

雪国地域独自の津波および雪・地震 複合災害の被害軽減策の提案

大堀 和明

一般社団法人北陸地域づくり協会 企画部（〒950-0197 新潟市江南区亀田工業団地 2-3-4）

この事業は、一般社団法人北陸地域づくり協会が公益事業として実施している「北陸地域の活性化に関する研究助成事業」において、金沢大学、福井工業大学、福井工業高等専門学校との3機関と平成25、26年度に共同研究を行っているものである。共同研究で実施した積雪期の地震、津波の避難シミュレーション、簡易式による橋梁損傷判定、防災ランドマークに関する研究のうち、避難シミュレーションについて取り上げ、積雪期の地震、津波複合災害の被害軽減策を提案する。

キーワード 避難シミュレーション、地下津波シェルター、津波てんでんこ

1 目的

東日本大震災以降、全国で地震、津波に対する防災計画が見直されているが、積雪期を想定した防災計画を策定している自治体は少ない。

積雪期の地震、津波は、無積雪期に比べ、避難路への障害、避難速度の低下、避難場所の確保など、様々な課題がある。

例えば、地震振動と屋根雪が影響する家屋倒壊、落雪等の道路閉塞による避難ルートへの影響などが想定される。また、地震、津波の一時避難場所が雪に覆われている場合に避難が可能かどうか懸念される。

そこで、本事業は、積雪期に地震、津波災害が発生した場合、どのような影響を及ぼすかの避難シミュレーションを行い、人的被害を軽減する避難場所、方法について提案する。

2 避難シミュレーション概要

(1) モデル地域

事業を検証する上で、北陸地域の中で津波被害が予想され比較的積雪が多い地域をモデル地域として選定した。日本海側での津波発生を引き起こす原因は、海底の断層運動によるものである。

図1の北陸地域における想定波源を見ると4つの海底断層を想定波源として設定し津波解析を行い、最大津波高と津波到達時間を各市町村別に算出して

いる。津波災害想定を見ると石川県能登地方の数値が高く、最大津波高は半島先端の珠洲市で最大18m、輪島市で8m。津波到達時間も、最も早い能登半島北方沖で5分、他の3つの想定波源も40～50分である。



図1 北陸地域における想定波源

今回、モデル地域として、輪島市臨港地区を選定した。輪島市は、人口約3万人で、約4割の1万2千人、3,776世帯が輪島港に面した臨港地区に住ん

でいる。同地区は、「朝市」など観光スポットや宿泊施設も多く、観光客が災害に遭うことも予想される。最大積雪深も過去30年平均で57cmと能登地方の中では比較的積雪が多い地域である。

(2) 避難対象者

輪島市臨港地区の総人口と観光客数を足上げた人数を避難対象者数とした。災害発生時に対象者は、表1の通り、平日と週末の昼・夜で同地区にいる割合を設定した。

表1 避難時の対象者配置

	観光客	男性			女性		
		～19才	20～60才	61才～	～19才	20～60才	61才～
平日昼	2063人	学校	50%	100%	学校	90%	100%
平日夜	349人	100%	100%	100%	100%	100%	100%
週末昼	4126人	100%	100%	100%	100%	100%	100%
週末夜	698人	100%	100%	100%	100%	100%	100%

(3) 避難場所

2012年4月に設定された輪島市臨港地域における避難場所を図2に示す。



図2 輪島市臨港地域避難場所一覧

高台に位置する避難場所は、番号2、3、9、12、

101の5箇所であり、番号9と12は市街地から離れている。また、地域住民にアンケート調査を行ったところ、津波想定浸水エリア内もしくは近接する避難場所番号1、13が避難場所として認知されていない傾向が強いことが確認されたことから、今回は津波想定浸水エリア内もしくは近接している避難場所番号1、13は使用不可として設定した。また、4、8の小学校は週末および夜間は閉門しており、平日昼間は想定浸水エリア内であるため屋内のみ避難可であるが在学生だけで満員になるとし、使用不可と設定した。

(4) 避難障害

地震による家屋からの屋根雪落下、家屋倒壊を原因とする道路閉塞を検証するため、屋根雪をのせた家屋模型に地震波を与え、屋根雪落下への影響を実験した。

図3の通り、住宅1階部分を質点 m_1 、屋根を除く住宅2階部分を質点 m_2 、屋根雪を含む屋根部分を質点 m_3 とする3質点系モデルとし、屋根雪がある場合と屋根雪がない場合について比較した。

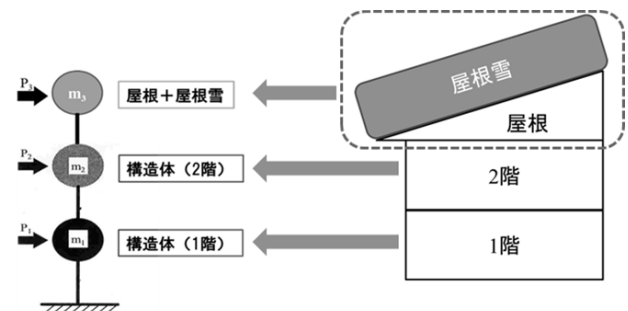


図3 3質点系モデル化

屋根雪がない場合、住宅全体の残留変位はあまり見られないが、屋根雪がある場合は約 13cm、2 階は約 11cm の残留変位が生じている。

屋根雪がない場合、1 階と 2 階の応答変位にあまり大きな差は見られないが、屋根雪がある場合は 1 階が 22cm 程度であるのに対し、2 階が最大で約 30cm と、2 階の応答が大きくなっていることが読みとれる。

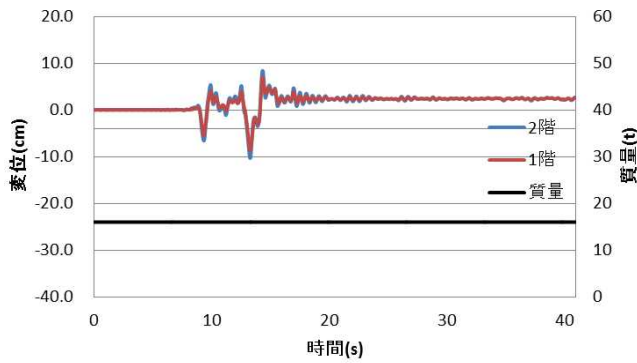


図 4 屋根雪のない場合

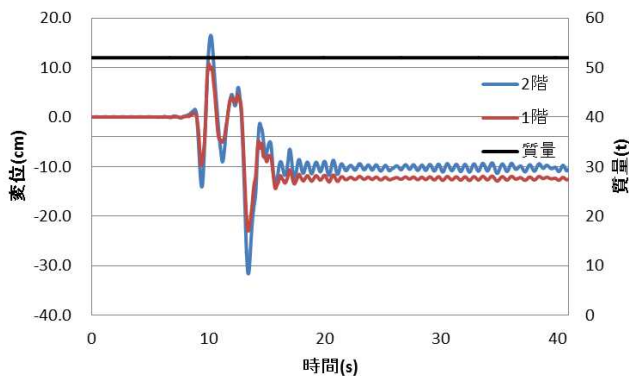


図 5 屋根雪のある場合

以上のことから、屋根雪のある場合のほうが、屋根雪のない場合に比べ全体的に応答変位が大きくなるという結果となった。屋根雪がある場合には住宅の応答は顕著に大きくなり、特にその影響は建物 2 階部分によく表れるといえる。

地震波の波形の特徴、滑落の持続時間、またその両者の関係が被害の大小を決定する要素となる。

地震発生時に多くの屋根雪荷重があれば、最大応答変位、残留変位ともに大きくなり、家屋倒壊、落雪の危険が増し、避難時の道路閉塞箇所も無積雪時と比較して多くなることが想定される。

(5) 避難速度

無積雪時と積雪時の避難速度を検証するため、歩行実験を実施した。



図 6 歩行実験の様子(上は無積雪時、下は積雪時)

無積雪時、積雪時の避難速度を年代別に見ると、どの年代も、積雪時に避難速度が低下する。1 秒あたり 0.3m の差が生じる。50 分後に約 900 m 遅れることとなる。(図 7、図 8)

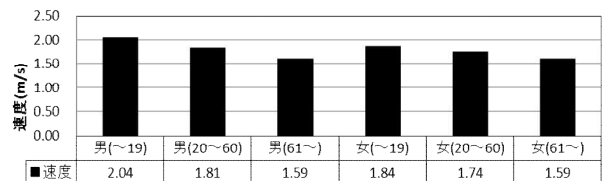


図 7 無積雪時の年代別避難速度

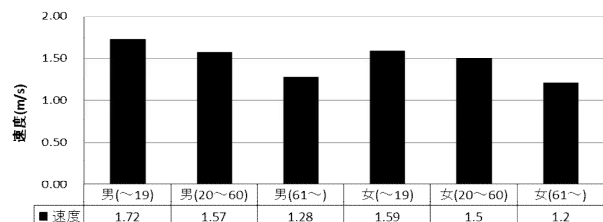


図 8 積雪時の年代別避難速度

図9の結果から積雪期、無積雪期避難速度の低減速度を0.8とした。

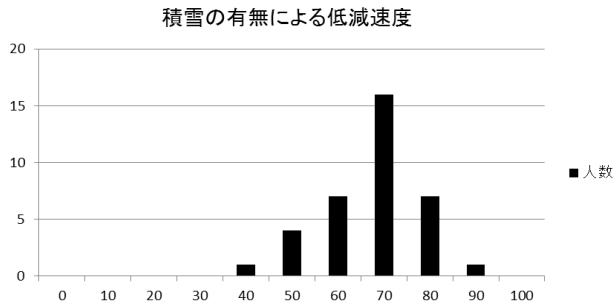


図9 積雪の有無による低減速度

(6) 避難ケース

避難は、個人避難と家族避難に区分し、平日と週末、冬と冬以外の条件のもと、表2、表3に示す全10ケースである。なお、平日夜に関しては、観光客宿泊者数が週末夜よりも少ない点以外は条件が同じであり同傾向の結果が予想されること、そして週末夜よりも悪い結果になるとは考えられないことから今回は除外した。

表2 個人避難検討ケース (単位:人)

ケース	条件		観光客数	住民数	合計
1	平日昼	冬以外	2,063	10,412	12,475
2	平日昼	冬	2,063	10,412	12,475
3	週末夜	冬以外	698	12,338	13,036
4	週末夜	冬	698	12,338	13,036
5	週末昼	冬	4,126	12,338	16,464

表3 家族避難検討ケース (単位:人)

ケース	条件		観光客数	住民数	合計
6	平日昼	冬以外	2,063	10,412	12,475
7	平日昼	冬	2,063	10,412	12,475
8	週末夜	冬以外	698	12,338	13,036
9	週末夜	冬	698	12,338	13,036
10	週末昼	冬	4,126	12,338	16,464

3 避難シミュレーション結果

地震津波避難シミュレーションの結果を表4、表5に示す。

表4 個人避難シミュレーション結果

ケース	50分後の避難状況(人)			
	避難済み	浸水域内に存在		
		避難前	避難中	合計
1	10,646(85.3%)	491(3.9%)	447(3.6%)	938(7.5%)
2	10,442(83.7%)	485(3.9%)	599(4.8%)	1,084(8.7%)
3	10,442(80.1%)	605(4.6%)	977(7.5%)	1,582(12.1%)
4	9,757(74.8%)	615(4.7%)	1,093(8.4%)	1,708(13.1%)
5	12,986(78.9%)	608(3.7%)	1,535(9.3%)	2,143(13%)

※表中()内は避難者数合計に対する割合を表す。

表5 家族避難シミュレーション結果

ケース	50分後の避難状況(人)			
	避難済み	浸水域内に存在		
		避難前	避難中	合計
6	10,457(83.8%)	563(4.5%)	536(4.3%)	1,099(8.8%)
7	10,257(82.2%)	486(3.9%)	701(5.6%)	1,187(9.5%)
8	10,254(78.7%)	601(4.6%)	1,104(8.5%)	1,705(13.1%)
9	9,426(72.3%)	651(5.0%)	1,211(9.3%)	1,862(14.3%)
10	12,766(77.5%)	585(3.6%)	1,439(8.7%)	2,024(12.3%)

※表中()内は避難者数合計に対する割合を表す。

(1) 避難割合

表4の個人避難シミュレーション結果を見ると、地震発生50分後に避難できずに津波浸水域に残っている割合が一番多いのはケース5(週末・昼間・冬)で、全体の13%、2,143人である。

避難前の割合に着目すると、ケース3(週末・夜間・冬以外)とケース4(週末・夜間・冬)の値が、若干ではあるが、他の3ケースよりも高くなっていることがわかる。これは、ともに夜間という条件であるケース3と4における観光客数が少なく、これに伴い観光客が存在する間隔が広くなり、その結果、避難行動をしている住民を見つけることが難しくなり、避難を開始できない観光客が増加するためだと考えられる。

50分後の避難済みの割合に着目すると、ケース1(平日・昼間・冬以外)がケース2(平日・昼間・冬)の数値よりも高く、ケース3(週末・夜間・冬以外)がケース4(週末・夜間・冬)の数値よりも高くなっていることがわかる。この2つの比較より、路面状況による避難速度は、避難済みの数値に影響

を及ぼすことがわかる。

50分後に浸水域内に存在する（避難できなかった）人の合計に着目する。合計数、その割合ともに、ケース1（平日・昼間・冬以外）とケース2（平日・昼間・冬）が低い。これは、学生が避難場所となる学校に始めからいたことが要因と考えられる。

また、観光客の数の相違により避難できなかった合計数は異なるものの、避難できなかった人数の全体数に対する割合は、ケース4（週末・夜間・冬）とケース5（週末・昼間・冬）で約13%であり、避難効率は同程度であった。上記のとおりケース4は避難前の観光客の割合が高かったこと、なおかつケース5は避難中の割合が高いことが原因である。

積雪時と無積雪時の避難の様相を比較すると個人避難では表4に示すように、平日・昼間・冬以外と平日・昼間・冬では50分後に浸水域内に存在する人が、それぞれ938人と1,084人、週末・夜間・冬以外と週末・夜間・冬ではそれぞれ1,582人と1,708人となっており、積雪により避難できない人が約1.1倍に増加することがわかる。家族避難の場合も同様である。

(2) 避難場所収容率

避難場所収容率推移として、週末・昼間・冬のケース5を図10に示す。

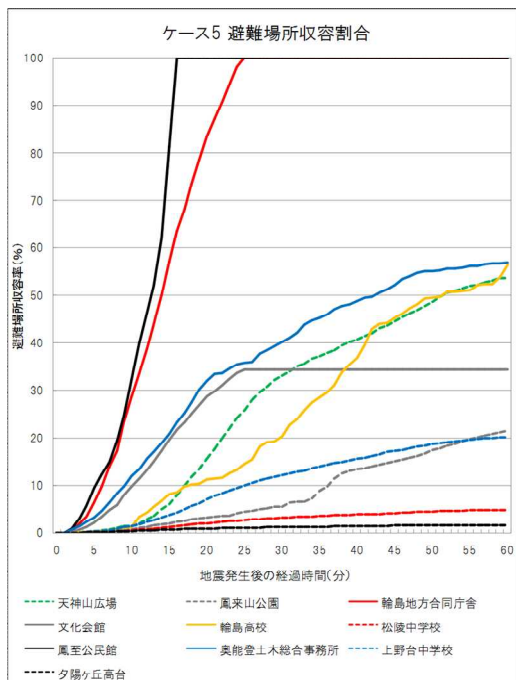


図10 ケース5（週末、昼間、冬）の避難場所収容割合

鳳至公民館(収容人数 562 人)は 16 分、輪島市地方合同庁舎(収容人数 803 人)は 25 分で収容人数を超過する。溢れた避難者は、天神山広場や鳳来山公園への移動するために渋滞を引き起こして避難収容率が伸びないという結果となった。

(3) 結論

避難シミュレーションにより得られた主な結論は以下の通りである。

- ① 渋滞する箇所と現在の避難場所の位置に不均衡性があることが確認できた。
- ② 最も避難が困難なケースは、観光客などの避難者数が多いために、一部避難場所の収容オーバーや渋滞を引き起こすケース 5（週末、昼間、冬）である。
- ③ 観光客数が減少する夜間においては、避難行動をしている地域住民を見つけることが難しくなり、避難を開始できない観光客が増加すると考えられる。
- ④ 積雪時と無積雪時の差異として住民の歩行速度において冬季低減率を歩行速度に一律 0.8 という係数を乗じて解析を行った結果、避難できない人数が 1.1 倍に増加することが明らかとなった。

4 被害軽減策の提案

避難シミュレーション結果を踏まえ、人的被害軽減策を提案する。

(1) 津波避難場所の発想転換

最も避難が困難なケース 5（冬・週末・昼間）のシミュレーションでは、すぐに輪島地方合同庁舎と鳳至公民館が収容人数を超え、鳳来山公園等に再避難する際に渋滞を起していることから、避難者を分散させる避難計画が必要となる。

しかし、積雪時に遠方に逃げることは、時間を要して、津波が到達してしまう。一時避難場所となっている公園や高台は雪に覆われており、避難場所の確保も困難である。雪崩等の二次災害も心配される。

東日本大震災では、これまでの津波浸水想定範囲をはるかに超えて内陸部まで到達している。

今後、一層の高齢化社会となり、高齢者の避難にかかる時間は長く、移動可能な範囲は短くなる。

以上の点を踏まえると、積雪地域における津波避難場所は、これまでの発想を変えて津波より高い場所に逃げるのではなく、津波が引くまでやり過ごせる積雪に影響されない場所に逃げることである。

そこで積雪や天候の影響を受けずに、最も近くにある津波をやり過ごす場所として地下空間に着目した。具体的には、地区ごとに公共空間、例えば学校、公園、公民館、集会所の地下利用、それと一般住宅の建設時に設置補助を行い、機密性が高く水が入らない「地下津波シェルター」を設置することが考えられる。冷戦時代に、全世界に作られた放射能を遮断して滞在する「地下核シェルター」と同じ発想である。しかも放射能に比べれば津波は遙かに短い滞在時間で済む。

現在、津波対策のインフラ整備は、長大な防潮堤が主体であるが、津波が防潮堤を越えた時の最後の砦として「地下津波シェルター」設置を提案する。



図 11 地下核シェルター

(2) 避難行動を起こすための防災教育

「地下津波シェルター」が設置されても、そもそも避難行動を取らない又は避難開始が遅れば人命にかかわる被害の増加につながる。津波到達時間を考えると表 6 の通り、避難開始率を改善する必要がある。

表 6 避難開始率

地震発生後の時間	避難開始率
2 分後	15%
5 分後	50%
10 分後	90%
20 分後	100%

避難開始時間が遅れる原因は、防災意識の欠如や肉親の安否の心配などがある。防災意識の欠如を解決するためには、「津波警報が発令されたらすぐに避難を開始する。」を徹底する地道な防災教育、訓練の継続しかない。

しかし、肉親の安否の心配による避難開始時間の遅れは、人である限り、仕方ない面もある。

東日本大震災で大きな津波被害を受けた三陸海岸地域では、「津波てんでんこ」「命てんでんこ」という言葉(標語)があり、「津波が来たら各自でばらばらに逃げろ」「自分の命は自分で守れ」という意味である。

岩手県釜石市小中学校は、群馬大学大学院の片田敏孝教授の協力のもと、「津波てんでんこ」を防災教育に取り入れて、生徒達に必ず肉親も避難していること信じて自分達はいち早く避難する「率先して避難する人となれ」という指導を行った。

その結果、釜石市小中学生は、東日本大震災の津波を逃れた。「釜石の奇跡」と呼ばれている。

今回、提案した「地下津波シェルター」という防災インフラがあることで、必ず肉親は、どこかに安全に避難していると信じることができ、自分自身も早く避難行動を起こすことができる。

学校で防災教育を必修にして生徒達に「津波てんでんこ」「命てんでんこ」を身につけさせる。

最後に「防災教育」というソフトと「地下津波シェルター」というハードをセットで、生徒達から祖父母、父母に広め、次の世代に引き継ぐことにより、人的被害を最小限に抑える仕組みづくりができる。

共同研究者

- ・金沢大学理工研究域環境デザイン学系講師 池本 敏和
- ・金沢大学理工研究域環境デザイン学系教授 宮島 昌克
- ・福井工業高等専門学校環境都市工学科教授 吉田 雅穂
- ・福井工業大学工学部建築生活環境学科教授 竹田 周平

参考文献:

「雪国独自の津波および雪・地震災害の被害軽減策と復興モデルの提案報告書」2014.3