

関西大学大学院理工学研究科 学生員○篠宮 拓 神戸大学大学院工学研究科 正会員 川谷 充郎
 京都大学大学院工学研究科 正会員 金 哲佑 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 山口 隆司
 関西大学総合情報学部 正会員 古田 均 関西大学環境都市工学部 正会員 堂垣 正博

1. まえがき

わが国が置かれている現在の状況を勘案すれば、全橋梁を対象に詳細な点検を実施するよりも、点検が必要な橋梁を適格に抜き出して進めることが肝要である。それには安全性の程度が概略把握できる簡易なモニタリングが有効であろう。そのなかで、加速度に着目した手法が多く検討されている¹⁾。橋梁が振動する誘因には種々考えられる。車輛振動はその一つで、それによるモニタリングはコストや計測への過大な制約が少ないため、点検・調査に活用する上で優位である。

本研究では、PC 桁橋の劣化損傷度と振動特性との関係を有限要素法によって解析的に明らかにする。実橋での載荷試験から得られたデータを参考に、解析モデルを作成し、プレストレス抜けや断面剛性の低下が固有振動数に及ぼす影響について考察する。

2. 実橋での載荷試験

2.1 試験概要

対象とした橋梁は、単純 PC ポストテンション T 桁橋である。静的および動的な載荷試験は、一般車輛を交通止めにし、試験車輛のみの走行で行った。Fig.1 に平面図およびセンサの設置位置を示す。

2.2 載荷試験での計測結果

10 回の動的載荷試験では、いずれもほぼ同じ振動性状を呈した。FFT 解析から得られた卓越振動数を固有振動数とした。また、車輛と橋梁が連成振動した状態での加速度から橋梁の固有振動数を割り出すことができないため、車輛が橋梁を通過したと見なされる 7 秒以降の加速度波形から推定した。その結果を Table 1 に示す。

G2 桁では桁下と橋面上のいずれの観測値からも 2 個の卓越振動数が得られた。G4 桁では 1 個だけであった。G2 桁が外桁であることから、曲げと曲げねじりに関する一次の固有振動数が得られたと判断した。曲げ振動の一次固有振動数は 3.662Hz、曲げねじり振動のそれは

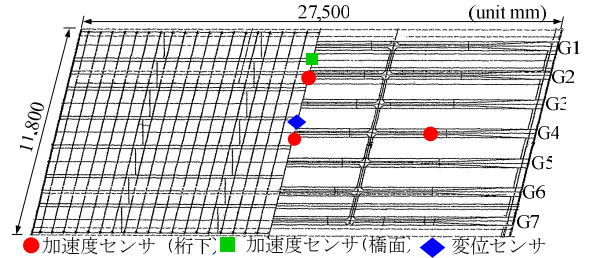


Fig.1 Top view and location of sensors

Table 1 Identification result

	Eigen frequency (Hz)		Damping coefficient
	Bending	Torsion	
1/2 point under G2 girder	3.662	4.517	—
1/2 point face G2 girder	3.662	4.517	—
1/2 point under G4 girder	3.662	—	0.0255
1/4 point under G4 girder	3.662	—	—

4.517Hz で、全 10 ケースともほぼ同じ結果となった。減衰定数は、10 回のそれぞれに対する時刻歴たわみから対数減衰率を求め、それらを平均し、0.0255 と同定した。

3. 橋梁一車輛系の連成振動解析

3.1 解析モデル

実橋による試験から得られたデータをもとに、対象橋梁を Fig.2 のようにモデル化した。1 節点 6 自由度からなるはり要素を用い、計 455 節点、458 要素の格子状モデルとした。質量は集中質量とし、設計図に示されていた 2,945kN (300.2ton) を各節点に等しく配分した。断面の剛性は、PC 鋼材も含めて全断面を有効として算出した。初期プレストレス力は主桁、横桁ともに設計荷重時の許容応力度に PC 鋼材の断面積を乗じた値、初期負曲げモーメントはその偏心量を考慮し、初期プレストレス力に PC 鋼材の図心から中立軸までの距離を乗じた値とした。車輛モデルは 8 自由度系の振動体とした。

3.2 有限要素法による振動解析

(1) 数値解析に用いる PC 桁モデル

数値解析を実施するにあたり、つぎの仮定を設ける。

- ① PC 鋼材の腐食に伴う断面の減少率とプレストレスの減少率は、比例関係にある。
- ② 腐食は桁全長にわたって一様に進行し、7 主桁す

べてに発生する。

- ③ PC 鋼材の断面減少を換算断面 2 次モーメントで評価する。

橋梁-車輛系の運動方程式を直接時間積分法いわゆる Newmark の β 法 ($\beta=1/4$, $\gamma=1/2$) で解いた。数値解析はつぎの 3 ケースである。

- A) PC 鋼材の断面減少に伴い、プレストレス力が 100%から 0%まで減少する。減少率を 10%ずつ変化させ、断面 2 次モーメントは鋼材の腐食分だけ減少させる。
 B) A) の条件とともに、断面の剛性が健全時より 10%低下した場合
 C) A) の条件とともに、断面の剛性が健全時より 20%低下した場合

(2) 数値解析結果とその考察

Fig.3 にプレストレス抜けおよび断面の剛性低下に伴う固有振動数の変化を示す。1 次曲げ振動の固有振動数に着目すれば、固有振動数はプレストレス抜けとともに徐々に増加する傾向にある。プレストレスの減少率が 50%の場合の固有振動数は健全時のそれに比較して 1.4%程度高い。それ以上のプレストレス抜けに対しては、次第に低下した。これは、固有振動数を増大させる作用のあるプレストレス抜けと、減少作用のある剛性低下が同時に起これば、剛性低下が及ぼす影響のほうが大きいことを示している。

Fig.4 に 1 次の曲げと 1 次の曲げねじりの固有振動数の変化の割合を示す。これより 1 次の曲げねじりの方がより変動することがわかる。通常、プレストレス力は低次の振動数により大きな影響を及ぼすが、横桁が健全な状態にあるとされていることや、軸方向の微細な剛性低下が及ぼす影響の違いから、このような結果になったと考えられる。したがって、プレストレス力の抜けに対しては、曲げ振動より曲げねじり振動の方が、主桁の損傷を捉えやすい。

Case B, Case C についていえば、断面の剛性が 10%低下すると、固有振動数は約 5%減少する。一般的に剛性の低下は、低次の固有振動数に鈍感であるものの、その変化はプレストレス抜けの場合に比べて明らかに大きい。このことから、プレストレス抜けが固有振動数に及ぼす影響は少ないものの、プレストレスが抜けることによってひび割れがより顕著になると、それまでの鈍感な変化から急激な変化を呈するようになるものと思われる。

4. あとがき

- (1) プレストレス力の抜けによって固有振動数は増加した。この影響は 1 次鉛直曲げ振動や 1 次曲げねじり振動により顕著に現れる。また、横桁が健全であれば、固有振動数の増加率は 1 次曲げねじり振動のほうが大きい。
 (2) 鋼材の腐食が断面 2 次モーメントに逐次影響するとした場合、劣化初期の段階から末期にわたって放物線状に変化した。

参考文献

- 1) 土木学会編：橋梁振動モニタリングのガイドライン，丸善，2001.2.

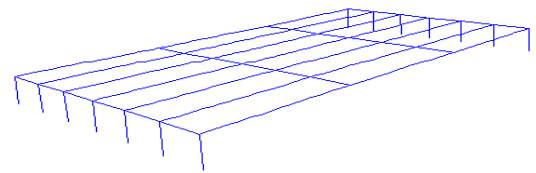
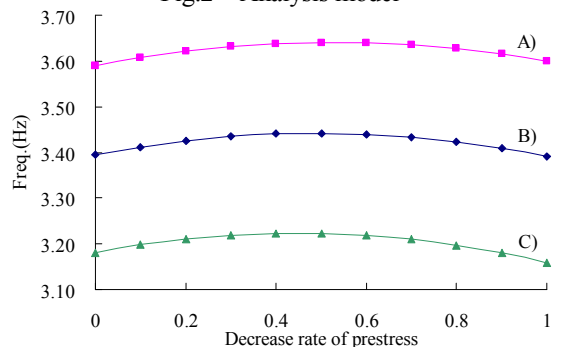
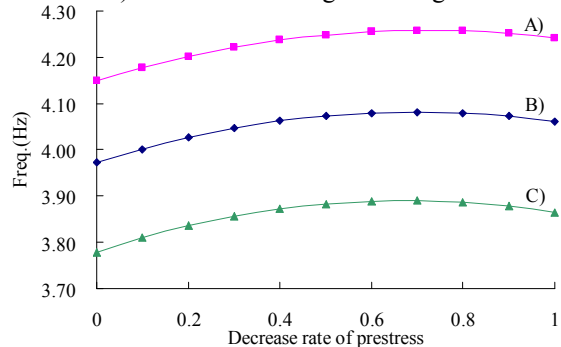


Fig.2 Analysis model



a) 1st vertical bending mode of girder



b) 1st torsional mode of girder

Fig.3 Freq. - Decrease rate of prestress

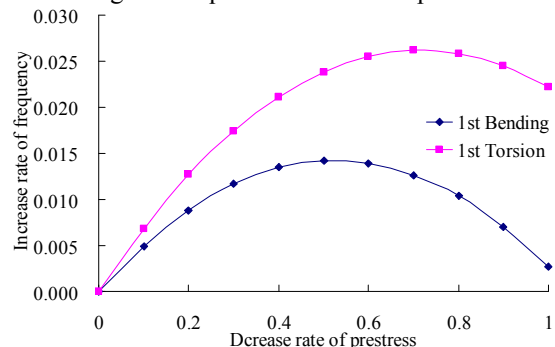


Fig.4 Comparison with bending and torsion