

釧路市低平地における津波避難可能範囲に関する一検討

A study of tsunami evacuation range in Kushiro low lying area

北見工業大学大学院社会環境工学専攻	○学生員	清水俊明	(Toshiaki Shimizu)
北見工業大学大学院社会環境工学専攻	学生員	内海晃太	(Kota Uchiumi)
北見工業大学社会環境工学科		村本穂乃佳	(Honoka Muramoto)
北見工業大学社会環境工学科	正会員	齊藤剛彦	(Takehiko Saito)
北見工業大学社会環境工学科	正会員	宮森保紀	(Yasunori Miyamori)
北見工業大学社会環境工学科	正会員	三上修一	(Shuichi Mikami)

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震を契機に各地で津波想定が大幅に見直されている。北海道東部に位置し、拠点都市である釧路市においても津波災害が懸念されている。

著者らは、現在北海道で予測されている最大想定津波¹⁾に対し、これまでに釧路市低平地において津波避難が可能と考えられる構造物の現地調査を行った。また、その現地調査によって得られた構造物の高さ・階数・屋上の有無等のデータを用いて、避難可能範囲の算出を行ってきた^{2)~4)}。しかし、この避難可能範囲は、ある一定の条件で算出した値であり、実際にはこれらの条件は変わり得る。

そこで、今回はこれまでに算出してきた避難可能範囲が、現実的に考えられる条件によってどのように変わってくるのか検討する。ケース1では避難に使用できる時間を増加させた場合、ケース2では歩行速度を低下させた場合、ケース3では避難場所の一人当たりの面積を狭くした場合、ケース4では避難可能階数が減少した場合について検討する。さらに、ケース5では冬季の津波避難を想定し、歩行速度の低下と構造物の収容力が減少した場合について検討する。以上の解析結果から、避難条件の変化の内どの条件が避難に大きな影響を与えるか検討する。

2. 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), 6)を参考に、次の式(1), (2)を用いている。

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

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

ここで、

L_1 : 建物に対する避難可能距離(m)

P_1 : 歩行速度(m/s)=0.9m/s^{7), 8)}

T : 避難に使用できる時間(秒)=600秒

t_1 : 津波が届かない高い建物へ階段を用いて上るのに要する時間(秒)

L_t : 津波最大高さ(m)

P_2 : 階段昇降速度(m/s)=0.21m/s⁷⁾

P_1 は参考文献7), 8)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予測到達時間として31~32分とされていることと、参考文献9)の調査により、東日本大震災における地震発生から避難開始までに要した時間は生存者で平均19分、亡くなった方は平均21分であったことに基づく。この避難開始までに要した時間と最大想定津波の予測到達時間31~32

分を比較すると、避難に使用できる時間 $T=600$ 秒はやや安全側の数値となる。 t_1 で用いる津波最大波高 L_t は北海道防災会議で公表されているGIS浸水深データ¹⁾より読み取った。階段の昇降速度 P_2 は参考文献7)を参考にした。

さらに、建物への避難を論じる場合には、建物の収容力と範囲内の人口も勘案することが必要となる。本研究では次の式(3)を用いて建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 : 収容力を考慮した建物への避難可能距離(m)

C : 収容可能人数(人)=建物面積×避難可能階数/3

D : 地域人口密度(人/m²)

収容可能人数 C については基盤地図情報¹⁰⁾で得られた建物の面積に対して、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3m²を除いた値を用いている。また、地域人口密度 D は基盤地図情報における当該町域の面積と釧路市統計書¹¹⁾における当該町域の人口から算出している。

以上で求めた L_1 および 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³⁾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したものを図-1に示す。なお本研究では避難構造物として高架橋を用いることは収容人数の算出が困難であるため、建物のみを用いている。

3. 避難可能範囲において変化させる条件

これまで用いてきた避難可能距離算出式 L_1, L_2 の内、今回は避難の際、現実的に考えられる条件を変化させる。

【ケース1】避難に使用できる時間の増加

前述の式(1)は歩行速度と避難に使用できる時間から算出される避難可能距離である。この式では避難に使用できる時間 T をこれまで600秒として行ってきた。しかし、避難訓練の徹底や危機管理意識の向上により、早期の津波避難が可能になることが考えられる。そこで、今回は早期に避難を開始した場合を想定し、1482秒(30-5.3分)とする。この時間は津波到達までの時間から1993年北海道南西沖地震の際の平均避難開始時間5.3分¹²⁾を引いたものである。ここで北海道南西沖地震における平均避難開始時間を用いているのは、実際に避難が行われた例で、避難の開始が早期であり、また現実的に避難の開始が可能な時間であったためである。そのため、ケー

ス 1 では避難に使用できる時間 T を 1482 秒とし、避難可能距離を算出する。

【ケース 2】歩行速度の低下

前述の式(1)の内、歩行速度 P_1 は状況や人によって異なる。これまで使用してきた歩行速度 P_1 は参考文献 7), 8) の群衆歩行速度と障害者の歩行速度を考慮し、0.9m/s に設定した。歩行速度に影響を与える要因として路面状況の悪化が考えられる。特に北海道に位置する釧路市であれば、冬季の路面状況の悪化が挙げられる。参考文献 13) によると冬季の歩行速度は乾燥速度と比較して 83.3% になるとされている。そのため、ケース 2 では歩行速度 P_1 を 0.9m/s に 0.833 を乗じた 0.75m/s とし、避難可能距離を算出する。

【ケース 3】収容人数の増加

前述の式(3)は建物の収容可能人数と地域の人口密度より算出する避難可能距離である。これまでの収容可能人数の算出において、避難場所一人当たりの面積としては、 3m^2 として計算を行ってきた。これは、建物面積には実際には避難者を収容できない面積が含まれていることと、避難後に数時間、津波が完全に引くまで待機することを考慮したためである。しかし、津波避難時には人命を守ることが第一であること、津波避難ビル等に係るガイドライン⁵⁾では一人当たりの面積を 1m^2 としていることを考慮すると、一人当たり 3m^2 は余裕がある。そのため、ケース 3 では避難後の状況よりも人命を守ることを優先的に考えて、避難場所一人当たりの面積を 1m^2 とし避難可能距離を算出する。

【ケース 4】避難可能階数の減少

前述の式(3)では避難が可能な階数として屋上も含まれている。しかし、屋上が閉鎖されていることや、北海道などの寒冷地に限れば、屋上が積雪により利用できないことも考えられる。また、冬季で気温が氷点下の中、屋上に長時間いることは難しい。そのため、ケース 4 では屋上が避難可能場所とされている構造物において、屋上への避難を不可として避難可能距離を算出する。

【ケース 5】冬季を想定した歩行速度と収容力の低下

北海道のような積雪寒冷地での歩行による津波避難を考える。ケース 2 で挙げた路面状況の悪化やケース 4 で挙げた屋上への避難が難しくなることが考えられる。そのため、ケース 5 ではケース 2 とケース 4 を組み合わせ、歩行速度 P_1 に 0.833 を乗じること、また、屋上への避難を不可として避難可能距離を算出する。

以上の各ケースの要素変化を表-1 に示す。各ケースで L_1 および L_2 のうち、値の小さな方を避難可能距離として取り扱い、避難可能範囲を算出したものを図示する。

4. 各ケースにおける避難可能範囲

4.1 各ケースの解析結果

図-1 は既往の方法による避難可能範囲であり、オレンジ色の円が避難可能範囲である。図-2 はケース 1、図-3 はケース 2、図-4 はケース 3、図-5 はケース 4、図-6 はケース 5 の避難可能範囲である。また、表-2 は各地区・各ケースの避難可能面積とカバー率の変化、 L_1 と L_2 の採用している数について記載している。

【ケース 1】避難に使用できる時間の増加

図-2 と図-1 と比較すると、避難開始時間を地震発生後 20 分から地震発生後 5.3 分と早めたことにより避難可能範囲が拡大していることがわかる。これについては、これまで L_1 を採用していた収容力の大きい建物の避難可

表-1 各ケースの要素変化

L_1	L_2
ケース 1	
避難に使用できる時間 T の増加 $T=1482$ (秒)	変化なし
ケース 2	
歩行速度 P_1 の低下 $P_1=0.9 \times 0.833=0.75\text{m/s}$	変化なし
ケース 3	
変化なし	収容人数の増加 一人当たり 1m^2
ケース 4	
変化なし	避難可能階数の減少 屋上の使用不可
ケース 5	
歩行速度 P_1 の低下 $P_1=0.9 \times 0.833=0.75\text{m/s}$	避難可能階数の減少 屋上の使用不可

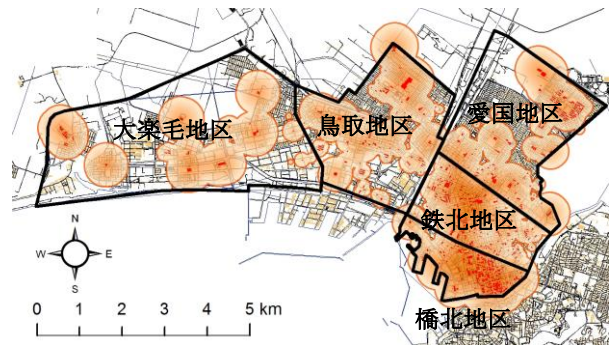


図-1 既往の方法による避難可能範囲

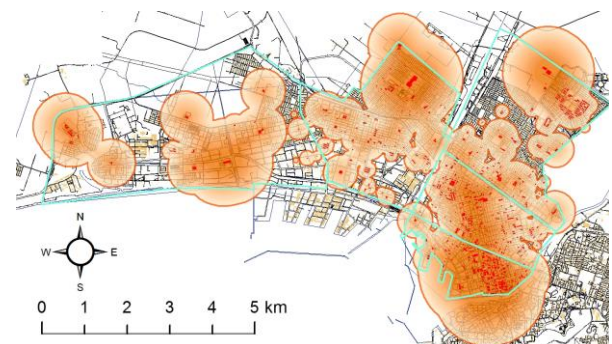


図-2 ケース 1 避難可能範囲

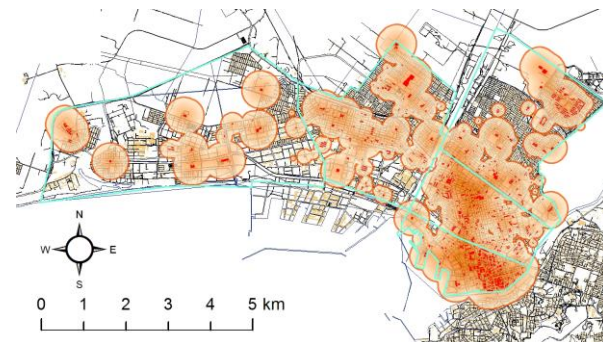


図-3 ケース 2 避難可能範囲

能範囲が、 L_1 が非常に大きくなったことにより拡大したものだと考えられる。 L_1 を採用している構造物は対象地区全域でみると 41 棟から 1 棟になり、ほぼすべての避難可能距離が L_2 となっている。収容力が大きい建物は主に病院や学校施設、高層のホテルなどであり、その中でも収容力の大きいものは避難可能距離が 1000m を超えている。もとの避難可能範囲のカバー率が高い橋北、鉄北

表-2 各地区・各ケースのカバー率の変化

	大楽毛地区		鳥取地区		愛国地区		鉄北地区		橋北地区		対象地区全域	
地域面積	15.9 km ²		8.7 km ²		8.8 km ²		4.4 km ²		2.6 km ²		40.5 km ²	
構造物棟数	23 棟		97 棟		135 棟		218 棟		245 棟		718 棟	
既往方法 カバー率	44%		72%		64%		93%		98%		63%	
L ₁ 数 L ₂ 数	7	16	2	95	2	133	3	215	27	218	41	677
ケース 1 カバー率	55% (+11%)		82% (+10%)		72% (+8%)		94% (+1%)		99% (+1%)		71% (+8%)	
L ₁ 数 L ₂ 数	0	23	0	97	0	135	0	218	1	244	1	717
ケース 2 カバー率	36% (-8%)		71% (-1%)		61% (-3%)		92% (-1%)		98% (±0%)		59% (-4%)	
L ₁ 数 L ₂ 数	8	15	4	93	5	130	3	215	42	203	62	656
ケース 3 カバー率	51% (+7%)		90% (+18%)		78% (+14%)		100% (+7%)		100% (+2%)		74% (+11%)	
L ₁ 数 L ₂ 数	10	13	11	86	13	122	13	205	85	160	132	586
ケース 4 カバー率	24% (-20%)		47% (-25%)		55% (-9%)		85% (-8%)		90% (-8%)		47% (-16%)	
L ₁ 数 L ₂ 数	2	10	1	59	2	111	2	156	19	174	26	510
使用不可	11		37		22		60		52		182	
ケース 5 カバー率	22% (-22%)		46% (-26%)		53% (-11%)		83% (-10%)		90% (-8%)		45% (-18%)	
L ₁ 数 L ₂ 数	4	8	1	59	2	111	3	155	29	164	39	497
使用不可	11		37		22		60		52		182	

地区のカバー率は若干の増加にとどまっている。しかし、各地区に収容力の非常に大きな建物が点在しているため、もとのカバー率の低い大楽毛、鳥取、愛国地区についてはカバー率が10%程度増加している。

これらより、避難を開始する時間を早めることで、歩行で到達できる距離が広がり、構造物の収容力を十分に活かすことができ、避難できる人数が増えることが考えられる。

【ケース 2】歩行速度の低下

図-3 と図-1 を比較すると、一部の円が縮小していることがわかる。特にこのケースでは大楽毛地区のカバー率が他の地区に比べ8%減少と大きく低下している。これは、大楽毛地区において収容力の大きい建物の割合が多く、L₁採用率が高いためである。

このように収容力の大きい建物は、多くの人数が避難できるが、本ケースのように歩行により到達できる距離L₁が小さいと避難できる人数が減少してしまう。そのため、収容力の大きな建物を十分に活かすためには早期の避難が必要になる。

【ケース 3】収容人数の増加

図-4 と図-1 を比較すると、地域全体の避難可能範囲が大きく拡大していることがわかる。本ケースは対象地区全域のカバー率が74%と全ケースの中で最も高い結果となっている。特にこのケースでは鳥取、愛国地区のカバー率がそれぞれ18%、14%と拡大している。これは鳥取、愛国地区のL₂採用率が高いためである。これらの地区は収容力の小さな建物が多く、もとのカバー率も低いいため、収容力を増加させたことで避難可能範囲が拡大した。もとのカバー率の高い鉄北、橋北地区についても、収容力の小さな建物が多いため、ともにカバー率は100%という結果となった。大楽毛地区については、もとのカバー率は少ないものの、建物の数が少なく、収容力の大きな建物が多いため7%の増加にとどまった。

これらより、現在L₂が採用されている建物については避難後の滞在時に余裕がなくなるが、ある程度の多くの人数を収容することで避難可能な範囲を広げることができると考えられる。

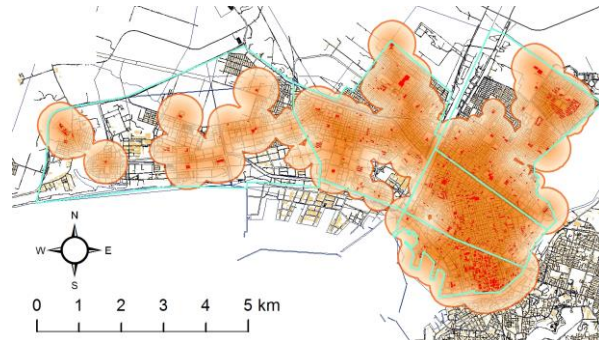


図-4 ケース 3 避難可能範囲

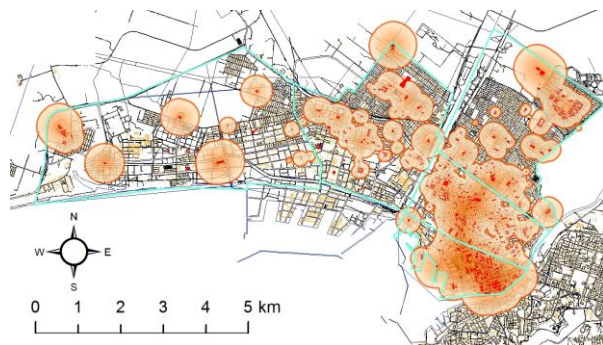


図-5 ケース 4 避難可能範囲



図-6 ケース 5 避難可能範囲

【ケース4】避難可能階数の減少

図-5と図-1を比較すると、対象地域全体の避難可能範囲が縮小していることがわかる。これは、避難可能な階数が屋上のみであった建物が対象地区全域で718棟中182棟あり、この182棟がすべて避難不可となったためだと考えられる。このケースでカバー率が減少しているのは大楽毛、鳥取地区でそれぞれ20%、25%と低下している。これは、避難不可になる建物の割合が多いためである。大楽毛地区では23棟中11棟、鳥取地区では97棟中37棟と多くの建物が使用不可になったため、カバー率が大きく減少した。

表-2から図-1のケースでは L_2 によって避難可能距離が決定される場合が多く、この状態で本ケースのように収容力が低下することは、特に建物数の少ない地区では影響が大きい。

【ケース5】冬季を想定した歩行速度と収容力の低下

図-6と図-1を比較すると、対象地区全体の避難可能範囲が小さくなっている。本ケースは対象地区全域のカバー率が45%と全ケースの中で最も低い結果となっている。本ケースは冬季の津波避難を想定したもので、ケース2とケース4の複合ケースだが、各地区のカバー率よりケース4の影響が大きいことがわかる。避難可能な階数が屋上のみで建物が多い地区では冬季は空白域が大きくなり、対策の必要がある。

冬季の津波避難対策としては、屋外や屋上の除雪や防寒対策が必要であるが、自助として防寒対策となるような備えをしておくべきである。

4.2 各ケースの比較と考えられる対策

前節では既往の研究で作成した避難可能範囲について避難可能距離算出式のパラメータを5つのケースに分けて変化させた。その結果、最もカバー率が高くなったのは収容人数を増加させたケース3で、最もカバー率が低くなったのが冬季の津波避難を想定したケース5となった。しかし、ケース5の結果では、ケース4の避難可能階数の減少の影響が大きく、避難可能階数は収容人数に大きく関係してくる。そのため、津波避難の際には避難構造物の収容人数が非常に重要となってくる。

収容人数は避難可能な構造物の建物面積、避難可能階数、避難者一人当たりの面積によって変化してくる。建物面積は変えることができないが、避難可能階数は冬季には屋上が使えなければ減少する。また、一人当たりの面積については避難後数時間滞在することを考えれば余裕を持って 3m^2 程度を想定することが望まれるが、実際の津波避難の状況を考慮すると、 1m^2 程度でも収容が可能であると考えられる。しかし、一人当たりの面積を 1m^2 としても、鳥取、愛国地区においてはカバー率がそれぞれ90%、78%と空白域は埋まらず、大楽毛地区ではカバー率が51%とおおよそ半分の面積が避難の難しい箇所となる。この空白域に関しては、空白域各所をカバーできるような津波避難ビル等の設置が必要であると考えられる。

また、ケース1の避難に使用できる時間の増加も避難可能範囲に大きな影響を与えており、収容力の大きな建物であれば早期の避難によって多くの人が避難できることがわかった。早期の避難を行うためには日頃から災害に対する意識を持ち、備えること、また、防災教育や防災訓練への積極的な取り組み等が重要になってくると考えられる。

5. まとめ

今回は既往の方法を用い、想定される5つのケースで避難可能距離を算出する条件を変化させた。今回の結果より、 L_1 の中で重要な要素は大幅に変動する可能性がある避難を開始する時間である。そのため、津波避難の際にはケース1のように早期の避難が望まれる。 L_2 は建物の収容力であるため、これを地域全体で増大させるためには、ある程度の収容力を有する建物を分散して配置することが有効である。

L_1 と L_2 は相互に作用しており、片方の対策を行っただけでは有効に津波避難構造物を利用することができない。今回行った避難に対して安全側に働くケース1の早期避難とケース3の収容力の増加のように、 L_1, L_2 がともに増加する組み合わせが実現するような訓練と施設整備を進めていくことで、より避難の可能性が向上することに期待できる。一方で、津波避難のあり方としては浸水範囲外に避難することが大原則であるため、後背を通る釧路新道や車両を有効活用した避難計画も検討していく必要がある。

【参考文献】

- 1) 北海道防災会議地震火山対策部会地震専門委員：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.
- 2) 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.1919-1931, 2013.
- 3) 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、2014(投稿中)。
- 4) 清水俊明、宮森保紀、内海晃太、齊藤剛彦：釧路市における津波避難に用いる構造物情報のデータベース化、第32回日本自然災害学会学術講演会講演概要集、pp.45-46, 2013.
- 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) 大塚久哲、篠島隆司、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.1081-1090, 2012.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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/20110908_1.pdf, 2011. (2012年8月21日閲覧)
- 10) 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/#>, 2012. (2012年9月1日閲覧)
- 11) 釧路市：平成23年釧路市統計書、<http://www.city.kushiro.hokkaido.jp/icity/browser?ActionCode=content&ContentID=1148520703145&SiteID=0>, 2012. (2012年9月20日閲覧)
- 12) 東京大学社会情報研究所：1993年北海道南西沖地震における住民の対応と災害情報の伝達—巨大津波と避難行動—, 1994.
- 13) 竹内慎一、南慎一、高橋章弘：積雪寒冷期を考慮した津波避難対策の検討、日本建築学会北海道支部研究報告集No.81, 2008.