

地方自治体が管理する橋梁の損傷と動特性に関する実験的研究



舞鶴工業高等専門学校 建設システム工学科
玉田 和也

研究内容

現在、橋の点検は目視点検のみ。

↓ 問題点：特に地方自治体では

- ・ 技術者の主観や点検時間によって結果が左右。
- ・ 点検が困難な場所では費用や時間がかかる。

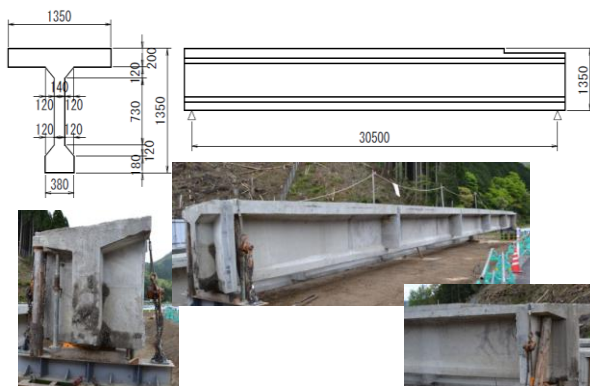
振動計測による橋の客観的な健全度評価法の開発（今回はP C桁）

対象橋梁（福井県大飯町）

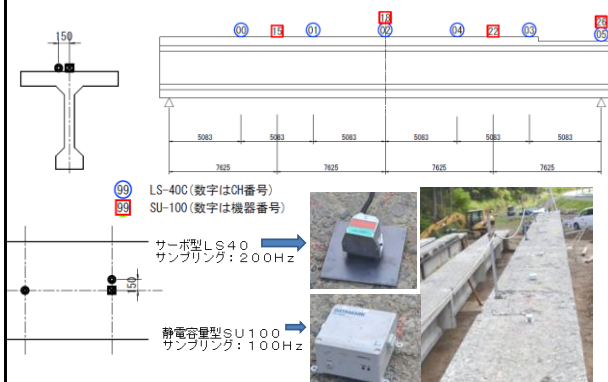
- ・ 橋 梁 名： 川上橋（かわかみばし）
- ・ 橋 形 式： 単純P CポストテンションT桁（4主桁橋）
- ・ 平 面 形 状： 斜 橋（斜角70度）
- ・ 橋 長： 31.10 m
- ・ 支 間 長： 30.50 m×1径間
- ・ 幅 員： 4.55 m
- ・ 架 設 年： 昭和30年（建設後58年経過）



計測概要① 桁寸法



計測概要② センサー配置



計測概要③ 強制加振位置



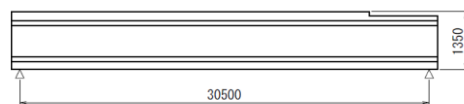
計測概要④ 損傷パターン

- STEP 0 初期状態
- STEP 1 はつり一回目
- STEP 2 はつり二回目
- STEP 3 PC鋼線切断一回目
- STEP 4 PC鋼線切断二回目

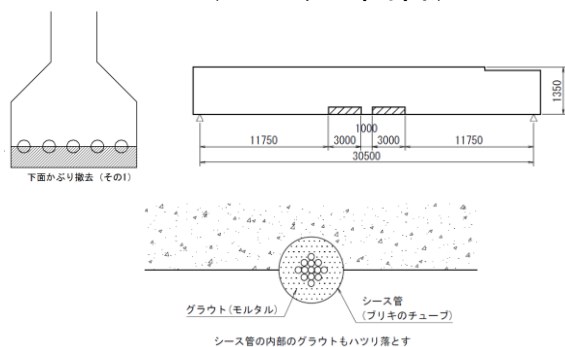
- NEXCOにおけるPC桁の損傷事例



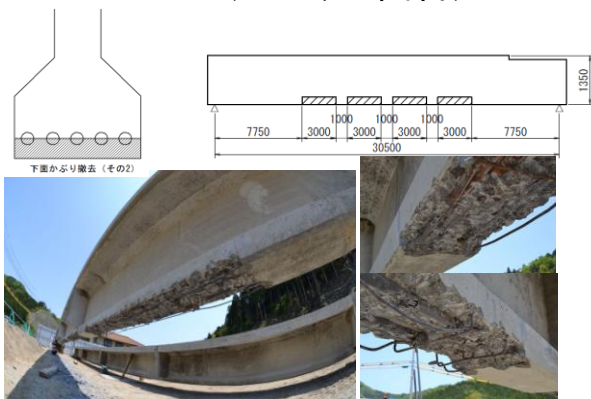
振動計測 STEP 0 初期状態



STEP 1 (はつり一回目)



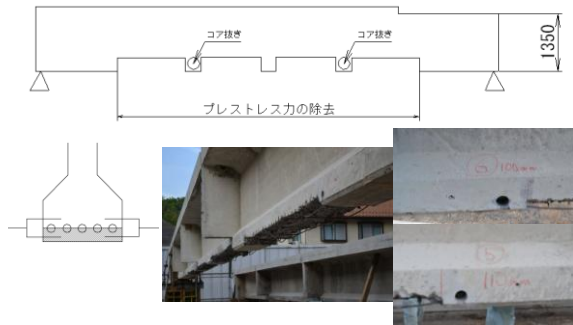
STEP 2 (はつり二回目)



STEP 3 (PC鋼線の切断一回目)



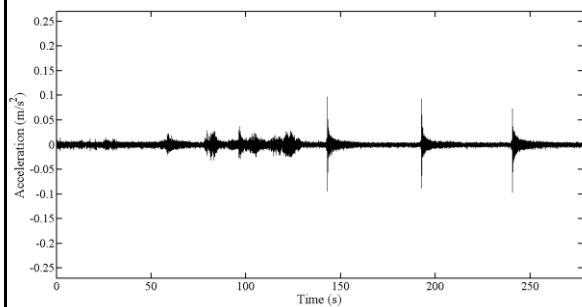
STEP 4(PC鋼線の切断二回目)



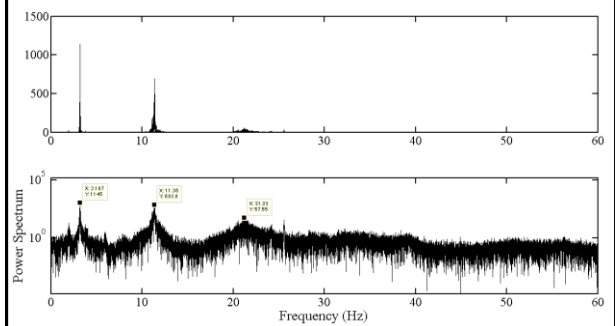
計測風景



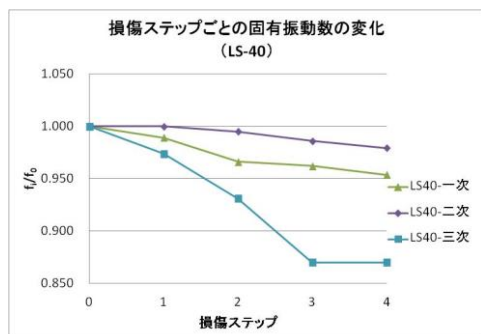
計測データ (STEP4)



解析結果



損傷ステップごとの固有振動数の変化 (LS-40)



実験結果から

- 実験結果より、損傷が進行するにつれて、固有振動数は減少する。
- 振動モードによってその減少量は異なる。
- PC鋼線切断より、かぶりコンクリートの欠損のほうが、固有振動数に与える影響は大きい。

振動方程式を用いた実験値との比較

検討条件①

- 単純支持桁
- PC桁 (断面内のひび割れを認めない)
- 振動モードは1次モードを想定
- 損傷は塩害を想定したかぶりコンクリートの剥落とPC鋼線の欠損



検討条件②

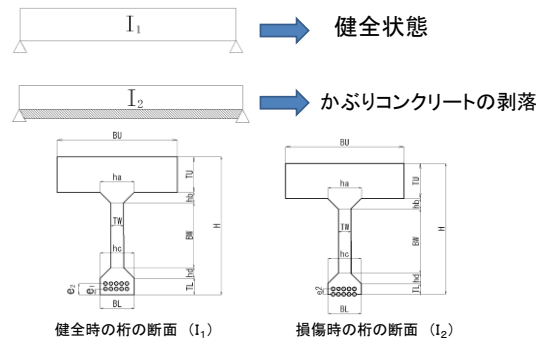
振動方程式 $F = \frac{i^2 \pi}{2L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$ において,

- かぶりコンクリートの剥落による重量の変化は小さい.
- ヤング係数は全断面で一定.

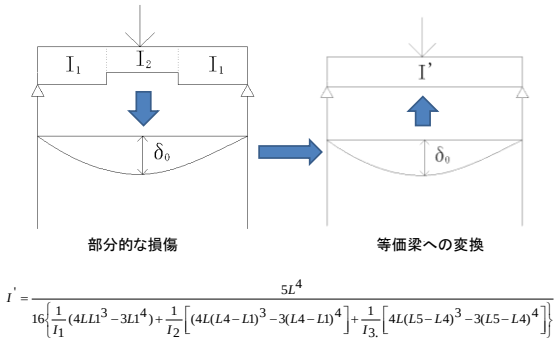


断面二次モーメントの変化によって振動数がどのように変化するかを追跡.

等価断面二次モーメントの計算①



等価断面二次モーメントの計算②



計算結果①

断面二次モーメント (m ⁴)					
	STEP				
	0	1	2	3	4
コンクリート断面	0.1584	0.1482	0.1417		
PC鋼線換算断面	0.1749	0.1655	0.1592	0.1576	0.1564

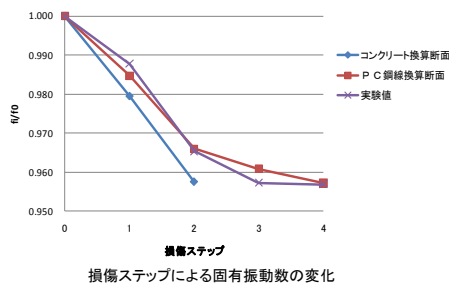
固有振動数 (Hz)					
	STEP				
	0	1	2	3	4
コンクリート断面	2.558	2.506	2.449		
PC鋼線換算断面	2.688	2.647	2.597	2.583	2.573
実験値	3.333	3.292	3.217	3.190	3.189

ステップごとの固有振動数の変化 (f _i /f ₀)					
	STEP				
	0	1	2	3	4
コンクリート断面	1.000	0.979	0.958		
PC鋼線換算断面	1.000	0.985	0.966	0.961	0.957
実験値	1.000	0.988	0.965	0.957	0.957

支点固定の様子



計算結果②



大川橋による検証

対象橋梁: 大川橋(おおかわばし)

橋 長 : 15.42m

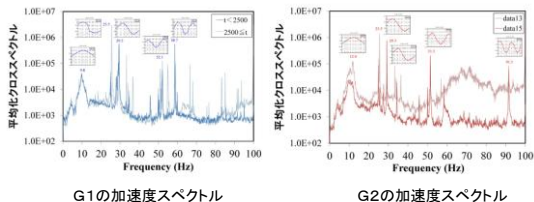
特 徴 : 写真右側の桁(G1)は損傷が激しく、写真左の桁(G2)は比較的健全であった。



G1損傷状態



計測結果



桁番号	G1	G2
1次モード(Hz)	9.880	11.680

提案手法による計算方法

振動方程式の支点条件は単純支持とした場合の式



支点条件による固有振動数の絶対値の不一致



支点条件係数 α で補正

回転バネ支点

$$F = \frac{i^2 \pi}{2L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$$

$$F = \alpha^2 \frac{i^2 \pi}{2L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$$

提案手法による計算②

断面寸法がG1とG2で異なるので、G1断面での固有振動数を振動方程式より求める。

支点条件係数を用いてG1の健全状態における固有振動数を算出する。

$$f_0 = \alpha^2 \frac{i^2 \pi}{2L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} = 1.54 \times 7.414 = 11.427(\text{Hz})$$

固有振動数の低下率 f_e / f_0 を計算すると、

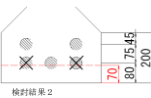
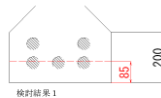
$$f_e / f_0 = \frac{9.880}{11.427} = 0.865 \text{ となり、13.5\%低下していることが}$$

わかった。また、断面二次モーメントの低下率は、

$$I_e / I_0 = 0.748 \text{ となった。これより、応力やたわみ量}$$

は約1.34倍に増加していると推測できる。

提案手法による計算③



断面二次モーメントが健全時の0.75倍になる断面状態を推測した結果...

かぶりが85mm剥落

もしくは、

PC鋼線2本の欠損と70mmの剥落

と等価な損傷であると推定できる。



写真から、G1桁は右図に近い損傷であることがわかる。

まとめ

G1桁の固有振動数の低下率は13.5%



断面二次モーメントの低下率は25%



たわみ、応力は34%増加



安全率は1.7から1.27に低下

橋の修繕や架けかえの客観的で、なおかつ、合理的な判断材料になることがわかった。



日月橋の健全度診断



橋梁諸元

橋梁名	日月橋(ひつきばし)
橋梁所在地	京都府与謝郡伊根町本庄
橋梁の状態	供用停止
路下条件	河川
架設年月日	不明(昭和30年代?)



橋梁諸元

橋梁形式	RCT桁橋
床版形式	鉄筋コンクリート床版
主構形式	T形桁
構造的特徴	損傷が非常に進行している
橋長	40.0m
支間長	9.5m × 4
斜角	直橋
幅員	2.52m

・桁下(1径間目)



・桁下(2径間目)



・桁下(3径間目)



・桁下(4径間目)

損傷状況

・損傷状況(2径間)



・損傷状況(3径間)



・損傷状況(4径間)



目視点検結果

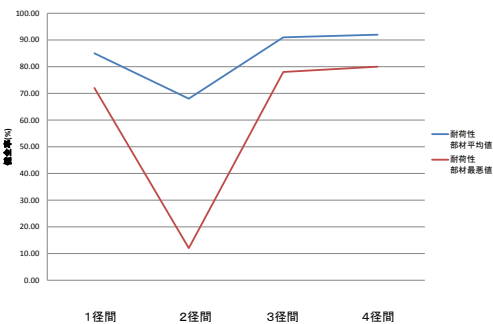
		橋梁材料の劣化		コンクリート部材の劣化		その他		備考
		① 正屈折 部材の劣化	② 逆屈折 部材の劣化	③ ひびわれ の発生	④ 鉄筋露出	⑤ ひびわれ の発生	⑥ 鉄筋露出	
主桁	01	—	—	—	—	—	—	鉄筋露出が50.2mm以上のひびわれ
	02	—	—	—	—	—	—	鉄筋露出が50.2mm以上のひびわれ
	03	—	—	—	—	—	—	鉄筋露出が50.2mm以上のひびわれ
横桁	01	—	—	—	—	—	—	鉄筋露出が50.2mm以上のひびわれ
	02	—	—	—	—	—	—	鉄筋露出が50.2mm以上のひびわれ
	03	—	—	—	—	—	—	鉄筋露出が50.2mm以上のひびわれ
床版	01	—	—	—	—	—	—	橋梁面に影響のひびわれ1mm以上のひびわれ10%
	02	—	—	—	—	—	—	橋梁面に影響のひびわれ1mm以上のひびわれ10%
	03	—	—	—	—	—	—	橋梁面に影響のひびわれ1mm以上のひびわれ10%
下部工	01	—	—	—	—	—	—	橋梁面に影響のひびわれ1mm以上のひびわれ10%
	02	—	—	—	—	—	—	橋梁面に影響のひびわれ1mm以上のひびわれ10%
	03	—	—	—	—	—	—	橋梁面に影響のひびわれ1mm以上のひびわれ10%
支保	01	—	—	—	—	—	—	橋梁面に影響のひびわれ1mm以上のひびわれ10%
	02	—	—	—	—	—	—	橋梁面に影響のひびわれ1mm以上のひびわれ10%
	03	—	—	—	—	—	—	橋梁面に影響のひびわれ1mm以上のひびわれ10%
舗装	01	—	—	—	—	—	—	橋梁面に影響のひびわれ1mm以上のひびわれ10%
	02	—	—	—	—	—	—	橋梁面に影響のひびわれ1mm以上のひびわれ10%
	03	—	—	—	—	—	—	橋梁面に影響のひびわれ1mm以上のひびわれ10%
その他	01	—	—	—	—	—	—	橋梁面に影響のひびわれ1mm以上のひびわれ10%
	02	—	—	—	—	—	—	橋梁面に影響のひびわれ1mm以上のひびわれ10%
	03	—	—	—	—	—	—	橋梁面に影響のひびわれ1mm以上のひびわれ10%

目視点検結果

・径間2の場合

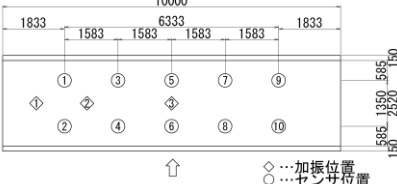
部材種別	健全度評価基準 による判定	健全度評価基準 による点数	部材平均値	部材最悪値	耐荷性 部材平均値	耐荷性 部材最悪値
上部工主部材	D	40	24	80	24	80
	E	80				
	A	0				
	A	0				
	A	0				
床版	B	10	10	10	6	6
	B	10				
下部工	B	10	10	10	2	2
	B	10				
	A	0				
	A	0				
	A	0				
舗装	A	0	0	0	0	0
	A	0				
	A	0				
伸縮装置	E	80	80	80	0	0
総合評価					68	12

目視点検結果から求めた健全度評価点



振動計測による健全度診断

※配置は各径間同一

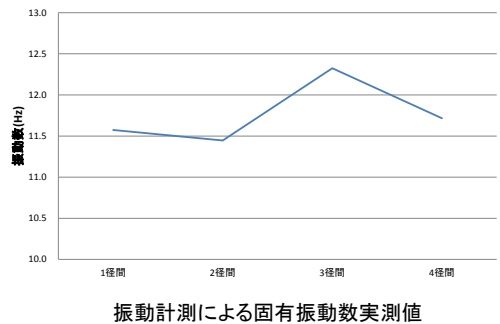


センサ配置・加振位置図

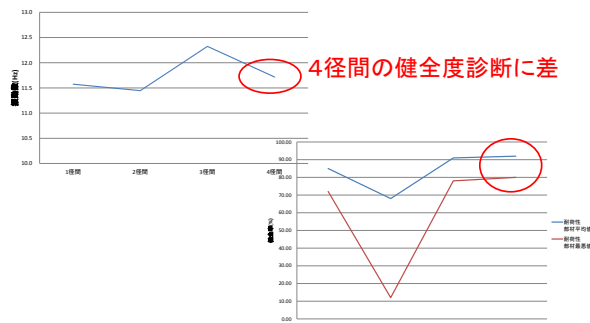


メーカー	日本航空電子工業株式会社
センサ名	JA-M1S
サンプリング周波数	1000Hz

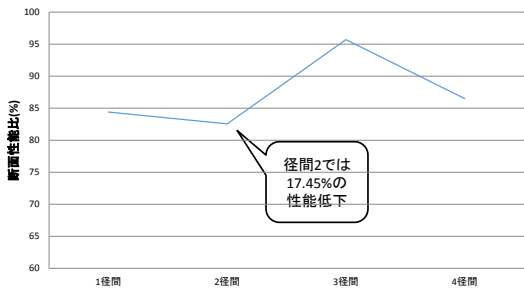
振動計測による健全度診断



振動計測による健全度診断と 目視点検による健全度診断の比較



径間2の断面性能評価



径間2の断面性能評価



径間2において鉄筋腐食により鉄筋径の減少(D22→D18)

↓

応力計算により性能低下率を求める

径間2の断面性能評価

- 径間2の損傷より、1段目鉄筋の鉄筋径をD22からD18に変更して応力計算を行い、健全時と比較した結果、断面性能が約16%低下する。
- 振動計測による断面性能の低減率と比較すると、概ね整合していると言える。

振動計測による健全度評価の有効性を確認することができた

応力計算による荷重制限案

- 曲げモーメントの低減

ここで、
 M_D : 設計曲げモーメント
 M_G : 死荷重による曲げモーメント
 M_{Lp} : 活荷重、分布荷重による曲げモーメント
 M_{Lp} : 活荷重、集中荷重による曲げモーメント
→トラック荷重: 14t(設計時)
※昭和31年、鋼道路橋設計示方書において、活荷重は二等橋で14tと制定されている。

集中荷重による曲げモーメントを低減し安全率の確保を図る

応力計算による荷重制限案

安全率1.7を確保するには全体の曲げモーメントの20%を低減する必要がある。全体の曲げモーメントのうち集中荷重による曲げモーメントが占める割合は42.6%で、集中荷重を約47%低減させれば全体のモーメントの20%に相当する。



トラック荷重14tのところを
トラック荷重7tに制限することで
安全率1.7を確保できる

応力計算による荷重制限案

歩道橋として供用する場合

トラック荷重14tのところを
歩行者のみに制限することで
安全率2.5を確保できる



しかし、どちらの案においても
これ以上損傷を進行させない対策を
実施することが絶対条件である。

まとめ

- 振動計測による健全度診断により目視点検では把握出来なかった劣化を見つけることができた。
- 振動計測の結果からの考察も含め、活荷重を当初の14tから7t以下に制限することや、歩道橋として使用することで、現在供用停止中の橋梁を再度供用可能な案を提案できた。
- その際にも橋梁の劣化をこれ以上進行させない対策を講じることが最低条件である。

結論

①損傷と動特性の相関性について

地方自治体が管理する橋梁の大多数を占める単純桁を対象を絞り、鋼橋、RC橋、PC橋について実橋実験を実施した。その結果、振動方程式の手計算レベルで推定できるほど **損傷と動特性の相関は明快にある**と言える。ただし、既設橋梁の場合、支承、伸縮装置、耐震対策工によって桁端の **境界条件** が乱されているため検討が必要である。

②地方自治体が管理する橋梁群への適用について

舞鶴市の橋梁を50橋計測した結果、計測環境によって動特性の計測精度が影響を受ける。また、**構造形式や架橋環境**を考慮して動特性による健全度診断を実施する必要がある。

日月橋の場合、比較的良好な計測条件と境界条件であったため健全度診断を適正に実施できた。目視点検で見逃されていたと思われる損傷を振動計測により指摘できたことは、**構造物の振動を利用した健全度診断の直接評価法における事例**となる。

結論

今後の課題

- ①支点の拘束条件を診断に反映する方法
- ②計測環境による影響の解消
- ③地方自治体の橋梁管理に必要な
センサリング体系の検討