

走行車両による曲線二主桁橋の動的応答特性に関する一考察

Dynamic Response Characteristics of Curved Twin I-girder Bridges Subjected to Moving Vehicles

北海道大学大学院工学院 学生員 ○太田 慎也 (Shinya Ohta)
北海道大学大学院工学研究院 F 会員 林川 俊郎 (Toshiro Hayasikawa)
北海道大学大学院工学研究院 正会員 松本 高志 (Takashi Matumoto)
北海道大学大学院工学研究院 正会員 何 興文 (Xingwen He)

1. はじめに

近年、社会基盤施設の建設コスト削減施策が強く求められ、鋼橋の設計・製作・架設の各段階において新しい素材・構造を適用し、コスト削減を図る動きが急速に広がっている。高強度、高耐久性を有する PC 床版あるいは各種合成床版、さらに断面が大型化された主桁を用いることにより実現された少数主桁橋^{1), 2), 3)}は、これらの要求に応える構造形式として現在研究⁴⁾・開発が盛んに行われている。

一方で、走行車両による橋梁の動的応答は長い間、橋梁を設計する際の主な問題の一つとして考えられてきた。これは動的応答を解析的に再現するには車両走行位置、車両の種類、車両速度、橋梁のタイプ、路面の粗さなど、様々なパラメータが存在しているためである。また、近年、道路交通荷重の大型化に伴い、道路橋の交通振動問題が取り沙汰されている。大型車両の走行により引き起こされる過大な橋梁振動、特に路面状況が劣る区間やジョイント部などを通過する際に発生する衝撃振動は、橋梁部材に疲労損傷等を与える恐れがあるのみならず、地盤振動や低周波音振動といった環境振動問題を周辺環境にもたらす可能性がある。このため、少数主桁曲線橋の動的問題を検討するに当たって、走行車両による橋梁振動性状を解明することが必要である。

さらに、鋼 I 型断面橋梁において主桁ウェブとフランジの交差部で実際に疲労亀裂が発生した事例を元に行われた研究報告⁵⁾がある。この研究報告では交差部における高い応力集中を解析、その結果から疲労照査を行っている。しかし、設計段階で疲労について検討するためには、疲労損傷が発生しやすい部材箇所を事前に把握することが望ましい。

そこで本研究では、二主桁橋と走行車両による振動応答・振動特性を車両走行位置・車両の種類・車両速度・路面の粗さなど、様々なパラメータを用いて解析、検討し、橋梁設計・維持管理への適用が可能な疲労解析プログラムの構築を最終目的としている。本研究では解析プログラム構築への過程で得られた、車両走行により発生する橋梁桁端部の反力、橋梁中央部の下フランジが受け持つ応力についての特性について発表する。

2. 解析対象

本章では、解析手法・解析対象とする橋梁・橋梁の路面状況・走行車両について述べる。

2.1 解析手法

本研究における解析手法として、汎用解析ソフト ANSYS を用いて、車両と橋梁と共に有限要素でモデル化、時間軸における車両位置の変化で走行状態を表現し、Newmark's β 逐次積分法により連成振動応答解析を実行する。

本解析では、十分に精度のある応答結果を求めるために、数値積分時間間隔を 0.001 秒とする。また、橋梁解析対象区間と同じ条件の道路を事前に設置することで、解析区間に突入した際の車両の初期条件を正確に表している。

2.2 対象橋梁

本研究で解析対象とする橋梁は支間長 50m の 2 車線道路橋で橋梁形式を曲線二主桁橋としている。橋梁の断面を図-1 に、橋梁の諸元を表-1 に示す。

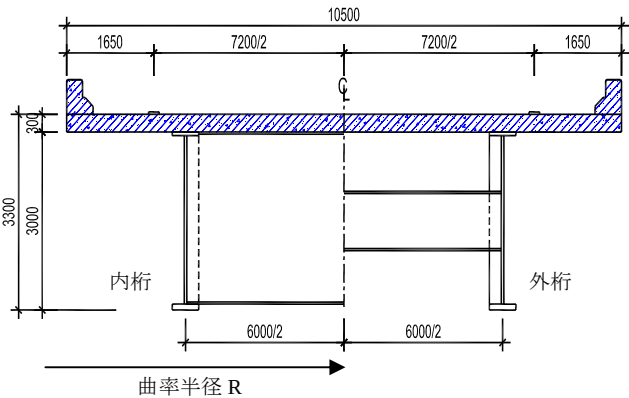


図-1 曲線二主桁橋断面図

表-1 橋梁の諸元

Concrete slab [m]	10.2 x 0.3
Main girders [mm]	Upper FLG 500x30 WEB 3000x24 Lower FLG 800x50
Intermediate cross beams [mm]	WEB 1000x16 FLG 300x25
End cross-beams [mm]	WEB 3000x16 FLG 300x25

二主桁橋はねじり剛性が低い構造ではあるが、施工期間の短さや建設・維持管理コストの少なさなどで近年注目されている橋梁であり、上越自動車道の儀明川橋を代表に高速道路橋の構造として多く採用されている。

対象とする二主桁橋のコンクリート床版を8節点ソリッド要素、鋼部材を4節点シェル要素で表現し、有限要素化する。全ての要素は橋梁の曲率中心を原点とした円筒座標系を元に定義している。曲率半径を100mとした場合の解析有限要素モデルを図-2に示す。なお、端部の境界条件は単純支持としている。

2.3 路面状態の決定

一般に路面凹凸状態はパワースペクトル密度を路面凹凸に変換することで表される。橋梁のパワースペクトル密度式はDoddsやHondaらによる研究報告で近似されており、次式で表される^{6),7)}。

$$S(n) = S(n_0) \left(\frac{n}{n_0} \right)^{-w} \quad (1)$$

$S(n)$ = パワースペクトル密度($m^2/cycle/m$)

$S(n_0)$ = 粗度係数($m^2/cycle/m$)

n = 波数($cycle/m$)

n_0 = 不連続面頻度 = $1/2\pi(cycle/m)$

w = 粗度指数

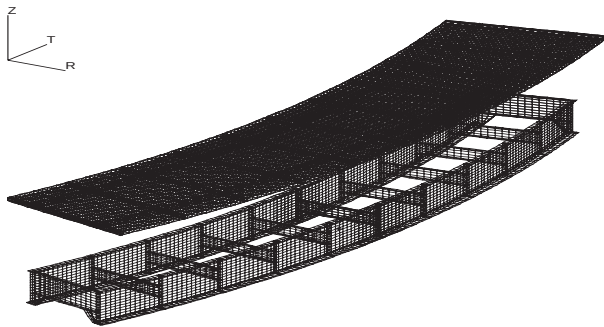
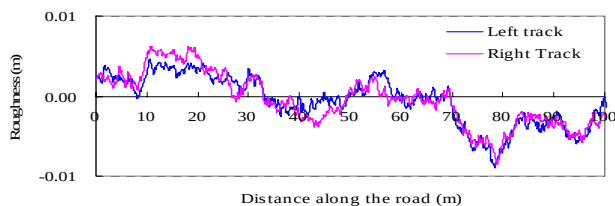
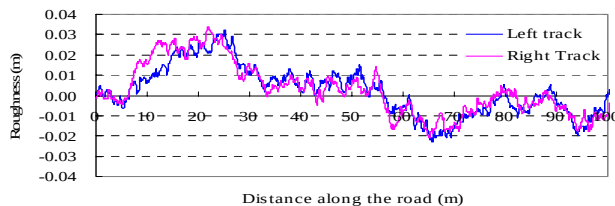


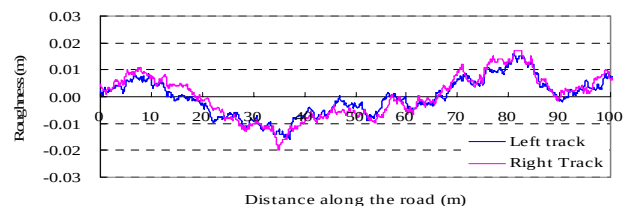
図-2 橋梁有限要素モデル(曲率半径 100m)



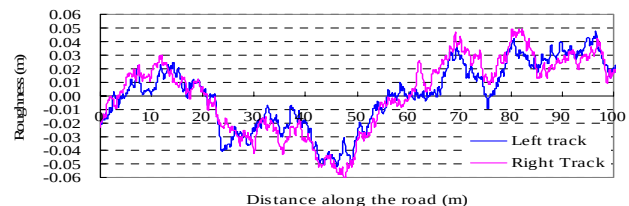
(a) Very good



(c) Average



(b) Good



(d) Poor

図-3 路面凹凸分布

自動車産業研究会（MIRA）によって5段階に路面状態が分類されており、それぞれの状態における粗度係数を表-2に示す。これらの値を代入することでパワースペクトル密度を求める。その後、得られたパワースペクトル密度を次式に代入することで、路面凹凸分布が決定されている。また、本研究で用いる4段階の路面凹凸分布(very good, good, average, poor)を図-3に示す⁸⁾。

$$y_L(x) = \sum_{i=1}^N \left[\sqrt{\Delta n_i \cdot S(n_i)} \cdot \cos(2\pi \cdot n_i \cdot x + \phi_i) \right] \quad (2)$$

x = 水平方向距離

N = 正弦波成分の数

n_i = i 番目の振動数

Φ_i = $0 \sim 2\pi$ までの無作為位相角

2.4 対象車両

米国全州道路交通運輸行政官協会（AASHTO）により道路橋の活荷重が規定されており、H荷重（トラックを想定）、HS荷重（トレーラを想定）の二種類が設定されている。本研究で用いる車両はHS20-44荷重とし、図-4に示す⁹⁾。

対象車両を剛体棒で連結、ばね減衰装置で支えられた質量として有限要素化する。図-5に対象車両の有限要素モデルを示す。

表-2 MIRAによって定義された粗度係数

Road class	Roughness Coefficient $S(n_0)$ ($10^6 m^2/cycle/m$)	
	Presented by MIRA*	Used value
Very good	2 – 8	5
Good	8 – 32	20
Average	32 – 128	80
Poor	125 – 512	320
Very poor	512 – 2048	1280

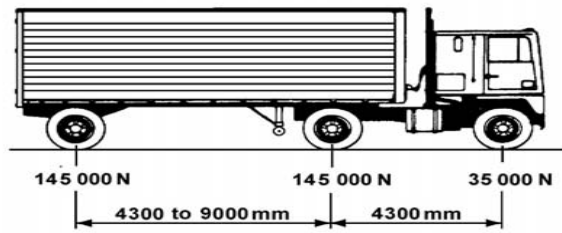


図-4 解析対象車両とする HS20-44 荷重

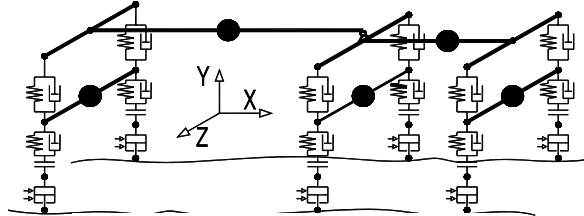


図-5 HS20-44 有限要素モデル

2.5 解析条件

本研究での解析条件は車両速度を 4 段階(時速 30km, 60km, 90km, 120km)に分類、曲率半径を 4 段階(100m, 200m, 400m, 800m)に分類する。車両走行位置を 2.1m に固定し、路面凹凸状態は good 時を採用した。これらの条件において車両が走行した際の橋梁外桁内桁端部での反力履歴、橋梁中央部の外桁下フランジが受ける応力履歴について解析を行う。

3. 解析結果

本項では 2 章で述べた解析手法により得られた橋梁横桁端部での反力履歴、また、外桁下フランジの受ける応力履歴について述べる。

3.1 曲率半径、速度変化による外桁、内桁端部反力

図-6～9 は本研究で採用している 4 段階の車両速度においてそれぞれ曲率半径を変化させた際の橋梁外桁、内桁端部での反力履歴である。横軸に車両走行距離、縦軸に外桁、内桁端部の反力をプロットしている。正の反力履歴は外桁端部における反力履歴、負の反力履歴は内桁端部における反力履歴を表している。以下に、桁端部で確認された反力特性について示す。

- ・ 車両速度や曲率半径に依らず、外桁端部では正の反力、内桁端部では負の反力が発生した。
- ・ 全ての車両速度において、曲率半径が小さくなるほど、外桁、内桁端部に発生する反力の絶対値が大きくなる。
- ・ 全ての曲率半径において、車両速度が小さくなるほど、外桁、内桁端部ともに反力履歴の高次振動数が認められる。

3.2 曲率半径、速度変化による外桁中央下フランジ応力

図-10～13 は 4 段階の車両速度においてそれぞれ曲率半径を変化させた際に、橋梁中央部の外桁下フランジが受ける応力履歴である。横軸に車両走行距離、縦軸に外

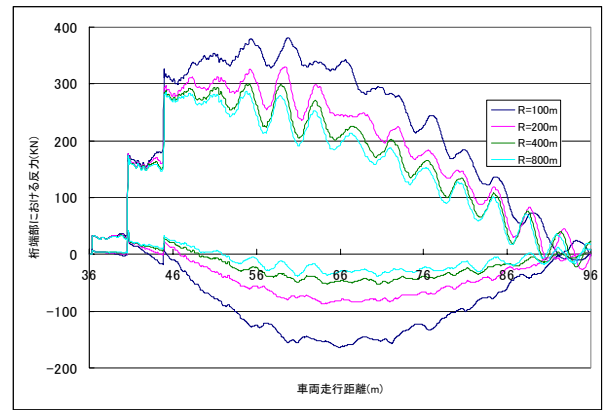


図-6 桁端部反力 (車両時速 30km 時)

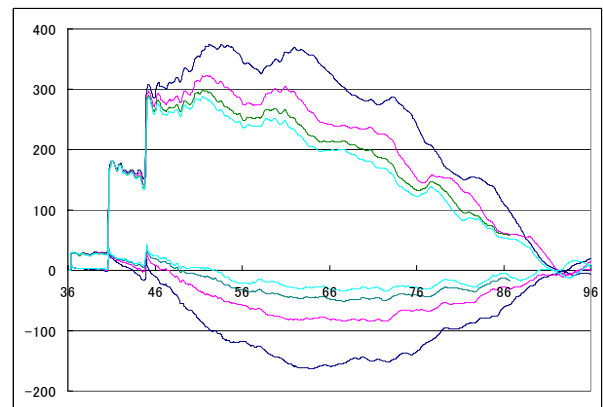


図-7 桁端部反力 (車両時速 60km 時)

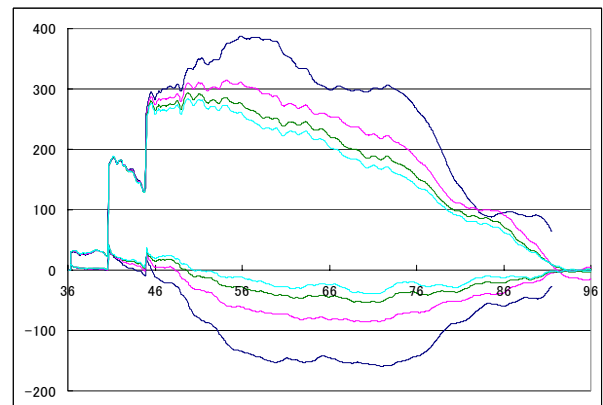


図-8 桁端部反力 (車両時速 90km 時)

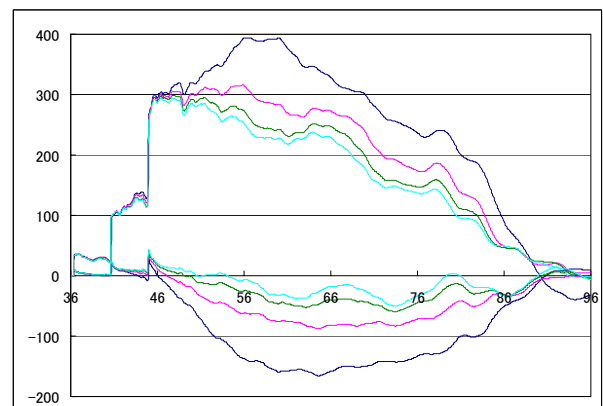


図-9 桁端部反力 (車両時速 120km 時)

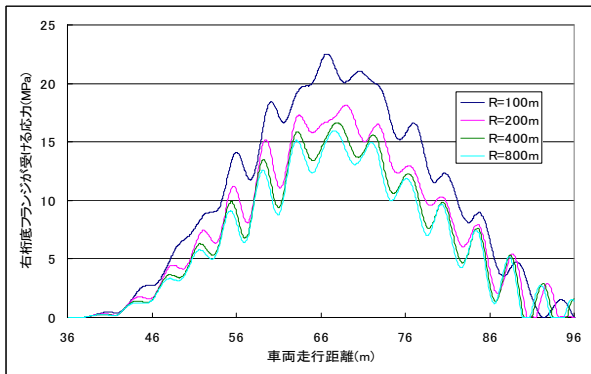


図-10 外桁中央下フランジ応力 (車両時速 30km 時)

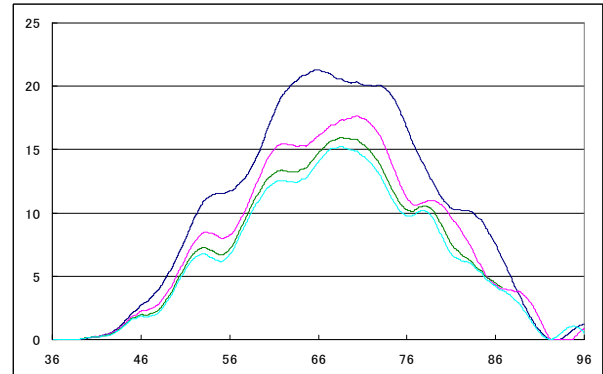


図-12 外桁中央下フランジ応力 (車両時速 90km 時)

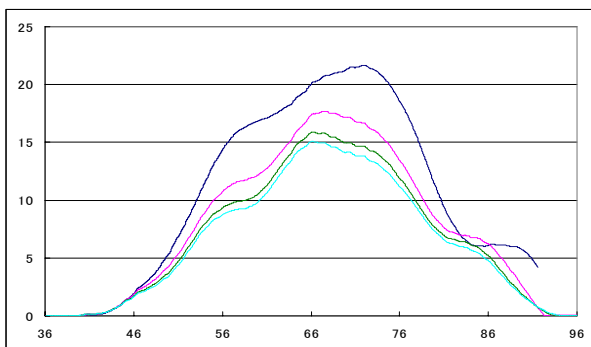


図-11 外桁中央下フランジ応力 (車両時速 60km 時)

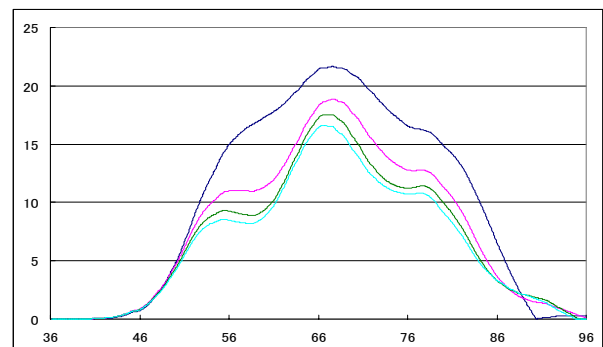


図-13 外桁中央下フランジ応力 (車両時速 120km 時)

桁下フランジが受ける応力をプロットしている。以下に、外桁下フランジで確認された応力特性について示す。

- ・ 曲率半径が小さくなるほど応力は大きくなる。
- ・ 車両速度が小さくなるほど、外桁下フランジ応力履歴の高次振動が認められる。

4. まとめ

本研究では曲線二主桁橋を対象橋梁とした、疲労解析プログラム構築への第一歩として、曲率半径、走行車両速度を変数とした条件の基で、車両を走行させた際に桁端部に発生する反力、外桁下フランジに発生する応力について解析を行った。その結果のまとめを以下に示す。

- ・ 曲率半径が小さくなるほど、反力、応力ともに大きくなる。
- ・ 車両速度が小さくなるほど、反力履歴、応力履歴ともに高次振動が認められる。
- ・ 反力について、外桁端部では正の反力、内桁端部では負の反力が発生した。

本研究では、曲線二主桁橋の反力や応力に着目して、その応答特性について考察した。設計段階で疲労を考慮するには主桁と横桁交差部のような、疲労損傷の起こりやすい箇所の特定制とその応力が必要であるので、今後の方針としては前記の部材、箇所を把握し、「鋼道路橋の疲労設計指針」¹⁰⁾に基づき、最終目的である、疲労解析プログラム構築へ繋げる予定である。

参考文献

- 1) 林川俊郎: 現代土木工学シリーズ, 橋梁工学
- 2) (社) 日本橋梁建設協会: 新しい鋼橋の誕生, 資料編, 1998
- 3) (社) 土木学会: 鋼橋の新たな技術展開, 土木学会誌, Vol.84, Apr, pp4-15, 1999
- 4) Le NGO-TRAN, Dynamic response of simply supported twin I-girder bridges subjected to moving vehicles, Hokkaido University, 2009
- 5) 平山繁幸, 秋本伸介, 森猛: 鋼I断面橋梁の主桁、横桁交差部の応力性状と疲労寿命評価, 法政大学計算科学研究センター研究報告16, pp153-157, 2003
- 6) Dodds, C. J. and Robson, J. D., The description of road surface roughness. *Journal of Sound and Vibration*. Vol. 31 (2), pp. 175-183, 1973.
- 7) Honda, H., Kajikawa, Y., and Kobori, T., Spectra of road surface roughness on bridges. *Journal of the Structural Division (ASCE)*. Vol. 108(ST9), pp.1956-1966, 1982.
- 8) Labarre, R. P., Forbes, R. T., and Andrew, S., The measurement and analysis of road surface roughness. *Motor Industry Research Association Report No. 1970/5*, 1969.
- 9) The American Associate of State Highway and Transportation Officials, *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*, 2004.
- 10) 日本道路協会: 鋼道路橋の疲労設計指針, 丸善, 2002