

修 士 論 文

橋梁台帳情報に基づく橋の津波流出予測手法

The prediction method of bridge outflow by tsunami based on the bridge ledger data

高知工科大学大学院
工学研究科基盤工学専攻

澤田 真衣

指導教員 甲斐 芳郎

副指導教員 島 弘

2018 年 3 月

論文要旨

東北地方太平洋沖地震では多くの橋梁が津波によって流出した。そして、橋梁の津波流出被害は復旧作業に大きな影響を与えた。これより、防災計画を考える上で橋梁の津波流出予測は重要であるといえる。

よって、本研究の目的は、橋梁台帳に基づく橋の津波流出予測手法を提案することである。

橋梁の津波流出予測は橋の抵抗力を津波の作用力で割った値を用いる。橋の抵抗力は浮力を考慮した摩擦力と既往の実験より提案した支承耐力を使用した。また、津波作用力は既往の波力評価式より求めた流体力と衝突波力を用いた。そして、既往の波力評価式を用いて陸上遡上津波の波力評価式を提案した。

本研究の提案式を用いて東北の被災橋梁の津波流出予測を行った結果、橋梁の安全照査の一次調査に有効であることが分かった。

次に、橋梁台帳情報に不足している上部構造重量と桁高の推定式を算定した。その後、橋梁台帳程度の情報を持つ東北の被災橋梁の津波流出予測を行った結果、橋梁の安全照査の一次調査が可能であることが分かった。

Abstract

Many bridges flowed by tsunami due to the Tohoku Region Pacific Offshore Earthquake. Then, the damage of the tsunami outflow of the bridge had a major impact on the restoration work. Accordingly, prediction of the bridge flowed by tsunami is important for the disaster prevention plan.

Therefore, the purpose of this study is the prediction method of bridge outflow by tsunami based on the bridge ledger data.

Prediction of the bridge flowed by tsunami uses the value obtained by dividing the resistance of the bridge by the action force of the tsunami. The resistance of the bridge used frictional force considering buoyancy and bearing resistance proposed from past experiments. Also, for the tsunami acting force, fluid force and collision wave force obtained from the past wave force evaluation formula were used. Then, using the past wave force evaluation formula, we propose the wave force evaluation formula of the run-up tsunami.

As a result of predicting the tsunami outflow of the damaged bridge in Tohoku by using the proposed method of this study, it was found that it is effective for the primary survey of safety check of bridge.

Next, an estimate formula of upper structure weight and digit height which is insufficient for bridge ledger information was calculated. After that, as a result of predicting the tsunami outflow of the damaged bridge in Tohoku with the data about the bridge ledger, it was found that the primary survey of the safety check of the bridge was possible.

目次

論文要旨	2
Abstract	2
第1章 はじめに	8
1.1 研究背景	8
1.2 研究の目的・構成	9
第1章 引用・参考文献	9
第2章 橋梁の津波流出予測手法の考え方	11
2.1 橋梁の流出予測の既往研究	11
2.2 提案する橋梁の津波流出予測手法の構成	12
第2章 引用・参考文献	12
第3章 津波による水平波力評価	14
3.1 水平波力評価式の既往研究	14
3.2 橋桁に作用する津波の特性	18
3.3 橋桁に作用する水平波力評価式	18
3.4 架橋位置と周辺状況に対応した水平波力の推定	19
第3章 引用・参考文献	21
第4章 橋桁の抵抗力の評価	23
4.1 橋桁の抵抗力の既往研究	23
4.2 抵抗力の構成要素	24
4.3 ゴム支承の水平耐力評価	24
4.4 鋼支承の水平耐力評価	25
第4章 引用・参考文献	29
第5章 橋梁の津波流出予測手法の妥当性検討	31
5.1 本研究提案式	31
5.2 評価対象橋梁の情報	33
5.3 本研究の提案式を用いた水平波力による流出予測結果	33
5.4 支承耐力のバラツキの影響	34
5.5 その他	34
第5章 引用・参考文献	35
6.1 橋梁台帳程度の情報で津波流出予測を行う際に用いる推定式	37
6.2 上部構造重量の推定式	38
6.3 桁高の推定式	42
第6章 引用・参考文献	43
第7章 橋梁台帳程度の情報を持つ被災橋梁を用いた津波流出予測	45
7.1 評価対象橋梁の情報	45
7.2 鋼橋の床版種類の推定	46
7.3 水平波力による流出予測結果	47

第7章 引用・参考文献.....	49
第8章 総括.....	51
8.1 まとめ.....	51
謝辞.....	53

図目次

図 1-1	高知県の浸水域内の橋梁構造種別	8
図 2-1	土木学会コンクリート委員会の提案する津波流出予測手法の構成	11
図 2-2	本研究の提案する津波流出予測手法の構成 1	12
図 2-3	本研究の提案する津波流出予測手法の構成 2	12
図 3-1	橋梁に適応させた合田式と朝倉式	14
図 3-2	橋梁模型図	15
図 3-3	実験水路及び橋梁模型の設置状況	15
図 3-4	橋梁模型	16
図 3-5	実験水路及び橋梁模型の設置状況	16
図 3-6	幸左式の概念図	16
図 3-7	作用力から求めた波圧と静水圧の関係	17
図 3-8	津波の作用形態	18
図 3-9	合田式と朝倉式の計算値と実験値の比較	19
図 3-10	架橋位置における無次元波圧の関係	20
図 3-11	陸上遡上波の水平波力評価	21
図 4-1	抵抗力の構成要素	24
図 4-2	地震時におけるゴム支承の支持力変化	25
図 4-3	ゴム支承の破断強度とせん断ひずみの関係	25
図 4-4	道路橋耐震設計指針(1971)の地域別補正係数	27
図 5-1	本研究提案式を用いた津波流出予測結果	34
図 5-2	水尻橋断面図	34
図 5-3	片岸大橋断面図	35
図 6-1	高知県の橋梁台帳情報	37
図 6-2	C 系橋梁の上部構造重量と床版面積の関係	40
図 6-3	鋼橋の上部構造重量と床版面積の関係	40
図 6-4	C 系橋梁の桁高と支間長の関係	42
図 6-5	鋼橋の桁高と支間長の関係	42
図 7-1	鋼橋 I 桁の床版種類の推定	46
図 7-2	流出橋梁：最小支承耐力を用いた流出予測結果	47
図 7-3	流出橋梁：最大支承耐力を用いた流出予測結果	48
図 7-4	未流出橋梁：最小支承耐力を用いた流出予測結果	48
図 7-5	未流出橋梁：最大支承耐力を用いた流出予測結果	49

表目次

表 3-1	水平波力の種類ごとの被圧面積の高さ	18
表 3-2	対象橋梁までの障害物	20
表 4-1	鋼道路橋設計示方書(1964) 設計水平地震度	26
表 4-2	建造物設計標準(1970) 補正係数	26
表 4-3	道路橋耐震設計指針(1971) 補正係数	27
表 4-4	鋼支承の破壊実験より得られた安全率	28
表 4-5	鋼支承の破壊実験より得られた耐力係数	29
表 5-1	情報のそろっている橋梁の情報	33
表 6-1	推定式に使用した橋梁情報	38
表 7-1	橋梁台帳程度の情報を持つ評価対象橋梁情報	45

第1章

はじめに

第1章 はじめに

1.1 研究背景

2011年3月11日に三陸沖を震源とする東北地方太平洋沖地震が発生した。この地震は国内観測史上最大のマグニチュード9.0の大規模な地震であり、最大震度は宮城県栗原市で震度7、その他宮城県から栃木県の4県37市町村では震度6強が観測された。この地震の特徴は想定をはるかに超えた大きな地震・津波規模とそれに伴う広域で甚大な津波被害であった。

東日本大震災記録集^[1-1]より、津波による被害の大きい宮城県では県全体の総面積7,286km²の内292km²の地域が浸水被害を受けた。また、津波による橋梁構造物に及ぼす波力の評価に関する調査研究委員会報告書^[1-2]では、津波浸水域にある橋梁1,793橋の内、252橋が流出等被害を受けたという報告がなされた。

橋梁は地域をつなぐ重要な構造物であり、橋梁の流出による道路網の破断が、避難所への物資輸送や復旧活動へ与える影響は大きいと考えられる。実際に気仙沼市^[1-3]では、50kmに及ぶ迂回や、市の緊急物資拠点に定められた青果市場に大量の物資が届いているにも関わらず、計画配送が可能となるまでに被災から約1週間、市内の全避難所への直接配送が可能になるまで約1カ月要するという問題が発生した。

30年以内に70～80%の確率で発生すると予測される南海トラフ巨大地震が発生した際、津波による被害は甚大であると考えられる。これより東北地方太平洋沖地震の被害を鑑みて、橋梁の津波流出予測を行うことは防災計画を考える上で重要であるといえる。現在多くの研究者が橋梁の津波流出予測手法の検討を行っているが、流出予測には詳細な橋梁情報を必要とするものが多い。しかし、防災計画を考える自治体には、詳細情報が保管されていない橋梁も存在する。よって、一般的な橋梁の情報として橋梁の管理・調査に使用される橋梁台帳の情報を使用することで多くの橋梁の津波流出予測を可能にする手法を提案する。ここで、本研究で使用する橋梁台帳情報は高知県のものを参考にしている。また、評価対象橋梁は高知県の橋梁台帳情報^[1-4]より、図1-1に示す浸水域内にある橋梁の内、構造種別の約6割を占めるC系橋梁T桁と鋼橋I桁とする。

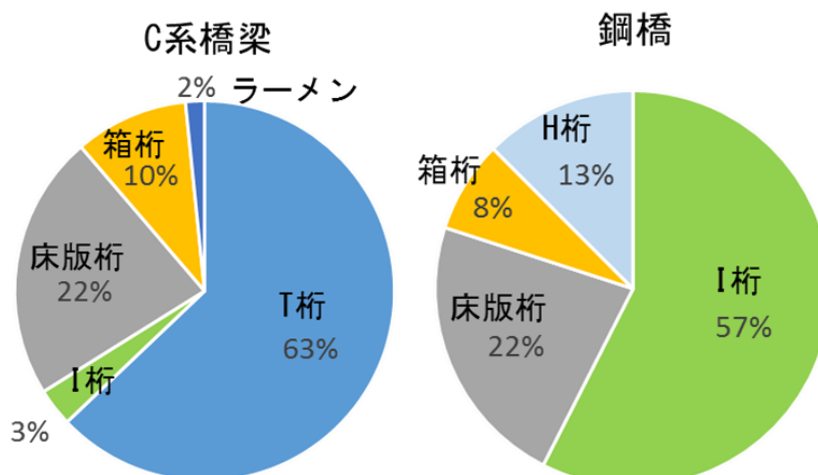


図1-1 高知県の浸水域内の橋梁構造種別

1.2 研究の目的・構成

本研究は橋梁台帳の情報を用いて C 系橋梁 T 桁と鋼橋 I 桁の津波流出予測手法を開発することを目的とする。

本論文は以下の構成となっている。

第 1 章では、本研究の背景と目的について述べる。

第 2 章では既往の橋桁の津波流出予測手法を参考に本研究で提案する津波流出予測手法の構成について述べる。

第 3 章では既往の水平波力評価式より橋桁に衝突波力と流体力が作用する場合の水平波力評価式を決定し、橋梁の架橋位置と周辺状況に対応した水平波力を提案する。

第 4 章では上部構造重量による摩擦力に支承の破壊実験から得られた支承耐力算定式を用いる桁抵抗式を提案する。

第 5 章では詳細情報が揃っている東北の津波浸水域内の橋梁 11 橋 14 桁を用いて本研究提案式の妥当性を検討する。

第 6 章では橋梁台帳程度の情報で津波流出予測を行う際に用いる推定式を算定する。

第 7 章：では橋梁台帳程度の情報を持つ東北の津波浸水域内の橋梁 23 橋 25 桁を用いて津波流出予測を行うことで、推定式の妥当性を調べる。

第 8 章では、本論文のまとめを述べる。

第 1 章 引用・参考文献

- [1-1] 総務消防庁：東日本大震災, http://www.fdma.go.jp/concern/publication/higashinihondaishinsai_kirokushu/index.html, 2017.6 取得
- [1-2] 土木学会コンクリート委員会：津波による橋梁構造物に及ぼす波力の評価に関する調査研究委員会報告書, 2013.11
- [1-3] 中尾健良：基礎自治体における緊急物資輸送の運営実態（宮城県気仙沼市の事例）, http://www.rku.ac.jp/pdf/about/data/organizations/laboratory/distribution62_07.pdf, 2017.6 取得
- [1-4] 高知県庁：橋梁台帳, 2016.4 取得

第 2 章

橋梁の津波流出予測手法の考え方

第2章 橋梁の津波流出予測手法の考え方

2.1 橋梁の流出予測の既往研究

東北地方太平洋沖地震により発生した津波によって多くの橋梁被害が発生した。これを受けて橋梁の津波流出予測手法の研究が行われるようになった。以下に橋梁の津波流出予測の既往研究について述べる。

土木学会コンクリート委員会^[2-1]は津波浸水域内の橋梁 1793 橋の被害調査を行い、その内の 39 橋に対して図 2-1 に示すように橋桁に作用する流体力に対する橋桁の上部構造重量による摩擦力の比 β が 1.0 未満である場合津波によって橋桁が流出すると予測する手法を用いた。

その結果、未流出橋梁と流出橋梁において流体力と桁抵抗力の比の平均が 0.89 と 1.52 と明確な差異を示したが、鋼橋やC系橋梁T桁においては明確な差異を示さなかった。

また、白石ら^[2-2]によって行われた土木学会コンクリート委員会^[2-1]の提案する流出予測手法に浮力を考慮した検討では、浮力を考慮した場合の桁抵抗力/流体力のヒストグラフと浮力を考慮しなかった場合の抵抗力/作用力のヒストグラフを比較しても明確な違いを得られなかったことから、橋桁の抵抗力として上部構造重量による摩擦力だけでなく、波力に対する抵抗機構の抜本的な検討が必要であるという結論となっている。

他にも、幸左ら^[2-3]によって津波による衝突波力を津波による作用力とし、浮力を考慮した上部構造重量による摩擦力に支承アンカーのせん断耐力を加えた値を桁抵抗力とする津波流出予測手法が提案されているが、この提案式には流体力が考慮されていないことや、橋桁に使用されたアンカーボルトの本数や直径、使用材料等詳細な情報が必要であることが課題として挙げられる。

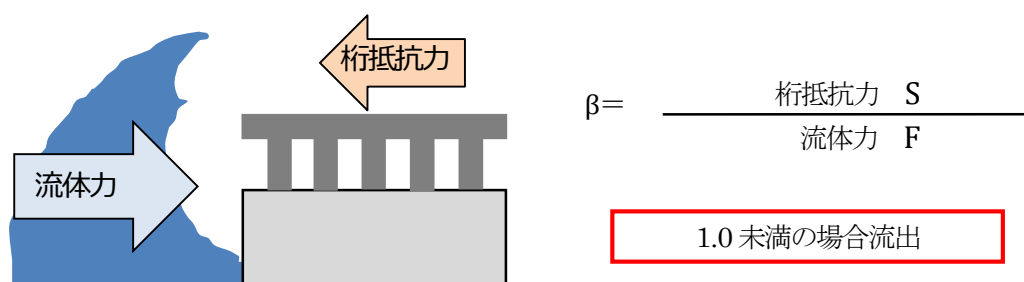


図 2-1 土木学会コンクリート委員会の提案する津波流出予測手法の構成

2.2 提案する橋梁の津波流出予測手法の構成

本研究の橋梁の津波流出予測手法の基本的な構成を図 2-2、図 2-3 に示す。これは土木学会コンクリート委員会^[2-1]の提案する橋梁の津波流出予測手法の構成を参考に、津波による水平波力に対する桁抵抗力の比が 1.0 未満の場合流出すると予測するものである。津波による水平波力は既往研究より提案された波力評価式を用いて衝突波力と流体力を算出し予測される波力の上限值を使用して流出予測を行う。ここで、図 2-2 に示すように橋桁に衝突波力が作用する場合は浮力を考慮せず、図 2-3 に示すように橋桁に流体力が作用する場合は浮力を考慮する。また、既往研究の波力評価式では適用範囲外であった陸上遡上波や橋梁の周辺状況に対応した波力評価式を提案することでより実情に近い評価を行う。橋梁の桁抵抗力には浮力を考慮した上部構造重量による摩擦力に支承の耐力を加えた値を使用する。これにより、波力と桁抵抗力の評価式を提案する。

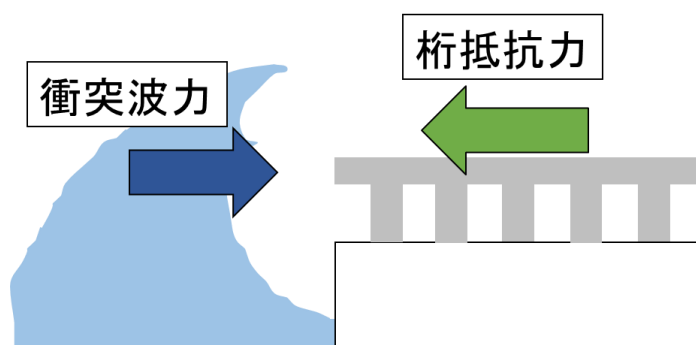


図 2-2 本研究の提案する津波流出予測手法の構成 1

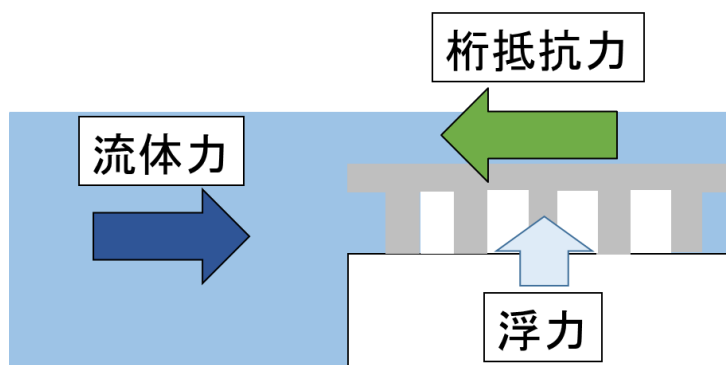


図 2-3 本研究の提案する津波流出予測手法の構成 2

第 2 章 引用・参考文献

- [2-1] 土木学会コンクリート委員会：津波による橋梁構造物に及ぼす波力の評価に関する調査研究委員会報告書，2013. 11
- [2-2] 白石卓也 丸山久一 田中泰司 山口貴幸：衛星写真と現地調査による津波被害を受けた橋梁の調査，コンクリート学年次論文集，vol. 34, No. 2, 2012
- [2-3] 幸左賢二 宮島昌克 藤間功司 庄司学 小野祐輔 重枝未玲 廣岡明彦 木村吉郎：津波による道路構造物の被害予測とその軽減に関する研究，道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート，No. 19-2, 2010. 6

第 3 章

津波による水平波力評価

第3章 津波による水平波力評価

3.1 水平波力評価式の既往研究

これまでの津波作用力の研究は段波津波や孤立波を対象に多く行われている。しかし東日本大震災では水位が徐々に上昇し、橋桁が水没した状態で定常流によって流出するこれまでにない橋梁被害の事例が見られたため、津波による作用力として流体力を加える必要がある。以下に津波によって橋桁に作用する波力評価式の既往研究について述べる。

直立構造物に作用する波力評価式である合田式^[3-1]と朝倉式^[3-2]を用いて橋桁に作用する波力評価式を考える。両式は港湾や津波避難ビルの設計などに用いられる信頼度の高い式である。この2式を橋梁の波力評価式に適応すると、図3-1に示すように、波高を基準とする三角形状の波圧分布が橋桁の被圧面に作用する式となる。橋梁に適応させた合田式^[3-1]と朝倉式^[3-2]はそれぞれ式(3.1)、式(3.2)で表される。しかし、直壁構造物に比べ、橋梁は被圧面積が小さく、桁下に空間を持つため、直壁構造物に比べ波力が分散しやすいことから、橋梁を対象としていない両式で橋桁に作用する波力を求めることが出来るかは疑問である。

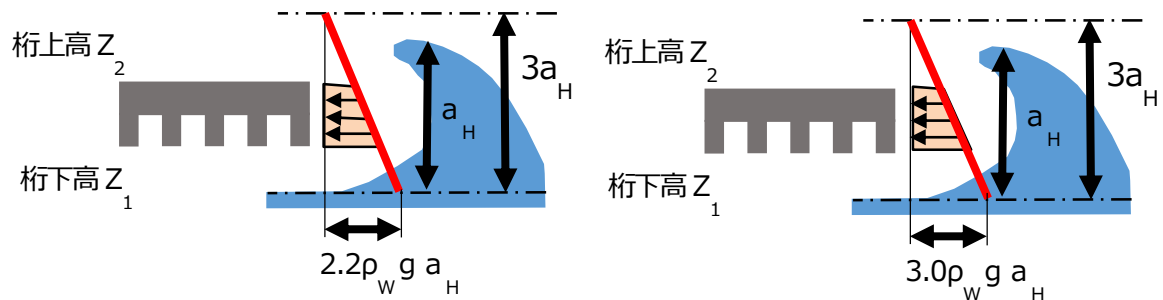


図3-1 橋梁に適応させた合田式と朝倉式

$$F_C = \rho_w g L \int_{Z_1}^{Z_2} (2.2a_H - 2.2/3.0Z) dZ \quad (3.1)$$

$$F_C = \rho_w g L \int_{Z_1}^{Z_2} (3a_H - Z) dZ \quad (3.2)$$

ここで、 F_C : 衝突波力 (kN) ρ_w : 海水密度 (1.03 t/m³) g : 重力加速度 (m/s²) L : 桁長 (m)
 a_H : 津波高 (m) A : 有効鉛直投影面積 (m²) を示す。

252.6 120 21.4 16.4 6.3 単位mm S:1/79.2

$$F_C = k A \rho_w g h \quad (3.3)$$

$$k=3.51\eta^{-0.05}\zeta^{0.25}\text{Fr}^{-0.39}\gamma^{0.21} \quad (3.4)$$

$$k=1.92n^{0.11}\zeta^{0.06}Fr^{0.42}v^{0.37} \quad (3.5)$$

$$k=1.92\eta^{0.11}\zeta^{0.06}\text{Fr}^{0.42}\text{Y}^{0.37} \quad (3.5)$$

$$\eta = (a_H - Z_1) / a_H \quad \zeta = (\mathbf{v}_{ws} \cdot \mathbf{T} / 2) / Z_1 \quad Fr = \mathbf{v}_{ave} / \sqrt{g(h_0 + a_{ave})} \quad \gamma = c / \sqrt{g(h_0 + a_{ave})}$$

h_0 : 静水深(m) v_{ave} 、 a_{ave} : ピーク値以降の 0.5~3.0 秒間の定常的区間の時間平均流速(m/s) 及び水位(m)を示す。

幸左ら^[3-4]は図3-4、図3-5に示すような橋梁模型と実験水路を用いて、桁下高、波高、静水深、碎波の有無を考慮した 60 ケースの水理実験を行った。幸左式は実験より得られた橋桁に作用する波力の最大値を静水圧との比率で評価する式である。幸左式を式(3.6)、幸左式の概念図を図3-6に示す。また、水理実験より得られた波力を用いた波圧と静水圧の関係を表したグラフに幸左ら^[3-4]の提案する波力評価式を反映したものを図3-7に示す。

これより、水平波圧は橋桁が波高の半分より下に位置する場合は静水圧の 1.9 倍の値を示し、橋桁が波高の半分より上に位置する場合は静水圧を 1.9 倍した値を底辺、桁波高比 1.3 を高さとする三角形分布を水平波圧としていることが分かる。

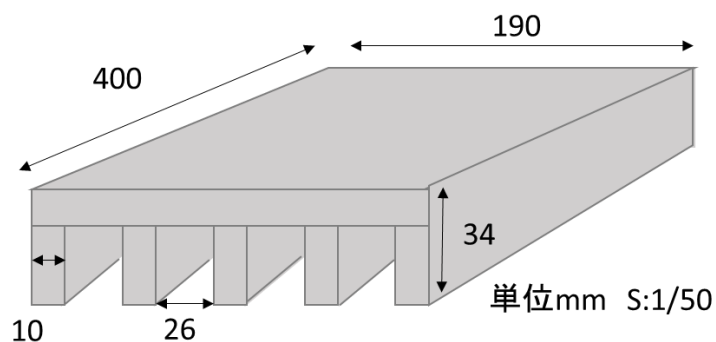


図 3-4 橋梁模型

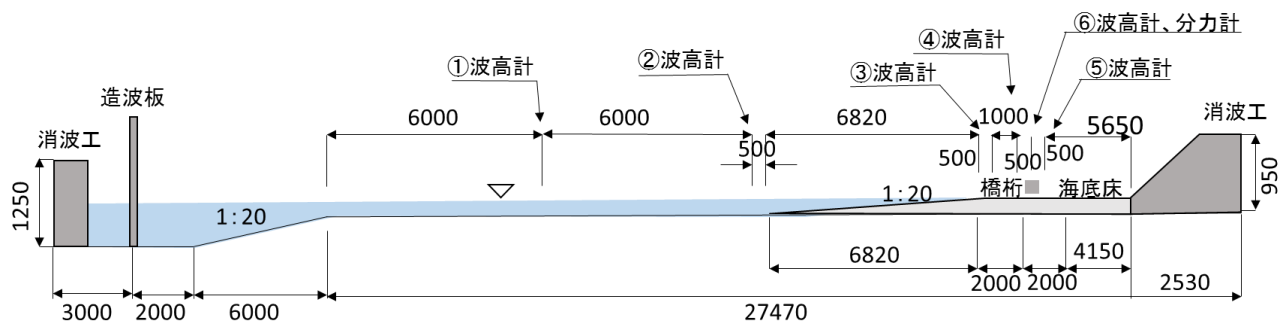


図 3-5 実験水路及び橋梁模型の設置状況

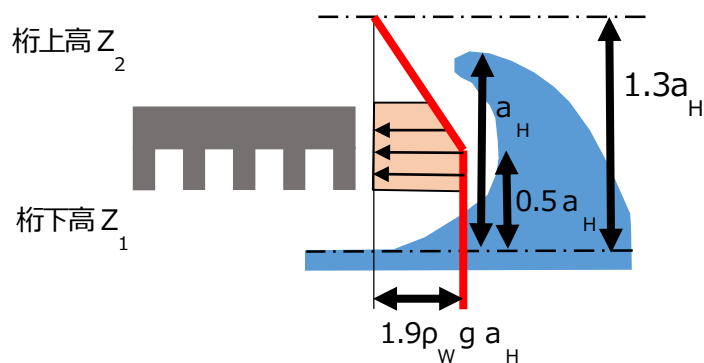


図 3-6 幸左式の概念図

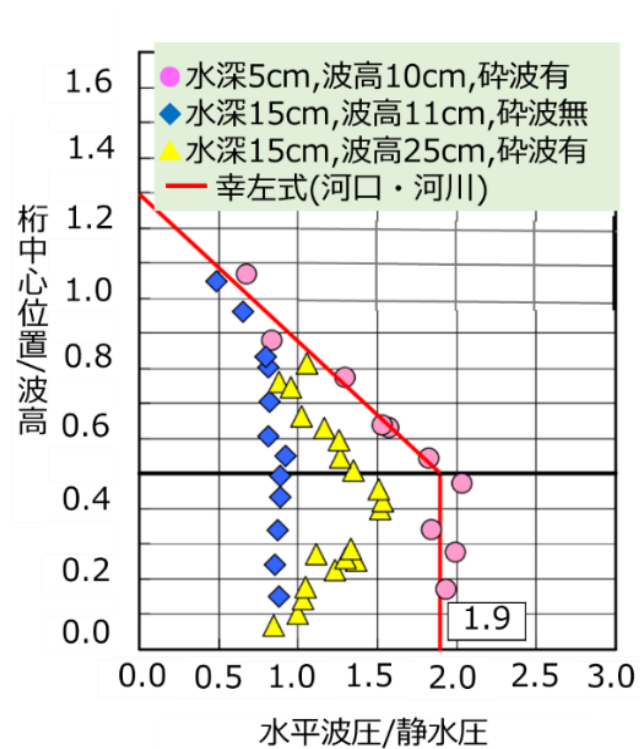


図3-7 作用力から求めた波圧と静水圧の関係
(出典: 津波による道路構造物の被害予測とその軽減に関する研究)

$$z/a_H \geq 0.5$$

$$F_c = \rho_w g L \int_{z_1}^{z_2} (3.10a_H - 2.38Z) dZ \quad (3.6)$$

$$z/a_H < 0.5$$

$$F_c = 1.90 \rho_w g A a_H$$

土木学会コンクリート委員会^[3-6]より、橋桁に定常流が作用する場合の波力式は、東北地方太平洋沖地震の津波映像を分析した結果から、津波の水面勾配は非常に緩く、海側と陸側で水位差は生じないことから流体力学による水平波力を示す式(3.7)が提案された。

$$F_F = 0.5 \rho_w C_d v^2 A / 1000 \quad (3.7)$$

$$C_d = 2.1 - 0.1(B/D) \quad 1 \leq B/D < 8$$

$$C_d = 1.3 \quad 8 \leq B/D$$

ここで、 F_F ：流体力(kN) C_d ：抗力係数(道路橋示方書に準拠) v ：流速(m/s)
 B ：幅員(m) D ：総高(m)を示す。

3.2 橋桁に作用する津波の特性

橋桁に作用する津波の作用形態を図 3-8 に示す。水平波力には、水位が徐々に上昇して定常流波によって橋桁が流出する流体力と碎波段波、碎波前段波、陸上遡上波など津波が橋桁にぶつかることで流出する衝突波力が考えられる。このうち定常流波は陸上で発生することはないため架橋位置による波力の減衰は発生しないと考えられるが衝突波力は碎波段波と陸上遡上波が存在するため、陸上遡上波における架橋位置による波力の減衰を考える必要がある。また、津波流出予測を行う際、橋桁に作用する津波の作用形態を予測することは困難なため、本研究では流体力と衝突波力の上限值を水平波力として使用する。

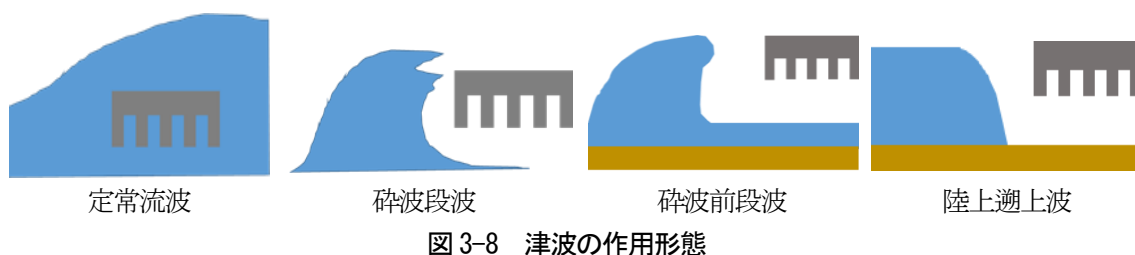


図 3-8 津波の作用形態

3.3 橋桁に作用する水平波力評価式

合田式^[3-1]と朝倉式^[3-2]で想定される波圧分布と幸左ら^[3-4]の水理実験によって得られた値を比較したものを図 3-9 に示す。これより直壁構造物を対象とする波力評価式では橋桁に作用する波力を算出する場合過大に評価してしまうことが分かる。また、橋梁の津波流出予測に使用する流体力式は土木学会コンクリート委員会^[3-6]の提案する流体力式が主流である。よって橋桁に作用する波力評価式は幸左式式(3.6)と流体力式式(3.7)を使用する。

また、橋桁に作用する水平波力の種類によって表 3-1 に示すように被圧面積の高さ(D)が異なることが考えられる。ここで、地覆高が不明な橋梁は道路橋示方書^[3-7]より最小値の 0.1m と仮定し評価を行う。

表 3-1 水平波力の種類ごとの被圧面積の高さ

	衝突波力	流体力
鋼製高欄の場合のD(m)	桁高+地覆高	桁高+地覆高+高欄高(0.4m ² /m)
剛性防護柵の場合のD(m)	桁高+地覆高+高欄高	桁高+地覆高+高欄高

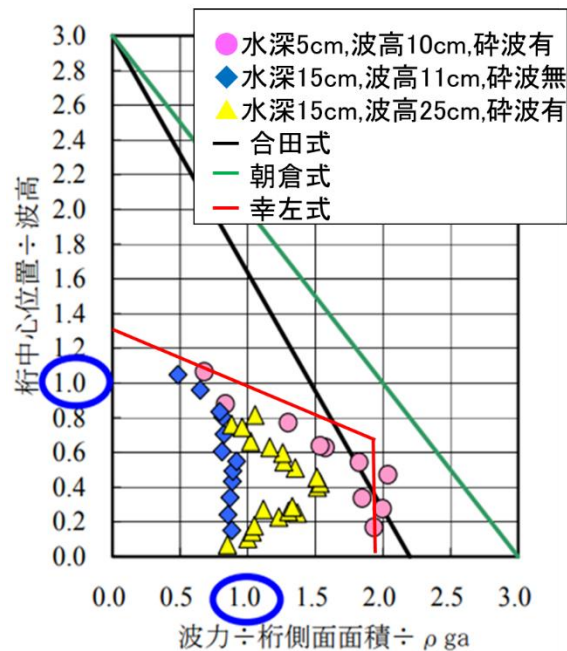


図 3-9 合田式と朝倉式の計算値と実験値の比較

(出典: 幸左ら, 津波による道路構造物の被害予測とその軽減に関する研究)

3.4 架橋位置と周辺状況に対応した水平波力の推定

本研究の波力評価に用いる幸左式は陸上遡上波が橋桁に作用する場合の波力評価式は考えられていない。しかし衝突波力において、陸上遡上波は橋桁に作用する波力の下限值と考えられるため、陸上遡上波における衝突波力の減衰について考える必要がある。

また、表 3-1 に東北地方太平洋沖地震による津波浸水域内にある橋梁 33 橋 39 桁の流出橋梁と未流出橋梁の周辺状況を示す。これより、未流出橋梁は河口に水門がある場合が多いことが分かる。よって水門による波力の減衰は大きいと考え、本研究では津波による波力の下限值である陸上遡上波の波力評価式を使用することで水門がある場合の波力を求めることとする。

陸上遡上波の波力評価式を考える。幸左ら^[3-4]の行った水理実験を参考に、津波波高に対する橋桁の相対的な位置を示す η 0.1~1.2 の範囲において、庄司式の各パラメータを 0.01 ずつ上昇させた場合の架橋位置における無次元波圧の比較を図 3-10 に示す。これより、陸上遡上波による波力は河口付近・河川上を架橋位置とする橋梁に作用する波力の半分となることが分かった。この結果を、既往の波力評価式である幸左式に反映したものを図 3-11 に示す。幸左式を示す緑の線と重なっている部分については、波力減衰の反映方法が一つではないため、既往の波力評価式を用いることで波力の過小評価を防ぐ。これより、陸上遡上波の波力評価式を式(3.8)に示す。

表 3-2 対象橋梁までの障害物

No.	橋梁名	障害物	No.	橋梁名	障害物
1	歌津大橋1～2	なし	11	水尻橋	水門
2	歌津大橋3～7	なし	12	浜田川橋	水門
3	歌津大橋8～12	なし	13	片岸大橋	水門
4	津谷川橋梁	不明	14	矢の浦橋	なし
5	小塚橋	なし	11	平田橋	水門
6	沼田こ線橋1	陸上	12	浪板橋	なし
7	沼田こ線橋2,3	陸上	13	野田橋	水門
8	曙橋	なし	14	大槌大橋	なし
9	小泉大橋	なし	15	大浜渡橋	なし
10	気仙大橋	なし	16	大浜渡橋	なし
1	気仙大橋	なし	17	奈々切跨線橋	陸上
2	女川橋	なし	18	相川一号橋	なし
3	ハイペ沢橋	なし	19	尾の崎橋	なし
4	広内橋	なし	20	不明	なし
5	本釜橋	なし	21	大石橋	なし
6	常盤橋	なし	22	大石橋	なし
7	声転橋	なし	23	おおばたけ橋	水門
8	安渡橋	なし	24	曙橋	なし
9	向渡橋	なし	25	大渡橋	なし
10	揚屋橋	なし			

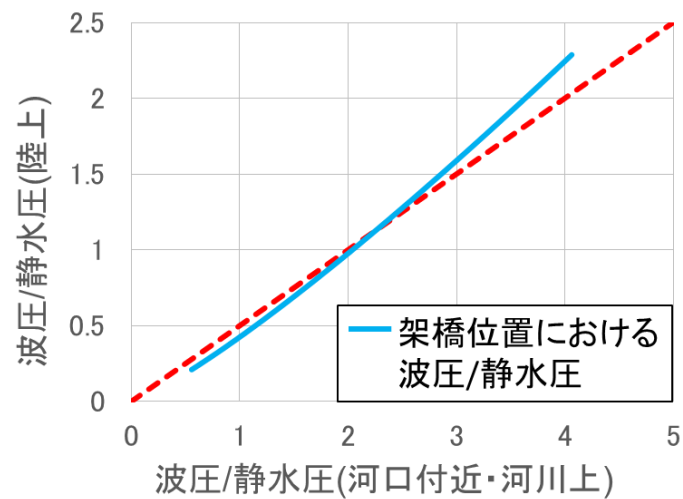


図 3-10 架橋位置における無次元波圧の関係

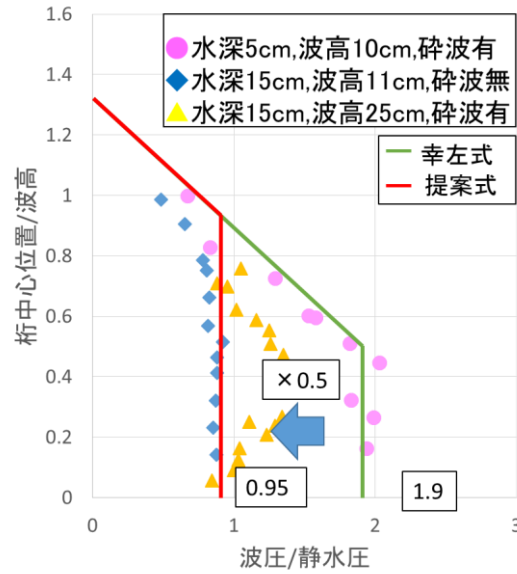


図 3-11 陸上遡上波の水平波力評価

$$z/a_H \geq 0.9$$

$$F_L = \rho_w g L \int_{z_1}^{z_2} (3.10 a_H - 2.38 Z) dZ \quad (3.8)$$

$$z/a_H < 0.9$$

$$F_L = 0.95 \rho_w g A a_H$$

第3章 引用・参考文献

- [3-1] 合田良実：防波堤の設計波圧に関する研究, 港湾技術研究所報告, 第12巻, 第3号, 1973
- [3-2] 朝倉良介 岩瀬浩二 池谷毅 高尾誠 金戸俊道 藤井直樹 大森政則：護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第47巻, 2000
- [3-3] 庄司学：橋梁構造物に作用する津波波力の評価とモデル化, 一般社団法人日本建築学会, 建築物の津波荷重に関する新たな研究の方向性を探る, pp. 25-33, 2015. 9
- [3-4] 幸左賢二 宮島昌克 藤間功司 庄司学 小野祐輔 重枝未玲 廣岡明彦 木村吉郎：津波による道路構造物の被害予測とその軽減に関する研究, 道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート, No. 19-2, 2010. 6
- [3-5] 土木学会：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書, 第Ⅱ編, pp. 357-358, 2015. 6
- [3-6] 土木学会コンクリート委員会：津波による橋梁構造物に及ぼす波力の評価に関する調査研究委員会報告書, 2013. 11
- [3-7] 社団法人 日本道路協会：鋼道路橋設計示方書, p. 114, 1956. 5
- [3-8] 川村日成：橋桁流失可能性評価における水位考慮の必要性についての検討, <http://www.kochi-tech.ac.jp/library/ron/pdf/2015/11/a1160051.pdf>, 2017. 6 取得

第 4 章

橋桁の抵抗力の評価

第4章 橋桁の抵抗力の評価

4.1 橋桁の抵抗力の既往研究

過去発生したスマトラ島沖地震と東北地方太平洋沖地震による橋梁被害によって、橋梁の津波流出予測手法に用いられることを目的とした橋梁の桁抵抗力の研究が行われるようになった。

以下に橋梁の桁抵抗力の既往研究について述べる。

土木学会コンクリート委員会^[4-1]より、桁抵抗力は式(4.1)に示すように上部構造重量に摩擦係数を乗じた摩擦力が提案されている。ここで使用される摩擦係数(0.6)は庄司ら^[4-2]と Rabbat ら^[4-3]による実験より得られた値である。庄司ら^[4-2]の実験は、コンクリート製の桁模型とコンクリート板の接触面を湿潤状態に保ち大(1/54)、中(2/175)、小(1/108)の桁模型に対して移動が生じない限界の角度をそれぞれ10回ずつ計測するものであった。その結果大、中、小の桁模型において摩擦係数は平均して0.65、0.64、0.62となった。また、Rabbat ら^[4-3]は、コンクリート面と鋼板の摩擦係数について実験が行っており、湿潤状態と乾燥状態において計12回計測を行った結果、摩擦係数は0.57～0.67程度となった。このことから摩擦係数は0.6で妥当であると考えられる。しかし、橋梁の桁抵抗力として上部構造重量による摩擦力以外の抵抗機構が考慮されていないことが問題として挙げられる。

$$S=W\mu \quad (4.1)$$

ここで、 S ：桁抵抗力(kN) W ：上部構造重量(kN) μ ：摩擦係数(0.6)を示す。

幸左ら^[4-4]より、桁抵抗力は式(4.2)に示すように浮力を考慮した上部構造重量による摩擦力に支承アンカーのせん断耐力を加えた抵抗力が提案されている。この桁抵抗力式は津波流出被害の安全照査の2次チェックに使用されることを目的とする式である。よって、支承に使用されたアンカーボルトの本数や直径、使用材料等詳細な情報が必要となる。また、この桁抵抗力式を用いて行った流出予測は衝突波力のみを対象としており、流体力では流出予測がなされていなかった。

$$\begin{aligned} S &= (W - W_U)\mu + P_A \\ W_U &= \rho_0 g V \\ P_A &= (\pi/4 \times d \times n) \sigma_y / \sqrt{3/1000} \end{aligned} \quad (4.2)$$

ここで、 W_U ：浮力(kN) ρ_0 ：海水密度(1.03t/m³) V ：体積(m³) d ：アンカー直径(mm)
 P_A ：アンカー耐力(kN) n ：アンカー本数 σ_y ：降伏応力(N/mm²)を示す。

4.2 抵抗力の構成要素

抵抗力の構成要素を図4-1に示す。橋桁が流出するということは、浮力を考慮した上部構造重量による摩擦力と橋桁を橋台に固定している支承耐力が津波による波力を下回ることによって発生すると考えられる。実際に流出した橋梁をみると、支承部の破壊によって橋桁が流出している事例が多く見られた。よって本研究では、式(4.3)に示すように浮力を考慮した上部構造重量による摩擦力と支承の耐力の内大きい値を橋梁の桁抵抗力とする。ここで、浮力は橋桁に流体力が作用した場合に発生し、アルキメデスの定理より海水密度×重力加速度×全幅員×桁高×径間長(≒支間長)より求める。

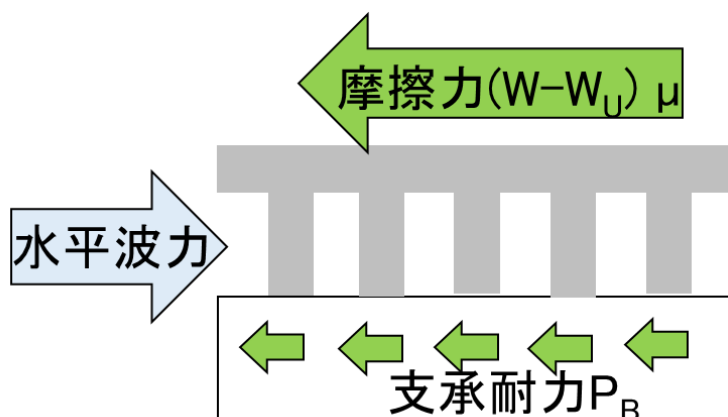


図4-1 抵抗力の構成要素

$$S = \max \left\{ (W - W_U)\mu, P_B \right\} \quad (4.3)$$

$$W_U = \rho_0 g V$$

ここで、 P_B ：支承耐力(kN)を示す。

4.3 ゴム支承の水平耐力評価

ゴム支承耐力の評価式を式(4.4)に示す。支承面積は支承設計便覧^[4-5]に記載されているゴム支承の設計における許容値より支承を設計する際に用いられる最大圧縮応力度(4,900kN/m²)と最小圧縮応力度(1,470kN/m²)より求める。地震が発生した際、支承の支持力は図4-2に示すように変化する。地震時の支持力は最大圧縮応力度と最小圧縮応力度の間で変化するよう設計するため、両者の値の間である3,185 kN/m²を使用し式(4.5)より支承面積を求める。

また、橋梁委員会^[4-6]が行ったゴム支承の破断実験より得られたゴム支承の破断強度を図4-3に示す。これより、破断応力度は最小値と最大値で大きなばらつきがあることが分かる。

よって本研究では、ゴム支承の耐力のばらつきを支承耐力に反映させる。

$$P_{BG} = A_B \times T_B \times 1000 \quad (4.4)$$

$$A_B = \frac{W}{3,185 \text{ kN/m}^2} \quad (4.5)$$

ここで、 P_{BG} ：ゴム支承耐力(kN) A_B ：支承面積(m²) T_B ：ゴム支承の破断強度(min:3N/mm² max:9N/mm²)を示す。

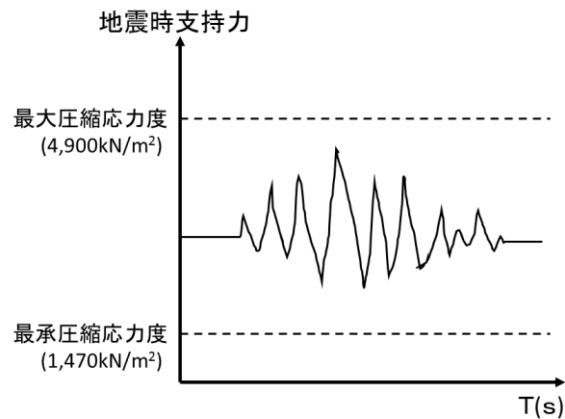


図 4-2 地震時におけるゴム支承の支持力変化

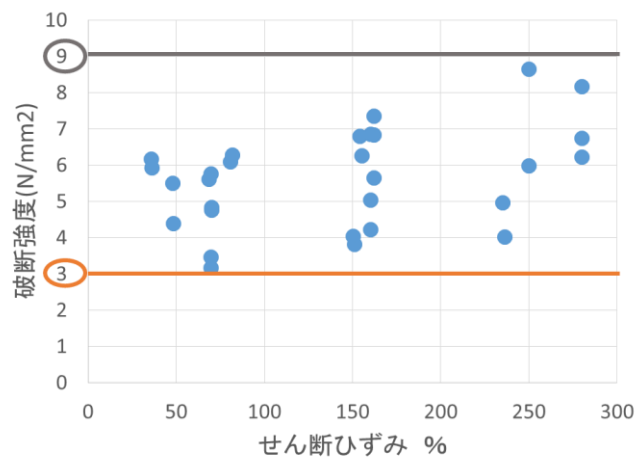


図 4-3 ゴム支承の破断強度とせん断ひずみの関係

4.4 鋼支承の水平耐力評価

鋼支承耐力の評価式は式(4.6)に示す水平地震力を設計荷重とする場合と、式(4.10)に示す主荷重を設計荷重とする場合が考えられる。

水平地震力を設計荷重とする鋼支承耐力について述べる。設計水平震度は橋梁の竣工年と地盤性状によって算出方法が異なるため、竣工年と地盤性状に応じた設計水平震度を求め、鋼支承の破壊実験より得られた安全率と上部構造を乗じることで鋼支承の耐力を算出する。設計水平震度は表 4-1～表 4-3 と図 4-4 より橋梁の竣工年と地盤性状に応じた値を式(4.8)、(4.9)を用いて算出する。軟弱地盤は最も危険な地域分布であり年代によって設計水平地震度は 0.198～0.35 に変化する。^{[4-7] [4-8] [4-9]}

本研究で流出予測を行う橋梁の支承種類は線支承と支承板支承であるため、両者の破壊実験より得られた値を用いて式(4.7)より安全率を求めた結果を表 4-4 に示す。安全率のバラツキはゴム支承と同様に支承耐力に反映させることとする。

$$P_{BSE} = W \times k_h \times \text{安全率} \quad (4.6)$$

$$\text{安全率} = \text{鋼支承の最大耐力(kN)} / W \times k_h \quad (4.7)$$

ここで、 P_{BSE} ：水平地震力を設計荷重とする鋼支承耐力(kN) k_h ：設計水平震度を示す。

鋼道路橋設計示方書(1964) [4-7]

表 4-1 鋼道路橋設計示方書(1964) 設計水平地震度

	軟弱地盤	やや良好な地盤	良好な地盤
しばしば地震が起こった地域	0.35～0.3	0.3～0.2	0.2～0.15
大地震が起こったことのある地域	0.3～0.2	0.2～0.15	0.15～0.1
その他の地域	0.2	0.15	0.1

建造物設計標準(1970) [4-8]

$$k_h = \text{地域別震度} \times \text{地盤別係数} \times \text{線区係数}(1.1 \text{ と仮定}) \quad (4.8)$$

表 4-2 建造物設計標準(1970) 補正係数

地域別震度

地盤別係数

	地域別震度	地域別震度	補正係数	地盤種別	係数
A	北海道	根室, 釧路, 十勝	0.2	第1種地盤	0.8
	関東	千葉, 埼玉, 東京, 神奈川		第2種地盤	0.9
	中部	山梨, 長野, 静岡, 愛知, 岐阜		第3種地盤	1.0
	近畿	滋賀, 京都, 兵庫, 三重, 奈良, 大阪, 和歌山		第4種地盤	1.2
B	その他の地域		0.15		

道路橋耐震設計指針(1971) [4-9]

$k_h = \text{地域別補正係数} \times \text{地盤別補正係数} \times \text{重要度別補正係数} \times \text{標準設計水平震度}(0.2) (4.9)$

表 4-3 道路橋耐震設計指針(1971) 補正係数

地盤別補正係数

区分	地 盤 種 別	係数
1種	第三紀以前の地盤(以下岩盤とする) 岩盤までの洪積層の厚さが10m未満 (岩盤地域)	0.9
2種	岩盤までの洪積層の厚さが10m以上 岩盤までの沖積層の厚さが10m未満 (洪積地域)	1.0
3種	沖積層の厚さが25m未満でかつ軟弱層の厚さが5m未満 (沖積地域)	1.1
4種	上記以外の地盤 (沖積地域のうち軟弱地盤地域)	1.2

重要度別補正係数

地域別補正係数

区分	重要度の区分	係数	区分	係数
1級	高速道路,一般国道, 主要地方道の橋 一般都道府県道および市町村道のうち重要な橋	1.0	A	1.00
			B	0.85
2級	上記以外の場合	0.8	C	0.70

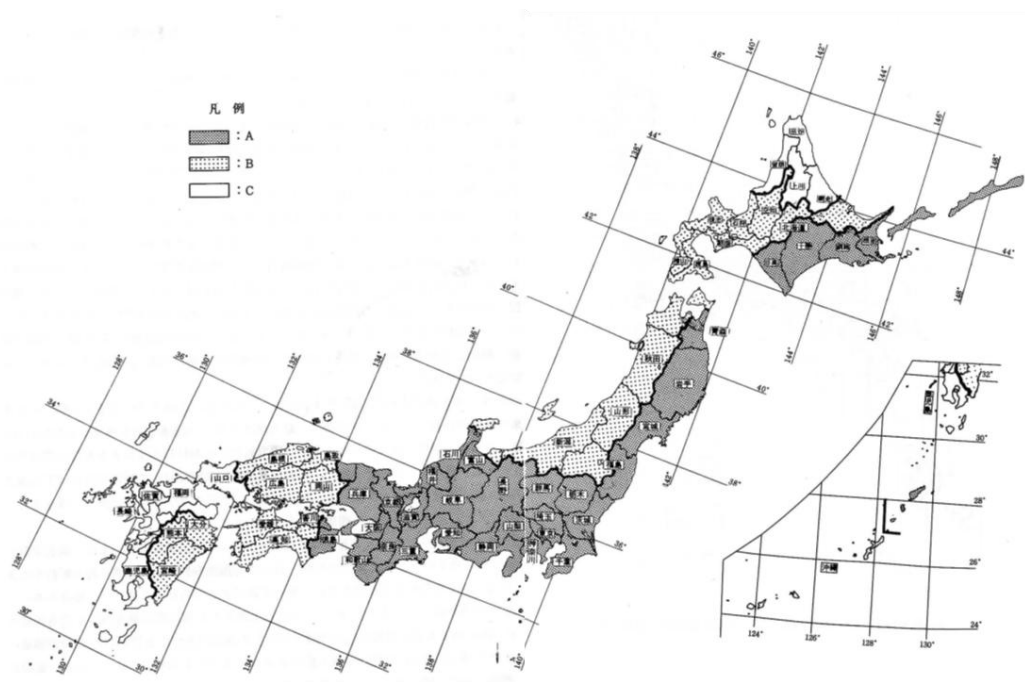


図 4-4 道路橋耐震設計指針(1971) の地域別補正係数

表 4-4 鋼支承の破壊実験より得られた安全率

実験 No.	支承 種類	W (kN)	竣工年	k_h	設計水平地震力	最大耐力 (kN)	安全率
星隈 ^[4-11]	線	300	1976	0.24	72	431.1	6.0
		750	1976	0.24	180	569.8	3.2
池田 ^[4-12]		500	～1980	0.24～0.35	120～175	673	3.8～5.6
中原 ^[4-13]		500	不明	0.24～0.35	120～175	703.8	4.0～5.8
宇佐美 ^[4-14]	支承板	1176.8	1999	0.24	282.4	2402.6	8.5
長谷川 ^[4-15]		600	-	-	180	1517	8.4

主荷重を設計荷重とする鋼支承耐力について述べる。主荷重は上部構造重量に活荷重、衝撃などを加えたものである。ここで、活荷重はT活荷重とL活荷重が存在するが、本研究では活荷重の内主な荷重であるT活荷重を用いる。T活荷重と衝撃を鋼道路橋設計示方書^[4-7]を参考に式(4.11)、式(4.12)より求め、鋼支承の破壊実験より得られた耐力係数を乗じることで鋼支承の耐力を算出する。ここで、式(4.11)の車両数は幅員を車両の幅である2.7mで割った値の小数点以下第一を切り捨てたものである。

本研究で流出予測を行う橋梁の支承種類は線支承と支承板支承である。両者の破壊実験より得られた値を用いて式(4.13)より耐力係数を求めた結果を表4-5に示す。耐力係数のバラツキはゴム支承と同様に支承耐力に反映させることとする。

$$P_{BSL} = (W \times W_L \times W_I) \times \text{耐力係数} \quad (4.10)$$

$$W_L = \text{車両数} \times 196 \quad (4.11)$$

$$W_I = W_L \times \frac{20}{50 + L} \quad (4.12)$$

$$\text{耐力係数} = \text{最大耐力} / W \quad (4.13)$$

ここで、 P_{BSL} ：主荷重を設計荷重とする鋼支承耐力(kN) W_L ：活荷重(kN) W_I ：衝撃(kN)
L:支間長(m)を示す。

表 4-5 鋼支承の破壊実験より得られた耐力係数

実験 No.	支承 種類	W (kN)	最大耐力 (kN)	耐力係数
星隈 ^[4-11]	線	300	431.1	1.4
		750	569.8	0.76
池田 ^[4-12]		500	673	1.3
中原 ^[4-13]		500	703.8	1.4
宇佐美 ^[4-14]	支承板	1176.8	2402.6	2.0
長谷川 ^[4-15]		600	1517	2.5

第 4 章 引用・参考文献

- [4-1] 土木学会コンクリート委員会：津波による橋梁構造物に及ぼす波力の評価に関する調査研究委員会報告書，2013. 11
- [4-2] 庄司学 森山哲雄 藤間功司 鴨原良典 笠原健治：単径間橋桁に作用する碎波津波の荷重に関する実験的検討，構造工学論文集，第 55 巻，pp. 460-470，2009. 4
- [4-3] Rabbat B.G and Russell H.G.：Friction coefficient of steel on concrete or grout, J. Struct. Eng., ASCE, Vol. 111, No. 3 pp. 505-515, 1985
- [4-4] 幸左賢二 宮島昌克 藤間功司 庄司学 小野祐輔 重枝未玲 廣岡明彦 木村吉郎：津波による道路構造物の被害予測とその軽減に関する研究，道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート，No. 19-2, 2010. 6
- [4-5] 社団法人 日本道路協会：支承設計便覧，1991.
- [4-6] 橋梁委員会 維持管理委員会 支承便覧分科会：道路橋支承便覧改定の概要，http://www.road.or.jp/event/pdf/manual_revision.pdf，2017. 9 取得
- [4-7] 社団法人 日本道路協会：鋼道路橋設計示方書，pp. 9-13，pp. 29-30, 1964
- [4-8] 日本国有鉄道：建造物設計標準，1970
- [4-9] 社団法人 日本道路協会：道路橋耐震設計指針，pp. 53-59，1971. 4
- [4-10] 星隈 順一：津波の影響に対する鋼製支承の抵抗特性に関する実験的研究，土木学会研究所資料第 4319 号，p23-P37, 2016. 1
- [4-11] 池田 学：橋梁支部の地震時挙動を捉える実験技術，鉄道総研月例発表会講演要旨
- [4-12] 中原 正人：鋳鉄製支承の地震時耐荷力特性と復元力モデル，鉄道総研報告書，第 22 巻第 3 号，2008. 3
- [4-13] 宇佐美 哲：金属支承の終局水平挙動に関する実験的研究，第 25 回地震工学研究発表会講演論文集，1999. 7
- [4-14] 長谷川 秀也：既設鋼製支承 (BP-A) の水平耐荷力に関する実験的研究，土木学会第 57 回年次学術講演会，2002. 9

第 5 章

橋梁の津波流出予測手法の妥当性検討

第5章 橋梁の津波流出予測手法の妥当性検討

5.1 本研究提案式

本研究で提案する津波流出予測式を式(5.1)～(5.13)にまとめる。波力評価式には桁長を使用しているが、本研究の桁抵抗力は支承耐力を用いるため橋桁に作用する波力の算出には支間長又は近い値を示す径間長を使用する。桁下高は桁上高から桁高を引くことで求める。桁上高は国土地理院の基盤地図情報の数値標高モデル^[5-1]より橋梁の両端部分の標高を調べ、その平均値を使用する。

[津波流出予測手法]

$$\frac{\text{橋の桁抵抗力 } S}{\max(\text{衝突波力 } F_C, \text{流体力 } F_L)} \geq 1.0 \text{ の場合安全} \quad (5.1)$$

ここで、 S : 桁抵抗力(kN) F_C : 衝突波力(kN) F_L : 流体力(kN)

[砕波段波 衝突波力]

幸左式

$$\begin{aligned} z/a_H &\geq 0.5 \\ F_C &= \rho_w g L \int_{z_1}^{z_2} (3.10a_H - 2.38Z) dZ \end{aligned} \quad (5.2)$$

$$\begin{aligned} z/a_H &< 0.5 \\ F_C &= 1.90 \rho_w g A a_H \end{aligned}$$

[陸上遡上波 衝突波力]

本研究提案式

$$\begin{aligned} z/a_H &\geq 0.9 \\ F_L &= \rho_w g L \int_{z_1}^{z_2} (3.10a_H - 2.38Z) dZ \end{aligned} \quad (5.3)$$

$$\begin{aligned} z/a_H &< 0.9 \\ F_L &= 0.95 \rho_w g A a_H \end{aligned}$$

ここで、 ρ_w : 海水密度(1.03 t/m^3) g : 重力加速度(m/s^2) a_H : 津波高(m)
 L : 支間長又は径間長(m) A : 有効鉛直投影面積(m^2) z_1 : 桁下高(m) z_2 : 桁上高(m) を示す。

[定常流波 流体力]

土木学会コンクリート委員会提案式

$$F_F = 0.5\rho_w C_d v^2 A / 1000 \quad (5.4)$$

$$C_d = 2.1 - 0.1(B/D) \quad 1 \leq B/D < 8$$

$$C_d = 1.3 \quad 8 \leq B/D$$

ここで、 C_d ：抗力係数 v ：流速(m/s) B ：幅員(m) D ：総高(m)を示す。

[橋の桁抵抗力]

本研究提案式

$$S = (W - W_U)\mu + P_B \quad (5.5)$$

$$W_U = \rho_0 g V$$

ここで、 W ：上部構造重量(kN) W_U ：浮力(kN) μ ：摩擦係数(6.0)

P_B ：支承耐力(kN) ρ_0 ＝海水密度(1.03t/m³) V ＝体積(幅員×桁高×支間長又は桁高)(m³)

[ゴム支承耐力]

本研究提案式

$$P_B = A_B \times T_B \times 1000 \quad (5.6)$$

$$A_B = \frac{W}{3,185 \text{ kN/m}^2} \quad (5.7)$$

ここで、 A_B ：支承面積(m²) T_B ：ゴム支承の破断強度(min:3N/mm² max:9N/mm²)を示す。

[鋼支承耐力]

本研究提案式 水平地震力

$$P_{BSE} = W \times k_h \times \text{安全率} \quad (5.8)$$

$$\text{安全率} = \text{鋼支承の最大耐力(kN)} / W \times k_h \quad (5.9)$$

ここで、 P_{BSE} ：水平地震力を設計荷重とする鋼支承耐力(kN) k_h ：設計水平震度を示す。

安全率(線支承 min:3.2 max:6.0 支承板支承 min:8.4 max:8.5)を示す。

本研究提案式 主荷重

$$P_{BSL} = (W \times W_L \times W_I) \times \text{耐力係数} \quad (5.10)$$

$$W_L = \text{車両数} \times 196 \quad (5.11)$$

$$W_I = W_L \times \frac{20}{50 + L} \quad (5.12)$$

$$\text{耐力係数} = \text{最大耐力} / W \quad (5.13)$$

ここで、 P_{BSL} ：主荷重を設計荷重とする鋼支承耐力(kN) W_L ：活荷重(kN) W_I ：衝撃(kN)

L ：支間長(m) 耐力係数(線支承 min:0.76 max:1.4 支承板支承 min:2.0 max:2.5)を示す。

5.2 評価対象桥梁の情報

本研究で提案する津波流出予測手法の妥当性を検討するために、津波による桥梁構造物に及ぼす波力の評価に関する調査研究委員会報告書^[5-2]と清水ら^[5-3]、佐々木^[5-4]の論文より得られた津波流出予測手法に必要な情報を持つ東北の津波浸水域内の桥梁 11 橋 14 桁を対象に桥梁の津波流出予測を行う。対象桥梁の情報を表 5-1 に示す。ここで、高欄高は鋼製高欄の標準高さである 0.4m を推定値として使用し、浸水高と流速は玉越ら^[5-5]より、現地調査による痕跡高と津波の遡上解析による流速を用いる。

表 5-1 情報のそろっている桥梁の情報

No.	橋梁名	竣工年	構造	支承種類	被害	津波高 (m)	流速 (m/s)	上部構造重量 (kN)	桁高 (m)	地覆高 (m)	支間長 又は 径間長 (m)	全幅員 (m)	最小 桁抵抗力 (kN)	最大 桁抵抗力 (kN)	波力 (kN)
1	歌津大橋 1～2径間	1972	PCT	支承板	水平波力 による流出	12	2.54	5,714	2.3	0.34	40	8.7	16,470	16,666	23,834
2	歌津大橋 3～7径間			ゴム		12	2.54	1,402	0.88	0.27	13.8	8.7	1,264	3,791	3,513
3	歌津大橋 8～12径間			支承板		12	2.54	3,417	1.75	0.34	29.2	8.7	9,769	10,148	13,703
4	津谷川橋梁	1974		線	流出	17.1	12.95	5,657	2.1	0	40	5.9	4,559	8,397	32,787
5	小塚橋	1971		ゴム		7.9	7.93	1,436	1.1	0.2	15.9	8.3	1,353	4,058	3,123
6	沼田こ線橋1 径間	1983		ゴム	上揚力 による流出	13.3	4.35	4,449	1.3	0.224	23	13.5	4,057	12,170	4,470
7	沼田こ線橋 2,3径間					13.3	4.35	3,713	1.15	0.224	20	13.5	3,379	10,137	3,505
8	曙橋					1986	流出	7.72	5.88	4,959	1.9	0.33	36.6	11	4,671
9	小泉大橋	1975	鋼Ⅱ(RC)	支承板	上揚力 による流出	12	6.98	3,344	1.5	0.7	30.1	11.3	8,844	11,055	14,915
10	気仙大橋 1径間	1982		ゴム	水平波力 による流出	13.6	23.77	4,822	1.8	0.47	35.97	13.3	4,486	13,458	44,766
11	水尻橋	1971	RCT	ゴム	未流出	14.6	5.33	853	0.87	0	10.857	5.75	737	2,211	332
12	浜田川橋	1981	PCT	ゴム		12.81	3.51	4,115	1.15	0.17	21.8	14.8	3,742	11,225	3,535
13	片岸大橋	1971	鋼Ⅱ(RC)	線		18.4	10.51	2,089	1.2	0.25	24.3	10.3	2,513	4,711	6,183
14	矢の浦橋	1987	鋼Ⅱ(鋼)	支承板		7.68	4.18	4,706	0.95	0.24	36	14.32	13,006	16,257	6,220

5.3 本研究の提案式を用いた水平波力による流出予測結果

本研究提案式の流出予測結果と本研究提案式の参考とした土木学会コンクリート委員会^[5-6]の提案式の流出予測結果の比較を図 5-1 に示す。桥梁 No. 1～10 は流出桥梁を、11～14 は未流出桥梁を示し、流出桥梁が 1.0 未満、未流出桥梁が 1.0 以上であれば流出予測と実被害が一致する。

流出予測結果の数値のばらつきは支承耐力のばらつきを考慮したためである。これより、これより、本提案手法を用いた方が実被害に近い結果を得ており、津波流出予測に有用な提案手法であることが分かる。本研究提案式を用いた流出桥梁の予測結果を見ると支承の最小耐力を使用した場合、全橋において流出予測と実被害が一致した。また、未流出桥梁の予測結果を見ると桥梁 No. 13 の片岸大橋が流出予測と実被害が一致していなかった。その原因として、対象桥梁の近辺に水門と対象桥梁外の橋があることで想定より波力減衰発生したことが考えられる。国領^[5-7]による研究で対象構造物までの間に桥梁 3 橋が架橋されていることで橋に作用する水位は低くなり、流速は約 15～20%、波力は約 12～21%減少するという結果が得られているが、これは特定の状況における結果を表したものであり、現段階では桥梁による波力の減衰を定量的に求める式は提案されていない。よって、障害物による波力減衰を本研究提案式に考慮することができれば、流出予測と実被害との整合性が高くなると考えられる。この検討から、本研究提案手法は最小支承耐力を用いた場合安全照査の 1 次調査として使用可能であることが分かった。

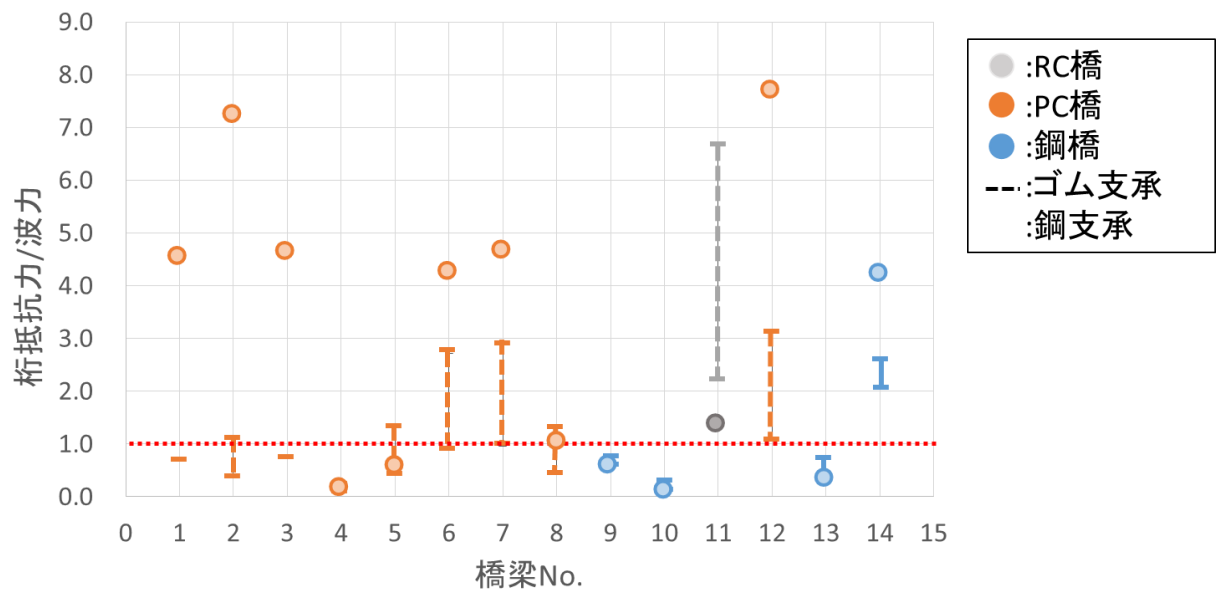


図 5-1 本研究提案式を用いた津波流出予測結果

5.4 支承耐力のバラツキの影響

支承耐力のばらつきはゴム支承が鋼支承と比較しても大きい。これはゴム支承に使用されるゴムの材料強度などに差があるからであると考えられる。橋梁No.5 と 8 は実際のゴム支承の強度が小さい値であったため流出したと推測できる。よって流出しない橋梁を予測する場合は最小支承耐力を使用して津波流出予測を行う。

5.5 その他

対象橋梁の内、橋梁断面や周辺状況が単純でなかった橋梁について述べる。

橋梁 No. 11 水尻橋

水尻橋は図 5-2 に示すように津波の作用する側に異なる橋梁が隣接している。これより水尻橋には衝突波力は作用せず、流体力が作用すると考えられる。よって水平波力評価式は衝突波力の値のほうが大きい、津波流出予測には流体力の値を使用した。

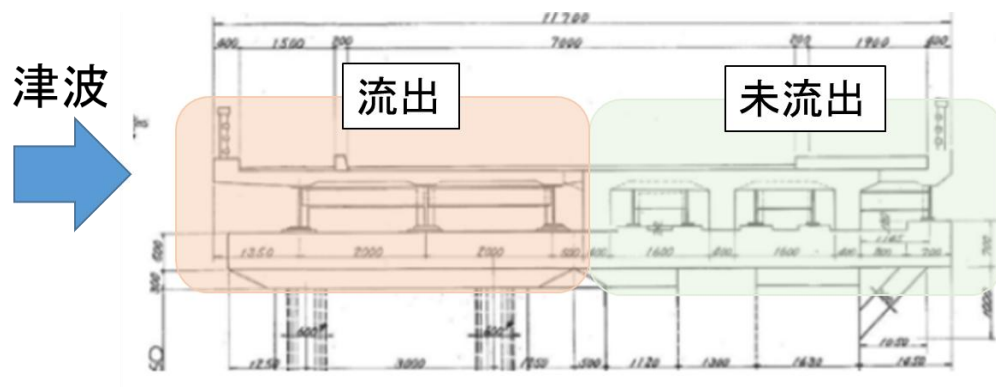


図 5-2 水尻橋断面図

片岸大橋は図 5-3 に示すように側道橋が設置されている橋梁である。そのため側道橋を含めた幅員を全幅員とした。また、断面図より得られた側道橋部分の体積に単位体積重量を乗じることによって、側道橋の上部構造重量を考慮した桁抵抗力を算出した。ここで、橋桁部分に使用されている鋼材の厚さは鋼道路橋設計示方書^[5-8]より I 型形鋼の腹部の板厚 7.5mm、その他の板厚は 8mm を用いている。

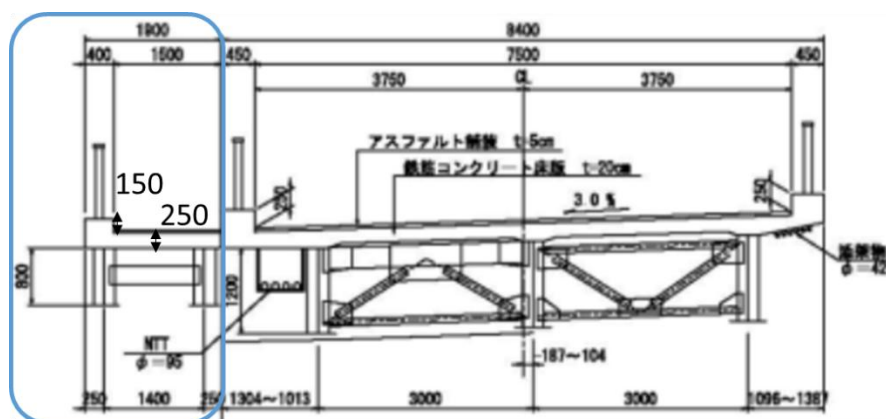


图 5-3 片岸大桥断面图

- [5-1] 国土地理院 基盤地図情報 数値標高モデル, <http://www.gsi.go.jp/kiban/2016.12> 取得
- [5-2] 全木学会コンクリート委員会:津波による橋梁構造物に及ぼす波力の評価に関する調査研究委員会報告書, 2013. 11
- [5-3] 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,プレストレストコンクリート技術協会 第20回シンポジウム論文集, 2011. 10
- [5-4] 佐々木達生 幸左賢二 付李 木下和香:東日本大震災による津波の影響を受けた沼田跨線橋の損傷判定, 第31回 土木学会地震工学研究発表講演論文集
- [5-5] 国土技術政策総合研究所 玉越隆史, 横井芳輝, 川見周平:2011年東北地方太平洋沖地震による津波と道路橋の被害との関係に関する分析, 2015. 3
- [5-6] 土木学会コンクリート委員会:津波による橋梁構造物に及ぼす波力の評価に関する調査研究委員会報告書, 2013. 11
- [5-7] 国領 優:淀川遡上津波に及ぼす橋梁影響に関する数値解析的検討, 自然科学J-JSND, 2013
- [5-8] 社団法人 日本道路協会:鋼道路橋設計示方書, p. 66, 1964

第 6 章

橋梁台帳程度の情報を用いて津波流出予測を 行う際に用いる推定式

第 6 章 橋梁台帳程度の情報で津波流出予測を行う際に用いる推定式

6.1 橋梁台帳程度の情報で津波流出予測を行う際に用いる推定式

高知県の橋梁台帳^[6-1]を図 6-1 に示す。これより高知県の橋梁台帳の情報で津波流出予測を行うためには上部構造重量と桁高、地覆高の情報が必要であることが分かる。ここで、高欄高は鋼製高欄の標準高さである 0.4m を推定値として使用し、地覆高が不明な橋梁は道路橋示方書^[6-2]より最小値の 0.1m を使用することとする。

図 6-1 高知県の橋梁台帳情報

橋梁台帳

作成： 平成28年04月25日

橋梁台帳										橋梁台帳詳細	1 / 1
橋梁名称		土木事務所		橋梁コード及び分類番号		調査年月日		更新年月日		橋梁台帳詳細	1 / 1
コト番号		道路種別		区間		区間		区間			
所在地(起点)		路線名		起点		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
所在地(終点)		主要橋長		終点		区間		区間			
橋梁形式		橋梁		構造形式		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
一般部区分		最大支間長		支間軸及び支間長		区間		区間			
緊急輸送道路指定		保固期		新形式区分		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
25+指定道路		支間軸及び支間長		部		区間		区間			
交通状況		橋脚(橋脚)		材料		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
交通物名称		通行方向		材料		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(橋梁形式)		年度		年度		区間		区間			
交通量		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区間		橋梁台帳詳細	1 / 1
(大型車数)		年度		年度		区間		区間			
道路幅員		調査年度		調査年度		区間		区			

6.2 上部構造重量の推定式

評価対象橋梁であるC系橋梁T桁の上部構造重量の推定には、津波による橋梁構造物に及ぼす津波の評価に関する調査研究委員会報告書^[6-3]と清水ら^[6-4]と佐々木^[6-5]の論文より18桁の橋梁情報を使用し、鋼橋I桁の上部構造重量の推定には、日本橋梁建設協会が運営・管理している橋梁年鑑データベース^[6-6]に掲載されている29桁と津波による橋梁構造物に及ぼす津波の評価に関する調査研究委員会報告書^[6-3]に記載されている5桁を使用した。ここで、上部構造重量と桁高の推定式を求めるために使用する橋梁情報の条件は上路橋であること、桁高や橋梁形状を確認するために一般図があること、極端にカーブする橋梁といった特殊な形状ではなく、一般的な形状の橋梁であることとした。推定式の算出に用いた橋梁情報を表6-1に、C系橋梁T桁と鋼橋I桁の上部構造重量と床版面積の関係を図6-2、図6-3に示す。これより、C系橋梁T桁と鋼橋I桁の上部構造重量の推定式は式(6.1)～(6.3)と式(6.4)、(6.5)となった。

表 6-1 推定式に使用した橋梁情報

C系橋梁

橋梁名	構造	支間長 (m)	全幅員 (m)	桁高 (m)	床版面積 (m^2)	上部構造重量 (kN)
小塚橋	PCT 桁	15.9	8.32	1.3	132.288	1,436
浪板橋	PCT 桁	11.8	9.2	0.7	108.56	595
歌津大橋	PCT 桁	13.8	8.3	0.88	114.54	1,342
二十一浜橋	PCT 桁	16	8.3	0.93	132.8	1,442
歌津大橋	PCT 桁	40	8.3	2.3	332	5,602
	PCT 桁	29.2	8.3	1.75	242.36	3,323
曙橋	PCT 桁	36.6	11	2.23	402.6	4,959
浜田川橋	PCT 桁	21.8	14.8	1.15	322.64	3,972
沼田跨線橋	PCT 桁	23	13.5	1.3	310.5	4,307
	PCT 桁	20	13.5	1.15	270	3,587
津谷川橋梁 (JR)	PCT 桁	35	5.5	2.4	192.5	5,181
	PCT 桁	40	5.5	3	220	5,519
	PCT 桁	22	5.5	2.05	121	2,082
	PCT 桁	15.8	5.5	1.35	86.9	1,219
水尻橋	RCT 桁	10.857	5.75	0.87	62.42775	782
小泉橋梁 (JR)	RCT 桁	16.6	5.9	1.5	97.94	1,141
	RCT 桁	22.9	5.9	2.1	135.11	2,091
	RCT 桁	13.5	5.9	1.3	79.65	903

鋼橋

橋梁名	構造	支間長 (m)	全幅員 (m)	桁高 (m)	床版形式	床版面積 (m ²)	主桁本数	上部構造重量 (kN)
めじろ橋	鋼橋 I 桁	44.5	9.2	2.5	RC	409.4	4	4,088
野見坂一号橋	鋼橋 I 桁	46.8	9.2	2.6	RC	430.6	4	4,403
新谷倉橋	鋼橋 I 桁	42	9.56	2.15	RC	401.5	4	4,185
髭の沢橋	鋼橋 I 桁	47.7	9.7	2.4	RC	462.7	4	4,860
大坪橋	鋼橋 I 桁	37.1	9.2	1.8	RC	341.3	5	3,001
第 1 山吹橋	鋼橋 I 桁	46	13	2.5	RC	598.0	5	6,043
南橋	鋼橋 I 桁	49.3	7	1.85	RC	345.1	4	3,130
根市川橋	鋼橋 I 桁	50	11.15	2.7	RC	557.5	5	5,588
浦和沢橋	鋼橋 I 桁	52.7	12.65	2.9	RC	666.7	5	7,012
芦原橋	鋼橋 I 桁	48.6	12.8	2.422	RC	622.1	5	7,595
静原橋	鋼橋 I 桁	31.2	8.2	1.2	RC	255.8	4	2,100
来見野橋	鋼橋 I 桁	37.4	8.7	1.74	RC	325.4	4	2,985
黒瀬川橋	鋼橋 I 桁	46	20.2	2	RC	929.2	9	8,454
上太田高架橋	鋼橋 I 桁	54.4	10	2.8	RC	544.0	4	5,601
宮ヶ瀬橋	鋼橋 I 桁	41.6	9.2	2.1	RC	382.7	4	3,497
乙女橋	鋼橋 I 桁	39.1	7.2	2	RC	281.5	3	2,353
名水橋	鋼橋 I 桁	43.2	6.2	2.3	RC	267.8	3	2,509
落岩橋	鋼橋 I 桁	41.4	9.2	2.3	RC	380.9	4	3,517
中禅寺湖橋	鋼橋 I 桁	31.6	18.05	1.6	RC	570.4	7	5,650
出雲川大橋	鋼橋 I 桁	45.9	15.675	2.6	RC	719.5	6	7,856
三船橋	鋼橋 I 桁	49	9.2	2.6	RC	450.8	4	4,700
小阪辻橋	鋼橋 I 桁	51.1	9.2	2.7	RC	470.1	4	4,714
小泉大橋	鋼橋 I 桁	30.1	11.3	1.5	RC	340.1	3	3,311
気仙大橋	鋼橋 I 桁	35.97	13.3	1.8	RC	478.4	4	4,763
気仙大橋	鋼橋 I 桁	35.97	13.3	1.8	RC	478.4	4	4,763
片岸大橋	鋼橋 I 桁	24.3	8.4	1.2	RC	204.1	3	1,757
川北橋	鋼橋 I 桁	34.2	22	1.252	鋼	752.4	12	4,666
藻南学園橋	鋼橋 I 桁	33.1	7.2	1.2185	鋼	238.3	4	1,160
栗原橋	鋼橋 I 桁	39.5	10.3	1.1	鋼	406.9	8	2,863
萩園橋	鋼橋 I 桁	36.6	19	1.2	鋼	695.4	10	4,782
長尾川橋	鋼橋 I 桁	30	12.8	0.94	鋼	384.0	11	2,989
西除橋	鋼橋 I 桁	31.3	7.2	0.886	鋼	225.4	5	1,365

極楽橋	鋼橋 I 桁	35.1	12	1.372	鋼	421.2	7	2,805
矢の浦橋	鋼橋 I 桁	36	14.32	1.421	鋼	515.5	10	4,667

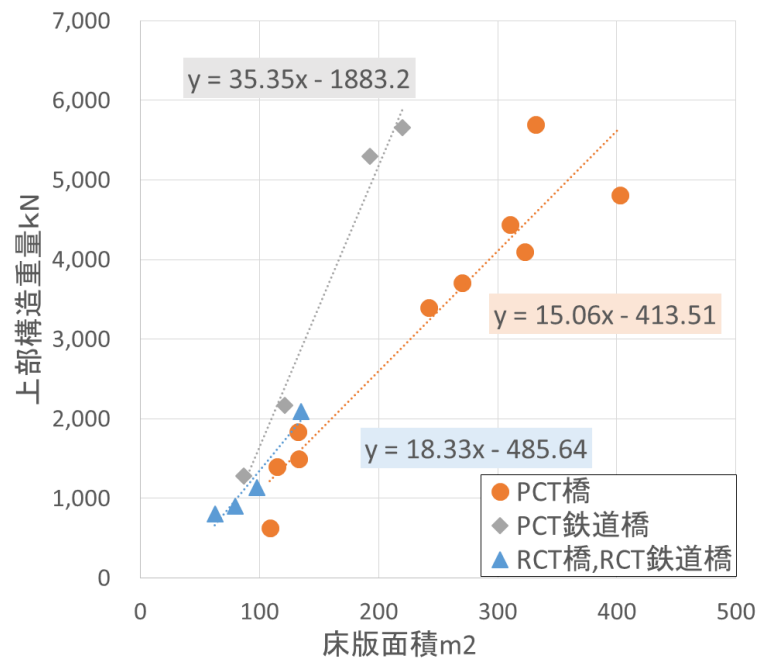


図 6-2 C 系橋梁の上部構造重量と床版面積の関係

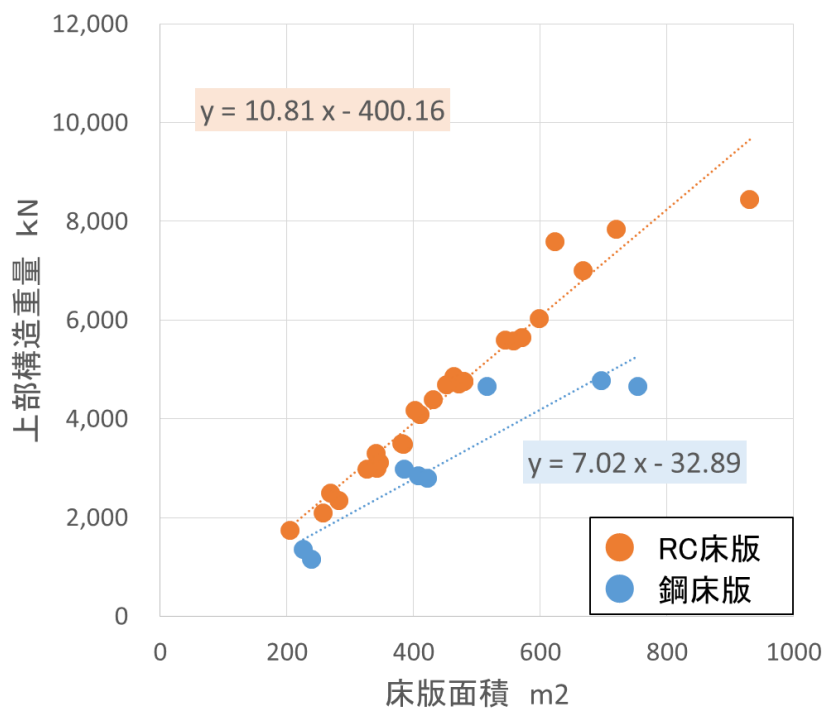


図 6-3 鋼橋の上部構造重量と床版面積の関係

[C 系橋梁 T 桁の上部構造重量推定式]

PCT 橋

$$W' = 15A_D - 414 \quad (6.1)$$

PCT 鉄道橋

$$W' = 35A_D - 1883 \quad (6.2)$$

RCT 橋、RCT 鉄道橋

$$W' = 18A_D - 486 \quad (6.3)$$

[鋼橋梁 I 桁の上部構造重量推定式]

RC 床版

$$W' = 11A_D - 400 \quad (6.4)$$

鋼床版

$$W' = 7A_D - 33 \quad (6.5)$$

ここで、 W' : 推定上部構造重量(kN) A_D : 床版面積(m²)

6.3 桁高の推定式

支間長が大きくなれば桁高も大きくなると考えられるため、表 6-1 の橋梁情報を用いて C 系橋梁 T 桁と鋼橋 I 桁の桁高と支間長の関係調べた結果を図 6-4、図 6-5 に示す。これより、C 系橋梁 T 桁と鋼橋 I 桁の桁高の推定式は式(6.6)～(6.8)と式(6.9)、(6.10)となる。鋼橋 I 桁鋼床版の推定式の相関性が低い結果となったが、これは床版による重量が軽い分、鋼床版の桁高が支間長の増加に比例して大きくならなかったことが原因と考えられる。よって鋼床版の流出予測を行う際は平均値である 1.18m を使用する。

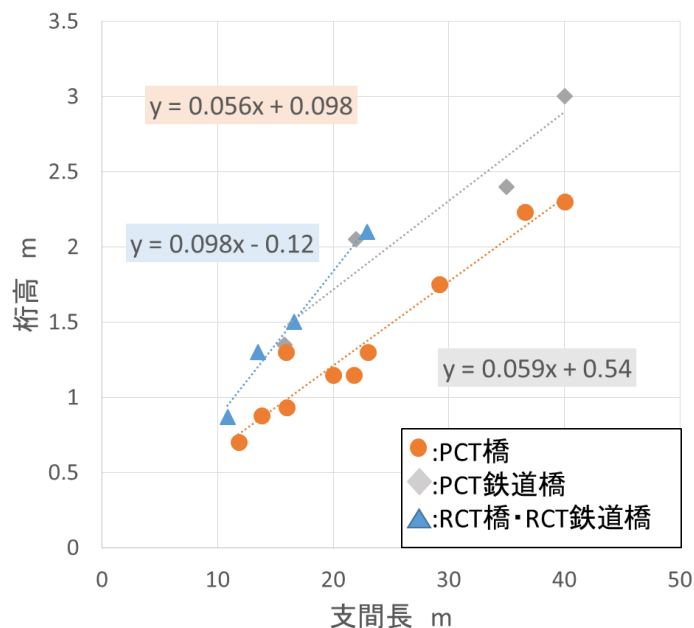


図 6-4 C 系橋梁の桁高と支間長の関係

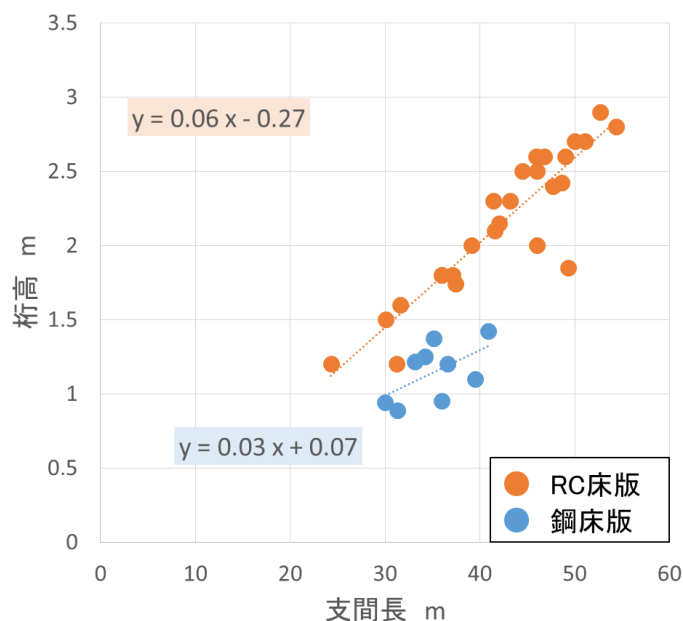


図 6-5 鋼橋の桁高と支間長の関係

[C系橋梁 T 桁の桁高推定式]

PCT 橋

$$H' = 0.06L + 0.54 \quad (6.6)$$

PCT 鉄道橋

$$H' = 0.06L + 0.27 \quad (6.7)$$

RCT 橋、RCT 鉄道橋

$$H' = 0.08L + 0.16 \quad (6.8)$$

[鋼橋梁 I 桁の桁高推定式]

RC 床版

$$H' = 0.06L - 0.27 \quad (6.9)$$

鋼床版

$$H' = 1.18 \quad (6.10)$$

ここで、 H' : 推定桁高(kN) L : 支間長(m)

第6章 引用・参考文献

- [6-1] 高知県庁:橋梁台帳, 2016.4 取得
- [6-2] 社団法人 日本道路協会:鋼道路橋設計示方書, p. 114, 1956.5
- [6-3] 全木学会コンクリート委員会:津波による橋梁構造物に及ぼす波力の評価に関する調査研究委員会報告書, 2013.11
- [6-4] 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, プレストレストコンクリート技術協会 第20回シンポジウム論文集, 2011.10
- [6-5] 佐々木達生 幸左賢二 付李 木下和香:東日本大震災による津波の影響を受けた沼田跨線橋の損傷判定, 第31回 土木学会地震工学研究発表講演論文集
- [6-6] 日本橋梁建設協会:橋梁年鑑データベース, <http://www.jasbc.or.jp/kyoryodb/index.cgi>, 2017.8 取得

第 7 章

橋梁台帳程度の情報を持つ被災橋梁を用いた 津波流出予測

第7章 橋梁台帳程度の情報を持つ被災橋梁を用いた津波流出予測

7.1 評価対象橋梁の情報

玉越ら^[7-1]より、橋梁台帳程度の情報を持つ23橋25桁の評価対象橋梁の情報を表7-1に示す。
浸水高と流速は玉越ら^[7-1]より、現地調査による痕跡高と津波の遡上解析による流速を用いている。この橋梁情報で津波流出予測を行うためには上部構造重量と鋼橋の床版種類、高欄高、地覆高の情報が必要である。ここで、高欄高は鋼製高欄の標準高さである0.4mを推定値として使用し、地覆高が不明な橋梁は道路橋示方書^[7-2]より最小値の0.1mを使用する。また上部構造重量の推定は90%信頼で誤差が発生すると仮定し、表5-1の橋梁情報を用いて上部構造重量の最大推定値と最小推定値を式(7.1)より求めた。

表 7-1 橋梁台帳程度の情報を持つ評価対象橋梁情報

No.	橋梁名	竣工年	構造	支承種類	被害	津波高 (m)	流速 (m/s)	最小上部構造重量 推定(kN)	最大上部構造重量 推定(kN)	桁高 (m)	地覆高 (m)	支間長 又は 径間長 (m)	全幅員 (m)	最小 桁抵抗力 (kN)	最大 桁抵抗力 (kN)	波力 (kN)
1	気仙大橋2	1982	鋼I (RC)	ゴム	水平波力 による流出	13.6	23.77	4,174	5,273	1.8	0.47	35.97	13.3	3,932	14,900	44,766
2	女川橋	1958	RCT		流出	13.8	6.95	1,372	2,183	0.65	0.1	14	8.75	1,292	6,168	2,779
3	ハイベ沢橋	1975	PCT			18.7	9.48	645	999	1.2	0.1	11	8.8	607	2,823	5,129
4	広内橋	1992				17.8	4.45	1,918	2,971	1.5	0.1	28.5	8.2	1,806	8,396	15,567
5	本釜橋	1979				12.5	3.53	1,120	1,735	1.3	0.1	24.65	6	1,055	4,903	8,273
6	常盤橋	1967	ゴム	5.36		5.82	1,358	2,104	1.5	0.1	23.77	7.3	1,279	5,946	3,910	
7	声転橋	1968	ゴム	17.3		7.81	440	681	1.6	0.1	11.5	6.5	414	1,925	6,486	
8	安渡橋	1935	鋼I	線		10.4	7.57	344	556	1.1	0.1	12.75	5.5	655	1,502	3,052
9	向渡橋	1964		9.5		3.72	300	379	0.84	0.1	13.75	5	424	891	2,355	
10	揚屋橋	1975		ゴム		15.2	4.47	871	1,100	1.25	0.1	26.9	4.8	820	3,109	10,586
11	平田橋	1966		RCT	ゴム	14.2	2.22	1,238	1,969	1.5	0.1	14.5	7.8	1,166	5,564	3,159
12	浪板橋	1962		PCT	ゴム	10.65	8.33	835	1,294	0.55	0.1	17	6.9	787	3,657	2,257
13	野田橋	1968	9.3			4.47	1,365	2,115	1.2	0.1	21	8.3	1,286	5,978	2,435	
14	大槌大橋	1970	9.95			8.58	2,744	4,251	1.5	0.1	28.54	11.3	2,584	12,011	8,714	
15	大浜渡橋	1986	ゴム		12.5	2.39	2,887	4,473	1.3	0.1	26.4	12.8	2,719	12,639	8,660	
16	大浜渡橋				12.5	2.39	2,887	4,473	1.3	0.1	26.4	12.8	2,719	12,639	8,660	
17	奈々切跨線橋	1998	鋼I	ゴム	12	8.94	5,616	8,701	1.8	0.1	36.5	17.3	5,290	24,588	7,980	
18	相川一号橋	1976		線	12.1	2.58	946	1,195	1.04	0.1	23	5.96	1,099	2,373	6,085	
19	尾の崎橋	1978		線	3.48	6.45	925	1,493	0.7	0.1	22	8.2	1,083	2,791	1,054	
20	不明	1978		線	11	4.56	832	1,051	1.25	0.1	25	5	821	1,819	7,120	
21	大石橋	1988	鋼I (RC)	支承板	7.46	2.91	3,380	4,269	1.7	0.25	31.55	12.5	8,712	13,114	4,821	
22	大石橋				7.46	2.91	3,320	4,195	1.7	0.25	31.05	12.5	8,596	12,930	4,745	
23	おおばたけ橋	1988	鋼I	線	10.16	6.47	1,871	2,363	1.2	0.1	28.64	8.2	1,796	3,997	3,627	
24	曙橋	1994		線	6.12	5.21	4,507	5,694	1.07	0.1	32.1	16	4,352	9,677	4,408	
25	大渡橋	2005		鋼製	5	1.72	7,216	9,115	0.9	0.1	40	20	6,758	15,109	3,465	

推定上部構造重量最大値(W' max kN)

W' max=(x̄ + 1.645σ)W'

推定上部構造重量最小値(W' min kN)

W' min=(x̄ - 1.645σ)W' (7.1)

σ=√(1/n-1 Σ(xi - x̄)²) xi = W / W' x̄ = 1/n Σ xi

ここで、σ：標準偏差(PCT:0.19 PCT 鉄道:0.08 RCT:0.14 RC 床版:0.07 鋼床版:0.14)
x̄：平均(PCT:0.93 PCT 鉄道:0.97 RCT:1.01 RC 床版:0.99 鋼床版:0.98)
n:個数 W:上部構造重量(kN) W'：推定上部構造重量(kN)

7.2 鋼橋の床版種類の推定

玉越ら^[7-1]の情報には鋼橋 I 桁の床版種類が記載されていないため、床版種類の推定を行う必要がある。床版種類の推定方法の検討には表 6-1 の橋梁情報を使用する。これより、鋼橋 I 桁の桁高と主桁間隔 (=全幅員/主桁本数) の関係を図 7-1 に示す。鋼床版は桁高が 1.5m 以下で、主桁間隔が 2.0 以下の範囲に、RC 床版はそれ以外の範囲に分布する結果となった。これより、水色の範囲の鋼橋は鋼床版、それ以外は RC 床版と推定する。

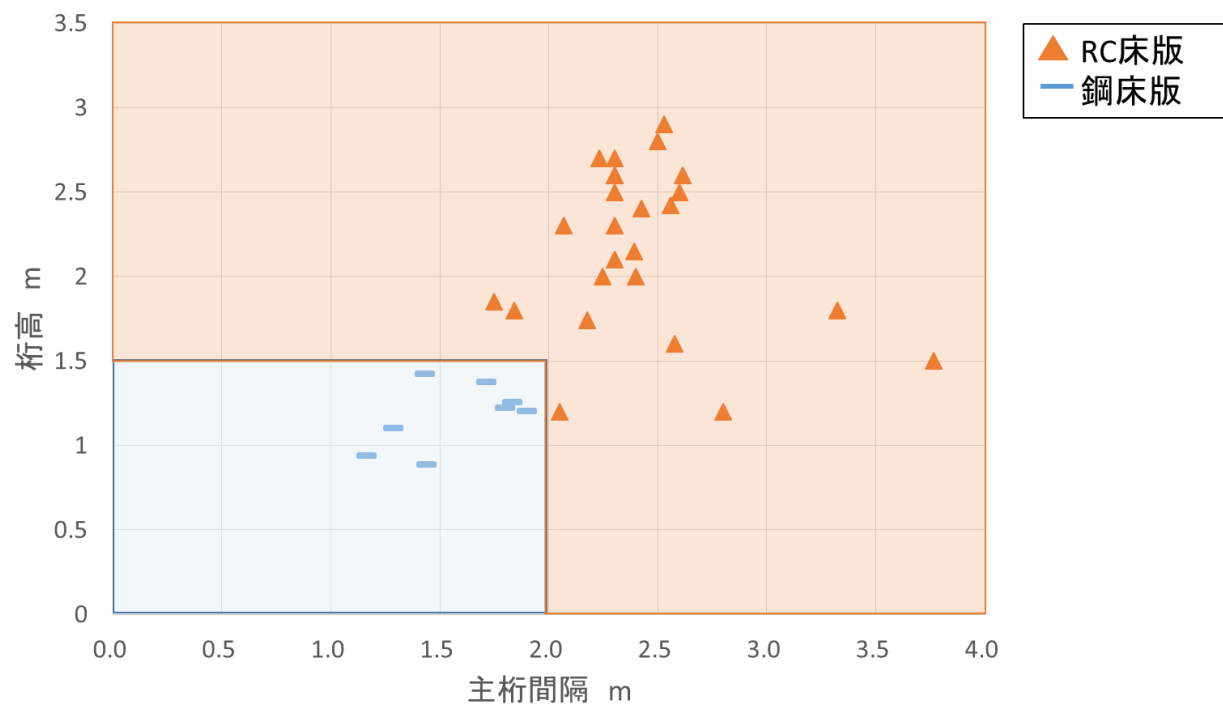


図 7-1 鋼橋 I 桁の床版種類の推定

7.3 水平波力による流出予測結果

第6章で提案した推定式を用いて水平波力による津波流出予測を行うことで推定式の妥当性を検討する。表7-1の情報を用いて津波流出予測を行った結果を図7-2、7-3、7-4、7-5に示す。橋梁No. 1～10は流出橋梁、橋梁No. 11～25は未流出橋梁を表しており、水平抵抗力/水平波力が1.0未満の場合流出と予測する。発生しているばらつきは上部構造重量の推定式によるものである。

図7-2に示す流出橋梁に対し、最小支承耐力を用いた場合の予測結果を見ると全橋において実被害と被害予測が一致していた。次に、図7-5に示す未流出橋梁に対し、最大支承耐力を用いた場合の予測結果を見ると橋梁No. 18と20、23が実被害と津波流出予測が一致していなかった。

その原因として第5章でも述べた対象橋梁以外の橋梁による波力の減衰が挙げられる。今後、流出予測の精度を上げるためには障害物による波力の減衰を定量的に評価できる式を取り入れる必要があると考えられる。

これより、本研究の提案式は支承の最小耐力を用いることで橋梁台帳程度の情報に対しても安全照査の1次調査として使用可能であることが分かった。

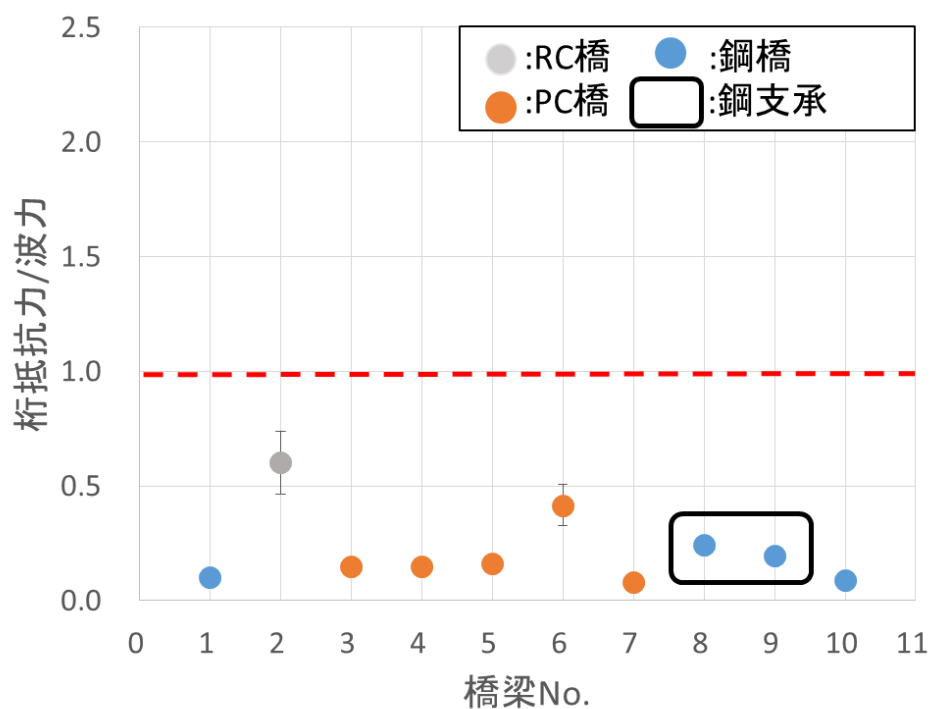


図7-2 流出橋梁：最小支承耐力を用いた流出予測結果

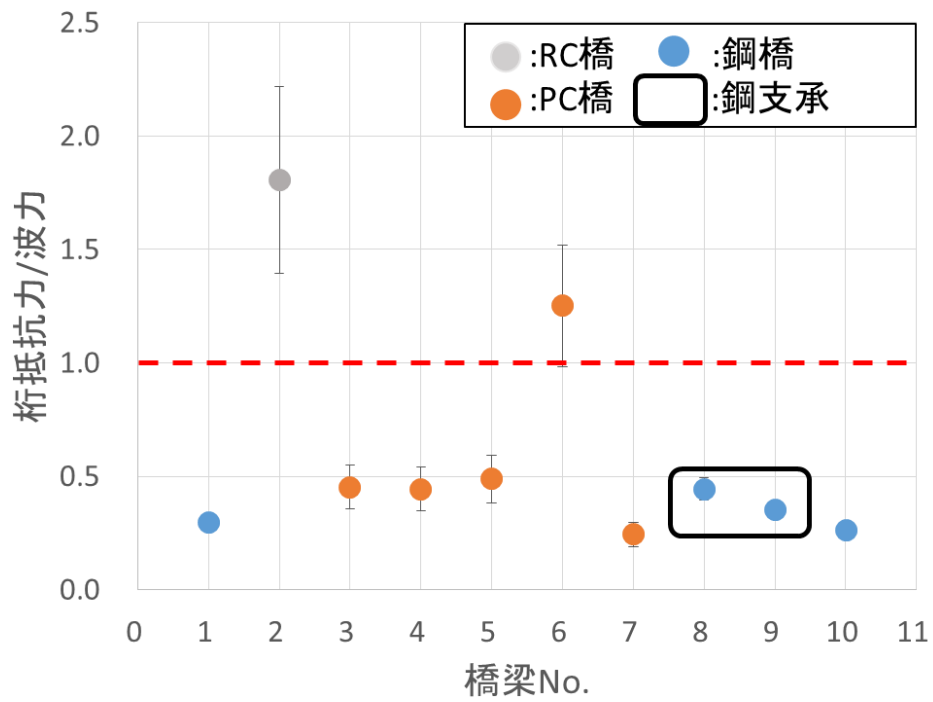


図 7-3 流出橋梁：最大支承耐力を用いた流出予測結果

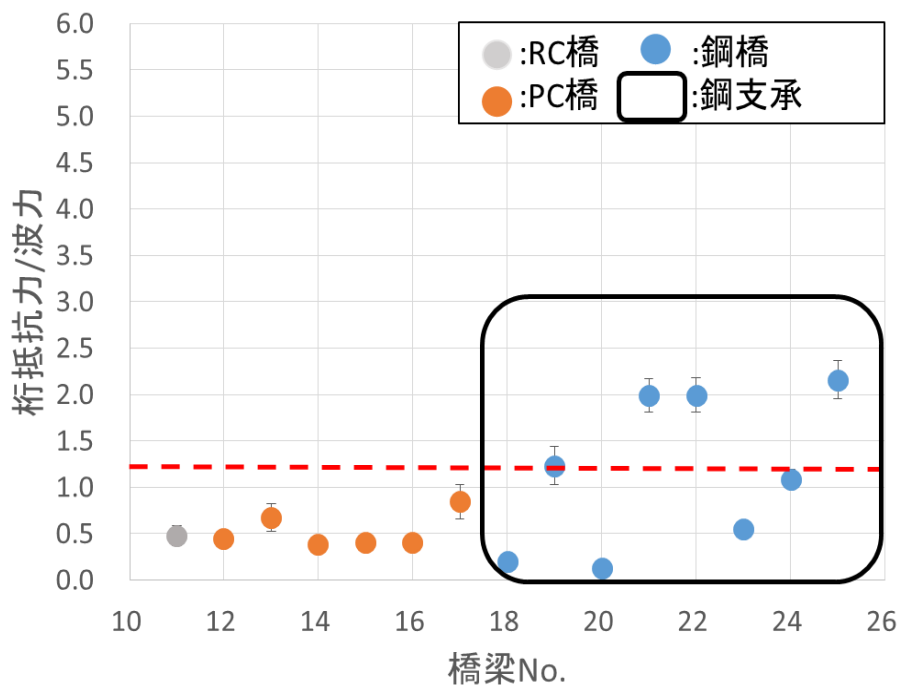


図 7-4 未流出橋梁：最小支承耐力を用いた流出予測結果

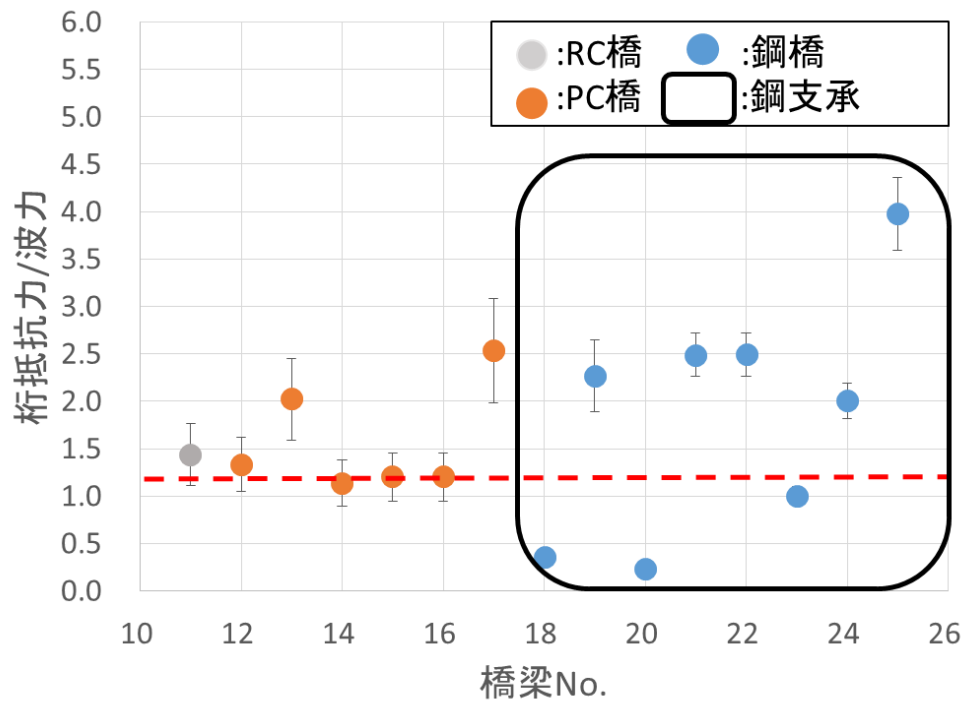


図 7-5 未流出橋梁：最大支承耐力を用いた流出予測結果

第 7 章 引用・参考文献

- [7-1] 玉越隆史、横井芳輝、川見周平：2011 年東北地方太平洋沖地震による津波と道路橋の被害との関係に関する分析，国総研資料 第 843 号，2015. 3
- [7-2] 社団法人 日本道路協会：鋼道路橋設計示方書，p. 114, 1956. 5

第 8 章

総括

第 8 章 総括

8.1 まとめ

本論では橋梁台帳の情報で C 系橋梁 T 桁と鋼橋 I 桁の流出予測手法を行うことを目的とし、東北の津波浸水域内にある橋梁を用いて橋桁の津波流出予測に有効な予測式の検討を行った。

橋桁に作用する水平波力に関しては、流体力と衝突波力を考慮し、既往の波力評価式である幸左式と庄司式を用いて、幸左式では適用範囲外であった陸上遡上波の波力評価式を提案した。

また、橋の桁抵抗力に関しては、土木学会コンクリート委員会の提案する上部構造重量による摩擦力に浮力と支承の破壊実験の結果より提案した支承の耐力を考慮した抵抗力式を提案した。

本研究提案式を用いて必要情報のそろっている東北の被災橋梁 11 橋 14 桁に対し支承の最小耐力を用いて津波流出予測を行った結果、流出橋梁は予測結果と一致し、未流出橋梁は予測結果と 1 橋一致しないという結果となった。本研究の津波流出予測手法の基となった土木学会コンクリート委員会の提案式を用いた場合、流出予測が実被害と一致しなかった橋梁が 7 桁あったことから本研究提案式は土木学会コンクリート委員会の提案式より精度の高い予測が行えていることが分かった。本研究の提案式で流出予測と実被害が一致しなかった 1 橋は近距離に水門と対象外橋梁が存在する橋であったことから、今後津波が橋梁やその他の障害物にぶつかることによる波力減衰の評価式を本研究提案式に反映できれば流出予測と実被害の整合性が高まると考えられる。

次に、橋梁台帳の情報で津波流出予測を行うために、上部構造重量と桁高の推定式を橋梁の実情報より算定した後、橋梁台帳と同程度の情報を持つ東北の被災橋梁 23 橋 25 桁に対して推定式を用いて流出予測を行った。その結果、最小支承耐力を用いて流出予測を行うことで流出しない橋梁が判明し、詳細な津波流出予測が必要な橋梁を選定することが出来た。よって橋梁台帳程度の情報で津波流出予測を行う場合は本研究の提案する評価式を安全照査の 1 次調査に使用可能であることが分かった。

謝辭

謝辞

本研究を遂行するにあたり、終始適切な助言を賜り、あたたかくご指導して下さった主指導教員である甲斐 芳郎教授にこころから感謝の意を表します。

副指導員である島 弘教授には本研究に関して多大なるご指導を頂きました。深甚なる謝意を表します。

また、高知県の橋梁台帳情報を快く提供していただいた高知県庁道路課の皆様にこの場を借りて御礼申し上げます。

最後に、これまであたたかく応援してくれた両親と長い時間を共にしてきた研究室の皆様から感謝します。

2018 年 3 月 澤田真衣