

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年5月28日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H06097

研究課題名(和文)大振幅振動する新幹線高架橋PRC桁の多点長期モニタリングとTMDによる振動制御

研究課題名(英文) Monitoring and Vibration Control by TMD of Shinkansen PRC Bridge with Large Vibration

研究代表者

水谷 司 (Mizutani, Tsukasa)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号：10636632

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 16,400,000円

研究成果の概要(和文)：国内のあるエリアの新幹線高架橋PRC(プレストレストRC)桁において車両通過時に設計時の想定を上回る大振幅振動が確認された。本研究ではこの大振幅振動メカニズムの解明および実橋梁のモニタリングによる構造特性の把握およびその振動制御対策について計測と解析を通して具体的に提案することを目的とした。既存の対策案では大規模で高コストの補強工事が必要であるため、今回安価かつコンパクトなTMDを使った振動制御技術を提案し、その最適な配置やパラメータについて非線形有限要素法により数値解析的に示した。本研究結果をもとに安価で有効な振動制御手法を提案できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本が誇る高速鉄道である新幹線の安全性を確保するには、新幹線の車両本体のみならず、それを支えるインフラの状態を適切に保つ必要がある。鉄道インフラの中でも特に維持管理が重要となる橋梁の振動特性についてモニタリングを通して明らかにし、さらに安価で現実的な振動制御方法について提案できたことには意義があると考えられる。提案したマルチTMDを使った方法では、新幹線の桁下空間に大規模な剛性向上のための柱などを作ることなく、桁上に工場で製作した製品を設置するだけでよいことから、設置コストや時間などを大幅に短縮できると考える。

研究成果の概要(英文)：A large-amplitude vibration was confirmed on the Shinkansen PRC girders in Japan. The purpose of this research is to clarify the mechanism of the large amplitude vibration, to grasp the structural characteristics by monitoring the actual bridge, and to propose the vibration control method specifically through measurement and analysis.

Since the existing measures require large-scale, high-cost reinforcement work, we proposed a vibration control technique using inexpensive and compact TMD, and showed its optimal arrangement and parameters by nonlinear finite element method. By this research result, we could propose an inexpensive and effective vibration control method.

研究分野：レーザー計測, 振動モニタリング, リアルタイム空間解析工学

キーワード：新幹線PRC桁 大振幅振動 制御 MTMD 最適化 非線形有限要素法

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景



図1：大振幅振動桁（PRC 桁）5 橋のうちの 2 橋の例と架線部品の破断状況

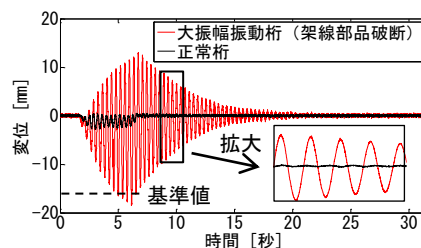


図2：大振幅振動桁と正常桁の桁中央での鉛直変位の比較

(いずれも新幹線速度 230 km/h の時の振動)

ある新幹線高架橋上の電車線柱の架線を固定する器具が地震が生じていないにも関わらず破断したことが報告された（図1）. 当初は架線固定器具の不具合によるものと考えたが、交換後にも同様の損傷が確認されたため、電車線柱が設置されている桁のスパン中央での振動計測を行った結果、図2に示すように新幹線走行時にその桁で共振とみられる振動により振幅が増大し大振幅振動となり、この振動により電車線柱が振動し架線固定器具が疲労破壊していたことが明らかとなった.

鉄道会社では振動レベルが特に大きい2桁について桁下にアーチを建設し桁と結合することで剛性を向上させる大規模な補強案を検討している. ただし、この対策は、下部に道路などが無く十分なスペースが確保できることが条件であり、また補強できたとしても大規模なアーチであるため景高コストが必要である. そのため、安価で桁下の環境条件も左右されないコンパクトな振動制御手法の開発が必須である.

### 2. 研究の目的

大振幅振動メカニズムの解明および同一・類似設計桁のモニタリングによる構造特性の把握をまず行う. そして、既存の振動制御対策案では大規模で高コストの補強工事が必要であるため、本研究では安価かつコンパクトな TMD を使った振動制御技術の提案を数値解析的に行う. これにより将来の大振幅振動桁にも適用できる汎用性のある振動制御技術の確立を目指す.

### 3. 研究の方法

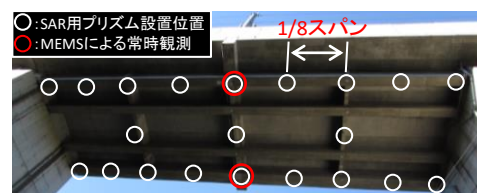


図3：構造特性同定のための多点計測点

大振幅振動桁を含む同一・類似設計の PRC 桁について多点振動計測を実施し（図3）、構造特性を逐次同定する. 計測と並行して車両通過時・通過後の実応答を精度よく再現できる PRC 桁の非線形有限要素モデルと三次元の新幹線車両モデルを構築後、TMD モデルを加え、通年で高い振動制御効果が期待できる TMD の最適パラメーターを決定する.

### 4. 研究成果

レーザードップラー計および測距レーダーを用いて上記図2の箇所を計測し構造特性を正確に推定することができた. これにより該当橋梁の詳細なモード特性が明らかになった. この実計測で得られたモード特性を再現できる数値解析モデルを有限要素法により、試行錯誤的に構築し、さらに新幹線車両と桁との連成解析モデルの構築をした. このモデルを用いて、本研究でもっとも重要である、振動制御手法の有効性の検証と最適化を図ることとした.

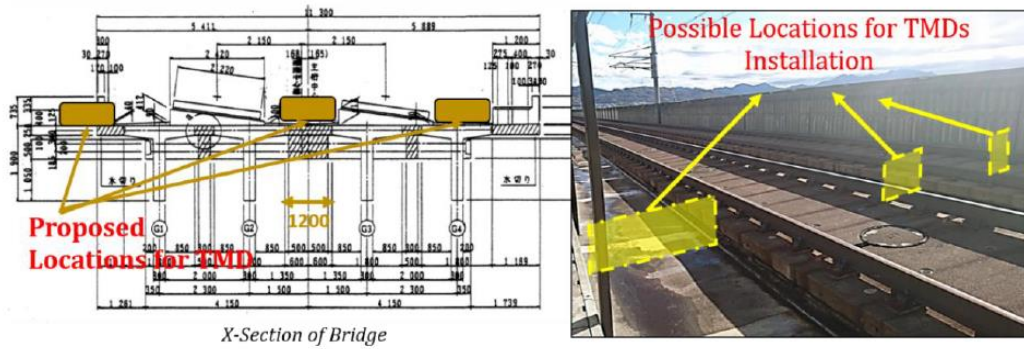


図 4 : マルチ TMD の設置位置イメージ

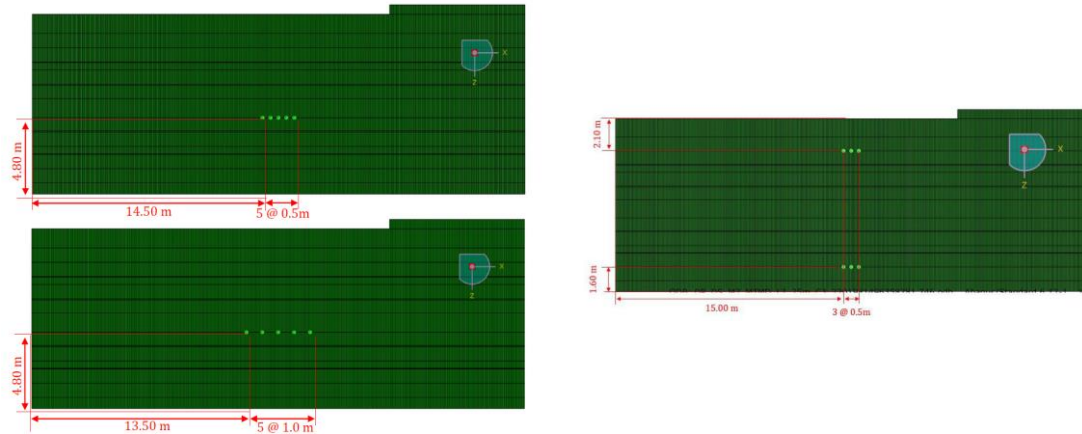


図 5 : MTMD を設置した有限要素モデル

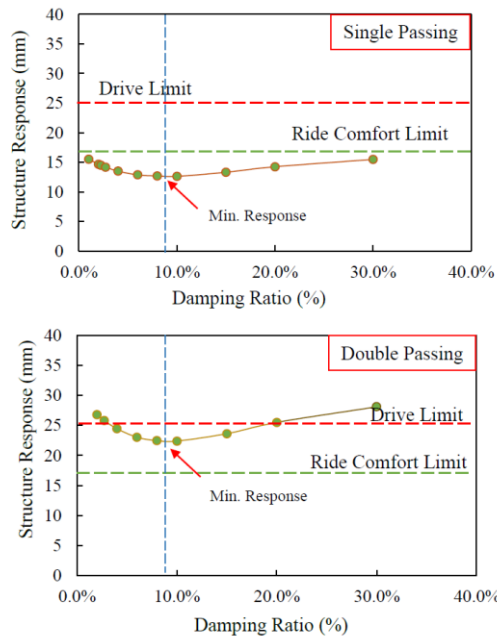


図 6 : TMD の減衰比と振動レベルとの関係の数値解析的分析

桁重量が 700 t 程度と大きいため、単独の TMD では質量が大きくなりすぎるため、質量を分散して設置する、マルチ TMD (MTDM) に着目した。図 4 のように、実際に桁上に空間がある桁両側と桁中央を検討することとした。そこで、図 5 に示すように、候補となる位置に複数の TMD を設置し、その効果が最大となるように、TMD の設置間隔や位置などをさまざまに変え、単一の車両が走行するケース、両方の車線を同時に車両が走行するケースの 2 パターンについて、多数のシミュレーションを行った。それにより、たとえば TMD がどの減衰比を持つときに、桁の振動が最小になるかなどの TMD のパラメーターの最適値の決定をすることができた。これにより、実際の橋梁に設置すべき TMD の構造特性を示すことができたと考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 2 件）

（投稿中）飯田芳久，長山智則，蘇迪，水谷司，鉄道橋交通振動を対象としたアクティブ制振の数値的検討，土木学会論文集，2019.

中須賀淳貴，水谷司，山本悠人，内田雅人，蘇迪，長山智則，藤野陽三：新幹線高架橋 PRC 桁の大振幅振動メカニズムの解明と構造特性の長期トレンドの分析，構造工学論文集，Vol. 62A，pp. 42-49，2016. (DOI : <http://doi.org/10.11532/structcivil.62A.42>)

〔学会発表〕（計 2 件）

Atta E MUSTAFA, Tsukasa MIZUTANI, Tomonori NAGAYAMA, and Di SU, “Numerical Analysis of Large Amplitude Nonlinear Vibration of High-Speed Train PRC Bridges and Design of Tuned Mass Dampers,” 40th IABSE Symposium, pp. S20-19-26, Nantes, France, 2018.

山本悠人，水谷司，蘇迪，内田雅人：新幹線走行に伴う PRC 橋の共振現象の TMD による振動制御効果の検証，土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集，Vol. 71, No. I-204, I-4, pp. 407-408, 2016.

〔図書〕（計 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年：

国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

なし

## 6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。