橋梁の健全度評価効率化のための指標に関する研究
－振動実験と定期点検－

八戸工業大学大学院　学生会員　○太田　圭祐　・　正 会 員　長谷川　明
八戸工業大学大学　　加藤　扶　・　酒井　佑介　・　山田　真吾
（株）コサカ技研　　正 会 員　鳩　祐行

1.はじめに

限られた資金で社会資本を維持するため青森県では橋梁アセットマネジメントの導入が進められている。橋梁アセットマネジメントでは，更新・維持管理費用を抑える，長寿命化を検討するため定期点検を行っている。しかし，定期点検は各橋梁の多数の部材ごとに目視点検を行っているため作業の効率化が課題となっている。そこで，本研究は実橋振動実験と定期点検の結果から橋梁の固有振動数から健全度評価をする指標を検討し，その可能性について考察した。

2.橋梁振動実験結果及び考察

橋梁振動実験は青森県にある鋼橋 84 橋，PC 橋 21 橋の計 105 橋で実施した。支間長と固有振動数の関係を図 1 に示す。この図に近似関数を挿入すると鋼橋と PC 橋では多少異なるものの，支間長と固有振動数には反比例の相関があることが分かる。そこで，近似値から支間長と固有振動数を乗じると一定値になると考えられ，次式のようになる。

$$FS = f' \times L \qquad \text{式 1}$$

FS値：固有振動数と支間長を乗じた値
f'：固有振動数，　L：支間長

以後，この一定値（支間長と固有振動数を乗じた値）を FS 値と呼ぶこととする。

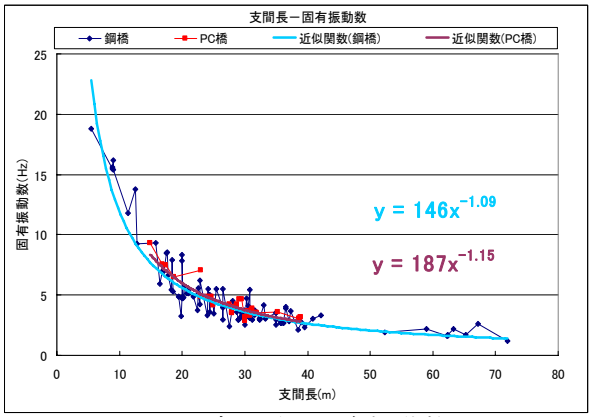

図 1　支間長と固有振動数

3.橋梁健全度と FS 値

3.1 健全度 4 指標

定期点検における多数の部材から主桁・横桁・床版及び支承の 4 指標を重要な部材（指標）と捉えた。これを健全度 4 指標とし，この健全度 4 指標に複数の評価がある場合は，部材ごとに平均した値を部材健全度とした。また，橋梁全体の健全度を評価するために 4 指標の部材健全度を単純平均したものを平均健全度とした。

3.2 FS 値の上限値と下限値

図 2 に支間長を考慮するために式 1 の FS 値と平均健全度の関係について示す。FS 値は鋼橋，PC 橋共に 100 前後に集中していることが分かる。また，FS 値の下限値 FS_L，上限値 FS_U とすると間に FS 値があり，次式の関係で示すことができる。

$$FS_L < FS < FS_U \qquad \text{式 2}$$

3.3 健全時の鋼橋の固有振動数

図 2 の平均健全度が 5 の橋梁を用いて健全時の橋梁の FS 値の平均値(FSa)を求めると 104 になり，健全時の橋梁の固有振動数を求めると，次式のようになる。

$$fo = \frac{FSa}{L} = \frac{104}{L} \qquad \text{式 3}$$

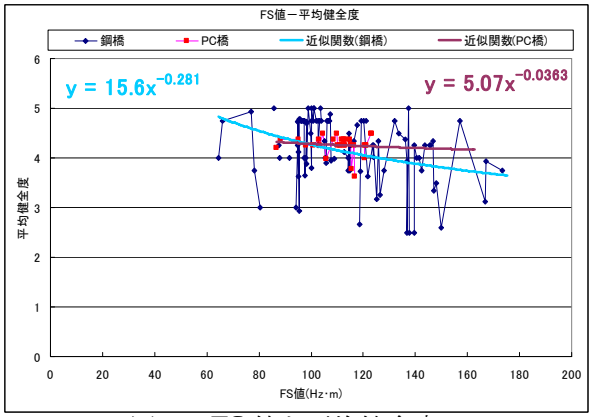

図 2　FS 値と平均健全度

4 橋梁振動実験と定期点検に関する研究

4.1 劣化による振動数の変化と健全度評価

橋梁劣化には 2 つあり，材料劣化では，断面損失などによる剛性の低下が発生し振動数が低下する。構造的な機能劣化によって，単純支承が固定支承になる構造劣化が発生すると，振動数は増大すると考えられている。橋梁振動実験から得られた固有振動数 f'は健全な橋梁の固有振動数 fo及び材料劣化による変化係数 Cm<1，構造劣化による変化係数Cs>1 を用いると，次式の関係で示すことができる。

$$f' = fo \times Cm \times Cs \qquad \text{式 4}$$

この式から FS <FS_Uの橋梁は構造劣化，FS_L<FS の橋梁は材料劣化の関係であると考えられる。

4.2 構造劣化と材料劣化の固有振動数の変化係数および健全度の指標

図 3 は，材料劣化があまり進行していない Sm（主桁・横桁及び床版の健全度の平均値）が 4 以上の Ss（支承の健全度）と構造劣化があまり進行していない Ss が 4 以上の Sm の橋梁データを使い，FS 値と 2 つの健全度関係について調べたものである。ここでは，Sm 及び Ss を 4.0～4.4，4.5～4.9，5 の 3 つに分け，それぞれの平均値を用いるものとする。この図から構造劣化による Cs 及び Ss，材料劣化による Cm 及び Sm を求めると次式が成り立つ。

4.2.1 Cs・Ss (主桁等が健全で Cm=1 となる場合)

式 4 に代入し，変換すると，

$$Cs = \frac{f'}{fo} \qquad \text{式 5}$$

となり，図 3 の近似値と式 1 より，

$$f' = \frac{490 Ss^{-1.00}}{L} \qquad \text{式 6}$$

式 5 に式 3 と式 6 を代入すると，

$$Cs = \frac{490 Ss^{-1.00}}{104} = \frac{4.71}{Ss} \qquad \text{式 7}$$

また，式 6 から

$$Ss = \frac{490}{f' \times L} \qquad \text{式 8}$$

となる。これより振動数と支間長から支承の健全度 Ss と構造劣化の変化係数 Cs を推定することができる。

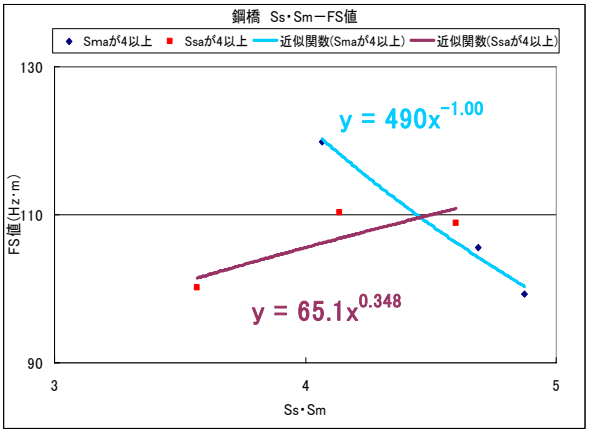

図 3　Ss ・ Sm の健全度 4 以上の平均データと FS 値の区分分け平均値

4.2.2 Cm・Sm (支承が健全で Cs が 1 となる場合)

(1)と同様に代入・変換していくと，

式 5 の $FS = f' \times L$ と図 5.2 の近似関数で近似すると，

$$f' = \frac{65.1 Sm^{0.348}}{L} \qquad \text{式 9}$$

となる．

$$Cm = \frac{65.1 Sm^{0.348}}{104} = 0.626 Sm^{0.348} \qquad \text{式 10}$$

$$Sm = \left(\frac{65.1}{f' \times L} \right)^{0.348} \qquad \text{式 11}$$

となる。これより振動数と支間長から総合的な材料健全度 Sm と材料劣化の変化係数 Cm を推定することができる。

5.おわりに

本研究により鋼橋の固有振動数と支間長から総合的な材料健全度 Sm と構造健全度（支承の健全度） Ss の健全度指標及び材料劣化による固有振動数の変化係数 Cm と構造劣化による固有振動数の変化係数 Cs を見出すことができ，健全度評価の効率化の可能性に期待される。しかし，健全時の固有振動数 fo を求めるための橋梁数や橋梁の健全度指標及び劣化による固有振動数の変化係数を求めるための測定データが少ない。また，単純桁と連続桁では固有振動数が違うことから指標を分類することが重要である。今後，これらの課題を考慮した研究（振動実験）が必要である。

最後に橋梁振動実験を行うにあたり，青森県県土整備部の協力を得た。ここに記して謝意を表します。