

トンガの噴火により四国沿岸で発生した漁船被害等に関する調査

【令和3年度 自然災害研究協議会突発災害調査報告】

田中 健路*・上本 琢人*・村上 太一*・鈴木 悠太*・石丸 克弥*・朝位 孝二**

* 広島工業大学環境学部地球環境学科

** 山口大学大学院創成科学研究科

要 旨

2022年1月15日にトンガで発生した火山噴火により、火山性気象津波と見られる顕著な潮位変化が世界各地で観測された。日本国内では、四国太平洋岸を中心に漁船の転覆・沈没・流失被害が発生した。著者らは、漁船の被害が発生した、高知県・徳島県の各漁港を調査し、被災した漁船の停泊位置や当時の対応状況について情報を収集した。被災した漁船の停泊位置は、漁港の開口部および中央付近で、平常時の槍付け係留されていた漁船のうちの一部であった。10分程度の周期で湾内での海水の出入りにより局所的に渦を伴う早い流れが生じ、係留ロープの破断や船舶の転覆に至ったと見られる。

1. はじめに

2022年1月15日13時15分頃(日本時間)、南太平洋のトンガのフンガ・トンガフンガ・ハアパイ火山で大規模噴火が発生した。この噴火に伴い、ラム波をはじめとする大気波動が全球的に伝播し、日本においても、2hPa前後の気圧変動が観測された。気圧変動と連動するように、日本の太平洋岸では、当初の津波到達予想時刻より3時間前後早く、第1波に対応する潮位変化が見られた(気象庁, 2022)。その後、数時間かけて徐々に波高が増幅し、局所的に1mを超える顕著な潮位変化となった。大気側を伝播する気圧波が強制力として作用することで発生した、津波周期帯を持つ海洋長波と見られることから、今事例における潮位変化は、火山性気象津波(Volcano-Meteorological Tsunami)(Lowe and Lange, 2000)の一種と見られる。日本に到達した火山性気象津波によるものと見られる潮位変化により、高知県・徳島県の太平洋岸を中心に38隻の漁船の転覆・流失等の被害が発生した。

今事例に関する火山噴火過程、大気波動や火山性気象津波の伝播など一連のメカニズムの全容解明に向けた調査研究が行われ、様々な知見が取得されつつある(佐竹ら, 2022)。著者らは、漁船の当時の停泊位置や被害状況を把握することを目的とし、今

事例における被害発生後の2022年1月末に四国沿岸を対象として初動調査を行い、以後2回追加で現地調査を行った。本稿では、現地調査における住民からの証言や調査時に取得された被災した船舶の状況について報告するとともに、四国沿岸での潮位観測状況および漁港内の流動場に関する数値実験を行い、現地調査結果の整合性を検証した。

2. 調査概要

今事例に関して、漁船等の被害が発生して以降、8月末までに3回にわたり、現地調査を行った。今回調査を実施した漁港の位置を図-1に示す。初回の初動調査は、広島工業大学・田中1名のみで行い、1月29-30の2日間の日程で各漁港を訪問し、当時の状況につい



図-1 今回の調査対象地点

てヒヤリング調査を行った。2回目の調査では6月7-8日の期間で行われ、佐喜浜漁港でのヒヤリング調査および室戸市役所における行政側の対応について資料収集を行った。8月23-24日の3回目の調査では、各漁港を訪問し、岸壁の形状や水深測定を行った。

3. 各漁港での状況

3.1 穴喰漁港(徳島県海陽町)

徳島県穴喰漁港の概況を図-2に示す。住民が目撃した情報によれば、15日22:00頃は漁港内では大きな海面の揺れが見られなかったが、23:30頃には潮位変化が大きく、漁港内で渦を巻いていた。漁港の中は大きく揺れたものの、漁港のすぐ北に隣接する穴喰川は漁港で見られる静かであった。押し波と引き波の間隔が10分前後で繰り返され、これまで経験した地震による津波の時の海面の変化とは異なる。16日0:46頃に海陽町で防災無線での注意喚起放送(2回目)があり、1:00過ぎ頃に最大波が到達。引き潮の時間帯と重なったこともあり、開口部付近は橋の上から海底が見えるまで海面が下がり、漁港内の水が茶色く濁った。夜が明けても海面の揺れが続いていた。

穴喰漁港では、湾奥で漁船が2隻沈没し、1隻の船のマストが折れる被害が発生した。穴喰大橋の南東側の岸壁に停泊していた漁船2隻の係留ロープが切



図-2 穴喰漁港の漁船被害の概要



写真-1 穴喰漁港で漂流した漁船の損傷状況

れ、流失。1隻は近隣の砂浜で発見されたが、もう1隻が漁港から約3km北東側の乳の崎まで漂流した。1月末の調査において、解体前の漁船が1隻引き揚げられて静置されていた(写真-1)。

3.2 甲浦漁港(高知県東洋町)

甲浦漁港では、1隻の漁船転覆被害が確認されている。被災した漁船の停泊位置を図-3に示す。2又に分かれる分岐点付近の岸壁に槍付け係留されていた漁船が転覆し、対岸側付近に漂流している様子が翌朝上空を飛行したNHKの取材ヘリ(NHK, 2022)によって確認されている。当時目撃した漁協関係者によると、1月15日20時過ぎから少しずつ海面が揺れ始め、16日0:00過ぎると揺れが大きくなったと証言している。転覆した漁船が引き上げられていたが、他の船体などとの衝突や船体と海底面との摩擦による損傷は見られなかった。



図-3 甲浦漁港での被害概要

3.3 佐喜浜漁港(高知県室戸市)

佐喜浜漁港では、1カ所の漁港では最多となる8隻の漁船被害が発生した。漁港内の漁船の概況を図-4に、室戸市の対応と漁民の証言を時系列として整理した内容を表-1に示す。高知県沿岸に津波注意報が発表される前から、湾内の海面昇降と海水の流動に伴い、船のぶつかる音がしはじめ、津波注意報が



図-4 佐喜浜漁港の被害概況

表-1 佐喜浜漁港に関連する当時の状況

日時	気象庁の情報・市の対応・漁民証言
1/15 13:15	・噴火発生
19:03	・太平洋沿岸に津波予報（若干の海面変動）を発表
1/16 0:00	・漁港付近の住民が船のぶつかる音を聞いた（漁民証言）
0:15	・津波注意報発表(トンガ沖海底火山噴火の影響による)
0:20	・漁船が流される、転覆する光景を見る。（漁民証言）動画を撮影
0:30頃	・自動製氷庫付近に停泊していた19t級の漁船の係留ロープが破断し漂流しかける。（漁民証言）
0:55	・佐喜浜住民から佐喜浜漁港で船が流されていると消防へ連絡あり。
1:10	・佐喜浜住民より、佐喜浜漁港の船が流され、沈んでいるものもあると通報。
2:10	・防災対策課職員、佐喜浜港で現地確認。目視で3隻沈没。地元住民の話では他にも沈んでいるとの話だったが確認できないとのこと
3:00	・室戸市長現場確認
4:30	・市長と防災課長協議の結果、7:00より関係課長と協議を行うことを決定
7:00	・市担当者らによる協議：三津・岬・高岡では被害なし、行当より西は調査中。佐喜浜で5隻の転覆・沈没を目視確認。港外への流出もある。 ・防災無線で津波注意報に関する注意喚起放送を実施。
9:00	・市担当者らによる協議：佐喜浜以外での被害が発生していないことを確認。以後、防災対策課2名で対応することを確認。
9:30	・防災無線で津波注意報に関する注意喚起放送を実施。
13:10	・漁協から室戸土木事務所に佐喜浜の行方不明5隻と電話連絡。
13:33	・高知地方気象台より電話。14:00に津波注意報解除予定。
14:00	・津波注意報解除 ・Lアラート入力 無線放送実施 災害配備体制解除

発表された直後の1月16日0:20～0:30頃にかけて、船が漂流し、他の漁船と衝突、転覆する様子が目撃されている。

写真-2、写真-3は現地漁民が撮影した動画からキャプチャしたものである。気象庁が1月15日19時3分に発表した津波予報の段階では、若干の海面変動が発生する可能性であったことから、漁港内では船首を岸壁に向けて係留する槍付け係留がされていた。写真-2では、一番手前の漁船は槍付け係留されたままであるものの、それ以外の3隻は、船首が岸壁側を向いていなかったり、岸壁から離れていたりしており、ロープの破断により漂流している様子が伺える。写真-3は、開口部側に停泊していた2t級の漁船（漁船A）のロープが破断し、押し波と共に漁港奥側へと漂流し、船首が小型の漁船Bの左舷後方に衝突する瞬間である。漁船Bの船体が右側に転倒し始めている様子が伺える。漁港内で転覆・沈没で発見された5隻の漁船は、構内奥の中央付近に集中していた（例えば写真-4）。明け方になり、漁船が1隻沖に漂流し



写真-2 漁港内で漂流する漁船(高知県漁連副会長植元氏提供)

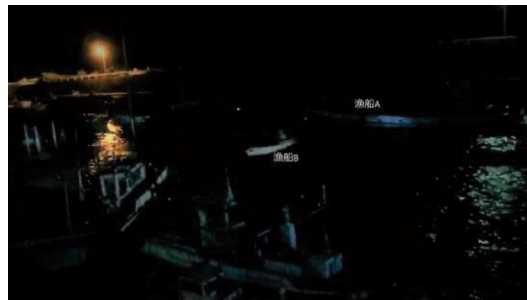


写真-3 漁船Aが漁船Bに衝突する様子(高知県漁連副会長植元氏提供)



写真-4 漁港内の転覆・沈没状況(白矢印の船)、(高知県漁連副会長植元氏提供)

たことが分かり、ドローンで捜索し発見されるなど、計8隻が損傷被害を受けた。

また、自動製氷機付近に停泊していた19t級の漁船2隻の係留ロープが破断したが、状況に気づいた船員が、離岸する前に漁船に乗り込み操舵したことで、漂流を逃れることができた。発見が遅れて操舵不能となったとしたら、より多くの構内に停泊していた漁船と衝突し、被害が拡大した可能性が考えられる。



図-6：小室漁港で被災した船舶の位置（著者撮影）

3.4 宇佐漁港（高知県土佐市）

宇佐漁港では2隻の船舶被害が発生したが、うち1隻はマリーナに停泊中の小型船、もう一隻が漁港の3箇所の船溜まりのうち、中央の船溜まりの開口部付近に停泊していた漁船である。

宇佐漁港は前面に位置する沿岸州の東西両端から導流堤や一文字堤が設置されており、外海からの長波が両側から進入する構造となっている(図-5)-。一文字堤の南側は浦ノ内湾と接続しており、浦ノ内湾の反射波の一部が漁港側に進入しうる。そのため、波の増幅については、他の被害が発生した漁港と比べて複雑な条件を有しているものと見られる。



図-7：



図-5 宇佐漁港周辺の概要

3.5 小室漁港（高知県四万十町）

小室漁港では、4隻の漁船が転覆、うち1隻が港外の砂浜に流失する被害が発生した。停泊位置は図-6に示す通り、開口部寄りの岸壁に槍付け係留により停泊していた。漁港のすぐ北側に河口を有する後川から、興津海岸の砂浜維持のため設置されたと見られる導流堤が南側に伸びている(図-7)。当時の状況を目撃した漁民の話によれば、引き波の際の川からの水が漁港内に回り込んで渦ができたとのことである。渦が引き波時の水の流入によるか押し波の進入によるものかについては、遡上距離、潮汐位相、周期などの影響を受けることが予想されることから、これらのパラメータを条件とした数値実験を行い検証する必要がある。

3.6 佐賀漁港（高知県黒潮町）

佐賀漁港では、伊与木川の河口兩岸の船溜まりでロープ損傷に伴う船内への浸水や転覆により計4隻が被害を受けた(図-8)。兩岸の船溜まりの開口部側で波の進入を直接的に受けやすく流速の大きい位置と見られる。被災した船が停泊した船溜まりの外側にも左右1カ所ずつ船溜まりがあるが、船舶への被害が報告されていない。



図-8 佐賀漁港における被害箇所

3.7 三崎漁港（高知県土佐清水市）

三崎漁港では構内中央部に係留していた漁船4隻が転覆・流失する被害が発生した。構内で転覆した状態で発見されたのが1隻、残り3隻のうち2隻は東隣の砂浜で転覆した状態で発見され、1隻は東隣の湾ま

で流された。漁民の証言によれば、最大波到達時に被災した漁船が停泊していた右岸（西側）の堤防の天端をわずかに超え、堤防から1~2m程度の範囲で数cm程度冠水したとされる。漁港の奥は水深が比較的浅く海面の揺れは奥まで届いていないということであった。三崎漁港は、2011年東北地方太平洋沖地震などにおいて、漁港全体が干上がるまで水が退き、漁船が全部転覆する被害が発生したことがある。

三崎漁港をはじめとする足摺岬より西側の土佐清水市沿岸では、冬季の前線通過などに伴い、全振幅50cm以上の顕著な潮位副振動（気象津波）が観測されることがあり（田中, 2018）、今事例に類似した海面昇降が度々発生している。



図-9 三崎漁港における被害概要

4. 議論

前節で得られた本調査における証言を基にした内容の妥当性について、潮位観測や数値解析結果を加えて述べる。それと共に、現象解明を行う上で求められる点について述べる。

4.1. 潮位観測との整合性

前節で述べた被害状況の全般的な特徴について、潮位観測結果と強制潮位を湾外から与えた湾水振動に関する数値解析の結果と照合しながら述べる。図-10は気象庁験潮所の阿波由岐（徳島県）、室戸岬・土佐清水の毎15秒潮位観測データより、2分~200分のバンドパスフィルターを用いて抽出した潮位偏差成分の時系列である。第1波と見られる潮位変化が1月15日20時40分から20時50分の間に第1波の到達による潮位上昇が観測されており、3地点いずれにおいても1月16日0時から1時の間に最大波高に到達している。連続ウェーブレット解析により、卓越周期の時間変化を解析すると、1月16日0時から3時の時間帯において、阿波由岐で10~16分、室戸岬で8~12分、土佐清水で20~25分の周期帯にピークが見られている。ただし、土佐清水においては、1月16日0時付近に10分前後のピークも現れている。今事例で10分前後の短い周期で押し波引き波が繰り返されたという証言と大きく矛盾していないことが潮位観測結果から示唆される。

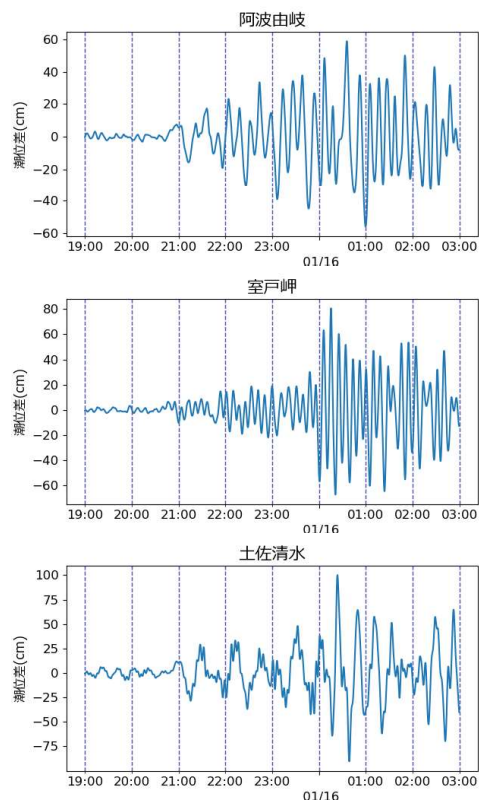


図-10 四国太平洋岸の気象庁験潮所(阿波由岐・室戸岬・土佐清水)で観測された潮位偏差成分

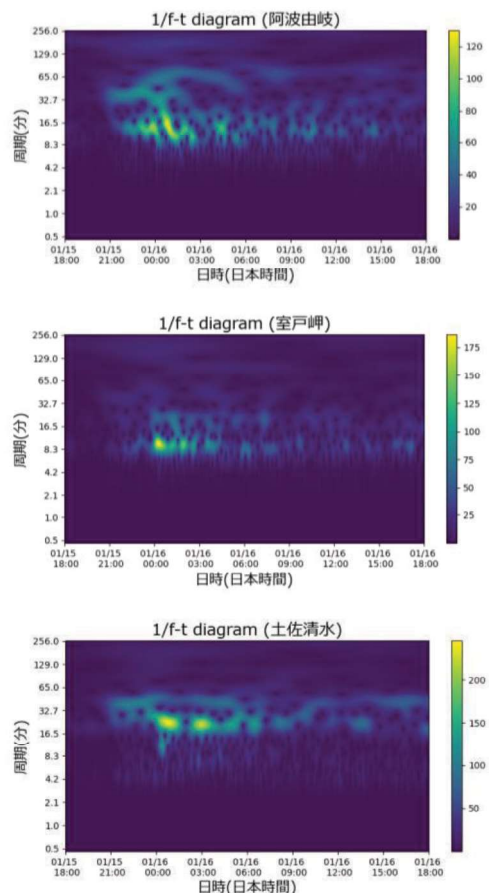


図-11 図-10と同じ験潮所のwaveletスペクトル

4.2 漁港内での渦と流動場

今回の調査で得られた証言の中で、漁港の中で渦ができたことが挙げられる。漁港の開口部で潮位変化を境界条件として強制的に与え、漁港内の渦の形成をはじめとする流動場の構造に関する数値解析を試みた。一定水位の助走期間を1時間分与え、強制潮位の振幅を50cm、周期を10分とし、6周期分(1時間)の計算を行った。今回の数値解析には、流動解析シミュレーターiRICを使用し、ソルバーにはNays2DHを用いた。対象漁港に対し、2mメッシュに格子分割した計算領域を設定した。

室戸市佐喜浜漁港を対象領域とした結果を図-12に示す。図-12の上段に配置した粒子(トレーサー)が、押し波によって奥へと流動する際に、図-4に示している転覆被害が発生した区域や19t級の漁船が停泊していた区域などで渦が形成され、局所的に流速が大きくなる。図-12に見られる渦は漁港の最奥部には到達せず、粒子も初期位置付近で安定して存在する。最奥部では海面昇降が大きくとも、質量保存の法則の関係から水平の流速変化が相対的に小さくなり、係留ロープに加わる張力が弱い。一方、開口部付近や、渦形成域は、水平流速変化が大きく、係留ロープが破断する危険性が高いことが示唆される。張力に関する定量的な知見を得るために、今後更なる解析が求められる。

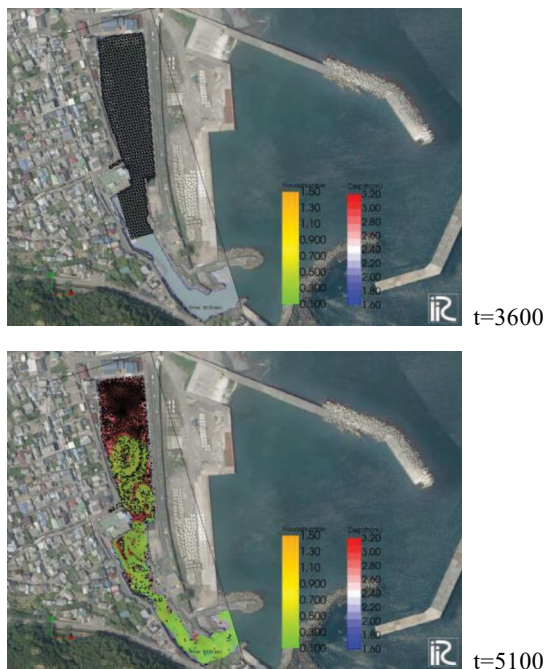


図-12 佐喜浜漁港における流動場の解析例。上段：粒子配置の初期状態 (t=3600)、下段：強制波入射開始から1500秒後(2周期半後)の粒子位置・水位・フルード数の分布。

4.3 岸壁の構造・係留方法と漁船転覆との関係

今回の漁船等の被害に関する他の特徴として、係留方法が挙げられる。1月15日19時3分の気象庁発表の津波情報で若干の海面変動の可能性の発表を受けて、波高の予想が出ないほど微小な波が到達すると解釈し、通常の槍付け係留のままであった。このことが、船体に対してロールやヨーが加わり転覆したり、ローブ破断の一因となったりした可能性が考えられる。台風接近時に高潮・高波対策として、船首を港軸湾口方向に向けて係留する対応がとられる場合がある(写真-5)。遠地津波に関する情報を受けて、数時間のリードタイムの間にこの方法で係留を行うことで、今回の転覆等の被害を低減することが可能と見られる。

漁港内の岸壁では、消波対策のために、上部ブロックを数10cm突き出し、下部に空洞を設ける構造を取り入れている所もある。例えば、佐喜浜漁港では、写真-5のように、岸壁上部は下部に対して30cm突き出している。槍付け係留の場合、潮位が急激に低下すると、船首が岸側に引き寄せられる。船首の一部が下部空洞に潜り込み、そこから潮位が急上昇すると船首が空洞に潜り込んだまま上部ブロックに押しつけられた状態となり、船体バランスが崩れて転覆する可能性があるのではないかと、現地の漁民から指摘があった。実際にそのような現象が起こる可能性があるかどうか不明であり、水槽模型実験等による検証が必要である。



写真-5 台風接近時の漁船係留の様子(高知県漁連副会長植元氏提供)



写真-6 佐喜浜漁港の岸壁上部ブロックの突き出し

5. おわりに

本稿で述べた現地調査で得られた結果についてまとめると以下の通りになる。

(1) 漁港内で転覆・流失等の被害を受けた船舶の係留位置は、流速が大きくなりやすい開口部付近や構内の渦が発達しやすい区域に集中する傾向にある。潮位が最も高くなりやすい最奥部では、水平流速が減衰するため、係留ロープ破断の可能性が相対的に低くなる。

(2) 今回被害が確認された漁港においては、津波予報での若干の海面変動の予想を受け、係留方法を通常時の槍付け係留のままであった。高潮対策と同様、船首を湾軸方向湾口側に向け、漁港最奥部に係留していたら転覆被害を軽減できた可能性がある。今事例のように、予想波高の発表が困難な場合について、1mを超える海面昇降に備えた船舶係留の対応の呼びかけを行うことが求められる。

(3) 漁港内で波が大きくなり、船の衝突音が聞こえるようになった時間帯がおおむね2022年1月16日0時~1時の間であり、四国沿岸の験潮所の観測データから解析される最大波の発生時間帯と一致する。

(4) 漁民の証言の中の10分前後の漁港内の押し波引き波の成分は、験潮所の潮位観測データからも抽出されており、同周期帯の波が少なくとも四国の太平洋側沿岸に様に到達した可能性が示唆される。

(5) 岸壁下部空洞への船首の潜り込みが、転覆の一因となりうるかは不明であり、模型実験等での検証が必要である。

謝 辞

本報告の初動調査において、自然災害研究協議会より支援を受けた。また、本稿は科学研究費特別研究促進費「トンガ海底火山噴火とそれに伴う津波の予測と災害に関する総合調査」(21K21353)による支援を受けた。高知県漁協組合連合会・植元茂男副

会長より、当時の状況を撮影した貴重な写真・動画資料を提供いただいた。ヒヤリング調査にあたって、各地区の漁協の方々にご協力いただいた。

参考文献

- 気象庁 (2002) : フンガ・トンガ-フンガ・ハアパイ火山の噴火時における気象庁の対応、今後の当面の対応について、気象庁第19回津波予測技術に関する勉強会, 資料2, 5p.
- 気象庁 (2002) : フンガ・トンガ-フンガ・ハアパイ火山の噴火で観測された気圧、潮位変化について、気象庁第19回津波予測技術に関する勉強会, 資料3-1, 8p.
- 佐竹健治, 大湊隆雄, 西田究, サッパシー・アナワット, 関谷直也(2022): トンガ海底火山噴火とそれに伴う津波の予測と災害に関する総合調査, -科学研究費特別研究促進費による突発災害調査研究令和3年度報告-, 第59回自然災害総合シンポジウム講演論文集, pp.1-10.
- 田中健路 (2018) : 2018年1月上旬に発生した潮位副振動の気象場, 自然災害研究協議会 中国地区部会研究論文集, 第4号, pp.17-20.
- Lowe, D.J., and Lange, W.P., (2000): Volcanometeorological tsunamis, thec. AD 200 Taupo eruption (New Zealand) and the possibility of a global tsunami, the Holocene, 10, pp. 401-407.
- NHK (2022): 高知県徳島県三重県で漁船沈没や転覆相次ぐ, NHK News web, 2022/1/16 18時30分発表 <https://www3.nhk.or.jp/news/html/20220116/k10013433281000.html> (2022.9.15 確認)