

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04947

研究課題名（和文）津波複合災害予測における土砂移動および物体漂流の影響度評価手法に関する研究

研究課題名（英文）Research on the prediction method of sediment and drifting objects behavior during tsunami complex disaster

研究代表者

米山 望（Yoneyama, Nozomu）

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：90371492

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：地震津波を起因とする土砂移動および物体漂流の影響度評価手法に関する研究を研究代表者らが開発した津波複合災害シミュレータ（以下、本手法）を用いて行った。(1)地すべりが引き起こす津波に対する本手法の妥当性を示すとともに、地すべり津波の規模の評価における地すべり塊体積の重要性を示した。(2)砂丘を乗り越える津波が防潮堤に与える津波波力について、本手法の妥当性を示した後、防潮堤に衝突する津波の挙動を明らかにするとともに、津波波力の増加程度を把握した。(3)防潮堤前面における津波漂流物の挙動について、本手法の妥当性を示した後、漂流物の大きさや初期位置により衝突挙動が異なるメカニズムを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地震津波を起因とする土砂移動および物体漂流の影響度評価手法に関する研究を行い、地すべり津波や砂丘を乗り越える津波、防潮堤前面における津波漂流物挙動など、これまであまり注目されていなかったために、評価手法が確立されているとは言えない現象の解明取り組み、現段階での知見を明らかにした。これらの検討は今後も進められる必要があり、本研究の成果が一定の貢献をすることが期待される。また、津波複合災害シミュレータという統一された枠組みにより複数の異なる現象を適切に予測評価できることを明らかにしており、このシミュレータをさらに使いやすく発展させることにより、今後の津波複合災害の予測に役立てることができる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we used a tsunami complex disaster simulator (hereinafter referred to as this method) developed by the principal investigators to study the impact assessment method of sediment movement and drifting objects caused by earthquake tsunamis. (1) We confirmed the validity of this method for tsunamis caused by landslides, and showed the importance of landslide mass volume in assessing the scale of landslide tsunamis. (2) We confirmed the validity of this method for the tsunami wave force acting on a seawall caused by a tsunami overrunning a sand dune, clarified the behavior of the tsunami colliding with the seawall, and understood the degree of increase in tsunami wave force. (3) After confirming the validity of this method for the behavior of tsunami drifting objects in front of the seawall, we clarified the mechanism by which collision behavior differs depending on the size and initial position of the drifting objects.

研究分野：津波災害

キーワード：津波 漂流物 土砂移動 防潮堤 数値解析 地すべり 流起式可動防波堤

1. 研究開始当初の背景

津波が陸域に來襲すると、津波とともに、海上や沿岸の物体（本研究では、「物体」は移動可能であり移動中を含めて形状が変化しないものを指す。）土砂、塩分を陸域に運搬する。地上の人や構造物等は津波およびその運搬物により大きな被害を受ける。また、陸域に押し寄せた津波は、自動車や橋桁などの物体を浮遊させ、その浮遊物がさらなる被害を引き起こす。加えて、津波が沿岸や陸上の土砂を洗掘することにより、防波堤などの海岸構造物の耐力を大きく損ねるとともに、巻き上げられた土砂により見かけの流体密度が増加することにより防潮堤等への作用力が増大することが懸念される。

従来の津波予測は防波堤よりも海側が中心であったが、東日本大震災を受け、防波堤より内側の津波挙動まで検討されるようになってきた。その一方で、津波被害をさらに増加させる土砂や物体などの影響を考慮する被害予測手法はまだ整備されている状況ではない。また、平成30年9月28日に発生したインドネシア・スラウェシ島の地震では、まだ調査中ではあるが、地すべりにより津波が発生もしくは被害が増加した可能性が指摘されている。このような海底や陸上地すべりの評価手法はまだ研究段階といえる。

2. 研究の目的

津波が引き起こす被害のうち、(1)津波による土砂の巻き上げによる被害や、(2)津波漂流物による被害、(3)海底や陸上で地すべり土塊による津波発生など、土砂や（漂流物や地すべり土塊などの）物体と津波が連動して引き起こす被害の予測手法は、確立されているとは言えない。

本研究ではまず、津波によって土砂や物体が移動する現象、地すべり土塊が津波を発生させる現象のメカニズムを水理実験により把握するとともに、それらを表現できる三次元解析モデルを開発・整備する。その上で、波源域から沿岸域までの津波挙動を予測評価できる既開発の津波複合災害シミュレータに組み込んで具体的な地点に適用し、土砂や物体と津波の連動による津波被害を明らかにするとともに、被害低減対策方法を提案する。

3. 研究の方法

本研究では、(a)地すべり津波の発生を予測評価できる三次元解析モデルの開発(地すべり津波)、(b)津波による土砂移動を予測評価できる三次元解析モデルの開発(土砂移動)、(c)津波による物体移動挙動を予測評価できる三次元解析モデルの開発(物体移動)をそれぞれ行ったうえで、既開発の津波複合災害シミュレータに組み込む。次に、(a)~(c)に対応した水理実験結果と比較してそれぞれのモデルの妥当性を確認する。そのうえで、津波複合災害シミュレータを用いた数値解析を行い、土砂や漂流物の介在による津波被害の増分把握に取り組む。

4. 研究成果

本研究では、土砂移動に関する研究として、(1)地すべり津波に関する研究、(2)砂丘を乗り越えた津波が防潮堤に及ぼす津波波力に関する研究、(3)黒津波に関する研究を行った。また、物体移動に関する研究として、(4)防潮堤前面における津波漂流物挙動予測に関する研究、(5)流起式可動防波堤の実用化に関する研究を行った。それぞれの概要を以下に示す。

(1) 地すべり津波に関する研究

地震の発生に伴い陸上や海中の土塊が崩落して津波を引き起こす。この津波は単独で発生するだけでなく、海溝で発生した津波と同時に発生することにより被害をより大きくすることが懸念されている。本研究では、地すべり塊の挙動を適切に予測できる手法を開発して、津波複合災害シミュレータに組みこんだ。同シミュレータを用いて、既往水理実験で確認された地すべり津波の特徴を適切に予測評価できることを確認した¹⁾。

また、地すべり塊が移動する領域では、三次元の流体解析が必要となるが、津波は広域に影響を及ぼす現象であるため、すべてを三次元で予測評価することは現実的ではない。そのため、平面二次元と三次元の解析を連動させたハイブリッド解析を適用し、地すべり地点から離れた広域での津波挙動も適切に再現できることを明らかにした²⁾。

(2) 砂丘を乗り越えた津波が防潮堤に及ぼす津波波力に関する研究³⁾

防潮堤に作用する津波波力の予測精度をさらに向上させることが求められている。本研究で

は、防潮堤前面に砂丘が存在する場合に、砂丘を乗り越えた津波が防潮堤に及ぼす津波波力について検討した。この研究では、津波が砂丘の砂をどの程度移動させ、その移動により津波波力が増大するのか、砂丘砂の粒径が津波波力に影響を与えるのかなどがおもな検討対象となった。これらを検討するため、流れによる砂丘砂の移動を予測評価できる手法を開発し、津波複合災害シミュレータに組みこんだ。同シミュレータを用いて既往の砂移動水理実験に適用した。この際、砂丘砂が移動する解析および比較検討のため、砂丘と同じ形状を保つ固定床の実験も併せて行い、流速や水位、防潮堤に作用する津波波力などを測定した。

研究の結果、津波の来襲時、津波第一波の先端が高速で砂丘を乗り越え、一定の土砂を巻き込みながら防潮堤に衝突する。検討の結果、その際に移動する土砂はわずかであることが分かった。砂移動により防潮堤に作用する津波波力が増加する原因としては、砂移動による砂丘の高さ減少に起因した、砂丘による防潮堤の防御機能の低下および、土砂を巻き込むことによる津波の見かけの密度上昇に伴う衝突力の上昇が考えられる。上記の結果より、巻き込む土砂量がわずかであるため、砂丘の防御機能の低下および見かけの津波密度上昇もわずかであることが分かり、津波の第一波が防潮堤に与える津波波力は、砂丘の砂が移動しない場合に比べてあまり大きく変化しないことが分かった。

また、砂丘粒径を変化させた検討を行ったところ、粒径の変化により波力の増大は大きくないことが分かった。これについても、津波第一波先端流れによる土砂移動が小さいことが影響した結果と考えられる。

なお、津波第一波来襲以降の反射波、沖側への戻り流れなどの流体運動により砂丘の土砂が次第に移動し、砂丘の高さが低くなることも確認された。よって、一定時間後に再度津波が来襲する場合には、砂丘の防御機能は小さくなり防潮堤に作用する波力が増大することが示唆された。

(3) 黒津波に関する研究

海底の土砂などを巻き込むことにより密度を増した黒津波と呼ばれる津波の挙動に関する研究に着手した。黒津波は、土砂などの影響を受け海水より高い密度を持つが、防潮堤等に作用した場合、その密度上昇割合以上の割合で津波波力が増大することが懸念されており、そのメカニズムの解明が必要となっている。これらを検討した実験的な研究では、流れにより海底の土砂を巻き上げたのち、防潮堤に衝突する現象について詳細に検討されていたため、本研究においても底面土砂を巻き上げ、防潮堤に衝突する現象を適切に予測評価できる数値解析モデルを開発し、津波複合災害シミュレータに組みこんだ。それらを実験結果と比較検証したのち、さまざまな解析を行った。

研究の結果、津波が防潮堤に衝突する際の水面形状が同じ場合には、波力の増加分は密度の増加分におおむね一致すること、密度や粘性の変化により衝突時の水面形状が変化した場合には、波力の増加割合は密度の増加割合を上回ることが明らかになった。この研究については今後も継続して行う予定である。

(4) 防潮堤前面における津波漂流物挙動予測に関する研究⁴⁾

防潮堤に作用する津波波力を増大させる要因として、津波漂流物の衝突力が懸念されている。しかし、その衝突力を正確に予測評価する手法は十分整備されているとは言えない。そこで、防潮堤前面に漂流物が存在する場合のその漂流挙動や防潮堤への衝突可能性を評価できる手法を開発し、津波複合災害シミュレータに組みこんだ。

解析精度は既往実験との比較により検証した。具体的には、実験で行われた衝突実験による衝突回数を比較した。その結果、数値解析結果は実験結果の衝突可能性を高精度に再現できることが分かった。また、衝突の有無は、漂流物の初期位置と入力波の砕波点の位置関係により大きく左右され、初期位置が砕波点より沖側の場合は衝突の可能性が小さく、岸側の場合は大きいことが分かった。また、砕波点より岸側の場合には、漂流物が砕波に巻き込まれるように固定され、防潮堤まで運ばれることが分かった。

以上から、本研究で用いた解析モデルにより津波漂流物の防潮堤前面での挙動を適切に予測評価できることが分かった。

(5) 流起式可動防波堤の実用化に関する研究

流起式可動防波堤とは、津波等の強い流れが発生すると扉体が自動的に起き上がり防波堤の役割を果たすものである。そのため、必要な条件で自動的に起き上がるかどうかの実用化検討のための課題となる。そこで、初めに断面二次元解析を行い、既往実験と比較し、起き上がり速度や、起き上がり限界流速が実験と一致することを確認した。次に、三次元解析に拡張し、同様の結果が得られることを確認した。その上で、解析精度とメッシュ間隔の関係を検討したところ、

扉体の回転方向にはメッシュ間隔を大きくすることが可能なことが分かりこれにより計算時間の短縮が望めることが分かった。さらに、三次元的な水路を用いた解析を行った結果、孤立波では扉体が起き上がらない場合があるが、長周期波では今回の検討ケースでは、起き上がる可能性が高いことが分かった。以上から、本研究の成果により、流起式可動防波堤の実用化が期待できること、および、本研究で用いた解析モデルにより起立可能性を検討できることが分かった。

- 1) 浦上佳太, 米山望, 三次元流体剛体連成解析手法の地すべり津波に対する再現性検証, 自然災害科学, 40(2) 243-259, 2021, https://doi.org/10.24762/jnds.40.2_243
- 2) 浦上佳太, 米山望, 2DH3DHybrid手法による海底地すべり津波挙動の基礎的検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 77(2), I_247- I_252, 2021, https://doi.org/10.2208/kaigan.77.2_i_247
- 3) 何 思儀, 米山 望, 平石 哲也, 砂丘を乗り越えた津波が防潮堤に及ぼす波力に関する数値解析, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 78(2), I_241-I_246, 2022, https://doi.org/10.2208/kaigan.78.2_i_241
- 4) 米山 望, 民野裕介, 防潮堤前面での津波漂流物挙動に関する流体剛体連成解析手法の適用性について, 土木学会論文集, 79, 2023, <https://doi.org/10.2208/jscej.23-17115>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 何 思儀, 米山 望, 平石 哲也	4. 巻 78(2)
2. 論文標題 砂丘を乗り越えた津波が防潮堤に及ぼす波力に関する数値解析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2(海岸工学)	6. 最初と最後の頁 I_241 ~ I_246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.78.2_i_241	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 浦上 佳太, 米山 望	4. 巻 40(2)
2. 論文標題 三次元流体剛体連成解析手法の地すべり津波に対する再現性検証	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 自然災害科学	6. 最初と最後の頁 243-259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24762/jndsj.40.2_243	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 浦上 佳太, 米山 望	4. 巻 77(2)
2. 論文標題 2DH3DHybrid手法による海底地すべり津波挙動の基礎的検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2(海岸工学)	6. 最初と最後の頁 I_247-I_252
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.77.2_I_247	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 米山 望, 民野 裕介	4. 巻 79
2. 論文標題 防潮堤前面での津波漂流物挙動に関する流体剛体連成解析手法の適用性について	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会論文集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.23-17115	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 白皓東, 米山望
2. 発表標題 流れの密度変化が津波波力に及ぼす影響に関する数値解析
3. 学会等名 第41回日本自然災害学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 He Siyi, Nozomu Yoneyama
2. 発表標題 2DH-3D Numerical Analysis of the Tsunami Wave Force Overtopping the Sand Dunes Acting on the Seawall
3. 学会等名 第41回日本自然災害学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 梶山朋香, 米山望
2. 発表標題 和歌山県冷水漁港における流起式防波堤の津波減勢効果に関する検討
3. 学会等名 第41回日本自然災害学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 米山 望
2. 発表標題 三次元流体剛体連成解析を用いた地すべり津波評価手法の提案
3. 学会等名 土木学会原子力土木委員会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浦上 佳太, 米山 望
2. 発表標題 地すべり津波に対する3次元流体剛体連成解析手法の適用性検証
3. 学会等名 第 34 回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浦上 佳太・米山 望
2. 発表標題 地すべり起因の津波に対する三次元津波漂流物解析手法の 適用性検証
3. 学会等名 土木学会第74回年次学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大村卓也, 米山望
2. 発表標題 流体・剛体連成解析手法を用いた流起式可動防波堤の挙動解析
3. 学会等名 第42回日本自然災害学会学術講演会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	平石 哲也 (Hiraishi Tetsuya) (20371750)	京都大学・防災研究所・教授 (14301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------