2025.4.18 Fri. 地盤工学会北陸支部·特別講演会

富山湾海底地形の直接観察に基づいた海底地すべリー津波励起現象の再現

京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 准教授 岩井 裕正 (iwai.hiromasa.4e@kyoto-u.ac.jp)



- Name : 岩井 裕正 (いわい ひろまさ)
- Birth : 1987年2月18日 岐阜県

略歴





令和6年能登半島地震の震度分布



令和6年能登半島地震で発生した富山湾の津波

地震に伴う津波の発生

- 石川県能登町や珠洲市で4m以上の 津波浸水高.
- 新潟県上越市で5m以上の津波遡上 高を観測した.
- 富山湾・富山検潮所では、震源から 離れているにもかかわらず、地震発生 後<u>約3分後</u>に津波を観測した。
- <u>海底地すべり津波発生</u>の可能性
- 他に特徴的な点はないか??



位置関係を確認してみる

- 石川県七尾では, 16:37に第一波を観測。
- 富山湾の富山検潮所では、震源から離れているにもか かわらず、地震発生後約3分後に津波の第一波を観 測した。
- 地震発生後に速報値的に発表された津波伝播解析の結果によれば、地震断層変位に起因した津波の富山湾への到達時間はおよそ20分後だとされている。
- 同じく、第一波の到達時刻が、地震発生から20分後 だとされている佐渡検潮所では、16:32に第一波を観 測した。



今村文彦, アナワット・サッパシー, 今次津波の特性と被害状況 Tsunami characteristics and damage situation, 令和6年能登半島地震に関する速報, 1月9日, 2024.

神通川河口と七尾で観測された津波



神通川沖での海底地形調査(2010 vs 2024)



Minami, H., Umino, K., Tateishi, R., Kawamura, N., Seo, N., 2024. Detecting submarine landslides caused by the 2024 Noto Peninsula Earthquake through repeat bathymetric surveys in Toyama Bay, Japan. Landslides.



https://www.youtube.com/watch?v=HfaJe2u4xmc&t=182s





5:49 / 13:41 ・神通川河口沖エリア映像と位の崖の壁面、新鮮でシャープな壁面



神通川河口沖

4:32 / 13:41

https://www.youtube.com/watch?v=HfaJe2u4xmc&t=182s





ディスロ~ススUm 上位の崖の基部、新鮮な岩石のブロックと礫層・崖壁面、ズワイ



津波と海底地形の変化はどう関連しているのか?

- 到達時間が異常に早い津波が観測された
- 沿岸に近い海底斜面で大規模な海底地すべり跡が見つかった

ほんとうに、両者は関係しているのか? この関係を精査することで、「海底地すべり-津波」の正体が見えてくる

<富山湾南部のケースの要点>

- 地震発生直後の津波波形が鮮明に記録されている!
- 地震以前(2010)と地震発生直後(2024)の地形の変化が捉えられている!
 (ただし14年分の変化)
- 水中ドローン探査によって、地すべいの形態が視覚的に評価できている!

世界における海底地すべいの記録



「海岸地ナベリ、海市、町市へ旧ナ地



<海底地すべり研究の現状と課題>

- 海底地すべりと津波の関係を実測することは非常に困難である
- 地質学・地形学的な観点から海底地形および堆積物の調査研究が 主流、過去の海底地すべりの発生年代や規模の推定。
- 海底地すべりによって励起される津波規模に関して,地すべりの運動 学的パラメータに言及している事例は少ない。時間的な変化!!







海底地すべい-模型実験の紹介

- 傾斜角10°の砂斜面。
- 斜面模型の底部から水位差を利用して水圧を与えた
- 高速度カメラで標点を撮影し、PTVによって土塊運動・水位変動を計測



Water tank lifting apparatus

まずは土塊の厚さの影響

ケース名	すべり変位	初期ドローダウン
Case-61-4h _c -4	32.40 mm	0.04 mm
Case-61-8h _c -3	390.28 mm	0.32 mm
Case-61-12h _c -1	431.62 mm	0.16 mm
Case-61-12h _c -2	446.38 mm	—
Case-61-12h _c -3	447.05 mm	0.37mm
Case-81-6h _c -2	62.73 mm	0.07 mm
Case-81-8h _c -3	467.22 mm	0.04 mm
Case-81-10h _c -3	43.47 mm	0.42 mm
Case-81-12h _c -2	491.71 mm	0.39 mm
Case-81-16h _c -1	139.71 mm	0.16 mm
U	•	•

ケース名は以下を表す Case - 全層厚 - 与えた水位差(限界動水勾配の係数倍) - 実験実施回数











海底地すべいによって本当に津波は発生するのか?



18

土塊の厚さが変わるとどうなる?



初期ドローダウンと初期加速度の関係



地すべい停止時はどうか?



エネルギーの相関

■ 土塊質量: m [kg]
 ■ 地すべりの加速度: dv/dt [m/s²]
 ■ 地すべりの速度: v [m/s]

これら3つを考慮した指標:

運動エネルギーEkの時間変化率, 津波エネルギーEwによる整理

$$\frac{dE_k}{dt} = mv\frac{dv}{dt} \cong mva_0$$
$$\overline{E_w} = \frac{1}{8}\rho g H^2$$





津波と海底地形の変化はどう関連しているのか?

- 到達時間が異常に早い津波が観測された
- 沿岸に近い海底斜面で大規模な海底地すべり跡が見つかった

ほんとうに、両者は関係しているのか? この関係を精査することで、「海底地すべり-津波」の正体が見えてくる

<富山湾南部のケースの要点>

- 地震発生直後の津波波形が鮮明に記録されている!
- 地震以前(2010)と地震発生直後(2024)の地形の変化が捉えられている!
 (ただし14年分の変化)
- 水中ドローン探査によって、地すべいの形態が視覚的に評価できている!

現在進めている検討(例)

固体 - 流体連成数値シミュレーションによって、海底地すべり津波を再現

固体部分の解析:

DEM(Discrete Element Method) 個別要素法

Cundall, P.A., Strack, O.D.L., 1979. A discrete numerical model for

流体部分の解析:

SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)



SPH-DCDEM model for arbitrary geometries in free surface solid-fluid flows. (Canelas et al., 2016). Comput. Phys. Commun. 202, 131-140.



海上保安庁:富山湾の海底で斜面崩壊の痕跡を確認, https://www.kaiho.mlit.go.jp/info/kouhou/post-1066.html



地すべい直上での水面変動



- 初期速度が早いほど、初期の引波「ドローダウン」は大きくなる。
- この波が伝播していくことになる。
- 初期波形がわかれば、もう少しシンプルな伝播解析で沿岸部での津波到達を表現できる

海底地すべいによる津波と漁業被害の理解に向けて

- 地震発生直後の津波波形が鮮明に記録されていたこと
- 海底地形の差分データが取得できたこと
 (常時のデータを取得しておくことの意義)
- 実施の海底地すべいの痕跡が鮮明な映像で記録されてこと
 - □ 海底地すべリー津波の実態をより高い解像度で把握できた 斜面から供給された岩塊・土塊がどこまで到達しているかが見えた
 - さらに遠い・深い場所への影響… 「乱泥流発生」

海底地すべい~乱泥流





平朝彦,国立研究開発法人海洋研究開発機構:カラー図解地球科学入門地球の観察一地質・地形・地球史を読み解く,補足資料,講談社ブルーバックス.

海底地すべいによる津波と漁業被害の理解に向けて

- ●「予測から外れる津波が到達した」
- 地震後に生物の生息環境が変化した
- 海洋深層水取水パイプの破損

海底地すべいが発生した この部分が理解できると、次に活かすことができる そのための情報が揃いつつある

- ロ なぜ海底地すべいが発生したのか?地震動と斜面安定の問題
- ロ 海底地すべいがどのようなメカニズムで津波を引き起こしたのか?
- ロ 海底地すべい形態が異なれば、発生する津波の特徴も変化するのか?
- ロ 崩壊した土砂が、どのように海底を流れていき、その影響範囲は?
- ロ物理的・力学的な根拠を持って、津波発生や生物環境の変化を議論する。

ご清聴ありがとうございました。