

津波からの多重防御・減災システムに関する研究

国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究部 海岸研究室長 **すわ よしお**
諏訪 義雄

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東日本大震災では、海岸保全施設の設計外力を大きく上回る500～1,000年に1回といわれる大津波災害により、死者・行方不明者あわせて1万9,000人近い人的被害が発生した。

この大津波災害を踏まえた復旧・復興の方針として、レベル1津波（津波防護レベル）、レベル2津波（津波減災レベル）の2段階の外力を設定し、比較的頻度の高いレベル1津波に対しては海岸保全施設により人命・資産を防護し、それを遙かに上回るレベル2津波に対しては避難を軸とする多重防御により人命を守る減災の方向性が提案された。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」報告では、レベル2津波を最大クラスの津波、レベル1津波を発生頻度の高い津波としている。

本プロジェクト研究は、以下の①から⑤の調査研究で構成される。①東日本大震災の被害実態調査から津波対策の教訓、津波災害についての新たな知見の整理②既往の津波痕跡データの整理・津波浸水シミュレーション等によるレベル1津波、レベル2津波の設定手法の整理③粘り強く効果を発揮する海岸堤防の構造上の工夫、津波の河川遡

上を考慮した河川計画立案手法に関する検討④陸地における津波ハザード評価・氾濫流制御等に関する研究⑤避難・危機管理支援、土地利用等による安全性向上・減災方策に関する研究。

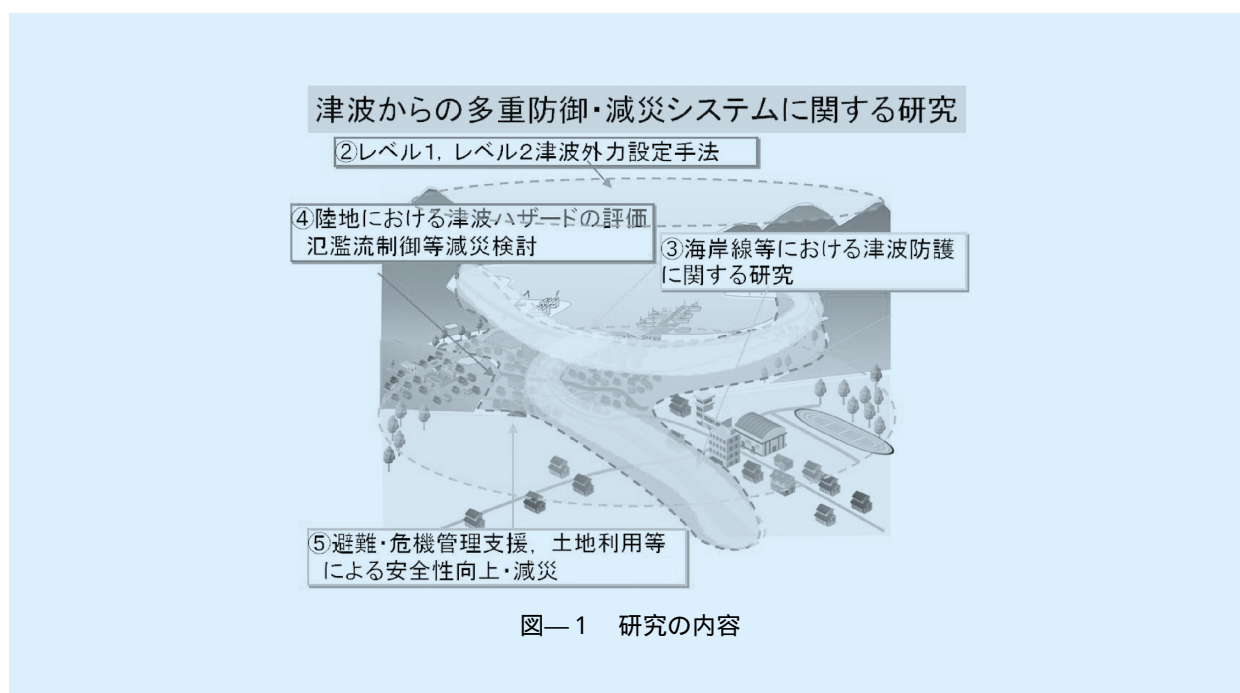
研究成果は、東日本大震災からの復旧・復興を支えるとともに、西日本太平洋沿岸をはじめ今後津波の発生が懸念される地域の津波対策に反映することを目指している。

2. 復旧・復興への支援

本研究は、東日本大震災からの復旧・復興支援を目的の一つとしていることから、急がれる調査内容については順次研究成果を挙げ、施策に反映している。主な研究成果を紹介する（図—1）。

（1）設計津波の水位設定法

設計津波とは、レベル1津波・比較的頻度の高い津波であり、復旧する海岸堤防の天端高を決定する根拠となる重要な事項である。これについては、平成23年7月8日に海岸関係省庁から課長通知を発出している¹⁾。手順としては、地域海岸の設定→既往津波の痕跡高・想定津波高整理→設計津波対象候補群の選定→堤防位置で壁立て条件とした津波シミュレーション→設計津波の水位設定となる。この設計津波の高さをもとに、余裕高，



利用，環境，経済性，維持管理の容易性，施工性等を考慮して計画堤防天端高を設定する。岩手，宮城，福島の前被災三県では前述の作業を行い，設計津波の水位と計画堤防高の設定を終えている。

設計津波の水位設定におけるこれまでとの大きな違いを三つ挙げる事ができる。一つは，発生頻度の考慮を明確にした点である。従来は，既往最大や近年発生した著名な津波を選定していたが，数十年から百数十年に一度程度という目安で対象津波群を選定するプロセスが明確に加わった。二つめは，従来は痕跡高をもって設計津波の水位とする場合もあったが，シミュレーション技術の発達を反映して，堤防ありの状態における津波シミュレーション計算に基づき設定することとした点である。これにより，堤防の存在によるせりあがり が明確に考慮されるようになった。三つめは，地域海岸を設定することにした点である。従来所管ごとに設計外力を設定する場合もあったが，所管ではなく地形条件ごとに設定することとした。

(2) 津波浸水シミュレーション手引き

市町村の復興まちづくりを支援するため，平成23年7月に津波浸水シミュレーションの標準的な手法を「津波浸水シミュレーションの手引き」と

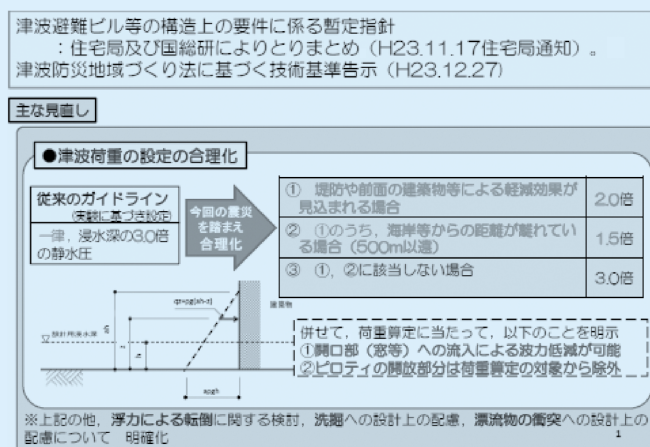
してとりまとめた²⁾。これにより，検討実施者による差が生じないようにできる。また，あわせて津波浸水シミュレーションに関する相談窓口を国土交通省海岸室と当研究所海岸研究室に設置した。

(3) 津波避難ビルの構造上の要件に関する暫定基準

今次津波による建築物の被害実態調査，東京大学生産技術研究所および建築研究所による津波危険地域における建築基準等の整備に資する検討課題についての調査研究結果をもとに，津波避難ビルの設計法に関する技術基準案を作成し，建築構造基準委員会の審議を経て，津波避難ビルの設計法に関する技術基準案をとりまとめた。

この検討過程では，地震動による被害分析と異なり，被害建築物ごとに津波により生じていた外力を推定することが必要となったが，現地調査のみでは当該外力の推定に必要な情報が十分に確認できなかった面もあり，当研究所内でも河川研究部と建築研究部等が連携し検討を行っている。

これにより，従来のガイドライン「津波避難ビル等に係るガイドライン」(平成17年内閣府)が参照している構造設計法の津波荷重設定では，浸水深の一律3倍の静水圧が設定されていたところ



図—2 津波避難ビル等の構造上の要件に関する技術基準の概要

を、立地状況等を勘案して浸水深の2倍または1.5倍の静水圧にまで緩和できるようになり（図—2参照）、また、浮力による転倒に関する検討、洗掘への設計上の配慮、漂流物の衝突への設計上の配慮等についても明確化がなされた。

この技術基準は、住宅局発出の技術的助言「津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について（平成23年11月17日付国住指第2570号³⁾）」において、「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針（以下「指針」という）」として、国土交通省住宅局長から各都道府県知事あてに通知された。

（4）海岸堤防の粘り強い構造

本省・地方整備局・被災県との連携のもと、震災直後から、海岸堤防の被災実態について現地調査や資料収集と分析等の調査を行った。

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」報告において、「海岸保全施設等については、設計対象の津波高を超えた場合でも施設の効果が粘り強く発揮できるような構造物の技術開発を進め、整備していくことが必要である」とされている。これを受けて、海岸関係省庁による海岸における津波対策検討委員会において、「平成23年東北地方太

平洋沖地震及び津波により被災した海岸堤防等の復旧に関する基本的な考え方⁴⁾が示された。

この中で、「粘り強い構造」の基本的な考え方は、設計対象の津波高を超え、海岸堤防等の天端を越流した場合であっても、施設が破壊、倒壊するまでの時間を少しでも長くする、あるいは、施設が完全に流失した状態である全壊に至る可能性を少しでも減らすといった減災効果を目指した構造上の工夫を施すこととしている。粘り強く効果を発揮する構造上の工夫の考え方として後述する三つの方向性を示している。

国総研では、この考え方を受け、また東北地方整備局が実施することとしている仙台湾南部海岸での堤防の復旧を支援するために、国土交通省水管理・国土保全局海岸室および同東北地方整備局と連携して、構造上の工夫および施工上の留意点の検討を、模型実験や解析等により行っている。

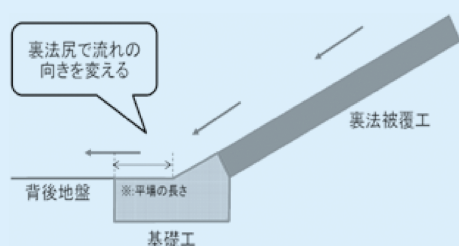
粘り強く効果を発揮する構造上の工夫として、三つの方向性が示されている。一つめの方向性は、裏法尻部の洗掘防止のために、裏法尻に保護工を設置し、また法勾配を緩勾配化することである。二つめの方向性は、天端保護工、裏法被覆工、表法被覆工の流失、堤体土の吸い出し防止のために、部材厚の確保や部材間の連結による重量や強度の確保を図ることである。三つめの方向性は、波返し工の倒壊を防止・抑制するための波返

し構造の回避、また波返し工への配筋である。

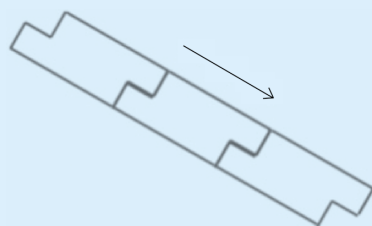
水理実験等による検討を通じて、技術的留意事項が整理されつつあり、その結果を技術速報として随時情報提供している⁵⁾。一つめの方向性については法尻を図—3のようにしっかりと流向を水平に変える構造とすることが有効なことがわかった。流向を水平に変えるのに必要な法尻保護工の幅を確保し、法尻で大きくなる水圧と高流速に耐える構造にできると、効果がより確実なものとなる。この際の留意事項は、高流速に耐えるよう法尻保護工の水密性を高めた場合にはトレードオフとして起こる浸透水による法尻での浸潤線上昇と跳水の水位差によって発生する揚圧力が考えられる。

二つめの方向性については、水理実験においても、堤体土・裏込め材の吸い出しで発生するブロックの不陸がきっかけとなり流失することや法肩で発生する負圧の影響で法肩の部材が流失することが確認された。現地では長期的な圧密沈下や地震時の変形等による不陸の発生も考えられる。このため、多少の不陸が発生しても抗力や揚力を受けにくくする図—4のようなブロックの噛み合わせの工夫を施すことが考えられる。

今後も、水理実験や解析等を継続していくこと



図—3 裏法尻の工夫案



図—4 ブロック形状の工夫の一例案

としており、重要な結果が得られ次第、随時情報提供していくこととしている。

3. 津波防災地域づくり

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）」が平成23年12月に定められた⁶⁾。

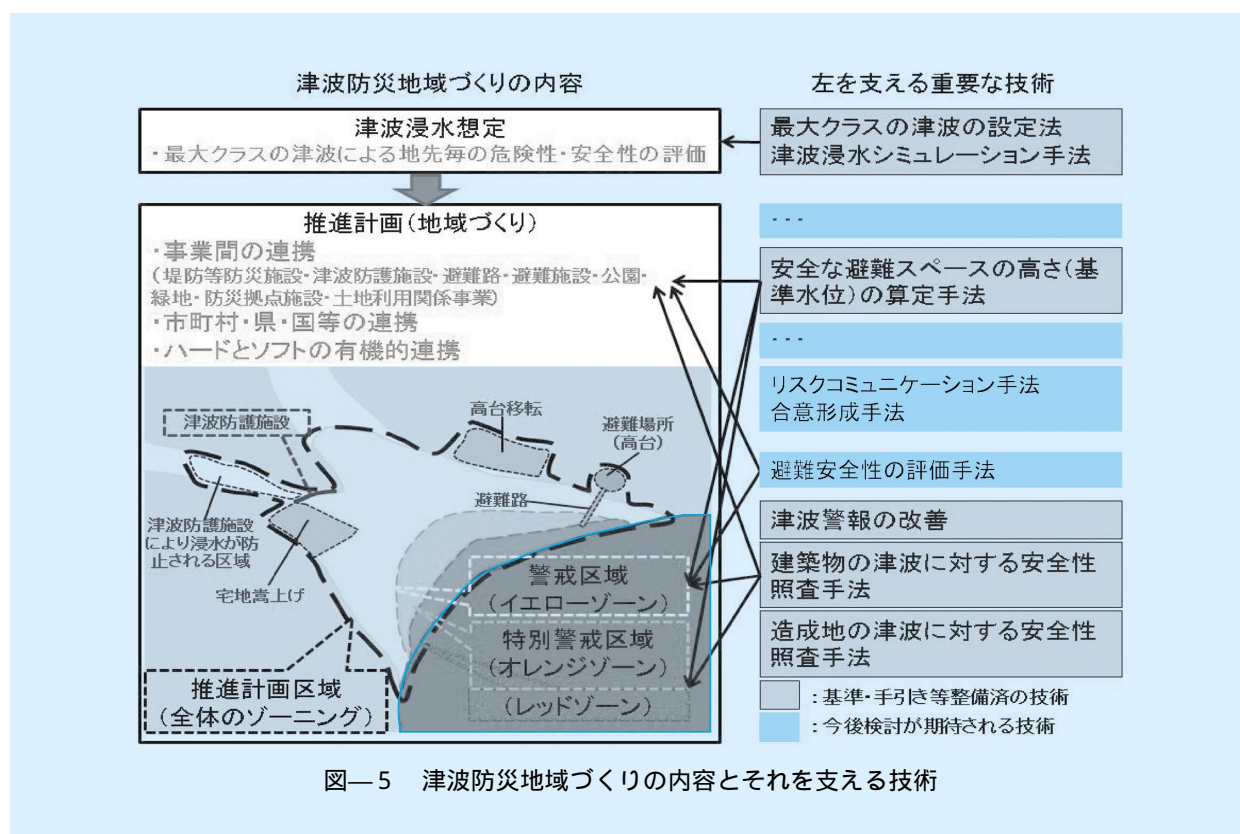
本プロジェクト研究の成果は、これを支える技術となるものであり、関連の基準等に反映されていくこととなる。津波防災地域づくりの内容とそれを支える主要な技術の関係を図—5に示す。以下に、現在までに反映された成果を示す。

(1) 津波浸水想定の設定の手引き

都道府県知事は、津波浸水シミュレーションを行って浸水想定区域（浸水範囲と浸水深）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、警戒区域および特別警戒区域の指定等はこれを踏まえて行われる。

2.(2)の津波浸水シミュレーションの内容をもとに、法律で定められた津波浸水想定を設定するための標準的な手順・方法を示した手引きを平成24年2月にとりまとめ、順次改訂している⁷⁾。津波



浸水シミュレーション手引きと同様に相談窓口を設置する等して技術支援を行っている。

(2) 基準水位の設定法

基準水位とは、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(せきあげ)分を加えて定める水位である。この水位は、避難スペースや特別警戒区域における特定建築(社会福祉施設、学校および医療施設等)の居住スペースの必要高さを判断する基準となる。

(1)の津波浸水想定の設定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あ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あ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ない。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⁸⁾に示されている。算出方法は、平成24年3月9日付施行通知「津波防災地域づくりに関する法律等の施行について⁹⁾」に反映された。

(3) 指定避難施設等の構造に関する技術基準

津波防災地域づくり法に位置付けられた指定避難施設の指定に当たっては、以下の基準に適合するものを指定することとされている。

- ① 津波に対して安全な構造のものとして国土交通省令で定める技術的基準に適合するものであること
- ② 基準水位以上の高さに避難上有効な屋上その他の場所が配置され、かつ、当該場所までの避難上有効な階段その他の経路があること
- ③ 津波の発生時において当該施設が住民などに開放されること、その他当該施設の管理方法が一定の基準に適合するものであること

このうち①の技術的基準について、2.(3)の指針の内容をもとに、同法施行規則第31条及び津波防災地域づくりに関する法律に基づく告示「津波浸水想定を設定する際に想定した津波に対し安全な

構造方法等を定める件（平成23年国土交通省告示第1318号¹⁰⁾。以下「技術基準告示」という。）（平成23年12月27日）として、基準化に至っている。

これは、(5)で述べる特定開発行為における建築物の基準ともなっている。

(4) 津波防護施設の技術上の基準

津波防護施設は津波防災地域づくり法で新たに位置付けられた防災施設である。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。

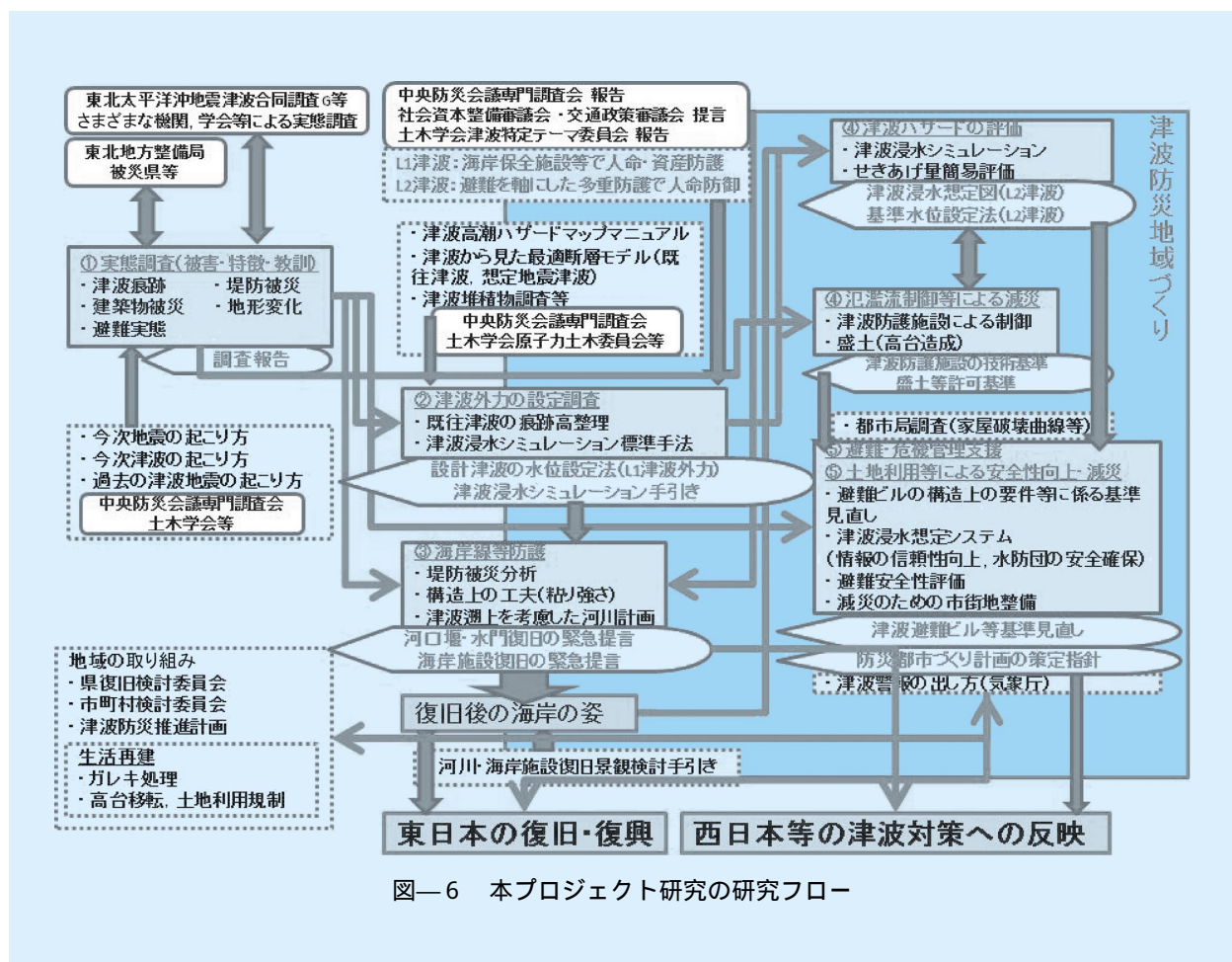
津波防護施設の設計において考慮すべき外力、要求性能、照査方法について、津波防災地域づくりに関する技術検討会（事務局：水管理・国土保全局，都市局，国土技術政策総合研究所）で検討した。その結果の詳細は、津波防災地域づくりに

関する技術検討報告書⁸⁾に示されており、平成23年12月27日施行の省令に反映された。

(5) 特定開発行為の技術的基準

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：警戒避難体制を整備する区域）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、学校および医療施設等である。津波に対して安全なものとは、最大クラスの津波に対して安全な造成地およ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。

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および宅地とするよう建築・開発行為を規制



する区域である。

特定開発行為における造成地の津波に対する安全性照査手法については、基準水位の設定方法・津波防護施設の技術上の基準と同様、津波防災地域づくりに関する技術検討会で検討された。複数分野間の連携となることから、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⁸⁾に報告されており、成果は、平成24年6月13日施行の省令に反映された。なお、建築物の構造の基準に関しては、前述したとおり、⁽³⁾の基準が適用される。

4. おわりに

図—6に研究フローを示す。災害対応と復旧・復興への支援を目的の一つとしているため、多くの調査研究成果がすでに施策へ反映されている(図—5の「基準・手引き等整備済の技術」参照)。被災地域以外の津波対策への反映を考えた場合には、図—5の「今後検討が期待される技術」の重要性が増すと考えられる。このうち、避難安全性の評価手法については本プロジェクト研究の一つとして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) 農林水産省農村振興局・農林水産省水産庁・国土交通省水管理・国土保全局・国土交通省港湾局課室長通知、設計津波の水位の設定方法等について、平成23年7月8日
http://www.mlit.go.jp/report/press/river03_hh_000361.html

- 2) 国土交通省水管理・国土保全局海岸室・国土技術政策総合研究所海岸研究室、津波浸水シミュレーションの手引き、平成23年7月
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/kisya/journal/kisya110711.pdf>
- 3) 国土交通省、津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について、平成23年11月17日
http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000274.html
- 4) 海岸における津波対策検討委員会、平成23年東北地方太平洋沖地震及び津波により被災した海岸堤防等の復旧に関する基本的な考え方、平成23年11月16日
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/kaigan_tsunamitaisaku/index.html
- 5) 国土技術政策総合研究所河川研究部、国総研技術速報No.1：粘り強く効果を発揮する海岸堤防の構造検討(第1報)、平成24年5月14日
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/sokuhou/index.html>
- 6) 平成23年法律第123号、津波防災地域づくりに関する法律、平成23年12月14日
<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/tsunamibousai.html>
- 7) 国土交通省水管理・国土保全局海岸室・国土技術政策総合研究所海岸研究室、津波浸水想定の設定の手引き、平成24年4月
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/bousai/saigai/tsunami/shinsui_settei.pdf
- 8) 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/tsunamibousaitiiki/houkokusyo_120127.pdf
- 9) 施行通知、内閣府政策統括官(防災担当)・国土交通省総合政策局長・土地・建設産業局長・都市局長・水管理・国土保全局長・住宅局長、津波防災地域づくりに関する法律等の施行について、平成24年3月9日
<http://www.mlit.go.jp/common/000204849.pdf>
- 10) 国土交通省告示第1318号、津波浸水想定を設定する際に想定した津波に対し安全な構造方法を定める件、平成23年12月27日
<http://www.mlit.go.jp/common/000214459.pdf>