津波による海岸堤防背後盛土の侵食と背後の構造物への作用津波力に与える影響に関する数値解析

名古屋大学工学部	学生会員 〇	鈴木 涼太
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 容垣
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 年に発生した東北地方太平洋沖地震では、大規模な津波が発生し、特に岩手、宮城、福島の3県では、海岸堤防約300kmのうち約190kmが全壊・半壊する甚大な被害が生じた. その対策の一つとして、海岸堤防と背後盛土が一体となった構造が提案され、水理実験と数値解析によりその有効性が確認されている(犬飼ら、2017). 一方、東北地方太平洋沖地震時には、海岸堤防を始めとする海岸保全施設だけでなく、建築物などの陸上の構造物にも津波による被害が発生した. しかし、海岸保全施設の破壊が津波により徐々に進んでいったときに、背後の構造物に与える影響がどのように変化するかを調べている研究は見受けられない. そこで、本研究では、犬飼ら (2017) による海岸堤防と背後盛土が一体となった構造を取り上げ、津波による盛土の侵食の進展が背後構造物への作用津波力に与える影響を3次元数値解析により検討する.

2. 数値解析モデルの概要:3次元流体・構造・地形変化・地盤連成数値計算モデル(中村・水谷,2010)を 用いて解析を行った.同モデルは、メインソルバーと3つのモジュールから構成されている.メインソルバー は、可動構造物の運動と地形変化を取り扱えるように拡張した連続式と Navier-Stokes 方程式に基づく LES

(Large-Eddy Simulation)である. LES には、気液界面を追跡する VOF (Volume of Fluid) モジュール、可動構造物を取り扱う埋め込み境界モジュール、掃流砂と浮遊砂の輸送に伴う地形変化の計算と浮遊砂濃度分布の

解析を行う底質輸送モジュールが, LES との相互作用を考慮できるよう に Two-Way カップリング手法で組み 込まれている.モデルの詳細は中村・ 水谷 (2010) を参照されたい.

3. 計算条件:本研究では,犬飼ら (2017)による 1/25 スケールの水理 実験のうち,海岸堤防の背後に海岸堤 防以上の天端高を持つ盛土を設置し たケースを対象に数値解析を行った. 計算領域を図-1に示す.同図に示すよ うに,中央粒径 0.3 mm,空隙率 0.5 の 砂地盤上に,天端高 16.0 cm,天端幅 14.8 cm,表法勾配 1:1.5,裏法勾配 1:2



図-1 計算領域の概略図

表-1 計算ケース

の海岸堤防を設置した.ただし,堤防表法の詳細が分からないため,単純な勾配 1:1.5 の一様勾配とした.その岸側には,天端高 29.2 cm,天端幅 16.0 cm,表法勾配 1:2,裏法勾配 1:2 の背後盛土を設置した.地下水面の位置はz = -13.0 cm とし,それより下は飽和,上は平衡状態を仮定して van Genuchten の式に沿う飽和度分布とした.そして,後述する諸元の津波を沖側から入

ケース	背後盛土	地形変化
Case 1	無	無
Case 2	無	有
Case 3	有	無
Case 4	有	有

射させた.計算は、表-1に示すように、背後盛土の有無、地形変化の有無を変化させた計4ケースを行った.

4. 再現性の検証:数値計算モデルの 再現性を検証するために,まず犬飼ら

(2017)の水理実験の再現計算を行っ た.具体的には,背後盛土なし,地形 変化ありの Case 4 の条件下で,図-1の W1の位置における越流水深が水理実 験と同じになるように沖側境界から 一定流量の津波を流入させた.図-2に 地形変化の比較を示す.ここで,同図 中の時間は越流開始からの時間を示 している.図-2より,20秒後以降に おいて盛土背後での洗掘を過小評価 する傾向が確認できるものの,盛土の 侵食形状は実験結果と計算結果で概 ね一致していることが分かる.以上の





図-3 構造物設置時の津波の遡上過程(Case 4)



図-4 構造物前面への作用津波力 F_{xw}

ように盛土の侵食の観点から再現性を確認できたことから、以下、本モデルを用いて検討を進める.

5. 構造物への作用津波力: 再現計算で使用した図-1 に 示す計算領域に1辺40 cmの角柱型の構造物を追加して 設置し,沖側境界から波高0.2 m,周期90 sの長周期波1 波を入射させた. このときの構造物周辺における津波の 遡上の様子を図-3 に例示する. 同図より,津波が構造物 の前面で打ち上げられるとともに,構造物の側面を回り 込んでいる様子が確認できる. 図-4 に構造物の沖側面に 作用する波力 F_{xw}の時間変化を示す. ここで, t は時刻を

表す. 同図の Case 1 と Case 2, Case 3 と Case 4 の比較より,津波が構造物に到達し,波力が生じ始める時間 は、地形変化を考慮することで遅れることが確認できる.また,F_{xw}の大きさは、盛土がない Case 1 と Case 2 を比較すると、津波到達後 10 秒程度は地形変化を考慮した Case 2 の方が若干小さい程度であるものの、それ 以降は Case 1 は Case 2 よりも大きくなっていることが確認できる.これは、地形変化を考慮した Case 2 では 堤防の背後に洗掘が生じ、この洗掘により津波が減衰したためと推測される.一方、盛土のある Case 3 と Case 4 を比較すると、津波到達後 10 秒程度は盛土がない場合とは逆に地形変化を考慮した Case 4 の方が若干大き くなっているものの、それ以降は Case 4 の F_{xw} が急激に増加し、Case 2 とほぼ等しくなっていることが分か る.これは、津波により背後盛土がなくなったことから、盛土ありの Case 2 と同程度となったと考えられる. <u>6. おわりに</u>:本研究では、犬飼ら (2017) による海岸堤防と背後盛土が一体となった構造を取り上げ、1/25 スケールでの数値解析を行い、背後盛土の有無、地形変化の有無で構造物に作用する津波力の比較を行った. その結果、地形変化を考慮するととにより津波が構造物に到達する時間が遅れること、盛土がない場合は地形 変化を考慮すると津波力が低減すること、盛土がある場合は地形変化を考慮すると盛土が失われることで津 波力が増加することが判明した.今後、さらなる研究を行い、考察を深めていく所存である.最後になるが、 日比科学技術振興財団研究開発助成の補助を受けたことを付記し、感謝の意を表する.

参考文献: [1] 犬飼・栗山・佐藤・加藤・水谷・原田・神保・岩佐・福田(2017): 土論 B2(海岸工学), Vol 73, No. 2, pp. I_1057-I_1062. [2] 中村・水谷(2010): 第 24 回数値流体力学シンポジウム, E10-4, 9 p.