

東北地方太平洋沖地震津波による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 正会員 庄司 学 東日本旅客鉄道株式会社 非会員 高橋 宏允

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(例えば、文献[1])。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深を求め、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、文献[1]に示された津波作用を受けたと考えられる橋梁から桁標高位置まで津波が作用したと考えられる 144 の桁橋を分析対象とし、被災データとして同様に文献[1]に示された 29 橋梁から被災モードが落橋とされるデータに焦点を当てる。それらから PC・RC 桁及び鋼桁の 17 の桁橋を対象とする。図-1 には、これらのデータの地点と東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ[3]の 2012 年 12 月 29 日時点での浸水深の実測値から信頼度 B 以上のデータとの関係を示す。落橋した橋梁数 N_{fd}^b を浸水橋梁数 N_i^b で除して落橋に関する被害率 R_N^b を算出する。落橋した 17 の橋梁位置での浸水深は次章で示す数値シミュレーションによって求める。落橋していない橋梁に関しては、各橋梁の 250m 以内に図-1 に示す浸水深の観測点が無い 92 橋梁では数値シミュレーションによる浸水深を用い、観測点がある 35 橋梁では最近傍の観測点の浸水深の実測値を用いる。

3. 対象橋梁地点での浸水深の推定 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深を計算する。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 とした。数値計算は 109 の対象橋梁を

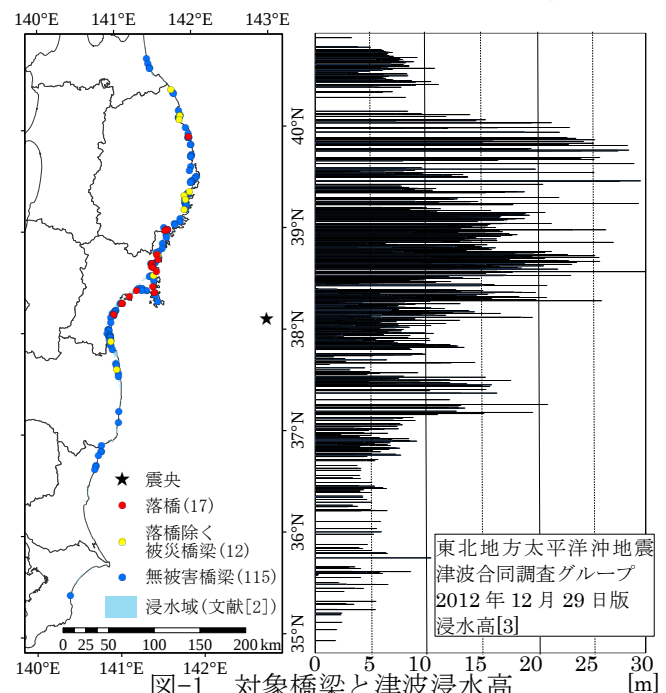


図-1 対象橋梁と津波浸水深

45 の計算 Group に分割して行い、Group 毎に計算領域を広域 1 領域(Region1)から狭域 6 領域(Region6)まで設定した。標高及び水深データの作成では、陸域において広域 4 領域(Region1~Region4)では GEBCO30 のデータ、狭域 2 領域(Region5, Region6)では国土地理院提供の数値標高モデル(10 m 間隔)をそれぞれ利用し、海域において広域 1 領域(Region1)では GEBCO30 のデータ、狭域 5 領域(Region2~Region6)では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、各領域でこれらのデータを補間した。波源モデルとしては Fujii et al.(Ver.4.2)[4]を使用し、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)[5]の方法により静的に与えている。計算時間は刻み幅 0.10 秒として 120 分とした。図-2 には計算 Group09 での気仙大橋周辺での浸水域の計算結果を示し、3 つの被災橋梁と浸水深の実測地点も合わせて示す。図-3 には浸水深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。また文献[7]における津波シミュレーションの評価手法を参考にして各 Group で K と κ を算出した。 K は 0.721 から 1.367, κ は 1.017 から 1.329 となった。 K と κ の算出に使用した観測点は 1179 点である。以上より、対象橋梁の位置での浸水深のヒストグラムを浸水深 2.0m 毎に示す(図-4)。

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 〒305-8573 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 TEL029-853-7368

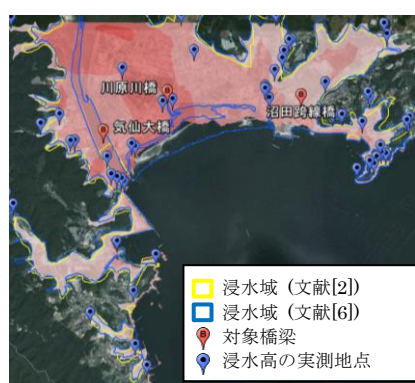


図-2 気仙大橋周辺での浸水域計算結果

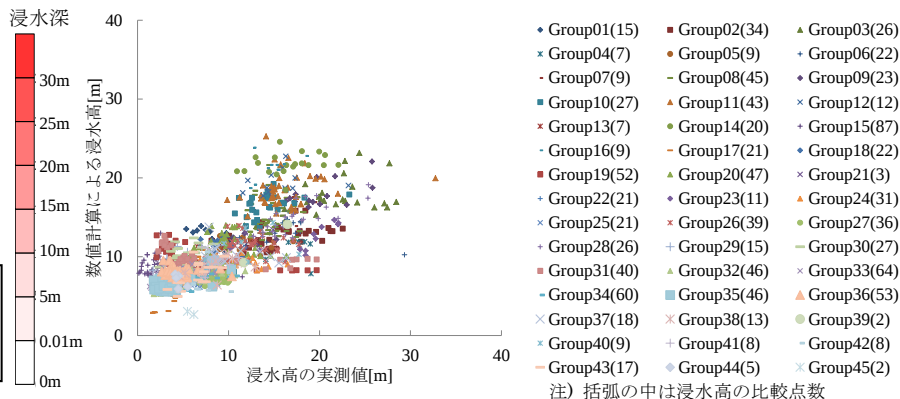


図-3 浸水深の計算結果と実測値との比較

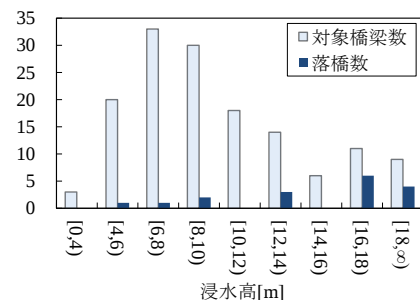


図-4 浸水橋梁数と浸水深の関係

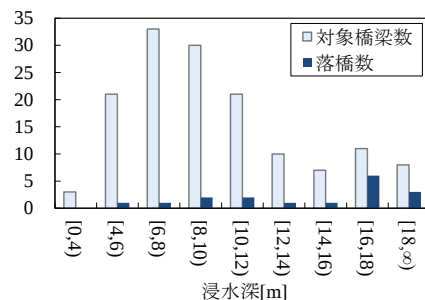


図-5 浸水橋梁数と浸水深の関係

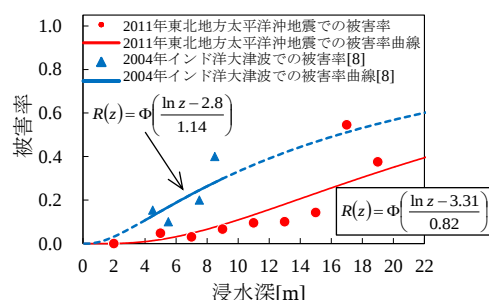


図-6 落橋に関する被害率曲線

次に各対象橋梁の位置での浸水深を算出する。対象橋梁の中で6橋梁に関しては現地での測量結果、それら以外は国土地理院の5mDEMの標高データを用いて河川水面での標高を推定し、浸水深と河川水面での標高の差分を浸水深と定義した。対象橋梁の位置での浸水深のヒストグラムを浸水深2.0m毎に示す(図-5)。橋梁数は浸水深6.0m-8.0mの区間で33件と最大となり、落橋数は浸水深16.0m~18.0mの区間で6件と最大となった。

4. 被害率の算出と被害率曲線の構築 浸水深2.0m毎の被害率 R_N^b と浸水深の関係を図-6に示す。浸水深5.0mで被害率 R_N^b は0.05と微増して、浸水深15.0mで被害率 R_N^b は0.14まで増加した。浸水深17.0mで被害率 R_N^b は0.55と最大値を示し、浸水深19.0mでは被害率 R_N^b は0.38を示した。以上で求めた被害率 R_N^b を基に構築した被害率曲線を図-6と次式に示し、Shoji and Moriyama[8]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。

$$R(z) = \Phi\left(\frac{\ln z - 3.31}{0.82}\right) \quad (1)$$

Shoji and Moriyama[8]は2004年インド洋大津波のスリランカ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、浸水深 z における被害率 $R(z)$ が標準正規分布の累積確率 $\Phi(z)$ を用いて、対数正規分布でモデル化されると仮定した。確率紙を作成し最小二乗法を用いて線形回帰直線を求めることで $\ln z$ の期待値と標準偏差をそれぞれ算出した。浸水深の各区間における代表値は0.0m~18.0mにおいては区間の中央値を使用しているが、18.0m以上の区間では19.0mとした。

5. まとめ 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深及び浸水深を求め、被害率曲線を構築した。

謝辞 本研究で利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。また、数値シミュレーションに当たっては筑波大学の高橋和慎氏並びに石川尚樹氏、及び元筑波大学の江面嘉之氏の多大な協力を得ました。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A1，Vol.68，No.4，pp.1300-1306，2012。[2]国土地理院：10万分1浸水範囲概況図，2011，<http://www.gsi.go.jp/kikaku/kikaku60003>。[3]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/tjt/>。[4]Fujii, Y., K. Satake, S. Sakai, M. Shinohara and T. Kanazawa: Tsunami Source of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, *Earth Planets Space*, Vol.63, pp.815-820, 2011。[5]Okada, Y.: Surface Deformation due to Shear and Tensile Faults in a Half-Space, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.75, pp.1135-1154, 1985。[6]日本情報地質学会：東日本大震災津波被害現地調査報告，2011。[7]土木学会原子力土木委員会津波評価部会：原子力発電所の津波評価技術，2002。[8]Shoji, G. and T. Moriyama: 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。