

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 23 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24246081

研究課題名(和文) 巨大津波により被災した橋梁の詳細分析

研究課題名(英文) Detailed investigation of damage mechanism of the bridge due to Great East Japan Earthquake

研究代表者

幸左 賢二 (Kosa, Kenji)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：00315160

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では現地における実構造物を対象とした津波による橋梁損傷メカニズムの分析および桁模型を用いた水理実験による橋梁への水平作用力、鉛直作用力を明らかにした。8地区を対象とした被害分析の結果、概ね値と損傷度は一致した傾向となり、桁形状、桁重量、流速が流出を支配する要因であることが明らかとなった。また、水理実験を基に、水平作用力、鉛直作用力算定式を提案した。これらの提案式は他機関で実施された結果とも一致した傾向となった。

研究成果の概要(英文)：More than 300 bridge girders were washed away by the tsunami due to the Great East Japan Earthquake. The authors conducted on the field survey, the damage condition and the possible mechanism of washed away of bridges have been investigated. By comparing the value (ratio between girder and wave horizontal force), it was confirmed that the girder which was washed away, have received high wave velocity, or have low resistance against tsunami force such as light weight of girder. The tsunami experiment was conducted by using the parameters as wave height, girder shape and girder height. From the experimental studies, the horizontal force and vertical force when the solitary wave impacts on the bridge girder, were proposed. By comparing other experimental tests, the proposed force shows the excellent agreement with other experimental tests.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：津波 橋梁被害 水平作用力 鉛直作用力 段波 定常流

#### 1. 研究開始当初の背景

2004年12月26日に発生したスマトラ沖地震による巨大津波は、各地に甚大な被害を発生させた。特に橋梁や道路盛土等の道路構造物に対しては70箇所及以上の流出など著しい被害が発生している。一方、我が国においても2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波の影響で、東北地方の太平洋沿岸は壊滅的な被害を受けた。特に橋梁については200箇所を超える流出などの被害が発生している。津波に関する過去50年間に及ぶ研究の成果としては断層モデルを仮定することにより、海岸に押し寄せる津波の波高や流速についてはある程度予想することが可能となってきた。一方これら巨大津波による橋梁への作用力や評価手法については現在まで十分には確立されていない。

#### 2. 研究の目的

本研究では現地における実構造物を対象とした津波による橋梁損傷メカニズムの分析および模型桁を用いた水理実験による津波による橋梁への水平、鉛直作用力特性を明らかにし、橋梁構造物の耐津波設計法を確立する。

#### 3. 研究の方法

##### 1) 被害分析

多数の津波映像がある、志津川 歌津 小泉 陸前高田 釜石 新北上 関上 荒浜の8地区を対象とした。被害分析の手法は、映像分析に基づいた流速と水位の時刻歴により橋桁に作用した流速を求め、橋梁では桁抵抗力作用力比(値)により流出被害の分析を行う。次いで、数値解析で得られた結果の妥当性を映像解析結果により検証した。

##### 2) 水理模型実験

(1) 孤立波性状の津波によって橋梁に生じる作用力評価

本研究では既往の設計手法の整理を行い、橋梁を対象に、津波による桁への作用力を評価するための実験を実施した。孤立波を造波し、分力計を用いて、橋梁に作用する波力、揚力の計測を行い、得られた実験結果から、橋梁上部工における津波作用力算定式の提案を行った。

(2) 準定常的な持続波によって橋梁に生じる作用力評価

実際に橋梁に作用したと考えられる準定常的な持続波によって発生する作用力を評価するために、回流装置を用いた定常流実験を実施した。

##### 3) 耐津波設計法

I形またはT形断面の標準的な桁形状の橋梁に東日本大震災で観測された規模の津波が作用した場合の設計法を提案した。

#### 4. 研究成果

##### 1) 被害分析

###### 志津川

画像分析による八幡橋付近での津波高さの上昇速度は平均で2.24m/minである。津波の水位は比較的ゆっくり上昇し、桁に作用した波形状は段波でないことが推測できる。観測流速は7.0m/sと早く、各橋梁の値と損傷度は概ね一致している。

###### 歌津

歌津大橋の流出状況は、全12径間中8径間の桁が流出し、S3~4は平面的に回転、S5~7は水平方向に、S8~10はそれぞれ橋軸回りに回転し桁の天地が反転しており、最大で41m上流側へ移動している。解析結果に基づいた値は桁間の浮力を評価することで流出状況と良く整合し、その後作用した流速が最大流速4m/sよりも遅かったため、桁の移動距離が小さかったと推察される。

###### 小泉

小泉地区を遡上する津波の解析結果は、小泉大橋のほぼ橋軸直角方向に作用し、その流速は桁下到達時点で3.7~4.2m/s、路面完全浸水時で5.5~5.7m/sとなり、さらに最大で7.3m/sとなり、早い流速により、値は極めて小さくなり橋梁流出に至ったと推察される。

###### 陸前高田

気仙川を遡上する津波を捉えた多方面からの写真画像および映像資料より津波の先端部は概ね2mの波高を有する段波であった。しかしながらこの段波は桁に直接作用せず、徐々に水位が上昇する定常流状の流れが継続して作用した結果、桁が流出したことが明らかになった。また流速は7.0m/sと早く値も小さくなり、損傷形態と一致している。

###### 釜石

甲子川を撮影した映像資料に基づく津波特性の分析の結果、甲子川を遡上する津波の流速は平均で4.3m/s、最大でも5.3m/sであり、東北沿岸部6地域で測定された41の全体平均速度5.7m/sに比して遅い。矢の浦橋の上部構造と同じ鋼桁である気仙大橋、小泉大橋を構造上の特徴で比較した結果、矢の浦橋は最も橋の総幅が広く上部構造重量が最も大きいため、津波作用力に対して大きな抵抗力を有する。従って作用した流速が小さかったことに加えて、大きな抵抗力となる構造的特徴を有することも流出を免れた要因の一つであると考えられる。

###### 新北上

数値解析の結果から得られた新北上大橋の位置における左岸部(流出桁)、中央部(未流出桁)、右岸部(未流出桁)の最大流速を用いて新北上大橋の流出評価を行うと、値はそれぞれ1.05、0.77、0.83と流出桁、未流出桁とは異なる傾向を示す。しかしながら、それぞれの値は概ね1.0前後にあることから拮抗した結果となっている。

###### 関上

津波の流速(実測値)は、平均的には4.4m/sであるが、一部で7m/sを超える流速も確認された。これらの流速は海岸線からの距離に比例して流速が減少する傾向がみられる。

荒浜

津波の浸水高(実測値)は海岸線近傍で最大12.1mに到達しているものの、海岸線から3700mの位置では2.2mまで減少しているのが確認でき、水位減少量は約1.6m/kmとなった。津波の流速は名取川近傍の藤塚地区においては平均流速6.6m/sであったのに対して、荒浜小学校近傍での平均流速は2m/sと地域によって流速差が生じていた。

## 2) 水理模型実験

(1) 孤立波性状の津波によって橋梁に生じる作用力評価

2009年度に提案した段波性状の津波の水平・鉛直作用力評価式と他機関より得られた作用力を比較した。その結果、概ね全ての実験結果を提案式が包括している。このことから2009年度に提案した水平・鉛直評価式は概ねすべての段波性状の津波の水平・鉛直作用力を安全側に見積もることができると考えられる。

(2) 準定常的な持続波によって橋梁に生じる作用力評価

橋桁に作用する水平作用力は、道路橋示方書による抗力係数および桁位置での水平流速から本提案式を用いて水平作用力を算出した場合、他機関の実験においても2割程度の誤差内で波力の評価が可能である。また鉛直作用力は、他機関の実験においても水面付近の揚力係数は負の値を示し上向きの波力は生じない。これは、橋桁側面に作用した水の流れが越流し、床版上面に上から下向きに作用するためである。

## 3) 耐津波設計法

以下の各部材に対する設計法を提案した。

- (1) 上部構造に生じる段波波力の評価式
- (2) 上部構造に生じる重複波力の評価式
- (3) 橋脚や橋台に生じる段波波力の評価式
- (4) 橋脚や橋台に生じる重複波力の評価式

## 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23件)

- 1) 田中将登, 幸左賢二, 佐藤崇, 佐々木達生, 陸前高田で見られた波形状に着目した橋桁作用力特性の検討, 構造工学論文集, Vol.62A, pp.384-393, 2016. 査読有
- 2) 濱井翔太郎, 幸左賢二, 佐藤崇, 佐々木達生, 孤立波によって橋桁に生じる水平作用力と桁位置に関する実験的検討, 構造工学論文集, Vol.62A, pp.394-403, 2016. 査読有
- 3) 濱井翔太郎, 幸左賢二, 佐藤崇, 佐々木達生, 孤立波性状の津波が作用する橋台に発生する水平波力の実験的検討, 土木学会論文集

B2(海岸工学), Vol.71, No.2, pp. 979-984, 2015. 査読有

4) 田中将登, 幸左賢二, 佐々木達生, 佐藤崇, 孤立波性状の津波によって橋桁に生じる鉛直作用力特性の評価, Vol.71, No.2, pp. 967-972, 2015. 査読有

5) 佐藤崇, 幸左賢二, 佐々木達生, 長周期波を用いた橋桁作用力特性の評価, Vol.71, No.2, pp. 967-972, 2015. 査読有

6) 佐藤崇, 幸左賢二, 佐々木達生, 橋台に作用する津波作用力に関する実験的検討, 構造工学論文集, Vol.61A, pp.235-245, 2015. 査読有

7) 田中将登, 幸左賢二, 佐々木達生, 佐藤崇, 橋梁に作用する孤立波の水平作用力評価, 構造工学論文集, Vol.61A, pp.246-255, 2015. 査読有

8) Li Fu, Kenji Kosa, Tatsuo Sasaki and Takashi Sato, Evaluation of tsunami force on concrete girder by experiment steady flow, Vol.61A, pp.224-234, 2015. 査読有

8) 神宮司博志, 幸左賢二, 佐々木達生, 佐藤崇, 陸前高田地区の津波被害と堤防効果に関する分析, 構造工学論文集, Vol.61A, pp.11-22, 2015. 査読有

9) 佐々木達生, 幸左賢二, 佐藤崇, コンクリート桁に作用する波形状に関する検討, コンクリート工学年次論文集, No.37, pp.703-708, 2015. 査読有

10) Li Fu, Kenji Kosa, Tatsuo Sasaki and Takashi Sato, Tsunami force on bridge comparison of two wave types by experimental test, Journal of Structural Engineering, Vol.60A, pp.282-292, 2014. 査読有

11) 神宮司博志, 幸左賢二, 佐々木達生, 佐藤崇, 画像及び数値解析手法を用いた気仙大橋の津波被害分析, 構造工学論文集 Vol.60A, pp.271-281, 2014. 査読有

12) 濱井翔太郎, 幸左賢二, 佐々木達生, 佐藤崇, 孤立波性状の津波によって橋梁へ作用する鉛直波力の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.2, pp.565-570, 2014. 査読有

13) Li Fu, Kenji kosa, Takashi Sato and Tatsuo Sasaki, CHARACTERISTICS OF TSUNAMI FORCE ON CONCRETE GIRDERS BY EXPERIMENT SIMULATING STEADY FLOW, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.2, pp.571-576, 2014. 査読有

14) 田中将登, 幸左賢二, 佐藤崇, 佐々木達生, 孤立波性状の津波によって橋梁へ作用する水平波力の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.2, pp.655-660, 2014. 査読有

15) 佐々木達生, 幸左賢二, 鄭玉龍, 桁抵抗力津波作用力に基づく橋梁の被害分析, 構造工学論文集, Vol.59A, pp.417-427, 2013. 査読有

16) Li Fu, Kenji Kosa and Tatsuo Sasaki, Tsunami damage evaluation of Utatsu

Bridge by video and 2-D simulation analysis, Journal of St. Eng., Vol.59A, pp.428-438,2013.査読有

17)Yulong Zheng, Kenji Kosa and Tatsuo Sasaki, Tsunami damage analysis for bridges in Shizugawa area, Journal of St. Eng.,Vol.59A, pp.840-851, 2013.査読有

18)付李, 幸左賢二, 中野亜美, 佐々木達生, 津波に対する歌津地区の詳細被害分析, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, pp.799-804, 2013.査読有

19)佐々木達生, 幸左賢二, 神宮司博志, 津波被害を受けた小泉地区橋梁の詳細被害分析, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, pp.805-810, 2013.査読有

20)Yulong ZHENG, Kenji KOSA and Tatsuo SASAKI, EVALUATION OF BRIDGE OUTFLOWS DUE TO GREAT TSUNAMI, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, pp.841-846, 2013.査読有

21)佐々木達生, 幸左賢二, 付李, 津波による津谷川周辺地域のPC桁橋梁を含む構造物の損傷分析, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.2, pp.1117-1122, 2013.査読有

22)Li Fu, Kenji KOSA, Hideki SHIMIZU and Yulong ZHENG, DAMAGE TO STRUCTURES DUE TO TSUNAMI AND EVALUATION OF TSUNAMI VELOCITY IN SHIZUGAWA, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.2, pp.805-810, 2012.査読有

23)Yulong ZHENG, Kenji KOSA, Hideki SHIMIZU and Li FU, DAMAGE TO STRUCTURES IN REKUZENTAKATA REGION DUE TO TSUNAMI, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.2, pp.811-816, 2012.査読有

## 6. 研究組織

(1)研究代表者 幸左賢二(KOSA Kenji)  
九州工業大学・大学院工学研究院・教授  
研究者番号：00315160

(2)研究分担者 廣岡明彦(HIROOKA Akihiko)  
九州工業大学・大学院工学研究院・教授  
研究者番号：70238400