

2. 東北地方太平洋沖地震における地震動と津波

2.1 地震の概要

(1) 初期情報

2011年3月11日14時46分ごろ、三陸沖の東経142.9°、北緯38.1°、深さ24kmを震源とするM_w9.0の地震が発生した¹⁾³⁾。気象庁はこの地震を「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」と命名した⁴⁾。この地震はわが国で発生した地震としては観測史上最大の地震である。この地震の震央を図-2.1.1に示す。

この地震では、宮城県栗原市で震度7を観測したほか、宮城県、福島県、茨城県、栃木県の4県28市町村で震度6強を観測した。また、北海道から九州にかけての広い地域で震度1以上を観測した¹⁾。また2.3で述べるように各地で非常に高い津波を観測した。

この地震の発震機構は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であり¹⁾⁵⁾、太平洋プレートと陸側プレートの境界で発生した典型的なプレート境界地震であると考えられる⁶⁾。この地震の震源域は岩手県沖から茨城県沖まで広範囲に及んでいる⁶⁾。これらの領域が一度にすべて大きな地震となることは、東北地方太平洋沖地震の発生以前には想定されていなかった⁶⁾。

(2) 余震活動

この地震による余震活動は非常に活発であり、本震後の約1年間(2012年3月8日まで)にM7.0以上の余震が6回、M6.0以上の余震が97回、M5.0以上の余震が599回発生した⁷⁾。この中には宮城県で震度6強を観測した4月7日23時32分ごろの余震⁸⁾(M7.1)や、福島県と茨城県で震度6弱を記録した4月11日17時16分ごろの余震⁹⁾(M7.0)も含まれている。余震は岩手県沖から茨城県沖にかけての長さ約500km、幅約200kmの範囲に密集して発生しているほか、日本海溝より東側でも発生している⁷⁾。また、余震以外にも、長野県で震度6強を観測した3月12日3時59分の地震¹⁰⁾(M6.7)や静岡県で震度6強を観測した3月15日22時31分の地震¹¹⁾(M6.4)など、3月11日の地震(M_w9.0)によって誘発されたと見られる地震が発生している。

(3) 地殻変動

国土地理院のGPS連続観測によると、この地震により、牡鹿半島では水平方向に約5.3m(東南東方向)、上下方向に約1.2m(沈下)という極めて大きな地殻変動が観測された¹²⁾。地殻変動は北海道から近畿地方にかけての広い範囲で観測された。各地の一等水準点における地盤沈下は、宮古で44cm、釜石で56cm、大船渡で60cm、陸前高田で58cm、気仙沼で68cm、石巻で78cm、東松島で

43cm、相馬で23cmなどとなっている¹³⁾。また、地震後には余効変動が長期間にわたり継続した¹⁴⁾。

(4) 被害額

この地震による内閣府による被害額の推計(平成23年6月24日記者公表)を表-2.1.1に示す。

建築物等、ライフライン施設、社会基盤施設、農林水産関係、その他で合計約16兆9千億円に達している。港湾を含む社会基盤施設は、約2兆2,000億円である。

また、北海道、青森、岩手、宮城、福島及び茨城の各県から公表されている被害額を表-2.1.2に示す。この合計は、約17兆円1,400億円となっている。最も大きいのは、約9兆2,200億円であり、6道県の約53.7%と半分以上である。

全国の港湾関係の被害額は、約4,126億円である¹⁵⁾。

表-2.1.1 被害額の推計

項目	被害額
建築物等 (住宅・宅地、店舗・事務所、工場、機械等)	約10兆4千億円
ライフライン施設 (水道、ガス、電気、通信・放送施設)	約1兆3千億円
社会基盤施設 (河川、道路、港湾、下水道、空港等)	約2兆2千億円
農林水産関係 (農地・農業用施設、林野、水産関係施設等)	約1兆9千億円
その他 (文教施設、保健医療・福祉関係施設、廃棄物処理施設、その他公共施設等)	約1兆1千億円
総計	約16兆9千億円

(注) 各県及び関係府省からのストック(建築物、ライフライン施設、社会基盤施設等)の被害額に関する提供情報に基づき、内閣府(防災担当)において取りまとめたものである。今後、被害の詳細が判明するに伴い、変動があり得る。また、四捨五入のため合計が一致しないことがある。

表-2.1.2 北海道、青森、岩手、宮城、福島及び茨城の各県が公表している被害額

	被害総額(百万円)	うち、土木工事関係(百万円)	うち、港湾関係(百万円)	引用文献
北海道	30,315	4,485 (海岸、道路、港湾、漁港等)		北海道のHPより引用 東日本大震災による北海道内の被害状況(最終)について (平成24年4月17日修正 北海道総務部危機対策局危機対策課)
青森	134,120	43,152 (県土整備部関係)	39,850	青森県のHPより引用 東日本大震災記録誌H25.3.30
岩手	4,276,000 (資料上は42,760億円)	257,300 (資料上は2,573億円)	44,500 (資料上は445億円)	岩手県のHPより引用 岩手県東日本大震災津波復興計画 復興基本計画H23.8 ※ただし、国直轄分の被害額は含まれていない可能性がある。
宮城	9,220,722	1,256,821 (公共土木施設(仙台市含む)・交通基盤施設)	108,797	宮城県のHPより引用 東日本大震災による被害額(平成26年9月10日現在)
福島		316,202 (県所管分259,826、 市町村所管分56,376)	44,446 (県所管分44,446)	福島県のHPより引用 東北地方太平洋沖地震による土木部関連公共施設等の被害について(第2報)(平成 23年4月27日福島県土木部) ※ただし、国直轄分の被害額は含まれていない可能性がある。
	982,600 (資料上は9,826億円)	同上		福島県のHPより引用 東日本大震災の記録と復興への歩み 平成25年3月 (交通施設、ライフライン関係等の被害額は県で把握していない)
茨城	2,500,000 (資料上は2兆5,000億円)			茨城県のHPより引用 茨城県復興推進計画H24.3(日本政策投資銀行の推計を引用)
		40,579 (公共土木施設)		茨城県のHPより引用 災害の記録平成23年 H25.3 被害額は平成 24 年 5 月に消防庁へ報告した時点のもの

2.2 地震動

東北地方太平洋沖地震では、港湾地域強震観測網¹⁶⁾により、図-2.1.1に示す全国31の港湾で合計87の強震記録が得られている¹⁶⁾。また、この他にも、防災科学技術研究所のK-NET¹⁷⁾やKiK-net¹⁸⁾により、多数の記録が得られている。以下においては、これらの記録に基づき、沿岸地域における地震動の地域的な変化について記述を行う。

(1) 加速度波形

図-2.2.1は、東北から関東にかけての沿岸地域の代表的な4地点で記録された加速度波形を示したものである。図-2.2.1において、釜石-G、仙台-G、小名浜事-Gは港湾地域強震観測の観測点であり、それぞれ岩手県の釜石港、宮城県の仙台塩釜港、福島県の小名浜港に位置する。IBR007はK-NETの観測点であり、茨城県に位置する。ここに示す波形はすべて地表で得られたものである。多くの研究者によって指摘されているように¹⁹⁾、岩手県から宮城県にかけての観測点で観測された波形は大きく二つの波群からなり(代表例は釜石-Gと仙台-G)、少なくとも二つのサブイベントからの寄与があったことは明確である。小名浜事-Gで観測された最大加速度は14m/s²を超えており、この値は、わが国の港湾で観測された値としては過去最大である。

(2) フーリエスペクトル

地震動が構造物に与える影響を理解するためには、地震動の周波数特性に着目することが必要である。図-2.2.2は東北地方太平洋沖地震の際に沿岸地域の3地点の地表で観測された地震動のフーリエスペクトルを示したもので(実線)、比較のため、1995年兵庫県南部地震の際に神戸港ポートアイランドの地表で観測された地震動のフーリエスペクトルを併記している(点線)。ここに示すすべてのフーリエスペクトルは、水平2成分を合成し、バンド幅0.05HzのParzenウィンドウを適用したものである。縦の破線は、岸壁に対して大きな変形をもたらしやすい0.3-1Hzの周波数帯域²⁰⁾を示したものである。この周波数帯域に着目すると、釜石-Gおよび仙台-Gで観測された地震動は、兵庫県南部地震の際にポートアイランドで観測された地震動と比較してはるかに小さかったと言える。小名浜事-Gで観測された地震動は、上記の周波数帯域に着目すると、釜石-Gや仙台-Gの地震動より大きかったが、ポートアイランドの地震動よりは小さかった。

これらの港湾で観測された地震動が、上記の周波数帯域において、ポートアイランドの地震動を下回った主な理由はサイト増幅特性の違いであると考えられる。図-2.2.3は図-2.2.2と同じ観測点におけるサイト増幅特性²¹⁾²²⁾を示したものである。釜石-Gと仙台-Gにおけるサイト増幅特性は、0.3-1Hzの周波数帯域では、ポート

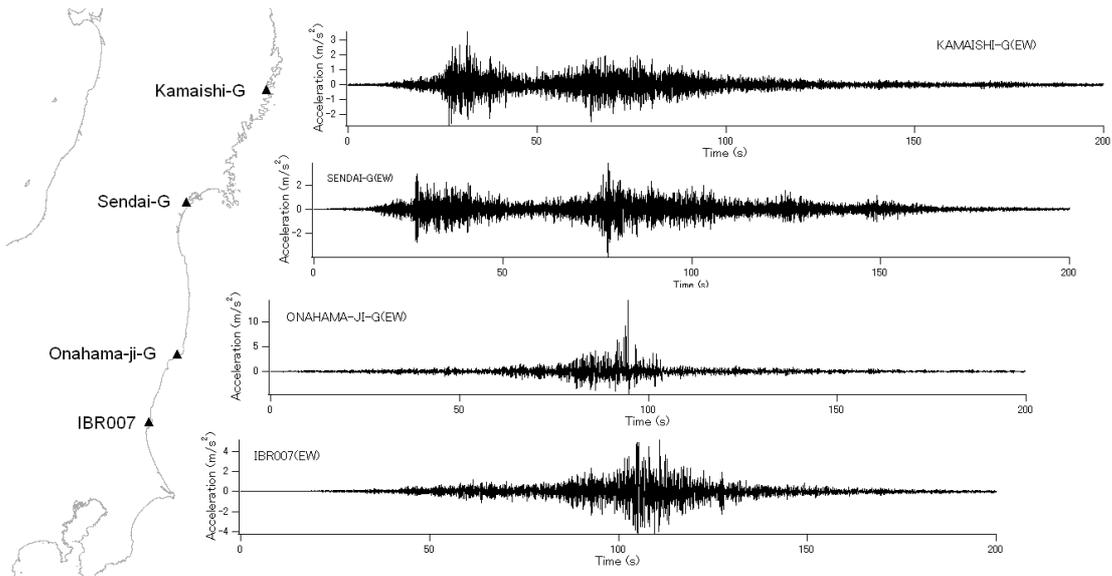


図-2.2.1 沿岸地域の4地点の地表で観測された2011年東北地方太平洋沖地震の加速度波形 (EW成分)

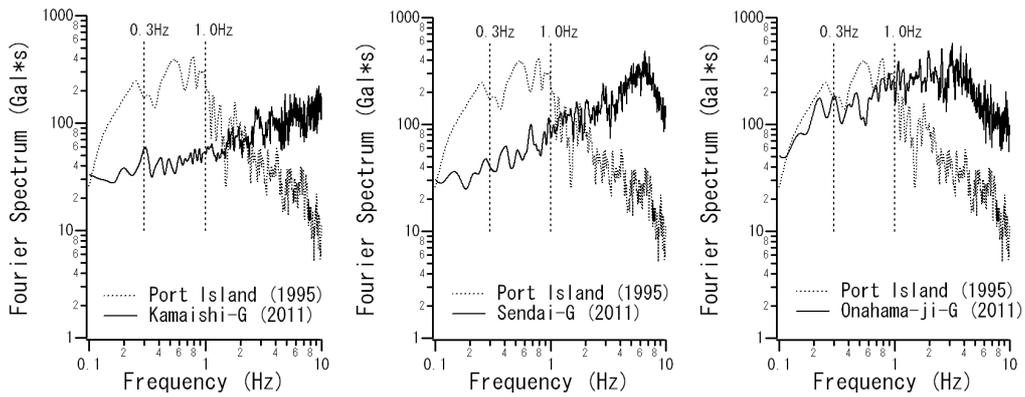


図-2.2.2 東北地方太平洋沖地震の際、沿岸地域の3地点の地表で観測された地震動のフーリエスペクトル (実線)。

比較のため、1995年兵庫県南部地震の際に神戸港ポートアイランドの地表で観測された地震動のフーリエスペクトルを併記している (点線)。フーリエスペクトルは、水平2成分を合成し、バンド幅0.05HzのParzenウィンドウを適用したもの。

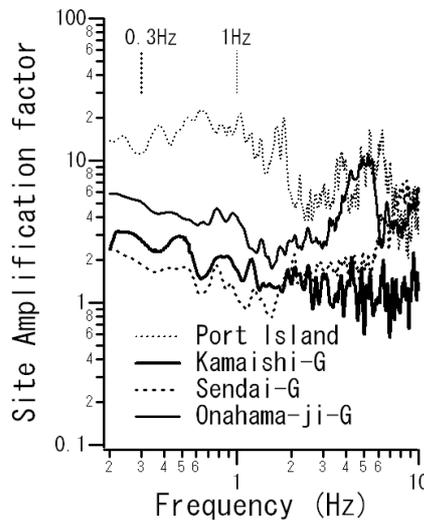


図-2.2.3 図-2.3と同じ観測点におけるサイト増幅特性²⁰⁾²¹⁾

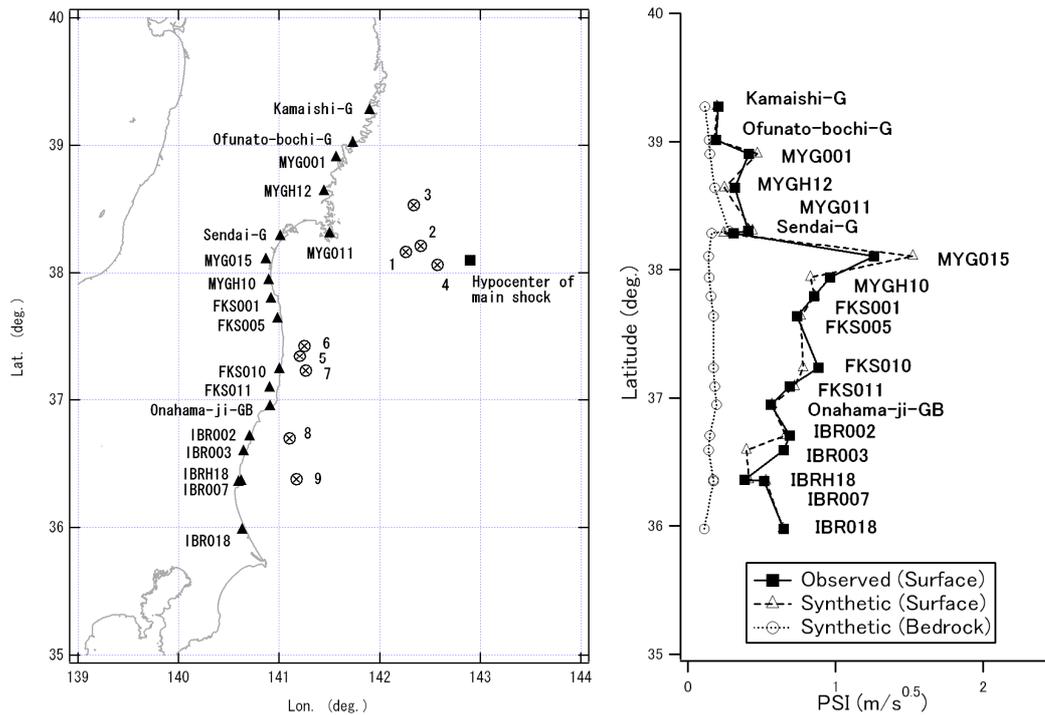


図-2.2.4 沿岸地域における PSI 値の分布. ■は観測結果, △は震源モデル (SPGA モデル)²³⁾²⁴⁾に基づく計算結果. ○は同じ震源モデルに基づく地震基盤上面での PSI 値の計算結果.

震基盤上面での PSI 値を計算した (つまりサイト増幅特性を 1 として PSI 値を計算した). その結果を図-2.2.4 右に○で示す. 地震基盤上面での PSI 値の分布は, 地表での PSI 値の分布と異なり, なめらかである. MYG011 と仙台-G の間でのわずかなステップ状の変化は, サブイベントからの距離の違いによるものである (MYG011 は牡鹿半島に位置しているため). 従って, 地表における PSI 値の分布は主にサイト特性によって支配されていると言える.

なお, 以上の記述はあくまでも強震観測点で得られたデータに基づく大局的な記述である. 文献 21)などで紹介されているように, 地震動はサイト特性の影響で狭い範囲でも大きく変化することがあり, 現状の強震観測点の分布は, サイト特性に起因する地震動の地域的な変化をすべて明らかにできるほど密ではない. 地震動の地域的な変化は, 本節で述べたよりもさらに急激であった可能性が高い. それらをすべて明らかにすることは簡単ではないが, 港湾内におけるサイト特性および地震動の変化については, 余震観測および常時微動観測により詳細に調べられている. その結果については文献 26)を参照されたい.

東北地方太平洋沖地震における港湾の地震動については, 以上に述べた情報の他に, 文献 16)では, 港湾に

おける記録と K-NET の記録との比較を行っている. また, 地表と地中で同時に地震動を観測している地点について, 地表と地中のスペクトル比を求め, その結果をもとに, 地盤の非線形挙動に関する検討を行っている. なお, 同様の検討は余震の記録についても行っている. さらに, 文献 16)では, 港湾地域強震観測網への津波の影響についても言及している. これらの情報についても適宜参照していただければ幸いである.

2.3 津波

(1) 津波の概要

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（Mw9.0）による地殻変動は、南北に約 450km、東西に約 200km にわたる広大な海域の水面を上下に変位させた。この水位変位が今回の津波の初期水位分布である。これが波として四方八方に伝播し、東北および関東地方だけでなく、北海道、中部、近畿、四国、九州地方の日本の太平洋側のほぼ全域、さらに太平洋を横断してアメリカ西海岸や南米チリにも津波は到達した。

沿岸に到達する前の津波が、海岸から 10～20 km 離れて設置された GPS 波浪計により検出された（後述の(3)で詳述）。例えば、釜石湾沖の岩手県中部沖 GPS 波浪計では、最大 6.1m の高さの津波が観測された。観測された津波波形は、津波の初期水位分布や断層過程の解明に寄与している（(4)で詳述）。

津波は水深が浅くなるにつれて高さを増大させるという特性がある。水深 100～200 m の沖合でも数mの高さがあった今回の津波は、沿岸では 2～3 倍に増大し 10 m を超えた。特に巨大な津波は、岩手県、宮城県、福島県に襲来し、それらの沿岸部に甚大な被害を発生させた。この津波は、これらの地域において被害記録が数多く残された歴史津波のなかで最大と考えられていた 1896 年明治三陸津波よりも高いものであった（(5)で詳述）。

巨大津波は防波堤、防潮壁など施設の設計対象津波あるいは設計波力や水位を超え、施設を損傷した。例えば、明治三陸津波や昭和三陸津波にも耐えるように設計された釜石湾港口防波堤は、それら津波の高さを超える今回の津波の作用によりケーソンの約半数が移動あるいは傾斜した^{27),28)}。構造物の破壊の原因には、津波による強い波力の他、津波が構造物を越流したときに生じた構造物背後の地盤やマウンドの洗掘がある²⁷⁾。例えば、八戸港の八太郎北防波堤のハネ部は津波波力により破壊し、中央部は津波波力ではなく防波堤を越流した津波水塊による背後マウンドの洗掘が破壊に重要な影響を及ぼしたことが模型実験²⁷⁾および数値計算²⁹⁾により明らかにされている。

津波は広大な地域の浸水や構造物の破壊に加え、船舶、コンテナ、自動車など様々なものを押し流した。さらに、流出した油を拡散させた。また、気仙沼などでは何らかの原因で発火した火災が津波により拡散した。

中央防災会議の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書（2011）に示されたデータによると、全国の浸水面積は 560 km² 超、死者・行方不明者数は 1.9 万人超、全壊建物数は 11 万戸超

に達した。浸水面積は、宮城県で 327 km²、福島県で 112 km²、岩手県で 58 km² である。死者・行方不明者数は宮城県で約 11600 人、岩手県で約 6300 人、福島県で約 1800 人である。

(2) 津波警報

気象庁は、表-2.3.1 に示すように、地震後約 3 分の 14 時 49 分に岩手県、宮城県、福島県の沿岸に大津波警

表-2.3.1 警報発表から解除までの主な経緯

日時	主な警報の内容
3月11日 14:49	大津波の津波警報（岩手県、宮城県、福島県の津波高をそれぞれ3m、6m、3mと予報）
3月11日 15:14	大津波の津波警報（宮城県を10m以上に変更）
3月11日 15:30	大津波の津波警報（岩手県から千葉九十九里・外房の予報を10m以上に変更、青森県太平洋沿岸などを追加）
3月11日 16:08	大津波の津波警報（青森県日本海沿岸、小笠原諸島、相模湾から徳島県に拡大、青森県太平洋沿岸の予報を10m以上に変更）
3月11日 22:53	大津波の津波警報（高知県を追加）
3月12日 13:50	大津波の津波警報（青森県太平洋沿岸から福島県へ縮小）
3月12日 20:20	津波の津波警報（大津波警報から津波警報へ）
3月13日 7:30	津波注意報の発表（津波警報から津波注意報へ）
3月13日 17:58	津波注意報の解除

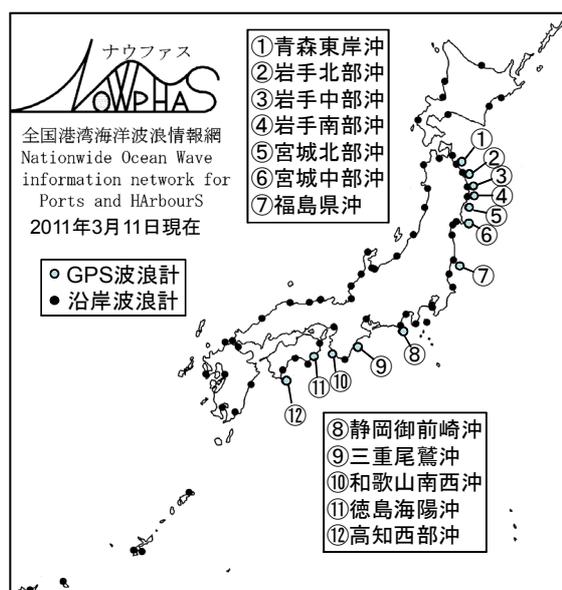


図-2.3.1 GPS 波浪計と沿岸波浪計の配置

報をそれぞれ予想高さ 3 m, 6 m, 3 m で発表した。地震後約 28 分後の 15 時 14 分に宮城県での予想高さが 10 m 以上、岩手県および福島県での予想高さが 6m に変更された。この変更には GPS 波浪計によって観測され、気象庁に送られている観測データが活用されている。大津波警報の範囲は、その後に青森県日本海沿岸、北海道太平洋沿岸東部から小笠原諸島、相模湾・三浦半島、静岡県、和歌山県、徳島県、高知県にも及んだ。津波注意報が全て解除されたのは、3 月 13 日 17 時 58 分であった。

(3) 津波の沖合観測

a) GPS 波浪計等による観測記録

国土交通省港湾局、東北・関東・北陸・中部・近畿・中国・四国・九州地方整備局、北海道開発局、内閣府沖縄総合事務局、国土技術政策総合研究所、港湾空港技術研究所は、1970年から共同で、全国港湾海洋波浪情報網 NOWPHASを通じて波浪・潮位等の観測・集中処理・解析を実施してきた。その観測機器には、GPS波浪計（水深100～400 m）、沿岸波浪計（20～50 m）、潮位計（岸壁等）の3種類があり、津波発生時のGPS波浪計と沿岸波浪計の配置を図-2.3.1に示す。

NOWPHASのGPS波浪計ネットワークが明瞭な津波を捉えたのは、2010年チリ津波^{30), 31), 32)}、2011年3月9日の前震による津波に続く、3度目であった。各地の津波波形の概要を図-2.3.2に示すとおりである^{33), 34), 35)}。図には、青森東岸沖と高知西部沖は調整中で欠測)。岩手北部沖～宮城中部沖の5基では、数十cmの引き波から始まり、これに続く押し波が最大であった。岩手北部沖～福島県沖の6基には、最大津波が地震発生から約30分後の15時12分～15時19分に到着し、岩手中部沖と岩手南部沖で最も早かった。最大津波高さは2.6～6.7mであり、岩手南部沖で最も高かった。宮城中部沖では最大津波に続いて5mもの引き波が生じた。なお、岩手中部沖～福島県沖の5基では、津波来襲前に比べて波形が全体的に0.24～0.95m高くなっており、これは地殻変動によるものと考えられる。この影響を差し引くと、東北地方沿岸の6基の最大波の高さは2.1～6.1mとなる。岩手南部沖では、第1波の津波が突出し、第2～7波で徐々に低くなった。第1～3波の周期は不規則であったが、第4～7波は約50分であった。比較的高い津波が7波程度続いたことは、岩手北部沖～宮城中部沖で共通している。

表-2.3.2 は、高い津波を記録した潮位計における最大津波とその生起時刻をまとめたものである³⁴⁾。東北地方太平洋沿岸では、8m 以上を記録し、波源から遠く離れた須崎港でも 2.65m を記録した。なお、この表には含め

ていないが、仙台塩釜港沖の水深 21.3m に設置した沿岸波浪計も、6.65m（地盤沈下の影響を含む）の極大値（最大波かどうかは不明）を捉えている。

b) 津波発生時の波浪条件

3 月 11 日 14 時の NOWPHAS の観測によると、太平洋側の北海道～沖縄地方の沿岸において有義波高は、静岡御前崎沖 GPS 波浪計の 2m 程度を除くと、ほとんどの地点で 1m 以下であり、有義波周期は岩手県から福島県にかけて 8s 程度であるのを除けば 4s 程度であった。

表-2.3.2 主要な地点の最大波

地点	所管	最大波の高さ(m)とその起時(3月11日)	
霧多布港	北海道開発局	2.63	22:20
十勝港	北海道開発局	2.79+	15:58
えりも町庶野	気象庁	3.5*	15:44
苫小牧港東	北海道開発局	2.46+	16:17
苫小牧港西	北海道開発局	2.05	17:31
むつ小川原港	東北地方整備局	3.43	15:45
八戸港	東北地方整備局	4.55+	16:52
久慈港	東北地方整備局	2.39+	15:36
宮古	気象庁	8.5+*	15:26
大船渡	気象庁	8.0+*	15:18
石巻市鮎川	気象庁	8.6+*	15:25
相馬	国土地理院	9.3+*	15:51
大洗	茨城県	4.2*	16:52
須崎港	四国地方整備局	2.65	21:00

*気象庁の速報値、+途中から欠測

(4) 津波の初期水位形状

津波が生成されたときの海水面の空間形状（初期水位形状）は、多くの研究者により検討されている³⁶⁾。ここでは高川・富田の推定結果³⁷⁾を用いてその特徴を示す。彼らは、東北、関東および北海道地方の太平洋沖合に設置された国土交通省港湾局の6基のGPS波浪計、東京大学地震研究所の4基および防災科学技術研究所の2基の海底津波計によって観測された今回の津波の概ね第1波目の津波波形を再現するように解析して津波の初期水位形状を推定した（図-2.3.3）。この逆推定では、断層の破壊伝播に伴う初期波形形状の時空間変化およびGPS波浪計の陸上基地局の沈下に影響されて観測データ上に現れる見かけ上の水位上昇を考慮している。断層の破壊過程を考慮したことにより初期水位形状といえども断層破壊が続いた約3分間は水面変動域が拡大している。図-2.3.4は、逆解析に使用した沖合津波観測波形と逆解析から得られた津波の初期水位形状による津波の再現結果

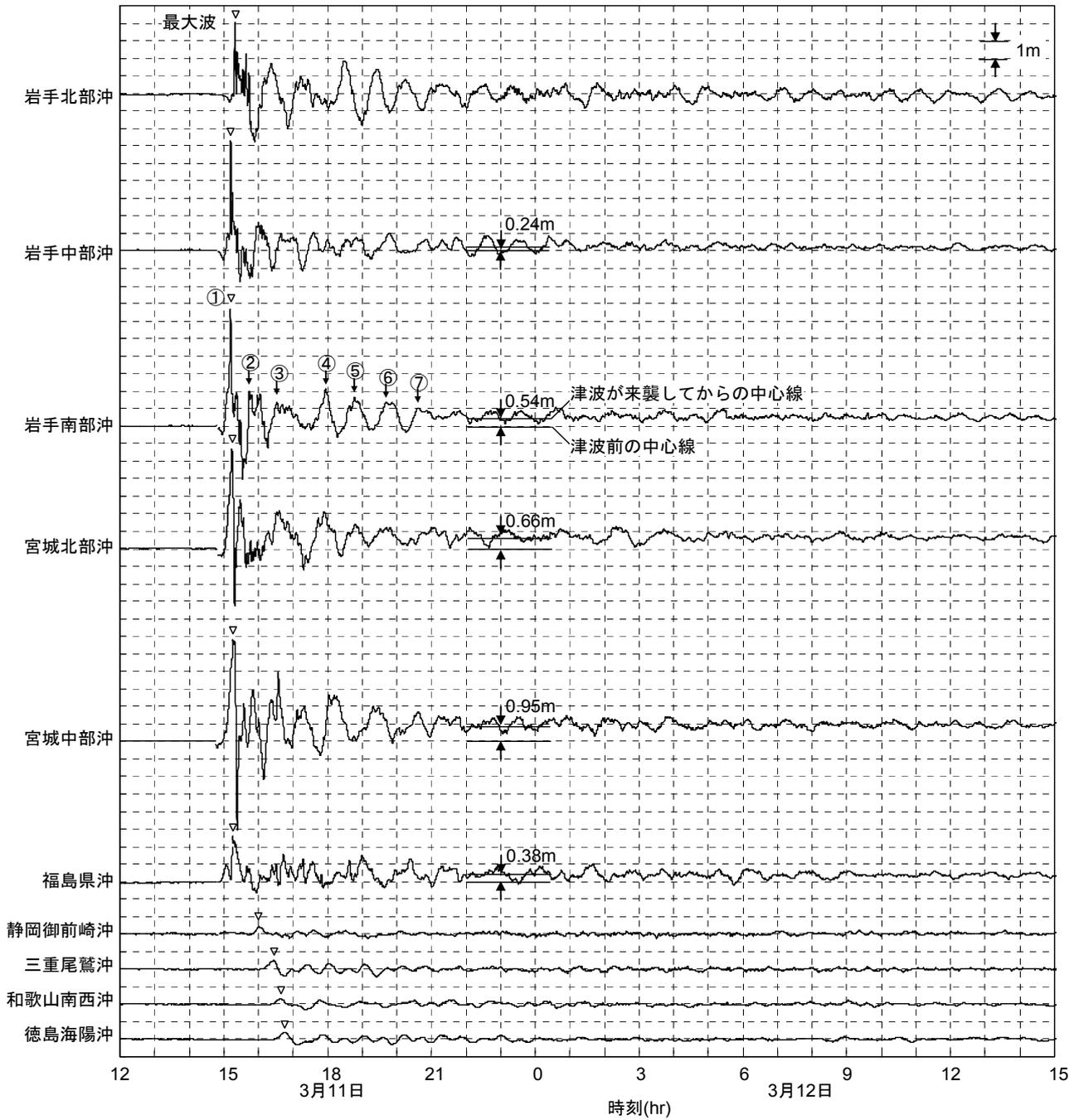


図-2.3.2 全国のGPS波浪計で捉えた津波波形³⁴⁾

を示す。断層の破壊伝播を考慮して逆推定された初期水位分布による再現結果は、逆解析に使用した観測波形(図中の▽印よりも前の波形)につづく波形を精度よく再現している。この再現性は断層の破壊伝播を考慮して逆推定された初期水位形状の妥当性を示している。

図-2.3.3 に示した津波の初期水位形状から、特に巨大な津波は震源から東方に位置する日本海溝軸の近くの海域において生成されたと推察される。その津波高は最大

7m 程度に達している。顕著な水位上昇域は岩手県北端から福島県の沖合において生じている。この水位上昇域の前面にある岩手県から福島県にかけて大きな津波が来襲した。一方、水位上昇域と三陸海岸の間には地殻の沈降に伴った水位低下域が認められ、三陸沿岸では引き波初動の津波が襲来することと示している。実際の現象において、例えば釜石港において撮影されたビデオ映像には押し波が襲来する前に海水面が下がっていく状況が確

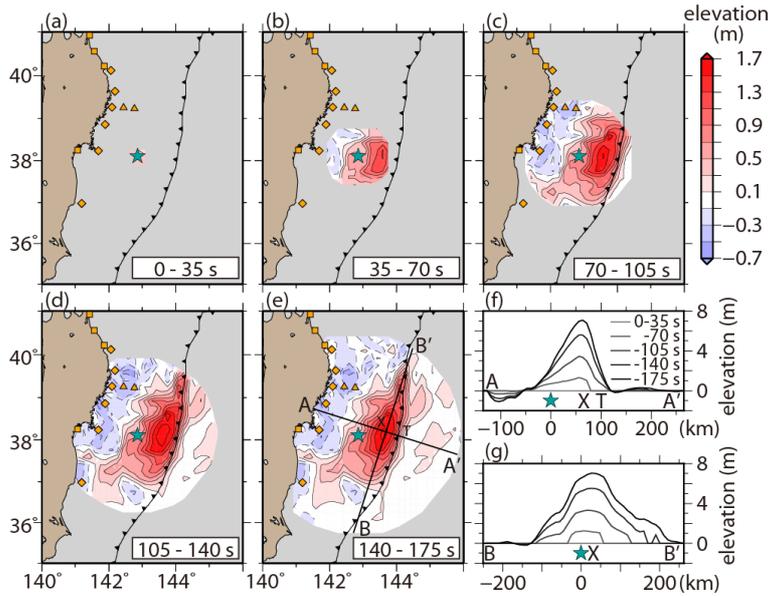


図-2.3.3 (a- e) 各時間区間の海水面の変動量。(f, g) 各時点における累積変動量の断面図³⁷⁾

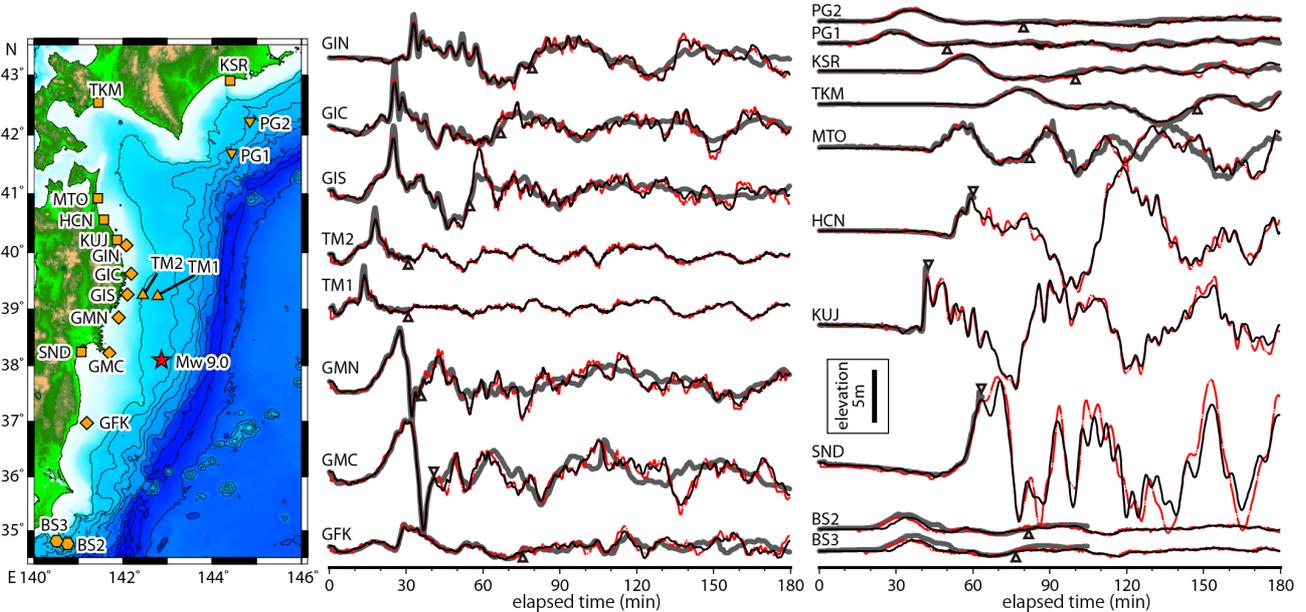


図-2.3.4 (左図) 2011 年東北地方太平洋沖地震の震央(星印)と解析に利用した観測点。(右図) 観測津波波形(灰太線)と時空間変動を考慮した波源モデルと、空間変動のみを考慮した波源モデルの再現波形(A: 黒実線; B: 赤一点鎖線)³⁷⁾

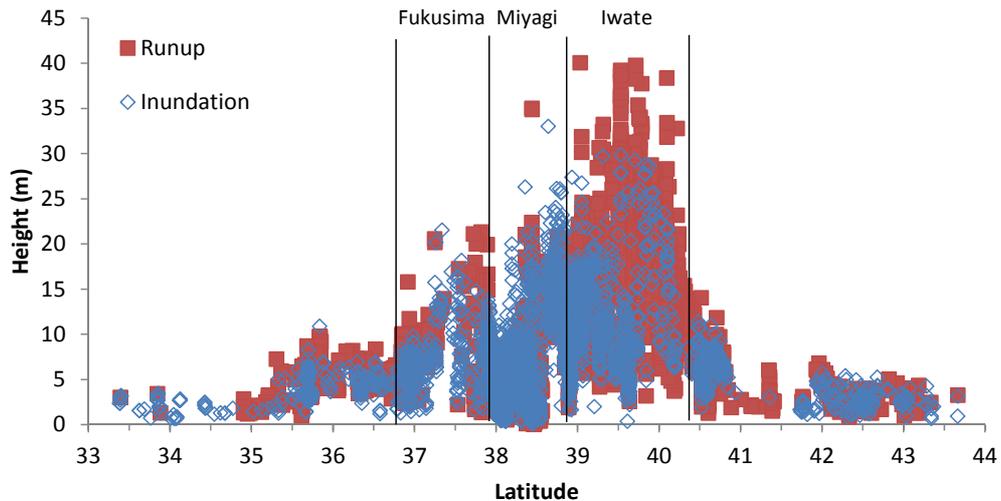


図-2.3.5 遡上高および浸水高分布

認できる。また、初期水位形状の南側には顕著な水位低下域はない。このため、関東地方には沖合の水位上昇域から津波が伝播するため、東京湾内の検潮所などは押し波初動の津波が観測されている。

(5) 津波の痕跡高

沿岸を浸水した津波は建物や丘陵地の斜面に水跡などの痕跡を残した。浸水域にある建物などの壁に残った痕跡をその地面から測った高さが津波の浸水深、津波来襲時の潮位（あるいは標高の基準の東京湾中等潮位 T.P.）から痕跡までの高さを浸水高と一般には定義されている。丘陵地の斜面などの痕跡では浸水深=0mとなり、この浸水深=0mとなるような痕跡（浸水域の境界線上）の高さを遡上高という。

今回の津波の浸水高や遡上高は、土木学会海岸工学委員会、地球惑星連合等の関係者によって実施された現地調査結果として東北地方太平洋沖地震津波情報 (<http://www.coastal.jp/ttjt/>) に取りまとめられている^{例え}_ば³⁸⁾。全国において最も高い遡上高および浸水高は、それぞれ岩手県大船渡市綾里の40.0mおよび宮城県本吉郡南三陸町の33.0mである（信頼度 A または B のデータより抽出）。図-2.3.5 は、上記のデータベースに収録されたデータの内の信頼度 A および B のデータを用いて整理した浸水高と遡上高を示している。岩手県における遡上高が全国の中で一番高く、宮城県、福島県と南に行くにつれて低くなる傾向にある。

上記データベースによる今回の津波の痕跡高と、東北大学・原子力安全基盤機構による既往津波における津波

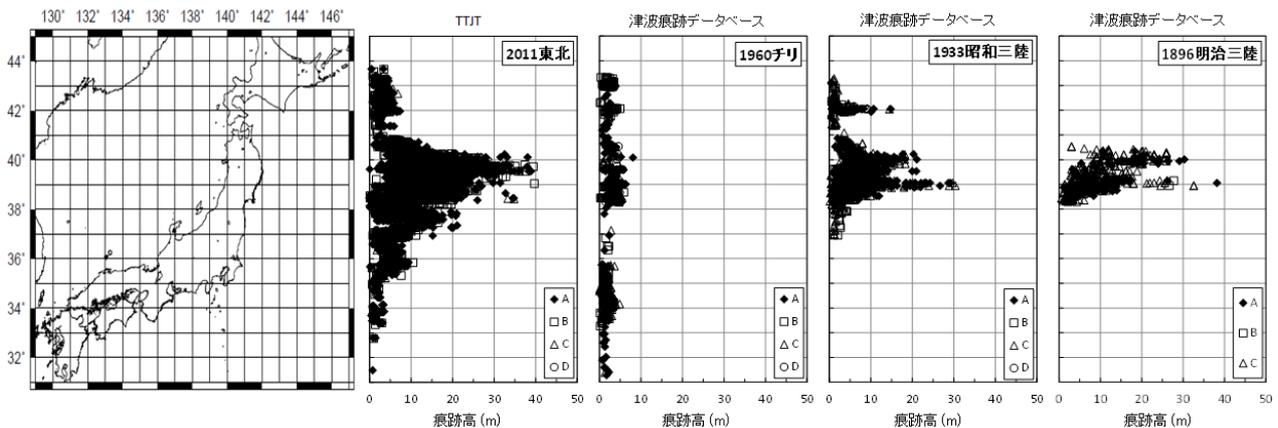


図-2.3.6 既往津波との痕跡高の比較³⁹⁾

測ができていない。しかし、八戸港では停電になり蓄電池の電源が尽きるまでの間、検潮所において津波が図-2.3.9の様に観測された。八戸港では八太郎北防波堤のハネ部700mのほぼ全区間と中央部1550mの内の約750mにわたりケーソンが滑動あるいは傾斜する被害が発生している。観測値を見ると、八戸港内では第2波目が第1波目よりも高い津波であったことが分る。八戸港に最も近い沖合観測点の岩手北部沖 GPS 波浪計の津波観測波形（図-2.3.2）を見ると、第1波目が最も高い津波になっている、津波の伝播計算の結果²⁹⁾によると、第1波目は津波の波源から伝わった波であり、第2波目は沿岸伝わりながら北上してきた波である。

図中には Case A、Case B および Case C として津波数値計算の結果を合わせて示している。Case A はハネ部と中央部の破壊開始時間が地震発生後115分と125分、Case B では115分と破壊なし、Case C では119.5分と破壊なしである。115分、119.5分および125分という時刻は、それぞれハネ部のケーソンの滑動安全率が1を下回る時刻、ハネ部の前面に津波第2波のピークが作用する時刻、および中央部で越波が終了する時刻である。ハネ部の破壊の影響が検潮所の観測波形に生じるのは破壊後約5分後、中央部の破壊の影響はその破壊後18分後と推察されている²⁹⁾。観測波形と計算波形を比較すると、ハネ部においては津波の波力によってケーソンが滑動する計算結果（Case A および Case B）が観測波形をよく再現している。すなわち、計算からは八太郎北防波堤ハネ部の破壊の主要な要因は、津波の波力によるケーソンの滑動であると考えられる。一方、中央部の破壊の主要な要因は検潮所の観測波形と計算波形の比較では分らない。しかし、第2波の越流が終了した時に破壊したと考えた計算結果が現地で測量された浸水域や浸水高の再現性が高かった。それよりも早い時刻に破壊すると仮定した計算結果²⁹⁾では、中央部背後域の浸水域や浸水高を過大に評価した。これは、中央部の破壊は津波力ではないことを示している。

b) 釜石港の場合

釜石港においても検潮所で津波観測はできていない、しかし、湾口防波堤の開口部付近を撮影した写真（海上保安庁提供）およびビデオ映像（国土交通省東北地方整備局釜石港湾事務所撮影および海上保安庁撮影）から解析した水位変化の様子を数値計算の結果と合わせて図-2.3.10に示す⁴⁴⁾。湾口防波堤の開口部付近では最大12m程度の津波が来襲していたことが推察される。

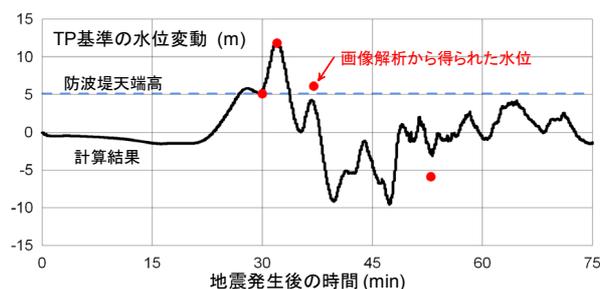


図 2.3.10 釜石湾口防波堤開口部での津波水位と計算波形