

釧路市における既存構造物の地震動被害を考慮した津波避難に関する検討

A study of tsunami evacuation with consideration for damage to tall buildings in Kushiro city

北見工業大学工学部社会環境工学科
株式会社東鵬開発北見工業大学大学院工学研究科社会環境工学専攻
北見工業大学工学部社会環境工学科
北見工業大学工学部社会環境工学科○正 員 齊藤 剛彦 (Takehiko Saito)
村本穂乃佳 (Honoka Muramoto)
学生員 清水 俊明 (Toshiaki Shimizu)
正 員 宮森 保紀 (Yasunori Miyamori)
学生員 山内 朋哉 (Tomoya Yamauchi)

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震を契機に、各地で津波想定の見直しが進められている。釧路市¹⁾では、北海道防災会議²⁾の津波想定に基づき、2013 年 8 月にハザードマップを更新した。津波に対する避難先として、情報機器や食料等を備蓄し、津波が引いた後の避難にも活用する緊急避難場所及び津波緊急避難施設、また、津波をやり過ごすために緊急に避難する津波避難ビルを指定し、その数を大幅に増やしている。しかし、釧路市によって指定された避難施設以外にも想定浸水深より高い構造物が存在しており、これらも津波避難ビルとして併せて活用することで、より避難の可能性が高まると考えられる。

これまでに著者ら^{3, 4)}は釧路市における巨大津波に対する津波避難の基礎的検討として、公表された津波浸水予測図を基に、釧路市で避難に利用可能な構造物の調査を行い、避難可能範囲を地図上に表示している。宮森ら³⁾では構造物の耐震性について、建築年代による判別を行っているが、特に 1981 年の新耐震基準以前に建てられた既存の構造物が揺れによって被害を受け、津波避難に活用できない可能性がある。

そこで、本研究では釧路市の中で、避難対象者が構造物に避難しなければならないと考えられる地区について、対象地区すべての構造物を利用した場合の避難可能性について、地震動による構造物の被害に着目し一部の避難可能構造物が地震動により被害を受け津波避難に活用できないとした場合、避難可能性に与える影響を検討する。

2. 構造物情報と避難可能範囲の算出

2.1 対象地区

本研究の対象地区は、釧路市の旧釧路市のうち、大楽毛地区、鳥取地区、愛国地区、鉄北地区、橋北地区とする。旧釧路市の地理的特徴として、南側は太平洋に面しており、北側の内陸部には広大な釧路湿原が広がっている。対象地区の東西は高台となっており、東側の高台は標高約 20m 以上で住宅地が広がり、西側の高台は小高い山のようになっている。東西の高台を除くと沿岸部から内陸部まで起伏が少なく標高 5m 程度の低平地となっている。本研究の対象地区は南北に約 4km、東西に約 12km の低平地である。対象地区の津波想定¹⁾では、地震発生から 30 分後に津波第 1 波が来襲し、最大想定浸水深は海岸近くでは 10m 以上、内陸部でも 5m 以上で、浸水範囲は対象地区の外側の釧路湿原にまで及ぶ。避難対象者は約 12 万人である。従って、津波到達前に徒歩

で浸水範囲外や高台に避難することが困難と考えられる地区である。

2.2 選定構造物の建築年代の判別

これまでに、釧路市において津波避難に活用できると考えられる構造物の現地調査を行い、計 718 棟を選定している。これらの避難可能構造物において、構造物の耐震性について検討する。津波避難ビル等に係るガイドライン⁵⁾の津波避難ビル等の要件及び留意点として新耐震設計基準に適合していることが挙げられている。そのため、1981 年の建築基準法改正前後の住宅地図を比較する方法で建築年代を可能な範囲で調べることとする。

建築年代の調査は 1981 年に建築基準法が改正されたことから、2011 年の住宅地図⁶⁾(以降、新地図と表記)と新耐震基準以前の住宅地図⁷⁾(以降、旧地図と表記)の比較を行い、避難可能構造物が新耐震基準(以降、新耐震構造物と表記)もしくは旧耐震基準で建てられた構造物(以降、旧耐震構造物と表記)なのかを判断する。

基本的な判断方法は、構造物が旧地図に存在した場合は旧耐震構造物と判断し、旧地図に存在しなかった場合は新耐震構造物と判断する。この他に、学校などの公共施設に関しては、釧路市のホームページ⁸⁾や学校のホームページなどで建て替えや耐震化が行われているかを可能な限り確認する。以上のように、住宅地図の比較や釧路市のホームページでも判断が難しい構造物に関しては、安全側にとり旧耐震構造物であると判断する。

2.3 建築年代調査の結果

前節より、避難可能構造物の建築年代の調査を行った結果を地区ごとにまとめ、表 1 に示す。これより、718 棟の避難可能構造物のうち 29%が旧耐震基準で建てられ、71%が新耐震基準で建てられた構造物であるとわかった。大楽毛地区に関しては、避難可能構造物数が他の地区に比べて圧倒的に少なく、旧耐震基準の構造物が 30%存在している。その他の地区では、旧耐震基準で建てられた避難可能構造物は鳥取地区では 24%、愛国地区では 11%、鉄北地区では 29%、橋北地区では 40%だった。対象地区の中で、橋北地区が旧耐震構造物の割合が最も高い。これはこの地区が昔から中心市街地として発展したためである。また、愛国地区が旧耐震構造物の割合が低い。これは、愛国地区は北部がニュータウンとして昭和 50 年代に造成される⁹⁾など、比較的新しい住宅地であるためと考えられる。

2.4 避難可能距離の算出方法

本研究では、徒歩による避難を前提とする。これまでの歩行による避難可能距離の算出方法としては、参考文献 5), 10)を参考に、次の式(1), (2)を用いる。

$$L_1 = P_1 \times (T - t_1) \quad (1)$$

$$t_1 = H/P_2 \quad (2)$$

ここで、 L_1 は構造物に対する避難可能距離(m), P_1 は歩行速度(m/s) = 0.9m/s^{11), 12)}, T は避難に使用できる時間(秒) = 600 秒, t_1 は津波が届かない高い構造物へ階段を用いて上るのに要する時間(秒), H は津波最大浸水深(m), P_2 は階段昇降速度(m/s) = 0.21m/s¹¹⁾である。 P_1 は参考文献 11), 12)を参考に 0.9m/s に設定している。避難に使用できる時間 T は 600 秒(10 分)としている。これは、北海道防災会議による最大想定津波の第 1 波到達時間として 30 分とされていることと、参考文献 13)の調査結果により決定した。 t_1 で用いる津波最大浸水深 H は北海道防災会議²⁾で公表されている津波浸水深の GIS データを用いた。階段の昇降速度 P_2 は参考文献 11)を参考にしている。

さらに、本研究では次の式(3)を用いて構造物の収容力と周辺地域の人口密度から避難可能距離 L_2 を算出している。

$$L_2 = \sqrt{\frac{C/D}{\pi}} \quad (3)$$

ここで、 L_2 は収容力を考慮した構造物への避難可能距離(m), C は収容可能人数 (人) = 構造物面積(m²)×避難可能階数/1 人当たりの面積 (m²/人), D は地域人口密度(人/m²)である。収容可能人数 C については基盤地図情報¹⁴⁾で得られた構造物の面積に対して、避難場所として利用可能と考えられる階数(屋上が利用可能な場合は屋上も含む)を乗じ、1 人当たりの面積として 1m² を除した値を用いる。1 人当たりの面積は参考文献 5)より決定した。また、地域人口密度 D は基盤地図情報における各地区の面積と釧路市統計書¹⁵⁾における各地区の人口から算出する。

以上で求めた L_1 及び L_2 のうち、値の小さなものを避難可能距離として取り扱う。そして、釧路市低平地において現地調査で選定した構造物と避難可能距離を ArcGIS に入力して避難可能範囲を可視化する。

3. 釧路市で想定される地震動強度及び構造物の被害率

3.1 これまでに公表された千島海溝沿いの地震動想定

東北地方太平洋沖地震の後、北海道防災会議では、北海道太平洋沿岸で確認された津波堆積物を基に、千島海溝沿いで発生する最大クラスの津波想定を行っている。しかし、北海道防災会議では地震動の想定や、地震動に関する断層面の設定は行われていない。その他の千島海溝沿いでの地震想定として、中央防災会議¹⁶⁾は 2006 年に根室沖・釧路沖(根室沖)の地震、十勝沖・釧路沖(十勝沖)の地震を想定している。さらに、根室沖、十勝沖 2 連動の 500 年間隔地震を想定しているが、これも津波のみの想定である。また、北海道防災会議¹⁷⁾では、中央防災会議の根室沖、十勝沖の断層面を参考にして、それぞれの想定地震の断層面を設定している。このように、根室沖、十勝沖の 2 連動地震や、より規模の大きい最大

表 1 避難可能建築物の耐震基準別棟数

地区名	避難可能 構造物	新耐震 構造物	旧耐震 構造物	旧耐震構造 物の割合
大楽毛 地区	23 棟	16 棟	7 棟	30%
鳥取 地区	97 棟	74 棟	23 棟	24%
愛国 地区	135 棟	120 棟	15 棟	11%
鉄北 地区	218 棟	154 棟	64 棟	29%
橋北 地区	245 棟	147 棟	98 棟	40%
全地区 合計	718 棟	511 棟	207 棟	29%

クラスの地震については、津波想定のみで、地震動の想定は行われていない。この理由として、津波想定は津波堆積物に基づいているが、地震動については、過去の地震の震度が明らかでないことが挙げられている¹⁶⁾。

3.2 本研究での地震動の想定

本研究では、2012 年 6 月に北海道防災会議により想定された、千島海溝沿いでの M9.0 の津波を対象としている。そのため、地震動の想定も、この地震によるものを用いることが望ましい。しかし、北海道防災会議では地震動の想定や、地震動に関する断層面の設定は行われていない。そこで、東北地方太平洋沖地震の際に震度 6 強を観測した K-NET, KiK-net 観測点¹⁸⁾の計測震度の平均が 6.13 であることから、本研究では 1 ケースとして、対象地区で一律に計測震度 6.2 と仮定した。

3.3 被害率関数

構造物の被害率関数は、中央防災会議²⁰⁾で検討されている南海トラフでの巨大地震に対する被害想定で用いられているものとする。被害率関数は構造別(木造、非木造)、建築年次別に与えられている。本研究では非木造構造物を津波避難に活用するとしており、調査した構造物が 1981 年の新耐震基準以前に建てられたかどうかを調べている。そのため、ここでは非木造構造物の全半壊率のうち、建築年代が 1981 年以降の被害率と、1971 年～1980 年の被害率を用いる。

4. 避難可能範囲カバー率の最小、最大ケースの検討

前章での地震動による被害率から、避難可能範囲のカバー率への影響を検討する。

まず、地区ごとに計測震度 6.2 の揺れが起こると想定し、全半壊棟数を求める。全半壊率は、新耐震構造物で 6.4%、旧耐震構造物で 19.6%となる。この被害率から算出した地区ごとの全半壊棟数を表 2 に示す。

避難可能構造物のうち、どの構造物が地震動被害を受けるかによって、避難可能範囲は変化するが、被害を受ける構造物は個別の構造物の違いではなく、被害率関数による確率で決まるため、一意に決まるものではない。従ってここでは、各構造物が地震動被害により津波避難に活用できない場合の影響の大小を判断するため、耐震基準ごとに他の構造物の避難可能範囲と重なっていない

表2 全半壊棟数と地震動被害による避難可能範囲カバー率の変化

	全半壊棟数		地震動被害を考慮しない カバー率	地震動被害を考慮したカバー率	
	新耐震 建築物	旧耐震 建築物		最小となる ケース	最大となる ケース
大楽毛地区	2 棟	2 棟	51%	32%	51%
鳥取地区	5 棟	5 棟	88%	71%	88%
爱国地区	8 棟	3 棟	78%	64%	78%
鉄北地区	10 棟	13 棟	98%	87%	98%
橋北地区	10 棟	20 棟	100%	85%	100%
全地区	35 棟	43 棟	73%	56%	73%

部分の面積が大きい順, 小さい順に全半壊棟数分を地図上から削除することで, カバー率最小, 最大のケースを考える。

以上の方法により, 地震動被害を考慮しない場合, カバー率最小となるケース, 最大となるケースの避難可能範囲を図1に示す。また, それぞれのケースの避難可能範囲のカバー率を表2に示す。図1の緑の円が新耐震構造物の避難可能範囲, オレンジの円が旧耐震構造物の避難可能範囲, 円の中心の赤い点が避難可能構造物である。

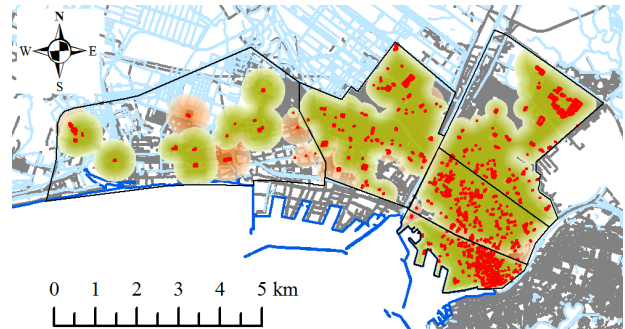
図1(b)の避難可能範囲のカバー率が最小となるケースを見ると, 図1(a)と比較して, 全体的に避難可能範囲のカバー率が減少しており, 表2からカバー率は地震動を考慮しない場合の73%に対し, 56%に減少した。地区別ではそれぞれ1割から2割減少している。

大楽毛地区では最小となるケースのカバー率が32%であり, 図1(b)からも避難可能範囲でカバーできていない, 空白域が広いことがわかる。大楽毛地区に関しては, もともと避難可能構造物の数が少なく, 1棟当たりの重要度が高い。そのため, 避難可能構造物が地震動被害により利用できなくなった場合には他の地区に比べて避難可能範囲のカバー率が小さくなる。鳥取地区では, カバー率が88%から71%に減少し, 減少幅2番目に大きい。図1(b)と(a)を比較すると, 地区の中央部ではなく北側や西側で空白域が増えていることが分かる。爱国地区ではカバー率が64%に減少している。爱国地区は住宅地であり, 空白域には戸建住宅などの避難に使用できない構造物が多く存在するため, 現存する避難可能構造物の重要度は高い。鉄北地区は他の地区に比べ, カバー率の減少が少ない。鉄北地区に関しては, 他の地区に比べ避難可能構造物の数が多く, 地区全域に偏りなく配置されていることから, 避難可能範囲への影響が少ないと考えられる。橋北地区は, 西側の避難可能構造物が少ない部分でカバー率が減少している。

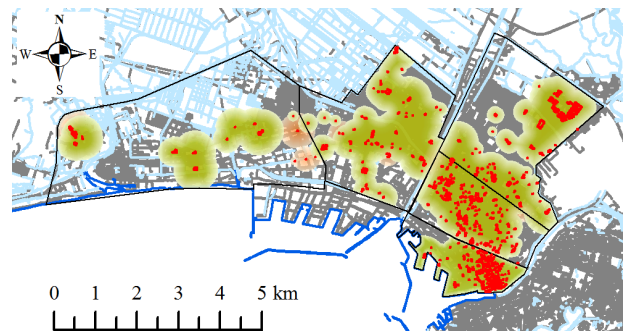
一方, 図1(c)の避難可能範囲が最大となるケースでは, 避難可能範囲がほとんど変化していないことがわかる。全体のカバー率は地震動被害を考慮しない場合と同じ73%である。このケースは避難可能な構造物が周辺に複数存在し, その構造物が利用不可になったとしても代替の避難先があるためである。

5. 避難可能範囲の頻度分布

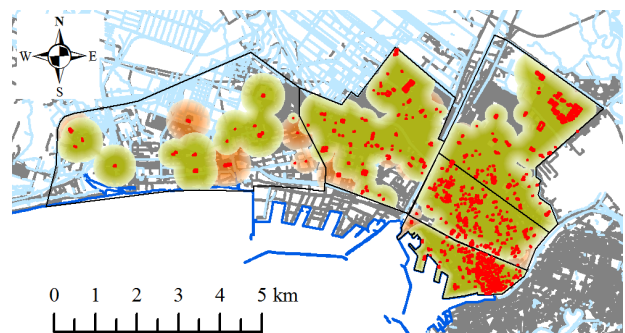
前章では地震動被害を考慮したときの, 避難可能範囲のカバー率の最小と最大のケースを検討した。しかし,



(a) 地震動被害を考慮しない場合の避難可能範囲



(b) 避難可能範囲のカバー率が最小となるケース



(c) 避難可能範囲のカバー率が最大となるケース

図1 地震動被害による避難可能範囲の変化

これは両極端のケースでの検討であり, 地震動被害によるカバー率への影響の範囲を知ることができるが, それぞれの発生確率は低い。

表2から, 大楽毛地区はカバー率の最小と最大の差が最も大きいため, ここでは, 大楽毛地区ですべての地震動被害パターンを計算し, 避難可能範囲のばらつきの度合いを検討する。大楽毛地区での倒壊のパターンは新耐

震構造物が ${}_{16}C_2$ の 120 通り、旧耐震構造物が ${}_7C_2$ の 21 通り、したがって、すべての組み合わせは 120×21 の 2520 通りある。2520 通りのカバー率を求め、作成した頻度分布図を図 2 に示す。カバー率の最小値 32%，最大値 51%，平均値 45%，中央値 46%，最頻値 46%，標準偏差 3.304 となった。カバー率の最小，最大は表 2 と整合している。また、平均値，中央値，最頻値が同等である。カバー率の最小値と最大値では 19% の差があるが、最小値付近は頻度が少なく、カバー率が 40% 以下になるケースは 1 割未満である。このことから、カバー率が最小となるケースについて対策を講じることができればよいが、平均値や発生確率の高いケースについて検討し、対策を講じることが現実的と考えられる。

6. まとめ

本研究では、巨大津波による被害が懸念されている旧釧路市の低平地を対象に、現地調査により選定した避難可能構造物について建築年代による判別を行い、地震動被害による津波避難可能範囲の影響を検討した。

地震動被害を考慮した場合、カバー率が最大となるケースではカバー率が変わらなかったが、カバー率が最小となるケースではカバー率が地区全体で地震動を考慮しない場合の 8 割程度に減少し、最も影響の大きい大楽毛地区では 6 割程度に減少した。大楽毛地区では、避難可能な構造物が少なく、1 棟ごとの重要度が高い。そのため、構造物の耐震化や避難可能構造物を群として配置し、1 棟当たりの重要度を下げてリスクを分散させることが挙げられる。また、大楽毛地区でカバー率の頻度分布を算出したところ、平均値付近が最も頻度が大きくなった。

本研究では地震動強度についてはこれまでの想定で行われておらず、対象地区で様に設定していることや、現地調査による構造物情報の取得や耐震性の判別など、簡易な方法で検討しているが、地区内の避難可能性について、地震動による影響を含めて検討することができた。

対象地区では、指定された津波避難ビルだけでなくすべての避難可能な構造物を活用したとしても、地震動被害を考慮しない場合でも全員が避難できるわけではなく、避難可能構造物の地震動被害によって被害が大きくなる恐れがある。津波避難は高台への避難が原則と考えると、自動車避難の効率化を進める一方で、構造物への対策も推進すると良いと考える。

謝辞 本研究を進めるに当たり、東邦コンサルタント株式会社の工藤英雄氏には貴重な資料を提供していただきました。本研究では防災科学技術研究所の強震観測網(K-NET, KiK-net)の情報を利用しました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 釧路市：釧路市津波避難計画，30pp，2013。
- 2) 北海道防災会議地震火山対策部会地震専門委員会：北海道太平洋沿岸に係る津波浸水予測図について，<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sm/ktk/bsb/tunami/index.htm>，2012。
- 3) 宮森保紀，内海晃太，清水俊明，山崎新太郎，大塚久哲：釧路市における既存構造物への津波避難に関する基礎的検討，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.69，No. 4（地震工学論文集第 32 巻），pp.I_919-I_931，2013。

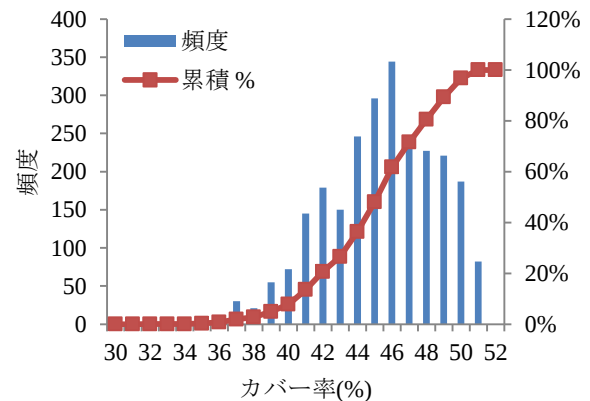


図 2 大楽毛地区避難可能範囲カバ率の頻度分布

- 4) 内海晃太，清水俊明，村本穂乃佳，齊藤剛彦，宮森保紀，三上修一：釧路市低平地における既存構造物を利用した津波避難に関する一検討，土木学会北海道支部平成 25 年度論文報告集，第 70 号 A-09，2014。
- 5) 津波避難ビル等に係るガイドライン検討会，内閣府政策統括官(防災担当)：津波避難ビル等に係るガイドライン，2005。
- 6) 株式会社ゼンリン：ゼンリン住宅地図 北海道釧路市，2011。
- 7) 日本地図編集社：釧路市住宅明細地図昭和 53 年度版，1978。
- 8) 釧路市：市有施設（特定建築物）の耐震化状況，釧路市 HP 耐震改修促進計画等の公表，<http://www.city.kushiro.lg.jp/shisei/shisaku/gyouseikeikaku/taishin/0001.html>，2012。
- 9) 釧路市：愛国ニュータウン造成事業報告，212pp，1985。
- 10) 大塚久哲，箆島隆司，梶田幸秀，山崎智彦：立地条件を考慮した東北地方太平洋沿岸地域の津波避難支援，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol.68 No.4(地震工学論文集第 31-b 巻)，pp.I_1081-1090，2012。
- 11) 足立啓，小松和郎，荒木兵一朗：障害者を考慮した住宅団地の研究(その 1)歩行行動から見た障壁の分析，日本建築学会大会学術講演梗概集計画系 55(建築計画・農村計画)，pp.1233-1234，1980。
- 12) 芳村隆史，早瀬秀雄，荒木兵一朗：視覚障害者の安全歩行空間計画に関する研究(その 4)駅構内における歩行追跡調査，日本建築学会大会学術講演梗概集計画系 55(建築計画・農村計画)，pp.1229-1230，1980。
- 13) 株式会社ウェザーニューズ：東日本大震災津波調査（調査結果），http://weathernews.com/ja/nc/press/2011/pdf/2011_0908_1.pdf，2011。
- 14) 国土地理院：基盤地図情報ダウンロードサービス，<http://fgd.gsi.go.jp/download/>。
- 15) 釧路市総合政策部企画課統計担当編：釧路市統計書 平成 23 年（2011），2012。
- 16) 中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」：日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害想定について，78pp，2006。
- 17) 北海道防災会議：想定地震見直しに係る検討報告書，16pp，2011。
- 18) 防災科学技術研究所：強震観測網(K-NET, KiK-net)，<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>。
- 19) 松岡昌志・若松加寿江：地形・地盤分類 250m メッシュマップ全国版に基づく地盤のゆれやすさデータ，産業技術総合研究所，知的財産管理番号 H20PRO-936，2008。
- 20) 中央防災会議：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第一次報告），191pp，2012。