

津波被害を低減するコンパクトシティの計画手法 ー防災ロバストコンパクトシティの構築 その1ー

コンパクトシティ 居住誘導区域 立地適正化計画
津波 避難シミュレーション 津波避難ビル

1. 研究の背景と目的

現在の地方都市では、社会基盤の老朽化、人口減少、高齢化による税収の低下と維持管理費の増大が起こり、財政の圧迫が課題である。このため、都市機能を集約し効率化されたコンパクトシティの形成が必要である。特に自然災害を受けることが予想される都市の集約化では、防災上安全な地区に都市機能が集約され、かつ適切な避難計画が為されているという災害へのロバスト性（強靱性）が不可欠である。しかし、ロバスト性を考慮した都市計画手法やプロセスは明らかになっていない。

本研究では人口減少に対応すべく居住機能の誘導を行い、かつ大規模地震による津波被害が想定される北海道沿岸都市を事例として、独自の津波避難シミュレーションを用いたロバストコンパクトシティ形成のための人口集約と津波被害の低減を両立した計画手法を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

本研究では①北海道函館市、釧路市の人口動態、大規模地震時の津波浸水想定と津波避難計画の現状を把握する。②QGISを用いた津波避難シミュレーションを確立する。③津波避難シミュレーションを用いて、現状の都市計画と津波避難ビルに関わる避難計画との整合性を検証する。④その結果に基づき、津波避難ビルの配備計画の改善案を提案する。⑤以上より、都市人口を集約する地域での津波避難ビルの計画手法とそのプロセスを明らかにする。

3. 人口動態と津波浸水想定・津波避難計画の現状

3-1. 函館市の現状

函館市の総人口は1980(昭和55)年の345,165人をピークに減少し、2015年では265,979人となっている。また、年齢3区分別人口は生産年齢人口（15～64歳）及び年少人口（0～14歳）がともに減少に転じている一方、老年人口（65歳～）は増加を続けている。すなわち日本全体の傾向と同様に函館市も人口減少・少子高齢化が進行している¹⁾。

北海道は令和2年4月に国が公表した「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル」²⁾をもとに令和3年7月に新たな津波浸水想定³⁾を設定し、それをもとに函館市は津波避難計画の修正⁴⁾を令和4年7月に行った。

修正後の避難計画では、発生頻度は極めて低いものの発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの津波浸水想定に基づいて津波浸水区域、浸水深及び津波到達時間を設定している。避難の基準は津波の浸水深に建築物等への衝突によって生じる津波の水位上昇を加えた水位である基準水位に準拠する。津波発生時の指定緊急避難場所として緊急避難所・緊急避難地を177施設、津波浸水区域内には基準水位より上部に避難スペースを確保できる津波避難ビルを79施設定めており、公共道路を用いた徒歩避難を基本的な避難行動とする。

正会員	○川井 智大 *	同	宮内 孝	****
同	瀬戸口 剛 **	同	石井 旭	*****
同	中嶋 唯貴 ***	同	杉本 匠	*****

3-2. 釧路市の現状

釧路市の総人口は1980(昭和55)年の約227,000人をピークに減少し、2020年では約160,000人となっている。また、市街化区域内の年齢3区分別人口は1980年を境に生産年齢人口（15～64歳）及び年少人口（0～14歳）がともに減少に転じている。一方、老年人口（65歳～）は増加を続けており、2000（平成12）年からは老年人口が年少人口を上回っている。すなわち日本全体の傾向と同様に、釧路市も人口減少・少子高齢化が進行しているといえる⁵⁾。

釧路市の将来人口は2030年には133,134人、立地適正化計画で見据えた2035年には119,549人になるとされ、2023年2月末現在から2035年までに約40,000人が減少するとされている⁶⁾。

北海道が平成24年6月に公表した「発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの津波の浸水予測図」をもとに、釧路市は平成25年に津波避難計画を策定した。その後北海道が令和3年7月に太平洋沿岸の津波浸水想定を新たに設定したことを受け、令和5年現在、釧路市は津波避難計画の修正を行っている。

現行の津波避難計画⁷⁾では、気象庁が発表する「予測される津波の高さ3m、5m、10m」に対応する3つの津波を想定し、津波浸水予想地域を設定している。津波発生時の指定緊急避難場所として緊急避難場所を23施設、津波緊急避難施設を47施設、津波浸水区域内には津波避難ビルを25施設定めている。できるだけ幅員の広い、歩道を有する道路を避難路とし、原則として津波の進行方向と同方向へ避難するように指定している。

4. 津波避難シミュレーションの概要

4-1. 函館市の津波避難シミュレーション

函館市の津波避難計画に基づき津波避難シミュレーションを行った。本研究には十分な建物データ^{注1)}が必要であったことから、より精緻な建物データを入手できた市街化区域内の避難対象地域をシミュレーション範囲とした。シミュレーションでは避難対象地域内の居住人口が津波浸水区域外に避難が可能か、不可能な場合は津波浸水区域内にある津波避難ビルに避難が可能かを確認する。以上をもとに函館市でのシミュレーションのフローを表1に示す。

4-2. 津波避難シミュレーションの概要

北海道が令和3年7月に新たに設定した津波浸水想定のもと、釧路市の現行の津波避難計画に基づいて津波避難シミュレーションを行った。飛び地となっている音別地区を除いた避難対象地域をシミュレーション範囲とし、建物が浸水する深さについては基準水位を用いている。また、シミュレーションの基本的なフローは表1に示したのと同じであるが、ヒアリング結果や釧路市津波避難計画により各段階のシミュレーションの条件設定において以下の差異がある。

以上をもとに釧路市でのシミュレーションのフローを表2に示す。

3. 垂直避難シミュレーション(収容の可否)	
条件	(1)【津波避難ビル収容可能人数】:函館市が想定している収容可能人数を用いる。(函館市ヒアリング2022/8/30に準拠)
目的	垂直避難到達可能メッシュを垂直避難が収容の観点から可能なメッシュと困難なメッシュに区別する
方法	①2で算出した道のり長さの短い100mメッシュの人口から順に津波避難ビルに収容する。 ②①を繰り返し、収容先の津波避難ビルが収容可能人数に達した場合は、次点で道のり長さの短い津波避難ビルに残りの居住人口を収容する。 ③①～②を繰り返し、全ての居住人口を津波避難ビルに収容できた垂直避難到達可能メッシュを「垂直避難可能メッシュ」とする。そうでない垂直避難到達可能メッシュを「垂直避難収容困難メッシュ」とする。それぞれメッシュ内人口を集計する。

図1 函館市の現状の津波避難シミュレーション結果

5-2. 釧路市の現状の分析

表2で示したフローに従って、津波避難シミュレーションを行った。本シミュレーションにより水平避難、垂直避難ともに困難なメッシュの位置が明らかになり、そのメッシュ内の居住人口は67,588人であった(図2)。したがって、既存の津波避難ビルだけでは避難対象地域居住人口の全員は避難できないとわかる。また、垂直避難到達・収容困難メッシュの大部分は釧路市が定める立地適正化計画における居住誘導区域内に位置している。その中でも特に中部北地域は集合住宅の割合が高く、近年造成された住宅地もあることから今後さらなる居住人口の増加が見込まれる。また西部北地域は店舗や医療福祉施設といった都市機能に関わる建物が多く、生活利便性の高い地域であることからさらなる都市機能や居住の集約が予想される。したがって以上の二地域は特に防災効果を高める対策を行う必要がある。

6. 垂直避難到達・収容困難メッシュに対する対策

6-1. 既存建築物を用いた津波避難ビルの追加の検討

垂直避難到達・収容困難メッシュ内に現存する建築物の中から、津波避難ビルの選出基準を満たす建築物を181カ所選出し、追加指定津波避難ビルと仮定した。選出基準は1)新耐震基準適用後に建てられていること、2)耐火構造であること、3)建物がある地点の基準水位よりも高所にフロア高さを持つ階を有することの三点とした。

また既存の津波避難ビルの避難有効延床面積と収容可能人数との相関を建物の用途ごとに導出し、追加指定津波避難ビルの避難有効延床面積をその相関にあてはめることで追加指定津波避難ビルの収容可能人数を以下の式に基づいて概算した。

$$\text{教育施設} : y = 0.7836x, R^2 = 0.8506 \quad (1)$$

$$\text{共同住宅} : y = 0.1407x, R^2 = 0.8421 \quad (2)$$

$$\text{宿泊施設} : y = 0.0898x, R^2 = 0.4196 \quad (3)$$

$$\text{その他} : y = 0.2070x, R^2 = 0.7987 \quad (4)$$

既存指定津波避難ビル78カ所に追加指定津波避難ビル181カ所を加えて津波避難シミュレーションを行った(図3)。既存の津波避難ビルだけでは避難ビルへの到達が困難だった地域にも追加したことで、垂直避難到達困難者は548人に減少している。しかし垂直避難困難者として8,946人が残り、依然垂直避難到達・収容困難メッシュが見られた。すなわち、ここで残った垂直避難到達・収容困難メッシュ内の居住人口に対しては、函館市に現存する建物ストックだけでは水平避難・垂直避難を可能にすることができないといえる。また、追加指定津波避難ビルを加えても居住誘導区域内に垂直避難到達・収容困難メッシュが残り続けていることがわかる。

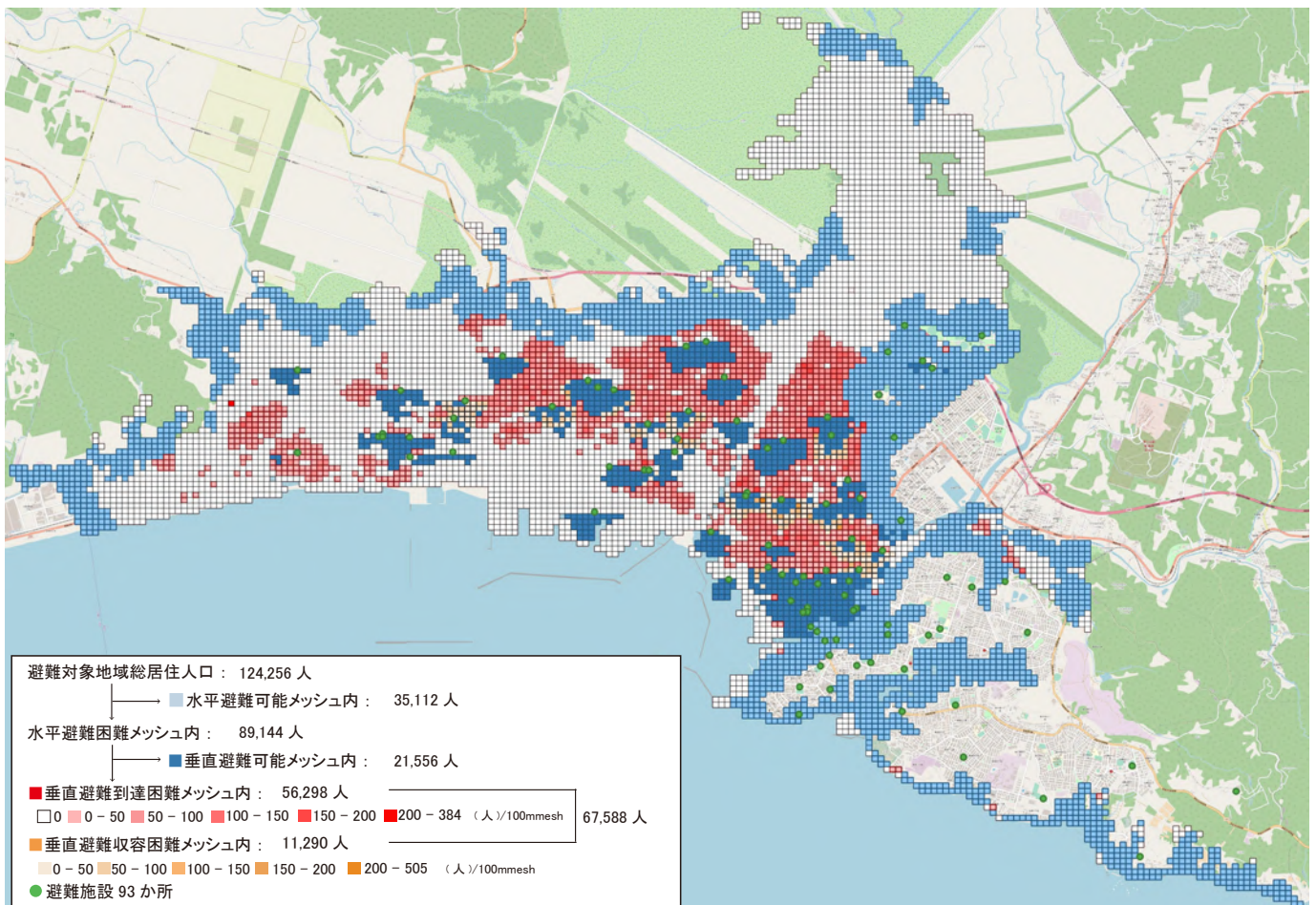


図2 釧路市の現状の津波避難シミュレーション結果

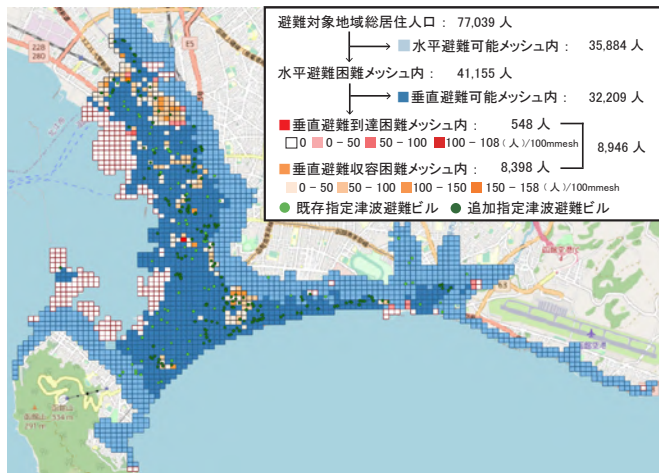


図3 津波避難ビルを追加した津波避難シミュレーション結果

6-2. 津波避難ビルの新設追加の検討

6-1章の結果、垂直避難困難者となった人口を収容するため、垂直避難到達・収容困難メッシュ内での津波避難ビルの新設を検討した。図3で存在する合計182の垂直避難到達・収容困難メッシュのそれぞれの重心位置に津波避難ビルを仮に配置して182通りの津波避難シミュレーションを行い、垂直避難可能人口が最大になる配置位置を一か所目の津波避難ビルの新設追加位置と決定した。それにより合計154に更新された垂直避難到達・収容困難メッシュについて同様に154通りの津波避難シミュレーションを行い、二か所目の新設追加位置を決定した。同様にシミュレーションを繰り返し29か所の新設追加をしたところ、避難対象地域の全ての居住人口が水平避難もしくは垂直避難が可能になった(図4)。シミュレーションによって予想された収容人数から、それぞれの必要規模が推測できる。

新設追加する津波避難ビルは、世代の更新が起きても平常時にも利用され、ライフサイクルコストに見合った価値のある建築物であるべきである。新設追加位置が居住誘導区域に含まれ、収容が予想される人数が1000人を

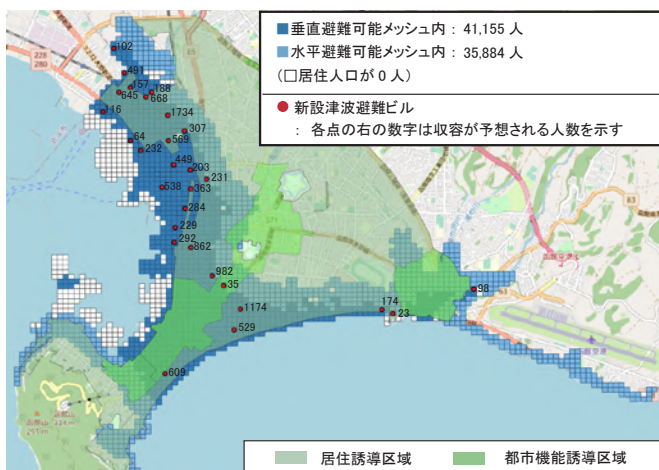


図4 津波避難ビルの新設追加位置

超える大規模な新設建物の用途は、津波避難ビル型の公営住宅が有効であると考えられる。居住誘導区域に含まれていないビルや小規模で済むビルは、その位置の用途地域や地区方針から建物の用途を検討する必要がある。

7. 結論

本研究では、津波避難シミュレーションを用いることで函館市と釧路市の各津波避難施設のそれぞれに収容が予想される避難者数が明らかになり、そのことから現状の避難困難人口と避難困難地域を明らかにした。両市ともに居住誘導区域内にも避難困難地域が存在し、対策の必要性を明らかにした。特に函館市の研究においては、現存する建物を津波避難ビルに追加することで、避難困難人口の減少は期待できるが、全避難人口を避難可能にすることはできないと明らかにした。市の中心部には津波避難に有効な高さを持つ建物が多く存在しているが、縁辺部には住居系の低中層の建物が多く、津波から避難できる高度を確保できていないことが原因だと考えられる。避難困難地域のメッシュ内の住民が津波到達までに避難できる範囲のメッシュに対して立地適正化計画を活用した居住誘導を行い、居住型の高層の津波避難ビル、例えば津波避難ビル型の公営住宅を新設することが有効である。そしてそのような拠点を函館市縁辺部に数カ所設置していき全避難人口を避難可能にすることが必要である。釧路市においては避難困難地域がさらに広く避難困難人口も多いため被害がより甚大になると考えられる。そのため立地適正化計画を見直し、安全な地域への居住の誘導が有効である。

本研究で明らかになった人口集約地域での津波避難ビルの計画手法の特徴を以下に述べる。

1) 津波避難シミュレーションを用いることで、垂直避難が困難な地域に津波避難施設を追加した場合の効果を検証することが可能である。特に新設追加する場合には、効果が大きいと考えられる位置と収容規模という防災上の検討と、立地場所の地区方針に合わせた用途という都市計画上の検討を複合できる。

2) シミュレーションの条件設定や使用する情報の入れ替えが可能のため、将来推計人口データや耐用年数等を加味した残存可能性のある建物予測のデータを用いて、立地適正化計画で展望される将来予測を考慮した防災計画を立案できる。

以上の特徴を持つ計画手法を用いて、人口減少に対応する都市計画と、立地適正化計画で見据えた将来予測までを考慮した防災計画を複合したロバストコンパクトシティを形成することが今後の地方都市には必要である。

＜参考文献＞1) 函館市立地適正化計画 平成30年3月 第2章 都市構造の現状と課題 2-1人口の動向/函館市 2) 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデルの検討について(概要報告)/内閣府(防災担当) 3) 津波浸水想定区域図 函館市【全11図郭】/北海道 北海道太平洋沿岸の津波浸水想定について(解説)/北海道 4) 函館市津波避難計画(平成25年2月28日作成)【令和4年(2022年)7月修正】/函館市 5) 第2次釧路市都市計画マスタープラン 2022年(令和4年)3月18日改訂(地域別構想の追加)第2章 全体構想 第1節 現状と課題/釧路市都市計画課 6) “将来人口(令和4年11月22日更新)”. 釧路市ホームページ. <https://www.city.kushiro.lg.jp/shisei/toukei/1007127/1007130.html>(参照2023/1/23) 7) 釧路市津波避難計画 2021年(令和3年)8月 第8版【2013年(平成25年)8月策定】/釧路市防災危機管理課
＜注釈＞注1)『都市計画基礎調査(第7回)/北海道建設部まちづくり局都市計画課』より入手。注2)注4)100mメッシュ人口データは『平成27年国勢調査100mメッシュ推計データ/株式会社ゼンリンマーケティングソリューションズ』より入手。注3)注5)基準水位データは北海道建設部建設政策局維持管理防災課より入手。

- * 北海道大学大学院工学院 修士課程
- ** 北海道大学大学院工学研究院 教授 博士(工学)
- *** 北海道大学大学院工学研究院 准教授 博士(工学)
- **** 北海道大学大学院工学研究院 元学術研究員 博士(工学)
- ***** 北海道立総合研究機構 北方建築総合研究所 博士(工学)
- ***** 北海道大学大学院工学院 修士課程

Master Course, Graduate School of Eng., Hokkaido Univ.
Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng
Assoc. Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng
Former Researcher., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng
Northern Regional Building Research Institute, Dr. Eng.
Master Course, Graduate School of Eng., Hokkaido Univ.