

V-242

非比例減衰を考慮した振動特性に基づく既存コンクリート橋の損傷評価

神戸市役所 正会員○久保田裕二

神戸大学工学部 正会員 森川 英典

神戸大学工学部 正会員 宮本 文穂

神戸大学大学院 学生員 北村 敦彦

(株)ニチワテック 正会員 白倉 篤志

1. はじめに コンクリート橋の損傷評価法の一つとして、著者らは振動特性の変化を利用する手法に着目し、これまでRC単純T桁橋への適用を試みその有効性を検討した¹⁾。本研究では、主桁の減衰定数 C は各主桁部材毎に主桁剛性 K に比例すると仮定して、一般粘性減衰をモデル化し、これを設計変数としたSI(構造同定)法²⁾を複素固有値解析に適用することにより、主桁各部における剛性を評価する手法を検討した。

2. 非比例減衰を考慮した振動特性に基づく損傷評価手法 本研究では、局部損傷を考慮するため、減衰係数 C は剛性 K の関数、 $C = \beta K$ (β : 内部粘性係数)と表すことにより、 C を K の従属変数とし、実橋において測定された剛性低下率と減衰定数 ξ との関係(図1参照)を用いて、 $\xi = \beta \omega / 2$ (ω : 不減衰固有振動数)の関係から各主桁毎の β の値を求めた。この場合のSI法における目的関数は、

$$F = \sum_p \left\{ W_1 \left(\frac{\xi_p}{\xi_p^m} - 1 \right)^2 + W_2 \sum_{k=1}^n \left(\frac{\psi_{pk}}{\psi_{pk}^m} - 1 \right)^2 \right\} \quad \text{--(1). } \xi_p, \xi_p^m: \text{減衰定数の計算値, 測定値, } \psi_{pk}, \psi_{pk}^m: \text{位相差の}$$

計算値, 測定値, p : 振動次数, n : 測点数, W_1, W_2 : 重みで表される。(1)式の感度は、

$$\frac{\partial F}{\partial k_i} = 2 \sum_p \left\{ W_1 \left(\frac{\xi_p}{\xi_p^m} - 1 \right) \frac{1}{\xi_p^m} \frac{\partial \xi_p}{\partial k_i} + W_2 \sum_{k=1}^n \left(\frac{\psi_{pk}}{\psi_{pk}^m} - 1 \right) \frac{1}{\psi_{pk}^m} \frac{\partial \psi_{pk}}{\partial k_i} \right\} \quad \text{--(2)となる。Fossの法則より運動方程}$$

$$\text{式とその解は, } A \dot{z} + B z = 0, z = z \exp(\lambda t) \quad \text{--(3). ここで } A = \begin{bmatrix} O & M \\ M & C \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -M & O \\ O & K \end{bmatrix}, z = \begin{Bmatrix} \dot{u} \\ u \end{Bmatrix} \quad \text{--(4).}$$

M : 質量マトリクス, C : 減衰マトリクス, K : 剛性マトリクス, u : 変位ベクトル。複素固有値, 固有ベクトルの感度は、

$$\frac{\partial \lambda_p}{\partial k_i} = z_p^T \left\{ \frac{\partial B}{\partial k_i} - \lambda_p \frac{\partial A}{\partial k_i} \right\} z_p, \frac{\partial z_p}{\partial k_i} = \sum_{q \neq p} \left\{ -\frac{1}{\lambda_q - \lambda_p} z_q^T \left(\frac{\partial B}{\partial k_i} - \lambda_p \frac{\partial A}{\partial k_i} \right) z_p \right\} z_q \quad \text{--(5)となる。こ}$$

$$\text{こで, } \frac{\partial \lambda_p}{\partial k_i} = \alpha_{\lambda i} + \beta_{\lambda i} i, \frac{\partial z_p}{\partial k_i} = \alpha_{z i} + \beta_{z i} i \quad \text{--(6)が得られたとすると, 減衰定数, 位相差の感度は,}$$

$$\frac{\partial \xi_p}{\partial k_i} = \frac{\alpha_{\lambda i}}{\sqrt{\alpha_{\lambda i}^2 + \beta_{\lambda i}^2}}, \frac{\partial \psi_p}{\partial k_i} = \tan^{-1} \left(\frac{\beta_{z i}}{\alpha_{z i}} \right) \div \frac{\beta_{z i}}{\alpha_{z i}} \quad \text{--(7)となる。(4)式より } \frac{\partial A}{\partial k_i} = \begin{bmatrix} O & O \\ O & \frac{\partial C}{\partial k_i} \end{bmatrix}$$

$$\frac{\partial B}{\partial k_i} = \begin{bmatrix} O & O \\ O & \frac{\partial K}{\partial k_i} \end{bmatrix} \quad \text{--(8). ここに,}$$

$$\frac{\partial C}{\partial k_i} = \frac{\partial \beta}{\partial k_i} K + \beta \frac{\partial K}{\partial k_i} \quad \text{--(9)が得られ, } \beta\text{-7}^{\circ}\text{リミット内}$$

$$\text{で } \beta = \text{一定とすると, } \frac{\partial C}{\partial k_i} = \beta \frac{\partial K}{\partial k_i} \quad \text{--(10)となる.}$$

つまり(1)式を最小にするために、目的関数に関する各パラメータの感度を(7)式で計算し、線形近似を行ってLPにより最小値に近づけていくことができる。しかし、 $\beta\text{-7}^{\circ}\text{リミット}$ を越える場合、改めて固有値解析を行い、感度を求め直してから近似計算を繰り返すSLP²⁾を用いることとした。

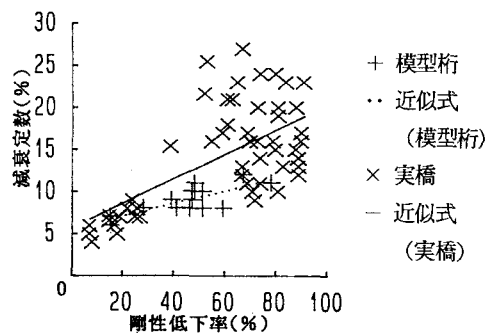


図1 剛性低下率と減衰定数の関係

3. 非比例減衰を考慮した動的感度解析の有効性

橋梁における各部の損傷と各種振動特性との関係を把握するため、3主桁RC単純T桁橋（図2参照）を対象に、複素固有値解析によるパラメータ解析を行った。損傷パラメータとして剛性低下に基づく減衰定数の増加とし、損傷A、損傷B、損傷ABにおける減衰定数1～15%、それに対応する剛性低下率0～35%の範囲内での変化とした。振動パラメータとして1～1次、1～2次の橋梁全体系の減衰定数および位相差に着目し、これらと損傷程度との関係を、図3、図4に示す。これら損傷部の感度はほぼ線形であり、複数の損傷に対して、個々の感度の線形和として表すことが可能である。また、特定の振動次数に対して感度の良い振動パラメータを抽出する事により、位相差の感度特性を用いた損傷位置の推定および減衰定数の感度特性を用いた損傷の定量的評価を効率良く行うことも可能である。次に、この橋梁に2で示した損傷評価法を適用し、その有効性を検証するため、表1に示すように各主桁剛性を予め仮定して、各々の初期値から同定計算を行った。この結果から、本手法により構造パラメータを精度良く同定できることが確認された。

4. まとめ (1)減衰係数Cを剛性Kの従属変数と考え、一般粘性減衰を考慮した複素固有値解析を用いたSI法を検討し、その有効性を確認した。(2)複素固有値解析

によるパラメータ解析の結果、減衰定数および位相差の感度が高く、これらの感度特性を用いて、橋梁における損傷位置の推定および損傷の定量的評価が可能であることを検討した。【参考文献】1)宮本,森川,山本:既存コンクリート橋の損傷に対応する動的感度特性と損傷評価への適用,土木学会論文集, Vol. 442, V-16, pp. 61～70, 1992. 2., 2) (社)土木学会:構造システムの最適化～理論と応用～, 1988

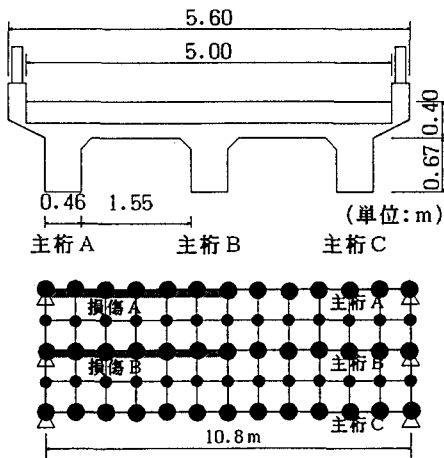


図2 解析モデル

表1 MCK型SI法の解析精度の検討

	理論値	初期値	同定値
主桁A	1.50	1.79	(1.60) (6.67)
主桁B	1.50	1.79	(1.60) (6.67)
主桁C	1.00	1.21	(1.00)

単位: 剛性EI ($\times 10^{12}$ kgf $\cdot$ cm 2)
()内は同定誤差

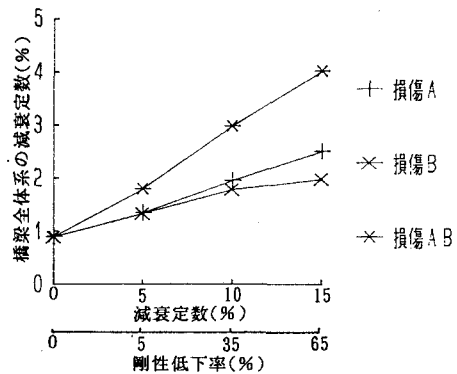


図3 剛性低下率と橋梁全体系の減衰定数との関係(1次モード)

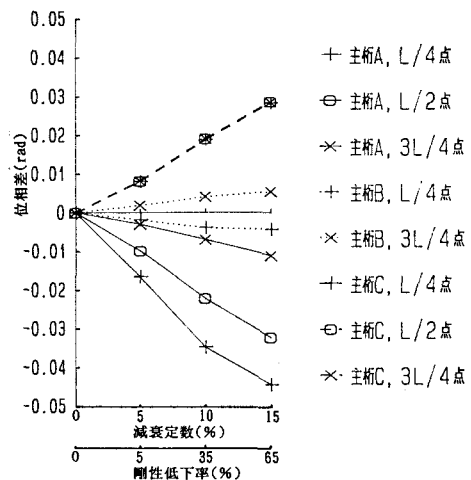


図4 剛性低下率と位相差との関係(1次モード, 損傷A)