

浅瀬を有する島嶼に入射する津波の数値解析

工学部 柿沼 太郎・山口 翔

1. 序 論

エーゲ海のサントリニ島における火山噴火に伴う津波は、津波に関する最古の記録の一つと言われている（首藤，2017）．火山活動が活発な地域に位置する島嶼では、島嶼及びその近傍に、津波の波源が生じる可能性が高い．火山噴火が引き起こす津波では、海洋で発生する海底地震津波ほど、津波高さが大きくならなくても、津波が発生した時刻から、陸上に遡上した津波が水位のピークを示すまでの時間が短くなるという危険性がある．また、2018年12月には、インドネシアのスダダ海峡にある活火山のアナク・クラカタウが噴火し、これが引き金となって地盤が崩落し、津波が発生した（Tappin ら，2019）．この場合、島嶼自体が、津波の発生源となったことになる．

一方、2004年12月に発生したインド洋大津波は、島国であるスリランカやモルディブにも到達したが、これは、遠方の海底地震に伴い発生した巨大津波が、島嶼を襲った例である．

約500 kmにわたって連なる、鹿児島県の薩南諸島も、こうした津波に対して防災対策を進めておく必要がある．近年においても、2009年10月の奄美大島北東沖地震等に伴い、津波が島嶼に達している（羽鳥，2011）．しかしながら、島嶼部における津波の挙動に関しては、未解明な点が多い．島は、津波を捕捉し、津波高さを増幅させる特性を示す（藤間ら，1996）．また、島嶼周辺の海底地形は、複雑な様相を呈していることが多く、例えば、波浪に対してであるが、南西諸島のリーフ地形上で、水位の異常な上昇が観測されている（仲座ら，1994）．

そこで、本研究では、島嶼周辺における津波の基礎的研究として、鹿児島県の与論島や、沖縄県の伊平屋島のように、サンゴ礁等の浅瀬を有する島嶼を対象として、島嶼のモデル地形に入射する津波の3次元数値解析を行ない、浅瀬の有無や位置が、津波の伝播過程に対してどのような影響を及ぼすのかを調べる．

2. 数値解析の手法及び条件

数値モデルとしてCADMAS-SURF/3D（沿岸技術研究センター，2010）を適用し、図-1～図-4に示すような水域内の3次元流体運動を解析対象とする．

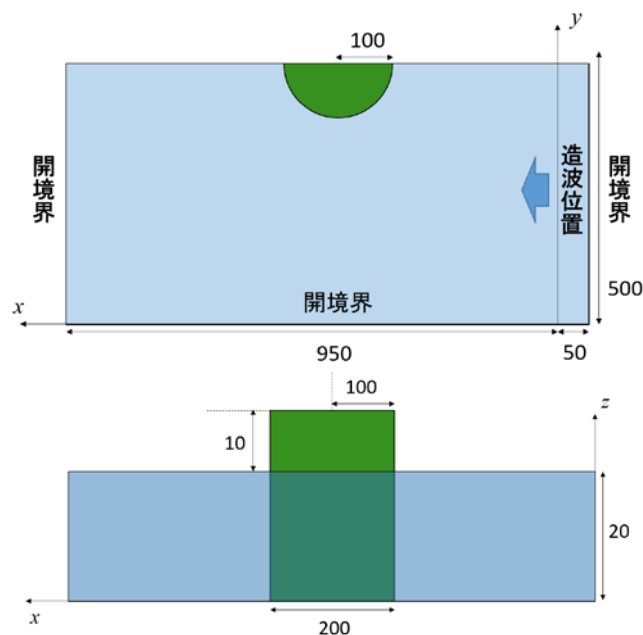


図-1 浅瀬のない島嶼（単位: m）

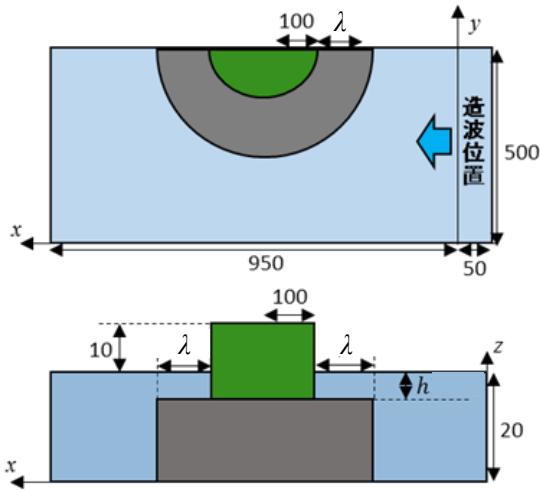


図-2 浅瀬が周囲にある島嶼 (単位: m)

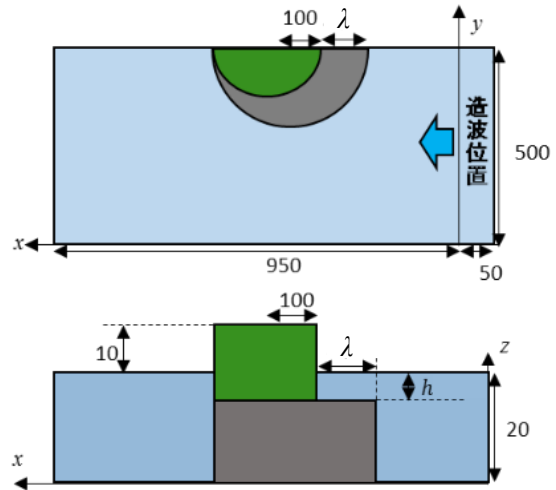


図-3 浅瀬が主として前方にある島嶼 (単位: m)

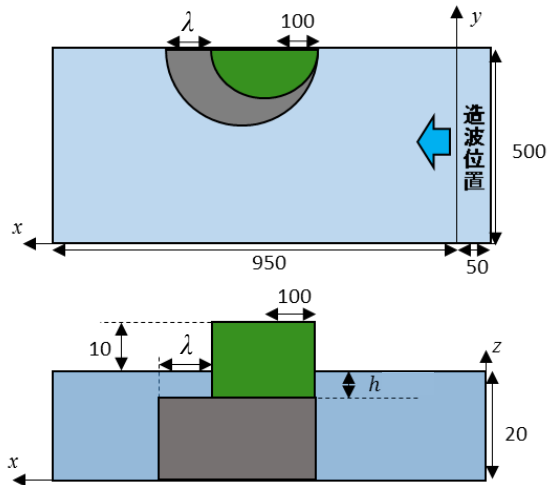


図-4 浅瀬が主として後方にある島嶼 (単位: m)

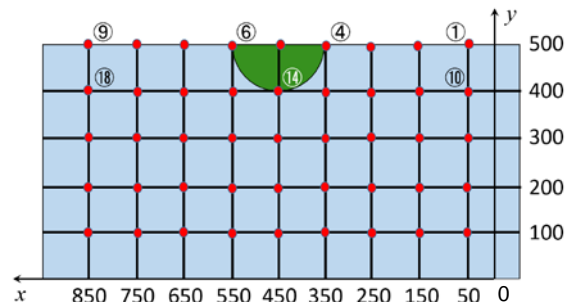


図-5 対象領域の水平方向の座標 (単位: m)

ここで、図-1～図-4には、俯瞰図と側面図が描かれている。このうち、図-1は、浅瀬のない円柱状の島嶼がある水域を示す。本研究において、島嶼底面の半径は、100.0 mとする。

他方、図-2～図-4は、浅瀬に囲まれた円柱状の島嶼がある水域を示す。浅瀬の底面は、円とする。図-2に示す場合、浅瀬が島嶼の周囲にあり、浅瀬底面の半径は、100.0 m+λである。ここで、λは、島嶼前端及び後端位置の浅瀬の幅であり、λ=50.0 m、または、200.0 mとする。また、図-3に示す場合には、浅瀬が主として島嶼の前方に位置し、浅瀬底面の半径は、100.0 m+λ/2である。ここで、λは、島嶼前端位置の浅瀬の幅であり、λ=50.0 m、または、200.0 mとする。そして、図-4に示す場合には、浅瀬が主として島嶼の後方に位置し、浅瀬底面の半径は、100.0 m+λ/2である。ここで、λは、島嶼後端位置の浅瀬の幅であり、λ=50.0 m、または、200.0 mとする。

図-5に、対象領域の水平方向の座標を示す。ここで、y=500.0 mを完全反射境界とし、対象領域の半分を解析対象としている。海域の他の境界には、Sommerfeldの放射条件を適用する。静水位は、z=0.0 mとする。また、海域内の位置 x=50.0 mにおいて与える入射波は、波高が2.0 mである孤立波とする。

図-1の島嶼外及び図-2～図-4の浅瀬外の静水深 h_0 は、20.0 mで一様とし、他方、浅瀬上の静水深 h は、2.0 m、または、8.0 mの2通りとする。簡単のために、底面摩擦の影響を無視し、島嶼の陸域における浸水を考えない。

計算格子間隔は、 $\Delta x = \Delta y = 5.0$ mとし、また、 $\Delta z = 1.0$ mとする。なお、 $\Delta x = \Delta y = 2.0$ m及び $\Delta z = 1.0$ mとした場合と比較して、水位に有意な違いが現れないことを確認した。他方、計算時間間隔は、CFL条件を満足するよう自動的に決定する。

3. 島嶼前方の浅瀬の存在が津波に与える影響

島嶼前方の浅瀬の影響を検討するため、図-1～図-3 の場合を比較する．ここでは、島嶼前端位置の浅瀬の幅を $\lambda = 50.0 \text{ m}$ とし、また、浅瀬上の静水深を $h = 8.0 \text{ m}$ とする．図-5 に示す、 $x = 350.0 \text{ m}$ 、 $y = 500.0 \text{ m}$ の地点④における水面変動 η の数値解析結果を図-6 に示す．

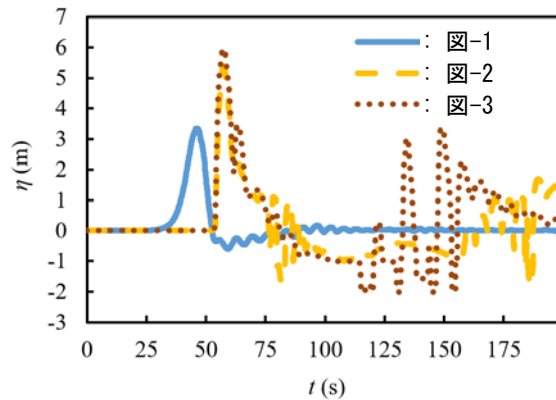


図-6 島嶼前端位置（図-5 に示す地点④）における水面変動の数値解析結果

浅瀬が島嶼の前方にある図-2 及び図-3 の場合に、浅瀬上で浅水変形が生じるため、浅瀬のない図-1 の場合より津波高さが大きくなっている．図-3 の場合における水位分布の時間変化を図-7 に示す．ここで、水位のスケールを図-8 に示す．

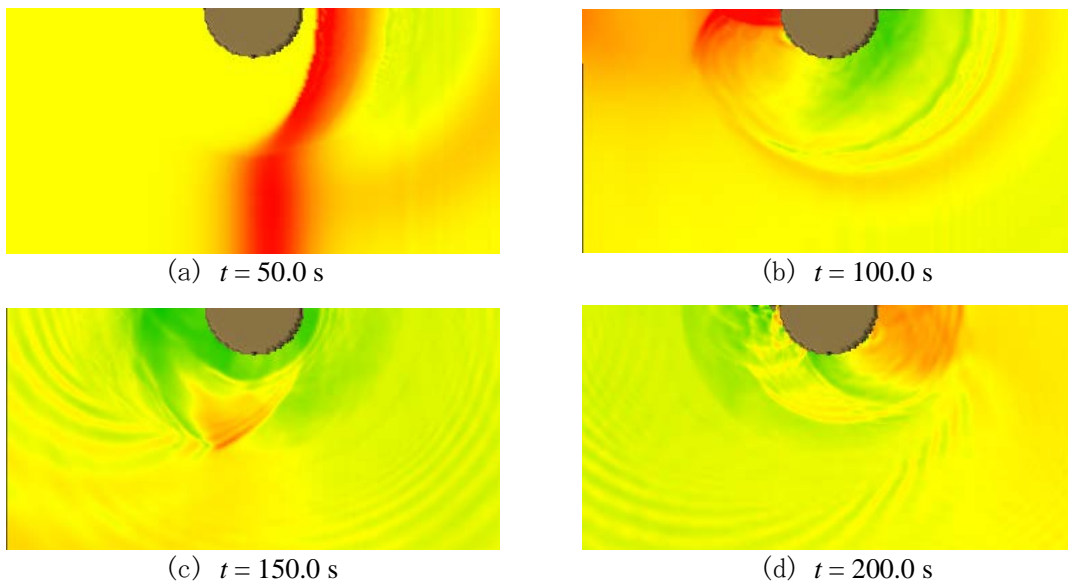


図-7 図-3 の場合の水位分布の時間変化 ($\lambda = 50.0 \text{ m}$ 、 $h = 8.0 \text{ m}$)

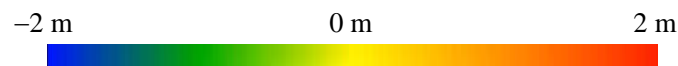


図-8 水位分布のスケール

図-7 より、時刻 $t = 100.0 \text{ s}$ において、島嶼背後で、島嶼の左右を通過した津波の重合が生じ、島嶼後端位置付近の津波高さが増加している．そして、 $t = 150.0 \text{ s}$ において、島嶼を回り込んだ津波が島嶼前方に向かって進行し、 $t = 200.0 \text{ s}$ において、島嶼前端位置付近で津波が重合して、再び津波高さが増加している．

4. 島嶼後方の浅瀬の存在が津波に与える影響

島嶼後方の浅瀬の影響を検討するため、図-1、図-2 及び図-4 の場合を比較する．ここでは、島嶼後端位置の浅瀬の幅を $\lambda = 50.0 \text{ m}$ とし、また、浅瀬上の静水深を $h = 2.0 \text{ m}$ とする．図-5 に示す、 $x = 550.0 \text{ m}$ 、 $y = 500.0 \text{ m}$ の地点⑥における水面変動 η の数値解析結果を図-9 に示す．

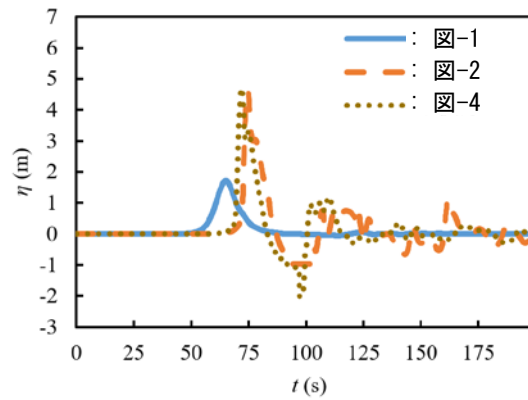


図-9 島嶼後端位置（図-5 に示す地点⑥）における水面変動の数値解析結果

浅瀬が島嶼の後方にある図-2 及び図-4 の場合に、島嶼の左右を通過した比較的津波高さの大きな津波が島嶼背後で衝突し、島嶼後端位置付近で、津波高さが大きくなっている．図-4 の場合における水位分布の時間変化を図-10 に示す．ここで、水位のスケールは、図-8 に示されている．

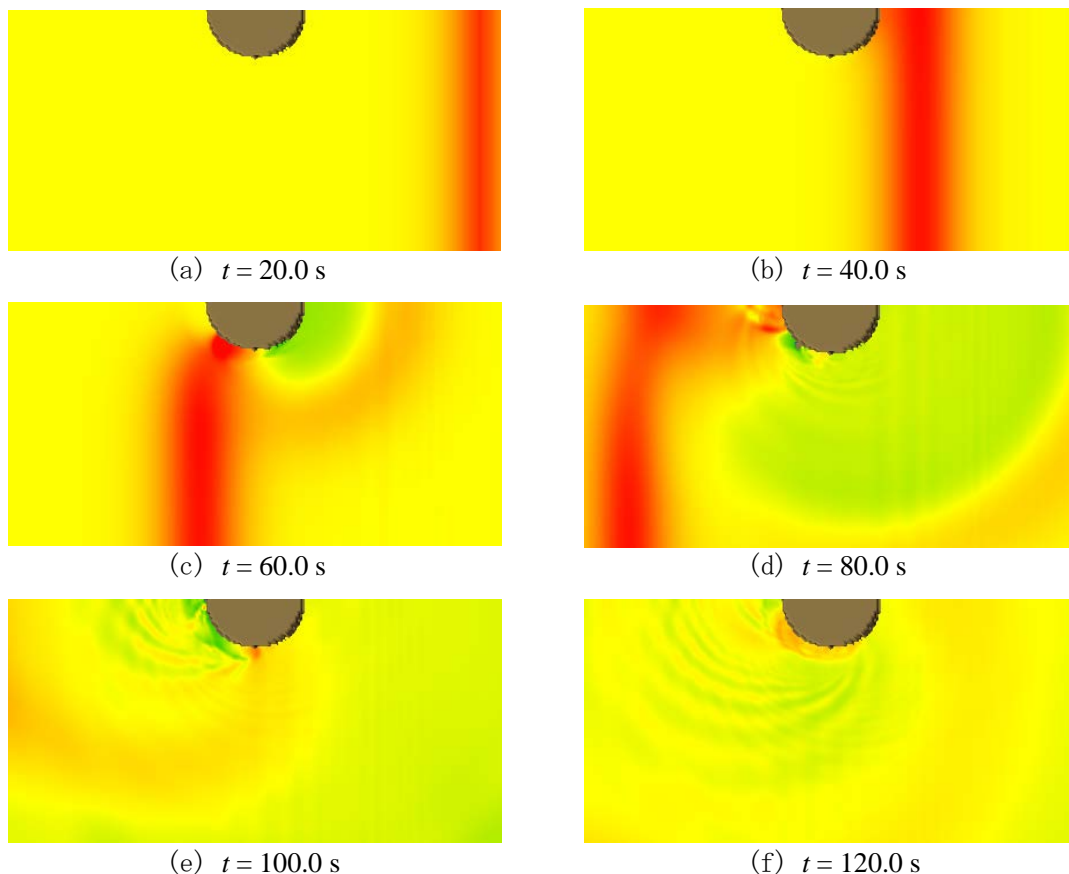


図-10 図-4 の場合の水位分布の時間変化 ($\lambda = 50.0 \text{ m}$ 、 $h = 2.0 \text{ m}$)

図-10 より、時刻 $t = 100.0 \text{ s}$ において、島嶼を回り込んだ津波が島嶼前方に向かって進行しているが、 $t = 120.0 \text{ s}$ において、島嶼前方での津波高さは、あまり大きくならない。

5. 結 論

浅瀬を有する島嶼のモデル地形に入射する津波の 3 次元数値解析を行ない、浅瀬の有無や位置が、津波の伝播過程に対してどのような影響を及ぼすのかを調べた。浅瀬が島嶼の前方にある場合には、浅瀬上で浅水変形が生じるため、浅瀬のない場合より津波高さが大きくなった。そして、島嶼の左右を通過した津波が、島嶼背後で重合し、その後、島嶼を回り込んだ津波が島嶼前端位置付近で再び重合した。一方、浅瀬が島嶼の後方にある場合には、島嶼の左右を通過した比較的津波高さの大きな津波が島嶼背後で衝突し、島嶼後端位置付近で津波高さが大きくなった。そして、島嶼を回り込んだ津波が島嶼前方に向かって進行したが、島嶼前方での津波高さは、あまり大きくならなかった。

参考文献

- 沿岸技術研究センター：CADMAS-SURF/3D 数値波動水槽の研究開発，沿岸技術ライブラリー，No. 39，235p.，2010.
- 首藤伸夫：地中海の津波－主にソロヴィエフ他に基いて－，津波工学研究報告，第 33 号，pp. 1-16，2017.
- 仲座栄三・津嘉山正光・田中 聡：リーフ海岸における波・サーフビートに関する研究，海岸工学論文集，第 41 巻，pp. 86-90，1994.
- 羽鳥徳太郎：2009 年 10 月 30 日奄美大島北東沖地震津波の波源域と津波規模，津波工学研究報告，第 28 号，pp. 1-3，2011.
- 藤間功司・Yuliadi, D.・Briggs, M. J.：島の津波遡上高に及ぼす非定常性の効果，津波工学研究報告，第 13 号，pp. 101-114，1996.
- Tappin, D., Grilli, S., Ward, S., Day, S., Grilli, A., Carey, S., Watt, S., Engwell, S. and Muslim, M.：The devastating eruption tsunami of Anak Krakatau - 22nd December 2018, Geophys. Res. Abs., Vol. 21, EGU, 2019.