことにより、かなり精度良く同定が行えることを確認した。

3. 人工損傷を導入した実橋への適用

今回、人工損傷を有する実橋の振動試験結果に対し本損傷評価法を適用し、その有効性を検討した。試験対象橋梁である大安橋の概要を表-1、図-4に示す。人工損傷としては、A、B桁において図-5に示す位置にコア抜き損傷（図-7参照）を導入した。

まず、最も有効な試験方法を選択するため、大安橋のモデル化を行い、モデル上で人工損傷部の剛性を低下させて、人工損傷と振動特性の変化との関係について把握した（図-6参照）。その結果、人工損傷に対し感度が高い1-1次、2-1次の振動モードの腹となる点を中心に重錘を落下させて振動試験を行い、現状及び損傷導入後の振動特性の測定結果にS.I.法を適用した。S.I.法の適用方法としては、まず現状において、各主桁、横桁の剛性及び支点回転ばね定数を未知の構造パラメータとして同定を行い、人工損傷導入後においては損傷部の剛性と支点回転ばね定数のみ未知とし、他の構造パラメータは現状時の値を用いた。

表-2の結果から、現状における主桁剛性の同定値が、全断面有効で計算した理論値に近いことがわかる。これより、主桁の剛性は引張領域に相当及んでいると思われ、人工損傷はかなりの剛性低下を及ぼすことが想像される。A、B桁の損傷部の平均的な剛性低下率は、現状を全断面有効と考えた場合、A桁では桁下縁から約44cm、B桁では約28cmの引張側コンクリート断面を無視した値に相当し（図-7参照）、ほぼ妥当な数値として捉えることができた。

表-1 「大安橋」の橋梁台帳

橋梁名	大安橋	橋梁形式	RC単純T桁橋
橋梁形式	RC単純T桁橋	架設年度	昭和37年度
橋梁上部工	主桁 RC単純T桁 床版 RCスラブ	橋主	本数=4本、間隔=1.95m
橋梁下部工	橋台 重力式コンクリート 橋脚 重力式コンクリート	橋横	本数=3本
		橋底	アスファルト舗装
		製	コンクリート製

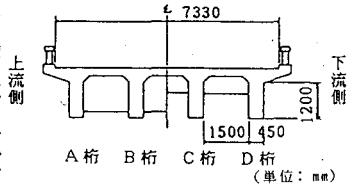


図-4 大安橋の横断面図

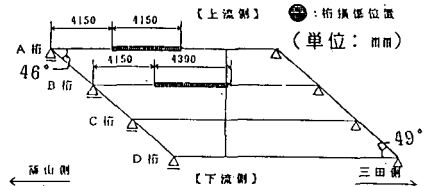


図-5 人工損傷導入位置

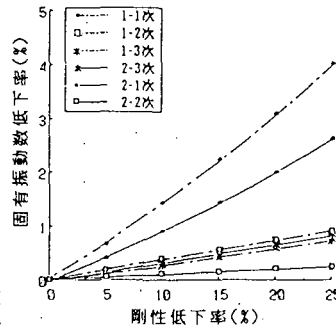
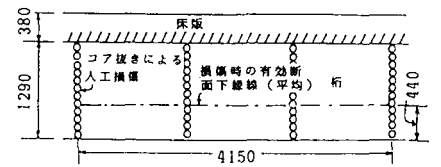


図-6 人工損傷に対する振動数の変化（モデル計算）



注）現状を全断面有効と仮定（単位：mm）
（A桁の場合）

図-7 損傷導入による有効断面の減少

表-2 大安橋におけるS.I.法適用結果

（桁：剛性EIの値、支承：回転拘束ばね定数の値＜A～Dは付随する桁、1は篠山側、2は三田側を示す＞）

	A桁	B桁	C桁	D桁	支承A1	支承A2	支承B1	支承B2	支承C1	支承C2	支承D1	支承D2	1-1次振動数
理論値	7.198	6.755	6.755	7.255	—	—	—	—	—	—	—	—	—
現状の同定値	8.242	7.701	7.160	6.346	1.3100	1.3100	1.1000	1.1000	0.9000	0.9000	0.6900	0.6898	12.69
損傷時の損傷部（同定値）	5.496	5.671	—	—	0.0203	0.0122	0.0100	0.0089	0.0075	0.0073	0.0046	0.0044	11.71
現状に対する低下率	33%	26%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8%

単位系（桁： $\times 10^{12} \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$ 、回転ばね定数： $\times 10^9 \text{ kg}\cdot\text{cm}/\text{rad}$ 、振動数：Hz、理論値は全断面有効時）

4. 結論

- ①固有値計算の効率化を図るため、区分モード合成法を適用し、解析精度の検討を行った。
- ②損傷評価に用いるS.I.法に動的感度係数を利用したS.L.Pによる最小値探索手法を適用した。
- ③実橋において人工的に導入した損傷を『損傷パラメータ解析』→『試験方法の選択』→『S.I.法による同定』という流れにより、損傷部の構造パラメータの値の変化として数値的に捉えることができた。

【参考文献】1)大熊、長松：区分モード合成法による振動解析（第4報、固有振動数と固有モード - その2）、日本機械学会論文集、1983.7、2)土木学会：構造システムの最適化 理論と応用、1988.9