

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.781

March 2014

2011年東北地方太平洋沖地震津波による 海岸保全施設の被害調査（その2）

熊谷兼太郎・永廣迪・淺井正・宮田正史・松田茂・鷺谷忠彦・鎌木雅之

Field Survey of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and Tsunami
on Shore Protection Facilities in Ports (II)

Kentaro KUMAGAI, Itaru EHIRO, Tadashi ASAI, Masafumi MIYATA,
Shigeru MATSUDA, Tadahiko WASHIYA and Masayuki KAMAKI

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

2011年東北地方太平洋沖地震津波による海岸保全施設の被害調査

(その2)

熊谷兼太郎*・永廣迪**・浅井正***・宮田正史****・松田茂*****・
鷲谷忠彦*****・鎌木雅之*****

要 旨

本調査は、海岸保全施設の耐津波設計に資するため、2011年東北地方太平洋沖地震及び津波による同施設の被害について把握することを目的として、岩手県及び宮城県の8港19地区の海岸保全施設等を対象に被害調査を行い、胸壁及び護岸を中心とした被害状況を記録した。さらに胸壁について、軽微な被害から比較的大きな被害までの被害類型を整理した。

既報（国土技術政策総合研究所資料No.658）で得られた知見に今回得られた知見を加えて、2011年東北地方太平洋沖地震及び津波により、胸壁について「堤体の破壊」に関する被害類型としては、1) ひび割れ・化粧板剥離、2) 漂流物の衝突・堤体同士の接触による欠損、3) 堤体上部の破壊が生じていたことが分かった。「地盤の洗掘・堤体の変位」に関する被害類型としては、4) 軽微な地盤洗掘・舗装被害、5) 越流した流れによる地盤洗掘、6) 引波による地盤洗掘、7) 引波による堤体の小規模な滑動・傾斜、8-1) 波力による堤体の転倒、8-2) 波力・洗掘の複合要因による堤体の転倒が生じていたことが分かった。また、「運用上の機能不全」に関する被害類型としては、9) 船舶、ガレキ、土砂等の堆積、10) フラップゲートの開閉不全、11) 陸閘の破損、12) 地域全体の地盤沈下で嵩上げが必要との被害が生じていたことが分かった。以上のとおり、地震及び津波による胸壁の被害類型を12種類に整理した。

キーワード：2011年東北地方太平洋沖地震津波，海岸保全施設，胸壁，被害調査

* 沿岸海洋・防災研究部 主任研究官

** 沿岸海洋・防災研究部沿岸防災研究室 研究員

*** 沿岸海洋・防災研究部沿岸防災研究室 室長

**** 港湾研究部港湾施設研究室 室長

***** 国土交通省国土政策局 専門調査官（前 国土技術政策総合研究所港湾研究部 主任研究官）

***** 国土交通省東北地方整備局釜石港湾事務所第一工務課 係長

***** 国土交通省中国地方整備局広島港湾空港技術調査事務所技術開発課 係長（前 東北地方整備局釜石港湾事務所大船渡港出張所 建設管理官）

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所

電話：046-844-5024 Fax：046-844-5068 e-mail: kumagai-k27n@ysk.nilim.go.jp

Field Survey of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and Tsunami on Shore Protection Facilities in Ports (II)

Kentaro KUMAGAI*
Itaru EHIRO**
Tadashi ASAI***
Masafumi MIYATA****
Shigeru MATSUDA*****
Tadahiko WASHIYA*****
Masayuki KAMAKI*****

Synopsis

Field surveys were conducted for the damages of the shore protection facilities in 19 areas of the 8 ports located in Iwate Prefecture and Miyagi Prefecture affected by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and Tsunami.

Based on the results of the surveys and the knowledge obtained from the technical note of NILIM No. 658, the damages of the body of the seawalls are classified into the following three types: i) crack on the body and detachment of the surface panel, ii) partial destruction of the body due to tsunami-induced debris and collision with the neighboring body and iii) destruction of the upper part of the body. The scouring of the base soil ground and displacement of the body of the seawall are classified into the following five types: iv) scouring of the soil materials in a minor scale or apron pavement damage, v) scouring due to the overtopping tsunami flow, vi) scouring due to the tsunami back-flow, vii) minor displacement of the body of the seawall due to the tsunami back-flow and viii) rolling of the body of the seawall. And the losses of the function of the seawall are classified into the following four types: ix) deposited materials of tsunami-induced debris, x) destruction of flap gates, installed in the body of the seawalls, xi) destruction of land rocks and xii) subsidence damage.

Key Words : the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake Tsunami, shore protection facility, seawall, field survey

* Senior Researcher of Coastal, Marine and Disaster Prevention Department
** Research Engineer of Coastal Disaster Prevention Division, Coastal, Marine and Disaster Prevention Department
*** Head of Coastal Disaster Prevention Division, Coastal, Marine and Disaster Prevention Department
**** Head of Port Facility Design Division, Port Department
***** Deputy Director for Regional Policy Planning Office, Regional Policy Division, National and Regional Policy Bureau, MLIT/ Former Senior Researcher of Port Department of NILIM
***** Assistant Manager of Kamaishi Port Office, Tohoku Regional Development Bureau, MLIT
***** Assistant Manager of Hiroshima Research and Engineering Office for Port and Airport, Chugoku Regional Development Bureau, MLIT/ Former Assistant Manager of Ofunato Branch Office of Kamaishi Port Office, Tohoku Regional Development Bureau, MLIT
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-46-844-5024 Fax : +81-46-844-5068 e-mail: kumagai-k27n@ysk.nilim.go.jp

目 次

1. 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 先行研究及び周辺の動き	1
1.3 研究の目的	3
2. 調査方法	3
2.1 対象とした港湾	3
2.2 行程	3
2.3 調査員	4
2.4 調査に用いた機材	4
3. 調査結果	5
3.1 概要	5
3.2 八木港	6
3.3 久慈港	12
3.4 釜石港	19
3.5 金華山港	24
3.6 仙台塩釜港塩釜港区	26
3.7 大船渡港（国総研資料No. 658の追補・訂正）	39
（表-3.7.1 国総研資料No. 658の記載事項の訂正一覧）	
3.8 雄勝港（国総研資料No. 658の追補）	41
3.9 女川港（国総研資料No. 658の追補）	44
4. 結論	46
謝辞	47
参考文献	47
付録-A 調査地点の緯度・経度	49
付録-B 被害類型別の施設名一覧	50

1. 序論

1.1 研究の背景

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震及び津波によって、海岸保全施設に多数の被害が発生した。海岸保全施設の耐津波設計を適切に行うために、津波の被害類型を整理する必要がある。

海岸保全施設のうち、浸水防止のために陸上に設置される主な施設としては、胸壁、護岸及び堤防がある¹⁾。それぞれ構造形式は多様であるが、図-1.1.1に、典型的な構造のひとつを概念図としてそれぞれ示した。胸壁は主として港湾・漁港等の施設と背後の市街地との間に設けられる構造物であり、港湾及び漁港に特徴的な施設と言える。従って、港湾の計画・管理にあたり、海岸保全施設のうち特に胸壁に着目した津波の被害類型の整理は有益と考えられる。

これまで、国土技術政策総合研究所沿岸海洋・防災研究部は、2011年6月～9月に岩手県及び宮城県の下7港20地区の海岸保全施設の現地調査を行っている。さらに、同年

12月に、その結果を国土技術政策総合研究所資料(以下、国総研資料という。) No.658として報告している²⁾。同資料は、胸壁、護岸及び堤防について、対象とした7港のほぼ全ての施設と区間を延長方向に踏査し、軽微な被害から比較的大きな被害まで被害状況を網羅的に記録したものである。

さらに、同資料では特に胸壁に着目して、胸壁の被害類型の整理を試みた。すなわち、現地で観察された被害を「堤体の破壊」、「地盤の洗掘・堤体の変位」及び「運用上の機能不全」の3つに大きく区分したうえで、それぞれの区分について「軽微な被害」(簡易な補修または補修なしで機能確保できる程度の被害)から「比較的大きな被害」(修理・据え直し、断面設計見直し等が必要な程度の被害)までという被害程度の順に並べた。

また、同資料では、海岸保全施設の台帳等において「胸壁」と記載されている施設であっても、その構造形式は必ずしも一様ではなく、胸壁以外の施設に構造形式が類似した施設も存在することを指摘した。例えば、建設当初は海へ直接に面した護岸として建設されたものの、護岸の海側が埋め立てられて陸地化し、台帳上は名称が護岸から胸壁に変更された場合が事例として挙げられる。その場合、台帳において胸壁と記載されていても構造形式は当然に護岸のままである。このように、津波の被害の発生原因を検討するためには実際の構造形式に注意しつつ行う必要があることを指摘した。

岩手県・宮城県の港湾のうち、海岸保全施設の台帳において胸壁(防潮壁を含む。)、護岸またはその両方がある港湾の数は12港である(2.1節参照)。既報の国総研資料No.658ではそのうち7港を対象とした。そこで、残りの5港について調査を行い、被害事例を収集する必要がある。また、同資料で対象とした港湾についても時間的制約等から情報が不足していた一部の地区について、追加的調査を行って情報を収集する必要がある。

1.2 先行研究及び周辺の動き

東北地方太平洋沖地震及び津波の被害を踏まえた海岸保全施設の耐津波設計について、先行研究及び関連する動きの主なものは以下のとおりである。

(1) 堤防

2011年9月に、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」がとりまとめた報告³⁾では、「海岸保全施設等については、設計対象の津波高を超えた場合でも施設の効果が粘り強く発揮できるような構造物の技術開発を進め、整備していくことが必要である」としている。

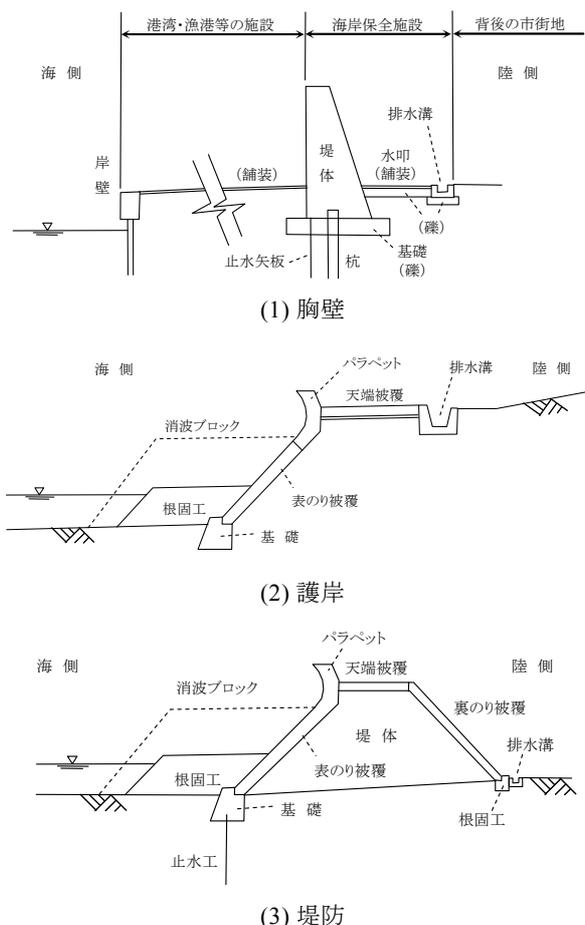


図-1.1.1 主な海岸保全施設の概念図
(海岸保全施設技術研究会¹⁾を参考に作成)

2011年11月に、海岸における津波対策検討委員会⁴⁾が主として堤防について「粘り強い構造」とするための構造上の工夫を提言としてまとめている。同提言によると、粘り強い構造とは「設計対象の津波高を超え、海岸堤防等の天端を越流した場合であっても、施設が破壊、倒壊するまでの時間を少しでも長くする、あるいは、施設が完全に流失した状態である全壊に至る可能性を少しでも減らす」構造と定義している。具体的には、堤防について、1) 裏法尻部の被覆及び裏法の緩勾配化、2) 天端保護工及び表法・裏法被覆工を厚くすること及び部材間の連結、3) 波返工の配筋による補強または波返工に替えて天端の嵩上げを行うこと等を挙げている。

構造上の工夫を施した効果は、水理実験または数値実験で安定性の評価等を行って確認することとなる。加藤ら⁵⁾、秋山ら⁶⁾は、波力が及ぼす影響について水理実験等を行っている。鳩貝ら⁷⁾、小竹ら⁸⁾、中尾ら⁹⁾、林ら¹⁰⁾は、越流した流れが及ぼす影響について水理実験を行っている。石河ら¹¹⁾、¹²⁾は、越流した流れが及ぼす影響について数値実験を行っている。また、谷田ら¹³⁾は、地盤を浸透する流れが及ぼす影響について数値実験を行っている。

表-1.2.1に、上で述べた動きを「設計の考え方」及び「検討の対象」の欄に示した。なお、一つの論文において水理実験及び数値実験の両方の成果が記載されている場合は、水理実験または数値実験のいずれか、より重点を置いていると考えられる方に分類して示した。

(2) 護岸

護岸について、「粘り強い構造」とするための構造上の工夫をまとめた提言等は特に策定されていない。ただし、護岸の一部分であるパラペットについては、(1)の提言⁴⁾で構造上の工夫に関する記述がなされている。

護岸の津波に対する安定性評価の事例としては、谷本ら¹⁴⁾が、波力が及ぼす影響について静的安定計算を行っ

ている。また、小竹ら¹⁵⁾は、越流した流れが及ぼす影響について水理実験を行っている。

(3) 胸壁

国土交通省港湾局¹⁶⁾は、胸壁について「粘り強い構造」とするための構造上の工夫をガイドラインとしてとりまとめている。同ガイドラインによると、粘り強い構造とは「設計津波」を超える規模の津波に対しても胸壁の津波減災効果を可能な限り発揮できるように（中略）大きな規模の津波に対して損傷は許容するが倒壊しにくい」構造と定義している。具体的には、i) 堤体について、堤体上部の欠損リスクの低減（ほぞ・用心鉄筋の配置）、洗掘対策（T字型またはL字型の胸壁の水叩き部分を大きくする）及び地盤への根入れ深さを大きくする対策、ii) 排水工について堤体との一体化、iii) 背後の舗装工について、コンクリート板の場合は堤体と連結すること。アスファルトの場合は路盤を安定処理すること、iv) 基礎部分について、杭基礎と堤体を剛結、基礎にセメント注入や捨コンクリート処理をすること、止水矢板を標準的に設置すること等を挙げている。

検討対象を胸壁に限定したものではないが、朝倉ら¹⁷⁾、池谷ら¹⁸⁾、池野ら¹⁹⁾は、陸上に遡上した津波の波力が陸上構造物に対して及ぼす影響について水理実験を行っている。胸壁について、傳ら²⁰⁾は波力が及ぼす影響について静的安定計算を行っている。また、岩崎ら²¹⁾は、越流した流れの及ぼす影響について水理実験を行っている。

胸壁について越流した流れ及び地盤を浸透する流れの及ぼす影響について着目した事例は少ない。こうした分野において、今後の水理模型実験・数値実験にあたって活用される基礎的資料として、既報の国総研資料に引き続くかたちで特に胸壁の被害状況を体系的にとりまとめることは有益と考えられる。

表-1.2.1 先行研究及び周辺の動き

施設の名称	堤防	護岸	胸壁	防波堤(参考)	
設計の考え方	「海岸堤防等の復旧に関する基本的な考え方」(国土交通省他, 2011)	(左の「考え方」に部分的に記載あり)	「港湾における防潮壁(胸壁)の耐津波設計ガイドライン」(国土交通省港湾局, 2013)	「防波堤の耐津波設計ガイドライン」(国土交通省港湾局, 2012)	
検討の対象	波力	水理実験(加藤ら ^{*1} , 秋山ら ^{*2})	静的安定計算(谷本ら ^{*6})	水理実験(朝倉ら ^{*7} , 池谷ら ^{*8} , 池野ら ^{*9}) 静的安定計算(傳ら ^{*10})	水理実験(有川ら ^{*12}) 数値実験(辻尾ら ^{*3})
	越流した流れ	水理実験(鳩貝ら ^{*3} , 小竹ら ^{*3} , 中尾ら ^{*3} , 林ら ^{*4}) 数値実験(石河ら ^{*3})	水理実験(小竹ら ^{*4})	水理実験(岩崎ら ^{*11})	水理実験(小竹ら ^{*13,*10} , 有川ら ^{*4,*14} , 辻尾ら ^{*2}) 数値実験(中村ら ^{*3,*2,*4})
	地盤を浸透する流れ	数値実験(谷田ら ^{*5})	—	—	水理実験(高橋ら ^{*2,*2} , 笠間ら ^{*15} , 今瀬ら ^{*13} , 佐々ら ^{*2})

*1 海岸工学論文集(2005), *2 土木学会論文集B3(海洋開発)(2013), *3 土木学会論文集B2(海岸工学)(2012), *4 土木学会論文集B2(海岸工学)(2013), *5 地盤工学研究発表会発表講演集(2013), *6 海岸工学講演会論文集(1984), *7 海岸工学論文集(2000), *8 海洋開発論文集(2005), *9 海岸工学論文集(2006), *10 土木学会論文集B3(海洋開発)(2012), *11 海岸工学講演会講演集(1967), *12 港湾空港技術研究所資料No.1251, *13 土木学会論文集B2(海岸工学)(2011), *14 港湾空港技術研究所資料No.1269, *15 地盤工学研究発表会発表講演集(2012)

(4) 防波堤 (参考)

防波堤は、陸上に設置される海岸保全施設ではないが、海岸保全施設の耐津波設計を検討する観点で参考となるので、ここに記述する。

2013年9月に、国土交通省港湾局は「防波堤の耐津波設計ガイドライン」²²⁾をとりまとめている。

有川ら²³⁾は、波力が及ぼす影響について水理実験を行っている。辻尾ら²⁴⁾は、波力が及ぼす影響について数値実験を行っている。小竹ら^{25),26)}、有川ら^{27),28)}、辻尾ら²⁹⁾は、越流した流れが及ぼす影響について水理実験を行っている。中村ら^{30),31),32)}は、越流した流れが及ぼす影響について数値実験を行っている。また、高橋ら^{33),34)}、笠間ら³⁵⁾、今瀬ら³⁶⁾、佐々ら³⁷⁾は地盤を浸透する流が及ぼす影響について水理実験 (一部は数値実験も含む) を行っている。

1.3 研究の目的

本資料は、海岸保全施設の耐津波設計に資するため、港湾区域にある海岸保全施設のうち胸壁 (防潮壁を含む。) 及び護岸について、2011年東北地方太平洋沖地震及び津波による被害を記録し、特に胸壁については被害類型を整理することを目的とする。

そのため、既報の国総研資料No.658で対象としていなかった港湾の現地調査、同資料を補足・修正するための現地調査等を行い、その結果を基礎的な技術資料としてとりまとめる。

2. 調査方法

2.1 対象とした港湾

岩手県及び宮城県の太平洋岸には、北から、八木港、久慈港、小本港、宮古港、釜石港、大船渡港 (以上、岩手県)、御崎港、気仙沼港、雄勝港、女川港、金華山港、表浜港、荻浜港、石巻港、松島港及び仙台塩釜港 (以上、宮城県) の16港がある (2011年3月時点、図-2.1.1)。

そのうち、小本港、宮古港、御崎港及び表浜港については、海岸保全施設の台帳に胸壁 (防潮壁を含む。) または護岸がないので除外すると、胸壁 (防潮壁を含む。)、護岸またはその両方があるのは12港である。さらに、大船渡港、気仙沼港、雄勝港、女川港、荻浜港、石巻港及び松島港の7港については国総研資料No.658で既に報告しているため、残りは5港となる。

このようにして、八木港、久慈港、釜石港、金華山港、仙台塩釜港塩釜港の5港14地区の海岸保全施設等を抽出した。

また、国総研資料No.658において既に報告しているものの、大船渡港、雄勝港及び女川港の3港5地区について、同資料の記載内容の追補または修正を行うために追加的な現地調査を行った。

以上を合計して、本調査で対象としたのは8港19地区である。なお、この中には海岸保全施設以外の施設 (例えば、八木港北港地区の「防波護岸」は港湾施設である。) も含まれているが、それらの施設は海岸保全施設と構造または機能が類似した施設であったので、海岸保全施設の耐津波設計のための参考となると考えて対象に含めたものである。

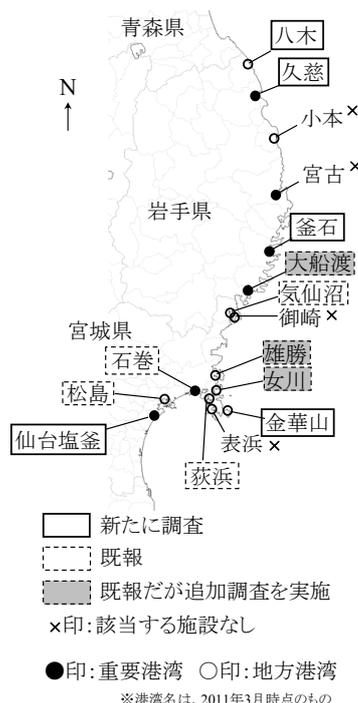


図-2.1.1 岩手県及び宮城県の港湾の位置図

2.2 行程

調査日数は計15日間であり、各港の調査行程の詳細は下の(1)~(6)に掲げるとおりである。

(1) 八木港・久慈港の調査

2013年2月5日 (火)

- ・移動 神奈川県→八戸市 (23:00 着)

同2月6日 (水)

- ・移動 八戸市→洋野町
- ・八木港南港地区の護岸の調査 (9:30~10:30)
- ・〃 北港地区の護岸の調査 (10:30~11:00)
- ・移動 洋野町→久慈市
- ・久慈港諏訪下地区の胸壁及び堤防の調査 (11:30~14:00)

- ・〃 半崎地区の護岸の調査（14:30）
※津波注意報の発令（14:41）により調査中止
 - ・移動 久慈市→八戸市
- 同2月7日（木）
- ・移動 八戸市→神奈川県
- 同9月30日（月）
- ・移動 神奈川県→久慈市（17:30着）
- 同10月1日（火）
- ・東北地方整備局釜石港湾事務所久慈港出張所と打合せ（8:30～9:00）
 - ・久慈港諏訪下地区の胸壁及び堤防の調査（9:30～13:00）
 - ・〃 半崎地区の護岸の調査（13:15～13:30）
 - ・移動 久慈市→洋野町
 - ・八木港北港地区の護岸の調査（14:30～15:00）
 - ・〃 南港地区の護岸の調査（15:15～16:00）
 - ・移動 洋野町→久慈市→神奈川県
- (2) 釜石港の調査
- 2012年10月25日（木）
- ・大平（おおだいら）地区の護岸の調査（10:00～11:00）
 - ・嬉石漁港の防潮施設の調査（11:00～11:40）
 - ・須賀地区の胸壁の調査（13:30～15:00）
- 同10月26日（金）
- ・移動 釜石市→神奈川県
- 同11月26日（月）
- ・移動 神奈川県→釜石市（13:00着）
 - ・須賀地区の胸壁の追加調査（13:30～16:00）
- 同11月27日（火）
- ・移動 釜石市→神奈川県
- (3) 金華山港の調査
- 2013年12月15日（日）
- ・移動 神奈川県→金華山港（11:30着）
 - ・金華山港の海岸保全施設の調査（11:30～13:30）
 - ・金華山港→釜石市を經由・泊→神奈川県（翌日着）
- (4) 仙台塩釜港塩釜港区の調査
- 2012年12月4日（火）
- ・移動 神奈川県→仙台市（10:30着）
 - ・宮城県仙台塩釜港湾事務所と打合せ
 - ・国土交通省東北地方整備局塩釜港湾・空港整備事務所と打合せ
 - ・移動 仙台市→塩釜市
 - ・東宮地区の胸壁の調査（13:30～16:00）
- 同12月5日（水）
- ・要害地区の胸壁の調査（8:30～10:20）
 - ・一本松地区の胸壁の調査（10:40～11:30）

- ・貞山地区の胸壁の調査（11:30～11:45）
 - ・港・貞山地区の胸壁の調査（11:45～12:00）
 - ・中の島地区の胸壁の調査（12:45～14:15）
 - ・港地区の胸壁の調査（14:30～16:30）
 - ・移動 塩釜市→神奈川県
- (5) 大船渡港の調査
- 2012年10月24日（水）
- ・移動 神奈川県→大船渡市（13:00着）
 - ・永浜地区の胸壁の追加調査（13:30～14:30）
 - ・茶屋前地区の胸壁の追加調査（14:30～15:30）
 - ・移動 大船渡市→釜石市
- (6) 雄勝港・女川港の調査
- 2012年12月17日（月）
- ・移動 神奈川県→仙台市（11:00着）→女川町
 - ・女川港横浦地区の胸壁の追加調査（13:00～15:30）
 - ・移動 女川町→石巻市
- 同12月18日（火）
- ・雄勝港大浜地区の胸壁の追加調査（10:00～12:00）
 - ・〃 唐桑地区の胸壁の追加調査（13:30～14:45）
 - ・移動 石巻市→仙台市→神奈川県

2.3 調査員

調査員は7人であり、所属及び氏名をそれぞれ記す。また、参加した調査をカッコ内にそれぞれ記す。

- ・国土技術政策総合研究所沿岸海洋・防災研究部主任研究官 熊谷兼太郎（2.2の全調査に参加）
- ・国土技術政策総合研究所沿岸海洋・防災研究部沿岸防災研究室研究員 永廣迪（2.2(1)の9/30～10/1, 2.2(4)及び2.2(6)の調査に参加）
- ・国土技術政策総合研究所沿岸海洋・防災研究部沿岸防災研究室室長 浅井正（2.2(5)の調査に参加）
- ・国土技術政策総合研究所港湾研究部港湾施設研究室室長 宮田正史（2.2(1)の2/5～2/6の調査に参加）
- ・国土技術政策総合研究所港湾研究部主任研究官（当時）、国土交通省国土政策局広域地方政策課専門調査官（現在） 松田茂（2.2(1)の2/5～2/6の調査に参加）
- ・東北地方整備局釜石港湾事務所第一工務課係長 鷲谷忠彦（2.2(2)の調査に参加）
- ・東北地方整備局釜石港湾事務所大船渡港出張所建設管理官（当時）、中国地方整備局広島港湾空港技術調査事務所技術開発課係長（現在） 鎌木雅之（2.2(5)の調査に参加）

2.4 調査に用いた機材

- ・レベルトランシットコンパス（有限会社牛方商会製、

- LS-25) , 三脚
- ・GPS測位機 (Garmin製, GPSmap 62s)
- ・スタッフ, ポール, 逆目盛検測竿 (宣真工業株式会社製, AT-12m型), 巻き尺, コンベックス
- ・デジタルカメラ, 野帳
- ・潮位表 (気象庁³⁸⁾の公表する天文潮位)

3. 調査結果

3.1 概要

岩手県及び宮城県の8港19地区の海岸保全施設等を対象に被害調査を行い, 胸壁及び護岸を中心とした被害を記録した。さらに, 胸壁については被害種類の整理を行った。すなわち, 現地を観察された被害類型を「堤体の破壊」, 「地盤の洗掘・堤体の変位」及び「運用上の機能不全」の3つに大きく区分したうえで, それぞれの区分について, 「軽微な被害」(簡易な補修または補修なしで機能確保できる程度の被害)から「比較的大きな被害」(修理・据え直し, 断面設計見直し等が必要な程度の被害)まで, 被害程度の順に並べた。

なお, この整理にあたっては, 既往の報告²⁾と同様な整理を試みたものに, 今回の調査で得られた知見をもとに修正を加えた。具体的には, 今回の調査で胸壁の被害について「引波による堤体の小規模な滑動・傾斜」の事例及び「波力による堤体の転倒」の事例を新たに収集し, それらを追加した。また, 既往の報告で整理したもののうち一部の項目について表現の修正等を行った。

表-3.1.1に, 整理した結果を示す。横方向に, 被害類

型 (Damage Type: DT) を大きく区分した「堤体の破壊」(DT category 1: DT1), 「地盤の洗掘・堤体の変位」(DT category 2: DT2)及び「運用上の機能不全」(DT category 3: DT3)を配した。また, 縦方向に, 被害程度 (Damage Level: DL) の小さい「軽微な被害」(DL1)から「比較的大きな被害」(DL2)を並べている。

同表に示すとおり, 2011年東北地方太平洋沖地震及び津波により, 胸壁について, 「堤体の破壊」に関する被害類型としては, 1) ひび割れ・化粧板剥離, 2) 漂流物の衝突・堤体同士の接触による欠損, 3) 堤体上部の破壊が生じていたことが分かった。堤体全体が破壊するような事例はなかった。「地盤の洗掘・堤体の変位」に関する被害類型としては, 4) 軽微な地盤洗掘・舗装被害, 5) 越流した流れによる地盤洗掘, 6) 引波による地盤洗掘, 7) 引波による堤体の小規模な滑動・傾斜, 8-1) 波力による堤体の転倒, 8-2) 波力・洗掘の複合要因による堤体の転倒が生じていたことが分かった。また, 「運用上の機能不全」に関する被害類型としては, 9) 船舶, ガレキ, 土砂等の堆積, 10) フラップゲートの開閉不全, 11) 陸閘の破損, 12) 地域全体の地盤沈下で嵩上げが必要との被害が生じていた。以上のとおり, 地震・津波による胸壁の被害を12種類に分類することができた。

各港の被害の概要をそれぞれ述べる。

八木港では, 護岸のパラペットの全体または打継面より上部の部分的な破壊が生じていた。

久慈港では, 胸壁について, 越流した流れによる陸側地盤の洗掘及び漂流物による堤体の欠損が発生していた。護岸には, パラペットの破壊が一部の区間で発生していた。堤防は, 地域全体の地盤沈下による影響を除外すると被害は発生していなかった。

釜石港では, 胸壁について, 引波による海側地盤の洗掘, 堤体の海側への小規模な滑動・傾斜及び漂流物の衝突・堤体同士の接触による堤体の一部欠損が生じたことを把握した。また, 護岸には, 波力による堤体が陸側へ転倒する被害が発生していた。

金華山港では, 護岸の被害は地域全体の地盤沈下による影響だけであったことを確認した。また, 津波痕跡高さを被災地域全体で網羅的に調べている公益社団法人土木学会海岸工学委員会・公益社団法人日本地球惑星科学連合の東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによる調査³⁹⁾では

表-3.1.1 胸壁の被害類型

(2011年東北地方太平洋沖地震津波による港湾の胸壁の被害種類の整理結果)

		被害類型(DT)		
		DT1:堤体の破壊	DT2:地盤の洗掘・堤体の変位	DT3:運用上の機能不全
被害程度(DL)	DL1:軽微な被害 (簡易な補修または補修なしで機能確保できる程度の被害)	1) ひび割れ・化粧板剥離 2) 漂流物の衝突・堤体同士の接触による欠損 3) 堤体上部の破壊	4) 軽微な地盤洗掘・舗装被害 5) 越流した流れによる地盤洗掘 6) 引波による地盤洗掘 7) 引波による堤体の小規模な滑動・傾斜	9) 船舶, ガレキ, 土砂等の堆積 10) フラップゲートの開閉不全 11) 陸閘の破損
	DL2:比較的大きな被害 (修理・据え直し, 断面設計見直し等が必要な程度の被害)	(堤体全体の破壊の事例なし)	8-1) 波力による堤体の転倒 8-2) 波力・洗掘の複合要因による堤体の転倒	12) 地域全体の地盤沈下で嵩上げが必要

同港近傍で情報は収集されていないが、今回の調査で最大津波高さの参考となる情報を新たに収集できた。

仙台塩釜港塩釜港区では、引波による堤体の海側への小規模な滑動、ひび割れ・化粧板剥離、地盤洗掘、舗装被害、越流した流れによる地盤洗掘等が発生していた。

大船渡港では、追加的な現地調査を行った。また、国総研資料 No.658 で同港茶屋前地区の胸壁の「一部の堤体は基礎の鋼矢板が折れていた」と報告したが、この記述は誤りであったのを確認し、本資料において訂正する。

雄勝港では、胸壁のある2地区について、水準測量を行うことにより水際線から胸壁陸側までの断面形状に関する情報を追加して取得した。

また、女川港では、国総研資料 No.658 において遡上高を概算で求めていた1地点について、水準測量を行うことにより遡上高を求めた。

以下の3.2～3.7節では、各港の調査結果の詳細を示す。なお、付録-Aに、各港の調査結果の詳細で取り上げた地点の位置座標（緯度及び経度）をまとめて記載している。また、付録-Bに、被害類型別の施設名を一覧で示した。

3.2 八木港

(1) 北港地区

図-3.2.1に、八木港の概要図を示す。同港は、北港地区及び南港地区に分かれている。図-3.2.2は、施設の位置及び調査地点を示す。図の太い実線及び点線で示した位置にはどちらも護岸がある。そのうち、点線で示した護岸は港湾施設であり海岸保全施設ではないが、ほとんどの区間で護岸にパラペットが設けられており津波による被害事例として参考になるため、調査対象とした。

北港地区での調査は、地点1-a～地点1-cで行った。写真-3.2.1に、地点1-aから東側を見た状況を示す。写真-3.2.2(1)に、地点1-bから東側を見た状況を示す。また、写真-3.2.3(1)に、地点1-cから北側を見た状況を示す。東北地方太平洋沖地震の被害の国土交通省によるとりまとめ（第118報、2013年2月4日、http://www.mlit.go.jp/saigai/saigai_110311.html）では、港湾施設の被害の欄に、八木港の「北港護岸の半分流失、臨港道路がれきにより通行止」との1件が挙げられていて、このパラペットが被害を受けたことが報告されている。なお、これ以外の被害は同とりまとめでは報告されていない。写真-3.2.1～写真-3.2.3に写っているパラペットには、白色部分と灰色部分とがあるが、そのうち白色部分は津波で流失したあと復旧された部分である。一方、灰色部分は流失せずに残留した部分である。

地点1-b付近の残留した部分について断面形状の測量を

行った。その結果、護岸のパラペットの天端高さは T.P.+3.58 mであった（図-3.2.3）。また、地点1-cの残留した部分も断面形状の測量を行った。同地点の海側には消波ブロックが設置されている。測量の結果、護岸のパラペットの天端高さは T.P.+3.59 mであった（図-3.2.4）。

図-3.2.5に、国土地理院の空撮写真（被災地域の斜め写真、<http://saigai.gsi.go.jp/20110311eqObliquePhoto/index.html>）をもとに推定したパラペットの流失区間を示す。流失区間の推定延長は合計で約270 m（地点1-cよりも北側の部分の全延長約430 mに対して約63%）であった。

地点1-dでは、同地点から南の方向にむかって海に突き出す形で比較的小規模な防波堤があり、被災していた（写真-3.2.4）。

地点1-dから地点1-eまでの間の護岸に被害はなかった。写真-3.2.5に、地点1-eから東側を見た写真を示す。

地点1-eから地点1-gまでの間は階段式護岸が設けられていて、この護岸には被害がなかった。この護岸の北寄りの4分の3程度の区間の前面には砂浜があり、残りの南寄りの4分の1程度の区間には消波ブロックが設置されている。写真-3.2.6に、地点1-fから東側を見た写真を示す。



図-3.2.1 八木港



図-3.2.2 八木港北港地区・南港地区



写真-3.2.1 護岸のパラペット

(灰色部分は残留, 白色部分は流失) (地点 1-a)



(1) 護岸のパラペット



(1) 護岸のパラペット (灰色部分は残留, 白色部分は流失)

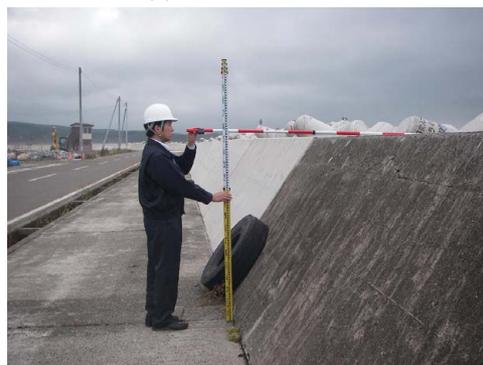


(2) 断面形状の測定



(2) 断面形状の測定

写真-3.2.2 地点 1-b



(3) 護岸のパラペットの陸側形状の測定

写真-3.2.3 地点 1-c

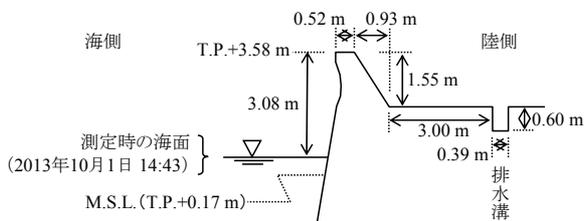


図-3.2.3 断面図 (地点 1-b)

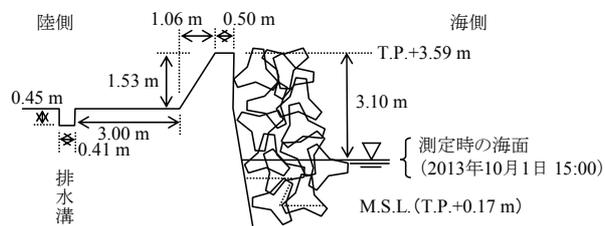


図-3.2.4 断面図 (地点 1-c)



図-3.2.5 護岸のパラペットの流失区間



写真-3.2.4 被災した小規模な防波堤（地点1-d）



写真-3.2.5 被害のなかった護岸（地点1-e）



写真-3.2.6 被害のなかった階段式護岸（地点1-f）

(2) 南港地区

地点1-h及び地点1-iでは、護岸のパラペットの上部が欠損していた。

地点1-hの欠損部分を写真-3.2.7に示す。図-3.2.6(1)は、欠損部分に隣接して被害を受けていない部分（残留部分）について測量を行った結果である。護岸のパラペットの天端高さはT.P.+3.76mであった。「岩手県海岸保全施設等天端一覧表」（岩手県農林水産部農村建設課他、2002年1月）によると、八木港の海岸保全施設の天端高さはT.P.+3.78mである。測量結果（T.P.+3.76m）と比較すると、地震に伴う沈下量は小さい結果となった。また、同図(2)に、欠損部分を陸側からみた状況を示す。欠損部の大きさは、高さ0.35m、延長方向の長さ23.03mであった。なお、欠損した段面には、鉄筋の配筋は見られなかった。

地点1-iの欠損部分を写真-3.2.8に示す。また、図-3.2.7は、欠損部分を陸側から見た図である。欠損部分の大きさは、高さ0.37m、延長方向の長さ10.70mであった。なお、欠損した段面には、鉄筋の配筋は見られなかった。

地点1-h及び地点1-iの欠損は地震発生前から存在していた可能性もあるが、断面が比較的新しいことから津波による被害と考えられる。地点1-gから護岸先端部までの全延長は約220mである。欠損していた2箇所の延長は23+11=34mで、全延長に対する割合は約15%である。欠損は局所的なので、欠損の原因は津波に伴う漂流物の衝突等と考えられるが、詳細な原因は不明である。

上部だけ欠損した理由の一つとして、老朽化の可能性が考えられる。写真-3.2.9(1)に、地点1-iの近傍で残存していたパラペットを示す。残存部分には施工時の打継面と考えられる位置に老朽化による表面のひび割れが生じていた。また、そのうち第一段目の劣化は、天端から下に0.3~0.4m程度の位置に走っていた（同写真(2)）。これは、地点1-g及び1-hの欠損部の高さがそれぞれ0.35m及び0.37mであったことと整合的である。ただし、ひび割れの観察は表面から行っただけなので、その深さ、内部の配筋状況等は不明である。

ここで、水準測量の結果が含む誤差について補足する。今回の測量は高さの基準として海面を利用しており、その海面は波の影響により揺動している。誤差を可能な限り小さくするため、測定開始前に一定時間のあいだ潮位変動を観察してから海面高さの測定を行うように工夫しているが、今回の結果には海面の揺動に伴う誤差が含まれている。以下、本資料の測量の結果についてこの点は全て同様である。また、八木港の潮位表は入手できず近

傍の久慈港（直線距離で約 17 km 離れている）の潮位表を代替的に用いて、それに伴う誤差が含まれている。

上で述べたような誤差はあるものの、東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動は、近傍の洋野町種市で 0.03 m の沈下と報告されている（「市町村ごとの地殻変動量（暫定）」, 国土地理院, <http://www.gsi.go.jp/common/000059961.pdf>）. 単純に海岸保全施設も 0.03 m 沈下したと考えた場合の天端高さは T.P. +3.75 m である. 筆者らの測量結果 (T.P. +3.76 m) との差は非常に小さく、筆者らの測量結果は比較的良好な精度を確保していると考えている.

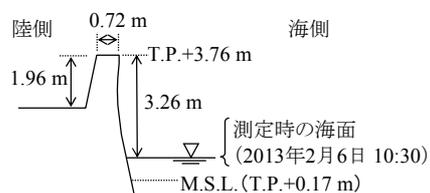


(4) 断面形状の測定

写真-3.2.7 護岸のパラペットの上部の欠損（地点1-h）



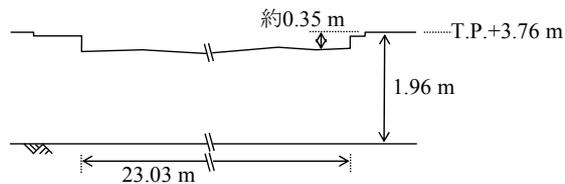
(1) 海側から見た写真



(1) 残留部分の断面図



(2) 法線方向を見た写真



(2) 欠損部分を陸側から見た図

図-3.2.6 地点 1-h



(3) 陸側から見た写真



(1) 法線方向を見た写真

写真-3.2.8 護岸のパラペットの上部の欠損（地点 1-i）

写真-3.2.7 護岸のパラペットの上部の欠損（地点1-h）



(2) 陸側から見た写真



(2) 上から一層目のひび割れの高さ



(3) 欠損部分の高さの測定

写真-3.2.8 護岸のパラペットの上部の欠損（地点1-i）

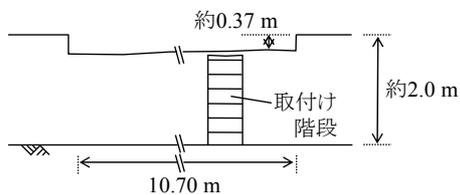


図-3.2.7 欠損部分を陸側から見た図（地点1-i）



(1) 打継面付近の表面の劣化

写真-3.2.9 残存した護岸のパラペット（地点1-i近傍）

写真-3.2.9 残存した護岸のパラペット（地点1-i近傍）

地点1-j~1-lの区間では、護岸のパラペットに被害は無かった。

地点1-jの状況を写真-3.2.10に示す。後述するが、地点1-k、地点1-lで測量を行っており、その結果から地点1-jの護岸のパラペットの天端高さを推定すると、T.P.+5.2 m程度であった（地点1-lの天端高さT.P.+3.80 mに、地点1-kの段差1.42 mを加えて算出）。

地点1-kでは、施設の天端高さがもともと変化している段差が設けられている。段差の大きさは1.42 mであった（写真-3.2.11(2)）。

地点1-lでは、護岸のパラペットの天端高さの測定を行った。天端高さは、T.P.+3.80 mであった（写真-3.2.12、図-3.2.8）。

地点1-mでは、護岸のパラペットが被災した。被災した延長は38.98 mであった。写真-3.2.13(1)は、被災直後の状況である。同(2)は、筆者らが調査時に撮影したもので、復旧後の堤体が白色に写っている。被災した部分近傍で残留した部分について天端高さ等の測定を行った（図-3.2.9）。その結果、護岸のパラペットの天端高さはT.P.+3.43 m、延長は約39 mであった。



写真-3.2.10 被害のない護岸のパラペット（地点1-j）



(1) 天端高さが変化している場所（南側から見た写真）



(2) 段差の大きさの測定



(3) 空撮写真

写真-3.2.11 地点 1-k



写真-3.2.12 護岸のパラペットの天端高さの測定
(地点 1-l)

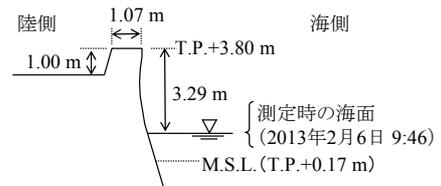


図-3.2.8 断面図（地点1-l）



(1) 被災直後の状況（矢印部分，2011年6月8日）



(2) 復旧後の状況（2013年2月6日）

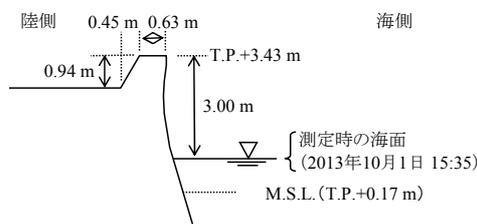


(3) 残留した護岸のパラペットの天端高さの測定
写真-3.2.13 被災した護岸のパラペット（地点 1-m）

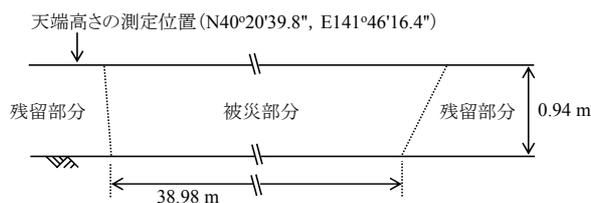


(4) 残留した護岸のパラペットの陸側形状の測定

写真-3.2.13 被災した護岸のパラペット（地点1-m）



(1) 断面図



(2) 被災した護岸のパラペットを陸側から見た図

図-3.2.9 地点1-m

3.3 久慈港

(1) 諏訪下地区

図-3.3.1に、久慈港の概要図を示す。同港には、半崎地区、諏訪下地区、玉の脇地区及び湾口地区がある。海岸保全施設は、諏訪下地区に胸壁、堤防及び陸閘があり、半崎地区に護岸及び離岸堤がある。また、湾口地区に防波堤がある。

図-3.3.2に、久慈港諏訪下地区の施設の位置及び調査地点を示す。同地区では、地点2-a付近から地点2-jまで、水域をぐるりと囲むように胸壁が設けられている。胸壁の天端の高さはT.P.+7 m程度、地盤から測った胸壁の天端の高さは4~5 m程度である。胸壁の堤体には、一部で漂流物による小規模な欠損があった以外は、被害は発生していない。また、胸壁海側の地盤にも被害はほとんどの区間で発生していない。それに対し、胸壁陸側には、地点2-bから地点2-gまでの範囲で洗掘が発生している。特に、地点2-f周辺から地点2-gの範囲では洗掘の程度が

大きく、最大で地盤面から約1.1 mの深さで洗掘されている場所があった。以下、こうした状況を地点ごとに報告する。

地点2-aで、胸壁の上から西の方向を見た状況を示す(写真-3.3.1(1))。胸壁の高さの測定を行ったところ地盤からの高さは4.64mであった(写真-3.3.1(2))。

地点2-bで、胸壁陸側から東の方向を見た状況を示す(写真-3.3.2)。胸壁の堤体に被害は発生していない。調査時点では既に土砂で埋め戻されていたが、胸壁陸側の水叩き部分に表面の舗装が損壊する程度の小規模な洗掘が発生したようである。

地点2-cでは、胸壁の堤体に被害は発生していない。調査時点では既に土砂で埋め戻されていたが、胸壁陸側の水叩き部分には、表面の舗装が損壊する程度の小規模な洗掘が発生したようである(写真-3.3.3)。

地点2-dでは、岸壁から胸壁の背後までの断面形状の測量を行った(写真-3.3.4)。その結果、岸壁から胸壁までの水平距離は約54 m、胸壁の天端高さはT.P.+6.93 mとなった(図-3.3.3)。

なお、写真-3.3.5は同地点付近の地震発生直後のエプロンの被害を示している。諏訪下地区のほとんどの区間では胸壁のすぐ海側の地盤には被害は発生していないが、エプロンには同写真で示したように岸壁のケーソンが地震動によって動いたことに伴う段差・不陸が発生していた。この点は参考のため記載しておく。

地点2-eでは、胸壁の堤体に被害は発生していない。調査時点では土砂で既に埋め戻されていたが、胸壁陸側の水叩き部分には、表面の舗装が損壊する程度の小規模な洗掘が発生したようである。写真-3.3.6に、同地点で胸壁陸側から北の方向を見た状況を示す。



図-3.3.1 久慈港



図-3.3.2 久慈港諏訪下地区



写真-3.3.3 胸壁陸側の小規模な洗掘跡 (地点2-c)



(1) 胸壁の上からみた状況 (左: 陸側, 右: 海側)



(1) 岸壁の天端高さの測定



(2) 胸壁の天端の地盤からの比高の測定

写真-3.3.1 被害のない胸壁 (地点2-a)



(2) エプロンの水準の測定



(3) 胸壁の天端高さの測定

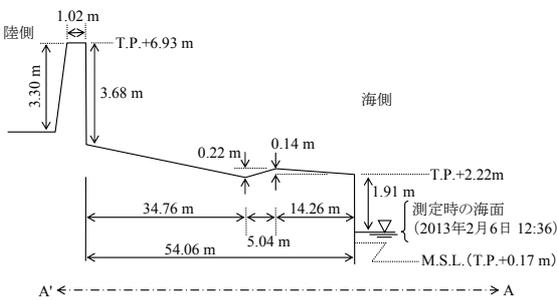
写真-3.3.4 地点2-d



写真-3.3.2 胸壁陸側の小規模な洗掘跡 (地点2-b)



(4) 胸壁の陸側の状況
 写真-3.3.4 地点 2-d



※鉛直方向と水平方向の縮尺を変えて描画してある
 図-3.3.3 断面図（地点 2-d）

地点 2-f では、岸壁から胸壁の背後までの断面形状の測量を行った（写真-3.3.7(1)～(5)）。その結果、胸壁の天端高さは T.P.+7.07 m となった（図-3.3.4）。

地点 2-f 付近から地点 2-g では、胸壁の堤体に被害はなかったものの、胸壁陸側の地盤に洗掘が発生した（写真-3.3.7(6)及び写真-3.3.8(1)）。植生や堆雪があって、洗掘された深さの正確な測定は難しかったが、参考として、掘れている部分の大きさは地点 2-g 付近で測ったところ、地盤面との差は 1.12 m であった（写真-3.3.8(2)）。

地点 2-h では、胸壁の堤体上部が漂流物により欠損していた（写真-3.3.9(2)）。

地点 2-i 付近では、胸壁の被害はなかった（写真-3.3.10）。岸壁から胸壁の背後までの断面形状の測量を行った。その結果、胸壁の天端高さは T.P.+7.07 m であった（図-3.3.5）。



(1) 被害のないふ頭と胸壁



写真-3.3.5 エプロンの被害

(2011年3月18日、富田孝史氏撮影、地点 2-d 付近)



(2) 岸壁の天端高さの測定



写真-3.3.6 胸壁陸側の小規模な洗掘跡（地点 2-e）



(3) エプロンの水準測量

写真-3.3.7 地点 2-f



(4) 胸壁の天端高さの測定



(5) 胸壁の陸側形状の測定



(6) 胸壁陸側の洗掘跡
写真-3.3.7 地点2-f

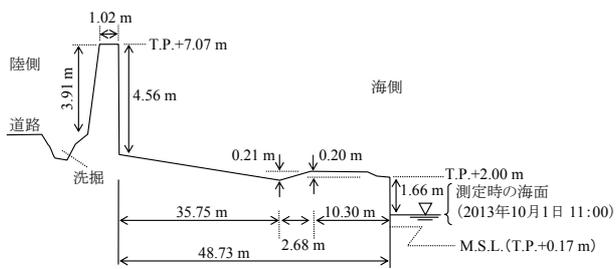


図-3.3.4 断面図 (地点2-f)



(1) 胸壁陸側の洗掘



(2) 洗掘の深さの測定
写真-3.3.8 地点2-g



(1) 南側をみた状況



(2) 胸壁の堤体上部の漂流物による欠損
写真-3.3.9 地点2-h



(1) 被害のない胸壁（左が海側，右が陸側）



(2) 岸壁の天端高さの測定



(3) 胸壁の天端高さの測定



(4) 胸壁の陸側形状の測定

写真-3.3.10 断面形状の測量（地点2-i）

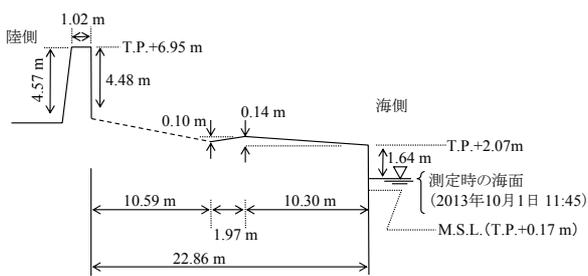


図-3.3.5 断面図（地点2-i）

地点2-jでは、南北方向に延びる堤防と西から東に向かって伸びる胸壁とが接続している。堤防及び胸壁はいずれも被害はなかった（写真-3.3.11及び図-3.3.6）。

地点2-k～2-nも同様に、堤防の被害はなかった（写真-3.3.12～写真-3.3.15，図-3.3.7及び図-3.3.8）。

なお、地点2-l～mの区間は、堤防の天端と周辺の地盤とはほとんど高さの差が無く、堤体の大部分が地中に埋没している（写真-3.3.13～写真-3.3.14）。



(1) 被害のない堤防（南側をみた状況）



(2) 被害のない堤防（北側をみた状況）



(3) 被害のない胸壁（西側をみた状況）

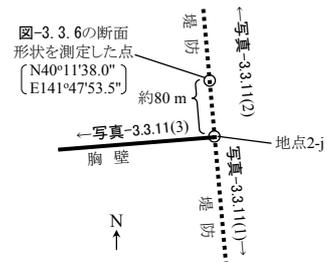


図-3.3.6の断面形状を測定した点
 (N40°11'38.0"
 E141°47'53.5")
 約80 m
 写真-3.3.11(2)
 地点2-j
 写真-3.3.11(3)
 胸壁
 写真-3.3.11(1)
 堤防
 N
 (4) (1)～(3)の撮影方向
 写真-3.3.11 地点2-j

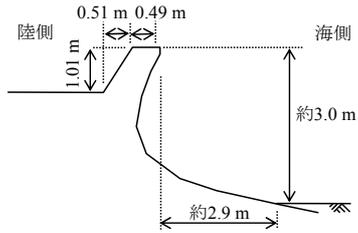


図-3.3.6 断面図 (地点 2-j 近傍)



写真-3.3.14 被害のない堤防 (北側を見た状況)
(地点 2-m)



(1) 被害のない堤防 (左が陸側, 右が海側)



(1) 被害のない堤防 (左が海側, 右が陸側)



(2) 堤防の堤体海側の測定

写真-3.3.12 地点 2-k



(2) 堤防の堤体海側の測定

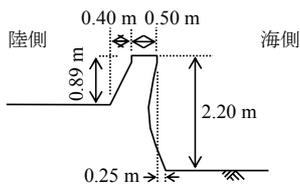


図-3.3.7 断面図 (地点 2-k)



写真-3.3.13 被害のない堤防 (北側を見た状況)
(地点 2-l)



(3) 堤防の堤体陸側の測定

写真-3.3.15 地点 2-n

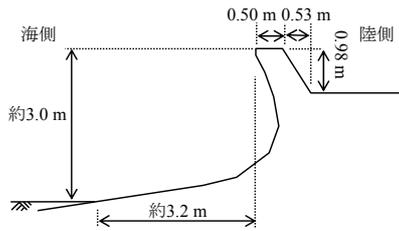


図-3.3.8 断面図（地点2-n）

(2) 半崎地区

図-3.3.9に、久慈港半崎地区の調査地点を示す。同地区には護岸が設けられていて、地点2-o及び地点2-pの2箇所護岸のパラペットが流失した。

地点2-oで、護岸のパラペットの流失した状況を写真-3.3.16(1)に示す。これは東北地方太平洋沖地震の発生直後に実施した被害調査（本資料の筆頭著者も調査団の一員として参加。詳細は高橋ら⁴⁰を参照。）の際に、独立行政法人港湾空港技術研究所・富田孝史氏が撮影したものである。流失したパラペットは元の位置から陸側（写真中では右）に移動していたので、津波の押し波で流失したと推定される。同写真(2)は、2013年2月時点の写真で、白く映っている部分が復旧されたパラペットである。流失区間の延長を測定したところ、約29mであった。

地点2-pで、護岸のパラペットが流出した状況を写真-3.3.17(1)に示す。流出したパラペットは元の位置からすぐ陸側に転倒しているので、津波の押し波で流失したと推定される。流失区間の延長を測定したところ、約9mであった。

なお、2013年2月6日は調査実施中に津波注意報の発令があり（気象庁報道発表資料「平成25年2月6日10時12分頃の南太平洋で発生した地震について」、同日14時45分付）、その時点で調査を中断した。そのため、護岸の天端高さ、断面形状等の測量は実施できなかった。そこで、同年10月1日に改めて調査を行い、断面形状の測定を行った（図-3.3.10及び図-3.3.11）。



(1) 被災直後の状況（2011年3月18日、富田孝史氏撮影）



(2) 復旧後の状況（2013年2月6日）



(3) 断面形状の測定（2013年10月1日）

写真-3.3.16 護岸のパラペットの流失（地点2-o）



図-3.3.9 久慈港半崎地区

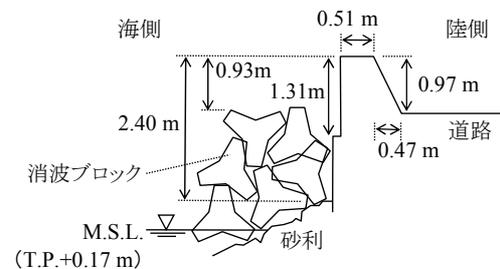


図-3.3.10 断面図（地点2-o）



(1) 被災直後の状況 (2011年3月18日, 富田孝史氏撮影)



(2) 復旧後の状況 (2013年2月6日)



(3) 断面形状の測定 (2013年10月1日)

写真-3.3.17 護岸のパラペットの流失 (地点 2-p)

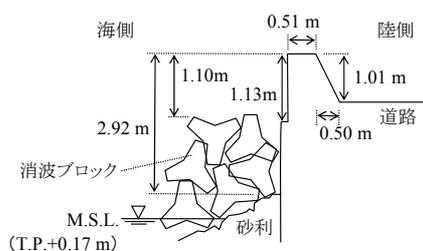


図-3.3.11 断面図 (地点 2-p)

3.4 釜石港

(1) 須賀地区

図-3.4.1に、釜石港の周辺図を示す。釜石港の海岸保全施設は、須賀地区、大平地区及び湾口地区にある。そのうち須賀地区の周辺図を図-3.4.2に示す。同地区で主に調査の対象としたのは、図中に太い実線で示した胸壁 (延長 1,083 m) である。

地点 3-a 及び地点 3-b では、胸壁の堤体、海側の舗装・地盤、背後側の舗装・地盤のいずれも被害はなかった。両地点で、水際線から胸壁陸側までの断面形状の測量を行った (図-3.4.3 及び図-3.4.4)。その結果、胸壁の天端高さは T.P.+2.63~+2.72 m であった。また、岸壁の天端高さは T.P.+0.44~+0.48 m であった。地震活動に伴う地盤沈下が生じているため、潮位の高いときには岸壁は冠水していた。例えば、写真-3.4.1 を撮影した 2012 年 11 月 26 日 14:00 の潮位は T.P.+0.52 m (気象庁による推算潮位) で、岸壁の天端高さは T.P.+0.44 m (測量の結果) なので、岸壁は冠水している。

地点 3-a 付近の陸側は、扉体が流失していた。そこで、胸壁が途切れている通路部分には応急対策として土嚢が積み上げられていた (写真-3.4.3)。



図-3.4.1 釜石港



図-3.4.2 釜石港須賀地区



写真-3.4.1 被害のない胸壁（地点3-a）

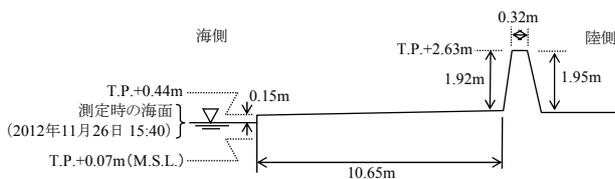


図-3.4.3 断面図（地点3-a）



写真-3.4.2 被害のない胸壁（地点3-b）

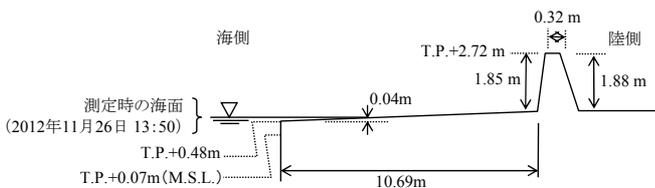


図-3.4.4 断面図（地点3-b）



写真-3.4.3 応急措置として積み上げられた土嚢（奥側）と門扉の収納庫（手前）



写真-3.4.4 地点3-c

地点 3-c では、堤体の被害はなかった。海側地盤のうち胸壁に近い部分の舗装が損傷していたが、津波による被害であるか不明である（写真-3.4.4、図-3.4.5）。

地点 3-d では、引波により、隅角部にある堤体が海側に小規模に滑動しており、隣接した堤体との間でずれが発生していた（写真-3.4.5）。ずれの大きさは、胸壁法線と平行な方向の目地開きが0.12m（同(3)）、胸壁法線と直交する方向（海陸方向）には約0.05mの大きさであった（同(4)）。胸壁の海側地盤が洗掘されており、深さは最大で0.87mであった。また、水際線から胸壁陸側までの断面形状の測量を行った。その結果、胸壁の天端高さはT.P.+2.61mであった（図-3.4.6）。

地点 3-d の南側に隣接する部分では、引波により海側の舗装が破損していた（写真-3.4.6）。

地点 3-e では、引波により海側地盤が洗掘されるとともに堤体が海側に傾斜していた（写真-3.4.7(1)、図-3.4.7）。それに伴って隣接する堤体と接触して、堤体同士の接触による堤体の角部の欠損が生じていた（写真-3.4.7(2)）。なお、津波発生直後の被害報告の写真をみると海側の地盤は津波により広範囲に洗掘されていたようであるが（図-3.4.7で「地盤の洗掘」と示した部分）、今回調査を行った時点は海側の洗掘部分は応急復旧で埋め戻されていた。地点 3-c などと比較して、地点 3-e では海側地盤の洗掘の程度が大きい。その原因の一つとして、引波の流れが長時間の作用した可能性が考えられる。地点 3-e の北側に隣接して水路があったことが影響した可能性があるが（図-3.4.7(2)）、詳細は不明である。

地点 3-f には、漁港部局の所管する胸壁構造の海岸保全施設が設けられている。そこでは、漂流物の衝突により堤体の一部が欠損していた（写真-3.4.8）。2箇所の欠損部分はいずれも海側よりも陸側が大きくなっている（図-3.4.8）、海側から陸側に向かう方向に欠損したものと考えられる。

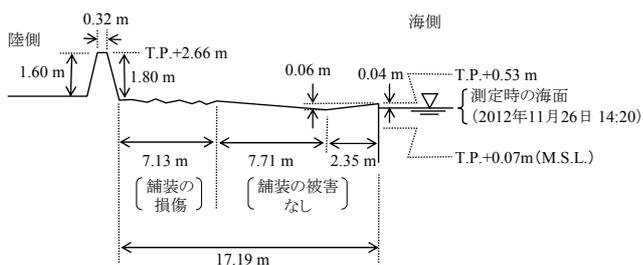


図-3.4.5 断面図 (地点3-c)



(4) 法線と直角する方向のずれ (約0.05m)

写真-3.4.5 滑動した堤体 (地点 3-d)



(1) 海側から見た状況



(2) 陸側からみた状況



(3) 法線と平行な方向の目地開き (0.12m)

写真-3.4.5 滑動した堤体 (地点 3-d)

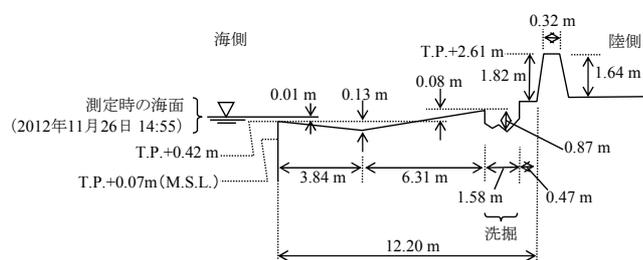


図-3.4.6 断面図 (地点 3-d)



写真-3.4.6 海側の舗装の破損 (地点3-d南側隣接部分)



(1) 海側 (右側) に傾斜した堤体

写真-3.4.7 地点 3-e



(2) 堤体同士の接触による堤体角部の欠損

写真-3.4.7 地点 3-e

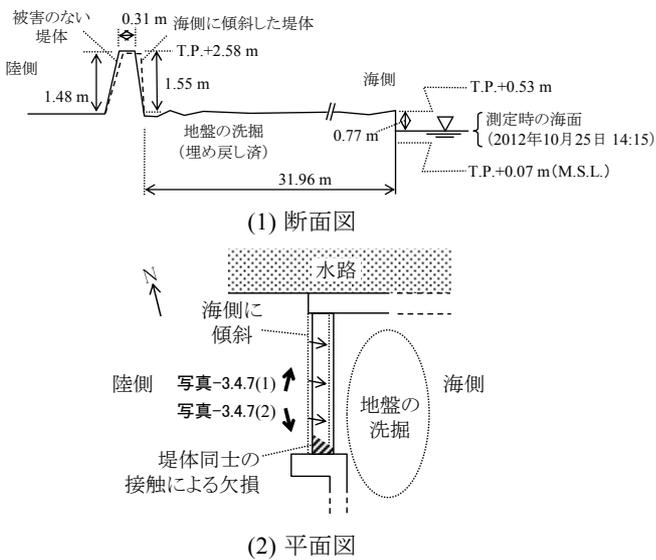


図-3.4.7 被害のあった堤体の位置関係（地点 3-e）



写真-3.4.8 漂流物による堤体の欠損（地点3-f）

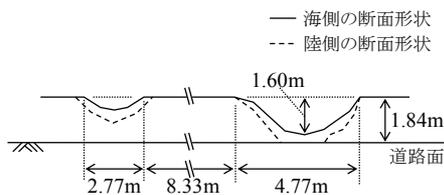


図-3.4.8 欠損部分を陸側から見た状況（地点3-f）

おおだいら
 (2) 大平地区

図-3.4.9に、釜石港大平地区の周辺図を示す。同地区には、図中に点線で示した位置に護岸（延長 844.7 m）がある。地点 3-g では、連続した 5 函の堤体が陸側に転倒していた（写真-3.4.9(1)～(2)）。転倒した区間の延長は 50.14 m であった。図-3.4.10に、水際線から胸壁陸側までの断面図を示す。堤体の陸側は上り勾配の斜面となっているが、洗掘されておらず、堤体は原位置で転倒していた。転倒した堤体の底面部には、杭及び矢板はなかった（写真-3.4.9(3)）。また、海側の床板が 1 枚（幅 5m）だけ海側方向にずれ上がっていた（写真-3.4.9(4)）。地点 3-g 以外の区間では被害はなかった。



図-3.4.9 釜石港大平地区



(1) 陸側に転倒した堤体



(2) 堤体の断面

写真-3.4.9 地点 3-g



(3) 転倒した堤体の底面



(4) 海側方向にずれ上がった床板

写真-3.4.9 地点 3-g

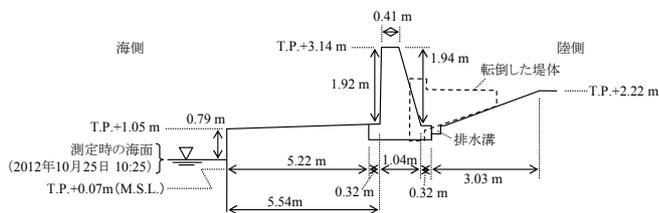
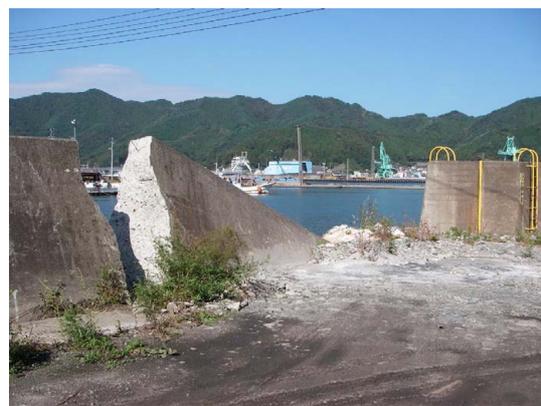


図-3.4.10 断面図 (地点 3-g)



(1) 折れて変位した堤体. 手前地盤は埋め戻し済



(2) (1)と同じ場所を違う角度から見たもの



(3) 防潮壁の海側の状況

写真-3.4.10 地点 3-h

(3) 嬉石漁港

大平地区に隣接する嬉石漁港の防潮壁の調査をあわせて行った (写真-3.4.10, 図-3.4.11) .

地点3-hでは, 隅角部の門扉周辺の地盤が引波によって流失していた. それに伴い, 基礎部分を失った堤体の一部が折れて落ち込み, 傾斜した状態で止まっていた. 調査時点では, 防潮堤よりも陸側の地盤は応急復旧工事により埋め戻されていた.

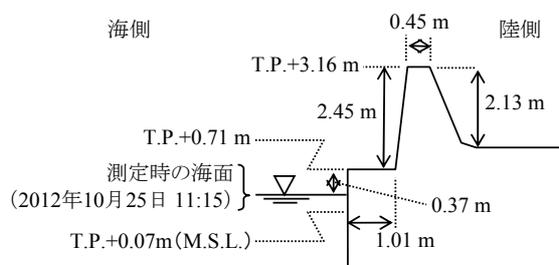


図-3.4.11 断面図 (地点 3-h)

3.5 金華山港

図-3.5.1に、金華山港の位置図を示す。また、図-3.5.2に同港の概要図を示す。金華山港の海岸保全施設としては護岸1施設（延長174m）があり、図中に点線で示している。この護岸は南寄りの波から港内を防護することを目的として設置されており、海岸保全施設の台帳においては「防波護岸」という名称が付けられている。

写真-3.5.1は、北側から見た港湾の全景である。写真中央を左右に横切るように伸びている施設のうち、左側3分の1ほどの部分が当該施設（防波護岸）である。

港湾管理者からのヒアリングによると、津波により護岸の堤体が損壊するような被害はなかったものの、地震に伴う地盤沈下により天端高さが鉛直方向に1m程度低下したとのことである。また、2013年度までの期間で嵩上げ工事を行っているとのことである。

写真-3.5.2(1)～(2)に、地点4-aから見た護岸の外観を示す。(2)で陸上部の上半分の白色に写っている部分が、地震発生後に嵩上げされた部分である。図-3.5.3に、断面図を示す。

写真-3.5.3(1)は、港内のふ頭の写真である。写真に示すとおり3つのふ頭があり、ここでは便宜的に南側（写真では奥側）から順にNo.1、2及び3として示した。No.1は、地盤沈下したため天端高さが不足しているふ頭である（写真-3.5.3(2)、地点4-b）。写真の撮影時刻である2013年12月15日午前11時45分は満潮に近く、ふ頭の天端の一部は浸水していた。なお、金華山港の潮位表が得られなかったため近傍の鮎川港の潮位表³⁸⁾を用いると、同時刻の鮎川港の推算潮位はT.P.+0.43mであった。写真-3.5.3(3)のとおり、同ふ頭にはふ頭に沿うように応急復旧のため鋼製の仮設栈橋が設けられている。

No.2及びNo.3には、全体を嵩上げするように地震後に復旧工事が行われている。写真-3.5.3(4)は、そのうち、南側のふ頭No.2である。

金華山神社の送迎車運転手からのヒアリングによれば、「津波の高さは金華山港近傍の鋼鉄製の鳥居に掲げてある扁額まで達した」とのことである。写真-3.5.4に、鳥居及びその周辺の状況を示す（地点4-c）。津波痕跡高さを被災地域全体で網羅的に調べている、公益社団法人土木学会海岸工学委員会・公益社団法人日本地球惑星科学連合の東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによる調査³⁹⁾では金華山の島内に調査地点は無く、最も近傍の調査地点（同調査における地点番号：CRIE-0029）であっても直線距離で約3.7km離れている。その点を踏まえると、今回の調査で金華山の最大津波高さの情報を収集できたことは、重要と考えている。目視では扁額の

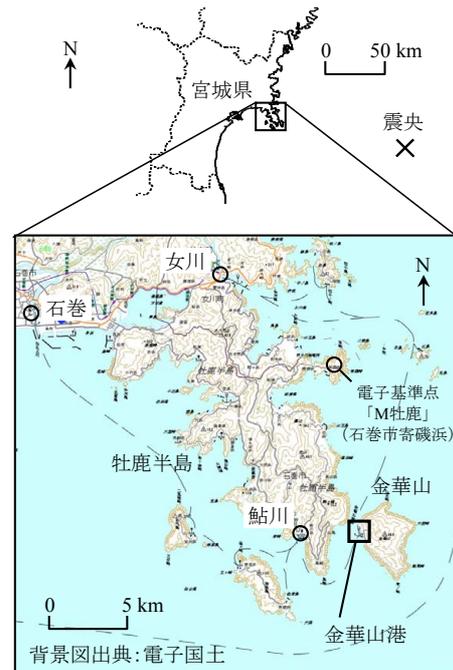


図-3.5.1 位置図



図-3.5.2 金華山港

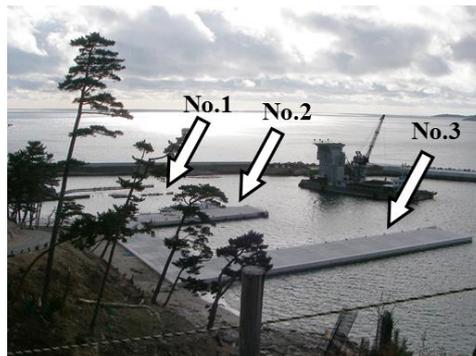


写真-3.5.1 北側から見た港湾の全景

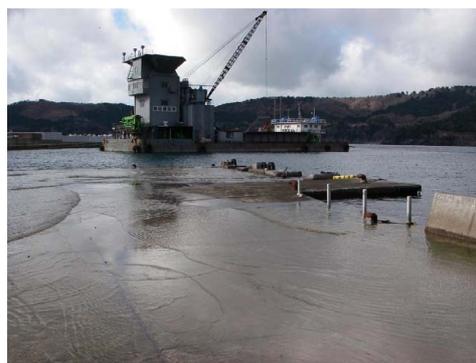
高さは鳥居の立っている地面から8～9m程度にみえるが、今回の調査では時間的な制約により扁額の高さの詳細な測量を行うことができなかった。今後、改めて扁額の高さの水準測量を行う必要がある。

なお、地盤高さは地震発生時に大きく沈下し、その後は緩やかな隆起に転じている。仮に扁額の高さの水準測量を行う場合、地盤の隆起を考慮して補正する必要があることを注記しておく。国土地理院によれば、牡鹿半島内の観測点（電子基準点名：M 牡鹿、宮城県石巻市寄磯浜）では地震発生前と比較して鉛直方向に 1.07 m 沈下し⁴¹⁾、そこから 2014 年 2 月まで（約 3 年間）に 0.3 m 程度隆起してきており、現時点もその傾向が継続している⁴²⁾。参考まで、東北地方太平洋沖地震に伴う鉛直方向の地殻変動量に関する主要な資料（いずれも、国土地理院がとりまとめ）としては、以下のものがある。

・「GPS 連続観測から得られた電子基準点の地殻変動・市町村ごとの地殻変動量（暫定）」⁴¹⁾：東北地方太平洋沖地震の本震による鉛直方向の地殻変動量をまとめたも



(1) 3つのふ頭（作業船がいる水域が港内）



(2) 地盤沈下で浸水しているふ頭（No.1）



(3) 鋼製の仮設栈橋

（手前のふ頭 No.1 に沿うように設置されている）



(4) 嵩上げされた新ふ頭（No.2）

写真-3.5.3 地点 4-b



(1) 護岸（左側が港外側、右側が港内側）



(2) 陸上部

写真-3.5.2 嵩上げされた防波護岸（地点 4-a）

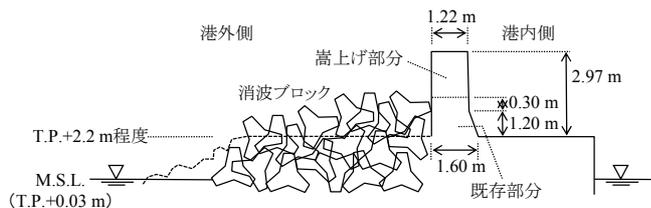


図-3.5.3 断面図（地点 4-a）

ので、主要な電子基準点（例えば、岩手県は34箇所、宮城県は25箇所）について記載されている。

・地理院地図（電子国土 Web）⁴³：「防災関連」より「東北地方太平洋沖地震・地殻変動量」を選択すると、上の資料41)よりも詳細に、利用可能な全ての電子基準点について東北地方太平洋沖地震の本震による鉛直方向の変動量を見ることが出来る。

・「東北地方の地殻変動量（地理院）」⁴²：地震予知連絡会では毎年2月及び8月に会報をとりまとめており、その一部を構成するものとして標記資料が国土地理院より継続的に提出されている。そのなかでは、関東・東北地方の電子基準点20箇所について、東北地方太平洋沖地震発生以降の鉛直方向の地殻変動量の時間変化が掲載されている。例えば、岩手県の沿岸部では「山田」（電子基準点番号950167）、宮城県の沿岸部では「M牡鹿」（同059071）及び「矢本」（同960549）が含まれている。

写真-3.5.5は、金華山港近傍の金華山神社の敷地内に設置されている、1933年の昭和三陸地震を記念する津波碑である（地点4-d）。碑文は「昭和八年三月三日大震災記念 地震があったら津浪の用心 それや来た逃げよう 五本松」である。



写真-3.5.5 昭和三陸地震津波の教訓を刻んだ石碑
 （地点4-d）

3.6 仙台塩釜港塩釜港区

(1) 東宮地区

図-3.6.1に、仙台塩釜港塩釜港区の周辺図を示す。また、図-3.6.2に、同港区東宮地区の周辺図を示す。東宮地区には胸壁が2施設あり、名称はそれぞれ「東宮浜胸壁」（延長544.5m、海岸保全区域台帳上の施設番号B-8-14）及び「東宮地区胸壁」（延長380.4m、同施設番号B-8-10）である。

なお、仙台塩釜港塩釜港区の地区名は、「港湾計画における地区名」と「海岸保全区域の管理上の地区名」（同表の第3列）とで異なる。表-3.6.1に、海岸保全施設の施設名（第2列）、港湾計画における地区名（第1列）及び海岸保全区域の管理上の地区名（第3列）を示す。本調査では「港湾計画における地区名」を用いる。

東宮浜胸壁については、胸壁の堤体に被害はなかった（写真-3.6.1）。ただし、地震に伴い地盤沈下が全体的



(1) 鳥居を南側から見た様子



(2) 鳥居を北側から見た様子

写真-3.5.4 扁額の高さまで津波が達した鳥居（地点4-c）



図-3.6.1 仙台塩釜港塩釜港区



図-3.6.2 仙台塩釜港塩釜港区東宮地区

表-3.6.1 仙台塩釜港塩釜港区の地区名対照表

港湾計画における地区名	海岸保全施設の施設名	海岸保全区域の管理上の地区名
東宮地区	東宮浜胸壁	東宮浜代ヶ崎地区
	東宮地区胸壁	
要害地区	要害浦胸壁	要害浦地区
一本松地区	貞山通(A)胸壁	中の島・貞山通地区
貞山地区	貞山通(B)胸壁	
港・貞山地区		(海岸保全区域ではなく臨港地区のため名称なし)
中の島地区	中の島(B)胸壁	中の島・貞山通地区
	中の島(C)胸壁	
港地区	西ふ頭胸壁	港町1丁目地区
	港町防潮堤 (千賀の浦胸壁を含む)	港町地区, 海岸通地区



(1) 海側地盤の状況



(2) 被害のない堤体

写真-3.6.1 地点 5-a

に発生していて、東宮浜の中央部から西側では、海側地盤を嵩上げる復旧工事が行われていた(写真-3.6.2)。地点 5-a は復旧工事のまだ行われていない場所である。図-3.6.3 に、水準測量により測定した、同地点の水際線から胸壁陸側までの断面図を示す。その結果、胸壁の天端高さは T.P.+2.17 m であった。設計天端高さは T.P.+2.69 m なので、両者の差を求めると、地震に伴う地盤沈下量は 0.52 m との結果になった。

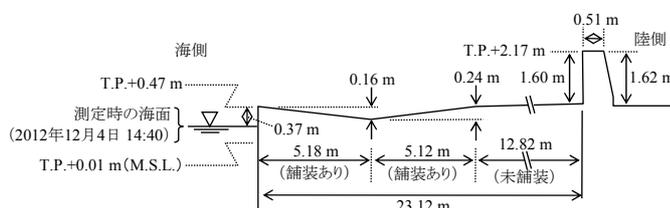


図-3.6.3 断面図 (地点 5-a)

東宮地区胸壁は、北側部分(追の浜)と南側部分(東宮棧橋背後)との大きく二つに分けることができる。北側部分では、胸壁の海側地盤の幅員は 5~20 m 程度で、胸壁のすぐ陸側には民家が建っている(写真-3.6.3(1)~(3))。地点 5-b は写真-3.6.3(2)の付近であり、同地点の断面図を図-3.6.4 に示す。胸壁の天端高さは T.P.+2.12 m であった。局所的に海側地盤の洗掘が生じていた 1 箇所 (N 38°18'44.9", E 141°2'59.2", 写真-3.6.3(4)) 以外には、胸壁の被害はほとんどなかった。

一方、南側部分では胸壁の海側に東宮棧橋があり(写真-3.6.4)、水際線から胸壁までの距離は 80~90 m 程度で、胸壁の陸側は幅員が比較的大きい幹線道路となっている。胸壁の被害はなかった(写真-3.6.5)。



写真-3.6.2 海側地盤を嵩上げる復旧工事の状況



(1) 海側地盤の幅員が5 m程度の部分



(2) 海側地盤の幅員が20 m程度の部分（地点5-b）



(3) 胸壁のすぐ陸側に建っている民家



(4) 海側地盤の洗掘

写真-3.6.3 東宮地区胸壁（北側部分）

(2) 要害地区

図-3.6.5に、仙台塩釜港塩釜港区要害地区の周辺図を示す。同地区には胸壁が1施設あり、名称は「要害浦胸

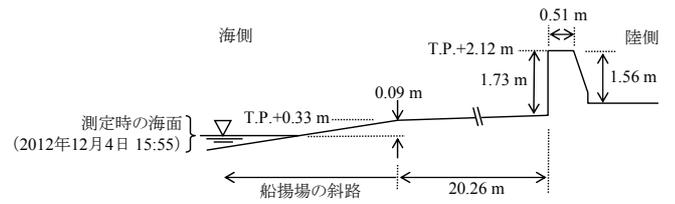


図-3.6.4 断面図（地点5-b）

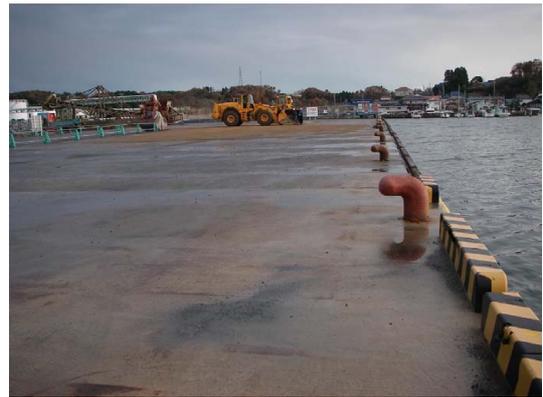


写真-3.6.4 東宮棧橋



写真-3.6.5 東宮地区胸壁（南側部分）

壁」（延長 647.7 m，海岸保全区域台帳上の施設番号 B-8-2）である。

要害浦胸壁は、北側部分と南側部分との大きく二つに分けることができる。

北側部分は、胸壁の海側地盤の幅員が3 m程度である。前面の海域はプレジャーボート、漁船等の係留・保管に利用されている（写真-3.6.6）。胸壁に大きな被害はなかった。法線と直交する方向に数センチメートル程度のずれが幾つかの場所で生じていたが、これが津波による被害であるかは不明である。地点5-cで、水際線から胸壁陸側までの水準測量を行った（写真-3.6.7、図-3.6.6）。その結果、胸壁の天端高さはT.P.+2.30 mであった。

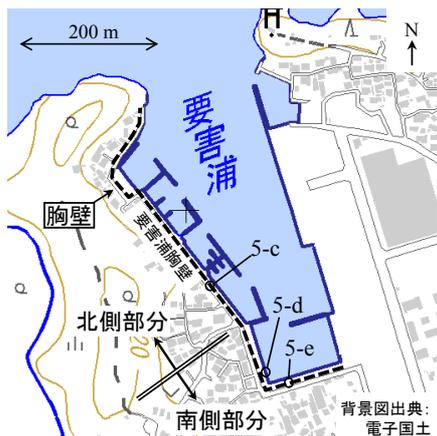


図-3.6.5 仙台塩釜港塩釜港区要害地区



写真-3.6.6 プレジャーボート等の係留・保管状況



写真-3.6.7 地点 5-c

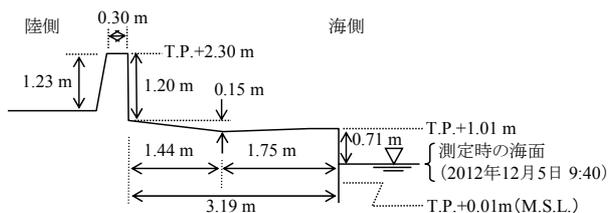


図-3.6.6 断面図 (地点 5-c)

南側部分は、胸壁の海側地盤の幅員が 10 m 程度である。

地点 5-d では、胸壁の被害はなかった。岸壁周辺は不同沈下が発生していた (写真-3.6.8)。写真中で測量用ポールを立てている面は、元々は岸壁と同じ高さであったが、地震後は岸壁の高さと比較して 0.3 m 程度の大きさで相対的に沈下していた。階段の上から 1 段目 (測量用ポールを立てている面の一つ下の段) が、階段の上から 2 段目よりも本来は高いはずであるが、現状ではそれよりも低くなっていることから、沈下していることが分かる。このような不同沈下に伴い、水際線から陸側へ 3~5 m 程度だけ離れた場所が沈下して窪んでいた。

地点 5-e も被害は上と同様で、胸壁の被害はなかった。岸壁周辺の不同沈下及びエプロンの沈下が発生していた。水際線から胸壁陸側までの測量を行った (写真-3.6.9)。その結果、胸壁の天端高さは T.P.+2.29 m であった (図-3.6.7)。

地点 5-c と地点 5-e で行った測量結果から、要害地区の胸壁の天端高さは T.P.+2.29~+2.30m であった。設計天端高さは T.P.+2.69 m である。両者の差を求めると、地震に伴う地盤沈下量は 0.39~0.40 m との結果になった。

(3) 一本松地区

図-3.6.8 に、仙台塩釜港塩釜港区一本松地区の周辺図を示す。同地区には胸壁が 1 施設あり、名称は「貞山通 (A) 胸壁」 (延長 1,132.4 m, 海岸保全区域台帳上の施設番号 B-8-15) である。貞山堀航路に沿って設けられており、胸壁海側には大型船の係留施設がある。係留施設を利用しているのは北側から順にカメイ、エクソンモービル、出光興産、昭和シェル石油、東西オイルターミナル (旧コスモ)、丸紅、品川燃料等で、背後地には各社の油槽所・オイルタンクが集中的に立地している。その工業地帯と海側の係留施設との間に胸壁が設けられている。

地点 5-f 及び 5-g において、北から南にむかう方向を見た状況を写真-3.6.10 及び写真-3.6.11 にそれぞれ示す。いずれも胸壁に被害はなかったが、海側地盤 (幅員 5~6 m 程度) は土の地盤が部分的に崩れている場所があった。また、地盤沈下に伴って地盤の一部が冠水していた。

地点 5-h も被害は上と同様で、胸壁に被害はなく、海側地盤は土の地盤が部分的に崩れている場所があった。また、地盤沈下に伴って地盤の一部が冠水していた (写真-3.6.12(1))。水際線から胸壁陸側までの断面形状の測量を行った (同(2))。その結果、胸壁の天端高さは T.P.+2.23 m であった (図-3.6.9)。設計天端高さは T.P.+2.69 m である。両者の差を求めると、地震に伴う地盤沈下量は 0.46 m との結果になった。



写真-3.6.8 岸壁周辺の不同沈下（地点 5-d）



図-3.6.8 仙台塩釜港塩釜港区一本松地区



(1) 海側地盤の状況



写真-3.6.10 地点 5-f



(2) 胸壁の天端高さの測定

写真-3.6.9 地点 5-e



写真-3.6.11 地点 5-g

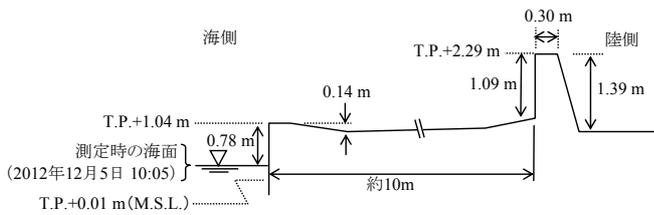


図-3.6.7 断面図（地点 5-e）



(1) 海側地盤の状況

写真-3.6.12 地点 5-h



(2) 胸壁の天端高さの測定
写真-3.6.12 地点 5-h



写真-3.6.13 地点5-i (左が海側, 右が陸側)

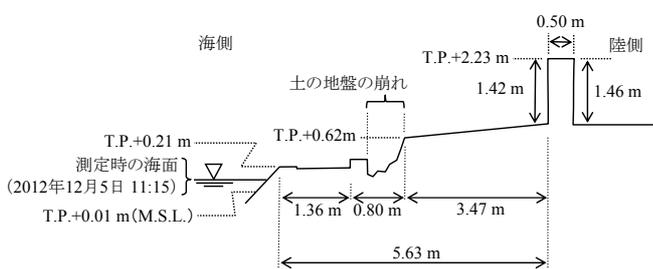


図-3.6.9 断面図 (地点 5-h)



写真-3.6.14 地点 5-j (左が海側, 右が陸側)

(4) 貞山地区

図-3.6.10 に、仙台塩釜港塩釜港区貞山地区の周辺図を示す。同地区から西側に隣接する港・貞山地区 (3.6(5)項を参照。)までひと続きの胸壁が設けられている。名称は「貞山通(B)胸壁」(2地区合計の延長 594.8 m、海岸保全区域台帳上の施設番号 B-8-16)である。同胸壁は、貞山1~4号ふ頭と東ふ頭の背後に位置し、水際線から離れている。水際線から胸壁までの水平距離は300~400 m程度である。胸壁陸側、海側ともに工場、倉庫、幹線道路等として利用されている。写真-3.6.13~写真-3.6.15に地点5-i~5-kで撮影した写真を示す。地点5-j及び地点5-kでは、胸壁の天端と地盤面の差は小さかった。



写真-3.6.15 地点5-k (左が陸側, 右が海側)



図-3.6.10 仙台塩釜港塩釜港区貞山地区

(5) 港・貞山地区

図-3.6.11に、仙台塩釜港塩釜港区港・貞山地区の周辺図を示す。前項で述べたとおり、東側に隣接する貞山地区から本地区までひと続きで設けられている「貞山通(B)胸壁」(2地区合計の延長594.8 m、海岸保全区域台帳上の施設番号B-8-16、前項で記載した情報を再掲)がある。前項と同様に、港・貞山地区においても胸壁は中ふ頭の背後に位置しているため水際線から300 m程度離れている。胸壁陸側、海側ともに工場、倉庫、幹線道路等として利用されている。写真-3.6.16~写真-3.6.18に、地点5-l~5-nで撮影した写真を示す。地点5-m及び地点5-nでは、胸壁の天端と地盤面の差は小さかった。



図-3.6.11 仙台塩釜港塩釜港区港・貞山地区



写真-3.6.16 地点5-l



写真-3.6.17 地点5-m



写真-3.6.18 地点5-n

(6) 中の島地区

図-3.6.12 に、仙台塩釜港塩釜港区中の島地区の周辺図を示す。同地区の胸壁2施設の調査を行った。名称はそれぞれ、「中の島(B)胸壁」(延長171.1m, 海岸保全区域台帳上の施設番号B-8-6)及び「中の島(C)胸壁」(延長542.2m, 同施設番号B-8-8)である。同地区の胸壁は貞山運河に沿って設けられており、海側には比較的古い時代に建設されたと考えられる幅員1~2m程度の狭い物揚場がある。さらにその前面には、中の島(B)胸壁の最も北側の部分(北端~地点5-oまでの範囲)を除き、延長のほとんどの区間で幅員5m程度の栈橋式の物揚場が新たに設けられている。これらの施設には、プレジャーボートが係留されている(写真-3.6.19及び図-3.6.13)。

地点5-oは、前述のとおり、海側には幅員2m程度の狭い物揚場はあるが、栈橋式の物揚場は無い区間である。また、胸壁の法線が曲がっているコーナー部である。この場所では、引波による海側の物揚場の流失、陸側地盤の洗掘・陥没が生じていた(写真-3.6.20(1)~(2))。コーナー部であるため、海陸方向の堤体の変位の有無を把握するのは難しかったが、堤体間の目地部分には法線方向に最大6cmの目開きが生じていたので(同(3))、目開きが生じる程度に胸壁堤体も変位したようである。被害の発生過程としては、引波により海側地盤全体が流失し、堤体間が目開きする程度に変位する被害が発生したというものが考えられる。

海側の物揚場が残存した部分で断面形状の測定を行った(同(4))。測定位置は、図-3.6.14(1)のA-A'断面である。その結果、天端高さはT.P.+2.40mであった。また、海側地盤の幅員は1.76mであった(同(2))。既往の資料(国総研資料No.658)で著者らが調べた事例では、胸壁の海側地盤の幅員は3~56mであった。それと比較すると、地点5-oの海側地盤の幅員(1.76m)は小さいといえる。



図-3.6.12 仙台塩釜港塩釜港区中の島地区



写真-3.6.19 中の島(B)胸壁及び海側地盤



(3) 堤体間の目開き (最大6 cm, 陸側からみた状況)

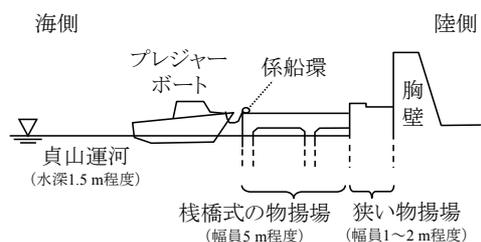


図-3.6.13 運河～胸壁の断面の概念図



(4) 胸壁の天端高さの測定

写真-3.6.20 地点 5-o



(1) 流失している海側地盤

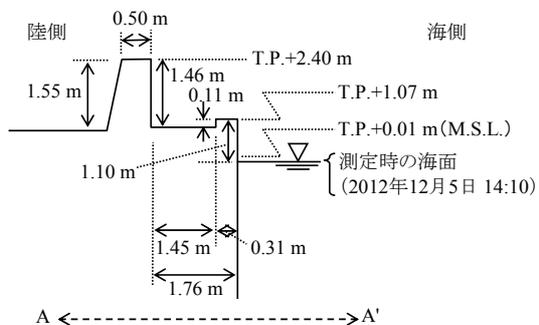


(1) 平面的な位置関係図



(2) 陸側地盤の洗掘

写真-3.6.20 地点 5-o



(2) 断面図

図-3.6.14 地点 5-o

地点5-pでは、海側の物揚場の舗装が剥離する被害があった（写真-3.6.21）。

地点5-qは、陸側から海側へ向かって順に、胸壁、幅員1m程度の狭い物揚場及び幅員5m程度の栈橋式の物揚場がある（写真-3.6.22(1)）。胸壁に被害はなかった。水際線から胸壁陸側までの断面形状の測量を行った（同(2)）。なお、測量の際は、測定は「No.63」と書かれた係船環を通るように断面を設定した。その結果、胸壁の天端高さはT.P.+2.29mであった。また、海側地盤の幅員は5.53mであった（図-3.6.15）。

地点5-rでは、水叩き部分の舗装の破損とともに陸側地盤が洗掘される被害が発生していた（写真-3.6.23）。

地点5-sでは、津波の引波により門扉が開放されたまま閉まらない状態となっており、応急復旧のため土のうが積みあげられていた（写真-3.6.24）。

地点5-tは中の島(C)胸壁の最も南端の部分であるが、被害はなかった（写真-3.6.25）。

地点5-oと地点5-qで行った測量結果から、胸壁の天端高さはT.P.+2.29～+2.40mであった。設計天端高さはT.P.+2.69mである。両者の差を求めると、地震に伴う地盤沈下量は0.29～0.40mとの結果になった。



(2) 胸壁の天端高さの測定状況

写真-3.6.22 地点5-q

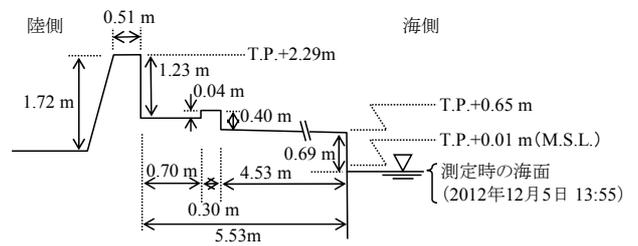


図-3.6.15 断面図（地点5-q）



写真-3.6.21 胸壁海側の物揚場の舗装の剥離
 (地点5-p)



写真-3.6.23 陸側地盤の洗掘（地点5-r）



(1) 被害のない胸壁

写真-3.6.22 地点5-q



(1) 海側からみた状況

写真-3.6.24 門扉の被害（地点5-s）



(2) 陸側からみた状況

写真-3.6.24 門扉の被害 (地点 5-s)



写真-3.6.25 被害のない胸壁 (地点 5-t)

あった。海側地盤の水際線から胸壁堤体までの幅員は 3～5 m 程度で、地盤が海側に傾斜して胸壁堤体との間に空隙が生じている場所もあった (写真-3.6.27(4))。

地点 5-w は、胸壁の海側に幅員の比較的大きい棧橋式ふ頭がある。胸壁、棧橋式ふ頭ともに被害はなかった (写真-3.6.28(1))。水際線から胸壁陸側まで断面形状の測量を行った (同(2))。その結果、水際線と胸壁堤体の距離は 27.4 m、天端高さは T.P.+2.26 m であった (図-3.6.18)。地点 5-x では、陸間の門扉が外れていた。門扉がなくなった通路部分には土のうが積まれていた (写真-3.6.29)。



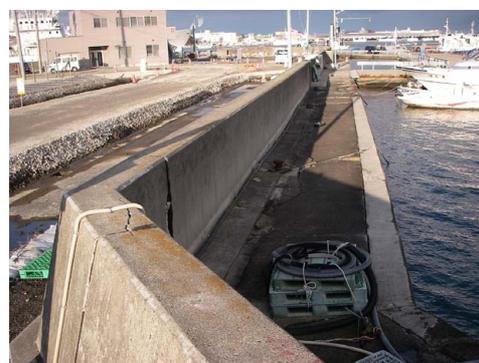
図-3.6.16 仙台塩釜港塩釜港区港地区

(7) 港地区

図-3.6.16 に、仙台塩釜港塩釜港区港地区の周辺図を示す。同地区には胸壁と防潮堤が計 2 施設ある。名称はそれぞれ、「西ふ頭胸壁」(延長 465 m、海岸保全区域台帳上の施設番号 B-8-1) 及び「港町防潮堤」(延長 620.6 m、同施設番号 B-3-8) である。なお、港町防潮堤の西側半分を「千賀の浦胸壁」と呼ぶこともあるが、海岸保全区域台帳上は一括して「港町防潮堤」という名称となっているので、ここでは「港町防潮堤」の名称を採用した。

地点 5-u では、胸壁の陸側で地盤を広範囲に嵩上げする復旧工事が行われていた。また、堤体の一か所にひび割れが発生していた (写真-3.6.26(1)～(2))。海側地盤の水際線から胸壁堤体までの幅員は 2 m 程度である。同地点の北側近傍には、空中発射式超音波潮位計が設置されている (写真-3.6.26(3))。

地点 5-v (ア)～(ウ) は、胸壁の法線が海側に向かって凸状に突き出した先端部である (図-3.6.17)。ここでは、引波により胸壁堤体が海側に変位し、堤体同士の間でずれが発生していた。ずれの大きさを (ア)～(ウ) の 3 か所でそれぞれ測定した (写真-3.6.27)。その結果、法線方向 (水際線と平行な方向) の目地開きは 0.05～0.15 m、法線直交方向 (海陸方向) のずれは 0.10～0.38 m で



(1) 陸側地盤の嵩上げと堤体のひび割れ



(2) (1)の写真中の左下のひび割れ部分

写真-3.6.26 地点 5-u



(3) 空中発射式超音波潮位計
 写真-3.6.26 地点 5-u

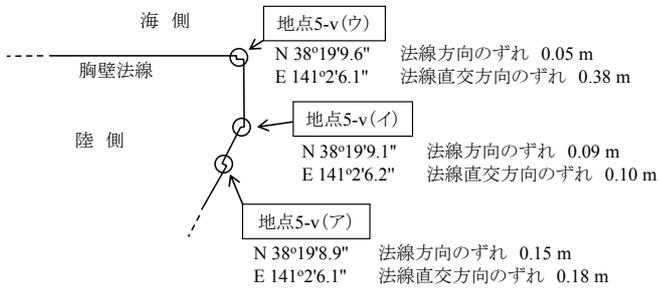


図-3.6.17 胸壁の堤体同士のずれの大きさ（地点5-v）



(3) ずれの大きさの測定（イ）



(4) ずれの大きさの測定（ウ）

写真-3.6.27 地点 5-v



(1) 引波による胸壁堤体の海側への変位



(1) 被害のない栈橋式のみ頭（左が海側，右が陸側）



(2) ずれの大きさの測定（ア）

写真-3.6.27 地点 5-v



(2) 胸壁の天端高さの測定

写真-3.6.28 地点 5-w

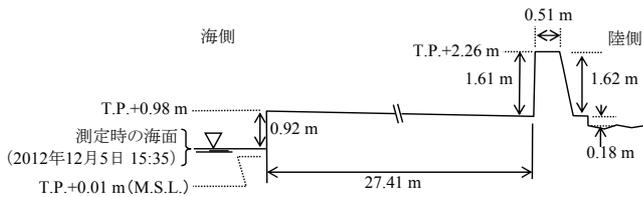


図-3.6.18 断面図 (地点 5-w)



写真-3.6.29 陸側の門扉の被害 (地点 5-x)

港町防潮堤について、地点 5-y では胸壁の海側地盤の舗装の表面がひび割れして不同沈下を起こしていた。ただし、胸壁の堤体には被害はなかった(写真-3.6.30)。

地点 5-z から地点 5-α では、海側地盤及び陸側地盤の両方に洗掘の被害が発生していた(写真-3.6.31 及び写真-3.6.32)。

地点 5-β では、海側地盤の不同沈下が全面的に発生していた(写真-3.6.33(1))。地盤の不同沈下の程度は、地点 5-y から地点 5-α の区間よりも被害が大きくなっている。被害が大きくなった原因は、海側地盤の構造形式、液状化に対する耐性等の違いが考えられるが、筆者はその点について情報を把握しておらず、原因の詳細は不明である。水際線から胸壁陸側までの断面形状の測量を行った結果、胸壁の天端高さは T.P.+2.31 m であった(図-3.6.19)。ただし、胸壁堤体に貼り付けられている化粧板の厚さ(4 cm 程度)を差し引くと T.P.+2.27 m となる。海側地盤の幅員は約 7.6 m であり、地点 5-y から地点 5-α の区間の海側地盤の幅員が 15 m 程度であるのと比べると小さくなっている。さらに、同地点では、陸側地盤の舗装に被害が発生している(写真-3.6.33(2))。なお、同(2)で調査員が立っている場所よりも 20~30 m 奥側は、津波で漂流した船舶が胸壁に乗り上げて漂着していた場所である(図-3.6.20)。

地点 5-β ~5-γ の間の区間では、胸壁堤体に貼り付けられている化粧板(厚さ 4 cm 程度)が剥離する被害が発生していたものの、コンクリート躯体部分に大きな被害



写真-3.6.30 海側の舗装ひび割れと不同沈下 (左が海側, 右が陸側, 地点5-y)



写真-3.6.31 地盤の洗掘 (左が陸側, 右が海側, 地点5-z)

はなかった(写真-3.6.34及び写真-3.6.35)。

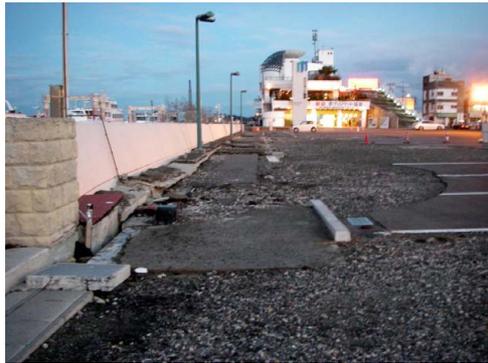
地点 5-w と地点 5-β (化粧板の厚さを差し引いた場合)の測量結果から、胸壁の天端高さは T.P.+2.26~+2.27 m であった。設計天端高さは T.P.+2.69 m である。両者の差を求めると、地震に伴う地盤沈下量は 0.42~0.43 m との結果になった。

写真-3.6.36 は、地点 5-y 付近(マリゲート塩釜東側の駐車場)に掲示されている防潮堤の整備高さ目安を示す看板である。左から順に、「これまでの計画防潮堤高さ(T.P.+2.7 m)」、「必要防潮堤高(T.P.+3.3 m)」及び「必要防潮堤高+余裕高(T.P.+4.3 m)」と書かれた線が記されている。

写真-3.6.37 は、東北地方太平洋沖地震に伴う津波が到達した高さをマリゲート塩釜の1階フロア内、東側出口及び西側出口付近に表示しているものである。参考まで、公益社団法人土木学会海岸工学委員会・公益社団法人日本地球惑星科学連合の東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ³⁹⁾によれば、最も近傍の痕跡(マリゲート塩釜前のふ頭、北緯38.3197度・東経141.0294度、地点番号JMAH-0030)の浸水高さは T.P.+3.952 m となっている。



(1) 海側地盤の洗掘



(2) 陸側地盤の洗掘

写真-3.6.32 地点 5-α (左が海側, 右が陸側)

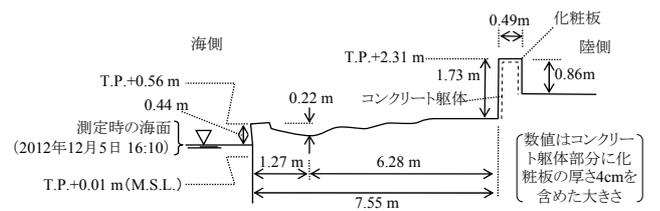


図-3.6.19 断面図 (地点 5-β)



図-3.6.20 胸壁に乗り上げて漂着した船舶
 (写真は Google Earth より, 2011年4月6日時点)



(1) 胸壁の海側地盤の状況



(2) 胸壁の天端高さの測定

写真-3.6.33 地点 5-β



写真-3.6.34 堤体の化粧板が剥離する被害
 (地点5-βと地点5-γの間の区間)



写真-3.6.35 地点 5-γ



写真-3.6.36 防潮堤の整備高さの目安を示す看板
(地点5-y付近)



(1) マリンゲート塩釜の1階フロア内



(2) マリンゲート塩釜の東側出口



(3) マリンゲート塩釜の西側出口

写真-3.6.37 到達した津波の高さの表示

3.7 大船渡港（国総研資料 No. 658 の追補・訂正）

図-3.7.1に、大船渡港の周辺図を示す。大船渡港の海岸保全施設の被害については、国総研資料 No.658 で既に報告しているが、そのうち永浜地区の胸壁は2011年6月の調査時にふ頭が冠水していたため、断面形状が測量できていなかった。そこで、その情報を追加して補足するための調査を行った。また、国総研資料 No.658 において、同港茶屋前地区の胸壁の「一部の堤体は基礎の鋼矢板が折れていた」と報告したが、この記述は誤りであったことを確認したので、本資料において訂正する。

(1) 永浜地区

図-3.7.2に、永浜地区の周辺図を示す。同地区には図中に点線で示す位置に防潮施設が設けられており、延長は853mである。

地点6-aで、胸壁に被害は発生していない(写真-3.7.1)。なお、既報の国総研資料 No.658 ではこの地点を「地点1-j」と呼んでいる。水際線から胸壁陸側までの断面形状の測量を行った。その結果、胸壁の天端高さはT.P.+2.07mであった(図-3.7.3)。海岸保全施設台帳によると地震発生前の胸壁の天端高さはT.P.+2.60mなので、現地調査時点では、両者の差である0.53mの地盤沈下が地震発生前と比べ生じている結果となった。地震発生直後の地盤沈下量は、国土地理院⁴³⁾によると大船渡市中心部の沿岸3か所(一等水準点 No.6788~6790)で0.67~0.70mの範囲であった。これに比較すると今回の測定した地盤沈下量(0.53m)は小さく、地震発生から今回の調査まで約1年7か月(2011年3月~2012年10月)の間に、



図-3.7.1 大船渡港



図-3.7.2 大船渡港永浜地区

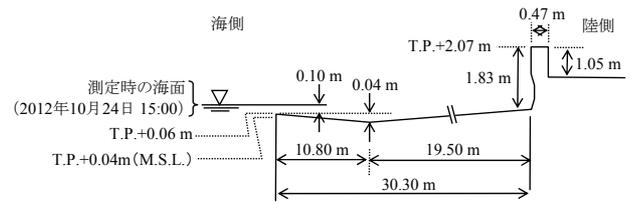


図-3.7.3 断面図（地点6-a）



(1) 胸壁海側の状況



図-3.7.4 大船渡港茶屋前地区



(2) 胸壁の天端高さの測定



(3) 胸壁陸側の状況

写真-3.7.1 地点6-a

いったん沈下した地盤高が緩やかに上昇している影響が今回の測量結果には含まれている可能性がある。

(2) 茶屋前地区

図-3.7.4に、茶屋前地区の周辺図を示す。

地点6-bで、胸壁が陸側に向かって倒壊する被害が発生した（既報）。なお、国総研資料No.658ではこの地点を「地点1-r」と呼んでいる。今回の調査では、地中に残った止水矢板の状況を改めて詳細に観察した。

写真-3.7.2(1)に示すとおり、陸側に向かって倒壊した堤体の下部は矢板の形状に波打っている。国総研資料No.658では、これをもって矢板が途中で折れていると指摘していた。しかし、これはコンクリートが矢板の形に添うように施工されて固まったもので、倒壊にともなって剥がれたのであって、金属の矢板自体は折れることなく地盤中に残留して直立している（写真-3.7.2(2)）。従って、国総研資料No.658の記載は過誤である。

図-3.7.5は、同地点付近の堤体の標準断面図である。同図は、宮城県が作成した海岸保全施設台帳の関連資料に掲載されている図を基に、必要な部分をだけ抽出するように簡略化をして筆者が作成したものである。これによると、堤体はほとんど一体として陸側に転倒したが、一部だけ（止水矢板の海側かつ止水矢板天端よりも下の部分）は堤体本体と分かれて地盤中に残ったようである。

以上より、表-3.7.1に同資料の記載事項の訂正を一覧として示し、ここに訂正する。



(1) 陸側に倒壊した堤体と地中に残留した止水矢板



(2) 止水矢板付近を拡大して撮影した写真
写真-3.7.2 地点 6-b

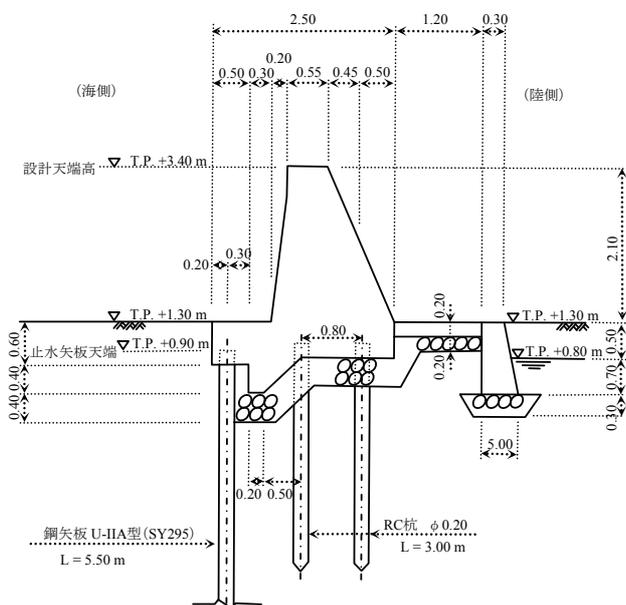


図-3.7.5 堤体の標準断面図

表-3.7.1 国総研資料 No.658 の記載事項の訂正一覧

場所	原文	訂正
8ページ, 左列, 19行目	L型堤体・鋼矢板式基礎	L型堤体・杭式基礎
8ページ, 左列, 20~22行目	一部の堤体は・・・錆が発生していた。	(削除)
8ページ, 左列, 27行目	鋼矢板の折れや,	(削除)
8ページ, 左列, 30~32行目	また, 鋼矢板の・・・検討が必要である。	(削除)
9ページ, 右列, 写真-3.2.29のタイトル	鋼矢板折れ(地点1-r)	倒壊に伴い止水矢板から剥離した堤体の基部(地点1-r)

3.8 雄勝港 (国総研資料 No. 658 の追補)

図-3.8.1に、雄勝港の周辺図を示す。雄勝港の海岸保全施設の被害については、国総研資料 No.658 で既に報告しているが、そのうち大浜地区及び唐桑地区の胸壁について、2011年の調査時には縦断断面が測量できていなかった。そこで、その情報を追加して補足する調査を大浜地区及び唐桑地区の計2地区で行った。

(1) 大浜地区

また、図-3.8.2に、雄勝港大浜地区の周辺図を示す。

地点 7-a の胸壁に被害はなかった(既報)。地震動の影響により地域全体が地盤沈下しているの、必要な高さ確保のためにふ頭は応急的に土砂で全体に嵩上げされている(写真-3.8.1(1))。そのうち、水際線付近の一部の区間は嵩上げ前の岸壁が露出していた(同(2))。そこで、その場所から陸側に向かい地点 7-a を通るよう、断面形状の測量を行った(同(3))。その結果、胸壁の天端高さの測定値は T.P.+2.70 m であった(図-3.8.3)。

地点 7-b では、地点 7-a と同様、胸壁に被害はなく、ふ頭は応急的に土砂で全体に嵩上げされている(写真-3.8.2)。そのうち一部の区間は嵩上げ前の壁が露出していた。地点 7-a と同様、その場所から陸側に向かい地点 7-b を通るよう、断面形状の測量を行った。その結果、胸壁の天端高さは T.P.+2.74 m であった(図-3.8.4)。



図-3.8.1 雄勝港



図-3.8.2 雄勝港大浜地区



(1) 被害のない胸壁及び嵩上げされたふ頭



(1) 被害のない胸壁及び嵩上げされたふ頭



(2) 嵩上げされずに露出している一部の岸壁



(2) 嵩上げされずに露出した一部の岸壁



(3) 胸壁の天端高さの測量



(3) 胸壁の天端高さの測量

写真-3.8.1 地点 7-a

写真-3.8.2 地点 7-b

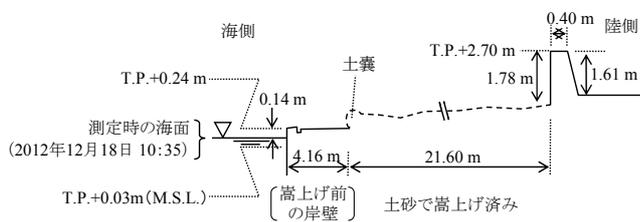


図-3.8.3 断面図（地点 7-a）

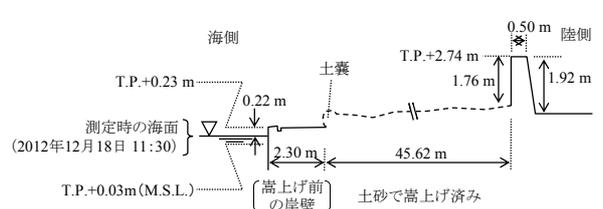


図-3.8.4 断面図（地点 7-b）

(2) 唐桑地区

図-3.8.5 に、雄勝港唐桑地区の周辺図を示す。同地区はほとんどの区間に護岸が設置されているが、南端部の一部には小規模なふ頭及び延長の短い胸壁が設けられている。今回は、この胸壁について追加調査を行った。

図-3.8.6 に、胸壁の周辺を拡大して示す。胸壁は、図中に太い直線で示すとおり約 70 m の延長で設けられている。そのうち、北端の 10 m 程度の堤体一函は陸側に転倒していたが、この函はふ頭角部の、護岸と胸壁の接続部分に設けられたもので護岸というよい構造の堤体である。したがって、胸壁の被害という観点から除外した。残りの区間は堤体が原位置に残存していた。また、地震動の影響により地域全体が地盤沈下しているため、ふ頭は天端高さが低くなっており、必要な高さを確保するために、調査時点では図中に点線で囲んで示すとおりふ頭は応急的に土砂で T 字型に嵩上げされていた。そこで、嵩上げされずに岸壁が露出して、かつ、堤体が原位置に残存した区間である測線 A-A' について断面形状の測量を行った。

写真-3.8.3(1)に、ふ頭を北側から見た状況を示す。同(2)は、上述のとおり、ふ頭の角部の、護岸と胸壁の接続部分に設けられた堤体の一函が陸側へ転倒している状況



図-3.8.5 雄勝港唐桑地区



図-3.8.6 胸壁の周辺の拡大図

である。同(3)は、今回の調査で水際線から胸壁陸側まで断面形状の測量を行った測線付近の状況で、写真に映っているふ頭のうち奥側半分が嵩上げされずに露出した岸壁である。測量の結果、胸壁の天端高さの測定値は T.P.+2.57 m であった (図-3.8.7)。



(1) ふ頭を北側から見た状況



(2) 護岸に類似した構造の堤体が陸側に転倒した状況



(3) 嵩上げされずに露出した岸壁 (測線 A-A')



(4) 胸壁の天端高さの測定

写真-3.8.3 断面形状の測量 (地点 7-c)



(5) 胸壁の断面



(6) 胸壁の陸側の測定



(7) 潮位の測定

写真-3.8.3 断面形状の測量（地点 7-c）

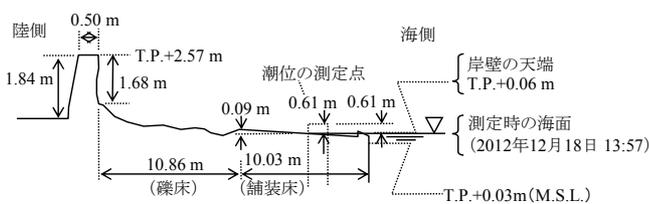


図-3.8.7 断面図（地点 7-c）

3.9 女川港（国総研資料 No. 658 の追補）

図-3.9.1 に、女川港の周辺図を示す。また、図-3.9.2 に、同港横浦地区の周辺図を示す。

地点 8-a で得られた津波の最大遡上高さの証言については、国総研資料 No.658 で既に報告している。ただし、時間的な制約により同資料のとりまとめ時点では詳細な測量を行うことができず、同資料には最大遡上高さを簡易に推定した結果を記載しただけであった。そこで、改めて水準測量を行い、津波の遡上高さの測量を行ったものである。

2011年8月に得られた証言を、国総研資料 No.658 から引用すると、以下のとおりである。「住民からのヒアリングによると、海岸近傍の山の斜面に祀られた二渡神社（略）に住民1名が避難したとのことである。そして、海岸と神社とをつなぐ参道階段のうち上から三段を残して、津波により浸水したとのことである。」

今回の調査では、水際線から胸壁周辺、神社の鳥居、参道階段へと至る経路で、レベルの設置位置を適宜移動しながら、参道階段の76段目の高さまで連続的に水準測量を行った（写真-3.9.1 及び写真-3.9.2）。その結果、津波の遡上高さは T.P.+16.60 m であった（図-3.9.3）。

この水準測量結果のデータは、公益社団法人土木学会海岸工学委員会・公益社団法人日本地球惑星科学連合の東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによる調査³⁹⁾のデータベースのなかに2012年12月時点をもって取り入れられ、地点番号「NILI-0012」として津波痕跡高さの情報の一つとしてデータ化されている。また、この値は、同グループの調査で最も近傍の点（地点番号 OSKU-0038、距離は約190m 離れている）で観察された津波の浸水高さ T.P.+14.638 m という値とも整合的である。



図-3.9.1 女川港



図-3.9.2 女川港横浦地区



(3) 胸壁の天端高さの測定

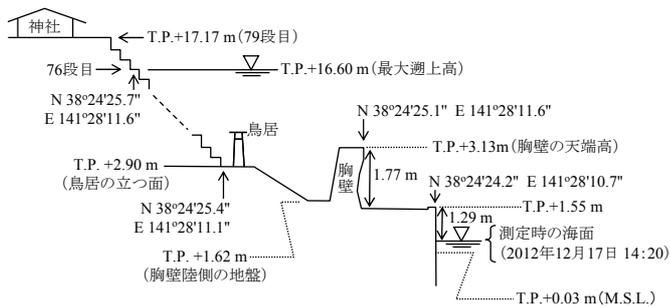


図-3.9.3 断面図 (地点 8-a)



(4) 最大遡上位置の測定

写真-3.9.1 水準測量 (地点 8-a)



(1) 測量した場所の全景

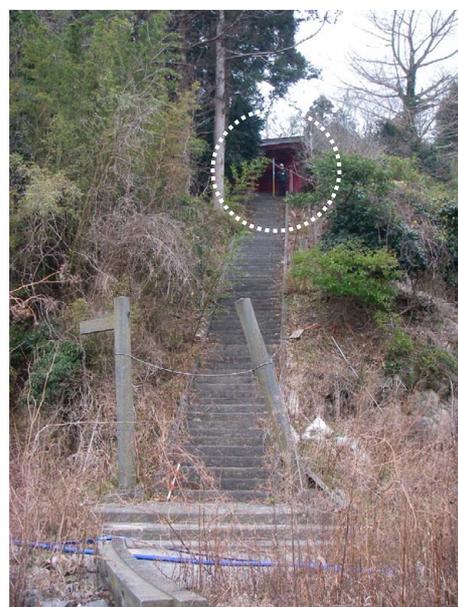


写真-3.9.2 最大遡上位置

(写真中央上部の紺色の服の調査員が立っている位置)



(2) 潮位の測定

写真-3.9.1 水準測量 (地点 8-a)

地点 8-b の胸壁に被害はなかった（既報）。ただし、時間的な制約により国総研資料 No.658 のとりまとめ時点では水際線から胸壁陸側までの断面形状の測量を行うことができていなかった。そこで、今回の調査で改めて測量を行ったものである（写真-3.9.3）。その結果、胸壁の天端高さの測定値は T.P.+3.12 m であった（図-3.9.4）。



(1) 北側からみたふ頭及び胸壁の状況



(2) 胸壁の天端高さの測定

写真-3.9.3 地点 8-b

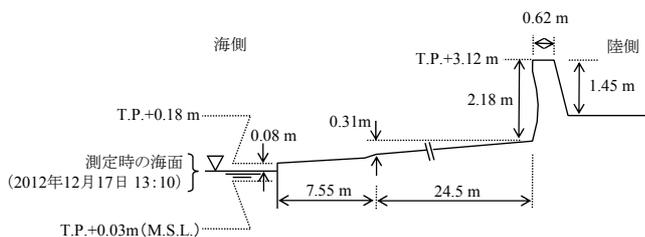


図-3.9.4 断面図（地点 8-b）

4. 結論

本調査は、海岸保全施設の耐津波設計に資するため、港湾区域にある海岸保全施設のうち胸壁（防潮壁を含む。）及び護岸について、2011年東北地方太平洋沖地震及び津波による被害を記録し、特に胸壁については被害類型を整理することを目的とした。その結果は以下のとおりである。

- ・岩手県及び宮城県の8港19地区の海岸保全施設等を対象に被害調査を行い、胸壁及び護岸を中心とした被害を記録した。
- ・胸壁について、軽微な被害から比較的大きな被害までの被害類型を整理した。すなわち、現地で観察された被害を「堤体の破壊」、「地盤の洗掘・堤体の変位」及び「運用上の機能不全」の3つに大きく区分したうえで、それぞれの区分について「軽微な被害」（簡易な補修または補修なしで機能確保できる程度の被害）から「比較的大きな被害」（修理・据え直し、断面設計見直し等が必要な程度の被害）までという被害程度の順に並べた。整理にあたり、既往の報告²⁾と同様な整理を試みたものに、今回の調査で胸壁の被害について「引波による堤体の小規模な滑動・傾斜」の事例及び「波力による堤体の転倒」の事例を新たに収集できたので、それらを追加した。また、既往の報告で整理したもののうち一部の項目について表現の修正を行った。
- ・2011年東北地方太平洋沖地震及び津波により、胸壁について、「堤体の破壊」に関する被害類型としては、1) ひび割れ・化粧板剥離、2) 漂流物の衝突・堤体同士の接触による欠損、3) 堤体上部の破壊が生じていたことが分かった。堤体全体が破壊するような事例はなかった。「地盤の洗掘・堤体の変位」に関する被害類型としては、4) 軽微な地盤洗掘・舗装被害、5) 越流した流れによる地盤洗掘、6) 引波による地盤洗掘、7) 引波による堤体の小規模な滑動・傾斜、8-1) 波力による堤体の転倒、8-2) 波力・洗掘の複合要因による堤体の転倒が生じていたことが分かった。また、「運用上の機能不全」に関する被害類型としては、9) 船舶、ガレキ、土砂等の堆積、10) フラップゲートの開閉不全、11) 陸閘の破損、12) 地域全体の地盤沈下で嵩上げが必要との被害が生じていたことが分かった。以上のとおり、地震・津波による胸壁の被害を12種類に分類することができた。

（2014年2月14日受付）

謝辞

本調査の実施にあたり、八木港及び久慈港の調査では、国土交通省東北地方整備局釜石港湾事務所、同八戸港湾・空港整備事務所の各位に調査のための事前調整をしていただき、お世話になりました。

釜石港及び大船渡港の調査では、国土交通省東北地方整備局釜石港湾事務所・村上明宏所長、同事務所第一工務課・川合政伸課長をはじめ各位にお世話になりました。

金華山港の調査では、港湾管理者である宮城県の石巻港湾事務所工務班各位にヒアリングに対応して頂き、被害状況について情報を頂きました。また、宮城県仙台塩釜港湾事務所港政班、国土交通省東北地方整備局仙台塩釜港湾事務所石巻出張所の各位に調査のための事前調整にご協力を頂きました。

仙台塩釜港塩釜港区の調査では、宮城県仙台塩釜港湾事務所・日野淳技術次長、桐山修平港政班主事、国土交通省東北地方整備局塩釜港湾・空港整備事務所をはじめ各位にお世話になりました。

ここに記して、関係各位に御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 海岸保全施設技術研究会：海岸保全施設の技術上の基準・同解説，pp.3-19-3-76，財団法人沿岸開発技術研究センター，2004.
- 2) 熊谷兼太郎・渡邊祐二・長尾憲彦・鮎貝基和：2011年東北地方太平洋沖地震津波による海岸保全施設の被害調査，国土技術政策総合研究所資料，No.658，39p.，2011.
- 3) 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報告，p.11，2011年9月28日.
- 4) 海岸における津波対策検討委員会：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，9p.，2011年11月17日.
- 5) 加藤史訓・稲垣茂樹・福濱方哉：津波により海岸堤防に作用する波力に関する大型模型実験，海岸工学論文集，土木学会，第52巻，pp.756-760，2005.
- 6) 秋山義信・岩前伸幸・池谷毅：盛土上の防潮施設に作用する津波波力，土木学会論文集B3(海洋開発)，Vol.69，No.2，pp.I_305-I_310，2013.
- 7) 鳩貝聡・諏訪義雄・加藤史訓：津波の越流による海岸堤防の裏法尻の洗掘に関する水理模型実験，土木学会論文集B2(海岸工学)，Vol.68，No.2，pp.I_406-I_410，2012.
- 8) 小竹康夫・磯部雅彦：津波の越流時に海岸堤防の法面に作用する圧力特性に関する実験的研究，土木学会論文集B2(海岸工学)，Vol.68，No.2，pp.I_891-I_895，2012.
- 9) 中尾秀之・佐藤慎司・Harry YEH：津波の越流による海岸堤防の破壊メカニズムに関する研究，土木学会論文集B2(海岸工学)，Vol.68，No.2，pp.I_281-I_285，2012.
- 10) 林建二郎・大井邦昭・河野茂樹：粘り強い構造の海岸堤防に用いられる護岸ブロックの安定性に関する基礎的研究，土木学会論文集B2(海岸工学)，Vol.69，No.2，pp.I_946-I_950，2013.
- 11) 石河雅典・上月康則・山中亮一・大久保陽介：津波に対する緩傾斜堤の粘り強さのメカニズムに関する考察，土木学会論文集B2(海岸工学)，Vol.68，No.2，pp.I_1336-I_1340，2012.
- 12) 石河雅典・上月康則・山中亮一・大久保陽介：津波越流時の海岸堤防への作用外力と構造形式との関連性に関する数値的考察，土木学会論文集B3(海洋開発)，Vol.69，No.2，pp.I_311-I_316，2013.
- 13) 谷田栞・持田祐輔・高橋章浩：越流に対する堤防の安定性に与える浸透の影響，第48回地盤工学研究発表会発表講演集，公益社団法人地盤工学会，Vol.48，pp.1223-1224，2013.
- 14) 谷本勝利・鶴谷広一・中野晋：1983年日本海中部地震津波における津波力と埋立護岸の被災原因の検討，第31回海岸工学講演会論文集，土木学会，pp.257-261，1984.
- 15) 小竹康夫・松村章子・荒木進歩：岸壁に設置した防護壁を越流する津波の圧力特性，土木学会論文集B2(海岸工学)，Vol.69，No.2，pp.I_806-I_810，2013.
- 16) 国土交通省港湾局：港湾における防潮堤(胸壁)の耐津波設計ガイドライン，18p.，2013.
- 17) 朝倉良介・岩瀬浩二・池谷毅・高尾誠・金戸俊道・藤井直樹・大森政則：護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究，海岸工学論文集，土木学会，第47巻，pp.911-915，2000.
- 18) 池谷毅・朝倉良介・藤井直樹・大森政則・入谷剛・柳沢賢：陸上構造物に作用する津波波圧の時空間変動特性，海洋開発論文集，第21巻，pp.121-126，2005.
- 19) 池野正明・松山昌史・榊山勉・柳沢賢：陸上に遡上したソリトン分裂津波の波力に関する実験的研究，海岸工学論文集，土木学会，第53巻，pp.776-780，2006.
- 20) 傳亮司・小竹康夫・荒木進歩：津波防御施設としての胸壁天端高決定手法に関する検討，土木学会論文集B3(海洋開発)，Vol.68，No.2，pp.I_78-I_83，2012.
- 21) 岩崎敏夫・富樫宏由：遡上津波に対する陸堤の効果に関する研究，第14回海岸工学講演会講演集，土木学会，pp.179-181，1967.
- 22) 国土交通省港湾局：防波堤の耐津波設計ガイドライ

- ン, 35p., 2013.
- 23) 有川太郎・佐藤昌治・下迫健一郎・富田孝史・辰巳大介・廉慶善・高橋研也：釜石湾口防波堤の津波による被災メカニズムの検討—水理特性を中心とした第一報—, 港湾空港技術研究所資料, No.1251, 2012.
- 24) 辻尾大樹・高山知司・大里睦男・山口佑太・鈴木信夫・瀬良敬二：個別要素法を用いた粘り強い防波堤の安定照査法の検討, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.68, No.2, pp.I_841-I_845, 2012.
- 25) 小竹康夫・松村章子・山野貴司・金澤剛・荒木進歩：天端を越流する津波が防波堤の安定性に与える影響について, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.67, No.2, pp.I_766-I_770, 2011.
- 26) 小竹康夫・荒木進歩・松村章子：天端を越流する津波が混成堤式防波堤のケーソン部に与える波圧特性に関する実験的研究, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol.68, No.2, pp.I_264-I_269, 2012.
- 27) 有川太郎・佐藤昌治・下迫健一郎・巖駿：津波越流時における防波堤の安定性に関する研究, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.69, No.2, pp.I_916-I_920, 2013.
- 28) 有川太郎・佐藤昌治・下迫健一郎・富田孝史・廉慶善・丹羽竜也：津波越流時における混成堤の被災メカニズムと腹付工の効果, 港湾空港技術研究所資料, No.1269, 2013.
- 29) 辻尾大樹・安田誠宏・間瀬肇・森信人・前田恭兵・山口佑太：設定を超える津波に対するケーソン防波堤の補強効果に関する実験的研究, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol.69, No.2, pp.I_473-I_478, 2013.
- 30) 中村友昭・安藤康平・山田裕貴・水谷法美・小竹康夫：津波の越流に伴う混成堤ケーソンの挙動とその機構に関する数値解析, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.68, No.2, pp.I_831-I_835, 2012.
- 31) 中村友昭・安藤康平・水谷法美・小竹康夫：津波の越流による混成堤ケーソン岸側での水圧の低下機構に関する研究, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol.69, No.2, pp.I_389-I_394, 2013.
- 32) 中村友昭・安藤康平・水谷法美・小竹康夫：津波の越流による混成堤ケーソンの転倒防止策に関する研究, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.69, No.2, pp.I_906-I_910, 2013.
- 33) 高橋英紀・佐々真志・森川嘉之・高野大樹・丸山憲治：遠心力場における防波堤基礎地盤に対する津波浸透実験, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol.69, No.2, pp.I_365-I_370, 2013.
- 34) 高橋英紀・佐々真志・森川嘉之・高野大樹・丸山憲治：津波による浸透作用下の防波堤基礎マウンドの支持力発現特性, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol.69, No.2, pp.I_371-I_376, 2013.
- 35) 笠間清伸・善功企・陳光斉：津波を模擬した防波堤直下の捨石マウンドの浸透破壊に関する水理模型実験, 第47回地盤工学研究発表会発表講演集, 公益社団法人地盤工学会, pp.1855-1856, 2012.
- 36) 今瀬達也・前田健一・三宅達夫・鶴ヶ崎和博・澤田豊・角田紘子：捨石マウンド—海底地盤への津波浸透による混成堤の不安定化, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.67, No.2, pp.I_551-I_555, 2011.
- 37) 佐々真志・高橋英紀・森川嘉之・高野大樹・丸山憲治：津波越流—浸透連成遠心実験システムの開発とマウンド洗掘への適用, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol.69, No.2, pp.I_383-I_388, 2013.
- 38) 気象庁：潮位表, <http://www.data.kishou.go.jp/db/tide/suisan/>, 2013年11月15日時点.
- 39) 公益社団法人土木学会海岸工学委員会・公益社団法人日本地球惑星科学連合の東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ, <http://www.coastal.jp/tjt/>, 2012年12月29日.
- 40) 高橋重雄他：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, pp.53-54, 2011.
- 41) 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「市町村ごとの地殻変動量（暫定）」
<http://www.gsi.go.jp/common/000059961.pdf>, 2013年11月15日時点.
- 42) 国土地理院：東北地方の地殻変動量（地理院），地震予知連絡会会報：<http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report.html>, 2014年2月14日時点.
- 43) 国土地理院：地理院地図（電子国土 Web），「防災関連」より「東北地方太平洋沖地震・地殻変動量」を選択, <http://portal.cyberjapan.jp/site/mapuse4/#zoom=4&lat=35.99989&lon=138.75&layers=BTTT>, 2014年2月14日時点.

付録-A 調査地点の緯度・経度*

港湾名	地区名	地点名	緯度 (N)	経度 (E)
八木港	北港地区	1-a	40°21'5.4"	141°45'49.2"
"	"	1-b**	40°21'3.0"	141°46'2.4"
"	"	1-c	40°21'3.0"	141°46'2.4"
"	"	1-d	—	—
"	"	1-e	40°20'56.3"	141°45'49.3"
"	"	1-f	40°20'49.6"	141°45'50.2"
"	南港地区	1-g	40°20'44.8"	141°46'1.0"
"	"	1-h	40°20'45.2"	141°46'1.8"
"	"	1-i	40°20'47.6"	141°46'5.9"
"	"	1-j	—	—
"	"	1-k	40°20'44.0"	141°46'16.3"
"	"	1-l	40°20'41.8"	141°46'16.7"
"	"	1-m	40°20'39.8"	141°46'16.4"
久慈港	諏訪下地区	2-a	40°11'22.8"	141°47'50.3"
"	"	2-b	40°11'23.6"	141°47'37.0"
"	"	2-c	40°11'27.0"	141°47'35.7"
"	"	2-d	40°11'30.6"	141°47'35.8"
"	"	2-e	40°11'38.7"	141°47'34.9"
"	"	2-f	40°11'43.8"	141°47'36.0"
"	"	2-g	40°11'44.3"	141°47'44.2"
"	"	2-h	40°11'43.8"	141°47'45.6"
"	"	2-i	—	—
"	"	2-j	40°11'35.4"	141°47'33.6"
"	"	2-k	40°11'43.3"	141°47'53.1"
"	"	2-l	40°11'45.3"	141°47'53.1"
"	"	2-m	40°11'49.9"	141°47'53.3"
"	"	2-n	40°11'57.3"	141°47'50.8"
"	半崎地区	2-o	40°12'47.6"	141°48'21.1"
"	"	2-p	40°12'50.4"	141°48'22.4"
釜石港	須賀地区	3-a	39°16'6.6"	141°53'12.9"
"	"	3-b	39°16'10.1"	141°53'10.8"
"	"	3-c	39°16'13.4"	141°53'10.8"
"	"	3-d	39°16'18.2"	141°53'13.6"
"	"	3-e	39°16'20.5"	141°53'14.1"
"	"	3-f	39°16'23.1"	141°53'36.7"
釜石港	大平地区	3-g	39°15'46.9"	141°53'49.2"
嬉石漁港		3-h	39°15'51.5"	141°53'26.1"
金華山港		4-a	38°17'38.3"	141°33'7.2"
"		4-b	—	—
"		4-c	38°17'43.6"	141°33'6.2"
"		4-d	38°17'50.8"	141°33'4.6"

仙台塩釜港東宮地区	5-a	38°18'49.8"	141°3'18.4"	
"	5-b	38°18'44.1"	141°2'59.0"	
"	要害地区	5-c	38°18'36.3"	141°2'52.6"
"	5-d	—	—	
"	5-e	38°18'31.5"	141°2'57.4"	
"	一本松地区	5-f	—	—
"	5-g	—	—	
"	5-h	38°18'34.3"	141°2'20.4"	
"	貞山地区	5-i	38°18'54.9"	141°2'28.4"
"	5-j	—	—	
"	5-k	—	—	
"	港・貞山地区	5-l	38°19'1.1"	141°2'14.6"
"	5-m	—	—	
"	5-n	38°19'2.9"	141°2'11.2"	
"	中の島地区	5-o	38°18'56.2"	141°2'0.9"
"	5-p	—	—	
"	5-q	38°18'50.2"	141°2'0.5"	
"	5-r	38°18'48.8"	141°2'0.1"	
"	5-s	38°18'47.0"	141°1'59.9"	
"	5-t	—	—	
"	港地区	5-u	—	—
"	5-v	38°19'9.6"	141°2'6.1"	
"	5-w	38°19'9.9"	141°2'1.2"	
"	5-x	—	—	
"	5-y	38°19'10.3"	141°1'52.1"	
"	5-z	38°19'10.7"	141°1'45.1"	
"	5-α	—	—	
"	5-β	38°19'11.2"	141°1'38.7"	
"	5-γ	—	—	
大船渡港 永浜地区	6-a	39°3'13.5"	141°44'24.8"	
雄勝港 大浜地区	7-a	38°30'44.3"	141°30'51.0"	
"	7-b	38°30'48.8"	141°30'41.1"	
"	唐桑地区	7-c**	38°30'48.3"	141°28'43.8"
女川港 横浦地区	8-a	38°24'25.7"	141°28'11.6"	
"	8-b	38°24'22.9"	141°28'10.4"	

*特に断りのない限り、各地点の緯度及び経度は、携帯型 GPS 受信機である GARMIN 製 GPSmap 60CSx を用いて測定した。水平方向の測定精度は 3~5m 程度である。

**この地点は、現地調査時に緯度及び経度の測定を行わなかったため、地図ソフトウェア Google Map を用いて測定場所を同定し、同ソフトウェアの画面上に表示されている緯度及び経度を代替として本表に記載した。

付録-B 被害類型別の施設名一覧

被害類型 (DT)		被害が発生した施設					備考
		港湾名及び地区名 (港湾名は2011年3月時点のもの)	国総研 資料No.	ページ	地点 番号	写真・ 図番号	
DT1:堤体の破壊	1) ひび割れ・化粧板剥離	大船渡漁港蛸之浦地区	658	4 4	1-d 1-e	写真-3.2.5 写真-3.2.6	漁港の施設
		松島港海岸前地区	658	34 34	7-a 7-b	写真-3.8.1 写真-3.8.2	
		仙台塩釜港塩釜港区港地区	781	35 36 38	5-u 5-v -	写真-3.6.26 写真-3.6.27 写真-3.6.34	
	2) 漂流物の衝突・堤体同士の接触による欠損	石巻港大曲地区	658	33	6-c	写真-3.7.3	
		久慈港諏訪下地区	781	15	2-h	写真-3.3.9	
		釜石港須賀地区	781	21	3-e	写真-3.4.7	
		釜石漁港	781	22	3-f	写真-3.4.8	漁港の施設
	3) 堤体上部の破壊	女川港大石原地区	658	25	4-c	写真3.5.3	
		萩浜港萩浜地区	658	31	5-e	写真-3.6.6	
	DT2:地盤の洗掘・堤体の変位	4) 軽微な地盤洗掘・舗装被害	大船渡港山口地区	658	7	1-l	写真-3.2.19
大船渡港茶屋前地区			658	9	1-n	写真-3.2.23	
久慈港諏訪下地区			781	13 13 14	2-b 2-c 2-e	写真-3.3.2 写真-3.3.3 写真-3.3.6	
仙台塩釜港塩釜港区東宮地区			781	28	-	写真-3.6.3	
仙台塩釜港塩釜港区中の島地区			781	34	5-p	写真-3.6.21	
仙台塩釜港塩釜港区港地区			781	38	5-β	写真-3.6.33	
5) 越流した流れによる地盤洗掘		久慈港諏訪下地区	781	15 15	2-f 2-g	写真-3.3.7 写真-3.3.8	
		仙台塩釜港塩釜港区中の島地区	781	34	5-r	写真-3.6.23	
		仙台塩釜港塩釜港区港地区	781	37 38	5-z 5-α	写真-3.6.31 写真-3.6.32	
6) 引波による地盤洗掘		大船渡港茶屋前地区	658	8 9 9	1-n 1-o 1-q	写真-3.2.22 写真-3.2.24 写真-3.2.26	
		気仙沼港朝日地区	658	12	2-c	写真-3.3.4	
		気仙沼漁港梶ヶ浦地区	658	16	2-k	写真-3.3.15	漁港の施設
		釜石港須賀地区	781	21 21	3-d 3-e	写真-3.4.5 図-3.4.7	
		仙台塩釜港塩釜港区港地区	781	37 38	5-z 5-α	写真-3.6.31 写真-3.6.32	
7) 引波による堤体の小規模な滑動・傾斜		釜石港須賀地区	781	21 21	3-d 3-e	写真-3.4.5 写真-3.4.7	
		仙台塩釜港塩釜港区中の島地区	781	33	5-o	写真-3.6.20	
		仙台塩釜港塩釜港区港地区	781	36	5-v	写真-3.6.27	
8-1) 波力による堤体の転倒		釜石港大平地区	781	22	3-g	写真-3.4.9	護岸
8-2) 波力・洗掘の複合要因による堤体の転倒		大船渡港茶屋前地区	781	41	6-b	写真-3.7.2	
DT3:運用上の機能不全		9) 船舶、ガレキ、土砂等の堆積	大船渡漁港蛸之浦地区	658	5	1-g	写真-3.2.10
	仙台塩釜港塩釜港区港地区		781	38	5-β	図-3.6.20	
	10) フラップゲートの開閉不全	女川港高白地区	658	28	4-h	写真-3.5.8	
	11) 陸開の破損	気仙沼港朝日地区	658	11 11	2-a 2-b	写真-3.3.1 写真-3.3.2	
		釜石港須賀地区	781	20	-	写真-3.4.3	
		仙台塩釜港塩釜港区港地区	781	37	5-x	写真-3.6.29	
	12) 地域全体の地盤沈下で嵩上げが必要	(調査対象地域のほぼ全域で発生しているため、記載を省略)					

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 781 March 2014

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019