

最低水面の決定

環境調査課

Determination of datum level

Environmental and Oceanographic Research Division

Abstract

After the earthquake, large subsidence of ground level was observed in the wide area on the Pacific coast in the Tohoku region. The Geospatial Information Authority of Japan reported the subsidence in some areas over 1 m measured by GPS observation. A number of quays and tidal stations have been destroyed in the ports, and most of the benchmarks that were necessary to determine a datum level, have significantly subsided or been lost. Possibly earliest re-determination of the datum level at these ports was required because the datum level is used for not only depth sounding for nautical charts but also construction works in the ports.

The JHOD, collaborating with port authorities and local municipalities, has been working to determine the datum level since mid-March, carrying out tidal observations at these affected ports. We have determined the datum level at the Ports of Onahama and Hachinohe on 18 May and at other 16 ports by early July.

1 はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震によって東日本太平洋側の広い範囲で大きな地盤変動が発生した。国土院から発表された電子基準点による本震に伴う地殻変動（上下）を Fig. 1 と Table 1 に示す。岩手県から千葉県に至る広い範囲で大きな地盤の沈降が発生した。牡鹿で最大の沈降量 120 cm が観測された。また、地震に続いて襲来した大津波により港湾施設には著しい被害をもたらした。

地盤変動と岸壁等の損壊により、海洋情報部がインターネットで公表している「平均水面、最高水面及び最低水面一覧表」（以下、「平均水面等一覧表」という）に関して、基本水準標の消失、最低水面の大きな変化が予想された。このため 2011 年 3 月 31 日に、東日本太平洋岸のほとんどすべての港湾について、「平均水面等一覧表」に掲載している基本水準標から最低水面までの高さを削除した。このとき削除の対象とした港湾は、Table

2 に示す 33 港であった。

最低水面は、海図の基準面とともに港湾工事の基準面としても利用される。航路啓開後の本格的な港湾機能の復旧工事のためにも、最低水面の再決定が急がれた。一方、震災直後から本庁所属のすべての測量船による航路障害物調査が港湾局との調整のもと進められており、港湾の復旧工事予定に関する情報が入手された。4 月上旬、港湾工事の予定を踏まえて最低水面の再決定のための潮汐観測を準備していた時期に、港湾局から東北地方整備局が重要港湾において潮汐観測を既に開始している港湾や、または潮汐観測を予定している港湾があるとの情報があった。このことから、海洋情報部は東北地方整備局の潮汐観測成果を利用して最低水面の再決定を行うこととした。また、東北地方整備局が潮汐観測を行わない港湾については海洋情報部が潮汐観測を行い、最低水面の再決定を行うこととした。

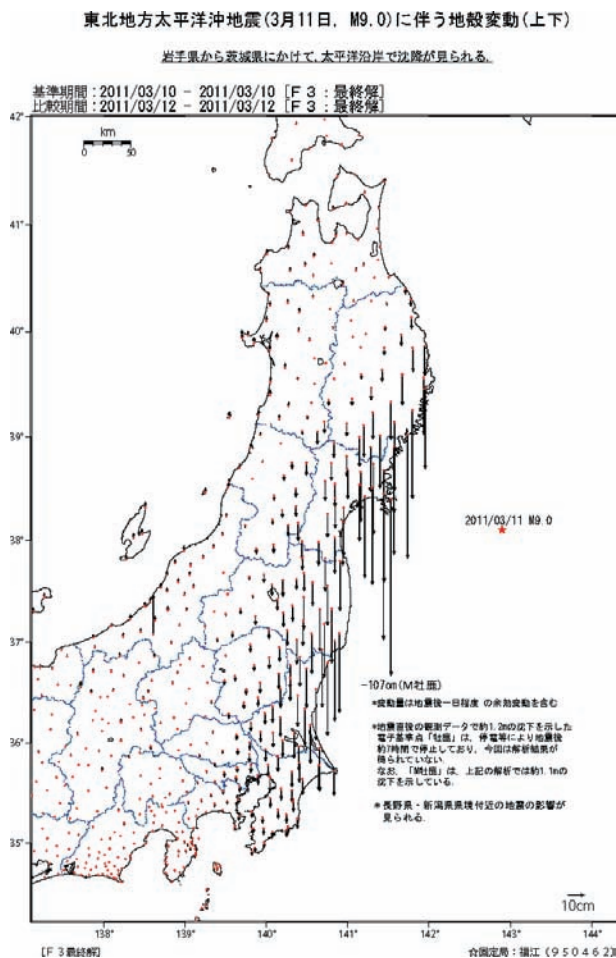


図1 3月11日の本震 (M 9.0) に伴う地殻変動 (国土地理院, 2011).

Fig. 1 Vertical crustal deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Geospatial Information Authority of Japan, 2011).

2 方法

港湾工事に関する港湾局及び県の予定を基に、早急に最低水面の再決定を行う港湾として、第二管区海上保安本部管内の13港湾、第三管区海上保安本部管内の4港湾、計17港湾を選定した。Table 3 に選定した港湾、潮汐観測の実施機関、観測期間、副標観測の方法等、最低水面の決定作業の概要を示す。

津波により東北地方太平洋岸のほぼすべての験潮所で観測機能を失ったため、最低水面の決定に必要な基準験潮所の観測データを利用することができなくなった。基準験潮所のデータは、測量地 (最低水面を決定する海域) における短期平均水

面と長期平均水面との差の算定に用いる。気象庁の小名浜験潮所は観測機能を保持していたものの、地震時の地殻変動により数10cmにもおよび沈降が発生した。このため、小名浜験潮所の観測データは長期平均水面の算定には適さない。そこで、基準験潮所の観測データの代用として、基準験潮所における潮汐の推算値を使って短期平均水面と長期平均水面との差を算定することとした。測量地における最低水面の算出フローは次のとおりである。

- (1) 基準験潮所の最近5ヵ年推算平均水面 (A_0) の算出
- (2) 臨時験潮器設置期間の基準験潮所の推算短期平均水面 (A_1) の算出
- (3) 臨時験潮器による測量地の短期平均水面 (A_1') の算出
- (4) 測量地の暫定長期平均水面 (A_0') の算出方法

$$A_0' = A_1' + (A_0 - A_1)$$

- (5) 測量地の最低水面の決定

① 観測基準面上の $DL = A_0' - Z_0$

② 副標零位と基本水準標の高低差から基本水準標の DL (Datum Level) 高を求める

なお、茨城県内の港湾については、比較的近くに所在する国土地理院の勝浦験潮所が利用できたため、これを基準験潮所とした。

副標観測は、大潮の時期に干潮時から満潮時まで連続的な観測を2セット行うことを基本とした。しかし、大潮の時期における相次ぐ満潮時と干潮時の観測を2セット行うことで済ませた港湾や、更に簡略化して、満潮時と干潮時の観測を1セットで済ませた港湾もある。

水準測量は、すべての測量地において基本水準標と副標頂との間で行っている。

3 結果

震災後、最も早く臨時験潮に着手したのは八戸港であり、2011年3月27日から観測を始めた。小名浜港の観測開始は3月26日であるが、これは臨時験潮の開始を示すものではない。小名浜験

表1 主要な港湾のある市町村の地盤変動量（国土地理院，2011）.

Table 1 Vertical ground deformation associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake at cities where major ports are located (Geospatial Information Authority of Japan, 2011).

県	市町村		水平 変動量 (m)	高さの 変化量 (m)	電子 基準点名
青森県	八戸市	小中野	0.54	-0.02	八戸
岩手県	久慈市	宇部町	0.90	-0.07	久慈
岩手県	釜石市	甲子町	3.32	-0.53	釜石
	宮古市	大字津軽石	2.21	-0.35	宮古
	大船渡市	赤崎町字鳥沢	4.19	-0.77	大船渡
宮城県	気仙沼市	笹が陣	4.12	-0.66	気仙沼
	南三陸町	志津川字城場	4.41	-0.71	志津川
	女川町	大字女川浜字大原	4.89	-0.89	女川
	石巻市	小船越山畑	4.25	-0.60	河北
	利府町	神谷沢字後沢	3.15	-0.30	利府
福島県	いわき市	常磐湯本町日渡	1.73	-0.50	いわき2
	相馬市	中村字本町	2.70	-0.32	相馬1
茨城県	日立市	金沢町	1.13	-0.33	日立
	鹿嶋市	平井	0.68	-0.27	茨城鹿嶋
千葉県	銚子市	東小川町	0.40	-0.15	銚子

表2 東北地方太平洋沖地震により「平均水面，最高水面及び最低水面一覧表」から削除した港湾.

Table 2 The ports where chart datum level was deleted from the chart datum list published on internet after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake.

県	港湾名	港湾数
青森県	八戸	1
岩手県	八木, 久慈, 茂師, 宮古, 山田, 大槌, 釜石, 大船渡	8
宮城県	気仙沼, 御崎, 志津川, 女川, 鮎川, 荻浜, 石巻, 塩釜, 仙台	9
福島県	相馬, 原町, 夫沢, 富岡, 広野, 久之浜, 江名, 小名浜	8
茨城県	日立, 常陸那珂, 那珂湊, 大洗, 鹿島, 波崎	6
千葉県	銚子漁港	1

表3 最低水面に関する諸観測の概要。
Table 3 Outline of observations for determination of chart datum level.

港湾名		潮汐観測										最低水面 の高さ (m)
実施機関	測量地・観測所の所在	観測器のタイプ	井戸の有無	観測期間	基本水準標(BM)の所在	副標観測 実施日	副標観測の方法	基準験潮所	最低水面 決定日			
第二 管区 本部 管内	八戸	八戸湾垂筈所管の既設験潮所・榑 白銀地区八戸漁港(鯨漁港防波堤付根)	水圧式 RT510-W	塩ビ管で仮設置	3月27日～ 4月27日	観にある 東北地方整備局BM	4月3日 4月19日	干潮から満潮まで 2回	(推算)	5月18日	2.09	
	久慈	玉の脇地区-4.5m岸壁北東隅	水圧式 RMD	無し	4月1日～ 5月2日	堀込岸壁東側にある 東北地方整備局BM	4月1日 4月7日 5月5日	干潮から満潮まで 3回	(推算)	6月3日	2.87	
	宮古	藤原地区、藤原第一心頭岸壁取付先端	水圧式 ATD-HR	無し	4月4日～ 5月5日	藤原第一心頭南東端にある 東北地方整備局BM	4月7日 5月5日	干潮から満潮まで 2回	(推算)	6月3日	2.35	
	釜石	海上保安庁所管の釜石験潮所内	水圧式 RMD-5525WL	験潮所井戸	4月21日～ 5月18日	港湾合同庁舎構内 にあるBM	5月17日 5月18日	相次ぐ満潮時と干 潮時 2回	(推算)	6月20日	1.35	
	大船渡	須崎川水門下流左岸の既設水位計近傍	水圧式 KT-123P	塩ビ管で仮設置	4月12日～ 5月13日	野々田公共岸壁北端にある 東北地方整備局BM	4月12日 4月24日	干潮から満潮まで 2回	(推算)	6月3日	2.09	
	気仙沼	お魚市場前岸壁	水圧式	パイプで仮設置	4月29日～ 5月30日	地方振興事務所南東 にあるBM	5月6日 5月17日	満潮時と干潮時 各1回	(推算)	7月7日	1.37	
	志津川	旭ヶ浦にあるBMの北西の岸壁	水圧式	パイプで仮設置	4月29日～ 5月30日	旭ヶ浦にあるBM	5月7日 5月17日	満潮時と干潮時 各1回	(推算)	7月7日	2.59	
	女川	魚市場西の岸壁	水圧式	パイプで仮設置	4月29日～ 5月30日	卸売市場北にあるBM	5月6日 5月18日	満潮時と干潮時 各1回	(推算)	7月7日	2.09	
	石巻	石巻ケーソンヤード消波堤験潮所付近	水圧式	無し 直接海面に設置	4月14日～ 5月15日	西浜町にある 東北地方整備局BM	4月14日 4月29日 5月17日	干潮から満潮まで 3回	(推算)	6月20日	3.69	
	塩釜	塩釜港第1区池積擬橋近傍	水圧式 RMD	無し 直接岸壁に設置	4月18日～ 5月19日	点山通にある験潮所 南側の東北地方整備局BM	4月18日 4月20日	相次ぐ満潮時と干 潮時 2回	(推算)	6月9日	2.63	
	仙台	東北地方整備局所管の 仙台新港験潮所近傍	水圧式 RMD	無し 直接岸壁に設置	4月18日～ 5月19日	高松ふ頭にある 東北地方整備局BM	5月1日 5月3日	相次ぐ満潮時と干 潮時 2回	(推算)	6月9日	2.14	
	相馬	1号心頭南端(福島県相馬港験潮所)	水圧式	既設験潮所井戸	4月14日～ 5月15日	福島県験潮所近傍 にあるBM	5月1日 5月16日	干潮から満潮まで 2回	(推算)	6月9日	2.58	
小名浜	気象庁小名浜験潮所	フロート式	有り	3月26日～ 4月26日	気象庁小名浜験潮所の 球分体	-	-	(推算)	5月18日	4.65		
日立	第4号心頭A岸壁	水圧式 RMD	無し	9月9日～ 9月27日	第4号心頭にある 関東地方整備局BM	9月9日 9月27日	干潮から満潮まで 2回	勝浦験潮所	10月27日	2.85		
常陸那珂	常陸那珂港験潮所側の岸壁	水圧式 RMD	無し	4月12日～ 4月28日	常陸那珂港験潮所そば にあるBM	4月7日 4月28日	干潮から満潮まで 2回	勝浦験潮所	6月9日	3.35		
大洗	南防波堤基部のBM付近	水圧式 RT-510	無し	5月22日～ 6月12日	南防波堤基部にあるBM	5月16日 6月11日	干潮から満潮まで 2回	勝浦験潮所	6月24日	4.45		
鹿島	住友金属工業原料岸壁 (関東地方整備局BM付近)	水圧式 RMD	無し	4月11日～ 4月27日	住友金属工業原料岸壁付近 にある関東地方整備局BM	4月5日 4月8日	干潮から満潮まで 2回	勝浦験潮所	6月9日	5.24		

表4 地震前後の最低水面の比較.

Table 4 Comparison between chart datum levels before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake.

港湾名	基本水準標の所在		最低水面の高さの比較			Z0 (m)		電子基準点	
	地震後	地震前	地震後 (m)	地震前 (m)	地震前後の差 (m)	潮汐観測による主要四分潮の平均	公表値	所在地	沈降量 (m)
第二 管区 本部 管内	八戸	・鮫にある東北地方整備局BM頂	・館鼻付近にあるHBMT頂		0.03 沈降	0.84	0.85	八戸市小中野	0.02
	久慈	・堀込岸壁東側にある東北地方整備局BM頂	・玉の脇外防波堤基部にあるHBMT頂 ・東北地方整備局験潮所BM頂				0.89	久慈市宇部町	0.07
	宮古	・藤原第一心頭南東端にある東北地方整備局BM頂	・竜神崎の岩場にあるHBMT頂				0.83	宮古市 大字津軽石	0.35
	釜石	・港湾合同庁舎構内にあるHBMT頂	・港湾合同庁舎港内にあるHBMT頂 ・国土地理院BM(33号)頂	1.35	2.17	0.82 沈降	0.81	釜石市甲子町	0.53
	大船渡	・野々田公共岸壁北端にある東北地方整備局BM(金属標)頂	・国土地理院BM(6788号)頂 ・気象庁験潮所BM頂	2.09			0.86	大船渡市 赤崎町字鳥沢	0.77
	気仙沼	・地方振興事務所南東にあるBM頂	・合同庁舎南東方にあるBM頂	1.37			0.82	気仙沼市 甚か碑	0.66
	志津川	・旭ヶ浦にあるBM頂	・国土地理院BM(5696号)頂	2.59			0.87	南三陸町 志津川字城場	0.71
	女川	・卸売市場北にあるBM頂	・喜ヶ崎にあるHBMT頂 ・東防波堤基部にある東北電力BM(金属標)頂	2.09			0.87	女川町大字 女川浜字大原	0.89
	石巻	・西浜町にある東北地方整備局BM(基準点3)頂	・ケーンヤード北側にある東北地方整備局BM(基準点3)頂	3.69	4.40	0.71 沈降	0.91	石巻市 小船越山畑	0.60
	塩釜	・貞山通にある験潮所南側の東北地方整備局BM頂	・貞山通にある験潮所南側の東北地方整備局BM頂	2.63	2.97	0.34 沈降	0.92	利府町 神谷沢字後沢	0.30
仙台	・高松心頭にある東北地方整備局BM頂	・高松心頭にある東北地方整備局BM頂 ・国土地理院BM(045-013号)頂	2.14	2.57	0.43 沈降	0.88			
相馬	・県験潮所近傍にあるBM(金属標)頂	・港湾建設事務所西方にある国土地理院BM(附27号)頂	2.58		0.54 沈降	0.90	相馬市 中村字本町	0.32	
小名浜	・気象庁験潮所球分体頂	・4号心頭南端にある気象庁BM頂	4.65		0.45 沈降	0.82	0.84		
日立	・4号心頭にある関東地方整備局BM頂	・日立港験潮所球分体頂	2.85				0.86	日立市金沢町	0.33
常陸那珂	・験潮所そばにあるBM頂	・常陸那珂港験潮所そばにあるBM頂	3.35	3.61	0.26 沈降		0.85		
大洗	・南防波堤基部にあるBM頂	・南防波堤基部にあるBM頂	4.45	4.67	0.22 沈降		0.87		
鹿島	・住友金属工業原料岸壁付近にある関東地方整備局BM頂	・住友金属工業原料岸壁付近にある関東地方整備局BM頂	5.24	5.42	0.18 沈降		0.89	鹿嶋市平井	0.27
第三 管区 本部 管内									

潮所は観測機能を保持していたため、臨時験潮は行わず小名浜験潮所のデータを利用した。

八戸港と小名浜港とは2011年5月18日に震災後最初となる「平均水面等一覧表」の再決定を行った。その後、順次、最低水面の再決定を行い、7月7日までに日立港を除く16港湾について再決定を行った。日立港は岸壁の整備や港湾工事の計画が遅れたため、潮汐観測の実施が遅れたが、10月27日に再決定を行った。

地震と津波により多くの港湾で既設の基本水準標が使用できなくなったことから、地震前後で地盤の変動量が算出できた港湾は10箇所に留まる。その結果はTable 4に示すとおり最低水面の変動はすべて沈降であり、電子基準点で得られた上下変動と傾向は一致する。最低水面とGPSとの沈降量を比較すると、多くの場所で、最低水面から得られる沈降量の方がGPSで得られる沈降量より大きな値となることが認められる。これは、陸から海に向かって地殻変動が大きくなっていることによるとも考えられるが、人工構造物である岸壁部分が、自然地形よりも大きく沈降した可能性もある。後述する小名浜港での地盤変動で具体的な数値は示すが、基本水準標が設置される岸壁の上下変動は、地盤の上下変動に、人工構造物である岸壁が破壊され変形することによる上下変動が加わると考えられる。

一方、八戸港等11港においては震災後に行われた潮汐観測を解析し、得られた主要四分潮の和と「平均水面等一覧表」に公表している Z_0 値とは顕著な変化はなかった。

17港湾について最低水面を決定した後、女川港と志津川港を除く15港湾については、本庁所属の測量船による水路測量班が各測量地に行き、基本水準標の存在確認を行った。その結果、Table 5に示すとおり、大船渡港等4港について「平均水面等一覧表」を更新した。

大船渡港は基本水準標の存在を確認できず、気仙沼港は基本水準標が損壊していたため、両港には基本水準標を新設した。大船渡港は地震前に設置されていた仮基本水準標が使用できたため、新

設の基本水準標と仮基本水準標との間で水準測量を行って最低水面を更新した。気仙沼港は潮汐観測を行って最低水面を更新した。

一方、相馬港と小名浜港とは地震前に設置されていた基本水準標が使用できたため、潮汐観測を行って最低水面を更新した。両港が福島県内に位置することから、房総半島南端にある気象庁の布良験潮所が基準験潮所として利用できる可能性を考慮し、布良験潮所を基準験潮所として最低水面を求めるとともに、潮汐推算値から長期平均水面と短期平均水面との差から求めた最低水面とを比較した。結果は、Table 6に示すとおり、相馬港と小名浜港の両港について、地震後に求めた最低水面と、更新した最低水面とに顕著な差は表れなかった。これにより、基準験潮所の潮汐データに潮汐推算値を使用することは、次善の策として不適切な方法ではないことが示された。

また、小名浜港は験潮所の球分体と験潮所そばにある基本水準標との間で水準測量を行い、それぞれを基準として最低水面の高さを算出した。地震前にも両者を基準とした最低水面の高さが求められている。球分体と基本水準標は極近くに位置するため、地震による上下変動量は、両者で同じになると予想されるが、結果は、Table 6のとおり、基本水準標が0.53 m沈降、球分体が0.45 m沈降と、沈降量に有意な違いが表れた。岸壁と験潮所は構造物として一体ではないため、地震によってそれぞれの構造物が固有の破壊と変形を受け、結果として、異なる上下変動を示したものと推察される。

4 今後の課題

2011年3月11日の地震により広域にわたって大きな地殻変動が発生したが、地震後も余効変動が続いている。Fig. 2に電子基準点で観測された地震後2011年10月31日までの上下変動を示す。三陸沿岸の岩泉と山田の電子基準点で10 cm程度の沈降が、また、宮城県沿岸の牡鹿と矢本、千葉県沿岸の銚子の電子基準点で10 cmを超える隆起が観測されている。これらの電子基準点に

表 5 最低水面の再決定後に更新のための観測を行った港と更新後の最低水面。

Table 5 Updated chart datum levels at ports where observations for update were carried out after the redetermination.

港湾名	潮汐観測		更新日	最低水面の高さ (m)	基本水準標の所在		
	観測期間	基準 験潮所			更新後	地震後	地震前
大船渡	未実施		2011年 7月21日	2.35	野々田公共岸壁南端にあるBM (金属標)頂	野々田公共岸壁北端にある 東北地方整備局BM(金属標)頂	国土地理院BM(6788号)頂 気象庁験潮所BM頂
気仙沼	10月9日～ 10月23日	(推算)	2012年 1月4日	1.01	南町海岸にある市BM頂	地方振興事務所南東にある 県BM頂	合同庁舎東南東方にある 県BM頂
相馬	10月1日～ 10月31日	布良験潮所	2012年 1月4日	4.32	国土地理院BM(附27号)頂	県験潮所近傍にある 県BM(金属錠)頂	港湾建設事務所西方にある 国土地理院BM(附27号)頂
小名浜	8月18日～ 8月27日	布良験潮所	2012年 1月4日	3.04	4号ふ頭南端にある気象庁BM頂	気象庁験潮所球分体頂	4号ふ頭南端にある 気象庁BM頂

表 6 更新前後での最低水面の比較。

Table 6 Comparison between chart datum levels before and after update.

港湾名	最低水面の高さの比較			
	更新後 (m)	地震後 (m)	地震前 (m)	更新後 - 地震前 地震後
相馬	4.32(国土地理院BM附27号) 2.58(県験潮所近傍にある県BM)	2.58(県験潮所近傍にある県BM)	4.87(国土地理院BM附27号)	更新後 - 地震前 0.00 m 国土地理院BM附27号 0.55m 沈 降
小名浜	3.04(気象庁験潮所BM) 4.65(気象庁験潮所球分体)	4.65(気象庁験潮所球分体)	3.57(気象庁験潮所BM頂) 5.10(気象庁験潮所球分体)	更新後 - 地震前 0.00 m 気象庁験潮所BM 0.53m 沈降 気象庁験潮所球分体 0.45m 沈降

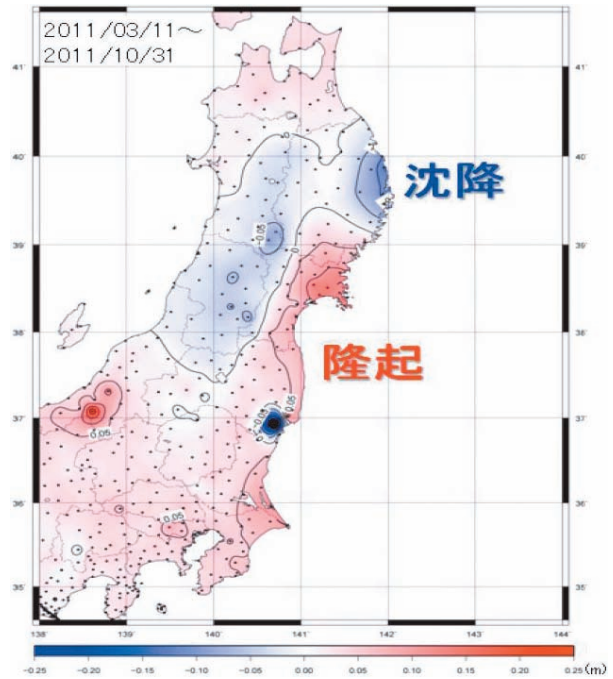
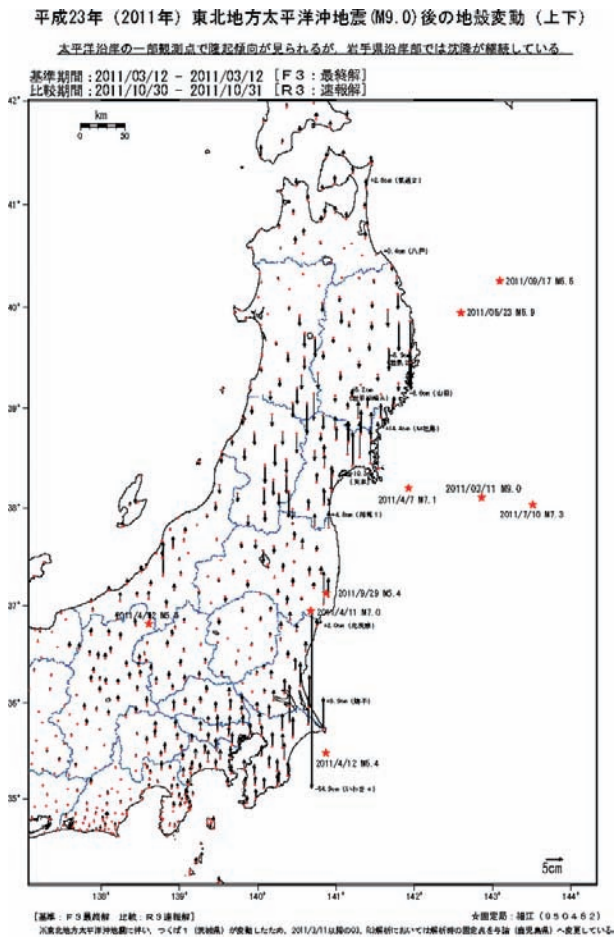


図2 電子基準点で観測された平成23年（2011年）東北日本太平洋地震の余効変動（上下変動）（国土地理院，2011）観測期間は2011年3月12日から2011年10月31日。

Fig. 2 Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (vertical) (Geospatial Information Authority of Japan, 2011).

近い港湾として宮古，釜石，志津川，女川，石巻，仙台，塩釜があり，これらの港湾でも10 cmを超える上下変動が想定される．余効変動にともなう最低水面の変化を確認し，変化が大きい場合には最低水面を決め直す必要がある．

震災後，「平均水面等一覧表」から最低水面に関する情報を削除した港湾は33港であり，17港は速やかに最低水面の再決定を行ったが，他の16港についても港湾の復旧状況や復旧計画を把握し，順次，最低水面の再決定を行う必要がある．16港のうち，銚子漁港と那珂湊港とは最低水面の再決定を行った．銚子漁港は2011年5月1日から5月31日までの気象庁の銚子漁港験潮

所の潮汐データを使って最低水面を求め，2011年7月21日に再決定を行った．また，那珂湊港は2011年11月23日から12月25日まで潮汐観測を行い，最低水面を求め，2012年2月15日に再決定を行った．

謝 辞

本報告は，長屋好治*が作成しました。

参考文献

国土地理院（2011），東北地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，86，184-272.

* 環境調査課（現職 内閣官房総合海洋政策本部事務局）

要 旨

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震により東日本太平洋岸に位置するほとんどの港が被災し、基本水準標の消失や、地震にともなう地盤変動、岸壁の損壊が起こったことから、インターネットで公表している「平均水面、最高水面及び最低水面一覧表」から 33 港湾について基本水準標から最低水面までの高さを削除することとなった。最低水面は水路測量や港湾工事の基準面として港湾の復旧に不可欠な情報であることから、震災後速やかに最低水面を再決定するための作業を進め、海上輸送の要となる主要な 16 港湾については 2011 年 7 月までに震災後の最低水面の再決定を行った。また、2011 年 10 月には日立港の最低水面の再決定を行い、震災後、「平均水面、最高水面及び最低水面一覧表」から最低水面に関する情報を削除した港湾のうち、すべての重要港湾については最低水面の再決定を行った。