

第1部 津波を知る技術

1 はじめに

東北地方太平洋沖地震（2011年3月11日発生）が引き起こした巨大津波が我々の常識を覆す甚大な被害をもたらしたことは誰もが知る所である。この被害の状況が刻々と報告されるに従い、自然の持つ力の大きさに驚かされたことは記憶に新しい。技術者が長年、津波に備えて整備してきた防波堤、防潮堤であるが、その機能を上回る津波が押し寄せたことに対し、今後複合的な対策を検討し、今後の防災や減災に役立てていくことが重要である。

本津波を知る技術WGは「津波を知る」という観点から津波の歴史、津波の調査方法、津波の特徴を取りまとめた。津波の歴史については国内における巨大津波の記録を調べるとともに、世界で発生した超巨大地震による津波の記録を整理した。また、津波の調査方法では歴史津波の調査方法を整理するとともに、津波の観測方法、観測機器、観測システムについて現状の技術の解説を行った。さらに、津波の特徴について来襲パターン、伝搬速度、地形の影響といった津波に向き合う上での重要な特質を整理すると共に、津波発生メカニズムについて地殻変動、断層破壊、プレートの動きといった視点から取りまとめ、地震と津波の因果関係が解るよう解説を加えた。

続いて、東北地方太平洋沖地震津波の特徴を調べるために、今回観測された地震・津波の記録や調査結果に基づいた震源と地殻変動の評価、津波高や津波浸水範囲の調査結果、各市町村における被害状況を取りまとめた。また、施設の被害状況を港湾、空港、河川、橋梁、水道・インフラ施設、建築物、貯蔵タンク、漁港、海岸防災林、海岸といった施設ごとに分類して情報を収集し、取りまとめを行った。

防災・減災という観点から今後発生する確率の高い東海・東南海・南海地震の津波に備えるため、津波を予測するためのシミュレーションプログラムの開発が行われ、それを基に国や自治体が行った津波予測結果が公開されている。ここでは国が行っている南海トラフ巨大地震に伴う津波高や浸水域の予測値や、浜松市や静岡県といった地方自治体が公開している浸水予測シミュレーション結果を紹介する。

合わせて、国や地方自治体を中心となって推し進めている地震・津波対策に関する様々な提言を取りまとめるとともに、国や地方自治体の地震・津波対策に対する施策の動きや補助・支援制度について、また復旧・復興に向けた釜石市の取り組みについての紹介を行う。

本津波を知る技術WGで取りまとめた成果が皆様方の津波の理解に繋がり、今後発生する地震や津波に対してどう対処するかという点で少しでもお役に立てることを念頭に取りまとめておりますので、ご一読頂ければ幸いです。

2 津波の歴史

2.1 世界の津波

(1) 世界の津波の記録と歴史

National Geophysical Data Center / World Data Center (NGDC/WDC) により示された世界の津波の記録を図 2.1.1 に示す。津波の原因としては、火山の噴火によるものと断層のすべりによるものに大別される。同図においては、地震のマグニチュードを○印の大きさに表現するとともに、地震による人的被害の大きさを色別に表現している。また、津波の高さを棒チャートの高さで表現している。図に示すように、津波による被害は環太平洋沿岸諸国で著しく、また、インド洋東側諸国や大西洋に面した国々においても報告されている。

津波の歴史については、津波のカタログとして取り纏められている。日本における津波のカタログは、今村（1949）や勝又（1966）によってまとめられた成果がある。日本およびその周辺で発生した津波と、外国の沿岸で発生した津波のうち日本に影響を与えたものについては、渡辺（1968、1983、1998）、宇佐美（2003）および Iida（1984）によってまとめられた。世界中の津波のカタログとしては、NOAA NGDC (National Oceanic Atmospheric Administration National Geophysical Data Center 米国立地球物理センター) のWEBサイトで公開されている。

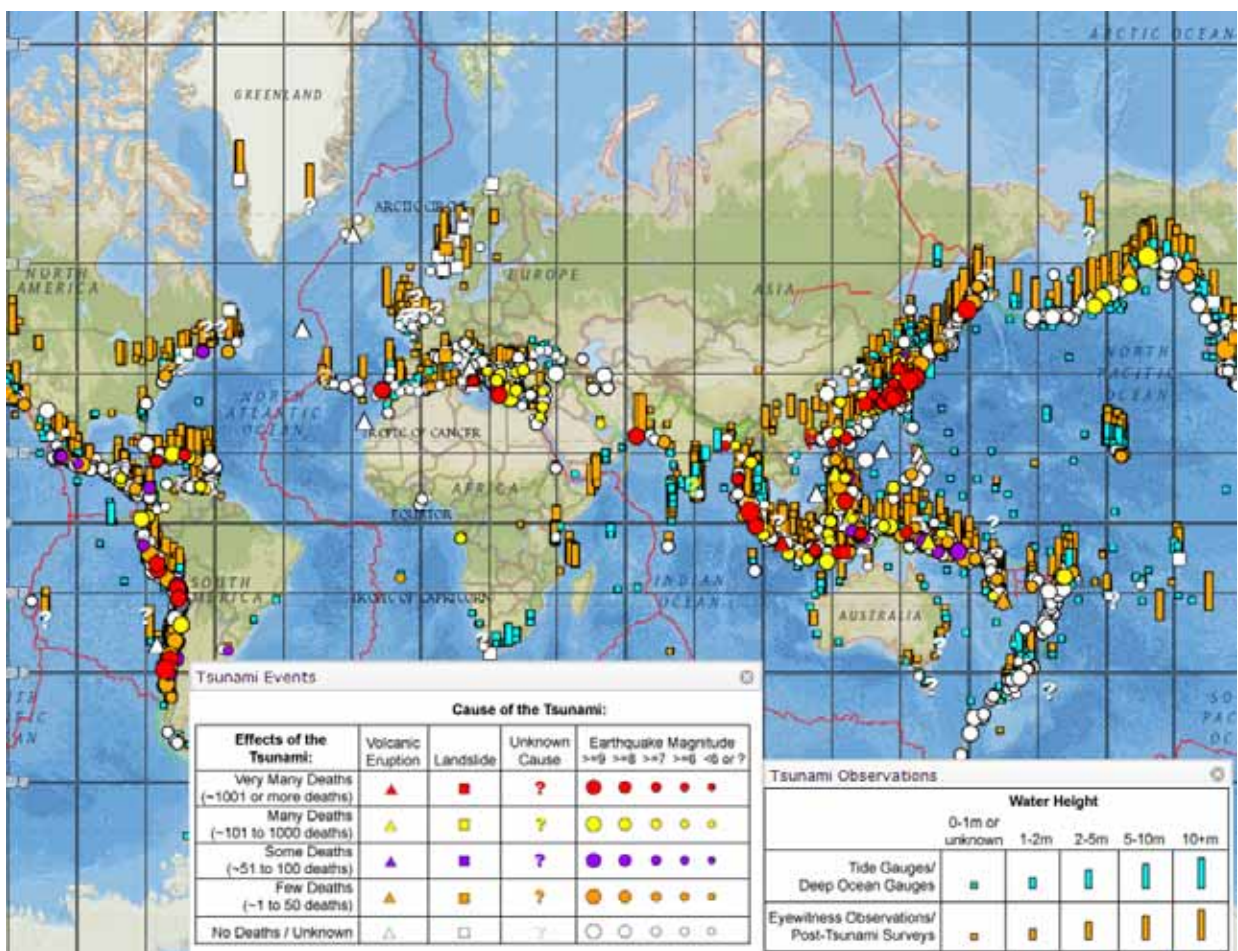


図 2.1.1 世界の津波分布¹⁾

(2) 世界の超巨大地震の記録

津波を誘発するモーメントマグニチュード (Mw) 9.0 以上の超巨大地震は、1952 年のカムチャッカ地震以降、2011 年の東北地方太平洋沖地震まで、約 60 年間で 6 回観測されている。世界で観測された Mw9.0 以上の超巨大地震は次のとおりである。

1952 年	Mw9.0	カムチャッカ地震
1957 年	Mw9.1	アリューシャン地震
1960 年	Mw9.5	チリ地震
1964 年	Mw9.2	アラスカ地震
2004 年	Mw9.0	スマトラ島沖地震
2011 年	Mw9.0	東北地方太平洋沖地震

発生場所は、環太平洋沿岸諸国に集中しているが、インド洋沿岸部においてもスマトラ島沖地震が観測されている。北太平洋沿岸部では、1952 年～1964 年までの 13 年間で、カムチャッカ地震、アリューシャン地震、アラスカ地震と、短期間に 3 回の超巨大地震が観測されている。南太平洋沿岸部のチリでは、1960 年に発生した世界最大規模の Mw9.5 のチリ地震から 50 年後の 2010 年に、Mw8.8 のチリ中部地震が発生している。



図 2.1.2 世界の超巨大地震の記録²⁾

2.2 国内の津波

(1) 国内の津波の記録と歴史

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震津波は、遼上域が多賀城下あるいは仙台平野の陸域5kmにまで及ぶ1000年に一度の大規模な津波とされている。国内における地震津波の歴史は、古くは684年の白鳳地震が記録に残っているが、図2.2.1に示すように、日本各地で地震により発生した津波の記録が残されている。

北海道～東北地方においては、869年の貞観地震時に発生した津波が1000年に一度の規模の津波とされており、仙台平野に運ばれた砂の堆積層分布が今回の東北地方太平洋沖地震津波と一致している。同地方においては、1611年に発生した慶長三陸地震以降、数多くの津波が来襲した記録がある。小規模の津波は数十年毎に、大規模な津波は100年オーダーの周期で来襲している。

東海～東南海地方では、1498年明応地震津波から1946年まで津波が来襲した記録がある。明応地震津波では、津波高さが伊豆半島西岸で10～20mに達したとされている。江戸時代以降来襲した1707年の宝永地震、1854年の安政東海地震、1944年の東南海地震による津波高さは、静岡県沿岸で概ね3～6mと推定されており、100年に一度の津波とされている。

南海地方では、684年の白鳳地震以降、大規模な地震が確認されている。室戸岬の段丘形成などの年代データからは、887年の仁和地震、1361年の正平地震、および1707年の宝永地震の3回巨大津波が発生しており、1000年に一度の津波とされている。また、1854年安政南海地震と1946年南海地震時に発生した津波が100年に一度の津波とされている。

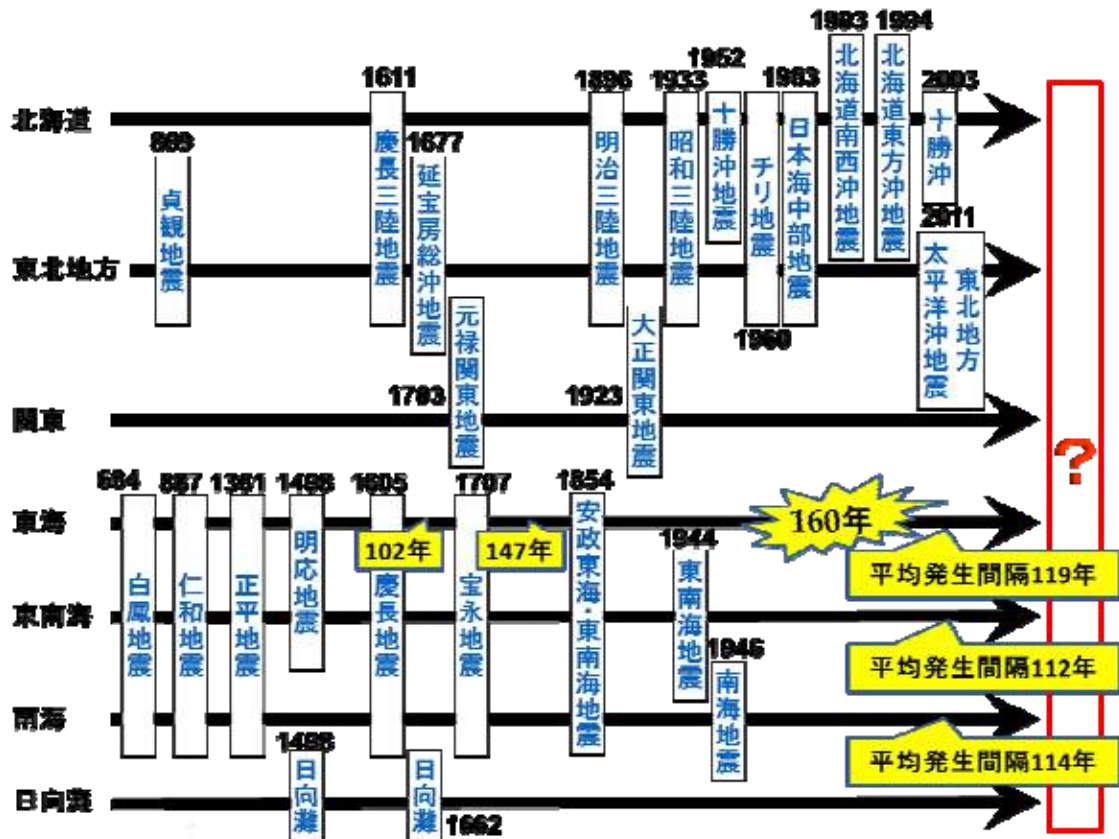


図 2.2.1 国内の地震津波

(2) 国内の超巨大地震津波の記録

1) 慶長三陸地震

慶長三陸地震は、江戸時代の初期、現在の岩手県三陸沖を震源として発生した地震であり、マグニチュードは推定で8.1とされている。1611年12月2日、巳刻過ぎ(10~11時頃)に大地震が発生し、昼八ツ時(午後2時頃)に大津波が襲ったと記録されている。『武藤六上衛門所蔵古大書』には「大地震三度仕」とあり、3度大きく揺れたことになる。

慶長三陸地震による津波分布を図2.2.2に示す。津波高さは、田老や大船渡で最高20m前後であったと推定されている。津波の波源域は1933年の昭和三陸地震とほぼ一致している。

この津波による被害規模は大きく、『朝野旧聞藁』によると、現在の三陸沿岸および北海道東岸に來襲し、仙台藩領内での死者は1,783人とされている。また、『福山秘府』には、南部藩・津軽藩の海岸でも「人馬死んだもの3,000余」という記録があり、『北海道史』には、現在の北海道の南東岸で、「アイヌ民族が多数溺死」とある。

津波遡上高を比較すると、田老村海浜(現・宮古市田老)においては、慶長三陸地震津波が20m、明治三陸地震津波が14.6m、昭和三陸地震津波が6mの遡上高となっている。船越村小谷鳥(現・山田町小谷鳥)では、慶長三陸地震津波が同村大浦へ至る峠を越したことから、津波遡上高が25mに達したと推定され、対して明治三陸地震津波では17.2m、昭和三陸地震津波では12mであった。織笠村(現・山田町織笠)においては、慶長三陸地震津波は海岸から2,100mの距離まで浸水させ、対して明治三陸地震津波1,100m、昭和三陸地震津波700mであった。慶長三陸地震津波は、当時の海岸より一里余(約4km)内陸にある宮城県岩沼市の阿武隈川沿いにある千貫山の麓まで船が流された記録から、同津波はかなり内陸まで遡上したことが考えられる。

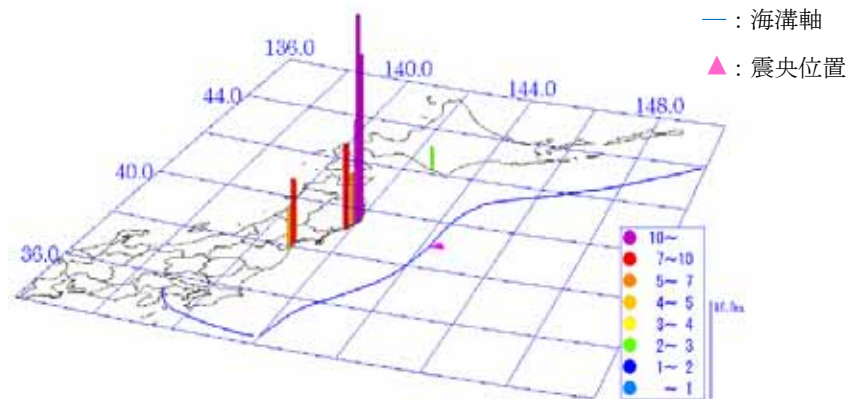


図 2.2.2 慶長三陸地震による津波分布³⁾

2) 明治三陸地震

明治三陸地震は、1896年6月15日午後7時32分、現在の岩手県釜石市の東方沖200kmを震源として発生した地震であり、マグニチュードは8.2~8.5とされている。

明治三陸地震では、各地の震度は2~3程度であり、緩やかな長く続く震動であったが誰も気につかない程度の地震であったとされている(最大は秋田県仙北町の震度4)。しかし、死者21,915人、行方不明者44人にのぼり、甚大な被害を受けた。この理由としては、地震による直接的な被害はほとんど無かったが、大津波が発生した影響とされている。

大津波の第一波は、地震発生から約30分後の午後8時7分に記録している。津波の到達範囲は北海道から宮城県までの太平洋沿岸である。遡上高は、北海道庁幌泉郡(現・北海道幌泉郡えりも町)

の襟裳岬では海拔 4m、青森県三戸郡八戸町近辺（現在の八戸市内丸あたり）で 3m、宮城県牡鹿郡女川村（現・女川町女川浜女川）で 3.1m とされている。一方、岩手県の三陸海岸では、下閉伊郡田老村（現・宮古市田老）で 14.6m、同郡船越村（現・下閉伊郡山田町船越）で 10.5m、同郡重茂村（現・宮古市重茂）で 18.9m、上閉伊郡釜石町（現・釜石市釜石）で 8.2m、気仙郡吉浜村（旧・気仙郡三陸町吉浜、現・大船渡市三陸町吉浜）で 22.4m、同郡綾里村（旧・気仙郡三陸町綾里、現・大船渡市三陸町綾里）で 21.9m と、軒並み 10m を超える到達高度を記録している。特に綾里湾の奥では入り組んだ谷状の部分を上り、日本の本州で観測された津波では当時最も高い遡上高である海拔 38.2m を記録している。



図 2.2.3 明治三陸地震⁴⁾

3) 昭和三陸地震

昭和三陸地震は、1933 年 3 月 3 日午後 2 時 30 分、現在の岩手県釜石市の東方沖約 200km を震源として発生した地震である。マグニチュードは推定 8.1 とされている。

三陸海岸まで 200km 以上距離があったため、三陸海岸は軒並み震度 5 の強い揺れを記録したが、明治三陸地震の時と同じく地震規模に比べて地震による直接の被害は少なかった。しかし、その一方で、強い上下動によって発生した大津波が来襲し、死者は 1,522 人、行方不明者は 1,542 人とされている。

最大遡上高は岩手県気仙郡綾里村（現・大船渡市三陸町の一部）で、海拔 28.7m を記録している。第一波は地震から約 30 分後に到達し、津波の到達範囲は北海道から宮城県までの太平洋沿岸である。

昭和三陸地震は、太平洋プレート内における単一アスペリティの破壊による正断層型のアウトラーイズ地震である。アウトラーイズ地震とは、海溝の陸から見て外側（アウト）でプレートが下方方向に曲がろうとして盛り上がり地形を形成するが、その部分で発生する地震をいう。保存されていた地震波と津波記録を用いた解析によれば、破壊開始点は 1971 年に計算された震央位置より約 100km 北方の北緯 40.13° 東経 144.52° の深さ 20km の地点であった。地震の破壊継続時間は約 60 秒、モーメントマグニチュード $M_w=7.8$ 、最大すべり量は 3.2m と計算された。



図 2.2.4 昭和三陸地震⁴⁾

3 津波の調査方法

3.1 歴史津波の調査方法

津波に関する科学的な観測データは長く見積もっても過去百年程度しか存在しない。そのような状況の中、歴史津波の調査として、以下の方法があげられる。

- ① 文献調査
- ② 史跡調査
- ③ 聞き取り調査
- ④ 津波石調査
- ⑤ 津波堆積物調査

3.1.1 文献調査

文献調査とは、郷土、歴史書類及び文献などの古文書類を読解し、調査する方法である。

史料の中から津波記録を抜き出し、現地照合を行って津波による痕跡高の分布を推定する研究は、多数の津波研究者によって手がけられている。例えば、古記録から津波の高さを推定する作業手続きを分類すると、

- ① 古記録そのものに津波痕跡高を記してあるもの。
- ② 古記録に津波浸水点の記載のあるもの。
- ③ 津波による市街地の浸水、家屋の流失・破損、人の死傷記事から間接的に津波痕跡高を推定するもの。

などがある。

また、古図により地震前後の同類の絵図で比較し、現在の地図と照らし合わせることにより、海没した範囲を推測する調査も行われている。「宮崎県での津波痕跡調査について」（宮崎港湾・空港整備事務所）によると、日向灘沖を震源とするマグニチュード7.6の寛文地震（1662年10月31日）による津波における海没範囲について、昔の古図を用いて地震前後の同類の絵図で比較し、現在の地図と照らし合わせると、**図3.1.1**に示すとおり海没して入り江となった範囲が推測でき、その被害の大きさがうかがえる。



正保国絵図（1664年-1648年）



元禄国絵図（1688年-1704年）

図3.1.1 古図による地震前後の比較⁵⁾

3.1.2 史跡調査

史跡調査とは、石碑などの調査を行い、津波被害を調査する方法である。

東北3県（青森県、岩手県、宮城県）における過去の明治三陸地震津波、昭和三陸地震津波及びチリ地震津波の3大津波で残された石碑は表3.1.1に示すとおり約300基とされている。

表 3.1.1 東北三県の石碑⁶⁾

県名	明治津波 (M29)	昭和津波 (S8)	明治・昭和 津波	チリ津波 (S35)	その他・ 不明	計
青森県	0	7	0	0	1	8
岩手県	113	83	11	8	10	225
宮城県	7	62	3	6	6	84
計	120	152	14	14	17	317

この津波石碑のうち、碑文が刻印されている石碑は198基あり、碑文には、61%は津波の予兆、避難、居住場所に関する教訓が刻印され、38%は悲惨な被害の状況が刻印されている。

図3.1.2は、岩手県田野畑村にある昭和三陸地震津波を対象とした石碑である。石碑には、「地震があつたら油断するな」、「地震があつたら高い所に集まれ」、「津波に追われたら高い所に上がれ」、「ここより低い所に家を建てるな」等の教訓が刻印されている。

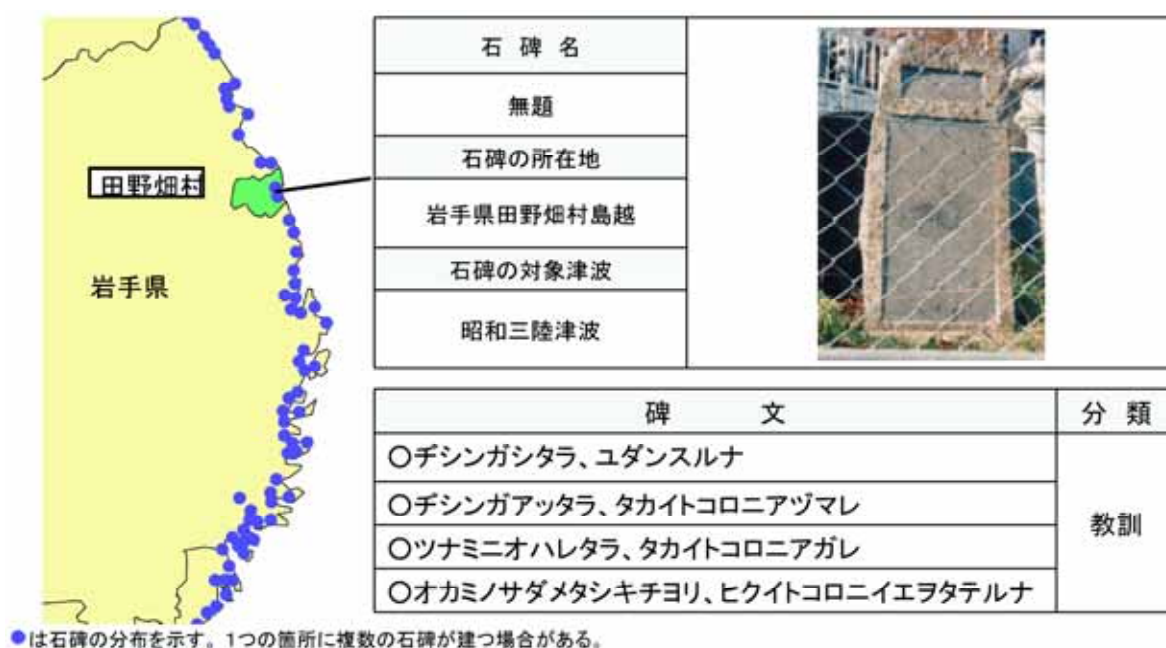


図 3.1.2 岩手県田野畑村にある昭和三陸地震津波を対象とした石碑⁶⁾

3.1.3 聞き取り調査

文字で書かれた古記録以外の材料も、歴史津波の調査に用いられる。聞き取り調査とは、自治体職員、大学研究者や郷土の歴史研究者等の有識者、寺院の住職等へのヒアリングを行い、津波被害を調査する聞き取りによる調査方法である。

ひとつの例として、口頭伝承があげられる。津波の場合には、「あの寺院の山門前の石段の下から5段目まで海水が上がったと伝えられている。」というような形で現代に情報が遺存している例が多い。このような口頭伝承には古文書記録に準ずる信頼性の認められるものが多い。その理由としては、浸水位置の記録（階段の何段目など）は、印象深く住民の間に伝えられると考えられる。

3.1.4 津波石調査

津波石調査とは、津波によって海岸より内陸に運びあげられた巨大岩塊（津波石）を調査する方法である。

津波石は、その発生起源から以下の3タイプに類別されている。(Goto, K. et al. 2010)

- ① Submerged Boulder : 海中から移動し、陸域に打ち上げられた津波石
- ② Sub-Aerial Boulder : 一部水に浸かる水際や陸上にあがったものが移動した津波石
- ③ Cliff-Top Boulder : 海岸の岩礁など、岩場の懸崖部が崩壊して移動した津波石

津波石の調査により、津波発生時期や津波の規模が推定できる。例えば、先島諸島（与那国島から宮古島にかけての地域）に分布する津波石は、元々海岸のリーフを形成していたサンゴ石灰岩であり、海中にあった頃生息していた生物が化石となって付着している。これらの年代を調査することにより、津波石が海中から陸に打ち上げられた時期が推定できる。

また、津波石の大きさから津波の流速を推定することで、津波の規模を推定できる。

写真 3.1.1 は、石垣市大浜の津波大石である。最大直径が約 11.5m、奥行き約 9.6m、高さ約 6m である。表面に付着しているサンゴの年代測定結果より、約 2000 年前の先島大津波によって打ち上げられたものと推定されている。

写真 3.1.2 は、宮古島市の帯石である。高さ約 12.5m、周囲約 59.9m の巨石である。表面に付着しているサンゴの年代測定結果や文献から、1771 年 4 月 24 日に起きた八重山地震の津波（明和の大津波）で打ち上げられた津波石であると推定されている。



写真 3.1.1 津波大石（石垣市大浜）



写真 3.1.2 帯石（宮古島市）

3.1.5 津波堆積物調査

津波堆積物調査とは、地質学的な堆積物から歴史津波を調査する方法である。

巨大地震は発生間隔が長く、歴史記録が少ないため、歴史記録だけでは過去の津波の発生間隔や規模を推定することができない。このような場合、自然が残した巨大津波の記録である津波堆積物が、過去の津波の発生間隔と規模を推定する唯一の手がかりになる。

この調査は、湖底堆積物及び海岸堆積物によってなされており、過去にいつ、どの程度の津波が来襲したか推定することができる。湖底堆積物による調査は、海岸近くにあり、津波の時だけ外海から海水が浸入するという条件にある湖で有効である。このような湖には、津波の時だけ外洋産の生物(貝類)や外洋の砂の薄い層の縞模様が湖底堆積層に刻まれる。堆積物に含まれている植物片などを用いて放射性炭素年代測定を行うことにより津波発生時期を推定し、堆積物の砂層の厚さや津波による下位の堆積物の削り込みの大きさなどから津波の規模を推定する。

図 3.1.3 は、掘削したピットに観察される津波堆積物の例である。巨大津波が残した津波堆積物(明るい灰色の部分)と泥灰層(濃い茶色の部分)を観察することができる。



図 3.1.3 津波堆積物(明るい灰色の部分)⁷⁾

3.2 津波被害と津波の強度について

首藤⁸⁾は過去の被害資料にもとづき、津波高・打上高と津波被害(津波の形態、漁船、津波防潮林等)との関係を客観的にあらわす指標として、津波強度を定義し、表 3.2.1 に示すように「津波強度による津波形態と被害程度のカテゴリ」をとりまとめている。これにより、津波情報がほとんどない場合にも、表 3.2.1 に示す被害程度から大雑把ではあるが、津波高さを推定できることを示唆している。

一方、木造・石造家屋やビル等の被害には建物自体の強度は考慮されておらず、さらに各地点の特殊性も考慮する必要がある。

表 3.2.1 津波強度と被害程度^{8), 9)}

津波強度		0	1	2	3	4	5
津波高(m)		1	2	4	8	16	32
津波形態	緩斜面	岸で盛上がる	沖でも水の壁 第二波砕波	先端に砕波を伴うものが増える。		第一波でも巻波砕波を起こす。	
	急斜面	速い流速	速い流速				
音 響		前面砕波による連続音 (海鳴り、暴風雨)					
					浜での巻き波砕波による大音響 (雷鳴。遠方では認識されない)		
					崖に衝突する大音響 (遠雷、発破。かなり遠くまで聞こえる)		
木造家屋		部分的破壊	全面破壊				
石造家屋		持ちこたえる		(資料なし)	全面破壊		
鉄・コン・ビル		持ちこたえる			(資料なし)	全面破壊	
漁 船		被害発生		被害率 50%	被害率 100%		
防潮林被害		被害軽微		部分的被害		全面的被害	
防潮林効果		津波軽減	漂流物阻止	漂流物阻止	無効果		
養 殖 筏		被害発生					
沿岸集落		被害発生		被害率 50%	被害率 100%		
打上高(m)		1	2	4	8	16	32

注：表中、津波高(m)は船舶・養殖筏など海上にあるものに対しては汀線における津波の高さ、家屋や防潮林など陸上にあるものに関しては地面から測った浸水深となっている。最下段は一集落全体を対象とした表現となっており、その集落の浸水域内で発生した最高遡上高(最高打上げ高)(m)とその浸水域内全体としての家屋被害率の被害程度との関係となっている。

3.3 津波の観測方法

GPS 波浪計の活躍により、東北地方太平洋沖地震による津波の来襲を観測することができた。図

3.3.1 に津波の観測機器や津波の検知距離を示す。

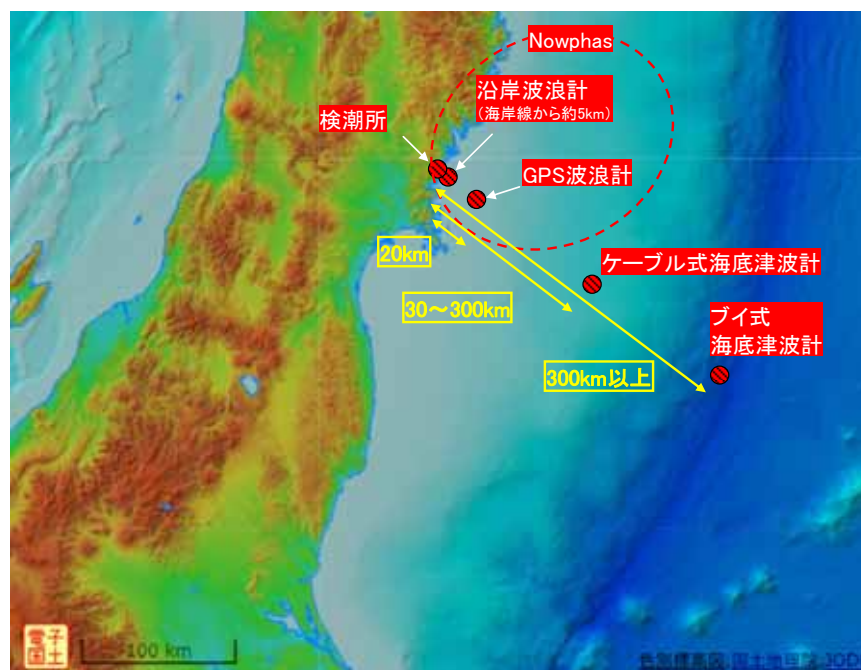


図 3.3.1 各観測機器の設置距離 (イメージ)

従来からの観測機器には、検潮所や Nowphas があり設置場所は沿岸から比較的近い。また現在整備中の観測機器には、ケーブル式海底津波計、ブイ式海底津波計がある。これらは主に沖合 100km 以上の地点に設置されている。

各観測機器の津波検知距離を表 3.3.1 にまとめた。なお各観測機器の設置者を以降に述べる。

表 3.3.1 津波の検知距離^{10), 11)}

海岸からの距離	観測機器名
0km	検潮所
5km	沿岸波浪計
20km	GPS波浪計
約30～300km	ケーブル式海底津波計
300km以上	ブイ式海底津波計

3.3.1 検潮所（潮位測定機器）

潮位の測定を目的として、検潮所には各種潮位測定器が設置されている。これらはフロート式とその他の検潮器に大別される。検潮所（潮位測定器）では津波の観測が可能であるが、導水管の径によっては津波の波高を減衰させることがあるため、津波痕跡高さと整合しない場合がある。検潮所における代表的な潮位測定機器を図 3.3.2 に示す。

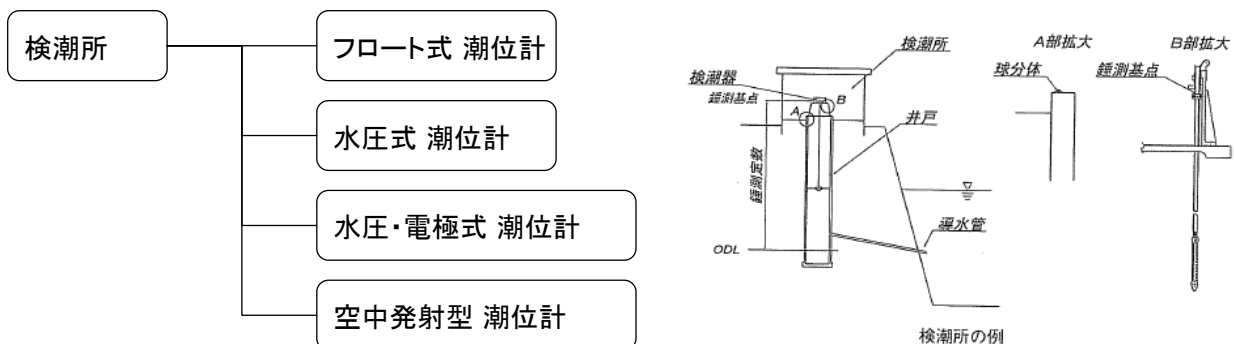


図 3.3.2 検潮所における潮位測定機器の分類と検潮所の例¹²⁾

図 3.3.2 で挙げたフロート式、水圧式、水圧・電極式、空中発射型潮位計の特徴を以下に述べる。

(1) フロート式潮位計

フロート式潮位計は、検潮井戸にフロートを浮かべたものであり、その上下運動により潮位を観測することができる。フロート式潮位計は長期安定性に優れるが、検潮井戸が必要となるため施設が大掛かりとなる。日本の潮位観測のほとんどはフロート式による。

- ① フース型検潮器・・・震災前に久慈港、石巻港に設置されていた。
- ② フース型以外のフロート式検潮器・・・河川やダムの水位計測に最適である。

通常の潮汐の観測に適しているが、大津波の観測には適さない。

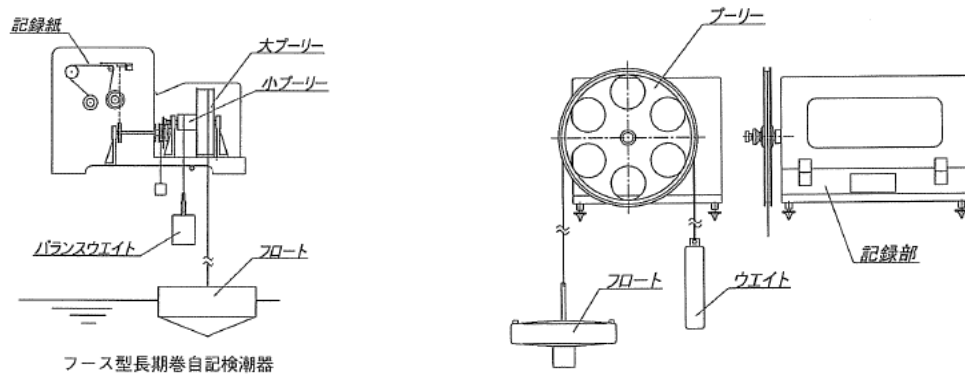


図 3.3.3 フース型長期巻自記検潮器（左）、水研（水文）62 型自記水位計（右）¹²⁾

(2) 水圧式潮位計

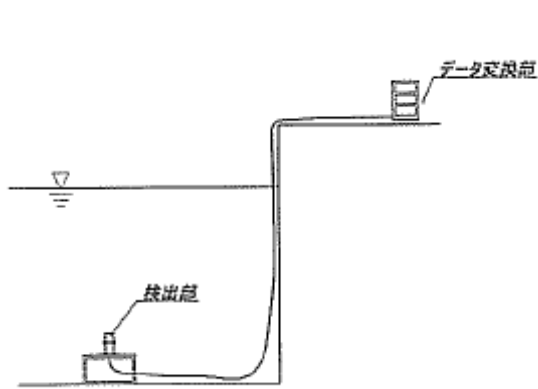
水圧式潮位計は、絶対圧力を測定する絶対圧型と大気圧との圧力差を測定する相対圧力型に分類される。検出部センサーは小型であるので、どのような場所にも容易に設置することができる。絶対圧型ではストレインゲージ、半導体圧力センサー、水晶振動子により水圧を検出する。測定範囲の限界が高く、原理的には数 10m の津波観測が可能である（図 3.3.4 参照）。

(3) 水圧・電極式潮位計

水圧・電極式潮位計は、水圧検出部と電極式水圧計が一体化されたものである。検出部は、ドリフト（抵抗値の変化）を受けるが、高分解能の水圧センサーとドリフトの影響を受けない電極センサーが組み合わせられており、両者の短所を補完している。そのため長期の高精度・高分解能のデータ取得が可能である（図 3.3.5 参照）。

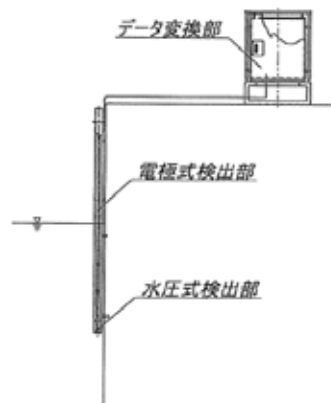
(4) 空中発射型潮位計

空中発射型潮位計は送受波器と水面間の距離を超音波の伝搬時間から計測し、レベル換算を行うものである。また、多段反射板によるキャリブレーションから温度・気圧による超音波の進行速度の変化による測定誤差を合理的に補正できる。検潮井戸を設ける場合に比べて設置工事費が安価であり、導水管が存在しないので、観測データには物理的な影響が含まれない。波浪、副振動などの長周期波および周期の短い津波の監視にも活用できる（図 3.3.6 参照）。



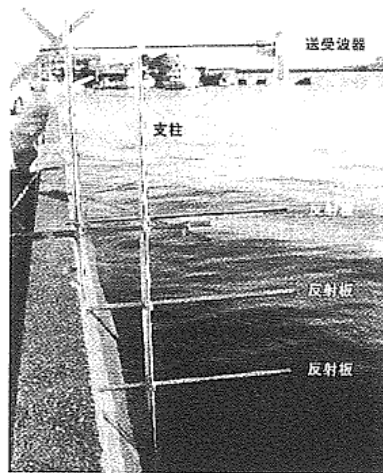
水圧式潮位計

図 3.3.4 潮位測定機器（例）¹²⁾



水圧・電極式潮位計

図 3.3.5 潮位測定機器（例）¹²⁾



空中発射型潮位計

図 3.3.6 潮位測定機器 (例) ¹²⁾

3.3.2 Nowphas (全国海洋波浪情報網)

Nowphas は、Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HARbourS の略称であり、国土交通省港湾局、各地方整備局、北海道開発局、沖縄総合事務局、国土技術政策総合研究所、(独)港湾空港技術研究所により構築または運営されている波浪情報網である (図 3.3.7 参照)。

全国沿岸の 75 地点 (波高・周期 75 地点、波向 66 地点) で観測されたデータは (独)港湾空港技術研究所にて集中処理され、長周期波の解析等に用いられている。GPS 波浪計で計測されたデータには、秒単位で変化する波浪および半日単位で変化する潮汐を含むため、120sec 単純平均とハンピングウィンドからなる数値フィルタで波浪成分を除去したものを潮位として扱っている。また、この潮位から天文潮位を差引いたものが潮位偏差となり、高潮、海流の変化などに起因する異常潮位が顕著でなければ、この潮位偏差を概ね津波成分と見なせる。なお、GPS 波浪計のリアルタイム処理では、過去に観測した潮位データを調和解析し、得られた調和定数から天文潮位を計算している。

Nowphas データを取得する機器は、海象計や超音波式流速計型波高計などの沿岸波浪計と GPS 波浪計に大別される (図 3.3.8 参照)。GPS 波浪計と沿岸波浪計を代表する海象計を図 3.3.9 に示す。

Nowphas データを取得する機器は、海象計や超音波式流速計型波高計などの沿岸波浪計と GPS 波浪計に大別される (図 3.3.8 参照)。GPS 波浪計と沿岸波浪計を代表する海象計を図 3.3.9 に示す。



図 3.3.7 Nowphas の概略図 ¹³⁾

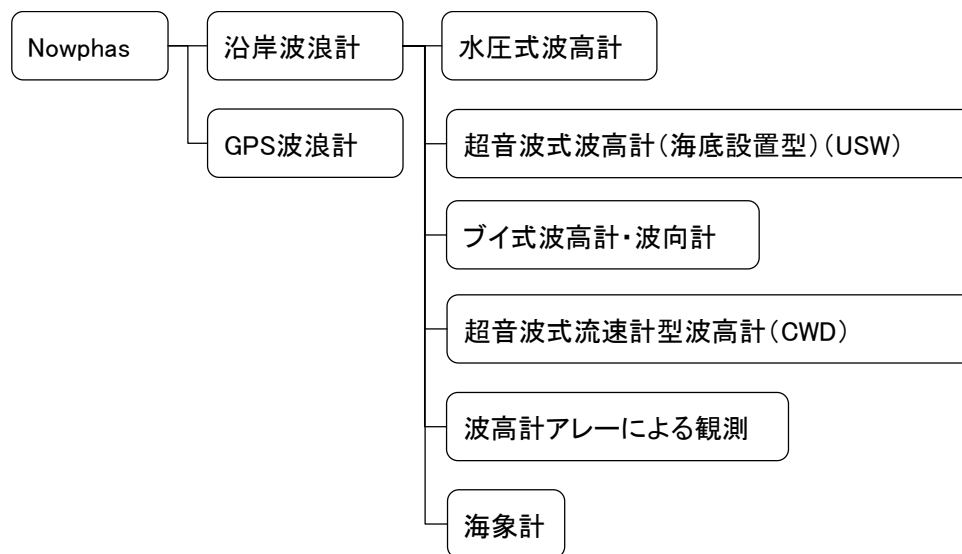


図 3. 3. 8 Nowphas データ取得機器の分類



図 3. 3. 9 GPS 波浪計 (左)¹⁴⁾ と海象計 (右)¹⁵⁾

(1) 沿岸波浪計

① 水圧式波高計

水圧式波高計は、1950～1960年代にかけて一般的に採用されていた。しかし、短周期波に対して感度が鈍く超音波式と比べて精度と信頼性が低い。

② 超音波式波高計 (海底設置型) (USW)

超音波式波高計は、水面波形を直接、観測できる特徴がある (水圧式では観測不可能)。50m以上の大水深においても設置できることから Nowphas (沿岸波浪観測) に多数用いられている。海底ケーブルは無中継の場合、最大 5km まで延伸可能である。

③ ブイ式波高計・波向計

ブイ式波高計・波向計は、ブイに取り付けた鉛直加速度計によって、水面の上下変動を観測するものである。水平加速度計を取り付ければ波向、方向スペクトルを観測できる。津波は周期が長いので加速度計で捉えることは難しい。

④ 超音波式流速計型波高計 (CWD)

超音波式流速計型波高計は、海底の水粒子運動を捉えるため、観測結果の信頼性が高い。ただし沖波の波向き測定は出来ない。水平二方向成分の水粒子速度と水圧変動が観測できる。定常的な波浪（波向）観測に最も多用されている。海底ケーブルは無中継の場合、最大 5km まで延伸可能である。短周期の計測には不向きである。

⑤ 波高計によるアレー観測

CWD の問題を改善したものである。精度と信頼性に優れているが、とても高価である。複数の波高計の水位変動記録のクロススペクトルを基に方向スペクトルを推定するものである。方向スペクトルは不規則波を表現するために用いられる。津波は不規則波ではないため、観測には向かない。

⑥ 海象計

海象計は、Nowphas で用いられている計測器の大部分を占めている。波浪（波高、周期、波向）、流況（三層の流向、流速）および潮位変動の同時測定が可能であり、水深 50m 程度での設置が可能である。ただし観測対象となる波浪の限界周期は短い。

(2) GPS 波浪計

沖に浮かべたブイ（GPS 波浪計）の上下変動を GPS 衛星により計測し、波浪や潮位をリアルタイムで観測するものである。国土交通省港湾局が整備を進めている。

3.3.3 ケーブル式海底津波計

現行の津波警報は、陸上の地震計の観測結果から津波の大きさを推定しているため、精度に限界がある。それに対してケーブル式海底津波計は、海底敷設の光ケーブルに接続された観測装置によって津波を直接観測するため、陸上の地震計から推定された観測結果と比べて早期に正確な情報を提供することができる。またケーブル式海底津波計の津波検知距離は沿岸から約 100km であり、GPS 波浪計よりも遠地での検知が可能である。これらは、日本海溝海底地震津波観測網、三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システム、DONET（地震・津波観測監視システム）に分類される。

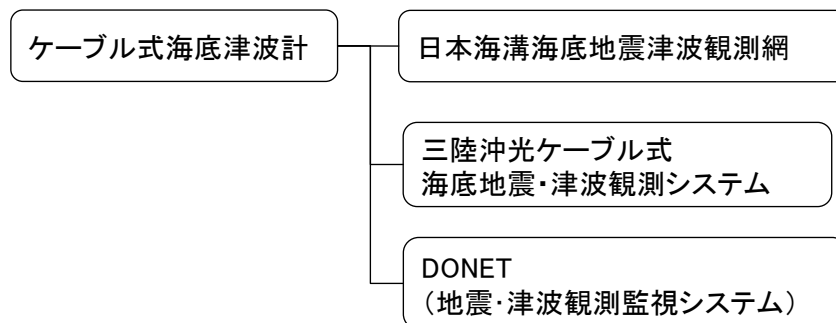


図 3.3.10 ケーブル式海底津波計の概略図

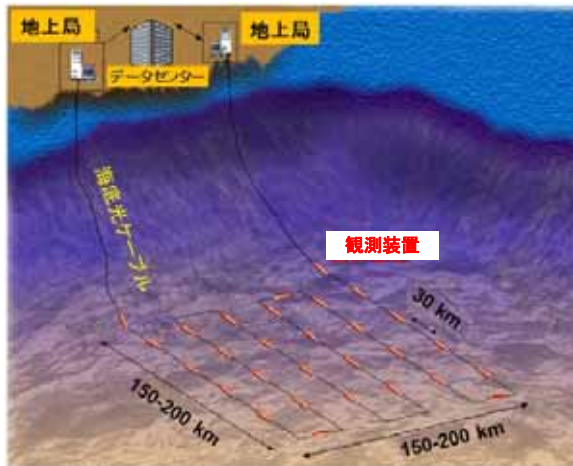


図 3.3.11 ケーブル式海底津波計の概略図と計測機器¹⁶⁾

(1) 日本海溝海底地震津波観測網

日本海溝と千島海溝に沿って水深 8,000m の海底に光ケーブルと一体化した地震・津波計が、2012 年度より整備が開始されている。三陸北部沖、房総沖では 2012 年に整備が完了している。なお釧路・十勝沖は（独）海洋研究開発機構、三陸沖は東京・東北大学、房総沖は気象庁、相模湾・初島沖は（独）防災科学技術研究所、（独）海洋研究開発機構が 2012 年以前に設置済みである。ただし、（独）海洋研究開発機構、東京・東北大学、気象庁が整備した機器が同観測網の一部の役割を担っているかは不明である。

(2) 三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システム

三陸沖には、光ケーブル接続された 3 台の海底地震計と 2 台の津波観測計が設置されており、システムを構成している。前述のとおり 2012 年以前に、東京大学地震研究所と東北大学等により整備された。地震・津波計は、陸上局から約 110km 離れた海底に敷設されており、観測されたデータは釜石市八木浜の陸上局に送信されている。

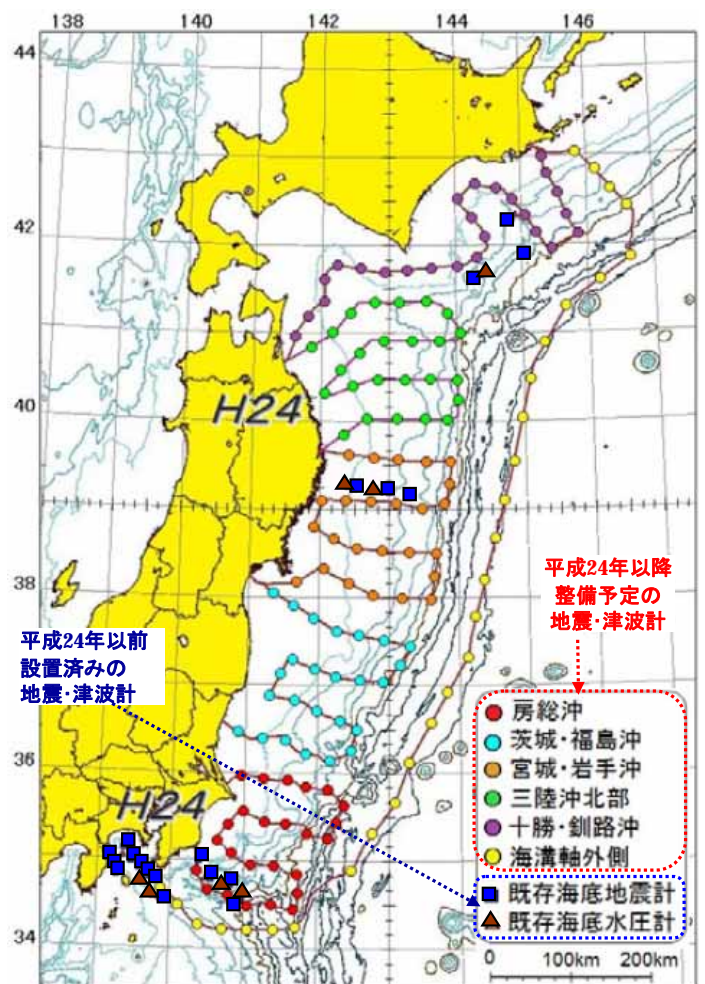


図 3.3.12 地震・津波計の配置¹⁶⁾

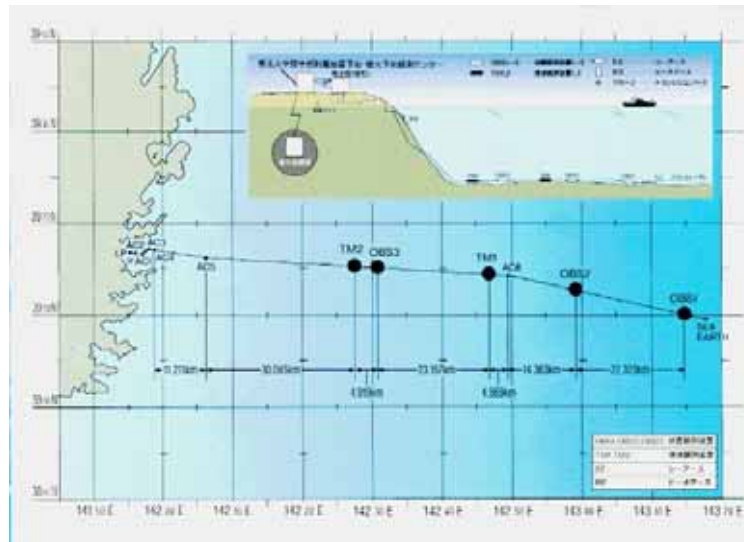


図 3.3.13 地震・津波計の配置¹⁷⁾

(3) DONET (地震・津波観測監視システム)

DONET (地震・津波観測監視システム) は、” Dense Ocean floor Network system for Earthquakes and Tsunamis ” の略称であり、東南海地震のリアルタイム観測と地震発生メカニズムを解明するために開発された。これは海底ケーブルネットワーク型の観測システムであり、JAMSTEC ((独) 海洋研究開発機構) が運用している。津波計は水圧式であり、紀伊半島の沖合約 100km に設置されている。DONET は熊野灘沖東南海震源域を、DONET2 は潮岬から室戸岬の南海地震震源域に設置されていて、2013 年度末に試験運用される見込みである。

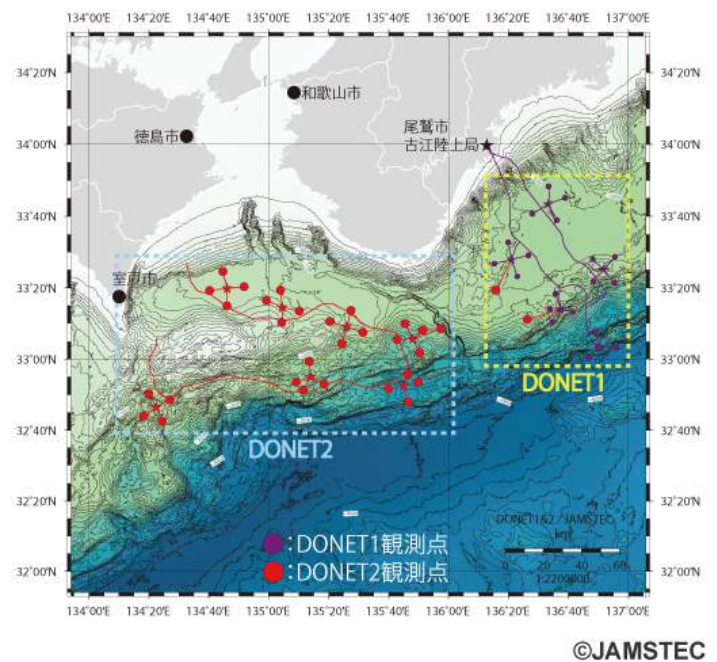


図 3.3.14 DONET、DONET2 設置箇所¹⁸⁾

3.3.4 ブイ式海底津波計

ブイ式海底津波計の津波検知距離は沿岸から 300km 以上であり、遠地発生津波を検知することが可能である。

(1) DART システム

NOAA (アメリカ海洋大気庁) は、太平洋沖の海水面から約 5,000m の深さに津波計を設置している。設置位置の水圧を直接計測することによって、津波の検知が行われる。海底で得られた水圧データは、音波により海上のブイへ転送され、更に人工衛星を経由して、NOAA へリアルタイム転送される。

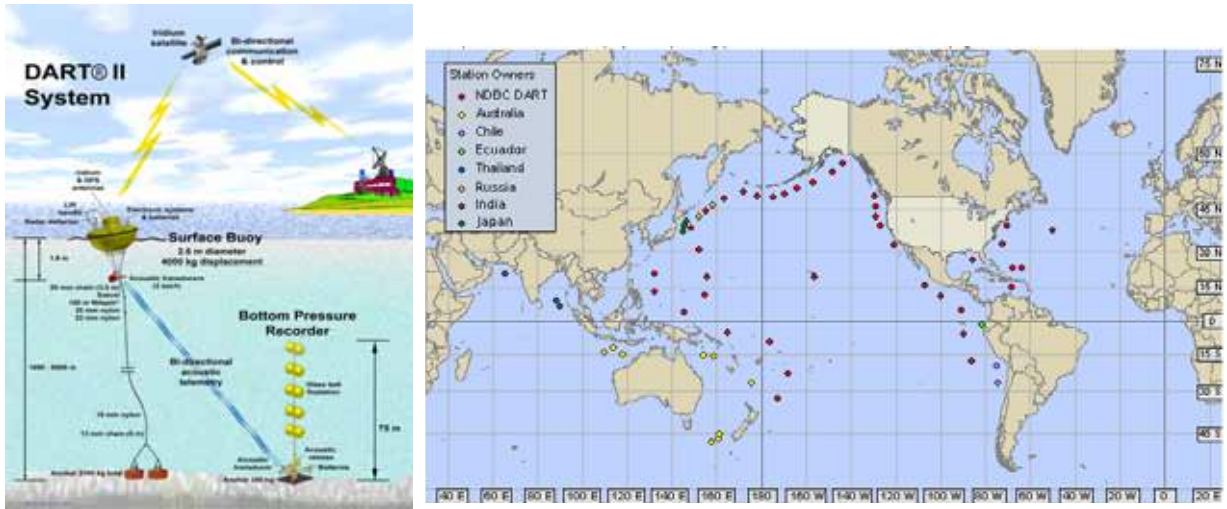


図 3.3.15 DART システムの概略¹⁹⁾

(2) ブイ式海底津波計

ブイ式海底津波計は、DART システムで用いられている機器と同様である。2011 年度、3 基の海底津波計が気象庁によって三陸の沖合に整備され、2012 年 12 月 25 日より津波警報に活用されている。これにより東北地方の日本海溝付近で津波が発生した場合、地震発生後 10 分程度で津波を検知することが可能となる。

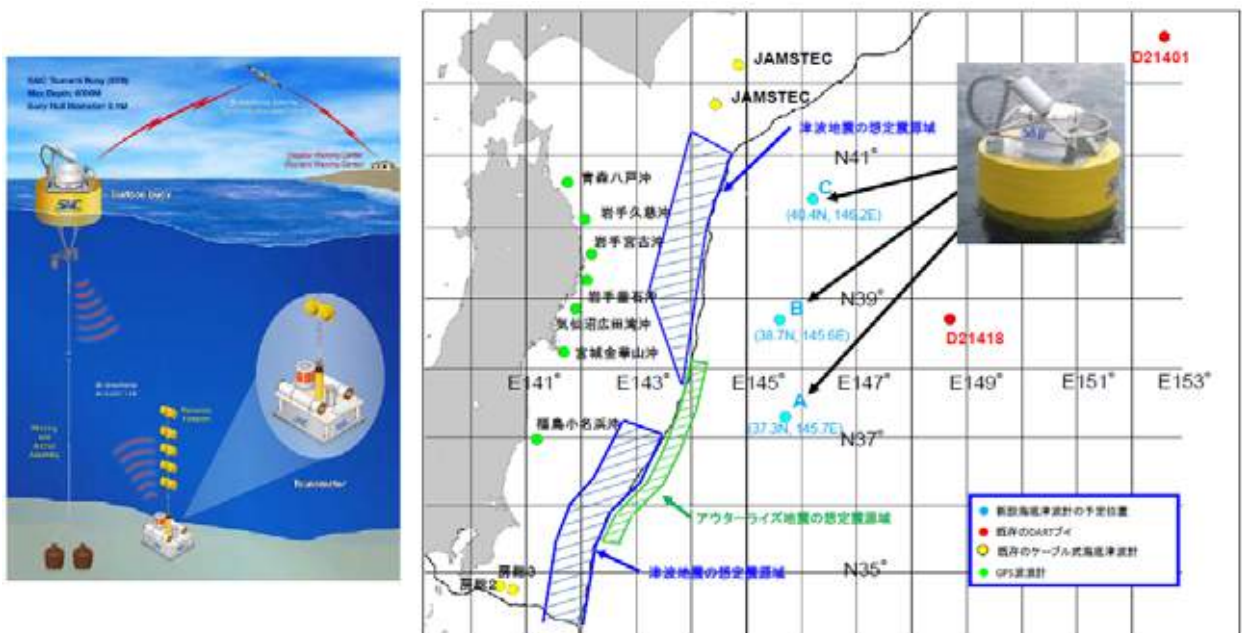


図 3.3.16 ブイ式海底津波計の配置計画²⁰⁾

3.3.5 その他の津波計

その他の津波計として、前述の検潮所、Nowphas、ケーブル式およびブイ式海底津波計の他に以下のものがある。

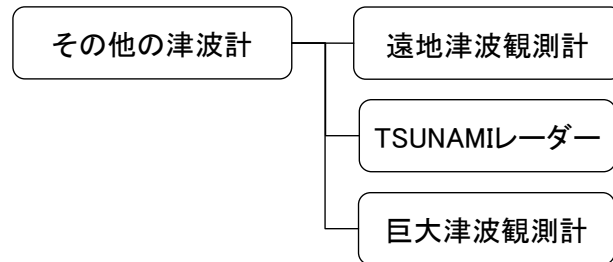


図 3.3.17 その他の津波計の分類

(1) 遠地津波観測計

遠地地震津波の観測を目的として、気象庁により 1996 年度、南鳥島に設置された。気象庁南鳥島観測所では、2010 年 2 月チリ中部沿岸の地震において、0.1m の津波を観測した。

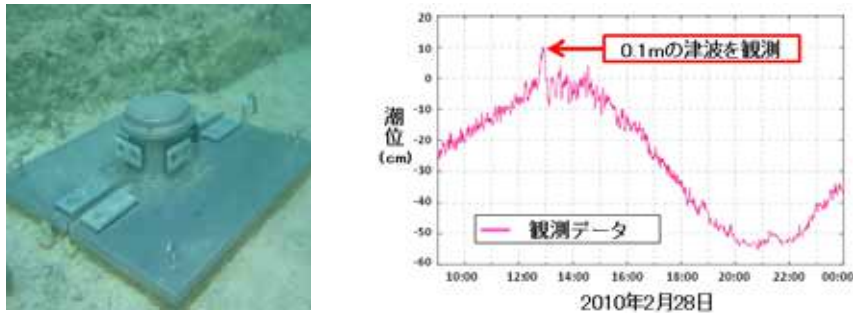


図 3.3.18 遠地津波観測計および時系列データ²¹⁾

(2) TSUNAMI レーダー

TSUNAMI レーダーは海底地震発生時に生じる海面の変動（津波）を捉えるものである。陸上に設置されたレーダーから電波を海面に照射することによって沖合 30km に来襲する津波を捉えることが可能である。なお 30km 換算すると沖合から沿岸に到達する時間は 15 分となる。当該レーダーは、Weathernews 社によって北東北から北関東の沿岸までの 8 箇所（八戸、宮古、大船渡、仙台、相馬、小名浜、日立、鹿島）に設置されており、今後、全国展開される見込みである。なお TSUNAMI レーダーにより捕捉された津波は、インターネットおよびモバイル通信サービス「TSUNAMI Radarcast」により配信される。



図 3.3.19 TSUNAMI レーダーと観測の概念²²⁾

(3) 巨大津波観測計

沖縄県石垣島登野城漁港と与那国島久部良漁港では、陸上に浸入する津波の高さを測定できるように、検潮所および津波観測点に巨大津波計が設置されている。気象庁石垣島地方気象台の巨大津波観測計は図 3.3.20 に示すとおり、圧力センサーで構成されている。



図 3.3.20 巨大津波観測の概念と観測計²³⁾

4 津波の特徴

津波の発生要因としては、海底のプレート境界で起こる海溝型地震、海底地すべり、海底火山活動、海岸地域で起こる地すべり、氷山崩落などが挙げられる。このうち、海溝型地震は、東北地方太平洋沖地震のようにまれに巨大化し、大規模な津波を伴う場合がある。100年に一度、1000年に一度のレベルの津波の発生要因としては、ほぼ海溝型地震に限定されるため、本章では海溝型地震津波について特徴をまとめることとする。

4.1 海溝型地震津波の特徴

(1) 気象庁による津波高さの定義

1) 津波に関する用語の定義

本報告書における津波に関する用語の定義は、気象庁による用語の定義に準拠するものとし、以下のとおりとする。

津波の高さ（津波高）：平常潮位（津波がない場合の潮位）から、津波によって海面が上昇したその高さ（極値）の差。検潮所や沖合の波高計で観測される。観測値からは、第1波の津波の高さ、第2波の津波の高さなど、複数の高さが求められる。

痕跡高（浸水高）：陸上での津波高さを表す。平常潮位から、津波痕跡までの高さ。建物や斜面上に残った変色部（水跡）や付着したゴミ（漂着物）などで測定されることが多い。

浸水深：地盤面から津波痕跡までの高さ。

遡上高：海岸から内陸へ津波が駆け上がり最も高い位置に到達した箇所の平常潮位からの高さ。気象庁から発表される「予想される津波の高さ」と同程度から、高い場合には4倍程度までになることがある。

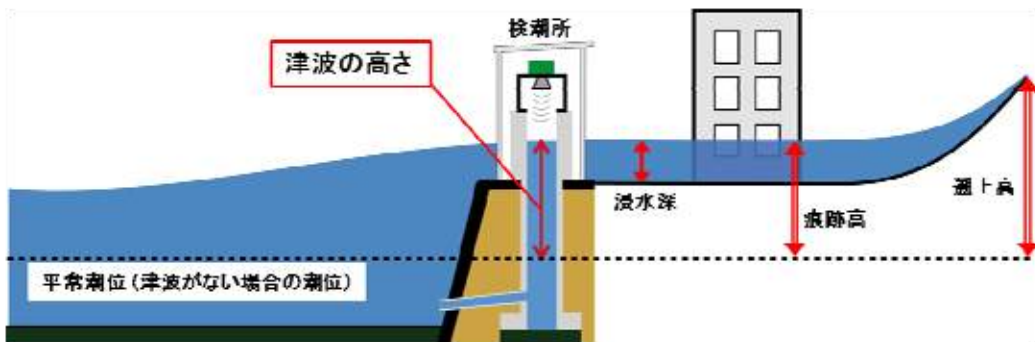


図 4.1.1 気象庁による津波高さの定義²⁴⁾

2) 気象庁の津波予測値の算定方法

気象庁における沿岸での津波高さの予測は、誤差の少ない沖合いでの津波の高さから、「グリーンの法則」を用いて、沿岸での高さを推定している。

沖合の津波は、沿岸の水深の浅い場所へくると、流速が徐々に遅くなるため、背後の波が前の波に追い付くことから、波高も高くなる。これが「グリーンの法則」であり、気象庁では、図 4.1.2 に

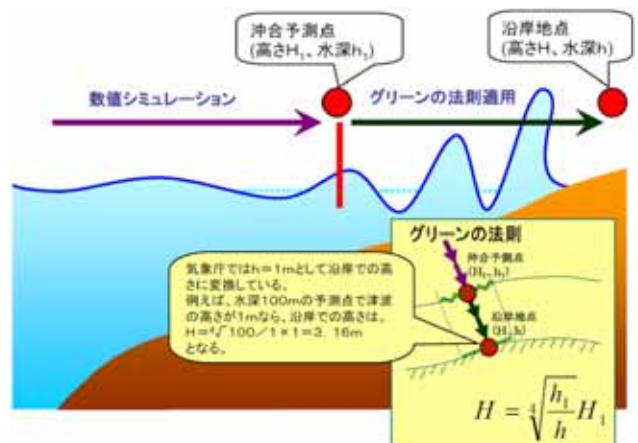


図 4.1.2 気象庁の津波予測値の算定方法²⁵⁾

示す式により水深 1m での高さを求め、これを沿岸での津波の高さとしている。

(2) 津波の来襲パターン

1) 津波は繰り返し来襲

津波は 1 波だけではなく繰り返し襲来し、第 2 波以降に最大となることがある。

図 4.1.3 は東北地方太平洋沖地震における岩手県南部沖 GPS 波浪計が捉えた津波の初期の波形である。津波の高さは第 1 波が突出して高く、第 2 波以降は徐々に低くなっているが、6 時間後の第 7 波まで繰り返し発生している。

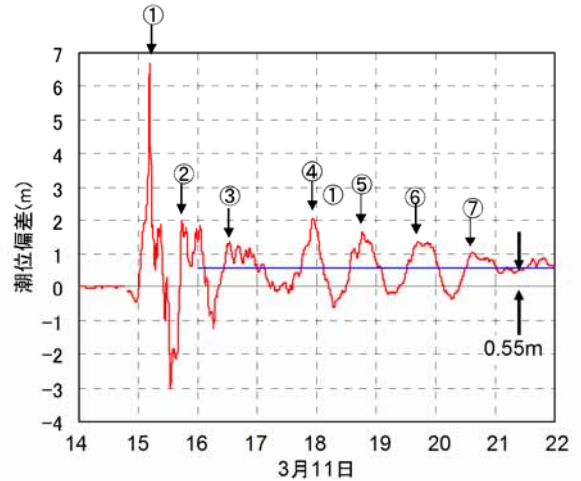


図 4.1.3 東日本大震災における岩手県南部沖の初期の波形²⁶⁾

図 4.1.4 は東北地方太平洋沖地震津波の津波警報発表の経緯を示したものである。地震発生 3 分後の 14:50 に第一報として岩手 3m、宮城 6m、福島 3m、青森沿岸 1m の発表があり、地震発生 28 分後の 15:14 に第二報として岩手 6m、宮城 10m 以上、福島 6m、青森沿岸 3m に切り上げて更新、さらにその 17 分後の

15:31 に岩手～千葉九十九里・外房 10m 以上、青森沿岸 8m と大津波警報の範囲を拡大して発表された。その後も津波警報の更新は継続し、2 日後の 3 月 13 日に津波警報がすべて解除となった。

現在の津波予測技術において、短時間に正確な津波規模を予測することには課題がある。

津波警報発表日時	11日	11日	11日	11日	11日	11日	11日	12日	12日	12日	13日	13日
津波予報区	14:49	15:14	15:30	16:08	16:47	21:35	22:53	03:20	13:50	20:20	07:30	17:58
青森県太平洋沿岸	1m	3m	8m	10m以上	10m以上	10m以上	10m以上	10m以上	切下げ	切下げ	解除	解除
岩手県	3m	6m	10m以上	10m以上	10m以上	10m以上	10m以上	10m以上	切下げ	切下げ	解除	解除
宮城県	6m	10m以上	10m以上	10m以上	10m以上	10m以上	10m以上	10m以上	切下げ	切下げ	解除	解除
福島県	3m	6m	10m以上	10m以上	10m以上	10m以上	10m以上	10m以上	切下げ	切下げ	解除	解除
茨城県	2m	4m	10m以上	10m以上	10m以上	10m以上	10m以上	10m以上	切下げ	切下げ	解除	解除
千葉県九十九里・外房	2m	3m	10m以上	10m以上	10m以上	10m以上	10m以上	10m以上	切下げ	切下げ	解除	解除
北海道太平洋沿岸中部	1m	2m	6m	8m	8m	8m	8m	8m	切下げ	切下げ	解除	解除
北海道太平洋沿岸東部	0.5m	1m	3m	6m	6m	6m	6m	6m	切下げ	切下げ	解除	解除
北海道太平洋沿岸西部	0.5m	1m	4m	6m	6m	6m	6m	6m	切下げ	切下げ	解除	解除
伊豆諸島	1m	2m	4m	6m	6m	6m	6m	6m	切下げ	切下げ	解除	解除
千葉県内房	0.5m	1m	2m	4m	4m	4m	4m	4m	切下げ	切下げ	解除	解除
小笠原諸島	0.5m	1m	2m	4m	4m	4m	4m	4m	切下げ	切下げ	解除	解除
青森県日本海沿岸	0.5m	1m	2m	3m	3m	3m	3m	3m	切下げ	解除	解除	解除
相模湾・三浦半島	0.5m	0.5m	2m	3m	3m	3m	3m	3m	切下げ	解除	解除	解除
静岡県	0.5m	0.5m	2m	3m	3m	3m	3m	3m	切下げ	解除	解除	解除
和歌山県	0.5m	0.5m	2m	3m	3m	3m	3m	3m	切下げ	切下げ	解除	解除
徳島県	0.5m	0.5m	2m	3m	3m	3m	3m	3m	切下げ	切下げ	解除	解除
高知県	0.5m	0.5m	2m	2m	2m	2m	2m	3m	3m	切下げ	切下げ	解除

図 4.1.4 東北地方太平洋沖地震津波の津波警報発表の経緯²⁷⁾

2) 津波の増幅

湾の一端が外海と通じ、自由に海水が出入りできる湾では、湾の形や大きさ、深さでそれぞれの湾によって異なる一定の周期を持った海面水位の振動が発生し、その湾特有の固有周期を形成する。

津波の来襲周期（第 1 波と 2 波目の時間間隔）とこの湾の固有周期が一致すると、湾内の海水は共振現象を起こして、2 波目以降の津波は外海の津波高の数倍にも増幅される。

(3) 津波の伝わる速さ

1) 津波の伝わる速さと浅水変形

周期の長い波の伝わる速さ V は重力加速度 g と水深 h を用いて、式 4.1 で表される。

$$V = \sqrt{g \cdot h} \quad \dots \dots \text{式 4.1}$$

津波の伝わる速さは水深の 1/2 乗に比例する。水深が深い沖を伝播する津波ほど伝播速度が速く、海岸線に近づくほど速度は遅くなる。

図 4.1.5 は水深と津波の伝播速度の関係を模式的に示したものである。水深 5,000m でジェット機並みの時速約 800km/h、水深 500m で新幹線並みの時速約 250km/h、水深 100m で高速道路を走る自動車並みの時速約 100km/h、水深 10m でオリンピックの短距離選手並みの時速 36km/h であり、普通の人が走って逃げ切れない速度である。

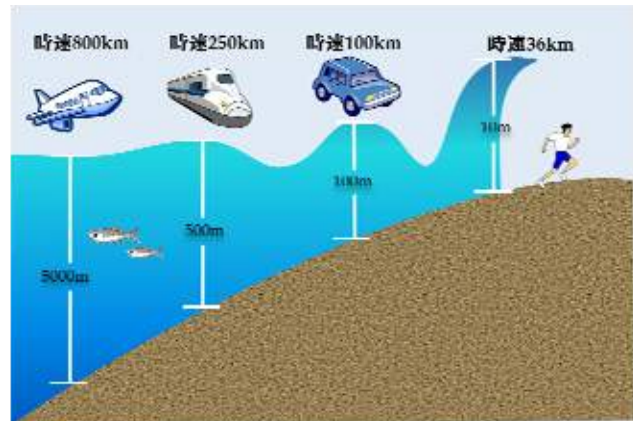


図 4.1.5 津波の伝わる速さ

また、津波高は水深の深い沖合ほど低く、水深が浅い沿岸部で高くなる。

2) 予測解析

津波の伝わる早さが水深によって算定できることから、地震発生時の沿岸部津波が到達する時間を計算することが可能である。

現在では数値シミュレーションで解析されるが、津波高に比べて津波の到達時間は精度の高い結果を得ることが可能となっている。

3) 津波のエネルギー

沖を伝播する津波は、津波高は低いけど速度は速い。すなわち、運動エネルギーは大きいけど位置エネルギーは小さくなる。一方、沿岸域では速度は遅くなるけど津波高は高いので、運動エネルギーは小さいけど位置エネルギーは大きくなる。

エネルギー保存の原理では、沖合で大きな運動エネルギーを有する津波は、沿岸域ではそのエネルギーを位置エネルギーにシフトさせることで津波高が高くなる（浅水変形）。

(4) 海岸の地形と津波の大きさ

1) 地形による津波の増幅

津波がV字型の湾奥に伝播（図 4.1.6 左図参照）すると、津波高が大きくなる。これは、湾口の津波のエネルギーが湾奥に伝播する際、伝播する幅が狭くなるためである。具体的には湾口で平面的に分布していたエネルギーが、幅が狭くなることによって鉛直方向に分布を変えるということ

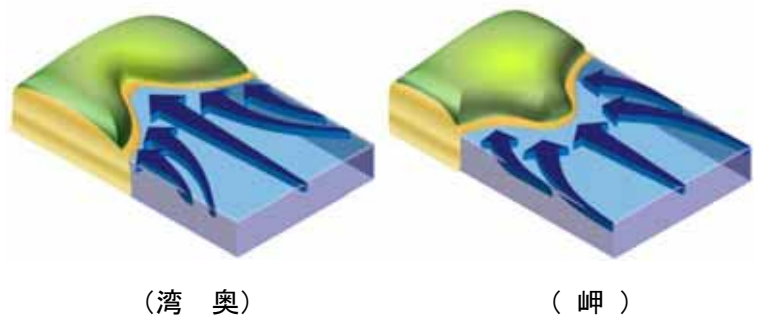


図 4.1.6 地形と津波の伝播

である。この原理はグリーン的方式として定式化されている（図 4.1.2 参照）。

一方、津波が岬に伝播するケース（図 4.1.6 右図参照）を考えると、横一線状（波峰が一直線状）に入射した津波の速度は、岬先端の水深が浅いため最初に速度が低くなる。その際、まだ深い水深にある波峰部分は速度が速いため伝播距離が長くなる。これを繰り返すと波は等深線に直角になるように進路を変化させる。これを波の屈折という。それゆえ、岬では波が集中することになる。

2) 海岸地形の影響

湾の形状を大きく分けると、図 4.1.7 に示すようにV字型、U字型、直線海岸、袋型の4つに大別される。湾奥での津波の波高は、一般に、袋型からV字型の順番で次第に高くなる傾向にある。



図 4.1.7 湾の形状²⁸⁾

V字型の湾の例としては岩手県の綾里湾（りょうりわん）、合足湾（あつたりわん）等が挙げられる。近地津波であった明治・昭和の三陸地震津波によって20m以上の波高を記録し、ほぼ全滅に近い被害を受けた。

袋型の湾の例としては岩手県の大船渡湾が挙げられる。「く」の字形に深く入り組んでいる袋状の大船渡湾でも、湾口に近い部分では、旧末崎村の船川原、細浦、旧赤崎村の蛸ノ浦など三陸津波の際には被害が大きかったが、湾奥の大船渡町（現市）そのものは、三陸津波では被害が比較的軽微であった。

4.2 海溝型地震津波の発生メカニズム

(1) 地盤変動と津波

海溝型地震津波の発生メカニズムを図 4.2.1 に示す。地震が起きると、震源付近では地面の上下変動が生じる。海底下で地震発生の場合、海底地盤の上下の変動により、周辺の広い範囲にある海水全体が短時間に急激に持ち上がりまたは沈み込みにより発生した海面の盛り上がりまたは沈み込みによる波が津波となり四方に広がっていく。

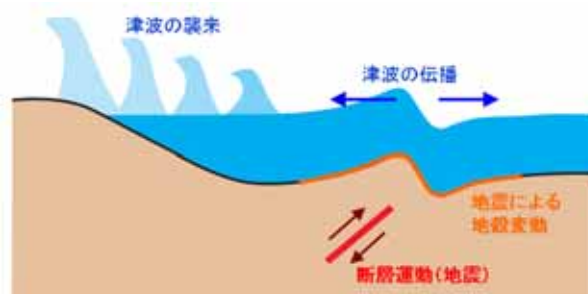


図 4.2.1 津波の発生メカニズム²⁴⁾

日本周辺には、図 4.2.2 に示すとおり、①太平洋プレート、②北米プレート、③フィリピン海プレート、④ユーラシアプレートの4つのプレート構造の境界が存在する。

太平洋プレートは北米プレートに対し年間8.5cmの速度で西方向へ沈み込み、また、フィリピン海プレートはユーラシアプレートに対し年間6.5cmの速度で北西方向に沈み込んでいる。

プレート境界地震の主な発生場所は、日本海溝沿いでは太平洋プレートと北米プレートの境界、南海

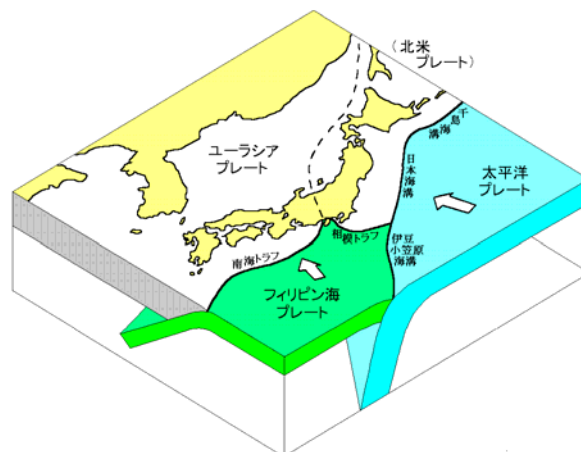


図 4.2.2 日本列島周辺のプレート構造²⁹⁾

トラフ沿いではフィリピン海プレートとユーラシアプレートの境界である。

(2) 断層破壊の分類

1) 断層破壊

海溝型地震津波は、地震に伴う断層破壊による海底地盤の隆起沈降に起因する。この断層破壊には、図 4.2.3 に示すように縦ずれ、横ずれの2種類がある。

縦ずれの場合は鉛直方向に直接地盤変位が生じるため、その直上の海水も直接変化することになり、大きな津波が発生する。縦ずれには図 4.2.4 に示すように正断層と逆断層があり、正断層の場合には断層破壊後の海底面が沈降するため、直上の海水も低下する。逆断層の場合には、海底面が隆起するため、直上の海水も上昇する。

一方、横ずれの場合には、鉛直方向の地盤変位が生じないため、断層破壊に伴う海水の上昇・低下も少なく、津波は小さいものとなる。ただし、実際には純粋に横ずれのみの断層破壊は考えにくい。

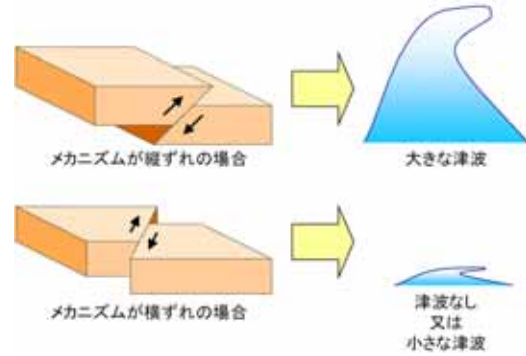


図 4.2.3 破壊メカニズムと津波の規模¹⁴⁾

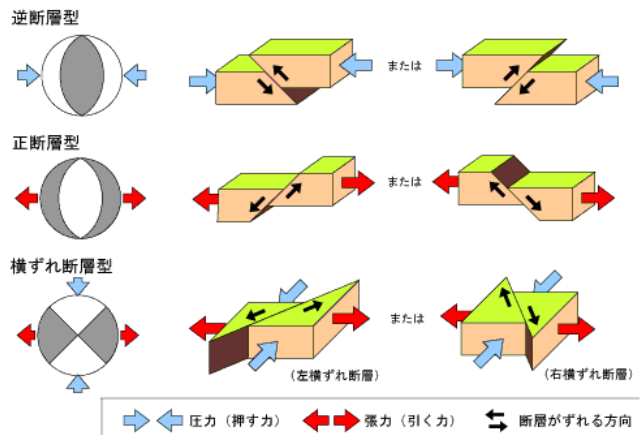


図 4.2.4 発震機構解と力の向き、断層の動き³⁰⁾

2) 地震規模

地震は断層面を境に両側の岩盤がずれ動く現象であり、ずれ動く断層面を評価し地震規模が定義される。地震規模は、断層の面積 (S) とずれの量 (D) の積に比例し、この積に剛性率 (岩盤の堅さを示すもの) を乗じた値を地震モーメントと言い、この地震モーメントを基にしたマグニチュードをモーメントマグニチュード (Mw) という (図 4.2.5 参照)。Mw は断層運動の規模を表す指標であり、津波は断層運動によって発生するため、Mw を用いて予測が行われる。ただし、縦ずれ横ずれを考慮すると、同規模の Mw であっても津波の発生規模は異なる。

$$M_w = (\log M_o - 9.1) / 1.5$$

$$M_o (\text{地震モーメント}) = \mu (\text{剛性率}) \times D \times S$$

Mw は断層運動の大きさの指標
 … 津波評価にふさわしいマグニチュード

図 4.2.5 モーメントマグニチュード (Mw) の算定¹⁴⁾

図 4.2.6 は、チリ地震、関東地震、兵庫県南部地震の断層面積の大きさを比較したものである。

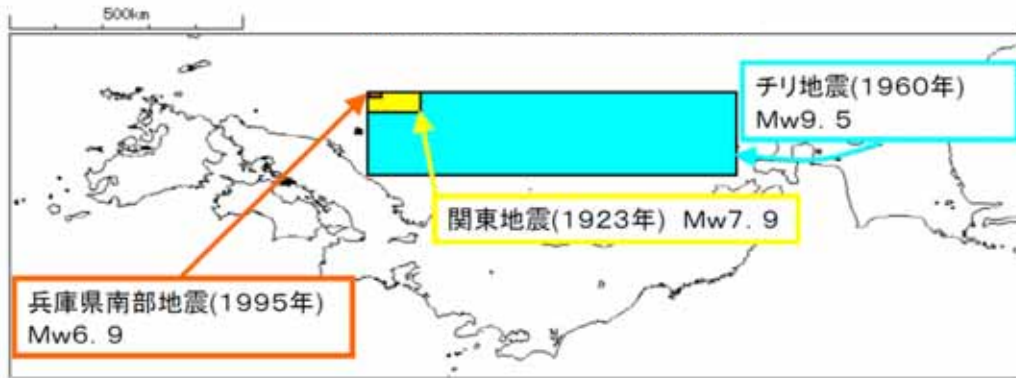


図 4.2.6 断層の大きさ（面積）の比較¹⁴⁾

(3) プレートの動き

1) 地震の断層種別による分類

日本周辺で発生する地震は、図 4.2.7 の模式図に示すとおりプレートの沈み込みに伴ってプレート境界付近で発生する海溝型と、陸域の浅部に発生する内陸型とに大別することができる。

海溝型と呼ばれる地震は、プレート境界地震とプレート内部地震に大別され、100年～200年ほどの間隔でマグニチュード 8 クラスの地震を起こすと考えられている。

内陸型と呼ばれる地震は、間接的に歪みを蓄えていくため、海溝型ほど頻繁には起こらず、活断層（横ずれ断層か逆断層が多い）でも発生頻度は海溝型に比べて低いと考えられている。マグニチュードも海溝型に比べて一般的に低いと言われているが、1891年の濃尾地震のようにマグニチュード 8 のものもある。

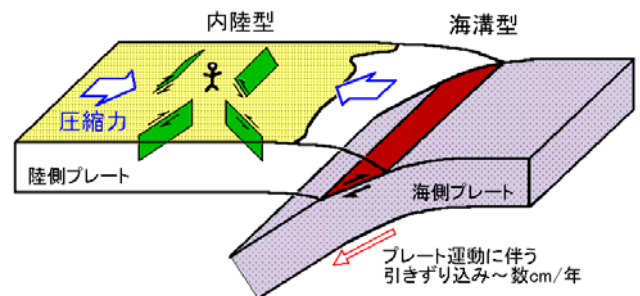


図 4.2.7 海溝型地震と内陸型地震²⁹⁾

2) 海溝型地震のメカニズム

海溝型地震津波は、プレートテクトニクスで説明されるように、海側プレートが陸側プレートに潜り込む継続的な地殻運動にあつて、ひずみエネルギーが蓄積された後、瞬時にエネルギーが解放され、陸側プレートが跳ね上がる場合に発生する。

今回の東北地方太平洋沖地震津波を予測し得なかった理由は、プレート境界西側のやや深い部分のすべりに次いで、日本海溝付近の浅い部分が大きく滑った複合的な破壊のメカニズムを想定できなかったこと、さらには広範囲で破壊が発生することを予見できなかったことに起因している。また、それに伴い発生した比較的長周期の津波と、短周期かつ振幅の大きな津波が重畳して沿岸に来襲したためと考えられる。

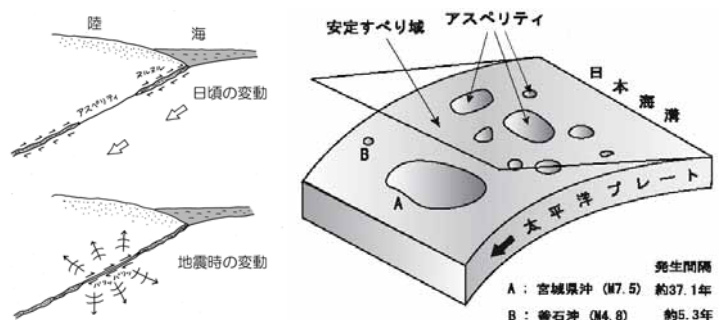


図 4.2.8 プレート上のアスペリティ^{31), 32)}

(4) 海溝型地震の今後 30 年間の地震発生確率

地震調査研究推進本部地震調査委員会では、日本周辺で発生する海溝型地震について、その震源域、規模、発生確率等の長期的な評価を行っている。

同委員会が公表している各領域における海溝型地震の発生確率を表 4.2.1 及び図 4.2.9 に示す。

表 4.2.1 海溝型地震の今後 30 年以内の地震発生確率³³⁾

領 域	地震規模 (マグニチュード)	地震発生確率	備 考
■千島海溝・日本海溝			
根室沖	M7.9 程度	50%程度	十勝沖と連動はM8.3
三陸沖北部	M7.1~7.6	90%程度	
宮城県沖	M7.0~7.3	60%程度	
茨城県沖	M6.7~7.2	90%程度以上	
三陸北部~房総沖の 海溝寄り(津波地震)	Mt8.6~9.0 前後	30%程度	Mt: 津波高さから求まる地震の規模
■相模トラフ			
南関東	M6.7~7.2 前後	70%程度	
■南海トラフ・駿河トラフ			
東海	M8 程度	88% (参考値)	隣接する地域との連動性のメカニズムが未解明のため、他の発生確率と同程度の信頼性がない
東南海	M8.1 前後	70%程度	
南海	M8.4 前後	60%程度	東南海と同時はM8.5 前後
■日本海溝			
佐渡島北方沖	M7.8 程度	3~6%程度	
■その他			
日向灘	M7.1 程度	70~80%程度	



図 4.2.9 海溝型地震の今後 30 年以内の地震発生確率³³⁾

5 東北地方太平洋沖地震の津波の特徴および被害状況

5.1 震源と地殻変動

5.1.1 震源

東北地方太平洋沖地震は、2011年3月11日14時46分に、図5.1.1、図5.1.2に示す日本海溝沿いの北米プレートと太平洋プレートとの境界部で発生した。気象庁は、地震の震源は三陸沖約130kmで、震源深さは24km、地震規模はモーメントマグニチュード(Mw)9.0と推定している(気象庁第16報)。

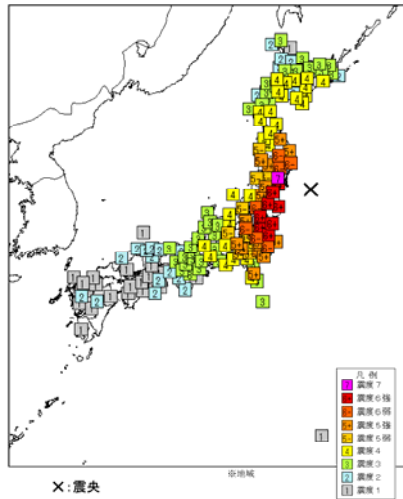


図 5.1.1 震度分布³⁴⁾

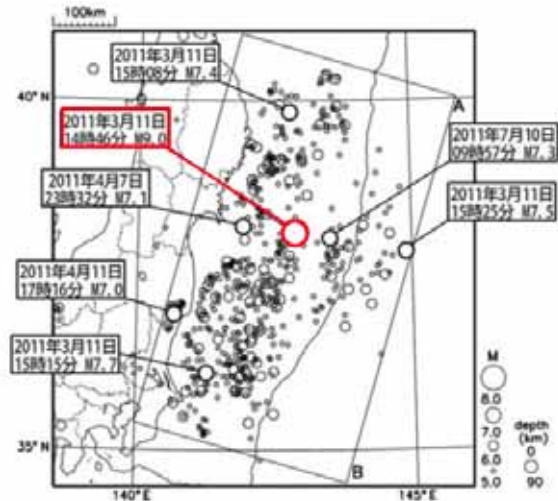


図 5.1.2 震央分布³⁵⁾

5.1.2 地殻変動

(1) 陸域の地殻変動

本震に伴う地殻変動の発生状況として国土地理院により GPS 観測に基づき解析された地殻変動状況を図5.1.3に示す。顕著な地殻変動は宮城県から福島県沿岸域で発生しており、宮城県牡鹿観測点では、東南東方向へ約5.3mの水平変位と約1.2mの沈降が生じている。

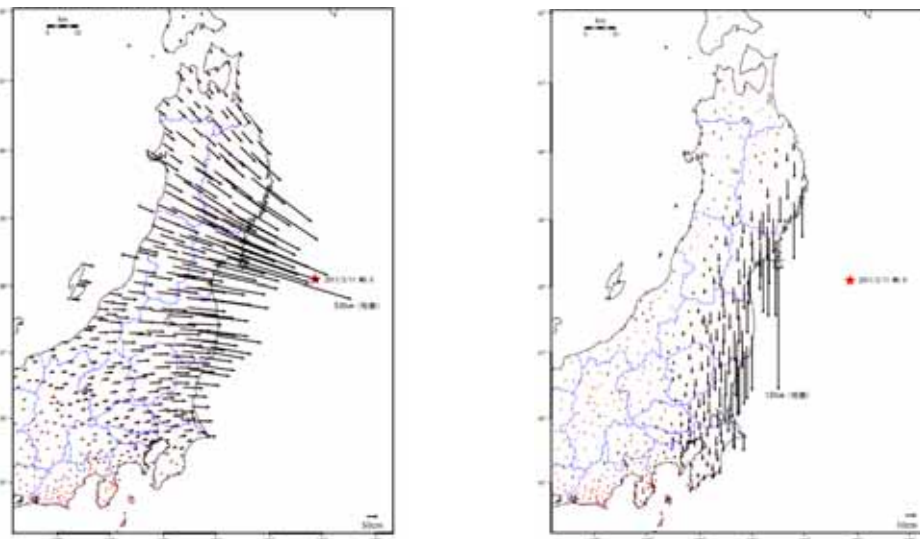


図 5.1.3 GPS 連続観測から得られた電子基準点の地殻変動³⁶⁾

(2) 海域の地殻変動

海上保安庁により3月28、29日に実施された海底基準局の観測データ解析に基づく海底地殻変動を図5.1.4に示す。

東北地方太平洋沖地震(M9.0)により、震源のほぼ真上に位置する宮城県沖の海底基準点で地震前と比べて東南東への約24m移動と約3mの隆起、震源の約40km陸側に位置する基準点で東南東への約15mの移動、福島県沖の基準点で東南東へ約5mの移動が発生していた。

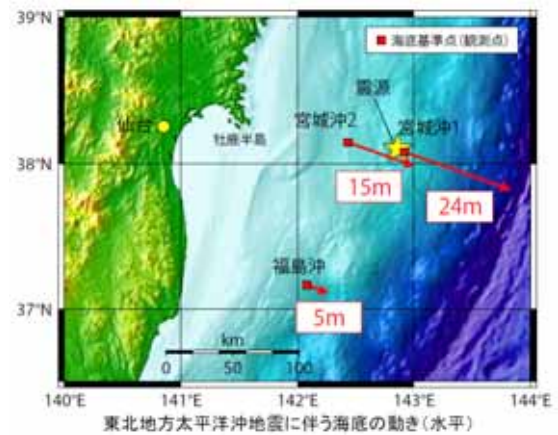


図 5.1.4 海底基準点の観測結果³⁷⁾

(3) 断層すべり量分布

1) 陸上観測点から推測した断層面上のすべり量分布

気象庁は、防災科学技術研究所のK-NETとKiK-netの観測記録および気象庁加速度計の波形を用いて、今回の地震の震源過程を分析し、図5.1.5に示すようなすべり分布を公開した。

解析条件として破壊開始点を北緯38.10度、東経142.86度、深さ23.7kmとしている。

解析の結果、すべりの大きな領域は、破壊開始点の東から北東側(震源よりも浅い部分)にあり、最大すべり量は約30m、主な断層の長さは約450km、幅は約150kmで、Mwは9.0、破壊の継続時間は約170秒となっている。断層の破壊は破壊開始点付近で0~60秒の間に徐々に拡大した後、南北方向に分かれて進行している。大きくすべった領域の周辺が余震多発地域となっている。

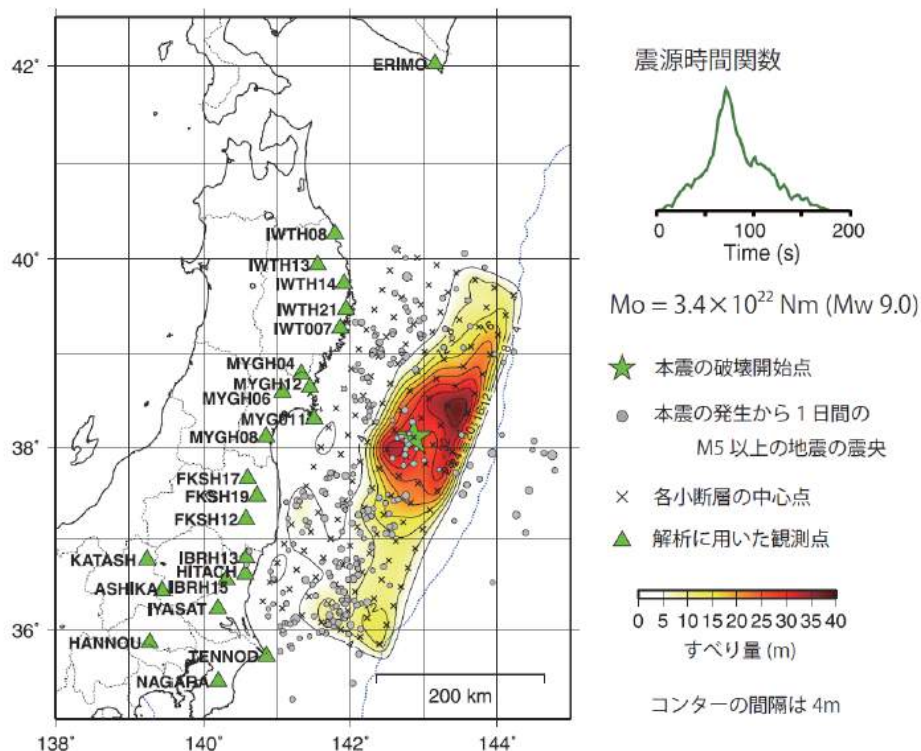


図 5.1.5 陸上観測点から推測した断層面上のすべり量分布³⁸⁾

2) 陸域 GPS 観測と海底地殻変動観測の両結果に基づくすべり量分布モデル

国土地理院は、陸域は国土地理院の GPS 連続観測 (GEONET)、海域は海上保安庁海洋情報部の海底地殻変動観測によって得られた地殻変動データの分析から図 5.1.6 に示すすべり分布モデルを推定した。最大すべり量は 54m 以上と推定されている。図 5.1.7 にはすべり量分布モデルに基づく隆起量を示すが、海底での最大隆起量は 12m 以上と推定されている。

図 5.1.8 には観測された地殻変動とすべり分布モデルにより推定される地殻変動との比較図を示す。岩手県から茨城県にかけての太平洋沿岸で大きな沈降が再現されている。

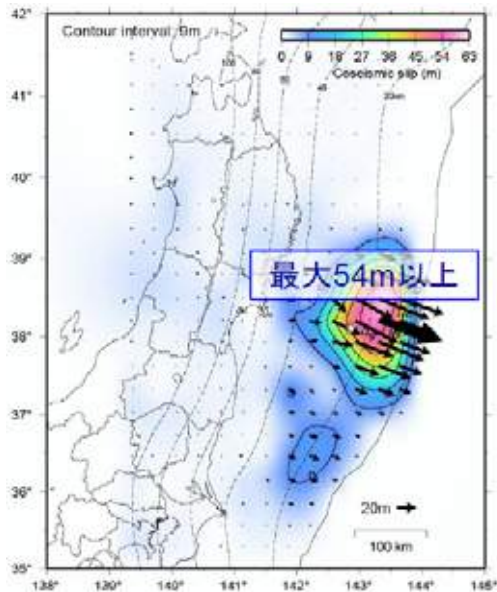


図 5.1.6 陸域 GPS 観測と海底地殻変動観測の両結果に基づくすべり量分布モデル³⁹⁾

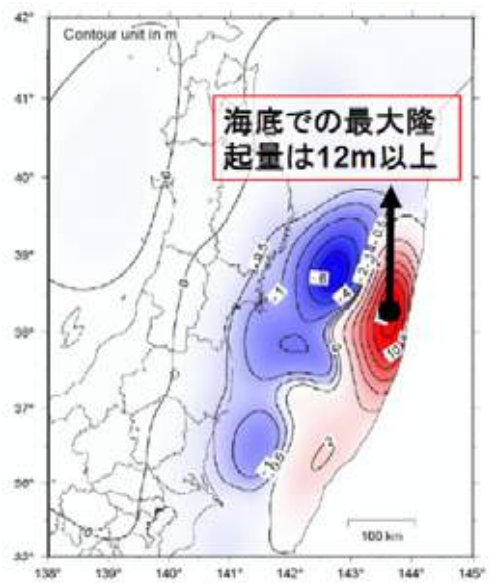


図 5.1.7 すべり量分布モデルに基づく地盤隆起³⁹⁾

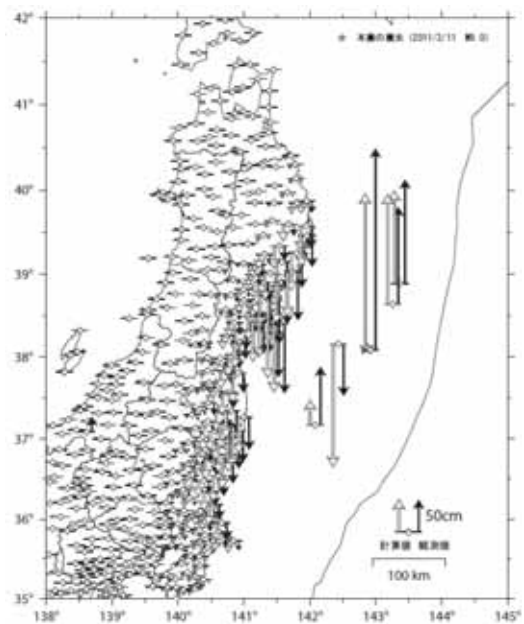
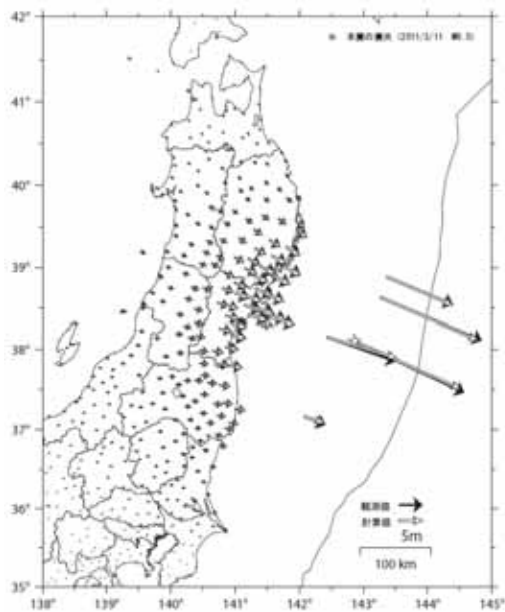


図 5.1.8 観測された変動とすべりモデルから計算される変動との比較⁴⁰⁾

5.2 津波高

5.2.1 津波痕跡高

津波痕跡高は津波がない場合の潮位から津波痕跡までの高さであり、痕跡高の中には図 5.2.1 に示す浸水高と遡上高が含まれる。浸水高は、津波到達時の潮位から建物の壁等に残る浸水の痕跡までの高さを表し、遡上高は津波到達時の潮位から斜面などに残る痕跡までの高さを表す。

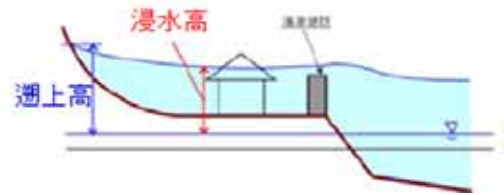


図 5.2.1 沿岸での津波高²⁾

地震後の現地調査により得られた津波痕跡高を図

5.2.2 に示す。東北地方を中心に広範囲にわたる非常に大きな津波痕跡高を記録している。

三陸海岸では津波痕跡高 30m を超える地域が南北に 198km、20m を超える地域が約 290km 以上、10m を超える地域は青森県から茨城県にかけ南北に 425km に分布している。外洋に直接面する東西方向の比較的小規模な谷でとくに遡上高が大きく、局所的には、大船渡市綾里湾で最大遡上高 40.1m を記録している。津波痕跡高およびその空間的な分布は、明治三陸津波、昭和三陸津波を上回る日本で記録された最大規模となる。

カナダ、米国、中南米等太平洋沿岸でも津波が観測され、チリでは最大 2m に達した。

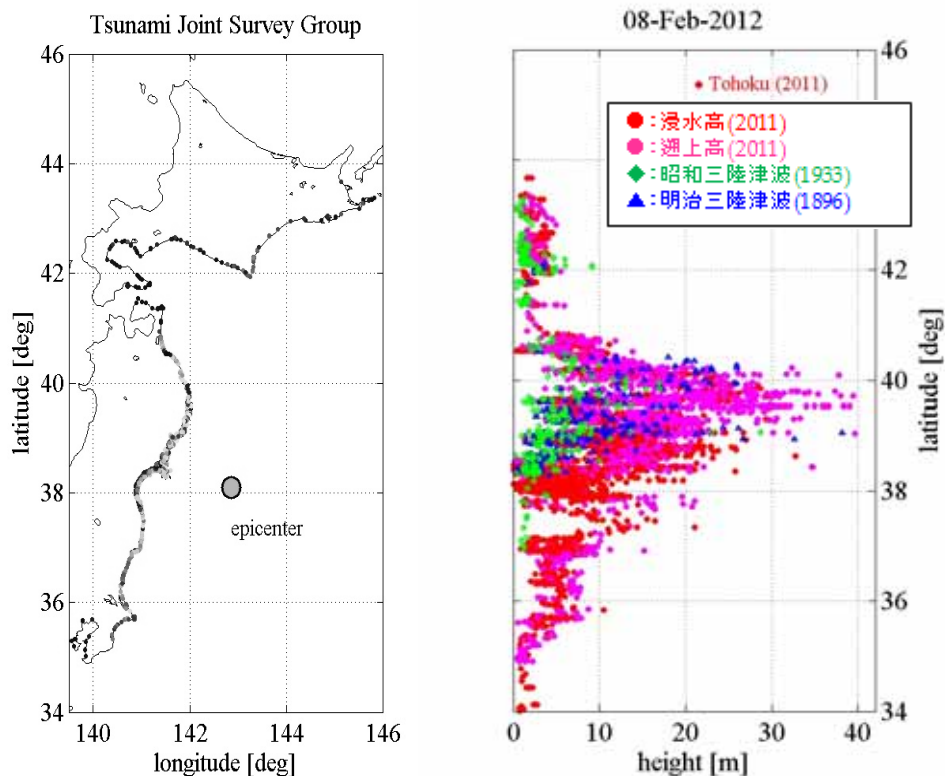


図 5.2.2 津波痕跡高⁴⁾

※津波来襲時潮位を基準とした高さ

5.2.2 沿岸での津波高

気象庁による沿岸での潮位計による計測値を図 5.2.3 に示す。東日本の太平洋沿岸の広い範囲に 5m に達する津波が来襲している。特に岩手県から福島県では相馬 9.3m 以上、石巻 8.6m 以上、宮古 8.5m 以上、大船渡 8.0m 以上の津波高が観測されている。

なお、この計測値は潮位計が破損するまでに記録された中で最も高い値であり、実際の津波高はこれよりも高かった可能性が高い。

5.2.3 釜石沖での津波波形

沖合で観測された津波波形として、釜石沖の水深 1,600m、1,000m に東京大学地震研により設置された海底ケーブル式津波観測システムによる津波波形記録を図 5.2.4 に示す。

TM1 は陸から約 76km の水深約 1,600m、TM2 は陸から約 47km の水深約 1,000m に設置された海底ケーブル式地震計システムでの海面変動記録である。TM1 では 14 時 46 分の地震発生直後から本震の振動が伝わった水圧変動に引き続いて徐々に毎分が約 2m 上昇し、約 11 分後さらに約 3m 急激に上昇している。TM2 でも、同様な二段階の津波を約 4 分遅れて記録している。

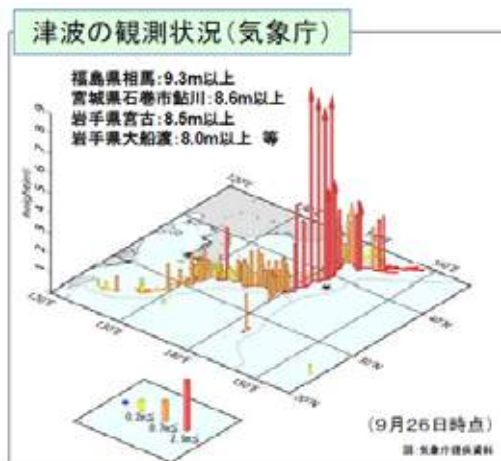


図 5.2.3 沿岸での津波高²⁾

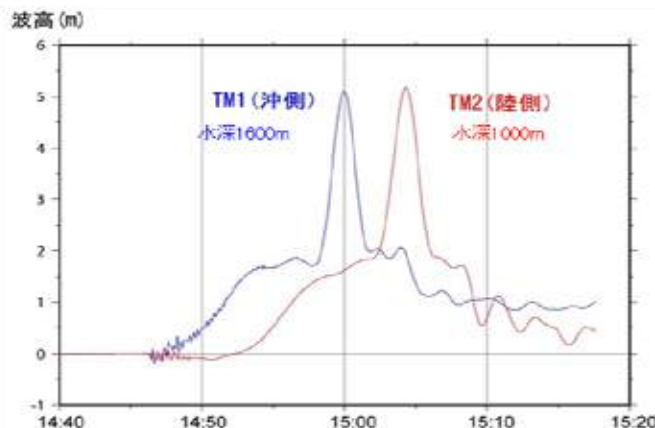
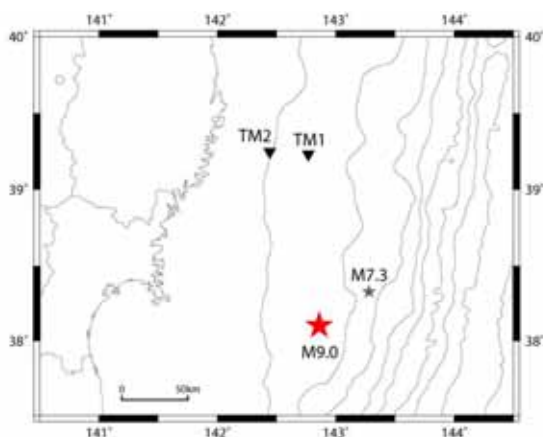


図 5.2.4 海底ケーブル式地震計システムで観測された海面変動⁴⁾

5.2.4 東北～四国の沖合での津波波形

東北～四国の沿岸沖合には GPS 波浪計が設置されており津波波形が観測されている。GPS 波浪計は沖に浮かべたブイの上下変動を GPS で 1 秒毎に計測する機器であり、東北～四国に 12 基、東北地方日本海側に 3 基、海岸から 10～20km 沖合の水深 100～300m の位置に設置されている。

GPS 波浪計により計測された津波波形を図 5.2.5 に示す。第一波(図中△印)は 14 時 46 分の地震発生から間もない 14 時 50 分台に到達しており、最大波(図中×印)は 15 時 12 分～15 時 19 分頃に 2.6～6.7m の波峰が観測されている。

波形はこの 1 波が突出し、岩手南部沖(釜石沖)で最大 6.7m を記録している。岩手中部沖、岩手南部沖での津波波形は、波峰の立ち上がりは 2 段階となっており、最初の 6 分間で 2m 上昇後、続く 4 分間でさらに 4m 以上急激に上昇している。津波波形は、周期が 40 分程度の穏やかな波形に急激に上昇する波形が重なる形であり、中部から四国では地震発生後 1 時間以上経過して第 1 波が到達し、波高は 0.3～0.5m となっている。

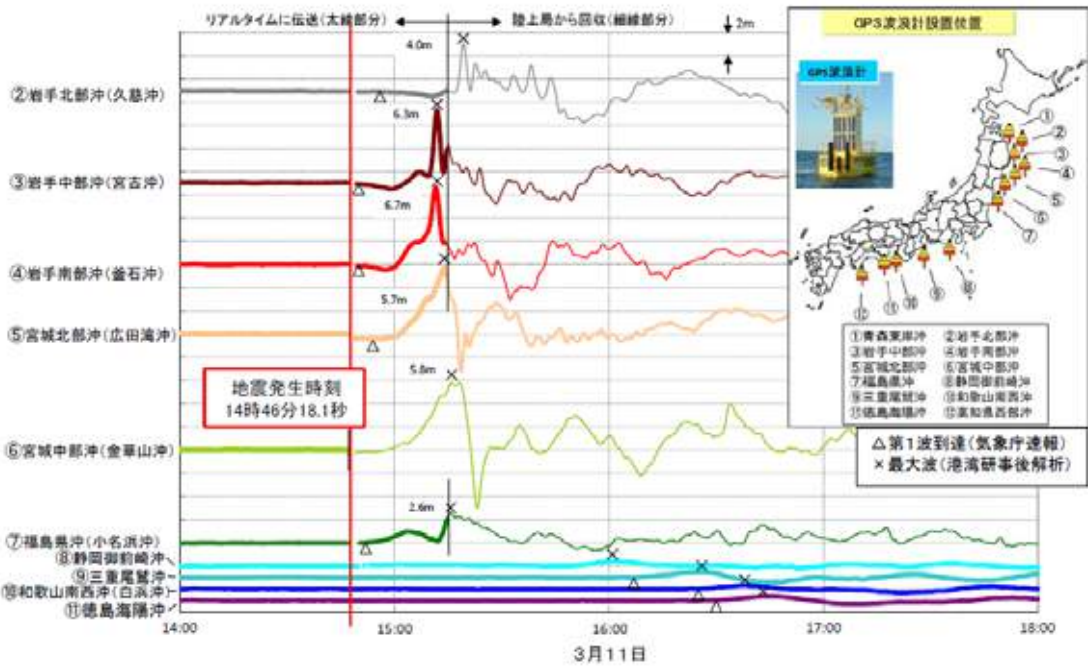


図 5.2.5 GPS 波浪計により計測された津波波形²⁾

5.2.5 東北地方太平洋沖地震の津波波形メカニズム

東北地方太平洋沖地震の津波波形のインバージョン解析(実測値と理論値とを比較してモデルを最適化する手法)による津波発生メカニズムを図 5.2.6 に示す。

今回の津波波形は深部プレート境界部すべりである 869 年貞観地震型すべりによるものと、日本海溝沿いの浅い領域のすべりである 1896 年明治三陸地震型すべりによるものの重ね合わせで説明できるとされる。

観測波形の最初の水位上昇は深部プレート境界部すべり、やや遅れた急激な水位上昇は日本海溝沿いの浅い領域のすべりによるもので、両者の時間的な重なり程度によって観測地点毎の津波波形が影響を受け、明治三陸型地震すべりによる水位変動が卓越した宮城沖では 2 段波形の形状を形成したと推定されている。

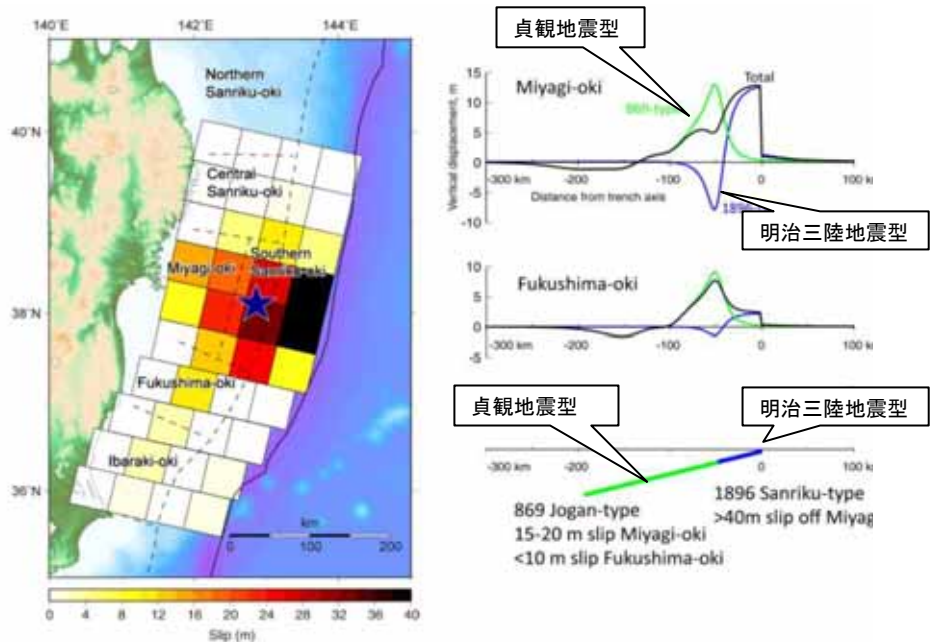


図 5.2.6 津波波形メカニズム⁴³⁾

5.3 津波浸水範囲

5.3.1 浸水範囲

津波の全貌を概査するため地震直後（3/12～19）に撮影した航空写真の実体視判読により、国土地理院が作成した津波浸水範囲を図 5.3.1 に示す。図中赤色着色部が浸水域である。

津波による浸水範囲は東北地方から関東地方の広範囲の沿岸に及んでいる。

5.3.2 浸水面積

東北地方太平洋沖地震の津波による市町村毎の浸水面積を図 5.3.2、表 5.3.1 に示す。宮城県から福島県北部にかけての平野部で被害が大きく、三陸地方のリアス式海岸部は山地が海岸まで迫り浸水面積は平野部に比べ小さい。浸水面積は青森、岩手、宮城、福島、茨城、千葉の 6 県合計で 561km² である。



図 5.3.1 津波浸水範囲⁴⁴⁾

表 5.3.1 市町村毎の浸水面積⁴⁵⁾



図 5.3.2 市町村毎の浸水面積²⁾

県	市区町村	市町村面積 (km ²)	浸水面積 (km ²)	県	市区町村	市町村面積 (km ²)	浸水面積 (km ²)
青森県		844	24	福島県		2,456	112
	六ヶ所村	253	5		新地町	46	11
	三沢市	120	6		相馬市	198	29
	おいらせ町	72	3		南相馬市	399	39
	八戸市	305	9		浪江町	223	6
	階上町	94	0.5	双葉町	51	3	
		4,946	58	大熊町	79	2	
岩手県	洋野町	303	1	富岡町	68	1	
	久慈市	623	4	楡葉町	103	3	
	野田村	81	2	広野町	58	2	
	菅代村	70	1	いわき市	1,231	15	
	田野畑村	156	1		1,444	23	
	岩泉町	993	1	北茨城市	187	3	
	宮古市	1,260	10	高萩市	194	1	
山田町	263	5	日立市	226	4		
大槌町	201	4	東海村	37	3		
釜石市	441	7	茨城県	ひたちなか市	99	3	
大船渡市	323	8	水戸市	217	1		
陸前高田市	232	13	大洗町	23	2		
		2,003	327	鉾田市	208	2	
宮城県	気仙沼市	333	18	鹿嶋市	106	3	
	南三陸町	164	10	神栖市	147	3	
	石巻市	556	73		689	17	
	女川町	66	3	銚子市	84	1	
	東松島市	102	37	旭市	130	3	
	松島町	54	2	鹿嶋市	102	1	
	利根町	45	0.5	横芝光町	67	1	
	塩竈市	18	6	千葉県	山武市	146	6
	七ヶ浜町	13	5	九十九里町	24	2	
	多賀城市	20	6	大網白里町	58	0.5	
仙台市	58	20	白子町	27	1		
若林区	48	29	長生村	28	1		
太白区	228	3	一宮町	23	1		
	名取市	100	27	合計 ^{*)}	12,382	561	
	岩沼市	61	29				
	亶理町	73	35				
	山元町	64	24				

5.3.3 津波遡上距離

津波遡上距離と痕跡高の関係を東北地方から関東地方にかけての沿岸を (a) ~ (g) の領域にわけ、図 5.3.4 に示す。

東北地方太平洋沖地震では、仙台平野における内陸部への長距離氾濫が大きな特徴の1つであり、平坦な平野部において内陸に向かって場所によっては海岸線から5km以上も遡上・氾濫している。

図 5.3.3 に見られるように陸上浸水域に比べ河川では遡上距離が2倍程度に達している。

北上川では堰天端を2m超える津波が河口から約50km遡上し、市街地内や田畑に浸水した。



図 5.3.3 津波の河川遡上⁴⁶⁾

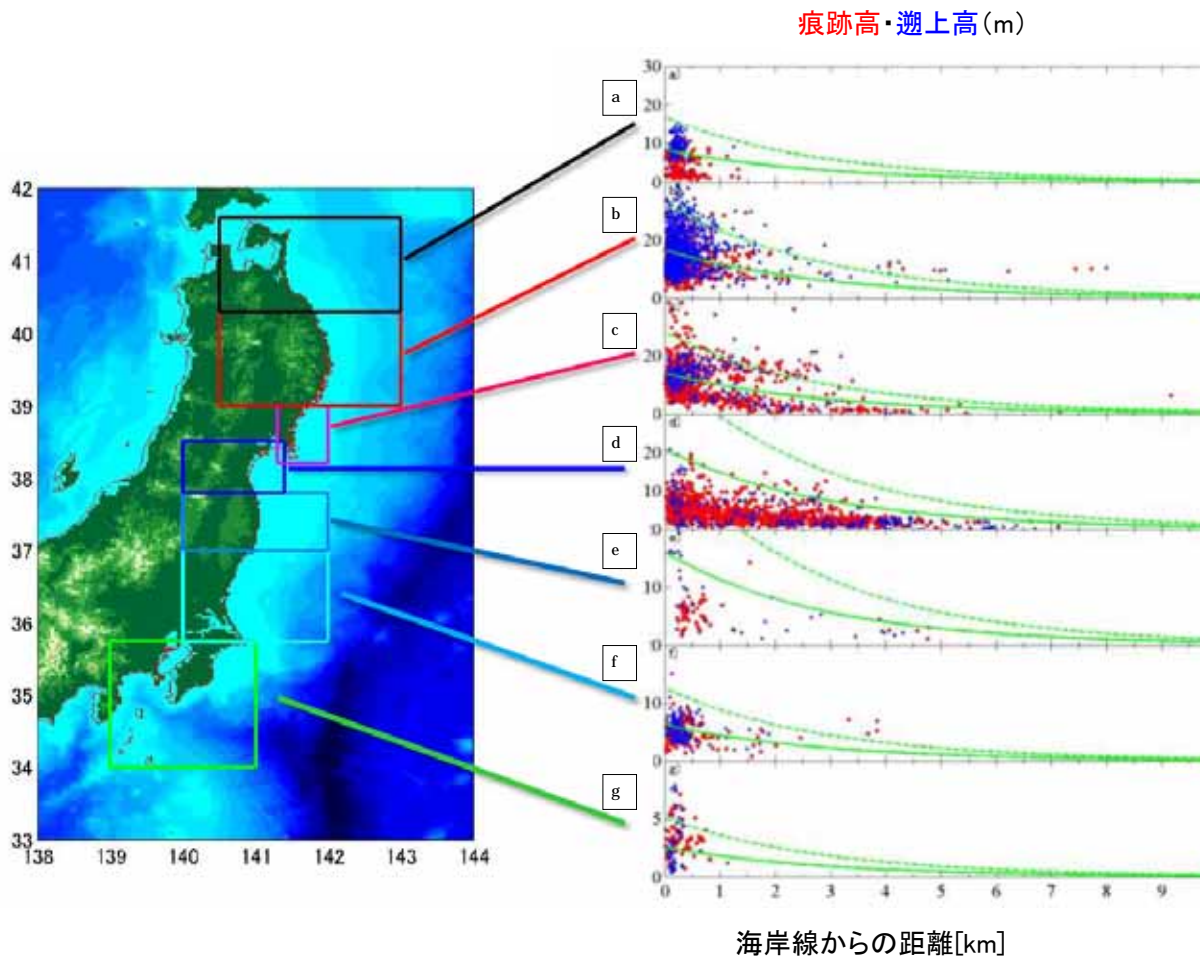


図 5.3.4 内陸への遡上距離⁴⁷⁾に加筆

5.4 市町村の被害状況

東北地方太平洋沖地震とそれに伴って発生した津波により、12 都道県にわたって広域に甚大な被害が発生した。以下にその概要を記載する。

(1) 全体像

1) 人的被害

警察庁の発表によると、2011年9月26日現在、死者は15,811人、届出があった行方不明者は4,035人となっている。日本国内で起きた自然災害で死者・行方不明者の合計が1万人を超えたのは戦後初めてであり、大津波や大震動に襲われた青森県から千葉県までの太平洋沿岸を中心に1都1道10県で死者・行方不明者が発生した。死者・行方不明者の都道県別内訳を表5.4.1に示す。岩手県、宮城県、福島県で特に被害が大きいことがわかる。

また、死者・行方不明者の市町村別被害を図5.4.1に示す。岩手県南部から福島県北部にかけて特に被害が大きいことがわかる。死者・行方不明者をあわせて1,000人を超えた市町村は岩手県内では大槌町、釜石市、陸前高田市、宮城県内では気仙沼市、石巻市、東松島市であり、その内訳を表5.4.2に示す。

表 5.4.1 都道県別内訳 (2011年9月26日時点)²⁾

都道県名	死 者	行方不明者	合 計
北海道	1	0	1
青森県	3	1	4
岩手県	4,664	1,651	6,315
宮城県	9,477	2,141	11,618
山形県	2	0	2
福島県	1,604	239	1,843
茨城県	24	1	25
栃木県	4	0	4
群馬県	1	0	1
千葉県	20	2	22
東京都	7	0	7
神奈川県	4	0	4
合 計	15,811	4,035	19,846

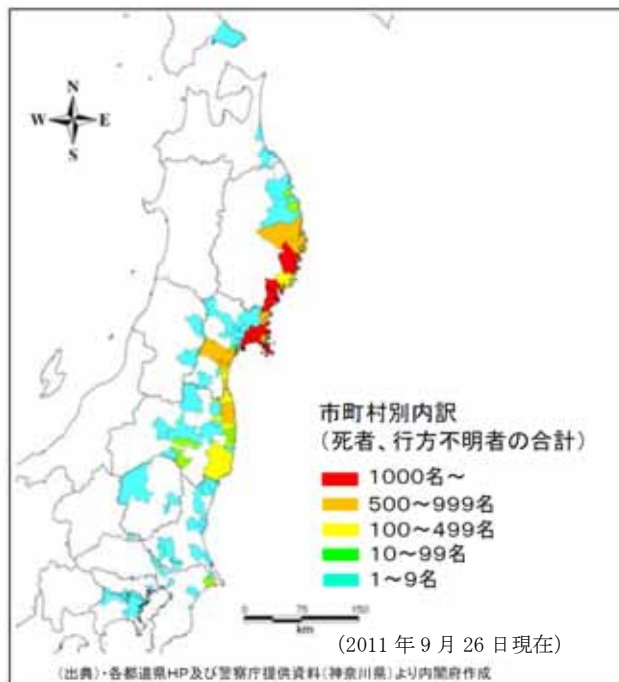


図 5.4.1 市町村別内訳²⁾

表 5.4.2 死者、行方不明者を合わせて千人を超える市町村の内訳²⁾
(2011年9月26日時点)

県名	市町村名	死 者	行方不明者	合 計
岩手	大槌町	802	576	1,378
	釜石市	884	198	1,082
	陸前高田市	1,554	394	1,948
宮城	気仙沼市	1,022	384	1,406
	石巻市	3,173	717	3,890
	東松島市	1,044	94	1,138

2) 建物被害

警察庁の発表によると、2011年9月26日現在、全壊建物は117,542戸、半壊建物は177,192戸となっている。全壊建物被害の都道県別内訳を表5.4.3に示す。宮城県、岩手県、福島県、茨城県、千葉県で特に被害が大きいことがわかる。

市町村の被害について水門・堤防がある地域、湾口防波堤がある地域、浸水深が深かった地域、平地が広範囲に浸水した地域に分けて被害状況の事例を幾つか記載する。

(2) 事例1：水門・堤防がある地域（岩手県宮古市田老地区）

1) 被災前

宮古市田老地区（旧田老町）はこれまでも1611年の慶長津波、1896年の明治三陸津波、1933年の昭和三陸津波により繰り返し甚大な被害をうけてきた。

そのため、津波に対する防御策として1934年より3期に分けて防潮堤が建設された結果、山側堤防である北向き防潮堤、西向き防潮堤、海側堤防である東向き防潮堤、南向き防潮堤で構成される総延長2,433mの「万里の長城」と形容されたX字形の防潮堤が集落を包み込む形で完成していた。東日本大震災発災前には、田老の防災の象徴であったこの巨大防潮堤は、チリ地震津波の被害を最小限に食い止めることに成功していた。被災前の田老地区の航空写真を図5.4.2に示す。



図 5.4.2 被災前の状況（宮古市田老地区）⁴⁸⁾

2) 被災後

津波は東向き防潮堤の北側を全て破壊して市街地に侵入した。そのため、臨海部の市街地は壊滅的な被害を受けている。「田老地区における死者・行方不明者は166名、建物倒壊は979棟」⁴⁹⁾となっている。

被災後の田老地区の航空写真を図5.4.3に示す。



図 5.4.3 被災後の状況（宮古市田老地区）⁴⁸⁾

3) 浸水状況

宮古市田老地区における浸水状況を図5.4.4に示す。防潮堤は黄色で示されている。

図5.4.4によると、浸水面積は約120haで内陸部へ1km程度浸水している。浸水高は全体では約7.7～15.8mとなっているが、防潮堤に守られていない北東部が15.5～15.8mと高く、それ以外の地域は7.7～8.8mとなっている。遡上高は全体では約7.3～28.4mとなっているが、市街地では7.3～12.9mと低く、それ以外の地域では14.8～28.4mと高くなっている。

表 5.4.3 都道県別内訳²⁾
(2011年9月26日時点)

都道県名	全壊建物
北海道	0
青森県	307
岩手県	20,209
宮城県	75,391
山形県	37
福島県	17,740
茨城県	2,799
栃木県	262
群馬県	0
千葉県	797
東京都	0
神奈川県	0
合計	117,542

明治三陸タイプの津波の浸水予測結果と比較すると、浸水面積は北向きにはほぼ予測範囲内に収まったと考えられるが、津波高さは、予測以上の高さの津波が観測されている。

観測された津波を防潮堤内外で比較すると、防潮堤外に比べて防潮堤内側では津波高さは小さくなっていった。防潮堤は壊れた部分もあったが、一定レベルの減災機能を発揮したことが伺える。

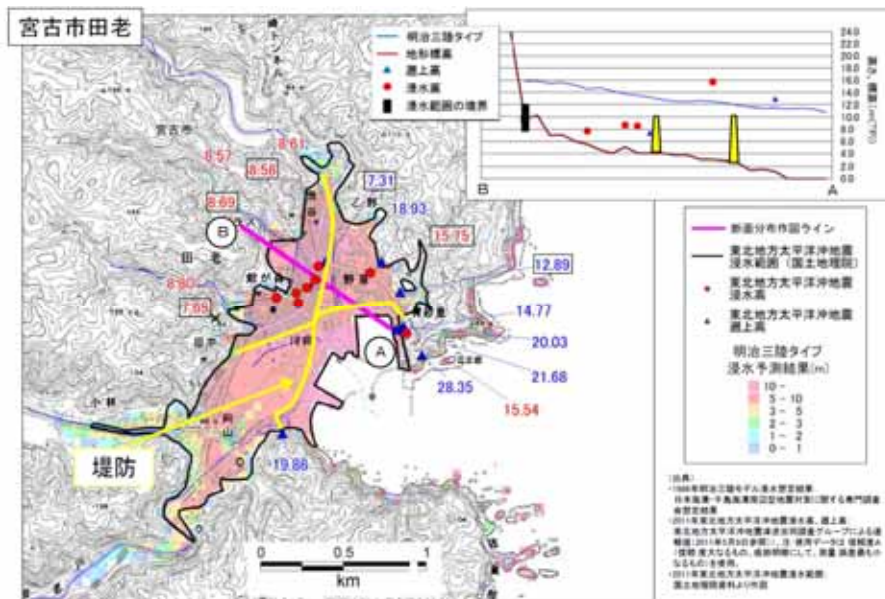


図 5.4.4 宮古市田老地区の浸水状況²⁾

(3) 事例 2 : 湾口防波堤がある地域 (岩手県釜石市)

1) 被災前

釜石市は、岩手県の南東部、陸中海岸国立公園の中心に位置し、世界三大漁場の一つである北西太平洋漁場の一角をなす三陸漁場と典型的なリアス式海岸を持つ市である。釜石港は津波の被害を受けやすい三陸海岸にあって古来から数多くの津波に襲われ尊い人命と貴重な財産を奪われてきた。この釜石湾沿岸を津波から恒久的に守るために、1978年から津波防止を兼ねた世界最大水深(-63m)の湾口防波堤の建設が行われた。



図 5.4.5 被災前の状況 (釜石市)⁴⁸⁾

湾口防波堤は、中央部 (開口部) の 300m

を大型船の航路として確保し、その両面に北堤 (990m) と南堤 (670m) の 2 本の防波堤をハの字型に配置したもので、大型ケーソンに消波機能を備えた構造 (スリットケーソン式混成堤) となっている。更に開口部には湾の遮蔽率を上げ、津波の遡上を抑えるため、海底から-19m まで潜堤を設けている。2008 年度に完成し、2010 年 7 月 27 日に「世界最大水深の防波堤 (Deepest breakwater)」としてギネス世界記録に認定された。被災前の釜石市の航空写真を図 5.4.5 に示す。

2) 被災後

津波により湾口防波堤はほとんど破壊されている。北堤はほぼ全壊し、南堤は 22 函のうち 12 函が倒壊もしくは崩壊している。「死者・行方不明者は 1,082 名、建物倒壊は 3,627 棟」⁴⁸⁾となっている。

港湾空港技術研究所の解析によると、津波により防波堤の港外側と港内側に水位差が発生し、港の入口や防波堤ケーソンの目地に強い水流が発生した。強い水流と越流で基礎マウンドの石材が洗掘さ

れた結果、その上部にあったケーソンが不安定になり破壊が進行したとされている。これに加えて、ケーソンに巨大な水圧が発生し、マウンドから滑落させたのが主な被災原因とされている。また津波数値計算によると、湾口防波堤により、釜石港内の験潮所での津波の高さは約4割低減し、釜石港須賀地区の大渡川沿いにおける津波の最大遡上高は約5割低減している。また、防波堤により、津波が湾内の防潮堤を越え浸水が始まった時間が6分間遅れており、水位上昇を遅延させる効果があったとみられる。被災後の釜石市の航空写真を図5.4.6に示す。



図 5.4.6 被災後の状況（釜石市）⁴⁸⁾

3) 浸水状況

釜石市における浸水状況を図5.4.7に示す。湾口防波堤は黄色で示されている。

図5.4.7によると、浸水面積は約7km²で内陸部へ1km程度浸水している。浸水高は全体では約5.8~17.8mとなっているが、湾口防波堤に守られている市街地が5.8~11.2mと低く、守られていないそれ以外の地域は11.3~17.8mと高く観測されている。遡上高も全体では約8.0~24.6mとなっているが、市街地では8.0~9.0mと低く、それ以外の地域では10.3~24.6mと高くなっている。湾口防波堤により一定レベルの減災機能を発揮したことが観測データからも伺える。

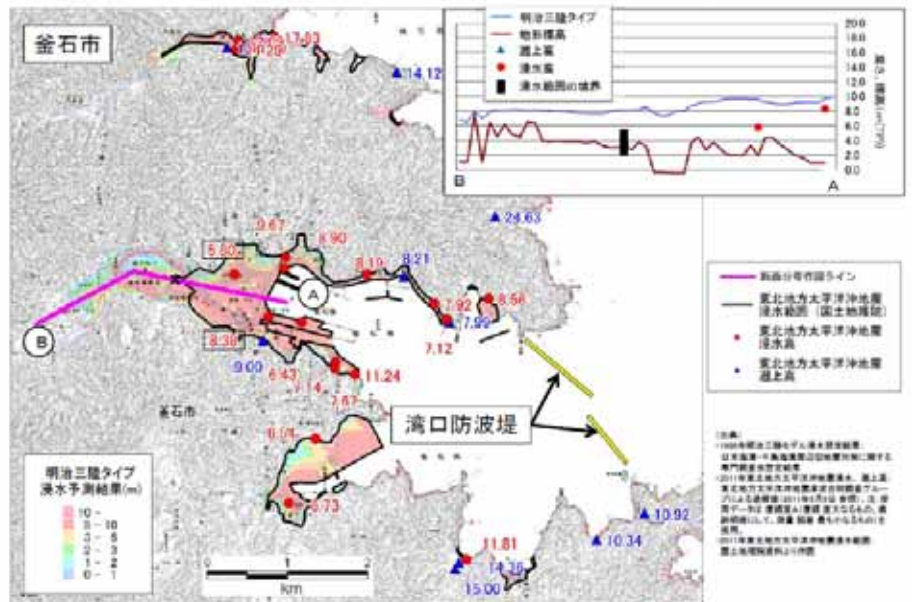


図 5.4.7 釜石市の浸水状況²⁾

明治三陸タイプの津波の浸水予測結果と比較すると、湾口防波堤に守られた市街地については予測よりも小さくなっており、浸水高・遡上高とも市街地については予測よりも低くなっている。

(4) 事例3：浸水深が深かった地域（岩手県陸前高田市）

1) 被災前

陸前高田市は、岩手県南東部の太平洋岸に位置する都市であり、大船渡市や気仙沼市とともに陸前海岸北部の中核を成している。海岸部分には高田海岸防潮堤があり、高田松原と呼ばれる海岸防災林があり、川原川には水門がある。被災前の陸前高田市の航空写真を図5.4.8に示す。

2) 被災後

津波により、臨海部の市街地は市庁舎もろとも壊滅的な被害を受けている。市域にあるJR東日本5駅のうち4駅は駅舎などが流出し、線路も大きな被害を受けている。「陸前高田市の死者・行方不明者は1,948名、建物倒壊は3,341棟²⁾となり、岩手県最大の被害となっている。

高田海岸防潮堤および海岸防災林は破壊され、海岸部の多くは地盤沈下(60cm程度)や侵食の影響で水没している。内陸部にあった田畑は広大な湛水区域となっている。

海岸防災林でもあった高田松原はたった一本の松の木を除き全てなぎ倒された。一本残った松は「奇跡の一本松」と呼ばれ、陸前高田の復興のシンボルとして親しまれてきたが、今後も後世に受け継いでいくためにモニュメントとして保存整備することになった。被災後の陸前高田市の航空写真を図5.4.9に示す。



図 5.4.8 被災前の状況(陸前高田市)⁴⁸⁾



図 5.4.9 被災後の状況(陸前高田市)⁴⁸⁾

3) 浸水状況

浸水状況を図5.4.10に示す。

図5.4.10によると、浸水面積は約13km²で内陸部へ7km以上も浸水している。浸水高は全体では約9.4~18.3mとなっているが、内陸部でも9.4mを観測するなど、軒並み10mを超える値を示している。遡上高も全体では約10.9~21.1mとなっているが、内陸部でも10.9mを観測するなど、軒並み10mを超える値を示している。

明治三陸タイプの津波の浸水予測結果と比較すると、浸水面積は内陸部奥深くへ若干大きく浸水した以外はほぼ予測範囲と考えられる。内陸部奥深くへ浸水した原因としては、気仙川を含めた大小河川を津波が遡上したためと考えられる。明治三陸タイプの津波高さが最大約7mと予測されていたのに対し、その2~3倍の高さの津波が観測されている。高さ10m超の津波が市街地を縦横無尽に蹂躪したことが伺える。

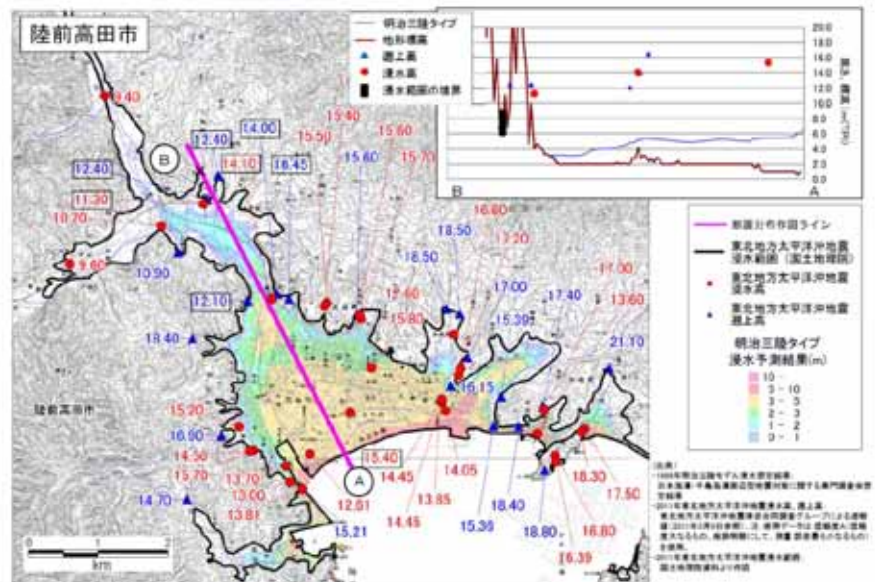


図 5.4.10 陸前高田市の浸水状況²⁾

(5) 事例4：平地が広範囲に浸水した地域（宮城県仙台市若林区）

1) 被災前

仙台市若林区は、広瀬川、名取川を西南の境とし、東は仙台湾に面する田園の広がる全体的に低平な土地である。海岸部分には荒浜と呼ばれる砂浜が広がっており、その内陸側に海岸防災林がある。被災前の仙台市若林区の航空写真を図 5.4.11 に示す。



図 5.4.11 被災前の状況(仙台市若林区)⁵⁰⁾

2) 被災後

津波は砂浜を乗り越え、海岸防災林を破壊し、背後の住宅地に被害を与えている。「仙台市全体では死者・行方不明者は730名、建物倒壊は23,166棟（全壊）、59,394棟（半壊）」²⁾となっており、宮城県最大の被害となっている。

砂浜は部分的に侵食されており、沿岸方向にほぼ一様に浸水がみられる。沿岸部の多くは30cm程度地盤沈下している。内陸部にあった田畑は海水で冠水している。被災後の仙台市若林区の航空写真を図 5.4.12 に示す。



図 5.4.12 被災後の状況(仙台市若林区)⁵⁰⁾

3) 浸水状況

仙台市若林区における浸水状況を図 5.4.13 に示す。

図 5.4.13 によると浸水面積は約 29km² で若林区の約 60% が浸水している。内陸部へ6km程度浸水しているところもある。浸水高は全体では約 1.4～14.1m となっている。沿岸部は 6.7～14.1m と高いが、宮城県道 10 号線より内陸側では 1.4～4.5m と 5m を超えない値が観測されている。海岸防災林が津波を減衰させ、貞山堀が津波のエネルギーを減衰させ、県道も津波を一時的にせき止めたことが要因と考えられる。遡上高は全体では約 1.7～3.6m となっているが、仙台市東部有料道路も津波の浸水をせき止めていることがわかる。南側で浸水しているのは、越流したのではなく、高架部やボックスカルバートの開口部より浸水したためである。

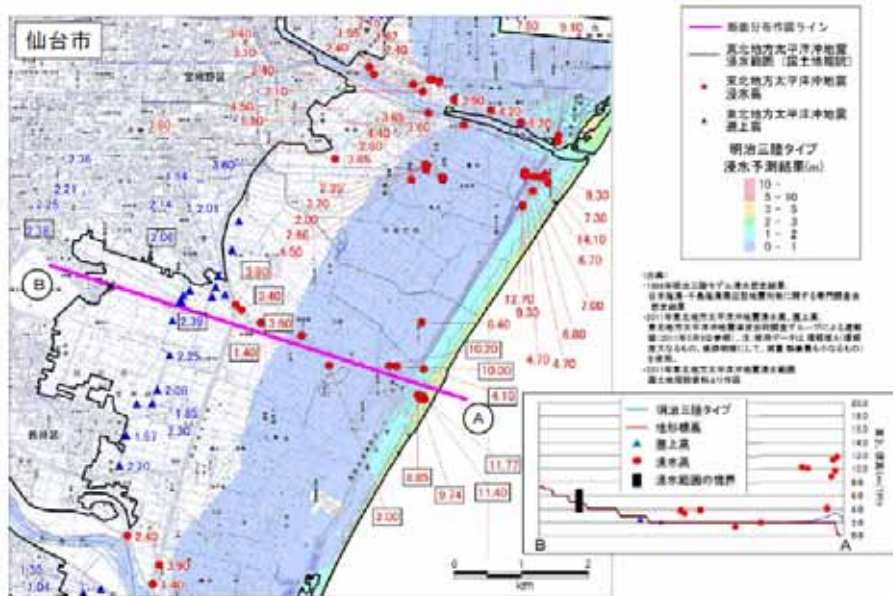


図 5.4.13 仙台市若林区の浸水状況²⁾

また、明治三陸タイプの津波の浸水予測結果と比較すると、浸水面積は内陸部へより深く浸入している。

また、明治三陸タイプの津波高さが最大約 4m と予測されていたのに対し、1～14m の高さの津波が観

測されている。

(6) 事例5：平地が広範囲に浸水した地域（宮城県亶理郡山元町）

1) 被災前

亶理郡山元町は、宮城県の東南端の太平洋沿岸に位置する町である。田園が広がる地区であり、海岸には海岸防災林、堤防、坂元川水門がある。被災前の山元町の航空写真を図 5.4.14 に示す。



図 5.4.14 被災前の状況（亶理郡山元町）⁴⁸⁾

2) 被災後

津波は堤防を全壊させ、海岸防災林を破壊し、背後地に壊滅的な被害を与えている。沿岸 6 部落が壊滅し、「死者・行方不明者は 691 名、建物倒壊は 2,208 棟（全壊）、1,059 棟（半壊）」²⁾となっている。

海岸線は侵食されており、海岸部の多くは 30cm 程度地盤沈下している。内陸部にあった田畑も海水で冠水している。被災後の山元町の航空写真を図 5.4.15 に示す。

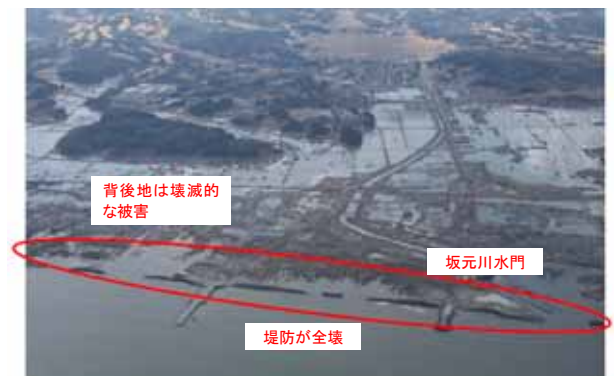


図 5.4.15 被災後の状況（亶理郡山元町）⁴⁸⁾

3) 浸水状況

亶理郡山元町における浸水状況を図 5.4.16 に示す。

図 5.4.16 によると、浸水面積は約 24km² で内陸部へ 3km 以上浸水しているところもある。浸水高は約 1.7～13.6m となっている。遡上高は最大 8.5m となっている。

明治三陸タイプの津波の浸水予測結果と比較すると、浸水面積は内陸部へより深く侵入している。明治三陸タイプの津波高さが最大約 3m と予測されていたのに対し、2～14m の高さの津波が観測されている。

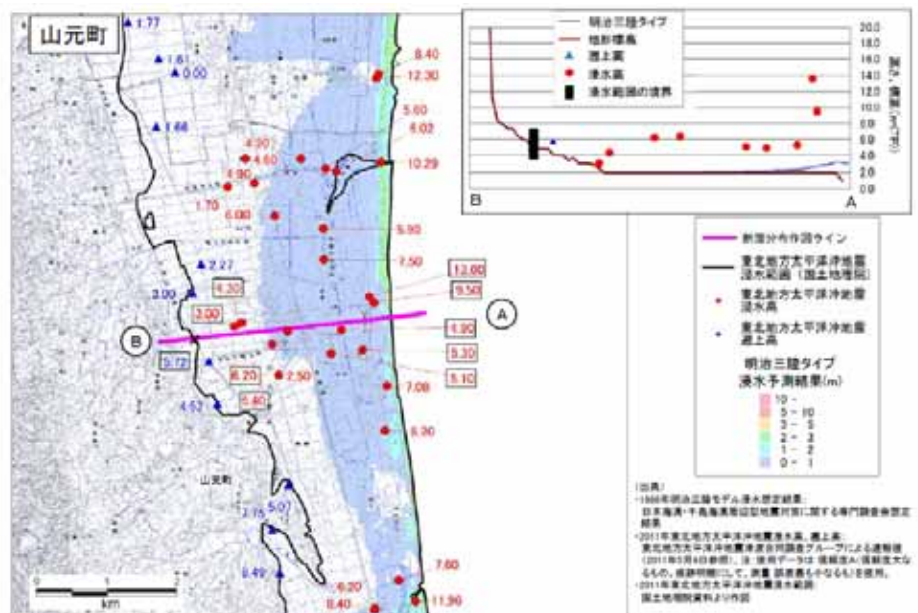


図 5.4.16 亶理郡山元町の浸水状況²⁾

5.5 施設の被害状況

5.5.1 港湾

(1) 港湾施設の被害の概要

東北地方太平洋沖地震の震度分布、津波の高さ及び到達時間の分布を図5.5.1に示す。津波高は明治三陸津波（1896年）、昭和三陸津波（1933年）やチリ地震津波（1960年）以上であり、特に三陸沿岸南部でははるかに大きく、陸前高田市や気仙沼市で被害が拡大した。仙台平野では貞観津波（869年）に匹敵するものであった。

太平洋沿岸の広い範囲で著しい被害が発生した。港湾施設に大きな被害を与える0.3~1.0Hz前後の周波数帯の地震動は南部で卓越した。北部では津波による防波堤、防潮堤等の被害が、南部では地震動による係留施設や護岸の被害が顕著であった。防波堤は八戸港、釜石港、相馬港等でそれぞれ1km以上の被災が見られた。岸壁は多くで法線のはらみ出しと地殻変動や液化化による沈下が観察された。荷役機械は地震動で倒壊したものと倒壊しなくても浸水で電気系統が損傷し使用できなくなったものがあつた。上屋は津波による流水圧により壁面が損壊する事例が数多く発生した。

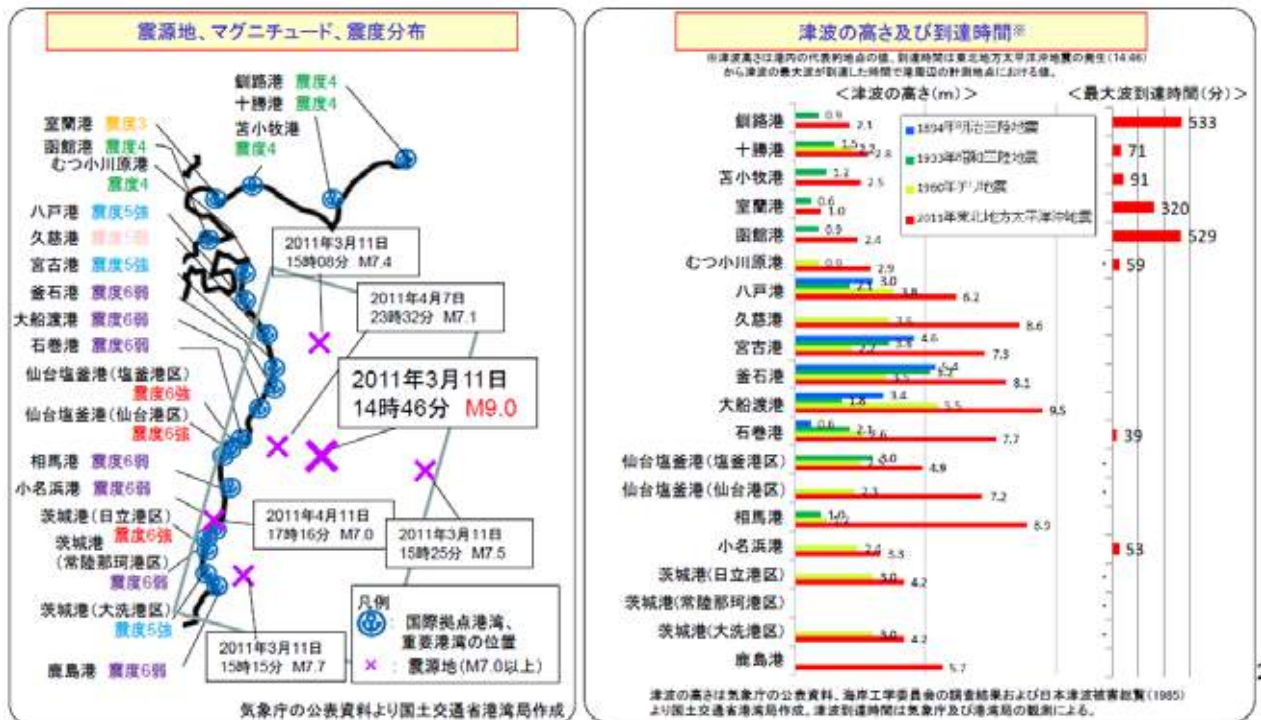


図 5.5.1 震度分布、津波の高さ及び到達時間⁵¹⁾

(2) 事例1：防波堤

1) 八戸港八太郎地区 北防波堤

八戸港八太郎地区の北防波堤では、ケーソン総延長 3,496.19mのうち、1,869.62m（142 函）が被災した。先端部 700m では堤頭函は被害を受けなかった。それ以外は消波ブロックおよびケーソンが水没し、数函のみが海上で確認可能であった。堤頭函は港内側にも消波ブロックが据えられていたため、滑動抵抗が大きかったもようである。

中央部でも岸側寄りの 837m では多くのケーソンが水没した。

開口部では深さ 10m 程度の洗掘が確認された。このような津波による海底面の洗掘は、2003 年の十勝沖地震の際に釧路港でも確認されている。

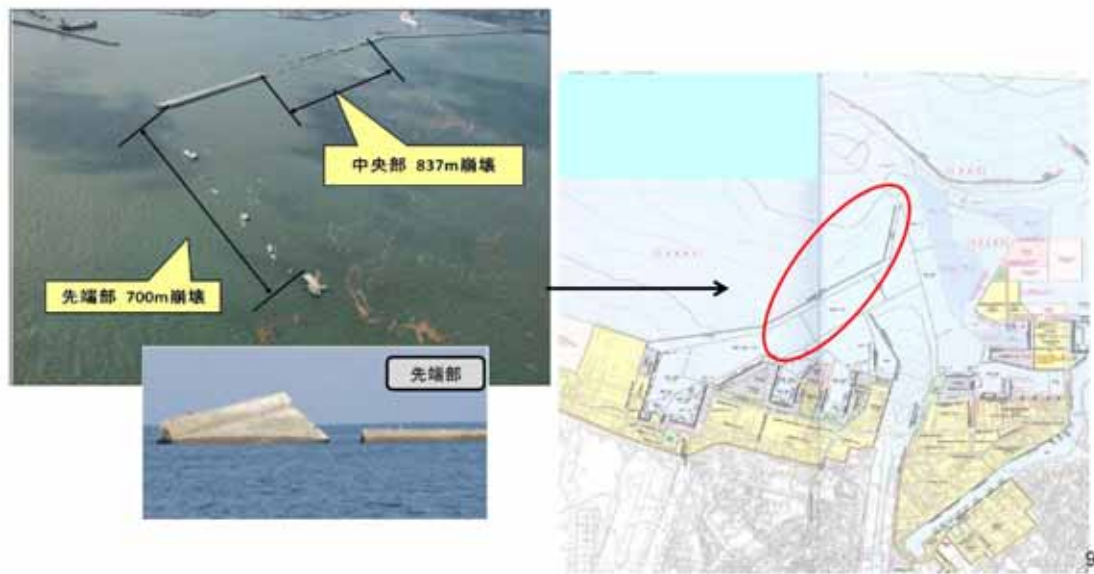


図 5.5.2 防波堤の代表的被災例（八戸港八太郎地区 北防波堤）⁵²⁾

2) 釜石港 湾口防波堤

釜石港の湾口防波堤は、南堤（670m）、北堤（990m）および開口部潜堤（300m）で構成されていた。このうち、南堤は 22 函（深部 19 函、浅部 3 函）のうち、最深部（開口部側）から 10 函は残存した。11 函目が港内側へ大きく傾斜し、12 函目以降はほとんどのケーソンが港内側へ転落した。

北堤は 44 函（深部 22 函、浅部 22 函）のうち、浅部 7 函程度は残存した。浅部は上記以外はかなりの部分が港内側へ転落し、深部は大半が港内側へ傾斜した。

開口部潜堤も大部分のケーソンが港内側へ転落した。

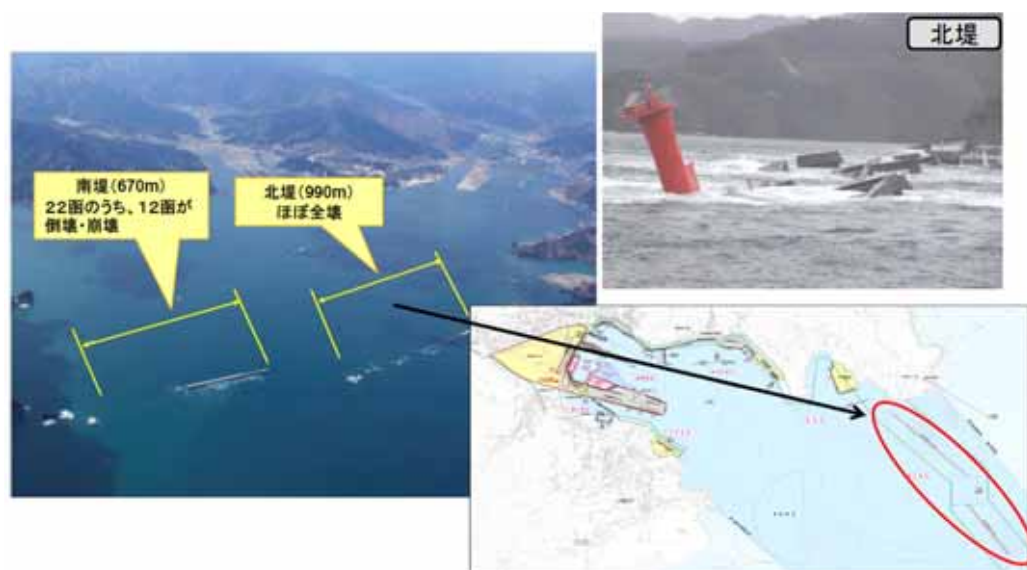


図 5.5.3 防波堤の代表的被災例（釜石港 湾口防波堤）⁵²⁾

(3) 事例 2 : 護岸

八戸港海岸八太郎地区と釜石港海岸須賀地区の護岸の被災事例を図 5.5.4、図 5.5.5 に示す。八戸港海岸八太郎地区は押し波により、釜石港海岸須賀地区は引き波により被災した。



図 5.5.4 押し波による護岸の被災事例⁵²⁾



図 5.5.5 引き波による護岸の被災事例⁵²⁾

(4) 事例 3 : 防潮堤

大船渡港海岸の茶屋前地区と永浜地区の防潮堤の被災事例を図 5.5.6、図 5.5.7 に示す。茶屋前地区は押し波により、永浜地区は引き波により被災した。



図 5.5.6 押し波による防潮堤の被災事例⁵²⁾



図 5.5.7 引き波による防潮堤の被災事例⁵²⁾

(5) 事例 4 : 陸閘

宮古港海岸高浜地区と釜石港海岸須賀地区の陸閘の被災事例を図 5.5.8、図 5.5.9 に示す。宮古港海岸高浜地区は押し波により、釜石港海岸須賀地区は引き波により被災した。



図 5.5.8 押し波による陸閘の被災事例⁵²⁾



図 5.5.9 引き波による陸閘の被災事例⁵²⁾

(6) 事例5：荷役機械・上屋・電気設備および漂流物

以下に荷役機械（仙台塩釜港（仙台港区））、上屋（釜石港）、電気設備（大船渡港山口地区水門）、漂流物（仙台塩釜港（塩釜港区））による被害の事例を図 5.5.10～図 5.5.13 に示す。



図 5.5.10 荷役機械の被災事例⁵²⁾



図 5.5.11 上屋の被災事例⁵²⁾



図 5.5.12 電気設備の被災事例⁵²⁾



図 5.5.13 漂流物による被災事例⁵²⁾

5.5.2 空港

(1) 仙台空港の津波による浸水深さ

仙台空港は、宮城県中南部（名取市と岩沼市）の海に近い国管理空港で、滑走路は A 滑走路 1,200m、B 滑走路 3,000m の 2 本有しており、東北の空の玄関口として重要な役割を果たしている。空港東側には、約 1km 離れて海岸線がある。

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分地震発生後、大津波警報発令を受け避難を開始し、15:06 仙台空港を閉鎖した。そして、大津波は地震発生から約 70 分後の 15:56 に空港東側から来襲し、約 2 分で空港敷地内のほとんどが冠水した。

現地調査では、空港ターミナルビルの津波の浸水深さ 3.4m（地上から津波の痕跡まで）が推測されている。空港敷地内の浸水深さは、図 5.5.14 に示すとおり B 滑走路西側では 0.5～1.0m（黄色のコンター）、空港中央部では 1.0m～2.0m（紫から水色のコンター）であった。浸水状況は、図 5.5.15～図 5.5.17 に示す。また、震災翌日の 3/12 時点では、B 滑走路は舗装面が露出、A 滑走路と着陸帯及び誘導路はほぼ水没したままであった。

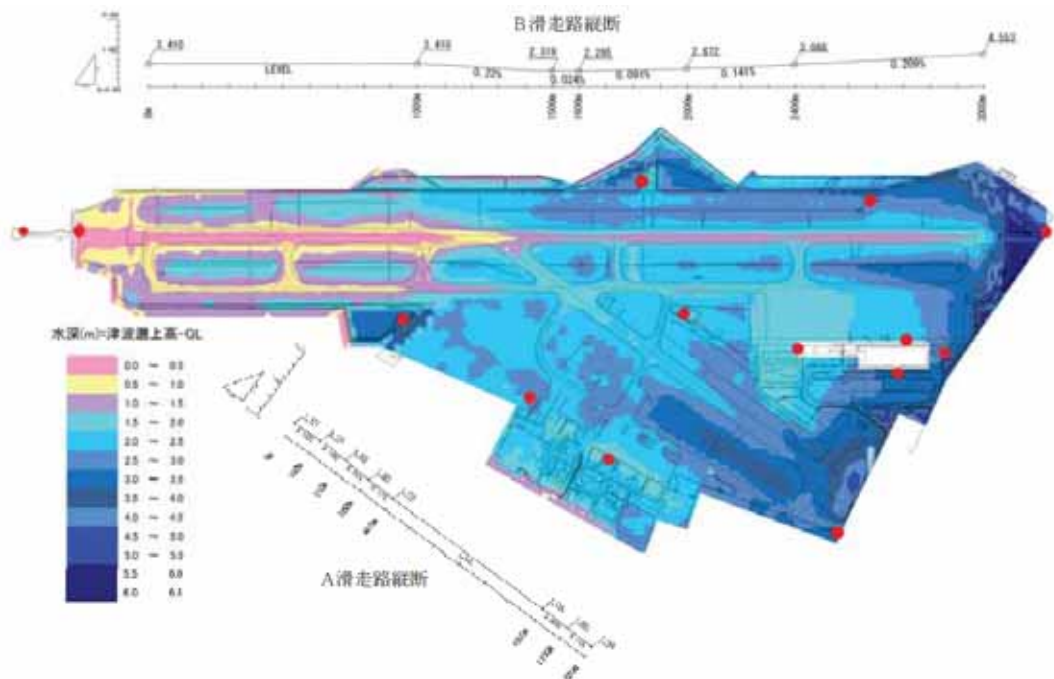


図 5.5.14 津波による浸水深さ⁵³⁾



図 5.5.15 空港ターミナルビル浸水状況⁵³⁾



図 5.5.16 津波で浸水した状況⁵³⁾



図 5.5.17 津波で浸水した状況⁵³⁾

(2) 被災概要

仙台空港は津波の来襲により、各空港施設の水没・破損、敷地内への漂着物等の被害が生じた。被害の概要は以下のとおりである。

1) 漂着物

空港内全域に、土砂、ガレキが散乱し、特に図 5.5.18、図 5.5.19 に示す A 滑走路や A 滑走路と B 滑走路との交差点およびエプロンには、車両等が多く漂着し、B 滑走路西側には木材等のガレキが多く漂着した。また、空港ターミナル地区周辺には車・木材等が漂着し、ターミナルビルの中にも図 5.5.20 に示すとおり漂流物が散乱していた。

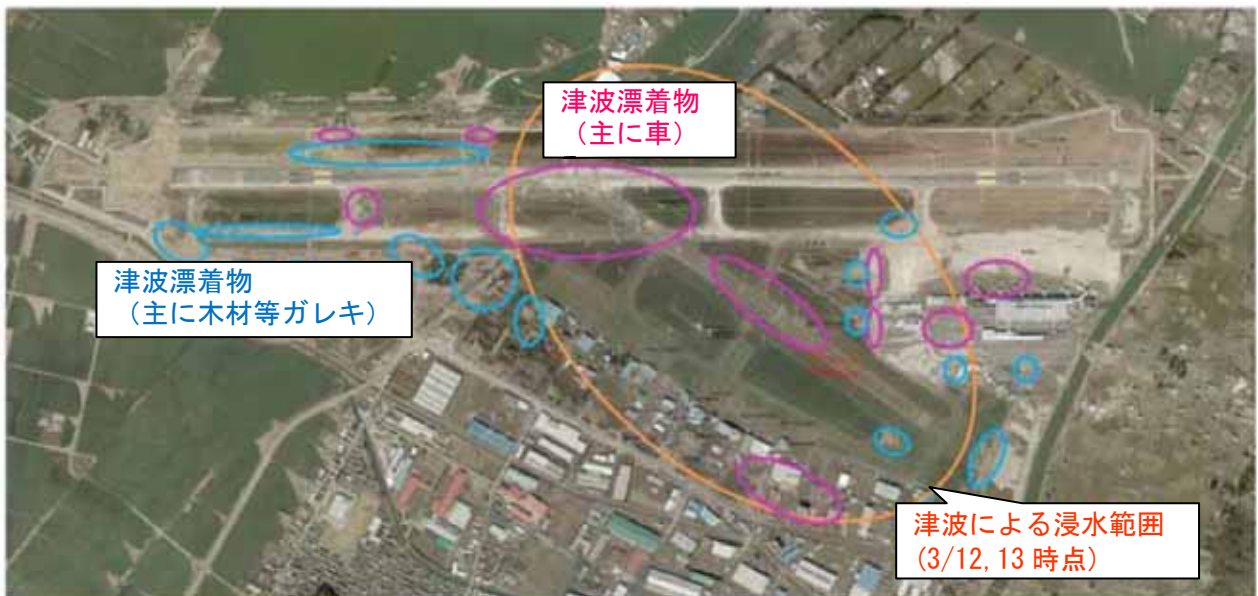


図 5.5.18 津波漂着物及び浸水状況⁵³⁾



図 5.5.19 A, B 滑走路交差点の漂流物状況⁵³⁾



図 5.5.20 建物内の漂流物状況⁵³⁾

2) 被災状況

主な仙台空港の被災状況は、表 5.5.1 のとおりである。ほとんどの空港施設は冠水し、1階の機器は水没、場周柵は倒壊した。なお、震災前に液状化対策の実施済みの滑走路は地震による被害がなく、誘導路の対策未実施部には舗装面の陥没があった。

震災後の空港は、3月16日(被災後5日目)にB滑走路1,500mを自衛隊等の救援機限定で運用開

始し、3月29日（被災後18日目）に3,000mを救援機限定で運用し、4月13日（被災後33日目）には民間航空機の就航を再開した。

表 5.5.1 主な仙台空港の被害状況⁵⁴⁾

対象施設		地震および津波による被害状況
空港基本施設	滑走路 誘導路 エプロン	・着陸帯全域に土砂・ガレキ・自動車等が散乱 ・一部エリアは冠水 ・クラック発生（滑走路、誘導路、エプロン）【地震】 ・液状化による陥没（県道地下道横断部）【地震】
管理・保安施設	場周道路 保安道路 場周柵	・地下道直上場周道路の沈下、空港東側場周道路の液状化【地震】 ・土砂・ガレキ・自動車等散乱、一部エリアは冠水 ・一部を残しほぼ全周にわたり場周柵が倒壊
管制・通信施設	通信（TX/RX） ASR/SSR（空港監視レーダー） ATIS（飛行場情報放送業務）	・管制塔、庁舎1階、機器室、監視制御装置は水没により使用不可 ・一部エリア（ASR/TX局舎、受信局舎）は若干浸水
航空保安無線施設	局舎、VOR/DME、ILS	・管制塔、庁舎1階、機器室、監視制御装置は水没により使用不可 ・一部エリア（VOR/DME、ILS（GS））は若干浸水
航空灯火施設	標準式進入灯 滑走路関連灯火、誘導路関連灯火 エプロン照明灯	・軽量型灯柱およびフェンス全数倒壊、一部流出 ・灯器の破損、流失等、冠水（誘導路関連灯火） ・電源盤冠水
空港電力施設	受配電設備、制御装置、予備発電設備	・浸水、冠水
消火救難施設	消防車等	・津波により消火救難車両被災
ターミナル施設	空港ビル、駐車場・道路	・1階浸水、津波により消火救難車両被災
アクセス施設	仙台空港鉄道	・空港下のトンネル区間が水没しガレキ等で埋没

（注） 地震による被害は【地震】と記載

5.5.3 河川

(1) 事例1：五戸川

五戸川は、延長50.7km、流域面積242.8km²で、青森県南東部を東流する川である。

図5.5.21は、五戸川沿川の浸水状況である。



図 5.5.21 五戸川沿川の浸水状況⁵⁵⁾

五戸川河口部では、防波堤と河川護岸の隙間から津波が浸入したとされている。また、北と南では天端の高さが違っており、低い方の河川堤防より津波が乗り越えてきたと考えられる。チリ地震時と比較して、遡上した津波到達範囲が大きく被害も大きい。上図赤破線で示される浸水範囲（青森県調査）により、津波が五戸川を遡上し、堤防を乗り越えて被害をもたらしたと推定できる。

被災当時、五戸川堤防の高さは6mであった。五戸川右岸の市川地区で計測された津波は、高さ6.2mとなっており、**図 5. 5. 22**に示すとおり、右岸の一部においては、越流により破堤が発生し、長さ24mにわたり堤体の半分以上が流出した。また、左岸部においては、破堤は起こらなかったものの、広範囲にわたる法尻侵食が多数確認されている。

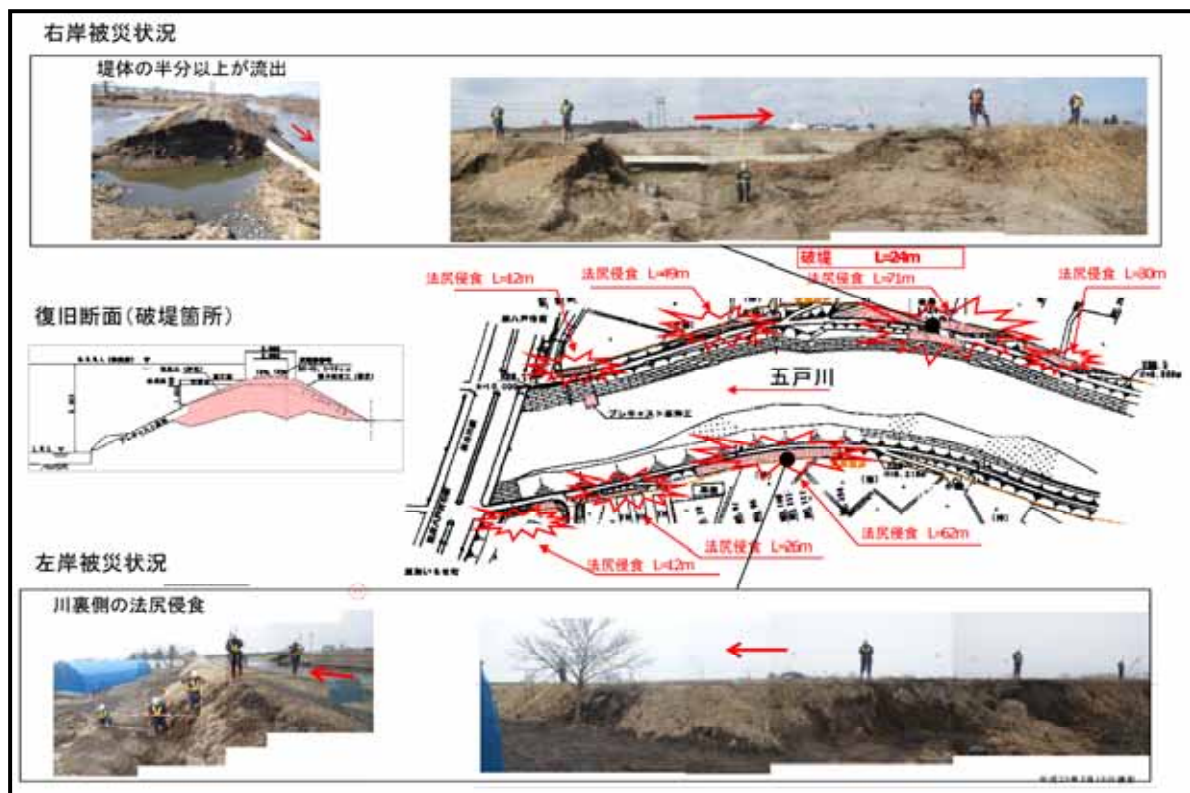


図 5. 5. 22 五戸川堤防被災状況⁵⁵⁾

(2) 事例 2 : 北上川

北上川は、岩手県及び宮城県を流れる一級河川であり、東北地方最大の河川で全国でも 4 番目の規模となる。日本の河川としては勾配がかなりゆるいことが特徴であり、延長は 249km、流域面積は 10,150km²におよぶ。**図 5. 5. 23**は、北上川沿川の浸水状況である。

北上川の河口で計測された津波は、高さ 7.0m 以上であった。また、津波による浸水域は、12km 程度にまで及んだ。

東北大学田中仁教授によると、「津波は、河口から約 50km の地点まで遡っていたとされる。国内に記録が残る津波の遡上は河口から十数 km であることが多く、今回の津波規模の大きさを示している。」としている。国土交通省が北上川に設置した水位計のデータを調べたところ、津波は河口から 17km 地点にある高低差 3m 以上の堰も乗り越えたとみられる。

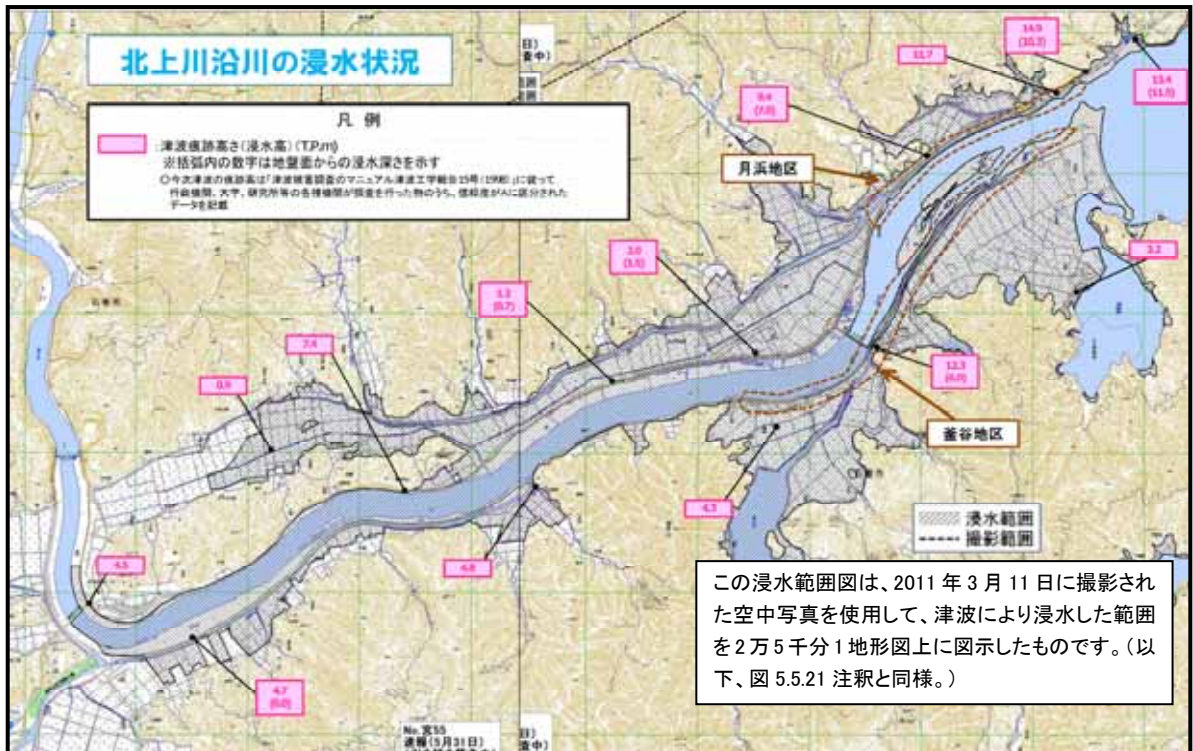


図 5.5.23 北上川沿川の浸水状況⁵⁵⁾

左岸側月浜地区の堤防は、1911年から1925年にかけて土堤部が施工された。図 5.5.24 によると、今回の津波の越流により、川裏が著しく侵食を受けていることが確認できる。

また、河口部特殊堤は、2006年に施工されており、図 5.5.25 によると、今回の津波により川側に引きずられるように倒壊・崩壊していることが確認できる。

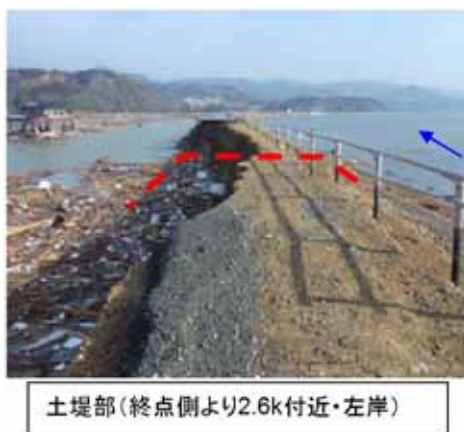


図 5.5.24 月浜堤防(土堤部)被災状況⁵⁵⁾



図 5.5.25 月浜堤防(特殊堤部)被災状況⁵⁵⁾

釜谷地区は、北上川河口から約5km上流の右岸側に位置する。

釜谷堤防は、堤防高5mで1955年から1996年にかけて施工された。図 5.5.26 に示すとおり、津波により、堤防約1,100mが流失した。堤体部分は、ほぼ全断面が流失している。決壊のメカニズムとしては、河川を遡上した津波が堤防を越流し、裏法面から洗掘が進行し、最終的に堤防の決壊に至ったと考えられる。なお、堤防流失区間は湾曲部となっており、津波遡上を受ける形状となっているこ

とから、被害が拡大したと推察される。

周辺の被害状況では、新北上大橋下流部に位置する大川小学校において、高台へ避難中に全児童の約7割が死亡、行方不明となった。

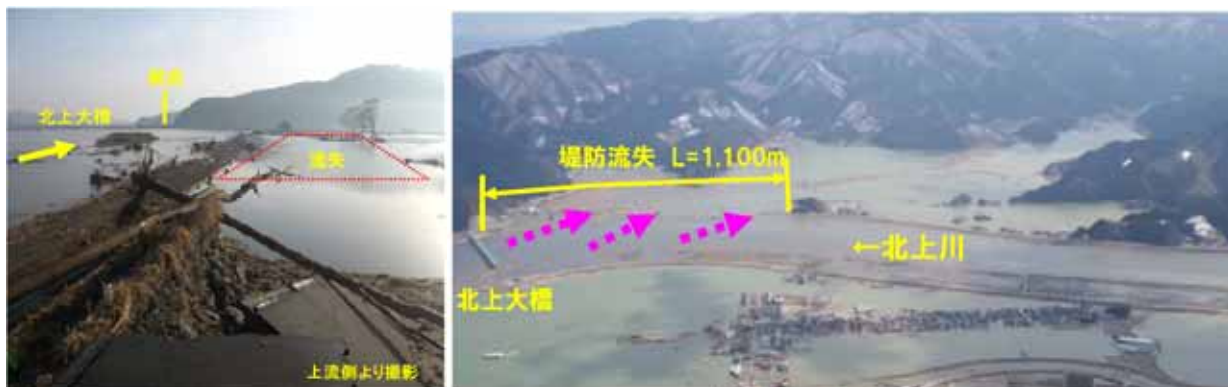


図 5.5.26 釜石地区堤防被災状況⁵⁵⁾

(3) 事例 3：鳴瀬川

鳴瀬川は、宮城県北部を流れる一級河川であり、延長 89km、流域面積は 1,133km² におよぶ。

図 5.5.27 は、鳴瀬川沿川の浸水状況である。



図 5.5.27 鳴瀬川沿川の浸水状況⁵⁵⁾

津波が河口より4~5km程度遡上し、内陸についても海岸線から4~5km程度の範囲まで浸水域が及んでいる。宮城県東松島市野蒜水位観測所(鳴瀬川河口から約0.5km)において、5~6m程度の高さの津波が観測されている。津波による水位変化は、河口から約15kmまで観測されている。

図 5.5.28 に示すとおり、右岸側野蒜地区の被災状況として、鳴瀬川河口部では、右岸特殊堤 (L=420m) が流出した。また、0.2k+50m 付近にて堤防が決壊し、特殊堤の背面堤防盛土 (H=3.5m) が流出した。背面盛土の流出により、ブロック積みが倒壊し、堤防が決壊したと考えられる。



図 5.5.28 野蒜地区堤防被災状況⁵⁵⁾

(4) 事例 4 : 阿武隈川

阿武隈川は、福島県及び宮城県を流れる阿武隈川水系の本流で一級河川である。東北地方では北上川に次ぐ長さの川であり、延長 239km、流域面積は 5,390km² におよぶ。勾配が緩やかで穏やかな印象だが、増水時にはあふれやすく洪水被害の絶えない暴れ川である。

図 5.5.29 は、阿武隈川沿川の浸水状況である。



図 5.5.29 阿武隈川沿川の浸水状況⁵⁵⁾

阿武隈川河口周辺部における津波浸水域は、海岸線より概ね 3km 内陸までおよんだ。阿武隈川河口右岸と入り江「島の海」内の荒浜漁港に挟まれた地域が壊滅状態となった。津波による水位変化は河

口から約 13km まで観測されている。河口付近では、堤防の堤内側法面が流出・崩壊し、周辺田畑に海水の残存が確認されている。一方で、河口部から 4km の範囲より上流側の堤防では、このような被災形態は確認されておらず、津波が越流した範囲は 0~4km の範囲であったと考えられる。

河口付近では午後 3 時 50 分ころに押し寄せた第一波は堤防の半分くらいであった。第二波は堤防高さ程度、第三波は堤防高さを大幅に上回った。

図 5.5.30 は右岸側の荒浜地区における 2005 年に施工された特殊堤防の被災状況である。堤防は、川表ブロック張、天端はアスファルト舗装が施され、川裏は張芝土堤、0.8m のパラペット付きであった。津波により堤体が著しく侵食を受けており、堤防洗掘長は 200m に及んでいる。

図 5.5.31 によると、津波越流により、パラペット部が堤内地まで飛ばされていることが確認できる。河川を遡上した津波がパラペットを押し倒して越流し、裏法尻から洗掘が進行し、堤防の断面が大きく欠損したものと考えられる。



図 5.5.30 荒浜地区堤防被災状況⁵⁵⁾



図 5.5.31 荒浜地区堤防被災状況⁵⁵⁾

5.5.4 橋梁

(1) 橋梁施設の被害の概要

東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害は、530km にわたり、5 県において 3,230 橋にのぼる。

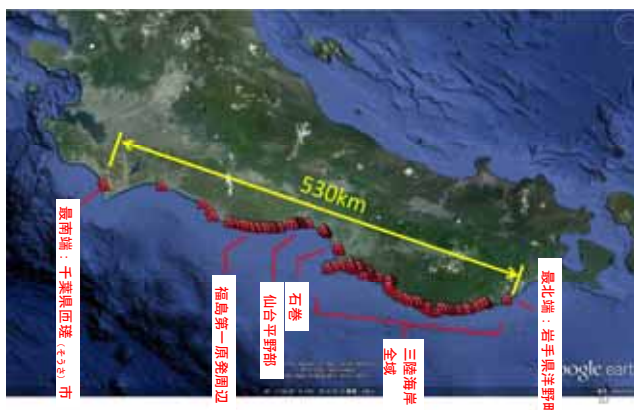


図 5.5.32 被害の分布図⁵⁶⁾

表 5.5.2 橋梁被害一覧⁵⁶⁾

エリア	橋数	落橋数	保留数
岩手県	711	64	8
宮城県	1241	166	18
福島県	907	46	53
茨城県	367	2	2
千葉県 (一部)	4	2	0
合計	3230	280	81

(長岡技術科学大学調べ、2011年8月7日時点)

- ・正確な落橋数は、現地調査結果により補正
- ・落橋被害は岩手、宮城、福島の3県に広くまたがっている

(2) 津波による桁流出のメカニズム

津波による桁流出のメカニズムとして、橋梁の被害形態は以下の3種類である。

① 基礎の洗掘 (図 5.5.33(a))

洗掘により基礎が倒壊したり、橋脚自体が破壊した結果、桁が流出した橋。

② 津波上揚力に伴う桁の流出 (図 5.5.33(b))

津波による上揚力によって桁が持ち上げられた結果、桁が流出した橋。

③ 津波によって桁が回転したことに伴う桁の流出 (図 5.5.33(c))

津波による上揚力によって下流側の支承が破断し、桁が回転し、横転する形で流出した橋。

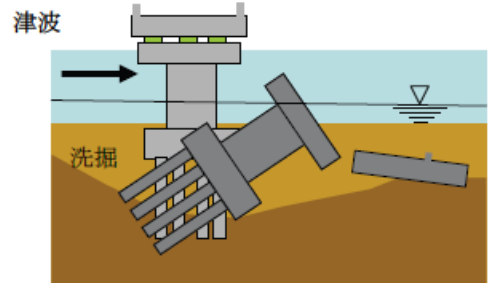


図 5.5.33(a) 基礎の洗掘⁵⁷⁾

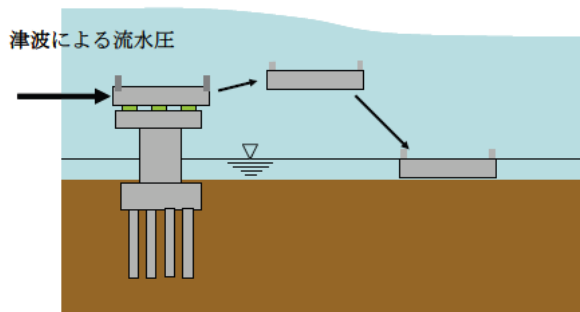


図 5.5.33(b) 津波上揚力に伴う桁の流出⁵⁷⁾

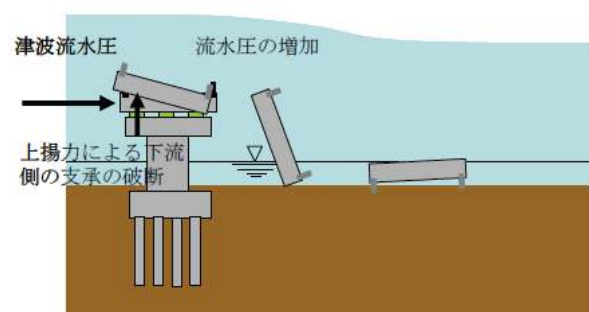


図 5.5.33(c) 津波上揚力によって桁が回転したことに伴う桁の流出⁵⁷⁾

(3) 事例 1 : 新北上大橋

岩手県北部の国道 398 号線上の北上川にかかる橋長 556m、主径間 84.8m の 7 径間単純トラス橋では、左岸側 2 径間の上部構造が上流側にそれぞれ約 140m、600m 流出した。橋脚に目立った損傷は無いが、支承、サイドブロック、落橋防止ケーブルが損傷した。

本橋は、津波の河川遡上に伴う上揚力によって桁が回転して流出し、上部構造に壊滅的な被害を受けたものである。



図 5.5.34 新北上大橋の被害状況 (全景)⁵⁷⁾



図 5.5.35 破壊された橋台及び流出したトラス⁵⁷⁾

(4) 事例 2 : 小泉大橋

宮城県北部の気仙沼市本吉町の国道 45 号線上の津谷川にかかる橋長 182m、幅員 10.5m の 3 径間連続プレートガーダー (2 連) では、二つの桁が上流側にそれぞれ約 350m、400m 流出した。桁は原型を留めないほどねじれて破壊し、橋梁中央の橋脚が流出すると共に、支承、耐震ダンバーが損傷した。

図 5.5.36～図 5.5.39 に示すように、地震前に河川部にかかっていた橋は、桁ごと津波により流出し、河川内に存置された。橋脚と橋台は、河川内に残っているが、上部工は完全に無くなっている状況が確認された。

本橋は、津波の河川遡上に伴う上揚力によって桁が回転して流出し、上部構造に壊滅的な被害を受けたものである。



図 5.5.36 地震前の小泉大橋⁵⁷⁾



図 5.5.37 小泉大橋の被害状況 (橋脚)⁵⁷⁾



図 5.5.38 流出した橋桁⁵⁷⁾



図 5.5.39 橋台部の破壊状況⁵⁷⁾

(5) 事例 3 : 歌津大橋

宮城県の南三陸町の国道 45 号線上の伊里前川にかかる橋長 304m、12 径間の P C T 桁橋では端部を除く 8 径間で桁が落下した。サイドブロック以上の高さまで桁が持ち上げられて流出した。



図 5. 5. 40 歌津大橋の橋脚と落下した P C T 桁⁵⁷⁾

(6) 事例 4 : 沼田跨線橋

岩手県の陸前高田市の国道 45 号線上の浜田川にかかる橋長 65m、3 径間の P C 単純桁橋は、落橋時に橋台のコンクリートとサイドブロックを損傷し、アンカー鉄筋が鉛直方向を向いたまま露出した。津波上揚力に伴う桁の流出である。



図 5. 5. 41 沼田跨線橋の全景および流失した P C 桁⁵⁷⁾



図 5.5.42 損傷した橋台頂部と橋脚の頂部⁵⁷⁾

(7) 事例 5 : 水尻川橋梁

宮城県南三陸町の気仙沼線陸前戸倉駅と志津川駅間の 3 径間単純 P C 桁橋において中間の単柱式 R C 橋脚 2 基が倒壊し、全ての桁が、川上に流出した。基礎の洗掘による桁流出である。



図 5.5.43 倒壊した 2 つの橋脚⁵⁷⁾



図 5.5.44 中央径間にあった P C 桁⁵⁷⁾



図 5.5.45 倒壊した単柱式 R C 橋脚⁵⁷⁾

(8) 事例 6 : 葦森橋

宮城県七ヶ浜町の県道 58 号線上の菖蒲田浜南部に位置するボックスカルバート形式の橋において、津波による洗掘により裏込め土が流出した。ボックスカルバート本体には損傷の痕跡は無い。

桁流出のメカニズムは基礎の洗掘であるが、上部工の道路は、舗装ごと完全に破壊されていた。



図 5.5.46 葦森橋の被害状況⁵⁷⁾
(ボックスカルバート形式)



図 5.5.47 流失した裏込土部分⁵⁷⁾



図 5.5.48 ボックスカルバートの上面⁵⁷⁾

(9) まとめ

今回の橋梁を対象とした調査では、津波による被害が大きく、地震力による被害は比較的軽微であることが確認された。特に、津波による被害については、桁が落橋しており、二次被害、復旧性という観点からも今後避けなければいけない被害と言える。

今回のような津波の影響は、現行の設計では想定されていないため、津波被害データを整理、分析することで、津波を考慮した設計法確立のための基礎資料とすることが重要である。

更に、被災調査の結果、落橋防止システムが設置されていたにも関わらず、結果的には落橋してしまっている橋梁が見られた。落橋防止システムは、想定外の地震力や変位、変形に対し、橋として致命的な損傷である落橋を防ぐためのフェールセーフ機構であるが、今回の津波に対しては、機能しなかったと言える。

5.5.5 水道等ライフライン施設

今回の地震では、3月11日の本震以来、震度5を上回る大きな余震が度重なり、津波の発生と相まって東北地方および関東地方の太平洋沿岸を中心に、広範な地域に被害が発生した。人的被害またはインフラ関係、主に水道、下水道、電力・ガス・通信施設等、生活に直結する設備の被害状況を下記に示す。

(1) 水道

厚生労働省発表の資料によると、地震発生時の3月15日は、全国の断水戸数が最大となったが、約1ヶ月でその95%程度が復旧した。

表 5.5.3 水道関係の被害状況（断水）⁶⁰⁾

	3月15日	4月20日
青森県	40戸	0戸
岩手県	約110,000戸	約25,000戸
宮城県	約320,000戸	約52,000戸
福島県	約320,000戸	約6,600戸
秋田県	約1,400戸	0戸
山形県	約6,600戸	0戸
茨城県	約670,000戸	約8,300戸
栃木県	約10,000戸	約430戸
千葉県	約230,000戸	0戸
新潟県	約2,700戸	0戸
長野県	約800戸	0戸
岐阜県	30戸	0戸
計	約1,700,000戸	約90,000戸

(2) 下水道

国土交通省発表資料によると、4月20日現在で被害の確認された131市町村で表5.5.4に示すように管渠で917km、マンホールで21,534箇所が被害確認された。

処理施設、ポンプ施設については、約1ヶ月で40%が復旧した。

表 5.5.4 下水道関係の被害状況⁶⁰⁾

		震災当初	4月20日
処理施設	稼働停止・施設損傷等	109	61
ポンプ施設	稼働停止・施設損傷等	107	71
管 渠	被害延長	917km	
マンホール	被害マンホール	21,534箇所	

(3) 電力

東京電力及び東北電力両者の発表によると、約1ヶ月で東京電力管内は全て、東北電力管内においては、97%が復旧した。

表 5.5.5 電力関係の被害状況（停電）⁶⁰⁾

	3月11日	4月20日
東北電力管内	約4,400,000戸	約145,700戸
東京電力管内	約4,050,000戸	0戸

(4) ガス

一般社団法人 日本ガス協会発表によると、供給停止戸数は、458,495戸あり、復旧対象戸数は、供給停止戸数から、地震・津波による家屋倒壊等が確認された戸数を差し引いたもので、その数、401,976戸にのぼった。残りの復旧対象戸数は全て石巻ガス（株）に係るものである。

約1ヶ月で99%程度が復旧した。

表 5.5.6 ガス関係の被害状況（供給停止等）⁶⁰⁾

	供給停止戸数	復旧対象戸数	残り復旧戸数 (4月20日現在)
青森県	1,236 戸	1,236 戸	0 戸
岩手県	7,000 戸	6,342 戸	0 戸
宮城県	384,617 戸	328,687 戸	4,188 戸
福島県	18,586 戸	18,655 戸	0 戸
茨城県	37,597 戸	37,597 戸	0 戸
埼玉県	150 戸	150 戸	0 戸
千葉県	8,889 戸	8,889 戸	0 戸
神奈川県	420 戸	420 戸	0 戸
計	458,495 戸	401,976 戸	4,188 戸

(5) 通信

NTT東日本によると 3月12日は、不通回線数が最大となったが、約1ヶ月で95%程度が復旧した。

表 5.5.7 通信関係の被害状況（不通）⁶⁰⁾

	3月12日	4月20日
加入電話	約 879,500 回線	約 30,300 回線
ISDN	約 122,900 回線	約 5,400 回線
フレッツ光	約 398,900 回線	約 12,700 回線

(6) まとめ

水道・電力・ガス・通信は、1ヶ月で、およそ95%復旧したが、地中深い下水道管、処理施設、ポンプの修復に時間のかかった下水道関係の復旧は、1ヶ月でおよそ40%程度しか進まなかった。

5.5.6 建築物

(1) 東北地方太平洋沖地震以前の津波高と被害程度

今回の津波以前に示された、津波高と被害程度を表 5.5.8 に記す。（津波高は地面からの浸水深である）また家屋が破壊される流速、抗力について表 5.5.9 に示す。

① 木造家屋

津波高 1m で部分的に破壊され、2m では全壊する。また破壊する流速は 4.2m/s

② 鉄筋コンクリート建物

丈夫な鉄筋コンクリートビルでは 10m 程度は持ちこたえると考えられている。一般住宅では 5m 程度は持ちこたえると考えられている。破壊する流速は 10.2m/s 以上

③ 石造家屋

津波高 4m で部分破壊し、8m を超えると全壊となると考えられている。

④ コンクリート・ブロック造

破壊する流速は 10.2m/s

表 5.5.8 津波高と被害程度⁸⁾

津波強度		0	1	2	3	4	5
津波高(m)		1	2	4	8	16	32
津波形態	暖斜面	岸で盛上がる	沖でも水の壁 第二波砕波	先端に砕波を伴うものが増える		第1波でも巻き波砕波を起こす	
	急斜面	速い潮汐					
音				前面砕波による連続音(海鳴り、暴風雨)			
				浜での巻き波砕波による大音響(雷鳴、遠方では認識されない)			
響				崖に衝突する大音響(遠雷、発破、かなり遠くまで聞こえる)			
	木造家屋	部分的破壊	全面破壊				
石造家屋	持ちこたえる			(資料無し)	全面破壊		
鉄・コン・ビル	持ちこたえる			(資料なし)	全面破壊		
漁 船		被害発生	被害率50%	被害率100%			
防潮林被害	被害軽微			部分的被害	全面的被害		
防潮林効果	津波軽減 漂流物阻止			漂流物阻止	無効果		
養殖筏				被害発生			
沿岸集落		被害発生	被害率50%	被害率100%			
打上高(m)		1	2	4	8	16	32

表 5.5.9 家屋破壊基準⁵⁹⁾

家屋の種類	本研究での対応分類	流速 (m/s)	抗力 (tf/m)
鉄筋コンクリート造	高層建築物地域	10.2 以上	16.9 以上
コンクリート・ブロック造	密集した居住地域	10.2	16.9
木 造	閑散とした居住地域	4.2	1.06

図 5.5.49 に明治・昭和三陸津波、チリ津波における破壊率を示す。

破壊率 D は浸水被害を受けた全戸数のうち、全壊相当の戸数の割合を示している。

$$D = \frac{a+b/2}{a+b+c} \times 100(\%) \quad \dots \dots \text{式 5.1}$$

D : 破壊率

a : 流失・全壊戸数

b : 半壊戸数

c : 床上・床下浸水戸数

明治・昭和三陸津波当時の被災建物、およびチリ津波当時の被災建物は、ほとんどが木造家屋であったと考えられるが、三陸津波では津波高さが 3m で破壊率 40%程度となり、6m では破壊率は 70~80%に達している。

一方、1960 年のチリ津波では津波高さ 3m で破壊率は 20%以下、5m で 50~60%と三陸津波に比較し低率である。

チリ津波の陸上に遡上したときの流速が三陸津波時より小さく、このような結果となっている。

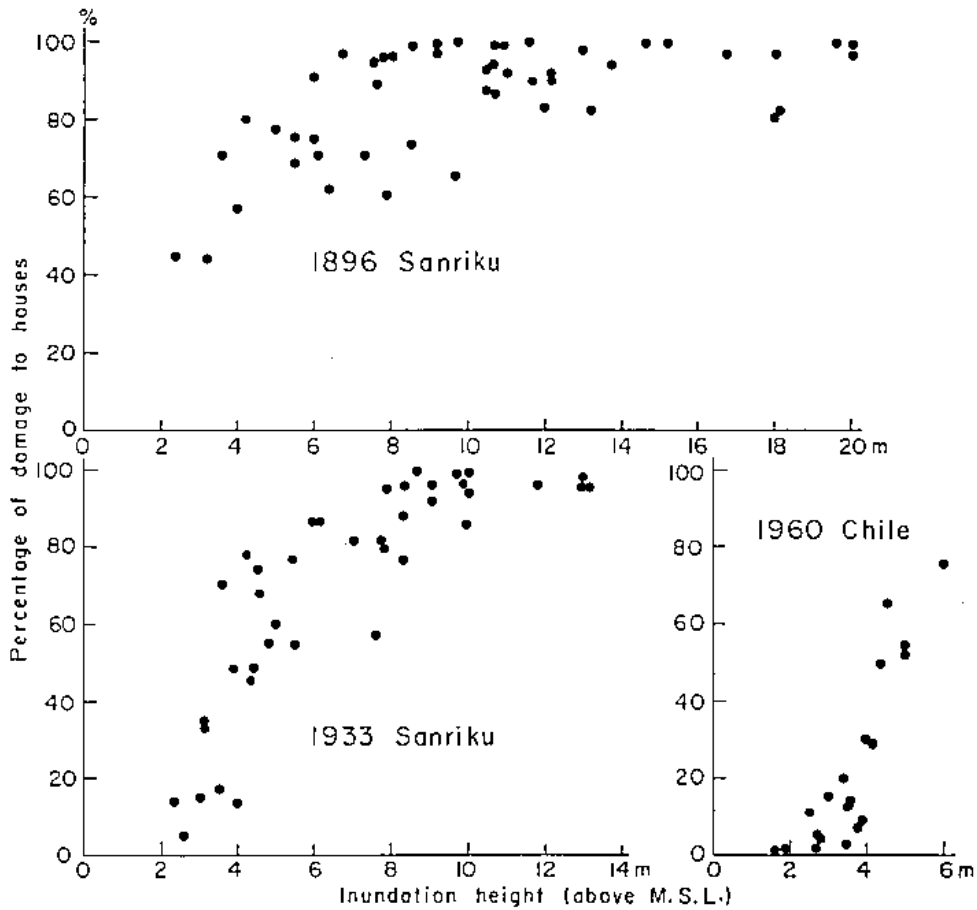


図 5.5.49 津波高と被害程度（明治、昭和三陸地震、チリ地震津波）⁶⁰⁾

(2) 東北地方太平洋沖地震の建物被災の概要

国土交通省による調査結果を以下に示す。図 5.5.50 に示す津波高と被害程度（構造別）によれば、構造物別の被害として下記の傾向が見て取れる。

① 鉄筋コンクリート造 (RC)

木造建築に比較し、「全壊（流失）」「全壊」の区分の合計の割合が低く、「全壊（1階天井以上浸水）」の割合が高い。

② 鉄骨造 (S)

RC造と同様、木造建築に比較し「全壊（流失）」「全壊」の区分の合計の割合が低く、「全壊（1階天井以上浸水）」の割合が高い。

③ 木造

浸水深 2.0m前後で建物被災状況に大きな差があり、浸水深 2m 以下の場合には建物が全壊となる割合は大幅に低下する。

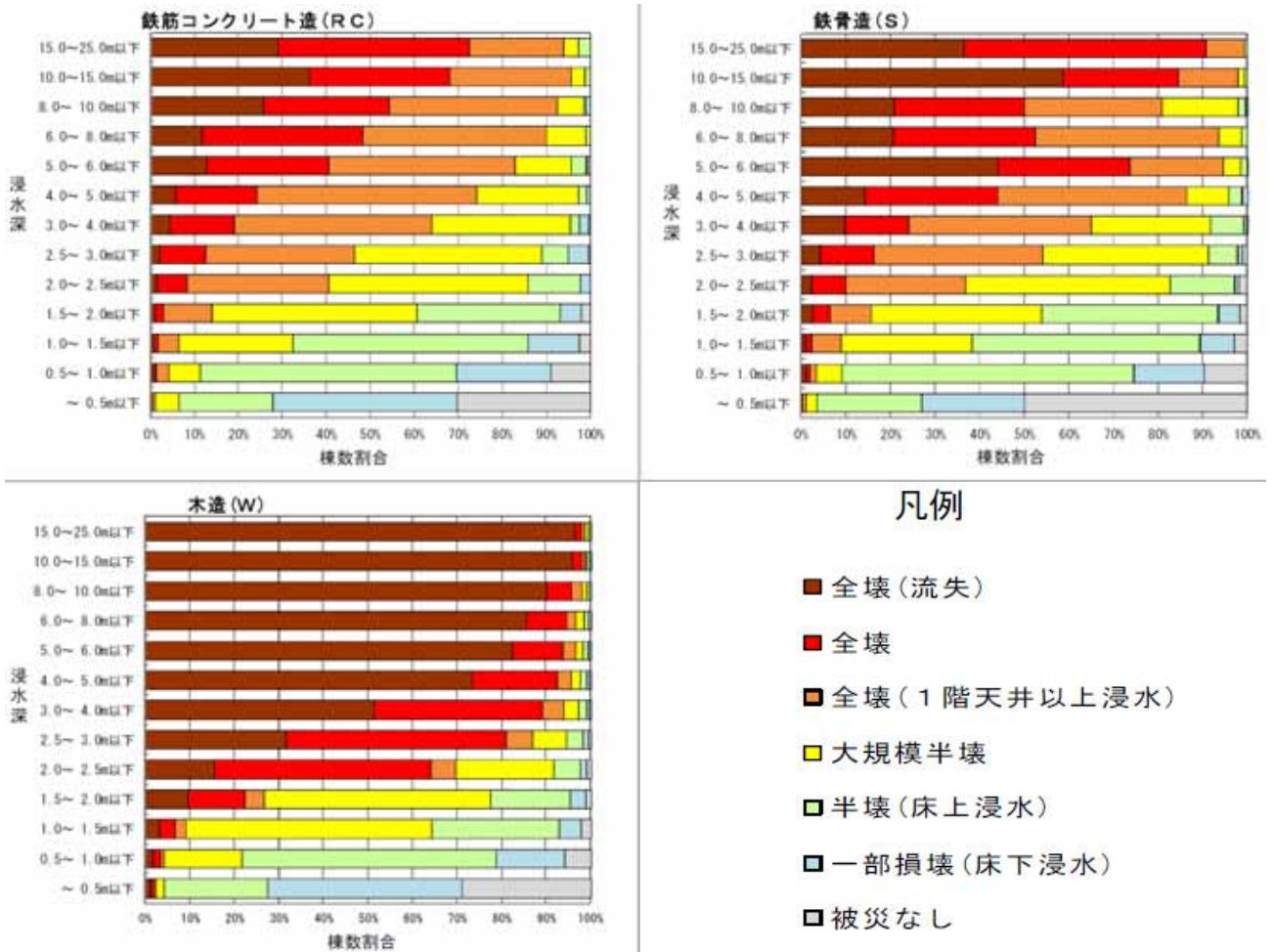


図 5.5.50 津波高と被害程度 (構造別) ⁶¹⁾

明治、昭和三陸地震時での木造建築の破壊に比べ、今回は津波高さ 2~2.5m で 60~70% となっており、これまでに比べ破壊程度を上回っている可能性がある。

(3) 構造物毎の被害状況

① RC 造建築物の被害

RC 構造物は開口が小さく、また壁が丈夫なため波圧を大きく受けたと考えられる。また開口と天井の空間に空気溜りがあり浮力として働いた可能性がある。

特徴的な破壊の仕方を以下に示す。

(a) 転倒：3~4 階建の建設物において転倒の被害が見られた。

図 5.5.51 直接基礎 RC 造の転倒。

図 5.5.52 杭基礎 RC 造でも基礎が破壊し転倒が生じた事例がある。

(b) 洗堀：建物隅角部に強い水流が作用し洗堀が発生。

図 5.5.53 洗堀により建物が傾斜した事例。

(c) 壁の破壊：建物が倒壊しなくても壁が面外に破壊した事例。

図 5.5.54 支持スパンが 10m を超える構造 (厚さ 300mm の耐震壁) の面外破壊。



図 5.5.51 直接基礎建築の転倒⁵⁸⁾
 (女川町、3階建) 浸水深 15m 程度



図 5.5.52 杭基礎建築の転倒⁵⁸⁾
 (女川町、4階建) 浸水深 14.6m



図 5.5.53 基礎洗堀による傾斜⁵⁸⁾
 (山田町、2階建) 浸水深 6.2m



図 5.5.54 壁の面外破壊⁵⁸⁾
 (宮城野区蒲生、1階建) 浸水深 9m

② S 造建築物の被害

外壁が RC 構造物に比べ弱いため、鉄骨構造がむき出しになっている事例が見られる。特徴的な破壊の仕方を以下に示す。

(a) 転倒：基礎が一体のまま転倒した事例と 1 階の崩壊を伴う転倒が見られた。

図 5.5.55 1 階の崩壊による転倒。1 階脚部の引き抜けおよび柱の座屈が発生している。

図 5.5.56 建物全体の転倒。ただしこの破壊形式は写真の 1 例のみである。

(b) 大きな残留変形：

図 5.5.57 構造躯体が残っているものの傾斜している。また柱を残し内・外装材が消滅している。

(c) 破壊による移動・流出：

図 5.5.58 1 階または 2 階の柱頭接合部での破壊により倒壊・流失した建築物が多く見られた。



図 5.5.55 1階の崩壊⁵⁸⁾
(大槌町、3階建) 浸水深 7.3m



図 5.5.56 転倒⁵⁸⁾
(女川町、3階建) 浸水深 15m 程度



図 5.5.57 傾斜および外壁消失⁵⁸⁾
(女川町、3階建) 浸水深 15m



図 5.5.58 倒壊⁵⁸⁾
(女川町、2階建) 浸水深 15m 程度

③ 木造建築物の被害

浸水深が2階軒高以上の場合、ほとんどの木造建築は流失した一方、1階床上程度の場合は残存していた。

特徴的な破壊の仕方を以下に示す。

- (a) 流失：浸水深が4mを超える（2階以上の浸水深）場所では2階建木造建物が残存している例は極めて少ない

図 5.5.59 基礎と土台、または土台も流失し基礎のみが残る例が多数確認された

- (b) 残存：2～4mの津波で一部の木造建物が残存している事例が見られた。

図 5.5.60 建物隅部の柱、外壁を消失しつつも残存する例が多く見られたが、津波波力によるものか漂流物の衝突によるものか定かではない

図 5.5.61 開口が多い場合、津波波力が軽減されたものと考えられる。

図 5.5.62 その他の例として、べた基礎ごと建設地から移動した建物も見られた。



図 5.5.59 上部構造, 土台とも流失⁵⁸⁾
浸水深 4m 超



図 5.5.60 建物隅部の流失⁵⁸⁾
(山元町、2階建) 浸水深 2~4m 程度



図 5.5.61 開口部を津波が透過⁵⁸⁾
(2階建) 浸水深 2~4m



図 5.5.62 べた基礎ごと流下移動⁵⁸⁾
(名取市、2階建)

5.5.7 貯蔵タンク

(1) 貯蔵タンクの被害概要

消防庁が北海道、東北、関東、中部地方の一部の計 16 都道府県の地域を対象として、2011 年 5 月下旬～8 月上旬の期間に危険物施設等の被害状況をアンケートした結果によると、図 5.5.63 に示すとおり調査内の全 211,877 施設の約 1.6%の 3,341 施設が被害を受けている。その中で津波による被害を受けた施設数は 1,821 施設 (55%) である。都道府県別の被害状況については、1,821 施設のうち 1,048 施設の宮城県が最も多く、次いで岩手県 (429 施設)、福島県 (153 施設)、青森県 (127 施設) である。

津波を原因とする危険施設からの危険物流出被害は、図 5.5.64 に示すとおり、屋外タンク貯蔵所が最も多く、106 件中 92 件と 87%である。

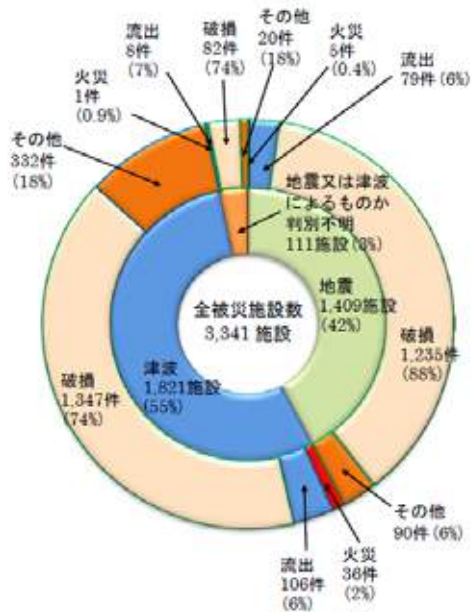


図 5.5.63 被害の主な原因と被害の内訳⁶²⁾

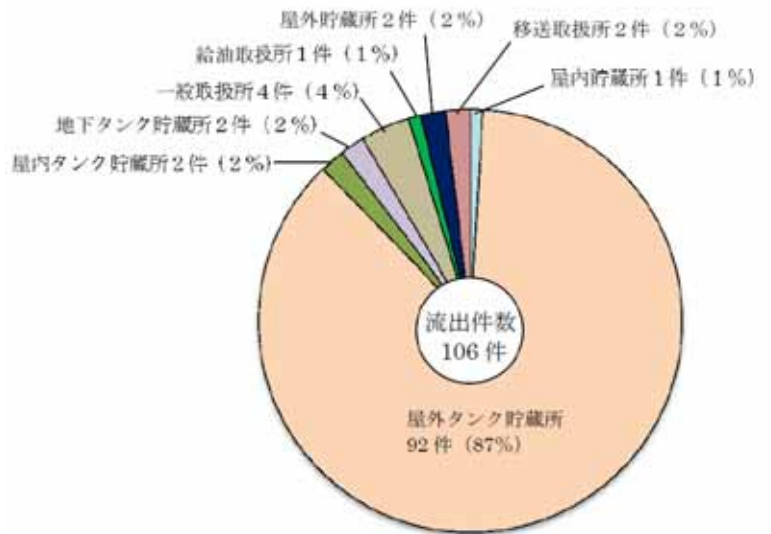


図 5.5.64 津波による施設形態別の流出の件数⁶²⁾

津波による屋外タンク貯蔵所に発生した被害の傾向は、タンク本体は、流出・移動・転倒・変形があり、これらのタンクのうち休止中または点検中で空の状態もあったが、重油・灯油・軽油・ガソリンなどが流出した事例もある。タンク本体の被害状況を図 5.5.65 に示す。

タンクの基礎や防油堤の基礎は、津波により洗掘した箇所が見られた。洗掘が原因で、タンク本体や防油堤が傾斜・破損へ至ったと想定される箇所もあった。

付属配管の被災事例は多く、その傾向は移動・屈曲・折れ曲がり・破断である。被災した箇所から配管内の油等が漏洩したケースもあった。



図 5.5.65 タンク本体の被害状況⁶²⁾

(2) 津波浸水深と被害発生状況の関係

津波浸水深とタンク容量毎に被害の状況をプロットされた図 5.5.66 では、タンク本体と配管の被害は津波浸水深が 3m 程度を超えたところから発生している。津波浸水深 3m～5m では、タンク本体には被害はないが配管に被害を受けた事例が多い傾向であり、津波浸水深 7m を超えると、タンク本体と配管共に被害を受けている。

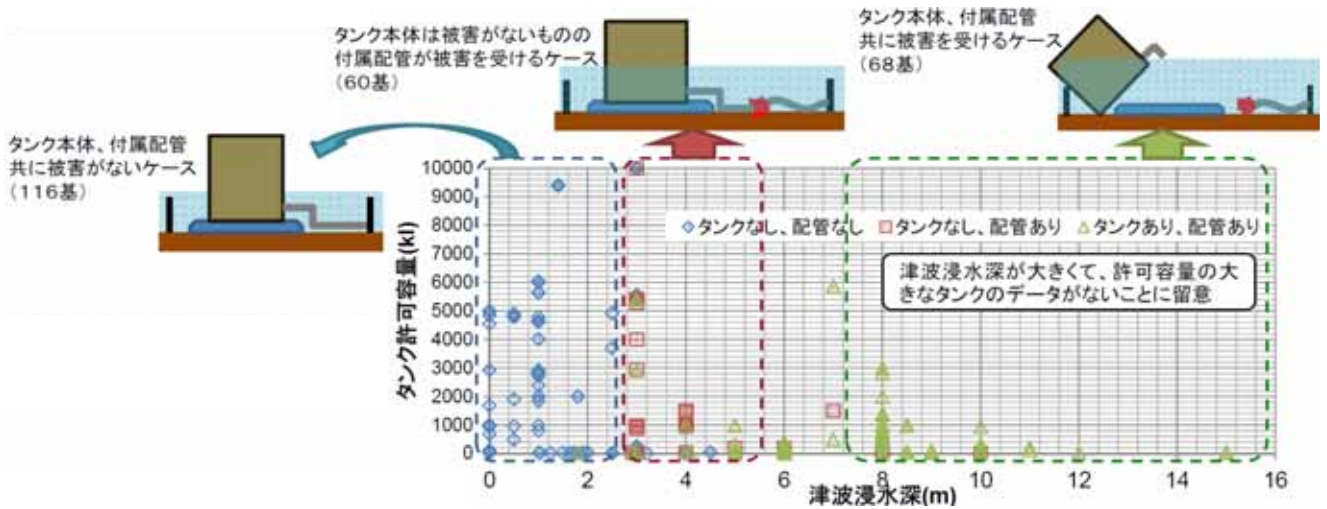


図 5.5.66 屋外タンクの被害形態に着目した津波被害状況⁶²⁾

(3) 事例：気仙沼港

気仙沼湾口部に設置していた複数の貯蔵タンクは、図 5.5.67 のとおり津波により漂流し、その途中で重油や軽油が流出・着火した。それは、市街地火災を拡大させた要因の一つと考えられている。タンクの中の一つは、約 2.4km 漂流し、湾奥の岸壁近くの建築物横に漂着している。



図 5.5.67 貯蔵タンク被災事例（気仙沼港）⁶³⁾

5.5.8 漁港

(1) 漁港施設の被害の概要

東北地方太平洋沖地震に伴う津波により、漁港施設は、北海道から千葉県にかけて大きな被害が発生した。被害は震源地に近い岩手県・宮城県・福島県で特に大きく、防波堤・岸壁・防潮堤の倒壊流出や破損など壊滅的な被害を受けた。また、地震に伴う地殻変動により、地盤の沈降（地盤沈下）が生じ岸壁が冠水しているところもあった。

2011年度（平成23年度）水産白書によると、漁港施設の被害数は、北海道から千葉県にかけての7県の全漁港数730のうち被災漁港数319である。特に宮城県と福島県は全漁港で被災し、岩手県は全111に対して108漁港が被災し、3県が被災漁港319のうち82%を占めている（表5.5.10）。また、漁港施設以外の水産関係の被害数は、表5.5.11に示すとおり漁船28,612隻、共同利用施設1,725施設であり、施設別の被害額をみると、全体の1兆2,637億円のうち漁港施設が最も多く8,230億円と全体の65.1%となっている。

表 5.5.10 漁港施設の被害状況

地域	全漁港数 (A)	被災漁港数 (B)	率(B/A) (%)
北海道	282	12	4
青森県	92	18	20
岩手県	111	108	97
宮城県	142	142	100
福島県	10	10	100
茨城県	24	16	67
千葉県	69	13	19
計	730	319	44

表 5.5.11 水産関係の被害状況（2012年3月5日現在）⁶⁴⁾

主な被害	全 国		うち7道県	
	被害数	被害額（億円）	被害数	被害額（億円）
漁 港 施 設	319漁港	8,230	319漁港	8,230
漁 船	28,612隻	1,822	28,479隻	1,812
養 殖 関 係		1,335		1,254
（うち養殖施設）		(738)		(719)
（うち養殖物）		(597)		(534)
共同利用施設	1,725施設	1,249	1,714施設	1,247
合 計		12,637		12,544

注：1) 都道府県からの報告を平成24（2012）年3月5日現在で取りまとめたもの。

2) 「7道県」とは、北海道、青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県及び千葉県をいう。

3) 本表に掲げた被害のほか、民間企業が所有する水産加工施設や製氷冷凍冷蔵施設等に約1,600億円の被害がある（水産加工団体等からの聞き取り）。

(2) 事例 1 : 田老漁港

岩手県北部の三陸沿岸の北端に位置した田老漁港は、浸水高 14m 以上の津波が浸入し、防波堤・岸壁など漁港施設が大きな被災を受けた。また、漁港背後の二線堤の防潮堤は、海側の一線堤は被災を受けているが、南側と山側の二線堤となる防潮堤は大きな被災は見られない。被災前後の全景を図 5.5.68 に示す。

防波堤はケーソン構造であり、漁港東側の東防波堤は被災延長約 280m (全延長の約 90%) のケーソンが堤内に移動・飛散した。また、漁港南側の防波堤は被災延長約 100m (全延長の約 80%) のケーソンが堤内に移動・飛散した。図 5.5.69 に防波堤の被災状況を示す。

漁港南側の重力式岸壁は、一部分、傾斜・倒壊し、エプロンや裏込材や埋土が流出した。防潮堤は図 5.5.68～図 5.5.71 のとおり約 1km が被災し、そのうち 528m (一線防潮堤東側) が破堤した。



図 5.5.68 漁港の被災事例 (田老漁港) ⁶⁵⁾



図 5.5.69 防波堤の被災状況 ⁶⁵⁾



図 5.5.70 防潮堤の被災前状況 ⁶⁵⁾

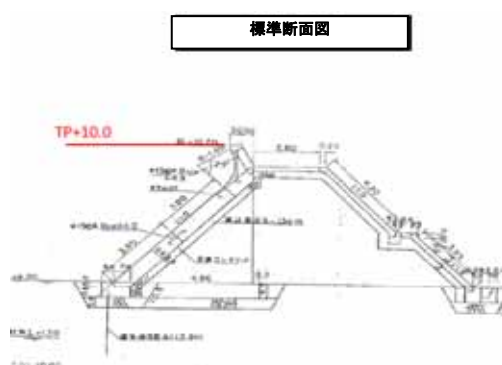


図 5.5.71 防潮堤の被災状況 ⁶⁵⁾



(3) 事例 2 : 山田漁港

岩手県山田湾の湾奥に位置する山田漁港は、浸水高 8m~9m の津波が浸入し、係留施設や防潮堤が大きく被災した。

南第 1 防波堤は、図 5.5.72 に示すとおり、ブロック積形式で全長 50m のうち約 9 割は流出していたが、その他の防波堤は大規模な倒壊・流出等は見られない。

岸壁の被災は、矢板式岸壁が約 200m 損壊しており、矢板の海側への傾斜や裏込材と埋土の流出が見られた。被災状況を図 5.5.73 に示す。

漁港背後に設置していた防潮堤は、672.5m 倒壊を含め約 1.2km 被災を受けた。倒壊箇所の多くは陸側方向へ転倒、移動している。被災状況を図 5.5.74 に示す。



図 5.5.72 漁港の被災事例（山田漁港）⁶⁵⁾



図 5.5.73 岸壁の被災状況⁶⁵⁾



図 5.5.74 防潮堤の被災状況⁶⁵⁾

(4) 事例3：大槌漁港

大槌湾の北側に位置する大槌漁港は、浸水高10m～14mの津波が浸入し、防波堤・船揚場・防潮堤が大きく被災した。被災前後の全景を図5.5.75に示す。

漁港東側（蓬莱島を結ぶ）のブロック積形式の防波堤は、ほぼ全延長（約320m）流出していた。

船揚場は、斜路部の床版が飛散し、その下の裏込材と埋立柱が流出した。また、船揚場に隣接している矢板式の岸壁の一部は、矢板のはらみだしやエプロンの破損による裏込材と埋立柱の流出があった。

防潮堤の特に被害が大きい箇所は、船揚場背後で、約50m堤体が倒壊・飛散した。

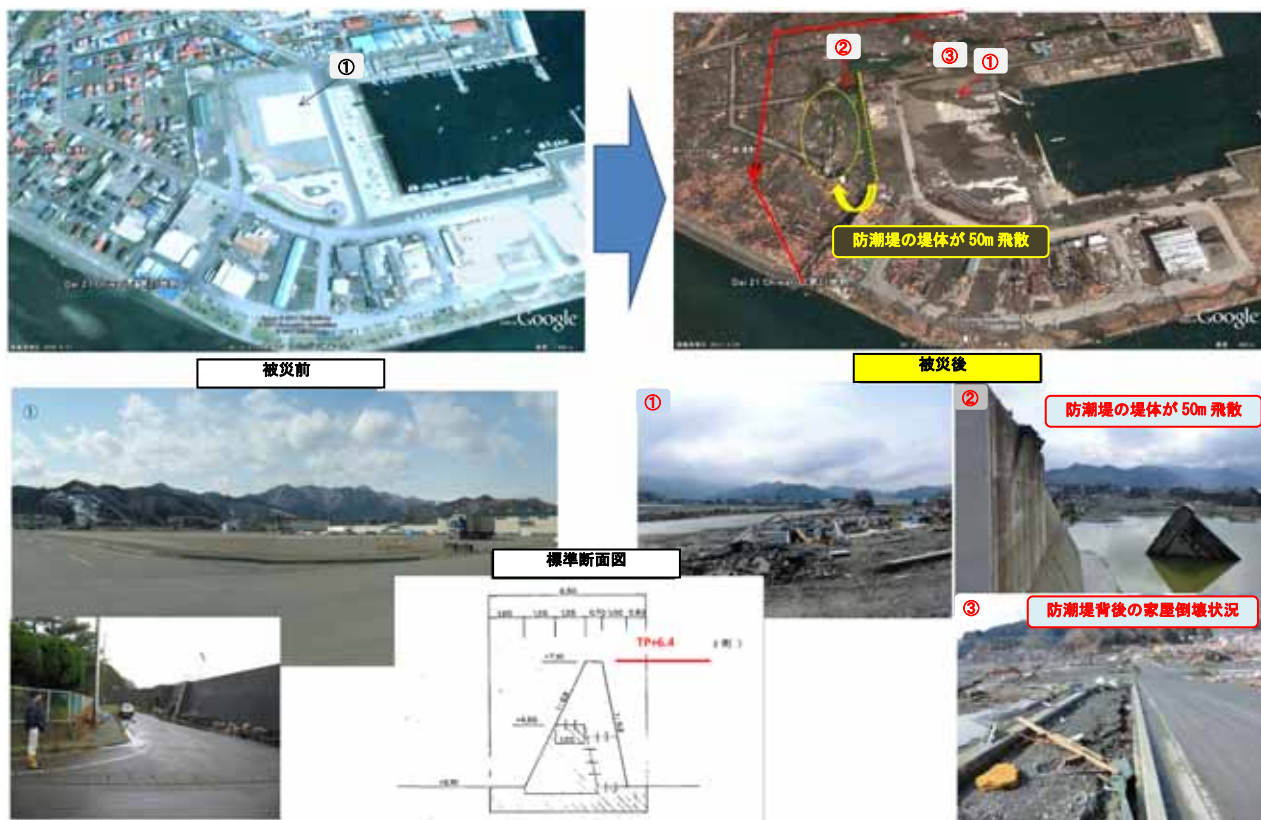


図5.5.75 漁港の被災事例（大槌漁港）⁶⁵⁾

大槌漁港周辺は、水産関連施設や木造建築物や橋梁など大きな被害を受けた。被災後の状況を図5.5.76に示す。

大槌川は約3.0kmの河川の遡上が確認され、大槌川に架かる浸水した5橋のうちJR鉄道橋と町道橋の2橋が流出した。また、大槌川堤防は約100m破堤した。

小槌川の津波の遡上は約2.0kmに及び、小槌川水門は機械設備が破損した。



図5.5.76 大槌漁港周辺の被災後の航空写真⁶⁵⁾に加筆

5.5.9 海岸防災林

太平洋沿岸の海岸防災林の被害は、青森県から千葉県までの広範囲に渡っており、中でも震源に近い宮城県の被害面積は1,700ha以上と突出している。県ごとに3つの被害区分率を用いて被害面積を整理したものを図5.5.77に示す。被害率区分については、津波による浸水域に含まれる海岸林の範囲を判読し、被害前後に撮影した空中写真等を比較し、各林相（針広、樹高界、粗密）の流出、水没、倒伏状況を目視判読し、被害率区分を判定している。

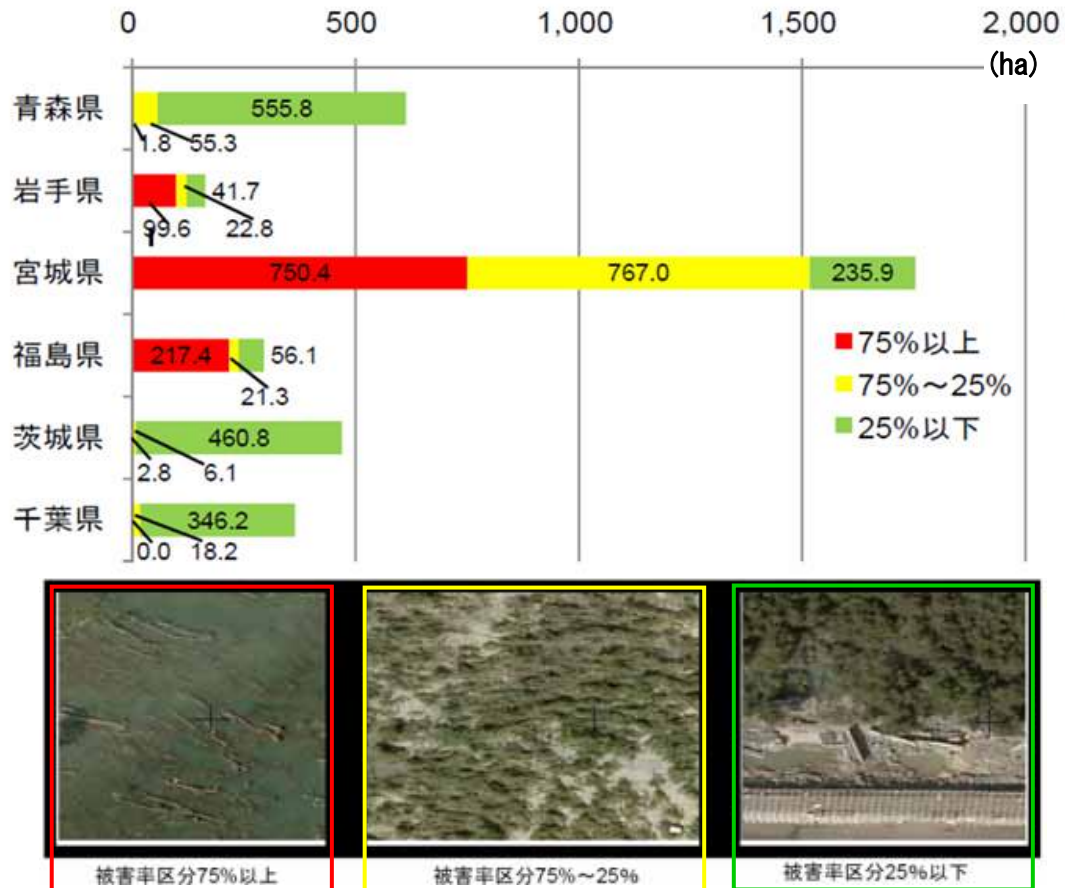


図 5.5.77 県別海岸林の被害面積⁶⁶⁾

海岸防災林は、地震によって根の支持力や緊縛力が低下した後に、来襲した津波によって根ごと倒伏し流木化したことで被害が発生した。その被害総面積は、3,659.2ha (36.59km²) に上り、被害区分率75%以上においては総面積の29.3%を占める1,072ha (10.72km²) であり、被害区分率75~25%においては24.3%の890.7ha (8.90km²) であり、被害区分率25%以下においては46.4%の1,695.5ha (16.96km²) となった。なお2011年7月4日時点の被災箇所数は219箇所、被害額は533億円である。中でも、甚大な被害地域は、仙台平野や三陸地方の岩手県「高田松原」、宮城県「仙台湾南岸域」、福島県南相馬市、いわき市などである。

海岸防災林の被害は甚大であったものの、海岸林は津波エネルギーの減衰や漂流物の補足に寄与したと考えられることから、ある一定の減災効果を発揮したと推察される。海岸防災林による津波対策において今後考慮すべき事項は、林帯幅の拡幅や樹木の大径化で減災効果が発揮されること、高い地下水位は根の緊縛力を弱めること、垂直方向に根の発達を誘導するために高地盤化を図ること等である。

(1) 仙台湾低標高地域の調査概要

宮城県内、特に仙台湾の低標高地域で津波による海岸防災林の被害が甚大だった。ここで仙台湾低標高地域における調査概要を述べる。

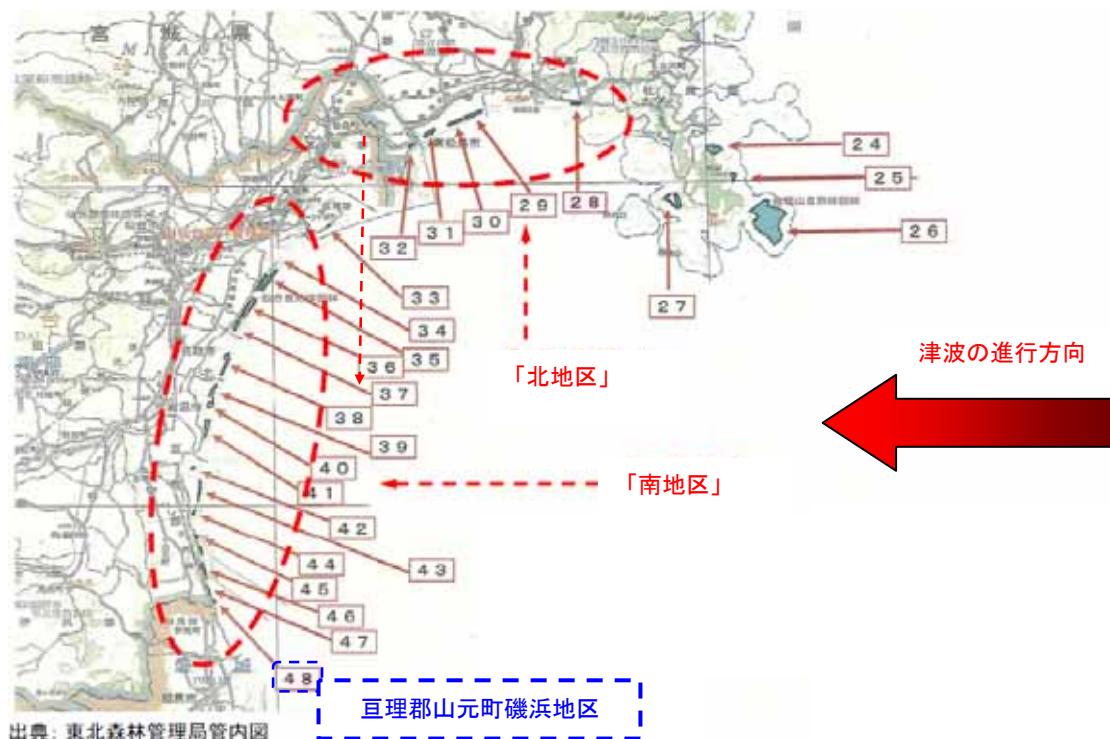


図 5.5.78 仙台湾低標高地域の調査⁶⁶⁾

図 5.5.78 より、調査対象の対象海岸林は計 48 箇所である。震源から沿岸までの津波の進行方向（東西）に対して北地区は、ほぼ平行な地域である。一方、南地域は津波の進行方向に直交する地域である。山元町、岩沼市、仙台市若林区、亶理町は南地区に属しており、被害が顕著となった。

(2) 宮城県亶理町山元町の被災事例

図 5.5.79 は、青森県から千葉県までの被害区分率 75%以上の面積を有していた市町村を取り纏めたものである。中でも山元町は 222.2ha (2.22km²) と突出している。これは図 5.5.77 の宮城県の 75%以上の面積 750.4ha (7.50km²) の内、実に 30%を占めていることを示すものである。

当該地域は、津波の進行方向に直交していたことから、津波による影響が大きく、海岸線に近い海岸林や漁港背後の住宅地は壊滅した（図 5.5.80 参照）。このときの津波の流速は、京都大学防災研究所編集の防災ハンドブックより 4.2m/s 以上と推察される。また海岸防災林は、津波の流速の他に液状化と津波の複合作用によって倒伏したとみられる。

市町村別海岸林の被害面積

(被害区分 75%以上の面積) (ha)

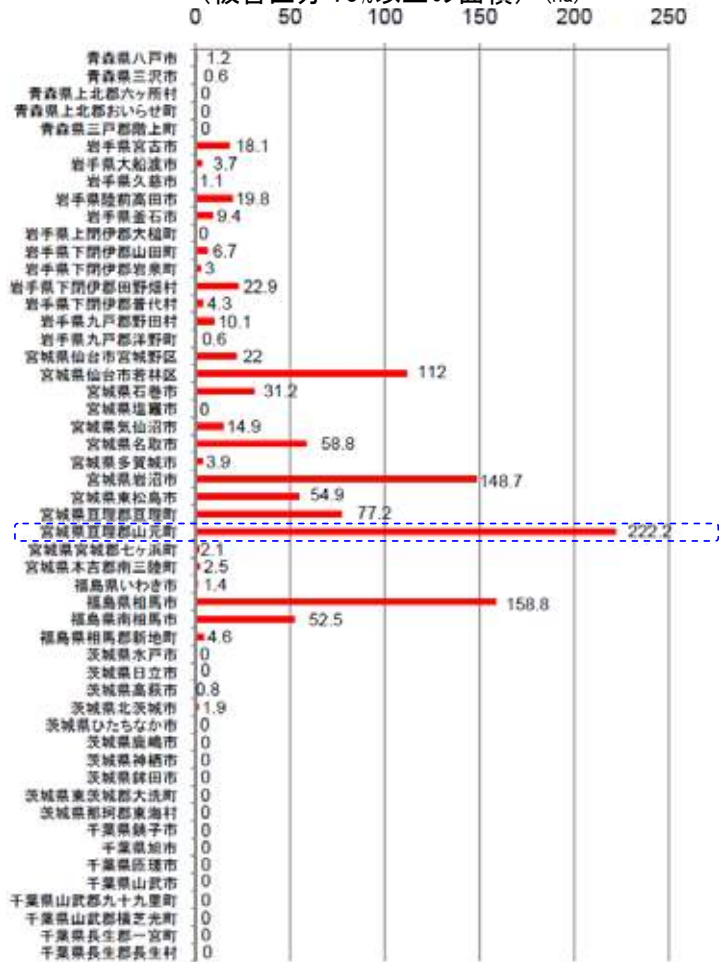


図 5.5.79 亶理郡山元町における被災状況⁶⁶⁾



防災林がほぼ壊滅



図 5.5.80 山元町磯浜地区における被災状況⁶⁶⁾

つぎに磯浜地区における樹木の被災状況を図 5.5.81 に示す。ブロック傾斜堤を乗越えた津波は、樹木高を超過し、DL=8.00 の斜面まで遡上しその痕を残した。津波により、傾斜堤の背後は洗掘し海岸林は大きく被災した。図 5.5.81 からは、地下水位より上部の土層厚は約 1~3m であり、被災形態は根返り（根ごと引倒し）や幹折れ被害が混在していることが読み取れる。

ここで、海岸林における地下水位と津波による被災状況区分の関係を図 5.5.82 に示す。図中の地名は、被災後の調査箇所であり、地名左右の矢印は、調査で確認された地下水位より上部の土層深の範囲を示している。地下水位より上位の土層深が 0~1m のときには、樹木の傾きおよび根返り被害が卓越し、1~2m のときには傾きおよび根返り、幹折れ被害が混在する。さらに 2~3m になると幹折れおよび無被害となる。磯浜地区は、土層深が 1~3m であったために被災形態が多様となったものと考えられる。

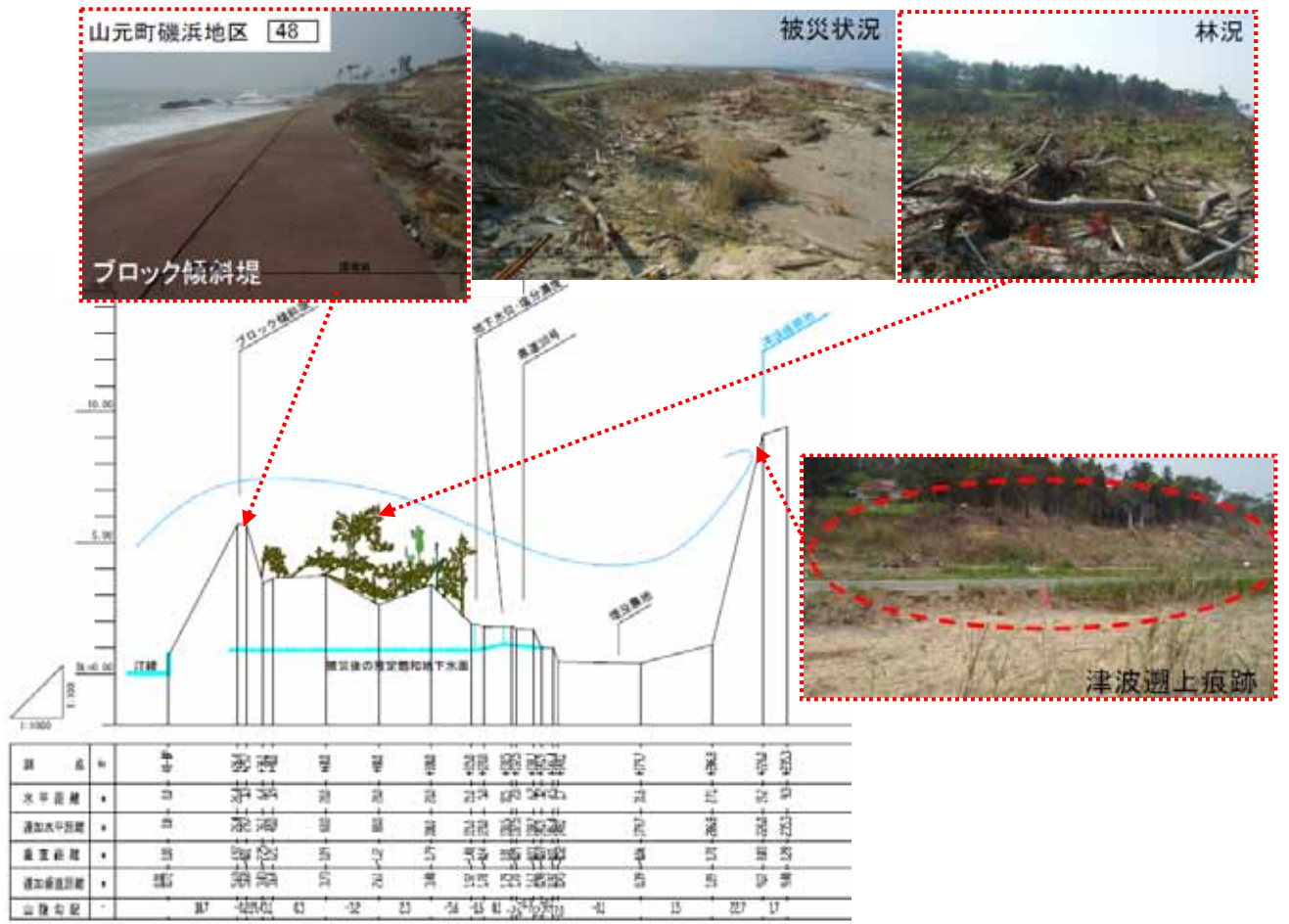


図 5.5.81 山元町磯浜地区における樹木の被災状況⁶⁶⁾に加筆

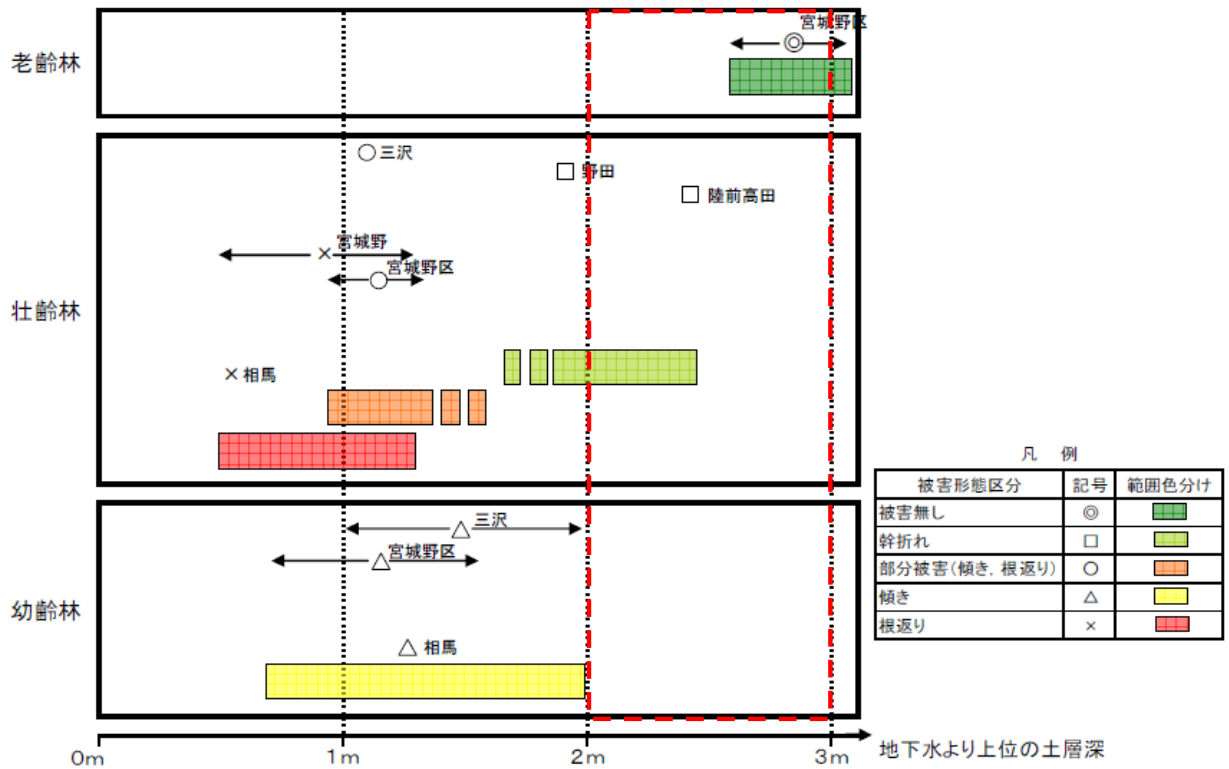


図 5.5.82 地下水位と津波による被災状況区分模式図^{66), 67)}

5.5.10 海岸

東北地方太平洋沖地震津波来襲時には、青森県から千葉県まで広域的な被害が生じた（図 5.5.83 参照）。被害の大きかった岩手、宮城、福島県の海岸堤防延長は約 300km であり、その内 63%以上の 190km が全壊あるいは損壊した。海岸における津波対策委員会資料に拠れば、海岸堤防・護岸の法尻部が津波による洗掘を受け損壊したこと、越流水深が 4m を超えると全壊箇所が増加することが報告されている（図 5.5.84 参照）。



図 5.5.83 東北地方太平洋沿岸における
主要な海岸⁶⁸⁾

今回の津波による海岸保全施設の代表的な被災形態と対策工法を図 5.5.85 に示す。

その被災形態は、①裏法尻部・裏法勾配被災、②天端保護・裏法被覆・表法被覆被災、③波返工被災の大きく 3 つに分けられる。対策工を実施する場合の留意点は、倒壊を抑制することや倒壊時間を遅延すること、全壊を減らす工夫をすること等である。なお上記の被災形態が見られた代表的な被災地域は、①岩手県野田海岸、宮城県山元海岸、千葉県九十九里海岸、②宮城県岩沼海岸、③福島県勿来海岸、福島県豊間海岸、茨城県金沢海岸である。図 5.5.86～図 5.5.88 に被災事例を示す。

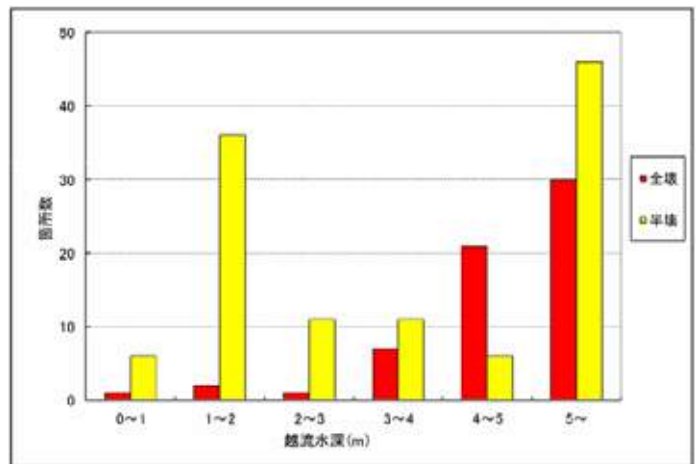


図 5.5.84 越流水深と堤防・護岸被災の関係⁶⁸⁾

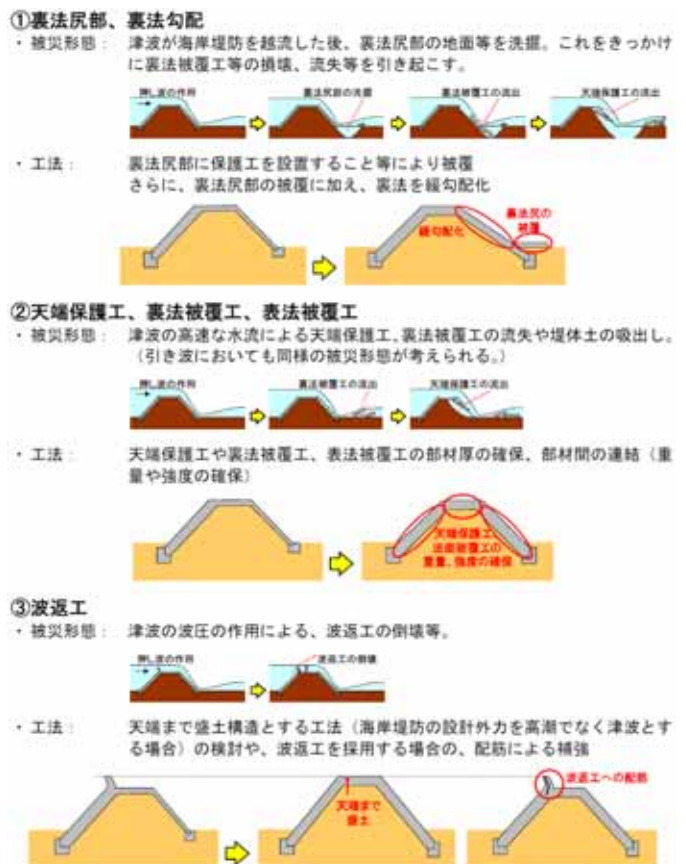


図 5.5.85 越流水深と堤防・護岸被災の関係⁶⁸⁾

(1) 被災パターン①

裏法尻・勾配の被災を図 5.5.86 に示す。岩手県野田海岸では、裏法尻の洗掘と被覆工のすべりが発生した。宮城県山元海岸では、裏法尻の大きな洗掘溝が生じ被覆工が全流失した。茨城県神岡上海岸では、裏法尻が洗掘し被覆工の歯抜けが生じた。千葉県北九十九里海岸では、洗掘に伴う被覆工と堤体土が流失した。



図 5.5.86 被災事例①-1~4⁶⁸⁾

(2) 被災パターン②

天端保護工・表法被覆工の被災例を図 5.5.87 に示す。宮城県岩沼海岸では、法被覆の流失および飛散、天端保護工の全流失および被覆工の間詰石が飛散した。



図 5.5.87 被災事例②⁶⁸⁾

(3) 被災パターン③

波返工の被災例を図 5.5.88 に示す。福島県勿来海岸では、赤線矢印先端から写真撮影方向に向かって波返工の部分的な破壊が生じた。福島県豊間海岸では、波返工が破壊し自家用車が転落した。福島県豊間海岸では、波返工前面が洗掘し、一部が破壊した。茨城県金沢海岸では、赤線矢印先端から写真撮影方向に向かって波返工が折損し移動した。



図 5.5.88 被災事例③-1~4 ⁶⁸⁾

6 津波の予測

6.1 シミュレーション方法

6.1.1 時系列を考慮した数値シミュレーション

津波ハザードマップの作成などのきめ細かな避難行動のために必要となる、津波の特性を考慮した精度の高い津波高、浸水深や浸水開始時間等の情報を得るには、時系列を考慮した数値シミュレーションが行われている。

近年では「南海トラフの巨大地震に関する津波高、浸水域、被害想定」におけるシミュレーション結果が発表されている。

(1) 計算フロー

シミュレーションは図 6.1.1 に示す計算フローで行われる。シミュレーション内容は以下の資料に詳細に記載されている。以降においては、「南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等（第二次報告）及び被害想定（第一次報告）について」における津波シミュレーションで採用されている計算条件を示す。

- ①「南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等（第二次報告）及び被害想定（第一次報告）について」（2012年8月29日）、中央防災会議
- ②「平成23年東北地方太平洋沖地震による津波の対策のための津波浸水シミュレーションの手引き」（2011年7月、国土交通省水管理・国土保全局海岸室、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）
- ③「津波・高潮ハザードマップマニュアル」（2004年3月、内閣府、農林水産省、国土交通省）に基づく津波浸水予測計算方法

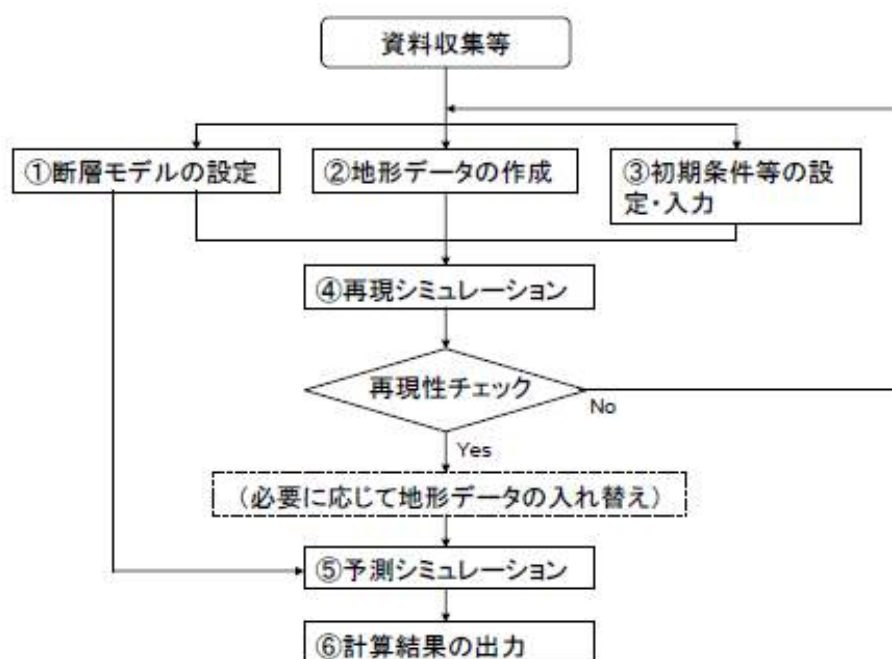


図 6.1.1 津波浸水シミュレーションの流れ⁶⁹⁾

(2) 外力条件

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」の報告に基づき、「発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの津波」を対象としている。

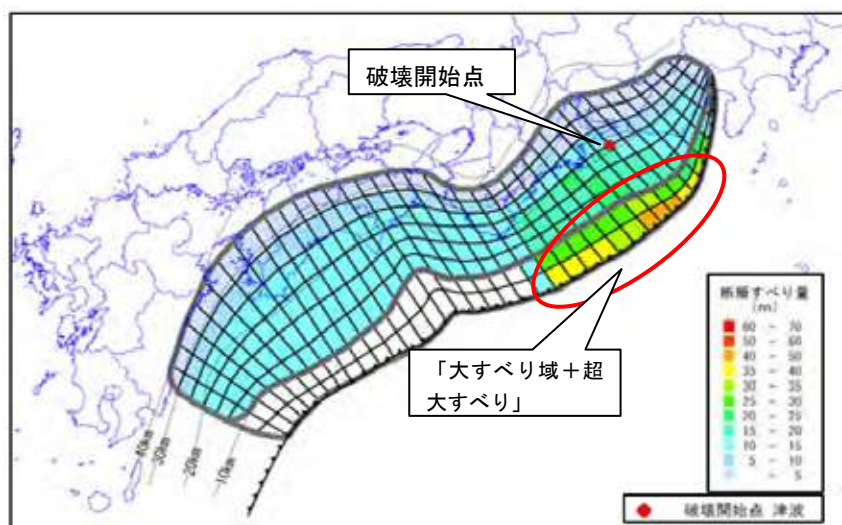
「津波・高潮ハザードマップ作成マニュアル」においても、最悪の条件設定である表 6.1.1 に示す外力レベル3を基本として、作成目的及び作成対象地区の特性に応じて合理的な外力レベルを検討設定するとされている。

表 6.1.1 検討目的と外力条件⁶⁹⁾

外力種別	定義	津波	検討目的	備考
外力レベル1	現実的な実感できる発生頻度の外力	養殖施設等に影響する津波(地上に影響しない)	・施工中などの段階で災害が発生した場合の対応検討 ・海水浴場など防護ラインより海側での災害に対する対応検討	
外力レベル2	防護目標にかなう設計上の外力	設計外力(既往最大津波)	施設設計上の整備目標	・現時点でハードで対応できない部分はソフト対応、時代によって変化(レベル3に近づく)
外力レベル3	最悪の浸水状況をもたらす外力	想定最大津波(想定地震規模、最悪震源位置)	最悪の状況の検討	ハードでは対応不可、最大限のソフト対応

(3) 津波断層モデル

津波断層モデルは、津波を評価するための地殻変動を計算する断層モデルをいい、トラフ沿いの浅部領域だけが破壊することにより発生する高い津波を評価するための断層モデルを、トラフ沿い津波断層モデルと言う。「南海トラフの巨大地震に関する津波高、浸水域、被害想定」では同時に破壊するモデルではなく、図 6.1.2 に示すよう津波断層が破壊開始点から順次破壊していく効果が反映されるモデルが採用されている。表 6.1.2 に津波断層モデルのパラメーターを示す。



(ケース①：駿河湾～紀伊半島沖に「大すべり域+超大すべり」域を設定したケース)

図 6.1.2 津波断層モデル⁷⁰⁾

表 6.1.2 「南海トラフの巨大地震に関する津波高、浸水域、被害想定」での津波断層モデル

項目	内容
マグニチュード	<ul style="list-style-type: none"> Mw9.1 (トラフ沿いの津波断層モデルも含めた場合)
すべり量	<ul style="list-style-type: none"> 平均すべり量 : 10m 大すべり域 : 20m (フィリピン海プレートの沈み込みの約 400 年分) 超大すべり域 : 40m (フィリピン海プレートの沈み込みの約 800 年分)
断層モデルの破壊の仕方	<ul style="list-style-type: none"> 同時に破壊するモデルではなく、津波断層が破壊開始点から順次破壊していく効果が反映されるモデル
小断層サイズ	<ul style="list-style-type: none"> 5km メッシュ
破壊速度	<ul style="list-style-type: none"> 2.5km/s
ライズタイム	<ul style="list-style-type: none"> 断層面のある場所ですべりが継続する時間 1分

(4) 津波伝播・遡上モデル

「南海トラフの巨大地震に関する津波高、浸水域、被害想定」では 10m メッシュでの地形データが採用されている。表 6.1.3 に津波伝播・遡上モデルのパラメーターを示す。

表 6.1.3 「南海トラフの巨大地震に関する津波高、浸水域、被害想定」での津波伝播・遡上モデル

項目	内容
基本式	<ul style="list-style-type: none"> 非線形長波理論
計算メッシュ	<ul style="list-style-type: none"> 陸域側最小 : 10m 外洋側 : 30m, 90m, 270m, 810m
計算時間	<ul style="list-style-type: none"> 地震発生から 12 時間まで行うことを基本 津波が十分収束しない場合には、12 時間以上計算を実施
潮位	<ul style="list-style-type: none"> 満潮位 津波高は、東京湾平均海面 (T.P.) からの高さによって表示
陸上部粗度係数	<ul style="list-style-type: none"> 陸上の遡上部分における家屋等の障害物の効果は粗度係数で表現
地形条件	<ul style="list-style-type: none"> 地形データ、堤防データ (構造物のデータ (河川堤防、防潮堤、突堤、離岸堤含む)) を表現 平面直角座標系で作成 地形データの間の間隔は、浸水計算するエリアは 10m、それ以外では最小 10m で、30m、90m、270m、810m、2430m と設定 堤防データは 10m 水深の基準は、東京湾平均海面 (T.P.) 湖沼は、10m メッシュに含まれる点データの標高の平均値 河川は、基盤地図情報で海・陸境界から延びる内陸の水域で、水色で塗色されている範囲 上流側は、おおむね、「周辺の地盤標高が 30m」、「河床幅が 10m 以下」になる箇所までを「河川」としてデータ化
構造物条件	<ul style="list-style-type: none"> 堤防 (水門を含む) がある場合の津波の計算は、次の 2 つの条件で推計 <堤防が機能する場合の条件> 「津波が堤防を越えると当該堤防は破壊する (堤防なし) とする」の設定 <堤防が機能しない場合> どの時点で堤防が「沈下」、「破壊」するかは不明であるため、どの地域も一律に、「地震発生から 3 分後に堤防が破壊する (堤防なしとする)」と設定
地震による地盤変動	<ul style="list-style-type: none"> 地震による地盤変動は、沈降量は津波高に評価するが、隆起した場合には防災上危険側を考慮する観点から隆起しないものとして評価する (図 6.1.3)。

地震による地盤変動は図 6.1.3 に示すよう、沈下は考慮するが隆起は無視している。

津波高、浸水域、被害想定予測計算における堤防、護岸、防波堤の機能の扱い方は、表 6.1.4 に示すように予測主体、公表時期により扱いは様々である。

求められる予測精度の高まりに応じてメッシュも細くなり、構造物の扱い方もよりきめ細かく設定されるようになってきている。

表 6.1.5 に徳島県の津波浸水想定予測の計算条件の変遷を示すが、2012年8月29日の内閣府公表以降の2012年10月31日の徳島県の予測では、さらに構造物の種類や構造物幅による扱い方の見直しを行っている。

図 6.1.4 は「津波浸水想定の手引き 2012年10月」に示された堤防、護岸、防波堤等の線的構造物の取り扱いの例であるが、計算格子サイズが細くなるほどに構造物の取り扱い方も柔軟に対応できるようになる。

予測結果の評価においては、どのような構造物条件での結果であるかを確認しておくことが重要である。

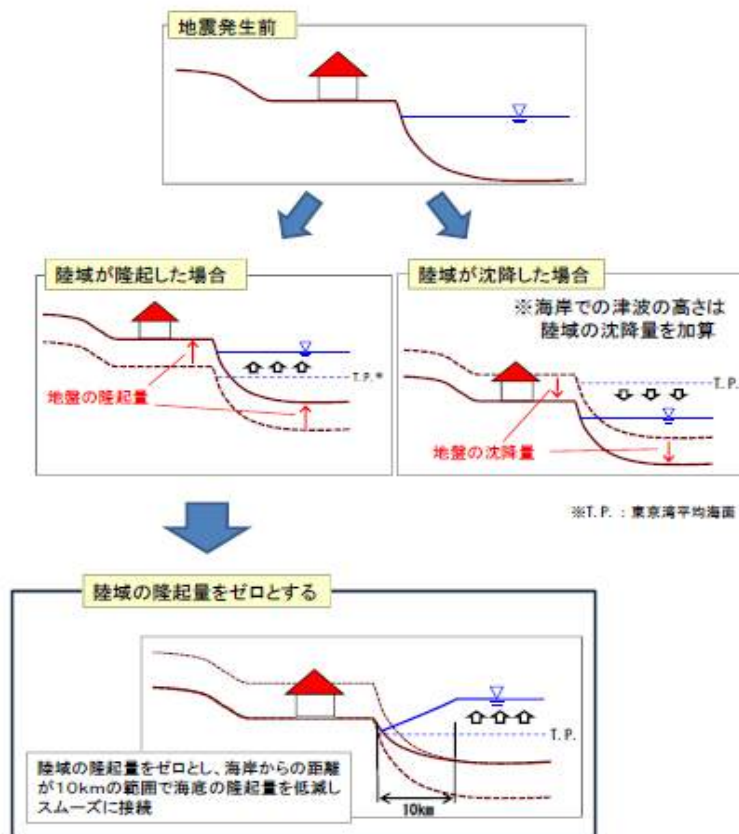


図 6.1.3 地盤変動の扱い⁷⁰⁾

表 6.1.4 予測主体、公表時期による津波浸水想定における構造物条件

取扱い例	構造物の扱い方	予測主体、公表時期
例 1	コンクリート構造物はすべて破壊 盛土構造物は75%沈下し、越流時に破壊 幅10mを超える構造物も同じ扱いとする	徳島県 2012/10
例 2	津波が超えると破壊する場合と地震発生3分後にすべて破壊する場合の2ケース 幅10mを超える構造物は地形扱いとする	内閣府 2012/8/29
例 3	護岸、防波堤：耐震や液状化に対する技術的評価が無ければ構造物なし 堤防：耐震や液状化に対する技術的評価が無ければ堤防高を地震前の25%の高さ	茨城県 2012/8/24 青森県 2012/10
例 4	構造物の効果がある場合と無い場合の2ケースを想定	北海道 2006年度 沖縄県 2007/3 柏崎市 2012/10 千葉県 2012/4 三重県 2011年度
例 5	海岸構造物は津波越流時に破壊される 護岸パラペットは無視し背面地盤高で評価	神奈川県 2012/3
例 6	堤防：土構造の場合は地震前の25%の高さとし越流し始めた段階で構造物なし コンクリート構造の場合、構造物なし 防波堤：構造物なし	高知県 2012/12
例 7	最悪の事態を想定しすべてなし	石川県 2012/12
例 8	堤防は残る	和歌山県 2005/4

表 6.1.5 徳島県の津波浸水想定における計算条件の変遷⁷¹⁾

南海トラフ巨大地震に係るこれまでの津波浸水想定との違い

名称	徳島県暫定津波浸水予測図	内閣府津波浸水予測図	徳島県津波浸水想定
公表時期	2012. 1. 20	2012. 8. 29	2012. 10. 31
予測主体	徳島県	南海トラフ巨大地震モデル検討会	徳島県
地震のモデル	2003年の国作成のモデルを基に、 本県独自にモデルを構築 (マグニチュード9.0)	最新の知見を基に、 新たに11ケースのモデルを構築 (各マグニチュード9.1)	内閣府で構築された11ケースのうち、 本県に影響の大きい4ケースを採用 (各マグニチュード9.1) ↓ 徳島県暫定津波浸水予測図と比べ、 県北部への影響増大
沿岸構造物の扱い (堤防、護岸、防波堤)	すべて破壊(無くなる)	1.津波が乗り越えると破壊(無くなる) 2.地震発生3分後にすべて破壊(無くなる) ●但し、幅10m程度を超える構造物は、 自然地形として扱う(破壊しない)	・コンクリート構造物 すべて破壊(無くなる) ・盛土構造物 75%沈下(※)、津波が乗り越えると破壊(無くなる) ●幅10m程度を超える構造物についても、 同じように扱う。(津波が乗り越えると破壊) ↓ 内閣府津波浸水予測図と比べ、 大規模な堤防がある地域への影響増大 (※)南海トラフ巨大地震を対象にした沿岸構造物の 耐震や液状化に対する技術的な評価結果は、 現時点ではないため、国交省の指針等に基づき設 定。
地形データ	平成15年度に作成したデータ	シミュレーション実施までに収集したデータ	内閣府が作成したデータよりも 最新かつ詳細なデータを採用 ・標高のデータ ・河川のデータ ・沿岸域の海底地形データ など

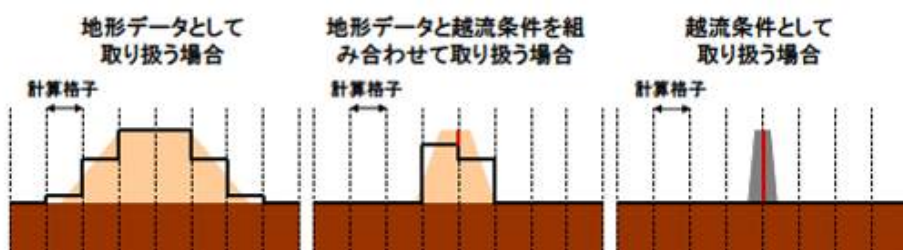


図 6.1.4 津波浸水シミュレーションにおける構造物の取り扱いの例⁷²⁾

(5) 津波波高の推計結果利用時の留意点

津波波高推計結果の利用にあたっての留意点を表 6.1.6 に示す。

表 6.1.6 津波波高推計結果利用時の留意点

項目	内容
海岸の津波高	<ul style="list-style-type: none"> 海岸の津波高は、原則として、陸域メッシュと海域メッシュの境界から3メッシュ沖合（海岸線から概ね20～30m沖合）の海域メッシュにおける津波の高さ
津波高、浸水深の数値単位	<ul style="list-style-type: none"> 津波高、浸水深はメートル以下第2位を四捨五入し第1位を切り上げたメートル単位の数値 1m 以下については、以下の表示 <ul style="list-style-type: none"> 0.3m 以上 1.0m 以下 : 「1m」 0.01 以上 0.3m 未満 : 「微弱」 0.01m 未満 : 「津波なし」
各市町村の値	<ul style="list-style-type: none"> 各市町村単位で津波高の最大値、平均値を算出し合わせて整理 津波高、浸水深の一定の値以上の市町村抽出対象となるのは、各市町村での抽出対象メッシュが10個以上ある場合
浸水域面積	<ul style="list-style-type: none"> 浸水域面積は浸水深が0.01m以上のメッシュを浸水ありメッシュとした総面積 各市町村の浸水ありなしの区分は、浸水ありメッシュの個数が10個以上ある場合に、その市町村は浸水するとし、10個未満の場合は、浸水しないとして分類
浸水深の深さの目安	<ul style="list-style-type: none"> 浸水深の目安 <ul style="list-style-type: none"> ・0.3m 以上：避難行動がとれなく（動くことができなく）なる ・1m 以上：津波に巻き込まれた場合、ほとんどの人が亡くなる ・2m 以上：木造家屋の半数が全壊する（注：3m 以上でほとんどが全壊する） ・5m 以上：2階建ての建物（或いは2階部分まで）が水没する ・10m 以上：3階建ての建物（或いは3階部分まで）が完全に水没する
津波高の一般的傾向	<ul style="list-style-type: none"> 一般的に、津波は、岬の先端、V字型の湾の奥、切り立った崖等で高くなる。各市町村における津波高の最大値を見ると、このような海岸の津波高が市町村の最大津波高となっている場合が多い。 大すべり域及び超大すべり域が設定されている地域の津波高は、明らかに他の地域に比べ高くなる。
堤防の機能	<ul style="list-style-type: none"> 津波の推計は、堤防が機能する場合と地震動により堤防が機能しなくなる条件で検討しているが、地形条件として入力された大きな土堤（長良川、木曾川等の河口付近）は常に機能するものとして扱われるため、条件によって浸水域が広がる可能性がある。
津波の到達時間等	<ul style="list-style-type: none"> 長大な津波断層域のそれぞれの場所で発生した津波は、互いに重なり合い、更にそれらが海岸で反射しながら、各地域の海岸に何度も押し寄せる。第1波だけでなく、その後も、5、6時間から半日程度は繰り返し大きな津波が襲来するので、警戒が必要である。また、津波の第1波が押しで始まるか引きで始まるかについては、津波断層のメカニズムや地域によって異なる。

(6) 被害想定算出条件

津波発生時の被害想定について、「南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等（第二次報告）及び被害想定（第一次報告）」の例で示す。

1) 想定シーン

想定される被害が異なる3種類の表 6.1.7 に示す特徴的なシーン（季節・時刻）が設定されている。風速は、各地の平均風速を基本とし、風が比較的強い風速毎秒 8m のケースと合わせて2種類のシーンが設定されている。

表 6.1.7 想定シーン⁷⁰⁾

シーン設定	想定される被害の特徴
①冬・深夜	<ul style="list-style-type: none"> ・多くが自宅で就寝中に被災するため、家屋倒壊による死者が発生する危険性が高く、また津波からの避難が遅れることにもなる。 ・オフィスや繁華街の滞留者や、鉄道・道路利用者が少ない。 * 屋内滞留人口は、深夜～早朝の時間帯でほぼ一定
②夏・昼 12 時	<ul style="list-style-type: none"> ・オフィス、繁華街等に多数の滞留者が集中しており、自宅外で被災する場合が多い。 ・木造建物内滞留人口は、1日の中で少ない時間帯であり、老朽木造住宅の倒壊による死者数はシーン①と比較して少ない。 * 木造建物内滞留人口は、昼10時～15時でほぼ一定 * 海水浴客をはじめとする観光客が多く沿岸部等にいます。
③冬・夕 18 時	<ul style="list-style-type: none"> ・住宅、飲食店などで火気使用が最も多い時間帯で、出火件数が最も多くなる。 ・オフィスや繁華街周辺のほか、ターミナル駅にも滞留者が多数存在する。 ・鉄道、道路もほぼ帰宅ラッシュ時に近い状況でもあり、交通被害による人的被害や交通機能支障による影響が大きい。

2) 建物被害

東北地方太平洋沖地震による被災現況調査結果によれば、浸水深 2.0m を超えると全壊となる割合が大幅に増加し、半壊については浸水深が 0.5m 超から半壊の発生度合いが大きくなっている。この結果を取り入れ、人口集中地区とその他で図 6.1.5、図 6.1.6 に示す建物被害率を設定している。

- ① 津波浸水深ごとの建物被害率の関係をを用いて建物構造別に全壊棟数・半壊棟数を算出。
- ② 地震動に対して堤防・水門が正常に機能するが、津波が堤防等を乗り越えた場合にはその区間は破堤するという条件を基本として被害想定を実施。一方で、地震動によって一部の堤防等が機能不全となった場合も別途考慮。

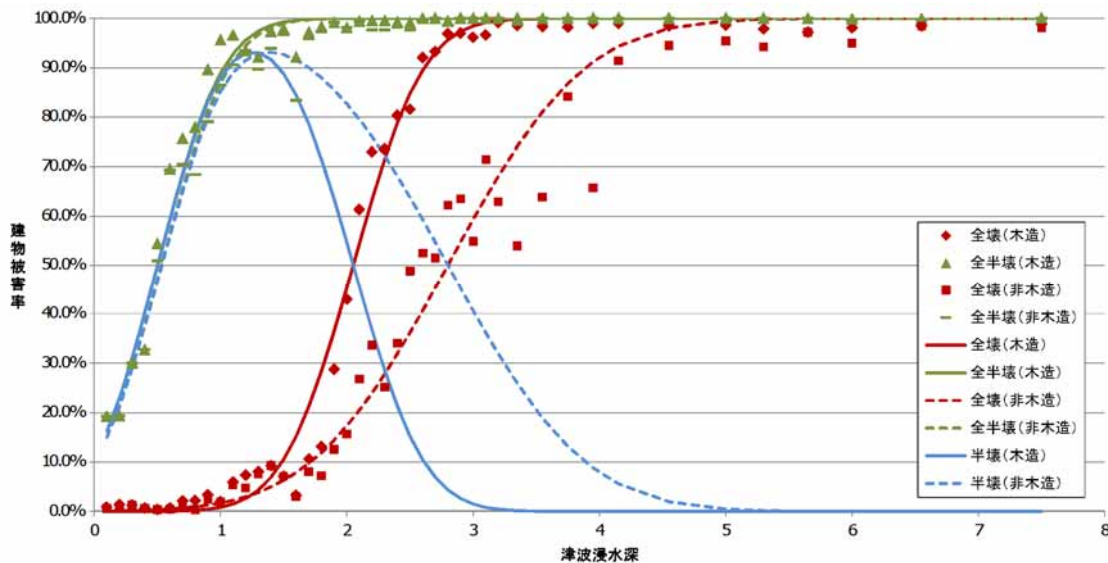


図 6.1.5 津波浸水深ごとの建物被害率（人口集中地区）⁷⁰⁾

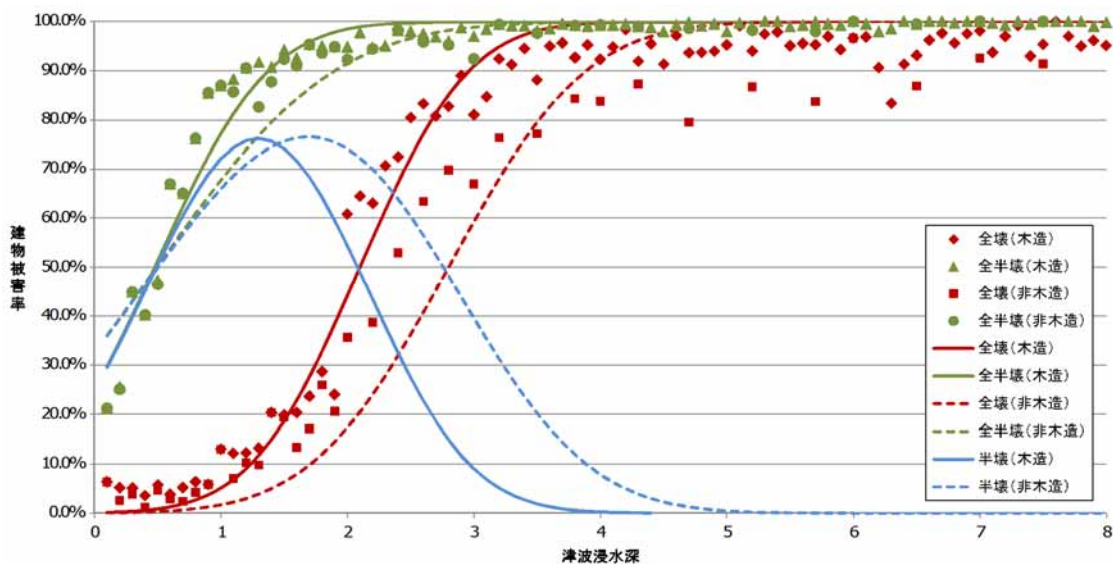


図 6.1.6 津波浸水深ごとの建物被害率（人口集中地区以外）⁷⁰⁾

3) 人的被害

人的被害の基本的考え方は以下のとおりである。

- ① 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。

- ② i) 避難行動（避難の有無、避難開始時期）、ii) 津波到達時間までの避難完了可否、iii) 津波に巻き込まれた場合の死者発生度合の3つに分けて設定する。
- ③ 揺れによる建物倒壊に伴う自力脱出困難者は津波からの避難ができないものとする。

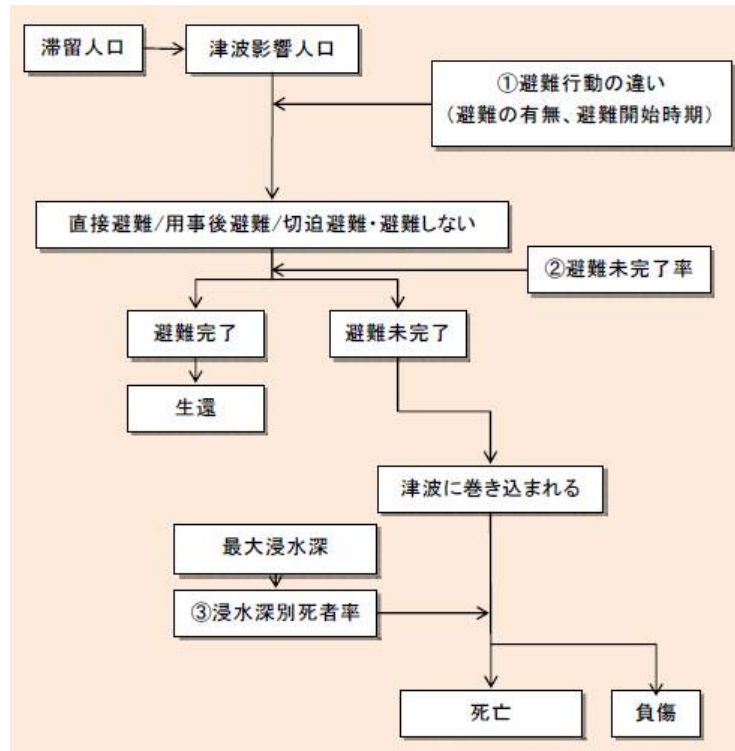


図 6.1.7 津波による人的被害想定手法⁷⁰⁾

6.1.2 気象庁の津波予報

(1) 予測方法

津波警報・注意報を公表するには地震が発生してから計算を開始したのでは津波が到達するまで間に合わないため、気象庁ではあらかじめ津波の数値シミュレーションを行った津波予報データベースを用いて警報・注意報を公表している（量的津波予報と呼ばれている）。

津波予報データベースとは、図 6.1.8 に示すように、あらかじめ津波を発生させる可能性のある断層による津波の数値シミュレーションを多数実施しておき、その結果をデータベースとして蓄積したものである。実際に地震が発生した時は、このデータベースから地震の位置と規模に対応する予測結果を即座に検索し、沿岸に対する津波高を予測している。

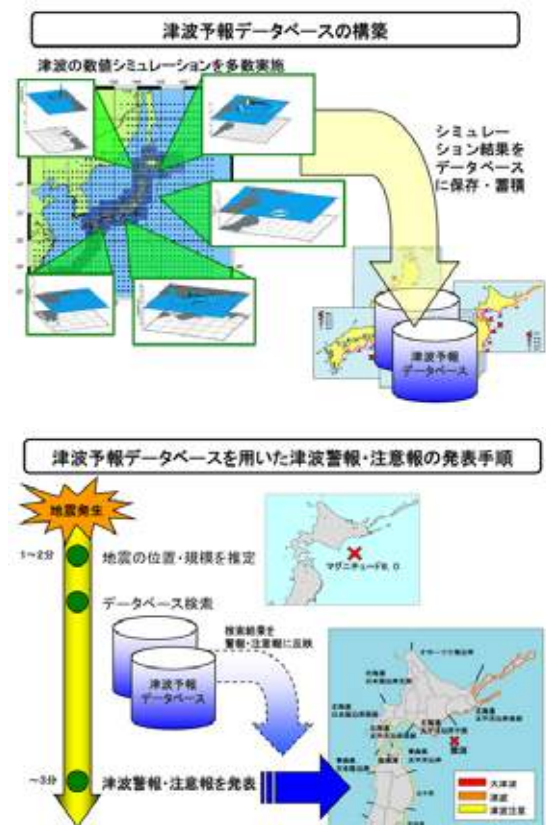


図 6.1.8 気象庁の津波予報²⁵⁾

(2) 津波予報データベースの作成

1) 海底地盤変動計算

断層は水平方向に約 1,500 箇所、深さは 0~100km の間で 6 通り、マグニチュードは 4 通りの条件で、これらの断層ひとつひとつについて海底の地殻変動を求める。数値シミュレーションにおいては最も津波を発生させやすい形態である傾斜角 45° の逆断層を想定し行われている。

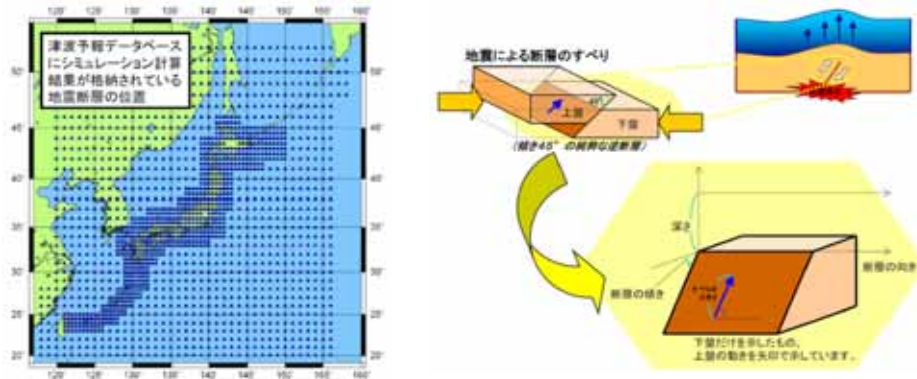


図 6.1.9 海底地盤変動計算²⁵⁾

2) 津波伝播計算

一般に、津波を発生させるような海底地殻変動は数十キロメートル以上の広がりをもっており、津波が広がり始める前に地殻変動が完了するため、海底地殻の上下変動がそのまま地震発生直後に海面に生じる凹凸になると考える。こうして得られる海面凹凸パターンを津波の初期波源とし、これが四方八方に伝わっていく様子を計算する。数値計算の方法としては、計算領域を縦横の格子状に細かく区切り、各々の格子における津波の高さと速度について、津波伝播の方程式に従って時間を追って計算していく。

3) 沿岸での津波の高さの予測方法

シミュレーションで計算された沿岸における津波高さは、計算格子の大きさを一定にしているため、海岸近くの水深が浅く地形も複雑になってくる場所では、津波の再現精度が落ちる。沿岸近くで計算格子を細かくする方法もあるが、膨大な時間がかかることから、誤差がまださほど含まれない沖合いでの津波の高さから、図 6.1.10 に示す「グリーンの法則」を用いて、沿岸での津波高さを推定している。

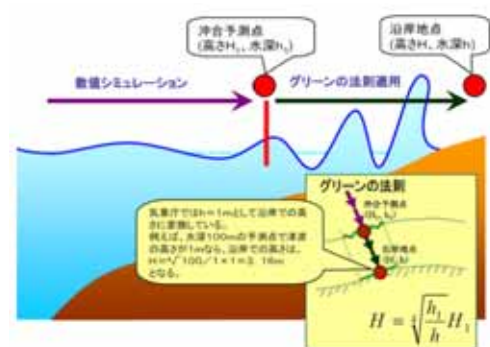


図 6.1.10 グリーンの法則²⁵⁾

気象庁では、沿岸から 15km 沖合の地点での津波シミュレーション結果からグリーンの法則で水深 1m での津波高さを求め、これを沿岸での津波の高さとしている。したがって、沿岸付近の海底地形による津波の屈折による変形は十分に再現できないことから、予測精度に課題が残り津波高の過小評価を招く恐れはある。

(3) 津波警報・注意報

1) 予報区

津波警報・注意報は、全国の沿岸を66に分けた津波予報区ごとに、予想される津波の高さと到達予想時刻が発表される。

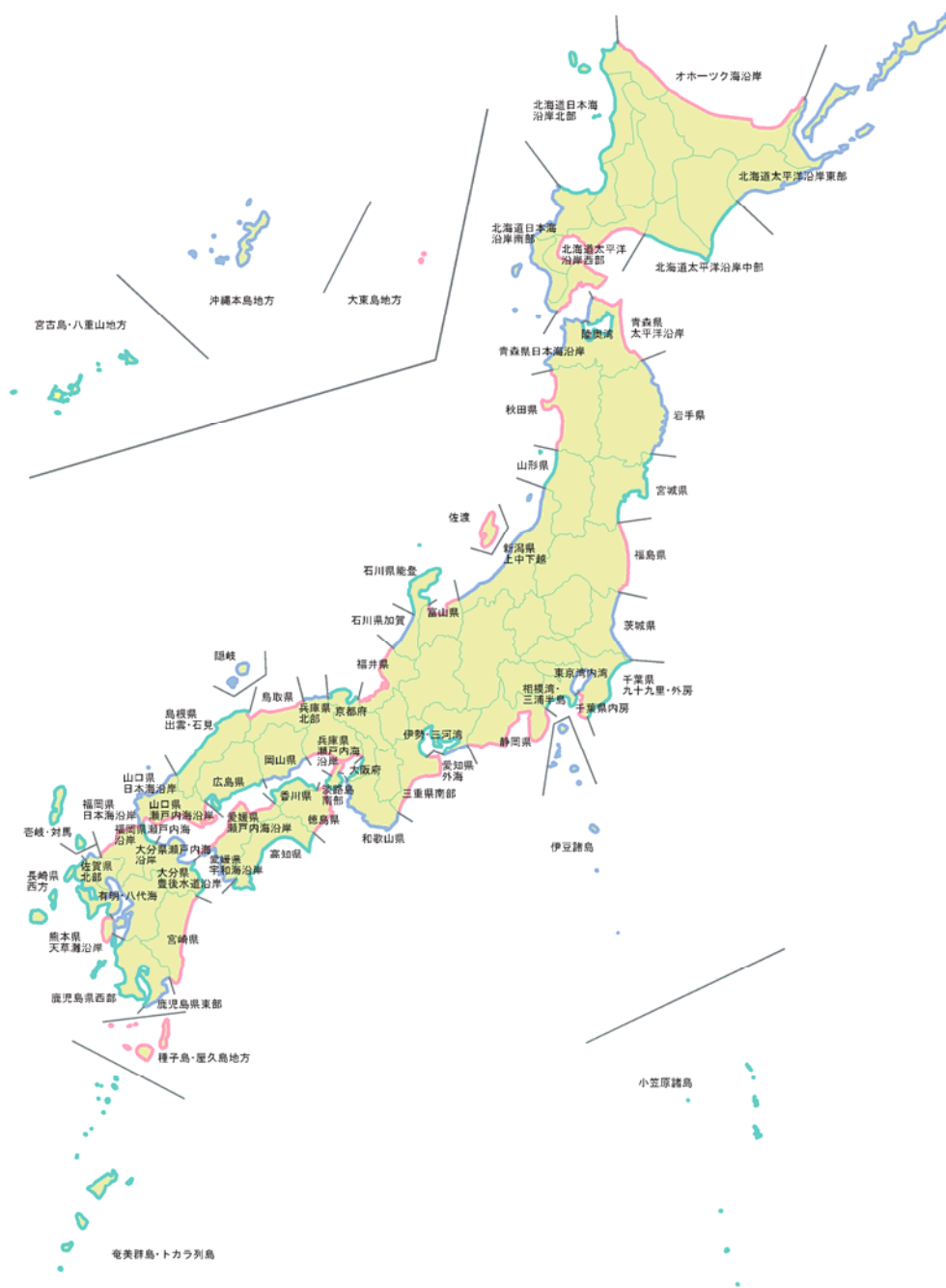


図 6. 1. 11 津波の予報区 ⁷³⁾

2) 予報区での津波の高さ

予報区に対する津波警報・注意報では、予報区内にある複数地点における津波の高さの予測値のうち、その中でいちばん高い値に基づき、「大津波」、「津波」、「津波注意」を判定し、その最大の高さを発表している。



予報区における津波の高さの求め方…各予報区内の予測点について、沿岸での高さに換算した値を比較し、いちばん高いものを採用する。

図 6.1.12 予報区における津波の高さの求め方²⁵⁾

表 6.1.8 津波警報・注意報の種類⁷⁴⁾

種類	発表基準	発表される津波の高さ		想定される被害と取るべき行動
		数値での発表(津波の高さ予想の区分)	巨大地震の場合の発表	
大津波警報	予想される津波の高さが高いところで 3m を超える場合。	10m 超 (10m < 予想高さ)	巨大	木造家屋が全壊・流失し、人は津波による流れに巻き込まれます。沿岸部や川沿いにいる人は、ただちに高台や避難ビルなど安全な場所へ避難してください。
		10m (5m < 予想高さ ≤ 10m)		
		5m (3m < 予想高さ ≤ 5m)		
津波警報	予想される津波の高さが高いところで 1m を超え、3m 以下の場合。	3m (1m < 予想高さ ≤ 3m)	高い	標高の低いところでは津波が襲い、浸水被害が発生します。人は津波による流れに巻き込まれます。沿岸部や川沿いにいる人は、ただちに高台や避難ビルなど安全な場所へ避難してください。
津波注意報	予想される津波の高さが高いところで 0.2m 以上、1m 以下の場合であって、津波による災害のおそれがある場合。	1m (0.2m ≤ 予想高さ ≤ 1m)	(表記しない)	海の中では人は速い流れに巻き込まれ、また、養殖いかだが流失し小型船舶が転覆します。海の中にいる人はただちに海から上がって、海岸から離れてください。

(4) 予報区への津波の到達時刻

水深の浅い沿岸付近では津波の到達予想時刻についても計算誤差が大きくなる。そこで、シミュレーションで得られる沖合いの予測点での到達時刻に、そこから沿岸まで津波が伝播する時間を加えることにより、予報区に対する津波到達時刻を算出している。津波の伝播速度 V は、重力加速度を g 、水深を h として、式 6.1 で算定されている。

$$V = \sqrt{g \cdot h} \quad \dots \dots \text{式 6.1}$$

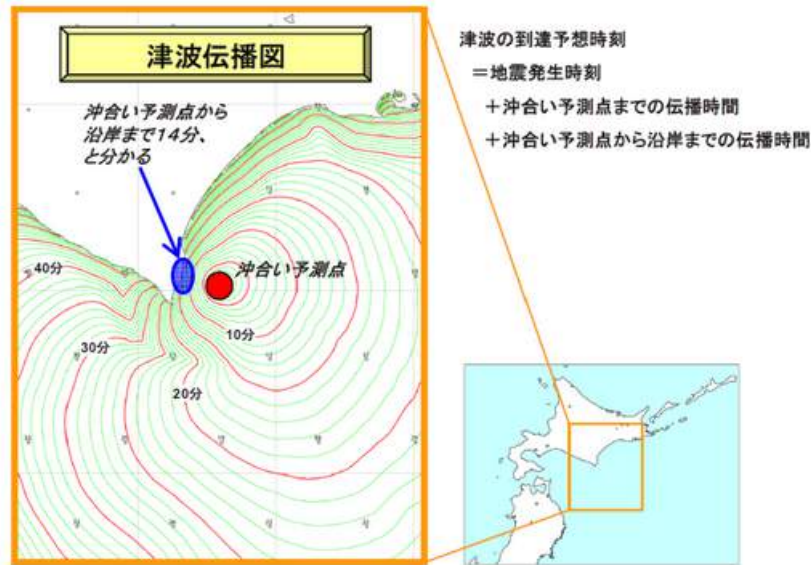


図 6.1.13 予報区における津波の到達予想時刻の求め方²⁵⁾

(5) 過去の津波の観測値と予測値との比較

津波予報データベースを使った予測値と過去の津波の観測値とを比較した 139 例の結果では、検潮所での観測値とデータベースの予測値との比の平均は 1.2 程度、津波警報・注意報で発表される津波予報区に対する予測値は、予報区内での最大の予測値を採用しているため、観測値に比べると平均して 1.8 倍程度になっていたとされる。

6.1.3 簡易手法

経験的、定性的な簡易な津波高，浸水範囲の予報手法としては表 6.1.9 に示す方法がある。

表 6.1.9 津波による浸水予測の簡易手法⁷⁵⁾

予測項目	方法の名称	予測に必要な情報	備考
海岸の津波高さ	気象庁の津波予報 (旧津波予報)	<ul style="list-style-type: none"> 震央距離 MJMA (気象庁マグニチュード) 	
	阿部 (1989) の予測式	<ul style="list-style-type: none"> 震央距離 Mw 	
陸域の浸水 (浸水範囲、水位分布)	レベル湛水法	<ul style="list-style-type: none"> 対象地海岸における津波の水位時刻歴波形 堤防 堤内地の地盤高 	浸水範囲のみ予測
	加藤ら (2007) の方法	<ul style="list-style-type: none"> 対象地海岸における津波の最高水位および周期 堤防 堤内地の地盤高 	浸水範囲と最大水位分布を予測
	The Tsunami Risks Project (2000) の方法	<ul style="list-style-type: none"> 対象地海岸における津波の最高水位 堤内地の地盤高 	浸水範囲 (浸水の最大遡上距離) を予測

6.1.4 新たな予測手法

(1) 津波遡上解析

- ① 二次元の津波伝播シミュレーション技術と、粒子法による三次元流体シミュレーション技術を連携させ、膨大な計算能力を必要とする津波が陸地を遡上する三次元的動きを追う精密なシミュレーションや陸上構造物への流体圧解析にスパコン「京」を使う予測手法。

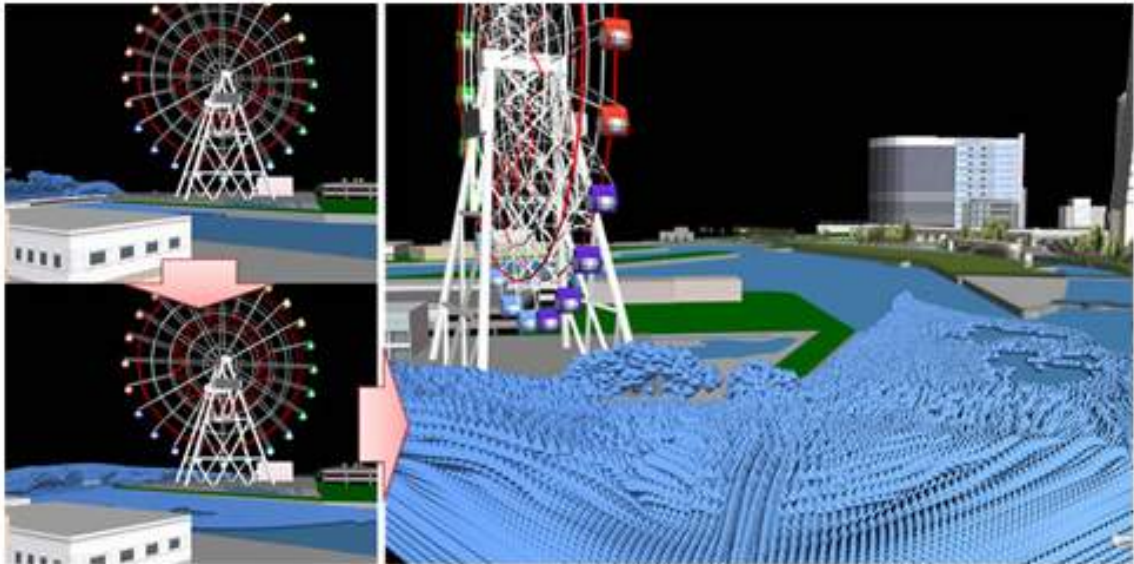


図 6.1.14 津波遡上解析の例（1）⁷⁶⁾

- ② 津波が陸上を遡上し建物などの建造物に衝突したり、建物内に浸入する様子を三次元で高精度に再現しながら、建造物に作用する津波の力を詳細に予測する手法。

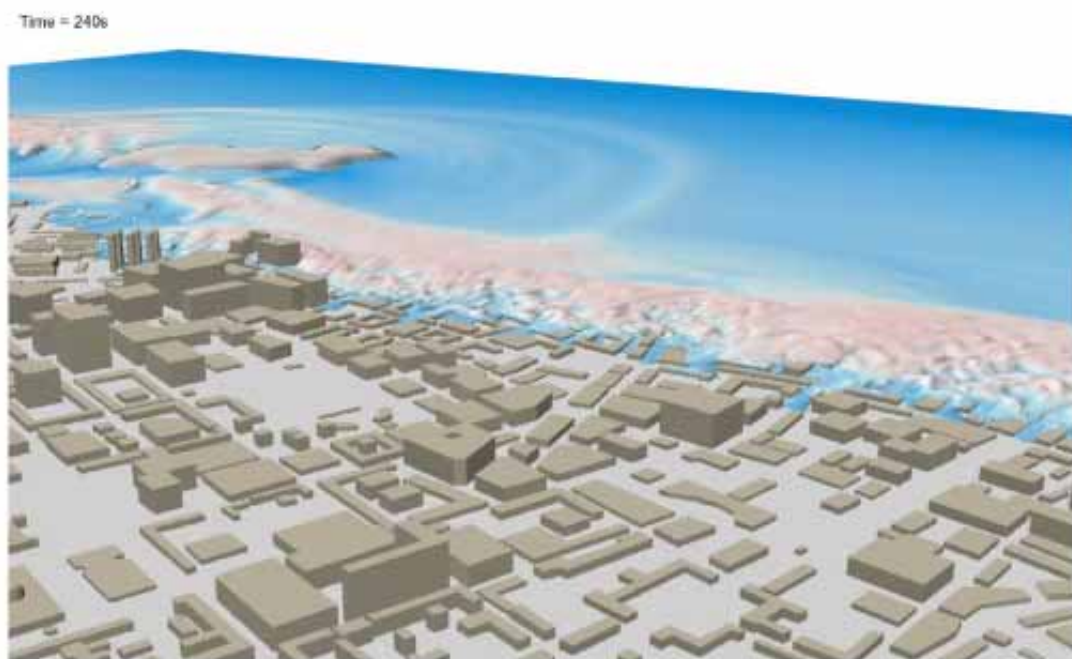


図 6.1.15 津波遡上解析の例（2）⁷⁷⁾

- ③ 津波による浸水だけでなく建物の破壊などもシミュレーションに取り入れ、津波が発生して伝播してくる海洋から、港湾や海岸、そして、道路や家々を含む街に至る広大な領域において詳細な津波の挙動を再現する予測手法。これに連携した動的ハザードマップはパソコンを用いたハザードマップで市民自ら操作することができるものである。



図 6. 1. 16 津波遡上解析の例 (3) ⁷⁸⁾

(2) 三次元津波解析

① 三次元津波シミュレーション

本シミュレーションは、水平流および鉛直流を直接計算し、地震による海底地殻変動から初期津波波高分布の形成過程をシミュレートする手法。現在一般的に用いられている津波評価計算法では、計算の簡単化のために二次元近似式が使用されるが、これらの近似の適用条件を越えるプレート内部地震での予測精度向上を図るものである。

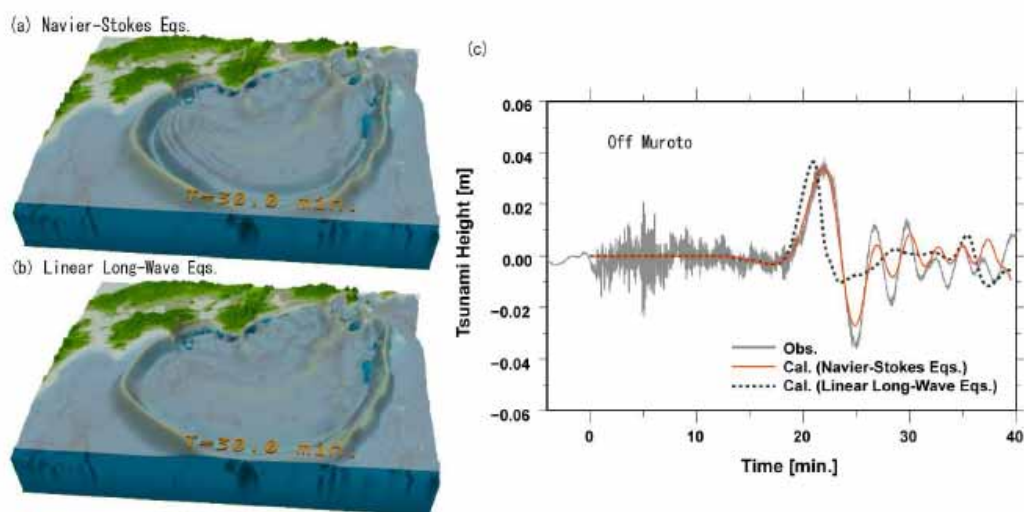


図 6. 1. 17 三次元津波解析の例 ⁷⁹⁾

- ② 津波漂流物の三次元挙動解析 (2009) ⁸⁰⁾
- ③ 三次元場における可動式津波防波堤の挙動解析 (2010) ⁸⁰⁾
- ④ 橋梁に作用する津波波力の予測に関する研究 (2011) ⁸⁰⁾
- ⑤ 釜石湾口防波堤の効果に関する研究

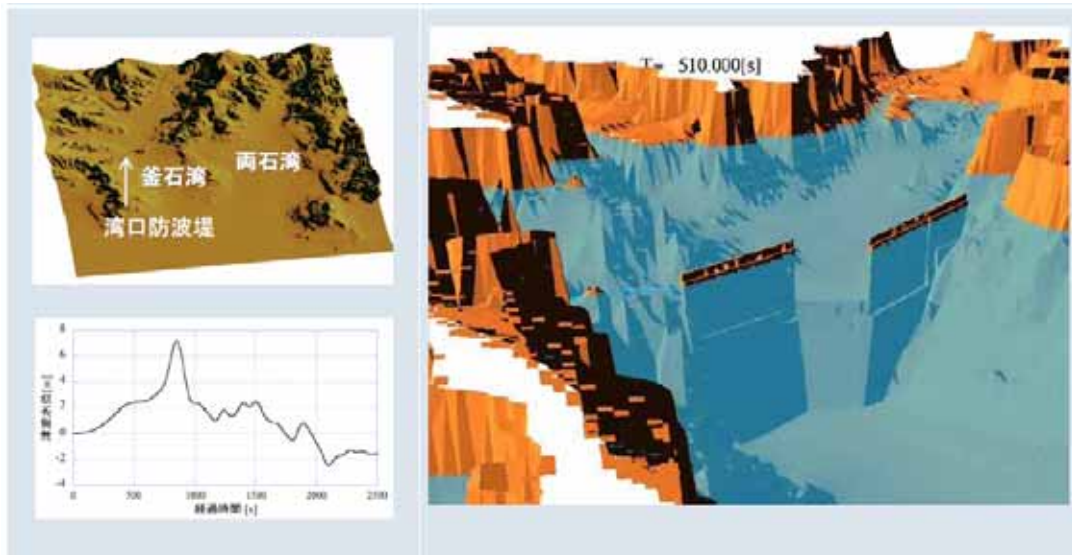


図 6.1.18 釜石湾口防波堤の効果 ⁸⁰⁾

(3) リアルタイム災害予測

現状では個別の解析として行われている地震動計算と津波計算を、スパコン「京」を使うことにより、一連のモデルとして同時に解析し、観測データに基づきリアルタイムで災害予測しようとするものである。

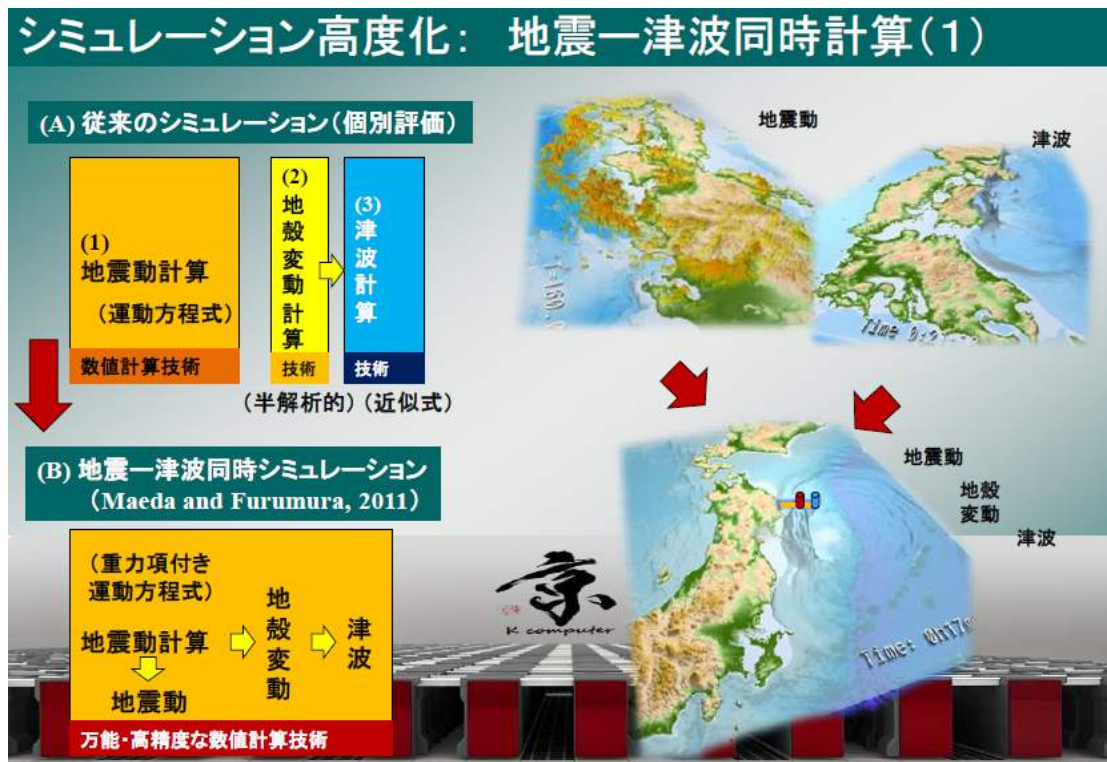


図 6.1.19 リアルタイム災害予測 ⁸¹⁾

6.2 東海・東南海・南海地震の津波の想定

6.2.1 国の予測

(1) 内閣府、南海トラフの巨大地震モデル検討会

内閣府で2011年8月に設置された「南海トラフの巨大地震モデル検討会」において最大クラスの地震・津波の検討が進められ、2012年3月31日に第一次報告として、震度分布・津波高（50mメッシュ）の推計結果がとりまとめられた。

さらに検討が進められ、第二次報告（2012年8月29日）として、10mメッシュによる津波高及び浸水域等の推計結果がとりまとめられた。

ここでは第二次報告の予測値を中心に紹介する。

南海トラフの津波断層モデルの詳細は前述したが、あらためて表6.2.1に示す。

表 6.2.1 南海トラフ津波断層モデル一覧

ケース名「断層を考慮する範囲」		すべり域の想定		
		大すべり域	超大すべり域	分岐断層
基本的な 検討ケース	ケース①「駿河湾～紀伊半島沖」	○	○	
	ケース②「紀伊半島沖」	○	○	
	ケース③「紀伊半島沖～四国沖」	○	○	
	ケース④「四国沖」	○	○	
	ケース⑤「四国沖～九州沖」	○	○	
その他 派生的な 検討ケース	ケース⑥「駿河湾～紀伊半島沖」	○	○	○
	ケース⑦「紀伊半島沖」	○	○	○
	ケース⑧「駿河湾～愛知県東部沖」 「三重県南部沖～徳島県沖」	○(2箇所)	○(2箇所)	
	ケース⑨「愛知県沖～三重県沖」 「室戸岬沖」	○(2箇所)	○(2箇所)	
	ケース⑩「三重県南部沖～徳島県沖」 「足摺岬沖」	○(2箇所)	○(2箇所)	
	ケース⑪「室戸岬沖」 「日向灘」	○(2箇所)	○(2箇所)	

1) 津波高さ予測

影響のある各都府県沿岸における、上記ケースによる津波高さの最大予測値、最小予測値を表6.2.2に示す（満潮位考慮）。

表 6. 2. 2 津波高さの予測値(最大値、最小値)

都府県	最 大		最 小	
	値 (m)	ケース	値 (m)	ケース
茨城県	6	⑥	4	②～④⑦⑨～⑪
千葉県	11	⑥⑧	5	⑤
東京都(区部)	3	①②⑥⑦	2	③～⑤⑧⑪
〃 (島嶼部)	31	①⑥⑧	12	③⑦
神奈川県	10	⑥⑧	4	④⑤⑦
静岡県	33	⑧	10	⑤
愛知県	33	①	8	④⑤⑩⑪
三重県	27	①	13	⑤⑪
大阪府	5	②～⑤, ⑦～⑪	4	①⑥
兵庫県	9	③⑦	5	⑥
和歌山県	20	⑦	12	①
岡山県	4	②～⑪	3	①
広島県	4	①～⑪	4	①～⑪
山口県	5	①～⑪	5	①～⑪
徳島県	24	③	10	⑥
香川県	5	④⑤	4	①～③⑥～⑪
愛媛県	21	⑪	9	①～③⑥～⑨
高知県	34	④⑤	17	①⑥
福岡県	4	①～⑪	4	①～⑪
長崎県	4	④⑤⑪	3	①～③⑥～⑩
熊本県	4	④⑤⑩⑪	3	①～③⑥～⑨
大分県	15	⑪	10	③⑧～⑩
宮崎県	17	④	14	③⑨
鹿児島県	13	⑪	8	①～③⑥～⑩
沖縄県	5	⑤⑨	4	⑤⑨以外

最大値は高知県の34mである。静岡県、愛知県ではほぼ同じ33mの予測がなされている。一方、最小値は高知県17m、静岡県10m、愛知県8mで断層モデルによっては最大値の半分以下の予測となる。しかし最小でも東海、南海沿岸では10m程度の予測がなされており、大きな津波が来襲することが分かる。

また瀬戸内海に面する県ではモデルによらず3～5m程度の津波が予測されている。さらに九州北～西沿岸にある福岡、長崎、熊本でも3～4m程度の津波高が予測されており警戒が必要である。

2) 浸水面積予測

都府県別、ケース別、浸水深1m以上の浸水面積予測値を表6.2.3に示す。最大は高知県の1.4万ヘクタール(≒12km×12km)である。それに続き三重県、宮崎県、静岡県、和歌山、徳島等が大きい。

表 6.2.3 都府県別浸水面積 (浸水深1m以上) ⁸²⁾

都道府県名	ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	ケース⑤	ケース⑥	ケース⑦	ケース⑧	ケース⑨	ケース⑩	ケース⑪	①~⑪の最大値
茨城県	260	180	160	140	190	250	180	260	240	150	140	260
千葉県	1,960	990	890	630	690	2,070	810	1,870	1,350	870	890	2,070
東京都(区部)	40	40	30	30	20	40	30	30	30	30	30	40
東京都(島嶼部)	1,100	680	600	800	860	1,130	630	1,050	760	660	830	1,130
神奈川県	680	280	250	170	160	740	230	820	280	200	250	820
静岡県	9,980	2,160	1,720	1,420	1,400	9,850	2,180	8,480	2,410	1,870	1,400	9,980
愛知県	3,180	1,890	1,200	940	950	2,420	1,650	2,340	2,880	1,190	880	3,180
三重県	11,170	10,380	3,710	3,250	3,710	11,190	10,400	7,130	11,130	5,400	3,300	11,190
大阪府	200	380	810	720	630	200	370	360	420	710	470	810
兵庫県	310	510	750	630	550	300	510	510	530	680	570	750
和歌山県	3,800	6,720	8,620	5,280	5,230	3,910	6,850	6,790	4,950	7,400	5,110	8,620
岡山県	160	170	600	640	640	160	180	170	590	350	620	640
広島県	430	420	390	380	400	420	420	420	400	400	400	430
山口県	590	580	550	600	630	580	570	580	560	580	630	630
徳島県	2,520	5,020	7,380	5,770	4,640	2,500	5,100	5,100	5,580	6,660	5,530	7,380
香川県	520	570	700	790	780	520	570	540	600	700	670	790
愛媛県	1,980	1,980	1,890	2,030	2,460	1,980	1,960	1,940	1,870	1,970	2,680	2,680
高知県	5,960	6,190	9,100	14,020	13,340	5,850	6,210	6,260	9,880	9,190	12,450	14,020
福岡県	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
長崎県	740	750	780	850	920	730	750	740	760	800	890	920
熊本県	140	130	140	160	160	130	130	130	140	150	160	160
大分県	2,790	2,780	2,790	3,260	4,050	2,780	2,790	2,790	2,640	2,890	4,420	4,420
宮崎県	7,900	7,800	7,060	6,340	8,860	7,900	7,800	7,680	6,970	6,600	9,990	9,990
鹿児島県	2,910	2,740	2,970	3,490	4,340	2,910	2,710	2,860	3,000	3,130	4,750	4,750
沖縄県	790	670	720	830	890	790	640	730	780	780	900	900
合計	60,240	54,150	53,880	53,280	56,820	59,570	53,780	59,700	58,870	53,490	58,070	60,240

都府県の浸水面積で整理
 -: 浸水なし
 *: 10ヘクタール未満

浸水状況の一例として三重県津市～鳥羽市付近のケース①の浸水範囲予測値を図6.2.1に示す。伊勢湾に面した伊勢市の宮川流域に浸水深2～5mの地域が広がることが分かる。

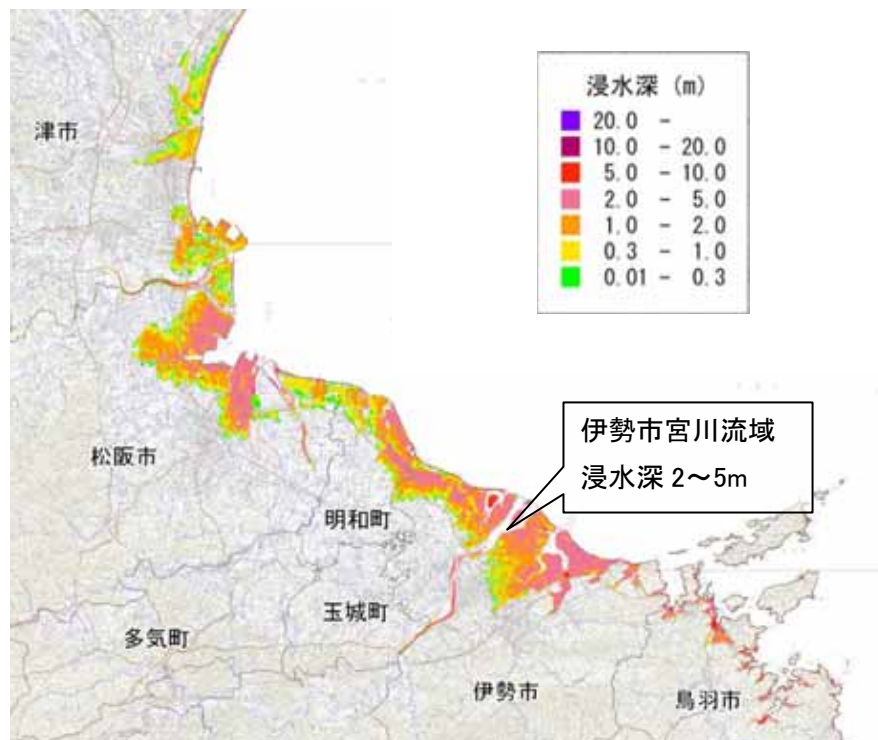


図 6.2.1 浸水範囲予測の一例(三重県伊勢市) ⁸²⁾に加筆

3) 到達時間予測

津波高さが+3m、+20mの到達時間の予測を表6.2.4、表6.2.6に示す。静岡、三重、和歌山、高知はいずれの検討ケースでも10分以内で津波が到達する。また+20mが到達する県は静岡県他5県のみであるが、7分～30分という早い時間で到達することが分かる。

大きな地震が来た際は一刻も早く高台への避難が必要である。また各自治体においては数分以内で避難が可能な避難場所、避難経路の整備が必要である。

表 6.2.4 都府県別 津波到達時間（津波高+3m）⁸²⁾

都府県別 津波到達時間(津波高+3m)(単位:分)												
都道府県名	ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	ケース⑤	ケース⑥	ケース⑦	ケース⑧	ケース⑨	ケース⑩	ケース⑪	①～⑪の最短時間
茨城県	100	126	-	294	292	99	-	101	-	-	-	99
千葉県	32	63	65	99	104	32	82	33	43	86	88	32
東京都(区部)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
東京都(島嶼部)	12	19	29	34	35	12	25	12	15	29	35	12
神奈川県	30	122	67	-	240	30	-	31	67	115	147	30
静岡県	3	5	5	6	7	3	5	4	4	5	6	3
愛知県	18	20	25	26	26	18	20	22	20	24	26	18
三重県	5	5	6	8	8	6	5	5	7	5	8	5
大阪府	-	117	105	115	120	-	117	117	116	117	115	105
兵庫県	64	48	48	51	57	64	48	48	51	49	51	48
和歌山県	4	3	3	4	5	4	3	3	4	3	5	3
岡山県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
広島県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
山口県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
徳島県	13	15	8	9	12	13	15	15	10	18	9	8
香川県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
愛媛県	26	25	26	23	23	26	25	25	27	24	23	23
高知県	6	5	3	3	4	6	5	5	5	5	3	3
福岡県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
長崎県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
熊本県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
大分県	23	22	21	22	21	23	22	22	23	23	21	21
宮崎県	21	20	19	19	20	21	20	20	22	21	20	19
鹿児島県	32	30	30	30	29	32	30	30	32	31	29	29
沖縄県	-	-	-	-	-	-	-	-	103	-	-	103
最短時間	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3

注)「津波高さ+3m」とは、満潮位を減じた津波高さである。

津波高さ+3mにおける静岡県、三重県、和歌山県、高知県の到達時刻を抜き出すと表6.2.5のとおりである。

表 6.2.5 静岡・三重・和歌山・高知における津波到達時間（津波高+3m）

県名	到達時刻	到達場所
静岡県	3分	清水区、焼津市
三重県	6分	熊野市
和歌山県	3分	太地町、串本町
高知県	3分	室戸市

表 6.2.6 都府県別 津波到達時間（津波高+20m）⁸²⁾

都府県別 津波到達時間(津波高+20m)(単位:分)

都道府県名	ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	ケース⑤	ケース⑥	ケース⑦	ケース⑧	ケース⑨	ケース⑩	ケース⑪	①～⑪の 最短時間
茨城県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
千葉県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
東京都(区部)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
東京都(島嶼部)	13	-	-	-	-	13	-	14	-	-	-	13
神奈川県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
静岡県	7	-	-	-	-	7	-	8	-	-	-	7
愛知県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
三重県	20	21	-	-	-	-	19	-	-	-	-	19
大阪府	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
兵庫県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
和歌山県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
岡山県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
広島県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
山口県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
徳島県	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	30
香川県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
愛媛県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
高知県	-	-	38	22	22	-	-	-	35	23	28	22
福岡県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
長崎県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
熊本県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
大分県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
宮崎県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
鹿児島県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
沖縄県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
最短時間	7	21	30	22	22	7	19	8	35	23	28	7

注)「津波高さ+20m」とは、満潮位を減じた津波高さである。

+20mの津波が到達する地域は、静岡県、三重県、徳島県、高知県、東京都（島嶼部）に限られる。その中で、静岡県では7分で到達する結果となっている。他の地域でも30分以内で到達することが分かる。

表 6.2.7 東京・静岡・三重・徳山・高知における津波到達時間（津波高+20m）

都道府県名	到達時刻	到達場所
東京都（島嶼部）	13～14分	新島村、神津島村
静岡県	7分	南伊豆町
三重県	19分	志摩市
徳島県	30分	美波町
高知県	22分	土佐清水市

避難の実態については、「東日本大震災の津波被災現況調査結果（第3次報告）～津波からの避難実態調査結果(速報)～ 2011年12月26日」⁸³⁾によると以下のとおりである。

- ① 地震後10～15分後の避難が最も多い。
- ② 避難距離は徒歩で500m、車で2,500m。
- ③ 避難方法は全年齢で見ると若干車が多い。

この結果から、徒歩を対象として少なくとも500m以内に避難場所が確保される必要があると考えられる。

表 6.2.8 津波高+3m、+20m の算定結果総括

都道府県名	津波高さ+3m		津波高さ+20m	
	到達時間(分)		到達時間(分)	
	最 短	最 長	最 短	最 長
東京都（島嶼部）	12	35	13	14
静岡県	3	7	7	8
三重県	5	8	19	21
和歌山県	3	5	-	-
徳島県	8	18	30	30
高知県	3	6	22	38

避難場所の一例として御前崎市の津波避難タワーを図 6.2.2 に示す。



静岡県御前崎市

図 6.2.2 津波避難タワー⁸⁴⁾

6.2.2 国土交通省、中部の港湾における地震・津波対策に関する懇談会

この懇談会は「港湾における総合的な津波対策のあり方(中間とりまとめ)」(H23.7.6 交通政策 審議会港湾分科会防災部会)などがとりまとめられ、港湾における地震・津波対策の基本的な考え方が示されたことを受け、他地域とも連携しつつ、東海・東南海地震等による被害の軽減対策など、特に対策が急がれる中部地方の港湾における地震・津波対策を検討する”目的で設立されたものである(2011年11月4日第1回資料1より)。

検討体制は以下に示す各港の会議体と、中部の港湾における地震・津波対策に関する懇談会が連携し、港湾の機能強化, 被災低減を目指した施策を討議し実施するものである。

各港の会議体

- ① 名古屋港地震・津波対策検討会議
- ② 四日市港地震・津波対策検討会議
- ③ 津松阪港地震・津波対策検討会議
- ④ 三河港地震・津波対策検討会議
- ⑤ 衣浦港地震・津波対策検討会議

名古屋港地震・津波対策検討会議資料より、中部地方整備局実施シミュレーションの方針が以下の様に示されている。

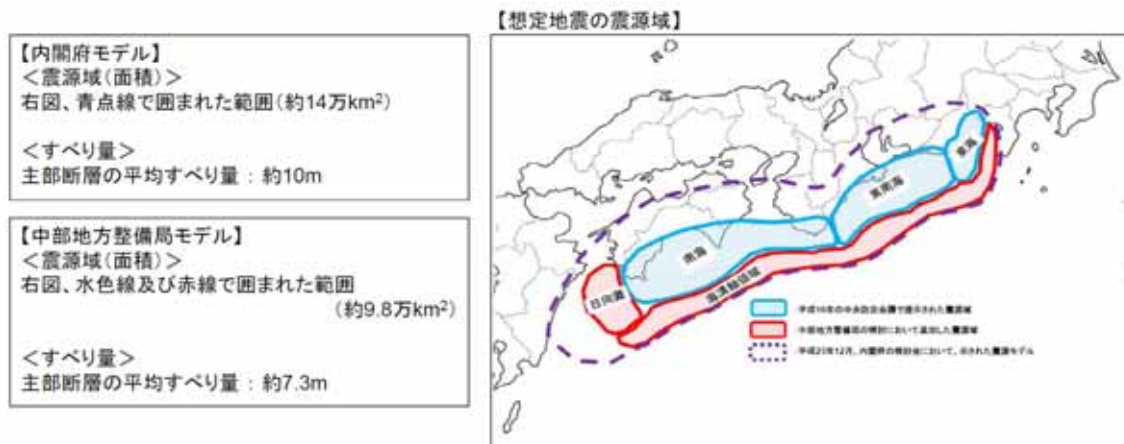


図 6.2.3 中部地方整備局モデル⁸⁵⁾

中部地方整備局津波シミュレーションの補正方針について

内閣府より提供されている強震断層パラメータ及び津波断層パラメータを用い(既取得)、今後内閣府で公表される10mメッシュのデータを基に、中部地方整備局において、施設条件等詳細を確認の上、施設条件が適切に設定されていない港湾については津波推計を行う。

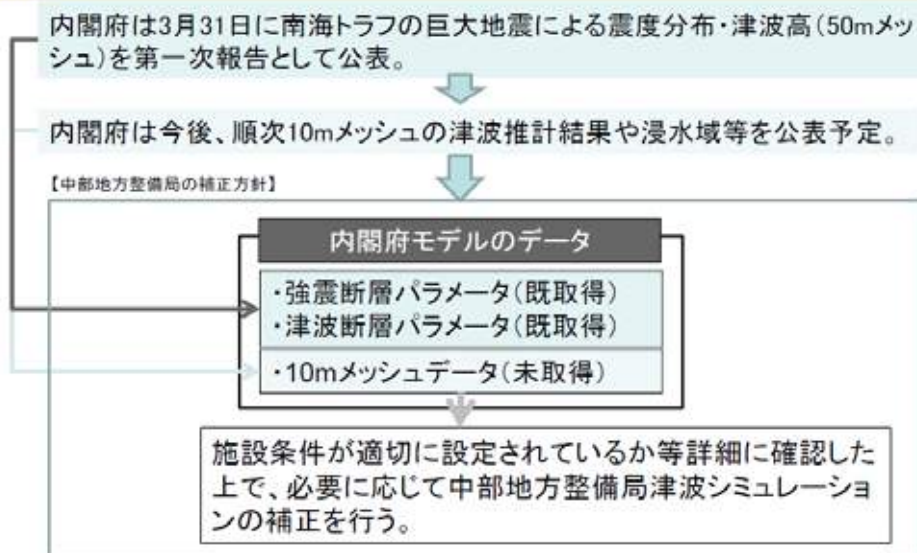


図 6.2.4 中部地方整備局津波シミュレーション補正方針⁸⁵⁾

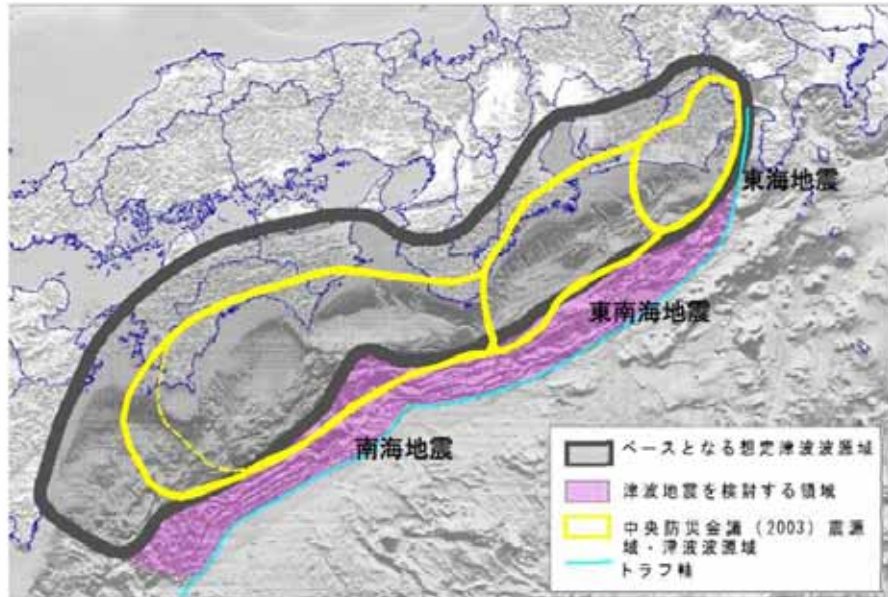
以上より、今後内閣府の提示したシミュレーションに補正を加えた中部地方整備局津波シミュレーションの結果が公表される可能性がある。

6.2.3 自治体の予測

(1) 浜松市の公開データ

自治体で独自のシミュレーション結果を公表している例として、“浜松市津波対策委員会”が挙げられる。

シミュレーションモデルは以下に示すようである。



中央防災会議(2003)モデル(図中の黄色箇所)

想定津波 (地震断層モデル)	中央防災会議2003モデル(図中黄色線) ※内閣府「南海トラフの巨大地震モデル検討会」中間とりまとめ(2011年12月27日)のモデルではない(図中灰色太線)。
地震規模	マグニチュード8.7, 8.9, 9.0の3パターン (すべり量のみを変化させてマグニチュードを算出)
潮位条件	T.P. +0.73m(中央防災会議2003年データより)
計算格子間隔	1350m, 450m, 150m, 50m(中央防災会議2003データより) ※内閣府の中間とりまとめでは最小10mメッシュ単位で推計
地盤変位条件	地盤の沈降は考慮し、地盤の隆起は考慮しない。
堤防の有無	堤防は考慮しない。但し、遠州灘砂丘は考慮する。
建物条件	津波侵入の障害となる建物は考慮していない。

図6.2.5 浜松市津波対策委員会シミュレーションモデル(中央防災会議との比較)⁸⁶⁾

シミュレーションの結果、津波高さは約10mである。浜松海岸には自然の砂丘があるが、それを浸水深7~8mで乗り越え、内陸部3~4kmまで浸水するとの結果が示されている。

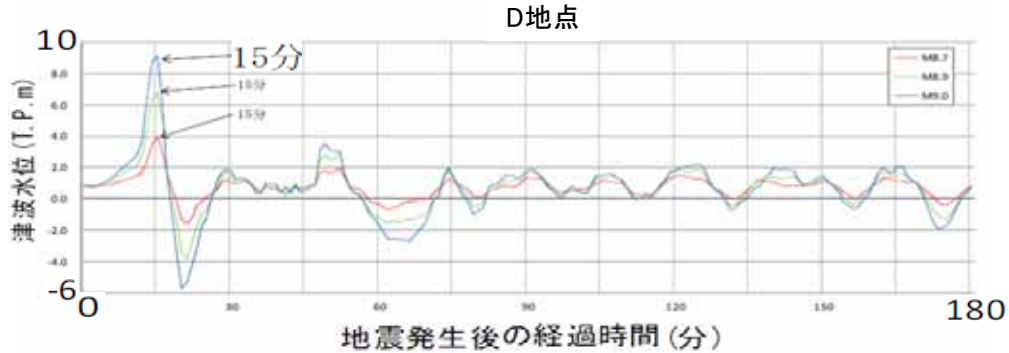
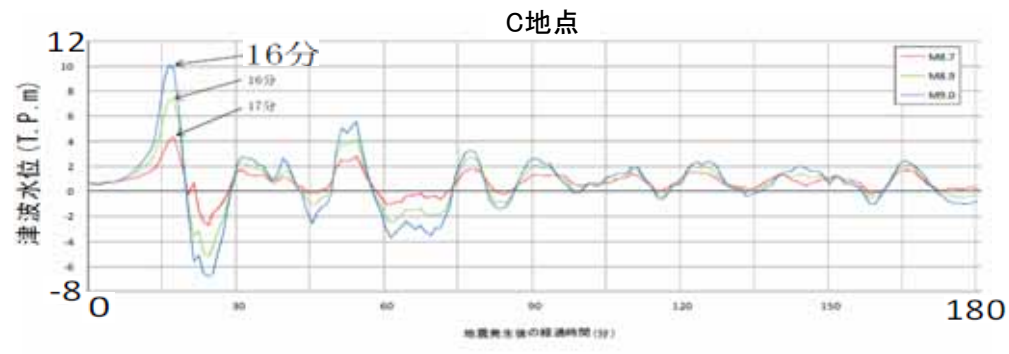
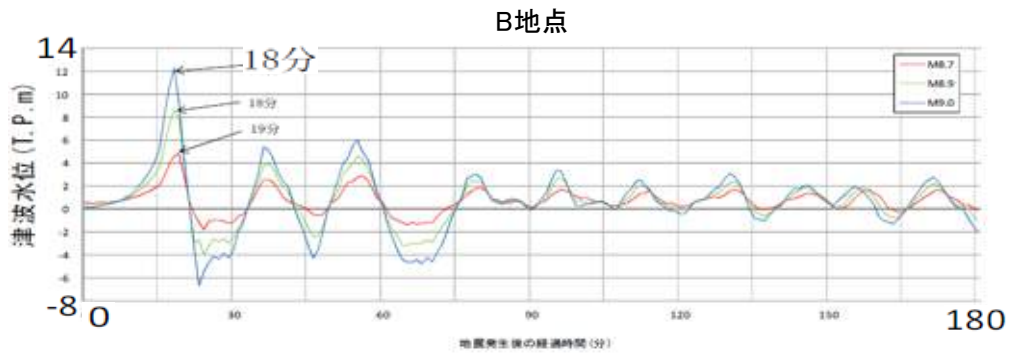
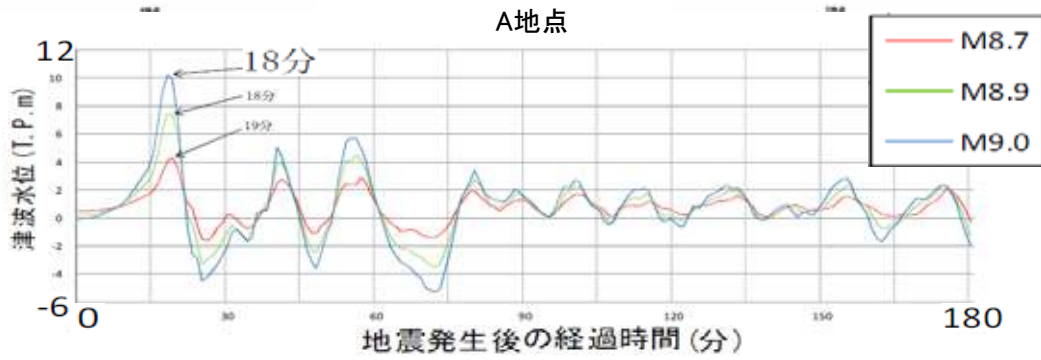
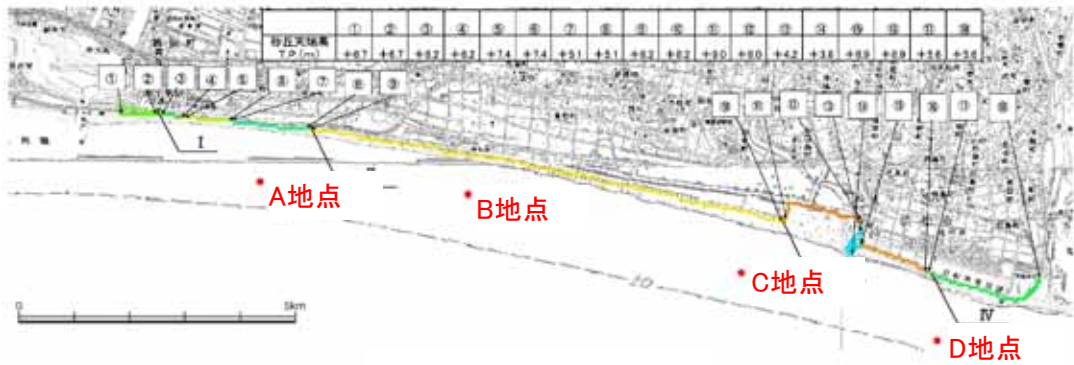
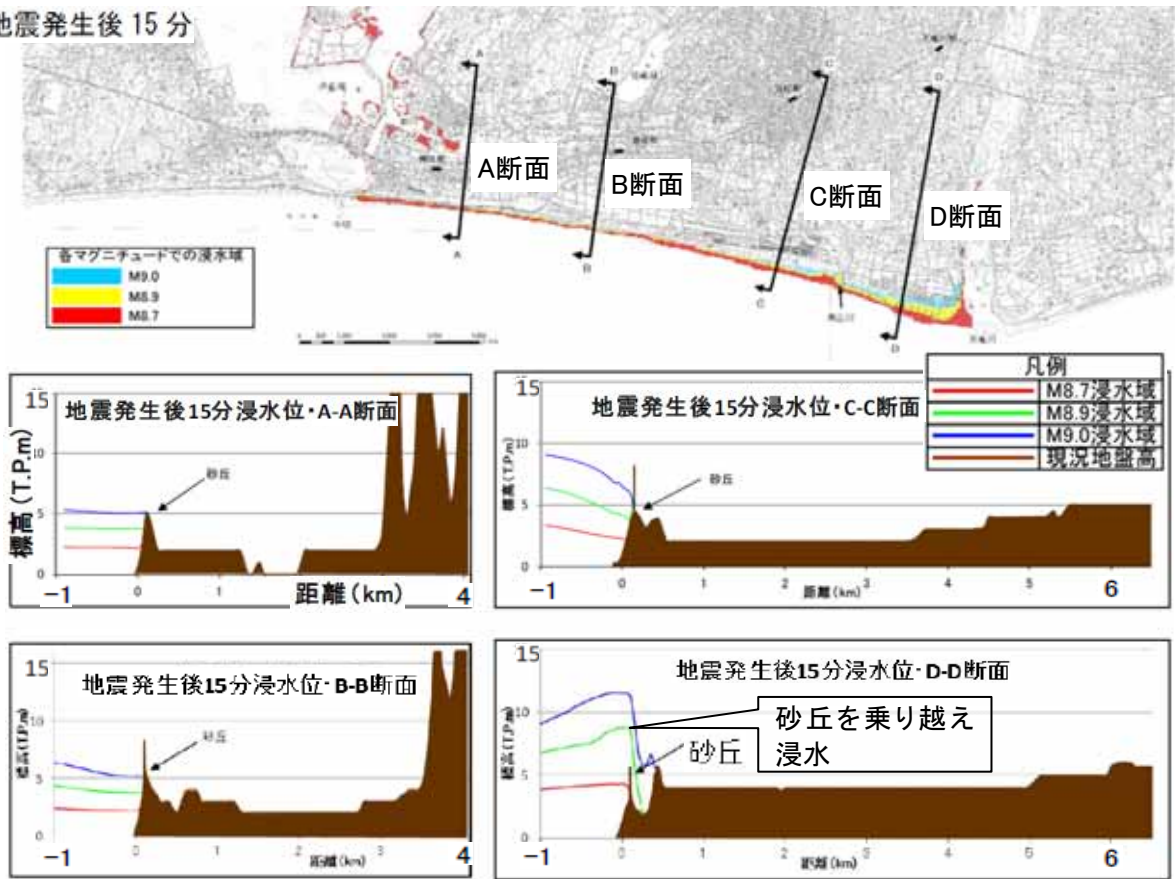


図 6. 2. 6 浜松市津波対策委員会シミュレーション結果その 1 ⁸⁶⁾に加筆

地震発生後 15 分



地震発生後 30 分

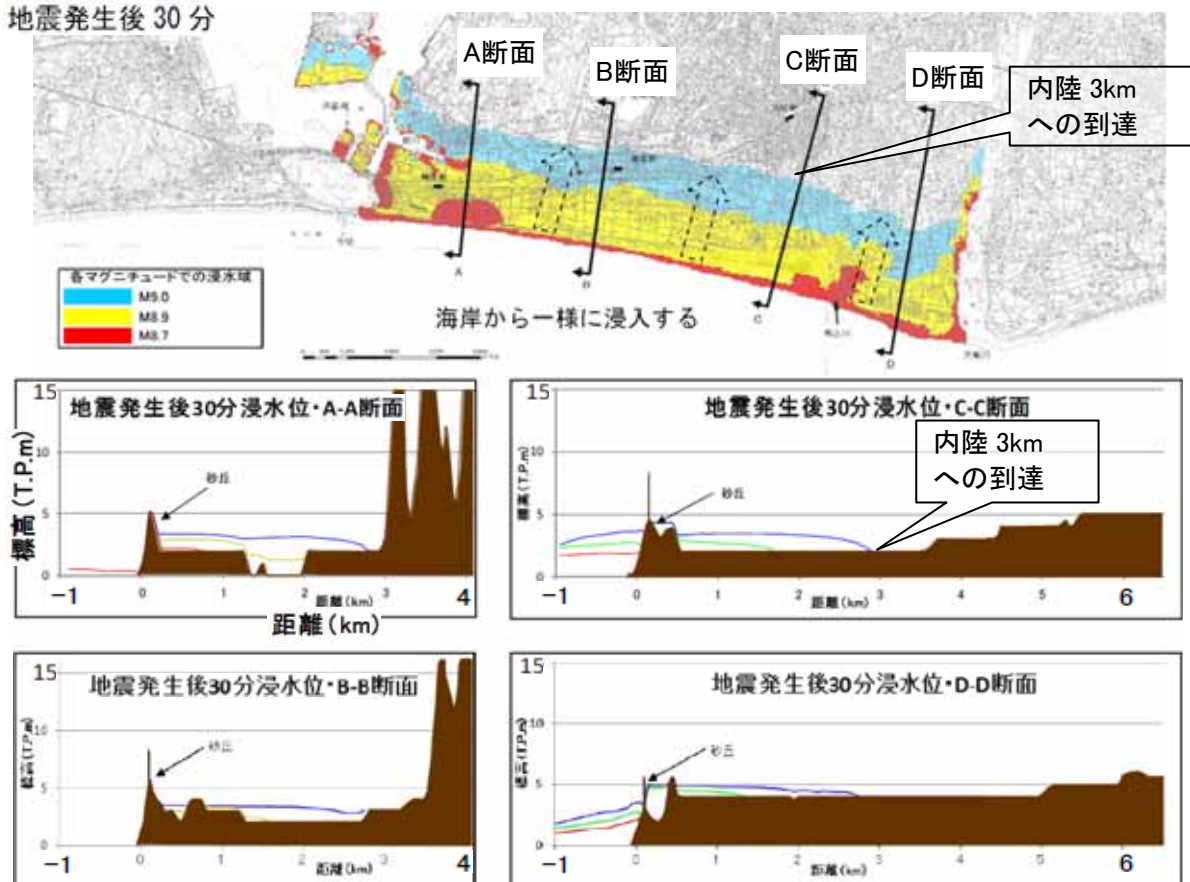


図 6.2.7 浜松市津波対策委員会シミュレーション結果その 2 ⁸⁶⁾に加筆

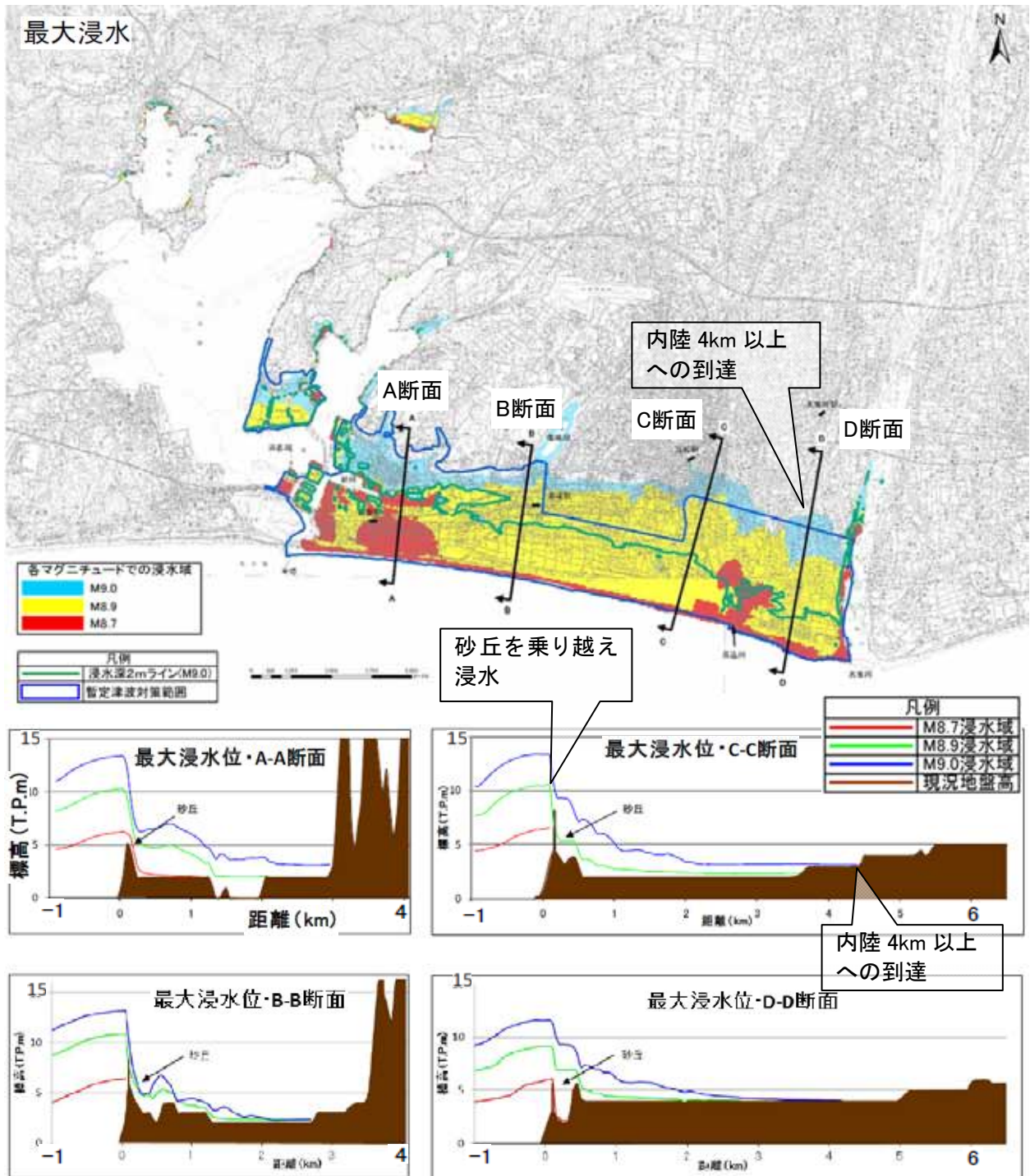


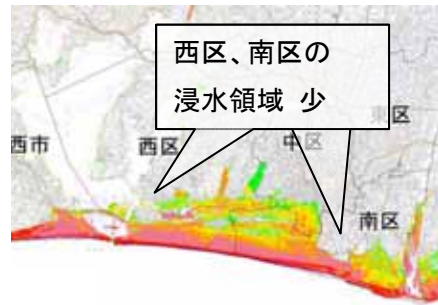
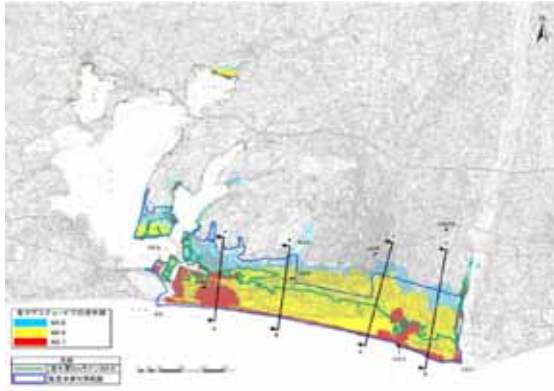
図 6.2.8 浜松市津波対策委員会シミュレーション結果その 3 ⁸⁶⁾に加筆

地震発生後津波は沿岸に 15 分程度で到達する。さらに天竜川の河口付近で浸水が発生する。さらに 30 分で多くの地域が浸水することが分かる。

浸水範囲について図 6.2.9 の左に浜松市のシミュレーション結果、右に内閣府発表のシミュレーション結果を示す。

浸水面積は浜松市予測より、内閣府予測（2012 年 8 月 29 日版）の方が南区、西区において若干狭いように感じる。

上記のシミュレーション結果は中間報告であり、今後も動向に着目する必要がある。



浜松市シミュレーション結果⁸⁶⁾

内閣府シミュレーション結果(ケース①)⁸²⁾に加筆

図 6.2.9 浜松市、内閣府シミュレーションの比較(浸水範囲)

(2) 静岡県の公開データ

静岡県では2012年10月30日から、静岡県統合基盤地理情報システム(GIS)のホームページに南海トラフの巨大地震モデル検討会(2012年8月29日)に基づいた津波浸水予測情報を載せている。

静岡県統合基盤地理情報システム(GIS)は、環境、安全、都市計画、地質情報、災害情報など多岐に渡る情報データベースで、津波浸水深の情報はその一機能である。ベースの地図はGoogleマップであり、住所検索、航空写真表示の機能がそのまま使え、非常に使い易い。

浜岡原子力発電所周辺の表示結果を例として示す。

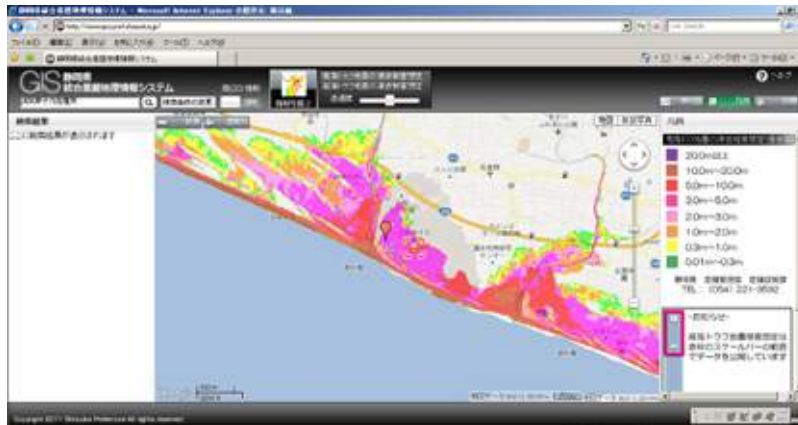


図 6.2.10 静岡県統合基盤地理情報システム HP(地図表示)⁸⁷⁾

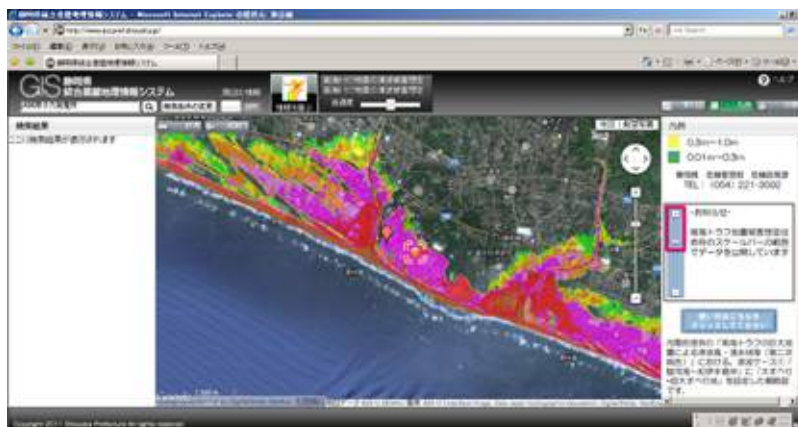


図 6.2.11 静岡県統合基盤地理情報システム HP(航空写真表示)⁸⁷⁾

7 地震・津波対策に関する提言

東日本大震災発災後に様々な団体から様々な提言が発表された。以下に主な提言を記載する。

7.1 東日本大震災復興構想会議

(1) 経緯

本会議は、内閣官房を事務局とし、2011年4月14日に第一回会議を開催して以降、合計13回開催された。2011年5月10日に「復興構想7原則」を、2011年6月25日に「復興への提言 ～悲惨のなかの希望～」を提言した。

(2) 復興構想7原則

復興構想に関する原則を7つ提言しており、それらを以下に記載する。

- 原則1：失われたおびただしい「いのち」への追悼と鎮魂こそ、私たち生き残った者にとって復興の起点である。この観点から、鎮魂の森やモニュメントを含め、大震災の記録を永遠に残し、広く学術関係者により科学的に分析し、その教訓を次世代に伝承し、国内外に発信する。
- 原則2：被災地の広域性・多様性を踏まえつつ、地域・コミュニティ主体の復興を基本とする。国は、復興の全体方針と制度設計によってそれを支える。
- 原則3：被災した東北の再生のため、潜在力を活かし、技術革新を伴う復旧・復興を目指す。この地に、来たるべき時代をリードする経済社会の可能性を追求する。
- 原則4：地域社会の強い絆を守りつつ、災害に強い安全・安心のまち、自然エネルギー活用型地域の建設を進める。
- 原則5：被災地域の復興なくして日本経済の再生はない。日本経済の再生なくして被災地域の真の復興はない。この認識に立ち、大震災からの復興と日本再生の同時進行を目指す。
- 原則6：原発事故の早期収束を求めつつ、原発被災地への支援と復興にはより一層のきめ細やかな配慮をつくす。
- 原則7：今を生きる私たち全てがこの大災害を自らのことと受け止め、国民全体の連帯と分かち合いによって復興を推進するものとする。

(3) 復興への提言～悲惨のなかの希望～

復興構想七原則に基づき、今後の復興のあり方を、①減災にもとづく市町村主体の新しい地域のかたち、②地域再生のためのさまざまな産業の活性化の方向性、③原子力災害に対する対応策を示すとともに再生可能エネルギー推進による日本のエネルギー構造の新たな方向、④つながり支えあうことによる開かれた復興への道筋に分けて提言している。

7.2 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

(1) 経緯

本専門調査会は、内閣府を事務局とし、2011年4月27日に第一回会合を設置以降、合計12回開催された。2011年6月26日に「今後の津波防災対策の基本的考え方について（中間とりまとめ）」および「中間とりまとめに伴う提言～今後の津波防災対策の基本的考え方について～」を公表した。また、2011年9月28日に「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」をとりまとめた。

(2) 調査報告内容

東日本大震災の発災から現在までに明らかになった課題を中心に集中的に議論を重ね、早急に今後の地震・津波対策の方向性を示すという使命を持って、とりまとめられている。地震・津波対策の方向性としては、下記のように取りまとめられている。

- ① 最大クラスの津波に対しては、被害の最小化を主眼とする「減災」の考え方にに基づき、海岸保全施設等のハード対策と、ハザードマップ整備などの避難を中心とするソフト対策を組み合わせ実施する。
- ② 津波からの避難は、強い揺れや長い揺れを感じた場合、迷うことなく自ら高い場所に避難することを基本とする。
- ③ 津波到達時間が短い地域では、概ね5分程度で避難できるようなまちづくりを目指す。

ただし、地形的条件などの状況により、このような対応が困難な地域では、津波到達時間などを考慮して避難方策の検討を基本的な考え方として下記のことに重点をおいて取りまとめられている。

- ① 円滑な避難行動のための体制整備とルールづくり
- ② 地震・津波に強いまちづくり
- ③ 津波に対する防災意識の向上

7.3 社会資本整備審議会・交通政策審議会計画部会合同会議

(1) 経緯

本会議は、国土交通省総合政策局を事務局とし、2011年7月6日に「津波防災まちづくりの考え方」を提言した。

(2) 津波防災まちづくりの考え方

これまで津波対策については、一定頻度の津波レベルを想定し、主に海岸堤防などのハードを中心とした対策を行って来たが、今回のような低頻度ではあるが大規模な津波災害に対する減災の考え方をも明確にした。また、自助・共助・公助を踏まえた国の役割、ハード・ソフトの連携（組み合わせ）、限られた財源等の中での効果的な施策展開に留意し、具体的な取り組みを進めるように取りまとめている。

津波災害に対しては、今回のような大規模な津波災害が発生した場合でも、なんとしても人命を守るという考え方にに基づき、ハード・ソフト施策の適切な組み合わせにより、減災（人命を守りつつ、被害を出来る限り軽減する）のための対策を実施する。

このうち、海岸保全施設等の構造物による防災対策については、社会経済的な観点を中心に考慮し、比較的頻度の高い一定程度の津波レベルを想定して、人命・財産や種々の産業・経済活動を守り、国土を保全することを目標とする。

以下のような新たな発想による津波防災まちづくりのための施策を計画的、総合的に推進する仕組みを構築する。

- ① 地域ごとの特性を踏まえ、ハード・ソフトの施策を柔軟に組み合わせ、総動員させる「多重防衛」の発想による津波防災・減災対策。

- ② 従来の、海岸保全施設等の「線」による防御から、「面」の発想により、河川、道路や、土地利用規制等を組み合わせたまちづくりの中での津波防災・減災対策。
- ③ 避難が迅速かつ安全に行われるための、実効性のある対策。
- ④ 地域住民の生活基盤となっている産業や都市機能、コミュニティ・商店街、さらには歴史・文化・伝統などを生かしつつ、津波のリスクと共存することで、地域の再生・活性化を目指す。

防災・減災対策の計画や施設の設計にあたっては、被災時の事業継続及び迅速な応急対応や、被災後の国民生活と産業活動の早期復旧が可能なものとなるよう、配慮することが重要である。

沿岸低平地の土地利用が多い我が国の特性を踏まえ、地域の特性に応じ、想定される津波被害に応じた適切な対策を講ずることで、津波災害に強い国土構造への再構築を目指す。

7.4 交通政策審議会港湾分科会防災部会

(1) 経緯

本部会は、国土交通省港湾局を事務局とし、2011年7月6日に「港湾における総合的な津波対策のあり方」（中間とりまとめ）を公表した。また、2012年5月8日に「港湾における総合的な津波対策のあり方（案）」を公表した。更に、2012年6月13日に「港湾における地震・津波対策のあり方」を公表した。

(2) 港湾における地震・津波対策のあり方

東日本大震災の教訓と切迫性が指摘される大規模地震への対応という課題をうけて、災害時においても国民生活及び産業活動を支えるため島国日本の人口・資産を守り港湾の物流機能を維持するということを基本的な考え方としている。その考え方をもとに施策方針としては、港湾の津波からの防護、港湾の災害対応力の強化、災害に強い海上輸送ネットワークの構築を柱に対策をまとめている。

7.5 海岸における津波対策検討委員会

(1) 経緯

本委員会は、国土交通省河川局、港湾局、農林水産省農村振興局、水産庁を事務局とし、2011年11月17日に「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」を提言した。

(2) 基本的な考え方

東日本大震災で大きく被災した海岸保全施設の復旧において、①設計に用いる設計津波の設定方法及び天端高の設定方法、②設計対象の津波高を超えた場合でも粘り強く効果を発揮する海岸堤防等の構造、③設計対象の津波を生じさせる地震を踏まえた耐震対策の考え方についてとりまとめている。

7.6 東北港湾津波・震災対策技術検討委員会

(1) 経緯

本委員会は、国土交通省東北地方整備局を事務局とし、2011年9月26日に検討内容を報告した。

(2) 内容

地震・津波の現象を把握し、防波堤や係留施設の被災要因の分析を行った上で、被災原因を踏まえた設計外力や対策工法にかかる技術的検討を行い、港湾施設の被災要因の分析、復旧断面の考え方と粘り強い構造への対策等について検討を行った。

7.7 東北港湾復旧・復興基本方針検討委員会

(1) 経緯

本委員会は、国土交通省東北地方整備局を事務局とし、2011年11月21日に「東北港湾の復旧・復興基本方針」を公表した。

(2) 東北港湾の復旧・復興基本方針

今回被災した港湾ごとに地元関係者からなる復興会議を設置し、「新たな港づくり」の観点から、産業復興を支える物流機能のあり方や、産業活動・まちづくりと連動した津波防災のあり方を検討し、各港復興会議と有機的な連携を図り、各港の自主性を重んじつつも、東北港湾を貫く統一した考え方を示すために地元関係者の共通指針として「産業・物流復興プラン」（復旧・復興方針）を取りまとめている。

7.8 被災港湾における地域協議会

本協議会は、地元の各関係機関を事務局とし、被災港湾において、地元自治体、港湾管理者、港湾利用者、直轄港湾事業者等からなる復興会議を設置し、復旧・復興に向けた指針として「産業・物流復興プラン」を策定した。策定した港湾は、八戸港、久慈港、宮古港、釜石港、大船渡港、石巻港、仙台塩釜港、相馬港、小名浜港、日立港、常陸那珂港、大洗港、鹿島港である。

7.9 土木学会

(1) 経緯

2011年3月23日に土木学会長、地盤工学会長、日本都市計画学会長が共同緊急声明「東北関東大震災 一希望に向けて英知の結集を」を発表した。2011年4月25日に土木学会、空気調和・衛生工学会、地盤工学会、日本建築学会、日本コンクリート工学協会、日本造園学会、日本都市計画学会が共同提言「東北地方太平洋沖地震後の国土・地域復興に関する関連学協会会長共同アピール」を公表した。2011年5月27日に東日本大震災特別委員会建設マネジメント特別テーマ委員会が「東日本大震災の復旧・復興に向けたPFI／PPPの活用に関する提言」を公表した。2011年5月27日に日本学術学会東日本大震災の総合対応に関する学協会連絡会が「巨大地震と大津波から国民の生命と国土を護るための基本方針」を公表した。2012年3月に東日本大震災特別委員会が「1年間の活動・成果・提言」を公表した。

(2) 1年間の活動・成果・提言

津波特定テーマ委員会では、以下の提言を行っている。

① 津波のレベルの考え（レベル2）

津波減災レベルの津波の高さを精度良く設定することは現時点の科学・技術的な知見では限界

がある。そのため、歴史津波を含めた痕跡を再整理し、その分布の包絡線として津波高さを設定する方法が考えられる。しかし、この設定法には不確実性があるため、最新の地球科学等からの知見を踏まえつつ、種々の計算条件を設定した津波数値計算による予測を併用して、安全側の設定となる工夫を図るとともに随時見直すことが必要である。

② 地域での多重防御の考え

地域の津波対策は、海岸保全施設に加え、盛土構造の活用、地域計画、土地利用規制等による多重的な防護機能を兼ね備える必要がある。津波の来襲時に、まずは人命を守ることを目指して、避難計画を含めた被害軽減を図り、復旧・復興を行いやすい津波に強いまちづくりを目指して、対策を進めることが重要である。

③ 避難体制・計画の充実

住民の命を守るための避難計画や津波情報の伝達システム等の対策は、津波減災レベルを基本として再構築する必要がある。さらに、地域のハザードマップ（防災地図）等には津波減災レベルを具体的に反映させることが重要で、そのためには地域に根ざした津波防災専門家の養成が必要である。

④ 避難計画の策定

避難場所の選定を地域の特性に応じて適切に行う必要がある。特に避難施設の設定では、津波減災レベルの津波に対して倒壊せず、十分な高さを有し、極力津波来襲時に孤立しない適切な場所を選定する等、地域計画、土地利用の面からも対策を講じることが重要である。

⑤ 避難時の情報提供

津波予警報や避難勧告・指示に加え、津波の来襲状況を正確に把握するため、GPS 波浪計の設置及び水圧式波高計等の壊れにくい観測設備の開発を行う。

⑥ その他

これらハードとソフトが一体となった対策を 100 年以上の長期にわたって持続できるスキームを検討する。（高所移転しても数十年経過すると低平地に戻ってしまう事例が多い。明治・昭和の三陸津波における高所移転問題の教訓を整理し、現代に置き換えて考えることが重要である。）

7.10 その他

東北地方太平洋沖地震より前から津波に対する提言は数多くあるが、それらは首藤らの著作（首藤伸夫監修、津波の辞典、朝倉書店、2007 年）に詳細に述べられているので、参考にされたい。

8 地震・津波対策の施策

8.1 国の動き

東日本大震災の発災後、国においては、被災した地域の復旧・復興および同様の災害に備えたさまざまな法律を策定している。以下に主なものを記載する。

(1) 東日本大震災復興基本法

2011年6月24日に施行された。東日本大震災からの復興の円滑かつ迅速な推進と活力ある日本の再生を図ることを目的として策定されている。現在及び将来の国民が安心して豊かな生活を営むことができる経済社会の実現に向けて、東日本大震災からの復興のための資金の確保、復興特別区域制度の整備その他の基本となる事項を定め、東日本大震災復興対策本部の設置及び復興庁の設置に関する基本方針を定めている。

(2) 津波対策の推進に関する法律

2011年6月24日に施行された。津波対策を総合的かつ効果的に推進し、もって社会の秩序の維持と公共の福祉の確保に資することを目的として策定されている。津波対策に関する観測体制強化、調査研究推進、被害予測、連携協力体制整備、防災対策実施などが規定されている。

(3) 東日本大震災復興特別区域法

2011年12月26日に施行された。東日本大震災からの復興に向けた取組の推進を図り、もって東日本大震災からの復興の円滑かつ迅速な推進と活力ある日本の再生に資することを目的として策定されている。具体的には、復興特別区域基本方針、復興推進計画の認定及び特別の措置、復興整備計画の実施に係る特別の措置、復興交付金事業計画に係る復興交付金の交付等について定めている。

(4) 津波防災地域づくりに関する法律

2011年12月27日に施行され、同日に津波防災地域づくりの推進に関する基本的な指針も決定されている。2012年6月13日に改正された。津波による災害の防止等の効果が高く、将来にわたって安心して暮らすことのできる安全な地域の整備等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、身体及び財産の保護を図ることを目的として策定されている。市町村による推進計画の作成、推進計画の区域における所要の措置、津波災害警戒区域における警戒避難体制の整備並びに津波災害特別警戒区域における一定の開発行為及び建築物の建築等の制限に関する措置等について定めている。

8.2 地方自治体の動き

被災した地方自治体においても、復旧・復興に向けて基本方針や計画を公表している。以下に主なものを記載する。

(1) 青森県

青森県は、2011年5月に「青森県復興プラン」を、同年12月22日に「青森県復興ビジョン」を

公表している。

青森県内の市町村で復興計画を公表している市町村は、八戸市、三沢市となっている。

(2) 岩手県

岩手県は、2011年4月11日に「岩手県東日本大震災津波からの復興に向けた基本方針」を、同年5月25日に「岩手県復興ビジョン」を、同年8月11日に「岩手県東日本大震災津波復興計画」を、同年10月6日に「岩手県住宅復興の基本方針」を、2012年1月10日に「岩手県沿岸における津波浸水シミュレーション」を公表している。

岩手県内の市町村で復興計画を公表している市町村は、洋野町、久慈市、野田村、普代村、田野畑村、岩泉町、宮古市、山田町、大槌町、釜石市、大船渡市、陸前高田市となっている。

(3) 宮城県

宮城県は、2011年4月11日に「宮城県震災復興基本方針」を、同年10月18日に「宮城県震災復興計画」を、同年10月に「宮城県水産業復興プラン」を、同年12月21日に「宮城県復興住宅計画」を公表している。

宮城県内の市町村で復興計画を公表している市町村は、気仙沼市、南三陸町、石巻市、女川町、東松島市、松島町、利府町、塩釜市、七ヶ浜町、多賀城市、仙台市、名取市、岩沼市、亘理町、山元町、大崎市、登米市となっている。

(4) 福島県

福島県は、2011年8月11日に「福島県復興ビジョン」を、同年10月8日に「福島県海岸の津波対策等に係る提言」を、同年12月28日に「福島県復興計画」を公表している。

福島県内の市町村で復興計画を公表している市町村は、新地町、相馬市、南相馬市、浪江町、大熊町、富岡町、楡葉町、広野町、いわき市、田村市、川内村、飯舘村、福島市、郡山市、須賀川市、白河市、国見町となっている。

8.3 補助・支援制度

国土交通省では2012年3月9日に復興計画に基づく事業の本格化に向けた支援の一環として、支援施策を幅広くとりまとめ、「復興まちづくり INDEX」としてホームページ上に公表している。

- ・復興まちづくりのための事業制度一覧（イメージ図）
- ・復興まちづくりのための事業制度一覧（一覧表）
- ・復興まちづくりのための執行体制支援・技術的支援（総括表）
- ・復興まちづくりのための執行体制支援・技術的支援（一覧表）

例えば、事業制度一覧では、①市街地整備、②避難所等の整備、③津波復興拠点支援施設等の整備、④情報通信施設の整備、⑤都市公園の整備、⑥河川施設の整備、⑦海岸保全施設の整備、⑧津波防護施設の整備、⑨下水道施設の整備、⑩砂防施設の整備、⑪道路施設の整備、⑫住宅関連施設の整備、⑬鉄道施設の整備、⑭港湾施設の整備、⑮その他に区分して、「対象施設」、「措置制度」、「適用条件」、「補助率」、「担当部局」項目について一覧表形式でまとめている。

表 8.3.1 に港湾施設の整備における事業制度一覧の例を示す。

表 8.3.1 事業制度一覧の例（港湾施設の整備）

対象施設	措置制度			適用条件	備考	担当者
	支援措置	対象事業	実施主体			
港湾施設（係留施設等）	補助金	港湾整備事業	県	津波により被災した港湾	国費率 5/10 等	港湾局計画課

また、執行体制支援・技術的支援では、①横断的分野、②まちづくり分野、③公園分野、④河川分野、⑤海岸分野、⑥下水道分野、⑦砂防分野、⑧道路分野、⑨住宅分野、⑩鉄道分野、⑪港湾分野に区分して、「職員の派遣」、「事務・事業の代行」、「国による調査の実施」、「技術基準・ガイドラインの策定」項目についてまとめている。

例えば港湾分野における執行体制支援・技術的支援を表 8.3.2～表 8.3.6 に示す。

表 8.3.2 執行体制支援（職員の派遣）の例（港湾分野）

支援内容	支援内容（詳細）	担当部署	参考（取組実績等）
復旧・復興体制支援	専門職員の派遣による復旧・復興関連事務・事業への技術的支援	港湾局 技術企画課	6 地方公共団体に派遣。
カウンターパート（CP）の派遣	市町村復興支援チーム（事務局：企画部広域計画課）を立ち上げ、津波被災市町村に対する CP の派遣、情報共有会議を開催。CP は、現地市町村に赴き、情報の収集・提供、ニーズの把握を行う。情報共有会議は定期的に開催し、CP 及び各分野からの情報を共有。	東北地方整備局 企画部広域計画課	各分野横断的な取組

表 8.3.3 執行体制支援（事務・事業の代行）の例（港湾分野）

支援内容	支援内容（詳細）	担当部署	参考（取組実績等）
直轄代行	東日本大震災による被害を受けた公共土木施設の災害復旧事業等に係る工事の国等による代行に関する法律に基づく直轄代行	港湾局 海岸・防災課	対象事業：道路、港湾、河川、砂防、海岸、下水道 取組実績：仙台湾南部海岸における災害復旧工事の直轄代行業を平成23年5月より実施

表 8.3.4 執行体制支援（国による調査の実施）の例（港湾分野）

支援内容	支援内容（詳細）	担当部署	参考（取組実績等）
津波シミュレーション	港湾管理者と役割分担を図った上で、複数の港湾において、国により津波浸水シミュレーションを実施し、被災市町村等に提供	港湾局 海岸・防災課	
波浪・潮位データ提供	全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス）を通じ、港湾工事の実施に必要な波浪データを港湾管理者発注工事の受注業者に提供	港湾局 技術企画課 技術管理室	

表 8.3.5 技術的支援（技術基準・ガイドラインの策定）の例（港湾分野）

支援内容	支援内容（詳細）	担当部署	参考（取組実績等）
水門等の自動化の促進等	港湾における水門等の自動化・遠隔操作化の促進や電源を喪失した場合の対応策	港湾局 海岸・防災課	平成23年度内を目処に策定予定
産業・物流復興プランの策定	各被災港湾において、地元自治体、港湾管理者、港湾利用者、直轄港湾事業所等からなる「復興会議」を設置し、復旧・復興に向けた指針として、「産業・物流復興プラン」を策定	港湾局 海岸・防災課	
東北港湾の復旧・復興基本方針の策定	東北地方整備局が設置した「東北港湾の復旧・復興基本方針検討委員会」において、東北港湾の復旧・復興の基本的な考え方及び具体的な方策をとりまとめ、港湾管理者及び被災市町村と情報共有	港湾局 海岸・防災課	
港湾における総合的な津波対策のあり方	「港湾における地震・津波対策のあり方（答申）」（交通政策審議会 港湾分科会 防災部会）	港湾局 海岸・防災課	平成24年6月13日公表
港湾施設の被災状況・原因の分析及び復旧方針の技術的検討	東北地方整備局が設置した「東北港湾における津波・震災対策技術検討委員会」において、港湾管理者とともに防波堤や岸壁等の港湾施設の復旧を行う際の技術的方針についての検討を実施	港湾局 技術企画課 技術管理室	

表 8.3.6 技術的支援（説明会等の実施）の例（港湾分野）

支援内容	支援内容（詳細）	担当部署	参考（取組実績等）
相談窓口の設置	災害査定の円滑な実施のために、現地に相談窓口を設け、随時、港湾管理者からの相談を受け付け	港湾局 海岸・防災課	

8.4 被災市街地における復興パターン検討調査結果

東日本大震災の被災地は、市街地全体が甚大な被害を受け自治体の庁舎が破壊されるなど、行政機能が大きく低下したため自治体が早い時期に復興に向けた調査を実施することは困難な状況にあった。このため国土交通省は2011年6月に「津波被災市街地復興手法検討調査」として被災地の復興に向けた調査を開始した。この調査は以下の3項目より構成されている。これらの調査結果を被災自治体の復興計画の立案と調査検討に役立てることを目的としたものである。

- ① 太平洋岸の津波浸水被害を受けた全ての地域を対象とした客観的・統一的・即地的な被災状況等の調査・分析
- ② 被災自治体の特性や地元の意向等に応じて想定される復興計画案の作成に資する復興パターンの検討・分析
- ③ 必要となる復興手法や共通の政策課題への対応方策等の検討

以降では、既に8.1から8.3節で概要を述べた国や地方自治体の動きの具体的事例を紹介することを目的に、上記三項目中の②の「復興計画案の作成に資する復興パターンの検討・分析結果」について、資料（津波被災市街地復興手法検討調査（とりまとめ）2012年4月、国土交通省都市局）から抜粋して示す。

(1) 被災市町村における復興計画の策定の状況

本調査では、各都市における市街地復興パターンを類型化し、これに対応する復興手法等の検討を行った。また、この成果を被災市町村に提供することにより、復興構想や復興計画の作成を支援した。復興計画の検討の進捗状況を下表に示す。2012年3月末までに、39市町村が復興計画を策定した。茨城県高萩市、ひたちなか市については、2011年度に復興構想を策定した。また、大洗町の復興構想、鹿嶋市の復興計画については、2012年度に策定予定である。

表 8.4.1 被災市町村における復興計画の策定の状況

	2011.7～9月 (12市町村)	2011.10～12月 (22市町村)	2012.1～3月 (5市町村)
青森県	八戸市	三沢市	—
岩手県	洋野町、久慈市、普代村、 田野畑村、岩泉町	野田村、宮古市、山田町、大槌町、釜石市、 大船渡市、陸前高田市	—
宮城県	女川町、岩沼市	気仙沼市、南三陸町、石巻市、東松島市、 松島町、利府町、塩竈市、七ヶ浜町、 多賀城市、仙台市、名取市、亘理町、山元町	—
福島県	相馬市、いわき市	南相馬市	新地町、広野町
茨城県	日立市、神栖市	—	北茨城市
千葉県	—	—	旭市、山武市

(2) 市街地復興パターンの分析

1) 分析対象

分析対象の市町村を表 8.4.2 に示す。調査対象である 43 市町村のうち、32 市町村において地区別の復興構想案を提示又は検討した（1 地区でも市街地の再整備を行う市町村をカウント）。それ以外の 11 市町村では、海岸堤防の整備等により津波に対する安全性が一定程度確保できると判断し、震災前と同じ場所での再建を基本とする方針として、地区別の復興構想案は示していない。

表 8.4.2 分析対象の 32 市町村（下線を付した市町村、2012 年 4 月現在）⁸⁷⁾

青森県	三沢市、八戸市
岩手県	<u>洋野町</u> 、 <u>久慈市</u> 、 <u>野田村</u> 、 <u>普代村</u> 、 <u>田野畑村</u> 、 <u>岩泉町</u> 、 <u>宮古市</u> 、 <u>山田町</u> 、 <u>大槌町</u> 、 <u>釜石市</u> 、 <u>大船渡市</u> 、 <u>陸前高田市</u>
宮城県	<u>気仙沼市</u> 、 <u>南三陸町</u> 、 <u>石巻市</u> 、 <u>女川町</u> 、 <u>東松島市</u> 、 <u>松島町</u> 、 <u>利府町</u> 、 <u>塩竈市</u> 、 <u>七ヶ浜町</u> 、 <u>多賀城市</u> 、 <u>仙台市</u> 、 <u>名取市</u> 、 <u>岩沼市</u> 、 <u>亘理町</u> 、 <u>山元町</u>
福島県	<u>新地町</u> 、 <u>相馬市</u> 、 <u>南相馬市</u> 、 <u>広野町</u> 、 <u>いわき市</u>
茨城県	<u>北茨城市</u> 、高萩市、日立市、ひたちなか市、大洗町、鹿嶋市、神栖市
千葉県	旭市、山武市

2) 各市町村で採用された復興パターン

採用された復興パターンは以下の5つである。詳細は図 8.4.1 のとおりである。

A：移転・・・浸水区域内に居住を認めない区域を設定し住宅を移転

B：現地集約・・・浸水区域内で構造物の整備により安全性が高められた区域に居住地を集約

C：嵩上げ・・・浸水区域内の一部の嵩上げ区域に居住地を集約

D：移転+嵩上げ・・・浸水区域外への移転と浸水区域内での嵩上げ区域への居住地の集約

E：現地復興・・・構造物の整備により安全性を確保した上で被災前と同じ位置に住宅を再建

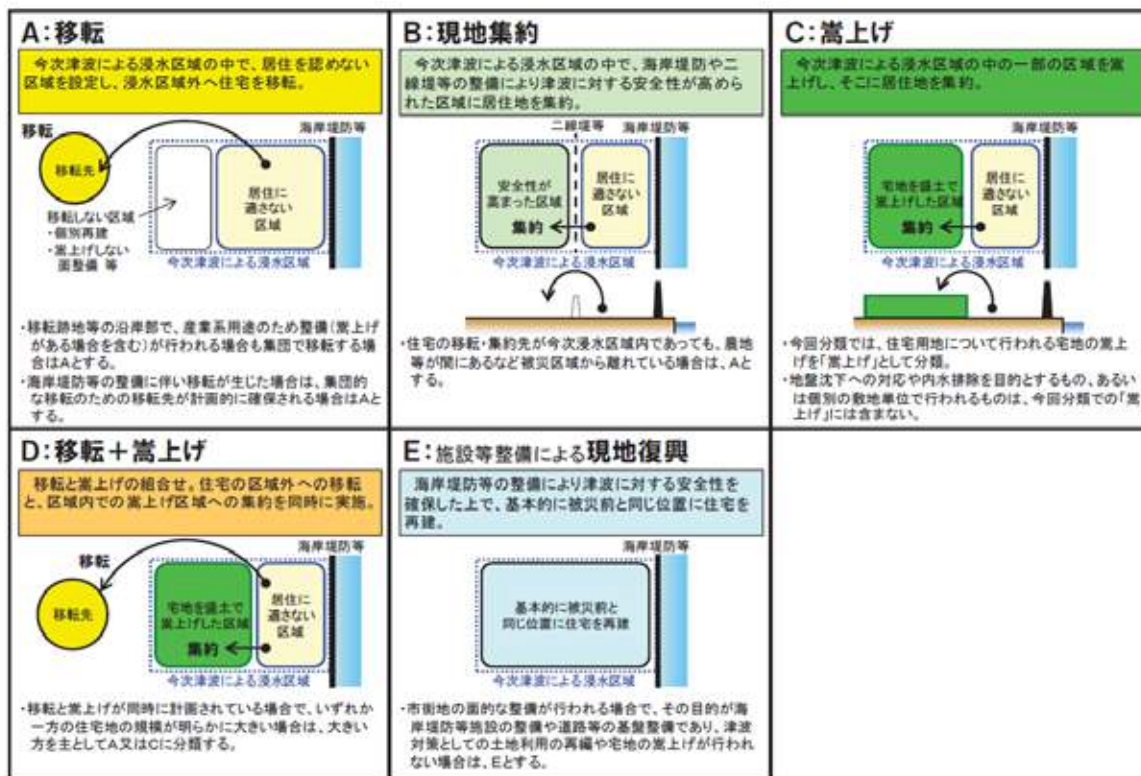


図 8.4.1 復興パターンの分類⁸⁸⁾

3) 復興パターンと地区の特徴との関連

復興パターンが採用された地区の特徴について、津波による浸水状況、地形特性、土地利用特性との関連を考察した。

ア) 浸水状況との関連

浸水深が概ね 2m 未満の場合には“E 現地復興”が多い。

浸水深が 2m を超えるにつれて“A 移転”、“C 嵩上げ”又は“D 移転+嵩上げ”が増えている。

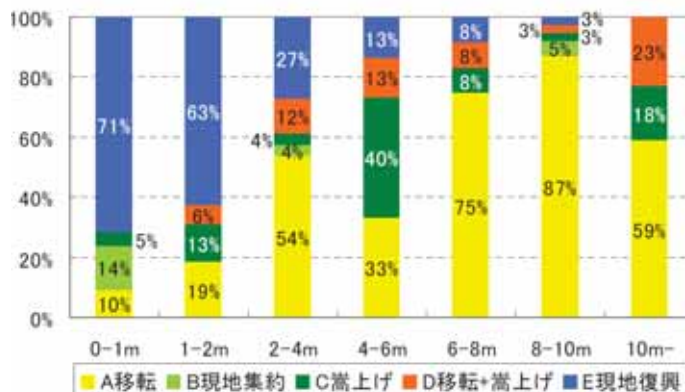


図 8.4.2 想定津波最大浸水深と採用された復興パターン⁸⁸⁾

イ) 地形特性との関連

地形の特性を、“平野部”、“平野部ではないが背後地に造成可能な土地がある程度存在する区域”、“背後地が急峻な山地”の3タイプに分類し、それらと採用された復興パターンの関係を検討した。



図 8.4.3 地形特性の分類⁸⁸⁾

採用された復興パターンはいずれの地形においても6~7割は“A移転”である。平野部においては“A移転”または“E現地復興”の二者択一の傾向が強い。各地形特性における“移転ゾーン”、“嵩上げゾーン”、“現地再建ゾーン”を想定津波最大浸水深により分類すると、いずれの地形においても浸水深が深くなるにつれ、“移転ゾーン”が多くなった。平野部や背後地の造成が比較的容易な地区では、浸水深が6mを超えるとほぼ移転ゾーンとなった。



図 8.4.4 地形特性ごとの復興パターン⁸⁸⁾

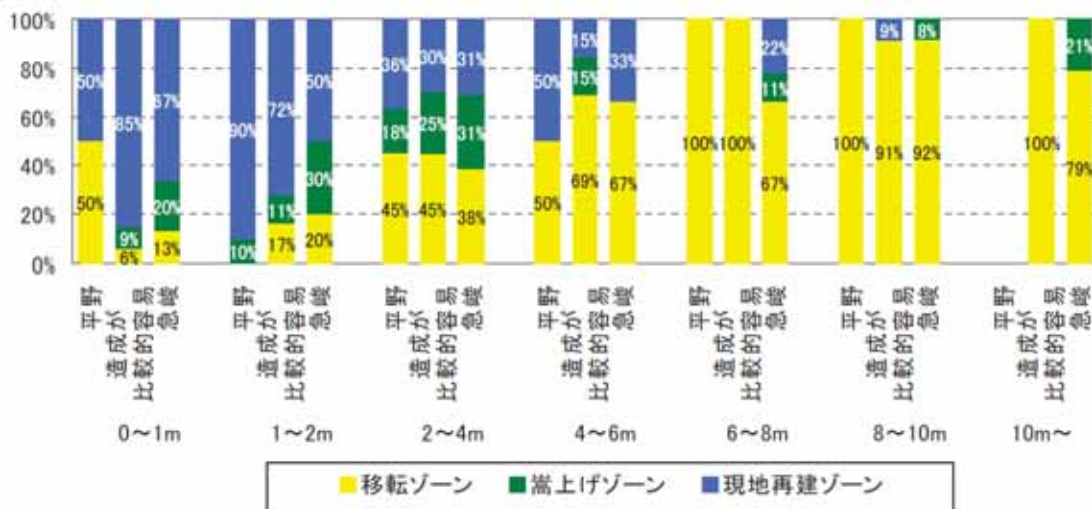


図 8.4.5 各地区特性におけるゾーンごとの想定津波最大浸水深と採用された復興パターン⁸⁸⁾

ウ) 土地利用特性との関連

土地利用特性として“市街地および市街地に準じる地区”と“集落部”に分類し整理した。市街地等では“E現地復興”が多く、“A移転”を選択したのは約 1/3 と比較的少ない。集落では“A移転”が 3/4 を占める。想定津波最大浸水深により分類すると、いずれの地域においても、浸水深 6m 以上では移転ゾーンが多く、2m 未満では、現地再建ゾーンや嵩上げゾーンが多い結果となった。

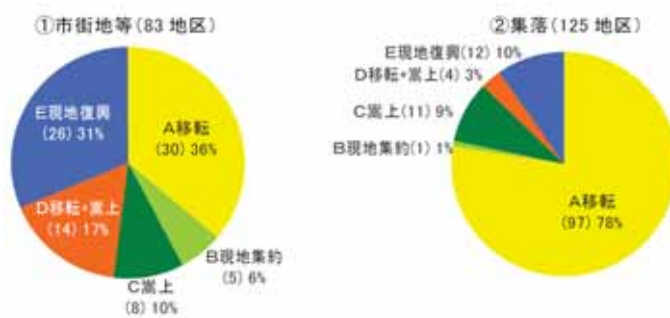


図 8.4.6 土地利用特性ごとの復興パターン⁸⁸⁾

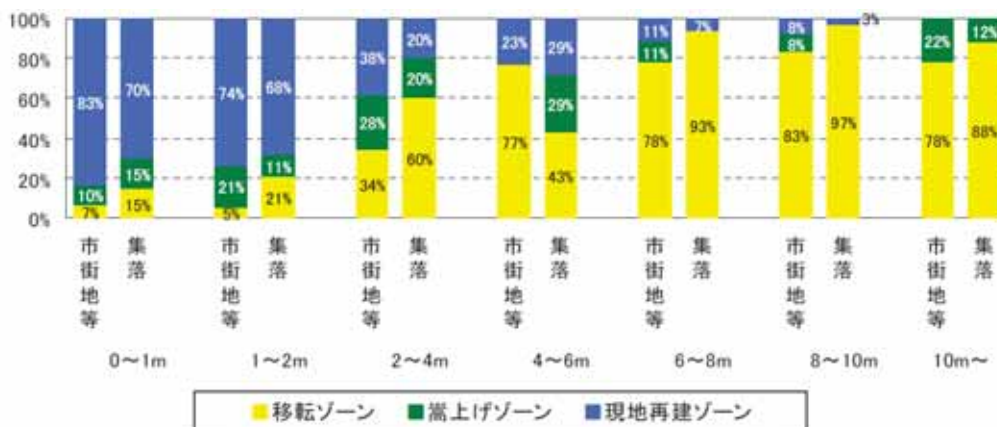


図 8.4.7 各土地利用特性におけるゾーンごとの想定津波最大浸水深と採用された復興パターン⁸⁸⁾

(3) 復興構想案の意思決定過程

1) 比較検討された復興パターン

復興パターンを採用するにあたり、他にどのようなパターンが検討されたかについて調査した。結果を表 8.4.3 に示す。全 208 地区のうち、88 地区において当該案以外の復興構想案との比較検討がなされている。120 地区においては、当該案のみの検討であった。

表 8.4.3 復興構想案の比較⁸⁸⁾に加筆

比較案	採用された復興パターン (地区数)				合計 (208)
	A 移転 (127)	B・C 現地集約 ・嵩上げ (25)	D 移転+ 嵩上げ (18)	E 現地復興 (38)	
当該案以外と比較 (比較案)	45 (C嵩上げ) (E現地復興)	13 (A移転)	12 (A移転) (C嵩上げ)	18 (A移転) (B現地集約) (C嵩上げ)	88
当該案のみ	82	12	6	20	120

“A移転”を採用した127地区のうち、45地区では“C嵩上げ”や“E現地復興”が比較検討されている。“B現地集約”または“C嵩上げ”を採用した25地区のうち、13地区では“A移転”が比較検討されている。“D移転+嵩上げ”を採用した18地区のうち、12地区では“A移転”または“C嵩上げ”が比較検討されている。“E現地復興”を採用した38地区のうち、18地区においては、“A移転”、“B現地集約”または“C嵩上げ”が比較検討されている。

2) 復興パターンの選択理由

復興パターンの選択理由として考慮された要因は主として以下のように分類される。

- ① 住民の意向を踏まえる
- ② 津波シミュレーションの結果に基づき判断する
- ③ 事業の費用・期間等の妥当性を考慮する
- ④ 都市全体の土地利用のあり方を勘案する
- ⑤ 現地での再建者の存在を考慮する

採用された復興パターンとその決定要因を分析した結果を表8.4.4に示す。

合計値で見ると、決定要因として全体的に多いのは、“①住民意向”（43%）と“②津波シミュレーションの結果に基づき判断”（32%）であり、それらで全体の3/4を占めている。以降、“③事業の費用・期間等の妥当性を考慮”（15%）、“④都市全体の土地利用のあり方を勘案”（5%）、“⑤現地での再建者の存在を考慮”（5%）と続く。

“A移転”を採用した地区では、“①住民意向”と“②津波シミュレーションの結果”で全体の80%を占めている。移転先・移転方法は、用地確保、事業期間等の即地的実現性に基づき決定されている。

“B現地集約”または“C嵩上げ”を採用した地区では、“A移転”を採用した地区と同様に“①住民意向”が主要な要因となっている。2番目の要因としては、“③事業の費用・期間等の妥当性を考慮”が挙げられる。

“D移転+嵩上げ”を採用した地区でも“①住民意向”が主要な要因であり、“②津波シミュレーションの結果”と“④都市全体の土地利用のあり方を勘案”が同程度の割合でそれに続く。

“E現地復興”を採用した地区では、“①住民意向”の次に“③事業の費用・期間等の妥当性を考慮”と“②津波シミュレーションの結果”が同程度の割合で考慮されている。

表 8.4.4 復興構想案の決定要因⁸⁸⁾

決定要因	採用された復興パターン（地区数）				合計
	A 移転	B・C 現地集約 ・嵩上げ	D 移転+ 嵩上げ	E 現地復興	
住民意向	26 (40%)	7 (44%)	10 (53%)	10 (42%)	53 (43%)
津波シミュレーションの結果に基づき判断	28 (43%)	3 (19%)	4 (21%)	5 (21%)	40 (32%)
事業の費用・期間等の妥当性を考慮	8 (12%)	4 (25%)	1 (5%)	6 (25%)	19 (15%)
都市全体の土地利用のあり方を勘案		2 (12%)	3 (16%)	1 (4%)	6 (5%)
既に現地での再建者が存在	3 (5%)		1 (5%)	2 (8%)	6 (5%)

8.5 復旧・復興に向けた取り組み例（釜石市）

ここでは、東日本大震災の津波被災自治体の中から釜石市をとりあげ、復旧・復興に向けてどのような取り組みが行われているかについて記載する。釜石市の復興パターンはB：現地集約となっている。

(1) 概要

東日本大震災による甚大な被災状況から、一日も早い復旧・復興を実現し、今を生きる世代にとっては安全・安心のもとで暮らしやすく、また未来に誇れるまちを次代を担う世代に継承できるよう、市民が一丸となって取り組んでいくため、2011年12月22日に「スクラムかまいし復興プラン」を策定している。目指すべき将来像としては、「三陸の大地に光輝き希望と笑顔があふれるまち釜石」とし、基本姿勢を「撓（たわ）まず屈せず」として真の復興を目指している。

(2) 復興に関する土地利用方針

土地利用の方針を策定するにあたっては、安全確保と生活再建の観点から3つの要点について考え方をまとめている。

1) 安全確保

住民の避難を軸に、土地利用・避難施設・防災施設の整備などを組み合わせ、総合的に安全確保を図る。

2) 住まいの再建

震災で住宅を失い、自力では住宅の確保が難しい方々のため、災害公営住宅を整備する。また、住まいを失うことがないように、多重防災により一定の安全性を確保した住宅用地を確保する。

3) 避難のしくみづくり

確実に一人ひとりが自らの命を守れるよう、防災教育、避難訓練、被害や教訓の継承などを通じ、より一層の防災意識を啓発する。また、迅速な情報伝達や高齢者等の避難困難者対策など、円滑に避難できるしくみを構築する。

(3) 防潮堤整備の考え方

2つのクラスの津波に対して防潮堤の整備目標高さを以下の通り想定している。

1) 津波防護レベル（レベル1）

頻度の高い津波（概ね数十年から百数十年程度で起こりうる津波。釜石では明治三陸津波や昭和三陸津波クラスを指す）に対しては、防波堤や防潮堤で内陸部への浸水を限りなく小さくする。

2) 津波減災レベル（レベル2）

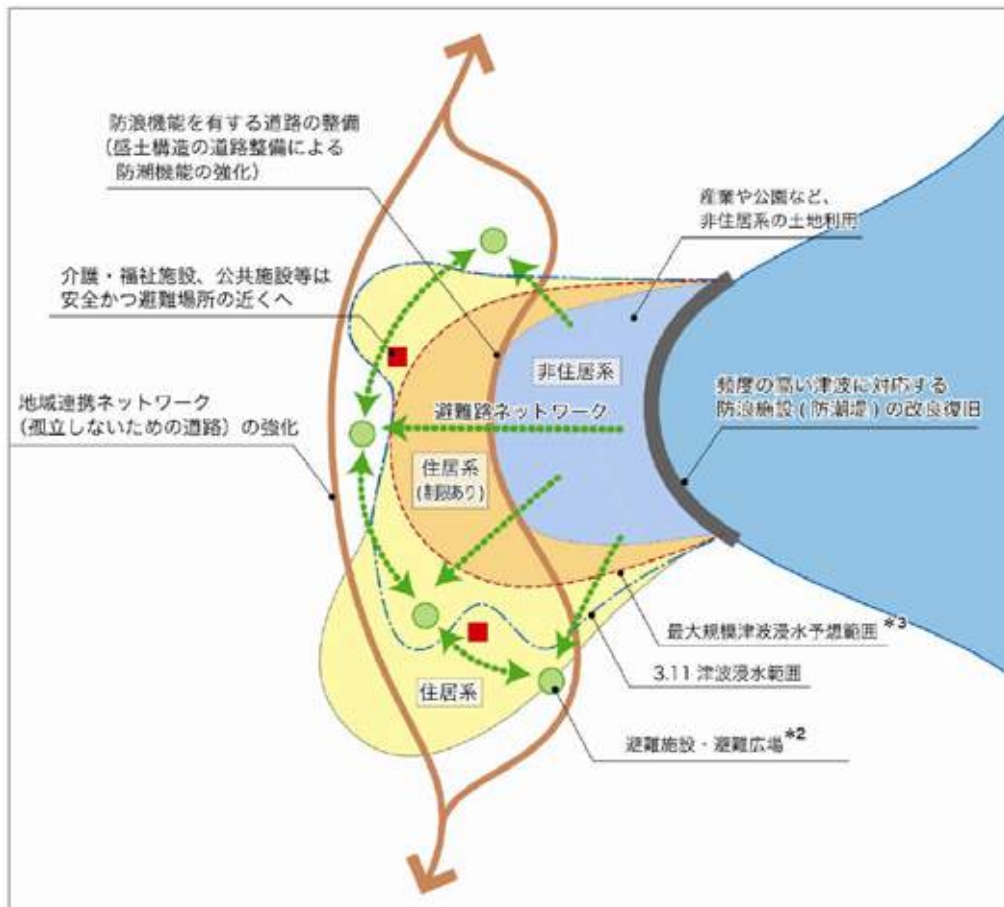
最大クラスの津波（頻度の高い津波をはるかに上回り、防波堤や防潮堤といった構造物による対策の適用限界を超える津波。釜石では東日本大震災津波クラスを指す）に対しては、ハード整備とソフ

ト対策を組み合わせ、確実に生命を守る。

(4) 土地利用の考え方

頻度の高い津波への整備目標高さに対し、最大クラスの津波浸水シミュレーションを行い再現された結果に基づき、ハード整備とソフト対策を組み合わせながら、以下の2つの考え方により地区別土地利用方針を策定する。

- ① 高台移転や多重防御により、浸水しない区域へ新たなまちづくりを行う地域
 - ② 建築規制などを取り入れることで、ある一定の浸水を許容する区域も土地利用を行う地域
- 上記を踏まえた震災をのりこえる地域づくりのイメージを図 8.5.1 に示す。



土地利用断面イメージ

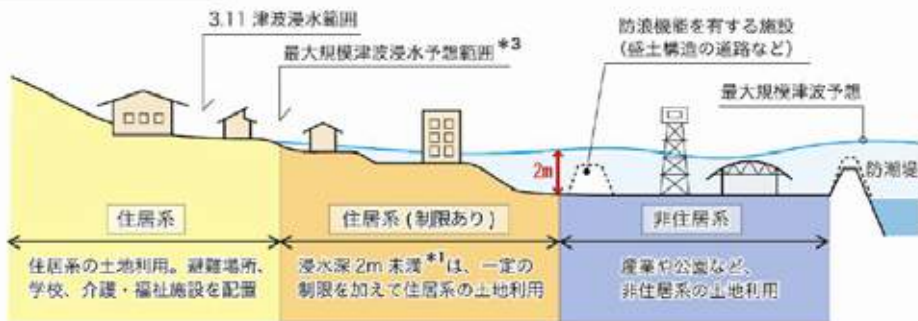


図 8.5.1 震災をのりこえる地域づくりのイメージ⁸⁹⁾

9 まとめ

東北地方太平洋沖地震（2011年3月11日発生）は巨大津波を引き起こし、港湾構造物、家屋等に甚大な被害をもたらすとともに、数多くの死者や行方不明者を発生させた。今後、津波による被害、特に人的な被害を低減させるために、国民一人一人が津波を理解し、適切な行動を取ることが重要である。東日本大震災以降、確かに津波に対する国民の関心が高まったのは事実であるが、津波をより深く理解することで、津波が到来すると予測された場合に、適切な行動へと結びつけることができる。

「津波を知る技術WG」の報告書は津波の歴史、津波の調査方法、津波の特徴、東北地方太平洋沖地震津波の特徴および被害状況、津波の予測、地震・津波対策に関する提言・施策といった分類で整理し、一般の方々や自治体の方々が理解しやすい報告書となるよう取りまとめを行っているので、ご活用頂ければ幸いである。

また、地域の防災や減災を主導する立場にある自治体においては、各々の場所で発生する可能性のある津波の事象を想定することが不可欠である。すなわち、想定した地震に対して津波シミュレーションを行って津波高さや浸水域を予想し、防潮堤や防波堤の整備を行うことや、住民の避難誘導を喚起する取り組みを行っていかなければならない。地域ごとに津波によって引き起こされる事象を住民に知らせ、住民一人一人まで周知を図っていくことが重要である。

それを受け、住民はその地域で津波が引き起こす現象を理解した上で、地震発生時にどのような行動に移すか事前に備えておくことが重要である。各家庭の中で避難対策を共有し、家族が離散した状況下で地震が発生したとしても、安心して各々が避難行動に移せるよう環境を整備しておくことが必要である。

今後、東北地方太平洋沖地震による津波の記憶が風化しないうちに、将来発生する地震や津波への備えを加速すると共に、住民に地震や津波に対する啓蒙を伝え、記憶が継続するよう努力が必要である。特に、目に見える形で住民に防災・減災に対する意識を持たせ、近い将来に発生すると予想されている「東海・東南海・南海地震」に備えることが、被災に対するリスクを低減し、被災者の数を減らすことに繋がると考える。この津波を知る技術WGの検討結果を受けて、より多くの人々が津波を理解し、地震発生時に適切な行動を取ること、一人でも多くの方が津波から逃れられることを祈願いたします。

【参考文献】

- 1) National Geophysical Data Center : World Data Center (NGDC/WDC) Global Historical Tsunami Database, Boulder, CO, USA.
- 2) 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：参考図表集，2011年9月28日
- 3) 内閣府中央防災会議日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会：専門調査会報告資料図表集，2006年1月25日
- 4) 群馬大学理工学部環境創生理工学科社会基盤・防災コース HP：岩手県釜石市 津波防災教育のための手引き，過去の津波による釜石の被災状況
- 5) 国土交通省九州地方整備局宮崎港湾・空港整備事務所：宮崎県での津波痕跡調査について
- 6) 国土交通省東北地方整備局道路部 HP：津波被害・津波石碑情報アーカイブ，津波史跡調査概要
- 7) (独)産業技術総合研究所，活断層・地震研究センターHP：2011年東北地方太平洋沖地震速報，津波堆積物を用いた過去の巨大津波の研究
- 8) 首藤伸夫：津波強度による津波形態と被害程度，津波工学研究室報告第9号，1992
- 9) (財)沿岸技術研究センター：津波高潮ハザードマップマニュアル，2004.4
- 10) NEC 社 HP：プレスリリース，東海・東南海沖ケーブル式常時海底地震観測システムを供給，2008.7
- 11) 気象庁 HP：気象庁について，報道発表資料・情報公開，報道発表資料（2012年），ブイ式海底津波計の整備について，2012.8
- 12) (財)沿岸開発技術研究センター：潮位を測る，潮位観測の手引き，2002.3
- 13) 国土交通省リアルタイムナウファス HP：ナウファスとは？
- 14) 気象庁 HP：気象等の知識，地震・津波，津波警報・注意報の改善に関するこれまでの取り組み
- 15) ソニック社 HP：製品，海象機器，海象計(USW-1000)
- 16) (独)防災科学技術研究所 HP：報道発表（2011年度），日本海溝海底地震津波観測網の整備事業を開始，2012.3
- 17) 東京大学地震研究所地震地殻変動観測センターHP：三陸沖海底地震計システム
- 18) (独)海洋研究開発機構 HP：地震津波・防災研究プロジェクト，地震・津波観測監視システム
- 19) NOAA National Data Buoy Center HP：Program Info, DART®
- 20) 気象庁地震火山部地震津波監視課：津波警報の改善について，平成24年度気象・地震等の情報に関する講習会資料，2012.5
- 21) 気象庁南鳥島観測所 HP：遠地津波観測
- 22) ウェザーニューズ社 HP：ニュースセンター，津波を観測する TUNAMI レーダー設置，2012.3
- 23) 気象庁石垣島地方気象台 HP：地震・津波の教室，7. 沖縄県内の TUNAMI 観測網について
- 24) 気象庁 HP：気象等の知識，よくある質問集，津波について
- 25) 気象庁 HP：気象等の知識，地震・津波，津波を予測するしくみ
- 26) (独)港湾空港技術研究所：2011年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報，港湾空港技術研究所資料，No.1231，2011
- 27) 気象庁気象業務の評価に関する懇談会：東北地方太平洋沖地震への気象庁の対応について（報告），2011年5月31日

- 28) 東北大学災害科学国際研究所津波工学研究室 HP：津波について，津波の伝播の特徴（海域での特徴）
- 29) (独)防災科学研究所 Hi-net 高感度地震観測網：地震の基礎知識とその観測，第1部地震の基礎知識
- 30) 気象庁 HP：気象統計情報，地震・津波，発震機構，発震機構解と断層面
- 31) 日本地震学会：Web版広報誌「なみふる第33号」，2002年9月
- 32) 長谷川昭（東北大学）：アスペリティの繰り返し破壊と宮城県沖地震，第1回東北大学災害制御研究センター公開講座報告，2002年6月8日
- 33) 地震調査研究推進本部 HP：地震に関する評価，長期評価結果一覧，海溝型地震の長期評価の概要，2012年1月1日
- 34) 気象庁：平成23年3月11日14時46分頃の三陸沖の地震について，2011年3月11日、
- 35) 気象庁：「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」について（第57報），2011年10月6日
- 36) 国土地理院：GPS連続観測から得られた電子基準点の地殻変動・3月11日の本震（M9.0）に伴う地殻変動
- 37) 海上保安庁：東北地方太平洋沖地震に伴う海底の動き，2011年4月6日
- 38) 気象庁：東北地方太平洋沖地震の断層すべり分布の推定，2012年10月15日
- 39) 国土地理院：地震による地殻変動，2011年6月20日
- 40) 国土地理院：東北地方太平洋沖地震の陸域及び海域の地殻変動とすべり分布モデル，2011年6月20日
- 41) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ：痕跡調査結果（2012年2月8日参照）
- 42) 東京大学地震研究所：海底ケーブル式地震計システムで観測された海面変動，2011年7月19日
- 43) 佐竹健治，酒井慎一，篠原雅尚，金沢敏彦（東京大学地震研究所）：津波波形からみた東北地方太平洋沖地震の津波波源，東北地方太平洋沖地震津波に関する合同調査報告会，2011年7月16日
- 44) 日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チーム：「2011年3月11日東北地方太平洋沖地震に伴う津波被災マップ2011」，2011年12月11日
- 45) 国土地理院：津波による浸水範囲の面積（概略値）について（第5報），2011年4月18日
- 46) 田中仁，真野明，盧敏（東北大学）：津波の河川遡上，東北地方太平洋沖地震津波に関する全体調査報告会，2011年7月16日
- 47) 森信人（京都大学防災研究所）：調査結果の全体の報告，東北地方太平洋沖地震津波に関する合同調査報告会，2011年7月16日
- 48) 国土交通省海岸における津波対策検討委員会：第1回委員会資料，2011年4月28日
- 49) 岩手県宮古市：宮古市の被害状況，2011年7月25日
- 50) 農林水産省：東日本大震災 農業の被害状況，aff（あふ），2011年5月
- 51) 国土交通省港湾局交通政策審議会港湾分科会：第1回防災部会配布資料「資料4 東北地方太平洋沖地震及び津波の概要」，2011年5月16日
- 52) 国土交通省港湾局交通政策審議会港湾分科会：第3回防災部会配布資料「資料2 参考資料」，2011年7月6日

- 53) 国土交通省東北地方整備局港湾空港部仙台空港復旧・復興のあり方検討委員会：第2回委員会資料，2011年9月2日
- 54) 国土交通省航空局安全部空港安全・保安対策課評価技術係長祝田宏二：仙台空港の復旧，建設マネジメント技術，2011年10月号
- 55) 国土交通省水管理・国土保全局河川津波対策検討会：第1回資料「資料2 河川流域における津波被害状況」，2011年7月16日
- 56) 田中泰司（長岡技術科学大学）：橋梁被害の現地調査とデータベースの整備，土木学会コンクリート委員会 津波による橋梁構造物に及ぼす波力の評価に関する調査研究委員会「中間報告会」，2012年6月26日
- 57) 土木学会東日本大震災被害調査団（地震工学委員会）：緊急地震被害調査報告書
- 58) 国土交通省国土技術政策総合研究所，（独）建築研究所：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震調査研究（速報）（東日本大震災），国総研資料第636号，2011年5月
- 59) 松富英夫，首藤伸夫：津波の浸水深、流速と家屋被害，海岸工学論文集，第41巻，1994
- 60) 羽鳥徳太郎：津波による家屋の破壊率，東京大学地震研究所彙報，Vol.59，1984
- 61) 国土交通省：東日本大震災の津波被災現況調査結果（第2次報告），報道発表資料，2011年10月4日
- 62) 消防庁危険物保安室・特殊災害室：東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討報告書，2011年12月
- 63) 国土交通省交通政策審議会港湾分科会：第1回防災部会資料，2011年5月16日
- 64) 水産庁：水産白書，平成23年度
- 65) 岩手県津波防災技術専門委員会：第1回委員会資料，2011年4月22日
- 66) 林野庁東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会：第3回資料，2011年7月6日
- 67) 林野庁東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会：第4回資料，2011年12月4日
- 68) 農林水産省，水産庁，国土交通省：海岸における津波対策委員会資料，2011
- 69) 内閣府，農林水産省，国土交通省：津波・高潮ハザードマップマニュアル，2004年3月
- 70) 内閣府中央防災会議：南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等（第二次報告）及び被害想定（第一次報告）について，2012年8月29日
- 71) 徳島県：徳島県津波浸水想定公表について，2012年10月31日
- 72) 国土交通省水管理・国土保全局海岸室：津波浸水想定の設定の手引き，2012年10月
- 73) 気象庁HP：気象等の知識，地震・津波，津波予報区分について
- 74) 気象庁HP：気象等の知識，地震・津波，津波警報・注意報、津波情報、津波予報について
- 75) 損害保険料率算出機構：津波浸水予測シミュレーションに関する研究，2008年9月
- 76) 東北大学，富士通：高精度三次元津波シミュレーション，2012年2月21日
- 77) 清水建設：津波総合シミュレーションシステム，2012年4月18日
- 78) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構，港湾空港技術研究所，沿岸技術研究センター，国土交通省：津波災害のプロセスの把握とシミュレーションによる再現に関する研究，2009年3月5日
- 79) 東京大学：津波発生伝播の大規模三次元シミュレーション，2010年2月
- 80) 京都大学：震災後の津波防災において 三次元シミュレーションが果たす役割について，2012年5月29日

- 81) 東京大学：大規模シミュレーションで地震津波災害軽減に挑む，HPCI 戦略プログラム 地震津波課題ワークショップ，2012年2月27日
- 82) 内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会：南海トラフ巨大地震の被害想定（第二次報告），2012年8月
- 83) 国土交通省：東日本大震災の津波被災現況調査結果（第3次報告）～津波からの避難実態調査結果（速報）～，2011年12月26日
- 84) 国土交通省港湾の津波避難施設の設計検討WG：第1回資料，2013年3月14日
- 85) 国土交通省中部地方整備局：第4回名古屋港地震・津波対策検討会議資料，2012年6月17日
- 86) 浜松市津波対策委員会：第3回委員会配布資料，2012年3月18日
- 87) (GIS) 静岡県統合基盤地理情報システム HP：南海トラフ地震の津波被害想定
- 88) 国土交通省都市局：「津波被災市街地復興手法検討調査（とりまとめ）」，2012年4月24日
- 89) 釜石市：釜石市復興まちづくり基本計画 スクラムかまいし復興プラン，2011年12月22日