

特集：津波防災地域づくりを支える技術の展開

津波防災地域づくりの概要とそれを支える主要な技術

五十嵐崇博* 諏訪義雄**

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東北太平洋沖地震に伴う津波から、「災害には上限がない」という教訓を得た。このような大規模な津波に備えていくためには、なんとしても人命を守るため、ハードとソフトの施策を総動員した「多重防御」による津波防災地域づくりを進めていく必要がある。

津波防災地域づくりは、被災地の復興においてはもちろん、全国においても推進することが求められている。このため、津波防災地域づくりのための一般的な制度として、「津波防災地域づくりに関する法律（平成23年法律第123号）」¹⁾が定められた。

本報文では同法が目指す津波防災地域づくりの概要とそれを支える上で重要な技術について紹介するものである。

2. 津波防災地域づくり制度の概要

2.1 目的・基本理念

津波防災地域づくりとは、津波による災害を防止・軽減する効果が高く、将来にわたって安心して暮らすことのできる地域の整備・利用・保全である。これを総合的に推進することにより、津波による災害から国民の生命・財産を保護し、もって公共の福祉の確保及び地域社会の健全な発展に寄与することが法律の目的である。

基本理念は以下の5つである。①最大クラスの津波が発生した際も「なんとしても人命を守る」という考え方で進める。②地域ごとの特性を踏まえて進める。③既存の公共施設や民間施設も活用しながら、ハード・ソフトの施策を柔軟に組み合わせ総動員させる「多重防御」の発想により進める。④国、都道府県及び市町村の連携・協力の下進める。⑤地域活性化の観点も含めた総合的な地域づくりの中で効率的かつ効果的に推進する。

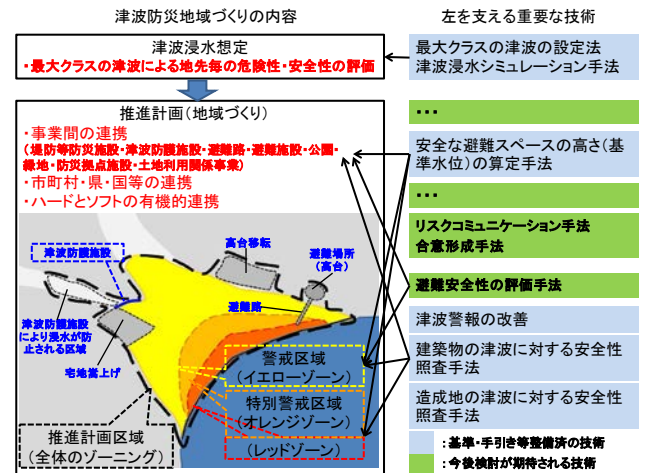


図-1 津波防災地域づくりの内容とそれを支える技術

2.2 津波防災地域づくりの概要

津波防災地域づくりに関する内容は、法律に基づく「津波防災地域づくりに関する基本的な指針」²⁾に示されている。

津波防災地域づくりの内容とそれを支える上で重要と考えられる技術的事項を図-1に示す。2.では津波防災地域づくりの内容について概観する。

3.ではそれを支える重要な技術事項の概要とそれらのうち特に重要な津波浸水想定の設定方法、安全な避難スペースの高さ（基準水位）の設定方法の技術的要点について述べる。建築物の津波に対する安全性照査手法は特集報文5「津波避難ビル等の構造設計法に関する技術基準」で、津波警報の改善は特集報文6「東北地方太平洋沖地震を踏まえた津波警報の改善」で紹介される。

なお、基準水位とは、2.3で後述する津波浸水想定に定める水深（個々の建物の影響は考慮していない）に津波が建築物等に衝突する際の水位上昇（せき上げ）分を加えて定める水位である。この水位は、避難スペースや2.7で後述する特別警戒区域における特定建築（社会福祉施設、学校及び医療施設等）の居住スペースの必要高さを判断する基準となる。

以降、図-1中の主要項目の説明を順次記すことで、制度の中身を概説していく。

National policy framework and relevant technical tools for creating disaster-resistant communities in coastal areas to deal with possible maximum tsunami attack

2.3 津波浸水想定

都道府県知事は、津波浸水シミュレーションを行って津波浸水想定（浸水区域と浸水深）を設定する。その際、既往の地震津波や想定地震津波等についての基礎調査の結果を踏まえ、最大クラスの津波を想定する。

科学的知見に基づいて設定される津波浸水想定は、警戒避難体制の整備や土地利用の規制といった各種施策を効果的に組み合わせるための基礎情報である。推進計画の作成、津波防護施設の管理等、警戒区域及び特別警戒区域の指定等はこれを踏まえて行われる。

2.4 推進計画（地域づくり）

推進計画は、津波浸水想定を踏まえ、市町村が作成する。推進計画は市町村事業のみならず都道府県や国等様々な主体が実施する事業を組み合わせ、ハード施策とソフト施策の有機的連携を図るためのものでもある。市町村は地域の実情に応じて様々な事業、ハード施策とソフト施策を総合的に組み合わせて津波防災地域づくりの具体の姿を描く。

計画に記載する事業は、防災施設整備等の事業、土地利用改善のための事業、避難路・避難施設・公園・緑地・地域防災拠点施設等避難確保のための施設整備事業が考えられる。

防災施設としては、海岸保全施設、港湾施設、漁港施設及び河川管理施設並びに保安施設とともに法律で新たに位置づけられた津波防護施設が挙げられる。津波防護施設とは、遡上した最大津波による浸水の拡大を防止するために内陸に設ける施設である。小規模な盛土等により効率的に整備可能なものを想定しており、津波そのものを海岸で防ぐ海岸堤防を代替するものではない。

土地利用改善のための事業としては、一団地の津波防災拠点市街地形成施設の整備に関する事業、土地区画整理事業、市街地再開発事業、その他市街地の整備改善のための事業、集団移転促進事業が挙げられる。

推進計画は事業間の連携、ハードとソフトの連携、市町村・県・国の連携を図るために作成するものである。その実効性を確実なものとするため、関係事業者と十分な調整を図るとともに市町村マスタープランとの調和を図る観点から、当該市町村の都市計画部局と十分な調整を図る必要がある。

計画の作成や計画実施上の協議・調整を関係者と円滑かつ効率的に行うため、市町村・都道府県・事業関係者・学識経験者・民間事業者・住民代表等からなる協議会を活用することが望ましい。

法律では、推進計画に計画期間を設定することとしていないが、津波防災地域づくりを持続的に推進するため、適時適切に計画の進捗状況を検証していくことが望ましい。

2.5 推進計画区域（全体のゾーニング）

推進計画は浸水区域の外も含めた全体のゾーニングを行う要ともなるものであり、そのために推進計画区域を設定する。推進計画区域内では土地区画整理事業に関する特例、津波避難建築物の容積率の特例及び集団移転促進事業に関する特例が適用される。したがって、それら土地利用改善の事業範囲がすべて含まれるように推進計画区域を設定する必要がある。

2.6 津波災害警戒区域（警戒避難体制整備）

警戒区域（イエローゾーン）は、都道府県知事が指定する。区域内では予警報の伝達、避難訓練の実施、避難場所や避難経路の確保、津波ハザードマップの作成等の警戒避難体制の整備を行う。指定にあたっては警戒避難体制関係部局、具体の施策を実施する市町村、関係者が緊密な連携を図って連絡調整等を行う。指定後においてもこれら関係者の継続的な意思疎通を図っていく必要がある。

市町村防災会議は、市町村地域防災計画に、警戒区域毎に、警戒避難体制に関する事項を定める。その際、高齢者等への配慮や住民等の自主的な防災活動の育成強化に十分配慮する。避難訓練の結果や住民等の意見を踏まえ、適宜適切に実践的なものとなるよう警戒避難体制を見直していくことが望ましい。また、地下街や高齢者施設・病院等警戒避難体制で配慮を要する避難促進施設を定める。これら施設で円滑かつ迅速な避難の確保が図られるよう、津波に関する情報、予警報の伝達等に関する事項を定める必要がある。

避難促進施設の管理者は、避難訓練や利用者の円滑な避難を確保する措置に関する避難確保計画を作成する。市町村長はこれに対し必要な支援を行う。

市町村長は市町村防災計画に基づき津波ハザードマップを作成・周知する。津波に対して安全な

高さや構造を有する公共・民間施設を指定避難施設や管理協定による避難施設として位置づける。この際、住民等の円滑かつ迅速な避難が確保されるよう避難経路・避難手段等に留意して設定する。ハザードマップの作成・周知や避難施設の確保においては、住民等の理解と関心を深める工夫を行うことが望ましい。たとえば、ワークショップを開催して住民等の協力を得る、説明会の開催、避難訓練での活用等により円滑に避難できることを確認し周知を図る等が考えられる。

2.7 津波災害特別警戒区域（開発行為・建築行為の規制）

特別警戒区域（オレンジゾーン）は、警戒区域（イエローゾーン）内において、特定建築とその開発行為に対して、津波に対して安全なものとするよう規制する区域である。特定建築とは、津波から逃げるのが困難な高齢者や幼児・病人等が利用する社会福祉施設、学校及び医療施設等である。津波に対して安全なものとするとは、最大クラスの津波に対して安全な造成地及び建築構造で津波が来襲しない高さに居住スペースを確保することである。

指定は都道府県知事が行う。指定に当たっては、浸水想定を踏まえ、地域の現況や将来像等を十分に勘案する必要がある。公衆への縦覧手続、住民や利害関係人に対する意見書提出手続、関係市町村長の意見聴取手続により、地域住民等の意向を十分に踏まえて行うことが重要である。また、住民等に対し制度内容の周知、情報提供を十分に行いその理解を深めつつ行うことが望ましい。

特別警戒区域（オレンジゾーン）のうち、市町村の判断により市町村条例で住宅を規制対象に追加すれば、レッドゾーンにすることができる。レッドゾーンは、上記と同様に津波に対して安全

な住宅及び宅地とするよう建築・開発行為を規制する区域である。

3. 津波防災地域づくりを支える主要な技術

3.1 津波防災地域づくりと技術の関係

津波防災地域づくりは、関係する事業間の有機的連携、ハードとソフトを組み合わせた「面」の発想による地域づくり、国と地方の連携により政策達成を図ることが肝要である。それを支えるために必要となる技術を図-1の右側に示した。水色の網かけで示されているものは、基準・手引き等が整備されているものであり、緑の網かけで示されているものは今後の技術検討が期待されるものである。

分野間の連携となることから、技術検討においても複数分野の知識・技術を組み合わせる必要が生じる。たとえば、造成地の津波に対する安全性照査手法については、津波工学、海岸工学、水理学、水工学のみならず、地盤工学・土質力学も含めた幅広い検討が必要であった。詳細は津波防災地域づくりに関する技術検討報告書³⁾に報告されている。今後検討が期待される「避難安全性評価手法」については、津波工学、行動心理学、都市計画、交通工学等の連携が必要となろう。「リスクコミュニケーション手法」や「合意形成手法」については、津波工学に加えて都市計画、社会学との連携が必要になると考えられる。

3.2 津波浸水想定の設定方法

津波浸水想定の設定方法については、「津波浸水想定の設定の手引き」⁴⁾が作成されている。設定に際して実施する津波浸水シミュレーションは、従来から津波ハザードマップを作成する際に用いられている技術である。今回は、最大クラスの津波の設定、陸域は計算メッシュ10m以下、海岸堤防等については最悪の状態を想定する等の標準手法を示した。これにより検討実施者による差が生じないようにした点に意義がある。以下に手引きの要旨を紹介する。

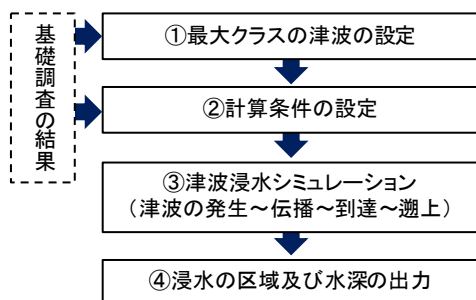


図-2 津波浸水想定の設定手順

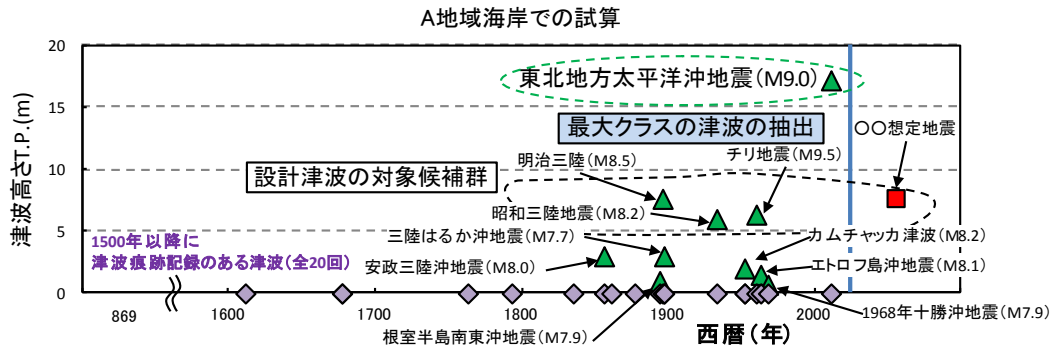


図-3 最大クラスの津波設定法

津波浸水シミュレーションは、非線形長波理論による方法を用いることを基本とする。手順は、最大クラスの津波の設定→計算条件の設定→津波浸水シミュレーション→結果の出力となる（図-2参照）。

最大クラスの津波の設定に際しては地域海岸を設定する。地域海岸ごとに既往津波の痕跡やシミュレーションによる津波高、想定地震の津波高を整理して最大クラスの津波を設定する（図-3参照）。この整理は、海岸堤防天端高の検討に必要な設計津波の高さを設定する際と同じである。

既往の津波や想定津波の波源から沿岸・遡上氾濫域までの計算領域を設定し、海底・陸上の地形データを整理する。計算格子は波源から沿岸域・陸域（10m以下の格子）に向かって段階的に細くなるよう設定する。

設定した最大クラスの津波の断層モデルについては、中央防災会議や地震調査研究推進本部等の公的な機関が発表している断層モデルを参考に当該地域海岸の痕跡が再現されるよう設定する。想定地震や当該地域海岸に痕跡データがない歴史地震については、発表されているモデルをそのまま用いてよい。中央防災会議等で断層モデルが公表されていない場合には、痕跡等の再現シミュレーションを行って断層モデルを逆算して設定する。

潮位は朔望平均満潮位を基本とする。陸域の地形データ作成にあたっては、最も解像度が高い国土交通大臣等による航空レーザ測定の結果を用いることを基本とする。広域的な見地から、航空レーザ測定については国が実施し、その調査結果を都道府県に提供することとしている。地震による陸域の沈降が想定される場合には、断層モデルから算出される沈降量を陸域の地形データから差し引くことを基本とする。

津波浸水想定を設定するための津波浸水シミュレーションは、「災害には上限がない」ことを教訓に、「何としても人命を守る」という観点から行うものである。したがって、最大クラスの津波が悪条件下において発生し浸水が生じることを前提に、地震や津波による各種施設の被災を考慮することを基本とする。地震による施設被害については、最大クラスの津波を引き起こす地震に対する耐震性について検討し、耐震性が不十分な場合には「沈下する」または「破壊する」とする。津波による堤防の被災条件については、津波が越流し始めた時点で「破壊する」とし、破壊後の形状は「なし」と設定することを基本とする。

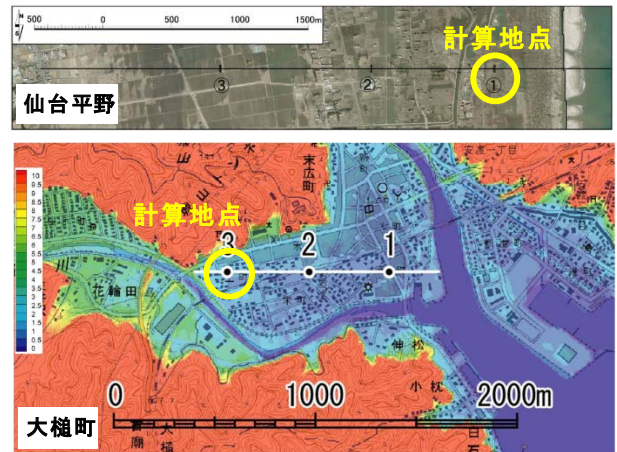


図-4 津波浸水シミュレーションの結果出力地点

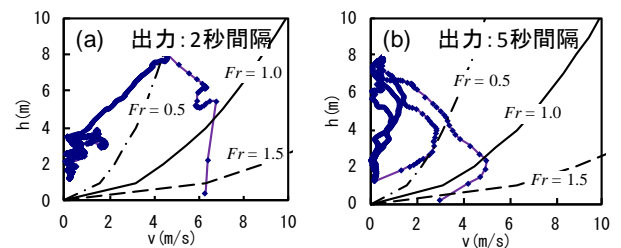


図-5 浸水深と流速の推移
(a)仙台平野 海岸から500m地点
(b)大槌町海岸から1km地点 山裾付近

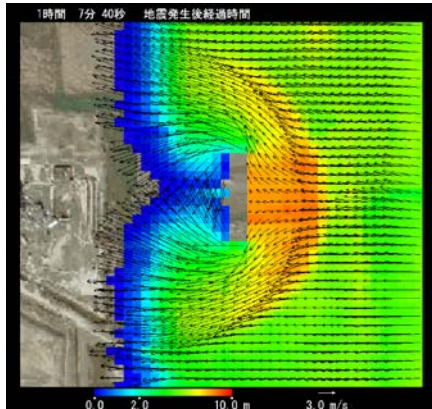


図-6 仮想建築物周辺の浸水深・流速の平面分布

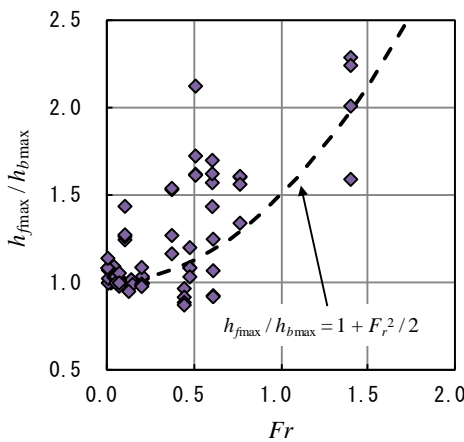


図-7 式(1)による評価と津波浸水シミュレーション結果との比較

津波浸水シミュレーション結果の出力は、津波浸水想定に定めるべき、最大の浸水区域、浸水深を得るために必須である。必要に応じて、基準水位（3.3に詳述）、地震発生から津波が沿岸に到達するまでの時間を出力し整理する。

3.3 基準水位の設定方法（建築物等前面のせき上げ高評価方法）

3.2で実施する津波浸水シミュレーションでは、建築物の影響は土地利用全体の中の粗度として考慮するため、個々の建築物のせき上げを考慮しているわけではない。個別の建築物等によるせき上げ量は建築物等を壁や地形データとして考慮することにより算出可能である。しかし、地域づくりの検討や建築物等の規制を行う際に全てのケースで計算してはきりが無い。そこで、津波浸水想定の結果をもとに簡便でありながら水理的に合理的な算出方法を技術的に工夫した。詳細については津波防災地域づくりに関する技術検討報告書³⁾に示されている。本節ではせき上げ高の評価方法と留意点を紹介する。

*土木用語解説：フルード数

図-5(a)は仙台平野の海岸から約500m離れた地点（図-4）の、図-5(b)は大槌町の海岸から約1km離れた山裾付近の地点（図-4）の津波シミュレーション結果である。仮想建築物がない状態におけるシミュレーションであり、縦軸に水深、横軸に流速の絶対値をとりその変化を図示している。図-5(a)の仙台平野海岸から500m地点では、津波来襲のごく初期で、浸水深が小さい時に生じていた6m/sを超える速い流れが、浸水深がピークまで増えても流速4m/sまでしか低下しない。その後流速・水深ともに小さくなっていく。図-5(b)の大槌町の山裾付近では、ピーク浸水深に向かって上昇するにつれ流速は低下し、ピーク時には流速0.5m/s以下となる。このように地形条件や場所によって浸水深と流速の推移が大きく異なることから、それを反映できる評価法が合理的である。

建物前面のせき上げについては、津波遡上流れの運動エネルギーが水深に変換されたものとするれば、せき上げ後の最大水深 h_{fmax} を概ね式(1)で評価できることになる。

$$h_{fmax} = \max \left[h_b + \frac{v^2}{2g} \right] = \max \left[h_b \left(1 + \frac{Fr^2}{2} \right) \right] \quad \text{式(1)}$$

ここで、 h_b 、 v 、 Fr は建築物がない場合の同時刻の浸水深、流速、フルード数^{*}である。

津波遡上流れは水深と流速の時間変化が大きい。式(1)右辺の [] 内は比エネルギーであり、max は時々刻々変化する津波氾濫流の比エネルギーの時間最大値を表す。

津波浸水シミュレーションを用いて、仮想建築物によるせき上げを式(1)で評価できるか確認した。仮想建築物の有無それぞれのケースにおける建築物前面地点の水深 h_{fmax} と h_b を計算した。仮想建築物の設置地点は、平野部とリアス式海岸部それぞれで海岸からの距離を0～1.5kmまで0.5km間隔で変えて設定した。仮想建築物は方向を縦、横、斜めと3種類変えて設置した。図-6は、津波浸水シミュレーションで計算した図-5(a)と同じ地点に流れに正対して設置された幅50m、奥行10mの仮想建築物周辺の流況を示したものである。図-7は縦軸に仮想建築物前面の最大浸水深 h_{fmax} と建築物なしの水深 h_b の比をとり、横軸に Fr をとったグラフである。なお、 h_b 、 Fr はいずれも比エネルギー最大時のものである。紫色の菱形

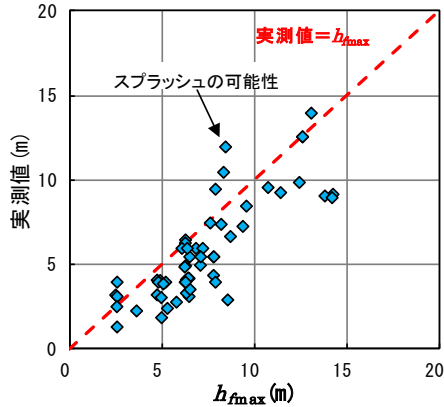


図-8 式(1)による評価と今次津波の建築物まわりの痕跡浸水深測定結果の比較

は津波浸水シミュレーションによる計算結果、黒の破線は式(1)であり、式(1)が津波浸水シミュレーションの計算結果を平均的に再現していることがわかる。

さらに、式(1)による評価が今次津波後に建築物まわりで測定された津波痕跡を再現できるか確認した結果が図-8である。図-8は縦軸に建築物まわりで測定された痕跡浸水深を、横軸に津波浸水シミュレーション結果を用いて式(1)により評価したせき上げ後水深 h_{max} をとり図示したものである。建築物まわりの痕跡浸水深は東京大学中埜研究室、国総研・建築研究所によって仙台平野、陸前高田、大槌の建築物等で測定されたもの(測定面の向きはさまざま)である。図中にスプラッシュの可能性大と注釈をつけた点は、津波の流れ本体の痕跡ではなく津波が建物に衝突した際の瞬間的なしぶきによる痕跡を測定した可能性が高いものである。これを評価対象としないのは、生命の危険・建物の破壊に支配的なのは津波の流れ本体と考えられるからである。図-8から、式(1)による評価が今次津波の建築物前面の痕跡浸水深を概ね再現できていることがわかる。

なお、式(1)による評価は、① $Fr < 1.5$ であること、② 評価対象とする建築物等が流れの場を大きく変えないことの2点を前提にしていることを理解しておく必要がある。このうち②の「流れを大きく変える」とは、当該建築物がその直接的な影響範囲を越えて周囲の流れ場を変えてしまう状況を指す。こうなると、当該建築物等を置いた状態で再度全体的な津波浸水シミュレーションを行い、せき上げ量を評価する必要が出てくる。また、①に関しては、図-5からもわかるように、津波来襲のごく初期に、この条件を満たさない高 Fr が現

われやすい。しかし、多くの場合、その段階では浸水深がまだ小さく、それが最大浸水深を規定するとは考えにくいので、条件①からのこのような逸脱が問題になるケースは少ないと考えられる。

4. おわりに

3.1で図-1の右側に緑の網掛けで示した今後の検討が期待される技術事項を指摘した。それ以外に、今後新たに必要な技術事項が出てくるかもしれないことを緑網掛けの・・・で示している。

既に基準や手引き等が整備されている青で網掛けした技術についても今後の調査・検討等の進展に応じて改善していくことが望ましい。津波浸水想定の手引きについては、2月にver1.00を出した後参考情報が増えれば順次改訂している。

東日本大震災を受けて、国土技術政策総合研究所では、「津波からの多重防御・減災システムに関する研究」という研究部横断のプロジェクト研究をH26年度までの予定で実施している。本報文の3.で紹介した技術検討もこの一環である。避難安全性の評価手法についても都市研究部等において今年度から研究が開始される。これらの成果が津波防災地域づくりを支える技術となることが期待される。

参考文献

- 1) 津波防災地域づくりに関する法律について
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/tsunami_bousai
- 2) 津波防災地域づくりに関する基本的な指針、平成24年1月16日告示(国土交通省告示第51号)
<http://www.mlit.go.jp/common/000188287.pdf>
- 3) 津波防災地域づくりに係る技術検討会、津波防災地域づくりに関する技術検討報告書、平成24年1月27日
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/tsun_ambousaitiiki/houkokusyo_120127.pdf
- 4) 水管理・国土保全局海岸室及び国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室、津波浸水想定の設定の手引きVer1.20、平成24年4月
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/bousai/saigai/tsunami/shinsui_settei.pdf
- 5) 東京大学生産技術研究所、平成23年度 建築基準整備促進事業「40. 津波危険地域における建築基準等の整備に資する検討」中間報告書その2、平成23年10月
http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000274.html