津波による橋台背面盛土の侵食が桁への作用津波力に与える影響に関する一考察

名古屋大学工学部　学生会員　○熊澤諒大
名古屋大学大学院工学研究科　正会員　中村友昭
名古屋大学大学院工学研究科　正会員　趙　容桓
名古屋大学大学院工学研究科　フェロー　水谷法美

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震時には，津波によって沿岸部の橋梁に桁や橋台背面盛土の流失などの被害が発生した．これまでに桁に作用する津波力や橋台背後盛土の侵食についての研究がそれぞれ行われてきたものの，両者を同時に取り扱って橋台背後盛土の侵食が桁への作用津波力に与える影響を検討した事例は見受けられない．本研究では，中村ら（2019）による 3 次元流体・構造・地形変化・地盤連成数値計算モデル FS3M を用いて，沼田跨線橋をモデル化した橋桁，橋脚，橋台，橋台背面盛土に津波を作用させる数値解析を実施し，盛土侵食の有無が橋桁へ作用する水平力と鉛直力に与える影響を検討する．

2. 計算条件

Nakamura ら（2020，2021）は，実際に東日本大震災時に被災した沼田跨線橋の A2 橋台と橋台背面盛土を縮尺 1/100 でモデル化した水理模型実験と数値解析を実施し，橋台背面盛土の侵食メカニズムを明らかにしている．本研究では，Nakamura ら（2020，2021）の計算領域に P2 橋脚と第 3 径間の橋桁を追加した状況を対象に数値解析を実施し，津波による橋台背面盛土の侵食と桁への作用津波力を調べた．計算領域の概略図と座標軸の定義を図-1 に示す．同図に示すように，砂地盤（厚さ 100 mm，中央粒径 0.2 mm），橋脚，橋台，背面盛土（高さ 77 mm，天端幅 150 mm，中央粒径 0.2 mm）を設置した．そして，津波をモデル化した流れを沖側境界から流入させた．このとき，単位幅流量は 0.0390 $m^3/s/m$ と 0.0520 $m^3/s/m$ の 2 種類，通水時間は 30 秒と 50 秒の 2 種類変化させた．計算は 100 秒まで行った．なお，FS3M の再現性は水理実験結果との比較により確認済みである（Nakamura ら，2020）．

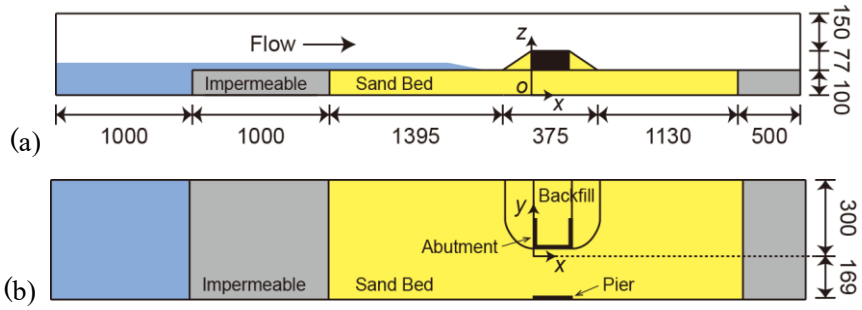
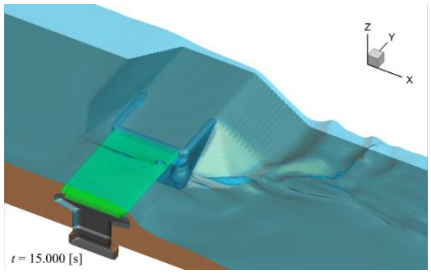
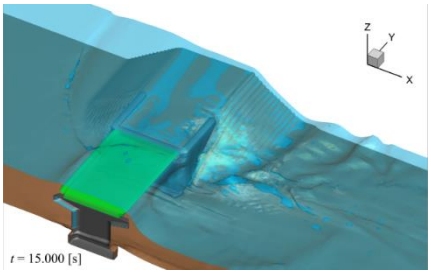


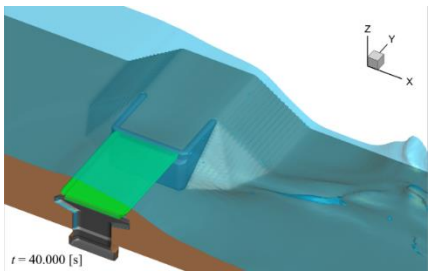
図-1 計算領域の概略図（単位 mm）：(a)立面図，(b)平面図



(a) t = 15 s

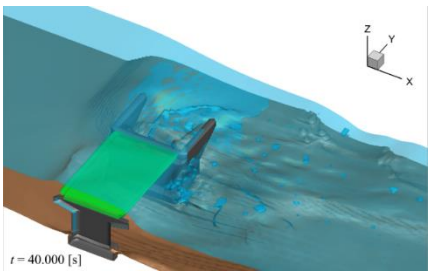


(a) t = 15 s



(b) t = 40 s

図-2 橋梁周辺の波変形（地形変化なし，0.0390 $m^3/s/m$，50 s）



(b) t = 40 s

図-3 橋梁周辺の波変形（地形変化あり，0.0390 $m^3/s/m$，50 s）

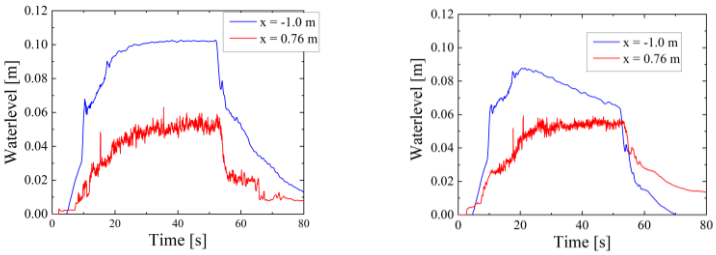
3. 計算結果および考察

3.1 造波した津波の特徴

図-2 と図-3 に，単位幅流量 0.0390 $m^3/s/m$，通水時間 50 秒のときの橋梁周辺の波変形を例示

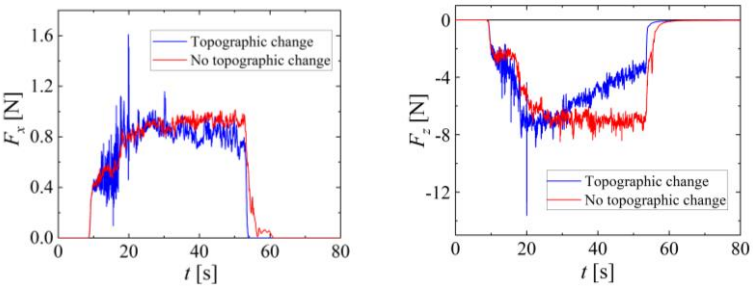
する．ここで，灰色は橋台と橋脚を，茶色は盛土と砂地盤の表面を，水色は水面を，緑色は桁を表す．図-2，図-3 より，時刻 t = 15 s 時点で桁と盛土の上の越流が生じており，図-2 の場合には地形変化の計算を行っていないため盛土の形状が保たれているものの，図-3 の場合には地形変化の計算を行っているため主に岸側ウイング周辺で侵食が生じ始めていることが分かる．これは，橋台と背面盛土のみある状況を対象とした Nakamura ら（2020，2021）と同様の傾向である．地形変化の計算を行った図-3 の場合には，同図(b)に示すように t = 40 s になると盛土の流出が顕著になっている．

図-4 に，橋梁の沖側（x = –1.00 m）と岸側（x = 0.76 m）での水位変動の時間変化を示す．同図には，盛土の沿岸方向のほぼ中央の位置である y = 0.15 m での水位を示した．図-4(a)より，地形変化の計算を行わなかった場合には，t = 30～50 s での水位に時間による変動はあまり見られないことが分かる．その一方で，地形変化の計算を行った場合には，図-4(b)に示すように，橋台沖側での水位が t = 20 s 過ぎから低下している．これは，盛土の流出によって通水断面が広くなったためと考えられる．



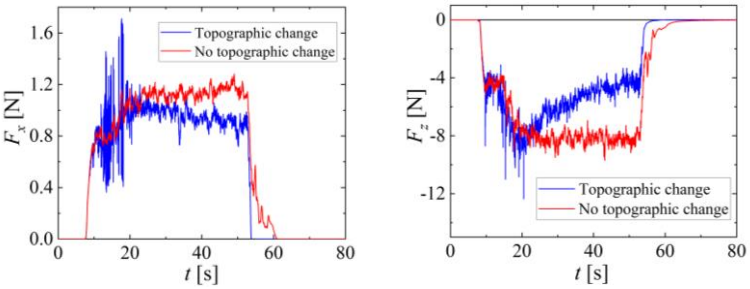
(a)　地形変化なし　　(b)　地形変化あり

図-4　橋台の沖側と岸側での水位変動（0.00390 m^3/s/m，50 s）



(a)　水平津波力　　(b)　鉛直津波力

図-5　橋桁に作用する津波力（0.00390 m^3/s/m，50 s）



(a)　水平津波力　　(b)　鉛直津波力

図-6　橋桁に作用する津波力（0.00520 m^3/s/m，50 s）

3.2　地形変化の有無による津波力の比較

桁に作用する x 軸方向の津波力 F_x と z 軸方向の津波力 F_z の時間変化を図-5 と図-6 に例示する．ここで，F_x は波進行方向を正，F_z は鉛直上向きを正とした．同図より，地形変化の計算を行った場合には，F_x と F_z の波形に地形の変化に起因する細かい振動が生じていることが分かる．また，図-5(a)と図-6(a)に示す F_x については，地形変化の考慮の有無による顕著な差は，図-5(a)の場合は t = 30 s 過ぎから，図-6(a)の場合は t = 20 s 過ぎから見られ，地形変化の計算を行わなかった場合の方が大きくなっている．これは，地形変化の計算を行った場合には，盛土の流出によって通水断面積が広くなり，流速が低下したためと推測される．図-5(b)と図-6(b)に示す F_z については津波作用開始とともに減少し負値となっており，桁に鉛直下向きの力が作用していることが分かる．また，図-5(b)の場合は t = 30 s 頃まで，図-6(b)の場合は t = 20 s 頃までは，地形変化の計算を行わなかった場合の方が大きくなっている．その一方で，それ以降は地形変化の計算を行った場合の方が大きくなっている．

以上の差が生じた理由を含む詳細については，講演時に発表する．橋台背面盛土の侵食が橋桁へ作用津波力に与える影響とその影響が現れた理由などに対して，さらなる検討を引き続き行っていく所存である．最後になるが，本研究は公益財団法人立松財団の助成を受けたことを付記し，感謝の意を表する．

参考文献：[1] 中村ら（2019），土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol. 75，No. 2，pp. I_229-I_234．[2] Nakamura et al. (2020), *J. Marine Sci. Eng.*, Vol. 9, No. 10, 16 p. [3] Nakamura et al. (2021), *Water*, Vol. 13, No. 24, 21 p.