

損傷劣化を模擬した PC 箱桁の振動特性と耐荷特性の変化に関する実験的検討

京都大学 学生員 ○竹村 光平
 京都大学大学院 学生員 近藤 洋佑

大阪市立大学 正会員 林 巖
 京都大学大学院 正会員 金 哲佑
 土木研究所 正会員 吉田 英二

1. 序論

我が国におけるプレストレストコンクリート橋（以下 PC 橋）は、日本の全橋梁の約 44% を占め、これまでも多くの劣化事例が報告されている。主な劣化として、グラウト充填不良から生じる PC 鋼材の損傷の劣化が挙げられる。このような橋梁に対する点検・修繕にかかわる意思決定や、効率的な維持管理を支援する手法として、振動ヘルスマモニタリングが注目されている。しかしながら、PC 橋はプレストレス力を有するため損傷による曲げ剛性の変化が現れにくく、その結果振動特性の変化も明確でないことが予想され、PC 橋を対象とする振動モニタリング技術の有効性については検討が必要である。

そこで本研究では、PC 鋼材破断とグラウト充填不良が生じた PC 箱桁を対象に、損傷に対する PC 箱桁の応答特性を把握することを目的とする。グラウト未充填と PC 鋼材の破断を模擬した損傷を導入した PC 箱桁に対して、室内での 4 点曲げ実験、振動実験を実施し、損傷が PC 箱桁の耐荷特性や振動特性に及ぼす影響について検討する。また、耐荷特性と振動特性の相関関係について検討する。

2. 実験概要

実験供試体は、健全な PC 箱桁 1 体(G0)と、グラウト充填不良を模擬した PC 箱桁 2 体(G1,G2)とする。Fig.1 に示すように、G1 は Damage area 1 に、損傷桁 G2 は Damage area 1 と 2 の両箇所にグラウト未充填を施した。4 点曲げ実験では、1 台の 3000kN の油圧ジャッキを用いて、載荷梁を介して載荷を行った。載荷にあたり、変位はジャッ

キストローク、荷重はロードセルにより監視し、荷重制御で Fig.2 に示す載荷プロセスで載荷実験を実施した。PC 箱桁の耐荷特性を把握するため、変位計、ひずみゲージから橋梁応答を計測した。G1 において、Tendon cut(1)では Fig.1-(c)の左側 1, 2, 3 の PC 鋼材を、Tendon cut(2)では Fig.1-(c)の左側 4, 5, 6 の PC 鋼材を切断する。G2 においては、Tendon cut(1)では Fig.1-(c)の両側 1, 2, 3 の PC 鋼材を、Tendon cut(2)では Fig.1-(c)の両側 4, 5, 6 の PC 鋼材を切断する。なお、切断はグラウト未充填箇所とする。

また、載荷実験の各載荷状態における振動特性を把握するために、各載荷ケース除荷後にインパクトハンマーによる衝撃振動試験を行い、応答加速度を計測後、周波

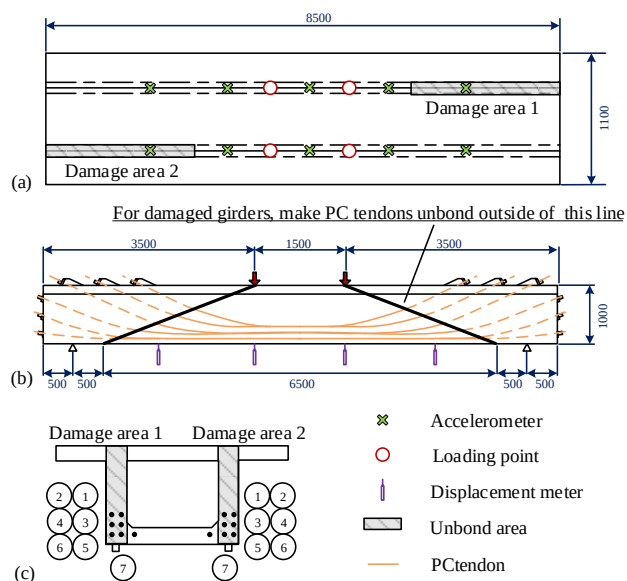


Fig. 1 Experimental girder: (a) Plan view, (b) Elevation view, (c) Cross-sectional view

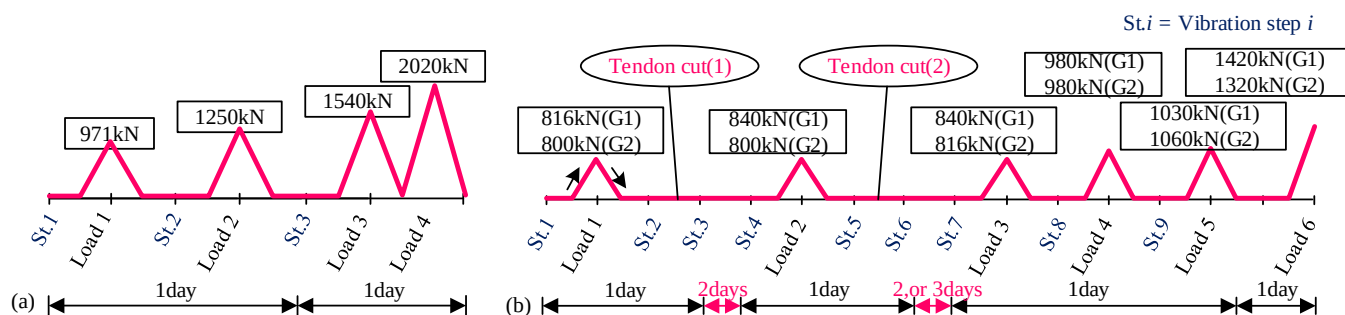


Fig. 2 Process of Experiment: (a)G0, (b)G1 and G2

キーワード PC 箱桁, 振動ヘルスマモニタリング, 耐荷特性, PC 鋼材破断
 連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-183 社会基盤創造工学分野研究室 TEL 075-383-3421

数応答関数¹⁾を用いて固有振動数を同定した。

3. 耐荷特性評価

支間中央における荷重－変位曲線を Fig.3 に示す。健全桁 G0 では、載荷ステップを重ねても、前載荷ステップの除荷点を次の載荷ステップが通過する。一方、損傷桁 G2 では、除荷点よりも低い荷重レベルを通過している(G1 桁も同様)。これは、G0 では PC 鋼材のプレストレス力を十分に保有しており、コンクリートにひび割れが生じるような領域においても、十分な再帰性を有するが、曲げ変形に対する剛性低下が少ない一方、G1、G2 では、PC 鋼材切断によりプレストレス力が部分的に低下し、残留する変形量がやや大きくなったものと考えられる。

また、近藤らの考察²⁾で使用された橋梁性能の評価法を用いて、曲げモーメントに対する応答特性(Z) (以下、応答特性とする。) を Fig.4 に示す。なお、本検討では、載荷前の応答特性を 100%とした。

全ての供試体において、応答特性は、損傷の進展に伴い、減少する傾向にあるが、G1、G2 の Loading2、Loading3 では、上昇していることがわかる。これは、載荷実験を 2 日間隔で実施したため、残存する PC 鋼材のプレストレス力による復元力が作用したと推測する。同様の現象が実 PC 橋においても確認された²⁾。

次に、Table 1 に示す各載荷実験のウェブに生じたひび割れ長さに着目する。表より、載荷を重ねるにつれてひび割れ長が増加することがわかる。また、最終ステップでは、G0 では、荷重 2020kN で左右のウェブに入ったひび割れ長の平均が 28,732mm であるのに対し、G1 では、荷重 1420kN で 30,347mm、G2 では、荷重 1320kN で 33,579mm であった。鋼材破断を有する G1、G2 は、G0 よりも低い荷重レベルでひび割れ長が長いため、PC 箱桁の残存耐力が低いことが推測できる。また、G1 での左右のウェブに生じたひび割れ長を比較すると、各載荷ステップにおいて、PC 鋼材破断を有する左側の方が多くひび割れが生ずることがわかる。

4. 振動実験における同定結果

振動実験における同定結果を Fig.5 に示す。図より G0、G1 において損傷が進展するにつれて曲げ 2 次モードの振動数が減少傾向にあることがわかる。一方、G2 では、健全時よりも載荷後の振動数の方が上昇するステップがある。これは、計測データのみでは現象の解明に至ってお

[参考文献]

1) Alena Bilosova: MODAL TESTING, 2011

2) 近藤洋佑, 他 3 名: 現地載荷実験に基づく PC 橋の橋梁性能および振動モニタリング, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol. 75, No. 2, I_51-I_62, 2019.

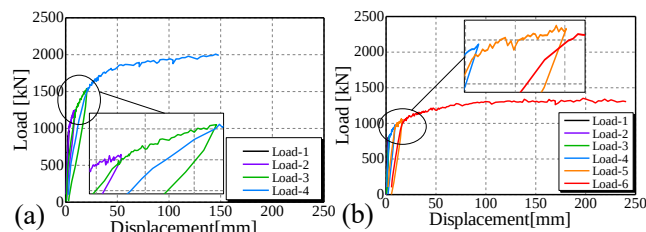


Fig.3 Load-displacement curves: (a) G0, (b) G2

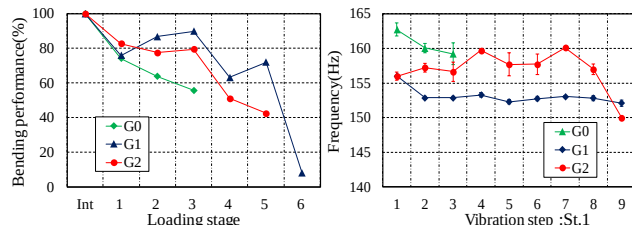


Fig.4 Bending performance

Fig.5 Frequency changes of 2nd bending mode

Table 1 Crack length (mm)

G0			G1			G2		
Left	Right	Ave.	Left	Right	Ave.	Left	Right	Ave.
962	1013	987 (971kN)	794	160	477 (816kN)	296	347	321 (800kN)
9604	8066	8835 (1250kN)	1086	452	769 (840kN)	1152	1034	1093 (800kN)
13835	11034	12434 (1540kN)	1086	772	929 (840kN)	1422	1446	1433 (816kN)
29510	27936	28723 (2020kN)	7881	5202	6541 (980kN)	6747	6285	6516 (980kN)
			10934	6741	8837 (1030kN)	11557	10126	10841 (1060kN)
			30836	29859	30347 (1420kN)	32455	34704	33579 (1320kN)

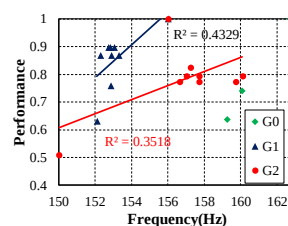


Fig.6 Correlation of 2nd bending mode and Bending performance

らず、今後、解析を通して検討予定である。

G1、G2 に着目すると、St.4、St.7 で振動数の上昇が確認された。これは、応答特性と同様、残存する PC 鋼材のプレストレス力による復元力が作用したものだと推測する。一方、PC 鋼材切断の影響は、振動特性にはみられなかった。

5. 曲げモーメントに対する応答特性と振動特性の相関

応答特性と振動特性の相関関係を Fig.6 に示す。全ての供試体において、正の相関がみられる。一方、G2 では、鋼材損傷導入後に振動数が上昇するような現象も見受けられるため、今後、解析的に検討する。

6. 結論

本研究では、損傷劣化を模擬する PC 箱桁に対して載荷実験と振動実験を行い、損傷が進展する PC 箱桁の振動数と曲げモーメントに対する応答特性に相関があることを明らかにした。特に、曲げ 2 次モードにおける振動数の変化によって耐荷特性を評価できる可能性を示した。