

数値解析による津波被害での行方不明者搜索支援の基礎的研究

京都大学工学部地球工学科 学生員 ○篠原翔太
京都大学防災研究所 正会員 米山望

1. 研究の目的

2011年に発生した東日本大震災の大規模な津波により、多数の死傷者と行方不明者が出た。この震災から、防災や減災といったテーマの研究は盛んに研究されるようになったが、行方不明者の搜索支援に関する研究はあまり行われてこなかった。そこで本研究では、一般的な地形での津波による人の流され方の特徴を、平面二次元津波挙動解析を用いて明らかにし、その結果から搜索範囲を絞り、搜索活動効率を向上させ、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搜索支援に関する研究を行った。

2. 研究の方針

本研究では、一般的な地形での津波による人の流され方の特徴を明らかにするため、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、まずは具体的に一つの地形を挙げ、その地形において平面二次元で津波挙動解析を行い、その地形における人の流され方に特徴があるかどうかを明らかにする。具体的な地形として、女川湾を選択した。選定理由は、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、東日本大震災での行方不明者数が多い地形であることが挙げられる。そして、今回の研究では、計算の簡易化のため、人を大きさや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H-FRESH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、 F_{Mx} : 波力、 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。

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

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

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際、流速の値が必要になるが、計算メッシュに対してそれぞれ流速の値が一つしか出力されない。そのため、出力される流速を3つ用いて線形補間を行い、全座標における流速の値を計算し、そうすることですべての計算領域内において粒子の座標の値が出力されることを可能にした。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。

ケース1では、粒子の初期位置を図1のように女川湾防潮堤内沿岸部に満遍なく配置し、初期位置の違いによる粒子の流れ着く場所の特徴について検討した。また防潮堤は図1の赤楕円で示した部分である。

ケース2では、ケース1の粒子の初期位置は同様で、津波に流され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, 2において粒子の初動条件は、3章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し流速の値が与えられると波力が発生し、その外力により粒子座標の値が変化するという流れであったが、実際に人が津波に流される際は少しの間抵抗すると考え、一定の単位幅比力の値を超えてから粒子の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

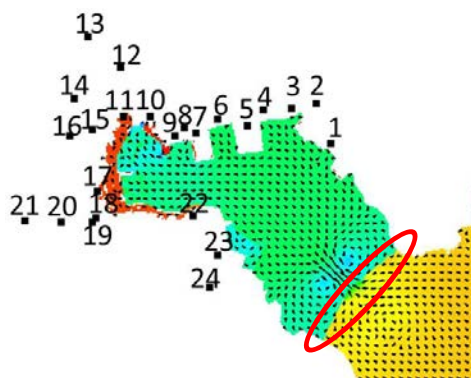


図1 粒子初期位置

キーワード 行方不明者搜索, 女川湾, 粒子, 津波挙動解析
連絡先 京都市左京区北白川東小倉町 39-1 080-6333-7855

5. 解析結果と考察

(1) ケース 1

ケース 1 の地震発生後 15,000 秒の粒子の配置を図 2 に示す。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。これらの粒子は、津波到達前に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に位置していた。また、防潮堤の外に流出した粒子は、津波の進行方向に位置する地形に位置していたという特徴があることが分かった。これらの原因として、津波の進行方向に位置する場所は津波の影響を強く受けやすく、引き波が強くなるので湾内に引き戻される可能性が高くなり、また、波の進行方向に位置しない場所は津波の影響が小さいため、引き波が弱く、湾内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ることなく、全て南部に残った。これは引き波の方向が南東だったからと考えられる。今後、女川湾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、津波の進行方向と粒子が初期に位置する地形の関係が、粒子の流された後の陸の残りやすさにどう影響するのか、また陸に残る場所は、引き波の方向に影響する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。

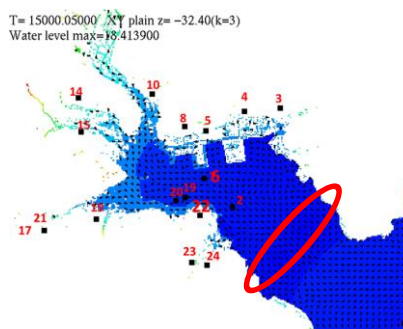


図 2 ケース 1 最終結果

(2) ケース 2

地震発生後 15,000 秒後の防潮堤外に流出した粒子の配置を図 3 に示す。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行った。現状、遠方に流された粒子は詳細に挙動を追跡できないため、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る。

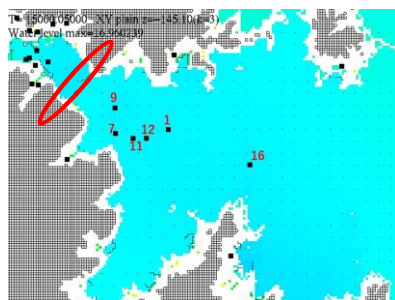


図 3 防潮堤外に流出した粒子の最終配置

(3) ケース 3

ケース 3 の地震発生後 15,000 秒後の粒子の配置を図 4 に示す。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変化はないことが分かった。しかし、粒子 9, 24 が新たに陸に残っており、陸に残る粒子数が増加しているため、今後初動条件をケース 3 の条件で計算することが必要であることも分かった。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、ケース 3 の条件で行うことが必要である。

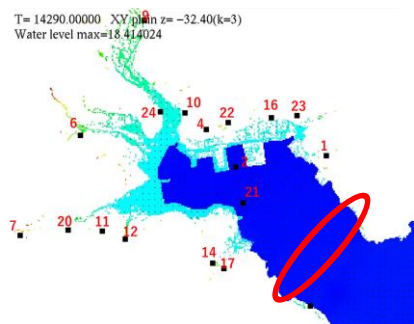


図 4 ケース 3 最終結果

6. 結論

本研究では、女川湾において、平面二次元津波挙動解析手法を用いて粒子の挙動を追跡することで、ある具体的な地形における、津波による人の流され方に特徴があるかどうか検討した。解析の結果、女川湾における粒子の流され方の特徴として、粒子が初期に位置する場所が津波の進行方向に位置する粒子は防潮堤外に流出する傾向があり、また、津波の進行方向に対して垂直に広がる場所に位置する粒子は陸に残りやすく、また陸に残る場所の特徴として、引き波の方向に残りやすいという特徴があることが分かった。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ケース 3 で粒子の始動時間がケース 1 と比較して 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かったが、陸に残る粒子数が増加する地形があることも分かった。今後、これまでの解析結果で得られた粒子の初期に位置する地形ごとの、粒子の流され方の特徴の違いについて女川湾以外の地形でも検討し、その特徴が一般的なものがどうかを検証していくことを研究の方針としていく。

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