

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 4 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008 ～ 2011

課題番号：20254002

研究課題名（和文）スマトラ沖地震により被災した公共構造物の詳細調査

研究課題名（英文）Detailed investigation of public structures damaged by Sumatra Earthquake

研究代表者

幸左 賢二（KOUSA KENJI）

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：00315160

研究成果の概要（和文）：

スマトラ沖地震で被害が発生した橋梁を対象に、被害分析とともに津波被害を模擬した模型実験を行った。橋梁被害分析では現地で確認された 83 橋梁のうち 25 橋梁の詳細分析を実施した。その結果、主な被害が桁流失と橋台背面土の流失であることを明らかにした。また 1/50 スケールの実験においては、橋梁に対する直壁構造物を対象とした波力算定式の適用性を検証すると破砕する波が橋梁に作用する場合に静水圧の 3 倍の波圧となり、合田式や朝倉式を超える波圧が計測された。

研究成果の概要（英文）：

The authors made a reconnaissance survey on the 25 bridges out of 83 bridges, which observed in Sumatra island. It was found that most of damage of bridges can be classified into two types such as lost of girders and scour around retained abutments. Next, to evaluate the tsunami force to the bridge, the experiment was executed. The wave pressure driven from the measured wave force exceeded the wave pressure driven from Doda or Asakura equation. Especially, the lift force was 3.0 times as large as static water pressure.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	11,600,000	3,480,000	15,080,000
2009 年度	10,600,000	3,180,000	13,780,000
2010 年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2011 年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
年度	0	0	0
総計	31,800,000	9,540,000	41,340,000

研究分野：土木工学

科研費の分科・細目：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：地震被害・津波・橋梁・コンクリート

## 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。今回の巨大津波においては、建築物ばかりでなく、社会基盤施設、特に橋梁や道路盛土などの道路構造物に大きな被害

が発生している。また、2011 年 3 月 11 日には東日本大震災が発生し、巨大津波により橋梁にも甚大な被害が発生している。

## 2. 研究の目的

本研究では、津波が道路構造物に及ぼす影響

について以下の項目について検討するとともに、被害の軽減策について検討した。

- (1) スマトラ島現地調査および被害分析
- (2) 津波による桁への作用力に関する実験
- (3) 東日本大震災による橋梁被害分析

### 3. 研究の方法

以下の3種類の方法により、被害分析を実施した。

- (1) スマトラ島現地調査を実施するとともに、これらのデータを基に被害分析を実施した。
- (2) 実被害橋梁をモデルとして津波による桁への作用力に関する実験を実施した。
- (3) 東日本大震災による橋梁の被害調査を実施するとともに、これらのデータを基に被害分析を実施した。

### 4. 研究成果

- (1) スマトラ島現地調査および被害分析

- ① 目視により確認できた41橋から構造種別の判別できた26橋の被害判定を行うと、損傷ランクAは上部工13橋(50%)、下部工4橋(15%)、土工部7橋(27%)であった。このことから、上部工は桁移動を生じやすい特徴があることが分かる。
- ② 桁抵抗力を津波作用力で除すことで求める桁抵抗力・津波作用力比( $\beta$ )の平均値は損傷ランクAで0.8、損傷ランクBで1.9、損傷ランクCで2.2となり、 $\beta$ 値と損傷ランクは明確な傾向を示す。また、 $\beta$ 値が最も大きい橋梁種別はRC桁であり、最も小さい橋梁種別は鋼トラス桁(0.6)である。
- ③  $\beta$ 値の高いRC桁は幅員に対して構造高が低い場合、抗力係数が小さく、津波作用力が小さい。また、桁長が幅員に比べ短い場合 $\beta$ 値が大きくなる。これらの影響により $\beta$ 値は更に大きくなる。 $\beta$ 値の低い鋼トラス桁は主構高さが弦材高さを大きく上回るため抗力係数が大きく、津波作用力が大きい。また、桁長が幅員に比べ長い場合 $\beta$ 値が小さくなる。これらの影響により $\beta$ 値は更に小さくなる。

- (2) 津波による桁への作用力に関する実験

津波による桁への作用力特性を把握するため、スマトラ沖地震で被害を受けた橋梁の1/50スケールの模型を用いて波形状、静水深、桁位置に着目した実験を行い、作用力、流速の整理を行い、以下の実験結果が得られた。

- ① 本実験では砕波の有無が水平波力に与える影響を確認するためパターン1(水深5cm、波高10cm、砕波有り)とパターン2(水深15cm、波高11cm、砕波無し)の実験状況を設定した。また、パターン1よりも大きな波高を有する津波の水平波力を検証するためパターン3(水深15cm、波高25cm、砕波有

り)を追加し、計3パターンに対し実験を行なった。パターン1では、桁波高比(桁中心位置/波高)が0.5付近で最大波力が得られ、桁波高比が高い場合や低い場合は水平波力が減少した。パターン2では、各桁波高比で水平波力はほぼ一定となった。パターン3は、桁波高比0.5付近で最大波力が得られ、桁波高比が高い場合や低い場合は水平波力が減少した。また、全実験条件で構造物に作用する水平波力が最大となるのは、平均波高が最大となるパターン3であった。

② 橋梁上部工における津波外力について定式化を行うため、全実験ケースの単位面積当たりにおける水平波力を桁波高比(桁中心位置/波高)で評価した。その結果、本実験結果を包括するのはパターン1の波圧分布であった。この波圧分布に対し波圧分布線(一次近似線)を算定したところ、水平波力は桁波高比0~0.5までは、静水圧の1.9倍で一定となり、桁波高比0.5以上静水圧の1.9倍を底辺とし桁波高比1.3を頂点とした三角形分布となった。

③ 桁波高比0.5で水平波力が最大となった要因について計測した流速を用いて評価した。水平波力の大きなパターン1、3について造波試験で計測された流速と桁波高比の関係を分析したところ、桁波高比0.5付近で流速が最大値となり、水平波力と同じ傾向を示した。また、流速から求めた算定波力と本実験で得られた水平波力を比較した結果、実測波力と算定波力はパターン1で1:1.0、パターン3で1:0.7となるとともに、流速分布と水平波力分布の形状が近似していることが確認された。

- (3) 東日本大震災による橋梁被害分析

東日本大震災の津波による道路橋の被害状況について、上部構造および橋脚1基が流出した小泉大橋を取り上げて損傷分析し、小泉大橋と同程度の津波に襲われたと推定される道路橋12橋について、桁損傷度に関する津波作用力と上部構造抵抗力の関係を評価した。以下に検討で得られた知見を示す。

① 小泉大橋の全体的な下部構造の損傷傾向としては、橋梁中央のP3橋脚を挟んで右岸側と左岸側の下部構造がほぼ対称の損傷度合いとなっているため、津波作用力は、ほぼ橋軸直角方向であったと推定される。また、耐震補強工事で追加したダンパーや落橋防止構造は、全てそれらの取付部が損傷し、津波作用力に抵抗できていない。これはこれらの装置が主に橋軸方向についての抵抗を期待するものであり、橋軸直角方向が主な作用方向である津波については、別途補強装置が必要と考えられる。

② 桁損傷度と $\beta$ は、今回の限られた条件での試算結果ではあるが、浮力を無視したケ

ースで、桁損傷度と $\beta$ がバランス良く評価できており、上部構造が流出するか否かの判定に適している。また、上部構造が流出しするか否かの判定に適している。また、上部構造が流出し橋が使用できなくなる桁損傷度 A の橋梁をもれなく評価しようとすると、浮力を考慮にいれた $\beta$ 値の評価が有効と考えられる。

#### 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 14 件)

1. 佐々木達生, 幸左賢二, 付李, 田崎賢治: 津波による津谷川周辺地域の P C 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, 2012.7 (掲載決定済)
2. Yulong ZHENG, Kenji KOSA, Hideki SHIMIZU and Li FU: DAMAGE TO STRUCTURES IN RIKUZENTAKATA REGION DUE TO TSUNAMI, コンクリート工学年次論文集, Vol. 34, 2012.7 (掲載決定済)
3. 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, 2012.7 (掲載決定済)
4. 清水英樹, 幸左賢二, 佐々木達生, 竹田周平: 道路橋の津波による被害分析, 構造工学論文集, Vol.58A, pp.366-376, 2012.3
5. Li Fu, Kenji Kosa, Hideki Shimizu and Zhongqi Shi: Damage Judgement of Utatsu Bridge Affected by Tsunami, Journal of Structural Engineering Vol.58A, pp.377-386, 2012.3
6. Kenji kosa: DAMAGE ANALYSIS OF BRIDGES AFFECTED BY TSUNAMI DUE TO GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE, Proceeding of the 27<sup>th</sup> US-Japan Bridge Engineering Workshop, 2011.11
7. 清水英樹, 幸左賢二, 竹田周平, 稲垣裕之: 東日本大震災により発生した津波による橋梁被害, 第 20 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp. 479-484, 2011.10
8. 幸左賢二, 秋吉秀一, 二井伸一, 木村吉郎: 津波による橋梁への水平作用力に関する実験的検討, 構造工学論文集, Vol.57A, pp.442-453, 2011.3
9. Kenji kosa, Shinichi Nii, Kenta Miyahara and Manabu Shoji: Experimental Study for Estimating Tsunami Forces Acting on Bridge Girders, Proceeding of the 26<sup>th</sup> US-Japan Bridge Engineering Workshop, pp.185-198,

2010.9

10. 幸左賢二, 二井伸一, 庄司学, 宮原健太: スマトラ沖地震に伴う津波による橋梁の被害分析, 構造工学論文集 Vol.56 A, pp.454-463, 2010.3
11. 二井伸一, 幸左賢二, 庄司学, 木村吉郎: 津波形状の違いによる橋梁への津波作用力に関する実験的検討, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.474-485, 2010.3
12. 幸左賢二, 二井伸一, 宮原健太, 庄司学: スマトラ沖地震に伴う P C 橋梁の被害分析, 第 18 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.93-98, 2009.10
13. 幸左賢二, 二井伸一, 庄司学, 宮原健太: 津波波力による桁移動現象の解析的検討, 構造工学論文集 Vol.55 A, pp.483-494, 2009.3
14. 二井伸一, 幸左賢二, 庄司学, 木村吉郎: 橋梁への津波作用力に関する実験的検討, 構造工学論文集 Vol.55 A, pp.471-482, 2009.3

[学会発表] (計 3 件)

1. Kenji Kosa, Shinichi Nii, Kenta Miyahara and Manabu Shoji: Experimental Study for Estimating Tsunami Forces Acting on Bridge Girder, Proceeding of the 26<sup>th</sup> US-Japan Bridge Engineering Workshop, pp.185-198, 2010.9
2. 二井伸一・幸左賢二・宮原健太・庄司学: 波高と桁高をパラメータとした津波橋梁被害の個別要素法解析, 第 12 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 61-68, 2009.1.
3. 宮原健太・幸左賢二・二井伸一・小野祐輔: スマトラ西海岸 Lueng Ie 橋の詳細津波被害分析, 第 12 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.75-80, 2009.1.

[その他]

ホームページ等

<http://www.civil.kyutech.ac.jp/pub/kosa/ijikenHP/ijiken-index.html>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

幸左賢二 (KOUSA KENJI)  
九州工業大学・工学研究院・教授  
研究者番号: 00315160

##### (2) 研究分担者

宮島 昌克 (MIYAJIMA MASATASU)  
金沢大学・自然科学研究科・教授  
研究者番号: 70143881  
(H20→H22)

(3) 研究分担者

庄司 学 (SHOJI GAKU)

筑波大学・システム情報工学研究科・准教授

研究者番号：60282836

(H20→H22)

(4) 研究分担者

小野祐輔 (ONO YUSUKE)

鳥取大学・工学研究科・准教授

研究者番号：00346082

(H20→H22)