

## 道路政策の質の向上に資する技術研究開発 【研究終了報告書】

<b>① 研究代表者</b>		<b>氏名</b> (ふりがな)	<b>所属</b>	<b>役職</b>	
		こうさ けんじ 幸左 賢二	九州工業大学建設社会工学科	教授	
<b>② 研究 テーマ</b>	名称	津波に強い道路構造物の研究開発			
	政策領域	[主領域] 【領域7】 防災・災害復旧対策 [副領域]	公募 タイプ	タイプII	
<b>③ 研究経費</b> (単位: 万円) ※端数切り捨て。		平成24年度	平成25年度	平成26年度	総 合 計
		1,200	2,250	900	4,350
<b>④ 研究者氏名</b> (研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)					
氏 名		所属・役職 (※平成27年3月31日現在)			
廣岡 明彦		九州工業大学・教授			
嶋原 良典		防衛大学・助教			
庄司 学		筑波大学 准教授			
小野 祐輔		鳥取大学 准教授			
<b>⑤ 研究の目的・目標</b> (提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)					
本研究では以下の課題に取り組むことにより耐津波設計法を確立するとともに、津波に強い道路構造物を開発することを目的とする。					
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>構造物被害分析</b>：10mを超える大津波による道路構造物の概略被害調査を実施し、構造物への作用力と抵抗力の関係を明らかにする。</li> <li>2. <b>地域被害状況分析</b>：画像解析や数値解析による橋梁被害の詳細分析を実施し、橋梁への作用力と抵抗力の関係を明らかにする。</li> <li>3. <b>橋梁に関する検討</b>：10mを超える津波高を想定した水理模型実験により、桁、橋台への作用力、抵抗力算定手法を提案する。</li> <li>4. <b>橋台構造に関する検討</b>：橋台の被害調査を実施し、その損傷度を評価する。また、その損傷メカニズムを明らかにする。</li> <li>5. <b>津波設計法・対策手法提案</b>：実橋梁・橋台構造物を対象に津波対策手法を提案する。具体的には、東日本大震災の被害橋梁などを対象に、安全性の照査手法、対策工を提案する。</li> </ol>					

## ⑥ これまでの研究経過・目的の達成状況

### 1. 構造物被害分析

現地調査で確認した39橋を対象に、損傷度と $\beta$ 値（桁抵抗力と津波作用力の比）を評価した。

$$\beta = S/F = \mu W / 0.5 \rho \cdot c_d \cdot V^2 \cdot A \quad (1)$$

S：桁抵抗力 F：津波作用力 V：津波の流速 A：被圧面積  $\mu$ ：摩擦係数 W：上部工重量

その結果、 $\beta$ 値が2.5を超える4橋は健全であり、この値を満足するような桁形状にすれば極めて桁が流失しにくいことが明らかとなった。また、各地区に計測された津波流速は平均的には6.0m/s程度で、最大でも8.0m/sであった。逆に言えば(1)式においてこの流速に耐えられるように設計できれば、橋梁は流失しないと考えられる。

### 2. 地域被害状況分析

津波作用による橋梁の被害原因を明らかにするために、5地区を対象に詳細な映像および数値解析を実施した。分析の結果、いずれの地区でも先端の段波状津波の高さは2～3mあり、津波は桁下面を通過している。その後、津波は1～3m/min.の比較的緩やかな水位上昇を伴って、桁位置に到着する。このときの流速は、地区により異なるが、4～7m/s程度であった。このように、桁高5mを超える橋梁では、水位上昇の緩やかな定常流的な津波により流失に至る場合が多いことが明らかとなった。

### 3. 橋梁に関する検討

#### 1) 孤立波実験

津波先端部に見られる段波状の波が橋梁に作用することを想定し、これを模擬した孤立波を作用させた。この実験では孤立波の波高(10, 15, 20, 25cm)、桁位置、桁形状(桁高、桁幅)をパラメータとした合計100ケースの実験により水平波力、鉛直波力、流速、圧力を測定した。この結果を基に、桁に作用する水平力、鉛直力の算定式を提案した。

#### 2) 定常流実験

水位上昇が緩やかな定常的な津波を想定し、流速(50, 75, 100cm/s)、桁位置(水深35cmに対して7, 14, 21, 28cm)をパラメータとして、水平波力、鉛直波力、流速、圧力の測定を実施した。その結果、計測水平力は提案式(1)の $0.5 \rho \cdot c_d \cdot V^2 \cdot A$ にほぼ対応した結果となった。

### 4. 橋台構造に関する検討

橋台背面盛土に着目し、台形盛土模型を1種類(Cタイプ)と橋台盛土模型を2種類(A, Bタイプ)用意して、疑似津波を発生させることで、それぞれの盛り土における損傷程度を確認した。

### 5. 津波設計法・対策手法提案

東日本大震災の画像分析によると津波形状は主として孤立波タイプと定常流タイプに区分できることから、それぞれのタイプについて、作用力算定式を提案した。この算定式を用いることにより実構造物での作用力を算定することが可能である。 ついで、上記の条件の基で、流失した気仙大橋を対象に桁に流速8m/sの定常流および5mの孤立波が作用する仮定し、流失を防ぐための落橋防止構造を提案した。

## ⑦ 中間・FS評価で指摘を受けた事項への対応状況

指摘された項目についてはすべて対応しているがここでは代表的な指摘項目 6 つについて限定し説明させていただきます。

### 1. 学会等との連携はどのような状況でしょうか。

構造工学、海岸工学の各分野の委員が参加するとともに、各委員会とも十分な情報交換を実施しております。また、結果については論文やシンポジウムにおいて公表し、指摘項目については改善策について検討を加えております。

### 2. 流速、桁形状、流れのパターンと鉛直力の関係はどのようになりますか。

段波については以下ようになります。

桁の鉛直力=桁底面積・底面波圧（波高・流速に比例）

定常流については下向き鉛直力は大きいですが、構造物への影響が大きい上向き鉛直力は小さい値となっております。また、上向き鉛直力の発生要因としては浮力、水位上昇、閉塞された空気、橋台の地形の影響による鉛直的な流れなどが考えられますが、このうち浮力の影響がもっとも大きいと思われれます。

### 3. 橋台構造に関するパラメータの実施内容について報告してください。また、実験においてはどのような津波作用を再現・制御するのでしょうか。

橋梁の橋台構造について検討を加えております。まず、小泉、陸前高田地区の橋台被害分析を実施しております。ついで、橋台構造に着目した実験を実施しております。具体的には、定常流を想定し、実験により流速と水深を測定し、フルード則により、実現象との対応を近似したいと考えております。

### 4. Cdは流速とともに変化するがどのように評価するのか。

流速によるCdの変化は実験でも認められます。ただ、想定流速が3,5,7m/s程度を対象としているため、作用力の変化が一定値と仮定した場合に対して20%程度大きくなる傾向となっております。

### 5. 伸縮装置、高欄などの影響は考慮するのか。

主要な要素である桁形状、橋台を優先して検討を加えております。伸縮装置、高欄については、付属構造物であり、優先度の関係から本研究の成果の対象としてはおりません。

### 6. 津波漂流物の検討はどうしているのか。

FHWAのレポートでは0.1Wを考慮するなどの検討結果があり、いくつかの参考研究もあります。今回の東日本大震災の橋梁被害においては、漂流物が漁船程度に橋梁被害が限定的であったことから、本実験の成果の対象としてはおりません。

## ⑧ 研究成果

24, 25, 26年度の検討により得られた概要を以下に示す。

### I. 構造物被害分析

現地調査で確認した39橋を対象に、損傷度とβ値（桁抵抗力と津波作用力の比）を評価した。

$$\beta = S/F = \mu W / 0.5 \rho \cdot c_d \cdot V^2 \cdot A \quad (1)$$

S：桁抵抗力 F：津波作用力 V：津波の流速 A：被圧面積 μ：摩擦係数 W：上部工重量

図-1に示すように桁損傷度Aでは0.5～1.4の範囲にあり、平均値は0.89となる。一方、桁損傷度Cは0.6～4.9の範囲にあり、平均値は1.52となる。Cの平均値は、Aの平均値に対し、1.76倍の大きな差となっている。このように、桁損傷度の平均値でみればβ値の上部構造の流失評価指標としての有効性が見いだせる。特に、β値が2.5を超える橋梁が4橋あるが、図-2に示すようにいずれも橋面積あたりの重量の重い道路橋のコンクリート桁であることに加え、桁高（D）に比べて、橋の総幅（B）が比較的大きい扁平な形状である。以上のことから、β値が2.5を満足するような桁形状にすれば極めて流失しにくいことが分かる。

図-3は各地域で浮遊物の移動速度を計測した結果である。地域および計測位置により測定流速は1.9～8.0m/sと大きく変化するが、平均的には5.7m/sとなっている。地域で見ると、陸前高田では平均7.0m/sと他の地域よりも大きな値になっている。以上の結果から、計測された津波流速は平均的には6.0m/s程度で、最大でも8.0m/sであることが分かる。逆に言えば(1)式において、この流速に耐えられるように設計できれば、橋梁は流失しないと考えられる。

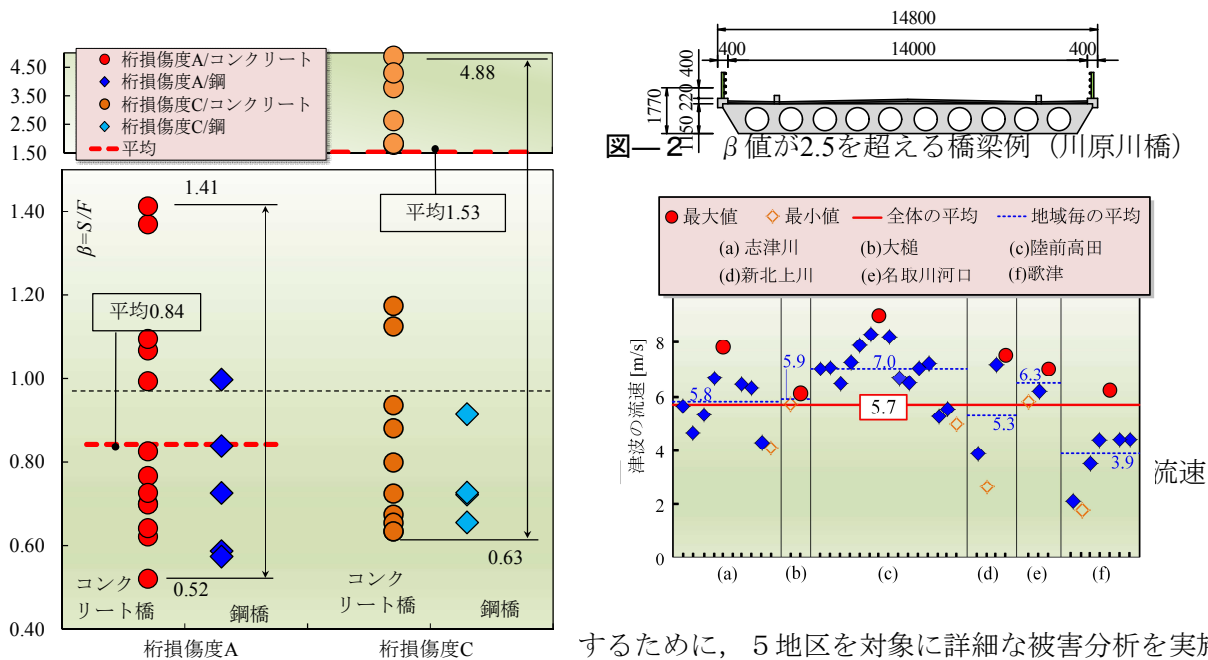
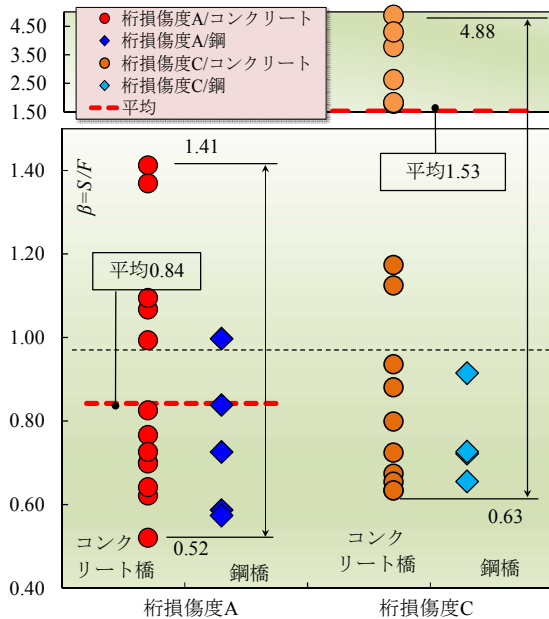


図-2 β値が2.5を超える橋梁例（川原川橋）



するために、5地区を対象に詳細な被害分析を実施した。まず映像解析に基づいて時刻歴の流速と水位変化を求める。同様に、津波遡上传搬解析を実施し、映像解析結果と比較し、その整合性を確認する。以上により得られた流速を用いて桁抵抗力作用力比を求め、被害状況を再現した。図-4に5地区の分析結果を示す。分析の結果、いずれも先端の段波状津波の高さは2～3mであり、津波は桁下面を通過している。その後、津波は1～3m/minの比較的緩やかな水位上昇を伴って、桁位置に到着する。このときの流速は、地区により異なるが、4～7m/s程度であった。このように、桁高5mを超える橋梁では、水位上昇の緩やかな定常流的な津波により流出に至る場合が多いことが明らかになった。

### II-2. 陸前高田の被害状況

分析の代表例として陸前高田での結果について示す。図-5には陸前高田市沿岸部の津波浸水範囲および橋梁位置を、図-6には画像分析により得られた津波の全体形状を示す。水面勾配に着目すると、全体の水面勾配が1/120であるのに対して先端部の勾配は1/42と3倍程度も大きいことから、津波先端が通り過ぎた直後は水面が急激に上昇するが、その後の上昇傾向は比較的緩やかであることが分かる。図-7には数値解析による流速と浸水高の時刻歴変化を示す。浸水高は地震発生38分後から上昇を始め、46分頃に最大浸水高に至る。一方流速は桁下の高さに至る時点で5m/s、桁が完全に水没する時点で6m/sまで上昇する。図-8には桁への作用力と桁抵抗力の時刻

歴変化を示す。区間(b)では浮力の影響で抵抗力が8580kNから5603kNへと35%減少する。作用力は流速がピークとなる42分30秒では作用力が抵抗力を上回り流出に至る。解析結果は画像分析から得られた桁水没後に桁流出に至る実現象とも一致しており、妥当な結果となっている。

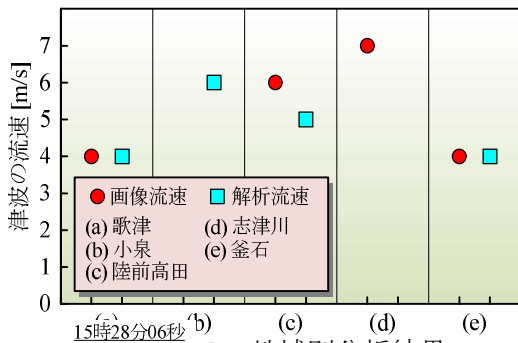


図-4 地域別分析結果

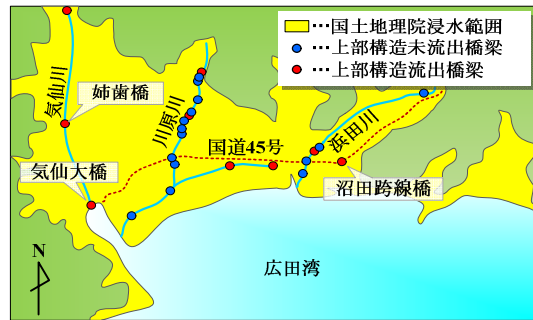


図-5 陸前高田全体の橋梁被害と浸水範囲

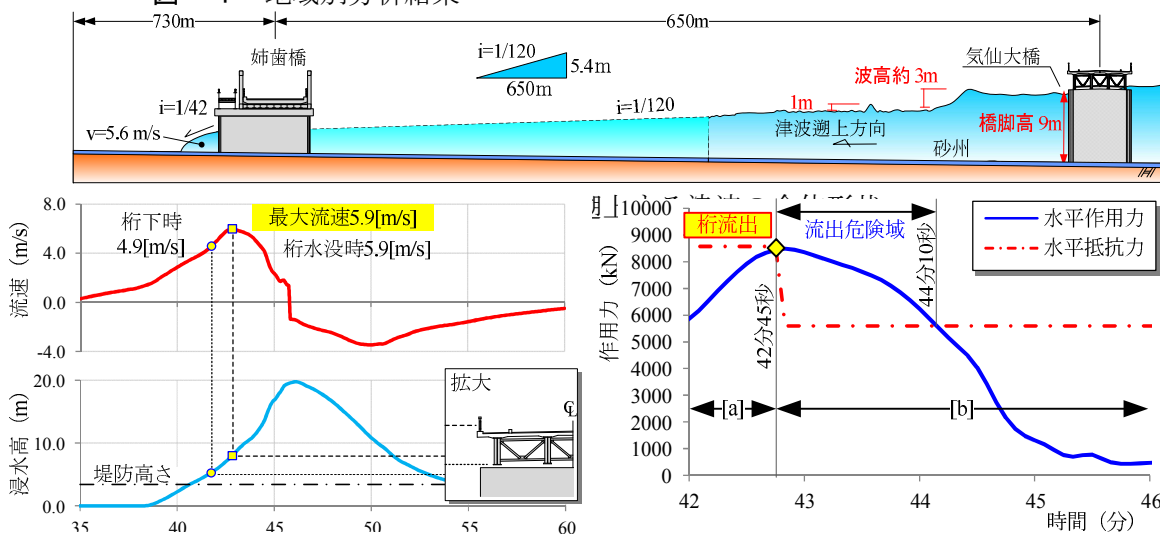


図-7 水位と流速の時刻歴変化

図-8 作用力と抵抗力の時刻歴変化

津波先端部に見られる段波状の波が橋梁に作用することを想定し、これを模擬した孤立波を作用させた。この実験では孤立波の波高(10, 15, 20, 25cm), 桁位置, 桁形状(桁高, 桁幅)をパラメータとした合計100ケースの実験を行い水平波力, 鉛直波力, 流速, 圧力の測定を実施した。図-9に実験装置を示す。図の左端にはスライド式造波装置を示す。図-10に波高と水平波力の関係を示す。波高の増加に伴って、水平波力は概ね比例して増加することが分かる。図-11には著者の提案式を用いた算定波力と計測水平波力の関係を示す。波高に増加に伴い、計測波力と算定波力が20%程度の差異で対応できていることが分かる。

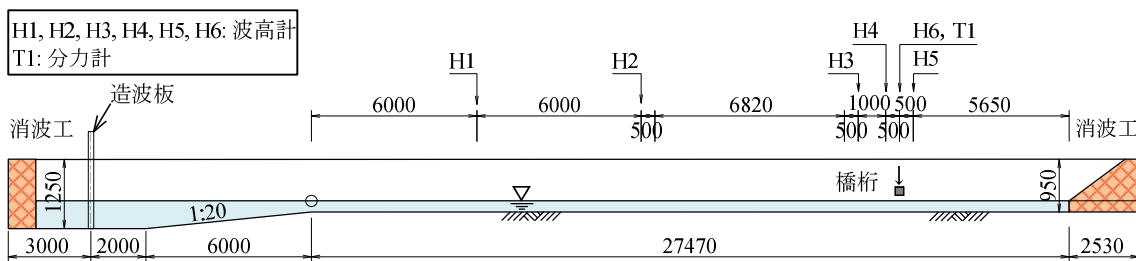


図-9 実験装置

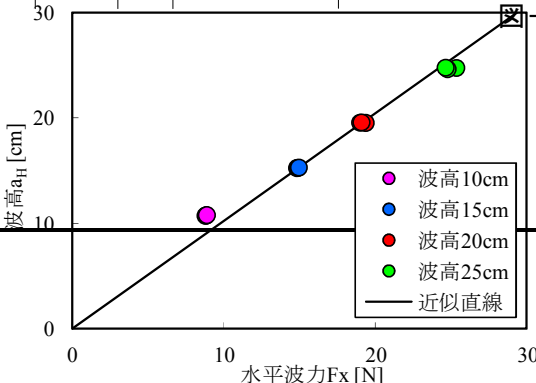


図-10 水平波力と波高

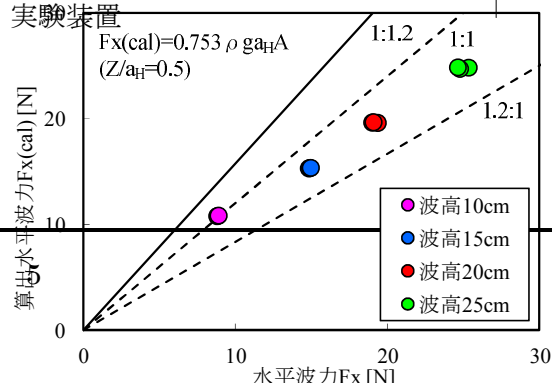


図-11 提案式と水平波力の関係

図-12には水平作用力が最大となる時点の桁側面に設置した圧力分布を模式的に示す。また図-13は横軸を計測時間とし、縦軸に桁に作用する水平作用力と桁模型の横に設置した流速計から得られた流速、桁側面の平均波圧に側面積を乗じて算出した水平作用力の時刻歴波形を示したものである。これらの結果より、水平方向に進行する波が、桁模型に衝突することによって発生する桁側面の圧力が、水平作用力の80%を占め、最大値が概ね同時刻であることから、水平作用力は桁模型側面に作用する圧力に支配されていると考えられる。

### III-2. 定常流実験

水位上昇が緩やかな定常的な津波を想定し、流速（50, 75, 100cm/s）、桁位置(水深35cmに対して7, 14, 21, 28cm)をパラメータとして、水平波力、鉛直波力、流速、圧力の測定を実施した。図-

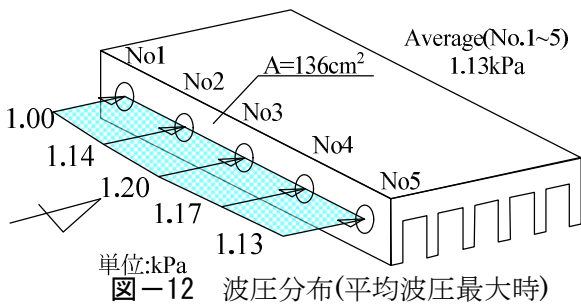


図-12 波圧分布(平均波圧最大時)

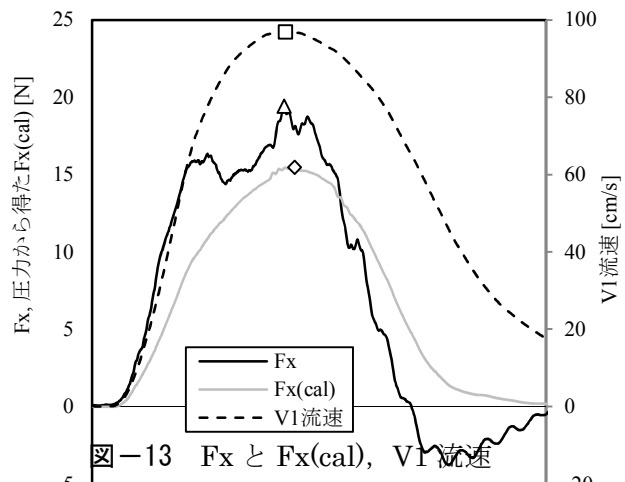
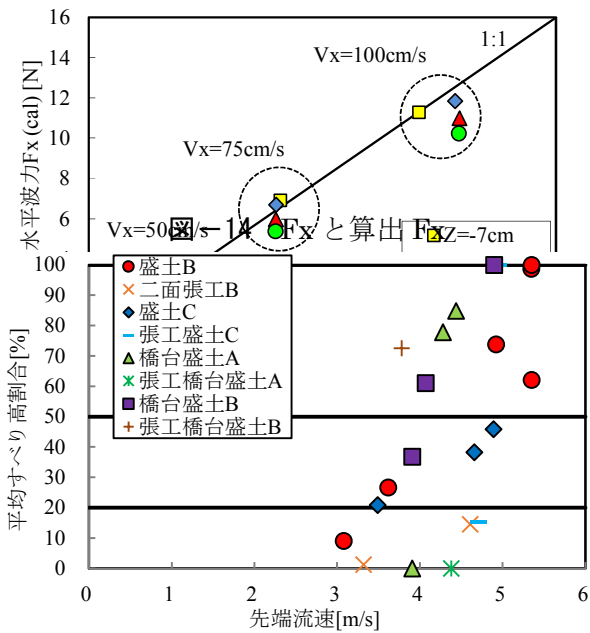


図-13 Fx と Fx(cal), V1 流速



比較を示すが、ほぼ対応した結果となっている。

図-15には桁側面で計測された圧力に側面積を掛けた算定波力と分力計による測定波力の関係を示すが、ほぼ対応しており、側面のみで作用力を受けていることが分かる。

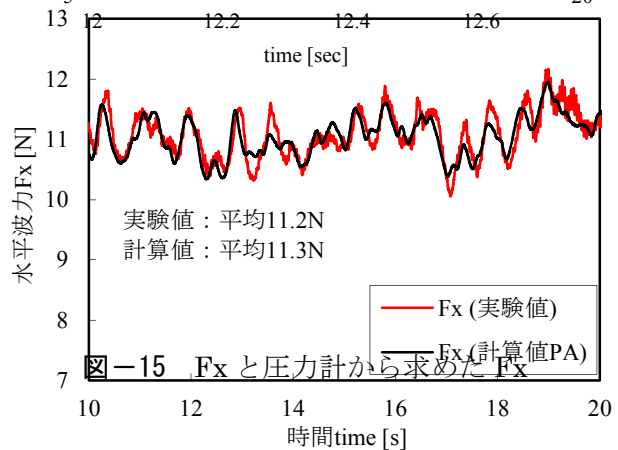


図-15 Fx と圧力計から求めた Fx

### IV. 橋台構造に関する検討

盛土構造物破壊のパラメータとして考えられる擬似津波の越流水深、先端流速、越流時間が、道路盛土構造物の損傷状況にどのように影響を及ぼすか検証することを目的とし、遠心模型実験装置を用いて種々の道路盛土と橋台背面盛土の擬似津波実験を行い、以下の結論を得た。

図-16に示すように盛土高と越流水深の被災判定基準による既往の判定手法は、土のみからなる盛土で有用であるが、最近の補強盛土や附帯構造物の有る盛土構造物を含めて評価

するには不十分である。盛土形状によらず先端流速と盛土の被災度の相関性は非常に高く、損傷は主に法面に発生し、特に擬似津波の流速が加速する下流側法面において損傷が卓越する。津波の掃流力と盛土材のせん断抵抗の比は盛土の損傷程度を説明する良い指標となり、張工を施すと盛土全体の耐津波性能は向上する。

一般的な道路盛土よりも水の流れに合分流が見られる橋台盛土の方が損傷は大きくなる傾向がある。 張工の流失は、盛土の表面強度が比較的大きく法面勾配が緩やかな場合は浮き上がりに起因し、盛土の表面強度が比較的小さく法面勾配が比較的急な場合は滑り落ちに起因する。前者の場合は張工の自重を増加させることが、後者の場合は盛土の表層強度の改良や法面勾配の緩和が必要となる。

## V. 津波設計法・対策手法提案

現在までの検討状況の概要を以下に示す。東日本大震災の画像分析によると津波形状には孤立波タイプと定常流タイプに区分でき、標準桁の実験によると作用力は以下のように考えられる。

### (1) 孤立波タイプの場合

孤立波の波高と桁位置をパラメータとした実験の結果(波高 10cm 碎波有 (Case A), 波高 25cm 碎波有(case B), 波高 11cm 碎波無(Case C)) および各機関で実施された孤立波や破砕段波の実験結果を図-17 に示す。実験を包括する近似線を求め、桁への単位面積あたりの作用力を次式のように提案できる。ここで、注意すべき点は  $a_H$  は孤立波の波高であり、現地で観測されている浸水高ではないことである。

#### 1) 水平力

$$Z/a_H \geq 0.5 \text{ の場合} \quad q_x = \rho g(3.10a_H - Z/0.42) \quad (2)$$

$$Z/a_H < 0.5 \text{ の場合} \quad q_x = 1.9 \rho g a_H \quad (3)$$

#### 2) 上揚力

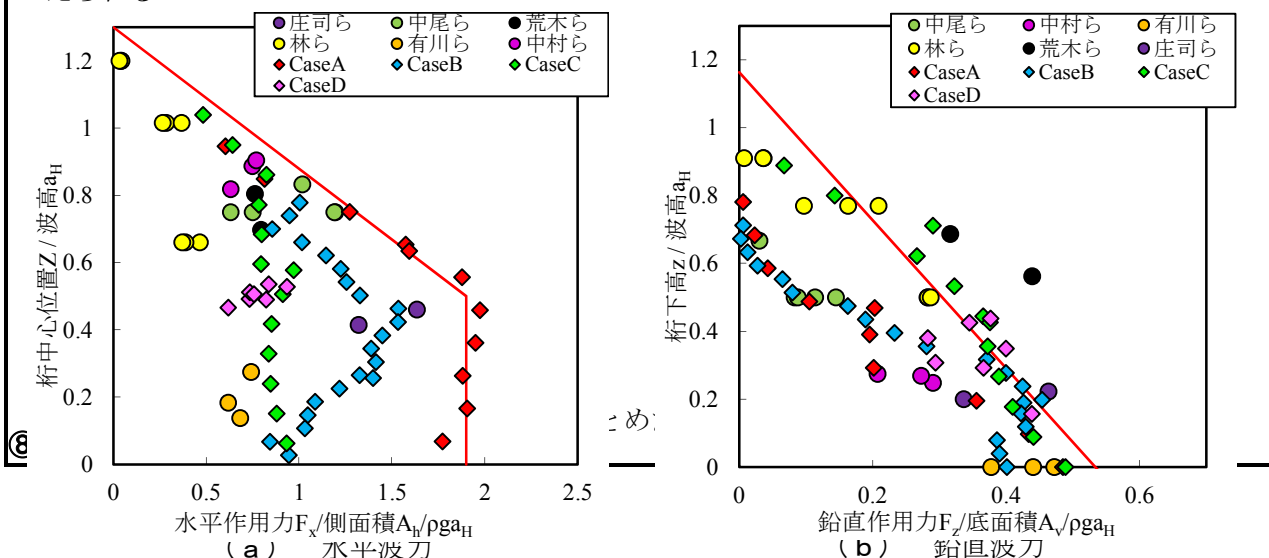
$$q_z = \rho g(0.53a_H - z/2.18) \quad (4)$$

ここに、 $Z$  : 桁中心位置  $z$  : 桁下高  $a_H$  : 波高  $q_x$  : 単位面積あたりの水平力  $q_z$  : 単位面積あたりの上揚力

上記式に桁側面積あるいは桁底面積を乗ずることにより作用力を求めることができる。

### (2) 定常流タイプの場合

定常流タイプの実験を実施した結果、水平作用力は前述(1)式におけるF値より求めることが可能である。また実験によると定常流の場合、上揚力は水平力に比べて極めて小さいことが確認されている。一方詳細な検討は今後とも必要であるが、例えば観測された孤立波が最大5m程度であったことから、浮力および5m程度の孤立波による上揚力を考慮する設計法も考えられる。



上記の条件の基で、流失した気仙大橋を対象に、桁に流速 8m/s の定常流に伴い階段状の高さ 5m の孤立波が作用したと仮定し、流失を防ぐための落橋防止構造を検討した。

図-18 に津波対策工を示す。ここでは孤立波による上揚力と浮力を考慮し、対策工のみで水平力に抵抗すると仮定する。水平作用力 36631kN を 24 個のコンクリートブロックで負担すると断面幅 500mm、長さ 1000mm を配置する程度の規模で十分抵抗できることになる。また、孤立波に比べて定常流では水平作用力が小さいことから、現存の橋脚でも十分余裕を有する結果となっている。また、図-19 には水平方向と鉛直方向の対策が必要な場合の津波対策工の一例をコンクリート桁対象に示す。

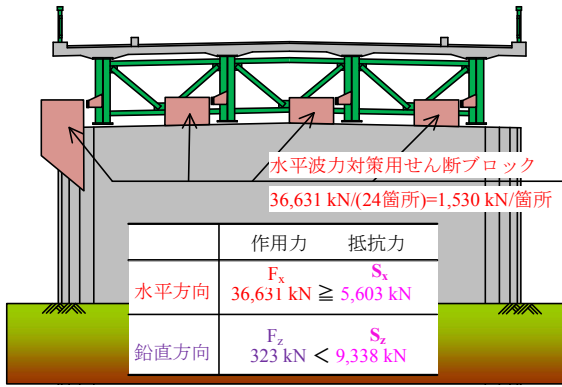


図-18 津波対策工

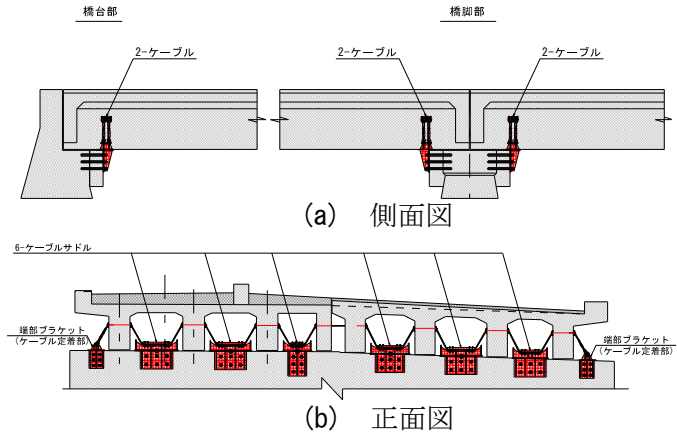


図-19 津波対策工



## ⑨ 研究成果の発表状況

### I. 発表論文

24, 25, 26年度には下記を含む20件の査読付論文を掲載した。

- 1) 桁抵抗力津波作用力に基づく橋梁の被害分析, 佐々木達生, 幸左賢二, 鄭玉龍, 構造工学論文集 Vol.59A, pp.417-427, 2013.
- 2) Tsunami damage evaluation of Utatsu Bridge by video and 2-D simulation analyses, Li Fu, Kenji Kosa and Tatsuo Sasaki, Journal of St. Eng. Vol.59A, pp.428-438, 2013.
- 3) Tsunami damage analysis for bridges in Shizugawa area, Yulong Zheng, Kenji Kosa and Tatsuo Sasaki, Journal of St. Eng. Vol.59A, pp.439-449, 2013.
- 4) 津波に対する歌津地区の詳細被害分析, 付李, 幸左賢二, 中野亜美, 佐々木達生, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, pp.799-804, 2013.
- 5) 津波被害を受けた小泉地区橋梁の詳細被害分析, 佐々木達生, 幸左賢二, 神宮司博志, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, pp.805-810, 2013.
- 6) EVALUATION OF BRIDGE OUTFLOWS DUE TO GREAT TSUNAMI, Yulong ZHENG, Kenji KOSA and Tatsuo, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, pp.841-846, 2013.
- 7) 道路橋の津波による被害分析, 清水英樹, 幸左賢二, 佐々木達生, 構造工学論文集 Vol.58A, pp.366-377, 2012
- 8) Damage Judgment of Utatsu Bridge Affected by Tsunami due to Great East Japan Earthquake, Li Fu, Kenji Kosa, Hideki Shimizu and Zhongqi Shi, Structural Engineering Vol.58A, pp.377-387, 2012
- 9) DAMAGE TO STRUCTURES DUE TO TSUNAMI AND EVALUATION OF TSUNAMI VELOCITY IN SHIZUGAWA, LI FU, Kenji KOSA, Hideki SHIMIZU and Yulong ZHENG, コンクリート工学論文集, Vol.34, No.2, pp.805-810, 2012
- 10) 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, 佐々木達生, 幸左賢二, 付李, 田崎賢治, コンクリート工学年次論文集, Vol. 34, No2, pp.811-816, 2012

### II. 表彰

25年度には下記の表彰を受けた。

- 1) 津波による橋梁の損傷分析 (第21回シンポジウム論文集) 平成24年度プレストレスコンクリート工学会賞 (論文部門)

## ⑩ 研究成果の社会への情報発信

下記に示すように研究成果を広く公開するとともに, 土木学会の委員会活動の一環として津波設計法WGを組織し, シンポジウムにおいて活動状況の報告を実施した。

- 1) 東日本大震災による被害の実態, NHK東日本大震災スペシャル出演, 2014, 3,
- 2) 東日本大震災による橋梁被害分析, 下記を含む土木学会ほか特別講演を3年間に合計40回実施, 参加者合計3000名  
津波に対する道路構造物 (盛土を含む) の対策と課題, 幸左賢二, 土木学会, 第13回地震災害マネジメントセミナー 2, pp. 1117-1122, 2012
- 3) 東日本大震災による橋梁被害分析, 大学関係への特別講演 (長崎大学, 大阪市立大学, 徳島大学), 2012, 参加者合計200名
- 4) 東日本大震災による橋梁被害分析, 海外での特別講演 (タイ国コンクリート工学会, 米国オレゴン大学), 2013, 参加者合計100名
- 5) 東日本大震災による橋梁等の被害分析小委員会中間報告会, 土木学会, 2014.8, 参加者120名
- 6) 東日本大震災による橋梁等の被害分析小委員会最終報告会, 土木学会ほか, 2015.8, 参加申込者200名
- 7) 地震時保有耐力法シンポジウム, 津波WG中間報告, 2012.7, 参加者100名
- 8) 地震時保有耐力法シンポジウム, 津波WG報告, 2013.7, 参加者100名

## ⑪ 研究の今後の課題・展望等

本研究により津波による橋梁への作用力, 抵抗力の標準的な評価手法が提案され, 十分な成果が得られたと考えられる. 一方さらに検討すべき課題も存在する. 以下に具体的検討課題について説明する.

### 1. 南海・東南海地震に関する検討

東日本大震災の被害分析により, 橋梁の被害メカニズムおよびその対策手法を明確となった. 本手法を想定される南海・東南海地震に対して適用することにより, 想定被害度および適切な対策手法の提案が可能となる.

### 2. 桁の補強手法に関する検討

本研究では, ケーブルやアンカーボルトを用いることにより, 水平抵抗および鉛直抵抗を確保できると仮定し, その有効性について確認した. しかしながら, アンカーボルトやケーブルが共同して抵抗することは必ずしも明確ではなく, 模型実験により確認する必要がある.

### 3. 盛土の補強手法に関する検討

実験によりコンクリート護岸工については流失防止効果が顕著であることは明らかとなったが, その評価は定量的なレベルにはなっていない. 今後, さらに大型模型を用いて, コンクリートブロック形状や津波流速をパラメータとした実験を実施することにより, 具体的な設計手法の確立が求められる.

## ⑫ 研究成果の道路行政への反映

具体的な道路行政に対する成果を以下に示す.

### 1. 設計の考え方の明示

本設計手法では想定津波高さ, 桁位置により設計波力を算定することができる. よって想定津波高が明らかになれば, 標準的な橋梁に対しては危険度の判定が可能である.

### 2. 区域における想定被害検討手法の明示

本検討により, 東日本大震災による橋梁の被害メカニズムが明らかとなった. 同様の手法を用いることにより, 例えば南海・東南海地震が想定される九州, 四国, 近畿, 東海区域内の道路構造物被害の想定および適切な対策手法の提案が可能となる.

### 3. 対策工の明示

危険と判定された橋梁に対してはケーブルやアンカーボルトを用いた対策法が有用であることを明らかにした. 同様に, 盛土に対してはコンクリート護岸による対策法が有用であることを明らかにした. 本手法を標準として, さらに効率的な手法を検討することにより, 実構造物の津波に対する補強対策が可能となった.

### ⑬自己評価

#### 1. 研究目的の達成度

3カ年に亘る実験により、津波に対する橋梁の照査法の提案といった目的は達せられた。また、被害メカニズムの妥当性を評価するために実施した5か所の東日本大震災による橋梁被害分析により、いずれの地区においても流速4~7m/sの定常流により桁が流失したことを世界で初めて明らかにした。

#### 2. 今後の展望

標準的な橋梁形状については、評価手法が明らかとなったものの、特殊な桁形状、背面地形の影響、橋梁や盛土の補強手法については、必ずしも十分な検討とはなっていない。今後、これらをパラメータした実験を実施することによって、各個別構造物に対する設計法や補強手法を提案することが可能となる。

#### 3. 道路政策の質の向上への寄与

本研究成果により、津波に対する標準的な設計手法が明示された。よって本研究手法を用いて、各津波来襲想定地域の橋梁の実務設計を実施することが可能と考えられる。

#### 4. 研究費の投資価値

本研究においては、3カ年に3種類の実験（中型水理、小型水理、遠心模型）、5か所の現場計測（小泉、陸前高田、釜石、歌津、志津川）により、十分な成果が得られたと考えられる。研究者6名、研究支援大学院生20名でこれらの課題に取り組み、得られた成果を考慮すると業務費用4350万円に対して、10倍近い投資効果があったと考えられる。