

東北地方太平洋沖地震津波の被災データに基づく道路桁橋の落橋被害に関する被害率曲線

筑波大学 学生会員 ○中村 友治 筑波大学 正会員 庄司 学 筑波大学 学生会員 高橋 和慎

1. 目的 2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、これに伴う巨大津波により道路橋に甚大な被害が発生した。本研究では、東北地方太平洋沖地震津波において発生した桁橋の落橋被害に焦点を当て、津波の伝播及び浸水に関する数値シミュレーションによって被災橋梁地点の浸水高を求めることで被害率曲線を構築する。

2. 分析対象と分析方法 本研究では、庄司ら[1]において示された津波作用を受けたと考えられる230の橋梁を分析対象とし、被災データとしては同様に文献[1]に示された33データから被災モードが落橋とされる20データに焦点を当てる。それらの中で、PC・RC桁及び鋼桁である19の桁橋のみを分析する。図-1には、これらのデータの地点と浸水高の関係を示す。被災橋梁数 N_d^b の中の落橋した橋梁数 N_{fd}^b を浸水域内橋梁数 N_t^b で除し、落橋に関する被害率 R_N^b を算出した。津波作用の指標としては浸水高データを使用する。落橋を含む被災橋梁に対しては浸水高を次章で示す数値シミュレーションを用いて求める。それ以外の無被害橋梁($N_t^b - N_d^b$)での浸水高は東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ[2]の2012年2月8日時点での実測値を基に測量誤差が小さいとされる信頼度B以上の計2738データを抽出して、各橋梁地点に最近傍の浸水高の実測値を付与した。ただし、各橋梁と最近傍の実測地点との距離が250m以上離れている場合には、浸水高が周辺地形による影響を受けて変動することを考慮し、浸水高データの付与を行わず分析データから除外した。これにより分析対象となる橋梁は123となった。

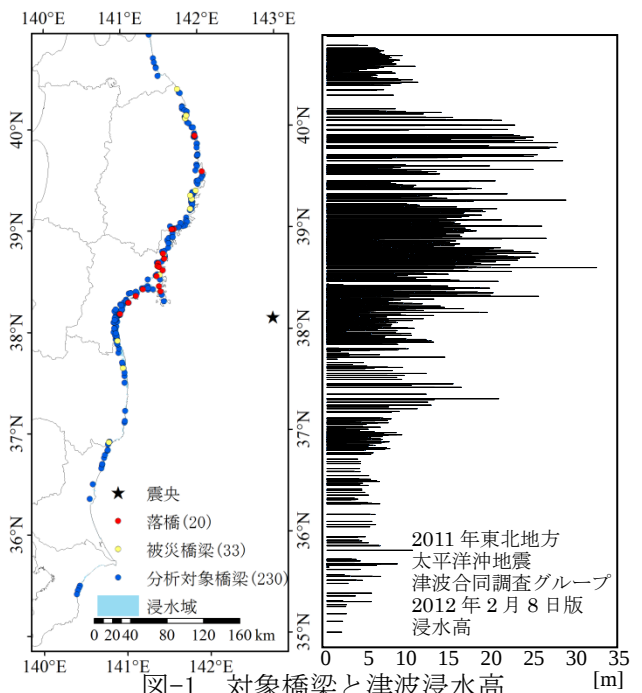


図-1 対象橋梁と津波浸水高

3. 被災橋梁地点での浸水高の推定 東北大学により開発された津波プログラム TUNAMI-CODE (Tohoku University's Numerical Model for Investigation of Tsunami)を用いて津波の伝播及び浸水に関する数値シミュレーションにより浸水高を計算する。支配方程式は浅水理論に基づき、Staggered leap-frog法により計算を実施した。Manningの粗度係数は全計算で一様に0.025としている。数値計算は32の被災橋梁を25の計算Groupに分割して行い、それら毎に計算領域をRegion1からRegion6まで設定した。標高及び水深データの作成では、陸域では広域4領域(Region1~Region4)ではGEBCO30のデータを、狭域2領域(Region5, Region6)では国土地理院提供の数値標高モデル(10m間隔)をそれぞれ利用し、海域ではすべての領域で日本水路協会の海底地形デジタルデータM7000シリーズを用いて、各領域でこれらのデータを補間することで作成した。波源モデルとしては東北大学モデル(version1.1)を利用し、WGS-1984-UTM-54-N座標系により初期水位データを作成した。初期水位はOkada(1985)[3]の方法により静的に与えている。計算時間は刻み幅0.15秒として120分とした。図-2には計算Group11での小泉大橋周辺での浸水域の計算結果を示す。図-2には3つの被災橋梁と浸水高の実測地点も合わせて示す。図-3には浸水高の実測地点における数値計算の結果と実測値との関係を示す。数値計算による浸水高の実測値に対する倍率は0.51から2.85であり、以降の浸水高データとして用いる。

キーワード 2011年東北地方太平洋沖地震津波, 道路橋, 桁橋, 津波被害, 被害率曲線

連絡先 〒305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1 筑波大学大学院システム情報工学研究科 TEL029-853-2111

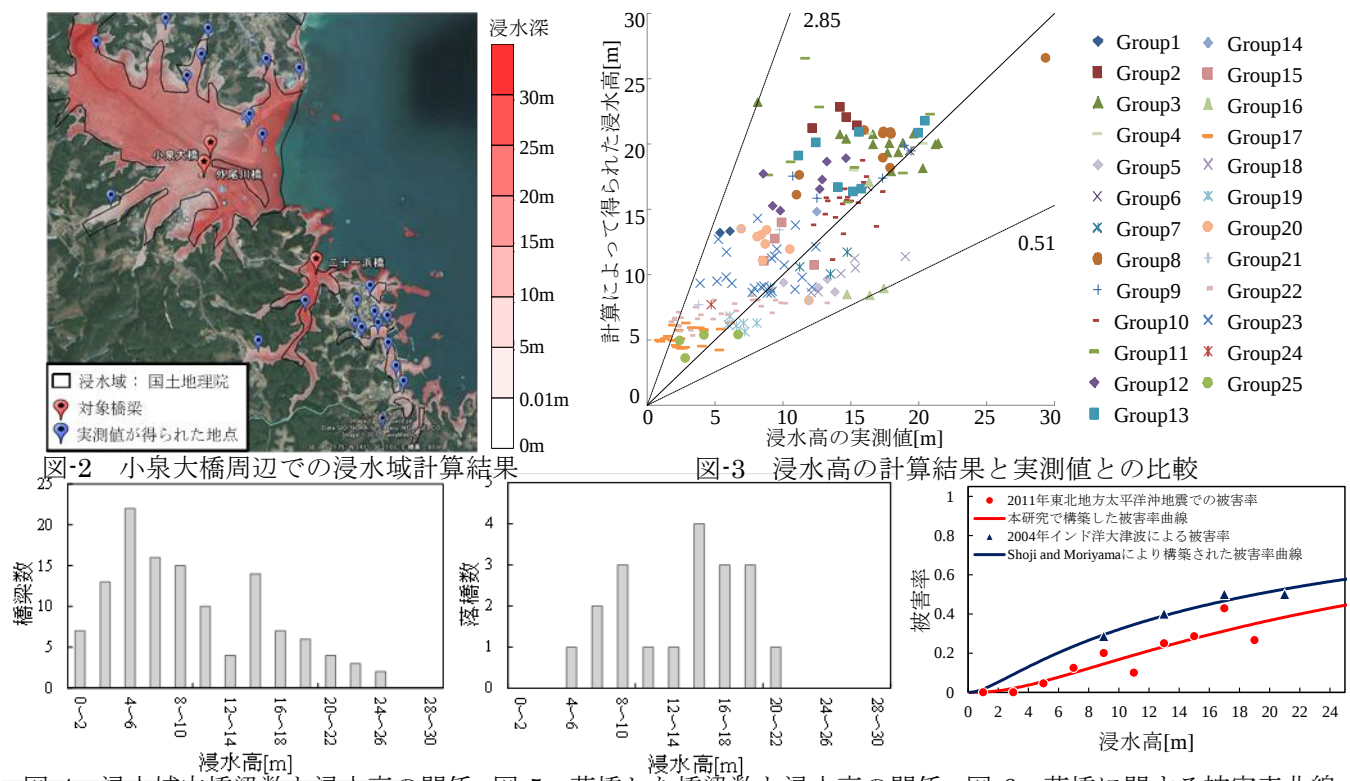


表-1 被害率曲線の算定式に関するパラメータ

	傾き $1/\sigma_Y$	切片 $-\mu_Y/\sigma_Y$	決定係数 R^2	μ_Y	σ_Y	メジアン m_z	標準偏差 σ_z
本研究にて構築した被害率曲線	0.8999	-3.036	0.75	3.37	1.11	29.18 m	84.48 m
Shoji and Moriyamaにより構築された被害率曲線	0.7169	-2.112	0.94	2.95	1.39	19.03 m	81.38 m

4. 被害率の算出と被害率曲線の構築 浸水域内橋梁数と浸水高の関係を図-4 に、落橋した橋梁数と浸水高の関係を図-5 にそれぞれ浸水高 2.0 m 毎に示す。浸水域内橋梁数の最大は浸水高 4.0 m-6.0 m の区間で 22 件であり、落橋した橋梁数の最大は 14.0 m~16.0 m の区間で 4 件であった。以上より、浸水高 2.0 m 毎の被害率 R_N^b と浸水高の関係を図-6 に示す。浸水高 4.0m までは被害率 R_N^b は 0 を示しているが、浸水高 4.0m~6.0m の領域で被害率 R_N^b は微増して 0.05、浸水高 6.0m~16.0 m の領域で被害率 R_N^b は 0.10~0.29、浸水高 16.0m~18.0m で被害率 R_N^b は 0.43 と大きな値を示し、浸水高 18.0 m 以上では被害率 R_N^b は 0.27 を示した。被害率 R_N^b が最大値 0.26 を示した地点は、小泉大橋周辺、水尻橋周辺及び岩手県田野畑村の橋梁周辺であった。以上で求めた被害率 R_N^b を基に構築した被害率曲線、及び Shoji and Moriyama[4]が構築した被害率曲線とそれらのデータを図-6 に併せて示す。Shoji and Moriyama[4]は 2004 年インド洋大津波のインドネシア・スマトラ島における桁橋の落橋被害データを基に分析している。被害率曲線の構築に際しては、浸水高 z のときの被害率 $R(z)$ が標準正規分布の累積確率 $\Phi(z)$ を用いて、対数正規分布で次式のようにモデル化されると仮定した。

$$R(z) = \Phi\left(\frac{\ln z - \mu_Y}{\sigma_Y}\right) \tag{1}$$

ここで、 μ_Y と σ_Y は $\ln z$ の期待値と標準偏差であり、最小二乗法により求めた線形回帰直線によりそれぞれ算出した。浸水高の各区間における代表値は 0.0 m~18.0 m においては中央値を使用しているが、18.0 m 以上の区間では 19.0 m とした。表-1 には、本研究で構築した被害率曲線と Shoji and Moriyama により構築された被害率曲線の算定式に関するパラメータを示す。

5. まとめ 本研究では、東北地方太平洋沖地震津波の際の桁橋の落橋被害に焦点を当て、津波の伝播及び浸水に関する数値シミュレーションによって被災橋梁地点の浸水高を求め、被害率曲線を構築した。

謝辞 本研究で使用した数値計算については東北大学により開発されたプログラムを利用させて頂きました。同大学の今村文彦先生及び越村俊一先生には貴重なご助言を多々頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献 [1] 庄司学・中村友治・高橋和慎・櫻井俊彰：2011 年東北地方太平洋沖地震において津波作用を受けた道路構造物の被害，土木学会論文集 A1S, Vol.68, 2012, 掲載決定。[2] 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ：痕跡調査結果，<http://www.coastal.jp/tjtu/> [3] Okada, Y.: Surface Deformation due to Shear and Tensile Faults in a Half-Space, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.75, pp.1135-1154, 1985. [4]Shoji, G. and Moriyama, T.: Evaluation of the Structural Fragility of a Bridge Structure Subjected to a Tsunami Wave Load, *Journal of Natural Disaster Science*, Vol.29, No.2, pp.73-81, 2007.