

新潟県上越市における津波河川遡上による はん濫被害および沿岸部の津波被害調査

馬場康之¹・山上路生¹・小藪剛史²・鄧朝暉²・金子峻³・呉許剣³・齋藤遼太³

Investigation of Tsunami Damages in Joetsu, Niigata Pref. Caused by 2024 Noto Peninsula Earthquake

Yasuyuki BABA¹, Michio SANJOU¹, Tsuyoshi KOYABU², Zhaohui DENG²,
Shun KANEKO³, Xujian WU³ and Ryota SAITO³

Abstract

An earthquake with M7.6 occurred on 1st January 2024, at 16:10 JST at the northeastern tip of the Noto Peninsula of Ishikawa Prefecture, Japan. This earthquake caused tsunami, and many tsunamis were reported. This report shows the investigation results on tsunami damages in Joetsu, Niigata Prefecture. The tsunami generated by the earthquake reached at the Seki river mouth around 16:35, and the peak water level of T.P 1.94 m was measured. The inundation due to tsunami occurred on the right bank near the Seki river mouth. A run-up height of about 5.5 m was estimated at Ogata fishery harbor, and some huts had damages in the harbor. In Ogata coast, run-up heights around 5 to 7 m were estimated.

キーワード：能登半島地震，津波遡上，はん濫被害，津波遡上高

Key words: 2024 Noto Peninsula Earthquake, tsunami river-runup, inundation by tsunami, tsunami run-up height

1. はじめに

2024年1月1日、16時10分（日本時間）に能登半島でマグニチュード7.6（気象庁）の地震が発生した。最大震度は震度7に達し、能登半島では広く震度6以上を観測した。新潟県長岡市でも震度6弱を観測するなど、広範にわたって強い揺れを

観測した。この地震に伴い、日本海側沿岸の広い範囲で津波が観測された。能登半島の七尾では0.54 m、金沢では0.8 mの津波（最大波）が観測されている¹⁾。新潟県上越市の関川河口では津波の遡上が発生した。遡上した津波は関川河口付近の右岸側ではん濫を発生させ、床上浸水1軒を含む

¹ 京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

² いであ株式会社情報システム事業本部
Information Systems Division, IDEA Consultants, Inc.

³ 京都大学工学研究科社会基盤工学専攻
Department of Civil and Earth Resources Engineering,
Kyoto University

本稿に対する討議は2025年5月末日まで受け付ける。



図1 調査範囲 (Google Map)

浸水被害を引き起こしている。

本報では、能登半島地震により発生した津波の河川遡上および津波遡上に伴うはん濫被害と、上越・大潟海岸における津波の遡上高さおよび沿岸部での被害に関する調査結果について報告する。関川および上越・大潟海岸周辺の調査は以下の日程で行われた。調査範囲の概要は図1に示す通りである。

調査内容：2024年1月10日～1月11日

1月10日

- ・高田河川国道事務所訪問（関川での津波遡上に関する聞き取り）
- ・関川河口周辺調査

1月11日

- ・上越・大潟海岸における浸水痕跡調査
- ・大潟漁港での聞き取り調査
- ・直江津海水浴場における浸水痕跡調査

2. 関川河口での津波遡上とはん濫被害

能登半島地震により発生した津波は1月1日の16時30分頃に関川河口に到達した。津波は関川を遡り、河口から5km付近にまで達したとみられる（高田河川国道事務所における聞き取り調査より）。新聞記事²⁾によると、堤防内に残る土砂やごみなどの津波の痕跡から遡上域を確認したとされているが、筆者らが関川河口から5km付近の春日山橋周辺に出向いた際（1月10日午後）には、

津波が遡上した痕跡は目視では確認されなかった。

津波が河川を遡上する様子は、国土交通省、北陸地方整備局、高田河川国道事務所が関川河口部に設置している2台のライブカメラ映像に記録されており、1月4日にはWeb上でも公開されている³⁾。この津波遡上より、関川河口近くの右岸側にある上越市港町1丁目では津波が堤防を越えて浸水被害が発生し、屋内での浸水深が78cmに達する床上浸水が1件発生した。

上越市港町1丁目でははん濫被害について、近隣住民の方への聞き取りを行い以下の情報を得た。

- ・床上浸水の発生は、はん濫水により駐車中の自動車が流され、その自動車が玄関に衝突し、建物入り口が壊れ海水が流入したことにより発生した
- ・堤防を越えて流れ込んだはん濫水は、くるぶし程度の水深で比較的大きな流速で流れた
- ・地域住民の多くは、上記床上浸水が発生した住宅にお住まいの方を含め早期避難されていた

2.1 関川河口での津波遡上の画像解析

図2のように、関川河口と保倉川合流点の2か所に国土交通省管理のCCTVが設置されている。これらのCCTVは関川の遡上津波と関川右岸を越流する様子を捉えていることが上述の通り報道されている。以下では高田河川国道事務所より提供いただいたCCTV画像を用いて、PIV (Particle



図2 CCTVカメラ設置場所(地理院地図)

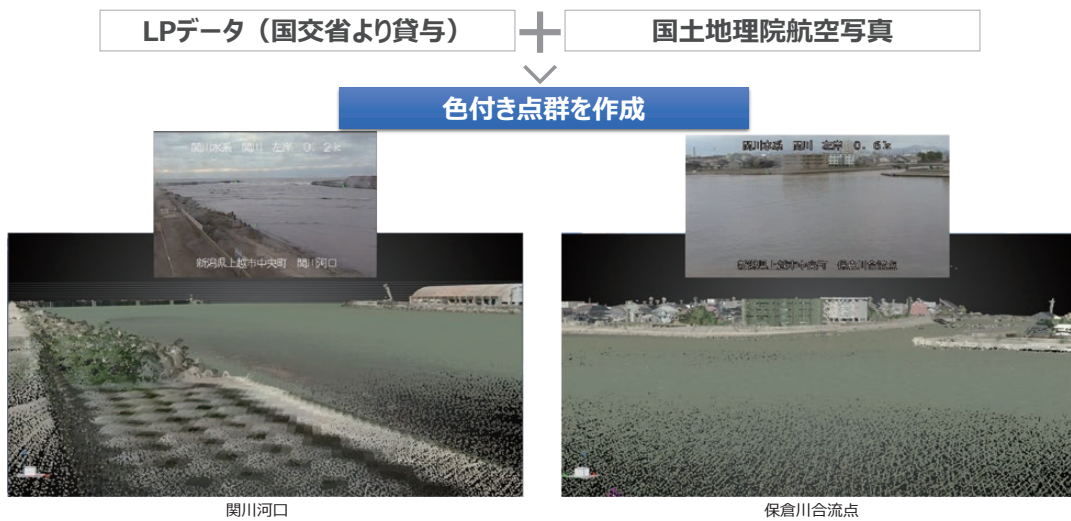


図3 LPデータによる標定測量

Image Velocimetry) 法と STIV (Space Time Image Velocimetry) 法^{4,5)}による水面流速場の算定結果について示す。

PIV 解析を行うに際して、国土交通省提供の LP データと国土地理院の航空写真より、色付き点群を作成し、標定測量を行った(図3)。ただし、保倉川合流点では画像手前側(関川左岸)の標定ができておらず河口部より精度が劣る。標定測量の結果から、CCTV 画像に 5m 格子の PIV 解析点を設定し、PIV 解析を行った。

図4に関川河口における遡上津波の瞬間流速場の一例(PIV 解析結果)を示す。解析点数は全 4,802点である。動画との比較より、津波の遡上方向と各解析点のベクトルの向きが対応していることが確認されている。

図4において、河岸(左岸)近くの流速ベクトルが大きくなっている様子が見られる。この範囲は図5内に円で示すエリア付近に該当する。この範囲で流速が大きくなった要因としては、沖側の導流堤に沿って河口へと入射した津波が河口部左

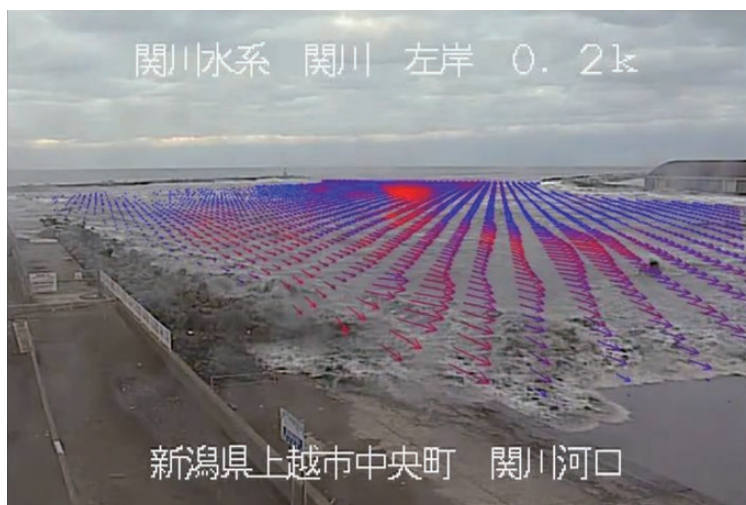


図4 PIV解析の一例(関川河口)



図5 遡上津波の流速が大きい領域

岸側に集中し、その結果として流速が大きくなったものと考えられる。図6は関川河口の全解析点の平均流速の時間変化である。津波到達時の第1波では最大7 m/s程度の遡上速度であることがわかる。

図7は関川と保倉川合流点の瞬間流速場の一例

(関川右岸、PIV解析結果)である。解析点数は全1,132点である。ここでは最大流速は4.5 m/sに達している。河口部と比べて流速は減少しているが、右岸で堤防を越流の様子が確認できる。

図8はCCTV画像内に河道横断方向の10m間隔に検査線を河道法線方向に設定したものであり、STIV解析によりその検査線上(検査線と平行)の流速成分を求めた。STIV解析から、関川河口では、津波到達時の第1波において表面流速が平均で9.4 m/sとなっており、PIV解析よりもやや大きな流速となったが、PIV解析と同様に津波遡上表面流速は右岸に比べて左岸が大きいことが確認されている。同様に解析された保倉川合流点付近の結果では、第1波において表面流速が平均で5.6 m/sとなり、両岸よりも中央部の流速の大きいことが確認された。

水面が非定常変化する遡上津波のPIVおよびSTIV解析結果に、津波高さの情報を反映させることができれば、より高精度な流速解析が可能となる。精度検証も含めて今後の課題とする。

2.2 津波遡上時の水位の時間変化

高田河川国道事務所では、関川右岸、荒川橋東詰下流側に水位計を設置しており、水位計の記録にも津波到達時の水位変化が記録されていた。高

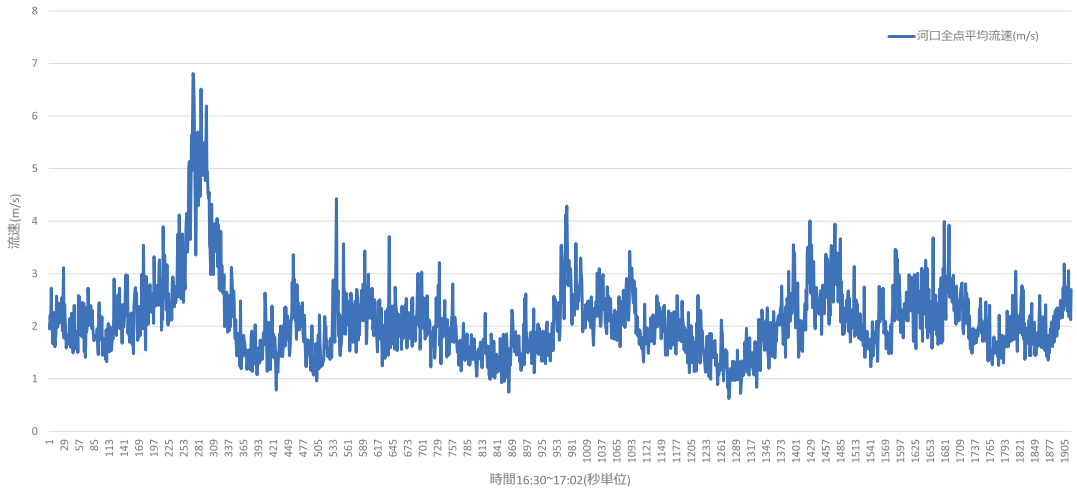


図6 関川河口部の全点平均流速の時間変化 (PIV 解析結果)

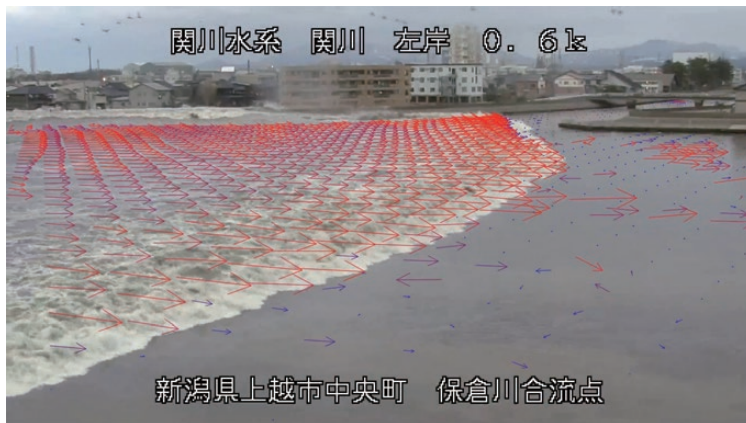


図7 PIV 解析の一例 (関川, 保倉川合流点)

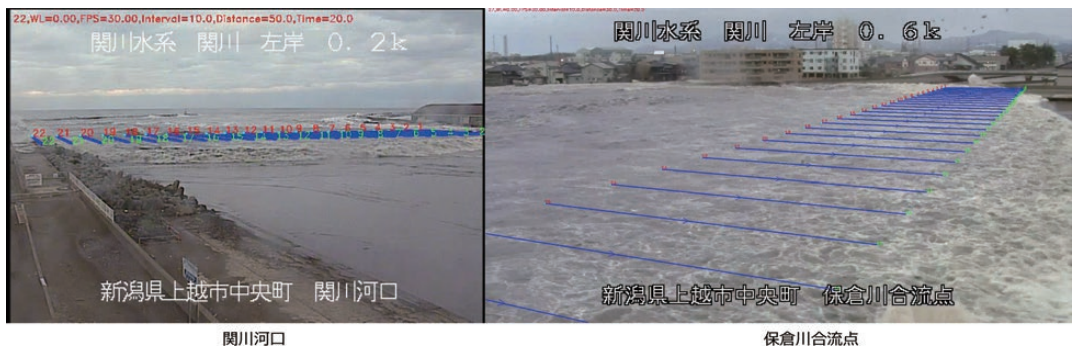


図8 STIV 解析用の検査線

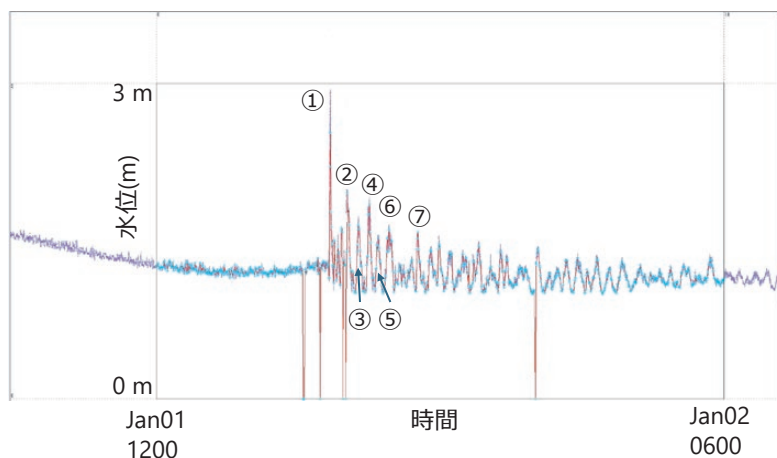


図9 水位計データ (m 計) 読み取り結果

田河川国道事務所より提供いただいた水位計には cm 計と m 計の 2 つのデータが記録されており、m 計の記録をフリーソフト GraphcelVer1.11⁶⁾ で抽出したものが図 9 である。

図中左側にある紫色の線が Graphcel で抽出した m 計の記録であり、図中中央部の水色と赤色が混在する部分は記録紙上の「1 月 1 日 12 時～1 月 2 日 6 時」の 18 時間のデータである。提供元より記録紙の時間情報にはズレがあるとの事前情報を得ており、ここでは図中の最大の水位発生を「1 月 1 日 16 時 35 分頃」としている。水位変化の時間情報 (横軸の値) は、Graphcel 上で自動読み取りした値をそのまま使用している。m 計の波形には水位の頂部や谷部で細かく上下動しているため、記録紙上の水位のピークと自動読み取りした時間情報が多少前後することはあるが、同一ピーク内に含まれていることは確認できており、読み取り結果そのままの時間情報を使用した。

図中中央部の水色と赤色が混在する部分の縦軸は水位が m 単位で記録されており、記録紙上の 0～3 m の範囲を示している。高田河川国道事務所によると、自記紙記録の 1 m が TP 0 m に相当するので、図中では最大 TP 2 m までの水位変化が示されている。

以降に示す水位の値は、Graphcel 上で自動読み取りした値と自記紙の記録を突き合わせて一部

補正した水位を使用している。自記紙の罫線と m 計のデータ線の自動判別が良好でない部分やデータ線の色の濃淡による自動判別への影響などを補正した。補正作業は手作業でおこなっているため、以下で示す水位の値には多少の誤差が含まれている。

自記紙記録より、津波到達時の最大値は TP 1.94 m とされている (図 9 内①、数値は自記紙に記録)。その後いくつかの大きな水位のピーク (図中②～⑦) について、最大値計測後の経過時間と各ピークの水位 (読み取り値、TP) を示したものが表 1 である。図 9 からわかるように、水位のピークは津波到達時の値が最大であり、その後時間を経過するに従い徐々に低下している。しかしながら、TP 1.0 m 近くに達する水位は初期のピークから 1 時間以上後になっても計測されており、

表 1 水位最大値計測以後の水位ピーク (TP) と最大値計測後の経過時間

番号	経過時間 (秒)	読み取り結果 (m)
①	0	1.94
②	1944	1.03
③	3175	0.73
④	4471	0.91
⑤	5314	0.52
⑥	6674	0.65
⑦	11470	0.45



図10 津波高算定のための潮位検知枠 (左：関川河口，右：保倉川合流点)

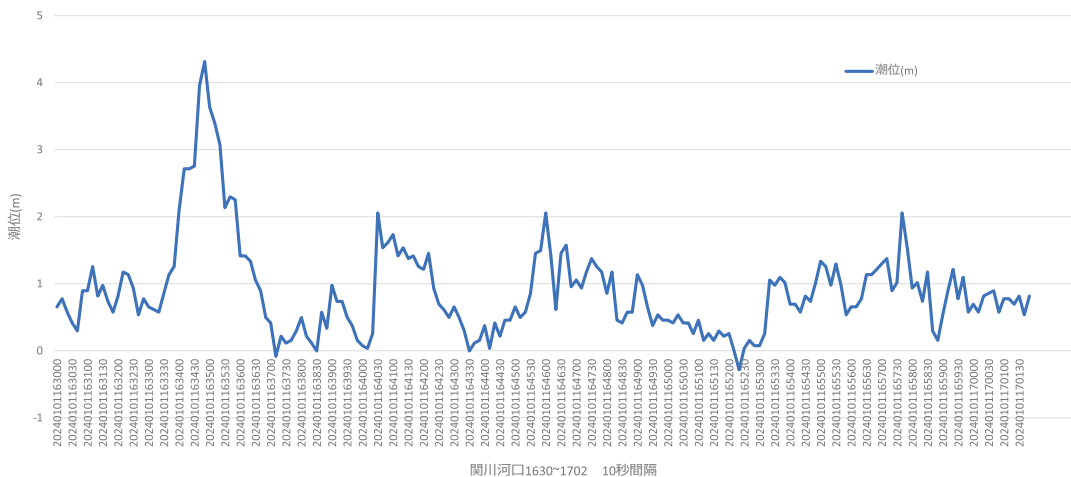


図11 画像解析から得られた水面位置高さ (TP) の時間変化 (関川河口)

T.P 0.5 m 程度の水位は津波到達後もかなりの時間にわたって発生していることがわかる。また、水位のピーク①と②の間には T.P 0.6~0.8 m のやや低めの水位のピークが 3 回計測されている。その他の水位のピークについてもピーク時および水位低下時に水位が上下動する様子が確認できる。

次に、高田河川国道事務所より提供いただいた CCTV 画像を用いて、画像解析から津波高の算定を行った。津波高の算定のために、CCTV 映像の中で高さ方向の位置が推定できる潮位検知枠が必要であり、ここでは関川河口では河口沖にある防波堤、および関川と保倉川合流点の橋脚 (県道 468 号線) に検知枠を設定した (図10)。LP データから構築した仮想空間内で検知枠を標定測量し、検知枠内の海水面位置を輝度分布の変化より自動

抽出し、検知枠内の水位の時間変化を得たものが図11である。画像解析の結果では、第 1 波のピーク時の水位は、河口で T.P 4 m 以上、関川保倉川合流点でも T.P 4 m 弱であった。

図11に示された画像解析から求められた津波到達時以降の水位変化 (16時30分~17時01分) は、水位計で計測された水位変化 (図 9) の①~②間に該当する。画像解析から得られた水位のピークは16時35分頃に発生しており、これまでに確認されている関川河口部への津波到達時の時刻とほぼ一致する。画像解析から得られた水位の最大値は第一波到達時に発生しており、水位計で得られた水位の時間変化と同じであるが、得られた値は水位計で計測された値よりもかなり大きい。これは画像解析では検知枠内の高さを計測するために構

造物等の固定点を必要としており、画像から得られた水面位置は構造物周辺の打ち上げの影響などを含むため、水位計の計測値よりも大きな値となっているものと考えられる。

図11では、最大の水位が計測された後、画像解析期間中に3回程度水位の低いピークが確認される(図中、16時40分頃、16時46分頃、16時58分頃)。このような最大の水位観測後に続く水位の低いピークは、水位計の計測結果でも確認され、図9の①～②間にも3回程度水位の低いピークがある。水位計の自記紙記録をGraphcelで読み取った結果(図9)から3回のピーク間の発生のタイミング(水位の最大値発生後の経過時間)はそれぞれ約7分、約14分、約22分である。水位計計測値の最大値が16時35分に発生したと仮定すると、水位の低いピークはそれぞれ16時42分頃、16時49分頃、16時57分頃となり、画像解析から推定されるピークの発生タイミングとはほぼ同程度であることが確認できる。

3. 沿岸部の津波遡上高調査

能登半島地震に伴う津波の遡上高の調査を上越市の大潟海岸を中心に行った。あわせて津波によ

る被害が報告されていた大潟漁港、直江津海水浴場においても調査を実施した。

本調査において津波遡上高は以下の要領で推定した。

1. 現地海岸を踏査し、津波の遡上痕跡を調査
2. 現場の写真撮影を行い、GPSで位置情報を収集
3. 写真撮影場所の緯度経度を国土地理院地図(電子国土Web)に入力し、当該地点の標高を確認

3.1 大潟海岸

上越市の大潟海岸には、防災研究所の隔地施設、大潟波浪観測所(上越市大潟区四ツ屋浜)があり、大潟海岸では観測所付近を中心に津波遡上高の調査を行った。図12は津波の遡上痕跡を確認した地点(図中×印)を国土地理院地図上に示したもので、写真撮影地点の標高はそれぞれ7.7 m(P1)と5.5 m(P2)であった。なお、2地点間の距離は地図上で約170 mである。写真1は標高7.7 m付近に津波の遡上痕跡が確認された地点の状況である。両地点は汀線に沿って消波ブロックが並ぶエリアであるが、津波の遡上痕跡が確認された場所は写



図12 津波遡上高確認地点(大潟海岸、×印地点)(P1:標高7.7 m, P2:標高5.5 m)



写真1 津波の遡上痕跡 (大潟海岸, 図12左)



写真2 津波の遡上痕跡付近の汀線の状況 (大潟海岸, 図12左)

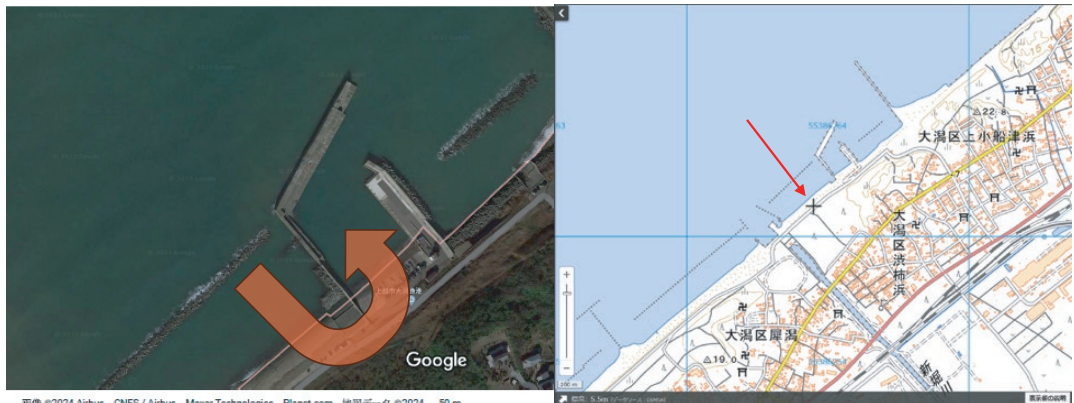
真2に示すように斜路として整備されている。海岸付近に接近した津波は、このような消波ブロックの開口部から陸側に遡上し、海岸砂丘天端付近の道路面まで達したものと考えられる。

大潟区の東隣となる柿崎区の三ツ屋浜においても津波の遡上痕跡調査を行った。三ツ屋浜周辺は汀線付近に砂浜があるエリアで、大潟海岸のように局所的な開口部はみられない。傾斜護岸や斜路の陸側に打ち上げられたと思われる漂流物やゴミなどが散乱している状況は確認できたが、明瞭な

線状の痕跡は確認できなかった。漂流物などが散乱していた地点の標高を国土地理院地図上で確認したところ、標高4.7 m程度であった。

3.2 大潟漁港および直江津海水浴場

上越市の大潟漁港では、能登半島地震による津波により漁港にあった船や巻き上げ機小屋に被害が出た⁷⁾。図13は大潟漁港付近の地図と航空写真である。漁港関係者の方への聞き取りにより、当時の被災状況を確認した。



大潟漁港付近の道路：標高5.5m
(国土地理院地図)

図13 大潟漁港付近(×印地点の標高5.5m)(左：航空写真, 右：国土地理院地図)

- ・津波は漁港背後の道路(市道)まで遡上し、漁港には背後(陸側)から流入した(図中赤矢印)
 - ・複数の巻き上げ機小屋が津波により被災(陸側から海側に海水が抜けた跡が確認された)
 - ・漁港内で複数の船が転覆
 - ・1月3日頃から建物の柱や敷居と思われる木材が漂着し始めた
- 写真3に示すように大潟漁港背後の道路上には

漂流物と思われるものが残っていたほか、道路沿いの路肩標識が根本から折れた様子も確認されており、聞き取り調査結果にあるように漁港背後の道路面まで津波が達したことがわかる。国土地理院地図上で漁港背後の道路面の標高を調べたところ5.5mであり、先の大潟海岸での調査結果とほぼ符合する値となった。

関川河口の西側にある直江津海水浴場において



写真3 大潟漁協背後の道路面の状況(写真手前が大潟漁港)



写真4 直江津海水浴場、建物陸側の状況

も、商業用の小屋(海の家)7軒全てが被災した⁸⁾。現場を調査したところ、海側から陸側に海水が通り抜けた跡があり、建物の外壁には地面から0.5 m程度の位置に浸水痕跡が確認された。

商業用の小屋の背後(陸側)には写真4に示すように木の枝などの漂流物が線状にたまっている様子が確認された。これらの漂流物の位置が押し波、引き波のどちらで決まったのかは不明であるが、写真撮影地点の標高は国土地理院地図上で3.7 mであった。気象庁機動調査班(JMA-MOT)による現地調査結果⁹⁾では、直江津海水浴場での遡上高は4.5 m、関川河口左岸側にある船見公園では5.8 mの遡上高が計測されている。筆者らが遡上痕跡調査を行った柿崎区三ツ屋浜の東にある柿崎漁港では、2.9 mの遡上高を確認している。

4. おわりに

本報告は、2024年1月1日、16時10分(日本時間)に発生した能登半島地震に伴う津波により発生した関川での津波遡上と関川河口付近ではん濫被害、および大潟海岸など上越市周辺での津波遡上痕跡の調査結果を示したものである。

関川で発生した津波遡上については、国土交通省北陸地方整備局高田河川国道事務所からご提供いただいたCCTVカメラおよび水位計のデータから、津波遡上時の表面流速および津波到達時からの水位の時間変化について検討した。津波遡上

時の表面流速は画像解析手法であるPIV解析およびSTIV解析を実施し、津波の遡上時の表面流速がPIV解析では7 m/s程度、STIV解析では9 m/s程度であること、CCTV画像の範囲では右岸より左岸側の流速の大きいことが確認された。

津波到達時の水位の時間変化について、水位計の計測結果から水位の最大値は約TP 2.0 mであったこと、TP 1.0 m程度の水位は津波到達後も1時間程度にわたって継続することが確認された。CCTV画像の画像解析から得られた水位データは、水位計データと比較して水位が大きく評価される結果となった。CCTV画像で捉えた水位は構造物周辺の打ち上げ高を含めて捉えているために過大評価となっている可能性があり水位計の計測結果との単純な比較は難しいものの、第一波到達後の水位の時間変化については、水位計の計測結果と同様となることが確認されている。

大潟海岸および周辺で行った津波の遡上痕跡調査では、大潟海岸では津波遡上高は5~7 m程度であった。津波による被災が発生した大潟漁港では遡上した海水が陸側から海側に抜けたことにより被害が発生し、直江津海水浴場では海側からの津波により海岸の商業用の小屋が被災した。

謝辞

地震および津波の発生直後の調査にもかかわらず、被災状況等の聞き取り調査に応じていただい

た皆さまに感謝申し上げます。国土交通省北陸地方整備局高田河川国道事務所の皆さまには、現地調査時に被災状況全般に関する情報をいただくとともに、CCTV 画像、水位計データならびに LP データのご提供をいただきました。ここに記して感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 気象庁, 令和 6 年 1 月の地震活動及び火山活動について, 関東・中部地方の主な地震活動 (PDF), <https://www.jma.go.jp/jma/press/2402/08a/2401jishin.html>, 2024 年 6 月 28 日
- 2) 新潟日報, [能登半島地震] 新潟県上越市の津波遡上…関川で約 5 キロ, 保倉川で約 1.6 キロ・高田河川国道事務所調査, <https://www.niigata-nippo.co.jp/articles/-/338917>, 2024 年 6 月 24 日
- 3) 毎日新聞, 新潟・上越の津波動画を公開 堤防越える様子も 能登半島地震, <https://video.mainichi.jp/detail/video/6344259403112>, 2024 年 6 月 24 日
- 4) Fujita, I., Watanabe, H. and Tsubaki, R: Efficient image analysis method for river flow measurement using spacetime images, Proceedings of XXXI IAHR Congress, pp.422-428, 2005.
- 5) 藤田一郎: 非接触型流速計測法を用いた実河川流の計測と問題点, 日本流体力学会誌「ながれ」, 26 巻, 1 号, pp.5-12, 2007.
- 6) T. KOBO, Graphcel Version 1.11. <https://www.vector.co.jp/download/file/win95/business/fh539887.html> (Access: 2024, January, 24)
- 7) NHK 首都圏 NEWSWEB, 能登半島地震 新潟上越の漁港 津波で漁船や港湾施設に被害, <https://www3.nhk.or.jp/shutoken-news/20240111/100100981.html>, 2024 年 6 月 26 日
- 8) 新潟日報, [能登半島地震「その時」わたしは…] 新潟県内(上) 川から泥混じりの水…流木や石も居間へ 押し流された車が玄関を直撃, 「何から手を付けたら」, <https://www.niigata-nippo.co.jp/articles/-/338007>, 2024 年 6 月 24 日
- 9) 気象庁地震火山部, 「令和 6 年能登半島地震」における気象庁機動調査班 (JMA-MOT) による津波に関する現地調査の結果について (PDF), https://www.jma.go.jp/jma/press/2401/26a/20240126jma_mot.html, 2024 年 6 月 26 日

(投稿受理: 2024 年 6 月 30 日)

訂正稿受理: 2024 年 9 月 6 日)

要 旨

本報では津波が河道内を遡上し河口近くでははん濫被害が発生した新潟県上越市の関川河口付近, および直江津から大潟海岸にかけての津波遡上高に関する現地調査結果について報告する。関川での津波遡上は 2024 年 1 月 1 日の 16 時 35 分頃に発生し, 河口から 5 km 付近まで達したとされている。河口付近に設置された水位計の記録によると, 第一波到達時に T.P 1.94 m の最高水位を記録した。津波の遡上により河口近くの右岸側で川沿いの住宅に浸水被害が発生した。直江津から大潟海岸にかけての津波遡上高に関する調査では, 大潟漁港付近で標高 5.5 m, さらに東側の大潟海岸では標高 5 ~ 7 m 程度に津波により打ち上げられた漂流物の痕跡が確認された。直江津海水浴場では, 砂浜に設置された商業用の建物を津波が通り抜けたような跡が確認され, 建物背後の標高 3.7 m 付近に木の枝などが線状にたまっている状況が確認された。