

非構造格子を用いた数値計算の津波波力に関する適用性の検討

防衛大学校 学生会員 ○長屋 昌弘
防衛大学校 正会員 嶋原 良典
防衛大学校 正会員 藤間 功司

1. はじめに

2004 年 12 月にスマトラ島沖地震により発生した津波は、各国に多大な被害を発生させた。地震が多発するわが国においても、東南海・南海地震または東海地震が発生した場合、地震に伴う津波により沿岸域では甚大な被害を受けることが予測される。したがって、市街地での津波の挙動を正確に把握し、陸上施設や建物への影響を予測することは、津波防災対策を策定する上で重要な課題である。しかし、津波が遡上し構造物に及ぼす影響を検討した例は多くはない。

本研究は、陸上構造物に対する津波波力を検討することを目的に、遡上域における波力に関する模型実験および非構造格子を用いた数値解析を実施した。

2. 数値減衰に関する予備的検討

数値散逸に関する予備的検討するため、非構造格子による有限体積法において、波の伝播距離と波高の減衰の関係について調べた。一様水深の 2 次元水路において、計算領域の境界に流量フラックスを単位振幅の正弦波を入力した。入力値と計算最高水位の比を縦軸にとり、横軸に波の伝播距離を波長 L で無次元化して最高水位の低減を図 1 に示した。 N は一波長間に含まれる格子点の数を表わす波長分割数、 Cr は数値安定性の条件を定める無次元量のクーラン数である。 Δx は最大格子間隔、 Δt は時間積分間隔、 g は重力加速度、 h は静水深である。

$$N = L / \Delta x$$

$$Cr = (\Delta t / \Delta x) \sqrt{2gh}$$

これらの関係を見ると、 $N = 10$ とした場合、 Cr に関わらず一波長の伝播距離で大きな数値散逸が生じてしまう。しかし、 N を 20 以上にとれば Cr に関わらず十分に精度の高い計算結果が得られる

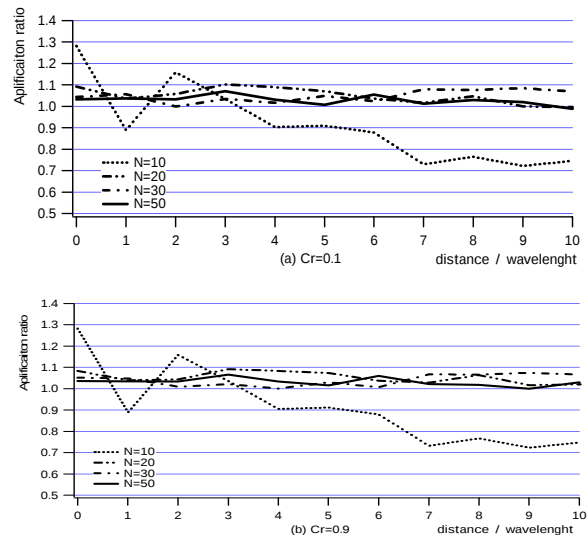


図1 水位減衰率に対する波長分割数と伝播距離の関係

ことが分かった。このように Cr と N が計算結果に与える影響を相対的に比較すると、 N の方がはるかに数値散逸を左右するといえる。

また、正方格子による有限体積法の数値散逸に関しても同様の結果となった。加えて、正方格子の場合、有限体積法と差分法でほぼ同じ結果が得られることを確認している。

3. 模型実験

実験装置の概要を図 2 に示す。海域の長さは 7.43m、陸域の長さは 3.57m である。縮尺はフルード相似則において 1/100 である。海域の中にある斜面勾配は 1/3 とした。建物模型は、10cm × 10cm、高さ 10cm の木材を使用し、岸壁から 20cm の位置に等間隔で配置した(図 3)。この建物模型に 3 分力計を設置し波力を測定する。衝撃的な波力を計測するため、サンプリング周波数を 1000(hz)とした。また、実験ごとのばらつきを考慮して 1 ケースについて 5 回ずつ計測し、その平均値を用いた。波はピストン造波装置を用いて、孤立波を 1 波のみ発生させた。孤立波の波高は 3.5cm、波高水深比は 0.058 である。

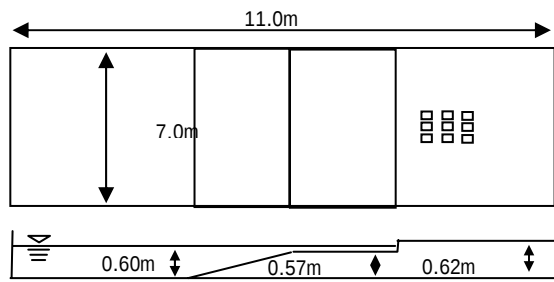


図2 平面水槽の概念図

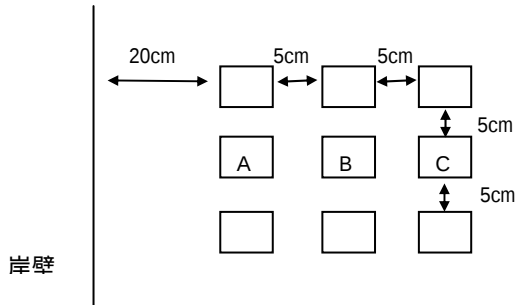


図3 建物周辺の配置図

4. 数値計算

計算領域を三角形の非構格子（形状および配列に規則性を持たない解析格子）に分割する． x ， y 方向の流量フラックス(M ， N)，および流速(u ， v)を非構格子の境界（三角形の辺の midpoint）で，水深(h)を非構格子の図心で定義し，Leap-Frog 法を用いて時間発展させた．9 個の建物群の壁面は不透過とし，水深や流速が大きく変化と思われる建物周辺はより小さなメッシュで切った．総メッシュ数は 62816 個である．波長分割数は N は 100，クーラン数 Cr は 0.9 とした．支配方程式は連続の式と運動の式であり，非線形長波理論（浅水理論）を適用する．境界での入力値は，造波板の移動変位を線流量に換算して強制入力した．

5. 結果

数値計算において，建物模型に作用する波力は，模型の前面と後面の圧力に静水圧分布を仮定し，その圧力差から次式により計算する．

$$F = \frac{1}{2} g \rho (h_a^2 - h_b^2) b$$

h_a は前面の浸水深， h_b は後面の浸水深， b は建物の幅である．実験と計算から求めらめた波力 F を比較した結果が図 4 である．これより両者は最大値が一致しており，静水圧分布がおおむね成立していることが分かる．

しかし，波力が作用する時間に，約 2 秒のずれが

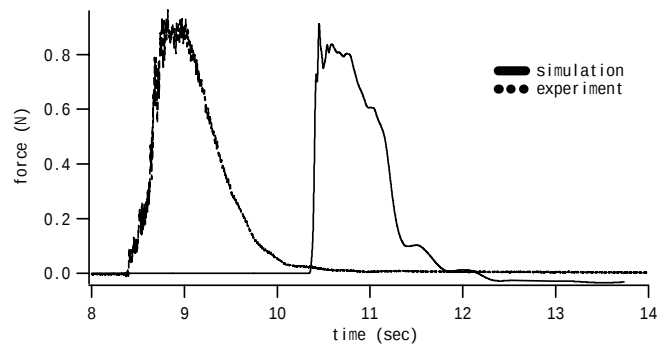


図4 波力の実験と計算の比較

ある．実験では水深が 3 cm と浅くなった領域において碎波が発生しており，非線形長波理論を使用した計算では伝播速度を正確に再現することは難しいと思われる．

6. おわりに

本研究は，非構格子を用いた有限体積法により陸上構造物に対する津波の影響を検討した．その結果，非構格子を用いた有限体積法においても，波長分割数 $N=20$ 以下では数値減衰に大きく影響を与えることが分かった．また，非構格子を用いた有限体積法モデルによって，構造物が設置された遡上域の津波波力の最大値と時間変化をおおむね再現できることが分かった．

しかし，碎波の位相速度に対しては再現できなかった．今後，碎波の時系列評価の精度向上および構造物周りのメッシュサイズについて経済的な大きさの評価が検討課題である．

参考文献

- 1) 後藤智明，小川由信：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，1982, 20p
- 2) 前野詞朗，小川信：非構格子有限体積法による水理構造物周辺流れの数値解析，応用力学論文集 Vol6，2003，pp.857-864
- 3) 秋山轟一郎，重枝末玲，小林俊彦，大田和正：定常自由表面流の正角柱に働く流体力，水工学論文集，Vol46，2000，pp.827 - 832