

2024年能登半島地震による能登北岸の隆起海岸における津波について*

中央大学研究開発機構 松富英夫
岡山理科大学理学部 鎌滝孝信

1. はじめに

2024年1月1日16時10分の能登半島地震 (M_j 7.6) では顕著な津波が発生し、半島東岸の珠洲市や能登町、半島西岸の志賀町における津波の実態は土木学会などの現地調査¹⁾によりある程度判明している。しかし、顕著な隆起海岸である半島(輪島市と珠洲市)北岸における津波の実態はほとんど判っていない。その理由として、(1)半島北岸では道路の損壊・埋没・消失により現地調査そのものが難しかったこと、(2)海岸隆起により、津波が海岸線より陸側に氾濫し難くなったこと、(3)津波と津波前後の冬期波浪(推算沖波有義波高が1月1日9時の4m強から1月1日21時の2m強へと変化²⁾。輪島における波浪観測では4m弱から2m強へと変化³⁾)の遡上高が同程度で(津波遡上には大なり小なり波浪が常に関与する)、両者の遡上痕跡の区別がつけ難かったことなどが考えられる。

能登半島北岸における今次津波の痕跡高を把握すること、ひいては海岸隆起による津波発生特性を知ることは、隆起海岸集落における津波の防災・減災の検討において基礎的なことである。したがって、本研究は能登半島北岸における今次津波の痕跡高把握を試みるとともに海岸隆起による津波発生モデルとその解析法の提案を目的とする。

2. 現地調査

現地調査は「海岸隆起量調査」と「津波痕跡高調査」の2つからなり、2024年1月5日～12月1日かけて5回に分けて行った。隆起量と痕跡高の測量(水準測量)は自動レベルと5m標尺を用いて行った。測量点の位置特定は主に現場撮影写真とGoogle Earthを用いて行った。

(1) 海岸隆起量調査

海岸隆起量は、地震が発生した時季の最低潮位を高さの基準(後述)にして、珊瑚藻や牡蠣などの白化上端位と海藻生息域上端位を測量して総合的に評価した⁴⁾。

(2) 津波痕跡高調査

津波痕跡高は、先ず諸機関や個人が撮影した航空写真やビデオ映像などから津波痕跡とおぼしきものの地点を特定し、可能な限り住民からの聞き取りを含めた現地測量調査により評価した。

3. 海岸隆起量

図-1に海岸隆起量の評価地点と評価値(暫定値)を示す。この結果はサンゴ藻などの白化上端位に基づいている。隆起量の基準位は地震発生時季前(2023年12月1日～2024年1月1日)の最低潮位⁴⁾のT.P. 0.03mである。図から、(1)海岸隆起量の空間分布は国土地理院発表のもの⁵⁾と同じ傾向であること、(2)能登半島北岸の全域で海岸隆起が生じていることが判る。本調査における最大隆起量は4m強であることも判る。この海岸隆起量結果は後述の津波発生モデルにおける初期の水位

* Tsunami on the northern coast of Noto Peninsula, uplifted by the 2024 Noto Peninsula Earthquake
by Hideo MATSUTOMI and Takanobu KAMATAKI

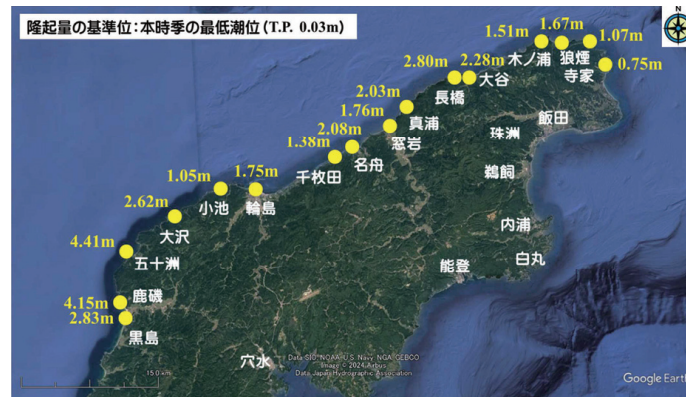


図-1 能登半島北岸における白化上端位に基づいた⁴⁾海岸隆起量評価 (Google Earthに加筆)

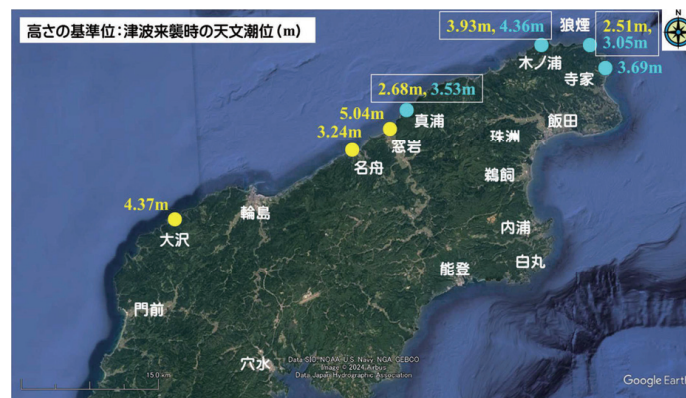


図-2 能登半島北岸における暫定的な津波痕跡高評価例 (Google Earthに加筆)

上昇量 H_0 として利用される。

4. 津波痕跡高

図-2に津波痕跡高の評価地点 (●, ●) と評価値 (黄色数値で、暫定値) を示す。図中、水色地点と水色数値 (白四角囲い) は土木学会などが現地調査した地点と痕跡高評価値で¹⁾、本研究手法による評価値の位置付け確認のための地点と評価値である。残りの黄色3地点の中には津浪痕跡らしきものとした著者らの判断に誤りがあるかもしれない。図-3 (a)～(f)に各評価地点における津波痕跡や津波事象結果とおぼしきもの (白丸囲い部分) の写真例を示す。

図-2から、本研究手法による津波痕跡高の評価値 (黄色数値) は土木学会などによる評価値 (水色数値) に比べて常に小さめであることが判る。

また、窓岩ポケットパーク (図-3 (c))⁶⁾ の1地点を除いて、痕跡高は3～4m程度であることも判る。この高さは津波数値シミュレーション結果⁷⁾の2～3m程度 (凡例のカラーバーからの読み取り値) に比べて高いが、高い波浪^{2), 3)}の存在 (wave set-upを含む) を考えれば、整合的と言えるかもしれない。

さらに、防波堤などで守られていない海に直面した窓岩ポケットパークで5m強の痕跡高と評価されたが、窓岩から珠洲市寄りに直線距離で1.4km程度しか離れておらず、防波堤などでしっかり守られた真浦漁港 (図-3 (d)) で痕跡高が3.5m程度であることを考えれば、5m強の痕跡高は突拍子もない高い数値ではなかろう。



(a) 輪島市大沢漁港のエプロンに打ち上がった漂流物



(b) 輪島市名舟漁港の斜路などに打ち上がった漂流物



(c) 輪島市町野町窓岩ポケットパークにおける事象（津波来襲前にあった上側写真の白丸内の丸っぽい物体⁶⁾がその後の短期間で消える）



(d) 珠洲市真浦漁港の船揚場にて移動した小船



(e) 珠洲市木ノ浦海岸に打ち上げられた漂流物



(f) 珠洲市狼煙漁港の船揚場にて散らばった漁船群

図-3 津波の痕跡や事象とおぼしきものを示す写真

大沢漁港（図-3 (a)）でも痕跡高が4.5m程度と高いが、この高い傾向は津波数値シミュレーション⁷⁾でも示されている。

5. 隆起海岸における津波発生モデル

海岸隆起による津波発生を理論評価できれば、理論結果と今次津波の現地調査結果を比較・検討することで、能登半島北岸における津波実態の把握に近づくと考えられる（津波に重なった波浪成分の影響が残されている）。

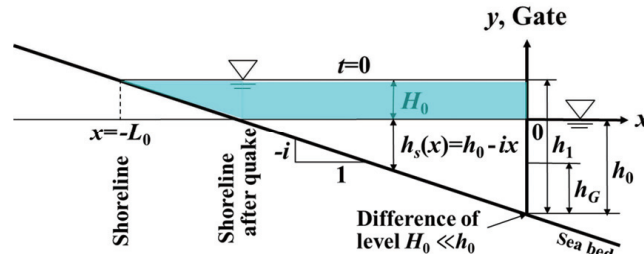


図-4 津波発生モデルの初期条件と諸記号の定義

能登半島北岸における今次地震は海陸（境界）断層によると評価されている⁸⁾。しかも、南東傾斜の逆断層と評価されている⁸⁾。したがって、海岸隆起（海底域と陸域の同時隆起）による最も単純な断面二次元の津波発生モデルとして図-4に示すものが考えられる。図中、 H_0 は海岸隆起による初期の上昇静止水部（水色部分）の高さ、 h_0 は断層上端直上位置における静水深、 $h_1=h_0+H_0$ 、 $h_0 \leq h_G \leq h_1$ 、 i は半無限一様斜面海域の斜面勾配、 L_0 は初期の上昇静止水部の岸沖方向長さ、 x と y は沖海域の静水面位と断層上端位置を通る鉛直線との交点に原点を持つ水平と鉛直の空間座標、 $h_s(x)$ は任意地点 x における静水深である。このモデルでは断層上端直上位置の海底面に段差（不連続）はなく、 H_0 は空間的に一定と仮定している。また、このモデルは有限水深で水平床下の無限海域における初期有限上昇静止水部による既存の津波発生モデル（例えば、初期有限上昇静止水部が水平的に円形⁹⁾や長方形¹⁰⁾の一様勾配斜面上版（バージョン）と言えよう。

本研究提案津波発生モデルの理論解析方法として従来理論^{9), 10)}のように線形理論を用いる方法と非線形浅水理論を用いる方法が考えられる。有限水深で水平床下の半無限海域版の線形近似理論は防波堤越波後の波浪が港内で発生させる波（越波伝達波）を対象としてすでに存在する¹¹⁾。また、津波発生における線形長波理論適用の限界が指摘されている¹²⁾。したがって、提案津波発生モデルの理論解析においては第一近似として摩擦を無視した非線形浅水理論を基礎式として採用することが望ましいと考えられる。この場合は一様勾配斜面上のダム破壊流れ¹³⁾と判断されるが、前面（海）側に水がある場合の理論解析例はないようである。

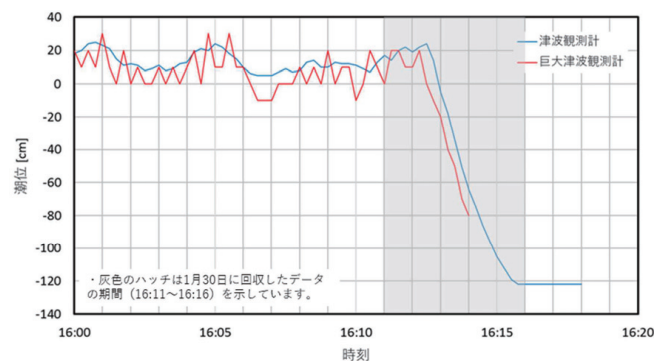


図-5 珠洲市長橋漁港の津波観測点における潮位観測データ（2024年1月1日）¹⁴⁾

提案津波発生モデルをダム破壊流れと判断してよいと思われる一証拠が実観測により示されている。図-5¹⁴⁾がその一証拠で、潮位観測データの時刻が正しいとして、地震発生が16時10分にもかかわらず、約2分10秒後の16時12分20秒頃から潮位が下がり始めている。この時間差から、断層上端直上位置が津波観測点（長橋漁港）からどのくらい沖であるかも推定され得る。また、地震発生後どのくらい時間が経っているか正確には判らないが、初期の津波引き過程が窓岩ポケットパークにおいてビデオに撮られている⁶⁾。

本モデルをダム破壊流れと考えた場合、初期上昇静止水部域全体（ x 軸の下部を含む）の水は一方的に沖方向へ流れていくと考えられる。しかし、発生津波域の後端が初期汀線位置（ $x=-L_0$ ）に達した後の後端の挙動がよく判っていない。今後の詳細な理論・数値・実験的検討が待たれる。

6. おわりに

本研究で得られた主な結果は次の通りである。

- (1) 能登半島北岸における海岸隆起量の実態を白化上端位の観点から示した。
- (2) 能登半島北岸における津波痕跡高を写真に残された津浪痕跡らしきものに基づいて評価した。
- (3) 隆起海岸における一津波発生モデルとその解析法を提案した。

謝辞：科研費（基盤研究(C)，24K07988，代表：松富英夫）の補助を受けた。また、公開された国土地理院と国際航業の航空写真，堀井利治氏の動画写真を利用した。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) Yuhi et al.: Post-event Survey of the 2024 Noto Peninsula Earthquake Tsunami in Japan, *Coastal Engineering Journal*, pp.1-14, 2024. <https://doi.org/10.1080/21664250.2024.2368955>
- 2) 気象庁：日々の沿岸波浪図，<https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/wave/chart/daily/coastwave.html>，2024年1月31日参照。
- 3) 国土交通省港湾局：ナウファス，<https://nowphas.mlit.go.jp/>，2025年1月3日参照。
- 4) 松富英夫：隆起後に白化した岩礁の白化上端位 — 隆起量の簡易現地推定法 —，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol. 67, No. 1, pp. 67-71, 2011.
- 5) 国土地理院：「だいち2号」観測データの解析による地殻変動，https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/20240101_noto_insar.html，2024年2月2日参照。
- 6) 朝日新聞：奥能登の奇岩「窓岩」，変わり果てた姿に 地震で崩れ，穴なくなる，<https://www.asahi.com/articles/ASS1X4Q47S1XPQIP002.html>，2024年2月12日参照。
- 7) 例えば，二木敬右，米山 望，吉池朋洋：令和6年能登半島地震津波の波源推定，自然災害科学，Vol.43, No.3, pp.679-688, 2024.
- 8) 例えば，気象庁：令和6年能登半島地震の評価，https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2024/20240101_noto_3.pdf，2024年2月14日参照。
- 9) 高橋龍太郎：海底の変動に因って生ずる津浪について，東京帝国大学地震研究所彙報，Vol.20, part 4, pp.375-400, 1942.
- 10) Kajiura, K.: Tsunami source, energy and the directivity of wave radiation, *Bulletine of the Earthquake Research Institute*, Vol.48, pp.835-869, 1970.
- 11) 松井政博，倉田克彦，荻野英樹，鈴木 功：越波による伝達波特性（Cauchy-Poisson波によるモデル化），第27回海岸工学講演会論文集，pp.410-413, 1980.
- 12) 首藤伸夫：津波発生数値計算手法に関する疑問，津波工学研究報告，第33号，pp.17-25, 2017.
- 13) 松富英夫：水平床の貯水部を持つダム破壊流れの斜面遡上，東北地域災害科学研究，第57巻，pp.47-52, 2021.
- 14) 気象庁：「珠洲市長橋」津波観測点の潮位観測データ（2024年1月1日），https://www.data.jma.go.jp/omp/data/jishin/tide/nagahashi_kansoku.html，2024年2月2日参照。