

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820182

研究課題名(和文) 東北の鉄道高架橋付属物の安全性評価を目的とした動的解析とそのモニタリング

研究課題名(英文) Dynamic Analysis of OCS-poles on Shinkansen Viaduct and their monitoring

研究代表者

水谷 司(MIZUTANI, Tsukasa)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：10636632

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、3.11の地震で被害のあった新幹線高架橋上のPC製電車線柱の耐震性能を精度よく評価するため、電車線・電線、調整桁などまで考慮した高架橋・電車線柱の三次元連成系骨組みモデルを構築し、地震応答解析により各構造要素間の連成の影響や動的特性を明らかにした。その上で、既存のPC製電車線柱の大規模地震対策として、現行対策である高靱性化補強および鋼管ビームによる門型化、今回新たに提案したTMDによる震動制御について、連成系モデルによる機能評価、費用、施工、メンテナンスなどの側面から多角的に比較検討し、相対的に安価で機能性や施工性に優れたTMDによる震動制御の優位性を示した。

研究成果の概要(英文)：In the Great East Japan Earthquake, Shinkansen operation system had stopped for long time, because a large number of OCS poles of pre-stressed concrete on Shinkansen viaducts had fell down even though the viaducts were not severely damaged. Thus, the seismic performance of the OCS-poles should be clarified and improved shortly by realistic techniques. In this study, firstly building a three-dimensional coupled frame model of four-block Shinkansen viaducts including OCS-poles and catenary cables, seismic response analysis was conducted and the dynamic response properties of the viaducts and OCS-poles have clarified. Secondly, based on those results, a vibration control technique using TMD to ease damage of OCS-poles was proposed. Finally, conducting some simulations and referring to various material on TMD, the advantage of the proposed technique to the conventional ones improving seismic performance of OCS-poles in terms of function, cost, workability and maintenance was shown.

研究分野：デジタル信号処理, 振動工学, 電磁波計測, モニタリング

キーワード：電車線柱 新幹線高架橋 地震 損傷 動的非線形解析 モニタリング

### 1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震において、東北新幹線高架橋上のPC(プレストレストコンクリート)製電車線柱が500km以上の広域にわたり500本以上折損・傾斜した。地震による高架橋本体の損傷は比較的軽微であった一方、電車線柱の復旧に時間を要したため全線運転再開は2011年4月29日まで遅れた。新幹線の迅速な復旧および電車線柱の走行車両への衝突による二次災害防止に向けて対策を講ずることは急務である。しかし、電車線柱には高架橋を介して地震動が伝達されるため応答評価は容易ではない。一方、電車線柱は規格品で種類が限定されており、特に経済的理由から多く使用されてきたコンクリート柱は東北新幹線および上越新幹線だけでも総数22,000本を超えることから、適切な地震対策が提案されることにより広範囲に規格化された対策を適用できる。したがって、電車線柱の耐震性能をより正確に評価し、地震対策について十分検討されることが重要である。

### 2. 研究の目的

本研究では、新幹線高架橋上のPC製電車線柱の耐震性能について、調整桁で連結された高架橋や電車線・電線を組み込んだモデルを構築して連成系地震応答解析により精度よく評価したうえで、PC製電車線柱に対するTMDを利用した制震対策と現行対策の多角的な比較をおこなう。

### 3. 研究の方法

本研究では、調整桁で連結された高架橋や電車線・電線による影響を反映させたモデルを利用するために、高架橋モデル4ブロックを調整桁モデルで連続させ、各高架橋ブロックに1対の電車線柱モデルを建植し、隣接する電車線柱モデルを電車線・電線モデルで連結した連成系モデルを構築した。そのモデルを使い動的非線形解析を実施し、地震に対する電車線柱の耐力をまず把握する。そして、そのモデルにTMDを適用し、数値解析的に効果を検証することで、最適なTMDのパラメータについて提案する。

### 4. 研究成果

本研究では、新幹線高架橋上のPC製電車線柱の耐震性能について、調整桁で連結された高架橋や電車線・電線による連成をふまえた三次元連成系骨組みモデルを構築し、連成系地震応答解析により精度良く評価した。そのうえで、大規模地震対策として、現行対策とTMDによる震動制御を多角的に比較検討した。得られた結論は以下のとおりである。

(1) 高架橋が調整桁で連結されることにより電車線柱に与える影響は小さい一方、電車線・電線により電車線柱が受ける拘束は大きく、これにより電車線柱に加わる負荷は軽減される。この傾向は剛結基礎においてより顕著である。

(2) 電車線柱の塑性化による固有振動数低下をふまえて設計したTMDによる震動制御

は、電車線柱の基礎形式によらず安定して損傷制御効果大きい。門型化、高靱性化補強は、それぞれ砂詰基礎、剛結基礎で特に有効である。

(3) TMDは基礎形式に依存せず機能性が高いことに加え、要する費用が現行対策の1/2程度であり、施工性にも優れている。定期点検による負担はあるが、多角的に評価すると検討した現行対策と比較して優位である。

以上により、TMDによる震動制御は、既存PC製電車線柱の大規模地震対策として有効であることが確認できた。しかし、本研究ではTMDの具体的な構造設計には至っておらず、また、対象とした電車線柱の規格も同一であった。今後、数値シミュレーションに加えて実験による検証も実施し、詳細に検討する必要がある。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 13 件)

水谷司、飯島怜、武田智信、築嶋大輔、佐々木崇人：新幹線高架橋上の電車線柱の連成系地震応答解析およびTMDによる震動制御、土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 72, No. 4, pp. I\_604-I\_618, 2016.

中村渚、水谷司、長山智則：内巻きスパイラル筋RC柱高架橋が終局に至る地震動の大きさの動的非線形解析による推定、土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 72, No. 4, pp. I\_213-I\_223, 2016.

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.

蘇迪、佐野聡、田中博文、長山智則、水谷司：加速度と車内音の相互補正による鉄道車両の位置同定手法、構造工学論文集, pp. 571-584, Vol. 62A, 2016.

水谷司、猪又憲治、辻田亘、藤野陽三、長山智則：漏えい同軸ケーブルの表面波モードの電界変動による高精度な降雨強度の推定に関する実験的研究、電子情報通信学会論文誌, Vol. J98-B, No. 12, pp. 1289-1297, 2015.

武田智信、長山智則、水谷司、藤野陽三：三次元動的解析を用いた曲線ラーメン高架橋に特徴的な地震応答の分析, Vol. 34, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 71, No. 4, pp. I\_641-I\_649, 2015.

水谷司、肥田隆宏：支配的Lipschitz-Hölder指数の推定によるRC橋脚の加速度応答波形

からのリアルタイム損傷検知, 構造工学論文集, Vol. 61A, pp.188-197, 2015.・

肥田隆宏, 水谷司, 高橋良和, 藤野陽三: RC柱の非線形地震応答波形からのウェーブレット変換を用いた簡易な損傷検知手法の検討, 土木学会論文集A2 (応用力学), Vol. 70, No. 2, pp. I\_937-I\_945, 2015.

高田修太, 水谷司, 藤野陽三: 日米都市内高速道路の維持管理における事例調査と費用に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 61A, pp. 513-521, 2015.

武田智信, 長山智則, 水谷司, 藤野陽三: 三次元動的解析による曲線高架橋に特徴的な地震応答の分析, 鋼構造年次論文報告集, Vol. 22, pp. 175-182, Nov., 2014.

水谷司, 猪又賢治, 辻田亘, 本田利器, 藤野陽三, 長山智則: 通信用アンテナの電波の乱れの特異性強度の分析によるリアルタイム降雨検知, 水文・水資源学会誌, Vol. 27(5), pp. 208-218, 2014. (水文・水資源学会論文奨励賞 受賞論文)

高本剛太郎, 水谷司, 藤野陽三, シリンゴリンゴディオンシウス: 東北地方太平洋沖地震においてみられた横浜ベイブリッジの主塔主桁間の衝突とその再現による動的特性の解明, 構造工学論文集, Vol. 60A, pp. 242-248, 2014.

蘇迪, 嶋田優樹, 三輪陽彦, 藤野陽三, 長山智則, 水谷司: 交通荷重下の鋼桁橋の応答計測と局部応力の評価, 構造工学論文集, Vol. 60A, pp. 205-213, 2014.

[学会発表] (計 42 件)

Tomoaki Takeda, Tsukasa Mizutani, Tomonori Nagayama and Yozo Fujino, Seismic Performance Evaluation of Yokohama-Bay Bridge Using Multi-Scale Model, The 6th Asia Conference on Earthquake Engineering, September 22-14, 2016.

T. Takeda, T. Mizutani, T. Nagayama and Y. Fujino, "Seismic Response Analysis of Yokohama-Bay Bridge Considering Pounding between Wind-tongue and Wind-shoe and Safety Evaluation during the 2011 Great East Japan Earthquake," 日中米ライフライン地震工学シンポジウム, 2016.

武田 智信, 水谷 司, 長山 智則, 藤野 陽三: 東北地方太平洋沖地震における横浜ベイブリッジのウインド杵-タンク間の衝突応答の再現と安全性の検討, 第6回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム, 土木学会,

pp.1-5, 東京, 新宿, 2016年1月.

T. Mizutani, and T. Hida, "Real-Time Damage Detection Based on Acceleration Response Waveform of RC Bridge Pier with Estimation of Predominant Lipschitz-Hölder Exponent," Proceedings of EASEC-14 (The Fourteenth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction), Ho Chi Minh City, Viet Nam, Jan., 2016. (to appear)

T. Takeda, T. Mizutani, T. Nagayama and Y. Fujino "Analysis of Possible Damage on Yokohama-Bay Bridge Due to Pounding between the Wind Tongue and Wind Shoe during Level 2 Earthquakes," Proceedings of EASEC-14 (The Fourteenth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction), Ho Chi Minh City, Viet Nam, Jan., 2016. (to appear)

J. Nakasuka, T. Mizutani, Y. Yamamoto, M. Uchida, D. Su, and T. Nagayama, "Analysis of Large Amplitude Vibration Mechanism of High-speed Train PRC Girder Bridges Based on Vibration Measurement," Proceedings of EASEC-14 (The Fourteenth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction), Ho Chi Minh City, Viet Nam, Jan., 2016. (to appear)

水谷司, 飯島怜, 武田 智信, 築嶋 大輔, 佐々木 崇人: 新幹線高架橋上の電車線柱の連成系地震応答解析および TMD による震動制御, 第35回地震工学研究発表会, No. 859, pp. 1-15, 東京, Oct., 2015.

中村渚, 水谷司, 長山智則: 内巻きスパイラル筋 RC 柱を有する鉄道高架橋の動的非線形解析による終局耐力の推定, 第35回地震工学研究発表会, No. 769, pp. 1-11, 東京, Oct., 2015.

T. Takeda, T. Mizutani, T. Nagayama, and Y. Fujino, "Analysis of Possible Damage on Yokohama-Bay Bridge Due to Pounding between the Wind Tongue and Wind Shoe during Level 2 Earthquakes," Proceedings of EASEC-14 (The Fourteenth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction), Ho Chi Minh City, Viet Nam, Jan., 2016. (to appear)

T. Nagayama, A. P. Reksowardojo, D. Su, and T. Mizutani, "Bridge Natural Frequency Estimation by Extracting the Common Vibration Component From the Responses of Two Vehicles," Proceedings of 6th International Conference on Advances in

Experimental Structural Engineering, No. 294, University of Illinois, Urbana-Champaign, US, Aug., 2015.

D. Su, T. S. Sano, T. Nagayama, H. Tanaka, and T. Mizutani, "Train Localization by Mutual Correction of Acceleration and Interior Sound," Proceedings of 6th International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering, No. 233, University of Illinois, Urbana-Champaign, US, Aug., 2015.

J. Nakasuka, T. Mizutani, Y. Yamamoto, M. Uchida, D. Su, and T. Nagayama, "Analysis of Large Amplitude Vibration Mechanism of High-speed Train PRC Girder Bridges Based on Vibration Measurement," Proceedings of 6th International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering, No. 169, University of Illinois, Urbana-Champaign, US, Aug., 2015.

水谷司, 飯島怜, 武田智信, 蘇迪, 長山智則: 新幹線高架橋上の電車線柱の連成系地震応答解析と TMD による震動制御, 第 18 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 445-454, 2015.

水谷司・肥田隆宏: 地震時の RC 橋脚の 1 次スクリーニングを目的とした加速度波形からのリアルタイム損傷検知, 第 18 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 201-208, 2015.

武田智信, 水谷司, 長山智則, 藤野陽三: 大地震時における横浜ベイブリッジのウインド脊 - ウインドタンク間の衝突現象の三次元骨組みモデルによる分析, 第 18 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 247-250, 2015.

中須賀淳貴, 水谷司, 山本悠仁, 蘇迪, 長山智則: 新幹線高架橋 PRC 桁の大振幅振動現象の非接触振動計測による原因推定, 第 18 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 479-486, 2015.

K. Inomata, W. Tsujita, T. Mizutani, "Wide Area Microwave Object Sensing Technologies," BIT's 4th Annual World Congress of Advanced Materials-2015, Dalian, China, pp. not-fixed, May, 2015 (招待講演).

J. Nakasuka, T. Mizutani, D. Su, and T. Nagayama, "Analysis of Large Amplitude Vibration Phenomena of High-Speed Train PRC Girder Bridges based on Vibration

Measurement," Proceedings of ANCRiSST (Asian-Pacific Network of Centers for Research in Smart Structure Technology), Illinois, US, July, pp. not-fixed, 2015.

水谷司, 肥田隆宏: 局所支配的 Hölder 指数の推定による RC 橋脚の加速度応答波形からの損傷検知, 第 18 回応用力学シンポジウム, 土木学会, 金沢大学, pp. 330-331, 2015.

T. Takeda, T. Nagayama, T. Mizutani, Y. Fujino, "Seismic Performance Evaluation of a Curved Rigid-frame Bridge Using Three dimensional Dynamic Analysis," IABSE Symposium, pp. not-fixed, Nara, May, 2015.

T. Mizutani, T. Hida, Y. Fujino, T. Nagayama, "Detection of State Changes of RC Columns in Shaking Table Tests by Singularity Analysis of Their Acceleration Responses," Forth International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE), Waseda, Japan, Nov., pp. 377-383, 2014.

S. Takada, T. Mizutani, Y. Fujino, "Study on Maintenance Cost of Urban Expressways -Case Studies of Tokyo Metropolitan Expressway and Hanshin Expressway-, " Forth International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE), Waseda, Waseda, Japan, Nov. 2014.

T. Takeda, T. Nagayama, T. Mizutani, Y. Fujino, "Seismic Response Characterization of a Curved Rigid-Frame Bridge Using Three Dimensional Nonlinear Dynamic Analysis," Forth International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE), Waseda, Waseda, Japan, Nov. 2014.

武田智信, 長山智則, 水谷司, 藤野陽三: 三次元動的解析による曲線高架橋に特徴的な地震応答の分析, 鋼構造シンポジウム 2014, No. S-4-25, pp. 1-6, 東京, Nov., 2014.

武田智信, 長山智則, 水谷司, 藤野陽三: 三次元動的解析を用いた曲線ラーメン高架橋に特徴的な地震応答の分析, 第 34 回地震工学研究発表会, No. A24-720, pp. 1-9, 新潟, Oct., 2014.

T. Takeda, T. Nagayama, T. Mizutani, Y. Fujino, "Seismic performance evaluation of a curved rigid-frame bridge including non-structural components using three dimensional nonlinear dynamic analysis," The 1st international conference of International Alliance for Sustainable

Urbanization and Regeneration(IASUR), No. F-5-3, pp.335-344, Chiba, Oct., 2014.

T. Mizutani, T. Hida, Y. Fujino, T. Nagayama, "Damage Detection of RC Columns in Shaking Table Tests by Singularity Analysis of Their Acceleration Responses," 37th IABSE Symposium, Madrid, Spain, Sep., pp.2916-2923, 2014. (DOI: <http://dx.doi.org/10.2749/222137814814069642>)

水谷司, 横田祐起: 東北新幹線高架橋上の電車線柱に着目した動的非線形解析による耐震性能評価, 第 17 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 235-242, 2014.

中村渚, 水谷司: 内巻きスパイラル筋 RC 柱を有する鉄道高架橋の動的非線形解析による終局耐力の推定, 第 17 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 357-364, 2014.

肥田隆宏, 水谷司, 高橋良和, 藤野陽三: 非線形地震応答波形からのウェーブレット変換による状態変化の検出, 土木学会第 17 回応用力学シンポジウム, 琉球大学, pp. 81-82, 2014.

(以下, 学会会議録)

水谷司, 肥田隆宏: 局所支配的 Hölder 指数による RC 橋脚上加速度応答波形からの損傷有無のスクリーニング手法の提案, 土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集, Vol. 70, 2015.

飯島怜, 水谷司, 武田智信, 佐々木崇人, 蘇迪, 長山智則: 新幹線高架橋上の電車線柱の TMD による震動制御効果の連成系地震応答解析による分析, 土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集, Vol. 70, 2015.

中須賀淳貴, 水谷司, 山本悠人, 内田雅人, 蘇迪, 長山智則: 大振幅振動現象を示す新幹線高架橋 PRC 桁の非接触振動計測による構造特性の分析, 土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集, Vol. 70, 2015.

A. P. Rekswardojo, T. Nagayama, D. Su, T. Mizutani, "Bridge Natural Frequency Estimation by Extracting the Common Vibration Component from the Responses of Two Vehicles," 70th JSCE Annual Conference, pp. not-fixed, 2015.

内田雅人, 築嶋大輔, 水谷司, 中須賀淳貴: PRC 単純 T 桁の固有振動数に対するひび割れ

の影響, 土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集, Vol. 70, pp. 未定, 2015.

内田祐人, 平山訓広, 石橋忠良, 水谷司, 武田智信: 変形性能が高い部材の耐震性能と固有周期の関係について, 土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集, Vol. 70, pp. 未定, 2015.

平山訓広, 内田裕人, 石橋忠良, 水谷司, 武田智信: 最大耐力以降の変形性能の向上による耐震性能への影響について, 土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集, Vol. 70, pp. 未定, 2015.

佐野聡, 蘇迪, 長山智則, 水谷司, 田中博文: 加速度と車内音の相互補正による列位置同定手法の提案, 土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集, Vol. 70, pp. 未定, 2015.

武田智信, 長山智則, 水谷司, 藤野陽三: 非線形地震応答解析を用いたレベル 2 地震時における横浜ベイブリッジのウインド杓-ウインドタンク間の衝突応答とその影響の分析, 土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集, Vol. 70, pp. 未定, 2015.

水谷司: 低 S/N デジタル信号からの Lipschitz-Hölder 指数による特異的物理現象の検出 - 通信用アンテナの微弱電波信号の降雨による特異的変化の検出を例に -, 土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集, Vol. 69, I-9, No. 501, pp. 1001-1002, 2014.

中村渚, 水谷司: 内巻きスパイラル RC 柱を有する鉄道高架橋の動的非線形解析による終局耐力の推定, 土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集, Vol. 69, I-6, No. 288, pp. 575-576, 2014.

横田祐起, 水谷司: 電車線柱に着目した鉄道高架橋の動的非線形解析による耐震性能評価, 土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集, Vol. 69, I-6, No. 311, pp. 621-622, 2014.

[図書] (計 1 件)

共著: 社会インフラメンテナンス学 I 総論編 II 工学編, 土木学会, pp. 111-153 (第 2 章 インフラのメンテナンス概論「点検, 調査, モニタリング」パート), 2015.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:

出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

水谷 司 ( MIZUTANI, Tsukasa )  
東京大学・大学院工学系研究科・助教  
研究者番号：10636632

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：