

令和元年6月21日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02358

研究課題名(和文) 実用化に向けた橋梁系インフラのワイヤレス構造モニタリングに関する実証研究

研究課題名(英文) Development of Seismic Damage Assessment Method for Instrumented Large Civil Structures using Sparse Representation Techniques

研究代表者

藤野 陽三 (FUJINO, Yozo)

横浜国立大学・先端科学高等研究院・特任教員(教授)

研究者番号：20111560

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,200,000円

研究成果の概要(和文)：新那珂川大橋ならびに横浜ベイブリッジとアプローチスパンを対象に高密度ワイヤレス地震応答観測システムを装着し、前者においては計19個、後者においても1個の地震記録の獲得に成功した。システムの改善を重ね当初はバッテリー交換時間も2年に延ばすことに成功した。また記録をウェブ上に自動的に送るシステムも構築した。得られた記録から橋脚に対する入出力損失効果を、また斜張橋部の構造モデルを作成し地震動応答の再現性についても確認した。さらに地震による損傷を地震応答記録から逆同定するシステムを構築しシミュレーションの上ではあるが、その妥当性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ワイヤレス地震観測システムを構築することで経費的にも手間的にもモニタリングに対するバリエーションを大幅に減らし、ワイヤレス地震応答観測の普及が促進される。このことで地震後の被害診断ならびに交通管制に対する効率化が図られる。

研究成果の概要(英文)：In this research, development of an inexpensive wireless seismic monitoring system of large bridges is aimed. Shin Nakagawa bridge(cable-stayed type) was chosen as a target bridges because it had significant damage in 2011.3.11 Tohoku Earthquake. The response was measured for more than 15 number earthquake. The monitoring system was significantly improved based on the performance. In 2018, the monitoring system was also installed in Yokohama Bay Bridge and its adjacent recorded.

Based on the response data, the various design assumptions were examined, typically the filtering effects of seismic excitation through the large bridge foundation. The structural model validated was used to simulate the seismic performance in 2011.3.11 earthquake and based on the analysis, seismic retrofit proposal was shown.

Various damage detection methods based on the monitored response were developed and their validation was made using the validated structural model of Shin Nakagawa bridge.

研究分野：工学

キーワード：工学 土木工学 構造工学 地震工学 維持管理工学

# 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 橋などの地震応答観測は数十年の歴史を持つが地震計ならびに電源通信の有線ケーブルネットワークを用いた非常に高価なシステムであった。そのため地震応答観測が普及しない状況にあった。

(2) 地震応答観測システムはオフラインで行われるため地震ごとにデータを収集し、後日解析するもので、リアルタイム性がなく、そのため地震被災後の構造診断や交通再開活動などの判断にはいっさい用いることができなかった。

## 2. 研究の目的

(1) 廉価なワイヤレス地震観測システムを構築し実際の橋梁に設置することで様々な経験を積みそのシステムを改善する。システム改善のポイントはバッテリーの交換期間の長期化と、観測データのウェブ上の通信方法を開発することである。

(2) 得られた地震観測データから既往の耐震設計で用いるモデルの妥当性を検証するとともに、地震応答記録から迅速に損傷の有無を判定できるシステムを構築すること。

## 3. 研究の方法

(1) 新那加川大橋を対象にワイヤレス地震応答観測システムを設置する。地震計の数はワイヤレス地震観測システムの地震計同士での無線通信の信頼度を確認するために、多数であることが望ましく 50 台を設定する。そのシステムのバッテリーにおける電力消費を調査し、限りなく電力消費への少ないシステムへの改善を図る。

(2) 得られた地震応答記録から既往の耐震設計モデルの妥当性を実データの上から明らかにする。なお、同橋は 2011 年 3 月 11 日の東日本太平洋地震においてゴム支承部において損傷が発生しており、そのメカニズムを考究する。検討し改善策を提案する。また地震応答記録から迅速に損傷を判定するシステムを構築する。

## 4. 研究成果

(1) 新那加川大橋において、東大からスピンアウトしたベンチャー企業ソナス社が開発しているワイヤレス地震応答観測システム（計 50 台）を 2017 年に設定した。設置箇所は斜張橋の桁部、主塔部、橋脚部、地面および隣接する勝田高架橋の桁部、橋脚部（図 1）、地面である。2018 年度までに計 19 回の有感地震があり、その応答記録を記録することに成功した（表 1）。当初は半年もたなかったバッテリーも親ノードのみを常時オンとし、子ノードは親ノードに wake-up することで通常はオフにしておくシステムにすることにより消費電量が大幅に低減した。現在では 2 年バッテリーがもつ状態になっている。今後も検討を進めこれを橋梁点検の間隔である 5 年にしたいと考えている。2018 年度には横浜ベイブリッジのサイドスパンの端部の桁ならびにアプローチ高架橋部の桁ならびに地面に地震計を 12 台設置した。11 月 27 日に地震が発生し、その記録の獲得に成功した。

(2) 得られた地震記録から新那加川大橋の主塔部における入出力損失効果を定量的に調査し検討した。その結果高周波帯域がフィルターアウトすることが検証できた。耐震設計で用いられている入出力損失モデルと比較しその妥当性を知ることができた。いっぽう一般高架橋の高架橋における入出力においては大きなフィルター効果が見られなかった。地震応答の構造モデルを構築し、

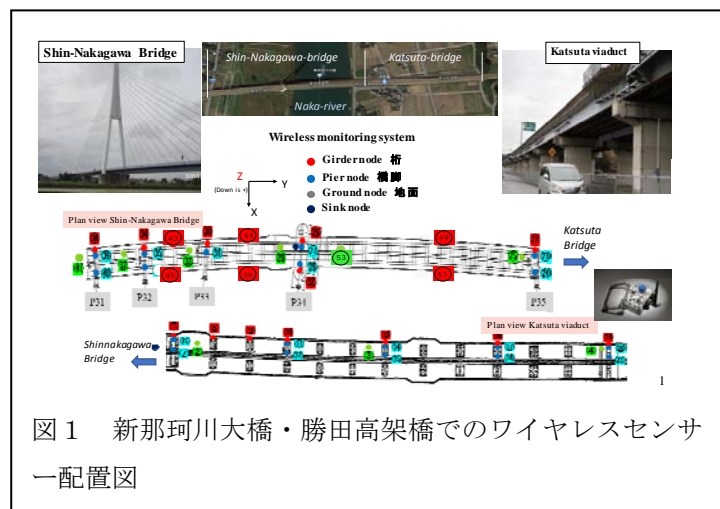


図 1 新那珂川大橋・勝田高架橋でのワイヤレスセンサー配置図

えられた地震出入力の応答の再現性を検討した。その結果、地震応答をほぼ再現することに成功した。

そのモデルを用いて2011年3月11日東日本太平洋沖地震を再現した。同橋には地震計が設置してなかったのでK-NETの地震動記録を用いた。応答解析の結果、同橋が一面つりの斜張橋で、ねじり合成が低いため、桁がねじれやすく、それにより地震時にゴム支承に損傷ができたと推定された。いくつかの耐震補強策を検討し桁部のねじれ変形を拘束する装置を導入することが適切という提案を行った。

また、横浜ベイブリッジの記録においては従来の地震応答システムの比較から高周波部のフィルターに改善する余地が有ることが判明しシステムの改善を行った。

(3) ワイヤレス地震観測システムは従来のシステムに比べその費用が一桁以上低下する。このことにより重要な橋梁高架橋への地震観測システムへの導入が期待される。応答記録をリアルタイムで解析するシステムにもなっており地震後の被害調査、交通再開などの時間を大幅に低減するとともに適切な定量的な判断が行われる。そのためにはえられた地震記録から損傷を検知するシステムが必要である。本研究ではその妥当性が検討され新那加川大橋の構造モデルを用いて、損傷判定のスパース構造モデル手法を用いた手法を開発した。またその妥当性についても検証した。

No	Date and Time of Earthquake	Epicenter Latitude,Altitude	震源地	Epicenter coordinate Depth [km]	Magnitude (M)	最大震度	Distance from epicenter to the bridge (km)	JMA Intensity at Bridge
1	3/8/2017	36.04N,139.53E	茨城県南部	46	M4.6	震度3	98.74	震度1
2	5/8/2017	36.27N,140.36E	茨城県北部	56	M4.1	震度3	20.20	震度1
3	18/08/2017	36.35N,141.04E	茨城県沖	45	M3.9	震度2	43.19	震度1
4	26/08/2017	37.01N,140.35E	福島県中通り	8	M4.7	震度3	74.92	震度1
5	27/08/2017	36.44N, 140.34E	茨城県北部	11	M4.8	震度3	21.56	震度1
6	19/10/2017	36.29N, 140.51E	茨城県沖	50	M3.8	震度2	8.61	震度1
7	11/2/2017	36.48N, 140.46E	茨城県沖	74	M4.3	震度3	16.22	震度1
8	11/3/2017	36.81N, 140.53E	茨城県北部	8	M4.8	震度3	55.00	震度2
9	2/6/2018	36.638N, 140.903E	茨城県沖	51	M3.7	震度3	45.00	震度1
10	3/30/2018	36.442N, 140.620E	茨城県北部	56	M5.1	震度4	15.00	震度2
11	4/3/2018	36.75N, 140.708E	茨城県北部	95	M3.8	震度2	50.00	震度1
12	5/17/2018	36.35N,140.60E	??????	52	M5.3	震度4	75.00	震度1
13	7/17/2018	36.43N,140.69E	茨城県沖	52	M4.8	震度4	15.00	震度3
14	9/5/2018	36.48N,141.34E	茨城県沖	60	M5.5	震度4	72.00	震度2
15	11/27/2018	36.07N,139.86E	茨城県南部	44	M5.0	震度4	75.00	震度1
16	5/25/2019	35.3N 140.3E	千葉県南部	40	M5.1	震度5弱	119.80	震度1
17	5/27/2019	36.7N, 140.7 E	茨城県北部	10	M4.2	震度4	40.18	震度1
18	6/17/2019	36.5 N,140.6E	茨城県北部	80	M5.2	震度4	16.32	震度2
19	6/18/2019	38.6N,139.5E	山形県沖	10	M6.8	震度6強	266.30	震度1

表1 計測できた地震応答記録

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

① Yozo Fujino, Dionysius Siringoringo, Ikeda Y., Nagayama T., Mizutani T., Monitoring Experiences for Bridge and Building Structures in Japan, Engineering - Journal of the Chinese Academy of Engineering and Higher Education (in press 2019) 査読有

② Yozo Fujino: REVIEW Vibration-based monitoring for performance evaluation of flexible civil structures in Japan, Proceedings of the Japan Academy Series B Physical and Biological Sciences, Vol.94, No.2, pp.98-128, Feb. 2018. 査読有

③ Z Sun, T Nagayama, M Nishio and Y Fujino: Investigation on a curvature-based damage detection method using displacement under moving vehicle, Structural Control and Health Monitoring, 2018;25:e2044. (DOI: <https://doi.org/10.1002/stc.2044>) 査読有

④ Dionysius M. Siringoringo, Yozo Fujino: Wind-induced responses and dynamics characteristics of an asymmetrical base-isolated building observed during typhoons, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 167, pp. 183-197, 2017 (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2017.04.02>) 査読有

⑤Z Sun, T Nagayama, D Su and Y Fujino: A damage detection algorithm utilizing dynamic displacement of bridge under moving vehicle, Shock and Vibration, vol. 2016, Article ID 8454567, 9 pages, ISSN 1349-3507, 2016.

(DOI: <https://doi.org/10.1155/2016/8454567>) 査読有

⑥Yozo Fujino, Dionysius Siringoringo and Masato Abe: Japan's experience on long-span bridges monitoring, Journal of Structural Monitoring and Maintenance, Vol.3(3), 233-257, 2016.

(DOI: <https://doi.org/10.12989/smm.2016.3.3.233>) 査読有

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 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

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

①研究分担者氏名: 水谷 司

ローマ字氏名: (MIZUTANI, tsukasa)

所属研究機関名: 東京大学

部局名: 生産技術研究所

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 10636632

### ②研究分担者

研究分担者氏名: 森川 博之

ローマ字氏名: (MORIKAWA, hiroyuki)

所属研究機関名: 東京大学

部局名: 大学院工学系研究科 (工学部)

職名: 教授

研究者番号 (8 桁): 50242011

### ③研究分担者

研究分担者氏名：長山 智則

ローマ字氏名：(NAGAYAMA , tomonori)

所属研究機関名：東京大学

部局名：大学院工学系研究科（工学部）

職名：准教授

研究者番号（8桁）：80451798

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※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。