

鉄筋コンクリート桁橋の振動計測による構造同定

新日鉄エンジニアリング(株)
 東京大学大学院
 君津市役所

正会員○櫻井 信彰
 正会員 長山 智則
 林 俊弥

中山 逸人
 学生会員 H.M.Dinh
 石井 一成

1. はじめに

我が国の道路橋は、橋長 2m 以上のもので 60 万橋以上もあり、その多くは高度成長期に集中して建設されている。これらの橋梁の大半は、市町村管理の橋梁であり、現在、各道路管理者において現状把握のための点検および長寿命化に向けた様々な取組みが行われている。さて、橋梁のモニタリングには、ある構造部位に着目した強度・ひずみなどを測定するミクロ的な手法と、構造全体の変形・振動測定などを測定するマクロ的な手法があるが、後者の取組事例は比較的少ない。本報告では、昭和 30 年代に建設した鉄筋コンクリート（以下、RC）桁橋に着目して、振動測定による構造同定を試み、橋面からのみ行うマクロ的な構造診断に向けた基礎実験を行った。

2. 実橋調査による状態把握

振動測定による構造同定に先立ち、対象橋梁の状態把握のための実橋調査を行った。対象橋梁は、君津市が管理する K 橋で、有効幅員 3m、橋長 12m の昭和 31 年竣工の RC 桁橋である（図 1）。本橋は設計に関する成果品が全くないため、構造寸法の測定、シュミットハンマーによる各部のコンクリート強度確認、プロフォメーターによる鉄筋探査、ドリル法による中性化深さ確認などを行った（図 2, 3）。



図 1. K 橋



図 2. 鉄筋探査



図 3. 中性化深さ確認

実橋調査結果の概要は、以下の通りである。コンクリート強度は 17~27MPa 程度とバラツキが大きかったが、目立ったひび割れは見られない。鉄筋は、丸鋼を用いており、桁下面でかぶりコンクリートが剥落し発錆していたが、著しい減肉は見られない。中性化深さは床版下面のような雨水にさらされない個所でも 30~50mm とバラツキが大きい。鉄筋かぶりと同程度以上になっていた。支承は見受けられず、捨て型枠の上に桁を打設しただけの構造である。

なお、高欄はコンクリート製で、完成時の 15cm の床版上に後施工の増厚 15cm のコンクリートがあり、その増厚分はアプローチ部分へ連続しており、伸縮装置は見られなかった。

3. 振動測定

これまでに行った実験検討^{1),2)}から、支間に対して 4 等分した位置の両端と中央に加速度計を設置し、その 4 等分した位置に起振機を据えて、スイープ試験を行った。また、構造同定の精度を上げるため、剛性に寄与しない錘（橋体重量の 10% くらい）を付加した振動実験も合わせて実施した（図 4, 5）。

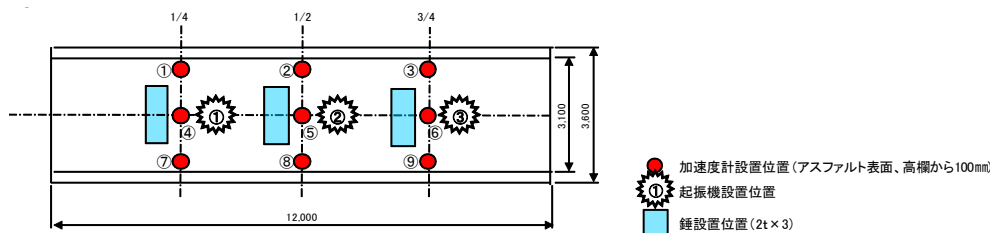


図 4. 振動測定要領



図 5. 振動測定状況

キーワード 鉄筋コンクリート桁橋、実橋振動実験、固有値解析、モーダル分析、構造同定

連絡先 〒293-0011 千葉県富津市新富 20-1 新日鉄エンジニアリング（株） TEL0439-80-4441

4. 構造同定

起振機による周波数分析を行い、卓越周波数における変形モード図を求めると同時に、3次元FEMモデルを作成して振動固有値解析を行い、実測値との比較・分析を行うものとする。周波数分析の一例として、起振位置①、錘なしの②位置の加速度計における周波数特性を図6に示す。結果として卓越するモードは、低い周波数から、1次曲げ、1次ねじり、2次曲げ、高欄開閉というようなモード形であった(図7)。これに対して、3次元FEMモデルは、実橋計測した寸法に基づき、平均的なコンクリート強度から逆算したヤング係数を用いて、高欄・増厚床版も考慮した健全な剛性(図8)として、支点条件をパラメータとして構造同定を図った。なお、支点条件としては、ピン、ピンローラー、固定などを想定して検討した。一例を図9に示す。

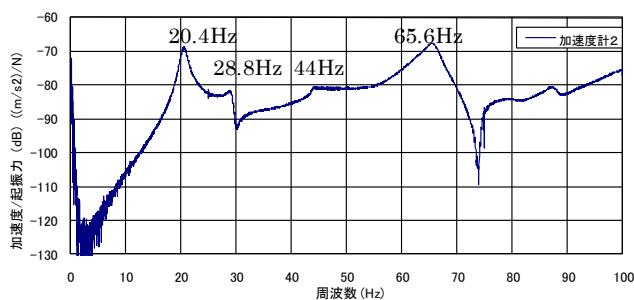


図6. 周波数特性 (起振位置①, 錘なし, 加速度計②)

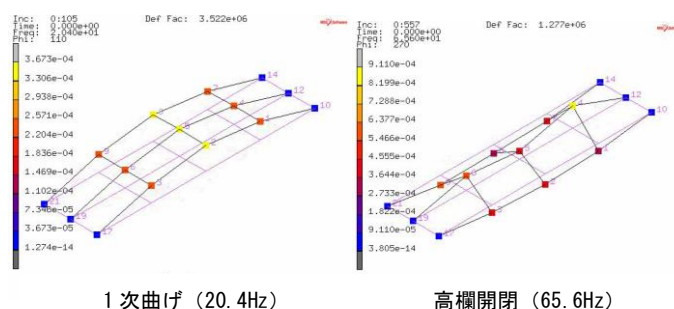


図7. 振動モード図

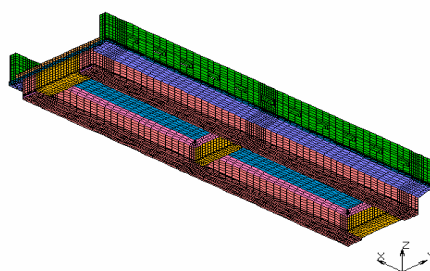


図8. 固有値解析モデル

材料物性
1. コンクリート(鉄筋以外全て):ソリッド要素
ヤング率:235e4 (N/mm²), ポアソン比:0.167
密度:2.5e-9 (ton/mm³)
2. 鉄筋:梁要素
ヤング率:2.05e5 (N/mm²), ポアソン比:0.3
密度:7.9e-9 (ton/mm³)

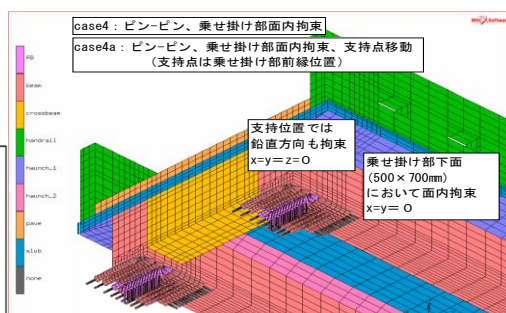


図9. 支点条件例

上記の条件で、支点条件をパラメータとして実験値と比較した結果を表1に示す。今回の構造同定では、代表的な構造寸法、測定された平均的なコンクリート強度による材料物性、健全な状態の剛性という単純化した条件でも、支点条件をピンもしくは水平方向の固定という条件とすれば、数%の精度で構造同定できた。

表1. 実験と固有値解析の比較

ケース名、支持条件	振動モードおよびその振動数(Hz)				実験値との比較 (解析値/実験値)			
	1次曲げ	ねじり	2次曲げ	高欄開閉	1次曲げ	ねじり	2次曲げ	高欄開閉
実験値(k0-1-1)	20.4	28.8	44	65.6	1.00	1.00	1.00	1.00
case1 ピンローラー	14.1	25.0	34.7	63.3	0.69	0.87	0.79	0.96
case1a ピンローラー、支持点移動	16.1	27.9	37.1	64.7	0.79	0.97	0.84	0.99
case2 ピンピン	20.7	26.3	41.6	63.4	1.01	0.91	0.95	0.97
case2a ピンピン、支持点移動	23.8	29.4	45.7	64.7	1.17	1.02	1.04	0.99
case3 乗せ掛け部下面拘束	25.1	30.2	54.1	65.0	1.23	1.05	1.23	0.99
case4 ピンピン(乗せ掛け部面内拘束)	23.0	28.5	44.1	65.0	1.13	0.99	1.00	0.99
case4a ピンピン(乗せ掛け部面内拘束)、支持点移動	24.6	29.8	47.6	65.0	1.21	1.03	1.08	0.99

5. まとめ

① 小規模RC橋の振動測定による構造同定は、平均的な寸法、平均的な材料物性で、数%の精度で可能である。

② 小規模RC橋の支点条件は、ある程度支点の固着を考慮すれば、十分な精度が得られる。

今後、錘を付加した実験の構造同定による同定精度向上の可否、実橋調査結果の劣化損傷部特定の可否などについて研究を継続する予定である。

【参考文献】 1) 中島寛文ほか、圧延形鋼を用いた既設鋼桁橋の振動計測試験とその構造解析モデル、土木学会第65回年次学術講演会、2010
2) H.M. Dinhほか、Boundary condition identification of a Real-life bridge by Use of additional known masses, 5th World Conference on Structural Control and Monitoring, 2010. 7