

津波シミュレーション ～予測評価と対策検討例～

エンジニアリング本部 防災・環境解析部

原井 光一郎

梅 津 貴 弘

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波で、東北地方の太平洋沿岸域は甚大な被害を受けた。今回発生した東北地方の津波は、過去の中央防災会議専門調査会で検討されていた想定を超えた外力規模であったことが報告されている。

平成 23 年 8 月に内閣府に設置された『南海トラフの巨大地震モ1. デル検討会』（以下、『南海トラフ検討会』とする）では、従来の比較的発生確率が高いとされている津波規模を基準とした海岸保全施設や水門の整備方針だけでなく、1000 年に一度程度の低確率で発生する巨大津波の津波対策の検討も行なっていくと発表されている。海岸保全施設復旧と設計の方針としては、次の 2 パターンを設定している。

①津波防護レベル(L1 クラス):すべての人命を守ることを前提とし、主に海岸保全施設で対応する津波レベル

②津波減災レベル(L2 クラス):海岸保全施設のみならず、まちづくりと避難計画をあわせて対応する津波レベル

『南海トラフ検討会』の津波減災レベル(L2)は、以下に示す対策を速やかに具体化し、推進する必要があると報告されている。

(1)「強い揺れや弱くとも長い揺れがあったら、

避難」を徹底

(2)津波避難に関する多様な情報伝達手段の整備

(3)海岸堤防等は施設の効果が粘り強く発揮できるように整備

(4)避難場所・避難施設、避難路・避難階段、津波避難ビルなど、安全な避難空間の確保

(5)施設の配置見直し、住居等の高台移転、土地利用計画の策定など、津波に強い地域構造の構築

(6)津波避難に関する新たな施設・装備等の技術開発の促進

(7)地震・津波を検知する観測網の整備、地震発生予測も含めた調査研究の推進

また、『南海トラフ検討会』では、科学的知見に基づき、南海トラフの巨大地震の検討を進め、平成24年 3 月に第1次報告として、50m メッシュの震度分布・津波高の推計結果が、同年 8 月には第 2 次報告として、10m メッシュの津波高及び浸水域（浸水深や到達時間も含む）の被害想定結果が公表された。ただし、公表された情報については、各自治体で最新の地形や構造物情報に更新して再度計算する必要があるため、第 2 次報告の公表後、各自治体が所有している情報（地形及び構造物情報）を元に浸水想定区域の見直しが行われており、これらの事業において津波解析（浸水深、到達時間等）が浸水想定検討の基礎資料作成過程で重要なツールとなっている。

また、浸水想定だけでなく、防護施設の整備における効果検討や被害想定においても、津波解析モデルを用いた検討は、今後さらに重要度を増していくと考えられる。

このような背景を踏まえて、本稿では、まず『南海トラフ検討会』の HP(<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/>)で公開されている解析条件(地形、外力条件等)をベースに津波解析モデルを構築し、L2 クラス外力の津波解析を行った。また、現時点で公表されている最新の被害算定手法を用い、前提条件や避難行動の違いによる被害状況を試算した。さらに、津波シミュレーションで得られた結果を活用した津波対策手法を構築し、その効果検討を行った。

2. L2 クラス津波解析モデルの構築

2. 1 予測モデルの概要

津波解析モデルは地震に伴う地盤変位を初期条件として海面の変位分布に与え、Navier-Stokes の運動方程式ならびに連続式を基礎式として解析した。津波のように、波長の長い波の運動では、水中の圧力は静水圧分布によりほぼ近似が可能であり、水平流速成分(u, v)は鉛直方向にほぼ一様な分布と仮定することができる。このような近似により、沿岸部から陸域にかけての津波予測(非線形長波理論式)が可能となる。基礎方程式は次の様に表される。

【連続式】
$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

【運動方程式】

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gh \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right) - fN + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gh \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right) + fM + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

$$D = \eta + h$$

$$M = \int_{\zeta}^{\rho} u dz = u(\eta + h) = uD$$

$$N = \int_{\zeta}^{\rho} v dz = v(\eta + h) = vD$$

t : 時刻(s)、 D : 水深(cm)、 η : 水位上昇量(cm)

u, v : x, y 軸方向の流速 (cm/s)、

x, y : 水平方向 x, y 座標、 g : 重力加速度 (cm/s²)

f : コリオリの係数 (1/s)、 n : 粗度係数

『南海トラフ検討会』の HP で公開されている津波断層モデルは、2011 年東北地方太平洋沖地震や世界の巨大地震の特徴を踏まえ、大すべり域、超大すべり域を持つ最大クラスの津波断層モデルである。津波断層モデルの破壊の過程については、従来の同時に断層全体が破壊されるモデルではなく、津波断層が破壊開始点から順次破壊していく効果が見えるモデルとしている。断層運動による地殻変動(地盤変動量)についても、防災上の観点から、陸域の沈降効果は考慮するが、陸域の隆起効果は考慮しないものとして設定している。

上記に示す断層モデルの前提条件を踏まえて、L2 レベルの津波予測モデルの構築を行った。

2. 2 津波予測の条件

津波予測解析の一連の手順を図2-1、予測条

件を表2-1に示す。本津波解析モデルは、津波減災レベル(L2)の対策(浸水想定及び避難計画)として、最大浸水深・浸水域及び到達時間の見直しを実施している南海トラフの巨大地震を震源域として含む範囲を設定した(図2-2参照)。

津波解析に必要な水深・構造物データおよび断層モデル(初期地盤変動量)は、『南海トラフ検討会』のHPに公開されているデータを用いた。(図2-3、図2-4参照)

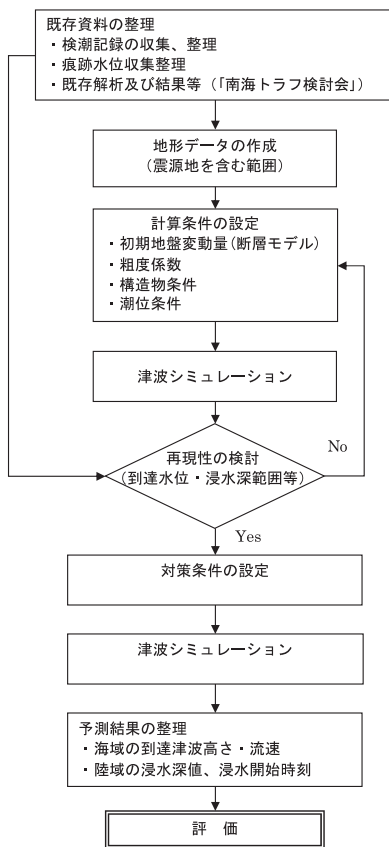


図2-1 予測解析フロー図

表2-1 予測条件一覧表

項目	設定内容
基礎方程式	非線形長波理論式を基礎方程式とした平面2次元津波伝播モデル
予測範囲	図2-2 参照 南海トラフの巨大地震の震源域を含む範囲
水深・地盤高	図2-3 参照
初期地盤変動量	図2-4 参照
想定地震	2012 南海トラフ検討会モデル
格子幅	2430m→810m→270m→90m→30m →10m(可変格子) 接続領域の境界は、外側の領域の水位・流量を引き継ぐ
沖合境界条件	自由透過
陸側境界条件	30m メッシュ以上の領域:完全反射 10m メッシュ領域 :浸水遡上
潮位条件	朔望平均満潮位(H. W. L.)
時間間隔	0.10(sec)
計算時間	12.0 時間

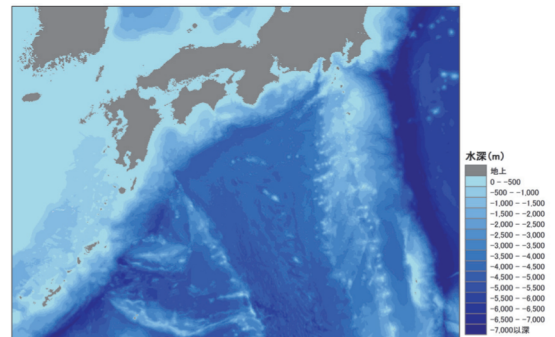


図2-2 海底地形分布図(予測範囲)

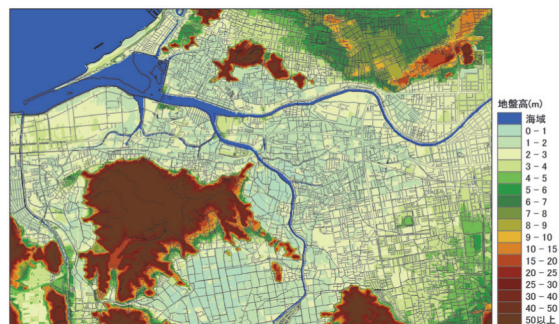


図2-3 遡上対象域の地盤高図

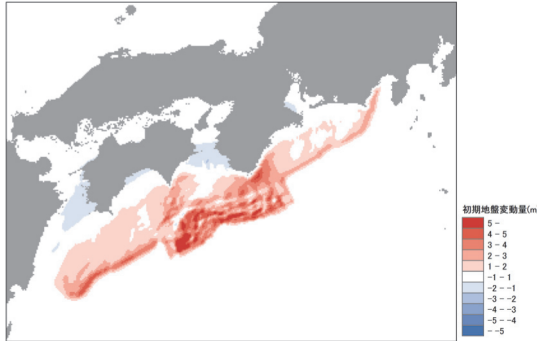


図2-4 『南海トラフ検討会』の初期地盤変動分布

公開されている南海トラフの巨大地震による津波断層モデルは、大すべり域及び超大すべり域が1箇所の場合を「基本的な検討ケース」(計 5 ケース)とし、「その他派生的な検討ケース」(計 6 ケース)を加えた11パターンの津波高・浸水域等を推計している。本稿では、公開されている11パターンのうち、設定する遡上対象域(図2-3参照)に最も影響を及ぼすケースを設定した(表2-2参照)。

予測範囲の計算格子は『南海トラフ検討会』の公表データを元に可変接続を行い、格子幅は2430m→810m→270m→90m→30m→10mの 6 領域に設定した。

沖合の境界条件は、境界部分で波が内側に反射せず、境界の外側に透過する自由透過条件とした。領域間の境界は、外側の領域の水位・流量を引き継ぐように設定した。また、陸との境界条件については、陸側への遡上計算を考慮した。

堤防等の構造物条件は、『南海トラフ検討会』で、堤防が機能する場合と機能しない場合の2パターンが公表されており、前者は地震動でも堤防が沈下、破壊せずに機能し、来襲する津波が堤防を越流した場合に破壊する条件、後者は地震動で堤防が機能しなくなる条件(堤防なし)を想定している。なお、将来的には、堤防を越流した場合にも、破

壊しないような条件(粘り強い堤防)を想定することも考えられる。

本稿では、南海トラフの巨大地震による津波予測モデルを構築するため、公表されている2ケースの中で陸域への浸水域が大きくなる現状最悪の条件である『堤防(海岸施設)が機能しない場合(地震動によって沈下、破壊)』で計算を実施した(表2-2参照)。

表2-2 実施ケース一覧表

ケース名	想定地震	構造物条件
Case1	2012 南海トラフ検討会 モデル(ケース③)	施設なし (現状の最悪な想定条件)

2.3 予測モデルの再現性及び結果

本津波解析モデルの再現性を確認するために、Case1 の解析結果と、内閣府モデルの公表値(最大浸水深値)と比較を行った。検証地点は、遡上計算範囲内にて浸水が確認できる海岸・河口域の12 地点を選定し、地点ごとの最大津波高を比較することにより再現性の検証を行った(図2-5参照)。

図2-6に示す各地点の津波高さは、既存解析の傾向を概ね表現できている。また、図2-7より、計算結果と既存解析の相関係数(R)は 0.998 と高いことから、本モデルの再現性は良好であると判断した。

図2-8に示す最大浸水深分布図をみると、河口域周辺の浸水深が 3.0~4.0m程度、さらに上流側の市街地では 1.0m程度となっており、河口域ほど浸水深が大きくなることが確認できる。

図2-9に示す津波の浸水開始時間分布及び人的被害を及ぼす基準浸水 30cmの到達時間分布をみると、両者の違いはほとんど見られない。以上のことから、L2クラスの津波の場合、対象域に在

住する住民は津波が到達する時には避難が完了している必要がある。

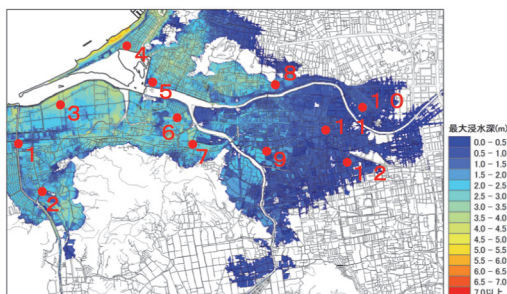


図2-5 検証地点

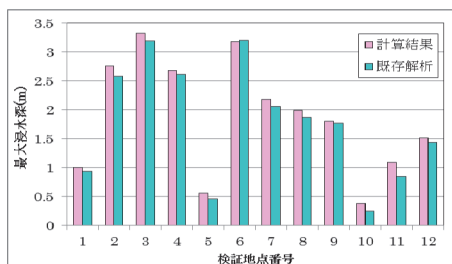


図2-6 既存解析との整合比較図

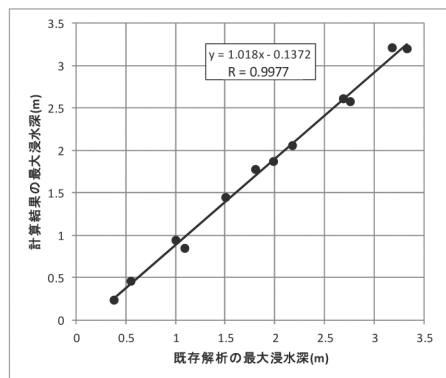


図2-7 既存解析との関係式

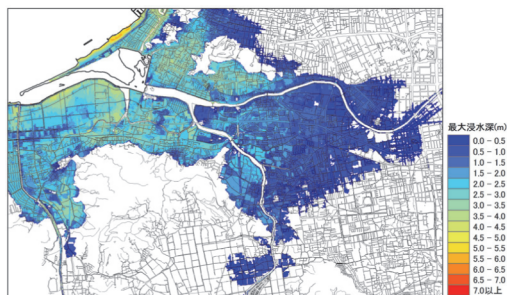


図2-8 最大浸水分布図 (case1)

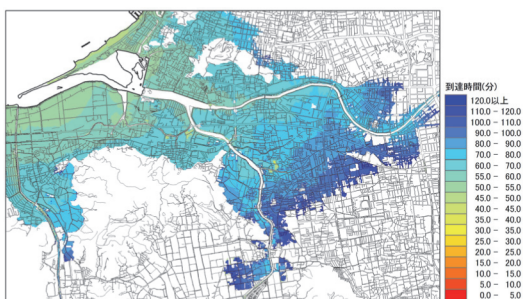


図2-9(1) 浸水開始時刻図 (case1)

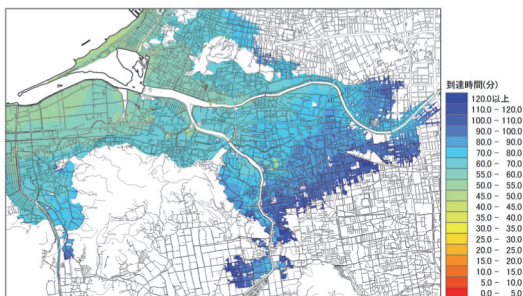


図2-9(2) 浸水 30cm 到達時刻図 (case1)

2. 4 予測結果の展開

津波シミュレーションによって得られた予測結果(最大浸水深や浸水開始時間)を活用し、着実な避難を達成するには、避難しやすい道路や橋梁・避難タワーの整備、津波の到達を遅らせる防波堤等のハード対策と情報伝達手段の整備や日常の避難訓練の強化等のソフト対策を両輪で進めることが重要である。

ただし、すべての対策を講じるには、財政の制約等により長い期間を要することが想定される。ゆえに、可能な限り効果的な対策を進めていくには、被害リスクを把握し、その対策効果を明らかにし、優先順位をつけて事業を選択していく必要がある。

3章では、最新の津波被害算定手法を反映して対象地域の被害リスクを把握した。

3. 津波被害算定について

3.1 被害算定手法

津波被害については、『南海トラフの巨大地震；建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要』に従い、本稿で構築した津波解析モデル（最大浸水深・到達時間）より、想定される被害規模の検討を行った。従来の被害算定手法では、最大浸水深値別の死者率関数によって、人的被害（死傷者数）を算定するのが一般的であったが、最新の手法では入力データとして津波が到達する時間到達時間（浸水開始時間等）が追加され、津波からの避難可否も考慮して算定している。

津波発生的前提条件は、表3-1に示す2ケースを想定した。津波発生時の人口分布は自宅被災した場合（夏季・休日・昼間及び冬季・平日・深夜）とし、季節や時間帯による避難時間（冬は歩行速度が2割低下及び避難開始時刻が5分遅れる）の違いを考慮することが一般的な前提条件とされている。

表3-1 津波被害想定的前提条件

項目	ケース1	ケース2
季節	夏	冬
天気	晴	雪
曜日	休日	平日
時間	14時頃	2時頃

人的被害の算定手法の基本的な考え方は、以下に示す手法に従って被害者数（死者数・負傷者数）を集計する。（図3-1参照）

- ・津波浸水域において、津波が到達する時間（浸水深30cm以上）までに避難完了できない人口を評価対象とする。避難が完了できなかった者を津波に巻き込まれたものとし、そこでの浸水深をもとに死亡か負傷かを判定する。

- ・①避難行動（避難の有無、避難開始時期）、②浸水開始時刻までの避難完了可否、③津波に巻き込まれた場合の浸水別死者率、年齢別人口構成を考慮した被害想定を行う。

- ① 避難行動の違いについては、4つの避難パターンを設定条件とし、「すぐに避難する（直接避難）」、「避難するがすぐに避難しない（用事後避難）」、「すぐには避難せず津波が迫ってきたからの避難（切迫非難）」、「避難しない」と設定する（表3-2、表3-3参照）。
- ② 避難完了率については、表3-3に示す判定方法とする。
- ③ 水深毎の死者率については、内閣府が設定した分布曲線より求める（表3-4参照）。内閣府で設定している分布曲線は、浸水深1.0mで津波に巻き込まれた人は死亡する仮定とした関数となる。

避難行動（避難の有無、避難開始時期）については、東日本大震災の被災域での調査結果（「津波避難等に関する調査結果」（内閣府、消防庁、気象庁；2011））及び過去の津波被害（北海道南西沖地震、日本海中部地震）の避難の状況を踏まえた4パターンのうち、2パターンを選択した。選択した2パターンは、「早期避難者比率が高く、さらに津波情報の伝達や避難の呼び掛けが効果的に行われた場合（直接避難70%、用事後避難30%）」と「早期避難者比率が低い場合（直接避難20%、用事後避難50%、避難しない30%）」とした。

本稿では、津波計算の対象メッシュ（10m）に、人口メッシュデータ（50mメッシュ）をオーバーラップして、人口メッシュデータ内に含まれる対象メッシュ値（最大浸水深：最大値、到達時間：最短値）を代表値として、被害算定を行った。

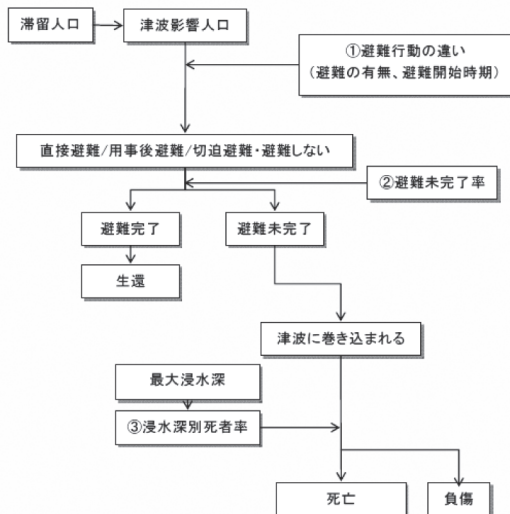


図3-1 人的被害集計フロー

表3-2 避難の有無、開始時域の設定

①避難行動の違い（避難の有無、避難開始時期）

・東日本大震災の被災地域での調査結果（「津波避難等に関する調査結果」（内閣府・消防庁・気象庁））及び過去の津波被害（北海道南西沖地震、日本海中部地震）の避難の状況を踏まえ、次表のような4つの避難パターンを設定する。

	避難行動別比率		
	避難する		
	すぐに避難する (直接避難)	避難するがすぐには避難しない (用事後避難)	切迫避難あるいは避難しない
全員が発災後すぐに避難を開始した場合 (避難開始迅速化)	100%	0%	0%
早期避難者比率が高く、さらに津波情報の伝達や避難の呼びかけが効果的に行われた場合 (早期避難率高+呼びかけ)	70% (※1)	30% (※2)	0% (※3)
早期避難者比率が高い場合 (早期避難率高)	70% (※1)	20% (※2)	10% (※4)
早期避難者比率が低い場合 (早期避難率低)	20% (※5)	50% (※2)	30% (※6)

※1:すぐに避難した人の割合が最も高い市で約67%であった。また、従来の被害想定では北海道南西沖地震の事例から避難の早いケースとして10%としている。これらを踏まえて、従来想定どおりの70%と設定
 ※2:全体から「すぐに避難する」「+切迫避難あるいは避難しない」の割合を引いた数値として設定
 ※3:津波情報や避難の呼びかけを見逃している中でそれをもって避難のきっかけとなった場合、切迫避難の割合が一歩高い市で70%である。また、従来の被害想定では避難の早い場合に20%としている。
 ※4:従来の被害想定では避難の早い場合に避難しない人の割合を2%としているが、東日本大震災では避難の早い地域でも6.5%の人が避難しなかった（死者含む）ことを踏まえて設定。
 ※5:すぐに避難した人の割合が最も低い市で約35%であった。また、従来の被害想定では日本海中部地震の事例から避難の低いケースとして20%としている。この市は避難意識の高い地域と考えられるが、それでも予想を超えて津波浸水の被害を受けた地区が多いこと等もあり、早期避難率は低い。他の地域は相対的により避難の低い地域が多いと考えられることから、以上を踏まえて、従来想定どおりの20%と設定
 ※6:切迫避難（死者含む）の割合が高い市で25%～約27%であった。また、従来の被害想定では避難が低い場合に32%としている。これらを踏まえて30%と設定

引用:『南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要 P.19』

表3-3 避難判定手法

②避難未完了率

・発災時の所在地から安全な場所まで避難完了できない人の割合、つまり避難未完了率については次の考え方で算定する。

【避難判定方法】

- ①要避難メッシュの特定
最大津波浸水深が30cm以上となる要避難メッシュを特定
- ②避難先メッシュの設定
各要避難メッシュ（避難元メッシュ）から最短距離にあり、かつ避難元メッシュよりも津波浸水深1cm到達時間が長い、津波浸水深30cm未満の避難先メッシュを特定する。
- ③避難距離の算定
メッシュ中心間の直線距離の1.5倍を避難距離とする（東日本大震災の実績）。
- ④避難完了所要時間の算定
各要避難メッシュについて、避難距離を避難速度（東日本大震災の実績から平均時速2.65km/hと設定）で割って避難完了所要時間を算出。なお、避難開始時間は、昼間発災時は、直接避難者で発災5分後、用事後避難者で15分後とし、切迫避難者は当該メッシュに津波が到達してから避難するものとする。
- ⑤避難可否の判定
各要避難メッシュについて、避難先メッシュの隣接メッシュにおける浸水深30cm到達時間と避難先メッシュまでの避難完了所要時間を比較し、避難行動者別に避難可否を判定する。

・東北地方太平洋沖地震は昼間の発生であったが、夜間発災の場合にはより避難が遅れることが想定される。夜間の場合には、避難開始は昼間に比べてさらに5分率値に時間がかかると仮定するとともに、避難速度も昼間の80%に低下するものとする。

引用:『南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要 P.19』

表3-4 浸水深毎の死者率関数

③浸水深別死者率

・津波に巻き込まれた際の死者率については、右下図の死者率を適用する。なお、生存した人も全員が負傷するものと仮定する。負傷者における重傷者と軽傷者の割合については、北海道南西沖地震における奥尻町の人的被害の事例を参考にし、重傷者数:軽傷者数=34:66とする。

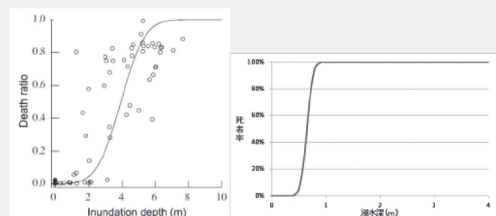


図 津波に巻き込まれた場合の死者率
 左図: 越村・行谷・柳澤「津波被害関数の構築」(土木学会論文集B, Vol.65, No.4, 2009)より
 右図: 内閣府が設定した浸水深別の死者率関数

※2004年スマトラ島沖地震津波におけるバンダ・アチエでは多くの人が地震に伴う津波の理解がなく、津波が見えてから初めて避難を始めていることから、津波に対する避難意識の低い中での死者率であると言え、逃げたが避難しきれなかったり、切迫避難あるいは避難しなかった状況に近いと推察できる。ここでは、越村ら(2009)によるバンダ・アチエでの浸水深別死者率(左図)を参考に、右図のような津波に巻き込まれた場合の浸水深別死者率関数を検討した。これは浸水深30cm以上で死者が発生し始め、浸水深1mでは津波に巻き込まれた人のすべてが死亡すると仮定した関数である。

引用:『南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要 P.21』

3. 2 被害算定結果

南海トラフ検討会のシナリオに基づく人的被害結果(死者率分布図)を図3-2、図3-3に示した。地図上で赤色表示となる地域が津波による人的被害が大きいことを示している。結果をみると、早期避難確率が高い場合は、夏季と冬季の違い(歩行速度や避難開始時刻)で、冬季の深夜は死者数分布が大きくなり、河口域に近いほど、津波に巻き込まれる可能性が高いことがわかる。また、早期避難確率が低い場合をみると、避難行動別で設定している「避難しない人口」の割合が高いため、広域にわたって津波による死者が発生する結果となった。

以上の結果より、断層モデルや被災地域の場所によるが、人的被害は津波からの避難意識の違いによる影響が大きいことがわかる。一方、早期避難を想定しても、被害リスクが非常に高い地域も存在し、これらの地域はL2規模の津波が来襲する場合、避難時間を確保するため、津波防護ラインの強化(ハード対策)が必要となることがわかる。

●早期避難確率が高い場合+呼びかけ



図3-2(1) 死者率分布図 (case1:夏季 昼間)



図3-2(2) 死者率分布図 (case1:冬季 深夜)

●早期避難確率が低い場合

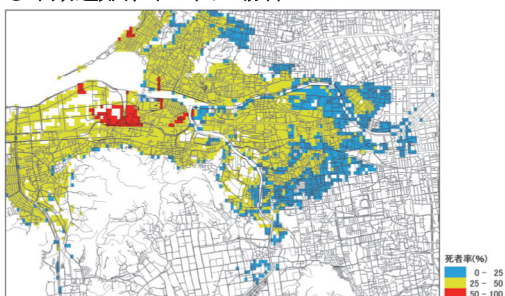


図3-3(1) 死者率分布図 (case1:夏季 昼間)

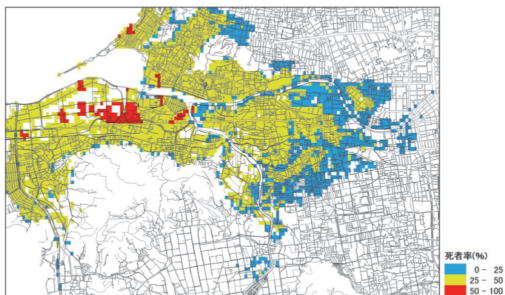


図3-3(2) 死者率分布図 (case1:冬季 深夜)

4. 対策検討例

4. 1 防護機能強化の効果検討

今後の津波対策として、津波シミュレーション条件にハード対策(海岸施設整備等)を考慮した場合に浸水範囲の低減効果を検討した。

津波予測解析の実施ケースは、「2. L2 クラス津波解析モデルの構築」の条件(Case1)をベースとし、『堤防(海岸施設)が機能する場合(現実的な条件;越流すると破壊)』(Case2)、『粘り強い堤防構造条件

(将来的な条件;越流破壊なし)』(Case3)の 2 ケースとした(表4-1参照)。

図4-1に示す各ケースの最大浸水分布や図4-2の任意地点における最大浸水深値を比較したところ、施設ありの越流破壊Case2 では、施設なしのCase1と比較してそれほど大きな低減効果は得られないが、越流破壊なしのCase3は浸水範囲や浸水深値が小さくなり、施設が機能することによって、一定の低減効果が得られることが予測された。予測結果より、浸水域の集落に対しては、単純に海岸防護ラインだけの対策では守れないことは明らかであり、避難施設整備(避難タワー、道路、橋梁)を進めていくことが必要である。

表4-1 実施ケース一覧表

ケース名	想定地震	構造物条件
Case2	2012 南海トラフ検討会モデル(ケース③)	施設あり(現実的な条件) (堤防越流時に破壊あり)
Case3	2012 南海トラフ検討会モデル(ケース③)	施設あり(将来的な条件) (堤防越流時に破壊なし)

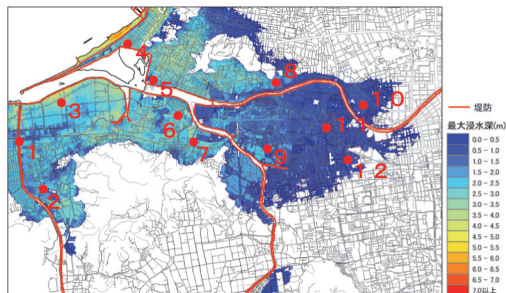


図4-1(1) 最大浸水分布図(case2)

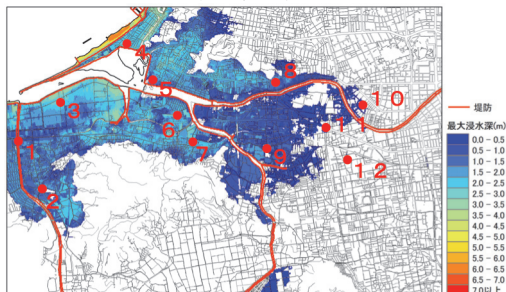


図4-1(2) 最大浸水分布図(case3)

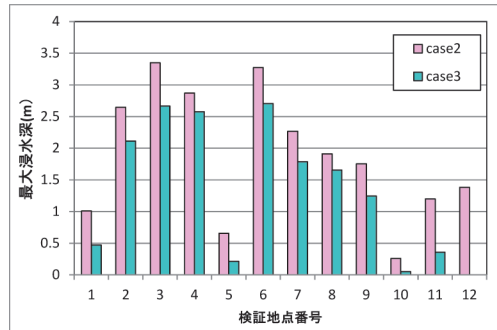


図4-2 防護施設効果による比較

4. 2 避難解析の検討

(1)避難解析手法の構築

「4. 1 防護機能強化の効果検討」で述べた避難検討を進める際に、一定条件下で避難可否を解析することで施設整備の効果を比較できると考える(「3. 津波被害算定について」で用いた避難行動は、浸水しないメッシュまでの直線距離を避難経路としており、実際の道路情報は想定していない)。避難解析の手法として、「2. L2 クラスの津波解析モデルの構築」で求めたシミュレーション結果(到達時間)と GIS を活用した津波の避難経路の可否判定の構築を試みた。

評価手法及び手順は、図4-3に示すとおりである。入力情報は、メッシュ別の浸水開始時刻データ、避難対象地点 移動速度、避難開始時間を設定し、安全に避難できる経路の検証を行った。

- ①避難経路の選定
- ②避難距離の算定
- ③移動速度の設定(歩行速度の違いも想定)
- ④避難時間の算定(避難開始時間も想定)
- ⑤浸水開始時刻の整理(ケース別)
- ⑥避難可否の判定
- ⑦避難経路の決定

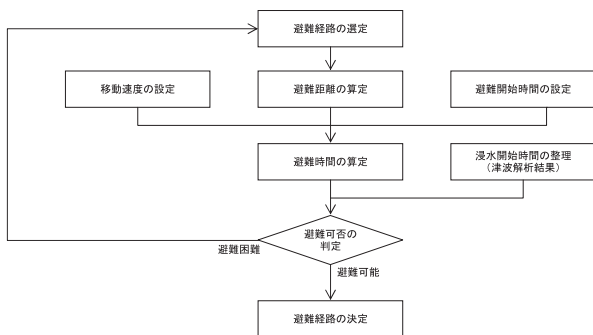


図4-3 避難解析手法の手順

(2) 避難経路の検討条件

避難解析手法を用いて、浸水被害を及ぼす地域に、避難対象者の年齢別歩行速度や行動パターン(避難開始時間)の違いによる検討を行った。

また、経路も2パターンを設定し被災状況の解析をおこなった。

表 4-2 年齢別歩行速度および行動パターン

ケース名	前提条件	計算条件
CaseA	若年者+早期非難	移動速度:80.0m/分 避難開始時間:0 分後
CaseB	高齢者	移動速度:40.0m/分 避難開始時間:0 分後
CaseC	若年者+用事後非難	移動速度:80.0m/分 避難開始時間:15 分後

●避難経路を設定 (図4-4参照)

CaseA～CaseC について避難経路を2パターン(最短ルート、迂回ルート)設定し、検討を行った。

避難経路 1:最短ルート(1.3km)

避難経路 2:迂回ルート(2.2km)

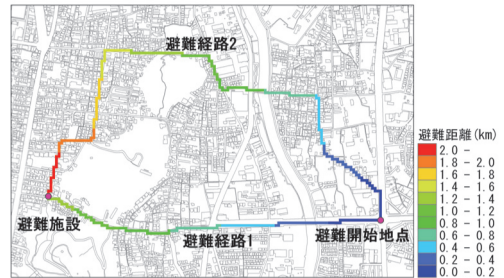


図4-4 避難距離

避難対象者別の避難に要する時間を図4-5に示し、避難が完了するまでの時間を表4-3 に示した。

表 4-3 実施ケース一覧表

ケース名	前提条件	計算条件	避難完了時間
CaseA	若年者 +早期非難	最短ルート	約16分
		迂回ルート	約28分
CaseB	高齢者	最短ルート	約33分
		迂回ルート	約55分
CaseC	若年者 +用事後非難	最短ルート	約32分
		迂回ルート	約43分

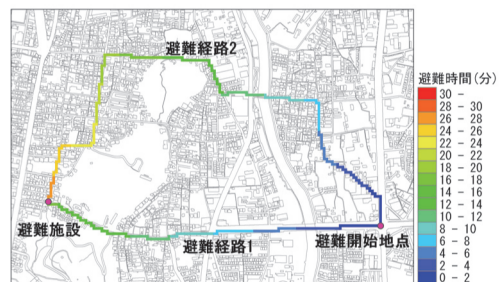


図4-5(1) 避難時間 (CaseA)

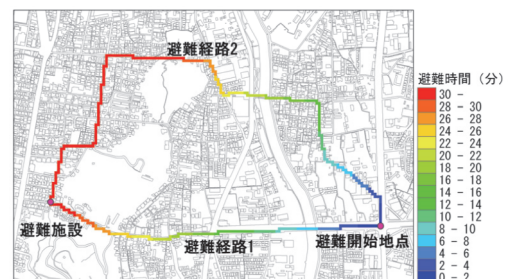


図4-5 (2) 避難時間 (CaseB)

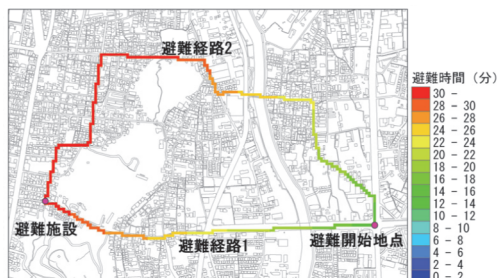


図4-5(3) 避難時間 (CaseC)

●避難の可否を判定 (図4-6参照)

避難時間 < 浸水開始時間: 避難可能

避難時間 > 浸水開始時間: 避難困難

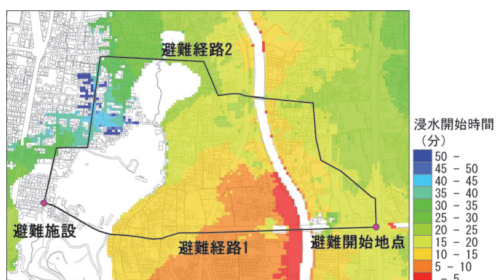


図4-6 浸水開始時間

(3)解析結果(ケース別)

●基本ケース(CaseA)

CaseAの解析結果をみると、避難経路1では地震発生からおおよそ12分後、避難開始地点からおおよそ940mの地点で避難が困難になり、避難経路2では避難が可能となる結果となった。(図4-7参照)。



図4-7 避難判定 (CaseA)

●避難対象者を変更 (CaseB)

解析結果をみると、移動速度が遅くなることによって、地震発生からおおよそ17分後、避難開始地点からおおよそ700mの地点で避難が困難となった(図4-8参照)。

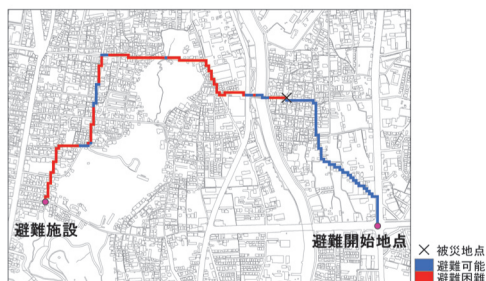


図4-8 避難判定 (CaseB)

●避難開始時間を変更 用事後避難 (CaseC)

解析結果をみると、避難開始が遅れることによって、地震発生からおおよそ18分後、避難開始地点からおおよそ240mの地点で避難が困難となった(図4-9参照)。

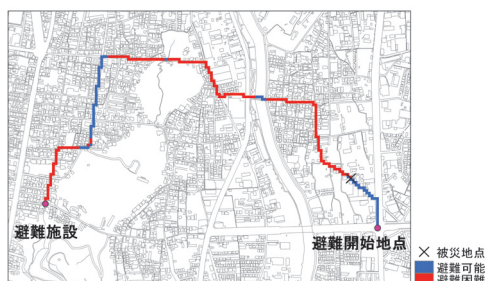


図4-9 避難判定 (CaseC)

以上の解析結果より、浸水開始時間が早い地域では、最短経路での避難が難しく、迂回する必要がある場合がある。また、平均的な想定条件で避難できる場合でも、歩行速度の違いや避難開始が遅れることで避難が困難になることがわかった。

(4) ハード対策との組み合わせ

本稿で構築した避難解析手法を用いて、避難ルートの違いによる避難の可否、避難対象者の年齢別歩行速度や行動パターン(避難開始時間)の違いによる人的被害のリスクの判定が可能になった。また、避難解析手法は、ハード対策の補足資料としても利用することが可能である。「4. 1 防護機能強化の効果検討」で算定したハード対策を考慮した場合の浸水開始時間分布図を図4-10に示す。図から、防護強化によって、浸水開始時間が遅くなっていることが分かり、避難時間を確保する効果があらわれている。

ハード対策を考慮した場合の結果を用いた避難判定を図4-11示す。図から、防護強化を想定した場合は、避難経路1でも津波に巻き込まれずに避難できる結果となった。

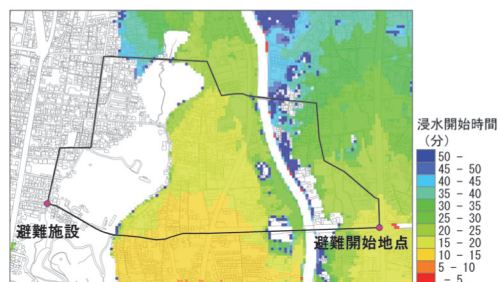


図4-10 浸水開始時間(防護強化あり)



図4-11 避難判定(防護強化あり)

5. 今後の展望

今回、実施した津波予測解析及び被害算定・避難解析は、現状想定される最大規模の津波解析モデルを構築し、被害想定や対策検討の効果を定量的に把握することが可能になった。

今後の津波対策検討では、防護施設や避難補助施設の整備とソフト対策を総合的に進める必要があり、それぞれの地域特性に応じた対策を選定するための基礎資料として、津波予測解析及び被害算定・避難解析はより重要度を増していくと考える。

以上のように津波解析結果を活用し、より有効な対策判断に貢献できるようにしたい。

<参考文献>

- 1) 「内閣府中央防災会議、東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」ホームページ
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/higashihonihon/index_higashi.html
- 2) 「南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について(第一次報告)」
<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/index.html>
- 3) 「南海トラフの巨大地震モデル検討会(第一次報告);南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要」
- 4) 「南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告);南海トラフの巨大地震に関する津波高、浸水域、被害想定公表について」
- 5) http://www.bousai.go.jp/nankaittough_info.html