

東北地方太平洋沖地震津波により被災した橋台周辺盛土の被害把握

筑波大学大学院 学生会員 ○高橋 和慎 筑波大学 正会員 庄司 学 筑波大学 水越 湧太

1. 目的: 東北地方太平洋沖地震津波により被災した橋台周辺盛土を対象として Google Earth が公開する衛星画像を基に被害把握を行う。盛土法面における被覆・擁壁の有無及び河川堤防との接続状況を考慮した上で¹⁾、最大浸水深 ID_{max} 、越流継続時間 T_{OD} 及び流速 V_s の無次元量と盛土流出面積率 A_w^* の関係を明らかにする。

2. 橋台周辺盛土と被害把握の方法: 対象とする橋台は衛星画像による被害把握が可能な計 50 橋台²⁾である(図 1)。橋台前面盛土、背面盛土、側面盛土及び取付盛土で構成される橋台周辺盛土の流出面積 A_w を橋台周辺盛土の面積 A_e で除し盛土流出面積率 A_w^* で評価する(図 2, 3)。盛土の境界及び法尻・輪郭並びに路面アスファルトや植生の消失領域を航空レーザ測量結果、橋梁の構造図面、調査写真及び Google Earth のストリートビュー画像を基に特定し、 A_e 及び A_w を算定した。

3. 津波作用の無次元量の算出: 東北大学で開発された TUNAMI-CODE(文献[3])を動的な断層破壊及び粗度係数の空間分布を適用できるプログラムに修正して津波の伝播及び浸水の数値シミュレーションを行い、橋台背面盛土の重心位置での浸水高及び流速の時刻歴波形を算出し(図 4)、最大浸水深 ID_{max} 、越流継続時間 T_{OD} 及び流速 V_s の無次元量を算出した。 ID_{max} は盛土の比高 h_e で除すことで無次元水位 ID_{max}^* とした。 T_{OD} は水深 50m となる沖合での津波の周期 T で除すことで無次元越流時間 T_{OD}^* とした。 V_s は最大流速に達した後に最大水位に到達する前の時刻における流速と定義し、同時刻での浸水高 IH' 及び重力加速度 g を用いてフルード数 $F_r (= V_s / \sqrt{gIH'})$ を算出した。なお、 ID_{max} 、 T_{OD} 、 V_s 及び IH' は押し波に限定して算定している。

4. 津波作用と盛土流出面積率 A_w^* の関係: 図 5(a)より、26 橋台 (No.4, 5, 14, 15, 25 の A1, No.8, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 20 の A1A2, No.18, 24, 27 の A2) は、 ID_{max}^* が 1.90~33.96 の大きな水位の作用を受け、 A_w^* が 0.58 以上の高い値を示した。なお、No.15 の A1A2 における顕著に低い比高での無次元化により ID_{max}^* がそれぞれ 33.96 及び 20.89 と他と比べて極めて高い値になっていることに留意が必要である。これらの 26 橋台では、No.5 の A1 の T_{OD}^* が 0.03 と例外的に低い

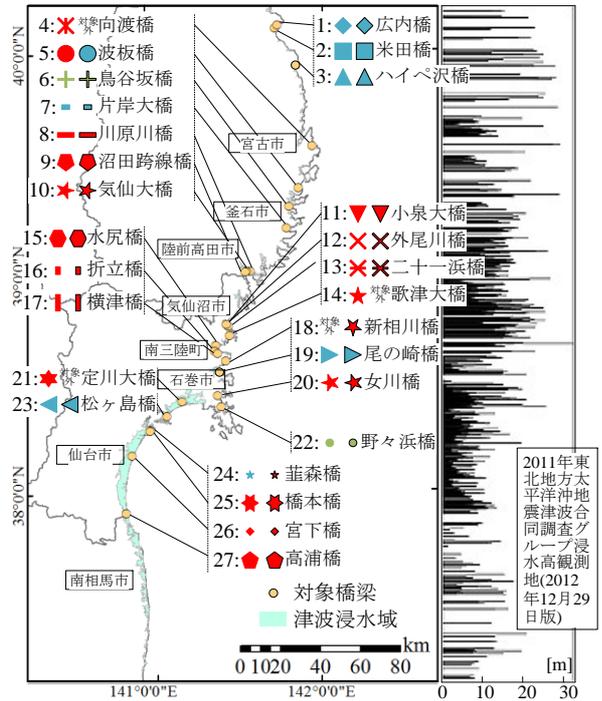


図 1 対象橋梁の位置及び観測された浸水高 (図中の番号: 橋梁の通し番号, 図中のマーク: 各橋台(左:A1, 右:A2)を示すマーク)

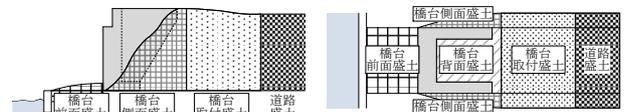


図 2 橋台周辺盛土の定義



図 3 衛星画像での被害把握(上:被災前, 下:被災後)

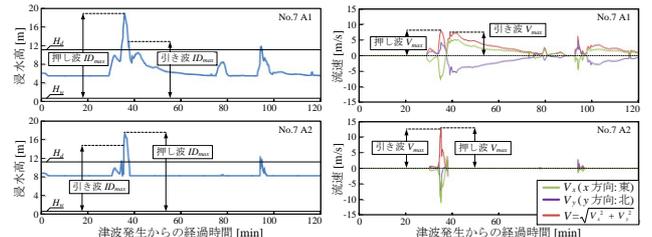


図 4 浸水高及び流速の時刻歴波形

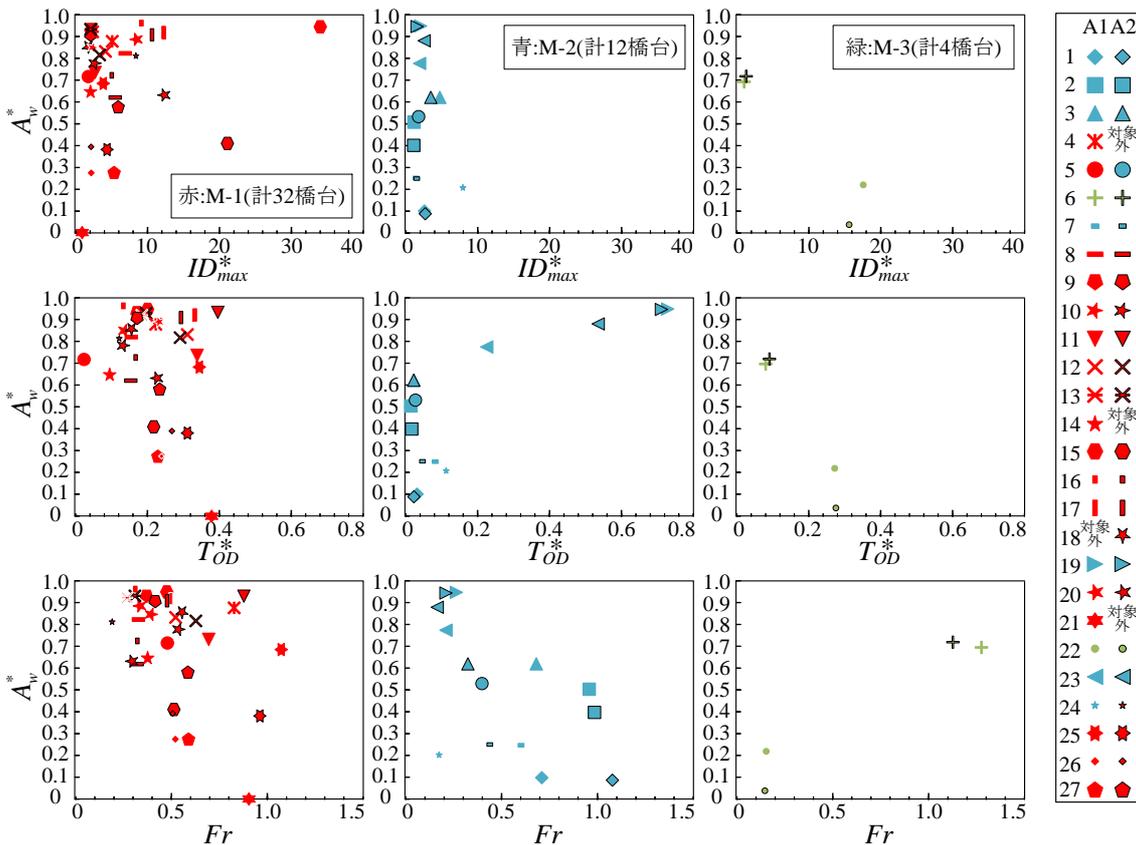


図-5 津波作用と盛土流出面積率 A_w^* の関係 (流出メカニズム M-1:赤色, M-2:青色, M-3:緑色)

が、 T_{OD}^* 及び Fr も0.10~0.40及び0.19~1.07と相対的に高く、非常に大きな水量によって盛土が流出したと推察される。一方、6橋台(No.21, 27のA1, No.26のA1A2, No.15, 25のA2)については、先述したNo.15のA2の ID_{max}^* を除き、 ID_{max}^* が1.16~5.61と相対的に低く、 T_{OD}^* 及び Fr も同様に0.21~0.38及び0.51~0.96と相対的に低い値であり、盛土に作用する水量が少なかったために、 A_w^* が0.39以下の低い値となった。このように津波特有の押し波及び引き波の圧倒的な水量によって盛土が流出するメカニズム(M-1)が明らかとなった。図5(b)より、4橋台(No.19, 23のA1A2)は Fr が0.18~0.24と相対的に低いながら、 ID_{max}^* 及び T_{OD}^* が1.65~2.87及び0.23~0.72と相対的に高く、 A_w^* が0.77以上の高い値を示しており、盛土の高さに対して津波が長時間にわたって越流した結果と考えられる。一方、10橋台(No.24のA1, No.1, 2, 3, 7のA1A2, No.5, のA2)は、 Fr が0.18~1.07と高いながら ID_{max}^* 及び T_{OD}^* が1.25~8.06及び0.02~0.12と低く、 A_w^* が0.09~0.62の低い値を示しており、越流したものの水位が低く継続時間が短かったためと考えられる。以上のように盛土の高さ以上の継続した越流による盛土の流出メカニズム(M-2)が明らかとなった。図5(c)によれば、2橋台(No.6のA1A2)は、 ID_{max}^* 及び T_{OD}^* が1.24~1.29及び0.08~0.09と極めて低いものの Fr が1.12~0.51と高く、 A_w^* が0.69以上の高い値を示しており、津波の流れ場による摩擦力が大きく作用したものと推察される。一方、2橋台(No.22のA1A2)は、 ID_{max}^* 及び T_{OD}^* が15.69~17.61及び0.27~0.28と非常に大きいものの Fr が0.15~0.16と低く、生じた摩擦力も小さくなったために A_w^* が0.22以下の低い値となっている。このように津波の流れ場における流速に伴い生じる摩擦力によって盛土が流出するメカニズム(M-3)が明らかとなった。

5. まとめ: 東北地方太平洋沖地震津波により被災した橋台周辺盛土の流出面積と津波作用の関係を分析した結果、(1) 津波特有の押し波及び引き波の圧倒的な水量による流出メカニズム、(2) 盛土の高さ以上の継続した越流による流出メカニズム、(3) 津波の流れ場における流速に伴い生じる摩擦力による流出メカニズムが明らかになった。

謝辞 東北大学の今村文彦先生及び越村俊一先生に津波シミュレーションに関して貴重なご助言を賜りました。また、国土交通省平成26年度「津波に強い道路構造物の研究開発」(代表者:幸左賢二・九州工業大学教授)の助成を得て実施されました。関係各位に謝意を表します。

参考文献 [1] 高橋和慎, 庄司学: 橋台周辺部の津波被害把握とその特徴, 第17回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, pp.147-153, 2014年. [2] Takahashi, K. and Shoji, G.: Damage Assessment of Bridges Subjected to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake Tsunami by Analyzing Satellite Images, International Symposium on Earthquake Engineering, JAEE, Vol.2, 2013. [3] Disaster Control Research Center (DCRC), Tohoku University: TUNAMI-CODE Tohoku University's Numerical Analysis Model for Investigation of Tsunami, 2009.