

津波被害を受けた橋梁の調査と波力・抵抗力の評価

長岡技術科学大学大学院 白石 卓也

主指導教員 丸山 久一

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、多くの橋梁構造物が被災した。特に国道45号線の橋梁被害は、救助や支援のために通行する車両に対し、大幅な迂回を余儀なくさせた。発災後初期から仮橋による仮復旧に至るまでの期間、津波被害地域の交通に支障をきたしたことによって、損害・被害が拡大したことは、津波を伴う大規模災害における解決すべき課題のひとつである。近い将来、発災が予想されている東海・東南海・南海地震においても同様の問題が発生することは確実であるので、この問題に対していかに対処するのか、その方策を早急に定める必要がある。しかしながら、これまで橋梁の設計では外力として津波を想定してこなかったため、土木学会コンクリート標準示方書をはじめとするいずれの規準類にも、津波波力に関する記述はないのが現状である。また、研究レベルにおいても、橋梁に対する津波波力については、幸左らの先駆的な研究があるだけである。

このような背景のもと、本研究では橋梁の対津波設計の確立へ向けて、東北地方太平洋沖地震における橋梁の被害分析を通じて、津波波力の評価を行うこととした。

2. 調査の概要と方法

東北地方太平洋沖地震に伴って生じた津波による橋梁の被害状況の全容を把握するために、まず、Google Earthを用いて衛星写真上から橋梁被害の概要を把握した。次に、現地調査を行い、被害状況の確認を行うとともに、橋梁の寸法の計測を行った。

2. 1. Google earthによる橋梁の被害調査

調査対象地域は東日本大震災で津波被害を受けた岩手県、宮城県、福島県、茨城県の4県と千葉県の一部とした。津波の遡上高さや距離によらず、海岸から4kmまでに架かっている道路橋および鉄道橋すべてを調査対象とした。

2. 2. 現地調査

衛星写真により得られた位置情報、衛星写真をもとに現地へ赴いて実際の被害状況を直接確認した。現地調査では桁移動や桁・橋脚の流失・橋台の沈下が起こっていた場合に被害ありと判定し、高欄の破損等、軽微な損傷だけの場合は被害なしと判定した。調査に際しては図-1のように被害の有無、橋梁の形状の測定や構造形式の調査を行った。

3. 現地調査の結果

図-2に被害を受けた橋梁の位置を示す。被害橋梁の最北端は岩手県洋野町の鉄道橋、最南端は千葉県匝瑳市の道路橋であり、直線距離でも530kmにもわたる広い範囲で橋梁の被害



図-1 現地調査の様子

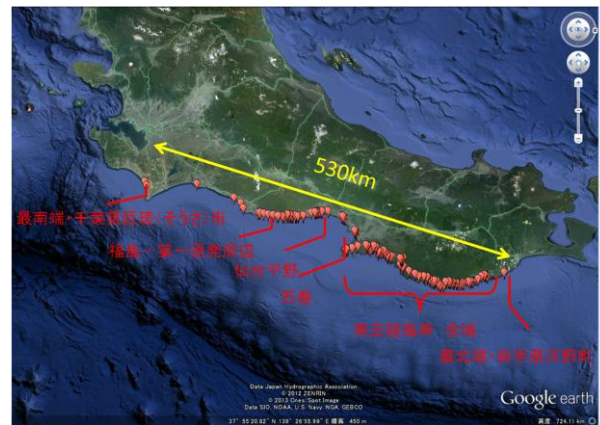


図-2 衛星写真上における被害橋梁の位置

表-1 現地調査の結果

県名	岩手県	宮城県	福島県	茨城県	千葉県	合計
被害有り	78	102	68	2	2	252
被害不明	0	0	8	0	0	8
被害無し	427	692	384	30	-	1533
被害率	15%	13%	15%	6%	-	14%

が生じていた。被害橋梁数としては、三陸沿岸全域に加え、宮城県亘理町付近から福島県大熊町にかけての範囲で被害が集中していた。それに対して、仙台市や石巻市、いわき市などの平野部での被害数は比較的少ない傾向にあった。

3. 1. 被害橋梁の数

表-1に浸水域内にあった橋梁数を各県別に示す。岩手、宮城、福島の3県に橋梁の被害数は集中していた。福島県や岩手県と比較すると宮城県の被害橋梁数が多いが、これはもともと浸水域にあった橋梁の数が多いためである。被害率で比較すると岩手、宮城、福島のいずれも同様の割合であった。茨城県は、被害橋梁数でも、被害率でも岩手、宮城、福島の3県と比較すると少なかった。なお、千葉県は被害があった橋梁のみを調査対象としたので、被害なしの橋梁の数

は把握しきれていない。全体として、浸水域内にあった橋梁の被害率は14%程度であり、その割合は比較的小さい。

4. 桁移動に対する抵抗力の影響

図-3のように桁移動すると被害メカニズムを仮定し、今回の調査で得られた、被害の有無と橋の形状を用いて、橋梁の抵抗力の大小と被害状況との相関性を確認することにした。分析に用いる評価方法としては幸左が提案している桁抵抗力-津波作用力比の式を用いた。抵抗力作用力比 β を求める式を以下に示す。

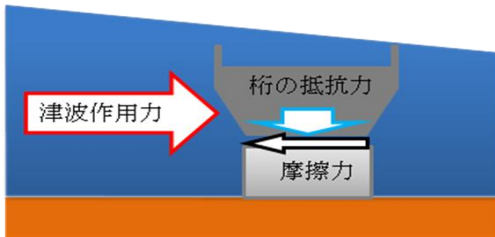


図-3 桁移動のメカニズム

$$\beta = \frac{\text{抵抗力}}{\text{作用力}} = \frac{\mu W}{0.5\rho_w C_d v^2 A} \quad (1)$$

ここに、 ρ_w :水の密度 (1030kg/m³)、 v :流速 (=6m/s を仮定)、 A :被圧面積、 μ :摩擦係数(=0.6)、 W :上部工の重量、 C_d :抗力係数、である。流速 v は6m/sと仮定した。抗力係数 C_d は道路橋示方書の風荷重に対する設計式より求めた。本来、流速 v には、場所ごとの遡上解析や映像分析等によって得られた値を用いるべきであるが、本検討では流速一定とした。この場合、上式は、構造物自身が有する津波作用力、桁抵抗力を算定することになるので、桁移動に対する抵抗性の指標を与える式であるとみなすことができる。すなわち、抵抗力-作用力比 β が大きいほど桁の抵抗力が大きく、移動しにくい橋梁であることを示す。

図-4に抵抗力-作用力比 β のヒストグラムを被害の有無にわけて示す。評価方法が実現現象の要点すべてを適切に捉えているならば、被害ありと被害なしは $\beta=1$ を境界として左右に分離されるはずである。今回の検討で被害ありと被害なしが完全に混在していることは、桁の抵抗力の評価だけでは、実際の津波被害を予測できないことを示している。

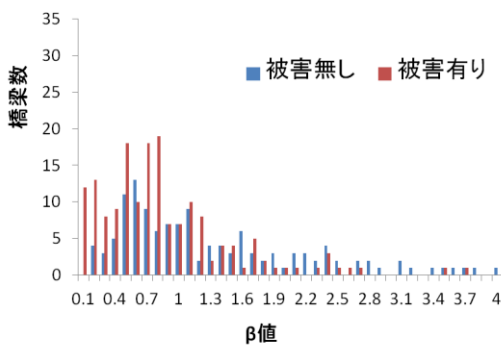


図-4 β のヒストグラム

5. 分析橋梁の選別と流速の考慮

図-4の分析結果を踏まえ、分析橋梁の選別を行うことにした。そのうえで津波流速の影響について検討を行うことにした。まず、調査橋梁のうち、揚力の作用が卓越する環境にある橋梁を除外することにした。その条件として、橋梁の上流側に水門があるもの、橋梁の上流側の川幅が急減しているもの、傾斜地形にあるものを考えた。次に、水門や堤防で保護されている橋梁を分析対象から除外した。調査橋梁周辺の水門の位置を衛星写真や現地写真で確認して、この作業を行った。橋脚や橋台に被害が生じているものも除外した。桁流失の前に橋脚で被害が生じた場合には本来の抵抗力を過小評価する可能性があるからである。鋼橋についても除外し、コンクリート橋のみを分析対象とした。鋼橋の場合、抵抗力が沓座の金具の強度やディテールで支配されている可能性があるからである。

これらの選別された橋梁データの β を求め、ヒストグラムで整理したものを図-5に示す。流速は式(2)より求め、フルード数 Fr は1.0を仮定した。

$$v = Fr \sqrt{gh} \quad (2)$$

ここに、 Fr :フルード数、 g :重力加速度、 h :浸水深である。

被害あり橋梁と被害なしの橋梁の数を比較すると、 $\beta=0.2$ 以下では被害あり橋梁の方が多く、 $\beta=0.3$ 以上では被害なし橋梁の方が多い。また、 $\beta=0.5$ 以上では被害橋梁は存在しなかった。このように β が大きいほど被害率が小さくなるということは、橋桁の横移動抵抗力が大きいほど流れにくいことを表している。また、浸水深を介して津波流速の大小を考慮することによってこのような区別が可能になったことは、橋梁流失被害の判定において、津波流速の評価が極めて重要な因子であることを示している。

しかし、 β の小さい橋梁について被害予測精度は現段階では低いと言わざるを得ない。よって今後、津波遡上解析や映像分析などを活用して、流速をできる限り正確に見積もったうえで、幸左式の適用性を再度検証することが必要である。

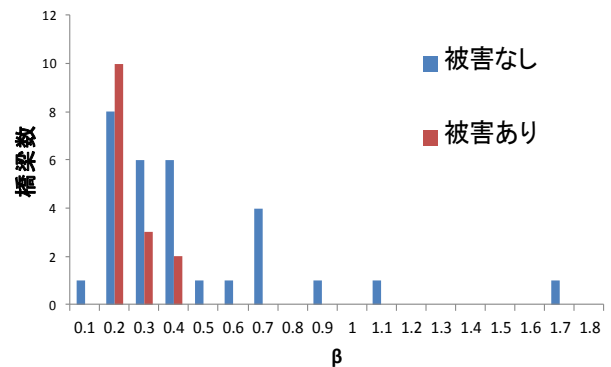


図-5 橋梁の選別、流速考慮後の β のヒストグラム