

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

八千代エンジニアリング (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⁴⁾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。

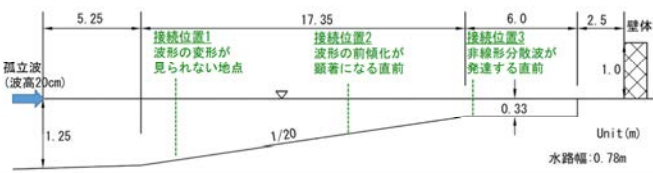


図-1 実験断面図

表-1 計算条件

解析手法	項目	ハイブリッドケース [shallowInterFoam]	3D ケース [interFoam]	2D ケース
2D	計算格子間隔	$\Delta x=0.16m, \Delta y=0.08m$		$\Delta x=\Delta y=0.02m$
	計算時間間隔	最大クーラン数により自動調整		0.001s
	離散化スキーム	時間発展	1次精度陰解法	Leap-frog法 ⁴⁾
		移流項	1次精度風上差分	
	壁面条件 (側面)	slip		—
	粗度係数n	0.012s/m ^{1/3}		0.012s/m ^{1/3}
3D	水平渦粘性係数	ゼロ方程式モデル		考慮せず
	計算格子間隔	$\Delta x=0.16\sim0.005m, \Delta y=0.08\sim0.01m$		
	計算時間間隔	最大クーラン数により自動調整		
	離散化スキーム	時間発展	1次精度陰解法	
		移流項	2次精度線形風上差分	
	乱流モデル	SST k- ω モデル		
	壁面条件	海底: No-slip, 側面・陸域・壁体: slip		
	動粘性係数 ν	空気: $1.48 \times 10^{-6}m^2/s$, 水: $1.00 \times 10^{-6}m^2/s$		
	密度 ρ	空気: 1kg/m ³ , 水: 1000kg/m ³		

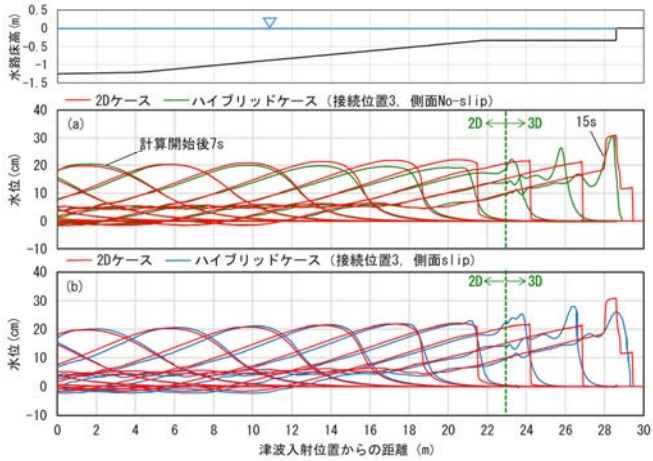


図-2 境界条件の違いによる空間波形の変化

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 八千代エンジニアリング(株) TEL 03-5822-6269

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 ケースよりも碎波が早く、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。各ケースの碎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⁹⁾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 社による原子力リスク研究センター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

1) 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。

2) 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://tsunami-portal.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。

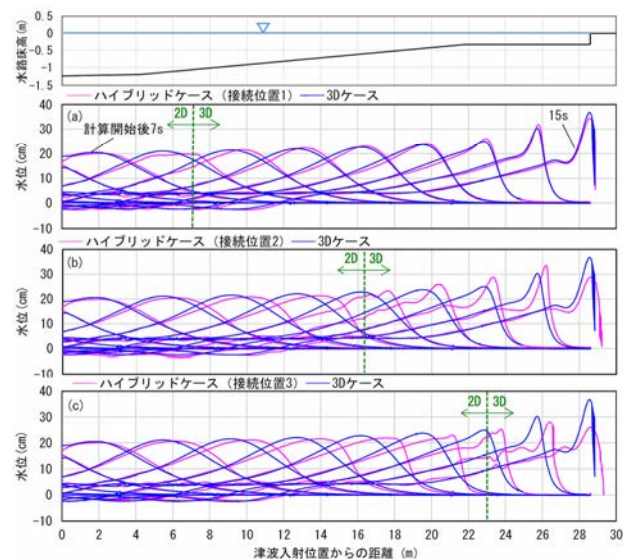


図-3 斜面を伝播する津波の空間波形の比較

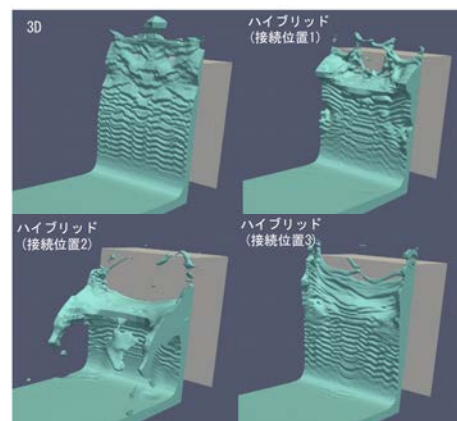


図-4 壁体前面における津波の水面形

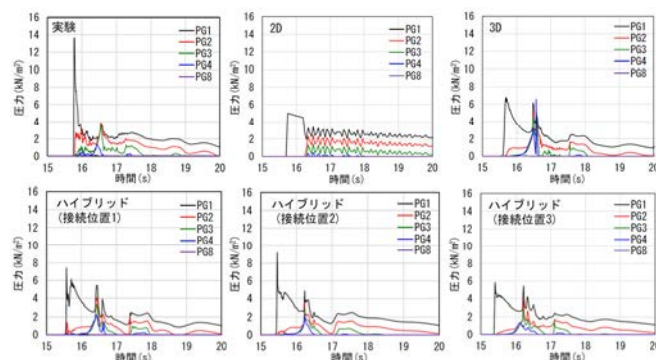


図-5 壁体に作用する波圧の時系列