

2011年3月東日本大震災に関する中国支部調査団の調査速報 (その1：沿岸部の被災状況)

Report of Investigation Team on Earthquake and Tsunami Disasters in Eastern Japan Great Earthquake 2011, Damages in Coastal Areas

土田孝	Takashi TSUCHIDA	(広島大学大学院工学研究院)
北出圭介	Keisuke KITADE	(中電技術コンサルタント(株))
木村裕行	Hiroyuki KIMURA	(復建調査設計(株))
田中昭人	Akito TANAKA	((株)ダイヤコンサルタント)
花岡尚	Takashi HANAOKA	(広島大学大学院工学研究科)
中川翔太	Shota NAKAGAWA	(広島大学大学院工学研究科)

2011年3月11日14時46分、太平洋三陸沖の広い地域を震源としてM9.0の海溝型巨大地震である東北地方太平洋沖地震が発生し、特に岩手県、宮城県、福島県に甚大な被害をもたらした。その周辺の茨城県、青森県、千葉県でも大きな被害が発生した。本報告は、地盤工学会中国支部調査団が、2011年5月9日～11日に調査を行った結果から沿岸部の被害についてまとめたものである。

キーワード：東日本大震災、災害調査、港湾施設、津波、防波堤、地盤沈下 (IGC：B00)

1. はじめに

2011年3月11日14時46分、太平洋三陸沖の広い地域を震源としてM9.0の海溝型巨大地震である東北地方太平洋沖地震が発生し、東日本大震災を引き起こした。特に岩手県、宮城県、福島県の被害はかつて無い甚大なものであり、その周辺の茨城県、青森県、千葉県でも大きな被害を受けた。地盤工学会では、復旧・復興への貢献と今後の災害研究のための学術的な知見を得ることを目的として、震災直後から地元の東北支部を中心に被害に関する調査を行ってきた。本報告は、地盤工学会中国支部調査団が、2011年5月9日～11日に調査を行った結果から沿岸部の被害についてまとめたものである。

2. 調査団の構成と調査工程

本調査は、地盤工学会中国支部調査団沿岸調査グループが実施した。調査団の構成は本文の著者の6名である(団長：広島大学土田孝)。

表-1に調査の工程を示すが、9日朝に国土交通省東北地方整備局仙台港湾空港事務所を訪問し、同局が管轄する管内の港湾の被害についてお話を伺った。次に仙台港と石巻港の被害調査を行った。翌10日は南三陸町の志津川漁港、伊里前漁港、気仙沼漁港の順に調査を行い、11日は大船渡港、釜石港の調査を行い、いわて花巻空港、大阪空港を経由して広島に帰った。調査箇所を図-1に示す。

調査対象は主として港湾、漁港、海岸施設とし、5月9日は東北地方整備局の協力を得て海上から沖合の防波堤を調査した。

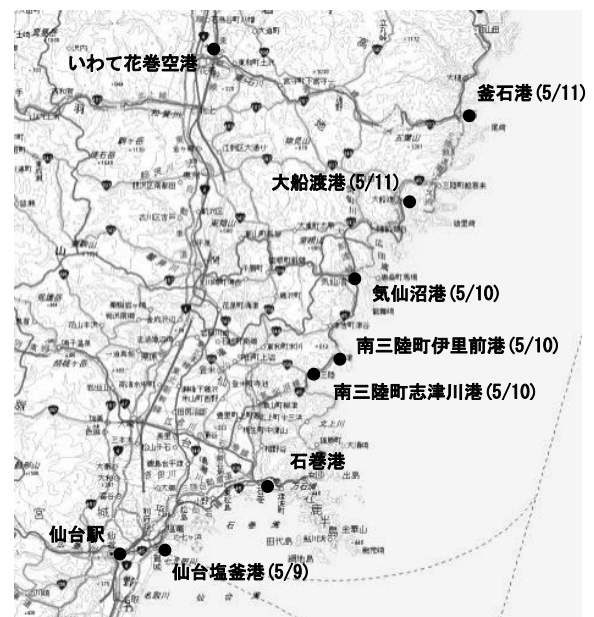


図-1 調査した港の位置図
(背景の図は国土地理院電子国土地図)

表-1 調査工程

日時	調査場所等
5月8日	広島を出発。仙台に到着。
5月9日	東北地方整備局仙台港湾空港調査事務所→仙台港→石巻港
5月10日	南三陸町志津川漁港→南三陸町伊里前漁港→気仙沼漁港
5月11日	大船渡港→釜石港→岩手花巻空港から大阪空港を経由して広島着

図-2 は今回の調査地点において観測された地震動から求めた最大水平加速度である。仙台塩釜港、K-NET 石巻、K-NET 歌津、K-NET 気仙沼、大船渡港、釜石港でそれぞれ 623.7gal、488gal、772gal、431gal、244gal、357.5gal であった。これらの最大加速度は、これまで港湾、海岸施設に大きな被害を与えた地震と同様かそれ以上の値である。

東日本大震災は、海洋プレートのずれによって発生した海溝型地震であり、プレートのずれに伴う地殻変動によって東北の沿岸部には大きな地盤沈下が起きている。図-3 は国土地理院が発表した地殻変動量による岩手県、宮城県の前沈下量分布である。図のように、牡鹿半島の基準点の約 1.2m を最大として、今回の調査地点では 40～80cm の地盤の沈下が起きている。

図-4 は、港湾空港技術研究所により調査された津波の痕跡に基づく津波高さおよび浸水高さである。図中には、各県において本震災の前に想定されていた津波高さを示している。津波高さとしては、1896 年に発生した明治三陸津波 (M8.5、死者約 22,000 人) の再来が想定されていた。岩手県では、津波防災施設の効果が無い場合についても予測計算を行い、大船渡湾奥での最大遡上高を 7.0m、釜石市平田での津波遡上高を 6.6m、釜石港奥で 8.0m との予測値を公表している。宮城県の予測値では、南三陸町志津川で 6.8m、石巻港で 3.0m、仙台空港である名取市で 4.1m となっている。これに対して、痕跡後から推定された津波高さは、いずれの地域でも予測値の倍以上となっており、今回の津波が明治三陸津波よりはるかに大きいことを示している。

3. 調査結果

3.1 仙台港と石巻港

3.1.1 仙台塩釜港 (仙台地区) (図-5)

仙台塩釜港については東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所のご案内により、2011 年 5 月 9 日の午前中に、高砂埠頭、中央公園、北防波堤、南防波堤、C 防波堤の目視調査を実施した。仙台港、塩釜港は港内側で 7.3～8.0m の津波高さの痕跡があり²⁾、地殻変動による沈下が約 30cm 発生した地域³⁾である。

(1) 高砂埠頭

高砂埠頭はコンテナターミナルになっており、控立式鋼管矢板の岸壁構造である。図-6 に埠頭の平面図と写真撮影位置図を示す。

岸壁の標準部は、一部法線の出入り (約 20cm) がみられたものの (写真-1)、岸壁天端における法線のはらみ出しはみられなかった。しかし、隅角部では、岸壁天端の法線が海側に大きくはらみ出し、岸壁背面の裏埋土が 2～3m 消失しタイ材が露出していた (写真-2)。照明



図-2 調査地点で観測された最大加速度 (背景の図は国土地理院電子国土)

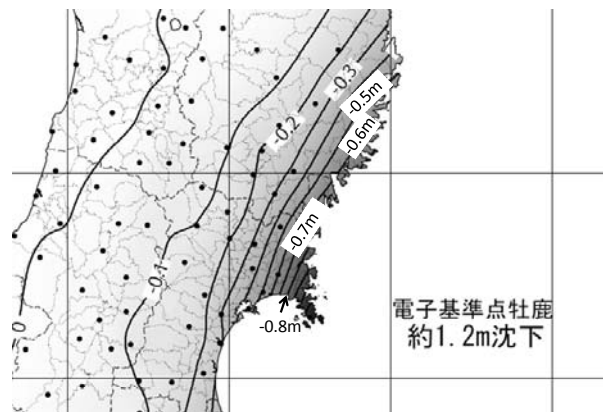


図-3 地震による地殻変動に伴う沈下量分布 (国土地理院³⁾)

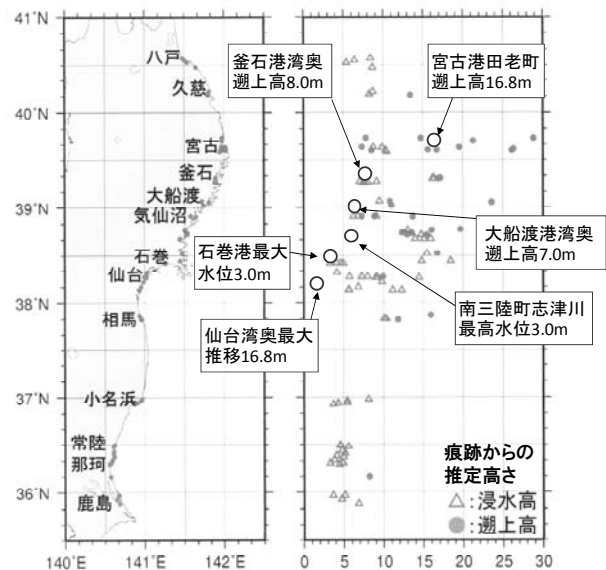


図-4 痕跡から推定されている津波の高さと想定されていた津波高さ (港湾空港技術研究所資料⁴⁾に加筆)

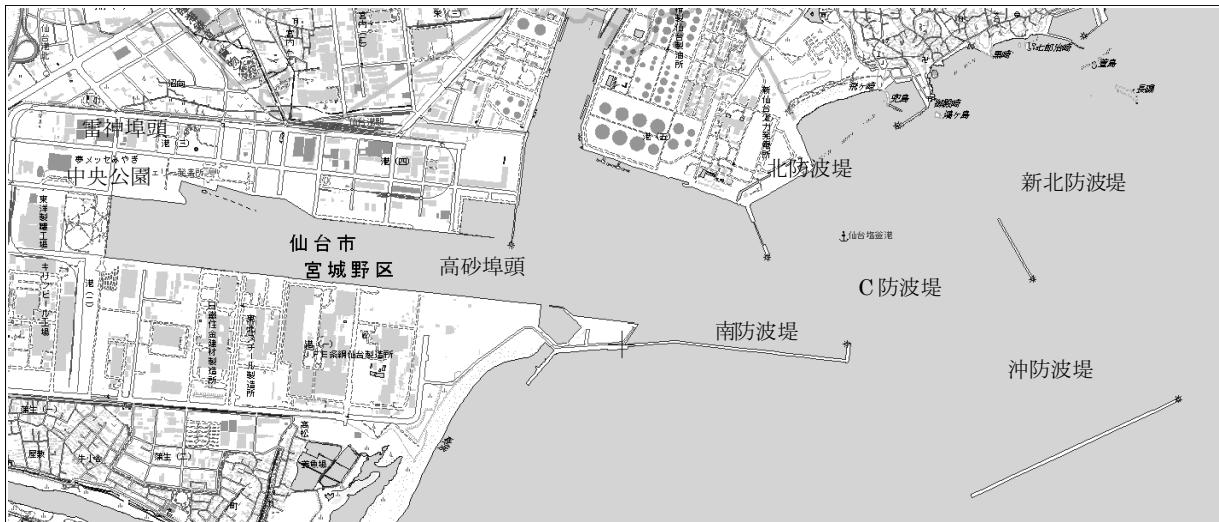


図-5 仙台塩釜港（仙台地区）平面図（図は国土地理院電子国土¹⁾）

柱や車止めに衝突痕があり、車止めは一部海側方向へ脱落し、コンテナが散乱していることから（写真-3 および写真-4）、津波による引き波時に、コンテナ等の漂流物の衝突、また、水の流れによる洗掘が隅角部に発生したと考えられる。

岸壁背後のエプロンでは、杭基礎で支持されているクレーン基礎以外は沈下し、クレーン基礎際で約60cm程度の段差があった（写真-5）。なおこの段差は西側へ行くほど小さくなっていった（写真-6）。沈下の原因として裏埋土の液状化も考えられるが、隅角部を除いて岸壁法線に大きな変状がみられないことを考えると、地震によるゆすりこみ沈下とも考えられる。

また、岸壁には免震付ガントリークレーンが4基設置されていたが、漂流物による衝突痕が見られる程度で、脱輪等もなく地震の揺れによる本体主要部材の損傷はみられなかった（写真-7）。

岸壁背後のコンテナヤードでは全体に不同沈下が発生し、コンテナが不規則に散乱していた。一部に液状化の痕跡と疑われる箇所もあったが、ヤード全体が大きな津波をかぶっているため津波による吸出しの可能性もあり、はっきりとはわからなかった。



図-6 高砂埠頭平面図（図は国土地理院電子国土¹⁾）



写真-1 一部法線の出入り（図-6①）



写真-3 車止めの損傷（図-6③）



写真-2 タイ材の露出状況（図-6②）



写真-4 照明柱の衝突痕と漂流したコンテナ (図-6④)



写真-5 クレーン基礎と地盤の段差 (図-6⑤)



写真-6 高砂埠頭の西側方面 (図-6⑥)



写真-7 クレーン状況 (図-6 写真⑦)

(2) 仙台港中央公園 (図-7)

仙台港中央公園は仙台港中央航路(内海)の東側端部に位置し、約 20m の丘の上に港全体を見渡せる展望台がある。護岸延長は 350m で護岸形式は直立消波ブロックとなっている。天端および背後地はボードウォークがある。

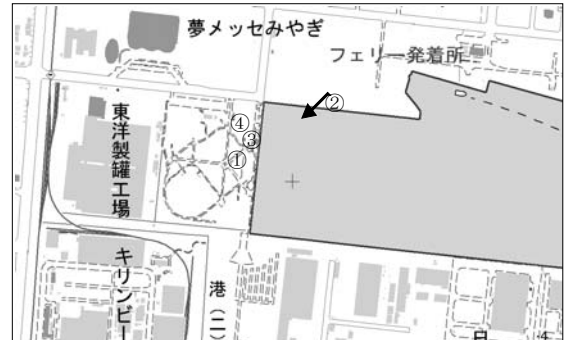


図-7 仙台港中央公園平面図
(図は国土地理院電子国土¹⁾)

丘の下端部分に敷き詰められていた石張りのブロックが散乱し(写真-8)、護岸は中央部付近で約 100m に渡り崩壊、消失していた(写真-9)。また、背後地盤も消失しており(写真-10)、ボードウォークが大きく変形していた(写真-11)。

護岸崩壊、消失の原因として、目撃者の証言によると護岸は地震の揺れにより崩壊したとのこと⁴⁾であるが、丘の斜面が航路側に向いていること、丘の斜面前面のみの護岸が消失していること、また、丘に津波が遡上した痕跡が見られたことから、地震の揺れにより崩壊した護岸に、丘に遡上した波が引く際に、海側方向の水の流れが作用し、護岸および背後地の被害が拡大したものと推察される。

(3) 防波堤(図-8)

中野埠頭から船に乗り、南防波堤、C防波堤、北防波堤、新北防波堤を船上から目視調査した。

被災を確認した箇所は、C防波堤の堤頭部と北防波堤の傾斜堤区間、南防波堤の上部工の一部であり、全体的な崩壊、変形といった大きな被害はなかったが、地殻変動で地盤全体が沈下していることもあり、視察時間帯が平均潮位であったが、防波堤天端が低い状況であった。

灯台が設置されている C 防波堤の堤頭部が大きく港内側に傾斜していた(写真-12)。堤体はスリット式ケーソン堤であった。原因として、津波波圧によるケーソンの滑動、基礎マウンドが洗掘されたことに起因する支持力不足等が考えられる。また、南防波堤では上部工が 2 スパン消失していた(写真-13)。港内側、港外側のどちらに脱落したかは不明であった。北防波堤は、護岸側の傾斜堤式の区間の被害が大きく、消波ブロックが散乱した状況であった(写真-14)。他の防波堤はこのような被害が見られなかったことから、防波堤位置および防波堤構造の違い、津波がどのような状態で来襲したかを分析する必要がある。



写真-8 石張りブロックの散乱状況（図-7①）

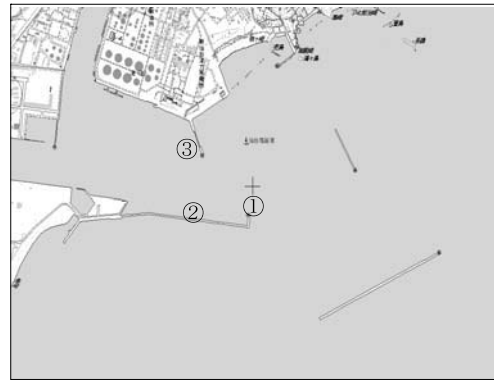


図-8 仙台港防波堤平面図
（図は国土地理院電子国土¹⁾）



写真-9 護岸の崩壊，消失区間全景（図-7②）



写真-12 C防波堤堤頭部の被災状況（図-8①）



写真-10 背後地盤の消失状況（図-7③）



写真-13 南防波堤上部工の被災状況（図-8②）



写真-11 ボードウォークの変形状況（図-7④）



写真-14 北防波堤（傾斜堤部）の被災状況（図-8③）

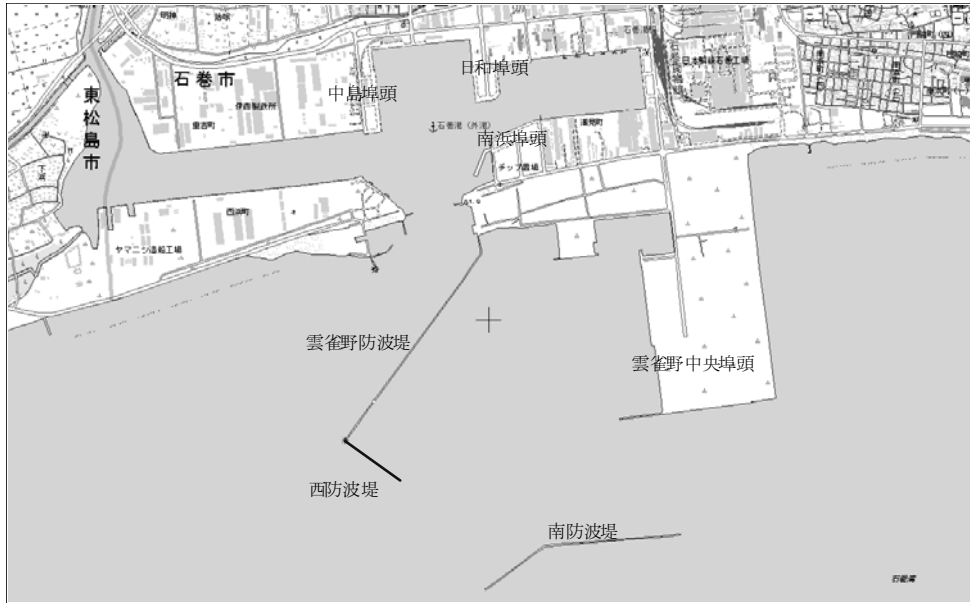


図-9 石巻港平面図 (図は国土地理院電子国土¹⁾)

3.1.2 石巻港(図-9)

石巻港についても、東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所のご案内により、2011年5月9日の午後に、雲雀野埠頭、南浜埠頭、日和埠頭、中島埠頭、雲雀野防波堤、西防波堤、南防波堤の目視調査を実施した。石巻港では港内側で4.1~5.0mの津波高さの痕跡があり²⁾、地殻変動による沈下が約70cm発生した³⁾地域である。

(1) 雲雀野中央埠頭(図-10)

雲雀野中央埠頭は、延長540mのスリットケーソン式の-13m岸壁である。背後地は工業用地として整備中であったが、調査時には、瓦礫置き場として利用されていた。

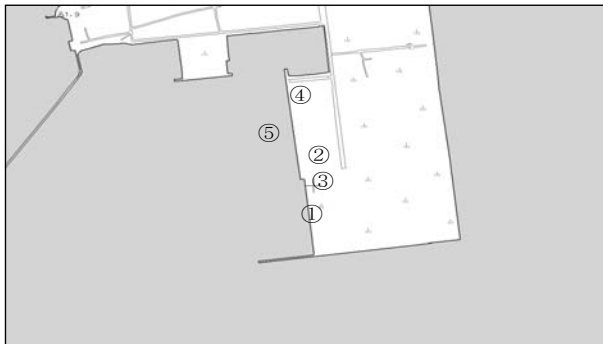


図-10 雲雀野中央埠頭平面図¹⁾
(背景の図は国土地理院電子国土¹⁾)

岸壁法線の出入りは見られなかったが(写真-15)、岸壁本体と背後地盤に1.5m程度の大きな段差が発生しており(写真-16)、応急復旧として碎石による斜路が設けられていた(写真-17)。東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所し、かつ2%程度傾斜していることが確認されているこ

とから、岸壁本体の移動が主な原因と考えられる。また、原地盤は砂層であり(堤体下は低置換SCP改良)、液状化により沈下が発生した可能性も考えられる。また、北側端部の段差部には、裏埋土が洗掘しており、ケーソン本体が露出していた(写真-18)。

また、岸壁前面からの目視調査は、調査時間が干潮から平均海面の時間帯(16時頃)に実施している(図-11に潮汐推算図を示す)。防舷材が半分水没しており、スリット上端部も海面下であったことから(写真-19)、岸壁が沈下していることが確認できた。

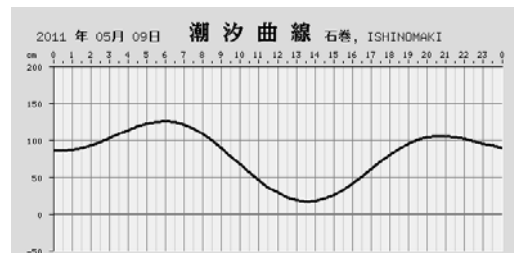


図-11 石巻港の潮汐推算図⁵⁾



写真-15 雲雀野埠頭岸壁法線状況(図-10①)

(2) 南浜埠頭（図-12）

上端部も海面下であったことから（写真-19），岸壁が沈下していることが確認できた。

南浜埠頭は延長 130m の-7.5m 岸壁であり，構造形式は不明である．周辺にはチップ置き場がありチップ荷揚げ用に使用されていた。



写真-16 雲雀野埠頭背後地盤の段差状況（図-10②）

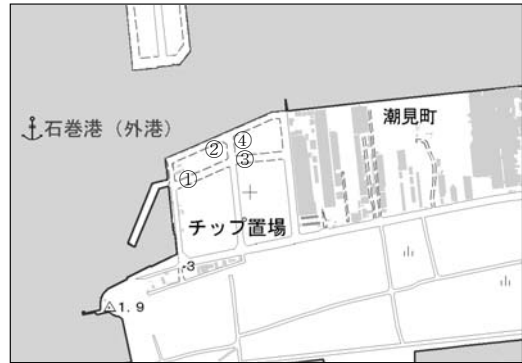


図-12 南浜埠頭平面図
（図は国土地理院電子国土¹⁾）



写真-17 雲雀野埠頭応急復旧状況（図-10③）

チップ荷揚げ用設備は大きく損傷していたが（写真-20），岸壁の被災程度は小さく，岸壁法線の顕著な出入りも見られなかった（写真-21）．しかし，背後地盤では液状化の影響と思われる沈下および不陸が多く見られ，岸壁法線より数 m 陸側の位置に，岸壁法線と並行に旧護岸の上部コンクリートと思われる部分と背後地盤で段差が生じていた（写真-22）．また，岸壁には，津波により漂流したと思われる建造中の貨物船が，岸壁前面に漂着していた（写真-23）．



写真-18 雲雀野埠頭段差部ケーソン露出状況（図-10④）



写真-20 南浜埠頭チップ荷揚げ設備被災状況（図-12①）



写真-19 雲雀野埠頭岸壁前面状況（図-10⑤）



写真-21 南浜埠頭岸壁法線状況（図-12②）



写真-22 背後地盤の不陸状況 (図-12③)



写真-23 建造中船舶の漂着状況 (写真-12④)

(3) 日和埠頭, 中島埠頭 (図-13)

日和埠頭は, 延長 185m の-10m 岸壁と延長 165m の-9m 岸壁からなる。構造形式は不明である。中島埠頭は, 延長 370m の-10m 岸壁と延長 130m の-5.5m 岸壁からなる。構造形式は不明である。



図-13 中島埠頭平面図
(図は国土地理院電子国土¹⁾)

日和埠頭は, 岸壁法線に顕著な出入りは見られないが(写真-24), 背後地は一部陥没, 沈下など不陸がみられたが(写真-25), 大部分が瓦礫置き場として利用していたため(写真-26)地表面の確認が出来なかった。

一方, 中島埠頭も岸壁法線に顕著な出入りは見られなかったが(写真-27), 背後地は応急復旧により舗装されており(写真-28), 船舶が接岸し, 瓦礫の荷役作業が行われていた(写真-27)。



写真-24 日和埠頭岸壁法線状況 (図-13①)



写真-25 日和埠頭背後地盤陥没状況 (図-13②)



写真-26 日和埠頭背後地利用状況 (図-13③)



写真-27 中島埠頭岸壁法線及び瓦礫荷役状況 (図-13④)



写真-28 中島埠頭背後地盤復旧状況 (図-13⑤)

(4)防波堤（図-14）

石巻港には、雲雀野防波堤、西防波堤、南防波堤がある。防波堤は、傾斜、崩壊等の被災は見られなかったが、南防波堤において堤体本体及び消波ブロックが沈下していると思われる状況を確認した。

南防波堤は、消波ブロックで被覆された半没水の上部斜面式防波堤である。斜面部を上部工だけでなくケーソン本体にも設けることで、波圧時の鉛直力分散効果により、滑動抵抗力の増加を図った防波堤である。調査時間は2011年5月9日の16時頃であり、図-11によると干潮から平均潮位の間該当する。防波堤の状況は消波ブロック天端の大部分が海水面以下もしくは海水面と同じ高さになっており写真-29および写真-30、図-15にしめす。変状図からも消波ブロック天端で約1.5m、防波堤本体で50cm程度の沈下が確認されている。

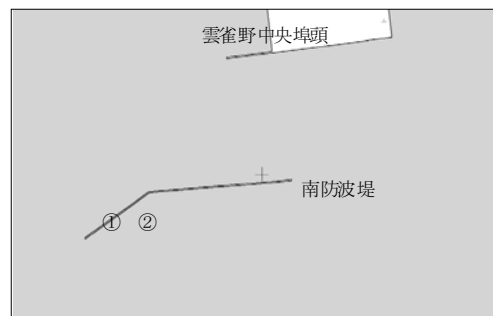


図-14 南防波堤平面図
(図は国土地理院電子国土¹⁾)

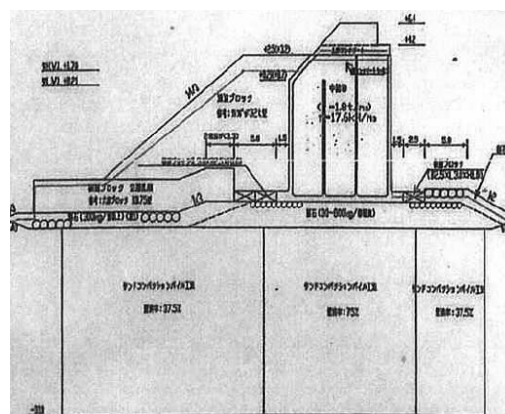


図-15 南防波堤標準断面図
(仙台港湾空港技術調査事務所よりご提供)

3.2 南三陸町

3.2.1 南三陸町志津川漁港の被害状況

志津川漁港（第二種漁港）は、気仙沼魚港と釜石港の中間（宮城県の北東部）に位置する。（独）港湾空港技術研究所の津波痕跡高の調査から、南三陸町志津川地域の浸水高は14.0～15.9mと推定されている。

図-16は志津川漁港の地図と写真撮影位置である。港湾施設（防潮堤、防潮水門、護岸）の被害状況を以下に報告する。

(1) 防潮堤

写真-31は、八幡川左岸側の防潮堤跡を撮影したものである。堤体は、八幡川と新井田川の間で、延長の約40%が移動もしくは流失していた。移動が海側に生じていることから、堤体は押し波時に構造的に不安定になり、引き波で海側に大きく変位して移動・流失したと考えられる。防潮堤の背後は浸水しており、裏込め土が大量に洗掘されていることが分かる。

(2) 防潮水門

写真-32は八幡川防潮水門を撮影したものである。水門は閉じた状態であったものの、水門の上部にある通用路に残る瓦礫を見ると、低くても津波は通用路まで達していたことが分かる。通用路の一部は流失しているが、水門に大きな変状は見られず、水門の安定性は確保されていた。

調査時の護岸の天端高は0.2m程しかなく満潮時に護岸は浸水すると想定され、地殻変動等による地盤の沈下の影響と考えられる。

3.2.2 南三陸町伊里前漁の被害状況

伊里前漁港（第二種漁港）は、宮城県本吉郡の中心部に位置し、（独）港湾空港技術研究所の津波痕跡高の調査⁴⁾から、南三陸町歌津地域の浸水高は14.8m、遡上高は12.3～15.6mと推定されている。

図-17は、伊里前漁港の地図と写真撮影位置を加筆したものである。港湾施設（防潮堤、防潮水門、護岸）の被害状況を以下に報告する。



写真-29 南防波堤消波ブロック沈下状況（図-14写真①）



写真-30 南防波堤消波ブロック沈下状況（図-14写真②）

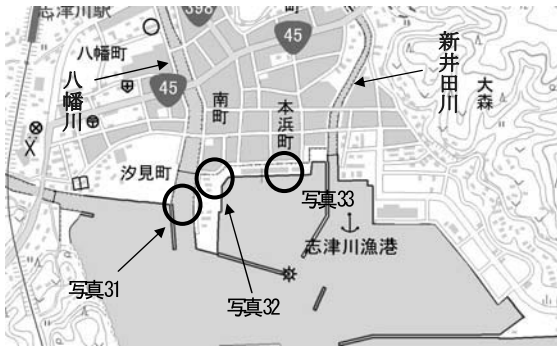


図-16 志津川漁港の写真位置
(図は国土地理院電子国土¹⁾)



写真-31 八幡川左岸側の防潮堤跡

(1) 防潮堤

写真-34は、伊里前川左岸側の防潮堤跡を撮影したものである。防潮堤は水門に続いて設置されていたが、水門周辺のものも流失している。

防潮堤付近では、コンクリート片が見られたが、防潮堤の一部は確認できなかった。水門周辺は浸水しており、防潮堤が決壊した後も津波が押し寄せて基礎地盤が激しく洗掘されたと考えられる。

(2) 防潮水門

写真-35は伊里前川の左岸から防潮水門を撮影したものである。水門上部の通用路に残る瓦礫を見ると、低くても津波は通用路まで達したことが分かる。

津波時、水門は閉じた状態であったと想定されるが、水門の一部が見られなかった。調査時の状況からは明確な判断はできないが、津波時の衝撃による損壊と考えられる。また、通用路の一部も流失しているが、水門に大きな変状は見られないため、水門の安定性は確保されていると考えられる。

(3) 岸壁

写真-36は漁港内の岸壁の状況である。法線が海側に移動したことで、エプロンが沈下し表面のコンクリートに亀裂が生じている。岸壁は矢板式構造と考えられるが、護岸の堤体が海側に移動した原因としては、主として津波が引く際に裏込め土が吸い出されたのではないかと推察される。



写真-32 八幡浜川防潮水門



写真-33 岸壁と調査時の海面の状況

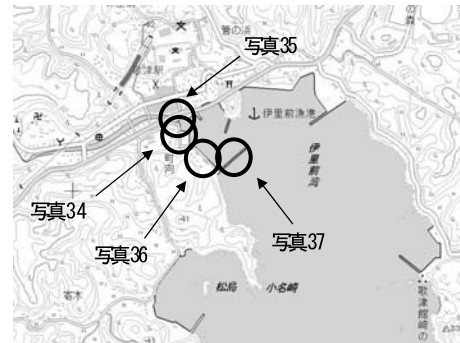


図-17 伊里前漁港の写真位置 (図は電子国土¹⁾)



写真-34 伊里前川左岸側の防潮堤跡

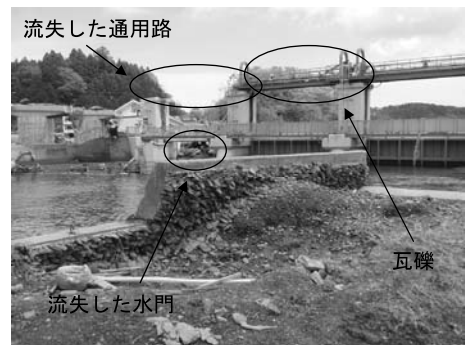


写真-35 伊里前川防潮水門

なお、調査時の護岸の天端高は海水面に対して0.2m程しかなく、満潮時に海面は護岸の天端まで上がると想定される。

(4) 防波堤

写真-37は、伊里前港の南端に位置する防波堤を背後から撮影したものである。防波堤中央の大部分（約100m）が流失しており、防波堤があった位置の付近にコンクリートブロックが見られたが、堤体であるかは確認できなかった。移動した堤体の位置関係が不明なために推測の域を出ないが、堤体流出の原因としては海底土砂の洗掘、津波の衝撃が考えられる。



写真-36 岸壁の状況



写真-37 防波堤の状況

3.3 気仙沼漁港

気仙沼漁港については、2011年5月10日の午後に、気仙沼魚市場周辺、商港ターミナル、港ふれあい公園の目視調査を実施した。気仙沼漁港は7.0~8.0mの津波高さの痕跡があり⁶⁾、地殻変動による沈下が約70cm発生した地域³⁾である。図-18に気仙沼港の平面図を示す。

3.3.1 魚市場周辺(図-19)

気仙沼漁港は、魚市場を中心に南北に約1.5kmの岸壁が続く漁港である。



図-19 魚市場周辺平面図
(図は国土地理院電子国土¹⁾)

魚市場建屋の前面の栈橋形式の岸壁は大きな変位はみられず、エプロン部に陥没等が確認され復旧を行っていた。しかし、魚市場建屋より南側に位置する栈橋構造と見られる範囲は、上部工が全て消失し、鋼管杭のみが残っている状態であった(写真-38、写真-39)。

上部工が消失した栈橋と、被害が小さかった栈橋では、目視観察においても構造が大きく異なっていたため、消失した範囲は、地震の揺れによる損傷を受け、津波により被災程度が大きくなったと考えられる。

魚市場背後地である仲町、弁天町、潮見町の周辺一体は、沈下により地盤面が平均海底面と同レベルになっており、

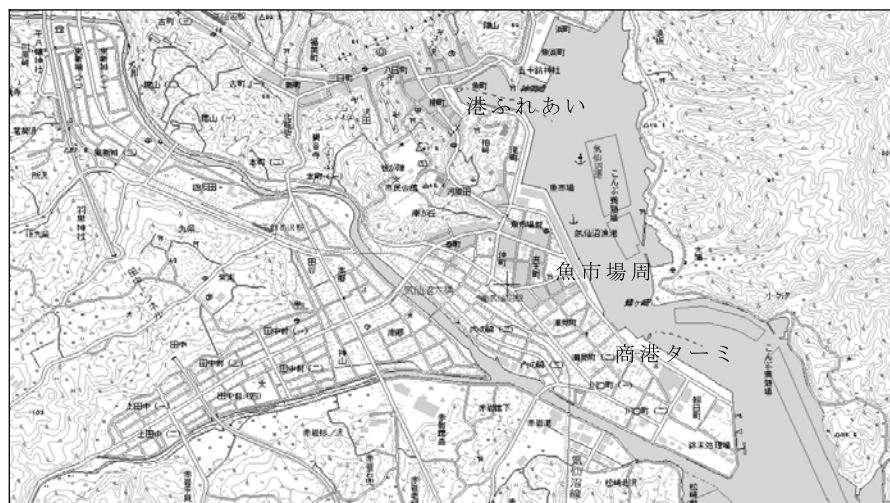


図-18 気仙沼漁港平面図 (図は国土地理院電子国土¹⁾)

常に浸水している状況であるため、瓦礫撤去等の作業のために、砕石により 50cm 程度の盛土をおこない作業用通路として利用していた(写真-40).

魚市場より北側の棧橋形式の岸壁では、渡版が落下している施設があった。この区間は棧橋本体が海側に変位しており、杭が海側に傾斜していることが確認できた(写真 41).

3.3.2 商港ターミナル(図-20)



図-20 商港ターミナル平面図
(図は国土地理院電子国土¹⁾)

写真-42 のように岸壁の大きな変形はみられず、岸壁法線の出入りもなかった。現在は気仙沼の瓦礫の収集場になっており、船舶による瓦礫の積出港になっていた。ターミナル入り口には、防潮扉があるが、扉体は消失していた。防潮堤の高さは 1m である(写真-43)。港ふれあい公園は、気仙沼漁港の奥に位置し、親水公園の前には浮き棧橋がある(図-21、写真-44, 45).



図-21 港ふれあい公園平面図
(図は国土地理院電子国土¹⁾)

公園に津波が来襲した痕跡は見られたが、周辺施設の建物の大きな損傷は見られなかった。前面の浮き棧橋は、浮函本体 2 基が支柱から離れた箇所に係留されていた。津波痕跡高さが支柱の高さを超えていることから、浮函が津波による海面上昇により、支柱から外れたものと考えられる。



写真-38 棧橋上部工の消失その 1 (図-19①)



写真-39 棧橋上部工の消失その 2 (図-19①)



写真-40 仮設道路設置状況



写真-41 渡版落下状況と棧橋本体の変形 (図-19③)



写真-42 岸壁法線の出入り (図-20①)



写真-44 浮き桟橋渡橋落下状況 (図-21①)



写真-43 防潮扉被災状況 (図-20②)



写真-45 被災した浮き桟橋の係留状況 (図-21②)

3.4 大船渡港・釜石港

3.4.1 大船渡港の被害状況

大船渡港は、岩手県沿岸南部に位置している。港湾空港技術研究所の津波痕跡高の調査から、大船渡港の浸水高は9.5m、遡上高は10.8mと推定されている。

Google 地図に写真撮影位置を加筆した図を図-22 に示す。図のように大船渡港は狭い入り口から陸側に深く切り込んでいる大船渡湾の奥に位置しており、湾の入り口には津波対策としての機能を有する湾口防波堤が建設されていた。

(1) 防潮堤・陸こう

写真-46、47は、茶屋前地区に設置されていた防潮堤とひ門の状況を撮影したものである。写真-46の防潮堤は高さ1.3m、写真-47の防潮堤は高さ2.0mであった。両方の防潮堤背後で、建物の2階以上に瓦礫が残っており、津波の高さは両防潮堤を大きく越えたと考えられるが、防潮堤やひ門に流出や転倒の痕跡は見られなかった。防潮堤背後の被災した建物が骨組を残していることも考慮すると、到来した津波に防潮堤を流出させる程の衝撃力は無かったと考えられる。

(2) 岸壁

写真-48は、野々田地区の-7.5m岸壁の状況である。構造は栈橋式であり岸壁のコンクリート床版は鋼管杭で支持されている。写真のように護岸法線は直線性が維持され

ており、明確な変状は見られなかった。しかし、杭で支持されているにもかかわらず、岸壁の沈下は顕著である。

写真-49は海水面からの高さを測定している状況であるが、ほぼ70cmであった。本岸壁の設計断面によると高潮位(H.W.L.)1.5mに対して岸壁の高さは3.0mであり、測定結果からは1m以上の沈下が発生している可能性がある。

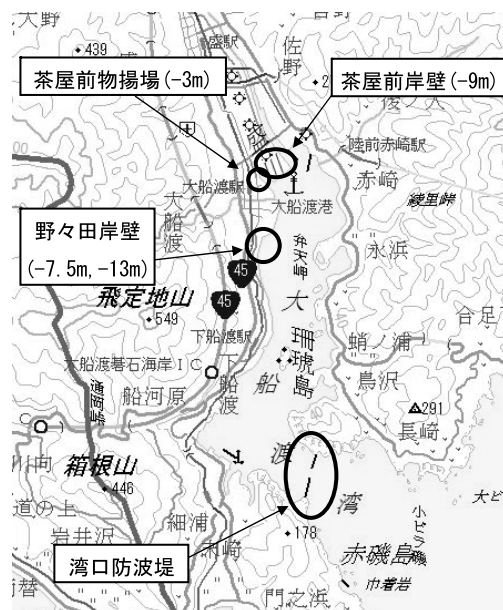


図-22 大船渡港の写真位置図
(背景の図は国土地理院電子国土¹⁾)

また、写真-48 ではエプロン部のコンクリート床版に亀裂が生じているが、津波の影響とともに地震による沈下が影響している可能性がある。

(3) 防波堤

図-22 に示すように大船渡湾の入り口には 1967 年に建設された湾口防波堤があった。写真-50 は東北地方整備局

釜石港湾空港事務所の HP に掲載されている防波堤の写真である。一方、写真-51 は今回の調査において防波堤の南側から撮影した状況である。写真のように、津波によって防波堤は完全に水没し、跡形もなかった。

防波堤標準部の構造は、基礎捨石上にケーソンを据付け、上部にコンクリートを現場打設した構造であった。開口部



写真-46 茶屋前物揚場付近の防潮堤



写真-49 野々田地区岸壁の海水面からの高さ



写真-47 茶屋前-9m 岸壁入り口のひ門の状況

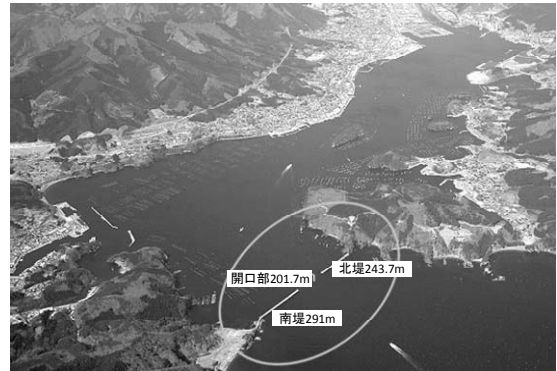


写真-50 大船渡湾口防波堤（震災前）⁷⁾



写真-48 野々田地区岸壁の状況



写真-51 南側からみた大船渡湾口防波堤

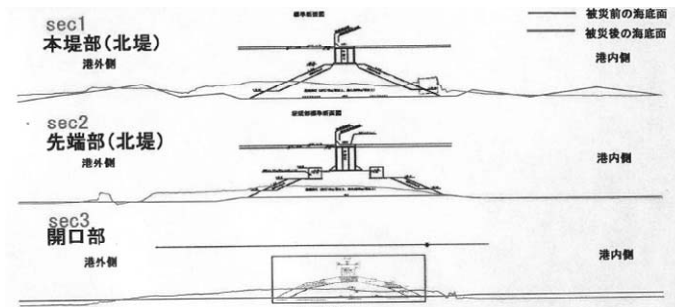


図-23 大船渡湾口防波堤の破壊後の状況の推定図（仙台港湾空港空港技術調査事務所ご提供）



図-24 釜石港の平面図（図は国土地理院電子国土¹⁾）

は水深-22.3mまで基礎捨石を投入し、この上に高さ6mの鋼製セルを据付けて中詰めにコンクリートを打設した構造になっている。仙台港湾空港技術調査事務所によると、ケーソンおよび鋼製セルはいずれも約50m程度港内側の海底に転倒していた。さらに、捨石マウンドも図-23に示すように原型をとどめないほど崩壊していたことが確認された。このように、大きな津波によってマウンドを含めた防波堤が破壊するメカニズムについて、地盤工学的観点からも検討する必要があると考えられる。



写真-52 釜石港の観光船はまゆりが接岸する港奥の岸壁右から沖合方向

3.4.2 釜石港の被害状況

図-24に釜石港の平面図を示す。図のように釜石港は湾口部に北堤(延長990m)と南堤(延長670m)、開口部(300m)の潜堤からなる津波防波堤がある。港湾空港技術研究所の津波痕跡高の調査⁴⁾によると、釜石港の浸水高は約9.0mとされている。

写真-52は観光船はまゆりが接岸する港の内奥の岸壁から沖合方向を撮影している。右手に防潮堤があり、その外が市街地になっている。写真のように岸壁法線はほぼ直線であり、岸壁の構造自体には大きな損傷がみられない。

写真-53は港と市街地の境界に建つ防潮堤であり、高さは2mであった。写真-54は港内の波除堤である。構造的には損傷がみられないが、岸壁と同様に水面からの高さが不足している。

湾内で漁師の方の話を聞いたところ、地震後に外から大きな波が入ったり、港内の波の反射の仕方が震災前と変わったため、操船が難しくなった、ということであった。

写真-55は港と隣接する甲子川の堤防である。コンクリート製の堤防の高さは130cmであった。甲子川は釜石港



写真-53 港と市街地との境界にある防潮堤



写真-54 港内の波除堤

に注いでいるが水門はなく、津波は甲子川を遡上し、堤防を乗り越えて市街地に浸水した。

全体として防潮堤の構造的な被害は少なく、破壊がみられたのは出入り口付近が多かった。破壊は力が港内側から港外側に作用したとみられる箇所が多かった。これは引き波の際に出入り口付近に水が集中し、その付近の防潮堤に大きな外力が作用するためと推定される。

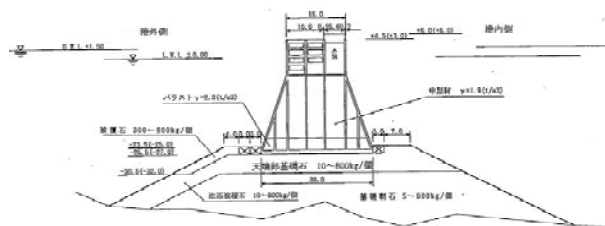
3.4.3 釜石港湾口防波堤の被災状況

東北地方整備局釜石港湾事務所では津波が釜石港に襲来する際の状況を克明にビデオに撮影した。このビデオには津波来襲時の湾口防波堤の状況、防波堤を乗り越えた津波が防潮堤を乗り越えて釜石市の中心市街地ほぼ全域を飲み込む過程、さらに引き波と再度の津波とその繰返しを約 2 時間にわたり撮影したきわめて貴重な資料となっている。今回の調査においてビデオを提供いただいたので、その画像から釜石港湾口防波堤の被災時の状況について考察する。

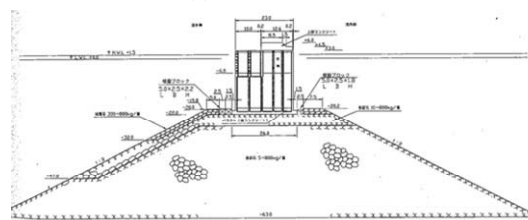
図-25 は釜石湾口防波堤の主要な構造断面図である。図のように、本防波堤は湾口部の水深が最大 63m と大きいため、水深-30m 付近まで捨石を投入してマウンドを造成し、その上にコンクリートケーソンを置く構造になっている。一般の防波堤では港外側のケーソン前面に消波ブロックを置いて波圧を低減するが、釜石湾口防波堤では水深が大きいので、ケーソンの港外側をスリット付きケーソンと



写真-55 港と隣接する河川の堤防と河口部



(a) 北堤深部



(b) 南堤深部

図-25 釜石港湾口防波堤の断面(一部)
(仙台港湾空港技術調査事務所ご提供)



(a)津波到着約 15 分前の湾口防波堤



(c)全面的に越波している状況



(b)津波が来襲し越波が開始した状況



(d)津波の越波により港内の水位が上昇

写真-56 津波来襲時の釜石湾口防波堤の状況 1 (東北地方整備局釜石港湾事務所ご提供のビデオによる)

し、スリットによる消波を行っている。

写真-56(a)～(d)から写真-57(a)～(c)はビデオで撮影された防波堤の状況である。写真-56(a)は津波が到着する15分前の状況である。写真-56(b)は津波が到着し、港外側の水位が高まり越波が始まった状況である。越波の前に港内側のケーソン前面では白い泡のようなものが観察されている。港内外の水位差によりマウンド堤体を通過して海水が流入する際の現象とも考えられる。写真-56(c)は全面的に越波が起こっている状況であり、画像からも防波堤の機能はこの段階では健全であったと推定される。写真-56(d)はさらに越波が進んだ状況である。この後、港内に流入した海水は一気に防潮堤を越えて市街地に注入し、図-57(a)のように市街地はほぼ完全に水没してしまった。図-57(b)と図-57(c)は第1波の引き波時に撮影された防波堤の状況である。明らかに津波による最初の押し波によって防波堤は破壊している。

図-26は海底探査の結果等による破壊後の北堤3区の状況の推定図である。図のようにケーソンだけでなく高さ約30mの捨石マウンド上部10mほどが大きく破壊している。このような湾口防波堤の破壊は、大きな水位差から生じた激しい水流による洗掘として説明されているが、他の防波堤の破壊事例も含め、地盤工学的な観点から破壊メカニズムを検討する必要があると考えられる。

(独)港湾空港技術研究所の解析によると、湾口防波堤が第1波の津波に耐えたことにより、津波の高さを5m低減させる効果があったと報告されている。すなわち湾口防波堤が無ければ約9mの津波高さが14mであったと推定されている⁴⁾。設計をはるかに上回る津波に対して、湾口防波堤の、写真-56(c)にみられる「必死のがんばり」が、大災害をある程度軽減したことは、土木技術者として少し救われた気持ちがする。しかし、同時にもう少し津波の規模が小さければ、と残念でならない。

4. まとめと考察

今回調査した沿岸部の被災状況を地盤という視点でまとめ、考察すると以下ようになる。

1) 被害は、主として地震動よりも津波によるものであった。地震時による被害もあったと予想されるが、岸壁などには典型的な地震被害である海側への法線の変形や海側への崩壊、裏込め部分の陥没などの被害はみられなかった。多くの港で岸壁の隅角部に陥没などの被害が多くみられた。推定であるが、これは津波引き波時に大量の海水が流れ、内部の土砂が吸い出されたためと考えられる。



(a) 釜石市街地が完全に水没



(b) 引き波第1波の状況



(c) 引き波時に観察された湾口防波堤

写真-57 津波来襲時の釜石湾口防波堤の状況2（東北地方整備局釜石港湾事務所ご提供のビデオによる）

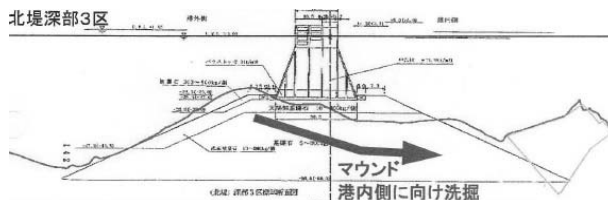


図-26 破壊後の湾口防波堤の状況の推定図
(仙台港湾空港技術調査事務所ご提供)

2) 地震に伴う地殻変動と地震動による地盤や土構造物の圧縮により、全体として1m近い地盤が沈下している。このことが、市民生活や港湾・漁港の機能に深刻な影響を与えるとともに、今後の災害の危険を高めている。地盤沈下対策としては、以下のことが課題となる。

- ・堤防の構築と地盤浸透を防ぐ対策により、満潮時の市街地への水浸を防ぎ市民生活を安定させる。
 - ・破壊した防波堤の復旧、破壊しないが天端高が大幅に不足する防波堤によって、台風や低気圧による高波に対して港湾の静穏度を確保できなくなっている。早急な対策が必要である。
 - ・岸壁の高さ不足に対し、船を接岸して荷役を行う機能を応急的に回復させる対策はすでに行われている。しかし、復旧・復興においては沿岸部の低下した地盤高に対する方針が必要である。
 - ・盛土などにより地盤高を回復させる場合、その工法が問題となる。沿岸部の被災地は道路事情が悪いところが多く、大型ダンプなどによる大規模土工は難しい。土の確保と合わせ工夫が必要と思われる。
 - ・護岸や岸壁では単純に土でかさ上げした場合に、土圧が増大し、地震時の危険性が高まる可能性がある。
- 3) 今回の震災による被害の特徴のひとつは、津波による防波堤の被害が大きいことである。地盤工学的には、ケーソンが移動するだけでなく、マウンドの崩壊がみられる事例が多い。海岸工学の観点からは洗掘現象として説明されているが、地盤工学的な観点からも検討が必要と考えられる。
- 7) 国土交通省東北地方整備局釜石港湾事務所 HP, <http://www.pa.thr.mlit.go.jp/kamaishi/port/o04.html>, 2011.10.27.

謝辞

本調査においては、国土交通省東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所の佐藤正勝所長、地本敏雄調査課長、工藤雅春調査課第一係長に多大な便宜をお計らいいただいた。また、塩釜港湾事務所、釜石港湾事務所にもお世話になった。ここに記して深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土地理院 HP, 基盤地図情報, <http://www.gsi.go.jp/kiban/area/index.htm>, 2011.10
- 2) 石巻港・仙台塩釜調査速報, 港湾空港技術研究所, 2011.3.24
- 3) 国土地理院 HP, 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, 等変動量線図 (上下), <http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi40005.html>, 2011.10.27.
- 4) 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, 2011.4
- 5) 海上保安庁第二管区海上保安部海洋情報部 HP 潮汐推算図 <http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN2/kaisyo/tyoseki/suisan/index.cgi>, 2011.10.27.
- 6) 長岡技術大学水工学研究室津波痕跡調査, <http://coastal.nagaokaut.ac.jp/tunami/110311/>, 2011.10.27.