

渦励振により振動する橋梁上の走行車両の応答評価

大日本コンサルタント 正会員 ○中村正人 正会員 吉岡勉 正会員 西岡裕次郎
 阪神高速道路 正会員 杉山裕樹 正会員 伊佐政晃 正会員 川田歩美

1. はじめに

主桁の渦励振に対する使用性の照査では、主桁の振動応答に対して不快に感じないための加速度を定め、渦励振が発生する振動モードの振動数 f より許容振幅を算出する。加速度 100gal を使用限界の目安として速度に換算して許容振幅を設定する道路橋耐風設計便覧の式のほか、加速度 100gal を振幅に換算して許容振幅を設定する事例¹⁾もある（許容振幅： $h_a[\text{cm}] = 100 / (2\pi f)^2$ ）。許容加速度 100gal が一定の場合、当然ながら振動数が高いと許容振幅は小さくなるが、振動数が高い高次モードの渦励振の使用性についてはこれまではあまり問題とされていなかった。径間数が多く可撓性の高い連続斜張橋の場合、渦励振共振風速が照査風速以下となるモードが複数存在する。該当する複数モードは高次になるほど振動数が高くなり、振動数に反比例する許容振幅は漸増的に低下し、低次モードの使用性照査を満足した場合でも高次モードの照査を満足しない。著者らは、高次モードの渦励振に対する使用性の照査方法として、乗り心地の観点から橋梁上の停止車両の振動応答を評価²⁾したが、車両を介することによる応答の低減効果は見られなかった。本稿では走行車両を対象として振動応答を評価し、高次モードの渦励振に対する合理的な使用性照査方法を検討した。

2. 対象橋梁

対象橋梁は、図-1 に示す最大支間長 653m の 5 径間連続斜張橋である。対象路線は自動車専用道路であり、10 分間の平均風速が 20m/s 以上となる場合に通行止めの措置を取る。

3. 主桁の耐風特性

鉛直たわみ対称 1 次モードを対象にバネ支持模型試験を行い、渦励振発現風速、および発現振幅を求めた。高次モードの発現風速および発現振幅はそれぞれ振動数および等価質量をもとに補正して推定する。

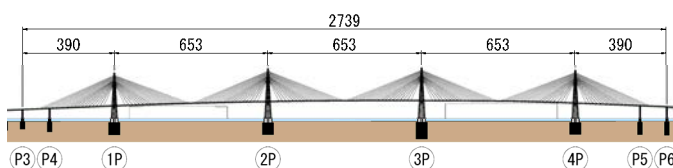


図-1 対象橋梁（単位：m）

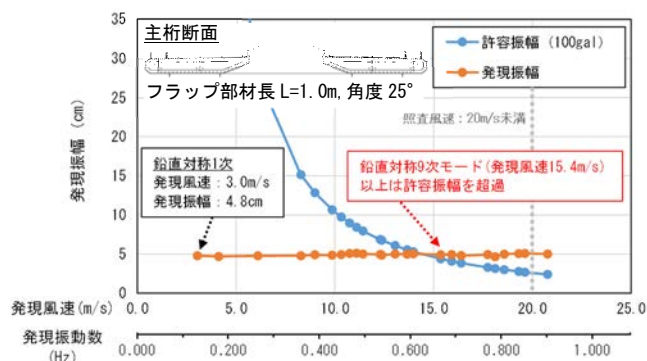


図-2 渦励振に対する主桁の使用性の照査結果

試験結果より鉛直たわみ対称 1 次（0.132Hz）では発現風速 3.0m/s、発現振幅 4.8cm となる。照査対象となる風速域は通行止めを想定する風速 20m/s 未満と設定する。1 次モードの発現風速が低いため、高次モードの発現風速も同様に低く、風速 20m/s 未満となる対象モードが高次まで及ぶ。照査対象モードは鉛直たわみ対称 1 次～鉛直たわみ逆対称 11 次の 23 個となる。発現振幅については高次モードでも等価質量はほぼ変わらないため、ほぼ同等の振幅となる。

4. 渦励振による主桁の使用性の照査

許容振幅を加速度 100gal 相当とした場合の主桁の使用性照査結果を図-2 に示す。高次モードの許容振幅が極端に小さくなり鉛直対称 9 次モード（発現風速 15.4m/s）以上では照査を満足しない結果となる。

5. 渦励振による橋梁上の走行車両の応答評価

橋梁上の走行車両を対象とした振動応答評価のフローを図-3 に示す。検討対象モードは最低次モードの鉛直対称 1 次モード、高次モードを代表して渦励振の発現風速が 20m/s 程度である鉛直対称 13 次モードとした。25t トラックを模擬したバネマスをもつ車両モデルの下端に渦励振の影響を考慮した振動波

キーワード 連続斜張橋、渦励振、使用性、走行車両、振動解析

連絡先 〒330-6011 埼玉県さいたま市中央区新都心 11-2

大日本コンサルタント(株)構造耐震技術センターTEL048-600-6692

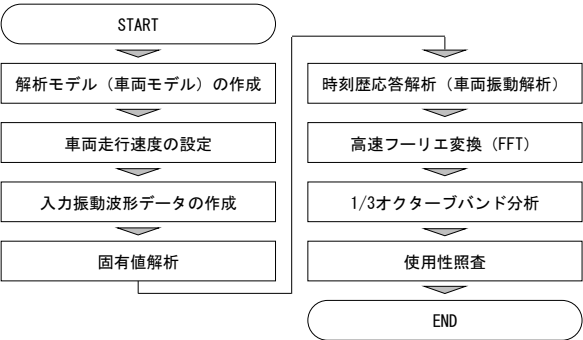


図-3 走行車両の振動応答評価フロー

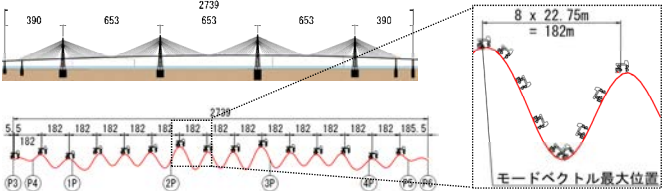


図-4 主桁モード形状と車両速度の関係(高次)

表-1 車両走行速度の設定

	固有振動数	固有周期	波長	車両走行速度
	Hz	s	m	km/h
低次モード (鉛直対称1次)	0.132	7.58	73.63	69.97
高次モード (鉛直対称13次)	0.900	1.11	22.75	73.71

形を入力して振動解析を行う。入力振動波形は、車両の走行に伴い時々刻々と変化することから一定振幅とならない。なお、本検討では渦励振による橋梁振動の影響を評価するため、路面凹凸による車両応答は考慮しない。固有値解析、時刻歴応答解析を実施後、得られた車両バネ上の応答加速度波形に高速フーリエ変換 (FFT) を行い、得られた各振動数帯の振幅に応答波形の 1/2 を乗じて加速度フーリエスペクトルとする。応答加速度について、1/3 オクターブバンド分析により各振動数帯のバンドパスフィルタを適用した時刻歴波形を作成し、最大値を振動数帯ごとにプロットして使用性照査を行う。

5-1. 車両走行速度の設定

車両の走行速度は一定とし、主桁の鉛直方向モードベクトル最大位置で渦励振振幅が最大となるタイミングで走行車両が通過するように走行速度を設定する。走行速度が設計速度と同程度となるように、車両がモードの腹から腹に移動するまでに主桁が複数回振動するように走行速度を設定した (図-4、表-1)。

5-2. 車両応答に対する使用性の照査

低次モードの渦励振により振動する橋梁上の走行車両の振動加速度は、停止車両 (鉛直方向モードベクトル最大位置で停止) と比較して概ね小さくなり、全振動数帯で 100gal 以下、ISO2631-1 による乗り心地

評価は「知覚閾値」を超えない結果となる。高次モードの橋梁上の走行車両の振動加速度 (図-5) は、大半の振動数帯で停止車両より小さくなるが、渦励振の卓越振動数である 1Hz 帯では 100gal を上回る。また、ISO による乗り心地評価は「不快」と「不快でない」の間に位置する。なお、車両の卓越振動数 (2Hz 帯, 9~10Hz 帯) では 100gal を下回る。走行車両の振動加速度が 100gal を上回る時間を確認するため、橋梁上を走行する 134s の加速度応答波形を 5s ごとに分割して 1/3 オクターブバンド分析を実施した (図-6)。

以上より、走行車両に対する応答評価の結果、渦励振と車両の卓越振動数である 1Hz, 2Hz 以外の振動数帯では停止車両に比べて振動加速度が低減する。また、1Hz では振動加速度 100gal を下回る低減効果は得られないものの、100gal を超過する時間は限定的である。従って、100gal を上回る高次モードの渦励振が発生した場合でも不快と感じる時間はごく僅かであると言える。

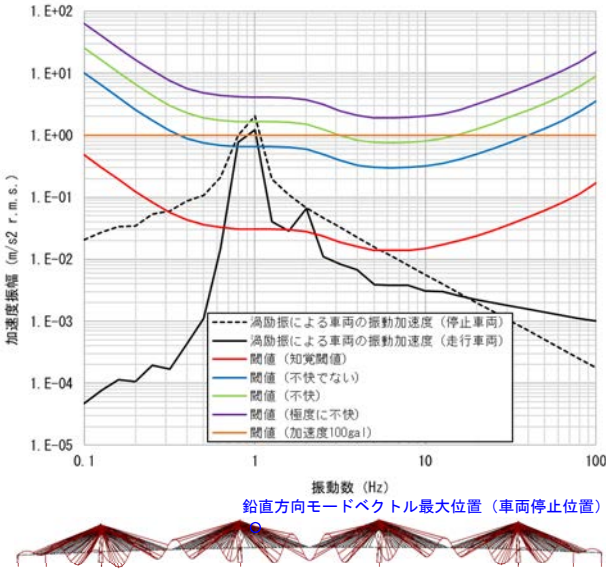


図-5 高次モードの車両振動応答の評価

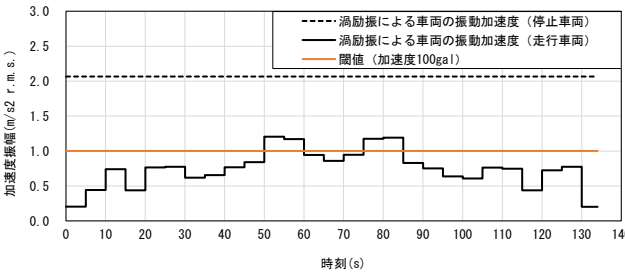


図-6 各時刻の車両振動応答(高次, 1Hz 帯)

参考文献

- 1) 由井, 山本, 森川, 中垣, 森越: 新湊大橋の鋼桁耐風対策について, 沿岸技術研究センター論文集, No. 13, pp. 45-50, 2013.
- 2) 中村, 吉岡, 松浦, 杉山, 平山: 連続斜張橋の主桁渦励振照査方法に関する一検討, 土木学会第 77 回年次学術講演会, I-173, 2022.