2次元・3次元ハイブリッドモデルを用いた津波波圧評価におけるカップリング位置の検討

八千代エンジニヤリング(株) 正会員 ○保坂 幸一
(一財)電力中央研究所 正会員 木原 直人
中部電力(株) 加藤 勝秀

1. はじめに

陸上構造物へ作用する津波波圧を 3 次元数値流体解析 により計算するため,広域を平面 2 次元モデル(以降, 2D), 陸域や構造物周辺を 3 次元モデル(以降, 3D)で解く実用 的な 2D-3D ハイブリッド津波解析手法の構築が求められ ている.保坂ら¹⁾は,3D 領域範囲を設定するための基礎 的研究として 2D-3D のハイブリッドモデルによる数値 解析を通じて 2D と 3D のカップリング(接続)位置が陸 地近傍の津波波形に与える影響について検討している. 本研究では,2D-3D のカップリング位置が陸上構造物に 作用する津波波圧評価に与える影響を検討した.

2. 検証データ

保坂ら¹と同じく有川²による水理模型実験を対象に ハイブリッドモデルによる再現計算を行った.図-1 に実 験水路の概要を示す.陸域の壁体前面には,高さ方向に 10 cm 間隔,横方向に 26 cm 間隔で 30 個の圧力センサー が設置されている.計測データは,「津波防災研究ポータ ルサイト」³で公開されているものを使用した.

3. 解析手法

2D-3D ハイブリッド津波解析では、OpenFOAM を基に 構築された shallowInterFoam ソルバ¹⁾を使用した. **2D** ケ ースには後藤・小川⁴⁾による非線形長波モデルを使用し た. **2D** と **3D** の境界位置で双方向に水位・流量等の物理 量を受け渡す 2way カップリング手法である.

解析条件を表-1 に示す.比較用に解析領域全体を 3D お よび 2D としたケースも実施した.ハイブリッドモデル のカップリング位置として図-1 に示す「接続位置 1~3」 の 3 ケースを設定した.保坂ら¹⁾では、3D ケースおよび ハイブリッドケースともに領域側面の境界条件に No-slip 条件を適用したが、2D 領域の津波水位が過小評価傾向で あったため、本研究では側面の境界条件を slip 条件とし た.これにより、図-2 のとおりハイブリッドケースの 2D 領域の波形と 2D ケースによる波形が近づくことが確認 された.



図-2 境界条件の違いによる空間波形の変化

4. 解析結果

図-3 にハイブリッドケースの接続位置 1~3 と,3D ケ ースとを重ね合わせた 1 秒間隔の空間波形を示す.ハイ ブリッドケースの接続位置 1 の波形は,3D ケースと概ね 整合した.接続位置 2 は,3D ケースに比べ 2D 領域での 前傾化が進み,3D 領域に入ると 3D ケースよりも先に非 線形分散効果による水位増幅が生じる.接続位置 3 では

キーワード 津波,数値解析,2D-3Dハイブリッドモデル,カップリング位置,波圧
連絡先 〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 八千代エンジニヤリング(株) TEL03-5822-6269

接続位置で水面の乱れが生じている.接続位置2,3では 3Dケースよりも砕波が早く,汀線位置の水位が3Dケー スに比べて下がっている.3Dケースとハイブリッドケー スの壁体前面における最高水位発生時刻の水面形を図-4 に示す.ハイブリッドケースの接続位置3を除いて壁面 に衝突した津波の先端部が海側に跳ね返る傾向が見られ る.各ケースの砕波位置が異なることで陸上部での水の 先端形状や流速が変化しているためと考えられる.接続 位置3のみ傾向が異なり,非線形分散効果が現れる位置 で2Dと3Dを接続したため,安定した流れの接続ができ ていない可能性がある.

実験および各ケースの壁体前面の 5 点の波圧の時系列 を図-5 に示す. PG1 は壁体中央の底面から高さ 5cm で, PG2~4 はその上方 10cm 間隔, PG8 は高さ 75cm である. なお, 2D ケースの波圧は水位・流速から波圧評価式⁵に より算定した.実験の PG1 で計測されている津波衝突時 のスパイク状の圧力値をすべてのケースで過小評価して いる.ハイブリッドケースの接続位置 1,2 のケースは 3D ケースに比べて再現性に大きな差はない. 接続位置 3 は 3D ケースに比べて PG1 の圧力値のピークを過小評価し ており, 2D ケースに対して再現性が向上しているとは判 断できない結果となった.

5. まとめ

海底地形が津波波形に与える影響が小さく分散性の影響が小さい位置で2Dと3Dとのカップリング位置を適切に設定することにより、伝播中の波形や陸上構造物前面水位に若干の違いが現れるものの3Dモデルと同等の精度で構造物に作用する津波波圧を再現できる可能性があることを示された.また、分散性の影響が大きい地点に接続境界を設定すると、2Dと3Dの波形の不連続が顕著になり、水位や波圧の再現性が低下する可能性があることが示された.

謝辞:本研究は電力10社による原子カリスク研究センタ 一共研として実施した成果であることを付記するととも に、土木学会原子力土木委員会第8期津波評価小委員 会(委員長高橋智幸関西大学教授)の委員各位に研究 成果をご議論頂き、有益なご助言を賜りました.関係各 位に謝意を表します.

参考文献

 保坂ら:2次元・3次元ハイブリッド津波解析における カップリング位置の検討,土木学会全国大会第77回年次 学術講演会講演概要(CS10-106),2022. 有川:水理模型実験による防潮壁に作用する孤立波の 波圧特性に関する検討、土木学会論文集 B2(海岸工学)、 Vol.71, No.2, I_889-I_894, 2015.

3) 津波防災研究ポータルサイト (https://tsunamiportal.bosai.go.jp/index)

4)後藤,小川:Leap-frog 法を用いた津波の数値計算法, 東北大学工学部土木工学科,52p,1982.

5) 有光ら:平面2次元津波遡上計算結果を用いた津波波 圧算定方法の提案,土木学会論文集 B2(海岸工学),68巻, 2号,pp. I_781-I_785,2012.



図-3 斜面を伝播する津波の空間波形の比較



図-4 壁体前面における津波の水面形

