

釧路地域沿岸部における大規模津波による 桁抵抗力作用力比を用いた簡易評価

Simple evaluation using the ratio of resistance force of the girder by large-scale tsunami in Kushiro region.

北見工業大学工学部社会環境工学科
北見工業大学工学部社会環境工学科
北見工業大学大学院工学研究科社会環境工学専攻
北見工業大学工学部社会環境工学科

○学生員 山内 朋哉 (Tomoya Yamauchi)
正 員 宮森 保紀 (Yasunori Miyamori)
学生員 清水 俊明 (Toshiaki Shimizu)
正 員 齊藤 剛彦 (Takehiko Saito)

1.はじめに

北海道釧路市では、プレート境界型の規模の大きい地震が繰り返し発生しており、釧路市内にある春採湖の堆積物調査から、約 500 年周期で大津波が発生していることがわかっている¹⁾。一方、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震を契機に、各地で津波想定の見直しが行われている。北海道防災会議により 2012 年 6 月に公表された津波浸水予測図²⁾では、釧路市は市街地の広範囲が浸水するとされているため、津波による対策の見直しが必要となる。

津波に対する防災対策としては、防波堤・防潮堤の整備、居住地域、公共施設などの高台移転などが挙げられる。釧路市ではこれまで避難対策を中心としてハザードマップの作成、津波から身を守るための 1 次避難に用いる津波緊急 1 次避難施設の指定などを行ってきた。最新の浸水深予測図では、浸水する範囲に居住する人数は 10 万人を超え、釧路市で発生すると予想される最大規模の津波に対しては、行政が考える避難対策などの、ソフト面での対策を強化するだけでは限界があると考えられる。特に、避難生活を送るために必要となる 2 次避難の想定などが足りない部分があり、広域災害時の被害を少なくするためにも、地域住民の防災意識の向上だけではなく、中長期的な都市構造、社会資本施設の改善などのハード面での対策が必要となると考えられる。

釧路市内においては海岸から平地が続いており、山がほとんど無く、市街地は 1 級河川の釧路川、新釧路川などの大きな河川に挟まれているため、郊外や高台方向に移動するには河川橋を通行しなくてはならない地形である。そこで本研究では釧路地域における想定大規模津波に対する減災対策の推進に貢献するための検討の一環として、釧路市及び釧路町にある橋梁の現地調査を行い、桁抵抗力津波作用力比³⁾(β 値)を算出し、橋梁の津波波力に対する安全性の評価を行い、2 次避難や救助活動の時に橋梁を使うことができるのかを評価する。

2.現地調査

2.1 研究対象の橋梁

本研究では市街地から避難する際の交通量が多いと思われる橋梁を考え、釧路川に架かる 5 橋、新釧路川に架かる 6 橋、阿寒川に架かる橋 1 橋、阿雪裡川に架かる 2 橋の計 14 橋を研究対象としている。図 1 は今回研究対

象とした橋梁の位置関係を示している。

2.2 現地調査概要

橋梁の桁抵抗力津波作用力比(β 値)を算出するため、現地調査を行い、レーザー距離計(図 2 参照)を用いて橋梁の総高、橋長、全幅を測定した。レーザー距離計を用いた高さの測定は、橋梁から水平距離 10~50m 離れた位置から測定し、最初に地覆上端の高さを測定し、次に桁の下フランジ部分を測定する。測定した二つの値の差から高さを算出した。また今回研究対象とした橋梁の高欄はすべて壁型剛性防護柵以外であるため、測定した高さに 0.4m 加えて総高とした⁶⁾。また、橋梁の上部構造が低い位置にあった場合はメジャー等で併せて測定を行った。この結果レーザー距離計で測定した値は、メジャーで測定した値に比べおおむね-0.05~-0.1m の誤差がある事がわかった。そこで本研究では、後述する桁抵抗力作用力比を算出する際により厳しい評価を行うため算出した総高の値に 0.1m を加えた。表 1 は今回の現地調査で測定した、総高、橋長、全幅である。



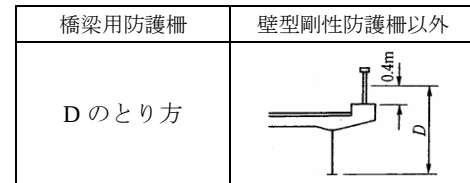
図 1 橋梁位置図⁴⁾



図 2 レーザー距離計⁵⁾

表1 現地調査で測定した値

橋梁	総高(m)	橋長(m)	全幅(m)
A	2.6	220.8	15.8
B	3.4	124.0	33.8
C	2.8	114.0	22.5
D	2.5	138.0	25.5
E	3.3	161.5	16.0
F	2.3	99.3	14.3
G	2.3	380.0	22.0
H	2.7	173.0	9.0
I	2.7	287.2	19.4
J	3.3	247.5	23.0
K	2.9	200.0	18.5
L	2.8	276.9	26.5
M	1.9	32.6	22.0
N	1.9	35.0	15.8

図3 総高Dのとり方⁶⁾表2 材料の単位体積重量⁶⁾

材料	単位体積重量 (kN/m ³)
鋼	77.0
RC	24.5
PC	24.5

3. 桁抵抗力津波作用力比(β 値)の算出方法

3.1 津波波力の算出

桁抵抗力作用力比を求めるための津波波力 F を文献 3)を参考に式(1)から算出する。

$$F = \frac{1}{2} \rho_w C_d V^2 A \quad (1)$$

ここで、

F : 津波波力 (kN)

ρ_w : 海水の密度(1030kg/m³)

C_d : 抗力係数

V : 津波流速(m/s)

A : 被圧面積(m²)

抗力係数 C_d は同じく文献 3)より式(2)で算出する。

$$C_d = \begin{cases} 2.1 - 0.1 \left(\frac{B}{D} \right) & 1 \leq B/D < 8 \\ 1.3 & 8 \leq B/D \end{cases} \quad (2)$$

ここで、

B : 橋の総幅(m)

D : 橋の総高(m)

橋の総幅 B と、橋の総高 D は現地調査で測定した値を用いる。図3には総高のとり方を表した図を示した。

津波流速は文献 7)より式(3)で算出した。

$$V = \sqrt{gh} \quad (3)$$

ここで、

V : 津波流速(m/s)

g : 重力加速度(m/s²)

h : 津波浸水深(m)

ここでの津波浸水深 h は北海道防災会議での釧路地域浸水深 GIS データ²⁾を ArcGIS を用いて読み取りその値を用いた。

津波の被圧面積 A は基本的に橋長と橋の総高 D の積から算出した。橋の桁高が変化している場合などは桁の形状を概算し被圧面積を算出した。

3.2 桁抵抗力の算出

津波に対する上部構造の抵抗力 S は文献 3) から、式 (4)で算出する。

$$S = \mu W \quad (4)$$

ここで、

S : 抵抗力(kN)

μ : 摩擦係数

W : 上部工重量(kN)

摩擦係数 μ は庄司ら⁸⁾と Rabbat ら⁹⁾の実験結果より 0.6 と仮定し、上部工重量 W はなるべく設計図書によらず、簡易な方法で求めるため、現地調査の際に桁の形状、部材厚などを同時に調べ鋼材、コンクリートなどの体積を求め、その値と単位体積重量の積を求める事によって算出した。本研究ではコンクリート箱桁の断面は道路橋示方書Ⅲ¹⁰⁾より箱桁の最小断面を用いて体積を求めている。実際の橋梁ではこの最小断面より大きくなるため体積は大きくなることが予測される。コンクリート床版の厚さを 200mm、アスファルト舗装の厚さを 80mm と仮定して重量の算出を行っている。表2は、重量算出を行った際に用いた単位体積重量を示す。

3.3 桁抵抗力津波作用力比(β 値)の算出

津波波力と桁抵抗力の関係は、文献 3)より、桁抵抗力 S を津波波力 F で除す式(5)により桁抵抗力津波作用力比 β 値を求めることできる。

$$\beta = \frac{S}{F} \quad (5)$$

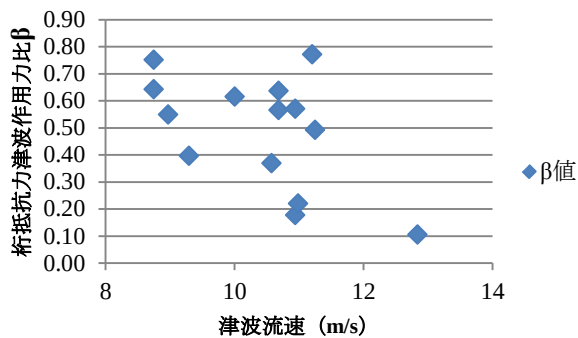
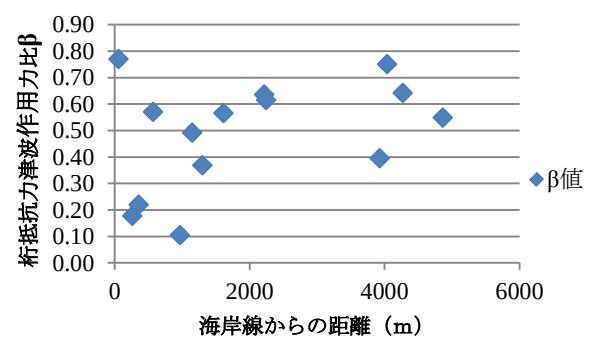
ここで、

β : 桁抵抗力津波作用力比

求めた桁抵抗力作用力比 β 値は一般に 1.0 よりも大きい場合は、津波波力に対して桁抵抗力が大きいと流出しにくい橋梁であり、1.0 未満の場合は反対に流出しやすい橋梁であると評価できる。佐々木ら¹¹⁾が行った研究結果では、上部構造が完全に流出した場合を示す損傷ランク A の β 値の平均値は 0.86 で軽度な損傷を示す損傷ランク C の β 値の平均は 1.52 となっている。

表3 釧路地域の橋梁の β 値

橋梁	上部工形式	浸水深 $h(\text{m})$	海からの 距離(m)	上部工重量 $W(\text{kN})$	津波流速 $V(\text{m/s})$	被圧面積 $A(\text{m}^2)$	波力 $F(\text{kN})$	抵抗力 $S(\text{kN})$	β 値
A	3 径間連続鋼鈑桁	16.8	967	12386	12.8	563	70722	7432	0.11
B	3 径間連続鋼床版箱桁	12.9	1149	25335	11.2	365	30914	15201	0.49
C	3 径間連続鋼板桁	11.6	1614	23312	10.7	322	24728	13987	0.57
D	3 径間連続鋼箱桁	11.6	2216	28295	10.7	349	26687	16977	0.64
E	3 径間連続鋼鈑桁	8.8	3931	25219	9.3	532	38257	15131	0.40
F	3 径間連続鋼鈑桁	8.2	4867	13295	9.0	237	14546	7977	0.55
G	4 径間連続 PC 箱桁	12.8	55	94384	11.2	874	73450	56631	0.77
H	単純鋼鈑桁	12.2	260	15031	10.9	467	50845	9018	0.18
I	4 径間連続鋼鈑桁	12.3	358	24702	11.0	781	67296	14821	0.22
J	4 径間連続鋼箱桁	12.2	571	58523	10.9	715	61572	35114	0.57
K	3 径間連続鋼鈑桁	11.4	1299	29993	10.6	580	48823	17996	0.37
L	3 径間連続鋼鈑桁	10.2	2243	52300	10.0	761	50995	31380	0.62
M	単純鋼鈑桁	7.8	4040	4262	8.7	63	3217	2557	0.76
N	鋼合成鈑桁	7.8	4272	3446	8.7	67	3406	2068	0.61

図4 津波流速と β 値図5 海岸線からの距離と β 値

4. 釧路の橋梁の桁抵抗力/津波作用力比

4.1 桁抵抗力作用力比の傾向

表3にArcGISを用いて計測した浸水深、海岸線からの距離、現地調査を行い算出した津波波力と桁抵抗力から求めた、対象の橋梁の桁抵抗力作用力比を示す。前章の式(1)から津波波力で一番大きなパラメーターとなるのは流速である。流速と β 値の関係を示した図4から分かるように流速が1m/s速くなるだけでも β 値は大きく下がっていることがわかる。その他にも式(1)以外から考えられるパラメーターで海岸線からの距離と β 値の関係を調べると、橋梁の位置が海岸線から離れるほど β 値が大きくなっていることが海岸線からの距離と β 値の関係を示した図5からもわかる。陸地奥に津波が進むにつれて浸水深が低くなるため、津波流速が低下しているためである。しかし、橋梁Gは研究対象とした14橋の中で一番海岸線に近い橋梁になっているにも関わらず β 値は比較的に大きな値となっている。この理由としては、橋梁GはPC箱桁の橋梁であるため上部工重量が他の橋梁に比べ重くなっているため、 β 値は大きな値となったと思われる。今回対象とした橋梁の中でコンクリート橋は橋梁Gのみであるが、今回の結果からはコンク

リート橋が鋼橋に比べ津波に対して強いのではないかと予想される。

4.2 対象橋梁の相対評価

表3の結果からは、本研究で選定した橋梁は大規模津波が発生した場合は、大きな損害を受ける可能性が高いことが推定される。その理由としては、釧路地域で想定されている津波の浸水深は非常に高く、津波波力が桁抵抗力に比べて大きくなっているためだ。桁抵抗力作用力比は物理的にも簡明な評価方法であるため、誰でも簡単に評価できるメリットがある反面、 β 値が1.0よりも小さいのにもかかわらず、桁が流出していない橋梁や反対に β 値が1.0より大きな橋梁にも関わらず桁が流出した事例もあるため、 β 値のみで橋梁の津波に対する安全性を評価するのは難しいと考えられる。だが、算出した β 値から橋を相対的に評価することによって、2次避難や救援活動の際に優先的に利用する橋を選定するために β 値を利用することができると考えられる。たとえば、他の橋梁に比べ比較的 β 値が低い橋梁A、橋梁H、橋梁Iなどは2次避難に使えない可能性が高い。特に橋梁Aは、2013年6月に釧路市が公表した、釧路市津波避難計画(素案)¹²⁾では大楽毛地区の1次避難路に指定され

ている他、帯広、札幌などの他の地域と救援活動の連携を行うためにも重要な橋梁である。今回の結果を踏まえて橋梁 A はハード面での対策が必要であると考えられる。また、表 3 では橋長が短い橋梁 M、橋梁 N は他の橋に比べて β 値が大きくなっている。このことから橋長が短い橋梁は 2 次避難の際に利用できる可能性が高いと予想できるので、2 次避難や救援活動の際には、幅の広い河川を避けることができる避難・救援ルートを準備するなどの判断ができる。このように 2 次避難の際にあらかじめ橋梁の波力の想定が行われていた場合、復旧戦略の立案や、より効率的な避難活動、救助活動、救援活動などが行えると考ええる。

5. 結論

今回研究対象とした橋梁 14 橋は、算出した桁抵抗力津波作用力比からは、釧路地域で想定されている最大規模の津波が到達した場合、すべての橋梁が流出する可能性がある事がわかった。

桁抵抗力作用力比の値を大きくするためには、上部工重量を増加させる方法、桁高を低くする方法が考えられる。このため新設の橋梁の場合は、上部工重量の増加や桁高を低くする方法が耐津波設計として有効であると考ええるが、橋梁の死荷重増加、耐荷重性能の低下にも関わるので耐津波設計として、上部工重量を著しく上げることや、桁高を著しく低くさせることは避けるべきであると考ええる。既設の橋梁の場合、津波に対して強い橋梁を作るために構造上の変更を加えるのは難しいので、橋軸直角方向の移動に対する移動を制限させるサイドブロックなどを設置することが有効なのではないかと考える。

本研究の結果からコンクリート橋は鋼橋に比べて上部工重量が大きくなっているため桁抵抗力作用力比が大きくなっている。今回の簡易評価ではコンクリートの箱桁の断面は道路橋示方書の最小断面を用いて算出したので、実際の橋梁より低い重量で算出した桁抵抗力作用力比であるが大きな値となっているため、釧路地域のような大規模津波が想定されている沿岸部の地域では鋼橋ではなくコンクリート橋を用いることが有効なのではないかと予想できる。その反面、東北地方太平洋沖地震の際に鋼橋の場合、津波で上部構造が流出した時に背面盛土の流出が少なかったのに対して、コンクリート橋の場合は背面盛土が流出する事例があるので、復旧計画などを考えると今後の課題としても考えていく必要がある。

橋梁の桁抵抗力作用力比を用いた評価を行う事は広域災害時での 2 次避難活動、消防組織や自衛隊による救助・救援活動の効率の向上が図れるため、たとえ簡易的な評価でも減災のために用いることができると考える。

参考文献

- 1) 七山太、牧野彰人、佐竹健治、古川竜太、横山芳春、中山充：釧路市春採湖コア中に認められる、千島海溝沿岸域における過去 9000 年間に生じた 20 層の津波イベント堆積物、活断層・古地震研究報告、No.1、pp.233-249、2001.
- 2) 北海道防災会議地震火山対策部会地震専門委員会：北海道太平洋沿岸に係る津波浸水予測図について、

<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sm/ktk/bsb/tunami/>
(2014/12/8 閲覧)

- 3) 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、コンクリートライブラリー140、丸善出版、pp.10-16、2013.
- 4) google、ZENRIN:釧路市全域図、2014.
<https://www.google.co.jp/maps/@43.0106141,144.3616599,13z>(2014/12/9 閲覧)
- 5) Nikon HP：Nikon sport Optics 製品紹介、LASER1000AS、
<http://www.nikonvision.co.jp/products/laser/1000as.htm>
(2014/11/25 閲覧)
- 6) 林川俊郎：橋梁工学、現代土木工学シリーズ 5、朝倉書店、pp.50-56、2000.
- 7) 伯野元彦、目黒公郎：被害から学ぶ地震工学、鹿島出版、p.131、1992.
- 8) 庄司学、森山哲雄、藤間功司、嶋原良典、笠原健治：単径間橋桁に作用する砕波津波の荷重に関する実験的検討、構造工学論文集 Vol.55A、pp.460-470、2009.
- 9) Rabbat, B.G. and Russel, H.G. : Friction coefficient of steel on concrete or grout, J. Struct. Eng., ASCE, Vol. 111, No. 3, pp.505-515, 1985.
- 10) 日本道路協会：道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅲコンクリート橋編）・同解説、丸善出版、2012.
- 11) 佐々木達生、幸左賢二、鄭玉龍：桁抵抗力津波作用力比に基づく橋梁の被害分析、構造工学論文集 Vol.59A、pp.417-427、2013.
- 12) 釧路市 HP：釧路市津波避難計画（素案）、2013.
<http://www.city.kushiro.lg.jp/shisei/kouhoukouchou/kouchou/pubukome/page10600001.html> (2014/12/9 閲覧)