

橋梁床版に作用する走行衝撃荷重に関する解析的検討

Numerical Analysis for the Impact Load Depend on Vehicle for Floor Slab of Bridge

(独)土木研究所寒地土木研究所 ○正 員 岡田 慎哉(Shin-ya Okada)
(独)土木研究所寒地土木研究所 正 員 澤松俊寿(Toshikazu Sawamatsu)

1. はじめに

昨今、国策として公共事業に関わる予算の縮減が進められている。道路やその付帯設備に関する予算についても大規模な削減が続いており、新規建設時のコストや、維持管理にかかるコストの縮減が強く求められている。今後、確実に必要となるコストとして維持管理に関するものがある。道路機能を維持し、安全なネットワークを維持するためにも維持管理は重要であるが、予算状況においては、道路補修も最小限に留めざるを得ない状況にある。

また、今後老朽化した橋梁が順次、更新の時期を迎えるが、これらを更新する予算を確保することは難しい状況である。橋梁に関してもコストの縮減に努めているところであるが、コスト縮減にも限度があり、現状ではこれ以上の縮減が容易ではない段階に近づいている。

さらに、近年、老朽化した橋梁の損傷事例が目立ってきており、特に床版の損傷が多く見られる。北海道における道路橋の床版は、通常の走行荷重による疲労に加え、凍結防止剤の散布による塩害や、冬期間の凍害などの作用を受け、劣化、損傷が著しい傾向にある。

このような背景の中で、今後の長期的な維持管理コストの縮減のため、橋梁の長寿命化が求められている。著者らも橋梁床版の長寿命化を図るため、床版の疲労に関する種々の研究を行ってきており、様々な知見を得てきた。この中で、橋梁の疲労の進行はその走行荷重の大きさに大きく影響を受けており、走行荷重を低減することが可能であれば、補強等を行わず床版を大きく延命できる。

実際の走行荷重は、小さな段差などの影響により振動しており、車両重量よりも大きな荷重が生じていることが知られており¹⁾、道路橋床版の設計においても、衝撃応答倍率として荷重に割増係数をかけることで、これを考慮している²⁾。

しかしながら、橋梁の前後区間との段差や擦り付け勾配により生じる衝撃荷重は、車両が走行することで確実に発生し、その荷重作用位置も概ね同一の箇所に繰り返される。そのため、特定の部位に大きな走行荷重が集中することとなり、その部位の疲労損傷を加速させ、結果として床版の寿命に大きな影響を及ぼすと考えられる。さらに、橋台背面の地盤沈降などにより、当初の設計よりも擦り付け勾配が立ち上がり、より大きな衝撃力が入力されるような場合も見受けられる。

そこで本研究では、車両走行荷重の衝撃的入力の低減を図り、橋梁の長寿命化に寄与することを目的とし、橋梁前後の擦り付け部分の勾配やその形状が衝撃荷重に与

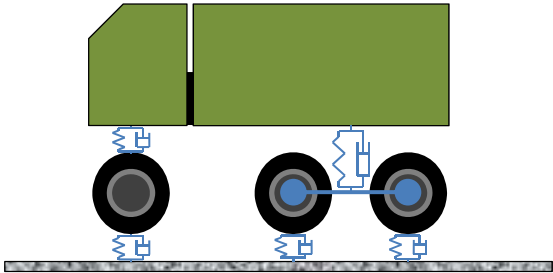


図-1 車両の解析モデル概要

表-1 解析ケース一覧

走行速度(km/h)	40,50,60,70,80,90,100	7ケース
擦り付け勾配	0.25-5.0 (0.25刻み)	20ケース
衝撃荷重緩和曲線	無,1.0,0.8,0.6,0.4,0.2,0.1	7ケース

える影響を数値解析的に検討したものである。

2. 数値解析概要

2.1 解析仮定

本検討において実施した数値解析は、橋梁およびその前後区間について、大型車の走行を模擬し、橋梁床版に作用する荷重を算定したものである。本解析では、床版に対する走行荷重による衝撃荷重にのみ着目することとし、計算の簡素化のため、橋梁およびその前後区間については、その路面形状のみを再現するものとし、変形・振動等が生じない剛体モデルとした。

図-1には、本解析で作成した車両モデルの概略図を示す。本解析における走行車両は、質点系モデルとしてモデル化した。モデルは車両本体と車輪を質点として考慮し、車両本体をバネ上、車輪および足回りをバネ下として、一体としてモデル化した。後輪の2軸については、現在の大型車両において一般的であるトラクションサスペンション形式とし、この挙動を再現可能となるようにモデル化している。

車両と車輪との間および車輪と地面との間は、鉛直方向にバネと減衰器により接続されている。また、車輪と地面の間には車輪の跳ね上がりやを考慮するため、接触・剥離を伴う接触モデルを考慮している。

入力したバネ定数および減衰定数は、変形速度や伸側・縮側に関わらず一定として入力することとした。なお、バネ定数や減衰定数については、複数の自動車メーカーに聞き取りを実施し、妥当な範囲として設定している。本論文では、設定した値については言及しない。

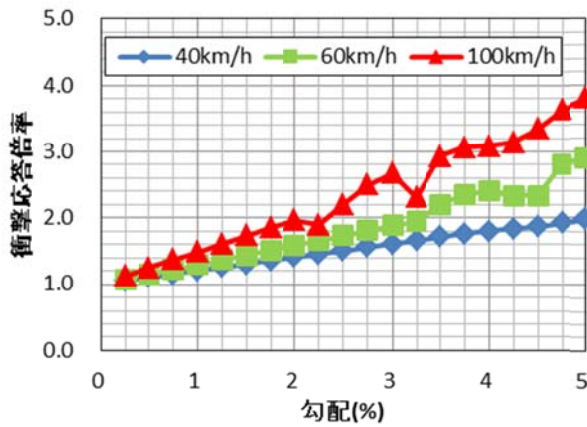


図-2 擦り付け勾配と衝撃応答倍率との関係

表-1には、本検討で実施した解析ケースのパラメータ一覧を示す。本解析では、走行速度、擦り付け勾配、衝撃荷重緩和曲線の設定の3つをパラメータとして設定し、これらのすべての組み合わせにおいて解析を実施することとし、全 980 ケースの解析を行った。

2.2 解析手法

本解析は、車両モデルの格点ごとに運動方程式を成立させ、各時間毎に加速度を計算することで実施した。また、加速度等の時間変化については、計算サイクルあたりで差分と取らず、一定であると仮定することで処理を簡略化している。その際、解析の時間増分を十分に小さくすることで、解析精度を確保している。

3. 数値解析結果

3.1 擦り付け勾配の変化

図-2には、擦り付け勾配による衝撃応答倍率の変化について示す。解析は、橋梁部に対して任意の勾配の擦り付けが、直接接続するものと想定して実施している。図は、縦軸を衝撃応答倍率、横軸を擦り付け勾配(%)として整理している。また、走行速度も併せてパラメータとし、40、60、100 km/h の3つのケースについて示している。

図より、擦り付け勾配が大きくなるほど、衝撃応答倍率も併せて大きくなる傾向を示しており、倍率が2まではほぼ線形の関係を示しており、高い相関を有していることが分かる。また、走行速度が大きいくほど衝撃応答倍率も大きい。衝撃応答倍率が2よりも大きい場合については、2以下の場合と比較して勾配との相関性が低下している部分が見られる。これは、車両が一度走行面から飛び上がる状態にあるものと推察され、その場合、車両の車輪が走行面からの拘束を受けないため、車輪が自由減衰振動し、再度走行面と接触する際の運動状態に影響されるためと考えられる。

図-3には、解析結果について車両が橋梁に乗りあがる際の鉛直方向速度成分と衝撃応答倍率の関係として示す。図は縦軸を衝撃応答倍率、横軸を鉛直方向速度成分として整理している。

図より、衝撃応答倍率は車両の鉛直方向速度成分と高い相関を示していることが分かる。これより、車両の載

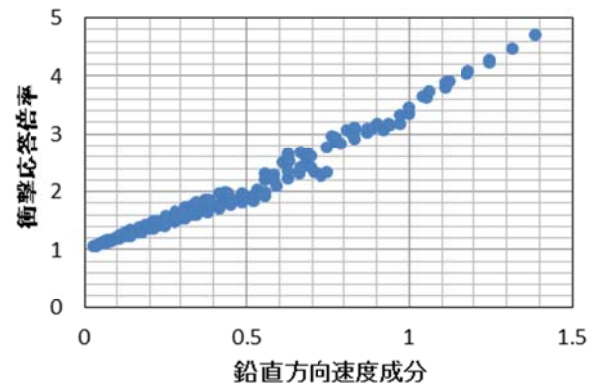


図-3 鉛直方向速度成分と衝撃応答倍率との関係

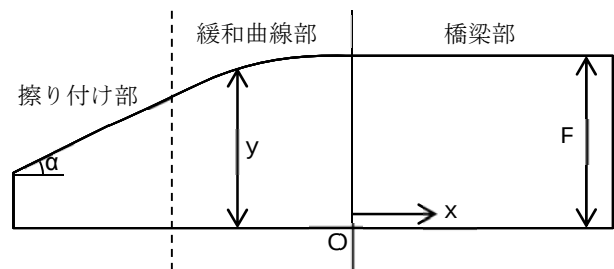


図-4 路面性状の模式図

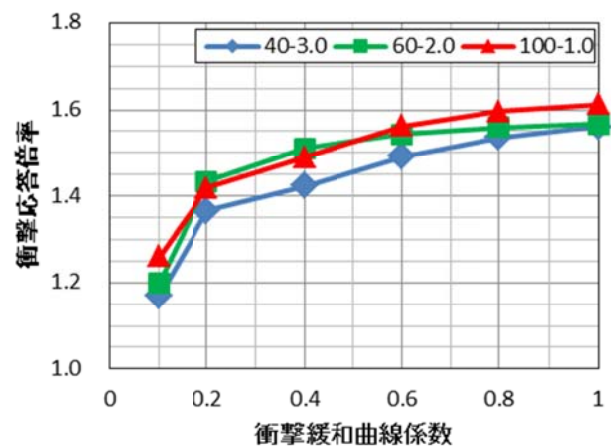


図-5 衝撃緩和曲線係数と衝撃応答倍率の関係

り上がりにより橋梁に生じる衝撃荷重を低減させるためには、載り上がり時の鉛直方向速度成分を減少させればよいことが分かる。また、同様に倍率が2.0以上の場合に相関が低下するが、これは前述の理由に拠る。

3.2 擦り付けの円滑化

前述のように、橋梁に載り上がる際の鉛直方向速度成分を減少させることで衝撃荷重を低減できることが分かった。そこで、本節では路面性状により合理的に衝撃応答倍率を低減させることを目的とし、路面性状をパラメータとした解析を実施した。

図-4には、検討した路面性状の例を示す。鉛直成分速度を効果的に減少させるため、路面性状は放物線状とし、任意の勾配から橋梁部に水平に接続するように設定した。この部分を緩和曲線部と呼ぶ。また、擦り付けの

性状の変化は放物線の鉛直成分に係数を設定することで変化させた。具体には、任意の勾配および走行速度における、重力加速度の放物線の場合を定数 $a = 1.00$ とし、この係数を減ずることで、より緩やかな擦り付けへと変化させることとした。本係数については、衝撃荷重緩和曲線係数と呼ぶこととする。

図－5には、数値解析結果について示す。図は、縦軸を衝撃応答倍率、横軸を放物線の係数として整理している。また、図は走行速度 40km/h、一定勾配区間の勾配 3.0%の場合、同じく 60km/h、2.0%の場合、100km/h、1.0%の場合について整理している。

図より、速度や勾配に関わらず、係数を低減することで衝撃応答倍率の低減が見込めることが分かる。さらに、係数を 0.1 まで低減した場合には、その衝撃応答倍率は 1.3 以下にまで低減されていることが分かる。

ここで、現在の床版の設計において考慮されている衝撃応答倍率²⁾は $i \leq 1.4$ である。これより、発生する衝撃応答倍率はこれ以下に留めることが理想的であり、その場合の係数は 0.1 程度を考慮するのがよいと考えられる。

4. 衝撃荷重緩和曲線の設計法の提案

これまでの検討において、適切な係数を考慮した放物線状の擦り付けを実施することで、衝撃荷重を緩和し、床版の設計において考慮されている衝撃応答倍率に留めることが可能であることを示した。ここで、この擦り付けに考慮する放物線を衝撃荷重緩和曲線と称し、その設計計算法について提案する。

放物線の計算に必要な項目は、その路線の設計基準速度および前後区間の勾配である。以下に計算式を示す。

$$y = -\frac{1}{2}ag\left(\frac{x}{v}\right)^2 + F \quad \dots\dots\dots 1)$$

ここで、 y : 曲線部高さ (m)

x : 曲線部水平位置 (m)

a : 緩和係数 (0.1)

g : 重力加速度 (9.805m/s²)

v : 設計速度 (m/s)

F : 橋梁部の高さ (m)

ただし、 $x = 0$ を橋梁部と緩和曲線部の境界とし、負の領域を擦り付け部とする。

さらに、次式で示される区間までが衝撃荷重緩和曲線部となる。

$$x_t = -\frac{x^2}{ag}\alpha \quad \dots\dots\dots 2)$$

ここで、 α : 擦り付け勾配

なお、1)式については、橋梁部は水平であるものとし、水平に擦り付ける場合の式となる。橋梁部にも勾配がある場合には、2)式に橋梁部の勾配を入力し、得られた x_t を橋梁と擦り付け部の境界とすることで、衝撃荷重緩和曲線が得られる。また、その際の F については、橋梁部と緩和曲線部の境界部分の高さとする。

上記の式に基づき、衝撃荷重緩和曲線を設定することで、衝撃応答倍率を 1.4 以下に低減することが可能である。

5. まとめ

本検討は、橋梁床版の長寿命化を目的として、車両走行により生じる乗り上げ荷重について数値解析的に検討を行い、床版に生じる衝撃応答荷重を低減させる緩和擦り付け手法を提案した。

結論をまとめると、以下のようである。

- 1) 乗り上げに伴う衝撃応答倍率は、乗り上げ時の鉛直方向速度成分に高い相関を有する。
- 2) 放物線に基づく擦り付けを行うことで、衝撃応答倍率の低減を図ることができる。
- 3) 衝撃荷重緩和曲線の設計法について提案した。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所構造研究室：橋梁設計動荷重に関する試験調査報告書(VII－1985)、土木研究所資料、No.2258、1985.
- 2) 日本道路協会：道路橋仕方書・同解説Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、2002.