

第Ⅱ部門

数値解析を用いた津波行方不明者捜索支援に関する基礎的検討

京都大学工学部地球子学科 学生員 ○篠原翔太
 京都大学大学院工学研究科 正会員 米山望

1. 研究の目的

東日本大震災の津波被害により、多数の死傷者と行方不明者が出た。この震災以降、防災や減災といったテーマの研究は盛んに進んでいるが、行方不明者捜索支援に関する研究はあまり行われていない。本研究では、津波による一般的な地形での人の流され方の特徴を明らかにし、その結果から捜索範囲を限定することで捜索活動効率が向上し、それによる行方不明者の早期発見および全体数の減少を最終目標とした捜索支援に関する研究を行った。

2. 研究の方針

本研究では、津波による一般的な地形での人の流され方の特徴を明らかにするためにいくつかの異なる地形で解析を行い、人の流され方で共通の特徴があるかどうかを明らかにするという方針のもと、その前段階として、具体的な地形の一つ挙げ、その地形において平面二次元で津波挙動の解析を行い、具体的な地形における人の流され方に特徴があるかどうかを検討した。具体的な地形として、宮城県女川町を選択した。過去にこの地形において平面二次元津波挙動解析を行い、再現性が確かめられている^[1]こと、行方不明者数が非常に多いことが選定理由である。そして、計算の簡易化のため、人を大きさと質量をもつ粒子と仮定し、計算を行った。

3. 解析手法

本研究で用いた解析手法の概要を述べる。本研究では、米山らが開発した自由液面解析コードを用いた平面二次元津波挙動解析手法に粒子に作用する波力と座標更新の式を組み込み、解析を行った。粒子に作用する波力は以下の式に示す。

$$F_{Mx} = \frac{1}{2} C_D \rho A_{yz} (U - U_{px}) |U - U_{px}|$$

ここに、 C_D ：抗力定数、 ρ ：流体密度、 A_{yz} ：x 軸に垂直な面で切った粒子の断面積、 U ：x 方向の流速、 U_{px} ：粒子の x 方向速度である。y 方向の波力についても同様に表される。また、粒子の座標更新には以下に示す。

$$px^n = px^{n-1} + U_{px}^{n-1} \cdot dt$$

$$U_{py}^n = U_{py}^{n-1} + \frac{F_{My}}{m} \cdot dt$$

ここに、 dt ：時間刻み、 m ：粒子の質量である。y 方向の座標更新の式についても同様に表される。粒子の座標を計算するにあたって、流速の値が必要になるが、計算メッシュ一つに対して流速の値が一つしか出力されないため、それらの出力されている流速の値を用いて線形補間を行い、メッシュの中の流速を求めた。これらの式を用いて女川湾における粒子の平面二次元における粒子の挙動を追跡することを可能にした。

4. 解析ケースの概要

本研究では3つの解析ケースで粒子の挙動について比較、検討した。

解析ケース1では、粒子の初期位置を女川湾防潮堤内沿岸部に満遍なく配置し、粒子の流れ着く場所の特徴について検討した。

T= 2020.00000 XY plain z= -32.40(k=3)
 Water level max=0.710993

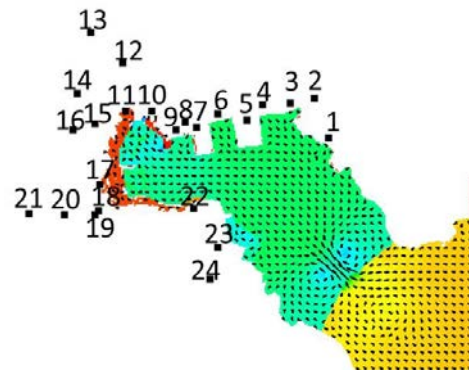


図1 解析ケース1の粒子初期位置

解析ケース2では、ケース1の粒子の初期位置から津波によって防潮堤の外に流出した粒子の挙動について検討した。最後にケース3では、ケース1~3において粒子の初動条件は、3の解析手法の式にある通り、津波が粒子のいる座標に到達、つまり流速が与えられると波力が発生し、それにより粒子が動き出していたが、実際に人が津波に流される際は少しの間抵抗するという想定から、粒子が特定の単位幅比力の値を超えると座標が更新されるという条件に変更し、粒子の流され方をケース1と比較検討した。なお、粒子の初期位置はケース1と同様である。

5. 解析結果と考察

(1) 解析ケース 1

解析ケース 1 の結果を以下に示す。

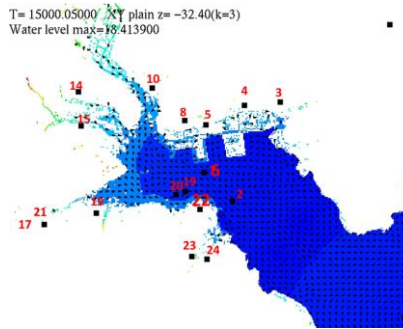


図2 解析ケース 1 最終結果

地震発生後 1,5000 秒の粒子の粒子番号 17,21,19 や粒子 23,24 は図 2 の通り陸に残っているが、これらの粒子の初期位置の特徴として、防潮堤開口部から流れてくる津波の進行方向に対して垂直な方向に広がっている地形であることが挙げられる。また、防潮堤の外に流出した粒子の初期位置の特徴として、津波の進行方向に位置する地形であることが挙げられる。原因として、津波の進行方向にある地形は津波の影響をより強く受けやすく、引き波が強くなるため海に引き戻されやすい、また、波の進行方向から外れている場所は津波の影響がより小さいため、引き波が弱く、海に引き戻されにくいということが考えられる。さらに粒子 17,21,19 については遡上した地形の北部に残らずに南部に残った。これは引き波の方向が南東方向だったためと考えられる。今後、女川町以外の地形でも同様の解析を行い、今回得られた結果と同じように津波の進行方向に対して粒子の陸の残りやすさが変化するかどうか、また陸に残る場所の特徴として、引き波の方向に残るのかどうかを検討することで、今回得られた結果が他の地形においても同様に言えるのか検証する必要がある。

(2) 解析ケース 2

地震発生後 1,5000 秒後の防潮堤外に流出した粒子の配置を以下の図に示す。

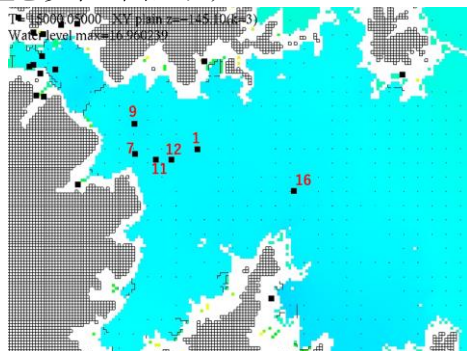


図3 防潮堤外に流出した粒子の最終配置

防潮堤外に流出した粒子は陸に残ることなく東の遠方に流されていくことが分かった。これ以上の粒

子の挙動の詳細が検討できないため、今後津波が収束した後の粒子の水中での挙動について検討できる手法の開発が必要であると考えます。

(3) 解析ケース 3

地震発生後 1,5000 秒後の粒子の配置を以下に示す。

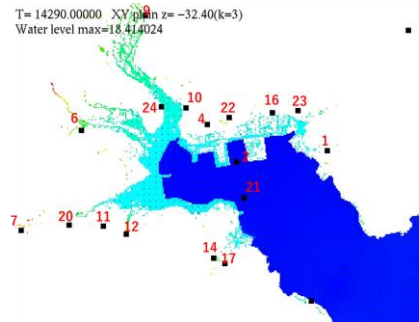


図4 解析ケース 3 最終結果

解析ケース 1 と比較して陸に残る粒子の数と残っている場所に大きな違いがないことが分かる。ただし、粒子 9,24 が新たに陸に残っていることから陸に残る粒子数が増加していることも分かった。また、初動条件変更により、粒子の始動する時間が解析ケース 1 と比較して 10 秒程度遅くなったという結果も得られた。初動条件を変更したことから、始動時間が遅れたこと、また陸に残る粒子数が増加したことから、今後女川湾以外の地形で解析を行う場合は、解析ケース 3 の条件で行うことが必要である。

6. 結論

本研究では、平面二次元津波挙動解析手法を用いて粒子の挙動を女川湾にて追跡することで、ある具体的な地形における津波による人の流れされ方の特徴について検討した。解析の結果、女川湾における粒子の流れされ方の特徴として、津波の進行方向に位置する粒子は防潮堤外に流出しやすく、また、津波の進行方向に対して垂直に広がる地形に位置する粒子は陸に残りやすく、残る場所として引き波の方向に残りやすいということが分かった。また、防潮堤外に流出した粒子は陸に残ることなく東の遠方に流されていくことが分かった。さらに、粒子の初動条件を変更した解析ケース 3 で粒子の始動時間が 10 秒程度遅くなり、陸に残った粒子の場所に大きな変化はないものの、陸に残る粒子数が増加する地形があることを確認した。今後の方針として、これまでの解析結果で得られた粒子の初期位置ごとの流れ方の特徴の違いについて他の地形でも検討し、その特徴が一般的なものであるのかどうかを検証していく予定である。

7. 参考文献

- [1] 坂東直樹: 建物に作用する津波外力に対する周辺建物の影響 2019