

大型アーチ橋の計測データと3次元有限要素解析に基づく車両走行作用の同定

早稲田大学 学生会員 ○佐藤将敬

早稲田大学 正会員 佐藤靖彦

KSK 正会員 山下英俊 峯岸淳一 石沢 孝

1. はじめに

土木構造物の設計における荷重をはじめとする作用モデルは実際の作用と必ずしも一致せず、設計後の橋梁が実際の作用によってどのように挙動するか明らかにされていない点が多い。そのため設計と維持管理における評価に大きな隔たりがある。著者らは、FBG センサに基づく橋梁の損傷度評価法の開発を目指し、基礎的な検討を進めてきている。昨年は、風作用に関する検討を報告した¹⁾。本論では、新設の大型鋼橋に作用する様々な作用のうち車両荷重の作用に注目し、計測データを根拠として実際の作用に合致する作用モデルを検討した。

2. 対象橋梁の計測値と検討項目

対象構造物は2018年に供用開始した気仙沼大島大橋である。本構造物は橋長397mの鋼中路式大型アーチ橋で、補剛桁およびアーチリブはボックス形状である。本橋梁に対して、補剛桁のウェブ部材にFBG ひずみセンサを設置し橋軸方向ひずみを計測した。Fig. 1にセンサ設置状況および設置位置を示す。また、橋梁上からカメラで本橋梁上を通行する車両を記録した。Fig. 2にカメラ映像の一例を示す。ひずみ実測値について、単一のトラックが通過した際に Fig. 3 に示す波形が観察されることが同時刻のカメラ映像との照合により分かっている。そこで本研究では、この



Fig. 1-a センサ設置状況



Fig. 2 カメラ映像

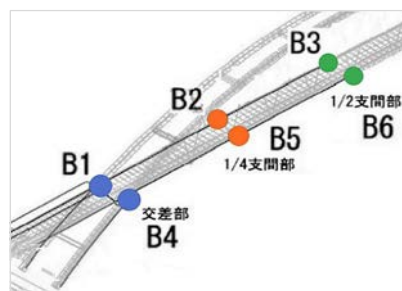


Fig. 1-b センサ設置箇所



Fig. 4 有限要素モデル

この波形から作用の荷重値や作用形態を明らかにすることを目標とした。具体的には、本橋梁の形状全体の三次元有限要素モデルに対して、実応答に合致する作用モデルを検討した。作成した橋梁モデルを Fig. 4 に示す。なお、発生ひずみが小さいことから本橋梁は弾性域で変形すると考え、線形構造解析を用いた。本研究は、各種計測データのひずみ変動の波形から車両荷重を検討するものであるが、実際は複数の作用が同時発生しひずみ波形が複雑になる場合がある。それゆえ、本研究は、基本となる単一車両による荷重のみが作用したと見られる場合のみを扱う基礎研究と位置付けられる。

3. 車両荷重の作用モデルの検討と評価

作用モデルは、道路橋示方書の T 荷重と AASHTO-LRFD の 4 輪トラック荷重の二種類とした。両作用モデルについて、車線上に静的載荷させた車両荷重の作用位置を車線方向に 5m ずつ変化するように移動させるステップ解析を用いることで、車両が走行する過程を再現した。比較のために、両モデルの荷重値を道路橋示方書 T 荷重の値に統一し 200(kN) とした。本橋梁の道路は対面 2 車線であるため、両車線に対して解析を行った。解析結果は、あらゆる要素でひずみおよび応力が両者の作用モデルでほぼ一致した。Fig. 5 に一例として B3 センサ位置要素のひずみの変化を示す。これより荷重モデルの差異は、本研究においては無視できることが分かった。このことを受け、モデルが比較して単純で解析負荷の小さ

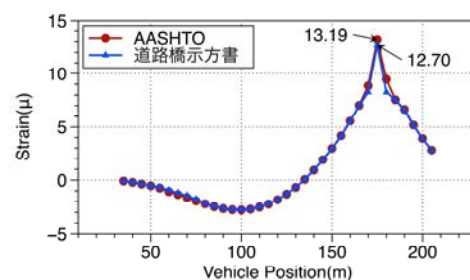


Fig. 5 各作用モデルの B3 ひずみ応答

キーワード：FBG センサ、有限要素解析、交通荷重、作用モデル

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3 丁目 4-1 TEL 03-5286-3852

い道路橋示方書 T 荷重の解析結果を用いて以後の検討を行うこととした。

T 荷重を B1 側車線および B4 側車線に通行させた解析結果を Fig. 6 に示す。Fig. 3 に示したひずみ実測値との比較により、本解析はひずみ変動の波形および応答値について妥当な結果が得られたといえる。ここでさらに、解析結果が車両荷重200(kN)時のひずみ応答を表すことを踏まえると、荷重-ひずみ間の比例則

に従ってひずみ実測値から逆に荷重値を推定することが可能である。推定方法としては B3 および B6 位置のひずみ実測値に観測されるピーク値を記録し、荷重-ひずみ間の比例則から荷重値を推定する手法をとった。本研究では、データの自動処理化の前段階として、推定値の妥当性を確認するために、2019年9月2日の映像に観察された車両通行のうちの数ケースに対して荷重推定を行った。映像から見受けられる車両の車種とひずみ実測値から推定した荷重値を比較する限り、推定値が妥当であると判断できる。以上より、本作用モデルは車両通行による橋梁の挙動を一定程度正確に表しているものと判断した。

作用モデルを作成した後の研究段階では、推定した荷重作用を入力値とした有限要素解析により橋梁内のあらゆる要素の応力やひずみ応答を明らかにすることが可能となる。このことを利用して本研究は、継続的な計測データ処理により得られる要素毎の応力履歴から、部材レベルでの余寿命推定を行うことを予定する。先述の通り、実際に記録される複雑な波形を処理する手法を構築することが今後の課題となる。なお、計測データや有限要素解析結果のデータ量が膨大であることを受け、データ処理の自動化を前提として一連の手法構築を予定する。

まとめ

本研究によって得られた知見および今後の展開を以下に示す。

- (1) 橋梁に取り付けた計測機器と有限要素解析の連携により、単一の車両荷重のみが載荷した際の計測データから車両走行作用による橋梁全体の挙動を推定し、解析における車両荷重の作用モデルを提案した。
- (2) 計測により構造全体の挙動を明らかにでき応力評価が可能であることが分かったが、車両以外の作用も含めた今後の更なる作用荷重の推定手法の構築とデータの自動処理化が必要である。

参考文献

- 1) 佐藤将敬, 佐藤靖彦, 山下英俊, 峯岸淳一, 石沢孝: 大型アーチ橋の計測データと3次元有限要素解析に基づく風作用の同定, 土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol.76, I-29, 2021
- 2) 2020 American Association of State Highway and Transportation Officials: AASHTO LRFD Bridge Design Specifications SI Unit Fourth Edition, 2007
- 3) 日本道路協会, 道路橋示方書・同解説, I 共通編, 2017

キーワード: FBG センサ, 有限要素解析, 交通荷重, 作用モデル

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3丁目4-1 TEL 03-5286-3852

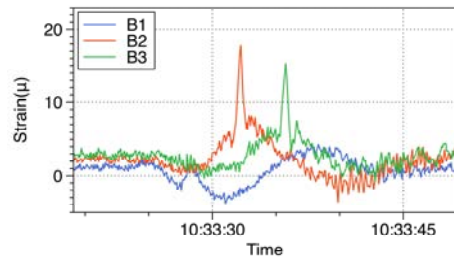


Fig. 3-a ひずみ実測値 (B1 側車線走行)

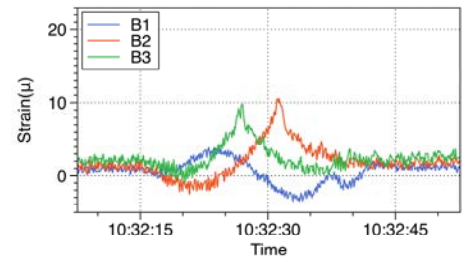


Fig. 3-b ひずみ実測値 (B4 側車線走行)

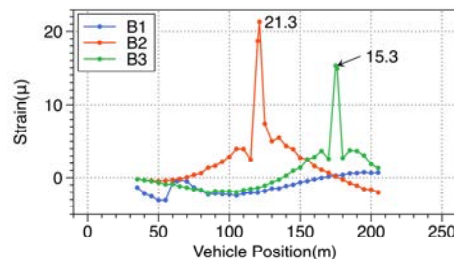


Fig. 6-a ひずみ解析値 (B1 側車線走行)

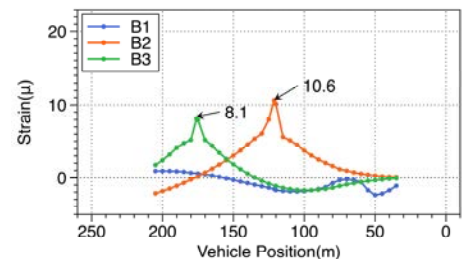


Fig. 6-b ひずみ解析値 (B4 側車線走行)

Table. 1 カメラ映像と推定重量

観測時刻	2019/09/02 07:05	2019/09/02 07:11
カメラ映像例		
推定荷重	21.8(ton)	5.7(ton)