

## 5. 津波避難に関わる通行障害の検討

前章では、経済的損失の評価について検討した。素案として作成した経済損失の評価フローのうち、津波特有の避難に関わる部分を対象として、本章では、避難に関わる通行障害による人的損失の推定手法を検討する。この手法の対象は以下の通りである。

- ・ そのエリアへの津波到着時間前に、避難可能な人の中で避難意思のある人が、避難場所に行くことを避難とし、その避難時の通行障害による人的損失を対象とする。

また、提案する算定手法は、以下の手順での算定とした。

被災地域のモデル化と諸条件の設定を海岸沿いでのモデルをもとに説明する。

避難に関わる通行障害の評価を のモデルをもとに説明する。

### 5.1 被災地域のモデル化と諸条件の設定

以下の3点を設定することにより、被災地域をモデル化する。

- ・ 各エリアの代表点とするノード
  - ・ 機能をもつノード
  - ・ 各エリアの代表点を結ぶ線上での一時避難所（津波の浸水深より高くなる地点）
- 諸条件として、以下の4点を設定する。
- ・ 地震発生時間
  - ・ 地域の特徴
  - ・ 各エリアへの外力（地震動（PGV）、津波（浸水深、割合））
  - ・ 各エリアの特徴（建物数、住民数）

各諸条件は表 5-1 のようにまとめる。

表 5-1 各ノードの条件

ノード	地震外力 (PGV)	津波外力		来襲時間	建物数	住民数
		浸水深	割合			

例として図 5-1 に示す地震後に津波による浸水を受ける海岸沿いのモデルを仮定する。この海岸沿いのモデルでは、住宅地のノード（1～9の各住宅地の代表点とする）、機能をもつノード（避難所災害拠点、集積所、避難所 1,2、医療施設、スパー-1,2（1は一時避難所）、仮置場）、一時避難所をもつ。ただし、避難の検討では、住宅地のノード、避難所、一時避難所のみを使用した。モデル以外の諸条件を以下の様に仮定した。

- ・ 発生は、夕方 18:00 頃
- ・ 多くの住人は、幹線道路を用いて圏外に通勤している。
- ・ 津波に対する避難は、海から遠ざかる方向の最短位置を目指すとする。

また、図 5-1 のモデル内で使用する数値について、各ノードの条件を表 5-2、各エリア間の条件を表 5-3 のように仮定した。

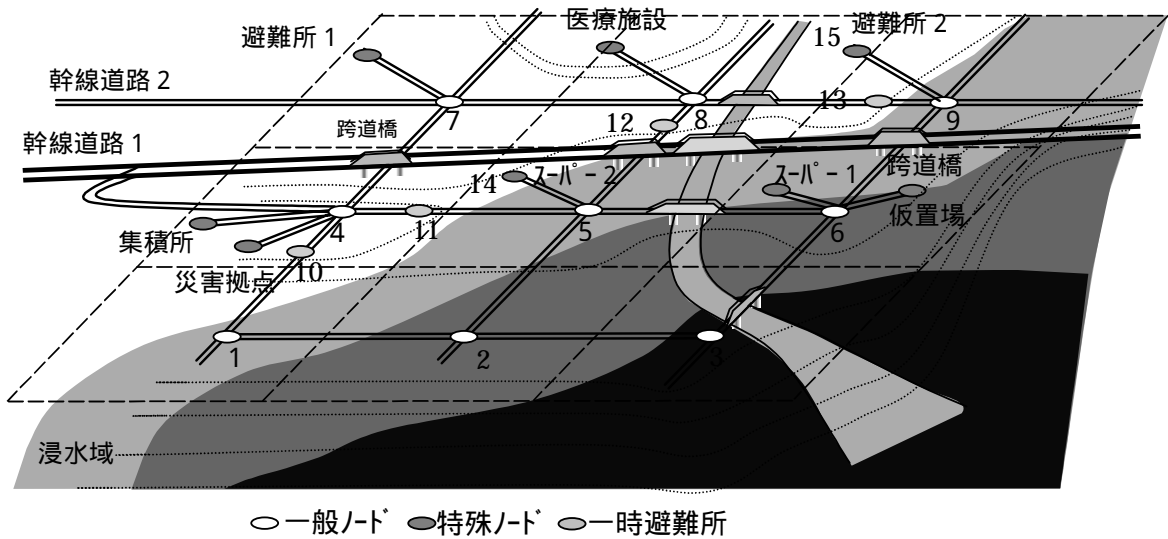


図 5-1 被災地域のモデル

表 5-2 各ノードの条件

ノード	地震外力 (PGV)	津波外力		来襲時間	建物数	住民数
		浸水深	割合			
1	100kine	1～2m	10%	18分	50	130
		0～1m	25%			
2	100kine	1～2m	75%	18分	50	130
		0～1m	25%			
3	100kine	3m～	75%	15分	50	130
		1～2m	25%			
4	100kine	浸水被害無し			50	130
5	100kine	1～2m	25%	18分	50	130
		0～1m	50%			
		無し	25%			
6	100kine	2m～	75%	18分	50	130
		0～2m	25%			
7	100kine	浸水被害無し			50	130
8	100kine	浸水被害無し			50	130
9	100kine	1～2m		18分	50	130
		0～1m				

エリア内の建物は、設計年度毎に想定する（本検討では 1982 以降の建物のみとした）。

表 5-3 エリア間の条件

エリア間	距離 (m)	施設	津波外力		平均交通量 (台/h)
			浸水深(m)	割合(%)	
1 2	300m		0～2m	50%	50
			2m	50%	
1 4	300m	・一時避難所(10) (1から75%地点)	0～2m	25%	50
2 3	300m		2m	100%	50
2 5	300m		0～2m	25%	50
			2m	75%	
3 6	300m	・河川橋梁	2m	100%	50
4 5	300m	・一時避難所(11) (4から25%地点)	0～2m	50%	50
			無し	50%	
4 7	300m	・跨道橋	浸水無し		50
5 6	300m	・河川橋梁	0～2m	25%	50
			2m	75%	
5 8	300m	・跨道橋 ・一時避難所(12) (5から75%地点)	0～2m	50%	50
			無し	50%	
6 9	300m	・跨道橋	0～2m	100%	50
7 8	300m		浸水無し		200
8 9	300m	・河川橋梁 ・一時避難所(13) (8から75%地点)	0～2m	25%	200
4 ノード外			浸水無し		
7 ノード外			浸水無し		
9 ノード外			0～2m	100%	
4 災害拠点	100m				
4 集積所	100m				
5 スーパー2	100m		0～2m	75%	
6 スーパー1	100m		0～2m	100%	
6 仮置場	100m		2m	100%	
7 避難所1	100m				
8 医療施設	100m				
9 避難所2	100m		0～2m	25%	

## 5.2 避難に関わる通行障害の算出

通行障害の算出は、各住宅地ノードで行う。各住宅地ノードで以下の推定を行う。

避難経路と最短避難時間の算出

避難人数の算出

通行障害による通行可否の判断

### (1) 避難経路と最短避難時間

対象とした住宅地ノードでの避難経路と最短避難時間の算出を以下の手順で行う。

- A. 対象としたノードから考えられる避難路（一時避難所、避難所までの経路）を検討する。但し、津波に対する避難は、海から遠ざかる方向を目指すとする。避難距離として、各避難路の距離を避難距離として算出する。
- B. 避難時間は、避難意識による差異を考慮する。具体的には、地震直後の避難については避難準備時間のみ、津波警報後の避難については避難準備時間 + 津波警報までの時間をそれぞれ移動時間に加えることにより、避難意識による差異を考慮する。
- C. 避難速度は、津波避難ビルに関わるガイドライン検討会第2回・資料3<sup>11)</sup>に基づき、老人の避難速度 1.3m/秒（78m/分、4680m/時）を使用する。
- D. 通行障害の無い場合の避難の可否を判断する。
- E. 地震直後に津波来襲までに避難可能な経路が複数ある場合は、各経路を等分に避難が行われるとする。

例) ノード3での事例

例として、上で仮定した沿岸部の事例の中で、ノード3での場合を示す。ノード3は、津波来襲までの時間は15分である。

- A. ノード3からの避難経路のうち、最寄の一時避難所もしくは避難所までの経路は、表5-4の1列目に示す通り5通りとなる。各ノードまでの最短距離を避難距離として表5-4の2列目に示す。
- B. 避難意識の差異として、この例では、地震直後の避難では+3分、警報後は+8分を追加した。
- C. 最短距離に対し、老人の避難速度78m/分を用いて移動時間を算出し表5-4の4列目に示す。
- D. 避難経路に支障が無い場合は、どの経路を用いても地震直後の避難であれば避難が可能なことが判った。（表5-4の6列目）
- E. 従って、地震直後の避難は5つの避難路を等分に避難すると考えられる。

表 5-4 ノード3での事例（津波来襲まで15分）

ノード3から陸側の避難所	避難距離	最短経路	移動時間	避難意識による差異			
				地震直後		警報後	
避難所2(15)	700m		9分	12分	避難可	17分	避難不可
8-9上の一時避難所(13)	625m		8.7分	11.7分	避難可	16.7分	避難不可
スーパー2(14)	700m		9分	12分	避難可	17分	避難不可
5-8上の一時避難所(12)	825m		10.6分	13.6分	避難可	18.6分	避難不可
1-4上の一時避難所(10)	825m		10.6分	13.6分	避難可	18.6分	避難不可

避難速度は、老人の避難速度 1.3m/秒（78m/分、4680m/時）を使用

津波直後の避難では避難準備として+3分、津波警報後は避難準備+3分と警報まで+5分で計8分を追加する。

避難の不可は、ノード3での津波来襲時間との比較で決定する。

(2) 避難人数の算出

対象としたエリアでの避難人数の算出は、エリア内の住民から、以下の影響を考

慮した人数とする。

地震による避難人数への影響

浸水エリアによる避難人数への影響

避難意識の差異による避難人数への影響

### 1) 地震による避難人数への影響

対象エリアで、地震が発生すると建物崩壊等により住民の閉じ込めが生じる。閉じ込められた住民は、津波到達までの短時間では避難ができないと考えられる。

従って提案する手法では、避難人数を、「エリア内の住民数」から「閉じ込められた人数」を引いた人数とする。

地震による閉じ込め人数の推定は、以下の手順で行う。

A. 地震による建物被災度の算出

B. 閉じ込め人数の算出

#### A. 地震による建物被災度の算出

本手法では、建物被災 (= 被害家屋率) を建築年度と最大地表速度から推定する地震被害想定支援マニュアル<sup>35)</sup>の手法を用いる。式 (5-1) に、木造建物を対象にした木造建物大破率の算出式を示す。算出した木造建物大破率に住宅数を乗じることによってエリア内の被災建物数を推定する (式 (5-2))。

$$P(PGV) = \Phi \left\{ \frac{(\log(PGV) - \lambda)}{\varsigma} \right\} = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \varsigma} \cdot e^{-\frac{(\log(-\lambda))^2}{2\varsigma^2}} dx \quad (5-1)$$

$P(PGV)$ : 最大地表速度毎の被害率

$PGV$ : 最大地表速度

$\Phi(x)$ : 標準正規分布の累積密度関数

$\lambda$ :  $\log(PGV)$  の平均値 (最大地表速度の自然対数値の平均)

$\varsigma$ :  $\log(PGV)$  の標準偏差 (最大地表速度の自然対数値の標準偏差)

#### 被災建物数

$$= \text{エリア内の住宅数} \times \text{建物被災度} \quad (5-2)$$

但し、被災建物数は、建築年代毎に算出し合計する。

表 5-5 (1) 木造建物全損率の関数パラメータ (灘区) 及び

	~ 1951	1952 ~ 1961	1962 ~ 1971	1972 ~ 1981	1982 ~
	4.36	4.44	4.45	4.73	5.12
平均	4.42			4.73	5.12
	0.411	0.353	0.342	0.378	0.496
平均	0.369			0.378	0.496

表 5-5(2) 木造建物全損率の関数パラメータ(西宮市) 及び

	~ 1951	1952 ~ 1961	1962 ~ 1971	1972 ~ 1981	1982 ~
	4.27	4.48	4.52	4.75	5.32
平均	4.42			4.75	5.32
	0.501	0.525	0.492	0.48	0.599
平均	0.506			0.48	0.599

#### B. 閉込め人数の算出

本手法では、閉込め人員 (= 要救出者数) を、建物被災度、平均構成世帯人数、在宅率等から推定する神奈川県<sup>22)</sup>の手法を用いる。式(5-3)に木造家屋を対象とした建物崩壊に伴う要救出者数、式(5-4)に家具崩壊等に伴う要救出者数の算出式を示す。また、PGV と震度の変換は、地震被害想定支援マニュアル<sup>35)</sup>に示される式(5-5)を用いる。

##### ・建物崩壊に伴う要救出者数

$$\begin{aligned} \text{要救出者数} &= \text{要救出箇所数} \times \text{平均滞在人数} \\ \text{要救出箇所} &= D1 \times P1 \times \text{閉込め率} \end{aligned} \quad (5-3)$$

$D1 = \text{木造大破棟数} \times \text{崩壊率}$

$\text{崩壊率} = 0.4 \times \text{震度} - 2.1$

$P1 = \text{家屋内に人が居る確率} = 1 - \text{nsh}$

$\text{nsh} = \text{平均滞在人数別に、家屋内に人が居ない確率}$

$\text{平均滞在人数} = \text{平均構成世帯人数} \times \text{時間毎の在宅率}$

$\text{閉込め率} = 0.3$

##### ・家具崩壊等に伴う要救出者数

$$\begin{aligned} \text{要救出者数} &= \text{要救出箇所数} \times \text{平均滞在人数} \\ \text{要救出箇所} &= D2 \times P1 \times \text{家具閉込め率} \end{aligned} \quad (5-4)$$

$D2 = \text{建物数} (\text{建物崩壊に伴う救出箇所数})$

$P1 = \text{家屋内に人が居る確率} = 1 - \text{nsh}$

$\text{nsh} = \text{平均滞在人数別に、家屋内に人が居ない確率}$

$\text{平均滞在人数} = \text{平均構成世帯人数} \times \text{時間毎の在宅率}$

$\text{家具閉込め率} = 0.09 \times \text{震度} - 0.485$

平均構成世帯人数<sup>22)</sup>: 2.6人

在宅率<sup>22)</sup>

00時 ~ 06時	06時 ~ 10時	10時 ~ 16時	16時 ~ 23時	23時 ~ 24時
100%	100 ~ 30%	30%	30 ~ 100%	100%

6時 ~ 10時:  $(-(35/2)) \times \text{時刻} + 205$  %

16時 ~ 23時:  $(10 \times \text{時刻}) - 130$  %

nsh<sup>22)</sup>

平均滞在人数	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8
nsh	0.55	0.45	0.37	0.30	0.25	0.20	0.17	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06

・ PGV と震度の変換

$$\text{震度} = 2.02 \times \log(\text{PGV}) + 2.4 \quad (5-5)$$

## 2) 津波浸水エリアによる避難人数への影響

本手法では、分割エリアを大きく取った場合、エリア内に津波による浸水が無い箇所が発生する。浸水が発生しない箇所では、住民の津波に対する避難行動は予想されない。

そこで、津波浸水エリアでの避難人数を、地震による影響を考慮（閉込人数を引いた後）した避難人数にエリア内の津波浸水率を乗じて推定する。エリア内の津波浸水率による避難人数の推定式を式(5-6)に示す。

$$\text{「津波浸水率による避難人数」} = \text{「地震による影響を考慮した避難人数」} \times \text{「モデル作成時のエリア内の浸水率」} \quad (5-6)$$

## 3) 避難意識による避難人数への影響

本手法では、避難意識による避難人数への影響評価を、住民数から地震・浸水による影響を除いた人数に対して行う。

避難意識の差異による避難人数の算出は、以下の手順で行う。

・ 地震直後に避難を開始する避難人数は、式(5-7)を用いて算出する。

$$\text{「地震直後の避難人数」} = \text{「住民数から地震による影響を除いた人数」} \times \text{「地震後すぐに避難の割合」} \quad (5-7)$$

・ 警報後の避難人数は、式(5-8)を用いて算出する。

$$\text{「警報後の避難人数」} = \text{「住民数から地震による影響を除いた人数」} \times \text{「警報後に避難の割合」} \quad (5-8)$$

避難意識については、「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」<sup>36)</sup>での奥尻島・青苗地区のアンケート結果を用い表 5-6 の様に設定した。

表 5-6 避難意識

アンケート結果		分類	
揺れが治まらないうちに避難	23%	地震後すぐに避難	77.9%
津波が来ないうちに避難	54.9%		
津波が来てから避難	11.3%	警報後避難	11.3%
避難できなかった	4.4%	避難しない	10.8%
避難しなかった	0.5%		
その他・無回答	5.9%		

例) ノード3での事例

例として、上で仮定した沿岸部のモデルのノード3での事例を示す。

ノード3に付与されている地震動、建物数、住民数は、表 5-2 の値を用いる。
a.の手法に基づき、建物被災度を算出し被災建物数を 8 棟と算出し表 5-7 の 5 列目に示す。
b.の手法に基づき、閉じ込め人数の算出を建物 4 人、家具 6 人と算出し、表 5-7 の 6,7 列目に示す。閉じ込め人数の補正として、避難対象人数を $130 - (4+6)$ で 120 人と算出し表 5-7 の 8 列目に示す。
2)の手法に基づき浸水の補正を行う。エリア 3 での浸水率が 100%であることから、補正後の人数を 120 人として表 5-7 の 10 列目に示す。
4)の手法に基づき避難意識と判定を行う。避難意識の割合で分けると 94 人,14 人,12 人となる。また、避難意識毎の判定は、表 5-4 の最短経路での判定に従い、避難意識毎に全部の経路で避難可能な場合は、一部可能な場合は、全てダメな場合は×とする。非難意識毎の避難人数と判定を表 5-7 の 11~16 列目に示す。
結果として、評価対象である「ノード3での通行障害が発生していない場合の避難人数」は 94 人となる。

表 5-7 エリア3での算出例

エリア	PGV (kine)	建物数	住民数	被災建物数 (棟)	閉じ込め人数		避難対象 (人)	浸水		避難意識と判定					避難人数	
					建物 (人)	家具 (人)		率 (%)	補正 (人)	すぐに	警報後	逃げない				
3	100	50	130	8	4	6	120	100	120	94		14	×	12	×	94人

小数点以下は切り上げて表記した。在宅率は、18:00 なので 50%とする。本事例では平均世帯人数は、2.6人を用いた。判定の × は、2)の最短経路による。

### (3) 通行障害による津波避難への影響

対象とした住宅地ノードでの避難経路上での道路施設被災による通行障害の影響評価を行う。道路施設被災の影響評価は、地震による閉じ込め等の要因を除いた避難者のみを対象に行う。



## 1) 道路施設被災による通行障害の影響評価

本手法では、避難経路上の被害状況に応じて最短迂回経路を算定し、最短迂回経路で避難中に津波到着時間を超えた場合を避難中の被災とする。

避難箇所が複数ある場合には、住民が地震直後には道路被災状況を知り得ないと考えられることから、(1)に示のように各避難箇所へ住民が等分に分かれて避難すると仮定する。

着目路線の道路施設毎の被災度と通行可能性は、「道路施設に対する地震の防災投資効果に関する研究」<sup>34)</sup>に基づき設定する(表 5-8)。なお、住民の避難速度は、(1)と同様に 1.3m/秒(津波避難ビルに関わるガイドライン検討会第 2 回・資料 3<sup>11)</sup>)を使用する。

表 5-8(1)橋梁の被災度と地震直後の通行可能性・影響率

被災度	軽微な損傷	中規模損傷	大規模被害	大被害	落橋
通行可否	可能	可能	可能	不可	不可

表 5-8(2)盛土の被災度と地震直後の通行可能性・影響率

被災度	軽微な損傷	中規模損傷	大規模被害	大被害	崩壊
通行可否	可能	可能	可能	不可	不可

表 5-8(3)斜面の被災度と地震直後の通行可能性・影響率

被災度	V<10m <sup>3</sup>	10m <sup>3</sup> <V<100m <sup>3</sup>	100m <sup>3</sup> <V	全面崩壊
通行可否	可能	可能	可能	不可

## 2) 津波に巻き込まれた場合の人的被害

本手法では、津波に巻き込まれた場合の人的被害は、中央防災会議による津波浸水時の死者率算出手法<sup>6) 27)</sup>を用いて算出する。式(5-9)に、浸水深を用いた津波による死者率算出手法を示す。算出時の浸水深は、対象とするエリアの平均浸水深を用いる。

$$y = 0.0282e^{0.2328x} \quad (5-9)$$

x: 浸水深 (m)

y: 死者率 (%)

津波浸水時の死者率を用いた津波からの避難中の通行障害による人的被害は、式(5-10)で算出する。

「通行障害による人的被害(死者数)」

(5-10)

=「対象とする避難所へ 避難中の人数」×「死者率」

例) エリア3での事例

例としてエリア3での事例を示す。この事例では、津波発生時の地震によりノード3 ノード6の間の橋梁が地震により落橋したと仮定した。

1)の影響評価の手法に基づき、避難経路として5通り、避難者は各経路を等分に割り 18or19人とする(

表 5-9 の5列目)。ノード3 ノード6の間の橋梁が落橋した場合この間での避難は不可能となる。従ってこのリンクを含む避難路には迂回が生じる。避難所2(ノード 15)の場合、最短経路は3 6 9 15で移動時間9分、迂回した場合は3 2 5 6 9 15で移動時間が16.6分となり被災の判定となる。また、ノード8 - 9間にある一時避難所ノード 13 の場合は、3 6 9 13で移動時間 8.7 分に対して、3 2 5 8 13で移動時間 14.4 分となり被災とはならない。判定結果を

表 5-9 の8列目に示す。

2)の人的被害の算出手法に基づき死者率を算出すると、平均浸水深 2.6mの死者率は0.05となる。従って、人的被害は 19人×0.05で1人となる。算出結果を

表 5-9 の10列目に示す。

以上より、ノード3での死者数1人に人的被害額を乗じるとノード3を中心とした住宅地での津波の避難に関わる通行障害による損失額となる。

表 5-9 エリア3での事例

ノード	避難者 (補正済)	平均 浸水深	避難所	避難 者数	最短移動時間		避難可 否 津波時	死者率	死者数
					平常時	津波時			
3	94人	2.6m	避難所2(15)	19	9分	16.6分	×	0.05	1
			8-9上の1次避難所(13)	19	8.7分	14.4分		-	-
			スーパー2(14)	19	9分	9分		-	-
			5-8上の1次避難所(12)	19	10.6分	10.6分		-	-
			1-4上の1次避難所(10)	18	10.6分	10.6分		-	-