

鋼橋の振動を利用した損傷の一検出法

大阪市立大学工学部 正 員 中 井 博
阪神高速道路公団 関 本 宏

三菱重工業(株) 正 員 佐々木伸幸
三菱重工業(株) 正 員 井上幸一
○大阪市立大学工学部 学生員 川田隆夫

1. まえがき 橋梁構造物の主桁に損傷が生じた場合、その断面では、断面2次モーメントが低下し、これに伴って種々な力学的特性が変動する。すなわち、それらには、①たわみ、②たわみ角、③曲率、および④ひずみ、などがあげられる¹⁾。まず、本研究では、ある区間にわたる曲率の変化を計測することにより、断面2次モーメントの変動を計測する曲率計測法の原理について述べる。つぎに、主桁に断面欠損のある場合に対する断面二次モーメントの変動の推定法を静的荷重を受ける場合について示す。さらに、これを正弦波起振機を用いた動的載荷実験に応用すれば、小さい加振力 $F(t)$ でもより大きい変位が得られ、正確な実験ができることを示す。

2. 曲率計測法の原理 曲率計測法とは、両端ナイフエッジのレバーの中央にダイヤルゲージを取り付けた簡単な計器を用いて、供試体のある区間 λ の中央の変位 δ を計測する。そして、供試体の曲げ剛度が EI で、その両端に作用する曲げモーメント M が等しいものとみなせる場合、供試体の着目点に作用する曲げモーメントを、 $M=8EI\delta/\lambda^2$ より測定しようとするものである。この方法は、過去に斜板や異形板の曲げモーメント(曲率)を計測するのによく利用されてきた²⁾。

本研究では、図-1に示す単純桁であれば、損傷の有無による曲げモーメントが変動せず、変位 δ のみが変動するので、これにより断面二次モーメント I の変動を、推定しようとするものである。たとえば、スパン l の両端単純支持された等断面梁に、集中荷重 P が $x=a$ の点に載荷された場合を考える。ある区間 λ の両端の曲げモーメントがそれぞれ M_{i-1} および M_{i+1} と異なる時、断面二次モーメントは、次式で表される。

$$I = \frac{M_i}{8E\delta_i} \lambda^2 \quad (1)$$

ここに、
$$M_i = \frac{M_{i-1} + M_{i+1}}{2} \quad (2)$$

いま、ヤング係数 E と区間長 λ とが不変である場合で、健全時の変位 δ_i が損傷を受けて変位 δ_i^* に変化したとすると、上式は、次のように変動する。

$$I^* = \frac{M_i}{8E\delta_i^*} \lambda^2 \quad (3)$$

この式より明らかなように、変位 δ が δ^* に増加することとは、断面二次モーメントが低下していることになる。この原理を利用して鋼橋の損傷を見つけ出そうとするのが、本文で言う曲率計測法である。

つぎに、単純桁が損傷を起こし、断面が欠損したときの変位 δ^* を求める。いま、区間 λ の中央点 i を挟んで、長さ η にわたり断面二次モーメントが損傷を受けて I^* に減少しているものとする。このときの変位 δ^* をモールの定理を用いて求め、健全時の変位 δ を損傷時の変位 δ^* で割って無次元化し、それを健全性指数(Soundness Indexで、以下S. I. と略す)と呼ぶことにすると、S. I. は、次式で表される。

$$S. I. = \frac{\delta}{\delta^*} = \frac{1}{1 + \frac{2\eta}{\lambda} \left(\frac{1}{I^*} - 1 \right) \left(1 - \frac{\eta}{2\lambda} \right)} \quad (4)$$

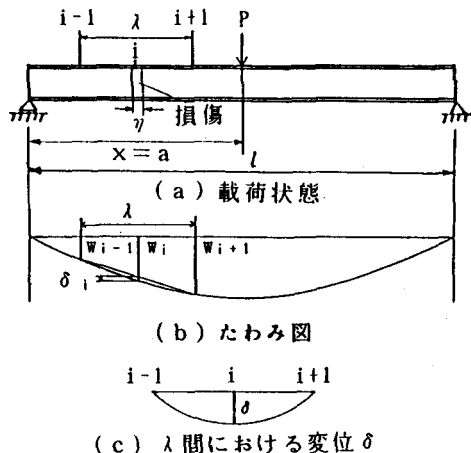


図-1 集中荷重を受ける損傷のある単純桁

3. 共振現象を利用した動的曲率計測法 静的荷重を用いて曲率計測法を行うとき、荷重が小さいと変位 δ も小さい。しかし、橋梁を共振させれば、小さな起振力 $F(t)$ でも、動的増幅率(D. A. F.)倍された大きな変位 δ が得られる³⁾。すなわち、 h を減衰定数とすれば、D. A. F. は、次式で与えられる。

$$(D. A. F.) = 1/2h \quad (5)$$

また、静的荷重では、健全時と損傷時とで荷重状態を完全に一致させることがかなり困難である。しかし、起振機としてサーボ式のアクチュエーターを用いれば、振動数や起振力の制御が容易であり、同一のたわみでの共振現象を再現しやすい。しかしながら、損傷前後で減衰係数 h が変動しないことが前提であること、および動の変位が感度よく測定できるセンサーを使用する必要がある。

4. 解析結果と考察 図-2は、式(4)のS. I. と損傷幅 η/λ との相関図としてプロットしたものである。

単純桁では、損傷の有無で曲げモーメントが変化しないため、損傷のあるところのみで変位 δ の変化が現れる。そして、たとえば断面二次モーメントの低下率が70%(一定)で、損傷幅が $\eta/\lambda = 0.005$ 、および $\eta/\lambda = 0.025$ のときのS. I. の変化量は少ないが、損傷幅が $\eta/\lambda = 0.05$ になると、S. I. の変化量は顕著に現れる。

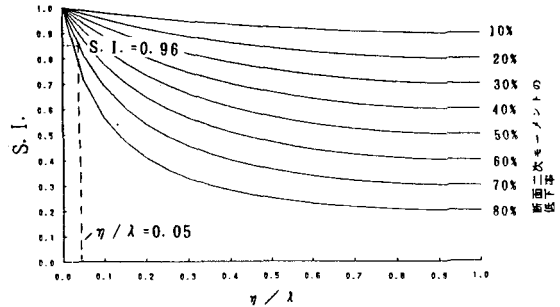


図-2 S. I. と η/λ との相関図

格子桁橋のS. I. も、伝達マトリックス法⁴⁾で容易に求められることを示した。

5. 室内実験による結果の考察

模型桁に損傷を与えたときの平均ひずみ ε の変動を実測したので、その結果から、曲げモーメント $M = E \varepsilon W$ (W : 断面係数) を算出して変位 δ を求め、これを実験値とした。

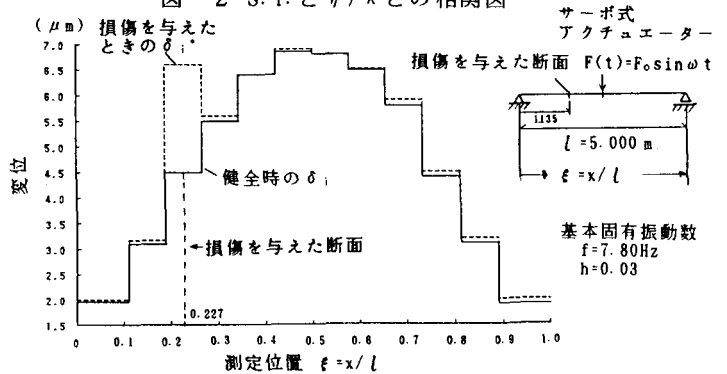


図-3 低下率42.9%のときの変位 δ の変動(実測値)

実験供試体は箱形断面の単純桁であつたので、損傷を入れたところだけで変位 δ の変化が現れるはずである。しかし、実験では、測定誤差のため若干ばらつきがあつた。そのため、損傷幅 $\eta/\lambda = 0.026$ (一定)としたとき、断面二次モーメントの低下率8.0%では、損傷の場所の確認がかなり困難であつた。また、低下率16.8%では損傷の場所をやつと特定することができた。ところが、図-3に示すように、低下率42.9%になると、損傷の場所と変位の変動とを明確にすることができることが明らかになった。

6. まとめ 種々な検討の結果、本文で提案した動的曲率計測法には、まだ解決すべき問題も多々あるが、鋼橋の損傷を見つける方法として可能性があることがわかつた。

<参考文献>

- 1) 西村 昭・藤井 学・宮本文穂・加賀山泰一：橋梁の損傷評価における力学的挙動の有効性、土木学会論文集、第380号、pp. 355~364、1987年4月、2) Homberg・Marx: Schiefe Stäbe und Platten, Werner-Verlag GmbH・Düsseldorf, 1958、3) 中井 博：土木構造物の振動解析、森北出版、1987年3月、4) 中井 博・谷田玲二・奥村敏久：伝達マトリックス法の不正格子桁橋の解析への応用と模型実験、土木学会論文集、第243号、pp. 7~18、1975年11月