

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

学籍番号:1160051 氏名:川村日成 指導教員:甲斐芳郎

高知工科大学システム工学群 建築・都市デザイン専攻 耐震研究室

2011年東北地方太平洋沖地震では津波により多くの橋梁が被災し、中でも橋梁上部工の流失被害が甚大であった。しかし現在の橋梁設計基準には津波による波力は考慮されていないため、橋桁の簡易的流失可能性評価において流速指標の水平波力を用いたものが提案されている。本研究ではこの流失評価式の適用性を検討し、また橋桁流失(水平波力)評価における水位考慮の必要性について検討する。

Keywords:橋桁流失、流速、水位

1. はじめに

1-1. 研究背景

2011年東北地方太平洋沖地震では様々なインフラが被災しその中でも顕著であったのが津波による橋梁上部工の流失被害であった。しかし橋梁設計基準である道路橋示方書では津波波力が考慮されていないため橋桁の流失可能性評価である桁抵抗力津波作用力比(β値)¹⁾においては通常の流量に対する波力算定式と同様に津波流速を指標としたもの(以下流失評価式)が用いられている。

$$F_x = \frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot v^2 \cdot A_s$$

ρ:海水密度 A_s:受圧面積 v:流速 C_d:抗力係数

1-2. 研究目的

本研究では橋桁の流失可能性評価で用いられた流失評価式の適用性を検証する。

2. 研究方法

2-1. 研究手順

橋桁の流失可能性評価では東日本大震災において流失被害を受けた橋梁の津波シミュレーションを行い橋梁に作用した水位及び流速の時刻歴データを求めている²⁾。一方筑波大学准教授庄司氏³⁾は橋梁に作用する水位及び流速のデータから実際に橋桁に作用した水平波力の算出式を提案している。この算出式による評価結果と桁抵抗力(=摩擦係数×上部構造重量)との比較から実際の被害と照合し波力算出法の妥当性を確認後、算出された波力との比較により流失評価式の適用性を検証する。

2-2. 波力算出法

三次元流体解析シミュレーションにより庄司氏により提案された以下の式を用いる。

$$F_x = k \cdot A_s \cdot \rho \cdot g \cdot a$$

$$k = 3.51 \eta^{0.05} \zeta^{0.25} F_r^{0.39} \gamma^{0.21} (\text{河口} \cdot \text{河川})$$

$$k = 1.92 \eta^{0.11} \zeta^{0.06} F_r^{0.42} \gamma^{0.37} (\text{陸上遡上波})$$

$$\eta = (a \cdot h) / a \quad \zeta = (v_{ws} \cdot T) / 2 / h$$

$$F_r = v_{ave} / \sqrt{g(h_0 + a_{ave})} \quad \gamma = c / \sqrt{g(h_0 + a_{ave})}$$

g:重力加速度 a:津波波高 v_{ws}:水面上昇速度

h:静水面から橋桁下端までの距離 c:波速

T:橋桁に波が作用している時間 h₀:静水深

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及び水位

2-3. 評価対象の橋梁

橋桁の流失可能性評価において東日本大震災により流失被害のあった橋梁で、橋桁位置での時刻歴流速及び水位データが示されている以下の6橋を評価対象とした。

表1. 評価対象の橋梁

橋梁	桁長(m)	桁高(m)	静水面から桁下端距離(m)	抗力係数	上部工重量(kN)	架橋位置
歌津大橋	29.88	2.52	6.4	1.77	3,400	河口付近
沼田跨線橋(1径間)	23.7	2.75	5	1.61	4,438	陸上
沼田跨線橋(2.3径間)	20.7	2.6	5	1.58	3,713	陸上
小泉大橋	90.9	2.56	6	1.66	10,000	河口付近
津谷川橋	41	3.3	9.41	1.93	5,657	河川上
気仙大橋	108	2.67	5	1.6	14,300	河川上

3. 研究結果

3-1. 波力算出法の妥当性

波力算出法から算出した波力と桁抵抗力の比較が表2である。全橋梁においてF_{max}と桁抵抗力を比較すると、流失評価は流失したという実際の被害と一致するため波力算出法の妥当性が確認できる。

表2. 波力と桁抵抗力の比較

橋梁	桁抵抗力(kN)	F _{max} (kN)	流失評価
歌津大橋	2,040	38,838	流失
沼田跨線橋(1径間)	2,663	5,392	流失
沼田跨線橋(2.3径間)	2,228	4,453	流失
小泉大橋	6,000	103,877	流失
津谷川橋	3,394	60,745	流失
気仙大橋	8,580	141,811	流失

3-2. 流失評価式の適用性検討

流失評価式で求めた波力と3-1より求めた実際の桁抵抗力・波力の比較が表3である。流失評価式の波力は実際の波力より小さい値となっており、桁抵抗力との比較でも6橋中4橋が流失しないという評価となり実際の被害と一致しない。

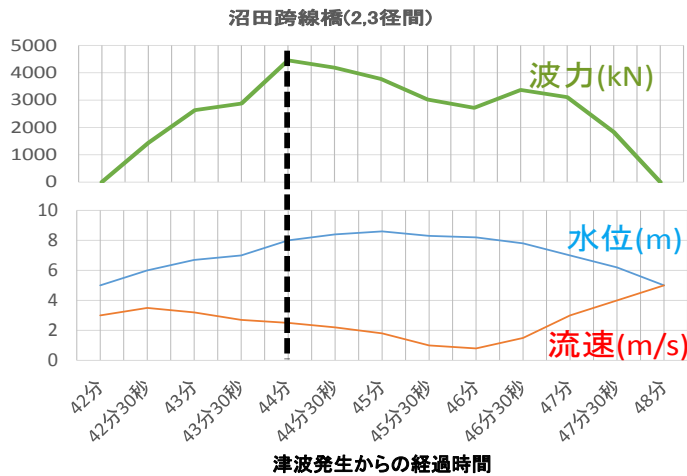
表3. 流失評価式と桁抵抗力・波力の比較

橋梁	評価式F _{max} (kN)	桁抵抗力(kN)	F _{max} (kN)	流失評価
歌津大橋	919	2,040	38,838	流失しない
沼田跨線橋(1径間)	1,945	2,663	5,392	流失しない
沼田跨線橋(2.3径間)	1,577	2,228	4,453	流失しない
小泉大橋	10,601	6,000	103,877	流失
津谷川橋	6,037	3,394	60,745	流失
気仙大橋	8,271	8,580	141,811	流失しない

4. 考察

流失評価式が実際の被害と一致しない理由として、流失評価式は水面がゆるやかな定常流で静水圧が橋梁の上流と下流から同時に作用していることを前提としているが、図1の時刻歴グラフからわかるように津波の最大波力は水位が上昇している時点であり、すなわち津波波力は段波の影響を受けていることが分かる。

図1.波力と水位・流速の関係(例.沼田跨線橋)



5. 橋梁への段波の影響の考慮

5-1. 津波避難ビル波力評価式

流失評価式の検討により波力評価には段波の影響を考慮すべきであるという結果となった。現在津波避難ビルの設計⁴⁾には津波による波力の算出式として水位に基づく津波波力評価式が提案されている。そこでこの提案式の橋梁への適用検討を行う。評価に用いる水深係数は設置条件により海岸構造物なら3,他の施設によって波力軽減が見込まれるものは2,海岸から500m以上離れているものは1.5を用いることが提案されている。

[津波避難ビル波力評価式]

$$F_x = \rho g B f(xa - z) dz$$

B:受圧面積(m) a:水位(m) x:水深係数

[津波避難ビル波力評価式を橋梁に適用した式]

$$F_x = \rho g B \int_{z_1}^{z_2} (xa - z) dz$$

Z1:静水面から橋桁下端距離(m) Z2:静水面から橋桁上端距離(m)

5-2. 各水深係数で求めた津波波力

各水深係数で求めた波力と桁抵抗力の比較が表4である。全橋梁においてどの水深係数でも波力は桁抵抗力を超えており、流失評価は実際の被害と一致する。このことから津波避難ビルの波力算定式は流失被害に有効であることがわかる。

表4.各水深係数で求めた波力と桁抵抗力

橋梁	桁抵抗力(kN)	水深係数3(kN)	水深係数2(kN)	水深係数1.5(kN)
歌津大橋	2,040	36,999	22,726	15,589
沼田跨線橋(1径間)	2,663	12,779	7,122	4,293
沼田跨線橋(2,3径間)	2,228	10,594	5,922	3,586
小泉大橋	6,000	79,440	47,260	31,170
津谷川橋	3,394	54,957	31,603	19,926
気仙大橋	8,580	156,203	97,989	68,882

5-3. 最適な水深係数の決定

津波避難ビルの波力評価式による評価値が想定波力の下限值であると考え、実際の波力を上回らない上限の水深係数を各橋梁の最適な水深係数として決定する。

表5.各橋梁の最適な水深係数

橋梁	波力(kN)	水深係数3(kN)	水深係数2(kN)	水深係数1.5(kN)
歌津大橋	38,838	36,999	22,726	15,589
沼田跨線橋(1径間)	5,392	12,779	7,122	4,293
沼田跨線橋(2,3径間)	4,453	10,594	5,922	3,586
小泉大橋	103,877	79,440	47,260	31,170
津谷川橋	60,745	54,957	31,603	19,926
気仙大橋	141,811	156,203	97,989	68,882

5-4. 最適な水深係数と架橋位置の相関性

決定した最適な水深係数と各橋梁の架橋位置の相関性が表6である。架橋位置が河口付近のものでは3、河川上のものでは2、陸上のものでは1.5の水深係数で波力の評価ができていることがわかる。

表6.最適な水深係数と架橋位置

橋梁	最適な水深係数	架橋位置
歌津大橋	3	河口付近
沼田跨線橋(1径間)	1.5	陸上
沼田跨線橋(2,3径間)	1.5	陸上
小泉大橋	3	河口付近
津谷川橋	3	河口付近
気仙大橋	2	河川上

6. 結論

現状橋桁の津波波力算定式に用いられている流速に基づく流失評価式は適用の前提条件と津波波力作用形態の違いから正確な評価が行えないこと、津波避難ビル評価式を橋梁に適用した場合、架橋位置から水深係数を決定することにより津波波力の評価に用が可能であるという結果を得ることができた。

今後水深係数の合理的な設定法を含め、津波避難ビルの波力評価式で橋桁流失評価できる物理的根拠の解明が課題として挙げられる。

参考文献

- 1)2) 土木学会,2013,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
- 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
- 4) 津波避難ビル等の構造上の要件の解説 <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryuu/tnn/tnn0673pdf/ks067305.pdf>