2011 年東北地方太平洋沖地震津波により被災した桁橋構造の橋梁の被害把握

筑波大学 学生会員 ○高橋 和慎 筑波大学 正会員 庄司 学

- **1.目的** 本研究では 2011 年東北地方太平洋沖地震津波により被災した桁橋構造の橋梁を対象に、それらの主桁 流出距離及び橋台背面の盛土流出面積を衛星画像に基づき推定し、浸水深との関係を明らかにする.
- 2. 対象橋梁と津波数値シミュレーション 庄司ら[1]によって分析された津波作用により被災した 33 橋梁の中で, 桁橋構造であり, かつ, 衛星画像から主桁流出または盛土流出の被害を把握可能な 27 橋梁を対象にする(図 1).

なお、主桁流出の被害が生じた橋梁の中で、後述する数値計算結果で桁標高位置まで浸水した橋梁のみを対象としている。東北大学により開発された TUNAMI-CODE 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を行い、対象橋梁位置における最大浸水高の計算を行った。波源モデルは藤井モデル(version4.2)[4]を利用し、Okada の方法[5]により初期水位を静的に与えた。最大浸水高から橋梁位置における河川水面の標高を差し引くことで最大浸水深を定義した。その際、それらの標高は測量を伴う現地調査結果及び国土地理院が提供する震災後の航空レーザ測量結果に基づく DEM データを基に特定した。

3. 主析流出距離及び盛土流出面積と浸水深の関係 衛星画像に基づく道路構造物の被害把握の研究事例(例えば文献 [6])を参考にし、本研究では Google Earth が公開する衛星画像を対象に、津波作用を受けた橋梁の主桁流出距離 Dw 及び橋台背面の盛土流出面積 Aw を算定し、それらと最大浸水深 h_{max} の関係を分析した(図 2). RC・PC 桁に対する Dw は、 h_{max} = 6.0m ~13.0m で 40.0m 以下となるが、 h_{max} が大きくなるに伴い上昇し、 h_{max} = 18.5m で Dw は 214.1m の最大値を示した。鋼製

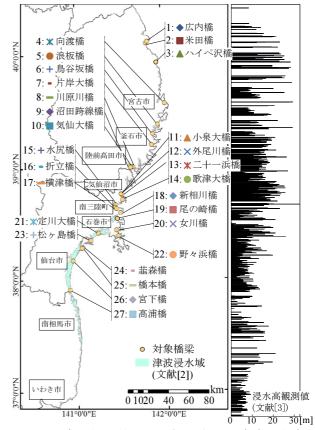
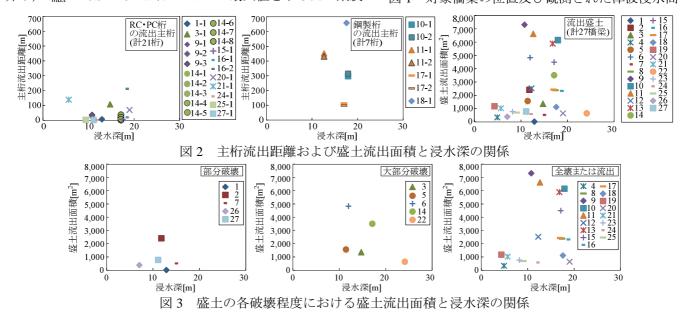
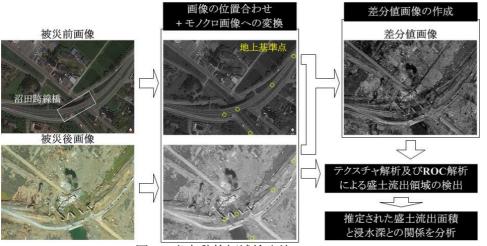


図1 対象橋梁の位置及び観測された津波浸水高



キーワード 2011 年東北地方太平洋沖地震津波,橋梁被害,衛星画像,主桁流出距離,盛土流出面積連絡先 〒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 TEL 029-853-7368



半自動的領域検出法のフロー

桁に対する Dw は、 $h_{max} = 12.7 \text{m}$ で $Dw = 427.1 \text{m} \sim 444.8 \text{m}$ の値を示すが、 h_{max} が大きくなるに伴い上昇し, $h_{max} = 17.5$ m で Dw は 657.0m の最大値を示した. Aw は、 $h_{max} = 3.0$ m~10.0m で 1,200m²以下となるが、 h_{max} が大きくなるに伴い 急激に上昇し、 $h_{max}=10.8$ m でAw は7,293m 2 の最大値を示した。図3では文 献[7]により類型化される盛土の破壊程度(部分破壊,大部分破壊,全壊または 流出)ごとでの Aw と h_{max} の関係を示す. 部分破壊の 5 橋梁では $Aw = 36\text{m}^2 \sim$ 2.423m^2 を示し、大部分破壊の 5 橋梁では $Aw = 679\text{m}^2 \sim 4.828\text{m}^2$ を示し、全壊 または流出の 17 橋梁では $Aw = 363\text{m}^2 \sim 6,614\text{m}^2$ の大きな値を示した.

4. 半自動的領域検出法の提案とその精度検証 被災前後の衛星画像を対 象に橋台背面の盛土流出領域を半自動的に検出する手法を提案する(図 4). 具

推定面積[m³] 6,000 4,000 2,000 4,000 6,000 8,000 目視判読面積[m²] 12,000 大部分破壊 3 5 6 14 10,000 惟定面積[m²] 8,000 6,000 4,000 2,000 4,000 8,000 2.000 6,000 目視判読面積[m²] 12,000 全壊または流出 10,000 ****** 4 ******13 ******20 ****** 8 *****15 ******21 ****** 9 *****16 *****23 6,000 4,000 2,000 2.000 4 000 6 000 目視判読面積[m²]

12,000 部分破壊

10,000

8,000

図 5 盛土流出領域の推定面積 と盛土流出面積の関係

体的には、地上基準点を活用して被災前後の衛星画像に対し位置合わせを行い[8]、カラー画像をモノクローム画像 に変換し、その上で被災後画像及び被災前後の画像の画素値の差分を取った差分値画像を対象にテクスチャ解析[9] を行うことで画像の特徴量として分散を算出する. その結果に対して, 既往の研究事例(例えば文献[10])のように真 陽性率と偽陽性率の考え方に基づく ROC 解析を行い、盛土流出領域を検出する.以上、半自動的領域検出法の推 定精度を検証するため、図5には盛土の破壊程度ごとに盛土流出領域の推定面積Aeと盛土流出面積Awの関係を示 す. Aw に対する Ae の倍率を考えると, 倍率が 0.7 倍以上 1.5 倍未満の 10 橋梁においては 8 橋梁(No.8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 18)が全壊または流出, 2橋梁(No.6, 14)が大部分破壊となり, 倍率が 1.5 倍以上 3.0 倍未満の 13 橋梁において は8橋梁(No.4, 16, 17, 19, 21, 23, 24, 25)が全壊または流出,2橋梁(No.3, 5)が大部分破壊,3橋梁(No.2, 26, 27)が部分 破壊となっている. 倍率が 3.0 倍以上の 4 橋梁においては, 1 橋梁(No.20)が全壊または流出, 1 橋梁(No.22)が大部 分破壊,2橋梁(No.1,7)が部分破壊となっており,盛土の破壊程度が大きいほど推定精度が高いと言える.

5. まとめ 2011 年東北地方太平洋沖地震津波により被災した桁橋を対象に、これらの主桁流出距離及び盛土流 出面積と浸水深との関係を分析し、さらに盛土流出領域を衛星画像から半自動的に検出する手法を提案した.

謝辞 本研究では東北大学の今村文彦先生及び越村俊一先生に数値計算に関して貴重なご助言を多々賜りました. 数値計算に当たっては筑波大 学の中村友治氏及び石川尚樹氏、元筑波大学の江面嘉之氏及び高橋宏允氏から多大なるご協力を賜りました。

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.I_1186-I_1193, 2012年. [2] 国土地理院: 10万分1浸水範囲概況図, http://www.gsi.go.jp/kikaku/kikaku60003.html. [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, 2012年12月, http://www.coastal.jp/ttjt/. [4] Fujii, Y., Satake, K., Sakai, S., Shinohara, M. and Kanazawa, T.: 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, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 75, No. 4, pp.1135-1154, 1985. [6] 丸山喜久,山崎文雄,用害比呂之,檜作正登,岡本拓:新潟県中越地震における高速道路被害状況と航空写真を用いた被害早期把握に向け た基礎的検討, 土木学会地震工学論文集, 第28巻, 第127号, 2005年. [7] 首藤伸夫: 津波による海岸堤防・護岸の被災 -昭和8年三陸大津波か ら昭和35年チリ津波まで-, 津波工学研究報告(東北大学災害制御研究センター), 第16号, pp.1-38, 1999年. [8] 日本リモートセンシング学会: 基礎からわかるリモートセンシング 第10章幾何補正,理工図書. [9](財)画像情報教育振興会:画像処理標準テキストブック 3-2-1 テクスチャ 特徴の抽出, 1997. [10] 翠川三郎, 三浦弘之:高分解能SAR画像による2008年岩手・宮城内陸地震での斜面災害地域の抽出,日本地震工学会論 文集, 第10巻, 第3号, P3_25-3_32, 2010.