

令和 6 年能登半島地震における地震動被害が異なる地域の津波建物被害関数の検討  
 Study on Tsunami Fragility Functions for Buildings in Areas  
 with Different Levels of Seismic Ground Motion Damage in the 2024 Noto Peninsula Earthquake

○釜坂結奈・窪田利久・柏田 仁・井上 隆・福井信氣・森 信人・久田嘉章・片野彩歌・二瓶泰雄  
 ○Yuina KAMASAKA・Riku KUBOTA・Jin KASHIWADA・Takashi INOUE・  
 Nobuki FUKUI・Nobuhito MORI・Yoshiaki HISADA・Ayaka KATANO・Yasuo NIHEI

The 2024 Noto Peninsula Earthquake caused extensive building damage driven by the combined forces of strong seismic ground motions and subsequent tsunami inundation. While previous studies have focused on single-hazard events, the structural response to such multi-hazards remains insufficiently understood. To address this research gap, this study investigates the cumulative impact of earthquakes and tsunamis on building damage using field observation data and numerical modeling of tsunami inundation. Tsunami fragility functions for buildings were developed and compared for three regions exhibiting distinct damage patterns: Ukai-Kasugano and Shiromaru on the Noto Peninsula, and Natori City in Miyagi Prefecture, which was affected by the Great East Japan Earthquake. The results revealed significant differences in building washout rates across these regions.

### 1. はじめに

2024 年 1 月 1 日 16 時 10 分に発生した令和 6 年能登半島地震の本震では、広範囲でマルチハザード (MH) 災害となり、甚大な建物被害が発生した。その要因となったハザードの内、地震と津波の MH は、構造物に連続して作用する荷重を解析した既往研究<sup>1)</sup>において、津波建物被害に対する先行地震の影響が指摘されている。しかし、過去の災害においては MH としての実態解明がされていない。そこで本研究は、今次災害における地震動・津波由来の建物被害状況を把握し、この被害に対する MH の影響を抽出することを目的とする。地震動と津波、火災による建物被害が甚大であった石川県珠洲市鵜飼・春日野、能登町白丸を対象に、現地観測と津波氾濫解析を行った。それらの結果と、東日本大震災で被害を受けた宮城県名取市の観測結果<sup>2)</sup>を基に、3 地区の津波建物被害関数を構築・比較し、地震動・津波 MH 影響を解明した。

### 2. 研究手法

(1) 現地観測：2024 年 3-5 月に鵜飼・春日野、白丸（図 1）にて、建物被害調査と津波痕跡調査を実施した。建物被害調査では、被害主要因（地震動・津波・火災および MH）と被害程度を分けた計 12 分類（図 2）に目視で判定した（調査棟数：鵜飼・春日野 977 棟、白丸 264 棟）。建物データは、国土地理院基盤地図情報を使用した。津波痕跡調査で



図 1 観測・解析地点と震度分布<sup>3)</sup>



図 2 建物被害分類

は、RTK-GNSS (R10, R12i, Trimble 社製) で標高を、スタッフで浸水深を計測した（調査地点数：鵜飼・春日野 71 地点、白丸 45 地点）。

(2) 津波氾濫解析：解析モデルは、洪水・氾濫流用に開発している Hy2-3D model<sup>4)</sup>で、建物サブグリッドモデル<sup>4)</sup>を導入しており、三次元解析で建物一棟ごとに流体力を適切に評価できる。解析範囲は、先述の 2 地区の浸水域とその沖側とした。水平方向には一般座標系、鉛直方向には  $\sigma$  座標系を、境界条件には広域津波解析<sup>5)</sup>の流速・水位データを用いた。陸域標高は地震発災後に計測され

たLPデータを、河道内は横断測量データ、現地計測した河床高を内挿した。海域の地盤高は、海底地形デジタルデータ(M7000シリーズ)を用いた。マニニングの粗度係数nは全域で $0.03\text{ m}^{-1/3}\text{s}$ とした。

(3) 建物被害関数：既往研究<sup>6)</sup>に倣い、「ある津波指標xのときの建物被害率 $P_D(x)$ は、式(1)に表す標準正規分布の累積確率分布関数 $\Phi(x)$ を用いて対数正規分布で表せる」と仮定し、構築した。

$$P_D(x) = \Phi\{(\ln x - \lambda)/\xi\} \quad (1)$$

ここで $\lambda$ 、 $\xi$ は、 $\ln x$ の平均値と標準偏差であり、最小二乗法により算出する。

### 3. 結果

(1) 津波浸水深・建物被害の空間分布：現地観測より得た、2地区の津波浸水深と建物被害を図3に示す。両地区ともに、津波浸水深は汀線近傍で同様の3m強であり、建物被害は浸水深が大きいエリアではT1(流失)被害が顕著であった。しかし、鵜飼・春日野では内陸側において地震動被害が多数確認される一方、白丸では津波被害が支配的であり、地震動被害は相対的に極めて少ない。このように、類似した津波浸水状況でも、建物被害の様相は大きく異なっていた。また、解析により得た最大浸水深分布を図4に示す。解析の浸水範囲は実測よりやや過小評価しているが、両者の浸水高・浸水深の差は0.4-0.5m程度である。

(2) 建物被害関数の比較：流失率(T1)の津波建物被害関数を図5に示す。同図(a)では、観測による浸水深を指標とし、東日本大震災の名取市の事例<sup>2)</sup>も図示する。一定の浸水深を超えると被害率が上昇する挙動は一致するが、流失率が100%に到達する値が異なった。Welchのt検定(両側検定、有意水準5%)によって3地区の結果に有意差が確認された。氾濫解析にて推定した単位幅流量を指標としても同じ傾向であった(図(b))。これより、地震後の津波に対する建物の脆弱性が、鵜飼・春日野、白丸、名取の順に高いことが示唆された。推定震度は、鵜飼・春日野、白丸、名取にて、防災科学技術研究所の解析<sup>3),7)</sup>では、6強～7, 6強、5強～6弱であり、気象庁の解析<sup>8)</sup>では、6強、6弱、6弱が主である。これより、津波浸水域における推定震度の大小関係としては、大局的には、鵜飼・春日野、白丸、名取の順に大きい。地震動による被害も同様の順に大きく、先行地震により建物耐力が低下したことで、より弱い津波外力でも流失しやすくなる可能性が示唆された。構造種別・

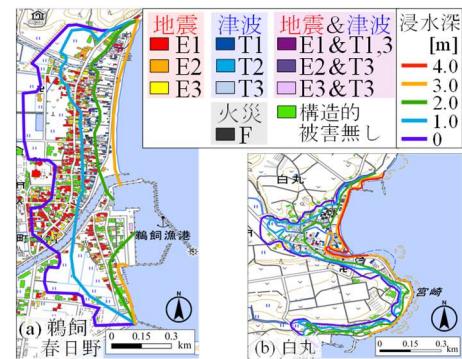


図3 津波浸水深・建物被害の空間分布

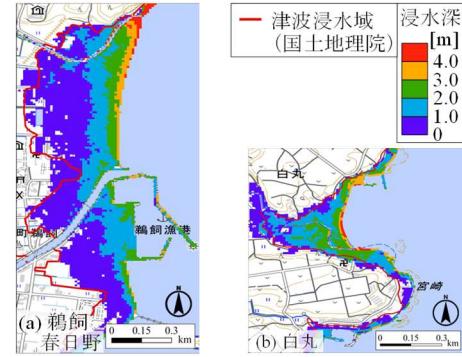


図4 氾濫解析による最大浸水深の空間分布

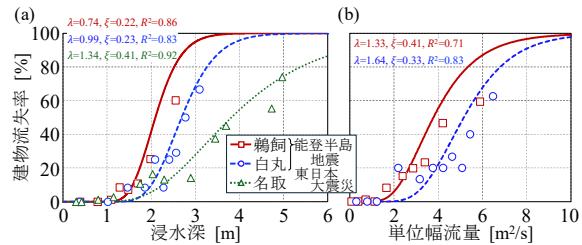


図5 浸水深(a)と単位幅流量(b)を用いた津波建物被害関数

建築年代別の分析、地震動指標を考慮することを今後の課題とする。

謝辞：本研究の一部は京大防災研・一般共同研究の助成を受けた。また、航空レーザー測量データは国土交通省北陸地方整備局より、鵜飼川の横断測量データは石川県土木部河川課より、それぞれご提供頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献：1) Park et al. (2013) *Natural Hazards Review*, 14(4), 220-228. 2) 前川ら (2013) 土木学会論文集 B1(水工学), 69(4), I\_1453-I\_1458. 3) <https://www.j-risq.bosai.go.jp/report/R-20240101161631-01> 4) Kubota et al. (2023) *Water*, 15(17), 3166. 5) Fukui et al. (2025) *Coastal Engineering Journal*, 67(2), 292-305. 6) Koshimura et al. (2009) *Journal of Disaster Research*, 4(6), 479-488. 7) <https://www.j-risq.bosai.go.jp/report/R-20110311144626-0001> 8) [https://www.jma.go.jp/jma/menu/20240101\\_noto\\_jishin.html](https://www.jma.go.jp/jma/menu/20240101_noto_jishin.html)