

標準設計横断歩道橋のデッキプレート床版に生じる減肉が振動特性に及ぼす影響

北見工業大学 学生会員 ○長谷川 皓生
 北見工業大学 正会員 齊藤 剛彦
 日本航空電子工業（株） 非会員 大胡 拓矢

北見工業大学 正会員 門田 峰典
 北海道大学 正会員 宮森 保紀
 日本航空電子工業（株） 正会員 富岡 昭浩

1. はじめに

標準設計¹⁾の横断歩道橋は高度経済成長期に架設され、近年、維持管理が課題となり、費用対効果等の観点から、積極的に撤去を進める自治体^{例えば2)}が増えている。しかし、交通量の多い場所や小学校の通学路など、未だに必要とされる横断歩道橋もあることから、効率的な維持管理手法の確立が重要となる。

横断歩道橋のデッキプレート床版は、舗装の劣化から雨水が浸透し、デッキプレート上面に腐食が発生する。さらに、デッキプレート厚は3.2mmと薄いため、早期に断面欠損へ進展する。一方で、定期点検では、床版下面および舗装の状態から健全度を判断しており、正確な損傷の把握が困難となっている。目視困難で板厚の薄い床版に対しては、加速度を計測し、固有振動数やモード形状などの振動特性の変化に着目した構造ヘルスマonitoringが有効となる³⁾。

そこで本研究では、デッキプレート床版の基本的な振動特性を把握するため、FEMモデルを用いて固有振動解析を行い、腐食による減肉の範囲および程度が、固有振動数およびモード形状に及ぼす影響を把握した。また、横断歩道橋の部分的な供試体を用いた振動実験を行い、固有振動数の変化を確認するとともに、解析値との比較により、解析モデルの妥当性を確認した。

2. 供試体および解析モデルについて

作製した供試体を図-1 および図-2 に示す。標準設計と同様の諸元とし、床版支間1.7m、桁高0.6m、横桁3本分となる長さ4.2mの範囲を対象とした。床版の各列の名称は、図-2 に示すよう、上段を数字、下段を英字で表している。主桁と横桁に囲まれた床版（以降、パネルと呼ぶ）の一方を健全状態、もう一方を、デッキプレートの板厚を減少させた損傷状態とした。

解析モデルは、3次元FEMで構築した。適用した要素は、デッキプレートなどの薄い部材はシェル要素、コンクリートや舗装などの面状に重なる部材はソリッド要素を用いた。なお、メッシュサイズは50mmとした。支持条件は、供試体をボルトで固定したことから、下フランジの四隅を完全固定とした。

3. 固有振動解析の結果

初めに、上段と下段ごとに、それぞれ板厚の20%、40%、60%を減肉する一律減肉条件で固有振動解析を行った。図-3 のように、パネルごとに振動するモード形状を対象の振動モードとして検討した。減肉量が増加すると固有振動数は低下し、特に、床版の断面中立軸から離れた下段の減肉による影響が大きくなった。また、モード振幅は、上下段の総減肉量に比例し大きくなった。

次に、減肉範囲を限定する部分減肉条件で検討した。具体的には、図-4 の斜線部分を減肉範囲とし、減肉量は、列Aを80%、列4を60%、列B'を30%とした。

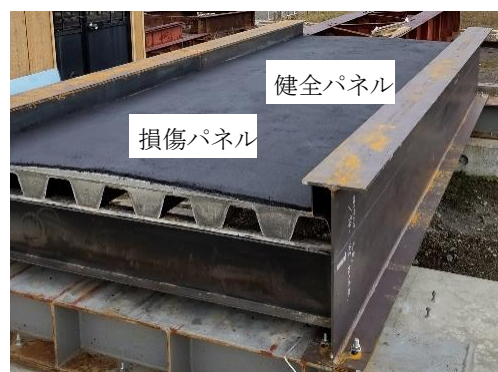


図-1 横断歩道橋供試体

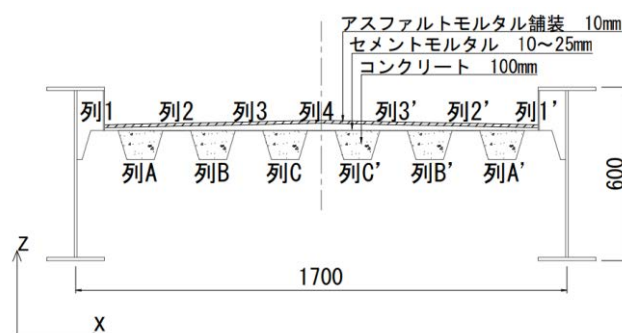


図-2 供試体の断面図および列番号

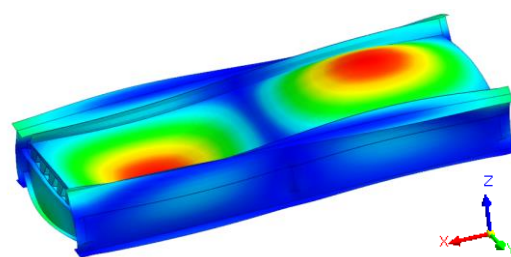


図-3 パネルごとに振動するモード形状

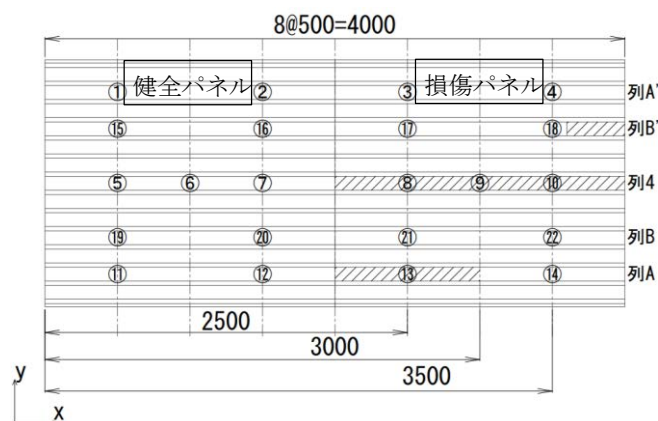


図-4 部分減肉条件の減肉位置と加速度計の設置位置

キーワード 標準設計横断歩道橋、デッキプレート床版、振動特性、減肉、FEM、SHM

連絡先 〒090-8507 北海道北見市公園町165 北見工業大学 TEL0157-26-9471 (門田峰典)

図-5 は、列ごとの損傷パネルと健全パネルのモード振幅比であり、それぞれの減肉範囲中央と同断面の節点で求めた。減肉させた列 A、列 4、列 B'に着目すると、3つの凡例の中で、それぞれの減肉範囲中央(図の斜線部分)におけるモード振幅比が最も大きい。減肉させた各列による変化に着目すると、列 A 減肉範囲中央の断面では、減肉が生じる列 A の振幅比は、列 2 を除いた全列の中で最も大きい。列 2 については、列 A に隣接するため、減肉の影響が大きくなった。また、列 4 減肉範囲中央の断面では、列 A 減肉範囲中央の断面と同様に、列 A 減肉の影響が大きいものの、列 C および列 4 の振幅比が大きくなっている。これは列 4 に生じる減肉の影響である。一方、列 B'減肉範囲中央の断面では、減肉による影響が明瞭ではなく、これは列 B'の減肉範囲および減肉量が小さいことが要因と考えられる。

以上の結果から、複数の列に対して減肉を与えた場合でも、減肉範囲のモード振幅比に着目することで、減肉の影響を把握できる可能性がある。

4. 振動実験の結果

デッキプレートの切削前後およびコンクリート等施工後の完成形において、計3回加速度を計測し、振動特性を把握した。3軸 MEMS 加速度計を使用し、設置位置は図-4 に示すデッキプレート下面の22箇所とした。サンプリング周波数は200Hzとした。切削位置は、部分減肉条件と同様の図-4の斜線位置とした。

表-1 に、解析と実測における固有振動数およびモード形状の相関としての MAC をまとめる。図-6 は、切削前におけるフーリエスペクトルであり、100Hz までの範囲では、79.0Hz、81.5Hz、92.5Hz、94.0Hz において卓越が確認できた。このうち、79.0Hz のモード形状を図-7 に示しており、対象とするパネルごとに振動する振動モードであることが確認できた。なお、81.5Hz のモードも同形状であった。切削前の解析モデルおよび 79.0Hz におけるモード形状では、列 A および列 A'のモード振幅は非常に小さい値となるが、81.5Hz のモード形状では振幅が大きくなる。これは、床版以外に主桁等の他の部材も振動することが影響していると考えられる。このことから、切削前の対象とするモードの固有振動数は 79.0Hz であると推測した。切削後についても、固有振動数およびモード形状の比較から、対象とするモードの固有振動数が 78.5Hz であると推測した。

表-1 から、切削前後においては、固有振動数およびモード形状について解析値が実測値とおおむね一致しており、鋼部材のモデル化は妥当である。鋼材の性質は規格で定められており、一般的な物性値を用いたモデル化でも高い精度を得ることができた。

完成形では、100Hz までの範囲において、33.0Hz、61.0Hz、89.5Hz、92.5Hz の卓越が確認できた。解析値とそれぞれの実測値との MAC を計算すると、61.0Hz において最も高く 0.86 となったことから、61.0Hz が対象の固有振動数であると推測した。

表-1 から、完成形は切削前後と比べ、解析値と実測値の差が大きくなっている。これは、加速度波形から、完成形は減衰が大きく十分に加振できていない可能性があり、主桁付近の列でモード振幅が増加したからだと考えられる。また、コンクリートとデッキプレートの界

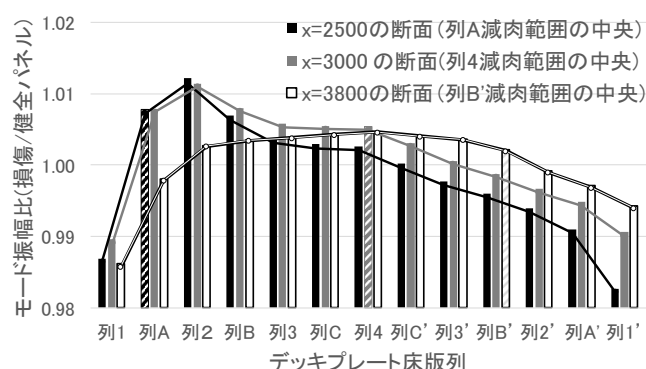


図-5 減肉範囲中央のモード振幅比

表-1 解析値と実測値の比較

	固有振動数 (Hz)			モード形状 の MAC
	解析値	実測値	解析/実測	
切削前	81.9Hz	79.0Hz	103.7%	0.97
切削後	81.8Hz	78.5Hz	104.2%	0.96
完成形	70.5Hz	61.0Hz	115.6%	0.86

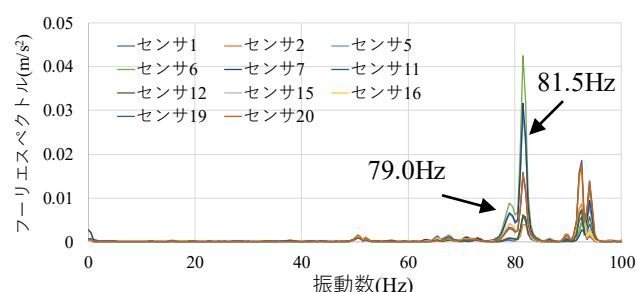


図-6 デッキプレート切削前のフーリエスペクトル

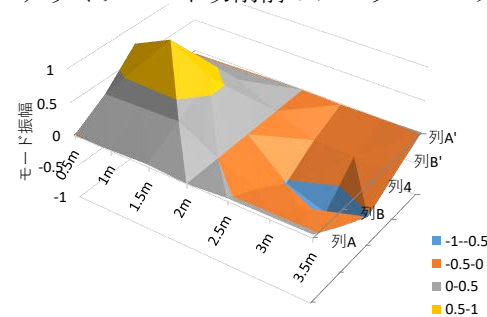


図-7 デッキプレート切削前のモード形状 (79.0Hz)

面における接続条件が、解析モデルと供試体で異なったことも、差が生じた要因として挙げられる。

5. まとめ

固有振動解析から、固有振動数は下段の減肉に大きく影響を受け、減肉範囲のモード振幅比が大きくなることから、振幅比に着目することで減肉の影響を把握できる可能性がある。振動実験では、パネルごとに振動するモード形状を同定することができ、切削前後となる解析モデルとの整合性を確認できた。今後は、加振方法を再検討し、もう一度振動実験を行い、完成形の振動特性を把握するとともに、解析値と実測値を比較する。

参考文献 1) 社団法人日本道路協会：土木構造物標準設計V (横断歩道橋) 建設省制定, 1967. 2) 札幌市横断歩道橋のあり方検討委員会：「札幌市横断歩道橋のあり方」に関する提言, 2013. 3) 門田峰典, 宮森保紀, 齊藤剛彦, 白川雄太, 小幡卓司：腐食損傷した横断歩道橋に対する SHM の適用に向けた基礎的検討, 構造工学論文集, Vol.67A, pp.261-272, 2021.