

プレストレス力抜きを勘案した短スパン PC 桁橋の固有振動数の算定

阪神高速技術(株) 正会員○篠宮 拓 神戸大学大学院工学研究科 正会員 川谷充郎
 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

高齢化する橋梁が今後益々増加するため、効率的な維持管理のためには、全橋梁を対象に詳細点検するよりも、点検が必要な橋梁を適格に抽出して実施す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ような簡易なモニタリングが有効で、振動数に注目した方法が多く検討されている¹⁾。

車両の振動は、橋梁を振動させる原因の一つで、それを活用したモニタリングを実施すれば、コストや計測への過大な制約が少ないため、詳細点検のための一次情報を収集する上で優位であると考えられる。

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る数値解析で明らかにする。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. 現場載荷試験

2.1 試験の概要

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、一般車両を交通止めにし、試験車両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 載荷試験で得られた計測結果

10 回の動的載荷試験では、いずれもほぼ同程度の振動性状を呈した。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、車両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、車両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 つの卓越振動数が得られた。G4 桁では 1 つだけであった。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 4.517Hz で、全 10 ケースともほぼ同じ結果となった。減

キーワード：PC 桁、固有振動数、鋼材腐食、剛性低下

連絡先：〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3 丁目 3 番 35 号 関西大学

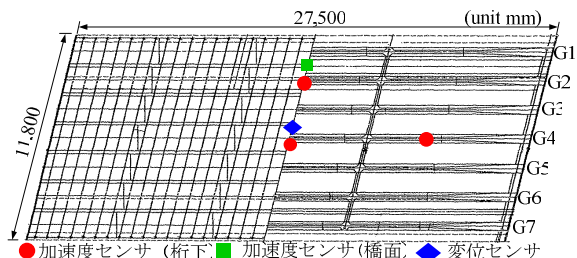


Fig.1 Top view and location of sensors

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	—	—

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—車両系の連成振動解析

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、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 鋼材の中心から中立軸までの距離を乗じた値とした。車両モデルは 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。

橋梁一車軌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。減衰にレイリー減衰を適用し、実測で得られた 0.0255 を減衰定数とした。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方が大きいことを示している。曲げねじり振動においても同様で、断面の剛性低下が及ぼす影響の方が大きい。

つぎに、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していることや、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 において、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方が大きい。
- (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、劣化の初期段階から末期にわたって 2 次曲線に変化した。

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.

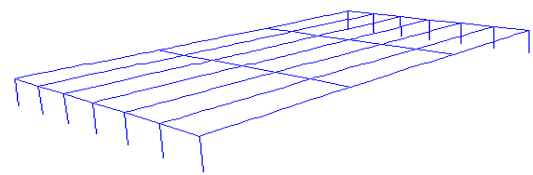
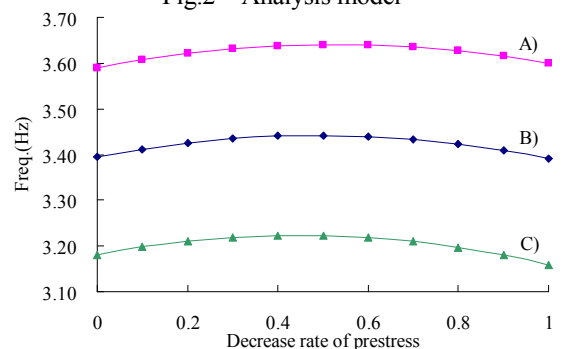
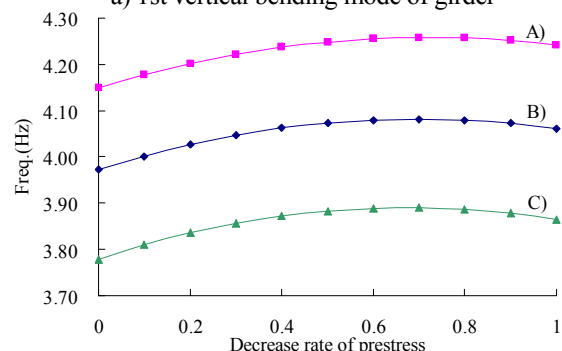


Fig.2 Analysis model



a) 1st vertical bending mode of girder



b) 1st torsional mode of girder

Fig.3 Freq. - Decrease rate of pre-stress

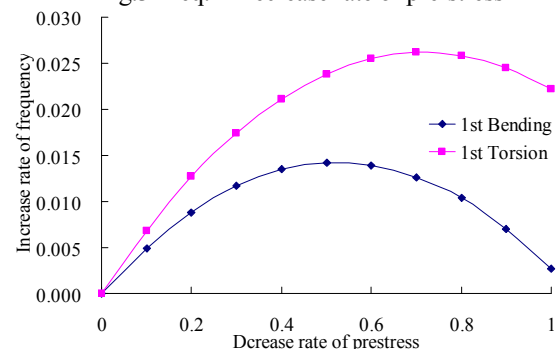


Fig.4 Comparison with bending and torsion