

5.7 津波・瓦屋根の被害

5.7.1 調査の目的と概要

(1) 目的

令和6年能登半島地震では、石川県能登地方でマグニチュード(M)7.6、最大震度7の地震が発生し、日本海側を中心に津波も観測され(輪島港(港湾局)観測点の速報値で1.2m以上)、多数の建築物に倒壊や流失等の大きな被害が発生した^{5.7-1)}。

国土交通省国土技術政策総合研究所と国立研究開発法人建築研究所は、国土交通省住宅局の要請等を受け、新潟県上越市、石川県珠洲市及び鳳珠郡能登町で被害が生じた建築物等を対象に現地調査を実施した。この現地調査では、津波による被害形態の収集と令和5年5月5日の地震(珠洲市正院で最大震度6強)で無被害であった瓦屋根の被害有無の確認を主な目的とし、今後の被害原因の考察に必要な基礎資料を収集した。なお、本調査内容は両研究所による調査報告^{5.7-2)}を加筆・再構成したもので、各自治体が発行する罹災証明における全半壊の判断等には関係していない。

(2) 調査行程

調査は1月12日から3日間実施した。以下に各調査日の主な行程、図5.7-1に調査地域の位置関係を示す。

- ・1月12日(金)
津波被害調査(新潟県上越市港町、船見公園、五智(居多ヶ浜))
- ・1月13日(土)
津波被害調査(石川県珠洲市宝立町鶴飼・飯田町・三崎町寺家)
瓦屋根の地震被害調査(石川県珠洲市正院町正院・川尻)
- ・1月14日(日)
津波被害調査(石川県珠洲市宝立町鶴飼、鳳珠郡能登町白丸)



図 5.7-1 調査地域の位置関係^{5.7-3)}

注) 気象庁：地震情報に加筆(参照日：2024年1月16日)

5.7.2 津波被害調査の概要

(1) 上越市港町周辺

報道等による津波の映像^{5.7-4}が鮮明に残っており、津波シミュレーション^{5.7-5}によって浸水深が高かったとされる上越市直江津地区において津波被害調査を実施した。

港町周辺では関川と保倉川の合流点付近の堤防で、基礎の引き抜け及び鉄柱の折損によってフェンスが倒壊していた(写真 5.7-1)。フェンスは堤防から高さが低くなっている部分に存在していたため、流速と水深が高くなり被害を受けたと考えられる。引き抜けた部分の基礎は1辺 30cmであった(写真 5.7-2)。付近には、津波で床上浸水の被害があったとされる住宅が1軒あり、津波の痕跡となる高さを測定すると、約 50cmであった(写真 5.7-3)。その他の周辺の建築物は、堤防に沿ってブロック塀があったことから床上浸水の被害を免れたと見られる(写真 5.7-3 に示す奥側の住宅)。河川の洪水対策を目的とした高さのある堤防が存在していたため、周囲の建築物や工作物等の被害はほとんど見られなかった。

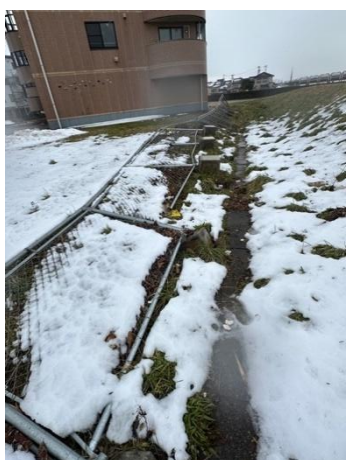


写真 5.7-1 フェンスの倒壊



写真 5.7-2 フェンスの引き抜けた基礎



写真 5.7-3 浸水したと見られる住宅

(2) 上越市船見公園周辺

船見公園周辺の海岸では2本のH形鋼で支持された看板が傾斜していた(写真 5.7-4)。下部に多くの漂流物が絡まっていたことから、津波による直接的な外力に加えて、漂流物による堰き止め効果によって傾斜が生じ得る程度の力が作用したものと考えられる。

写真 5.7-5 は令和6年1月2日に撮影したものであり、付近の塀の高さ約 40cm の部分に津波の痕跡と考えられる線が見られた。海岸に起伏があり、建築物が海岸線から離れているだけでなく、高台に位置しているものも多いため、周辺の道路や住宅での津波被害を免れたものと考えられる(写真 5.7-6)。また、海岸部では複数のボートが陸側に流されて転覆していることに加え、沿岸部では地震による消波ブロックの沈下が見られた。



写真 5.7-4 看板の傾斜



写真 5.7-5 津波の痕跡



写真 5.7-6 瓦礫の遡上と住宅地の位置関係

(3) 上越市五智（居多ヶ浜）周辺

海沿いに建てられた店舗(海の家)が津波による被害を受けていた。周囲は立ち入り禁止区域となっていたため、詳細な調査は実施できなかったが、被害を受けた海の家は堤防がなく海に面した場所に立地していたことから、津波による外力を直接受けやすい立地であった(写真 5.7-7)。



写真 5.7-7 海の家の様子

(4) 珠洲市宝立町鵜飼

珠洲市宝立町鵜飼では、海に面した2階建てのRC造建築物の宿泊施設(写真 5.7-8)の被害調査を実施した。海岸に沿った細長い平面形状であり、1階開口部の海に面した側のガラスはほとんど損傷していた(写真 5.7-9)。一方、2階開口部ではガラスは損傷していないことから、1階の被害は津波によるもので、津波は2階までは達していなかったと見られる。この建築物では、外観から躯体の被害は確認できなかった。確認できる範囲で海側のガラスの損傷高さを調査すると、損傷箇所の上面の高さは地面から1.5~2.4mであった。また、窓ガラスの損傷には津波波力と見られるものだけでなく、植木や流木の衝突によるものも見られた(写真 5.7-10)。



写真 5.7-8 1階の窓ガラスの損傷(1)



写真 5.7-9 1階の窓ガラスの損傷(2)



写真 5.7-10 漂流物(流木)の衝突

鵜飼漁港では、海に面した倉庫や建築物の開口部に津波による被害が見られた。写真 5.7-11 は鉄骨造倉庫の被害である。開口部に津波が流入しており、漂流物が流れ込んでいた。また、付近の RC 造建築物の周囲の地盤には洗掘が生じていた(写真 5.7-12)。

沿岸部では基礎と土台のみが残り上部構造が流失した建築物が複数見られた(写真 5.7-13)。上部構造が流失した住宅において隅角部の土台を確認したが、金物の採用は確認できなかった。一方、この付近では開口部が破壊されることによって内部に水が流入したことで流失を免れたと考えられる建築物も見られた。また、比較的築年数が浅いと見られる住宅も流失を免れていた(写真 5.7-14)。付近の建築物の痕跡高さを調査したところ、地面から約 3m の高さに津波の痕跡が見られた(写真 5.7-15)。

写真 5.7-16 は津波によって前後面が破壊した建築物である。正面及び背面の広い範囲で外壁が損傷しており、軒天井まで津波が跳ね上がったと見られる被害も確認できた。



写真 5.7-11 鉄骨造倉庫の被害



写真 5.7-12 RC造建築物周囲の地盤の洗掘



写真 5.7-13 建築物の流失



写真 5.7-14 流失を免れた建築物



写真 5.7-15 津波の痕跡高さ



写真 5.7-16 津波による前面の被害

鵜飼漁港の北側では多くの車両が津波により流されている状況が確認された。特に、海からの津波の遡上によって、車両が鵜飼交差点付近の一ヶ所の通りに集中して移動している状況が見られた(写真 5.7-17)。また、鵜飼漁港近くの橋とそれに接する道路との間には大きな段差が見られた(写真 5.7-

18)。この周辺では多くの住宅が地震によって倒壊し、道路では多数のマンホールが周囲の地盤面から隆起しており、調査した範囲では最大で 1.5m ほど突出していた(写真 5.7-19)。



写真 5.7-17 車両の移動



写真 5.7-18 橋と道路との間の段差



写真 5.7-19 突出したマンホール

(5) 珠洲市飯田町

珠洲市飯田町の飯田港周辺では、沿岸部で津波被害を受けた建築物が複数見られた。写真 5.7-20 の建築物では、津波の波圧によって外壁が面外方向に変形していた。また、津波によって隅部の柱が損傷していることも確認できた。

写真 5.7-21 は海岸付近に立地する鉄骨造の津波避難施設(旧珠洲消防署訓練塔)^{5.7-6)}である。当該施設では高さ約 4m の部分で外壁パネルが損傷していた。同施設の近くに衝突したと見られる漂流物、同施設の下部に車の存在がそれぞれ確認できる。なお、目視での残留変形は確認できなかった。



写真 5.7-20 津波の波圧による損傷



写真 5.7-21 津波避難施設の外観(陸側からの撮影)

(6) 珠洲市三崎町寺家

珠洲市三崎町寺家の沿岸部では、基礎のみが残っており、上部構造が流失・移動した事例が複数見られた(写真 5.7-22～5.7-23)。また、海岸からやや陸側の住宅では津波による開口部などの損傷は見られなかったものの、車が移動している状況が見られた(写真 5.7-24)。

海に面した部分が RC 造の建築物では、津波による開口部(扉)の被害は見られたものの、躯体に地震及び津波による被害は発生していなかった(写真 5.7-25)。なお、2 階部分のガラスに損傷がなかったことから、津波は 2 階の高さまでは達していなかったと考えられる。



写真 5.7-22 上部構造の流失



写真 5.7-23 移動した住宅



写真 5.7-24 津波による車の移動



写真 5.7-25 RC造建築物の被害状況

(7) 鳳珠郡能登町白丸

鳳珠郡能登町白丸の沿岸部では、土台から流された住宅等が複数見られた。写真 5.7-26 は海に面した木造の建築物である。開口部及び津波が流入したと考えられる高さでは外壁が損傷しており、高さ 3m 以上と見られる位置にある蛍光灯に津波の痕跡と見られる泥の付着が確認できた。陸側の外壁も大きく損傷していたものの、外観目視では内部の軸組には大きな被害は見られなかった。

海に面した建築物では外壁が津波の波圧によって損傷しており、それに隣接した住宅では隅部の柱が流失しているものも見られた(写真 5.7-27)。また、2 階部分が汀線まで移動した建築物(写真 5.7-28)や海側に移動した車両も見られた。上部構造が流失した住宅では土台の状況を確認したが、柱脚接合部に金物の採用は確認できなかった(写真 5.7-29)。

複数の建築物で津波の痕跡高さを測量した結果、いずれも地面から 3.4m 程度の高さであり、当該地区では 3m を超える津波が作用していたと考えられる。また、痕跡の残る建築物では海側では 3m を超える高さの痕跡が見られたが、陸側に向かうにつれて痕跡の高さは徐々に低くなり、約 2.5m 程度となっていたことが確認された(写真 5.7-30)。



写真 5.7-26 海側の開口部の損傷



写真 5.7-27 外壁の損傷と隅柱の流失



写真 5.7-28 住宅の2階部分の移動



写真 5.7-29 流失した住宅の土台の状況



写真 5.7-30 漂流物による外壁の被害と津波の痕跡

5.7.3 津波被害の調査範囲を対象にした分析

(1) 調査範囲での津波被害分布

調査を実施した珠州市宝立町鶴飼、三崎町寺家における建築物の被害画像を確認し、表 5.7-1 に示す方針で被害形態を分類し、各建築物の状況を地図上にプロットすることで被害分布を把握した。表 5.7-1 の DOD=4b、6 のように明らかに震動被害と考えられる事例は対象外としたが、震動と津波のどちらによる被害か明確ではない被害も見られたため、主として震動被害による事例も含まれている可能性はある。

また、被害調査画像から確認できない状況については可能な範囲で、日本建築学会津波荷重改定小委員会による調査画像や東大先端科学技術研究センター（大伏仙泰研究員）公表のストリートビュー画像^{5.7-9}も参照して補完した。

表 5.7-1 外観からみた被害形態の分類

DOD	地図上の色	外観からみた被害形態	備考
0	青	外観上、被害が確認できない	
1	橙	1階の開口部(窓ガラスや建具等)の損傷	面内変形の震動による被害もあり得るが、津波波圧や漂流物による被害の可能性が高いものと判断
2	橙	1階の外壁の損傷	同上
3	赤	1階の柱の折損	震動による被害もあり得るが、津波波圧や漂流物による被害の可能性もあるものと判断
4a	赤	1階の傾斜(傾斜方向が海岸線と直交する場合)	震動による被害もあり得るが、傾斜方向と入射方向が概ね同じ場合には、津波波圧による被害の可能性もあるものと判断
4b	(対象外)	1階の傾斜(傾斜方向が海岸線と平行な場合)	震動による被害と判断(津波被害にカウントしない)
5	赤	1階の層崩壊	震動による被害の可能性も高いが、津波波圧による被害の可能性もあるものと判断
6	(対象外)	上部構造全体の倒壊	震動による被害と判断(津波被害にカウントしない)
7	黒	上部構造の流失	震動による損傷後に流失した可能性もあるが、その可能性も含めて津波波圧による被害と判断

1) 珠洲市宝立町鵜飼(北エリア)

図 5.7-2 に珠洲市宝立町鵜飼(北エリア)の被害分布、図 5.7-3 に海岸線からの距離に応じた被害割合を示す。写真 5.7-31 に示すように、海側の遮蔽物は確認されなかった。

この調査エリアでは開口等の被害(橙色)のほうが構造躯体の被害(赤色)よりも多く、津波による構造躯体の被害は海岸線からの距離とともに減少する傾向である。また、海岸近くで上部構造の流失(黒色)が多く、その割合は海岸線からの距離とともに減少する。ただし、流失事例の多くは木造倉庫等(非住家)の可能性はある。一方、外観上無被害の建物(青色)は海岸線からの距離とともに増加している。

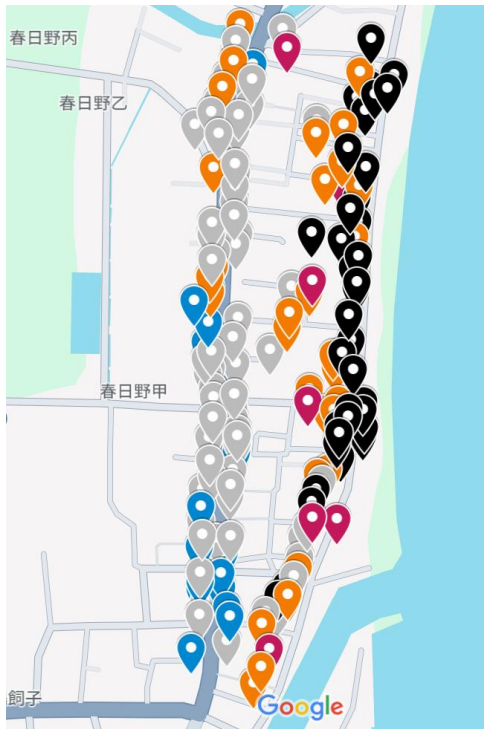


図 5.7-2 珠洲市宝立町鵜飼(北エリア)の被害分布

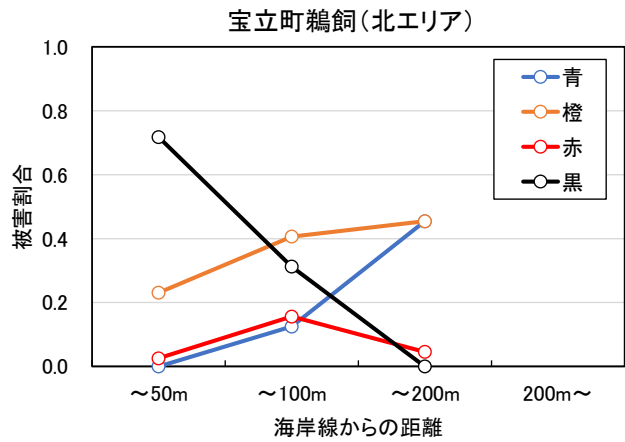


図 5.7-3 海岸線からの距離に応じた被害割合



写真 5.7-31 調査範囲から見た海側の状況

2) 珠洲市宝立町鵜飼(南エリア)

図 5.7-4 に珠洲市宝立町鵜飼(南エリア)の被害分布、図 5.7-5 に海岸線からの距離に応じた被害割合を示す。写真 5.7-32 に示すように、海側には鵜飼漁港の防波堤が確認できた。

この調査エリアでも 1)の北エリアと同様に、開口等の被害(橙色)のほうが構造躯体の被害(赤色)よりも多く、いずれの被害も海岸線からの距離とともに減少する傾向である。また、外観上無被害の建物(青色)は海岸線からの距離とともに増加している。この調査エリアは 1)の北エリアと異なり、調査した範囲では上部構造の流失被害は確認されず、防波堤によって一定程度津波波力の低減に寄与した可能性がある。

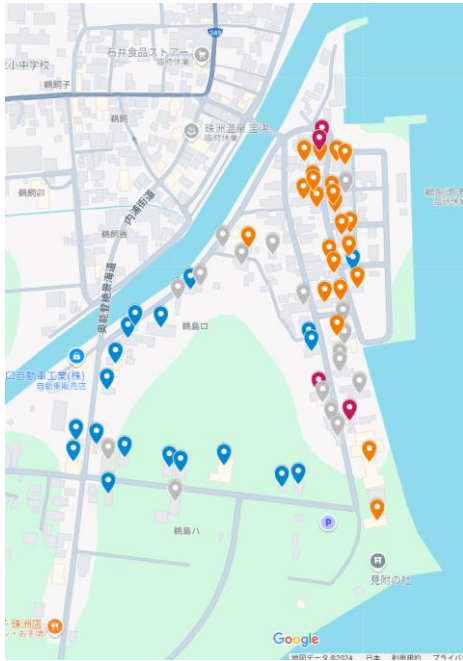


図 5.7-4 珠洲市宝立町鷺飼(南エリア)の被害分布

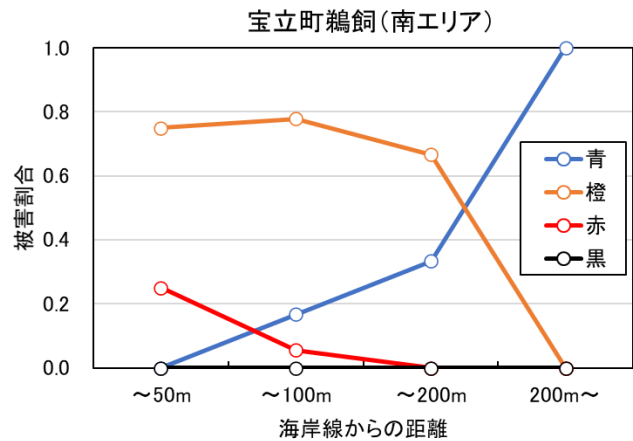


図 5.7-5 海岸線からの距離に応じた被害割合



写真 5.7-32 調査範囲から見た海側の状況



3) 珠洲市三崎町寺家

図 5.7-6 に珠洲市三崎町寺家の被害分布、図 5.7-7 に海岸線からの距離に応じた被害割合を示す。写真 5.7-33 に示すように、海側には防潮堤(高さ約 1.5m)の転倒が確認された。

この調査エリアの構造躯体の被害は海岸線から 50m 以下の範囲のみで確認され、50m 超の範囲では全て開口等の被害(橙色)であった。開口部の損傷には津波による直接的な被害だけでなく、漂流物による被害によるものも含まれている。

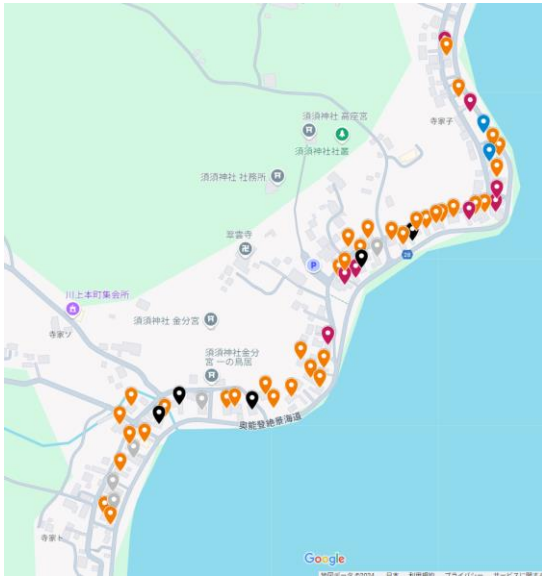


図 5.7-6 珠洲市三崎町寺家の被害分布

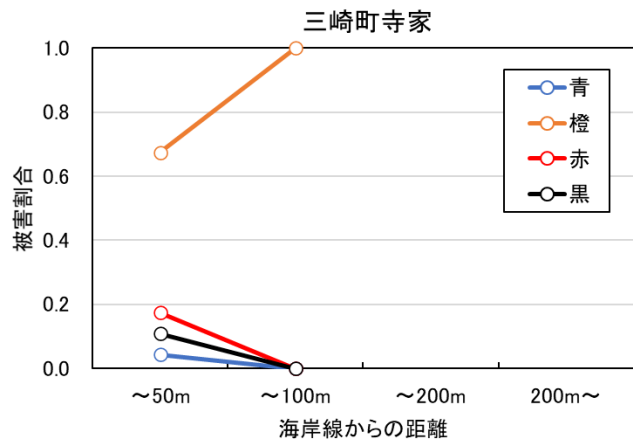


図 5.7-7 海岸線からの距離に応じた被害割合



写真 5.7-33 調査範囲から見た海側の状況

(2) 浸水痕跡と被害形態に基づく浸水深、水深係数等の推定

1) 浸水痕跡に基づく推定

調査建築物の外壁等に認められた浸水の痕跡(浸水深)から、流速、フルード数、水深係数の推定を試みた。松富ら(2008)^{5.7-10)}の方法に従い、前面浸水深を h_f 、背面浸水深を h_r とすれば、流速 v はベルヌーイの定理と図 5.7-8 から以下で表される (g : 重力加速度)。

$$v = \sqrt{2g(h_f - h_r)} \quad (5.7-1)$$

これから、フルード数 F_r と水深係数 a はそれぞれ次式で表される。

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{gh_r}} \quad (5.7-2)$$

$$a = \sqrt{2F_r} \quad (5.7-3)$$

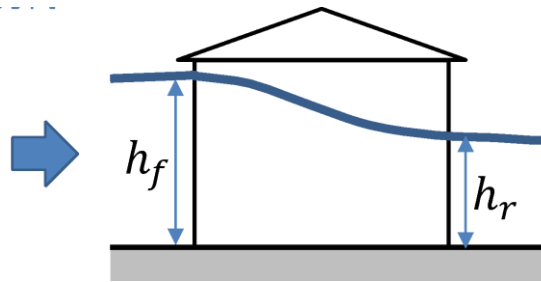


図 5.7-8 流速の推定に用いる浸水深

推定結果を表 5.7-2 にまとめる。白丸での事例は写真 5.7-30 に基づき推定した。なお、表中の調査者が AIJ とあるのは、日本建築学会津波荷重改定小委員会による結果の引用である。いずれの結果についても、推定された水深係数 a は平成 23 年国土交通省告示第 1318 号で規定される値を上回るものではなかった。

表 5.7-2 各調査地点における流速、フルード数、水深係数の推定結果

場所	前面浸水深 h_f (m)	背面浸水深 h_r (m)	根拠	流速 v (m/s)	フルード数 Fr	水深係数 a	調査者
白丸	3.0	2.5	浸水痕	3.1	0.63	0.9	国総研・建研
白丸	3.6	2.5	衝突痕	4.7	0.95	1.3	AIJ
鵜飼漁港	3.7	2.5	衝突痕	4.8	0.97	1.4	AIJ
鵜飼漁港	2.1	1.3	内部痕跡	4.0	1.12	1.6	AIJ
寺家漁港	1.8	1.6	水痕	2.0	0.50	0.7	AIJ
寺家漁港	1.4	1.0	内部痕跡	2.8	0.89	1.3	AIJ

2) 被害形態に基づく推定

津波荷重改定小委員会による調査^{5.7-11)}で、珠州市宝立町鵜飼で確認された鉄骨造倉庫の漂流物の衝突による被害形態に基づき、浸水深 h と流速 v を推定する。写真 5.7-34 に鉄骨造倉庫の状況、図 5.7-9 に平面図を示す。近隣に立地していた住宅が倒壊し、その 2 階部分が漂流物となって当該倉庫の妻面に衝突した結果、桁行方向に傾斜していた。



写真 5.7-34 鉄骨造倉庫の状況

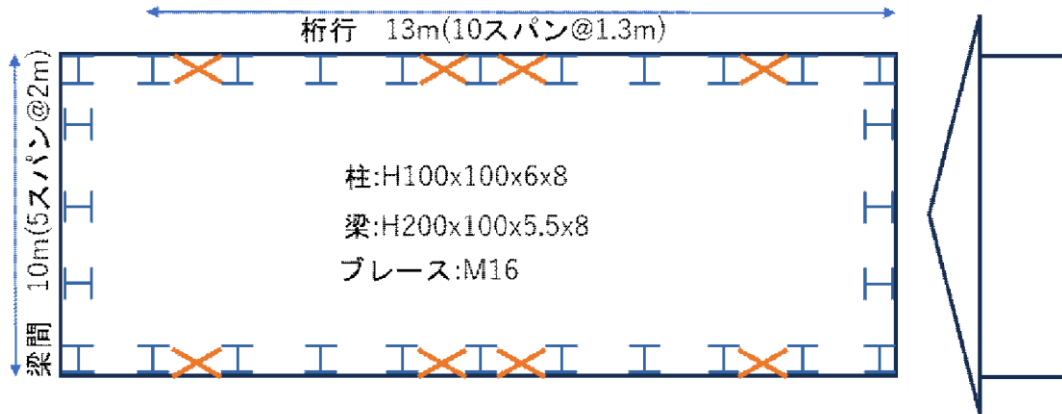


図 5.7-9 鉄骨造倉庫の平面図 (5.7-11)

桁行方向の 8 か所に設けられたブレースの破断前(降伏耐力)に基づき、以下の 2 通りの仮定を設けて、仮想仕事の原理により浸水深を推定する。ここで、ブレースの断面 A を 164mm^2 、降伏応力度 σ_y を 235N/mm^2 、ブレースの引張強度 N_y を 38.6kN 、ブレース間隔 L を 1.3m 、ブレース長さ l を 3.73m 、階高 H を 3.5m 、柱長さ H_1 を 3.5m 、屋根端部高さ H_2 を 4.0m 、屋根頂部高さ H_3 を 5.2m とした。また、 ρ_w を水の密度、 h を静水圧の浸水深、建物の変形角を θ とする。

まず、当該建築物に作用したと考えられる浸水深を推定する。

- ・内力による仕事

$$W_i = N_y \times \frac{L}{l} H \theta \times 8 = 377\theta \text{ kNm} \quad (5.7-4)$$

【仮定 1】1 階受圧面幅 B を建物幅とした場合 (漂流物による堰止めを仮定)

- ・外力による仕事

$$W_e = \int_0^h \rho_w g (h-z) B \times z \theta dz = \frac{1}{6} \rho_w g B h^3 \theta \text{ kNm} \quad (5.7-5)$$

$W_i = W_e$ より、

$$h = 2.85 \text{ m}$$

【仮定 2】1 階受圧面幅を第 1 構面の柱幅 b の合計 Σb とした場合 (漂流物を無視)

- ・外力による仕事

$$W_e = \int_0^{H_1} \rho_w g (h-z) \Sigma b z \theta dz + \int_{H_1}^{H_2} \rho_w g (h-z) B z \theta dz + \int_{H_2}^h \rho_w g (h-z) \frac{B}{(H_3 - H_2)} z \theta dz \quad (5.7-6)$$

$W_i = W_e$ より、

$$h = 4.81 \text{ m}$$

以上より、仮定 1 による結果は鵜飼地区で確認した浸水痕跡の高さ(約 3m)と整合的である。

次に、計算耐力に達する衝突力積から、漂流物の流速を推定する。ここで、倉庫質量 M は鉄骨重量 (100kg/m^2) から 12.7t と推定し、漂流物質量 m は瓦屋根の固定荷重を 1000N/m^2 、壁面板張りの固定荷重を 100N/m^2 として 4.3t と推定した。

まず、ブレース耐力を用いて建築物の耐力を推定する。建物耐力 F と建物剛性 K の推定値は次式によるものとした。なお、架構の水平剛性は STERA 3D^{5.7-12)} で算定されたものである。

$$F = N_y \times \frac{L}{l} \times 8 = 112 \text{ kN} \quad (5.7-7)$$

$$K = 6.35 \times 10^4 \text{ kN/m} \quad (5.7-8)$$

衝突時の振動周期 T の推定値は、 $m = 4.3\text{t}$ 、 $M = 12.7\text{t}$ より

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m + M}{K}} = 0.102 \text{ s}$$

耐力到達時の漂流物流速 v (非弾性衝突) は、次式より $v = 0.66 \text{ m/s}$ となる。

$$mv = F(1/4T) \quad (5.7-9)$$

次に、柱頭の終局曲げモーメントを $M_{u1} (= \sigma_y Z_{px})$ 、 $M_{u2} (= \sigma_y Z_{py})$ とし、柱の高さ $h_c = 3.5\text{m}$ と仮定すると、全塑性曲げ時の水平耐力 R は次式となる。ここで、 Z_{px} および Z_{py} は塑性断面係数である。

$$R = \frac{M_{u1}}{h_c} \cdot 22 + \frac{M_{u2}}{h_c} \cdot 6 = 95.3 \text{ kN} \quad (5.7-10)$$

【仮定 1】 柱の崩壊メカニズム形成が水圧による場合

抗力係数 C_d を 2.1、受圧面積 A を 30m^2 とすると、次式より $v = 1.8 \text{ m/s}$ となる。

$$\frac{1}{2} \rho_w v^2 C_d A = R \quad (5.7-11)$$

【仮定 2】 柱の崩壊メカニズム形成が衝突力による場合

柱頭部での水平変形量 $\delta (= 1.7\text{m})$ とすると、次式より $v = 8.7\text{m/s}$ となる。

$$\frac{1}{2} M v^2 = R \cdot \delta \quad (5.7-12)$$

鵜飼での浸水痕跡から推定した流速は 4m/s 程度であることから、写真 5.7-34 の建築物の傾斜は漂流物の衝突で生じたよりも、漂流物によって受圧面積が増加し、部材の曲げ変形が生じた可能性が高いと考えられる。つまり、鉄骨造建築物では開口に漂流物が堆積することで開口が閉塞し大きな波力を受ける可能性があることから、津波避難タワーの設計においてこうした点にも留意する必要があると考えられる。なお、ここで柱の崩壊メカニズムを計算する上で抗力係数 C_d は 2.1 と仮定したが、この値はフルード数や周囲の建築物の閉塞率などの状況によって変化し得る数値であることに留意されたい。(例: $C_d = 1.2$ のとき、 $v = 2.3\text{m/s}$ 、 $C_d = 3$ のとき、 $v = 1.46\text{m/s}$)

5.7.4 瓦屋根の地震被害調査の概要

(1) 珠洲市正院町

珠洲市正院町では令和5年5月5日の地震時にも最大震度6強を観測したが、同年5月12日に実施した調査では、瓦屋根標準設計・施工ガイドライン^{5.7-7)}に準拠した施工方法(ガイドライン工法)による瓦屋根に被害が生じていないことを確認した^{5.7-8)}。今回もこれらの瓦屋根の状況を再度調査し、震度6強の地震を2回経験した後のガイドライン工法の有効性を確認した。

写真5.7-35は正院公民館付近のJ形瓦のガイドライン工法と見られる住宅であり、写真5.7-36は同じ屋根の令和5年5月調査時の状況である。今回の調査では、コンクリートの電柱が衝突したことによるけらば部で瓦の損傷が見られたが、その他の範囲では外観から瓦の配置に乱れは確認できず、地震による脱落や損傷はないものと考えられる。写真5.7-37は正院町川尻にあるF形瓦のガイドライン工法と見られる住宅である。この瓦も令和5年5月の調査時(写真5.7-38)と外観は変わらず、脱落や損傷はないものと考えられる。しかし、玄関の床の損傷や門の倒壊が発生していた(写真5.7-39)。



写真 5.7-35 ガイドライン工法による住宅
(J形瓦)



写真 5.7-36 令和5年5月の地震後の状況^{5.7-8)}



写真 5.7-37 ガイドライン工法による住宅
(F形瓦)



写真 5.7-38 令和5年5月の地震後の状況^{5.7-8)}



写真 5.7-39 住宅に隣接した門の倒壊

(2) 珠洲市宝立町鶺鴒

写真 5.7-40 のように倒壊した建築物で比較的古いと見られる瓦屋根において、スクリー形状又はリング形状の軸部を有する釘によって全数緊結されているものも確認した(写真 5.7-41)。屋根瓦を葺き替えた建築物が多く存在する可能性も考えられるが、この地区における倒壊した比較的古い建築物を確認すると、その多くは平部の瓦を釘または緊結線によって全数緊結されていたため、確認した範囲では平部の瓦の脱落やズレはほとんど見られなかった。



写真 5.7-40 倒壊した建築物の瓦屋根



写真 5.7-41 緊結材(釘)

5.7.5 まとめ

令和6年能登半島地震及びそれに伴う津波によって被害が発生した建築物等を対象に、新潟県上越市、石川県珠洲市及び鳳珠郡能登町において現地調査を実施した。この調査では、津波による被害形態の収集と令和5年5月5日の地震で無被害であったガイドライン工法による瓦屋根の状況の確認を主な目的とし、併せて地盤を含む震動被害の状況を把握した。以下に主な調査結果をまとめる。

(1) 津波による建築物の被害

- ・ 津波シミュレーションで比較的大きな津波が襲来した可能性があるとされていた上越市では、海の家被害や住宅の浸水被害は見られたが、津波による住宅の構造躯体への被害は見られなかった。

- ・ 能登半島では珠洲市宝立町鶴飼、珠洲市飯田町、珠洲市三崎町寺家及び鳳珠郡能登町白丸で多くの建築物の津波被害を確認した。これらの調査範囲では、津波の被害形態として建築物の移動・流失、外壁及び開口部の損傷(漂流物の衝突)、隅柱の流失、周囲の地盤の洗掘等が確認できた。津波の痕跡高さを調査すると、珠洲市宝立町鶴飼では約 3 m、鳳珠郡能登町白丸では 3m 以上の高さに及ぶものであった。確認した範囲では、流失した建築物の土台に金物は見られなかった。
- ・ 津波による被害は堤防や消波ブロック等の流れの抵抗になるものがなく、海に面している立地で多く確認された。逆に、これらが整備されている区域では津波による被害が軽減されていた。
- ・ 調査範囲での津波被害分布は調査エリアによらず構造躯体の被害は海岸線からの距離とともに減少する傾向であった。ただし、流失事例の多くは木造倉庫等(非住家)の可能性がある。
- ・ 調査建築物の外壁等に認められた浸水の痕跡から、流速、フルード数、水深係数を推定した。推定した水深係数は平成 23 年国土交通省告示第 1318 号で規定される値よりも小さく、現行規定を上回るものではなかった。
- ・ 被害形態に基づく推定によって、漂流物による堰き止めを仮定した時の浸水深が浸水の痕跡と整合することを確認した。また、推定された流速と比較することで、漂流物による衝撃荷重よりも受圧面積が増加したことによる水圧の影響の方が大きい可能性が示唆された。鉄骨造建築物では開口に漂流物が堆積することで開口が閉塞し大きな波力を受ける可能性があることから、津波避難タワーの設計においてこうした点にも留意する必要がある。

(2) 地震による瓦屋根の被害

- ・ 令和 5 年 5 月の瓦屋根の地震被害調査と同様に、ガイドライン工法で施工されたと見られる住宅の瓦屋根を調査した。震度 6 強の地震を 2 回経験した後であっても、ガイドライン工法で施工されたと見られる屋根瓦に被害は確認されなかった。
- ・ 能登地方では古くから平部の瓦を緊結線などで全数留付ける工法が採用されていたことから、上部構造が倒壊した住宅であっても、その多くの屋根で平部の瓦が脱落していないことを確認した。
- ・ 今回調査した範囲では、比較的古いと見られる瓦屋根であっても、平部の瓦に通常の釘より大きな引き抜き抵抗力が期待できるスクリー形状又はリング形状の軸部を有する釘で全数緊結されている事例を確認した。

参考文献

- 5.7-1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：令和 6 年能登半島地震の評価，https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2024/20240101_noto_2.pdf（閲覧日：2024 年 1 月 18 日）
- 5.7-2) 国土交通省国土技術政策総合研究所，国立研究開発法人建築研究所：令和 6 年能登半島地震による建築物の津波被害及び瓦屋根の地震被害 現地調査報告(速報)，<https://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/R5/notojishin03.pdf>(閲覧日：2024 年 8 月 25 日)
- 5.7-3) 気象庁：地震情報，https://www.jma.go.jp/bosai/map.html#10/37.17/137.561/&elem=int&contents=earthquake_map(閲覧日：2024 年 1 月 16 日)
- 5.7-4) KYODO NEWS：【速報】津波，川逆流し浸水 堤防越え，新潟・上越，<https://www.youtube.com/watch?v=fhDan8F35SI>（閲覧日：2024 年 1 月 22 日）
- 5.7-5) 国立研究開発法人建築研究所 国際地震工学センター：Animation of Tsunami Propagation，https://iisee.kenken.go.jp/staff/fujii/Noto2024/tsunami_prop.html（閲覧日：2024 年 1 月 16 日）
- 5.7-6) 珠洲市：津波ハザードマップ No.4—飯田・若山・直地区一，<https://www.city.suzu.lg.jp/uploaded>

/attachment/2377.pdf (閲覧日：2024年1月16日)

- 5.7-7) 一般社団法人全日本瓦工事業連盟・全国陶器瓦工業組合連合会・全国PCがわら組合連合会・一般財団法人日本建築防災協会：2021年改訂版 瓦屋根標準設計・施工ガイドライン，2021
- 5.7-8) 国土交通省国土技術政策総合研究所，国立研究開発法人建築研究所：2023(令和5)年5月5日石川県能登地方を震源とする地震による木造建築物，瓦屋根等の被災建築物調査報告，https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/2023/R5_5_5_noto.pdf(閲覧日：2024年3月14日)
- 5.7-9) 大伏仙泰：石川県珠洲市においてストリートビューの撮影を実施，<https://star.rcast.u-tokyo.ac.jp/suzu-street-view/>(閲覧日：2024年8月30日)
- 5.7-10) 松富英夫，岡本憲助，佐藤和典：浸水痕跡に基づく簡易氾濫流速推定法の基礎的検討，水工学論文集，Vol. 52, pp. 673 - 678, 2008
- 5.7-11) 壁谷澤寿一，浅井竜也，小山毅，有川太郎，福谷陽，松富英夫：津波による被害，2024年度日本建築学会大会(関東)災害部門緊急報告会資料，pp. 55-64, 2024
- 5.7-12) 斎藤大樹：建築物の立体地震応答解析プログラム STERA 3D Ver. 11.4, 2023