

3.1 津波の特徴

3.1.1 地震の概要

平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分に三陸沖を震源とするマグニチュード 9.0 の巨大地震が発生した。表-3.1.1 に気象庁発表の地震の震源及び規模等を示す。この地震により宮城県栗原市で震度 7、宮城県、福島県、茨城県、栃木県で震度 6 強など広い地域で強い揺れを観測した。また、太平洋沿岸を中心に高い津波を観測し、特に東北地方から関東地方の太平洋沿岸では甚大な被害を記録した。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」(The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake)と命名し、東北地方太平洋沖地震による災害及びこれに伴う原子力発電所事故による災害については、「東日本大震災」と呼称することが閣議決定された。

今回の地震の規模については、これまでの超巨大地震(20 世紀以降)である 1960 年のチリ地震(M9.5)、1964 年のアラスカ地震(M9.2)、1957 年のアリューシャン地震(M9.1)、に次いで四番目の規模となった。また同じ規模としては、1952 年のカムチャッカ地震、2004 年のスマトラ沖地震(M9.0)が挙げられる。なおこれらの超巨大地震は、環太平洋地域のプレート沈みこみ帯で発生している。

三陸沖で発生した地震に着目すると、1611 年に M8.1、1793 年に M8.0~8.4、1896 年に発生した明治三陸地震(M8.5)、1933 年に発生した昭和三陸地震(M8.1)などが発生しているが、これらと比較しても今回の地震の規模が極めて大きかったことが判る。

表-3.1.1 本震の震源及び規模等(気象庁発表)

地震発生時刻	平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分
発生場所 (震源位置)	三陸沖(北緯 38 度 06.2 分, 東経 142 度 51.6 分, 深さ 24km)
規模 (マグニチュード)	9.0(モーメントマグニチュード)
発震機構	西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型
最大震度	7(宮城県栗原市築館)
震度 (代表)	震度 6 強) 石巻市桃生町, 登米市米山町, 仙台市宮城野区苦竹, 双葉町新山, 白河市新白河, 浪江町幾世橋ほか 震度 6 弱) 大崎市松山, 仙台市泉区将監, 仙台市青葉区作並, 郡山市開成, 南相馬市小高区, 一関市山目ほか 震度 5 強) 気仙沼市笹が陣, 石巻市大爪, 白河市郭内, 取手市寺田 那須塩原市共墾社, 釜石市只越町, 盛岡市玉山区藪川ほか

3.1.2 津波の特徴

(1) 津波高さとその被害の概要

今回の津波は、東日本の太平洋沿岸の広い範囲で 5m に達する規模となった。その沿岸部の中で、岩手県と宮城県、及び福島県では 10m を超える規模の津波が来襲している。特に北緯 38 度付近より北部のリアス岸海岸では 30m を超えるような巨大津波が、また南部の平野部では 10m 程度と北部よりも規模は小さくなるものの、海岸から数 km の内陸まで浸水しており、広い範囲で津波被害が発生した。

(2) これまでの津波被害と今回の津波の比較

図 3.1.1 に、東北地方太平洋沖地震での津波記録と、これまでに来襲した明治および昭和と三陸地震での津波高の比較（文献 3.1.1）を示す。この図より、今回の津波来襲地域における過去の津波被害を比較すると、全体的には今回の津波高が 1896 年の明治三陸地震津波と 1933 年の昭和三陸地震津波よりも高くなっている。しかしリアス式海岸の北部側では明治三陸地震の津波高の方が高い場所も認められる。また南部の平野部では、明治や昭和の三陸地震津波よりも大きく超えた津波が来襲した。

(3) 津波来襲時の気象・海洋情報

地震が発生した 14 時 46 分頃には、青森県から宮城県北部では晴れもしくは曇りで、気温は摂氏 2 度～6 度程度であった。風は地域によって方向は異なるが、5m/s 前後の風が吹いていた。波浪については、岩手県宮古沖の 14 時時点のもので有義波高が 0.65m、宮城県金華山沖で 0.75m であった。なお地震発生の際は、満潮と干潮の差が小さい小潮であった。

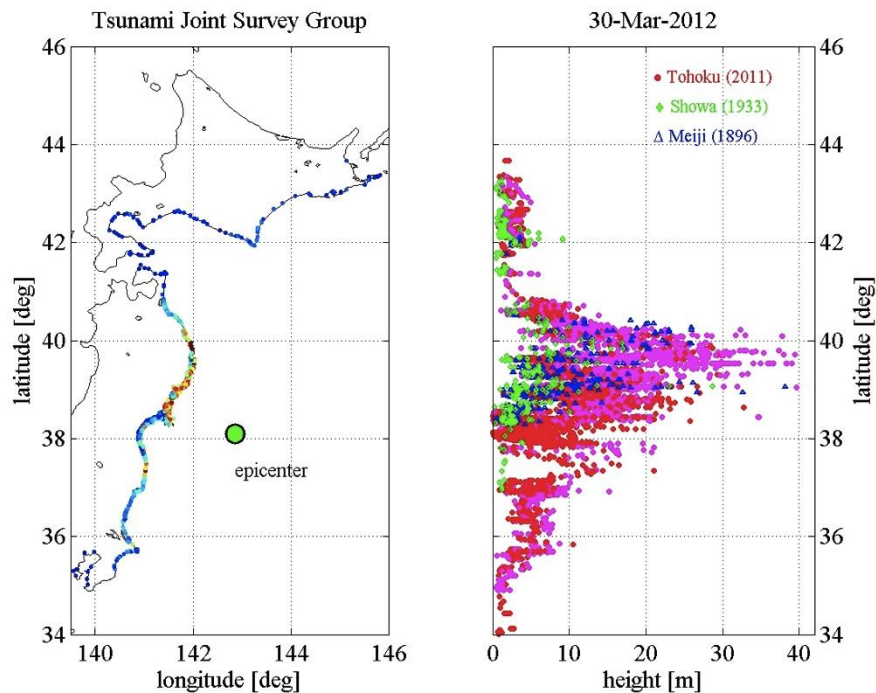


図 3.1.1 津波遡上高と浸水高の比較（東北・昭和・明治）

(4) 津波発生と津波警報

地震発生後、気象庁は14時49分に大津波警報を発表した。当初の予測では、宮城県に6m程度、福島県と岩手県に3mの津波が来襲すると発表された。しかしながら、その後の15時14分には沖合に位置するGPS波浪計による観測値の結果より、宮城県で10m以上とし、さらにその約15分後である15時30分には岩手県から千葉県の九十九里・外房までの津波高を10m以上とした。最終的には岩手県の北側を北海道の太平洋沿岸東部まで拡大した。さらには津波警報の範囲を、南側の三重県南部や奄美大島・トカラ列島にいたるまで広げた。この後、同日の20時頃に、大津波警報から津波注警報に切り替えた。そして地震発生の翌日である12日の夕方17時頃にすべての津波警報と注意報が解除された。

(5) GPS波浪計で観測した津波

大きな津波被害を受けた岩手県・宮城県及び福島県沿岸の沖合には、GPS波浪計が設置されていた。これは、2008年から導入された最新の計測機器であり、2010年12月には東北沿岸から四国地方の太平洋側の沿岸部沖に12基設置されている。この機器で明瞭な津波を観測したのは、2010年のチリ津波が初めてであり、東北地方太平洋沖地震の2日前に発生した津波に次いで3回目の津波記録となった。

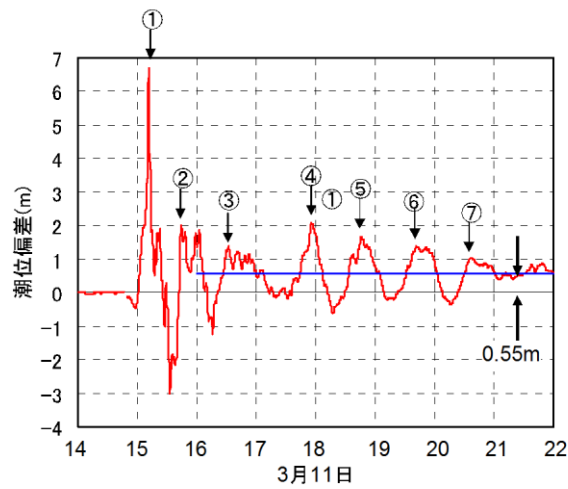
表-3.1.2に岩手県から福島県の沿岸に設置されているGPS波浪計の諸元(文献3.1.2)を示す。これ以外としては、三重県の尾鷲沖や和歌山の白浜沖、また徳島県の海陽沖にもGPS波浪計が設置されているが、ここでは省略する。この表より、これらの地点では地震発生後の14:46から約30分後の15:12~15:19頃に最大波となった。また釜石沖(岩手県南部沖)では観測高さが6.7mと最も高く、小名浜沖(福島沖)でも2.6mと大きな波を記録している。なお、この観測点の一部では、津波が来襲してから潮位の観測値が全体的に0.55m程度高くなったことが確認された。

表-3.1.2 GPS波浪計の諸元

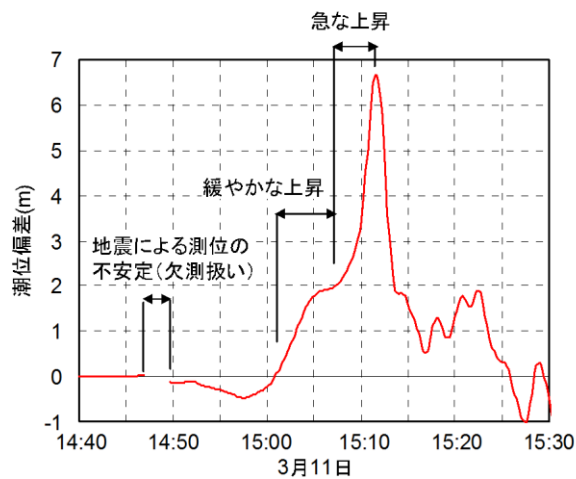
番号	地点名	水深 (m)	緯度	経度	最大波	
					時刻	高さ
1	久慈沖 (岩手県北部沖)	125	40° 07' 00"	142° 04' 00"	15:19頃	約4.0m
2	宮古沖 (岩手県中部沖)	200	39° 37' 38"	142° 11' 12"	15:12頃	約6.3m
3	釜石沖 (岩手県南部沖)	204	39° 15' 31"	142° 05' 49"	15:12頃	約6.7m
4	広田湾沖 (宮城県北部沖)	160	38° 51' 28"	141° 53' 40"	15:14頃	約5.7m
5	金華山沖 (宮城県中部沖)	144	38° 13' 57"	141° 41' 01"	—	約5.6m
6	小名浜沖 (福島県沖)	137	36° 58' 17"	141° 11' 08"	15:15頃	約2.6m

最も津波が高くなった釜石沖の津波波形を図 3.1.2 に示す. この図(図 3.1.2(a))より, 津波の峰の高さは第一波目が突出して高く, 第2波から第7波にかけて徐々に低くなっていく. 周期に着目すると, 最初の3つの波まではやや不規則であるが, その後の第4波以降は 50 分程度の周期の津波が繰り返されていることが判る.

さらに3月11日の14:50から15:20頃の30分間に着目すると(図 3.1.2(b)), 15時頃から緩やかに海水面が約2.0m程度上昇し始めて, その後に4.0m程度急激に上昇している. このように二段階で峰が立ち上がる変化は, 宮古沖や広田湾沖でも確認されている.



(a) 地震直後から 22 時頃まで



(b) 15 時頃の拡大図

図 3.1.2 釜石沖(岩手県南部沖)のGPS波浪計による津波波形

(5) 来襲した津波の高さ

この地震により東北地方太平洋沿岸をはじめとして国内、海外の沿岸で津波が観測された。図 3.1.3 に国内の津波観測施設で観測された津波の高さ（文献 3.1.3）を、図 3.1.4 に海外の検潮所で観測された津波の最大津波高さ（文献 3.1.3）を示す。また、表-3.1.3 に北海道・東北・関東の観測施設で観測された津波の観測値（文献 3.1.3）を示す。国内では津波観測施設が津波により被害を受けたためデータを入手できない期間があり、観測記録以降の後続の波でさらに高くなった可能性はあるものの、福島県相馬で 9.3m 以上(3月11日 15:51)、宮城県石巻市鮎川で 8.6m 以上(3月11日 15:26)と記録されている。また、津波の痕跡の位置等をもとに津波の高さの推定を行っており、地点によっては 10m を越える津波の痕跡が確認されている（例えば、文献 3.1.4 から 3.1.5）。

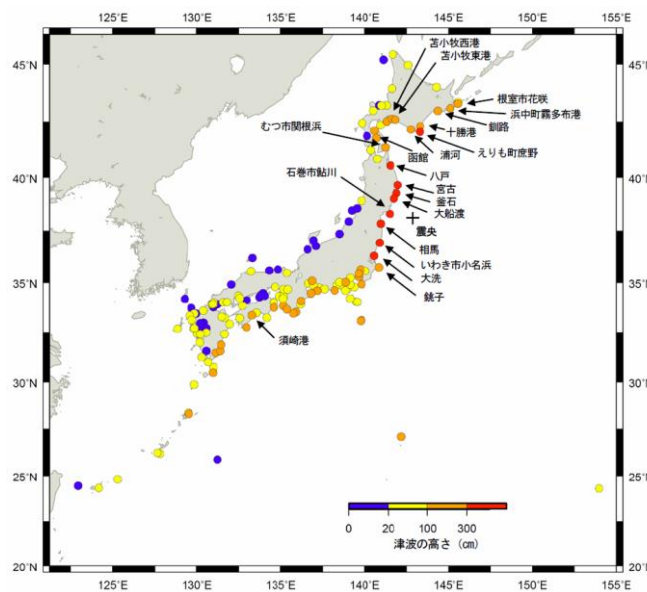


図 3.1.3 国内の津波観測施設で観測された津波の高さ

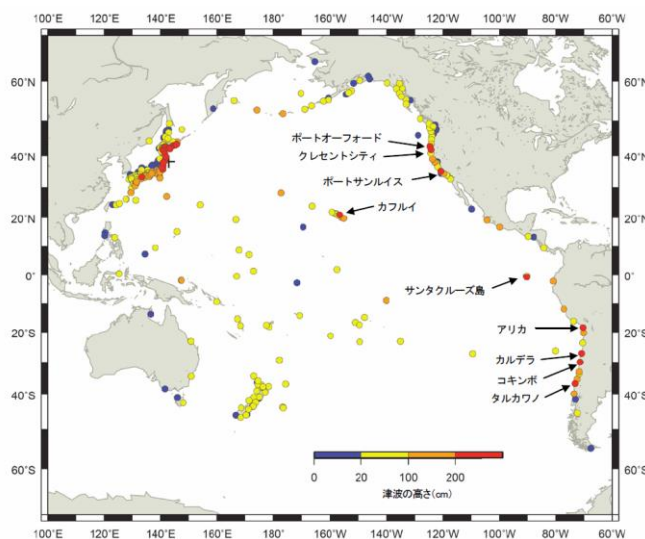


図 3.1.4 海外の検潮所で観測された津波の高さ（最大値）

表-3.1.3 北海道・東北・関東の津波観測施設で観測された津波の観測値

都道府県	津波観測点名	第一波		最大の高さの波		所属
		始まり	押し + 引き -	時刻	高さ	
北海道	えりも町庶野 *3	11 15 20	-0.1 m	11 15 44	3.5 m	気象庁
	根室市花咲	11 15 43	+286 cm	11 15 57	286 cm	気象庁
	浦河 *3	11 15 20	-0.2 m	11 16 42	2.8 m	気象庁
	十勝港 *1	11 15 27	-15 cm	11 15 57	276 cm以上	国土交通省港湾局
	浜中町霧多布港	11 15 29	-7 cm	11 22 19	257 cm	国土交通省港湾局
	苫小牧東港 *1	11 15 34	-29 cm	11 16 17	246 cm以上	国土交通省港湾局
	函館 *1	11 16 15	+183 cm	11 23 35	239 cm	気象庁
	苫小牧西港	11 15 38	-22 cm	11 17 31	225 cm	国土交通省港湾局
	釧路	11 15 35	+206 cm	11 23 39	208 cm	気象庁
	白老港 *7	11 15 36	-14 cm	11 16 2	173 cm以上	国土交通省港湾局
	渡島森港	11 - -	-	11 19 36	164 cm	国土交通省港湾局
	室蘭港	11 16 1	-2 cm	11 20 6	92 cm	国土交通省港湾局
	根室港	11 16 6	+27 cm	12 0 3	68 cm	国土交通省港湾局
	枝幸港	11 17 47	+22 cm	12 5 3	43 cm	国土交通省港湾局
	稚内	11 18 48	+9 cm	12 2 22	38 cm	気象庁
	網走	11 17 4	+12 cm	11 22 18	34 cm	気象庁
	小樽	11 - -	-	12 14 17	32 cm	気象庁
	石狩湾新港	11 - -	-	12 1 7	30 cm	国土交通省港湾局
	岩内港	11 - -	-	12 2 22	26 cm	国土交通省港湾局
	瀬棚港	11 - -	-	11 19 15	24 cm	国土交通省港湾局
	留萌	11 - -	-	12 5 34	22 cm	国土交通省港湾局
	小樽市忍路	11 - -	-	12 14 18	16 cm	国土地理院
江差	11 - -	-	11 21 28	15 cm	国土交通省港湾局	
利尻島杵形港	11 - -	-	11 23 40	11 cm	国土交通省港湾局	
青森県	八戸 *1 *3	11 15 21	-0.7 m	11 16 57	4.2 m以上	気象庁
	むつ市閨根浜	11 15 30	-24 cm	11 18 16	279 cm	気象庁
	竜飛 *1	11 16 2	-8 cm	11 16 32	46 cm以上	海上保安庁
	青森 *1	- - -	-	12 12 7	30 cm以上	国土交通省港湾局
岩手県	宮古 *1 *4 *5	11 15 1	-124 cm	11 15 26	8.5 m以上	気象庁
	大船渡 *1 *3 *5 *6	11 14 -	-1.0 m	11 15 18	8.0 m以上	気象庁
	釜石 *1 *5 *6	11 14 -	-119 cm	11 15 21	420 cm以上	海上保安庁
宮城県	石巻市鮎川 *1 *3 *5 *6	11 14 -	-	11 15 26	8.6 m以上	気象庁
山形県	酒田 *3	11 - -	-	12 0 54	0.4 m	気象庁
	鶴岡市鼠ヶ関	11 - -	-	12 1 17	13 cm	国土地理院
福島県	相馬 *1 *3 *5 *6	11 14 -	-1.2 m	11 15 51	9.3 m以上	気象庁
	いわき市小名浜 *5	11 15 8	+260 cm	11 15 39	333 cm	気象庁
茨城県	大洗 *3	11 15 17	+1.7 m	11 16 52	4.0 m	気象庁
千葉県	銚子 *3 *5	11 15 13	+2.3 m	11 17 22	2.5 m	気象庁
	館山市布良	11 15 24	+142 cm	11 17 6	172 cm	気象庁
	千葉	11 16 34	+77 cm	11 18 18	93 cm	海上保安庁
東京都	父島二見	11 16 11	+108 cm	11 16 46	182 cm	気象庁
	東京晴海 *3	11 16 40	+0.8 m	11 19 16	1.5 m	気象庁
	八丈島八重根 *3	11 15 42	+1.4 m	12 2 48	1.4 m	気象庁
	八丈島神湊	11 15 35	+121 cm	11 15 45	121 cm	海上保安庁
	三宅島坪田	11 15 26	+79 cm	11 23 38	85 cm	気象庁
	神津島神津島港	11 15 -	-	12 0 30	85 cm	海上保安庁
	伊豆大島岡田	11 15 -	-	11 15 50	73 cm	気象庁
	三宅島阿古	11 15 27	+62 cm	12 4 21	65 cm	海上保安庁
南島島	11 16 51	+41 cm	11 16 55	41 cm	気象庁	
神奈川県	横浜	11 16 10	+82 cm	11 17 38	155 cm	海上保安庁
	横須賀	11 15 54	+83 cm	11 17 17	136 cm	海上保安庁
	小田原	11 15 33	+94 cm	11 15 49	94 cm	気象庁

津波の観測値は、観測された潮位のデータにバンドパスフィルターをかけ、その波形を用いて作成している。ただし、データが津波の立ち上がり直後に断になってしまった地点の高さについては、データの極値と推算潮位（実測の潮位で補正）の差で作成している

－ は値が決定できないことを示す

*1 はデータを入手できない期間があったことを示す

*3 は巨大津波観測計により観測されたことを示す（観測単位は0.1m）

*4 は第一波を潮位計、最大波を巨大津波観測計により観測されたことを示す

*5 は地盤沈下の影響で、第一波の読み取り値が不正確である可能性があることを示す

*6 は地震の揺れにより生じた潮位の変動等のため、潮位データからは津波の第一波の始まりの時刻が特定できなかったもの。一方、今回の地震の発生後、岩手県～千葉県の太平洋沿岸で1.2mから0.1m程度の沈降があったことが推定されており（国土地理院の地殻変動調査による）、これらの沿岸付近は波源域に含まれていたことが推測される。

*7 はデータが頭打ちになっていることを示す

【参考文献】

- 3.1.1) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ (<http://www.coastal.jp/tsunami2011/>) による速報値
- 3.1.2) 港湾空港技術研究所資料：Technical Note of the port and airport research institute, No1231, April 2011, <http://www.pari.go.jp/info/tohoku-eq/>
- 3.1.3) 気象庁：災害時地震・津波速報 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震，災害時自然現象報告書 2011 年第 1 号，p.10，2011.8.
- 3.1.4) 原口強，岩松暉：東日本大震災津波詳細地図，上巻[青森・岩手・宮城]，古今書院，2011.10.
- 3.1.5) 原口強，岩松暉：東日本大震災津波詳細地図，下巻[福島・茨城・千葉]，古今書院，2011.10.

(竹田周平)

性能に基づく橋梁の耐震設計法に関する研究小委員会（土木学会・地震工学委員会）

ワーキンググループ中間報告書より抜粋，2012.7.25-26