

2011年東北地方太平洋沖地震津波により被災した橋台周辺 盛土の流出メカニズムの解明

高橋 和慎¹・庄司 学²

¹学生会員 筑波大学大学院システム情報工学研究科（〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1）

Email: s1330224@u.tsukuba.ac.jp

²正会員 筑波大学准教授 システム情報系（同上）

Email: gshoji@kz.tsukuba.ac.jp

1. はじめに

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。文献1)では、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、衛星画像による被害把握が可能な計50橋台のデータが示されている。それらに対して、文献2)では、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明らかにし、津波に曝露された橋台周辺盛土の構造の特徴と盛土流出面積との関係を定性的に論じている。本研究では、文献1)で整えられたデータに対して、文献2)に示された知見を踏まえ、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^* の定量的な関係を明らかにする。

2. 橋台周辺盛土と被害把握の方法

分析対象とする橋台は、衛星画像による被害把握が可能な図-1に示す計50橋台である。橋台周辺盛土は、文献2)のように橋台構造の考え方を拡張して、図-2に示す橋台前面盛土、背面盛土、側面盛土及び取付盛土の計4つの領域で構成されるとした。これらの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と橋梁の構造図面を参照しながら、調査写真及びGoogle Earthの衛星画像に対して筆者らが目視判読することにより、図-3に示すように橋台周辺盛土の面積 A_e 及び橋台周辺盛土の流出面積 A_w を算定した。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^* を定義することによって、被害の程度を計量化する。

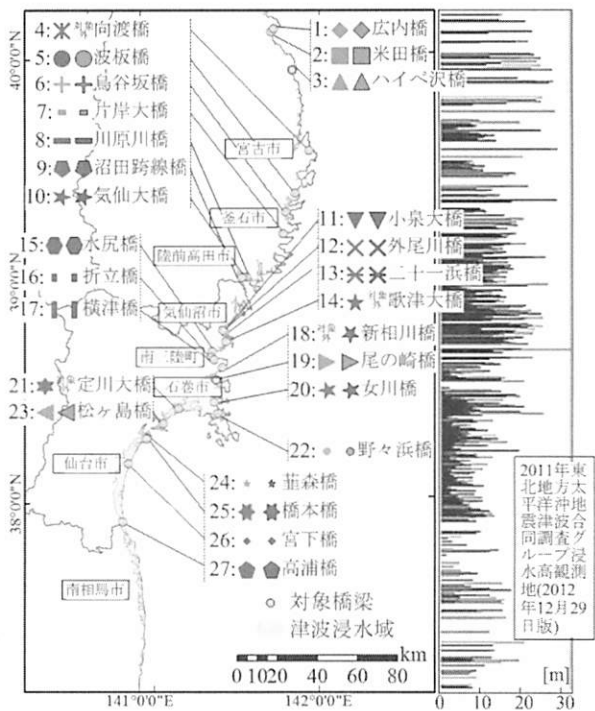


図-1 分析対象とする橋台の位置及び観測された浸水高（図中の番号：橋梁の通し番号、図中のマーク：各橋台を示すマークで、左が A1 橋台、右が A2 橋台を表わしている）

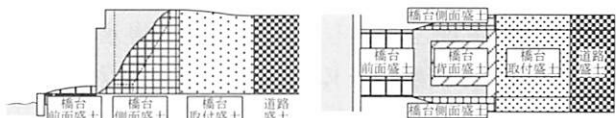


図-2 橋台周辺盛土の定義

3. 津波作用の無次元量の算出

東北大学で開発されたTUNAMI-CODE³⁾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



図-3 Google Earthの衛星画像に基づく橋台周辺盛土の面積 A_e 及び橋台周辺盛土の流出面積 A_w の算定（左は被災前、右は被災後の衛星画像を示している）

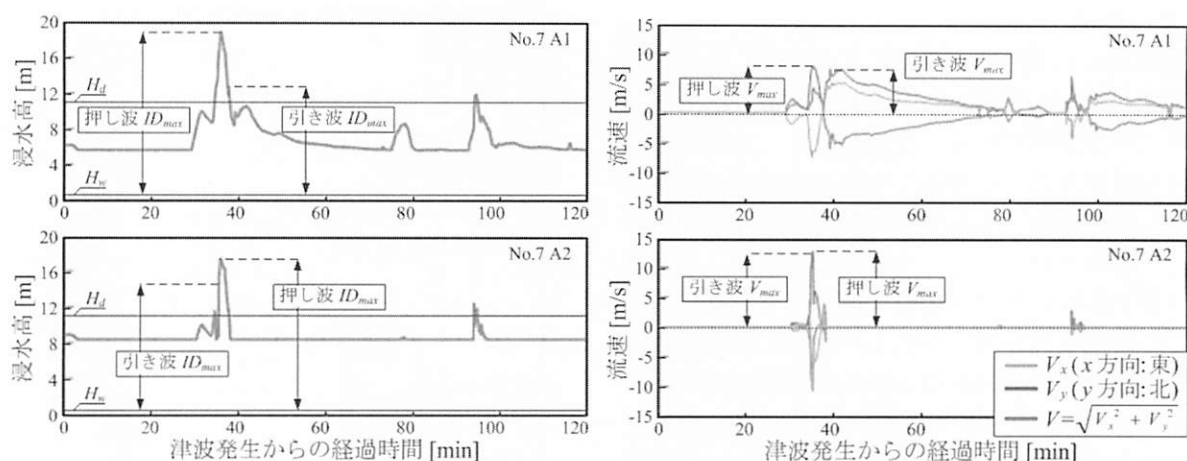


図-4 橋台背面盛土の重心位置での浸水高及び流速の時刻歴波形（図-1に示した横津橋No.7の場合）

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図-4のように算出した。これより、橋台周辺盛土に作用する津波の指標として、最大浸水深 ID_{max} を盛土の比高 h_e で除すことで、無次元水位 ID_{max}^* を定義した。また、津波が橋台盛土を越流して作用し続ける越流継続時間 T_{OD} を水深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}^* を定義した。流速 V_s は時系列の中で最大流速に達した後の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' を用いてフルード数 $F_r (= V_s / \sqrt{gIH'})$ (g は重力加速度)を流速 V_s の無次元量の指標とした。なお、上記の 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は、先述の定義に基づく津波作用の無次元量の指標と盛土流出面積率 A_w^* の関係を示す。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A1・A2, No.18, 24, 27のA2）は、 ID_{max}^* が1.90～33.96となる大きな水位の作用を受け、 A_w^* が0.58以上の高い盛土流出面積率を示した。なお、No.15のA1・A2に対しては顕著に低い比高 h_e で除して無次元化したために 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、 T_{OD}^* 及び F_r も0.10～0.40及び0.19～1.07と相対的に高く、津波特有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）により盛土流出面積率 A_w^* が高くなったと推察される。一方、6橋台（No.21, 27のA1, No.26のA1・A2, 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 F_r 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以下の低い盛土流出面積率となった。このように、津波特有の押し波

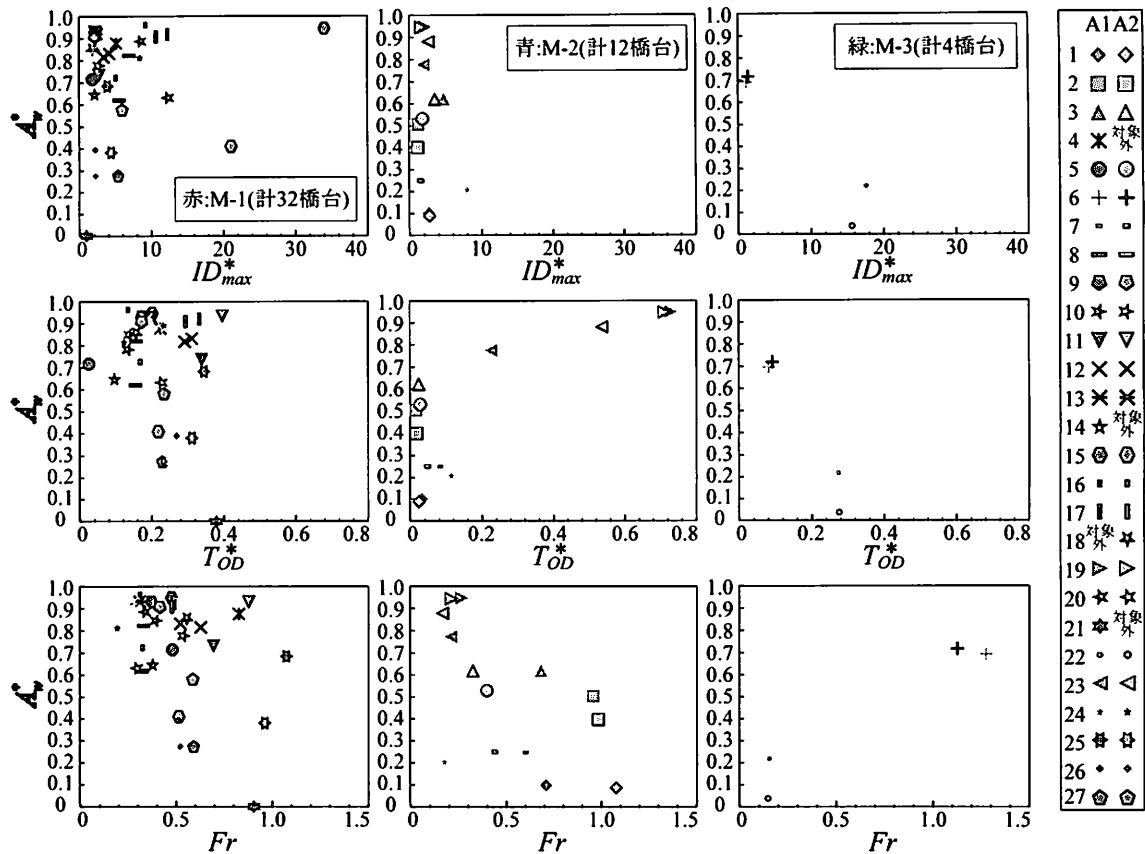


図-5 津波作用を表す無次元量と盛土流出面積率 A_w^* の関係（第4章の考察で分類した，流出メカニズムM-1を赤色，M-2を青色，M-3を緑色でそれぞれ示す）

の圧倒的な水量によって盛土が流出し大きく被災する形態（M-1）が，分析対象とした橋台の中で半数以上（50橋台中，26橋台）を占めた。

図-5(b)より，4橋台（No.19, 23のA1・A2）は Fr が0.18～0.24と相対的に低いが， 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以上の高い盛土流出面積率を示しており，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A1・A2，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の低い盛土流出面積率を示しており，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）が明らかとなり，それが顕在化し主要因となって大きく被災した橋台が1割弱（50橋台中，4橋台）見られた。

図-5(c)によれば，2橋台（No.6のA1・A2）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以上の高い盛土流出面積率を示しており，津波の流れ場によ

って生じ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A1・A2）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，生じた摩擦力が小さくなったために A_w^* が0.22以下の低い盛土流出面積率となっている。このように，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）が卓越して大きく被災した事例も見られた。

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，データ化された計50の橋台に対して分析した。その結果，1) 津波特有の押し波の圧倒的な水量に起因した流出メカニズムによる典型的な被災事例，2) 盛土の高さ以上の継続した越流に起因した流出メカニズムが顕在化した被災事例，3) 津波の流れ場の流速に伴い生じる摩擦力に起因した流出メカニズムが卓越した被災事例がそれぞれ明らかになった。

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) 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, *Proceedings of the Second International Symposium on Earthquake Engineering*, JAEE, November 11-12, 2013, Tokyo, Japan, Vol.2, pp.195-200.

- 2) 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.147-154, 2014.7.
- 3) Disaster Control Research Center (DCRC), Tohoku University: TUNAMI-CODE Tohoku University's Numerical Analysis Model for Investigation of Tsunami, 2009.