

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE

OF

THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1231 April 2011

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

高橋 重雄 戸田 和彦 菊池 喜昭 菅野 高弘 栗山 善昭 山崎 浩之
長尾 毅 下迫健一郎 根木 貴史 菅野 甚活 富田 孝史 河合 弘泰
中川 康之 野津 厚 岡本 修 鈴木高二朗 森川 嘉之 有川 太郎
岩波 光保 水谷 崇亮 小濱 英司 山路 徹 熊谷兼太郎 辰巳 大介
鷺崎 誠 泉山 拓也 関 克己 廉 慶善 竹信 正寛 加島 寛章
伴野 雅之 福永 勇介 作中淳一郎 渡邊 祐二

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan

目 次

要 旨	5
1. まえがき	6
2. 地震の概要	8
2.1 地震の発生	8
2.2 地震動の観測記録	9
2.3 震源断層の破壊過程の推定	22
3. 津波の概要	31
3.1 地震時の気象・海象及び津波警報	31
3.2 GPS波浪計で観測した津波の波形	33
3.3 伝播計算	38
3.4 測定津波痕跡高さの概要	42
3.5 明治三陸津波の再来（各県想定結果）との比較	44
4. 現地調査の方法	45
4.1 調査目的	45
4.2 調査団と行程	45
4.3 調査方法	45
5. 津波災害	47
5.1 青森県の調査結果	47
5.1.1 八戸港及びその周辺	47
5.2 岩手県の調査結果	51
5.2.1 久慈港及びその周辺	51
5.2.2 宮古港及びその周辺	55
5.2.3 釜石港及びその周辺	60
5.2.4 大船渡港及びその周辺	67
5.2.5 田老(旧田老町)・重茂半島・宇部町	70
5.3 宮城県の調査結果	75
5.3.1 宮城県の被害の概要	75
5.3.2 気仙沼港及びその周辺	75
5.3.3 南三陸町	79
5.3.4 女川港及びその周辺	80
5.3.5 石巻港及びその周辺	84
5.3.6 仙台塩釜港(塩釜港区)	85
5.3.7 仙台塩釜港(仙台港区)	86
5.3.8 仙台空港及びその周辺	88

5.4	福島県の調査結果	92
5.4.1	相馬港及びその周辺	92
5.4.2	小名浜港及びその周辺	96
5.5	茨城県の調査結果	100
5.5.1	茨城県の被害の概要	100
5.5.2	茨城港（日立港区）及びその周辺	100
5.5.3	茨城港（常陸那珂港区）及びその周辺	102
5.5.4	茨城港（大洗港区）及びその周辺	105
5.5.5	鹿島港及びその周辺	108
6.	地震被害の調査結果	111
6.1	青森県の調査結果	111
6.1.1	八戸港	111
6.2	岩手県の調査結果	116
6.2.1	久慈港	116
6.2.2	釜石港	122
6.2.3	大船渡港	128
6.3	宮城県の調査結果	134
6.3.1	石巻港	134
6.3.2	仙台塩釜港（仙台港区）	135
6.3.3	仙台空港	139
6.3.4	その他	140
6.4	福島県の調査結果	142
6.4.1	相馬港	142
6.4.2	小名浜港	144
6.5	茨城県の調査結果	147
6.5.1	茨城港日立港区	147
6.5.2	茨城港常陸那珂港区	149
6.5.3	茨城港大洗港区	151
6.5.4	鹿島港	153
7.	釜石湾口防波堤の効果の検討	157
7.1	防波堤の概要	157
7.2	防波堤の被災状況	158
7.3	津波に対する防波堤の安定性の検討	160
7.4	津波の伝播計算	163
7.5	湾口防波堤の効果についての考察	168
8.	地震・津波被害のまとめ	169
8.1	津波被害	169

8.2 地震被害	172
9. 今後の課題	173
9.1 津波防災の課題	173
9.2 地震防災の課題	174
10. あとがき	175
付録1 津波被害のカラー写真	176
付録2 地震被害のカラー写真	183
付録3 調査団の構成と詳細行程	186
付録4 痕跡調査データ	193

Urgent Survey for 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami Disaster in Ports and Coasts

Shigeo TAKAHASHI*, Kazuhiko TODA*, Yoshiaki KIKUCHI*, Takahiro SUGANO*, Yoshiaki KURIYAMA*, Hiroyuki YAMAZAKI*, Takashi NAGAO**. Ken-ichiro SHIMOSAKO*, Takashi NEGI**, Jinkatsu SUGENO**, Takashi TOMITA*, Hiroyasu KAWAI*, Yasuhiro NAKAGAWA*, Atsushi NOZU*, Osamu OKAMOTO*, Kojiro SUZUKI*, Yoshiyuki MORIKAWA*, Taro ARIKAWA*, Mitsuyasu IWANAMI*, Taka-aki MIZUTANI*, Eiji KOHAMA*, Toru YAMAJI*, Kentaro KUMAGAI**, Daisuke TATSUMI*, Makoto WASHIZAKI*, Takuya IZUMIYAMA**, Katsumi SEKI*, Gyeong-Seon YEOM*, Masahiro TAKENOBU*, Hiroaki KASHIMA*, Masayuki BANNO*, Yusuke FUKUNAGA**, Jyun-ichoro SAKUNAKA*, and Yuji WATANABE**

Synopsis

The Great East Japan Earthquake broke off the coast of northern Japan at 14:46 JST on Friday, 11 March 2011 with 9.0-magnitude and the epicenter of 129 km east of Sendai. The coasts of Iwate, Miyagi, and Fukushima Prefectures were severely damaged and Hokkaido, Aomori, Ibaragi, Chiba Prefectures were also damaged due to especially tsunami generated by the earthquake.

Port and Airport Research Institute (PARI) is conducting investigations for the early recovery of ports and coasts from the disaster with the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. Survey teams from PARI and NILIM (National Institute of Land and Infrastructure Management) conducted disaster surveys on the Earthquake and Tsunami from March 14 to April 14.

This is a report of the urgent surveys including tentative analyses of records of strong motion seismometers and tsunami records of GPS wave meters and tide gauges in addition to the tsunami generation and propagation simulations.

Major conclusions of the report are as follows:

- 1) Huge tsunami due to M9.0, like the Indian Ocean Tsunami was generated off the northern Japan coasts. Especially more than 6m tsunami was measured by GPS wave meters 20 km off the coasts at the depth of 200m which was expected to be twice or thrice in shore. The data contributed significantly to issuing a Large Tsunami Alert through the Japan Meteorological Agency.
- 2) More than 10m tsunamis attacked the coasts of Iwate, Miyagi and Fukushima Prefectures, resulting devastating disasters in the coastal cities with more than 27 thousands of casualties and missing. All the kinds of tsunami damages were observed with their most severe figures including crashing and drifting of wooden houses, drifting of cars, leakage of oil from tanks, fires.
- 3) In ports, ships were sunk or drifted on lands. Facilities of warehouses and factories were inundated and broken. The breakwaters and seawall which were designed against severe storm waves from the ocean were relatively safe and reduced the tsunami even though the tsunami was so strong.
- 4) In the ports south from Sendai earthquake damages appeared. The early use of the ports in the area for the recovery operations became possible due to relatively low damage to port facilities.
- 5) More investigation should be continued for the early recovery of the ports including the surrounding towns. Especially the disaster mitigation planning and the designing methods of facilities against tsunamis should be reconsidered to include the worst case like this tsunami.

Key Words: Tohoku , Kanto, Sanriku, Earthquake, Tsunami, Disaster, GPS buoy, Iwate, Miyagi

* Port and Airport Research Institute, ** National Institute of Land Infrastructure Management, 3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan, phone : +81-46-844- 5013 Fax : +81-46-844-1274

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

高橋重雄*・戸田和彦*・菊池喜昭*・菅野高弘*・栗山善昭*・山崎浩之*・長尾 毅**・
下迫健一郎*・根木貴史**・菅野甚活・富田孝史*・河合弘泰*・中川康之*・野津 厚*・
岡本 修*・鈴木高二郎*・森川嘉之*・有川太郎*・岩波光保*・水谷崇亮*・小濱英司*・
山路 徹*・熊谷兼太郎**・辰巳大介*・鷺崎 誠*・泉山拓也**・関 克己*・廉慶善*・
竹信正寛*・加島寛章*・伴野雅之*・福永勇介**・作中淳一郎*・渡邊祐二**

要 旨

2011年3月11日14時46分、太平洋三陸沖を震源としたM9.0の海溝型巨大地震が発生し、東日本を中心に甚大な地震と津波の被害をもたらした。被害は特に岩手県・宮城県・福島県で甚大であるが、その周辺の北海道・青森県、茨城県・千葉県などでも大きな被害が出ている。

港湾空港技術研究所では、この災害から港湾・空港・海岸を早期に復旧・復興させるため、技術的な支援を国土交通省等と協力して鋭意実施している。特に、災害の発生直後から、国土交通省のテックフォース（TEC-FORCE, Technical Emergency Control Force:緊急災害派遣隊）の一つとして、港湾などの災害の実態調査隊を国土技術政策研究所と協力し複数派遣しており、また災害原因などの検討も開始している。

本報告書は、港湾などの災害調査の速報である。強震計による地震観測データやGPS波浪計や潮位計による津波観測データの解析や、震源からの津波伝播計算を行うとともに、地震や津波による各港湾などにおける災害の実態を報告するものである。

主要な結論は以下のとおりである。

- 1) 今回の地震はM9.0と巨大であり、2004年のインド洋大津波のような、これまでの最大級の津波が発生している。GPS波浪計によって6mを越える津波が釜石港から沖合い18kmの地点で15時12分に観測できており、津波警報に寄与した。水深200mで6mの津波は、浅い沿岸では2から3倍の値となり、釜石港ではほぼ10分後にピークとなっている。
- 2) 10m以上の津波が岩手県・宮城県・福島県の海岸を襲っており、沿岸の町に壊滅的な被害を及ぼし、2万7千人以上の死者・行方不明者となっている。木造家屋の壊滅的流失、車の流失、火災の発生、タンクの油の流失など、これまでも認められたあらゆる津波被害が大規模に発生している。
- 3) 港湾内では、津波によって船舶が陸上に乗り上げるなどの被害が発生しており、また港湾域の上屋や工場にも甚大な浸水被害が出ている。港湾内には津波によって破壊された家屋や車などが沈没しており、また、津波による流れによって航路や構造物周りの洗掘や堆積が発生している。ただし、防波堤や護岸の多くは、厳しい太平洋の波浪に対して設計されており、非常に大きな津波であったが比較的粘り強く、壊滅的な被害には至っておらず、津波低減の効果があったと考えられる。
- 4) 地震の被害は、岩手県以北では比較的小さかったが、宮城県から南で被害が発生している。岸壁に被害が少ないところでは、復旧のための早期の港湾活動の再開が可能となっている。
- 5) 港湾およびその周辺地域早期復旧・復興に向けて、さらに検討を進める必要があり、特に、こうした最大級の津波を十分考慮した防災計画や防護施設の設計体系の構築を考える必要がある。

キーワード：地震，津波，沿岸災害，災害調査，災害復旧，三陸地震津波，GPS波浪計，東北

*港湾空港技術研究所，**国土技術政策総合研究所
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 港湾空港技術研究所，電話：046-844-50 Fax：046-844-1274

1. まえがき

2011年3月11日14時46分、太平洋三陸沖を震源として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、東日本を中心に甚大な地震と津波の被害をもたらした。被害は岩手県・宮城県・福島県で特に甚大であるが、その周辺の青森県・北海道、茨城県・千葉県などでも大きな被害が出ている。特に東北地方を中心とした津波災害が甚大であり、現在のところ2万7千人以上が亡くなるとともに、500km²が浸水し、10万の家屋が全半壊している。港湾における被害も甚大で、東北・関東の太平洋沿岸の港はほとんどが大きな津波によって浸水し、防波堤や護岸の被害も少なくない。また、地震による岸壁などの被害も宮城県から南では顕著である。また、仙台空港も津波による浸水と地震による被害を受けている。

港湾空港技術研究所では、この災害から港湾・空港・海岸を早期に復旧・復興させるため、技術的な支援を国土交通省等と協力して鋭意実施している。特に、災害の発生直後から、国土交通省のテックフォース(TEC-FORCE, Technical Emergency Control Force:緊急災害派遣隊)の一つとして、港湾などの災害の実態調査隊を国土技術政策研究所や東北地方整備局および関東地方整備局と協力し複数派遣しており、また災害原因などの検討も開始している。すなわち、3月14日に1次隊を派遣してから4月14日までにTEC-FORCEとして8班、他の機関との協力して2班のチームを派遣しており、青森県の八戸港から茨城県の鹿島港まで調査を行っている。

本報告書は、港湾などの災害調査の速報である。強震計による地震観測データやGPS波浪計や潮位計による津波観測データの解析や、震源からの津波伝播計算を行うとともに、地震や津波による各港湾などにおける災害の実態を報告するものである。

港湾空港技術研究所ではその前身時代を含めて地震・津波の調査を行ってきた。例えば、地震被害では、新潟地震港湾被害報告を皮切りに、1968年十勝沖地震港湾被害報告・津波調査報告、1995年兵庫県南部地震による港湾施設等被害報告などがある。津波については、1983年の日本海中部地震津波や1993年の北海道南西沖地震津波、最近のチリ地震津波などの報告書がある。地震津波の報告書としては、1933年の昭和三陸地震津波の報告書である東京大学地震研究所彙報が津波災害調査報告書として先駆的なものである。

災害の実態を調査することで、防災技術の向上と防災対策の改善を図ることが不可欠である。また、これまで

の被災と比較することも重要である。

なお本報告は、調査団のメンバーと地震や津波のデータの解析などにあつたものが、それぞれ担当のところで執筆している。執筆の分担は、表-1.1のとおりである。また、調査にあつたっては、種々の情報を収集しており多くのホームページなどを参考にしている。

表-1.1 執筆者一覧

1.	まえがき (高橋)
2.	地震の概要 (野津)
3.	津波の概要
3.1	地震時の気象・海象及び津波警報(岡本)
3.2	主要な津波の観測記録(河合・川口)
3.3	伝播計算 (富田・辰巳)
3.4	測定津波痕跡高さ(富田・辰巳)
3.5	明治三陸津波(岡本)
4.	現地調査の方法 (戸田)
5.	津波被害の調査結果
5.1	青森県の調査結果(富田・鈴木・熊谷・渡辺)
5.2	岩手県の調査結果(高橋・富田・根木・下迫・鈴木・熊谷・中川・有川・辰巳・渡辺)
5.3	宮城県の調査結果(栗山・有川・関・作中・鷺崎)
5.4	福島県の調査結果(下迫・富田・鈴木・菅野(甚))
5.5	茨城県の調査結果(栗山・中村(聡)・加島・伴野・泉山)
6.	地震被害の調査結果
6.1	青森県の調査結果(野津・水谷・山路)
6.2	岩手県の調査結果(菊池・野津・水谷・山路・岩波・竹信)
6.3	宮城県の調査結果(菅野・森川)
6.4	福島県の調査結果(菅野・山崎)
6.5	茨城県の調査結果(山崎・小濱・菅野)
7.	釜石湾口防波堤の効果の検討(下迫・辰巳)
8.	地震・津波被害のまとめ(高橋・根木・菊池・菅野)
9.	今後の課題(高橋・菊池・菅野)
10.	あとがき(高橋)

参考文献

- 有川太郎・辰巳大介・松崎義孝・富田孝史(2010):2009年サモア諸島津波の現地調査、港湾空港技術研究所資料, No.1211, 28p.
- 稲富隆昌, 善功企, 外山進一, 上部達生, 井合進, 菅野高弘, 寺内潔, 横田弘, 他 17名:1995年兵庫県南部地震による港湾施設等被害報告, 港研資料 No.857,1997.
- 運輸省港湾局・第一港湾建設局・港湾技術研究所:新潟地震港湾被害報告(第1部), 1964.
- 運輸省港湾局・第一港湾建設局・港湾技術研究所:新潟地震港湾被害報告(第2部), 1965.
- 運輸省港湾局・港湾技術研究所・第二港湾建設局・北海

道開発局港湾部：1968年十勝沖地震港湾被害報告・津波調査報告，1968.

高山知司・鈴木康正・鶴谷広一・高橋重雄・後藤智明・永井紀彦・橋本典明・長尾毅・細山田得三・下迫健一郎・遠藤仁彦・浅井正：1993年北海道南西沖地震津波の特性と被害，港湾技研資料，No.775,225p.

高橋重雄・菅野高弘・富田孝史・有川太郎・辰巳大介・加島寛章・村田進・松岡義博・中村友昭(2010)：2010年チリ地震・津波による港湾・海岸の被害に関する調査報告書，港湾空港技研資料，No.1224,45p.

谷本勝利・高山知司・村上和男・村田繁・鶴谷博一・高橋重雄・森川雅行・吉本靖俊・中野晋・平石哲也(1983)：1983年日本海中部地震津波の実態と二・三の考察，港湾技研資料，No.470,299p.

東京大学地震研究所(1934)：昭和8年3月3日三陸地方津波に関する論文報告，東京大学地震研究所彙報別冊1号，

富田孝史・河合弘泰・柿沼太郎(2004)：平成15年(2003年)十勝沖地震津波による被害と津波の特性，港湾空港技術研究所資料，No.1082，30p.

渡辺偉夫(1998)：日本被害津波総覧(第2版)，東京大学出版会，238p.

国土交通省国土地理院（ホームページ）：
<http://saigai.gsi.go.jp/h23taiheiyo-zort/index.html>（被災地周辺の空中写真の詳細正射画像データ）

国土交通省国土地理院：電子国土Webシステムによる公開

合成開口レーダー衛星（TerraSAR-X）から抽出した推定湛水範囲の変化(パスコ)：
http://www.pasco.co.jp/disaster_info/110311/

広域衛星画像・レーダ衛星画像・国際航業：
http://www.kk-grp.jp/csr/disaster/201103_touhoku-taiheiyo/index.html

Google earth（被災地の衛星画像）

NASA衛星画像：
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA13913>

IKONOS衛星画像・アジア航測株式会社：
http://www.ajiko.co.jp/bousai/touhoku2011/touhoku.htm#110314_02

2. 地震の概要

2.1 地震の発生

2011年3月11日14時46分ごろ、三陸沖の東経142.9°、北緯38.1°、深さ24kmを震源とするマグニチュード9.0（以下、M9.0と記述する）の地震が発生した（気象庁、2011a；気象庁、2011d；気象庁、2011f）。気象庁はこの地震を「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」と命名した（気象庁、2011b）。この地震はわが国で発生した地震としては観測史上最大の地震である。この地震の震央を図-2.1.1に示す。

この地震では、宮城県栗原市で震度7を観測したほか、宮城県、福島県、茨城県、栃木県の4県28市町村で震度6強を観測した。また、北海道から九州にかけての広い地域で震度1以上を観測した（気象庁、2011a）。また3.で述べるように各地で非常に高い津波を観測した。

この地震の発震機構は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であり（気象庁、2011a；防災科学技術研究所、2011）、太平洋プレートと陸側プレートの境界で発生した地震であると考えられる（地震調査研究推進本部地震調査委員会、2011）。この地震の震源域は岩手県沖から茨城県沖まで広範囲に及んでいる（地震調査研究推進本部地震調査委員会、2011）。これらの領域が一度にすべて今回のような大きな地震となることはこれまで想定されていなかった（地震調査研究推進本部地震調査委員会、2011）。

この地震による余震活動は非常に活発であり、2011年4月21日の時点では、M7.0以上の余震が5回（M7.7、M7.5、M7.4、M7.1、M7.0）、M6.0以上の余震が73回、M5.0以上の余震が425回発生している（気象庁、2011i）。この中には宮城県で震度6強を観測した4月7日23時32分ごろの余震（M7.1）（気象庁、2011g）や、福島県と茨城県で震度6弱を記録した4月11日17時16分ごろの余震（M7.0）（気象庁、2011h）も含まれている。余震は岩手県沖から茨城県沖にかけての長さ約500km、幅約200kmの範囲に密集して発生しているほか、日本海溝より東側でも発生している（気象庁、2011i）。M7.0以上の余震の震央を図-2.1.1に示す。また、余震以外にも、長野県で震度6強を観測した3月12日3時59分の地震（M6.7）（気象庁、2011c）や静岡県で震度6強を観測した3月15日22時31分の地震（M6.4）（気象庁、2011e）などは、3月11日の地震（M9.0）によって誘発された可能性がある。

国土地理院のGPS連続観測によると、この地震により、牡鹿半島では水平方向に約5.3m（東南東方向）、上下方

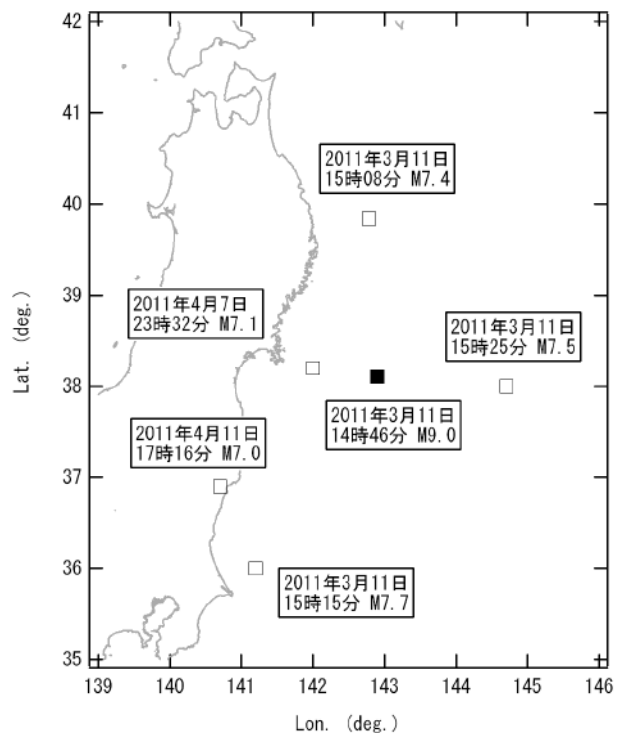


図-2.1.1 本震（M9.0）とM7.0以上の余震の震央（4月21日まで）

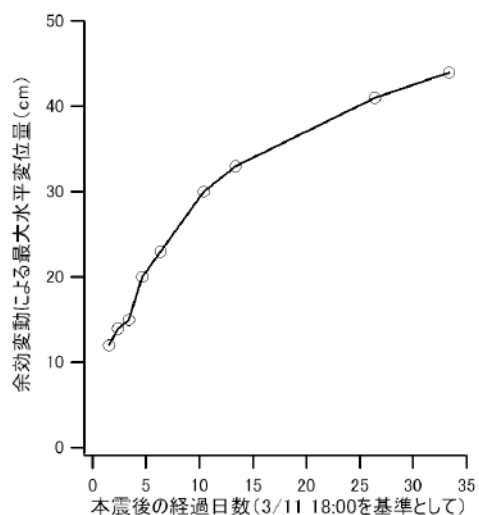


図-2.1.2 余効変動による最大水平変位量と経過日数との関係（国土地理院（2011b）のデータから作成）

向に約1.2m（沈下）という極めて大きな地殻変動が観測された（国土地理院、2011a）。地殻変動は北海道から近畿地方にかけての広い範囲で観測された。各地の一等水準点における地盤沈下は、宮古で44cm、釜石で56cm、大船渡で60cm、陸前高田で58cm、気仙沼で68cm、石巻で78cm、相馬で23cmなどとなっている（国土地理院、

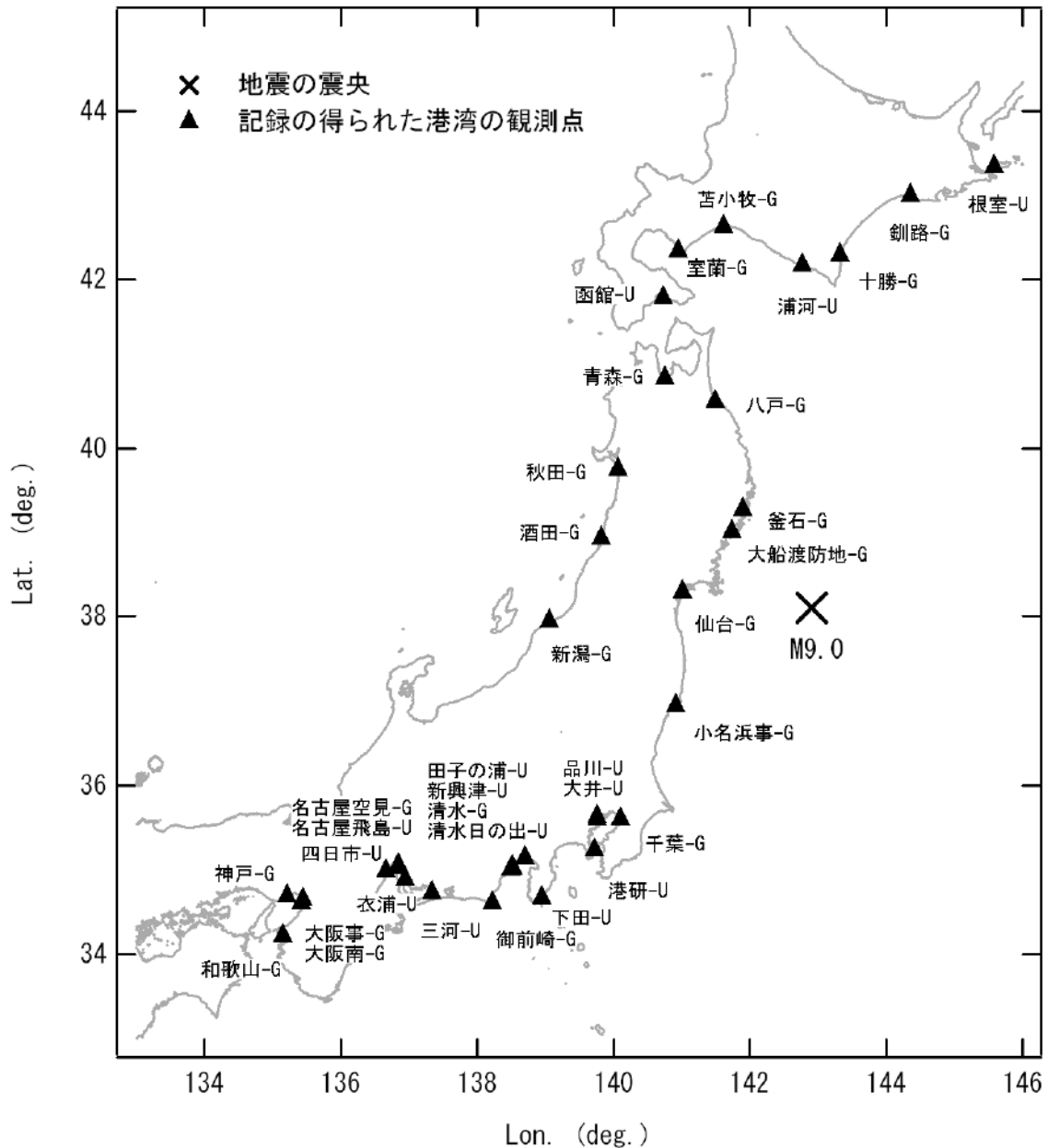


図-2.2.1.1 2011年東北地方太平洋沖地震 (M9.0) の震央 (×) と強震記録の得られた港湾の位置 (▲)

2011c). 地殻変動は余効変動という形で現在 (2011年4月21日) も継続中である (国土地理院, 2011b). 国土地理院 (2011b) のデータをもとに最大水平変位量と本震後の経過日数との関係をプロットすると図-2.1.2 のようになり, 現時点では収束する傾向とはなっていない. 発生している水平変位は東向きのものであるが, 港湾施設の整備と関係の深い上下方向の変位に着目すると, 地震時に沈下の生じた牡鹿半島では, 2011年3月11日18時00分~4月14日3時00分までの期間に, 逆に約6cmの隆起が生じている. このように地震時とは逆向きの上下変位が生じているのは, 地震時に震源 (破壊開始点) より沖合側の部分が大きくすべったのに対し, 地震後は主に陸に近い部分で余効すべり

が生じているためと考えられる (国土地理院, 2011b). 余効変動による上下方向の変位がどの程度のところに収束していくかは, 港湾施設の整備と関係の深い事柄であり, 注視していく必要がある.

2.2 地震動の観測記録

2.2.1 概要

東北地方太平洋沖地震では, 港湾地域強震観測網により, 図-2.2.1.1 に示す全国30の港湾で合計70の強震記録が得られた. 港湾の数より強震記録の数の方が多なのは, 同一港湾内の複数箇所記録が得られている場合や, 同一箇所の地表と地中で記録が得られている場合があるためである.

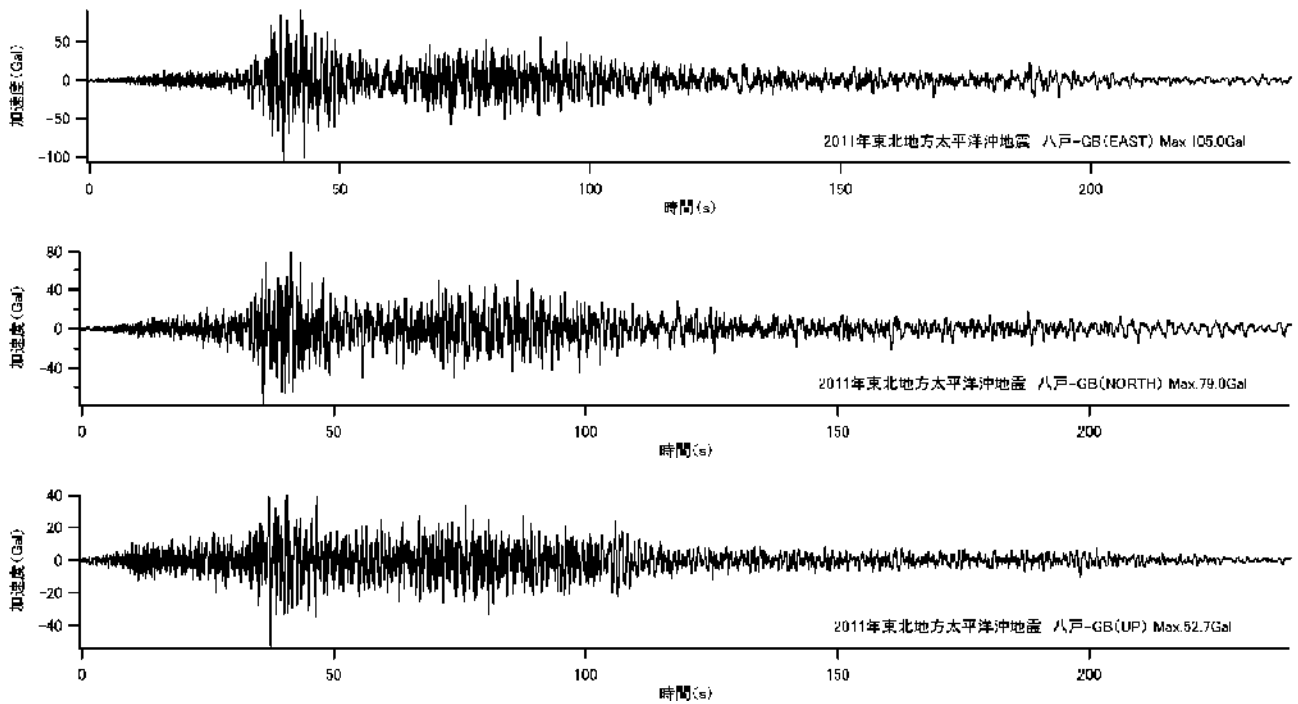


図-2.2.3.1 八戸港の地中（八戸-GB）において観測された加速度波形

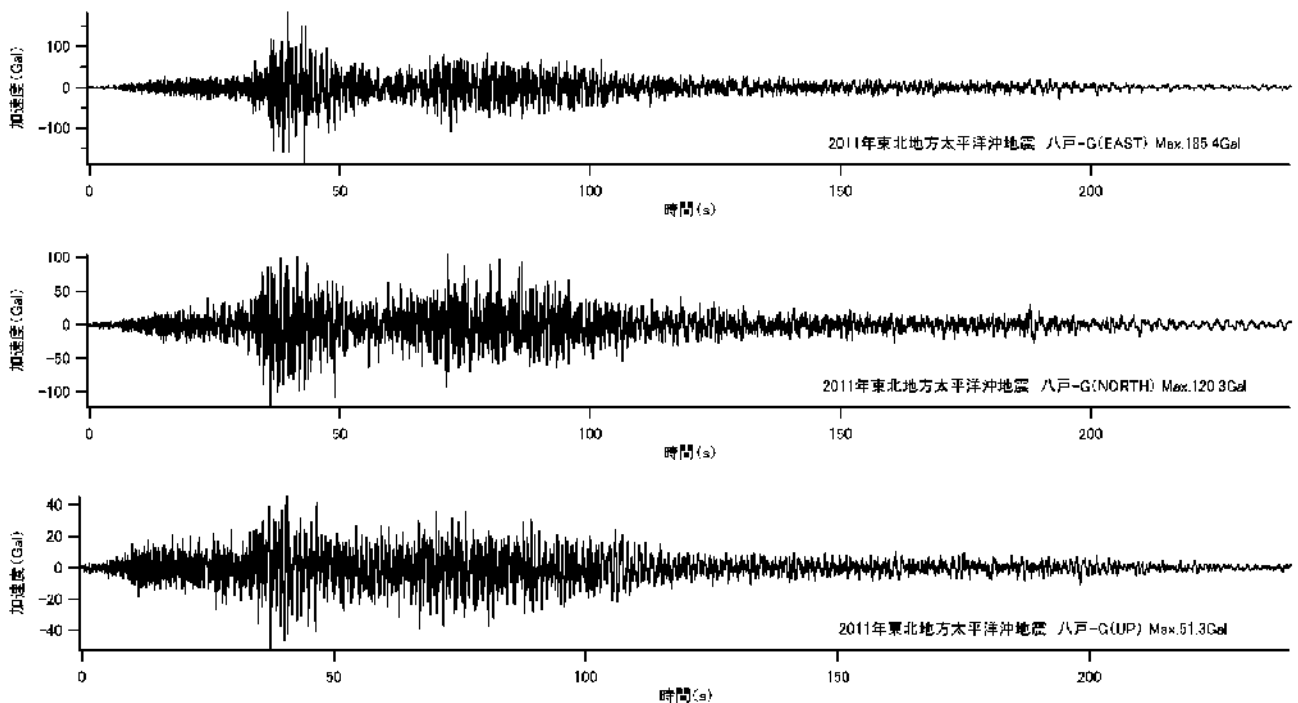


図-2.2.3.2 八戸港の地表（八戸-G）において観測された加速度波形

以下においては、まず、港湾地域強震観測網への津波の影響について述べ、次に、主に東北地方太平洋岸で得られた記録について紹介する。なお、観測網を構成する機器や地盤条件については野津・若井（2010）およびその付録 CD に詳しく記載されているので、そちらを参照していただければ幸いである。また、詳しく述べないが、この地震にお

いて、防災科学技術研究所の K-NET（Kinoshita, 1998）では 697 地点、KiK-net（Aoi *et al.*, 2000）では 508 地点において強震記録が得られている。それらの記録についても、港湾における記録と比較する形で適宜参照する。

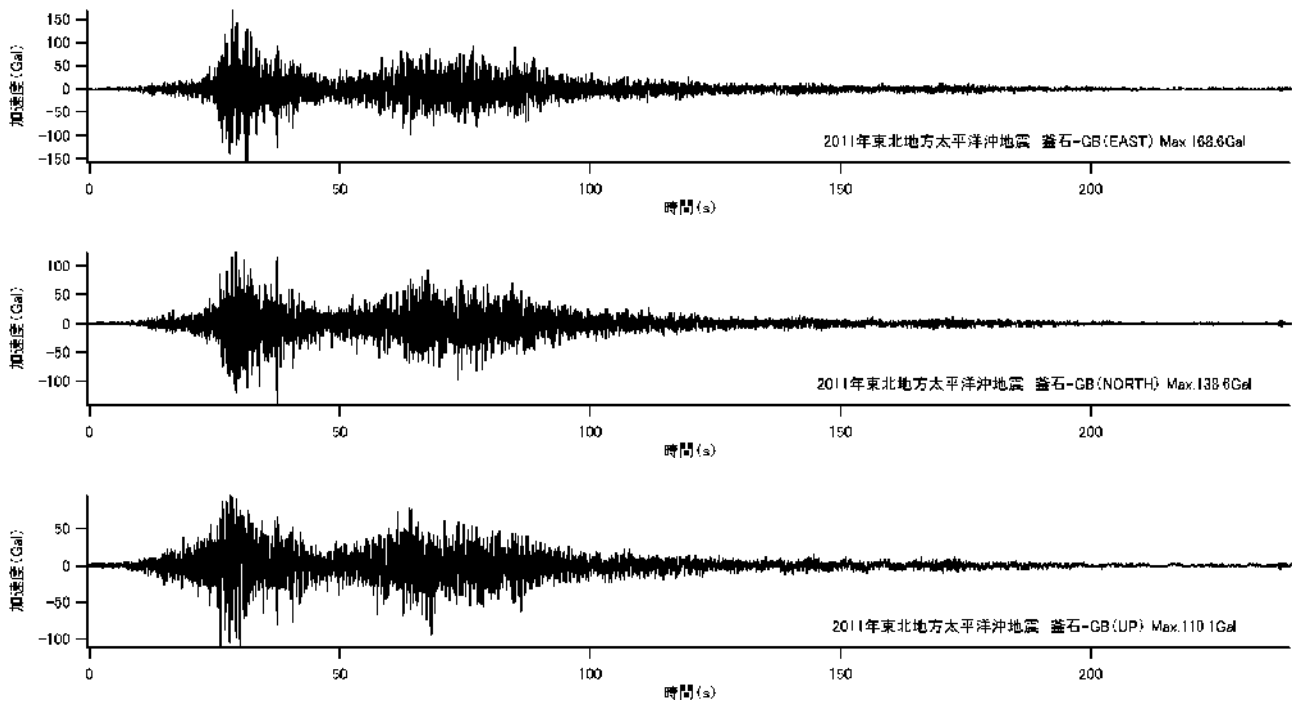


図-2.2.3.3 釜石港の地中（釜石-GB）において観測された加速度波形

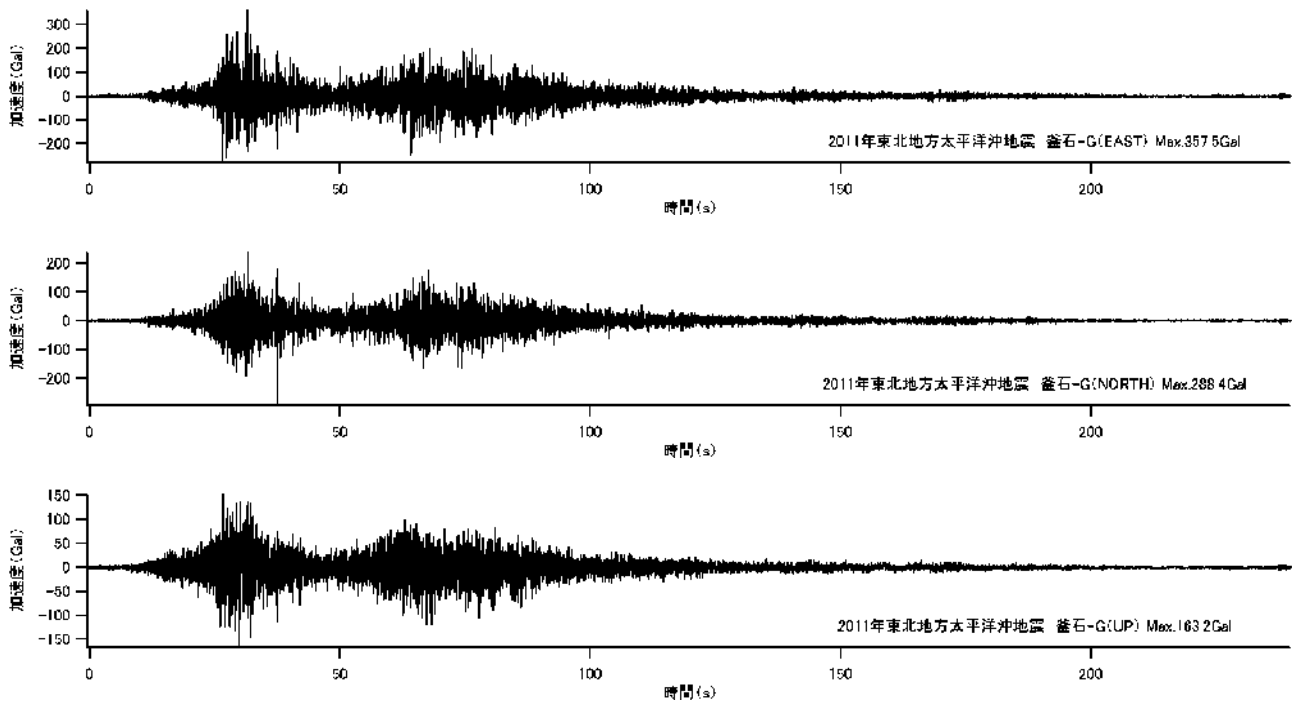


図-2.2.3.4 釜石港の地表（釜石-G）において観測された加速度波形

2.2.2 港湾地域強震観測網への津波の影響

野津・若井（2010）に記載されているように、港湾地域強震観測網の記録は原則として当所から強震計に対して電話をかける方法（ダイヤルアップ方式）で回収を行っている。今回の地震では、地震直後から1時間ほど当所の強震観測室が停電したため、記録の回収ができない状態であっ

た。電源の回復を待って記録の回収を開始したが、その時点ではすでに東北地方の強震計は津波の影響等により通信ができない状態であった。唯一、相馬港は一旦は電話が通じ、地中における最大加速度が301Galであることが確認できたが、データ転送の途中で通信が途絶えた。

その後、地方整備局の職員や当所職員が現地調査を実施

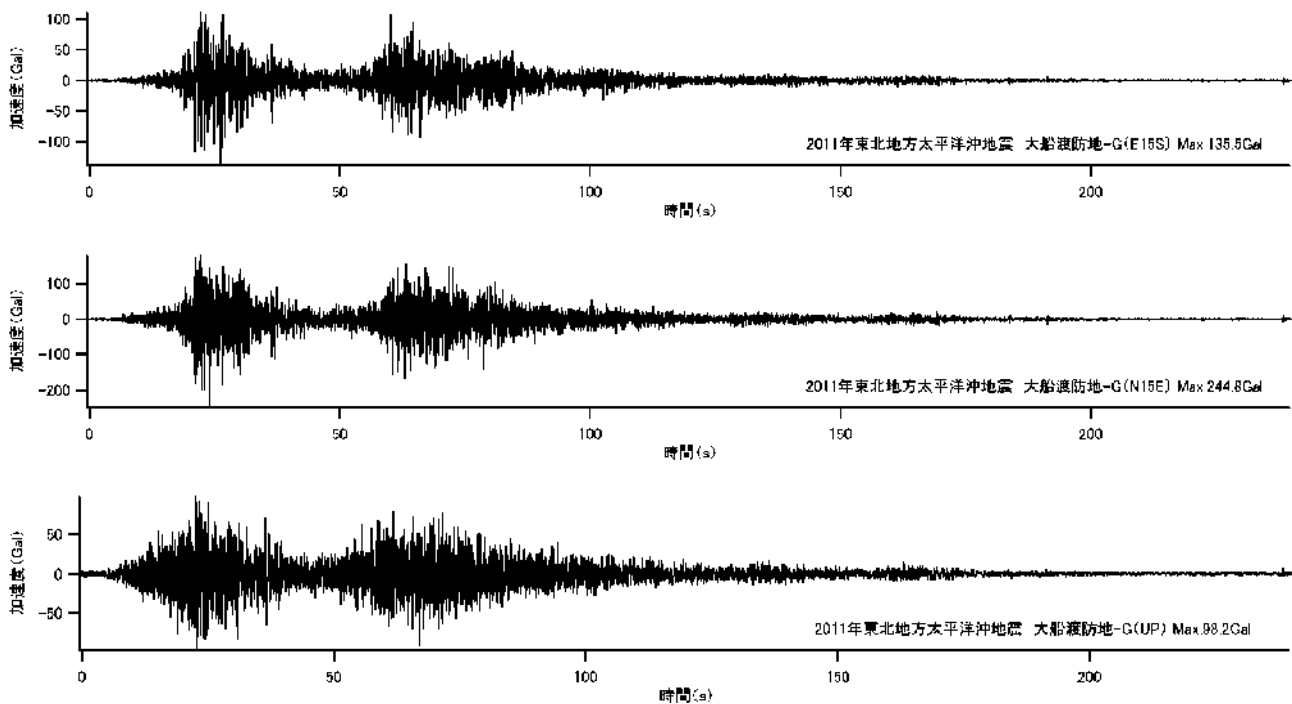


図-2.2.3.5 大船渡湾口防波堤の基部（大船渡防地-G）において観測された加速度波形



写真-2.2.2.1 相馬港の強震観測小屋跡
（東北地方整備局提供）
（平成23年3月25日撮影）



写真-2.2.2.2 八戸港の強震観測小屋
—地震後に津波を受けた様子—
（平成23年3月17日撮影）

したところ、宮古港（宮古-G）と相馬港（相馬-G,GB）では津波の影響により強震計と観測小屋が根こそぎ流されていることが判った。写真-2.2.2.1に相馬港の強震観測小屋跡を示す。一方、八戸港（八戸-G,GB）、釜石港（釜石-G,GB）、仙台塩釜港（仙台港区）（仙台-G,GB）、小名浜港（小名浜事-G,GB）については、津波の影響により強震計が一旦は水没したことが確認されたが、メモリーカードを回収したところ、幸い本震記録および本震直後の余震記録が残されていた。写真-2.2.2.2～写真-2.2.2.4に現地調査時（2011

年3月17日）の八戸港（八戸-G）の強震観測小屋の様子を示す。写真-2.2.2.2に示すように観測小屋周辺は津波による影響を受けており、写真-2.2.2.3に示すように観測小屋内部の高さ204cmの位置に痕跡線が存在していた。しかし、強震計の躯体内部はわずかに海水が浸入している程度であった（写真-2.2.2.4）。大船渡港については、強震観測小屋がやや小高い位置にあるため、津波の影響を免れた。

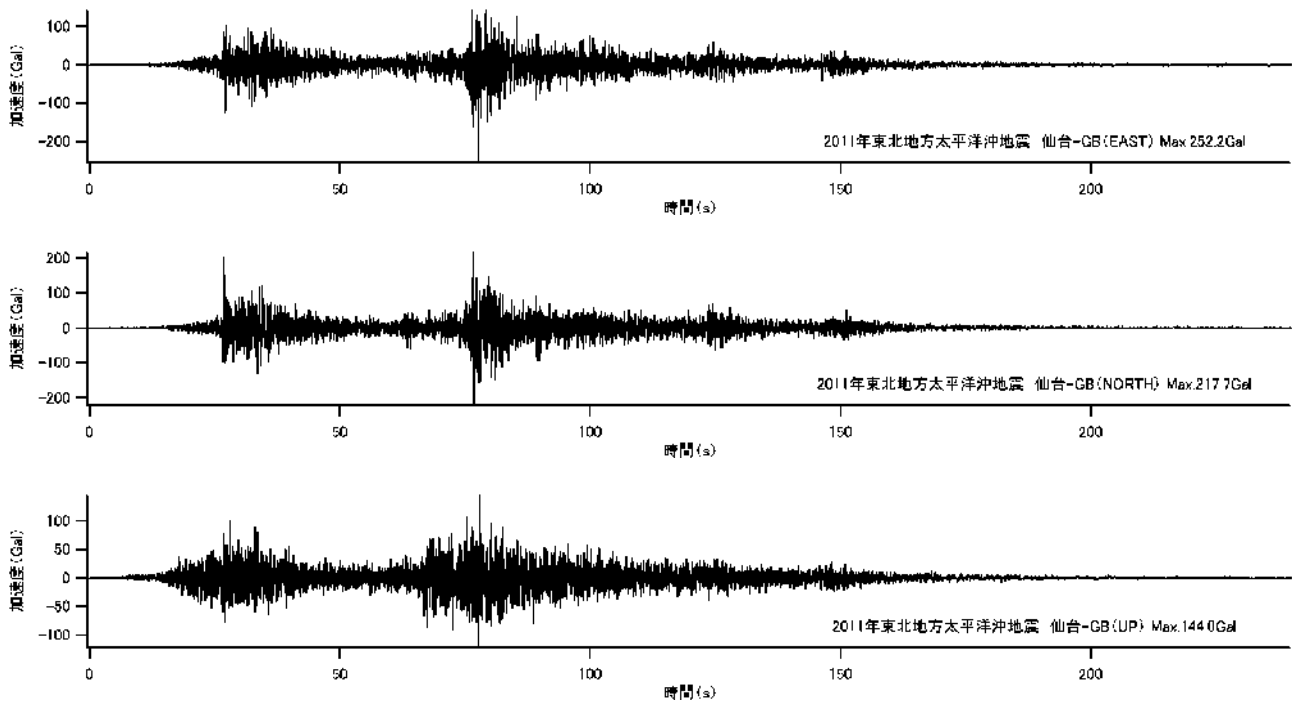


図-2.2.3.6 仙台塩釜港（仙台港区）の地中（仙台-GB）において観測された加速度波形

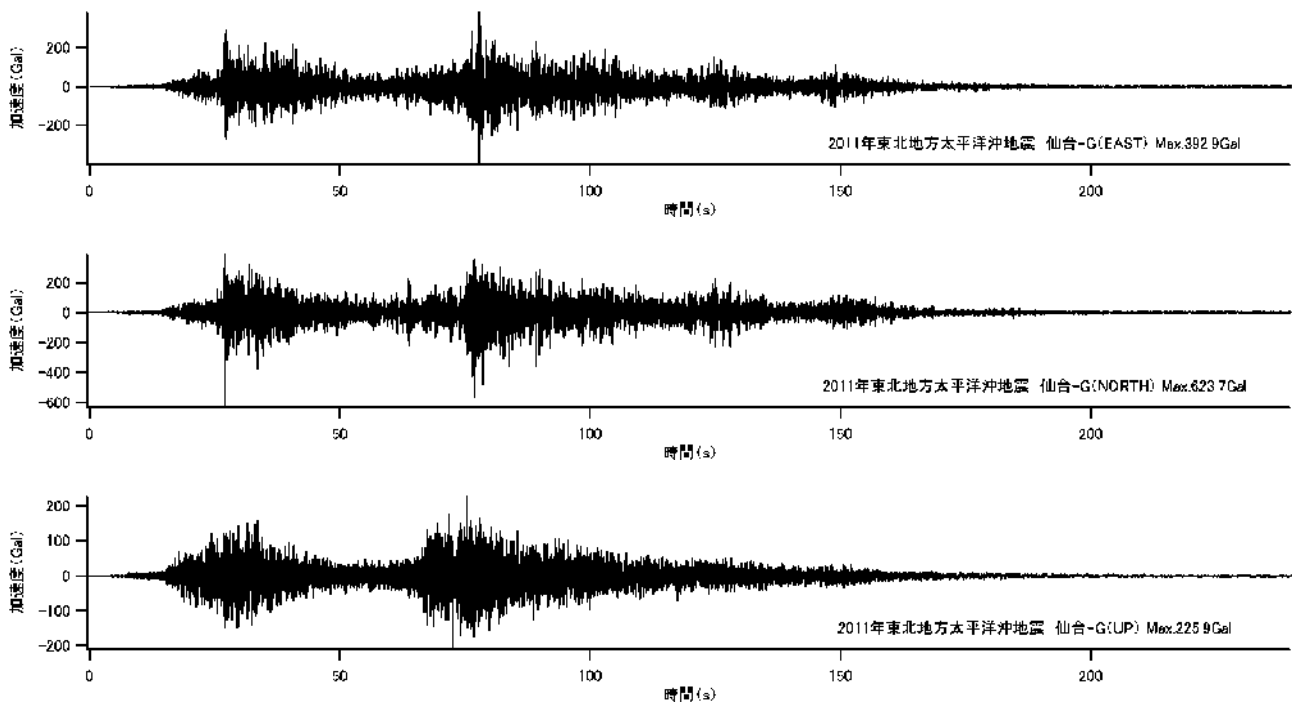


図-2.2.3.7 仙台塩釜港（仙台港区）の地表（仙台-G）において観測された加速度波形

2.2.3 観測された強震記録

東北地方太平洋岸で得られた強震記録の加速度波形を図-2.2.3.1～図-2.2.3.9に示す。いずれの記録も非常に継続時間が長いことが特徴である。また、釜石から仙台にかけての港湾で特に顕著なのは、波形がふた山からなり、途中でいったん揺れが停止しているように見えることである。

何故このような波形が得られたかの考察を2.3で実施しているの、参考にしていただければ幸いである。

小名浜港の地表では1400Galを越える非常に大きな最大加速度が観測された(図-2.2.3.9)。この値は、今回の地震でK-NET (Kinoshita, 1998)の築館観測点で観測された最大加速度2700Galには遠く及ばないものの、港湾地域強震

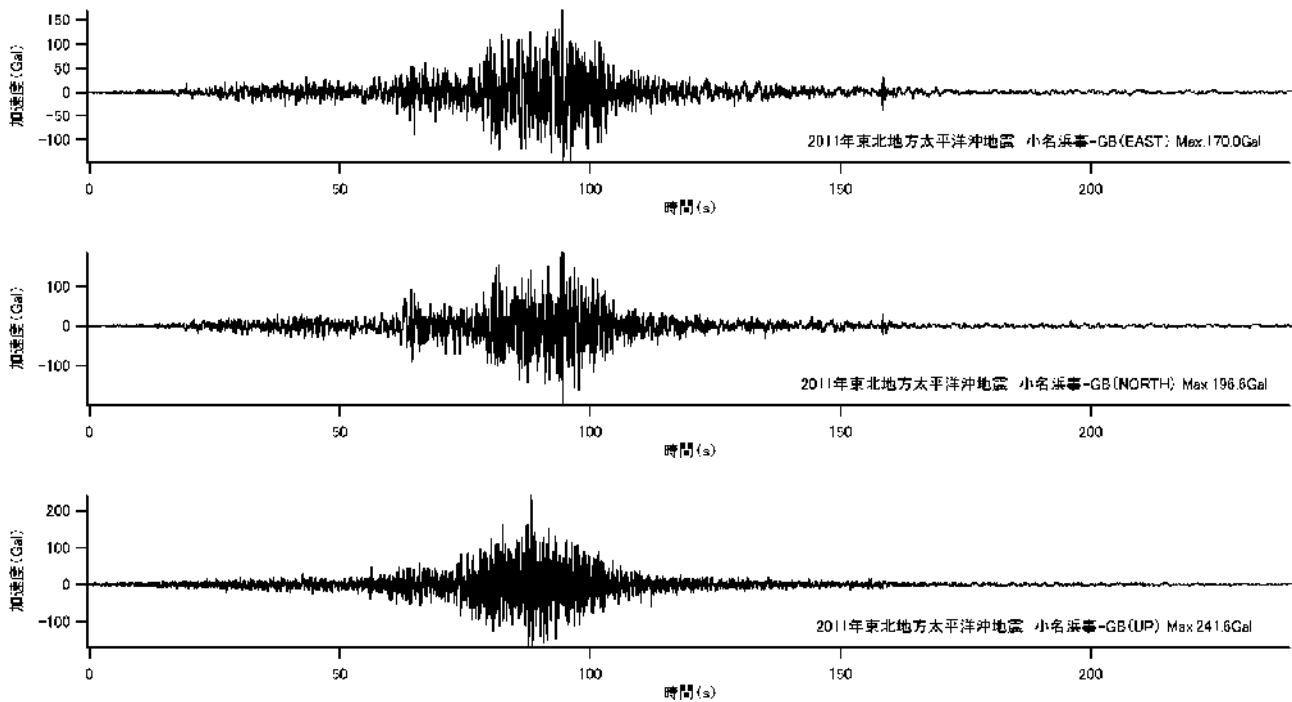


図-2.2.3.8 小名浜港の地中（小名浜事-GB）において観測された加速度波形

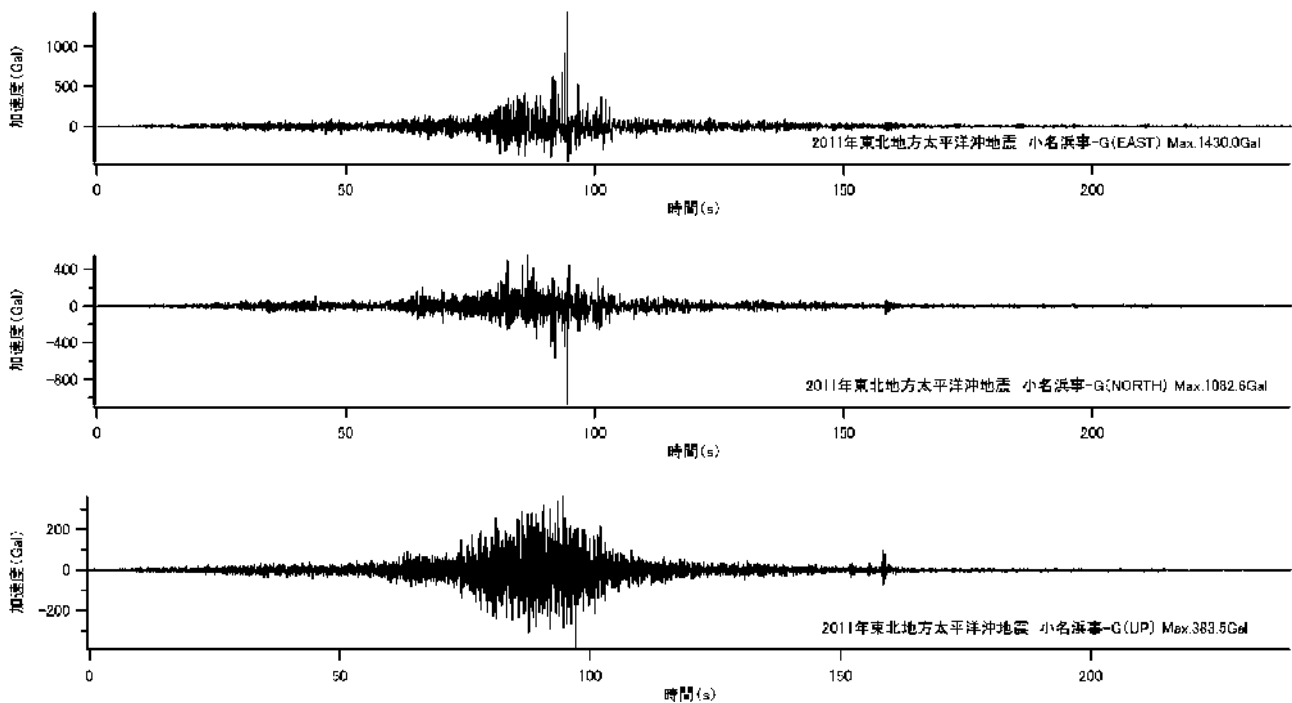


図-2.2.3.9 小名浜港の地表（小名浜事-G）において観測された加速度波形

観測網が記録した最大加速度としては過去最大である。小名浜港の地表の波形で 1400Gal を記録している部分の前後を拡大すると、図-2.2.3.10 に示すようにスパイク状のピークとなっており、密な砂地盤のサイクリックモビリティ（例えば井合他，1997）を示したものである可能性が高い。

これらの記録のうち、地表で得られたもののフーリエスペクトルを図-2.2.3.11～図-2.2.3.15 に示す。これらの図では、過去に港湾に被害をもたらした地震動の代表例として、1995年兵庫県南部地震の際、神戸港ポートアイランドの地表で観測された地震動のフーリエスペクトルとの比較を行っている。これらのフーリエスペクトルは、水平2成



写真-2.2.2.3 八戸港の強震観測小屋
—観測小屋内部の高さ204cmにある痕跡線—
(平成23年3月17日撮影)



写真-2.2.2.4 八戸港の強震観測小屋
—躯体内部にわずかに浸入していた海水—
(平成23年3月17日撮影)

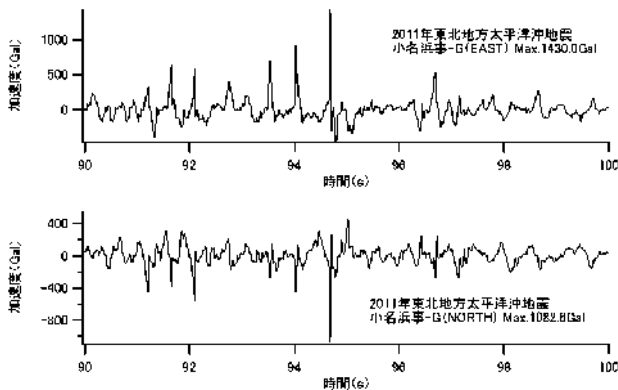


図-2.2.3.10 小名浜港の地表(小名浜事-G)において観測された加速度波形(90-100秒の拡大図)

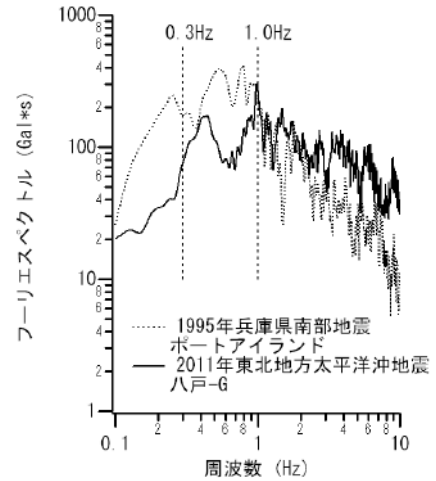


図-2.2.3.11 八戸-Gの記録のフーリエスペクトル(ポートアイランドとの比較)

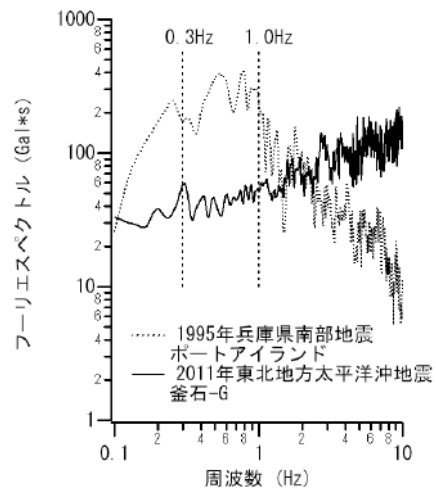


図-2.2.3.12 釜石-Gの記録のフーリエスペクトル(ポートアイランドとの比較)

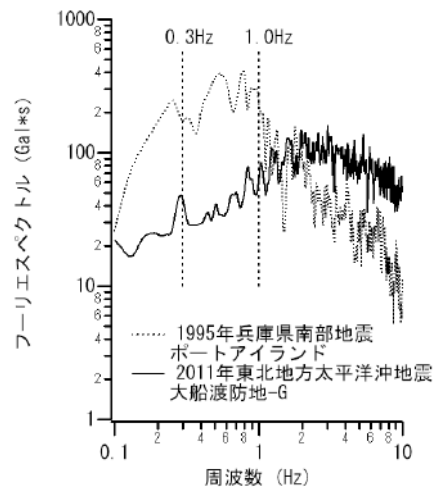


図-2.2.3.13 大船渡防地-Gの記録のフーリエスペクトル(ポートアイランドとの比較)

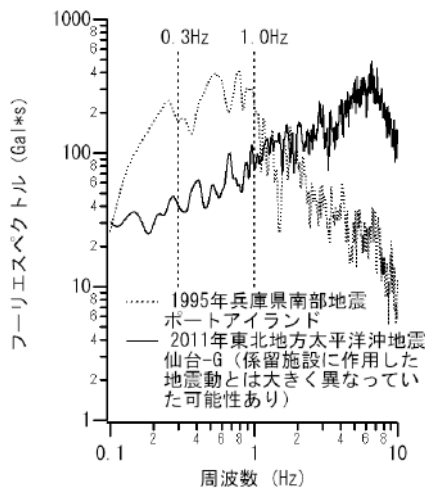


図-2.2.3.14 仙台-Gの記録のフーリエスペクトル（ポートアイランドとの比較）

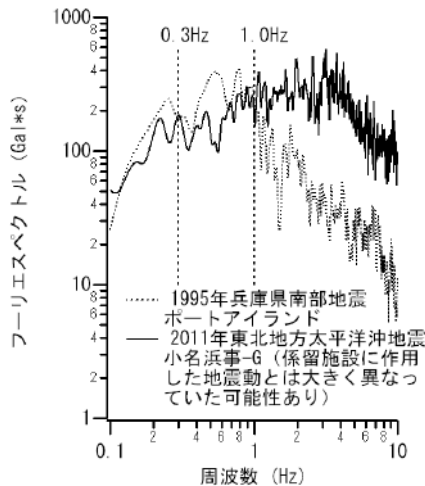


図-2.2.3.15 小名浜事-Gの記録のフーリエスペクトル（ポートアイランドとの比較）

分のベクトル和をとりバンド幅 0.05Hz の Parzen ウィンドウを適用したものである。一般的に港湾構造物に対しては 0.3-1Hz 程度の周波数成分が最も影響を及ぼしやすいと考えられる（例えば野津他，2000）。そのような観点でこれらのフーリエスペクトルを見ていくと、釜石-G、大船渡防地-G、仙台-Gの記録は港湾構造物に対して影響の大きい周波数成分が非常に少なく、八戸-Gの記録はそれよりは多いがポートアイランドの記録よりはるかに少ない。小名浜事-Gの記録は、最大加速度という観点ではポートアイランドの記録（341Gal）よりはるかに大きかったが、港湾構造物に対して影響の大きい周波数成分はポートアイランドの記録よりむしろ少なかったと言える。ただし、地震動はサイト特性の影響を大きく受け、狭い範囲でも大きく変化する

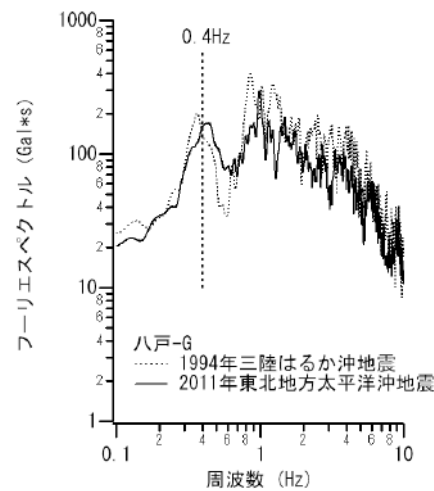
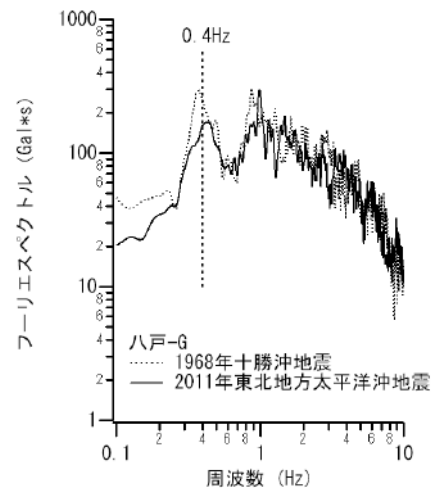


図-2.2.3.16 八戸港における今回の記録のフーリエスペクトルと 1968 年十勝沖地震（上）および 1994 年三陸はるか沖地震（下）との比較

ことがあるので（例えば野津・長尾，2005），強震計で観測された地震動が必ずしも施設に作用した地震動を表しているとは限らない。従って、先に述べたことが必ずしも施設に作用した地震動に当てはまるとは限らない。この点については 2.2.6 で述べる。

なお、八戸港では、過去に 1968 年十勝沖地震（M7.9）と 1994 年三陸はるか沖地震（M7.6）の記録も得られているので、ここではそれらの記録のフーリエスペクトルとの比較を行った。1968 年十勝沖地震と 1994 年三陸はるか沖地震の記録はいずれも SMAC-B2 型強震計で得られているので、ここでは今回得られた記録をもとに、SMAC-B2 型強震計による記録と直接比較可能な「SMAC-B2 相当波形」（井合他，1978）を求め、そのフーリエスペクトル（水平 2 成分のベクトル和をとりバンド幅 0.05Hz の Parzen ウィンドウを適用したもの）を計算し、1968 年および 1994 年の

記録と比較した。図-2.2.3.16に結果を示す。1968年十勝沖地震および1994年三陸はるか沖地震の記録に認められた0.4Hz付近(周期2.5秒付近)のピークが今回の記録にも認められるのを始めとして、今回得られた記録のスペクトル形状は全体に過去の地震のものとはかなり類似している。スペクトルレベルに着目すると、今回の記録は全体的に1968年や1994年の記録よりもやや小さい。これは、今回の地震において震源断層の破壊が三陸沖北部まで進まなかったことを示すと考えられる。1968年および1994年の地震ではそれぞれ八戸港において被害が報告されている(片山他, 1969; 運輸省第二港湾建設局・運輸省港湾技術研究所, 1995)のに対し、今回の地震では3.1で述べるように八戸港で揺れによる被害が見られなかったのは、今回の揺れが1968年や1994年の揺れよりもやや小さかったためであると考えられる。なお、1968年の記録が得られた八戸-Sは、今回の記録が得られた八戸-Gとは250mばかり隔っている(土田他, 1967; 一井他, 1999)。記録の比較を行う上で注意を要する点であるが、両地点で観測された地震波の卓越周波数に違いが認められないことから、両地点における記録は直接比較可能である可能性が高い。なお、1994年三陸はるか沖地震の記録が得られた八戸事-Sは、今回の記録が得られた八戸-Gと同一地点である。

2.2.4 K-NETの記録との比較

上記の記録のうち、八戸-G、釜石-G、仙台-G、小名浜事-Gの記録について、フーリエスペクトルという観点から、最寄りのK-NET観測点での記録と比較する。フーリエスペクトルの算定方法はこれまでと同様である。最寄りのK-NET観測点はそれぞれK-NET八戸、K-NET釜石、K-NET仙台、K-NET勿来であり、それらの位置を図-2.2.4.1、図-2.2.4.4、図-2.2.4.7、図-2.2.4.10に示す。K-NET観測点はすべて地表で観測を行っている。大船渡防地-Gについては、最寄りのK-NET観測点での記録が今回は公開されていないので、比較を実施しない。

まず、図-2.2.4.2は八戸-Gの記録をK-NET八戸(八戸市内丸)の記録と比較したものである。八戸-Gでは0.4Hz付近の成分の著しい卓越が認められるが、K-NET八戸の記録にはそれが認められず、0.4Hzを中心とする帯域で両者のフーリエスペクトルには大きな違いがある。図-2.2.4.3は野津・長尾(2005)において中小地震観測記録から求められた両地点のサイト増幅特性を示したものであるが、0.4Hz付近で著しい差があることを始めとして、1Hz以上における両地点の上下関係も含め、図-2.2.4.2と図-2.2.4.3は非常に良く対応しており、今回の地震による両地点の揺れの違いはサイト増幅特性の違いとして説明できるこ

とがわかる。

図-2.2.4.5は釜石-Gの記録をK-NET釜石(釜石市中妻町)の記録と比較したものである。K-NET釜石の記録には2-3Hz程度の成分の著しい卓越が認められるのに対し、釜石-Gの記録にはそれが認められず、2-3Hzを中心とする帯域で両者のフーリエスペクトルには大きな違いがある。図-2.2.4.6は中小地震観測記録から求められた両地点のサイト増幅特性を示したものである。ここで、K-NET釜石のサイト増幅特性は野津・長尾(2005)のものであるが、釜石-Gについては、野津・長尾(2005)の解析で用いられた記録の数が1個と少なく、そこで評価されているサイト増幅特性は信頼性に乏しいので、国土技術政策総合研究所において中小地震記録に基づいて再評価されたサイト増幅特性(www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/sisetu.html)を示した。図-2.2.4.5と図-2.2.4.6の特徴は極めて類似しており、今回の地震による両地点の揺れの違いはサイト増幅特性の違いとして説明できることがわかる。

図-2.2.4.8は仙台-Gの記録をK-NET仙台(仙台市宮城野区苦竹)の記録と比較したものであるが、K-NET仙台のスペクトルは0.2-3Hzに渡る広帯域で仙台-Gのスペクトルを大きく上回っている。図-2.2.4.9は野津・長尾(2005)において中小地震観測記録から求められた両地点のサイト増幅特性を示したものであるが、両地点のサイト増幅特性には著しい違いがあり、これが今回の地震による揺れの違いをもたらしていると考えられる。

図-2.2.4.11は小名浜事-Gの記録をK-NET勿来(いわき市錦町)の記録と比較したものである。図-2.2.4.12は既往の研究(野津・長尾, 2005)において中小地震観測記録から求められた両地点のサイト増幅特性を示したものである。やはり両地点の揺れには違いがあるが、両地点の揺れの違いがサイト増幅特性の違いで説明できる度合いは、先に述べた八戸、釜石、仙台ほどには高くはないように思われる。この理由としては、今回の地震において小名浜事-Gの地盤に著しい非線形挙動が生じていたことが考えられる。この点については次の2.2.5でも検討する。

図-2.2.4.13~図-2.2.4.16は、港湾の観測点とK-NET観測点との間での、今回の記録から計算されたフーリエスペクトルの比率と、中小地震記録に基づいて評価されたサイト増幅特性の比率を比較したものである。八戸では、今回の地震による揺れの違いはサイト増幅特性の違いによって非常に良く説明できることがわかる。釜石でも今回の地震による揺れの違いはサイト増幅特性の違いで良く説明できるが、スペクトル比の谷が今回の地震の場合の方が低周波側に移動している。スペクトル比の谷はK-NET釜石におけるサイト増幅特性のピークに対応しており、K-NET釜石

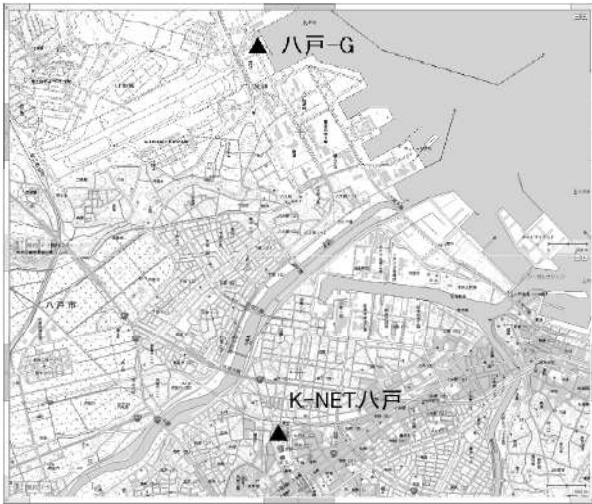


図-2.2.4.1 八戸-GとK-NET八戸の位置関係

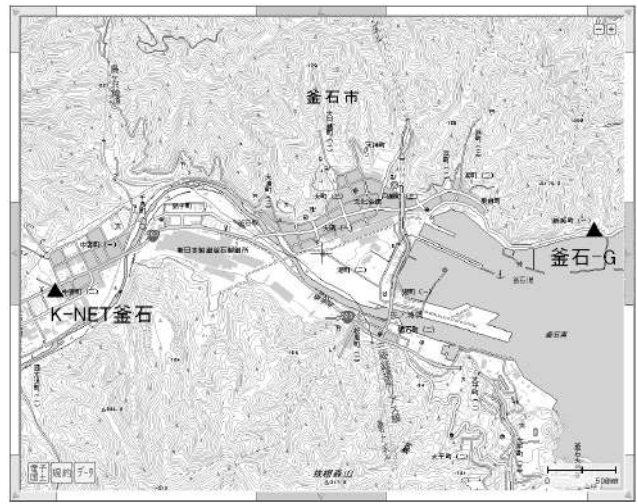


図-2.2.4.4 釜石-GとK-NET釜石の位置関係

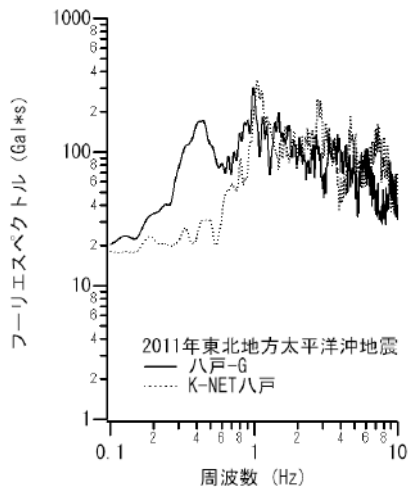


図-2.2.4.2 今回の地震のフーリエスペクトル
—八戸-GとK-NET八戸—

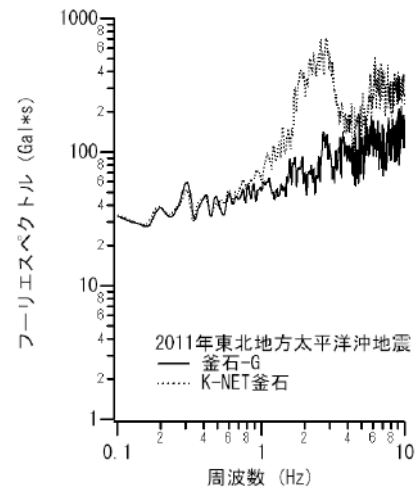


図-2.2.4.5 今回の地震のフーリエスペクトル
—釜石-GとK-NET釜石—

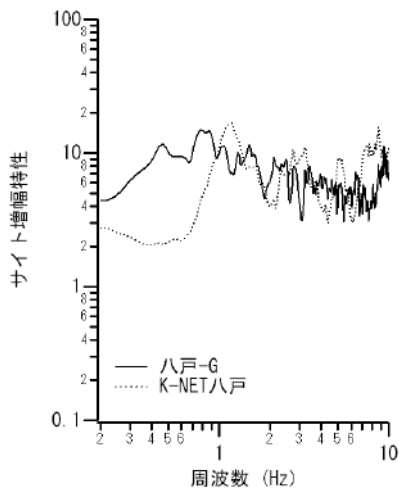


図-2.2.4.3 中小地震記録によるサイト増幅特性
—八戸-GとK-NET八戸—

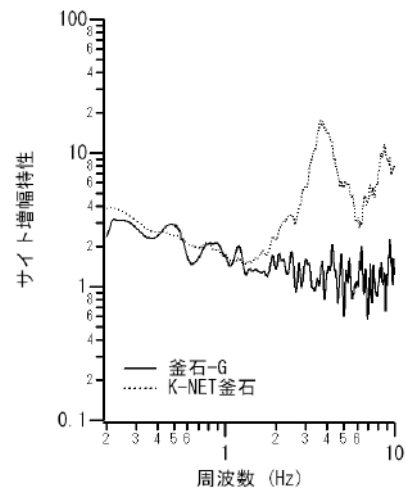


図-2.2.4.6 中小地震記録によるサイト増幅特性
—釜石-GとK-NET釜石—



図-2.2.4.7 仙台-GとK-NET仙台の位置関係



図-2.2.4.10 小名浜事-GとK-NET勿来の位置関係

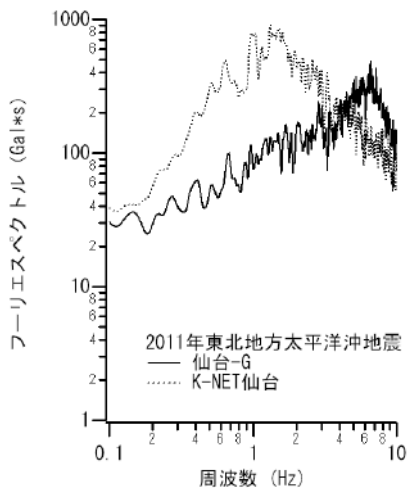


図-2.2.4.8 今回の地震のフーリエスペクトル
—仙台-GとK-NET仙台—

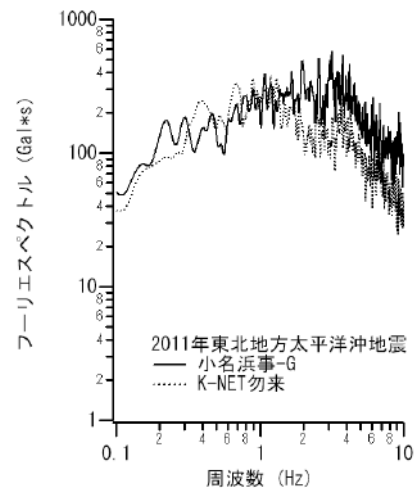


図-2.2.4.11 今回の地震のフーリエスペクトル
—小名浜事-GとK-NET勿来—

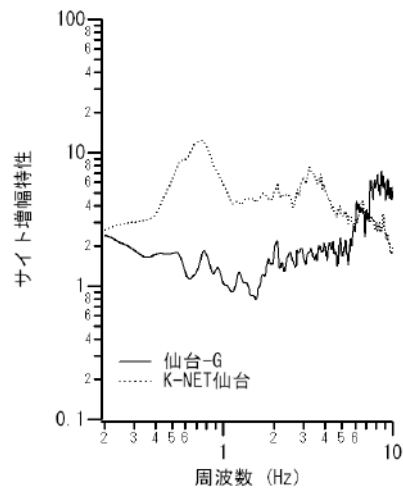


図-2.2.4.9 中小地震記録によるサイト増幅特性
—仙台-GとK-NET仙台—

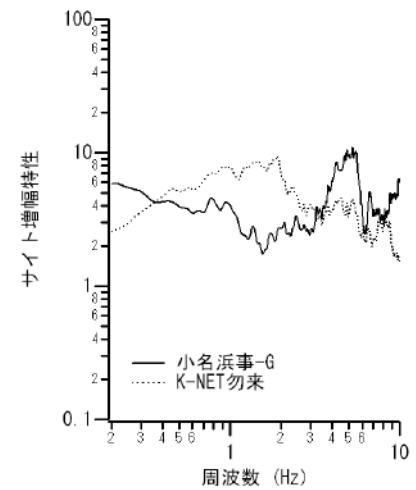


図-2.2.4.12 中小地震記録によるサイト増幅特性
—小名浜事-GとK-NET勿来—

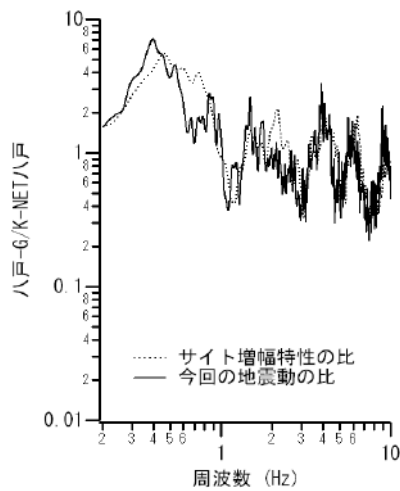


図-2.2.4.13 中小地震記録によるサイト増幅特性の比と今回の記録のスペクトル比（八戸-G/K-NET八戸）

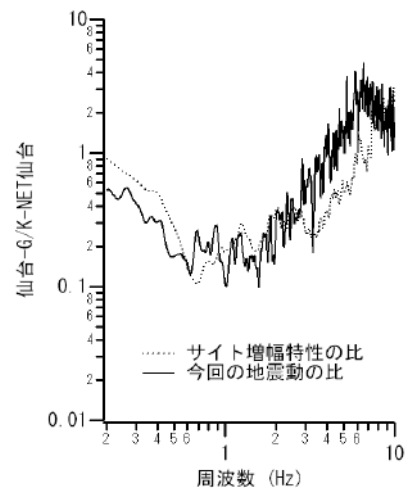


図-2.2.4.15 中小地震記録によるサイト増幅特性の比と今回の記録のスペクトル比（仙台-G/K-NET仙台）

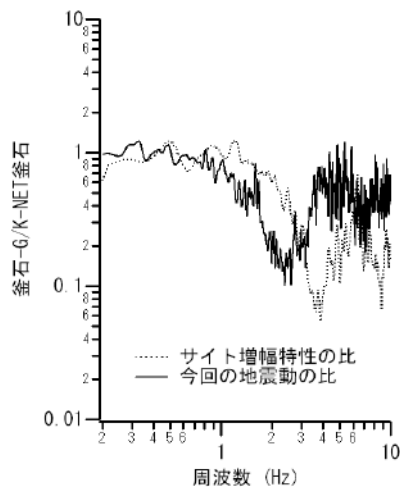


図-2.2.4.14 中小地震記録によるサイト増幅特性の比と今回の記録のスペクトル比（釜石-G/K-NET釜石）

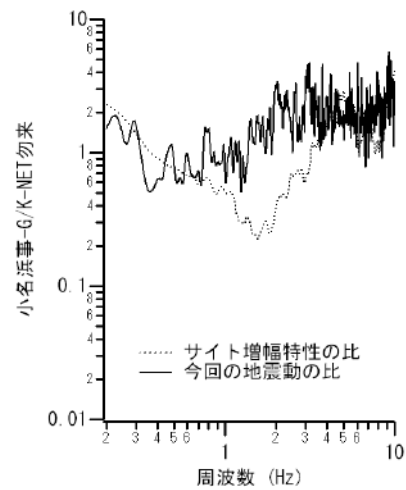


図-2.2.4.16 中小地震記録によるサイト増幅特性の比と今回の記録のスペクトル比（小名浜事-G/K-NET勿来）

における表層地盤の非線形挙動とそれによるピーク周波数の低下が、上記の違いの原因であると考えられる。仙台では、今回の地震による揺れの違いはサイト増幅特性の違いによって非常に良く説明できる。小名浜では、両地点の揺れの違いがサイト増幅特性の違いで説明できる度合いは、八戸、釜石、仙台ほど高くない。これは小名浜事-Gの地盤における著しい非線形挙動が原因と考えられる。

全体として、今回の地震における港湾の観測点と K-NET 観測点における揺れの違いは、表層地盤の非線形挙動が極めて著しい場合を除けば、ほぼサイト増幅特性の違いによって説明することができる。また、サイト増幅特性の違い

は、フーリエスペクトルという指標で見た場合、特定の周波数では 10 倍あるいは 1/10 倍に達する場合もあり、非常に大きいと言える。以上の結果から、比較的狭い範囲において、サイト増幅特性（従って地震動も）は著しく変化していることがわかる。各港湾で得られた記録はあくまでも観測点での揺れを表すものと考えるべきであり、これが観測点を中心とするどの範囲の揺れを表しているかについては、微動観測等を活用した慎重な検討が必要である。

2.2.5 地表と地中のスペクトル比

地表と地中で同時に観測を行っている観測点について、

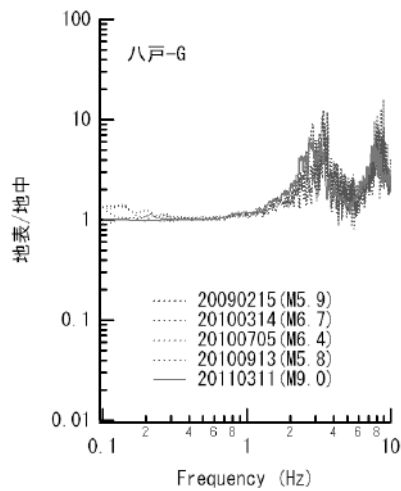


図-2.2.5.1 地表と地中のスペクトル比
(八戸-G/八戸-GB)

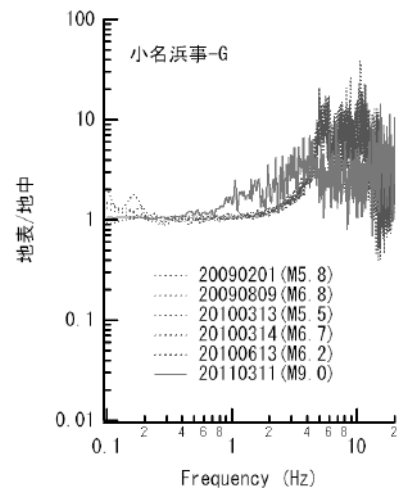


図-2.2.5.4 地表と地中のスペクトル比
(小名浜事-G/小名浜事-GB)

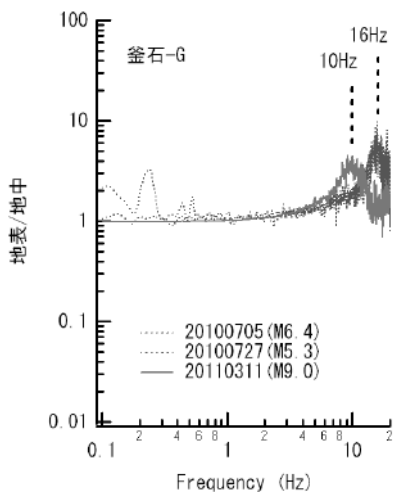


図-2.2.5.2 地表と地中のスペクトル比
(釜石-G/釜石-GB)

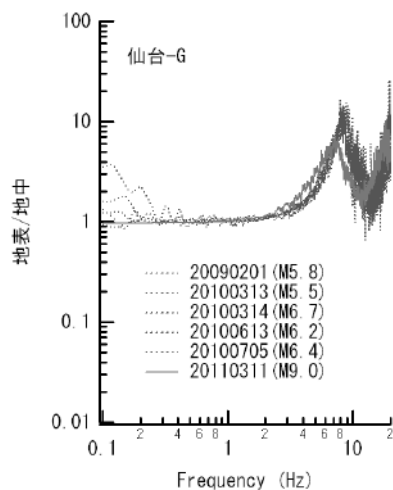


図-2.2.5.3 地表と地中のスペクトル比
(仙台-G/仙台-GB)

地表で得られた記録と地中で得られた記録のスペクトル比を紹介する。八戸、釜石、仙台、小名浜の記録について、地表と地中のフーリエスペクトル（水平2成分のベクトル和をとりバンド幅 0.05Hz のパーセンウィンドウを適用したもの）の比を求め、図-2.2.5.1～図-2.2.5.4 に示した。これらの図では比較のため、地盤が線形の範囲で挙動していると考えられる過去の地震によるスペクトル比を破線で併記している。

これらの図から、八戸-G と仙台-G では、スペクトル比のピークが線形時よりも若干低周波側に移動しているものの、強い非線形挙動は生じていなかったことがわかる。釜石-G では、スペクトル比のピークが線形時の約 16Hz から 10Hz まで低下しているので、地震時に表層地盤の S 波速度が約 40%低下したと考えられる。小名浜事-G では線形時と全く異なるスペクトル比が得られており、強い非線形挙動が生じていたと考えられる。これらの観測結果は、今後、地盤の地震応答計算プログラムの検証などに利用できると思われる。

2.2.6 強震記録の利用上の注意点

今回得られた記録を今後の復興事業や研究に活用する際の注意点として、地震動はサイト特性の影響を大きく受け、狭い範囲でも大きく変化することがあるので（例えば野津・長尾，2005）、強震計で観測された地震動が必ずしも施設に作用した地震動を表しているとは限らないという点を挙げる。その一例として以下においては仙台塩釜港（仙台港区）の例を挙げる。

仙台塩釜港（仙台港区）の高松埠頭（位置を図-2.2.6.1 に示す）では東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所

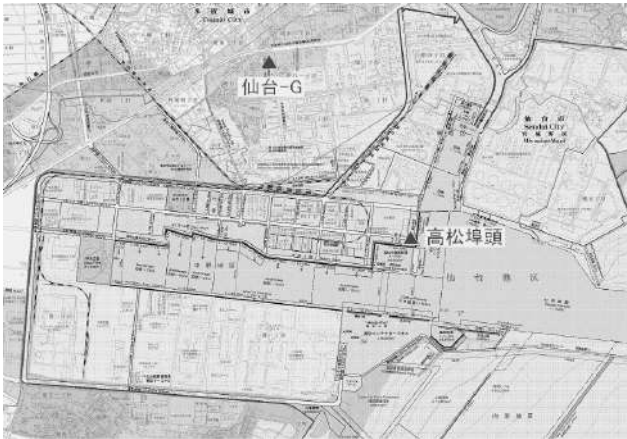


図-2.2.6.1 仙台-G と高松埠頭の位置関係

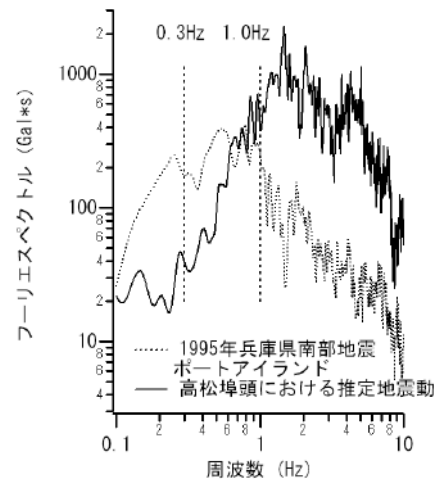


図-2.2.6.4 高松埠頭における推定地震動のフーリエスペクトル (ポートアイランドとの比較)

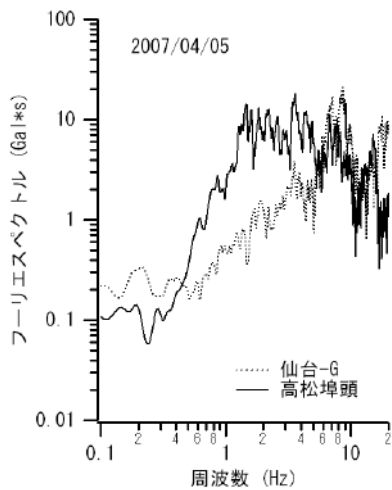


図-2.2.6.2 2007年4月5日の地震による仙台-G と高松埠頭のフーリエスペクトル

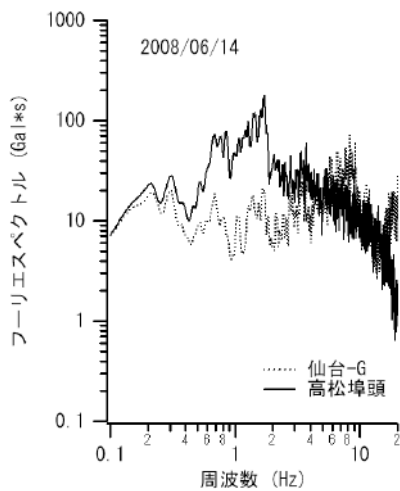


図-2.2.6.3 2008年6月14日の地震による仙台-G と高松埠頭のフーリエスペクトル

により 2007 年から 2008 年にかけて臨時の地震観測が行われており、仙台-G との同時記録が得られている。これらの記録からフーリエスペクトルを求め比較すると、仙台-G よりも高松埠頭の方が 0.5-5Hz の広帯域ではるかに大きい地震動となっていることがわかる。そこで、両地点のフーリエスペクトルの比率を求め、それを今回仙台-G で観測されたフーリエスペクトルに乘じ、今回の地震による高松埠頭でのフーリエスペクトルを推定すると図-2.2.6.4 のようになる。先に仙台-G での今回の地震動は港湾構造物に対して影響を及ぼしやすい周波数成分が非常に少ないことを指摘したが、高松埠頭での推定地震動は、0.5Hz 以下の帯域では兵庫県南部地震によるポートアイランドの地震動よりかなり小さいものの（これは地震基盤がポートアイランドの地盤ほど深くないためである）、港湾構造物に対して影響を及ぼしやすい周波数成分もかなり含んでいる。このように、仙台塩釜港（仙台港区）の施設に作用した地震動は、仙台-G で観測された地震動とはかなり異なっていたと考えられる。

2.3 震源断層の破壊過程の推定

2.3.1 概要

今回の地震において、港湾構造物に影響を及ぼしやすい地震動の周波数成分が断層面のどこから生じているかを明らかにすることなどを目的として、経験的グリーン関数を用いた波形インバージョンにより、今回の地震のすべりの時空間分布を推定した。

2.3.2 グリーン関数の選択

図-2.3.2.1 の上段は KiK-net (Aoi, et al., 2000) の観測点

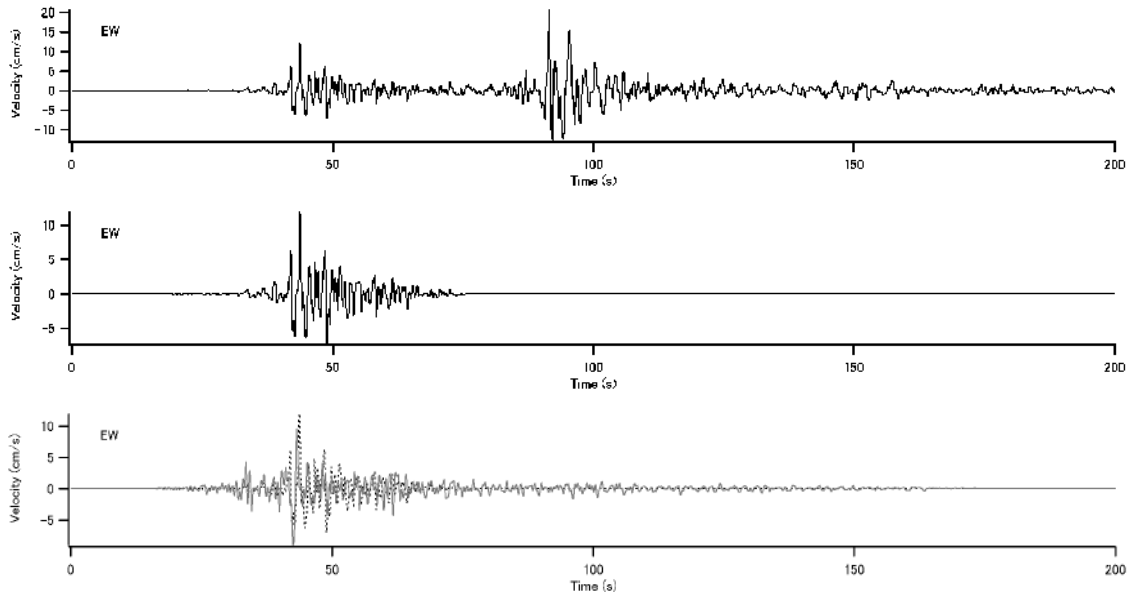


図-2.3.2.1 上段は MYGH12 の地中における東北地方太平洋沖地震の速度波形 (EW 成分, 0.2-2Hz), 中段はその前半部分, 下段は前半部分のフーリエ位相を 2005 年 12 月 17 日宮城県東方沖の地震 (M6.1) のフーリエ位相に置き換えた波形 (実線) と前半部分 (破線) との比較

表-2.3.2.1 本震および地震 1 のパラメタ (*気象庁による, **F-net による)

	日付	時刻*	東経*	北緯*	深さ*	M_J^*	M_0	(strike,dip,rake)
		JST	(deg.)	(deg.)	(km)		(Nm)	(deg.)
本震	2011/3/11	14:46 頃	142.9	38.1	24.0	9.0	$1.07E+22^{**}$	$(200,27,88)^{**}$
地震 1	2005/12/17	3:32:13.4	142.180	38.448	40.0	6.1	$1.12E+18^{**}$	$(196,19,86)^{**}$

である MYGH12 の地中における東北地方太平洋沖地震(本震とよぶ)の速度波形 (EW 成分, 0.2-2Hz) である。波形は大きく二つの部分からなることがわかる, 中段はその前半部分を切り出したものである。下段は, 前半部分のフーリエ振幅をそのまま保ちつつ, フーリエ位相だけを 2005 年 12 月 17 日宮城県東方沖の地震 (M6.1) のフーリエ位相に置き換えた波形 (実線) と前半部分 (破線) との比較である。この図から, 本震の前半部分のフーリエ位相と 2005 年 12 月 17 日の地震のフーリエ位相は類似していることがわかる。同様の傾向は他の比較的多くの地点で認められた。そこで, 2005 年 12 月 17 日の地震 (地震 1 とよぶ) の記録を経験的グリーン関数の候補として選定した。本震および地震 1 のパラメタを表-2.3.2.1 に示す。地震 1 はプレート境界地震と考えられる。

2.3.3 インバージョンの条件

表層地盤の非線形挙動の影響を可能な限り避けるため, KiK-net の地中での観測記録をインバージョンのデータとして用いた。本震と地震 1 の記録がともに十分な精度で観測できている 27 地点 (図-2.3.3.1 に示す) を選定し, 本震の EW 成分の速度波形 (0.1-0.5Hz) をインバージョンの

ターゲットとし, 地震 1 の EW 成分の速度波形 (0.1-0.5Hz) をグリーン関数とした。インバージョンには S 波を含む 96 秒間を用いた。インバージョンで仮定した断層面の位置を図-2.3.3.1 に示す。図-2.3.3.1 の■は気象庁発表の震源であり, その座標は (東経 142.9°, 北緯 38.1°, 深さ 24km) である。この点を含むように断層面を設定した。断層面の角度は, 気象庁 (2011f) の CMT 解を参考に, 走向は 203°, 傾斜 10° とした。設定した断層面の長さは 390km, 幅は 270km である。

インバージョンは Hartzell and Heaton (1983) の方法に基づいている。390km×270km の断層を 39×27 の小断層に分割し, それぞれの小断層でのモーメントレート関数は, 地震 1 のモーメントレート関数とインパルス列との合積で表されると仮定した。インパルス列は 0.5 秒間隔の 12 のインパルスからなるものとし, このインパルスの高さをインバージョンの未知数とした。破壊フロントは気象庁の震源から同心円状に速度 2.6km/s で広がるものとした。基盤の S 波速度は 3.9km/s とした。インバージョンには非負の最小自乗解を求めるためのサブルーチン (Lawson and Hanson, 1974) を用いた。また, すべりの時空間分布を滑らかにするための拘束条件を設けた。観測波と合成波を比較する際

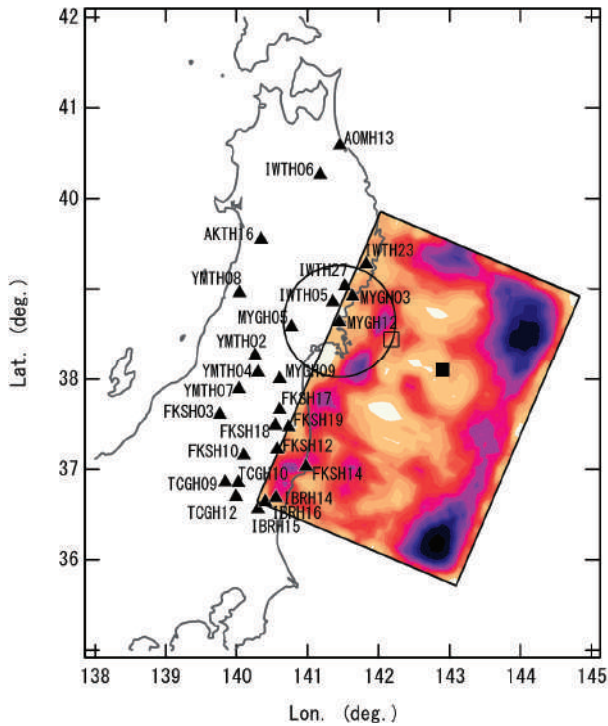


図-2.3.3.1 インバージョンに用いた観測点(▲)とインバージョンで仮定した断層面(大きな長方形)．■は気象庁発表の震央．□は2011年12月17日の地震の震央であり、その記録をグリーン関数として用いた．コンターは最終すべり量分布を示す．なお MYGH12 を中心とする半径 70km の円については後述する．

には記録のヘッダに記載された絶対時刻の情報を用いている．なお、本震について詳細な震源時刻が気象庁から未だ発表されていないので、破壊フロントの拡大開始時刻は次のように定めた．まず、本震に先だって2011年3月9日11:45:12.9に三陸沖で発生した地震(M7.3)において、MYGH12におけるP波到来時刻が11:45:40であることから、当該地域におけるP波速度を6.0km/sと推定した．次に、本震時のMYGH12におけるP波到来時刻が14:46:41であることから、本震の破壊開始時刻を14:46:17.4と推定し、これを破壊フロントの拡大開始時刻とした．

2.3.4 結果と考察

図-2.3.3.1と図-2.3.4.1にインバージョンの結果として得られた最終すべり量の分布を示す(S波速度3.9km/s、密度3.1ton/m³ですべり量に換算)．この図から、非常に大きいすべりが破壊開始点よりも沖合側(海溝側)で生じていることがわかる．また、これとは別に、破壊開始点よりも陸側でも部分的にすべりの大きい部分が見受けられる．観測波と合成波の比較を図-2.3.4.2に示す．観測波の特徴

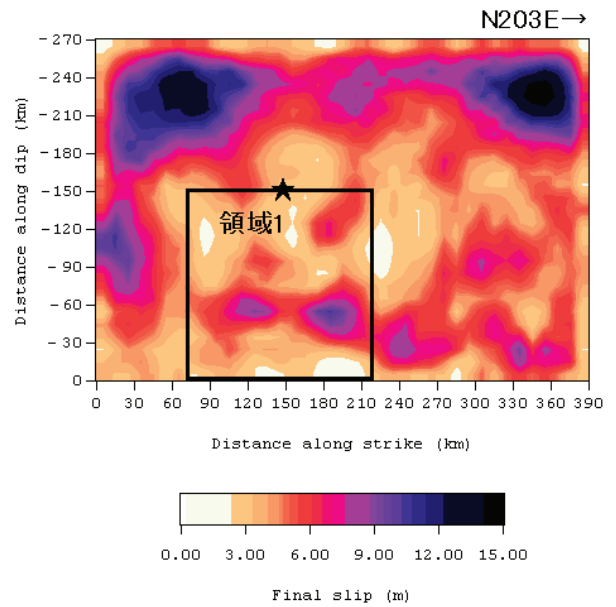


図-2.3.4.1 インバージョンの結果として得られた最終すべり量分布と領域1(上が沖合側)

は非常に良く再現されている．なお、ここで示すすべり量には、周期2-10秒の帯域の地震動に寄与しないゆっくりしたすべりは含まれていないため、実際に生じたすべりはここに示すものよりも大きかった可能性が高い．従って図-2.3.3.1と図-2.3.4.1に示すすべり量分布は周期2-10秒の帯域の地震動の生成に寄与した部分を示したものと受け止めていただきたい．

図-2.3.3.1と図-2.3.4.1で、沖合側のすべり量の大きい部分は、すべり量が大きくかつ浅いことから、津波の波源域になったものと考えられる．しかし、強震動に対しては、陸側の部分的にすべり量の大きい部分も、距離が小さいこと、また破壊が陸側に向かうことから、大きく寄与していることが考えられる．そこで、図-2.3.4.1の領域1の部分が、観測波形のどの部分に寄与しているか検討したものが図-2.3.4.3である．これによると、MYGH12の波形の前半部分、MYGH03の波形の前半部分などは、主に領域1の寄与によるものであることがわかる．今回の地震において、MYGH12、MYGH03など広範囲で「ふた山ある」波形が観測されたが、これは、まず破壊開始点より陸側の破壊による地震波が到来し(近いのですぐ到来する)、少し間を置いて、沖合側の大きなすべりによる地震波が到来した(遠いので到来に時間がかかる)と解釈できる．なお、沖合側のすべりに関しては、津波だけに関係するようなゆっくりとしたすべりではなく、強震動にも寄与するすべり速度の大きいすべりであったことを、インバージョン結果で確認している．

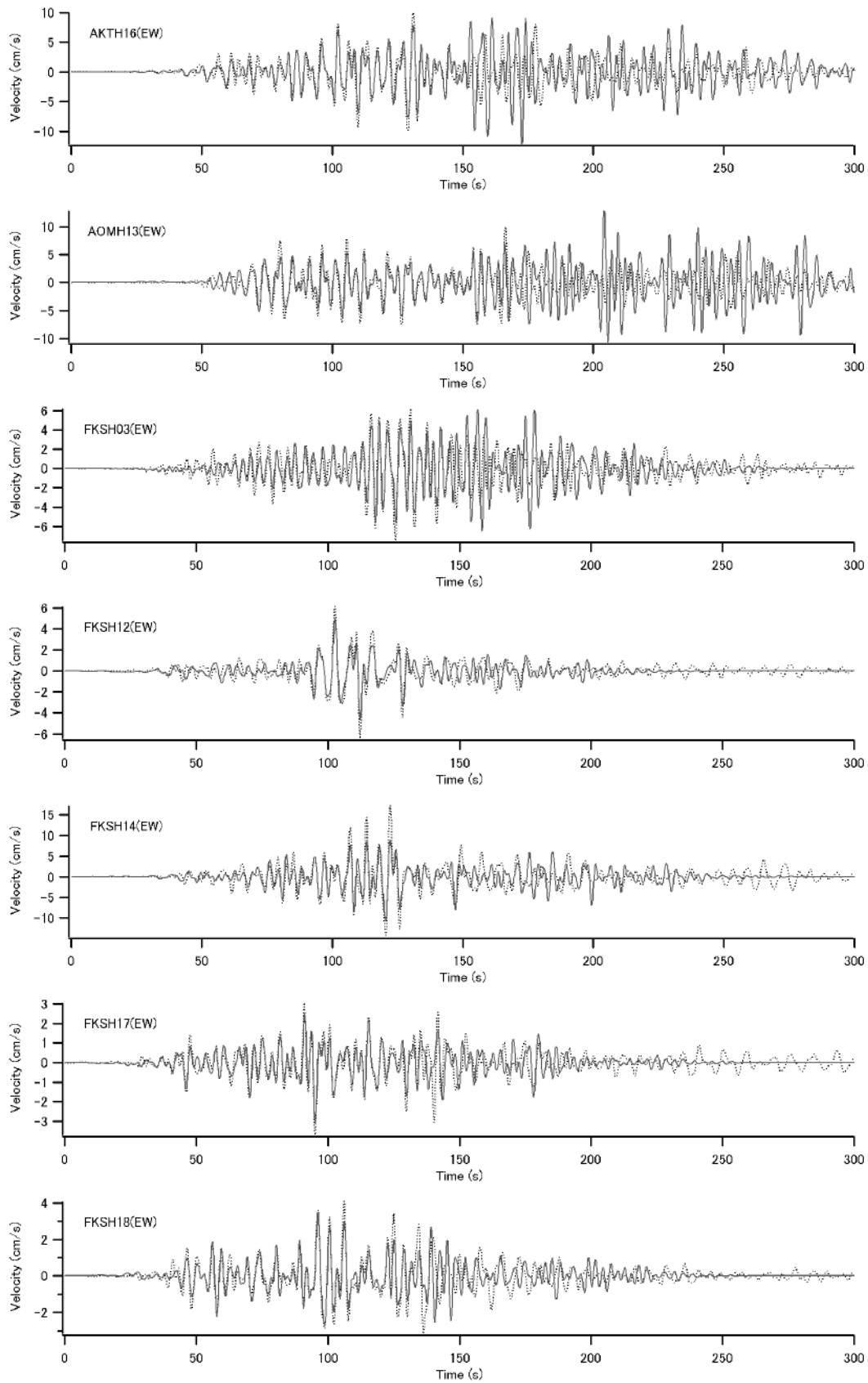


図-2.3.4.2 観測波（破線）と合成波（実線）の比較

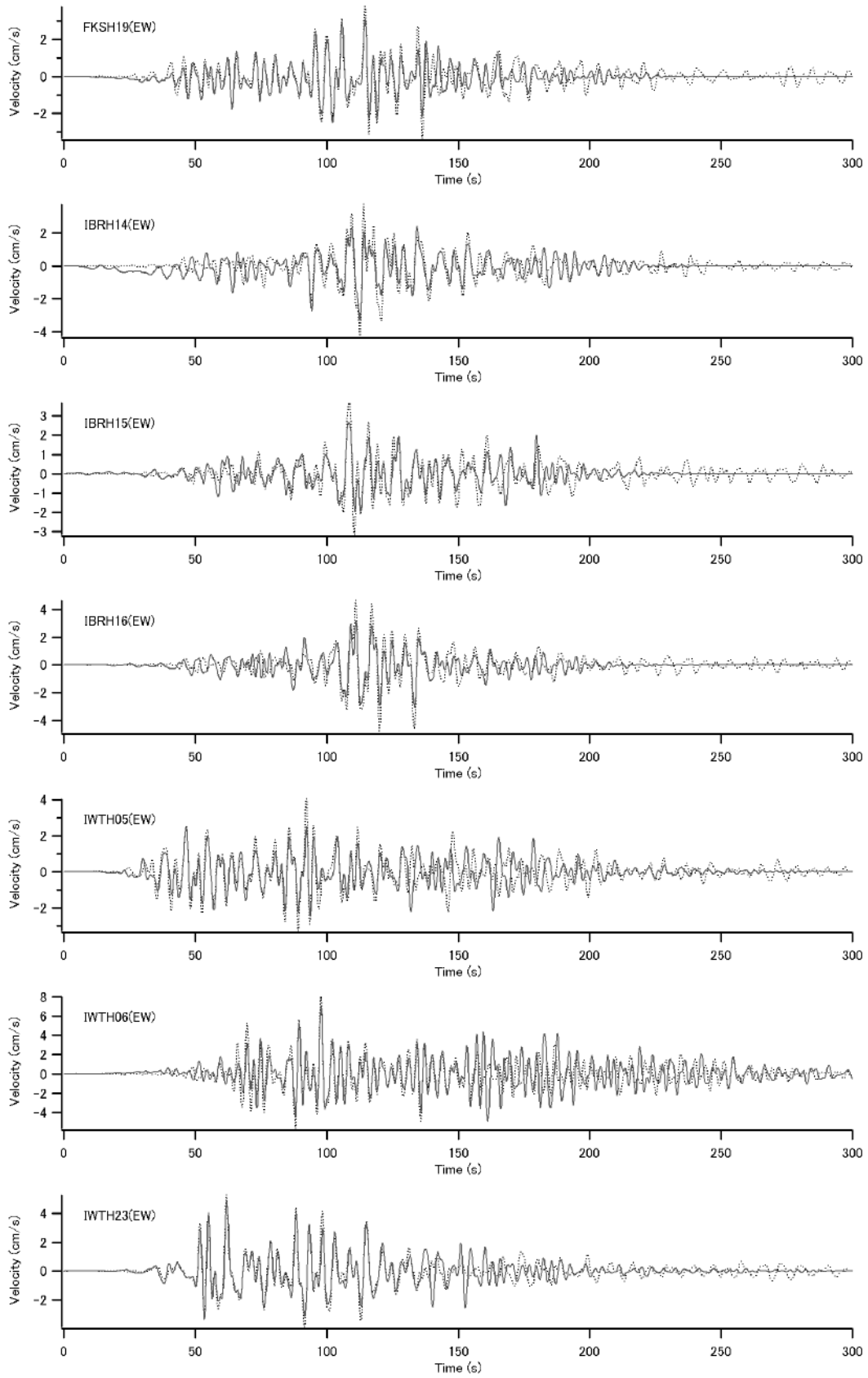


図-2.3.4.2 (つづき)

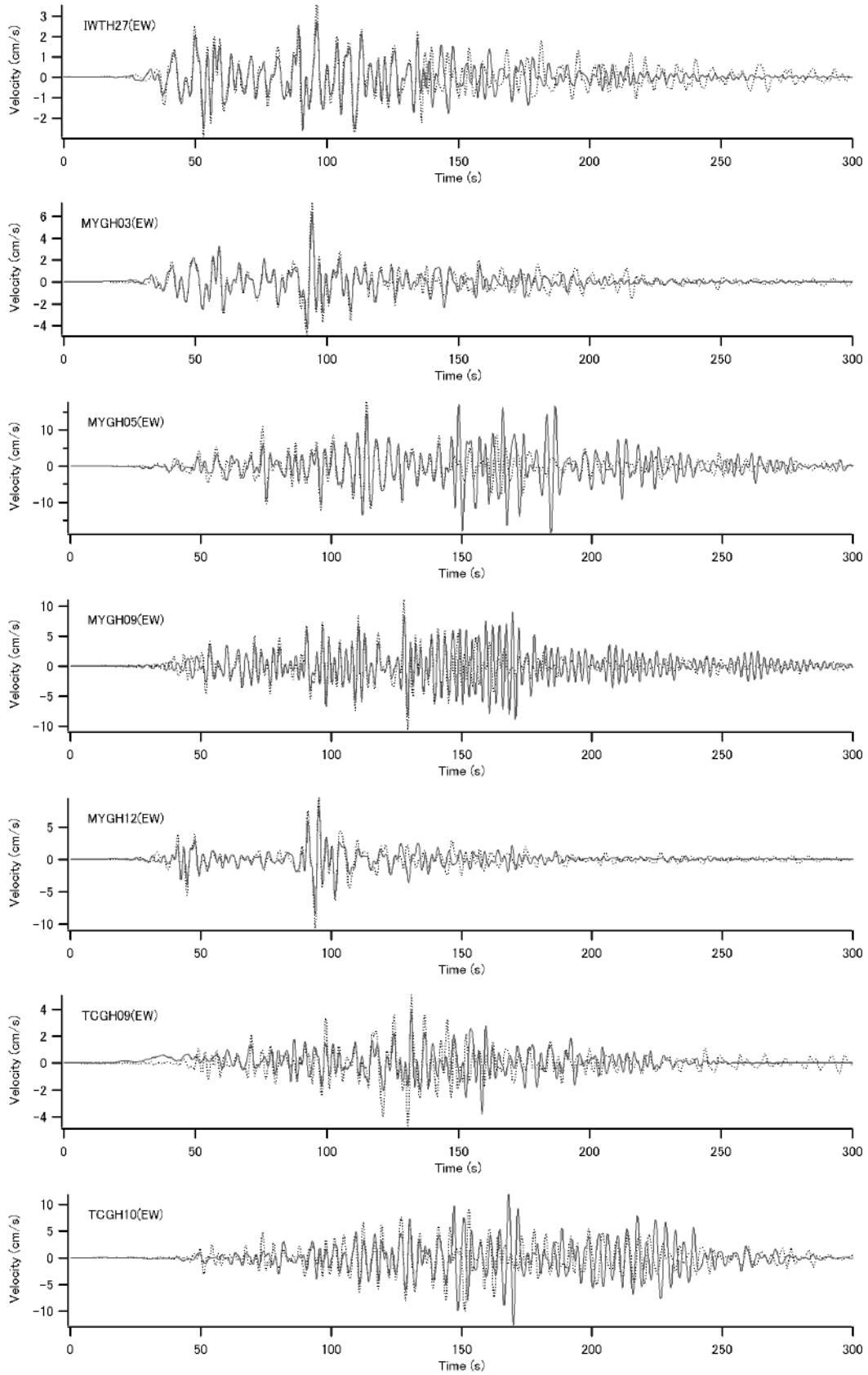


図-2.3.4.2 (つづき)

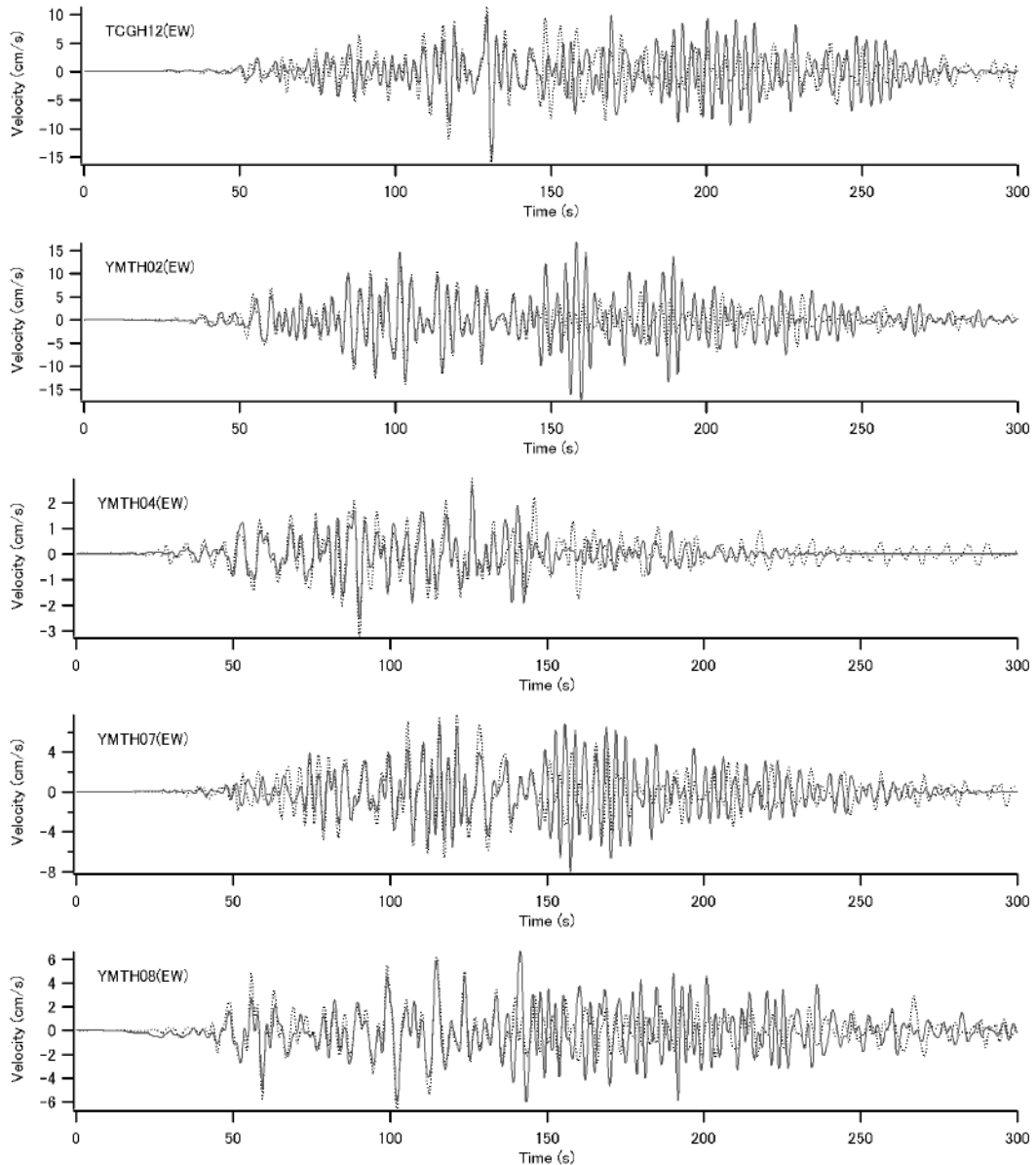


図-2.3.4.2 (つづき)

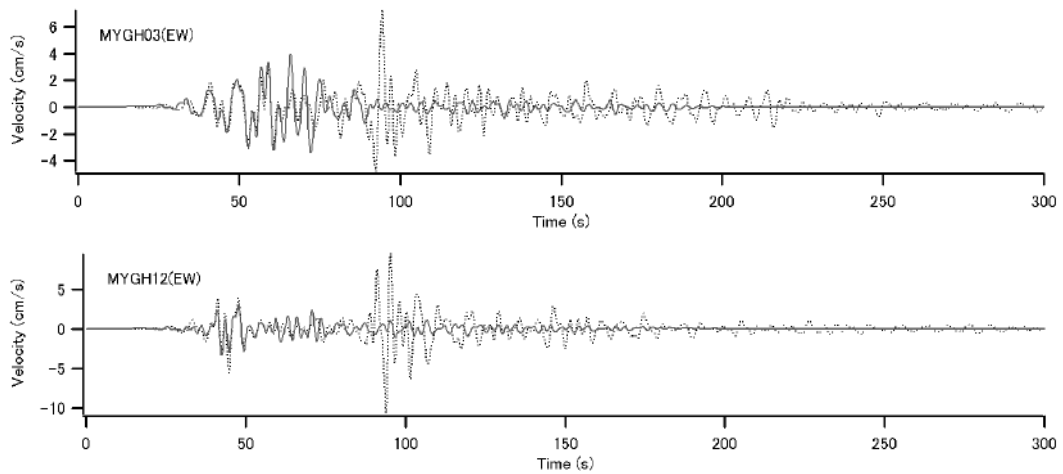


図-2.3.4.3 領域 1 からの寄与 (実線). 破線は観測波.

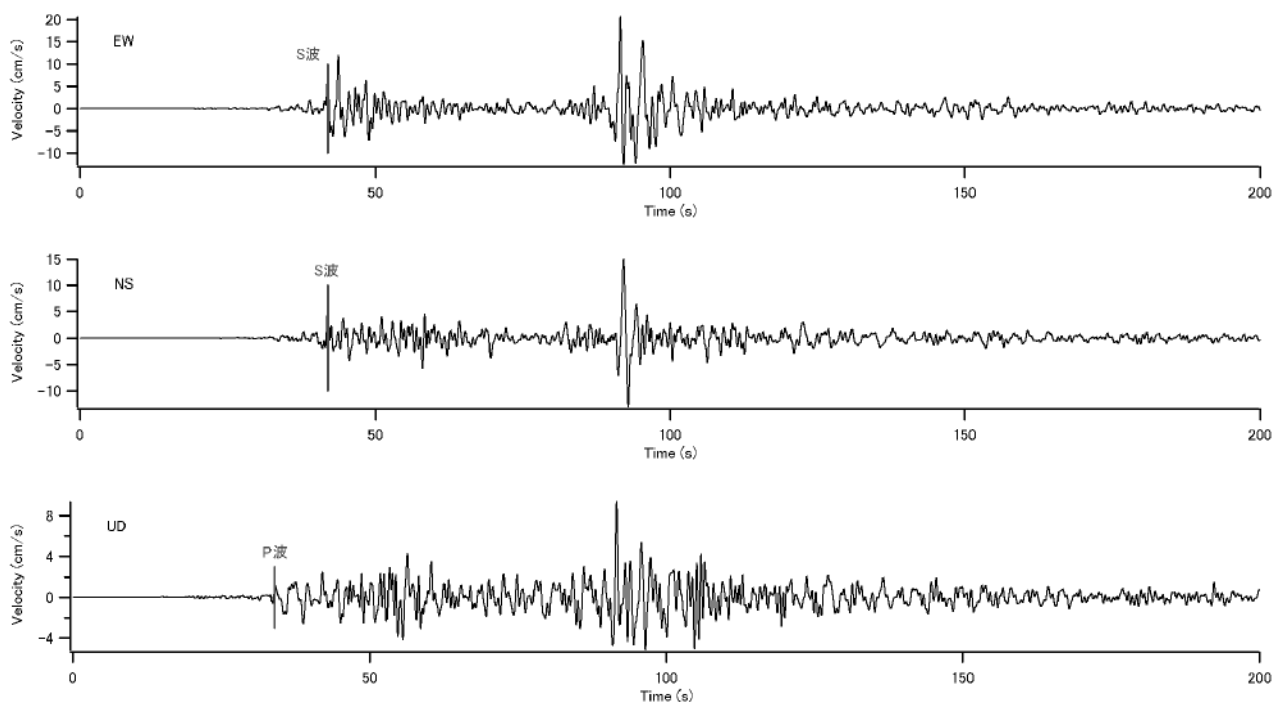


図-2.3.4.4 MYGH12の地中波形からのPS時間の読みとり．P波の到来時刻は34秒，S波の到来時刻は42秒と読みとることができる．

今回の地震で観測されたMYGH12の波形はPS時間が短いことが一つの特徴である．図-2.3.4.4に示すようにMYGH12の地中の波形からは（初期微動を除けば）P波の到来時刻は34秒，S波の到来時刻は42秒と読みとることができ，PS時間は8秒である．これと，2011年3月9日11:45三陸沖の地震（M7.3）におけるMYGH12の地中の波形のPS時間が19秒であったことを併せて考えると，MYGH12の波形の前半部分に寄与した破壊の震央距離は，3月9日の地震の震央距離の約0.42倍すなわち約70kmであったと推定される（図-2.3.3.1の円）．このことは，領域1がMYGH12の波形の前半部分に寄与しているという今回のインバージョン結果を裏付けるものである．

なお，過去の地震（2003年十勝沖地震など）においては，断層面全体に一つの小地震記録をグリーン関数として割り当てる方法では，観測波を十分再現できず，複数の小地震記録を併用していたが，今回の地震では，現時点では一つの小地震記録を用いることで観測波を十分再現できているため，複数の小地震記録の併用は行っていない．しかし，この点についても今後さらに検討を行っていく予定である．このことも含め，ここに示す解析結果は暫定版であり，今後改訂される可能性がある．

謝辞

本研究では（独）防災科学技術研究所のK-NET，KiK-netの強震記録，F-netのCMT解，気象庁の震源データ，仙台港湾空港技術調査事務所の地震観測記録を使用しています．ここに記して謝意を表します．

参考文献

- 井合進・倉田栄一・土田肇：強震記録のデジタル化と補正（1978），港湾技研資料 No.286.
- 一井康二・佐藤幸博・佐藤陽子・星野裕子・井合進（1999）：港湾地域強震観測地点資料（その6），港湾技研資料 No.935.
- 運輸省第二港湾建設局・運輸省港湾技術研究所（1995）：三陸はるか沖地震現地調査報告書－港湾施設編－.
- 片山猛男・中野拓治・蓮見隆・山口孝市（1969）：1968年十勝沖地震などの被災例による現行設計法の検討，港湾技研資料 No.93.
- 気象庁（2011a）：平成23年3月11日14時46分頃の三陸沖の地震について，気象庁報道発表資料，2011年3月11日．
- 気象庁（2011b）：平成23年3月11日14時46分頃の三陸沖の地震について（第2報），気象庁報道発表資料，2011年3月11日．

- 気象庁 (2011c) : 平成 23 年 3 月 12 日 3 時 59 分頃の長野県北部の地震について, 気象庁報道発表資料, 2011 年 3 月 12 日.
- 気象庁 (2011d) : 「平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震」について (第 15 報), 気象庁報道発表資料, 2011 年 3 月 13 日.
- 気象庁 (2011e) : 平成 23 年 3 月 15 日 22 時 31 分頃の静岡県東部の地震について, 気象庁報道発表資料, 2011 年 3 月 16 日.
- 気象庁 (2011f) : 「平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震」について (第 28 報), 気象庁報道発表資料, 2011 年 3 月 25 日.
- 気象庁 (2011g) : 「平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震」について (第 34 報), 気象庁報道発表資料, 2011 年 4 月 8 日.
- 気象庁 (2011h) : 「平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震」について (第 35 報), 気象庁報道発表資料, 2011 年 4 月 11 日.
- 気象庁 (2011i) : 「平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震」について (第 40 報), 気象庁報道発表資料, 2011 年 4 月 21 日.
- 国土地理院 (2011a) : GPS 連続観測から得られた電子基準点の地殻変動, 平成 23 年 (2011 年) 東日本大震災に関する情報提供, <http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi40005.html>.
- 国土地理院 (2011b) : 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震の地震後の変動と滑り分布モデル (暫定), 平成 23 年 (2011 年) 東日本大震災に関する情報提供, <http://www.gsi.go.jp/cais/topic110314-index.html>
- 国土地理院 (2011c) : 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震に伴う地盤沈下調査, 平成 23 年 (2011 年) 東日本大震災に関する情報提供, <http://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/sokuchikijun40003.html>
- 地震調査研究本部地震調査委員会 (2011) : 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震の評価, 2011 年 3 月 11 日, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/11mar_sanriku-oki/index.htm.
- 土田肇・山田遯一郎・倉田栄一 (1967) : 港湾地域強震観測地点資料 (その 1), 港湾技研資料 No.34.
- 野津厚・井合進・一井康二・沼田淳紀 (2000) : ケーソン式岸壁の変形に寄与する地震動の周波数成分, レベル 2 地震動に対する土構造物の耐震設計シンポジウムおよび講習会テキスト, pp.311-318.
- 野津厚・長尾毅 (2005) : スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等の強震観測地点におけるサイト増幅特性, 港湾空港技術研究所資料 No.1112.
- 野津厚・若井淳 (2010) : 港湾地域強震観測年報 (2009), 港湾空港技術研究所資料, No.1223.
- 防災科学技術研究所 (2011) : 広帯域地震観測網, <http://www.fnet.bosai.go.jp/fnet/top.php>.
- Aoi, S., K. Obara, S. Hori, K. Kasahara, and Y. Okada (2000): New strong-motion observation network: KiK-net, *Eos Trans. Am. Geophys. Union*, 81, 329.
- Hartzell, S.H. and Heaton, T.H. (1983): Inversion of strong ground motion and teleseismic waveform data for the fault rupture history of the 1979 Imperial Valley, California, earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 73, pp.1553-1583.
- Iai, S., T. Morita, T. Kameoka, Y. Matsunaga and K. Abiko (1995): Response of a dense sand deposit during 1993 Kushiro-oki earthquake, *Soils and Foundations*, Vol.35, No.1, pp.115-131.
- Kinoshita, S. (1998): Kyoshin Net (K-net), *Seim. Res. Lett.*, Vol.69, 1998, pp.309-332.
- Lawson, C.L. and Hanson, R.J. (1974): *Solving least squares problems*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 340p.

3. 津波の概要

3.1 地震時の気象・海象及び津波警報

(1) 地震時の気象・海象

地震が発生した3月11日の14時46分には、青森県八戸市の天候は曇り、気温は摂氏2.6度であった。西南西6.9m/sの風が吹いていた。また岩手県宮古市の天候は晴れ、気温は摂氏5.5度、南南西4.2m/sの風が吹いていた。宮城県気仙沼市の天候については、天気は曇り、気温は摂氏1.6度であった。また14時50分には北西の風が3.9m/sであった。波浪については、岩手宮古沖の14時時点のもので有義波高が0.65m、宮城県金華山沖で0.75mであった。

なお、地震発生から3日目にあたる3月13日の前後数日間が潮位の満潮・干潮の差が小さくなる小潮（こしお）となっていたが、4月1日から11日頃までは大潮（おおしお）で満潮の潮位が通常よりも高くなるため、地震による地盤沈下の起こった地域での浸水や冠水が懸念される状況となった。参考に図-3.1.1に宮城県鮎川での3月11日から13日の潮位予測データについて示す。なお、3月11日14時46分では、潮位はCDL（工用基準面）から45cm、平均潮位から40cmであった。ここでは、TP（東京湾中等潮位）は平均海面より7cmほど高い。

(2) 地震の発生と津波警報

この地震により大規模な津波発生が予想されたため、気象庁は3月11日14時49分に津波警報（大津波）を発表している。当初の予想では、宮城県に6m、福島県、岩手県に3mの高さの津波が来襲すると発表された。同日15時14分には、GPS波浪計による津波の沖合観測結果を受けて、

宮城県での予想を10m以上とし、15時30分には岩手県から千葉九十九里・外房までの予想を10m以上とした。同日15時30分の時点では、津波警報（大津波）を発表した予報区は北海道太平洋沿岸東部から千葉県九十九里・外房、伊豆諸島の広い範囲にわたっている。また津波警報（津波）は北海道日本海沿岸南部、青森県日本海沿岸といった日本海沿岸に加え、千葉県内房、東京湾内湾、相模湾・三浦半島から沖縄本島地方、大東島地方、宮古・八重山地方にわたる広範囲に対して発表されている。

その後、同日16時08分には津波警報（大津波）を青森県日本海沿岸及び北海道太平洋沿岸東部から小笠原諸島、相模湾・三浦半島、静岡県、和歌山県、徳島県の範囲に拡大して発表し、青森県太平洋沿岸での予想を10m以上とした。同日21時35分には有明・八代海、長崎県西方、熊本県天草灘沿岸に津波警報（津波）を、さらに同日22時53分には高知県にも津波警報（大津波）を発表している。

翌3月12日13時50分には、津波警報（大津波）の範囲を青森県太平洋沿岸から福島県までの範囲に縮小するとともに津波警報（津波）の範囲も北海道太平洋沿岸東部・中部・西部、茨城県、三重県南部から奄美諸島・トカラ列島にいたるまでとしている。つづいて同日20時20分には津波警報（大津波）を津波警報（津波）に切り替えるとともに、同日22時15分頃の余震により津波警報（津波）を青森県太平洋沿岸から福島県の範囲に対して発表したのが、翌3月13日7時30分には北海道太平洋沿岸東部から宮崎県の範囲に対して津波注意報に切り替えている。やがて同日17時58分に津波注意報はすべて解除された。表-3.1.1に警報発令から解除までの経緯を示す。

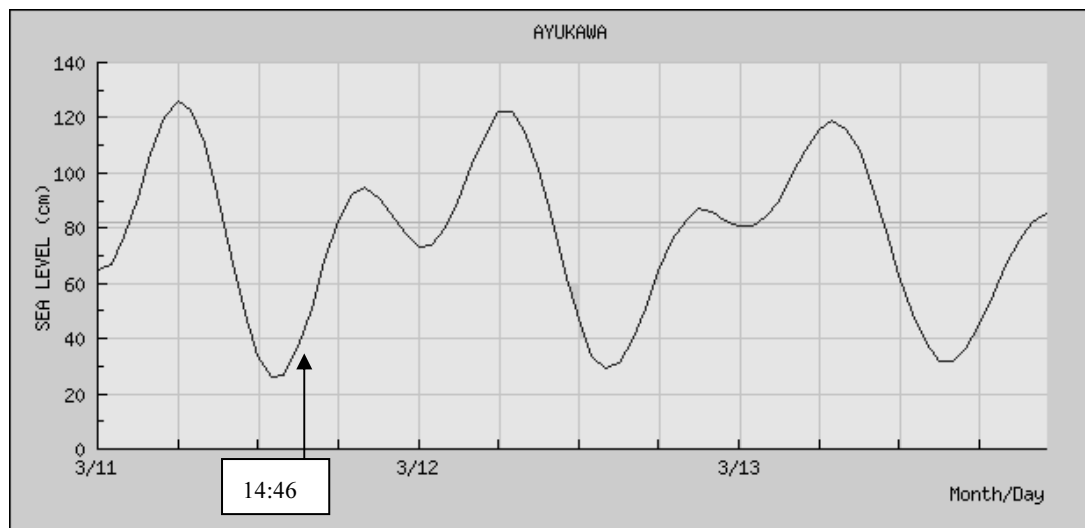


図-3.1.1 宮城県鮎川における潮位予測（潮位表基準面表示、気象庁データによる）

表-3.1.1 警報発令から解除までの主な経緯

日 時	主な警報の内容
3月11日14時49分	大津波の津波警報の発表 (岩手県, 宮城県, 福島県に 発表, 宮城県で6mの予想)
3月11日15時14分	大津波の津波警報の発表 (宮城県の予想を10m以上 に変更)
3月11日15時30分	大津波の津波警報の発表 (青森県太平洋沿岸などを 追加, 岩手県から千葉九十九 里・外房の予想を10m以上 に変更)
3月11日16時08分	大津波の津波警報の発表 (青森県日本海沿岸, 小笠原 諸島, 相模湾から徳島県に 拡大, 青森県太平洋沿岸で の予想を10m以上に変更)
3月11日22時53分	大津波の津波警報の発表 (高知県を追加)
3月12日13時50分	大津波の津波警報の発表 (青森県太平洋沿岸から福 島県へ縮小)
3月12日20時20分	津波の津波警報の発表 (大津波警報から津波警報 へ)
3月13日7時30分	津波注意報の発表 (津波警報から津波注意報 へ)
3月13日17時58分	津波注意報の解除

3.2 GPS 波浪計で観測した津波の波形

(1) ナウファスと GPS 波浪計

国土交通省港湾局，東北から九州の地方整備局，北海道開発局，沖縄総合事務局，国土技術政策総合研究所，港湾空港技術研究所は 1970 年以来，相互協力の下，ナウファス（全国港湾海洋波浪情報網 NOWPHAS: Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HarbourS）を構築し，全国の波浪・潮位等の観測・集中処理・解析を実施してきた（河合，2010a；河合ら，2011）．ナウファスには時代とともに新しい観測機器や解析方法が導入され，現在では図-3.2.1 に示すように沖側から，

- ①GPS 波浪計（海岸から概ね 10～20km，水深 100～300m の海面に GPS を搭載したブイを係留）
- ②沿岸波浪計（海岸から概ね 3km 以内，水深 30～50m の海底に水圧・超音波センサを設置）
- ③潮位計（岸壁等に設置した井戸にデジタル・フースを設置）

という 3 種類で構成されている．

そのうち GPS 波浪計は，2008 年から導入された最新の観測機器であり，2010 年 12 月には図-3.2.2 に示す東北～四国地方沿岸の 12 基に達した．加速度を時間積分して上下動を計算する従来のブイ型波浪計では長周期成分の検出が難しかったが，GPS 波浪計はブイの上部に搭載した GPS で 1s 毎に高度を計測する．GPS 測位には様々な方法があるが，GPS 波浪計では RTK 方式（あらかじめ正確な高度の分かっている陸上局を基準とした，GPS 波浪計の相対的な高度を計測する方法）を採用している．電波環境が良く FIX 解が得られれば，その鉛直方向の測位誤差の標準偏差は離岸距離が 20km でも数 cm と小さい．この毎秒の高度には波浪によるブイの上下動も含まれており，数値フィルタで平滑化することで潮位成分を抽出できる．

ナウファスでこれまで蓄積してきたデータには，台風・低気圧による高波・高潮はもちろん，1983 年日本海中部地震津波（谷本ら，1983），1993 年北海道南西沖地震津波（永井ら，1993；高山ら，1994），1996 年イリアンジャヤ津波（小舟ら，1996），2003 年十勝沖地震津波（永井ら，2004），2004 年東海道沖地震津波（永井ら，2005），2005 年宮城県沖地震津波（永井ら，2006），2006 年千島列島地震津波（清水ら，2007）などの津波も含まれている．これらは潮位計や沿岸波浪計によるものである．GPS 波浪計で明瞭な津波を観測したのは 2010 年チリ津波のときが初めてであり（河合ら，2010b，2010c），本資料で対象とする 2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震津波は，その 2 日前に発生した津波に次いで 3 回

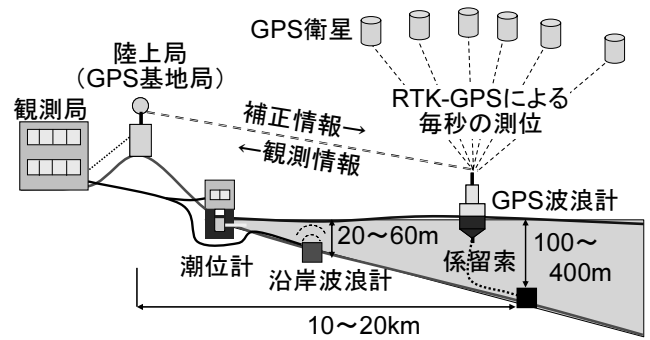


図-3.2.1 ナウファスの機器の構成

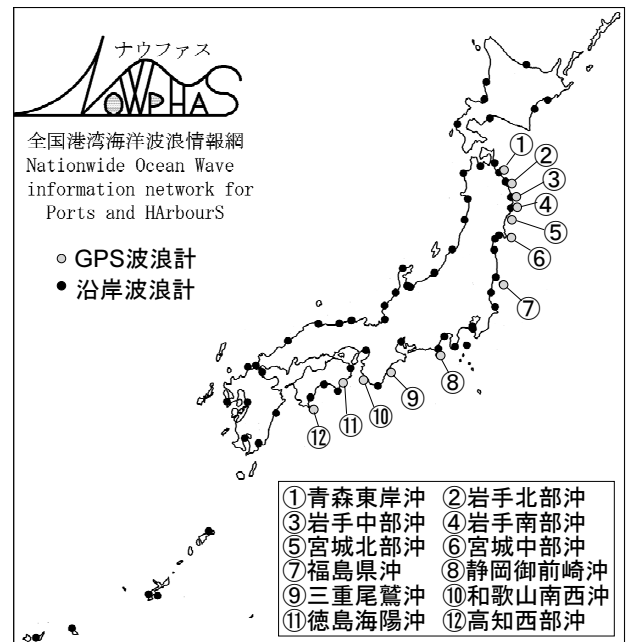


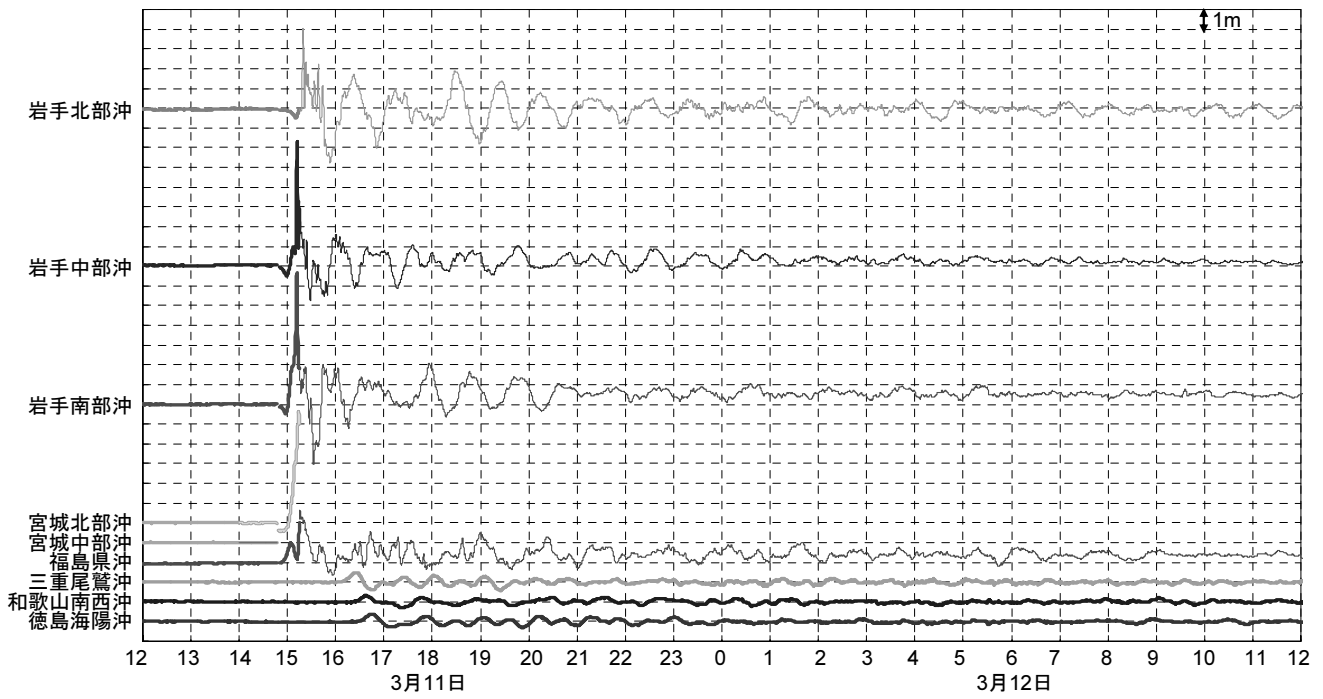
図-3.2.2 GPS 波浪計の配置

の津波である．

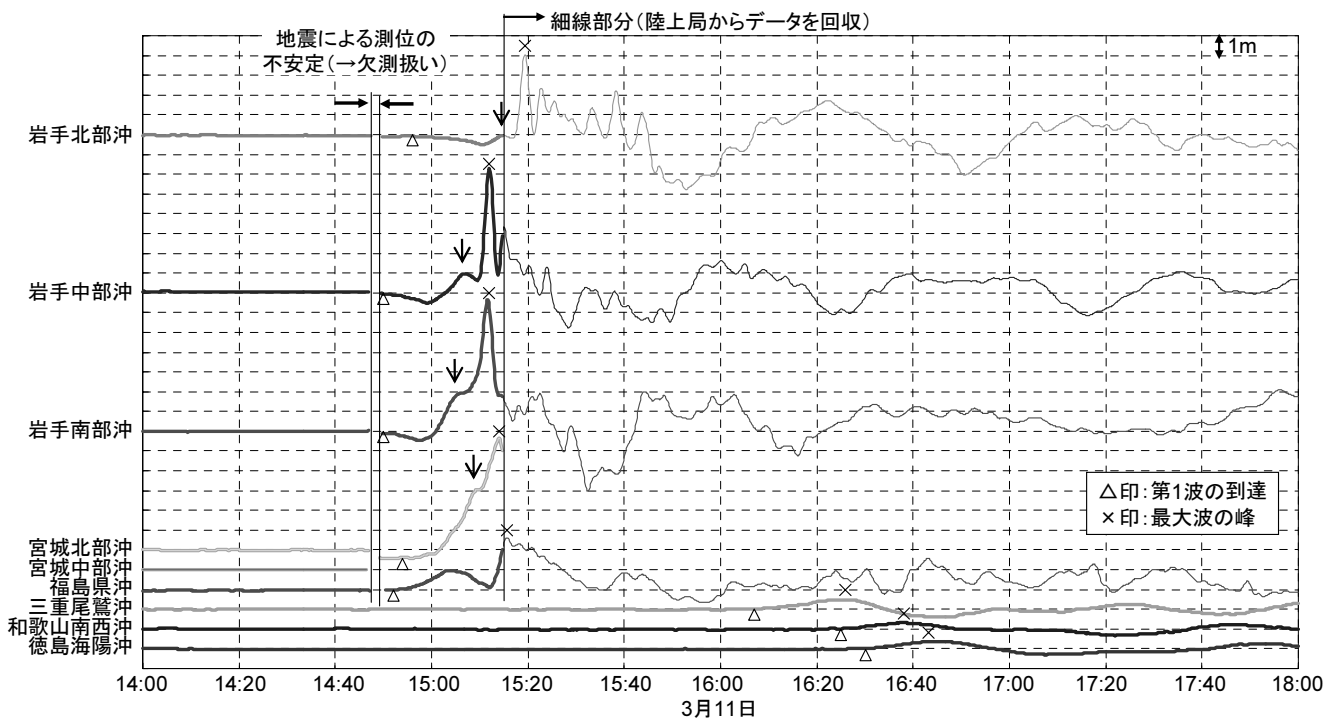
本資料では，3 種類の観測機器のうち優先して解析を行ってきた GPS 波浪計についてとりあげる．

(2) 東北～四国地方沿岸で捉えた津波の概況

東北～四国地方沿岸の 9 基の GPS 波浪計で観測した 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の波形を図-3.2.3 に示す．FIX 解の得られなかった時間帯は欠測扱いとしている．これらの地点の水深，緯度，経度は表-3.2.1 に示す通りである．なお，青森東岸沖と高知西部沖の GPS 波浪計は調整中のために欠測した．静岡御前崎沖の GPS 波浪計の波形は傾斜計の異常で乱れており，本資料では除外した．



(a) 津波発生頃から1日間



(b) 津波の初期の部分

図-3.2.3 東北～四国地方沿岸の津波波形

表-3.2.1 GPS 波浪計の諸元

地点名	水深	緯度	経度	最大波		
				時刻	高さ	備考
岩手北部沖 (久慈沖)	125m	40° 07' 00"	142° 04' 00"	15:19 頃	約 4.0m	陸上局データで得られた値
岩手中部沖 (宮古沖)	200m	39° 37' 38"	142° 11' 12"	15:12 頃	約 6.3m	
岩手南部沖 (釜石沖)	204m	39° 15' 31"	142° 05' 49"	15:12 頃	約 6.7m	
宮城北部沖 (広田湾沖)	160m	38° 51' 28"	141° 53' 40"	15:14 頃	約 5.7m	リアルタイム処理による暫定値
宮城中部沖 (金華山沖)	144m	38° 13' 57"	141° 41' 01"	—	約 5.6m	津波前にデータ伝送が停止
福島県沖 (小名浜沖)	137m	36° 58' 17"	141° 11' 08"	15:15 頃	約 2.6m	陸上局データで得られた値
三重尾鷲沖	210m	33° 54' 08"	136° 15' 34"	16:26 頃	約 0.5m	
和歌山南西沖 (白浜沖)	201m	33° 38' 32"	135° 09' 24"	16:38 頃	約 0.3m	
徳島海陽沖	430m	33° 27' 38"	134° 29' 48"	16:43 頃	約 0.4m	

また、東北沿岸の GPS 波浪計から独立行政法人港湾空港技術研究所へのリアルタイムのデータ伝送は、東北地方における通信網の寸断によって 15 時 15 分頃から中断した。そこで、岩手北部沖、岩手中部沖、岩手南部沖、福島県沖については、陸上局にある記録装置（ハードディスク）を回収し、保存されていたデータの解析を行った。宮城北部沖と宮城中部沖については、本資料ではリアルタイム処理データのみでの解析結果を示し、陸上局のデータの解析結果は後の機会としたい。

①東北地方沿岸

東北地方沿岸の 6 地点のうち、陸上局からデータを回収して津波の全貌が把握できる岩手北部沖、岩手中部沖、岩手南部沖、福島県沖の 4 地点では、14 時 46 分の地震発生から間もない 14 時 50 分台に第一波が到達し、15 時 12 分～15 時 19 分頃に高さ 2.6～6.7m の峰が押し寄せ、これが最大波となった。津波の発生から半日後の 3 月 12 日 3 時頃でも高さ数十 cm の峰が続いている。これら 4 地点では岩手南部沖の最大波が 6.7m で最も高く、その時刻は釜石港の潮位計で最大波が記録された 15 時 21 分（気象庁の速報値）より 9 分早い 15 時 12 分頃であった。各地点における最大波の詳細は表-3.2.1 の通りである。

東北地方沿岸の各地点で第 1 波の波形を見ると、岩手北部沖、岩手中部沖、岩手南部沖では数十 cm の引き波から始まっている。岩手北部沖～宮城北部沖では、図-3.2.3 の ↓印で示す小さな峰があり、この峰は北へ行くほど低い。

なお、少なくとも岩手中部沖、岩手南部沖、福島県沖の 3 地点では、津波の来襲前に比べて来襲し始めてから、潮位の観測値が全体的に数十 cm 高くなったことを確認している。そのため、観測潮位から天文潮位を差し引いて潮位偏差（津波波形）を求めると、図-3.2.3 で示したように、ゼロ線を挟んで上下にバランスのとれた波形で

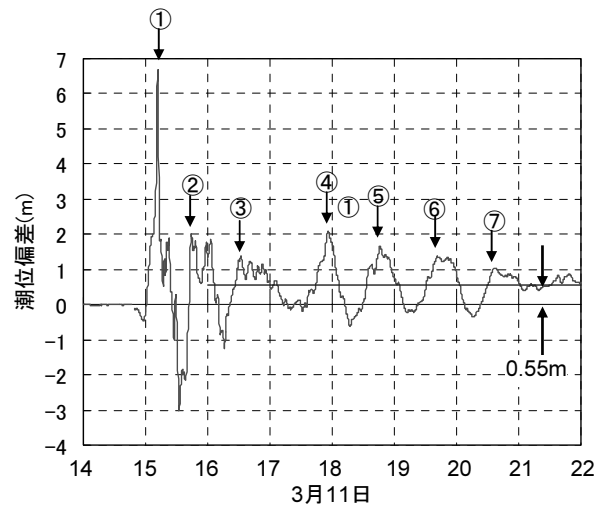


図-3.2.4 岩手南部沖における初期の波形

はなく、プラス側に偏った波形になっている。地震に伴う陸上局の地盤沈下などその原因は検討中である。

②中部～四国地方沿岸

三重尾鷲沖、和歌山南西沖、徳島海陽沖の GPS 波浪計には、地震から 1 時間以上を経過した 16 時過ぎに、東寄りの地点から順に第一波が到達した。何れの地点でも、その第 1 波が最大波であり、その高さは 0.3～0.5m であった。各地点の詳細は表-3.2.1 に示した通りである。

(3) 岩手南部沖 GPS 波浪計で捉えた津波の特徴

図-3.2.4 は岩手南部沖 GPS 波浪計で捉えた津波の初期の部分である。津波の峰の高さは、第 1 波が突出して高く、第 2～7 波において徐々に低くなった。第 1～3 波の周期は不規則であるが、第 4～7 波は第 1～3 波とは異なる形状で 50 分程度の周期の波が繰り返されている。沖から海岸に押し寄せていた波が沿岸に沿って伝わる波に

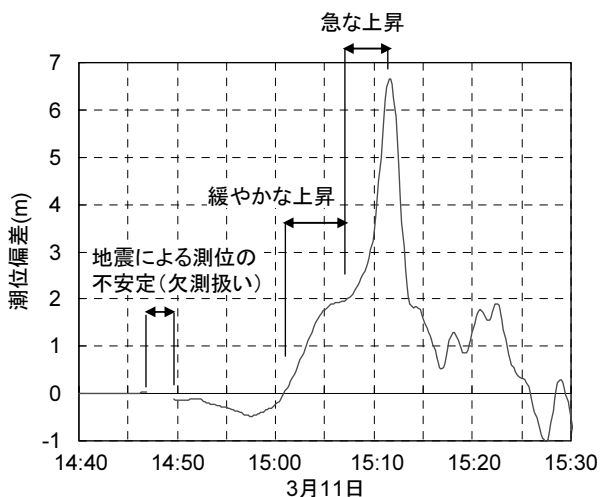


図-3.2.5 岩手南部沖における津波の第一波

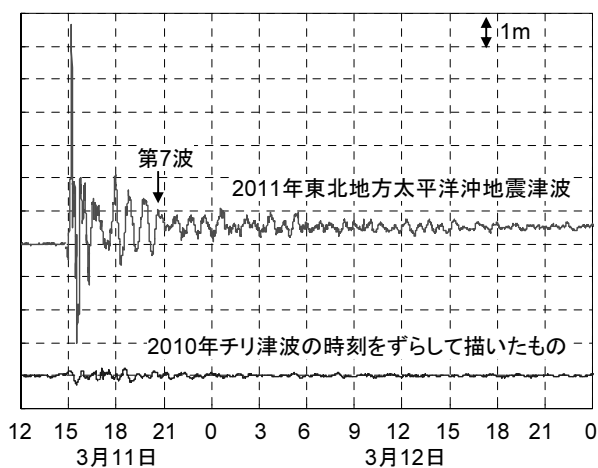


図-3.2.6 岩手南部沖における 2010 年チリ津波との比較

変化したものと考えられる。なお、前項(2)でも述べたように、津波の来襲前に比べて津波が来襲し始めてからは、潮位の観測値が全体的に上昇しており、岩手南部沖ではその上昇量が約 0.55m であった。

図-3.2.5 は第 1 波を拡大したものである。その峰の立ち上がりを詳しく見ると、地震発生から 15 分後の 15 時 01 分から約 6 分間で 2m 程度上昇した後に、続く約 4 分間でさらに 4m 以上も急激に上昇した。このように峰が 2 段階で立ち上がる様子は、図-3.2.4 で示した岩手中部沖や宮城北部沖の波形にも現れている。

さて、岩手南部沖では 1 年ほど前に 2010 年チリ津波も捉えている(河合ら, 2010b, 2010c)。その到達時刻が 2011 年東北地方太平洋沖地震津波と一致するように時

刻をずらして波形を描いたものが図-3.2.6 である。2011 年東北地方太平洋沖地震津波の最大波は 2010 年チリ津波に比べて格段に高い。また、2011 年東北地方太平洋沖地震津波の発生から 6 時間ほど経って来襲した第 7 波でさえ、2010 年チリ津波の最大波より高い。

(4) 今後の予定

宮城北部沖と宮城中部沖の GPS 波浪計の陸上局から既に回収したデータや、日本各地の沿岸波浪計や潮位計による津波波形の解析も進めているところである。東北地方以外の状況や GPS 波浪計～沿岸波浪計～潮位計における津波の変形についても解析を行う予定である。

参考文献

- 加藤照之・寺田幸博・松岡幸文・高田美津雄 (2003) : 実海域における GPS 波浪計・津波計の性能確認実験, 海洋開発論文集, Vol.19, pp.839-844.
- 河合弘泰 (2010a) : ナウファスにおける波浪・潮位等の観測の現状と今後の課題, 土木学会第 46 回水工学に関する夏期研修会テキスト, B-8, pp.1-20.
- 河合弘泰・佐藤 真・永井紀彦・川口浩二 (2010b) : 東北～四国沿岸の GPS 波浪計ネットワークで捉えた 2010 年チリ津波, 土木学会論文集 B2, Vol.66, No.1, pp.266-270.
- 河合弘泰・佐藤 真・永井紀彦・川口浩二 (2010c) : GPS 波浪計ネットワークを用いた平成 22 年 (2010 年) チリ地震津波の日本沿岸における変形特性の解析, 港湾空港技術研究所報告, 第 49 巻, 第 4 号, pp.3-77.
- 河合弘泰・佐藤 真・川口浩二・関 克己 (2011) : 全国港湾海洋波浪観測年報(NOWPHAS 2009), 港湾空港技術研究所資料, No.1226, 120p.
- 小舟浩治・永井紀彦・橋本典明・平石哲也・清水勝義 (1996) : 1996 年イリアンジャヤ地震津波の特性, 港湾技研資料, No. 842, 96p.
- 清水勝義・佐々木 誠・永井紀彦 (2007) : 平成 18 年 (2006 年) 千島列島の地震津波の観測結果, 港空研資料, No.1162, 83p.
- 高山知司・鈴木康正・鶴谷広一・高橋重雄・後藤智明・永井紀彦・橋本典明・長尾 毅・細山田得三・下迫健一郎・遠藤仁彦・浅井 正 (1994) : 1993 年北海道南西沖地震津波の特性と被害, 港湾技研資料, No.775, 225p.
- 谷本勝利・高山知司・村上和男・村田 繁・鶴谷広一・高橋重雄・森川雅行・吉本靖俊・中野 晋・平石哲也 (1983) : 1983 年日本海中部地震津波の実態と二・

三の考察, 港湾技研資料, No. 470, 299p.

永井紀彦・橋本典明・浅井 正(1993): 平成 5 年北海道
南西沖地震津波波形記録解析速報, 港湾技術研究所
報告, 第 32 卷, 第 4 号, pp.51-97.

永井紀彦・小川英明 (2004) : 平成 15 年 (2003 年) 十勝
沖地震津波波形の特性, 港空研資料, No.1070, 92p.

永井紀彦・里見 茂 (2005): 2004 年東海道沖地震津波の
観測結果, 港空研資料, No.1096, 22p.

永井紀彦・里見 茂 (2006) : 2005 年宮城県沖の地震津
波の観測結果, 港空研資料, No.1119, 35p.

プレスリリース・HP 公開資料 (2011 年 4 月 20 日現在)

国土交通省港湾局・独立行政法人港湾空港技術研究所
(2011 年 3 月 28 日) : 津波は三陸沿岸で 7 波襲来-
釜石沖 GPS 波浪計のデータ回収・分析結果-, [http://
www.pari.go.jp/info/tohoku-eq/20110328mlit.html](http://www.pari.go.jp/info/tohoku-eq/20110328mlit.html).

独立行政法人港湾空港技術研究所 (2011 年 3 月 28 日) :
平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震による津
波の GPS 波浪計による観測結果について, [http://
www.pari.go.jp/info/tohoku-eq/20110328pari.html](http://www.pari.go.jp/info/tohoku-eq/20110328pari.html).

独立行政法人港湾空港技術研究所 (2011 年 4 月 15 日) :
久慈, 宮古, 小名浜の沖合の GPS 波浪計による津波
の観測結果について, [http://www.pari.go.jp/files/3609/
130613169.pdf](http://www.pari.go.jp/files/3609/130613169.pdf).

3.3 伝播計算

(1) 計算手法

今回の地震による津波の伝播の様子を把握するため、東日本全域の津波数値計算を実施した。

数値計算には、高潮津波シミュレータ「STOC」を使用した(富田・柿沼, 2005)。「STOC」は3次元的な流体運動を考慮することが可能であるが、今回は静水圧近似を仮定した多層モデル「STOC-ML」を使用し、鉛直方向の層分割数は1とした。

計算領域は、南北方向に北緯32度から北緯46度、東西方向に東経135.5度から東経147.5度に設定し、水深データにはGEBCO (BODC, 2003)を使用した。津波の伝播の様子を把握する程度であれば十分と考えられる空間解像度として、空間格子サイズは1分(約1.8km)に設定した。汀線で完全反射を仮定し、陸上への遡上は考慮しなかった。沖側(計算領域外周部)の境界条件は透過境界条件である。CFL条件を考慮して時間ステップには2秒を用い、東日本全域に少なくとも第1波が到達するように、再現対象は地震発生から3時間に定めた。再現対象時間が3時間と比較的短いため、潮位はT.P.で一定であると仮定した。

(2) 津波波源

津波波源(津波の初期水位分布)は、地震波や津波波形の逆解析から推定した地震の断層破壊メカニズム(断層パラメータ)に基づき、Mansinha and Smylie (1971) 他の手法によって算出される。

本研究では、幾つかの断層パラメータを用いた事前検討の結果、建築研究所(ホームページ)が津波波形の逆解析から推定した断層パラメータを基に、表-3.3.1のとおり設定した。ただし、参照した建築研究所の解析結果は2011年4月7日時点のものであり、その後には得られたGPS波浪計の観測記録もある。4月7日以降に得られた観測記録も考慮して、本研究では滑り量を1.5倍に増幅した。

建築研究所の逆解析では、長さ500km、幅200kmの断層を、1辺の長さが50kmの小断層40枚に分割し、小断層ごとに滑り量を推定している。40枚の小断層の破壊は、震央から毎秒2kmの速さで同心円状に伝播するとモデル化されており、地震発生から2分程度で断層破壊は終了する。なお表-3.3.1では、剛性率を50GPaと仮定して、地震モーメントとモーメント・マグニチュードを算出している。

断層パラメータから、Mansinha and Smylie (1971) に基づいて計算した地殻変動量の累積和を図-3.3.1に示す。海域の地殻変動量が、津波の初期水位分布に相当する。

今回の地震は、北米プレートと太平洋プレートのプレート境界で発生した逆断層型の地震と考えられ、図-3.3.1のとおり、震央の東側(右側)で隆起、西側(左

側)で沈降が発生している。断層の大きさは500km×200kmであるが、滑り量の大きな領域は、概ね走向方向に250km、走向に直交する方向に150kmの領域に集中する。岩手県南部から福島県の沖合で4m以上の隆起、岩手県南部から福島県の沿岸で数10cm~2mの沈降が見られる。隆起量の最大値は21.9m、沈降量の最大値は海域で2.9mである。

表-3.3.1 本研究で使用した断層パラメータ

地震発生時刻	2011年3月11日14時46分
震源位置	38.103 N, 142.860 E, 深さ24km
断層面基準点	39.738 N, 144.331 E, 0.0km
走向	193度
傾斜角	14度
断層長さ, 幅	500km×200km 50km×50kmの小断層40枚で構成
滑り角	81度
滑り量	小断層ごとに異なり, 最大51.7m
地震モーメント	0.475×10^{23} Nm
モーメント・マグニチュード	9.05

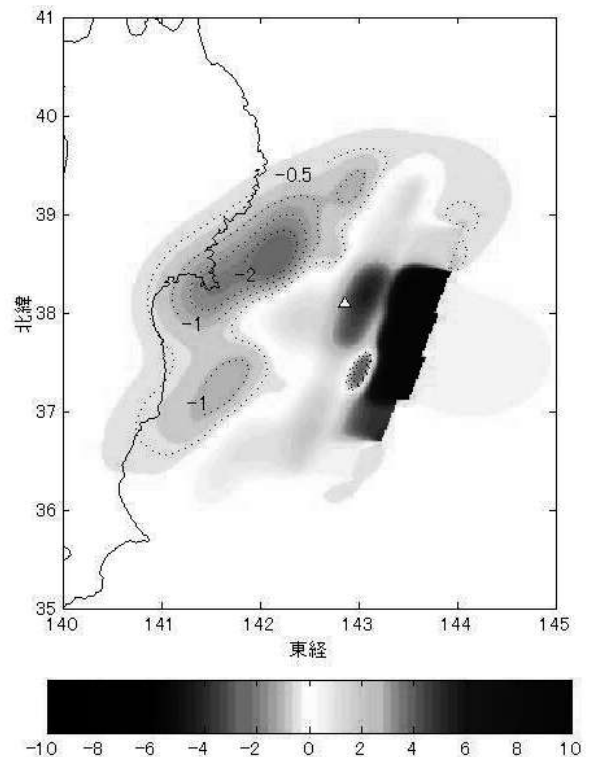


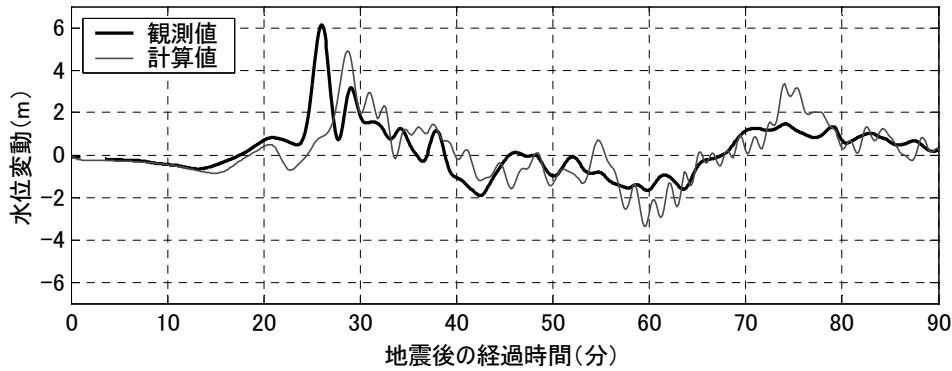
図-3.3.1 津波の初期水位分布・地殻変動量(単位:m)。△印は震央位置。沈降(負の値)のみ0.5m間隔でコンターを記載。

(3) 計算結果と考察

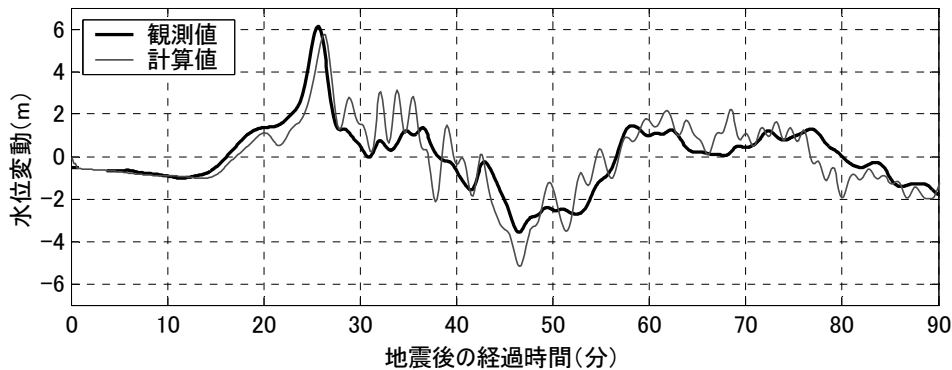
a) GPS波浪計における津波波形

図-3.3.2は、岩手中部沖と岩手南部沖のGPS波浪計における津波波形の観測値と計算値である。第1波の観測値は、周期が40分程度の緩やかな波形に、数分間で4~5m急激に上昇する波形が重なっている。断層面が局所的に大きく

滑ること、断層破壊が1分~2分の時間をかけて進行したこと、この2点を考慮することにより、計算値でもこのような津波波形が計算できたと考えられる。



岩手中部沖



岩手南部沖

図-3.3.2 GPS波浪計における観測値と計算値の比較

b) 最大津波高と津波到達時刻

今回計算を実施した、地震発生後3時間までにおける最大津波高の計算結果を、図-3.3.3に示す。また、八戸から横須賀までの幾つかの地点における最大津波高、引き波・押し波開始時刻を、表-3.3.2に整理した。表-3.3.2の観測値は気象庁(ホームページ)に拠るが、押し波開始時刻は記載されていないため、津波波形から読み取った。八戸から横須賀までの全地点において、地震発生直後から小さな引き波が計算されたため、計算値の引き波開始時刻は、水位が初めて20cm以上引いた時刻として定義した。図-3.3.4(中)は、汀線における最大津波高の計算結果と津波痕跡高の測定結果を、北から南へプロットした図である。今回の計算では遡上を考慮していないため、津波痕跡高は浸水高のみ記載した。さらに、沖合に来襲した津波高の空間分布を見るため、水深200m地点

における最大津波高の計算値とGPS波浪計の観測値をプロットした(図-3.3.4, 右)。

津波波源の正面に位置する宮古から相馬にかけて、汀線で10m、水深200mでも5mを越える高い津波高が計算された。宮古より北側と小名浜より南側では最大津波高が概ね10mを下回り、相対的に津波高が小さい計算結果となっている。

表-3.3.2から分かるとおり、観測値と計算値の両方において、初動は八戸から相馬までが引き波、銚子と横須賀で押し波である。押し波の開始時刻に着目すると、宮古から鮎川にかけての三陸沿岸で地震発生後20分~30分、八戸・相馬・横須賀では60分~70分であった。銚子は津波波源の南端から押し波が来襲するため、引き波から始まる相馬よりも押し波開始時刻が早いことが特徴的である。

表-3.3.2 地点別の最大津波高と引き波・押し波開始時刻の観測値と計算値

地点名	計算値			観測値		
	最大津波高 (m)	引き波開始時刻 (分後)	押し波開始時刻 (分後)	津波到達時刻 (分後)	初動	押し波開始時刻 (分後)
八戸	10.55	42	66	36	引き	60
宮古	10.89	9	31	15	引き	31
釜石	10.50	0	23	0	引き	25
大船渡	14.24	0	26	0	引き	25
鮎川	14.23	0	20	0	引き	24
相馬	17.68	0	56	0	引き	56
銚子	2.67	押し波初動	24	24	押し	24
横須賀	1.73	押し波初動	68	66	押し	66

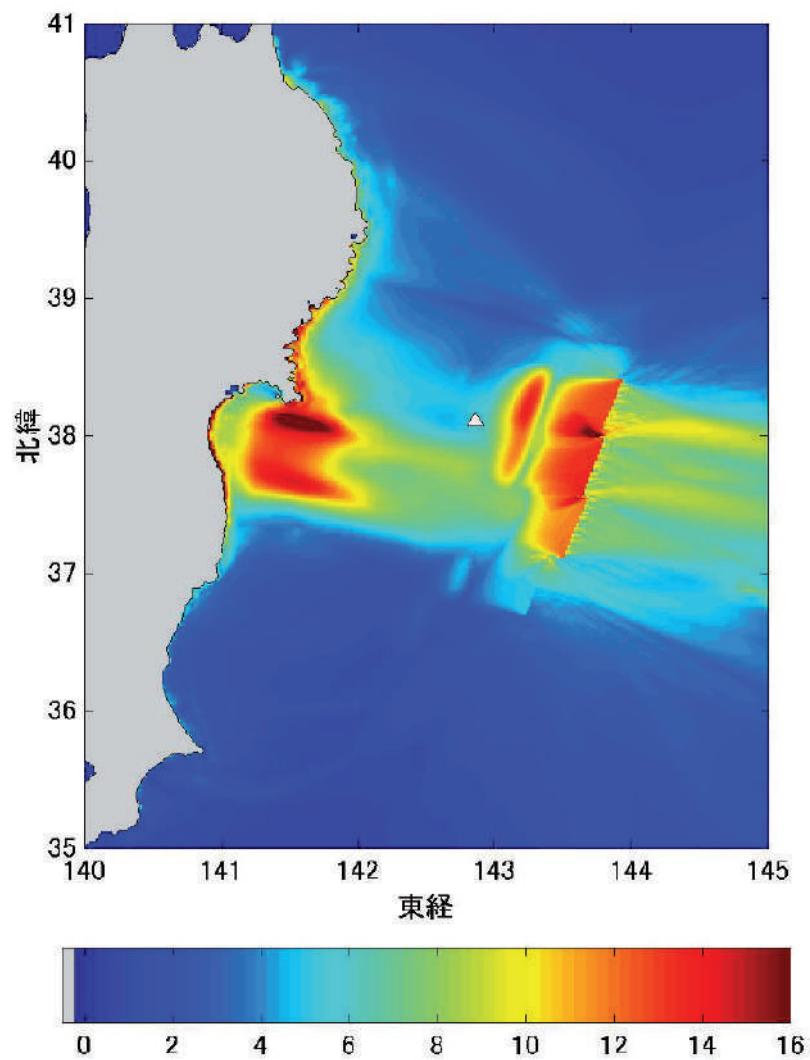


図-3.3.3 最大津波高の計算結果 (単位 : m). △印は震央位置.

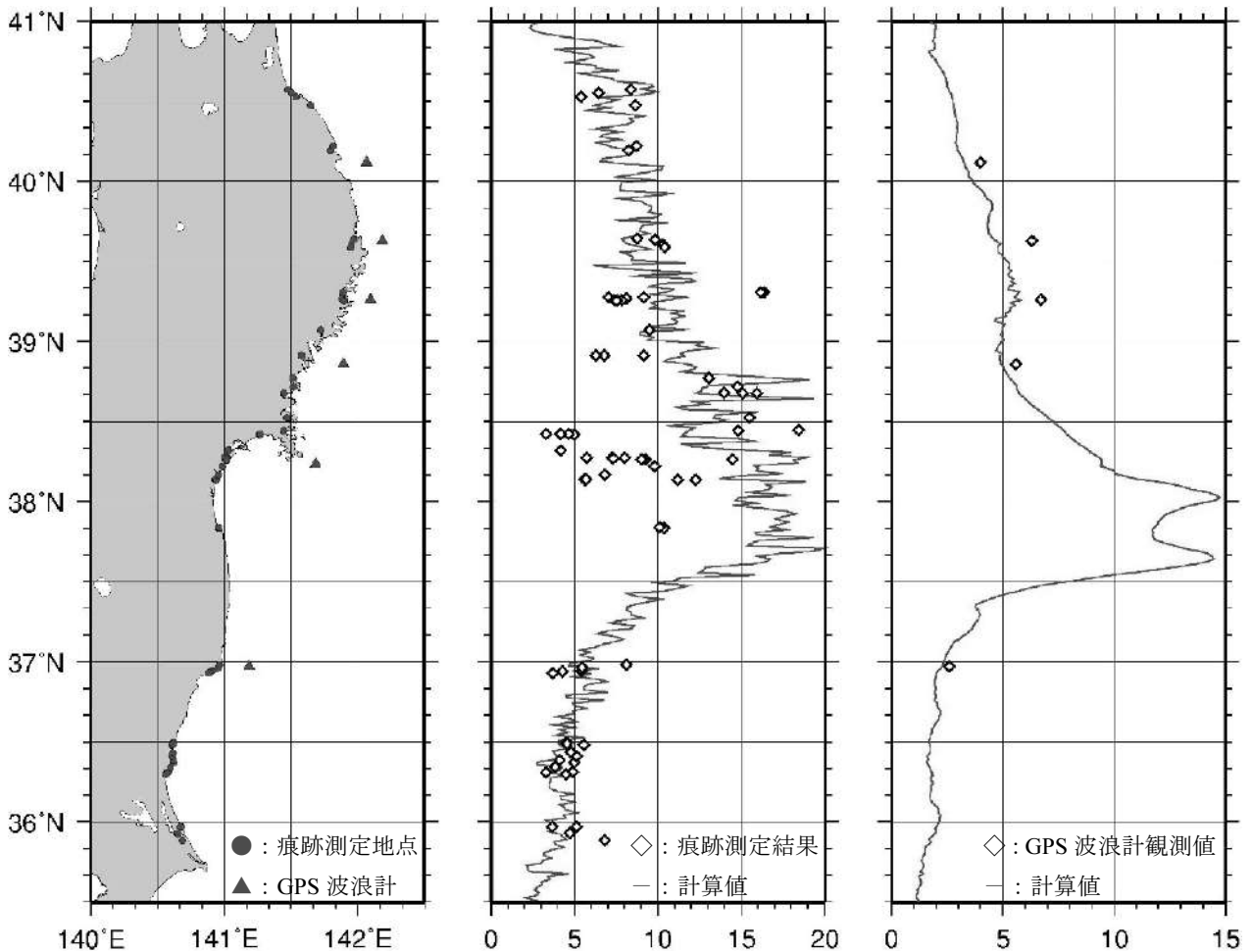


図-3.3.4 左：津波痕跡高（浸水高）の測定地点と GPS 波浪計の設置位置
 中：津波痕跡高（浸水高）の測定結果と汀線における最大津波高の計算結果（単位：m）
 右：GPS 波浪計が観測した津波高と水深 200m 地点における最大津波高の計算結果（単位：m）

参考文献

気象庁（ホームページ）：<http://www.jma.go.jp/jma/press/1104/08a/1103jishin.html>
 建築研究所（ホームページ）：http://iisee.kenken.go.jp/staff/fujii/OffTohokuPacific2011/tsunami_ja.html
 富田孝史・柿沼太郎（2005）：海水流動の3次元性を考慮した高潮・津波シミュレーターSTOCの開発と津波解析への適用，港湾空港技術研究所報告，第44巻第2号，pp.83-98.
 British Oceanographic Data Center (2003): Centenary Edition of the GEBCO Digital Atlas, CD-ROM.
 Mansinha, L. and D. E. Smylie (1971): The Displacement Field of Inclined Faults, Bull. Seismological Society of America, Vol.61, No.5, pp.1433-1440.

3.4 測定津波痕跡高さの概要

現地調査において測定した津波痕跡高(合計 105 地点)を、表-3.4.1 と図-3.4.1 に示す。測定地点の緯度・経度、津波痕跡の内容などの詳細な情報は、付録 4 に記載した。本研究の津波痕跡高は、最大波の発生時刻が必ずしも明確ではないことを考慮し、全て津波到達時の天文潮位を基準面として整理した。

浸水高に着目すると、気仙沼市本吉から女川町にかけて、浸水高 13m を越える非常に大きな津波が来襲していたことが分かる。また、宮古市から大船渡市、仙台市から相馬市にかけての海岸に浸水高が 10m 近い津波が来襲したと考えられる。

この他特徴的な点として、隣り合う両石と釜石港の浸水高の差が顕著である。両石に比べて釜石湾の津波が小さかった要因の 1 つは、釜石湾口に設置された湾口防波堤の影響と考えられる。また、仙台湾の北に位置する石巻港は、周囲と比べて相対的に津波が小さい。これは、波源から伝播する津波のエネルギーが牡鹿半島によって遮蔽されたためと推察される。

なお、同じ地域内でも、構造物や地形の影響により津波痕跡高の測定結果にはばらつきが見られる。各地域における津波痕跡高のばらつきについては、5 章を参照していただきたい。

表-3.4.1 地域別に整理した津波痕跡高

県名	地域名	浸水高 (m)	遡上高 (m)
青森県	八戸市八戸港	5.4~8.4	
	階上町大蛇	8.6	
岩手県	久慈市久慈港	8.2~8.7	13.4
	宮古市田老		7.8~28.8
	宮古市宮古港	8.7~10.4	7.3~16.7
	宮古市宮古湾外		19.5~26.3
	釜石市両石	16.2~16.4	16.9~17.1
	釜石市釜石港	6.6~9.1	
	大船渡市綾里白浜・長崎		11.0~23.6
	大船渡市大船渡港	9.5	10.8
宮城県	気仙沼市唐桑		13.7
	気仙沼市気仙沼港	6.3~9.1	7.3~8.8
	気仙沼市本吉	13.1	16.1~19.7
	南三陸町歌津	14.8	12.3~15.6
	南三陸町志津川	14.0~15.9	
	石巻市雄勝	15.5	16.7
	石巻市石巻港	3.3~5.0	
	女川町女川港	14.8~18.4	
	塩釜市仙台塩釜港塩釜港区	4.2	
	仙台市仙台塩釜港仙台港区	5.7~14.5	9.9
	仙台市若林区荒浜	9.8	
名取市仙台空港	5.6~12.3		
福島県	新地町釣師浜		15.9
	相馬市相馬港	10.1~10.4	11.8
	いわき市豊間・兔渡路・中之作	5.4~8.1	
	いわき市小名浜港	3.7~5.4	
茨城県	日立市日立港	4.5~5.6	
	ひたちなか市常陸那珂港	4.8~5.1	
	ひたちなか市那珂湊・阿字ヶ浦・磯崎	3.8~5.0	
	大洗町大洗港	3.3~4.9	
	鉾田市大竹		8.2
	鹿嶋市鹿島港	3.7~6.8	

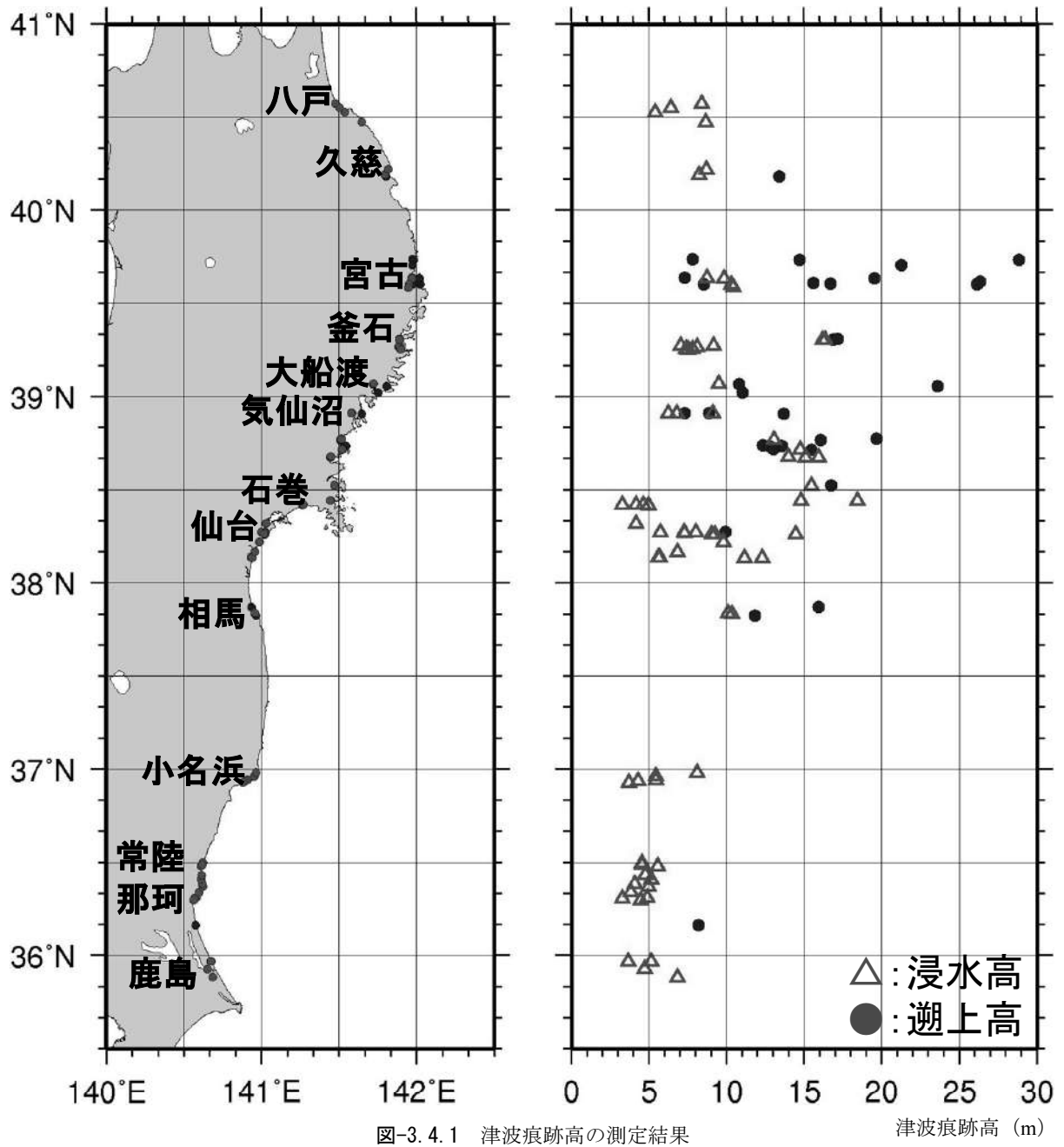


図-3.4.1 津波痕跡高の測定結果

津波痕跡高 (m)

3.5 明治三陸津波の再来（各県想定結果）との比較

東北や関東の沿岸ではたびたび津波に襲われている。特に、1896年明治三陸津波では22000人の死者、1933年の昭和三陸津波では3000人の死者、1960年のチリ地震津波でも142人の死者がでている。この地域では津波に対する防災意識は高く、様々な対策がとられている。青森県、岩手県、宮城県、福島県では、それぞれ津波による被害想定を実施している。本節では、想定津波の概要について述べる。

青森県では、三陸沖北部の地震（M8.4）、明治三陸タイプ地震（M8.6）を想定し、八戸港での遡上計算結果として最大浸水深4.0～6.0mと見積もっている。

岩手県では、明治三陸津波の再来、昭和三陸津波の再来などを想定し、津波防災施設の効果が無い場合についても予測計算を実施している。その結果、M8.5（理科年表によるマグニチュード）である明治三陸津波の再来を想定した大船渡市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、釜石市港奥で8.0m、宮古市津軽石での最大遡上高を8.4mとした津波予測を公表している。

宮城県では、本年2月に第4次の被害想定調査の中間報告を発表しており、この中では、明治三陸津波、昭和三陸津波、宮城県沖地震を想定し、おおむね各地で最大の水位が算出された明治三陸津波を被害想定に用いている。各地の津波の最高水位は、南三陸町志津川で6.8m、女川町で9.3m、仙台空港がある名取市で4.1mとなっている。

福島県では、宮城県沖地震津波、明治三陸津波、福島県沖地震津波の3ケースを想定し、建造物の効果のない場合も勘案し、沿岸各地での津波の最大遡上高を算出している。その結果、相馬港では宮城県沖地震津波（M8.2）の最大遡上高が5.3mとなるが、他のほとんどの地点では想定明治三陸津波（M8.6）による最大遡上高が最も大きくなっており、小名浜港（松下）では最大遡上高2.9m、小名浜港（高山）では2.8m、小名浜港（下川）では4.0mである。

表-3.5.1に、各県の明治三陸津波の再来に対する想定結果を主要な地点において算出した結果をまとめる。本節では、今回の津波と各県の被害想定を比較するために、最大の予測値を示す地点の多い明治三陸津波の想定結果を参考値として示している。ただし、陸上の急な斜面への遡上高さなど、場所による変動性の大きい値は除いている。いずれにしても今回の津波は明治三陸津波より大きく、特に岩手県より南では非常に大きい。

表-3.5.1 明治三陸津波の再来に対する想定結果

地域・地区名	想定結果
八戸港白銀地区	最大浸水深 4.0～6.0m
宮古市田老町	最大遡上高 16.8m
宮古市津軽石	最大遡上高 8.4m
釜石市港奥	最大遡上高 8.0m
大船渡市大船渡湾奥	最大遡上高 7.0m
南三陸町志津川	最高水位 6.8m
女川町	最高水位 9.3m
石巻市	最高水位 3.0m
仙台港奥部	最高水位 2.3m
名取市	最高水位 4.1m
相馬港	最大遡上高 4.9m
小名浜港	最大遡上高 4.0m

参考文献

- 青森県ホームページ：青森県地震・津波被害想定調査
 岩手県ホームページ：岩手県地震・津波シミュレーション及び被害想定調査
 宮城県ホームページ：宮城県第4次地震被害想定調査中間報告（津波）
 福島県ホームページ：福島県津波想定調査結果の概要

4. 現地調査の方法

4.1 調査目的

平成23年3月11日14:46頃に発生した平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による地震動及び津波により東北地方及び関東地方の太平洋沿岸における港湾、空港施設等が極めて広範囲かつ大規模に被災した。今後、被災した施設の早期復旧には、被災状況の把握、被災原因の究明が不可欠である。そのため、港湾空港技術研究所及び国土技術政策総合研究所は、国土交通省等の要請を受け、津波分野及び地盤・構造分野の専門家を現地に派遣し、被災状況の調査を行った。

4.2 調査団と行程

調査団は、東北地方及び関東地方の太平洋沿岸地域の港湾、空港等に計10回にわたり派遣した。調査団の構成・行程の概要を以下に示す。詳細な調査団の構成、活動内容については、付録3を参照されたい。各調査団の調査地域を図-4.1に示す。

【第1班】

- 日程：平成23年3月14日～15日
- 調査対象地域：茨城港
- 調査団員：地盤・構造分野 2名

【第2班】

- 日程：平成23年3月15日～19日
- 調査対象地域：石巻港、仙台塩釜港、仙台空港
- 調査団員：合計6名
(津波分野 3名、地盤・構造分野 3名)

【第3班】

- 日程：平成23年3月16日～19日
- 調査対象地域：釜石港、大船渡港
- 調査団員：合計7名
(津波分野 4名、地盤・構造分野 3名)

【第4班】

- 日程：平成23年3月16日～19日
- 調査対象地域：八戸港、久慈港
- 調査団員：合計7名
(津波分野 4名、地盤・構造分野 3名)

【第5班】

- 日程：平成23年3月27日～30日

- 調査対象地域：釜石港、宮古港
- 調査団員：津波分野 3名

【第6班】

- 日程：平成23年4月5日～8日
- 調査対象地域：相馬港、小名浜港、仙台空港
- 調査団員：合計7名
(津波分野 4名、地盤・構造分野 3名)

【第7班】

- 日程：平成23年4月5日～6日
- 調査対象地域：鹿島港、茨城港
- 調査団員：津波分野 4名

【第8班】

- 日程：平成23年4月12日～14日
- 調査対象地域：鹿島港、茨城港
- 調査団員：地盤・構造分野 3名

【合同調査団①】

- 日程：平成23年3月25日～30日
- 調査対象地域：石巻、女川、南三陸
- 土木学会海岸工学委員会の津波調査団の一員として津波分野の専門家3名を派遣

【合同調査団②】

- 日程：平成23年4月6日～9日
- 調査対象地域：岩手県各地
- (独)建築研究所、国土技術政策総合研究所と合同の津波被害調査のため、津波分野の専門家1名を派遣

4.3 調査方法

被災状況を把握するために被災した岸壁等の構造物を対象として、変状を観察し、使用可能か否かの判定を行うとともに変位の測定、被災に至った原因等についての調査を行った。

また、来襲した津波の規模を測定するため、港湾地域及びその周辺地域において、津波の浸水によって建物等に残った水痕などの痕跡の高さを調査時の海面水位から測量した。測量にはレーザー距離計を使用した(写真-4.1)。津波の痕跡高には、図-4.2に示すとおり、浸水高、遡上高の2種類があり、それぞれ次のとおり定義される。

浸水高：津波到達時の推定天文潮位から建物の壁等に残る浸水の高さ

遡上高：津波到達時の推定天文潮位から斜面などに残る遡上の痕跡までの高さ

また、地表面から建物の壁等に残る浸水の痕跡までの深さを浸水深と呼ぶ。

なお、調査時の天文潮位を基準とした痕跡の高さが計測されるため、調査時の天文潮位と津波到達時の天文潮位を推算して、潮位補正を行った。天文潮位の推算には、海上保安庁ホームページの「リアルタイム験潮データ」を用いた。

さらに、自治体や港湾事務所の職員や住民から、地震や津波被害の概要、浸水範囲、避難状況などについてヒアリング調査を行うとともに被災時のビデオの収集を行った。

調査にあたっては、国土交通省東北地方整備局と関東地方整備局の全面的な支援と各自治体のご協力を得ている。特に、仙台港湾空港技術調査事務所の山寄一雄氏・早川 修氏・菅原豊明氏・及川勝明氏には調査に参加して、中心的な活躍をしていただいた。ここに記して深甚なる感謝の意を表します。



写真-4.1 レーザー距離計を用いた痕跡高測定

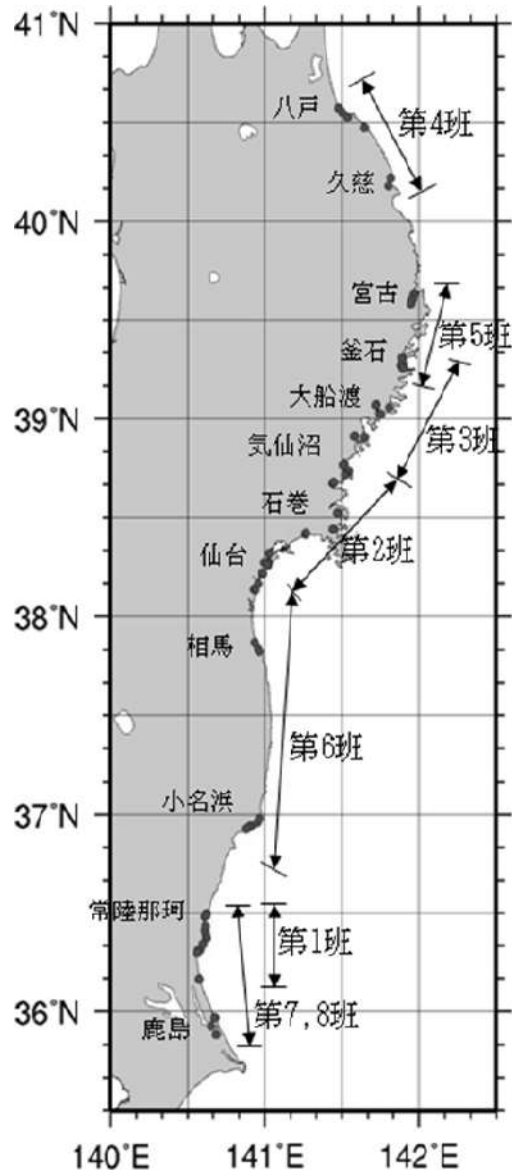


図-4.1 各調査団の調査地域

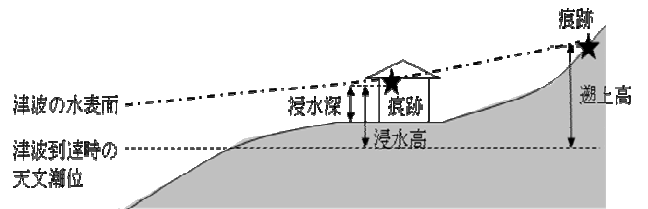


図-4.2 津波の痕跡高の種類

津波被害状況（写真）については、付録1を参照されたい。

5. 津波災害

5.1 青森県の調査結果

5.1.1 八戸港及びその周辺

(1) 港の状況

八戸港は、青森県の南部に位置する重要港湾（1951年に指定）である。1964年に八戸が新産業都市に指定されたことに伴い、臨海部に製紙業、非鉄金属業等の基礎素材型企業が立地し、工業港としての本格的な整備が進められた。1994年に東北地方で最初の国際定期コンテナ航路である東南アジア航路の開設によってコンテナ輸送に対応することになり、2002年にはコンテナ貨物取扱量が36,000TEUを超えた。現在、八戸は北東北最大の工業地帯となっている。港湾の長期的な戦略は、北東北経済の持続的な発展へ貢献する世界に開かれた北東北の国際ゲートウェイ港湾を目指すことであり、①2001年に供用開始された多目的国際物流ターミナル等の整備を行って北東北を代表する工業港・物流港としての物流機能の強化、②港への親しみや利用について地域住民等が享受できる魅力ある空間の確保、③2003年に総合静脈物流拠点港（リサイクルポート）に指定される等、省資源化への対応などが実施されている。

東北地方太平洋沖地震による津波は八戸港やその周辺地域にも来襲し被害を及ぼした。八戸は震央から約280km北にあり、気象庁が発表している震源域の北端に位置する。防波堤、岸壁等が主に津波の作用により被災し、船舶や車両等の打上げ・沈没の被害も発生した。しかし、航路や岸壁の一部は3月19日に復旧し、緊急物資の輸送等に活用された。

(2) 津波とその痕跡高

測量された津波による浸水高を図-5.1.1.1に示す。防波堤内側にある八太郎地区第2埠頭（コンテナヤード）では、図-5.1.1.2の写真に示す上屋の内壁に床面から2.90m（浸水深）の高さに水跡が残っており、津波来襲時の推定海面を基準にした浸水高は6.42mであった。さらに、防波堤内側に位置する八戸漁港では図-5.1.1.3の写真に示す鉄筋コンクリート造の建物の内壁に残った地面から2.47m（浸水深）の高さにあった水跡の浸水高は5.40mであった。港湾局の検潮所では津波の第3波のピーク過ぎまで観測されており、17時頃に観測された第2波のピーク値約4.6mが最大値であった。検潮所における津波観測値は、実際の津波高よりも小さくなること（高山ら、1994）があるので、検潮所における記録と防波堤内で測量した浸水高は整合していると考えられる。

一方、防波堤の外側で港の北側に位置する市川地区工業地帯では、工場内の機械群（図-5.1.1.4の写真）に残った水跡を2箇所測量した。それぞれの浸水高は8.38m（浸水深3.82m）と8.28m（3.72m）であった。さらに、港から南に約13km離れた階上町大蛇地区の鉄筋コンクリート造の漁業集落排水処理施設の内壁に残った水跡の浸水高8.64m（浸水深2.70m）であった（図-5.1.1.5、写真の海岸護岸上に見える建物が対象）。

また、港の北側には、海面上の天端高が約8mの海岸堤防や約5mの護岸の背後に幅約150mの松林があり、その背後の居住地域の家屋群（図-5.1.1.6の写真）がある。その各戸の外壁のほぼ同じ高さに水跡があり、その浸水高は5.17m（浸水深3.20m）であった。ただし、この地域への津波の侵入経路は海岸から松林を通過してくる東からの経路と五戸川河口部から堤防を乗り越えてやってくる北からの経路があるため、海岸林による津波の低減効果を議論するためには注意が必要である。



図-5.1.1.1 八戸港及びその周辺における津波痕跡高

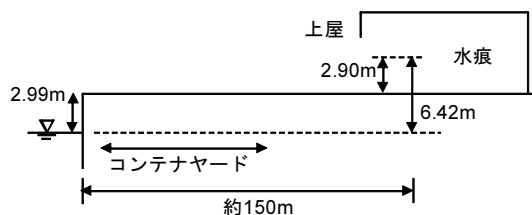


図-5.1.1.2 八太郎地区第2埠頭の津波痕跡（水平距離は測量した地点からの距離であり、最寄りの海面からは約118m）

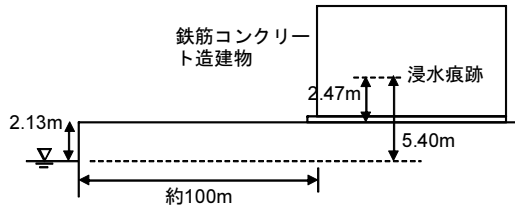


図-5.1.1.3 八戸漁港の津波痕跡（水平距離は測量した地点からの距離であり、最寄りの海面からは約90m）

図-5.1.1.5 階上町大蛇地区の津波痕跡

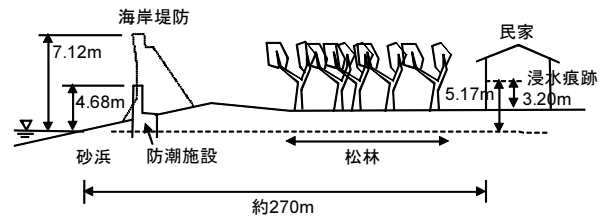


図-5.1.1.6 市川地区海岸林背後の津波痕跡

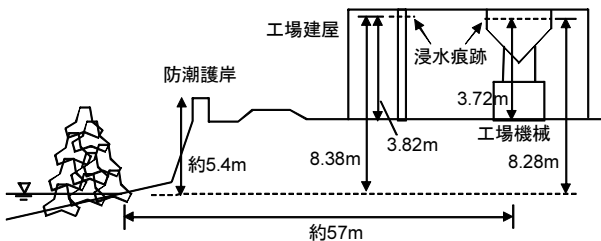
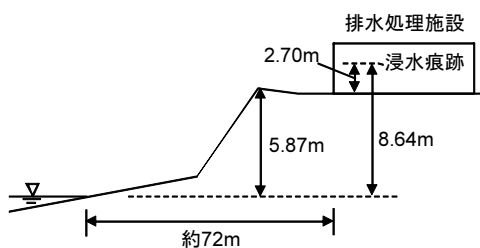


図-5.1.1.4 市川地区工業地帯の津波痕跡



(3) 被害の状況

人的被害及び建物被害

青森県の発表（4月25日現在）によると、地震による被害も含めて、八戸市の人的被害は、死者1名、行方不明者1名、重傷者6名、軽傷者11名である。建物被害は、全壊217棟、半壊910棟である。なお、死者1名は津波によるものである。

浸水被害

図-5.1.1.7は、八戸港湾・空港整備事務所が八戸市により発表された浸水域に市民からの浸水状況に関する聞き取り結果を加えて作成した浸水域である。図-5.1.1.8は、被災前に既に八戸市から公表されていた津波ハザードマップである。このハザードマップは、2006年度に青森県が作成した青森県津波浸水予測図を基に作成されたものであり、三陸沖北部の地震（M8.4）と明治三陸タイプ地震（M8.6）による津波を対象としている。今回の浸水域は、五戸川の左岸域における浸水想定区域を越えているが、その他の地域では想定と同じあるいは狭い範囲が浸水した。事務所の職員による聞き取りによると、五戸川左岸で浸水想定区域を越えて浸水した場所には避難所に指定されている保育園や小学校があり、そこが浸水した。浸水した理由については追加調査が必要である。

図-5.1.1.6に示した海岸林の正射画像（オルソ画像）（公表：国土地理院）を図-5.1.1.9に示す。海側の海岸林は同じ方向に倒れており、そこに数隻の漁船が捕捉されていた（図-5.1.1.10）。漂流物の民家への衝突などの被害が海岸林によって防がれている。図-5.1.1.11に示す護岸背後の地盤は護岸を越流した津波により洗掘されていたが、護岸本体には損傷は認められなかった。調査時

点（3月17日）では車両等の通行を可能にするための復旧工事により、その一部が埋め戻されていた。

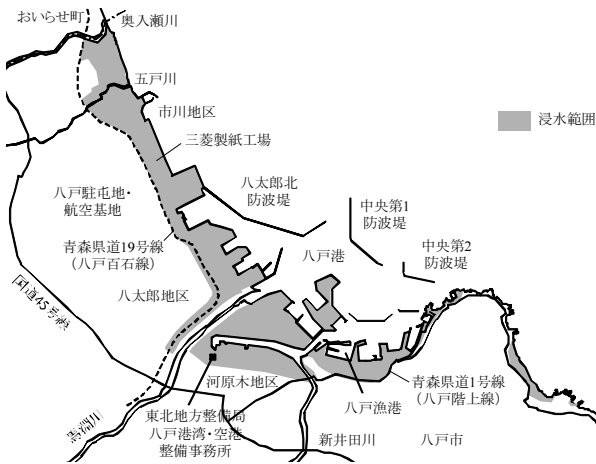


図-5.1.1.7 浸水域



図-5.1.1.10 海岸林に捕捉された打上げ漁船



図-5.1.1.11 護岸背後の地盤の状況



図-5.1.1.8 八戸市の津波ハザードマップの抜粋



図-5.1.1.9 市川地区の海岸林（元写真は国土地理院提供）



図-5.1.1.12 打ち上がった船舶

防波堤被害

八戸港では、東や北からの波浪に対する静穏度確保のために八太郎北防波堤や中央第1防波堤、中央第2防波堤が整備されている（図-5.1.1.13）。津波により、八太郎北防波堤のケーソン総延長3496.19mのうち1869.62m（142函）が被災を受けた（図-5.1.1.14）。このうち、16～19工区は堤頭函のみを残し、それ以外は消波ブロックおよびケーソンが海中に水没し、数函のみが海上に見られた。堤頭函は消波ブロックで巻かれていたが、その多くが散

乱して海中に没していた（図-5.1.1.15）。一方，11～13工区のケーソンは15～19工区とは異なり，多くはその一部が海上に見えていたが，11～12工区では全てのケーソンが移動し（図-5.1.1.16），13工区でもその延長の3分の2のケーソンが移動していた（図-5.1.1.17）。



図-5.1.1.13 八戸港の防波堤配置

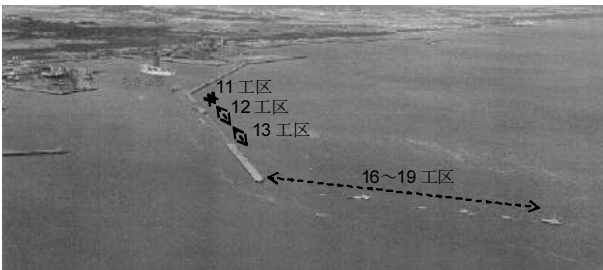


図-5.1.1.14 八太郎北防波堤被災状況



図-5.1.1.15 八太郎北防波堤の堤頭函周囲の被災状況



図-5.1.1.16 八太郎北防波堤の13工区の被災状況



図-5.1.1.17 八太郎北防波堤の11工区の被災状況

洗掘

防波堤開口部が津波により洗掘されることは，平成15年十勝沖地震の際の釧路港などの報告がある．今回の津波により八戸港においても防波堤開口部では10m程度の洗掘があったことが，八戸港湾・空港事務所や海上保安部による水深測定の結果判明した（図-5.1.1.18）．さらに，港内ほぼ中央部にある埋め立て地（ポートアイランド）の角部においても約13mの洗掘が発生し，これに伴って埋立地を形成するスリットケーソンが転倒した．



図-5.1.1.18 八戸港における洗掘

参考文献

高山知司・鈴木康正・鶴谷広一・高橋重雄・後藤智明・永井紀彦・橋本典明・長尾毅・細山田得三・下迫健一郎・遠藤仁彦・浅井正（1994）：1993年北海道南西沖地震津波の特性と被害，港湾技研資料，No. 775，225p.

5.2 岩手県の調査結果

岩手県は、今回の津波で最も大きな津波が来襲した県である。GPS波浪計では、久慈沖で4.0m、宮古沖で、6.3m、釜石沖で6.7mと大きく、浅水変形だけ考えても汀線付近では、津波の高さは10m以上となり、巨大な津波が来襲している。

調査は北部の久慈港から中部の宮古港、南部の釜石港や大船渡港を調査している。宮古港付近では、宮古湾の東側の重茂（おもえ）半島や北側の田老湾も調査している。さらに、釜石湾の北側で外海に面した両石湾や大船渡湾の東北で外海に面した綾里（りょうり）湾（白浜海岸）も調査した。津波の痕跡高さは、重茂半島や綾里など外海に直接面したところでは20mを越えており、やはり10mを超える津波が来襲していたことは間違いないと思われる。ただし、半島などである程度遮蔽されたところでは、津波の痕跡高さはやや小さくなっている。それでもほとんどで10m程度の痕跡高さであり、大な津波によって甚大な被害がでている。なお、釜石湾口には津波と波浪を防ぐ防波堤が建設されている。この津波の効果については7章で述べる。

5.2.1 久慈港及びその周辺

(1) 港の状況

久慈港は岩手県の北部に位置する重要港湾（1975年に指定）である。古くから漁業の中心地として繁栄し、避難港としても利用されてきた。久慈港を岩手県北部の地域開発の拠点とするための基盤整備として1959年より掘込港湾の建設が進められ、1969年に岸壁等が完成してからは鉱産品及び林産品等の移出が行われた、さらに漁業基地としてその利用も活発化した。重要港湾に指定されてからは、久慈地域における工業開発計画をふまえて港湾機能の拡充が図られ、整備が進められた。1987年には、港北部の半崎地区に国家石油備蓄のための基地の建設が着手され、1994年に完成された。この基地では地下の岩盤内に掘った空洞に石油を備蓄する方式をとっており、備蓄用量は175万キロリットルである。

さらに、久慈は1896年明治三陸津波、1933年昭和三陸津波、1960年チリ津波による津波被害を繰り返し受けてきたことから、港の静穏度を確保することに加え、背後地域を津波から防護するために、1985年から湾口防波堤の整備に着手し、現在も建設が進行している。湾口防波堤の計画延長は北堤2,700m及び南堤1,100mであり、2010年10月までにその内の375m及び395mまで本体が据え付けられていた。総延長の内の約20%である。

東北地方太平洋沖地震による津波は久慈港にも来襲し

被害を及ぼした。久慈は震央から約240km北にある。3月20日には水路（喫水制限7.0m）及び岸壁の一部が復旧し、被災後初の入港として3月26日に国土交通省北陸地方整備局の大型浚渫兼油回収船「白山」が諏訪下地区岸壁（水深10m）に着岸し、支援物資（食料、医薬品、カセットコンロ・ボンベ等）を輸送した。

(2) 津波とその痕跡高

測量された津波痕跡高を図-5.2.1.1に示す。東向きに開けた港の南側に位置する玉の脇地区では、図-5.2.1.2に示す丘陵地の斜面に残る漂流物の高さを測量した。その遡上高は13.37mであった。

港の最も奥に位置する諏訪下地区では、図-5.2.1.3の写真に示す鉄筋コンクリート造の久慈市漁協の建物内壁に残った水跡を測量して浸水高8.22m（浸水深4.37m）を得た。この漁協背後には海水位から天端までの高さ7.39mの防潮壁（図-5.2.1.4）があり、今回の津波はこの防潮壁を乗り越えた。目撃証言によると、津波は滝のように防潮壁を超えて流れたとのことであり、津波痕跡の測量結果と整合する。

港内北側に位置する半崎地区（国家石油備蓄基地）では、図-5.2.1.5に示す鉄筋コンクリート造の建物内壁に残る水跡を測量し、その浸水高は8.69m（浸水深3.18m）であった。1階の天井が部分的に抜けており、そのすぐ下に水跡があった。ただし、他の部屋にはこれよりも低い位置にも水跡が残っており、部屋によりその高さは異なっていた。水が引くときに水跡を残すことは知られているが、密閉度が高い部屋に水が入りにくかったために痕跡が低かった可能性もある。

国土交通省東北地方整備局釜石港湾事務所久慈港出張所の職員が玉の脇地区の丘陵地から撮影したビデオ映像によると、津波の第1波は諏訪下地区の防波堤沖合の水深15m程度の所で砕波し、砕波段波となって防波堤を越流した。越流した津波は防波堤背後で波として再生し、短い波長の波に分裂し、それらは砕けながら諏訪下地区の埠頭を越流した。防波堤の沖合で形成された砕波段波はほぼ一線上になっており、半崎地区にも作用している様子がビデオ画像で認識できた。このことから、砕波段波はほぼ久慈湾全体において形成されていたと思われる。



図-5.2.1.1 久慈港及びその周辺における津波痕跡高

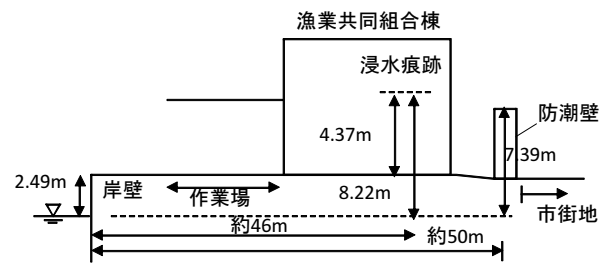


図-5.2.1.3 諏訪下地区の津波痕跡

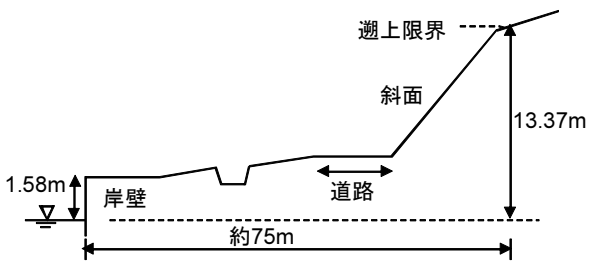


図-5.2.1.2 玉の脇地区の津波痕跡



図-5.2.1.4 諏訪下地区の防潮壁とその前の漂流物

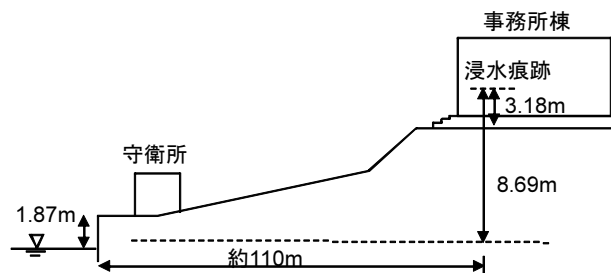


図-5.2.1.5 半崎地区の津波痕跡

(3) 被害の状況

人的被害及び建物被害

岩手県の発表（4月26日）によると、地震による被害も含めて、久慈市全体で人的被害は、死者2名、行方不明者2名、負傷者8名である。建物被害は、家屋倒壊数238棟である。

浸水被害

玉の脇地区は海岸背後の平地は狭く、それに続く丘陵地に多くの民家があり、**図-5.2.1.6**に示すように平地や丘陵地にあっても標高が低く海を見通せる位置にある家屋は大きな被害を受けていた。

諏訪下地区では、防潮壁の上約80cmまで津波の水脈は達して越流した。背後地域は防潮壁を越流した水だけでなく周辺からも水が流れ込んでおり、**図-5.2.1.7**に示すように打上げ漁船を含めた量のガレキがあった。また、大小4基のオイルタンクがあり、**図-5.2.1.8**に示すように、それらは、**図中左から傾いたもの、横倒しのもの、傾き、大きな被害なしのもの、横倒しのものと被害の程度は様々であった。**大きな被害が認められなかったタンクの表面にあった水跡を地面から測量したところ4.26～4.31m（浸水深）であった。大きな被害が認められないタンクには、オイルが内在しているとのことで、調査した時にオイルの抜き取り作業を久慈市が行っていた。

半崎地区の国家石油備蓄基地では、地上施設は大破していた（**図-5.2.1.9**）。しかし、地下にある備蓄基地からの油流出の被害は認められなかった。諏訪下地区のオイルタンク群との比較により、地下施設の長所が活かされたと考えられる。

また、基地の海側は消波ブロックにより消波岸壁になっており、**図-5.2.1.10**に示すように一部のブロックは岸壁上に打ち上がって、転がったことが岸壁上の傷から判断された。

半崎地区の海岸護岸において、**図-5.2.1.11**に示すように消波ブロックには大きな変状は認められないがパラペットが陸側に飛ばされている箇所があった。沖にある離岸堤は若干の沈下があったように見えたが、天端は海面上に見えた。



図-5.2.1.6 玉の地区の被災状況



図-5.2.1.7 諏訪下地区の被災状況



図-5.2.1.8 諏訪下地区のオイルタンクの被災



図-5.2.1.9 半崎地区・国家石油備蓄基地の地上施設の被災



図-5.2.1.10 半崎地区・国家石油備蓄基地の護岸の状況



図-5.2.1.12 久慈港の防波堤配置（被災前）



図-5.2.1.13 玉の脇防波堤の被災状況



図-5.2.1.11 被災した海岸護岸（上：陸側に飛ばされたパラペット，下：海側にある消波ブロックと離岸堤）



図-5.2.1.14 諏訪下地区の仮置きケーソンの被災

防波堤被害

湾口防波堤は、海上から見た範囲においてはほとんど変状（被災）が見られなかった。久慈港の職員が撮影したビデオ映像を確認したところ、津波は湾口防波堤を飲み込むようにして作用したが被災は見られなかった。

諏訪下外防波堤は、堤頭函の消波ブロックが飛散した他は大きな変化がなかった。一方、玉の脇防波堤はほとんどが消失していた（図-5.2.1.13）。

諏訪下外防波堤の背後に仮置きされていたケーソンが図-5.2.1.14に示すように被災した。ケーソンの破壊は、越流時に津波が衝撃的に作用したことに起因すると推察される。この周辺ではフローティングドックも半分沈没していた（図-5.2.1.15）。



図-5.2.1.15 諏訪下地区におけるFDの被災

5.2.2 宮古港及びその周辺

(1) 港の状況

宮古港は奥行約8km、幅約2kmの宮古湾の湾口からやや中に入った左岸（太平洋に向かって）に位置する重要港湾（1951年指定）である。リアス式海岸であるために古くから漁業基地として栄えていた。明治・大正時代に出崎地区において埋め立てによる埠頭築造が進められ近代港湾としての整備が始まった。昭和時代には、背後地域の窯業、鉱業、木材工業の発展とともに港湾も発展し、主要な物流機能は藤原・神林地区に移っている。原木の取り扱いも多い港であり、2008年には輸入品の総トン数の内約半分が原木であった。さらに、2008年にはコンテナ貨物の定期航路の開設も行われた。さらに、鉾ヶ崎、出崎、高浜地区における漁業関連機能及びレクリエーション機能の充実も図られている。

東北地方太平洋沖地震による津波は宮古港や宮古湾沿岸地域にも来襲し被害を及ぼした。宮古は震央から約180km北にある。防波堤等が主に津波の作用により被災し、原木、船舶や車両の打上げ・沈没の被害も発生した。しかし、緊急物資の輸送等に活用するために、航路や岸壁の一部は3月17日に復旧した。

(2) 津波とその痕跡高

測量された津波による浸水深を図-5.2.2.1に示す。

出崎地区では、図-5.2.2.2の写真に示す埠頭先端部に位置する鉄筋コンクリート造の漁協製氷工場の建物内壁に残った水跡を対象として測量し、津波高8.74m（浸水深6.92m）を得た。測量したのは側壁であり、海に面した壁およびその反対側に位置する壁は抜けていた。

藤原・神林地区では埠頭の付根付近に位置する県営1号上屋の内壁にあった水跡を測量し、津波高9.81m（浸水深6.95m）を得た。図-5.2.2.3の写真は外観と内部の様子を示したものであり、外壁や内部隔壁が剥がれ落ちていたことに加え、それらの上に水で洗い流された跡がライン状に残っていた。

高浜地区では、高浜1町目のV字状の丘陵地の斜面に残った漂流物を対象として、遡上高15.56mを得た（図-5.2.2.4）。周囲では斜面上の草が引き波により倒されたように下向きに倒れ、バケツ、漁船用の浮輪、パイロン、小屋の屋根、衣類等が漂着していた。この前面地形は幅20m程度のポケットビーチ上になっており、津波が収れんした可能性がある。

さらに、図-5.2.2.4に示した高浜地区では水門の制御室外側にある草のからみつきを対象に、浸水深10.28m（浸水深10.08m）を測量した。制御室内にも草が残っていた

り、ガラスの破損など水が到達した痕跡が他にも存在した。水門に脇に続く防潮堤の高さは海面から8.5mであったので、津波は防潮堤を乗り越えたと考えられる。

宮古湾の最も奥に位置する津軽石地区には津軽石川の河口の水門（図-5.2.2.6）がある。水門上部には砂や漁具、牡蠣殻が残されており津波が越えたと推察される。一方、水門の制御室までには至っていないようであった。近くにある別の水門のとりつけ階段の手すりには養殖ブイとロープが絡みついており、これを対象に測量した結果、浸水深10.41m（浸水深10.32m）であった。

上記のように宮古湾の左岸（太平洋に向かって）を湾口近くから湾奥にかけて津波痕跡を測量した結果、湾口部に近い出崎地区で8.7mの浸水深から、湾の中に進むにつれて高さは増大し、湾奥の赤前地区では10.4mになった。リアス式海岸であるが湾全体に渡って湾幅の変化は少ないため、この増大は水深の変化に伴うものと考えられる。ただし、出崎地区の水深は10m程度と深くないので、湾奥においても津波の大きな増大につながらなかったと考えられる。

なお、気象庁によると、宮古の検潮所において15時26分に8.5mの津波のピークが観測されている。その前後の波形は公開されていないが、この値は津波痕跡の測量結果と整合している。

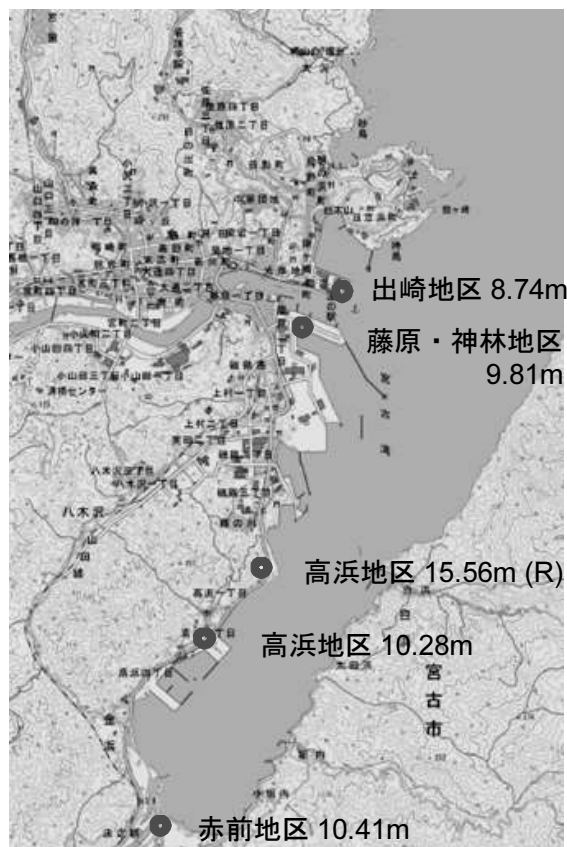


図-5.2.2.1 宮古港及びその周辺における津波痕跡高

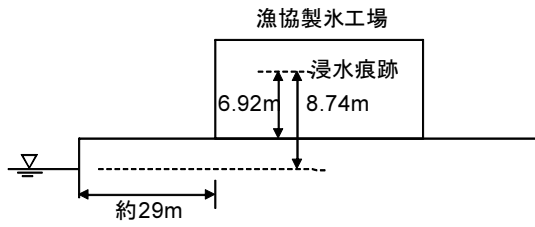


図-5.2.2.2 出崎地区の津波痕跡

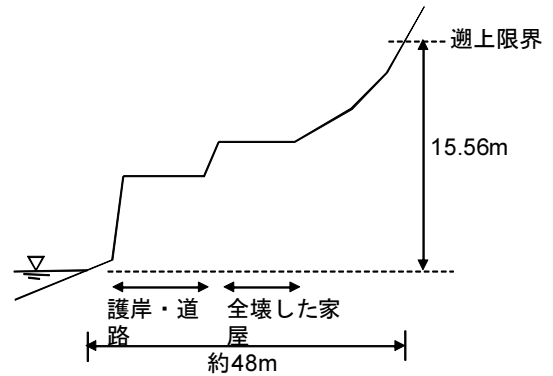


図-5.2.2.4 高浜地区の津波痕跡
(写真上：痕跡，写真下：前面の海岸線)

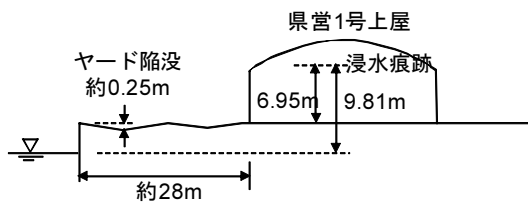


図-5.2.2.3 藤原・神林地区の津波痕跡

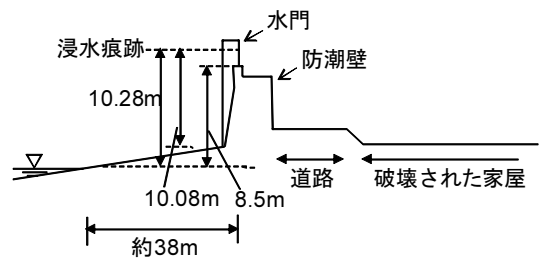


図-5.2.2.5 高浜地区の水門の痕跡



図-5.2.2.6 津軽石河口部の水門

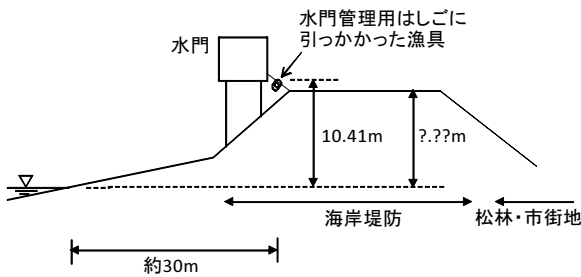


図-5.2.2.7 赤前地区の津波痕跡

(3) 被害の状況

人的被害及び建物被害

岩手県の発表（4月26日）によると、地震による被害も含めて、宮古市全体で人的被害は、死者408名、行方不明者534名、負傷者33名である。建物被害は、家屋倒壊数4,675棟である。

各地区の被害概要

出崎地区では、埠頭上にある鉄筋コンクリート造や鉄骨造の1階に相当する高さまでは、壁が抜ける等の大きな被害が発生していた。浸水深が7m程度に達した埠頭上には漁船も複数打ち上がっていた（図-5.2.2.8）。また、埠頭内施設の建屋内の1階部分の床面には、津波遡上時に海底から打ち上げられたものと考えられる、多量の泥が堆積している箇所もみられた（図-5.2.2.9）。

藤原・神林地区には、起重機船が打ち上がっていた。

ただし、痕跡の測量を行った上屋の周囲にあったガスタンク、オイルタンクは大きく被災しているようには見えなかった（図-5.2.2.10）。一方、マリーナの防波堤や護岸は被災し、防波堤ケーソンには移動したものと水面下に没したものがあり（図-5.2.2.11）、護岸の一部は消失していた。ここでは、2階天井高さまで津波が達したと思われる鉄骨造の建物があった（図-5.2.2.12）。防潮堤背後では、浸水により多くの家屋が全壊するだけでなく、流木が突き刺さった家屋（図-5.2.2.13）も認められ、防潮堤背後の地面は洗掘されていた。

高浜地区では、15m以上の高さまで遡上した津波により、海面上約9mの高さにあった木造家屋も全壊した。さらに、海岸護岸上に床版を設けて造られた遊歩道は消滅し、床版は海あるいは陸に散乱していた（図-5.2.2.14）。さらに、防潮堤に設置されたアルミ製の陸間も変形していた（図-5.2.2.15）。また、同地区に隣接する藤の川海岸（図-5.2.2.16）では、砂浜域の地形変化量の詳細は不明であるが、大規模な砂浜の消失は生じていない。しかし、大量の木片等の打ち上げや、上記と同様に海岸背後の護岸法面部の決壊が生じていた。

赤前地区には防潮堤背後の松林に養殖用ブイがからみつき、前面の松は陸側に倒れていた（図-5.2.2.17）。測量した浸水深からも津波は防潮堤を越流したと考えられる。ただし、倒れた松は防潮堤のすぐ背後のみであったことから、越流した水の強い勢いは防潮堤すぐ背後に限定されていたと推察される。



図-5.2.2.8 出崎地区の埠頭上に打ち上がった船舶



図-5.2.2.9 出崎埠頭上の建物1階床に堆積した泥



図-5.2.2.10 藤原・神林地区のタンク

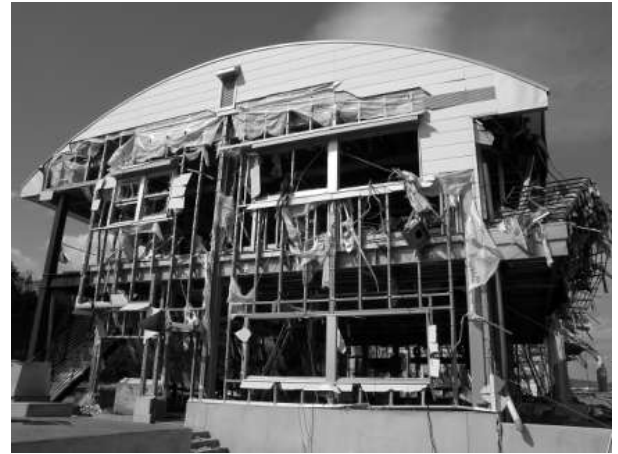


図-5.2.2.12 マリーナの被災建物



図-5.2.2.11 藤原・神林地区マリーナの被災防波堤
(下：国土地理院提供写真の一部)



図-5.2.2.13 原木が衝突した建物



図-5.2.2.14 高浜地区の被災した遊歩道



図-5.2.2.15 高浜地区の変形した陸閘



図-5.2.2.16 高浜地区における海岸の状況



図-5.2.2.17 赤前地区の松林の倒木

5.2.3 釜石港及びその周辺

(1) 釜石港の概要

図-5.2.3.1 および 2 に示すように、釜石港は岩手県の南東部に位置する釜石湾にある天然の良港で、明治7年に国営製鉄所が建設されたことによって発展した港である。現在は、須賀地区を中心に整備が進んでおり、公共の11m岸壁や7.5mの耐震強化岸壁がある。須賀地区の背後に市庁舎を含む市の中心地が広がっている。

釜石湾は、三陸地方の典型的なリアス式の海岸であり明治三陸津波など多くに津波災害を経験している。昭和53年から低気圧による波浪と地震による津波から湾全体を守る湾口防波堤が建設され、平成21年に完成している。湾口防波堤は、須賀地区の防潮壁から4km沖合いにあり、幅2kmの湾口に300m開口部を残して締め切るのである（湾口防波堤の詳細については、第7章で述べる）。

釜石市では、津波災害の防止に市民とともに熱心に取り組んでおり、ハザードマップの整備や、防災訓練なども行われていた。なお、釜石市には4万人の方が住んでおり、多くが沿岸部に住んでいるが、釜石湾だけでなく、南に唐丹（とうに）湾、北側に両石湾、大槌湾の鶴住居（うのすまい）地区などに分かれている。

釜石港の湾口防波堤の防波堤外の津波高を推測するために、防波堤北側に位置する馬田岬周辺において津波痕跡高の測量を計画したが、陸路は昨年末の大雨による土砂崩れ等の影響により閉鎖されていたために実施できなかった。そこで、津波痕跡高の参考値を得るために、釜石湾のすぐ北側に位置する両石湾において津波痕跡高の測量を実施した。

釜石湾の北隣にある両石湾は明治三陸津波、昭和三陸津波により繰り返し被害を受けてきた土地である。両石湾の奥に位置し、V字状の谷間にある両石では、これまでの津波災害でも壊滅的な被害を受けてきた。そのため居住地域の海側に防潮堤を建設して、津波に備えていた。

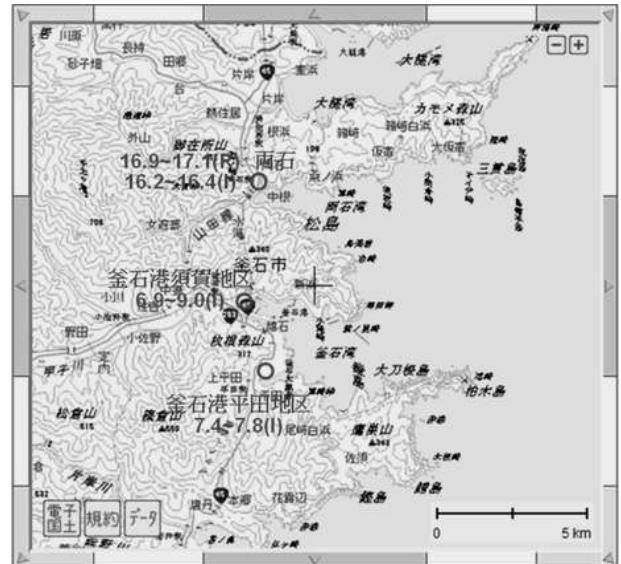


図-5.2.3.1 釜石湾とその周辺の地図と津波痕跡高



図-5.2.3.2 釜石港とその周辺の地図と津波痕跡高

(2) 津波とその痕跡高

検潮記録によると、津波は地震直後に引き波から始まりその後押し波となって15時21分に4.1mの高さとなって記録が振り切れているが、釜石港及びその周辺では、大きな津波浸水災害が発生している。釜石港奥(須賀地区)の大渡川(甲子川)左岸にある国土交通省釜石港湾事務所では、地震発生とともに3階に避難し、近隣避難住民の受け入れも行っていた。同事務所の撮影したビデオ(写真-5.3.2.1)では津波は、釜石港の防潮堤を乗り越えるとともに大渡川が溢れ、浸水域は大渡川と港の周辺に広がり、大渡川に沿って釜石駅あたりまで延びている。同事務所の調査では、明治三陸津波の推定浸水域をやや上回る広さとなっているようである。

図-5.2.3.1と2に津波の痕跡高も示している。国土交通省釜石港湾事務所では津波の痕跡高さ8.11m(浸水深

3.5m) であり、1階が水没していた。図-5.2.3.3は岸壁近くの防潮壁から事務所までの断面と浸水高さを示すものである。防潮壁から国道までに多くの事務所や向上がりがあり、写真-5.2.3.1のように破壊されている。また、同地区の北側にある港湾合同庁舎(海上保安庁)でも1階が水没しており、津波の痕跡高さは7.01m(浸水深5.72m)であった。ただし、同庁舎の外壁では9.14mの痕跡高さも認められている。

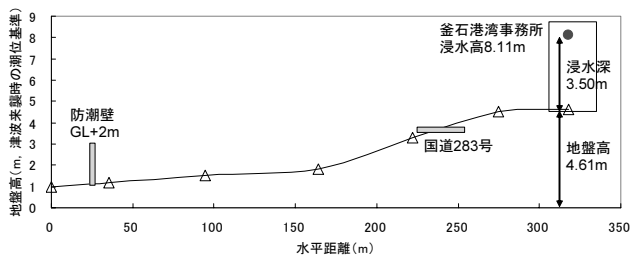


図-5.2.3.3 須賀地区防潮堤から事務所までの断面



写真-5.2.3.1 津波ビデオ(大渡川からの侵入; 国土交通省釜石港湾事務所木村氏撮影)

平田地区では図-5.2.3.4の○印で囲む埋立地上にある岩手沿岸南部クリーンセンターの鉄筋コンクリート造の建物周囲で水跡を測量した。図の上の写真に示す建物の右側の海に面する外壁の水跡の浸水高が最も高く7.82m

(浸水深0.93m) であり、反対側の後壁で浸水高7.52m(浸水深0.66m)、その間の南壁ではその東側で浸水高7.39m(浸水深0.47m)、西側で7.51m(0.51m)であった。この浸水高の分布からは、津波は東側にある護岸を越流してクリーンセンターに到達し、浸水したと考えられる。建物前後(海側外壁と後壁)の浸水高差約0.3mからベルヌーイの法則に基づいて算出される流速は2.4m/sである。

一方、クリーンセンターの南側約400mには平田漁港の奥部につながる海域がある。埋立地にある海洋バイオ研究センターの建物に避難して、津波来襲時の様子を目撃した人の証言によると、津波初動は弱い引きであり、15:15~15:16に来襲した弱い押しの後には再びかなり引いて、それから15:20~15:25(浸水域で止まった時計により確認された時刻)に大きな押し波により越流が発生した。越流は埋立地の南側護岸から発生したとのことである。

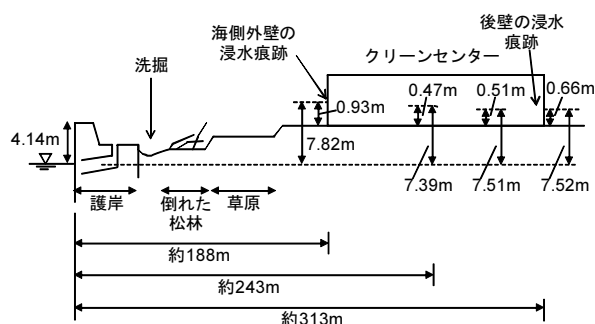
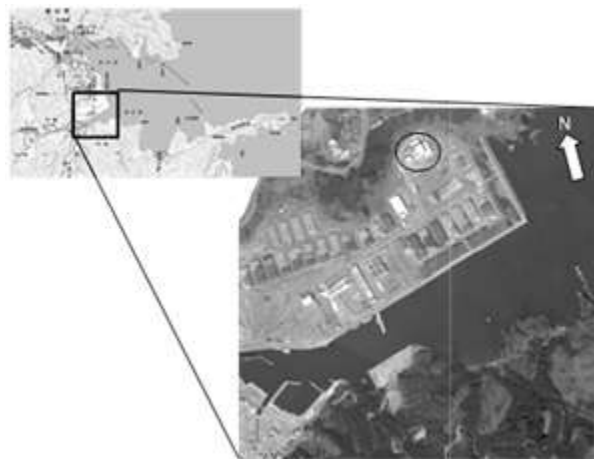


図-5.2.3.4 平田地区における津波痕跡(写真および地図は国土地理院提供、図は東を右側に書いている)

両石において測量した津波痕跡高を図-5.2.3.5に示す。両石では、決壊した防潮堤の近くにある斜面上に津波に流された車とその周りの漂流物を対象(図-5.2.3.6)に測量して、遡上高16.86mを得た。さらに、両石の谷間中央付の高台にある神社に続く階段にも漂流物があ

たので、これを対象に測量した所、遡上高 17.16m であった。ここでは痕跡とほぼ同じ高にあたる図-5.2.3.7 の家屋の屋根に家庭用品など漂流物が打ち上げられていた。したがって、階段にあった津波痕跡のため遡上高とここでは定義したが、津波がこの斜面を勢いよく駆け上ったのではないという感じであった。

両石の入口にある両石漁港周辺においても複数のブイが樹木の枝に引っかかっており、その浸水深はそれぞれ 16.17m (浸水深 13.29m) および 16.17m (14.89m) であった。

以上のことから、両石の入り口および中ほどともに痕跡高さは 16~17m となること、さらに両石の南側にある斜面には海側から内陸に向けてほぼ同じ高さに津波漂流物が残されていたこと (図-5.2.3.8) から、両石地区にはその入口において既に最大津波は高さ 16~17m であり、それが両石地区に侵入したのではないかと推察される。

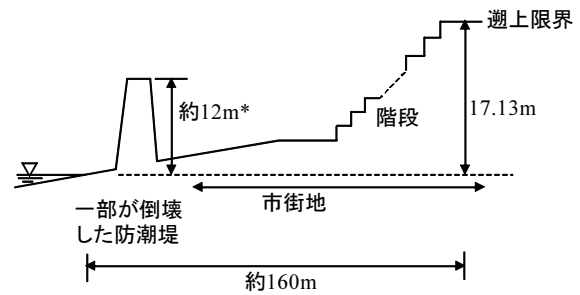


図-5.2.3.7 両石の中ほどの北斜面における津波痕跡を測量した周辺の状況



図-5.2.3.5 両石における津波痕跡高



図-5.2.3.8 両石の中ほどから奥にかけて残る津波漂流物の筋

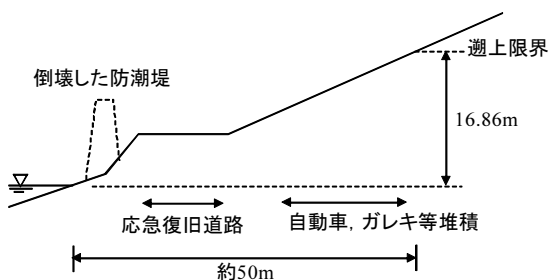


図-5.2.3.6 両石の海側南斜面における津波痕跡

(3) 釜石港の被害状況

防波堤や護岸

釜石湾口防波堤には、船で近くまで行くことができ、津波によって大きな被害を受けていることを確認できた。ただし、第7章で述べるように防波堤は粘り強い構造であったために、津波来襲初期には機能を十分発揮したと推察される。

釜石港内の 2m 程度の高さの防潮壁は、多くは残っているが、津波の流れによる洗掘が進んでいて、一部には倒壊しているところもある。また陸上部の津波ゲートの中には、特に押し波や引き波によって壊されて、ゲート本体が離れたところに倒れているものもあった。

港内の施設や船舶

釜石港内及びその周辺では、浸水によって甚大な被害が発生しており、多くの建物が破壊されている。特に工場や倉庫などで、木造や鉄骨建物は、大きく破壊されているものが多い。鉄筋コンクリートの建物は、浸水して

いても倒壊に至っているものではなく、港内の飼料や穀物の大型サイロも浸水しているが、建物全体の被害には至っていない（写真-5.2.3.2と5.2.3.3）。

港内では、岸壁エプロンや波除堤の上に小型船舶が取り残されていたり、漂流したままのボートが観察された（写真-5.2.3.4と写真-5.2.3.5）。

多くの船が地震直後に港外に出て行ったが、間に合わなかったものも少なくなかった。大型の船舶も津波によって漂流し、製鉄所の岸壁の上屋を壊すとともに（写真-5.2.3.6）に、座礁している（写真-5.2.3.7）。大平地区では石油タンクも浸水していたが、タンク自体の損傷は免れており、中の石油は利用可能な状態である。

事務所職員によると、港奥に係留されていたFD（フローティング・ドック）3隻のうち一隻は元あった場所に座礁。一つは港内にて座礁。最後の一つは、港外（港口防波堤の外）南方かなり遠くの海岸線まで漂流して座礁したとのことである（写真-5.2.3.8）。津波の押し・引きによる複雑な水流があったことを推測させる。

なお、調査時点において、水域を漂う漂流物は少なかったが、ビデオにより港内には引き波時に多くの瓦礫（車を含む）が流れ込んでいる様子が観察されており、調査時点ではそれらが航路・泊地に沈んでいたものと思われる。

背後地・市街

港の背後には、市庁舎をはじめ中心市街地が広がっており、ここでは1階から2階あたりまで建物の浸水があった。ただし、市街地でコンクリートの建物が多いところでは、建物の全壊に至るものはなかった（写真-5.2.3.9と5.2.3.10）。ただし、木造の建物の被害は大きく、多くの自動車や小型ボートが流され、壊れた建物の残骸とともに道路をふさいでいる（写真-5.2.3.11）。

岩手県の発表（4月26日）によると、地震による被害も含めて、釜石市全体で人的被害は、死者774名、行方不明者565名である。建物被害は、家屋倒壊数3,723棟である。

避難 復旧復興状況

事務所職員によれば、緊急輸送路確保のため、岸壁（-11m）については、3月15日に海上保安部による測量が終了し、16日より船舶の受入れが可能となっていた。調査時点において、既に、清龍丸、水産庁調査船、自衛艦と入港が続き、岸壁（-11m）を利用した緊急物資輸送が行われていた（写真-5.2.3.12と5.2.3.13）。

甲子川河口に位置する耐震強化岸壁（-7.5m）側の泊地も測量されたが、まだ底浚いが必要な状態であり、水面

上に一部漂流物と思われる影が観察された。また、起重機船により、調査当日の午前中には車両が4～5台上げられたとのことであり、岸壁エプロンに、引き上げられたと思われる損壊した車両が数台残置されていた（写真-5.2.3.14と5.2.3.15）。

背後道路については、港湾から釜石駅と新日鉄釜石の間を抜け背後地域に結ぶ国道283号線は、地震から4日目に啓開されたとのこと。釜石港湾事務所前から甲子川を越えて国道283号線に渡る「矢の浦橋」上は、津波引き波時に引っかかった数台の車両と幾らかの瓦礫があるのみで、もともと通行可能であった模様である。JR釜石駅から市街地に入っていく「五の橋」上の瓦礫は、調査時点では既に撤去済みであった。両橋間の「大渡橋」上には瓦礫がうず高く積まれており、まだ撤去作業未着手と見受けられた。



写真-5.2.3.4 港の倉庫（3月17日）



写真-5.2.3.5 臨港地区（3月17日）



写真-5.2.3.4 波除堤に上がった小型船舶 (3月17日)



写真-5.2.3.8 港内で座礁するFD (3月17日)



写真-5.2.3.5 港内を漂流する小型ボート (3月17日)



写真-5.2.3.9 1階から2階まで浸水した市街地 (3月17日)



写真-5.2.3.6 船舶が衝突した上屋 (3月17日)



写真-5.2.3.10 市街地奥の店舗 (3月17日)



写真-5.2.3.7 岸壁に乗り上げた船 (3月17日)



写真-5.2.3.11 道路を埋める瓦礫と車 (3月17日)



写真-5.2.3.12 緊急物資荷役後停泊中の清龍丸 (3月17日)



写真-5.2.3.13 緊急物資荷役中の自衛艦 (3月17日)



写真-5.2.3.14 航路・泊地啓開作業中の起重機船 (3月17日)



写真-5.2.3.15 泊地から引揚げられた車両 (3月17日)

平田地区の埋立地上にある岩手沿岸南部クリーンセンターは浸水したが、その深さは0.47～0.93mであった。このため、鉄筋コンクリート造の建物には外観上損壊などの被害は認められなかった。図-5.2.3.4の写真のクリーンセンター（写真中の○印）の東側には防波護岸があり、そのパラペットの天端高はDL+4.5mであり、津波来襲時の推定天文潮位を基準にした天端高は4.14mとなるので、クリーンセンターにおける浸水高を生じさせる約7～8mの高さの最大津波は護岸上を3～4m超えたことになる。

防波護岸の背後には、幅が約50mの松林があった。その海側の一部分において地面が洗掘され、松が陸側に倒れていた。さらにその前面にある側溝のコンクリートが内陸側に流出していた（写真-5.2.3.16）。周辺の海岸からの反射波と入射波の重合によりさらに局所的に津波が高くなり、背後地に影響を及ぼした可能性がある。

クリーンセンターの南側にある海洋バイオ研究センターでは、研究施設内の水槽が建物外に流出するなど大きな被害が発生しており、周辺には漂流した自動車や船舶等が打ち上げられていた（写真-5.2.3.17および5.2.3.18）。



写真-5.2.3.16 東側の消波護岸背後の洗掘と倒れた松林



写真-5.2.3.17 建物に衝突した自動車



写真-5.2.3.18 平田地区で打上げられた船舶

(4) 両石における被害状況

防潮堤で守られた山間にある居住地区が壊滅状態であった（写真-5.2.3.19）。居住地区は防潮堤により防護される形式となっていたが、防潮堤の一部が決壊し、壊れた堤体が陸側に倒れていた（写真-5.2.3.20）。さらに、決壊した部分の背後地盤は洗掘され、海とつながっていた。ただし、決壊した防潮堤は防護ラインの全体に及んでいるのではなく部分的である。写真-5.2.3.21において決壊部分の海側に避難用の階段が設置されており、この脇に陸閘が設置されていたと思われる。一方、その北側にある水門（写真-5.2.3.21の右側に写る防潮堤の開口部）やさらに北側にあつて湾の最奥部にある陸閘（写真-5.2.3.20の上に写る防潮堤の開口部）周りでは防潮堤に大きな損傷は認められなかった。

防潮堤の天端高は台帳によるとT.P.+12.0m（T.P. = D.L.+0.86m）であり、津波来襲時の推定天文潮位T.P.-0.5mを

考えると、16～17mの最大津波は防潮堤の天端上4m程度に達していたことになる。岩手県の平成15年度三陸北沿岸海岸保全基本計画・三陸南沿岸海岸保全基本計画・計画編によると、両石漁港海岸における堤防の現況天端高はT.P.+9.3mとなっており、この高さであれば津波は天端上6m以上にまで達したことになる。



写真-5.2.3.19 両石地区の被災状況



写真-5.2.3.20 両石地区の被災した防潮堤



写真-5.2.3.21 両石地区の被災した防潮堤の遠景

5.2.4 大船渡港及びその周辺

(1) 大船渡港の概要

図-5.2.4.1 および2 に示すように、大船渡港は岩手県の南東部に位置する大船渡湾の奥で、盛（さかり）川の河口部にある天然の良港である。明治時代から発展した発展した港であり、現在は、古くから茶屋前地区を中心に整備が進んでおり、さらに野々田地区や永浜・山口地区が整備されている。盛川の右岸、茶屋前地区から野々田地区の背後に大船渡駅を含む市街地が広がっている。市役所の庁舎は、津波を考慮して盛川の右岸の高台に位置している。

大船渡湾は、三陸地方の典型的なりアス式の海岸であり明治三陸津波など多くの津波災害を経験している。昭和35年にチリ地震津波によって大きな被害を受けて低気圧による波浪と地震による津波から湾全体を守る湾口防波堤が昭和38年から建設され、昭和42年に完成している。湾口防波堤は、茶屋前地区の防潮壁から約5km沖合いにあり、幅800mの湾口に200m開口部を残して締め切るものである。

大船渡市には4万人が住んでおり、多くが沿岸部に住んでいる。大船渡湾の防波堤のすぐ外には、長崎漁港足合(あつたり)漁港、綾里(りょうり)漁港などがあり、大船渡湾の南には門之浜湾、北側に綾里湾(白浜地区)、越喜来(おっきらい)湾、吉浜湾があり、これらの地区にも多くの人が住み、津波の被害を受けている。

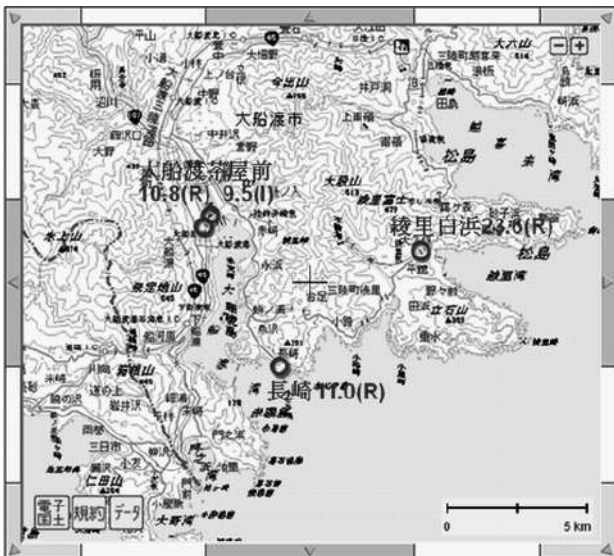


図-5.2.4.1 大船渡湾とその周辺における地形と津波痕跡高



図-5.2.4.2 大船渡港とその周辺の地形と津波痕跡高

(2) 津波とその痕跡高

大船渡の湾口防波堤外にある長崎漁港の検潮記録によると、津波は地震直後に引き波から始まり15時10分頃に押し波が始まり、15時18分に8.5mの高さとなって記録が振り切れている。市民が撮影した湾口防波堤でのビデオの解析からは、15時20分から22分頃に第一波のピークになったと推測される。大船渡港の茶屋前地区ではそれから約6~7分後にピークになったと思われる。この第一波で最大の浸水深となっている。

大船渡港及びその周辺では、甚大な津波浸水災害が発生している。大船渡港奥(茶屋前区)の埠頭背後にある大船渡商工会議所のビルでは、津波が2階の天井まで完全に水没している(写真-5.2.4.2)。図-5.2.4.1と2に津波の痕跡高も示している。大船渡商工会議所では津波の痕跡高さ9.48m(浸水深8.46m)であった。また、図-5.2.4.3に示すように大船渡駅の北西の大船渡保育園前まで津波が遡上しており、遡上高で10.79mに達している。

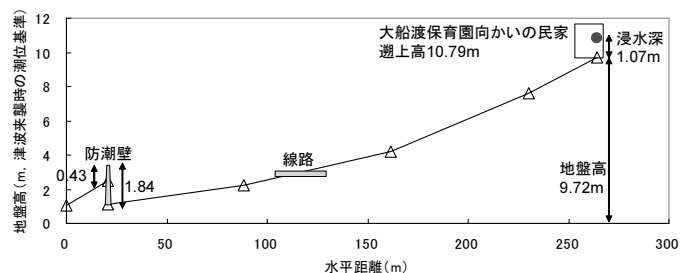


図-5.2.4.3 防潮堤から大船渡保育園の断面

大船渡の湾口防波堤の内側にある蛸の浦地区で、国土交通省東北地方整備局の津波計があるが、これは浸水していたため記録が残っていない。湾口防波堤の外側にある長崎漁港には前述した気象庁の潮位系のほかに国土交通省の津波計があるが、どちらもピークに達する前に記録が途切れている。長崎漁港でも痕跡高さは 10.95m である。

大船渡湾の北側の綾里湾(白浜地区)は、明治三陸津波で 38.2m の遡上高の記録があることで有名である。この地区の遡上高さの調査も行った。写真-5.2.4.2 と図-5.2.4.4 に示すように、津波は海岸の防潮堤を壊して海岸から地方道に上がる道をかけあがり、遡上高 23.6m となっている。



写真-5.2.4.2 綾里湾での津波の遡上（左下は海側、上は陸側）



写真-5.2.4.1 大船渡商工会議所
(丸太が二階に侵入している)

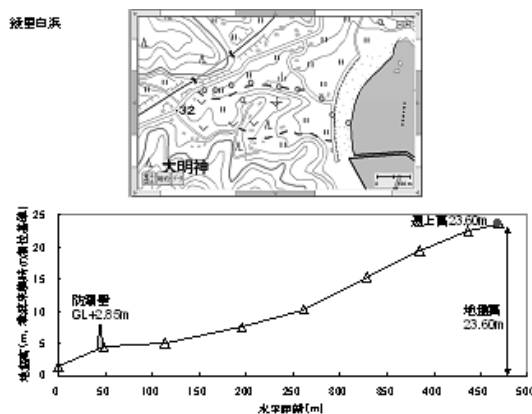


図-5.2.4.4 綾里白浜海岸の遡上位置(図面は東が右)



(3) 大船渡港の被害状況

防波堤や護岸

大船渡湾口防波堤は、ケーソンがマウンドから滑動転落していると思われる、基部の数箇所を除き目視で確認できなかった(写真-5.2.4.3)。前述したように津波来襲時にビデオで撮影されており、釜石港と異なり比較的早い段階で破壊が進んだために、残念ながら防波堤の津波低減効果は限定的であったと思われる。

大船渡港内の 2m 程度の高さの防潮壁は、多くは残っているが、津波の流れによる洗掘が進んでいて、一部には倒壊しているところもある(写真-5.2.4.4)。また陸上部の津波ゲートの中には、特に押し波や引き波によって壊されて、ゲート本体が離れたところに倒れているものもあった(写真-5.2.4.5)。

港内の施設や船舶

泊地・航路について、目視できる範囲に漂流物や障害物は認められなかったが、海水が濁っているため水中まで

は確認できていない。泊地・航路である水域には漁船、貨物船が数隻係留ないしは停泊していた(写真-5.2.4.6)が、他に船舶は見当たらず、陸域に広がる漂着物の中では船舶らしきものは目立っていなかった。

各埠頭の状況を調査している岸壁班の報告によると、(啓開作業の影響も考慮する必要あるものの)茶屋町地区のヤードよりも対岸の永浜・山口地区に多く漂着物が残っていたとのことである。

港内の工業地帯は、大きな被害を受けている。多くの建物が2階まで浸水し、多くは破壊しており、丸太なども散乱している。これらの丸太は、茶屋町地区の埠頭用地で扱われていたと思われるが、同地区背後への漂着物の中で一際目立ち、埠頭背後1kmほど入ったエリアにまで到達していた(写真-5.2.4.7)。

背後地・市街

茶屋前地区の西側には、大船渡駅があり市街地が広がっている。ここでは10m程度の津波により大きな被害が発生しており、木造の建物はほとんどが壊滅的な被害となっている(写真-5.2.4.8と写真-5.2.4.3)。ただし、西側に行くほど地盤が高くなっており、先述した大船渡保育所付近では、浸水しただけで破壊を免れている。

岩手県の発表(4月26日)によると、地震による被害も含めて、大船渡市全体で人的被害は、死者300名、行方不明者186名である。建物被害は、家屋倒壊数3,629棟である。

復旧復興状況

公共岸壁の使用について、地震班による調査で明らかのように、茶屋町地区、野々田地区ともに可能とのこと。永浜・山口地区公共岸壁については、岸壁本体の使用には支障ないが、背後ヤードに残置された瓦礫の撤去が必要とのことであった。

背後道路について、一部埠頭間(茶屋町地区～野々田地区)道路が啓開作業中で通行不可であったが、最悪45号線及び大船渡三陸道路を使えば、北は唐丹から南は広田湾、加えて調査当日報道あった仮設橋経由で気仙沼まで通行可と考えられた。大船渡市が、調査時点(3/18)において把握していた通行可能ルートは写真-5.2.4.10の通りである。

調査時点において、釜石港～大船渡港間の交通が確保されていなかったため、広田湾や気仙沼等の近隣地区への緊急輸送及び復旧のために、大船渡港が緊急輸送拠点としての機能することが期待されたが、東北地整も同様の認識を持っていることを確認できた。その後、大船渡

港の航路・泊地の使用可能性が確認され、23日より一部利用開始された。

対応頂いた大船渡市職員(部長)によれば、今回、情報手段が奪われたことで非常に困っているとのこと。大船渡港及び周辺湾の被害甚大と認識しており、外に情報発信したくともできず、また、市対策本部に対応するため自ら被災状況把握に向かえない身として、市内各湾の詳細な被災状況を把握できないことに困っているとのことであった。



写真-5.2.4.3 湾口防波堤位置(3月18日)



写真-5.2.4.4 防潮堤の洗掘



写真-5.2.4.5 防潮堤のゲートの流出 (3月18日)



写真-5.2.4.8 大船渡駅周辺の被害 (駅北の踏切から)



写真-5.2.4.6 大船渡港内に残った船舶 (3月18日)



写真-5.2.4.9 大船渡保育園周辺



写真-5.2.4.7 茶屋前地区の工業地帯



写真-5.2.4.10 大船渡市周辺道路啓開状況図 (3月18日)

5.2.5 田老(旧田老町)・重茂半島・宇部町

(1) 概要

宮古港の北で太平洋に面した田老湾にある田老ならび

に、宮古湾の東に位置する重茂半島を調査した。田老地区は、過去にも非常に高い津波に襲われた地域であり、市民の津波防災の意識は非常に高く、海面上10mの防潮堤が平面的にエックスの字形につくられて、同地区を守っている。

久慈市宇部町にある久喜漁港では、海水面から10m程度の防潮堤があり、それをを超える津波が押し寄せたが、幸い人災はなかった。

(2) 津波の痕跡高さ

図-5.2.5.1は、重茂半島ならびに田老の調査地点における津波の痕跡高を示している。全体にみると、宮古湾は、重茂半島の影響からか、津波高が小さくなっていると考えられる。

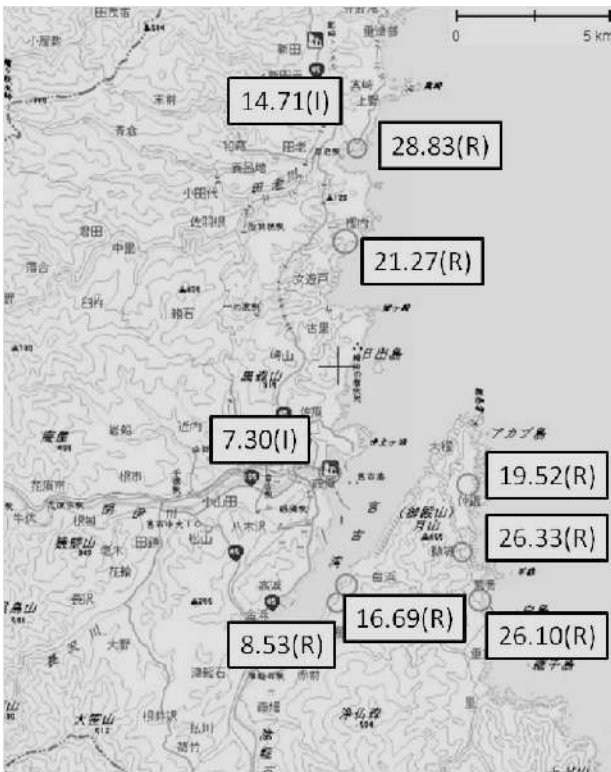


図-5.2.5.1 重茂半島および田老(旧田老町)の調査地点

(3) 被害状況

田老(旧田老町)

田老では、図-5.2.5.2に示すように、漁港内では、浸水高が14.71m(写真-5.2.5.1)であるのに対して、三王岩のある漁港外側では、28.83mの遡上高を記録している。これは、防潮堤の外であり、津波が勢いよく遡上したと考えられる。

写真-5.2.5.1の建物は、基礎部がコンクリートの柱で出来ており、それ以外は鉄骨であった。船をつけるクレ

ーンがあったため、基礎がしっかりしていたと思われる。厳しい津波に耐える事ができた建物であり、避難ビルの参考になる。

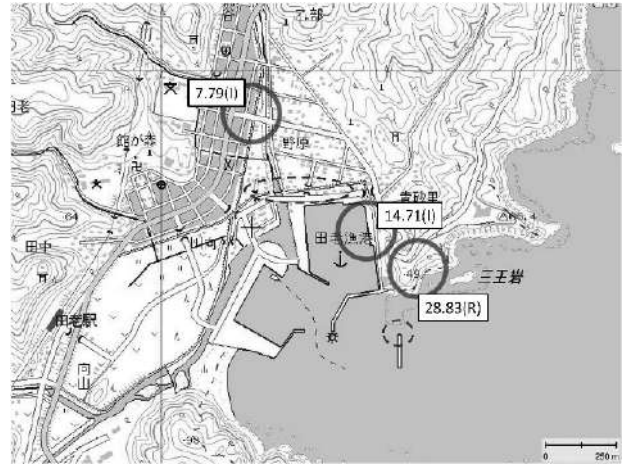


図-5.2.5.2 田老の調査地点



写真-5.2.5.1 海岸沿いに建っていた建物
(基礎部はコンクリートであるがそのほか鉄骨)

図-5.2.5.2で示す点線部には、防潮堤があり、その転倒ならびに消波ブロックの飛散が認められた。防潮堤は、写真-5.2.5.2で示すようにほとんどの防潮堤が海側に転倒していた。すなわち、押波時は転倒せず、引波時に

転倒したものと考えられる。背後から支えられた構造であり、打継ぎ部に鉄筋がなかったことから、引波には弱い構造である。



写真-5.2.5.2 防潮堤の転倒（右が海側）

第二線の防潮堤は、本体部はほとんど被害がなく、防潮堤の直背後の建物では、7.79m と低い浸水深（この数字からわかる浸水深を示すのがよい）になっていた（写真-5.2.5.3）。ただし、これは、あくまでも防潮堤に面した面についた痕跡高であり、側面では、およそ1階の天井程度であったため、実態としては3m程度の浸水深（あるいはこの数字から推定される浸水深を示すのがよい）であったと考えられる。しかし、3m程度では家屋が流されるため、ほぼ全損に近い形で図-5.2.5.2内の建物が被害を受けたと考えられる。（前にも意見を書いた通り、3mの浸水深と7.79mの浸水深が同じものであると言っているのかいなのかが分からないような記述となっており、不適切である。）



写真-5.2.5.3 第二防潮堤の背後の建物

写真-5.2.5.4は、第二防潮堤より撮影したものであり、左側が海側、右側が山側になる。これを見ると、山側の方が、多くの建物が残っていることがわかる。



写真-5.2.5.4 防潮堤より（右側が山側、左側が海側）

重茂半島

同じ宮古市であるが、重茂半島の東側の鵜磯地区では、宮古湾内に比べて津波はかなり高かった。写真-5.2.5.5は、海岸線から300m程度離れたところにある小学校の1階部分まで津波が到達した様子である。痕跡の標高がおおよそ23mであった（図-5.2.5.3）。



写真-5.2.5.5 鵜磯地区での小学校の痕跡
（標高おおよそ23m）

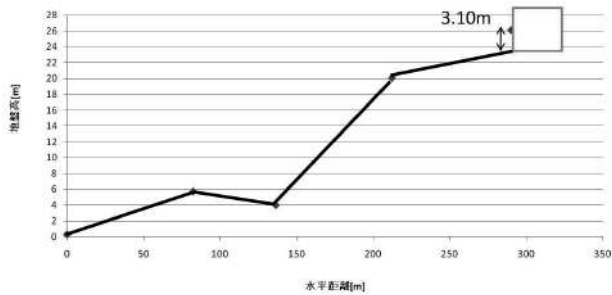


図-5.2.5.3 小学校までの地盤高

宇部町

宇部町久喜漁港の津波高さを図-5.2.5.4 に示す。

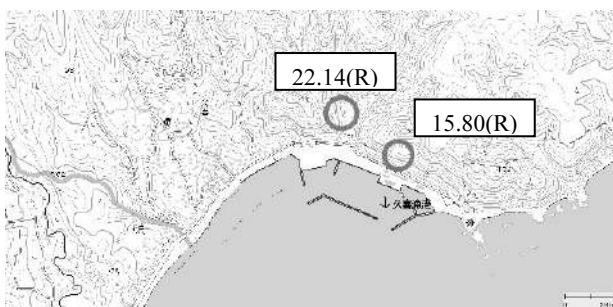


図-5.2.5.4 久喜漁港での痕跡高

それぞれ漂流したものを測定した。住民が久喜漁港の西側の高台から撮影された様子から、津波はほぼ東から来襲しており、谷のようになっている奥の地点は、前面よりも高くなったと推測される。

住民の証言から津波の来襲時の様子をうかがい知ることができる。その男性（73歳）は、地震後、防潮堤まで行き津波がくる様子を観察していた。この防潮堤を越えることは想像できなかつたと述べられた。

津波の来襲時刻はおよそ15時30分頃であり、引波はなく、1波目が最大であり、津波は防潮堤を乗り越えたとのことであった。

被害の様子であるが、22.14mの遡上高を測定した点の西側前面には、コンクリートの下水処理場があった。ここでは、段波状になった津波が作用し、建物の倍近くまで飛沫が上がっていた。

この建物は、写真-5.2.5.6に示すように2階の鉄筋コンクリート造であり、建物を構成する壁厚は約25cmであった。内部もしっかりとしており、重量からも流されず下水処理機能も1ヶ月もたたないうちに復旧したとのことであった。



写真-5.2.5.6 下水処理場の様子

しかし、2階のテラス部分や階段の壁のところは、津波の衝撃により破壊されたと考えられる。破壊されたあと、人為的に撤去処理が加えられ、写真-5.2.5.7のようになったと考えられるものの、テラスの床厚は20cm程度であり、また10mmの複鉄筋であり、非常に頑丈な造りに見えるものの、衝撃力が作用した際の揚圧力で破壊が進んだものと思われる。なお、階段が残っているのは、斜めになっていることで、揚圧力が小さくなったためと思われる。その屋根についても写真-5.2.5.8のようにコンクリートで出来ているが壊されており、衝撃の強さを示すものである。



写真-5.2.5.7 下水処理場の2階テラス部



写真-5.2.5.8 下水処理場の屋根の破壊部分

一方で、防潮堤（海面から10m程度、陸地からは7.5m程度）の背後の地域では、道路に面した浜小屋と呼ばれる漁具用の物置が越流した津波によって流され、その背後の家屋も流されていた。防潮堤は一部破壊されていたものの、ほとんど問題なかった。防潮堤の扉も破壊され、非常に強い津波が作用したと考えられるが、防潮堤により、津波力の勢いが抑えられたことがわかる。

ちなみに浜小屋は防潮堤より約30m背後、であり、約70m背後の地域まで被害を受けていた。

この地域では、防潮堤から津波を観察している人がたくさんおられた。津波が段波になって襲ってきたことから、これは乗り越えると思ひ、すぐ後ろにある高台に全員避難し、この地区では、被害者はゼロであった。避難訓練も毎年のように行っていたことから避難場所に迷うことなく行けたことや、100mも走ると15mを超える山になっていたことから、安全に避難することができたと思われる。

なお、漁民の方々は、揺れを感じた瞬間に船を沖だしするため、慌てて海のほうに向かっている。そして、水深90m程度の位置まで逃げたようである。そこでは津波を感じることはなかったが、岸側をみると、岬から南北に向かって、火花が打ち上がるように飛沫が上がっていたということに驚かれていた。

これらの行動を制限することは難しいのではないかと考えられるため、今後、このような行動を踏まえた対策を立てることも重要なのではないかと考えられる。

また、防潮堤の背後地域では、どの程度までが越流により威力を増した津波の影響を受けるかは今後詳細に調べる必要がある。



写真-5.2.5.9 防潮堤の様子



写真-5.2.5.10 防潮堤背後地域の破壊の様子

5.3 宮城県調査結果

5.3.1 宮城県の被害の概要

宮城県の沿岸地形は、北側のリアス式海岸と南側の砂浜海岸より構成されている。浸水高は、リアス式海岸である気仙沼で約 9m、南三陸町、女川町で約 15m、砂浜海岸である仙台市及び名取市の海岸沿いで約 10m、その中間の石巻（石巻湾側）で約 5m であり、それぞれ海岸では、浸水高さに対応した特徴的な被害が生じていた。

すなわち、リアス式海岸である気仙沼港では木造家屋の流出やタンク、船舶、車両などの漂流があり、女川町ではビルの転倒もあった。一方、仙台市及び名取市の砂浜海岸では、海岸護岸の破壊及び松林の倒壊、平野部における広域な住居の損壊と農地の冠水などがあつた。リアス式海岸と砂浜海岸の中間に位置する石巻湾側の石巻においては、今回の調査では浸水高さは約 5m とそれ程大きくないにもかかわらず、多数の家屋が流出していた。この原因の一つとしては、家屋が建設されていた土地の低さが考えられる。



図-5.3.1.1 宮城県全域の調査地点

5.3.2 気仙沼港及びその周辺

(1) 概要

気仙沼港は、宮城県の最北部に位置する場所にあり、東は唐桑、南は本吉まで構成されている。リアス式海岸のため、これまでも何度も津波の被災を受けている。

(2) 津波の痕跡高さ

気仙沼港の周辺も示す。図-5.3.2.1 に気仙沼市の調査ポイントにおける最大の痕跡高を示す。東側に位置する唐桑周辺では遡上高さとして 13m を超えているものの、本吉町と比較すると、気仙沼港の口の開いた向きが津波来襲の直接の向きとは異なっているためか、津波高さが半分程度になっていた。

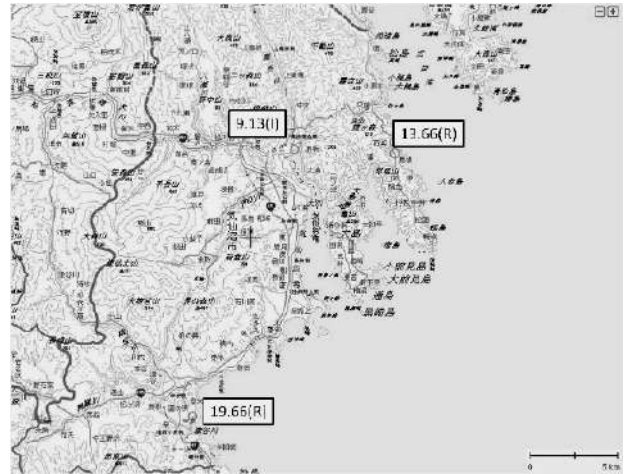


図-5.3.2.1 気仙沼市の調査地点

(3) 被害状況

人的被害及び建物被害

宮城県の発表（4月27日）によると、地震による被害も含めて、気仙沼市全体の人的被害は、死者 865 名、行方不明者 1,117 名である。建物被害は、全壊 8,383 棟、半壊 1,861 棟である。

各地区の被害

気仙沼市のもっとも南側に位置する本吉町中島にある赤崎海岸において、写真-5.3.2.2 に示すように 1974 年ごろの地形では、河口部に陸地が広がり、現在の電子国土をみても、図-5.3.2.1 のように、写真-5.3.2.1 と同様の土地利用がなされていたと考えられる。ところが津波来襲後の地形は、写真-5.3.2.2 に示すように、沿岸部が最奥で 700m 程度失われていたことがわかる。図-5.3.2.3 には、比較による流出区域を示す。写真-5.3.2.3 は、地上から撮影した様子であり、現地では元の地形が想像できないほどであった。写真-5.3.2.4 は、1980 年頃まで運営されていたシーサイドパレスの建物であり、その建物をみると屋上を超えており、その高さは 13.05m であった。また、小泉大橋は流出していた。



写真-5.3.2.1 1974 年から 1978 年の間に撮影された本

吉町赤崎海岸部（電子国土）

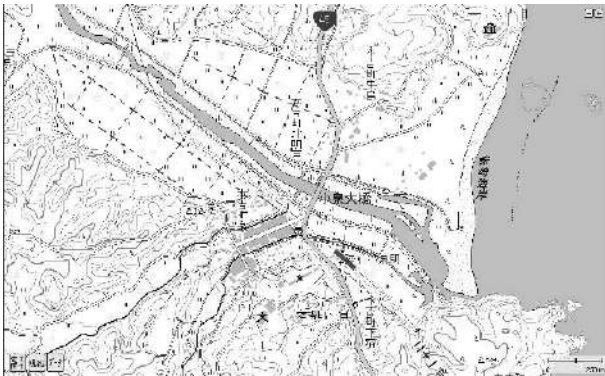


図-5.3.2.2 本吉町赤崎海岸における地形(津波来襲前)



写真-5.3.2.2 2011年4月6日に撮影された本吉町赤崎海岸部（グーグルアース）

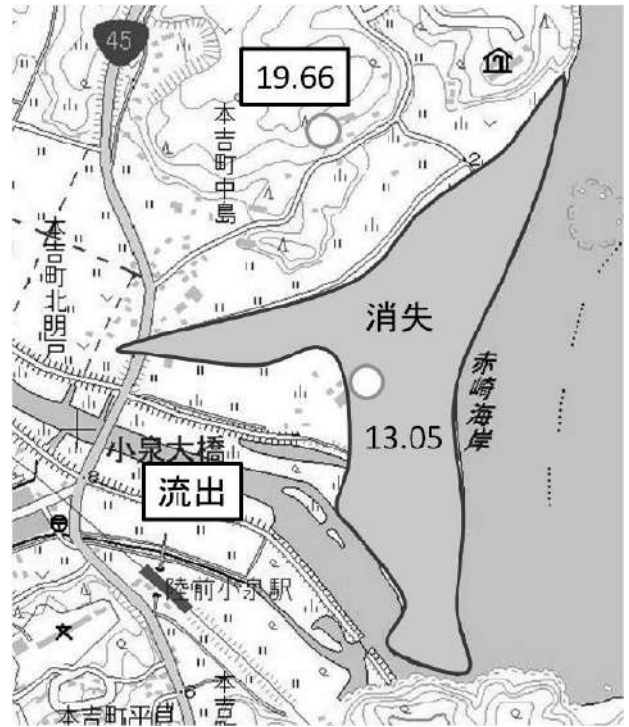


図-5.3.2.3 本吉町赤崎海岸における流出区域



写真-5.3.2.3 本吉町赤崎海岸（2011年3月29日撮影）



写真-5.3.2.4 本吉町赤崎海岸に残された元シーサイドパレス (2011年3月29日撮影)



写真-5.3.2.4 気仙沼港の浜町の岸壁背後の建物と漂着した重油タンク (2011年3月28日撮影)

本吉町の北側に位置する気仙沼港では、岸壁近くの建物（ヤヨイ食品）に残されていた痕跡高が8.84mであった。その隣には、湾口部から流れてきたと思われる重油タンクが漂着していた（写真-5.3.2.4）。住民の撮影したビデオからもその漂流の様子はよくわかり、漂流している途中で重油が漏れ出たため、周囲が黒くなっていた。また、タンクはひとつだけ流れたわけではなく、その位置に設置されていたほとんどのタンクが流されたものと思われる。また、気仙沼では港に置かれていた船が、数多く漂流した。写真-5.3.2.5は、町中に漂流した330トンの船の写真である。吃水はおよそ4m程度とおもわれる。住民の話では、次の日に解体する予定であったため、岸壁に着岸していたが、それが津波によって流されたということであり、その流された時刻は、15時30分頃であった。また、その証言から漂流した道筋を示したものが、およそ500m程度漂流したことになる。

また、写真-5.3.2.6は、漂流した船舶のおおたと考えられる道沿いにあった鉄骨造の建物である。船舶が流れに曲がり切れずに側面が衝突したものと見える。

さらに、この地域では、大規模な火災が発生しており、写真-5.3.2.6は、鹿折唐桑駅より内陸側を撮影したものである。これは、津波被災との複合災害であるが、何も残っていない大きな原因は火災であろうと思われる。

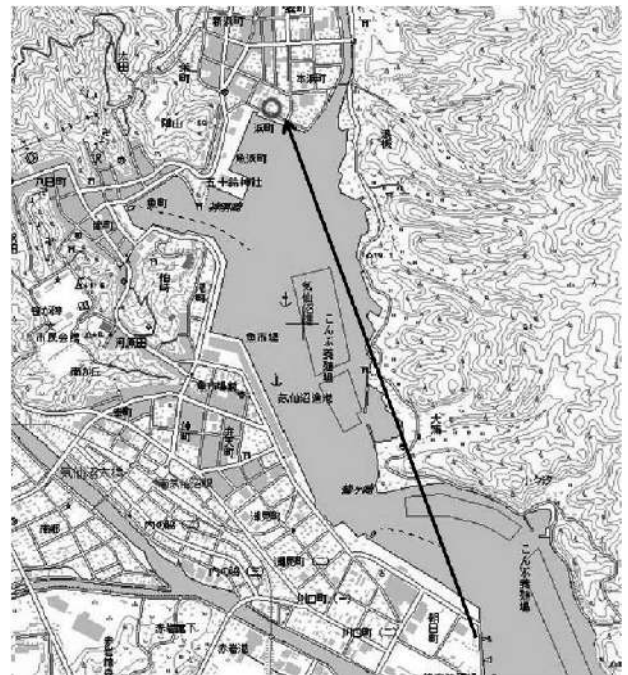


図-5.3.2.2 気仙沼湾口部における重油タンクの漂流



写真-5.3.2.5 町中に漂流した船
(2011年3月28日撮影)



写真-5.3.2.6 漂流した船の通った道沿いにあった鉄骨3階建ての建物 (2011年3月28日撮影)



図-5.3.2.3 船舶の漂流



写真-5.3.2.7 火災発生場所 (2011年3月28日撮影)

気仙沼の唐桑地区では、漁港の背後の道路部が洗掘を受け、陥没していた。住民の証言では、引き波時に漁港の海底面が露出したようである。



写真-5.3.2.7 唐桑町石浜にある漁港背後道路の洗掘

(2011年3月29日撮影)

5.3.3 南三陸町

(1) 概要

南三陸町は、気仙沼市と石巻市の間にある宮城県の沿岸のなかでは中部に位置する町である。明治三陸津波の際、歌津町石浜では14.8m、中山では10.8mの津波高を記録し、志津川町では6.8mを記録している。また、1960年のチリ地震津波において、旧志津川町では41名の被害者を出した地域である。

(http://www.sanriku-kahoku.com/news/2009_05/k/090523k-tsunami.html)。そのため、沿岸部にある松原公園にモアイ像を建てるなどの津波に対する意識は高かったと思われる。

(2) 津波の痕跡高さ

図-5.3.3.1に南三陸町での調査地点における津波高さを示す。本吉町の陸前小泉での津波高さが19.66mであったので(図-5.3.2.1),それから考えると少し低い、この地区だけで考えると、志津川湾の湾奥にむかうに従って、津波高が大きくなっていることがわかる。気仙沼市と合わせて考えると、この地域では東の向きから襲った津波が大きかったものと思われる。

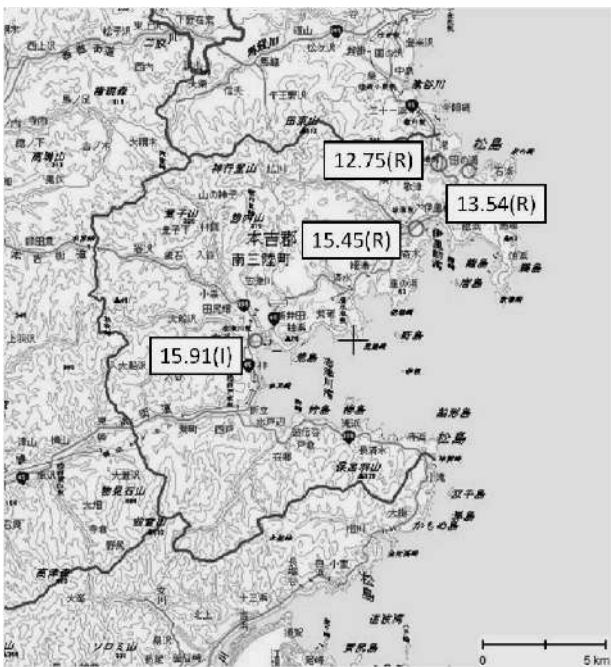


図-5.3.3.1 調査地点 (南三陸町)

(3) 被害状況

人的被害及び建物被害

宮城県の発表(4月27日)によると、地震による被害も含めて、南三陸町全体の人的被害は、死者496名、行方不明者656名である。建物被害は、全壊3,877棟である。

各地区の被害

建物の被害として、海岸沿いにある3階建てのRC造の志津川公民館が1階、2階を残して3階部分の柱が折れるという被害であった(写真-5.3.3.1)。引き波時に漂流物などにより折れてしまった可能性もある。一方で、その近くにあった2階建てRC建物は、壁面がせん断破壊されている様子がわかる(写真-5.3.3.2)。高さ3m、幅4.5m、厚さ15cm程度の壁であり、10mm程度の単鉄筋構造であった。



写真-5.3.3.1 3階建ての建物の3階部分の柱折れ



写真-5.3.3.2 2階建ての建物の壁面破壊

また、海岸線河口部付近は、大きく流出しており、そのなかで残された4階建てのRC造は、避難場所にも指定されていたが、屋上まで津波が襲ったと考えられる(写真-5.3.3.3)。また、南三陸町のホームページを見ると、

町役場（写真-5.3.3.4）から撮影された最高水位に近いときの写真が掲載されていた。それをみると、すべて海になっている様子が確認できる。また、その役場では、最後まで「逃げてください」と伝えていた職員が、流されてしまって津波の犠牲になっている。女川（5.3.4 参照）と違い転倒しているビルが調査の範囲では見あたらなかった。



写真-5.3.3.3 4階建てのRC造の建物、避難ビルに指定されていた



写真-5.3.3.4 町役場（フェンスの上まで水が来た）

写真-5.3.3.5は、歌津駅から歌津地区全体を見たものである。これを見ると、2階建ての建物が残っていることがわかる。津波は歌津駅のホームの床下まで来ていると思われる。その浸水高は、14.75mであった。

また、水門や道路は破壊され、電柱もいたるところで折れていた。



写真-5.3.3.5 歌津駅から町を望む

5.3.4 女川港及びその周辺

(1) 概要（宮城県石巻港湾事務所ホームページ，宮城県東部地方振興事務所事務所ホームページ参照）

女川港は、古くから沿岸漁業に利用されるとともに、金華山や江島・出島などの離島交通の要衝であった。そのため、明治政府は、台風により破壊された野蒜港にかわって女川港に築港計画を検討したが、財政上の理由から中止となった。その後、1925年になり女川振興会が組織され、以後、昭和初期にかけ魚市場及び岸壁の整備が進み、漁業基地としての基礎が固められた。1939年、商港建設を図る女川港修築期成同盟会が組織され、1941年から1967年にかけて防波堤、岸壁等の主要施設が整備された。現在、女川港の沖には、それぞれ長さ300m強の2本の湾口防波堤が整備されている。

女川港は、1954年には地方港湾に指定されている。また、女川港に隣接して、女川漁港（第3種漁港；登録漁船隻数は約100隻；水揚げ種はサンマ、イカナゴ、イワシ）が位置している。

(2) 津波の痕跡高さ

調査地点における津波の痕跡高さは14.8m（浸水深13.4m）であった。また、背後の病院では、1階の天井近くまで浸水しており、その高さは、18.38m（すぐ背後が山であったため遡上高とする）であった。



図-5.3.4.1 調査地点（女川港）

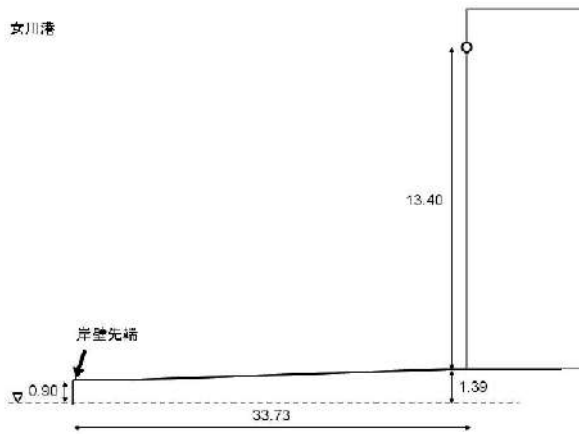


図-5.3.4.2 調査地点の断面（女川港）

(3) 被害状況

人的被害及び建物被害

宮城県の発表（4月27日）によると、地震による被害も含めて、女川町全体の人的被害は、死者464名、行方不明者656名である。建物被害は、全壊3,021棟、半壊46棟、一部損壊86棟である。

防護施設・港湾施設

女川の湾口防波堤であるが、インターネット上に2008年2月28日に撮影された湾口防波堤の様子があり（<http://www.panoramio.com/photo/9615051>）、その位置とほぼ同じ位置から4月9日の調査において撮影されたものが写真-5.3.4.1である。インターネット上の写真では確認できたが、4月9日の写真では、拡大写真を見てわかるとおり、防波堤がなくなっていることがわかる。これは航空写真からも確認することができる。

また、岸壁の天板部が飛散し（写真-5.3.4.3）、河口部において地形の流出がみられた。天板は状態から考えると津波の揚圧力ではないかと考えられる。



写真-5.3.4.1 2011年4月9日に撮影した湾口部



写真-5.3.4.2 写真-5.3.4.1の湾口防波堤の拡大



写真-5.3.4.3 岸壁の天板の破壊

背後地域

女川では電子国土ポータルから、津波を受ける前の画像を取得することができる。撮影は2008年度に行われている。図-5.3.4.1の漁港に近い陸上部は、図-5.3.4.2のようになっていた。現地の状況から考えると黄色の建物が3階建て以上、緑色の建物がそれ以下と考えられる。

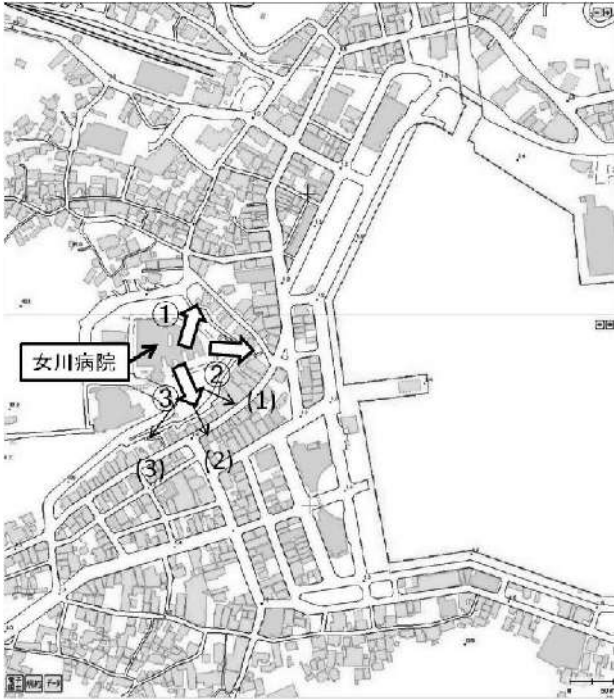


図-5.3.4.2 女川漁港の背後の陸地の建物配置

写真-5.3.4.4は、女川病院から見た被災後の市街の様子である（図-5.3.4.2の①の方向）。大きな建物しか残っていないことがわかる。

写真-5.3.4.5は、岸壁近くにあったと思われる3階建のアパートが、50m程度流されたと考えている（図-5.3.4.3参照）。右隣には、2階建の交番が横倒しになっていた。これは、大きく移動していなかった。基礎として杭が打ってあったため、その影響かもしれない。



写真-5.3.4.4 女川病院から見た被害の様子①
（2011年4月9日に撮影）



写真-5.3.4.5 岸壁近くにあったと思われる3階建のアパートが流され様子と右隣は2階建の交番の横倒し
（2011年3月27日に撮影）

海岸線の方向②を写真-5.3.4.6に示す。この場所では、写真-5.3.4.7に示す鉄筋コンクリート3階建（ペントハウスが4階）が倒れていた。海岸沿線に向かって倒れていたことから、押波ではなく引波時に転倒した可能性が高い。ただし、押波時に浮いて、引波時に位置が確定していることも考えられる。



写真-5.3.4.6 女川病院から見た被害の様子②
（2011年4月9日に撮影）



写真-5.3.4.7 岸壁近傍で倒壊した RC 造の建物
(2011年3月16日撮影)

写真-5.3.4.8~10は、女川病院の③から見た被災後の様子を示す。写真-5.3.4.8には、鉄骨造の建物が杭から引き抜かれて倒れており、写真-5.3.4.10の鉄筋コンクリートの建物は、写真-5.3.4.9の建物の隣から80m程度流されていた。



写真-5.3.4.8 女川病院から見た被害の様子③(1)
(2011年4月9日撮影)



写真-5.3.4.9 女川病院から見た被害の様子③(2)
(2011年4月9日撮影)



写真-5.3.4.10 女川病院から見た被害の様子③(3)
(2011年4月9日撮影)

最後に、図-5.3.4.3は、3階以上とみられる建物のうち、流された建物と残っていた建物を示している。残った建物には、○をし、流された建物は、→で示している。

確認できなかったものも含めて、25個ぐらいの建物があるうち、4個は確実に流されていたということで、20%程度の3階建て以上の建物が流されていたことになる。

1階の高さは、3mから4mであることから、流された建物は、10mから12m程度であることから、建物より若干高い津波が来たことになる。

残った建物と流れた建物との違いを今後詳細に調べる必要がある。

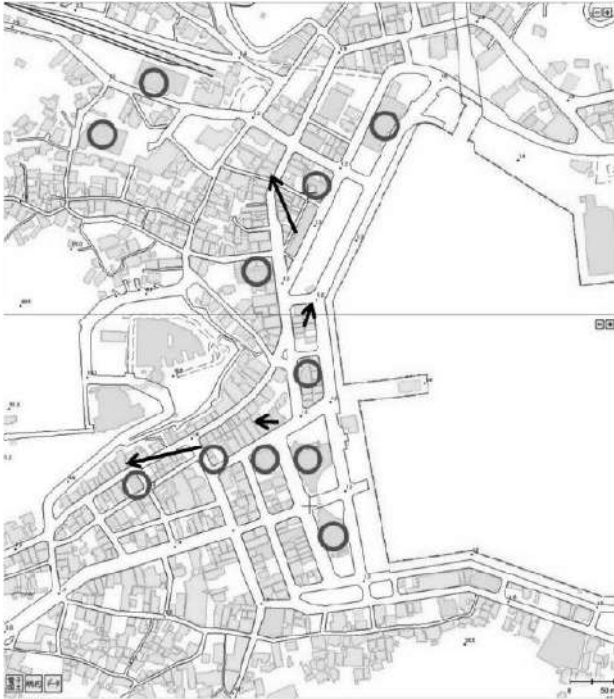


図-5.3.4.3 女川漁港背後の建物の状況

5.3.5 石巻港及びその周辺

(1) 概要 (宮城県石巻港湾事務所ホームページ, 国土交通省東北地方整備局塩釜港湾・空港整備局ホームページ参照)

伊寺水門 (いしみなど) と称される小さな港町に位置していた石巻港は、伊達藩により河道の開削が行われ、北上川を利用した水運の便が開けて以来、仙台～江戸の米穀の貿易港として繁栄した。

1960年、河口西方約3kmの釜地区で工業港の建設が着手され、1964年には新産業都市仙台湾地区の指定及び重要港湾の指定を受け、宮城県北部の拠点港として整備が進められてきた。さらに1977年、大曲地区が港湾区域に編入され、岸壁等の整備が実施された。

1981年には沖合理立地 (雲雀野地区) 造成の港湾計画が策定され、1999年に雲雀野中央ふ頭1号岸壁 (水深13m) 及び背後の荷捌地、野積場の供用が、また、2005年には雲雀野中央ふ頭2号岸壁 (水深13m) 及び背後の荷捌地、野積場の供用が開始された。現在、主要な係留施設は、公共ふ頭が29バース (水深4.5m～水深13m)、専用ふ頭が15バース (水深4.5m～水深6m) となっている。また、長さ1800mの雲雀野防波堤の先端には、長さ600mの西防波堤が整備されるとともに、その沖では、長さ1500mの南防波堤が整備されている。

港湾背後地には、木材関連、食品飼肥料、鉄鋼造船等多数の企業が立地しており、1967年に第一船が入港して

から取扱貨物量は順調に推移している。

津波の浸水高さは港内で約5mであり、岸壁背後の倉庫や鉄筋コンクリートの建物は流出はしていないものの、シャッターなど大きな損傷を受けていた。また、港周辺では、多くの木造家屋や車両が流出していた。

(2) 津波の痕跡高さ

各地点における津波の痕跡高さは表-5.3.5.1の通りである。

表-5.3.5.1 津波の痕跡高さ (石巻港)

	中央埠頭	大手埠頭	合同庁舎前面	合同庁舎背面東側	合同庁舎背面西側
浸水高	5.0m	4.1m	4.6m	4.2m	3.3m
浸水深	2.9m	2.6m	2.3m	2.5m	1.2m



図-5.3.5.1 調査地点 (石巻港)

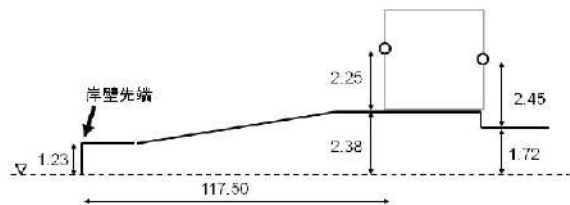


図-5.3.5.2 調査地点の縦断面 (石巻港 合同庁舎) と痕跡高 (単位: m)

(3) 被害状況

人的被害及び建物被害

宮城県の発表 (4月27日) によると、地震による被害も含めて、石巻市全体の人的被害は、死者2,851名、行方不明者2,770名である。建物被害は、全壊28,000棟である。

各地区の被害

目視では防波堤の大きな損傷は見られなかった。

港内の倉庫や鉄筋コンクリートの事務所などは残っているものの（写真-5.3.5.1, 5.3.5.2），倉庫のシャッター等は大きな損傷を受けるとともに，事務所の1階部は窓ガラスが破れ，物が泥にまみれて散乱していた。

港外では鉄筋コンクリートの建物は残っているものの，木造建物が数百メートル程度内陸までほとんど倒壊していた（写真-5.3.5.3）。また，倒壊したあるいは残った建物の一部は火災によって焼けこげていた（写真-5.3.3.3）。

石巻港の港外北側では，がれきのため海岸には到達できなかったため浸水高は測定できなかったが，遠方高台からの目視では，離岸堤群の内の2基は少なくとも大きく被災しているようには見えなかった（写真-5.3.5.4）。



写真-5.3.5.3 日本製紙敷地の高台から海岸にかけての様子（2011年3月16日撮影）



写真-5.3.5.1 大手埠頭西側の様子（2011年3月16日撮影）



写真-5.3.5.4 離岸堤（2011年3月16日撮影）



写真-5.3.5.2 大手埠頭背後の合同庁舎（2011年3月16日撮影）

5.3.6 仙台塩釜港（塩釜港区）

(1) 概要（国土交通省東北地方整備局塩釜港湾・空港整備局ホームページ，宮城県仙台塩釜港湾事務所ホームページ参照）

塩釜港区は，奈良時代にその歴史が始まると伝えられ，藩政時代には伊達政宗公により港の整備が進められた。1882年には修築工事が開始され，1934年の開港指定等を経て，今日の港の基礎が形成され港勢も急速に発展した。その後，1951年に重要港湾に指定され，1969年までに，主として貞山ふ頭の整備が進んだ。現在では，地域の物流拠点としての役割を果たすとともに，日本三景の一つ「松島」の観光船基地として，また，国際海洋リゾート・レクリエーション拠点として重要な役割を果たしている。また，放置艇対策整備や，豊かなウォーターフロントの形成と内貫機能の強化を図るため港奥部再開発事業が進められ，その先導的施設として観光船用浮桟橋（西ふ頭，1989年完成）と旅客ターミナル「マリングート塩釜」がオープンしている。

(2) 津波の痕跡高さ

調査地点における津波の痕跡高さは 4.1m（浸水深 2.5m）であった。

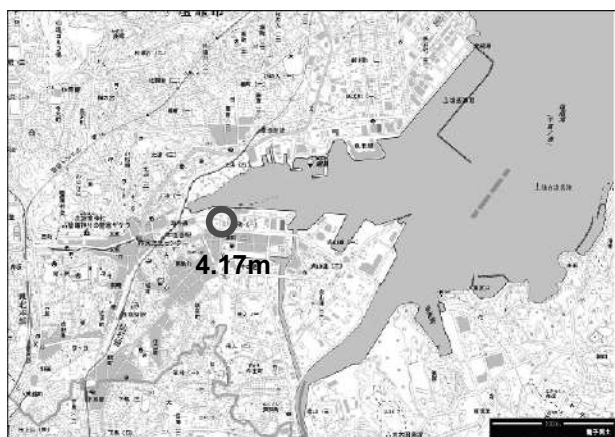


図-5.3.6.1 調査地点（仙台塩釜港（塩釜港区））

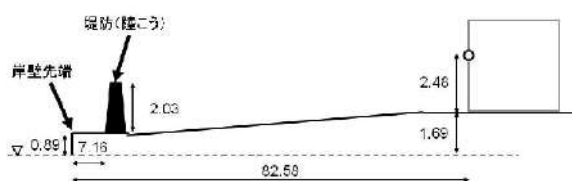


図-5.3.6.2 調査地点の縦断面
（仙台塩釜港（塩釜港区））と痕跡高（単位：m）

(3) 被害状況

宮城県の発表（4月27日）によると、地震による被害も含めて、塩釜市全体の人的被害は、死者21名、行方不明者1名である。建物被害は、全壊358棟、半壊1,390棟、一部損壊325棟である。

調査地点周辺の建物に大きな損傷は見られなかったものの、船舶やトラック、車などが多数漂流していた。



写真-5.3.6.1 西埠頭観光栈橋周辺の様子
（2011年3月17日撮影）

5.3.7 仙台塩釜港（仙台港区）

(1) 概要（国土交通省東北地方整備局塩釜港湾・空港整備事務所，ホームページ宮城県仙台塩釜港湾事務所ホームページ参照）

仙台塩釜港（仙台港区）は、東北唯一の政令指定都市「仙台市」にあり中心部から直線で約10kmの近距離に位置しており、1964年に仙台湾地区が、新産業都市の指定を受けたのに伴い、工業開発の拠点として港湾計画に位置付けられた掘込式港湾である。その後、流通港湾としての必要性が高まったため、商港機能を加え東北地方における流通拠点港湾として建設が進められ、1971年に開港した。

1995年からは、本格的な外貿コンテナふ頭である水深12mの高砂1号岸壁がガントリークレーンとともに供用開始されるとともに、1996年には岸壁背後にコンテナターミナル6.6haが完成した。さらに、2001年には、高砂1号岸壁に隣接して水深14mの高砂2号耐震岸壁と、その背後のコンテナターミナルが供用開始された。平成2001年には、「特定重要港湾」の指定を受け、東北地方の広域物流拠点として重要な役割を果たしてきている。

仙台港区においては、長さ約1800mの南防波堤が整備されているとともに、その沖には長さ1300mの沖防波堤が整備されている。

津波の浸水高さは港内で約7～8mであり、浸水深は4～5mであった。このような津波を受け、一般車両やタンクローリー、トラックなどが流出するとともに、倉庫や工場は、津波に加え、流出したトラックなどが衝突することにより大きな被害を受けていた。さらに、岸壁背後のコンテナが大きく散乱していた。

(2) 津波の痕跡高さ

各地点における津波の痕跡高さは表-5.3.7.1 の通りである。

表-5.3.7.1 津波の痕跡高さ（仙台塩釜港（仙台港区））

港内側

	高松埠頭	中野埠頭奥	中央公園	高砂埠頭脇
浸水高	8.0m	7.3m		7.3m
浸水深	4.7m	4.2m		3.7m
遡上高			9.9m	

港外側（蒲生干潟側）

	砂丘	体育館	避難所
浸水高		14.5m	9.0m
浸水深		8.2m	4.1m
遡上高	9.2m		



図-5.3.7.1 調査地点（仙台塩釜港（仙台港区））

仙台新港 高松埠頭

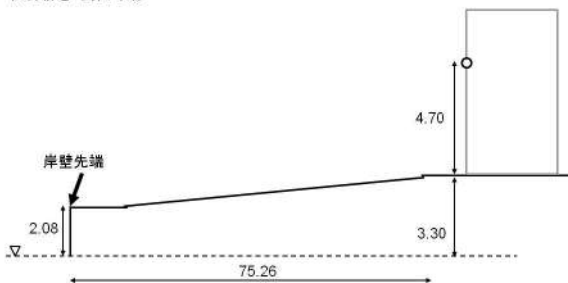


図-5.3.7.2 調査地点の縦断面

（仙台塩釜港（仙台港区）高松埠頭）と痕跡高
（単位：m）

(3) 被害状況

人的被害及び建物被害

宮城県の発表（4月27日）によると、地震による被害も含めて、仙台市全体の人的被害は、死者622名、行方不明者210名である。建物被害は、全壊3,190棟である。

地区の被害

目視では防波堤の大きな損傷は見られなかった。

港内の倉庫は残っているものの、倉庫のシャッター等は大きな損傷を受けていた（写真-5.3.7.1）。また、タンクローリーやトラックなどの車が多数漂流し、建物等に損傷を与えているようであった（写真-5.3.7.2）。コンテナは岸壁上で大きく散乱するとともに（写真-5.3.7.3）、一部は港外に流出し、海岸に打ち上げられている。

港外に面した建物では、1階だけでなく2階の窓ガラスも割れ、2階部にも津波が浸入していた（写真-5.3.7.4）。

蒲生干潟前面の砂浜が消失し、蒲生干潟が海とつながっていた（写真-5.3.7.5）。



写真-5.3.7.1 中野埠頭の倉庫（2011年3月17日撮影）



写真-5.3.7.2 雷神埠頭背後の建物
（2011年3月17日撮影）



写真-5.3.7.3 高砂埠頭におけるコンテナ散乱の様子 (2011年3月17日撮影)



写真-5.3.7.4 高砂埠頭背後の体育館 (2011年3月17日撮影)



写真-5.3.7.5 蒲生干潟前面の海浜 (2011年3月17日撮影)

5.3.8 仙台空港及びその周辺

(1) 概要 (国土交通省東北地方整備局塩釜港湾・空港整備事務所ホームページ参照)

仙台空港は、1940年に旧陸軍の飛行学校として建設されて以来、戦後の米軍による接收、返還、防衛庁と運輸省との共同使用等の変遷を経て、1964年に第二種空港に指定された。B滑走路は、1972年に2000mで供用開始され、その後、1992年には2500mに、2008年には3000mに延長された。また、アクセス鉄道「仙台空港線」(JR名取駅～仙台空港駅間 約7km, 仙台駅から直通で約17分)が2007年に開業した。

仙台空港の位置は海岸より約1km内陸であり、空港前面の海岸には砂浜の岸側に高さ約6mの護岸が整備されており、その背後には高さ約10mの砂丘及び幅150mほどの松林が位置している。

津波は、砂浜を遡上し、護岸を乗り越え、松をなぎ倒し、さらに砂丘をも乗り越えて内陸に浸入し、家屋や車両を流出させながら住宅地、農地を進行し、空港に達した。津波は、さらに、空港よりも内陸に浸入し、最終的には、海岸より約5.5km内陸の仙台東部道路にまで達した。

(2) 津波の痕跡高さ

各地点における津波の痕跡高さは表-5.3.6.1の通りである。なお、仙台空港前面海岸では、海側から、砂浜、護岸(高さ約6m)、松林(幅約150m)、砂丘(高さ約10m)が位置しており、痕跡高さは砂丘背後の家屋(護岸より約200m陸側)で計測した。また、関上漁港南側海岸(名取川右岸側)では、海側から、砂浜、人工砂丘(高さ約8m, 幅約20m, 沿岸方向長さ約150m)、松林(幅約50m)が位置しており、痕跡高さは松林背後のサイクルスポーツセンターで計測した。さらに、荒浜海岸(深沼海水浴場)では、海側より離岸堤、砂浜、護岸(高さ約5m)、松林(幅約30m)、砂丘(高さ約5m)が位置しており、痕跡高さは砂丘上の松(護岸より約80m陸側)に付着した漂流物の高さを基に計測した。

表-5.3.8.1 津波の痕跡高さ(仙台空港およびその周辺)

	仙台空港	仙台空港前面海岸	関上漁港南側海岸	荒浜海岸
浸水高	5.7m	12.3m	6.8m	9.8m
浸水深	3.5m			



図-5.3.8.1 調査地点（仙台空港およびその周辺）

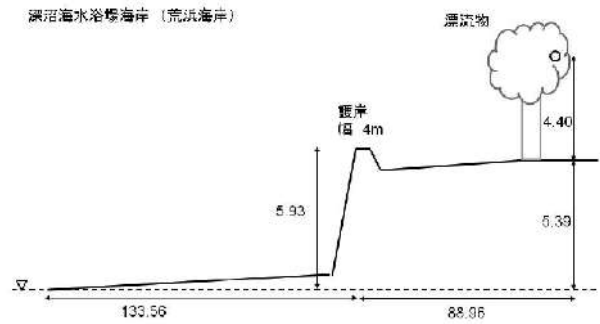


図-5.3.8.4 調査地点の縦断面（荒浜海岸）と痕跡高（単位：m）

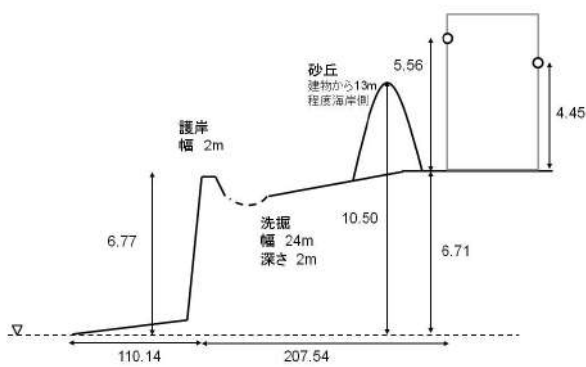


図-5.3.8.2 調査地点の縦断面（仙台空港前面海岸）と痕跡高（単位：m）

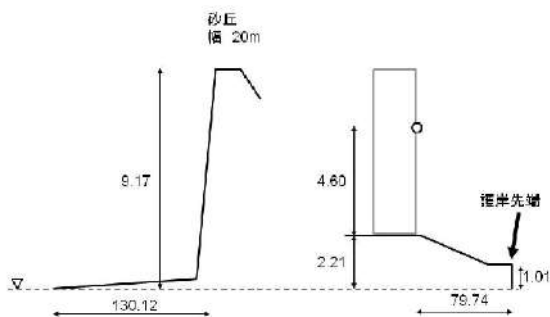


図-5.3.8.3 調査地点の縦断面（閉上漁港南側海岸）と痕跡高（単位：m）

(3) 被害状況

仙台空港

ターミナルの1階部では物が泥をかぶって散乱していた（写真-5.3.8.1）。



写真-5.3.8.1 ターミナル内部の様子（2011年3月18日撮影）



写真-5.3.8.2 ターミナル外部の様子（2011年3月18日撮影）

仙台空港前面海岸

護岸背後で大規模な洗掘（深さ約 2m，岸沖方向幅約 25m）が生じており，それにより，護岸が壊れていた（写真-5.3.8.3，5.3.8.4）．また，松林の多くが陸側に倒壊していた（写真-5.3.8.5，5.3.8.6）．

砂浜は，護岸前面まで一様勾配斜面となっていた（写真-5.3.8.7）．通常の砂浜は，汀線から風波の遡上地点までは一様勾配斜面であり，それより陸側はしばらく水平となっていることが多い．護岸を越える津波の通過によって，そのような地形がならされて一様勾配斜面になったと考えられる．ただし，津波前の地形は不明であるものの，護岸前面での土砂移動量や護岸を越えての土砂移動量は小さいと考えられる．



写真-5.3.8.5 砂浜背後の松林と砂丘および洗掘孔（図中右）（2011年3月18日撮影）



写真-5.3.8.3 護岸とその背後の洗掘（北側）（2011年3月18日撮影）



写真-5.3.8.6 砂浜背後の松林（左側が岸側）（2011年3月18日撮影）



写真-5.3.8.4 護岸とその背後の洗掘（南側）（2011年3月18日撮影）



写真-5.3.8.7 護岸前面の砂浜（2011年3月18日撮影）

閑上漁港南側海岸（名取川右岸側）

人工砂丘（高さ約9m，幅約10m，沿岸方向長さ約40m，**写真-5.3.8.8**）背後では，人工砂丘上を津波が通過した痕跡はあるものの，津波の勢いは小さく，松が倒れずに残っていた（**写真-5.3.8.9**）。



写真-5.3.8.8 人工砂丘（2011年3月18日撮影）



写真-5.3.8.9 人工砂丘背後の松林の様子。
図中左の砂丘背後の松は倒れずに残っているものの，図中右の砂丘のない領域では松が陸側に倒れている。
(2011年3月18日撮影)

深沼海水浴場海岸（荒浜海岸）

離岸堤のブロックは飛散しておらず，安定している様子であった（**写真-5.3.8.10**）。

護岸背後では，洗掘がほとんど生じていなかった（**写真-5.3.8.11**）。護岸天端と背後砂面との高低差が，前述の仙台空港前面海岸より小さかったことが，洗掘が小さい原因のひとつであると考えられる。なお，本海岸では，砂丘の高さは護岸とほぼ同程度であった（**写真-5.3.8.12**）。



写真-5.3.8.10 離岸堤（2011年3月18日撮影）



写真-5.3.8.11 護岸（2011年3月18日撮影）



写真-5.3.8.12 護岸背後の砂丘と松林
(2011年3月18日撮影)

参考文献

- 宮城県石巻港湾事務所ホームページ：
<http://www.pref.miyagi.jp/is-kouwan/>
宮城県東部地方振興事務所事務所ホームページ：
<http://www.pref.miyagi.jp/et-sgsin/>
国土交通省東北地方整備局
塩釜港湾・空港整備事務所ホームページ：
<http://www.pa.thr.mlit.go.jp/shiogama/index.html>
宮城県仙台塩釜港湾事務所ホームページ：
<http://www.pref.miyagi.jp/sdsgkown/>

5.4 福島県の調査結果

5.4.1 相馬港及びその周辺

(1) 相馬港の概要

相馬港は、江戸時代には米や塩の積出港として栄え、明治以降は金華山沿岸の漁場をひかえた漁港として利用されてきた。1960年に地方港湾の指定を受けてから本格的な整備が始まり、1970年に供用開始され、1974年に重要港湾に指定された。1981年には全国初のエネルギー港湾としての指定を受けて、相馬共同火力発電株式会社の1号および2号発電所の建設など相馬地域総合開発事業とあわせた整備が始まった。発電所は石炭火力発電であり100万キロワットの出力である。さらに、背後に広がる経済圏への物資流通の拠点港湾として商港的機能に重点が置かれている。

取扱貨物は、2009年度では石炭輸入が最も多く450万トンを超え、輸入貨物の99%以上を占めている。一方、主要な輸出・移出は非金属鉱物であり、306万トンを超え全体の約60%である。

東北地方太平洋沖地震による津波は相馬港にも来襲し、浸水被害のほか沖防波堤のケーソンの水没や移動、物揚場の沈下などの被害を及ぼした。しかし、3月19日には、緊急物資輸送のため、一部復旧(2号埠頭4号岸壁:-12m)した。

(2) 津波とその痕跡高

相馬港およびその周辺において測量した津波痕跡高を図-5.4.1.1に示す。相馬港内では、防波堤内側にある第1埠頭および第2埠頭において津波の浸水高を測量した。

第1埠頭では、図-5.4.1.2の写真に示す岸壁から約50m離れた所にある石炭サイロの建屋(鉄筋コンクリート造)の屋上手すりに絡みついた断熱材を対象とした。その浸水高は10.36m(浸水深7.55m)であった。断熱材は屋上の床面にも散乱していた。この断熱材は、建屋の前面で大きく被災した1階建の建物に断熱材が使われていたことから、そこから流出したものと考えられる。

第2埠頭では県営第2上屋の内壁において、地面から6.77mの高さに引っかかった衣服を測量し、浸水高10.09m(浸水深6.77m)を得た(図-5.4.1.3)。上屋の四周の壁全てがほぼ同じ高さまで破損し、地面からその高さにまでの間に漁具などの漂流物が絡みついていた。

相馬港に隣接する松川漁港区内にある原釜尾浜海水浴場の奥で遡上高11.80mを測量した。ここでは、平面的に凹状になった奥に自動車や民家からの様々な物が打ち上がった(図-5.4.1.4)。原釜尾浜海水浴場は、相馬港の沖防波堤と松川漁港の防波堤の開口部から北北東横行

に沖合が見通せる位置にあり、開口幅は約800mである。

さらに港外の津波痕跡として、相馬港の北にある釣師漁港の奥にある安波神社の参道脇にあった漂流物(図-5.4.1.4)を測量した。参道は人が通行できるように片づけられていたが、参道脇には漂流物が残っていた。その遡上高は15.92mであった。

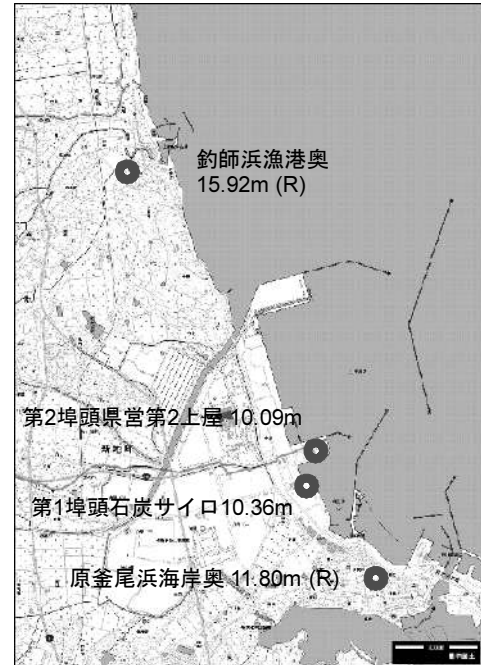


図-5.4.1.1 相馬港およびその周辺の津波痕跡高

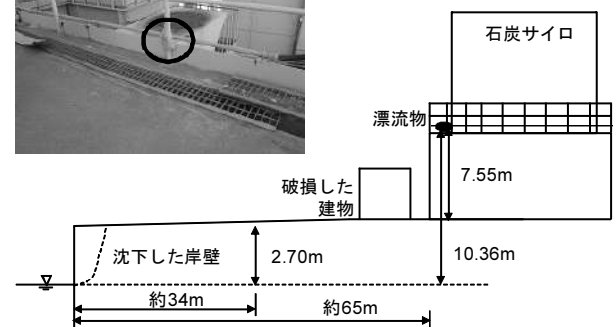
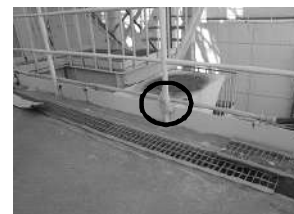


図-5.4.1.2 第1埠頭石炭サイロにおける津波痕跡(上写真:石炭サイロの全景,下写真:手すりに絡みついた断熱材)

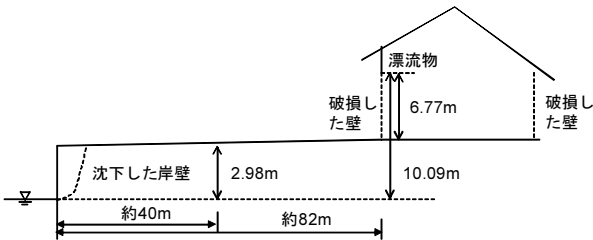
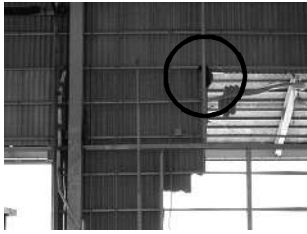


図-5.4.1.3 第2埠頭県営2号上屋における津波痕跡
(上写真: 上屋の被災状況, 下写真: 内壁に残った衣類)

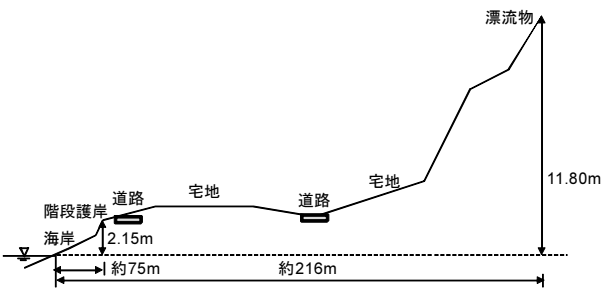


図-5.4.1.4 原釜尾浜海水浴場奥の津波痕跡

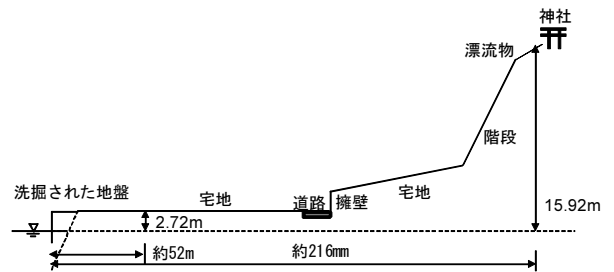


図-5.4.1.5 釣師浜漁港奥の津波痕跡

(3) 被害状況

人的および建物被害

相馬港は相馬市と相馬郡新地町にまたがる港湾であるので、相馬市と新地町の被害を以下に示す。福島県の発表(4月27日)によると、地震による被害も含めて、相馬市では死者404人、行方不明者69人、重傷者71人である。新地町では死者92人、行方不明者24人、軽傷者3人である。建物被害は、相馬市では全壊住家4棟(詳細調査中)、公共建物被害2棟であり、新地町では全壊住家501棟である。

浸水被害

相馬港内では第1埠頭および第2埠頭では浸水深が6~7mとなった。痕跡を調べた岸壁のすぐ背後の建物だけでなく、第1埠頭の石炭サイロからさらに約150m内陸にある上屋でも図-5.4.1.6に示すように四周の壁が同じ高さまで抜けていた。さらに、図-5.4.1.7に示すように、松川漁港背後では、鉄筋コンクリート造の建物は、全壊には至らなかったが、浸水した部分は大きく破損していた。

浸水に伴って漂流物も発生した。船舶は第1埠頭上に打ち上がり(図-5.4.1.8)、コンテナは県営2号上屋に突っ込んでいた(図-5.4.1.9)。

一方、港外では多くの木造家屋が全壊するなど大きな被害が発生していた。図-5.4.1.10は、遡上高11.80mに達する津波が来襲した原釜尾浜海水浴場の背後にある居住地区の被災状況である。平地にある全ての木造の民家

は流失していた。

釣師浜漁港の奥においても居住地区が全滅していた。

図-5.4.1.11 は、遡上限界から海側を見て写した写真である。写真の中央部に写る黄色の3階建ての鉄筋コンクリート造の住家など数棟が残っているだけであった。住民の許可を得て黄色の住家を調べた所、3階屋上にも砂が残っており、屋上に出るための階段室の窓も割れていた。津波の打上げによる影響と思われるが、屋上近くまで浸水があったと想定される。

さらに、釣師浜漁港の奥の丘陵地付近では、地盤の高さにより家屋の被災程度が明瞭に異なっていた。図-5.4.1.12 の上写真では家屋の1階の屋根付近の高さまで津波が来ており、1階部分は大きく被災し、さらにすぐ脇に漁船も打ち上がっている。下写真に写る家屋は上写真の家屋の左側に位置する家屋であるが、地盤が高いため大きく浸水しているようには見えない。

防波堤や物揚場の被害

相馬港の沖防波堤は、総延長 2,730m のうち北側の堤頭部から4函を除いてすべてのケーソンが滑動し、港内側に傾斜またはマウンドから転落して水没していた(図-5.4.1.14)。また、防波堤前面の消波ブロックも移動し、ほとんどが水面下に没した状態となっていた。一方、沖防波堤よりも港内側にある北防波堤および南防波堤はほとんど被災していない。これは、沖防波堤による津波低減効果があったためと推察される。また、沖防波堤背後の航路や泊地などにおいて、津波による大規模な洗掘が生じていた。

図-5.4.1.15 は、相馬港の第1埠頭における物揚場の沈下の状況を示したものである。この物揚場は、控え矢板式であり、地震によってある程度の被害が生じていた可能性があるが、その後の津波によって洗掘を受けた可能性も否定できない。



図-5.4.1.6 第1埠頭奥の上屋の被災状況



図-5.4.1.7 浸水部分が損壊した鉄筋コンクリート造の建物



図-5.4.1.8 打ち上がった漁船



図-5.4.1.9 コンテナの衝突



図-5.4.1.10 原釜尾浜海岸奥の被災状況



図-5.4.1.11 釣師浜漁港奥の被災状況（その1）



図-5.4.1.12 釣師浜漁港奥の被災状況（その2）



図-5.4.1.13 沖防波堤の被災状況

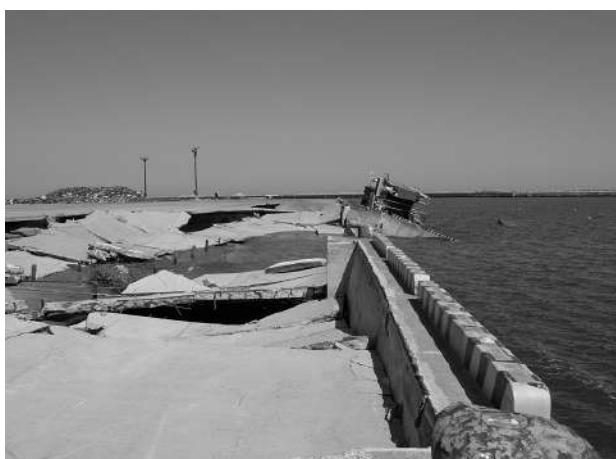


図-5.4.1.14 物揚場の沈下
(上写真：第1埠頭，下写真：第2埠頭)

5.4.2 小名浜港及びその周辺

(1) 小名浜港の概要

小名浜港は、福島県南部に位置し、江戸時代には米の積出港として基礎が築かれた。戦後の重化学工業を中心とした臨海工業地帯の産業基盤となる物流拠点港湾として整備が進み、1951年には重要港湾に指定された。東北南部の物流拠点としての機能を高めるため、コンテナの集約と輸送のための外貿コンテナターミナルが1998年に整備された。現在、韓国・中国航路と韓国航路が就航しているほか、東京港・横浜港との内航フィーダーが行われている。

東北地方太平洋沖地震による津波は小名浜港にも来襲し、浸水被害や船舶の打ち上げなどの被害を及ぼした。しかし、3月16日には緊急物資輸送や災害救助のために一部復旧がなされた。その後復旧岸壁も増え、3月29日にはガソリタンカー（約2000キロリットル積載）が入港した。

(2) 津波とその痕跡高

小名浜港およびその周辺において測量した津波痕跡高を図-5.4.2.1に示す。小名浜港では、被災直後に小名浜港湾事務所の職員によりほぼ港全域にわたり浸水調査が実施されたが、地盤からの高さ（すなわち浸水深）の調査であったので、今回の調査では港内で浸水深が高い所と防波堤背後地域を代表的に測量した。具体的には、浸水深の深い漁港区、防波堤背後の第4埠頭および第7埠頭である。

漁港区では、図-5.4.2.2の写真に示す岸壁から約35m離れた漁協施設のガラスの水跡を対象とした。ただし、被災直後に小名浜港湾事務所の職員が調査した際には明瞭な水跡が地盤上2.90m（浸水深）に残っていたが、4月7日に調査した時には確認できず、それよりも51cm下（浸水深2.39m）に水跡があった。事務所職員によって確認された痕跡の浸水高は5.42mであった。

第4埠頭では、埠頭の先端部にある小名浜ポンプ場（図-5.4.2.3）の建物の内壁の水跡を対象に測量を行った。その浸水高は4.28m（浸水深1.60m）であった。建物の外壁にも水跡があり、その高さも内壁の水跡と同じ高さであった。

第7埠頭では、電源ボックスの中に水跡があり、それを測量した（図-5.4.2.4）。その浸水高は3.70m（浸水深1.29m）であった。ボックスの中の水跡のため、ボックスの外側では浸水高はこれよりも高い可能性がある。

漁港区は小名浜港の最奥に位置しているため、津波の取れんにより津波高が高くなり、第4埠頭や第7埠頭より浸水高が高くなった可能性がある。さらに、漁港区の北側にある岬に伴う水深変化によって屈折が生じて津波エネルギーが集中した可能性もある。

一方、第4埠頭や第7埠頭は沖防波堤や西防波堤第1により防護された地域にあるため、4m程度の浸水高に留まったと考えられる。後述するように小名浜港の北にある兔渡路（とどろ）海岸には8mの浸水高を引き起こす津波が来襲しているので、一定の防波堤の効果があったと推察される。

港外の津波痕跡として、中之作漁港と兔渡路において調査を実施した。ただし、中之作漁港における調査地点は、防波堤の背後地域である。兔渡路は砂浜海岸および防波護岸の背後に平坦な居住地域が広がる場所である。

中之作漁港では、物揚場にある漁協建物（図-5.4.2.5の写真の中央から左にかけて写る建物）の後壁の水跡を対象とした。その浸水高は5.44m（浸水深2.75m）であった。ここで話を聞いた2名の住民に話をまとめると、痕跡を測量した建物背後の一段高い道路に面した家屋

(図-5.4.2.5の右端に写る家屋)も腰高程度まで浸水したようである。しかし、浸水深は1m未満であるため、損壊などの大きな被害は発生していない。さらに住民の話によると、1波目から3波目までの中では2波目が最も大きく、津波により漁港の防波堤の先端にあった赤灯台が倒れ、津波は防波堤を乗り越えたとのことである。第3波目は図-5.4.2.5の1段高い道路にあるガードレール(図-5.4.2.6)まで浸水した。

豊間地区兔渡路では、防波護岸背後にある民家の階段室および2階の床上的水跡、さらにその背後にある(独)国立病院機構いわき病院の入口の中扉のガラスの水跡を対象に測量した。それぞれの浸水深は8.08m(浸水深3.72m)および8.10m(0.52m)であった。

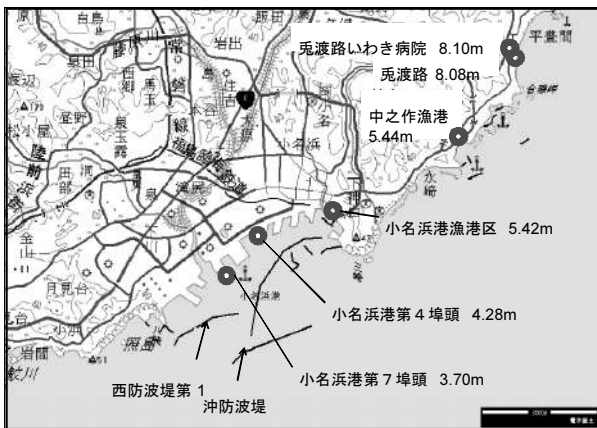


図-5.4.2.1 小名浜港およびその周辺の津波痕跡高

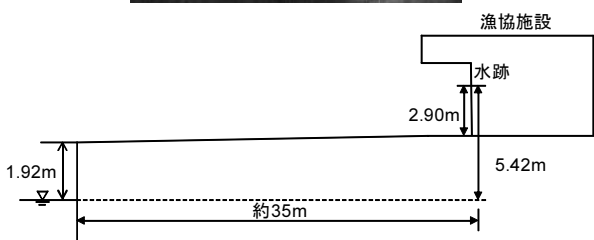


図-5.4.2.2 小名浜港漁港区における津波痕跡

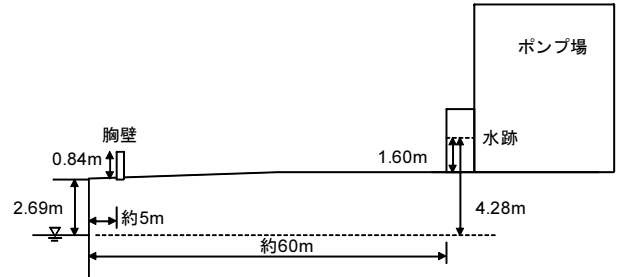


図-5.4.2.3 小名浜港第4埠頭における津波痕跡(左写真:全景,右写真:チャ新中央の1階建の建物内の水跡を対象)

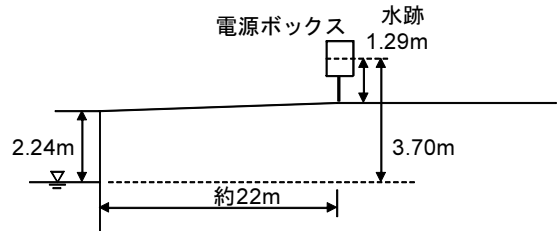


図-5.4.2.4 小名浜港第7埠頭における津波痕跡(左写真:○印が対象の電源ボックス,右写真:ボックス内の水跡)

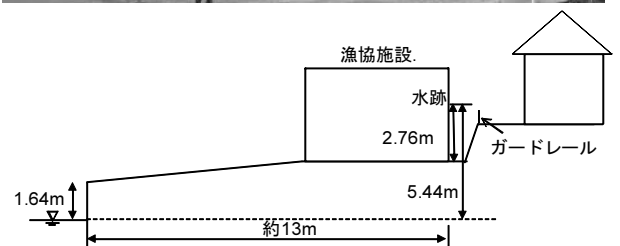


図-5.4.2.5 中之作漁港における津波痕跡



図-5.4.2.6 中之作漁港における第3波目による浸水
(上写真：吉田忠正氏提供，下写真：上写真に写るガードレールと浸水した建物)

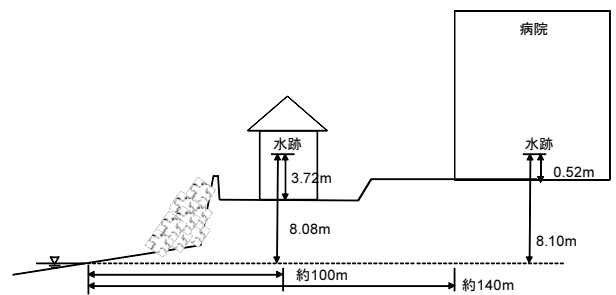


図-5.4.2.7 豊岡地区兎渡路における津波痕跡
(左下写真：右の民家の階段室および2階に水跡，上写真：いわき病院入口の中扉の水跡)

(2) 被害状況

人的被害

福島県の発表（4月27日）によると，地震による被害も含めて，いわき市全体で死者 299 名，行方不明者 82 名（詳細調査中），重軽傷者 3 名，軽傷者 1 名である。

浸水被害

小名浜港の漁港区，第4埠頭および第7埠頭では，浸水深が3～5mであったので，鉄筋コンクリート造の建物にはほとんど損傷は認められなかった。一方，漁港区の背後にある居住地域に大きな浸水被害が発生しており，小名浜港湾事務所周辺の道路には浸水家屋から出てきた水に浸かって使えなくなった家財などが山積みになっていた。

中之作漁港においては，痕跡調査を行った場所は被害が軽微であった場所である。防波堤による侵入津波の低減に加えて，地盤高が周辺に比べて高かったことが被害軽減の主な要因と考えられる。

一方，豊間地区兎渡路では居住地域の被害は壊滅的であった。特に平地にあった木造家屋のほとんどが全壊であった（図-5.4.2.8）。一方，防波護岸のすぐ背後であっても全壊を免れた木造家屋も多数あった（図-5.4.2.9）。

ただし、浸水は2階にまで達している。流失しなかった家屋の前面では防波護岸のバラペットが残っている場合が多く、逆にバラペットが陸側に飛ばされている箇所では家屋が流失するといった大きな被害が生じている傾向にあった。これらの被害の大きかったところでは、水深変化に伴った津波の局所的な集中が発生した可能性がある。

船舶被害

小名浜港内の防波堤の背後であっても浸水深が1.5mを超えたので、漁船や作業台船が陸上に打ち上がった。

(図-5.4.2.10)は漁港区において埠頭上に打ち上がった漁船である。

防波堤被害

沖防波堤、西防波堤(第一)および西防波堤(第二)には、津波による被災はほとんど見られなかった。

洗掘

1号埠頭先端の両角部の海底において、津波による5m程度の局所的な洗掘が生じていた。また、港内の泊地においても、場所によっては最大で8m程度の洗掘が見られた。



図-5.4.2.8 兎渡路の被害状況



図-5.4.2.9 兎渡路における防波護岸と背後の被災状況



図-5.4.2.10 小名浜港漁港区に打ち上がった漁船

5.5 茨城県の調査結果

5.5.1 茨城県の被害の概要

茨城県においては、浸水高さが3~7mであった。そのため、木造家屋が流出するような大規模な被害は生じていなかったけれども、建物の1階に津波が浸入することにより、窓ガラスが割れたり、大量の泥が建物内に流入するなどの被害が生じたほか、倉庫などではシャッターが壊れる、コンテナが流出するなどの被害が生じた。

5.5.2 茨城港（日立港区）及びその周辺

(1) 茨城港（日立港区）の概要

図-5.5.2.1に示すように、茨城港(日立港区)は茨城県の北東部に位置し、港区内の4つの埠頭用地は、東防波堤(長さ約2000m)と南防波堤(長さ約800m)によって囲まれている。また、東海村海岸は日立港区の南側に位置し、久慈川河口から南に約600mの砂浜を有する。



図-5.5.2.1 茨城港(日立港区)及びその周辺の調査地点

(2) 津波とその痕跡高

各地点における津波の痕跡高さは表-5.5.2.1の通りである。

表-5.5.2.1 津波の痕跡高さ(茨城港(日立港区)及びその周辺)

	第二埠頭地区 (日立埠頭県営3号上屋)	第四埠頭地区 (日立コンテナ埠頭)	東海村豊岡海岸 (港外)
浸水高	4.52m	4.55m	5.55m
浸水深	1.12m	1.57m	0.10m

第二埠頭地区では、写真-5.5.2.1に示すように日立埠頭県営3号上屋付近の電話ボックス内に津波の泥水痕跡が残っており、津波の浸水高は4.52m(浸水深1.12m)であった(図-5.5.2.2)。

第四埠頭地区の日立埠頭株式会社コンテナターミナル事務所では、津波が建物の1階部分まで来襲し、周囲のフェンスが倒壊している(写真-5.5.2.2)。図-5.5.2.3に調査測線の断面図を示す。この事務所の津波の浸水高は4.55m(浸水深1.57m)であり、第二埠頭地区の浸水高と同じ高さであった。

日立港区外の東海村豊岡海岸では、津波は高さ0.56mの堤防を乗り越え、その奥の公衆トイレまで遡上していた。この公衆トイレに津波による泥水痕跡があり(写真-5.5.2.3)、津波浸水深は0.10m、浸水高は5.55mであった(図-5.5.2.4)。港区内の浸水高と比較して港区外での浸水高は1m程度高く、防波堤等の影響により津波の来襲状況が異なっていたと考えられる。



写真-5.5.2.1 日立埠頭県営3号上屋付近(電話ボックス)

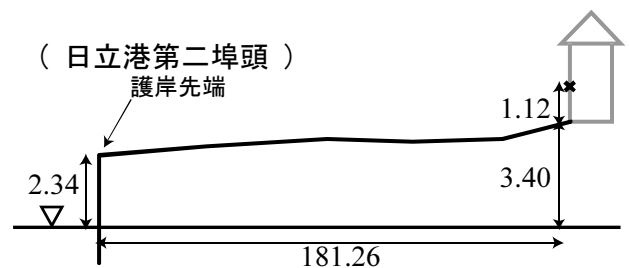


図-5.5.2.2 第二埠頭地区の縦断面図と痕跡高(単位:m)



写真-5.5.2.2 日立埠頭コンテナターミナル事務所

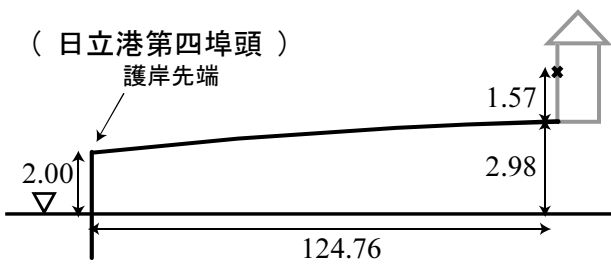


図-5.5.2.3 第四埠頭地区の縦断面図と痕跡高
(単位：m)

茨城港（日立港区）の防波堤には、目視では津波による大きな損傷は見られなかった。しかしながら、エプロン、荷揚げ場では舗装のひびわれや段差が多数発生するとともに、埠頭の南先端の岸壁は倒壊していた（写真-5.5.2.4）。岸壁倒壊の主原因は地震と考えられるものの、津波の引き波による土砂の吸い出しも倒壊に影響を与えている可能性がある。また、第二埠頭地区南側の護岸に設置されているフェンスは津波の引き波により港外側になぎ倒されていた（写真-5.5.2.5）。



写真-5.5.2.4 日立港区第二埠頭地区(岸壁)



写真-5.5.2.3 東海村海岸の公衆トイレ



写真-5.5.2.5 日立港区第二埠頭地区(護岸フェンス)

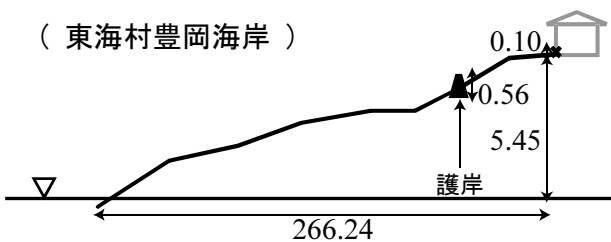


図-5.5.2.4 東海村豊岡海岸の縦断面図と痕跡高
(単位：m)

港内の施設

第二埠頭地区の県営上屋では、津波の来襲によりシャッターが壊れていた（写真-5.5.2.6）。

第四埠頭地区では、建物の1階部分の窓ガラスが割れる、フェンスが倒壊する等の被害があった（写真-5.5.2.7）。ただし、津波発生から3週間後の調査時点では、コンテナの散乱は見られなかった（写真-5.5.2.8）。さらに、埠頭背後の日立物流センター倉庫は、地盤より約1m高い位置にあり、建物の被害は見られなかった（写真-5.5.2.8奥）。

人的被害及び建物被害

(3) 茨城港（日立港区）の被害状況
防波堤や護岸

茨城県の発表によると、地震による被害も含めて、日立市全体の人的被害について、死者は報告されていない（4月13日）。建物被害は、全壊151棟、半壊914棟、一部破損2,366棟、床上浸水223棟、床下浸水41棟（4月27日）である。



写真-5.5.2.6 日立港区第二埠頭地区（県営2号上屋）



写真-5.5.2.7 日立港区第四埠頭地区
日立埠頭コンテナターミナル事務所



写真-5.5.2.8 日立港区 第四埠頭地区

図-5.5.3.1に示すように、茨城港（常陸那珂港区）は茨城県の東部に位置し、その沖には長さ約5000mの沖防波堤が整備されている。また、北埠頭地区の北側には長さ500mの北防波堤が整備されている。また、常陸那珂港区の南側には、北から順に、阿字ヶ浦海岸や磯崎海岸、那珂湊漁港が位置しており、那珂湊漁港は那珂川河口左岸側に位置している。



図-5.5.3.1 茨城港（常陸那珂港区）及び
その周辺の調査地点

(2) 津波とその痕跡高

各地点における津波の痕跡高さは表-5.3.3.1の通りである。なお、阿字ヶ浦海岸と磯崎海岸における遡上高と那珂湊漁港背後の浸水深は住民からの聞き取り結果を基にしている。

5.5.3 茨城港（常陸那珂港区）及びその周辺

(1) 茨城港（常陸那珂港区）の概要

表-5.5.3.1 津波の痕跡高さ
(茨城港(常陸那珂港区)及びその周辺)

	物流サイト	ケーソンヤード	阿字ヶ浦海岸(港外)
浸水高	4.76m	5.13m	
浸水深	1.77m	1.54m	
遡上高			4.09m

	磯崎海岸	那珂湊漁港
浸水高		3.83m
浸水深		1.50m
遡上高	4.97m	

常陸那珂港区の北埠頭地区では、ひたちなかFAZ物流サイトの1階部分まで津波が来襲し、隣接する倉庫(写真-5.5.3.1の左側の建物)も浸水していた。ひたちなかFAZ物流サイトの津波の痕跡高さは4.76m(浸水深1.77m)であった(写真-5.5.3.2および図-5.5.3.2)。また、常陸那珂港区の南側に位置するケーソンヤードでは、津波の痕跡高さは5.13m(浸水深1.54m)であった(写真-5.5.3.3および図-5.5.3.3)。

阿字ヶ浦海岸では、明確な遡上痕跡や泥水痕跡は発見されなかったが、護岸背後の住民の目撃証言によると、写真-5.5.3.4奥の護岸の天端高まで津波は遡上しており、津波遡上高は4.09mであった(図-5.5.3.4)。

磯崎海岸では、護岸背後の住民の目撃証言によると、海岸の高さまで津波は遡上していた。また、海岸道路上には津波の来襲によるものと思われる砂利の散乱が確認できた(写真-5.5.3.5)。この海岸の津波遡上高は4.97mであった(図-5.5.3.5)。

那珂湊漁港背後の家屋では、建物の1階部分まで津波が来襲しており、津波の痕跡高さは3.83m(浸水深1.50m)であった(図-5.5.3.6)。



写真-5.5.3.1 ひたちなかFAZ物流サイト



写真-5.5.3.2 ひたちなかFAZ物流サイトの泥水痕跡

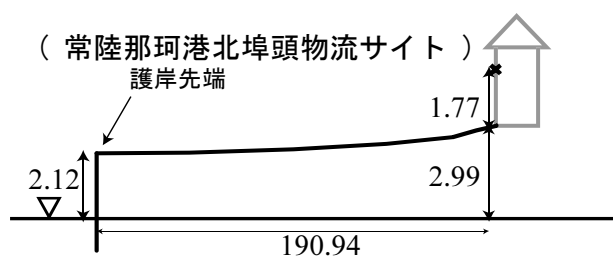


図-5.5.3.2 物流サイトの縦断面図と痕跡高(単位:m)



写真-5.5.3.3 ケーソンヤード(公衆トイレ)の泥水痕跡

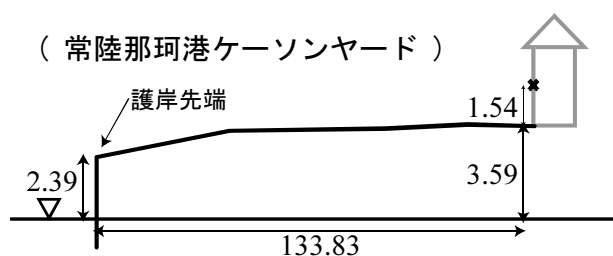


図-5.5.3.3 ケーソンヤードの縦断面図と痕跡高(単位:m)



写真-5.5.3.4 阿字ヶ浦海岸

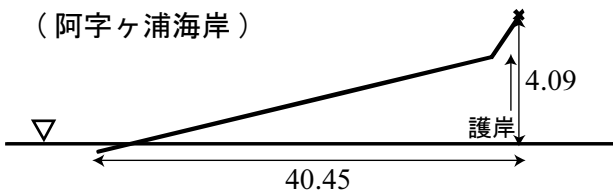


図-5.5.3.4 阿字ヶ浦海岸の縦断面図と痕跡高 (単位：m)



写真-5.5.3.5 磯崎海岸

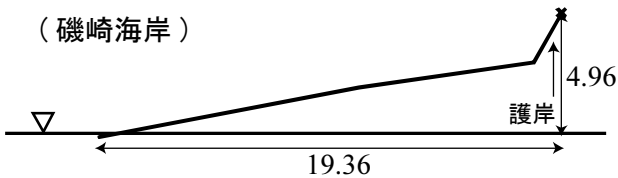


図-5.5.3.5 磯崎海岸の縦断面図と痕跡高(単位：m)

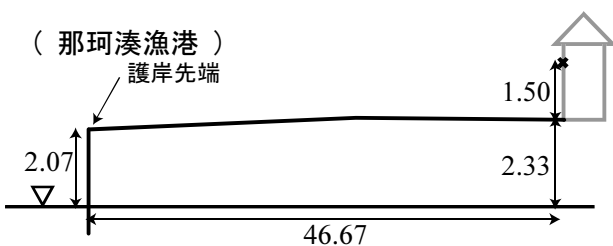


図-5.5.3.6 那珂湊漁港の縦断面図と痕跡高(単位：m)

(3) 茨城港(常陸那珂港区)の被害状況

防波堤

茨城港(常陸那珂港区)の防波堤には、目視では津波による大きな損傷は見られなかった。

港内の施設

ひたちなか FAZ 物流サイトなどがある常陸那珂港区の北埠頭用地内およびその周辺では、道路も含めて地震による大きな被害を受けており、至る所で段差やひび割れ、液状化によって吹き出したと考えられる大量の砂が見られた。津波による被害としては、県営1号上屋のシャッターが壊れされおり、津波から3週間経過した調査時点でも中の品(紙類)の一部が散乱していた(写真-5.5.3.6)。ただし、それよりもやや奥の倉庫(ひたちなかFAZ物流サイト)は1mほど嵩上げされた位置にあり、建物に大きな被害は見られなかった。

ケーソンヤードでは、事務所の建物の1階の窓ガラスが割れる、陸に揚げていたブイが流されるなどの被害があった。また、元の状態は分からないけれども、地表面のコンクリートから上に伸びた多くの鉄筋が大きく曲った状態になっていた(写真-5.5.3.7)。

後背地

阿字ヶ浦海岸背後の建物では、液状化によって大きな被害が生じていたけれども、津波による被害は見られなかった(写真-5.5.3.8)。

那珂湊港背後のレストランや市場の1階部分では、シャッターが壊れる、窓ガラスが割れる、泥が進入する等の被害が生じたようであるけれども(写真-5.5.3.9)、復旧は急ピッチに進んでいるようであり、4月下旬にはオープンするとの張り紙みがあった。



写真-5.5.3.6 常陸那珂港(県営1号上屋)



写真-5.5.3.7 常陸那珂港（ケーソンヤード）



写真-5.5.3.8 阿字ヶ浦海岸背後の旅館



写真-5.5.3.9 常陸那珂港背後のレストラン

人的被害及び建物被害

常陸那珂港は、東海村とひたちなか市にまたがる港湾であるので、東海村とひたちなか市の被害を以下に示す。茨城県の発表によると、地震による被害も含めて、人的被害は、東海村で死者4名、ひたちなか市で死者2名(4月13日)である。建物被害は、東海村で全壊5棟、半壊17棟、一部破損389棟、ひたちなか市で全壊59棟、半壊253棟、一部破損1,554棟、床上浸水134棟、床下浸水209棟(4月27日)である。

避難状況

那珂湊漁港周辺の住民によれば、11日の大地震発生時に、家の前で地割れや液状化が主なるのを見て「ただごとではない」と感じ、陸側の高台にある小学校に避難したようである(写真-5.5.3.10)。避難は15時30分までには完了していた。また、この地域では地震発生後、3mの津波の来襲を知らせる広報車が巡回しており、これを聞いて避難した住民もいたようである。

この地区で最後に避難した住民は、津波の第3波が来襲する前、つまり第2波が引いたのを見て避難を開始していた。これより、那珂湊漁港では第2波以降に来襲した津波により建物に被害が生じたものと推察される。

聞き取りを行った住民は、2010年2月27日に発生したチリ津波の時に津波が漁港の岸壁を超えなかったことや今までの地震で地割れや液状化などの被害が発生したことがなかったため、今回の地震・津波に対しても警戒心が低く、このような状況になっていなかったら避難はしていなかったようである。

常日頃から普段と異なることが起きていないか、地震が発生したら、津波も同時に来襲し、すぐに逃げるという意識をもち、行動に移すことが重要である。



写真-5.5.3.10 地割れ

5.5.4 茨城港（大洗港区）及びその周辺

(1) 茨城港（大洗港区）の概要

図-5.5.4.1に示すように、茨城港（大洗港区）は茨城県臨海部のほぼ中央に位置し、長さ830mの南防波堤およびその沖に長さ1300mの沖防波堤が整備されるとともに、西側には土砂の流入を防ぐための西防砂堤（長さ約700m）が整備されている。大洗漁港は、港の北東部に位置しており、大洗港区の西側には広大な砂浜（サンビーチ）が広がっている。

大竹海岸は、大洗港区よりも15km南に位置する砂浜海岸である。

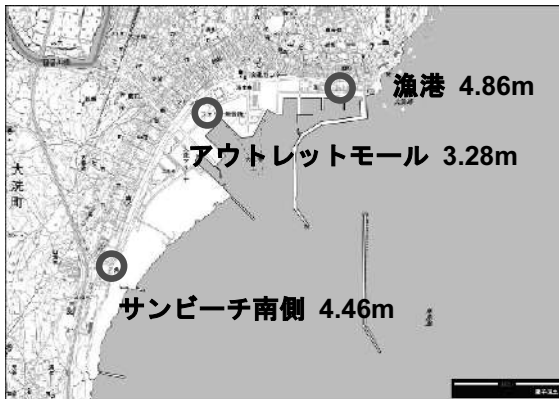


図-5.5.4.1 茨城港（大洗港区）及びその周辺の調査地点

(2) 津波とその痕跡高

各地点における津波の痕跡高さは表-5.3.3.1 の通りである。

表-5.5.4.1 津波の痕跡高さ
(茨城港（大洗港区）及びその周辺)

	大洗漁港	アウトレットモール	サンビーチ南側 (港外)	大竹海岸
浸水高	4.86m	3.28m	4.46m	
浸水深	1.98m	1.20m	0.87m	
遡上高				8.16m

大洗漁港では、写真-5.5.4.1 に示すように漁港近くの公衆トイレの窓に津波の泥水痕跡が残っており、津波の浸水高は4.86m（浸水深1.98m）であった（図-5.5.4.2）。

アウトレットモールでは、建物の1階部分まで津波が来襲し、津波の痕跡高さは3.28m（浸水深1.20m）であった（写真-5.5.4.2および図-5.5.4.3）。

大洗サンビーチ南側では、津波は写真-5.5.4.3 中央の高さ1.26mの護岸を乗り越え、その奥の家屋の柱に泥水痕跡が見つかった（図-5.5.4.4）。大洗サンビーチでは、大洗港区内とほぼ同じ浸水高を記録しているため、ゆっくりと水位上昇する潮汐のような状態で津波が来襲したものと考えられる。また、写真奥の白い家屋では泥水痕跡は見つかったものの、大きな損傷は確認されなかったことから上記のことが推察される。

大竹海岸では、明確な遡上痕跡や泥水痕跡は見つからなかったが、漂流物等の漂着跡が確認できた（写真-5.5.4.4）。この海岸の津波遡上高は8.16mであり、茨城県の調査結果の中では最も高い値となった（図-5.5.4.5）。

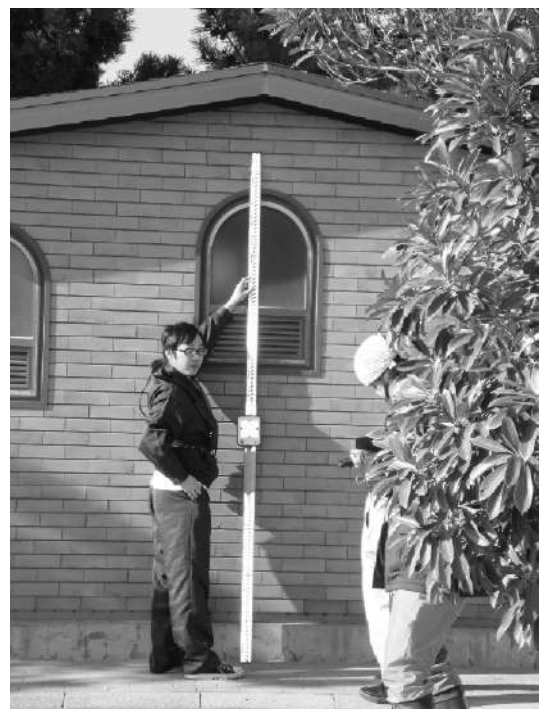


写真-5.5.4.1 大洗漁港（公衆トイレ）

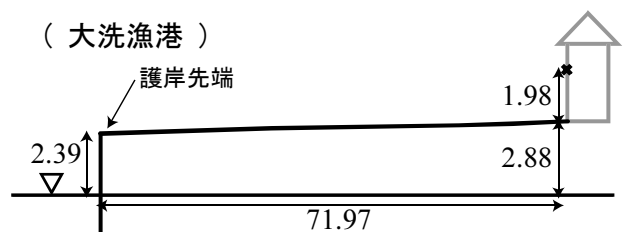


図-5.5.4.2 大洗漁港の縦断面図と痕跡高(単位：m)



写真-5.5.4.2 アウトレットモール



写真-5.5.4.4 大竹海岸

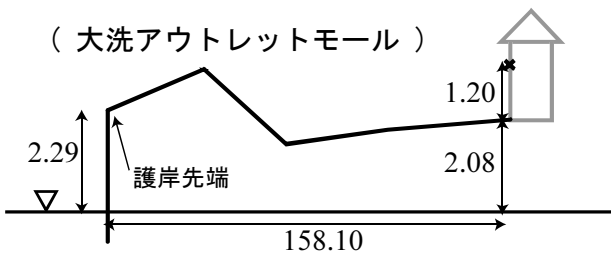


図-5.5.4.3 大洗アウトレットモールの縦断面図と痕跡高(単位:m)



写真-5.5.4.3 大洗サンビーチの家屋

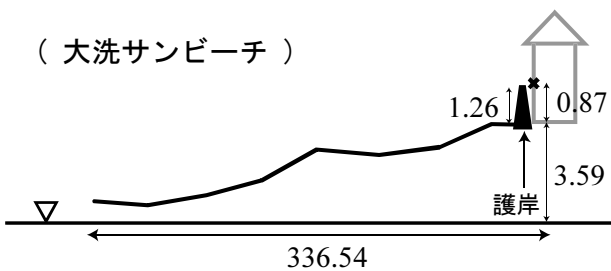


図-5.5.4.4 大洗サンビーチの縦断面図と痕跡高(単位:m)

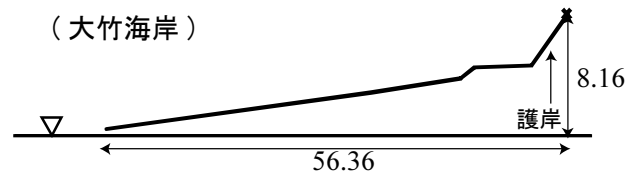


図-5.5.4.5 大竹海岸の縦断面図と痕跡高(単位:m)

(3) 被害状況

防波堤と護岸

茨城港(大洗港区)の防波堤には、目視では津波による大きな損傷は見られなかった。

大竹海岸では、護岸が高いこともあり、それより上の建物には、ほとんど被害はみられなかった(写真-5.5.4.5)。

港内の施設と船舶

大洗漁港では、多くの船が避難したとのことであるけれども、比較的大きな船14隻と多くの小型船が被害を受けたとのことである。また、背後では、1階部分で窓ガラスが割れる、内部に泥が進入する等の被害が見られた(写真-5.5.4.6)。

後背地

魚市場や食堂などでは、片づけは概ね終了しているようであったけれども、営業再開の張り紙等は見られなかった。

アウトレットモールにおいても、1階部分で窓ガラスなどが割れるなどの被害があった(写真-5.5.4.7)。こちらでも、片づけは概ね済んでいるようであったけれども、営業再開の張り紙等は見られなかった。

人的被害及び建物被害

茨城県の発表によると、地震による被害も含めて、大洗町で人的被害は、死者1名(4月13日)である。建物被害

は、全壊3棟、半壊170棟、一部破損698棟、床上浸水156棟、床下浸水167棟（4月27日）である。



写真-5.5.4.5 大竹海岸



写真-5.5.4.6 大洗漁港背後の建物



写真-5.5.4.7 大洗港区（アウトレットモール）

5.5.5 鹿島港及びその周辺

(1) 鹿島港の概要

鹿島港は茨城県の南東部に位置しており、長さ約3400mの南防波堤が整備されるとともに、北側では中央防波堤（長さ 500m）が整備されている。鹿島漁港や平井海岸は港の北側に位置している。



図-5.5.5.2 鹿島港及びその周辺の調査地点

(2) 津波とその痕跡高

各地点における津波の痕跡高さは表-5.5.5.2 の通りである。

表-5.5.5.2 津波の痕跡高さ（鹿島港及びその周辺）

	南公共埠頭	北公共埠頭	漁港背後	平井海岸（港外）
浸水高	6.82m	4.71m	3.67m	5.13m
浸水深	2.80m	1.86m	0.80m	0.85m

鹿島港港外に位置する平井海岸では、写真-5.5.5.2に示すように海岸近くの公衆トイレに津波の泥水痕跡が残っており、津波の痕跡高さは5.13m（浸水深0.85m）であった（図-5.5.5.3）。

鹿島港内に位置する鹿島漁港では、漁港施設の1階部分が浸水し、配電盤等の機器も浸水した。漁港のトイレに津波の泥水痕跡が残っており、津波の痕跡高さは3.67m（浸水深0.80m）であった（図-5.5.5.4）。また、鹿島漁港の浸水高は港外の平井海岸よりも1.5m程度小さくなっていることから、北側の中央防波堤による津波低減があったものと考えられる。

鹿島港の北公共埠頭では、津波によってコンテナが散乱・移動し、フェンスがなぎ倒されており、津波の破壊力が大きかったことが推察される。津波の痕跡高さは4.71m（浸水深1.86m）であった（図-5.5.5.5）。また、南公共埠頭では、津波の痕跡高さは6.82m（浸水深2.80m）であった（図-5.5.5.6）。これらの南北の公共埠頭は湾奥に位置しているため、津波が増幅され、鹿島漁港や港外の平井海岸以上の浸水高となっている。



写真-5.5.5.2 平井海岸（公衆トイレ）

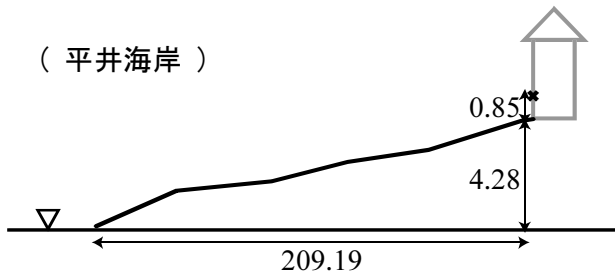


図-5.5.5.3 平井海岸の縦断面図と痕跡高(単位：m)

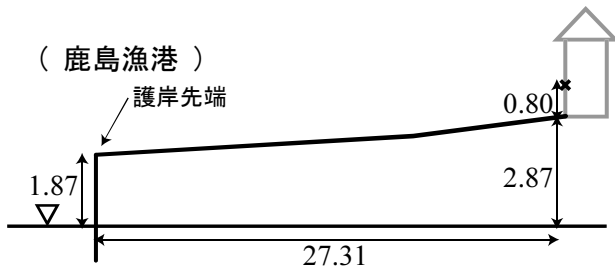


図-5.5.5.4 鹿島漁港の縦断面図と痕跡高(単位：m)

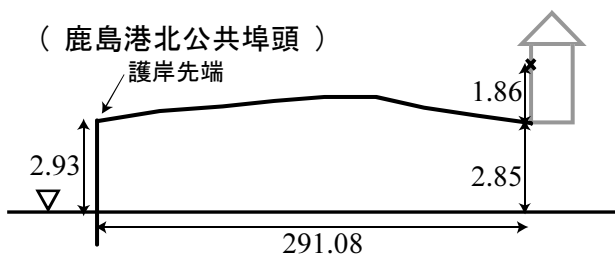


図-5.5.5.5 鹿島港北公共埠頭の縦断面図と痕跡高(単位：m)

(3) 被害状況

防波堤

鹿島港の防波堤には、目視では津波による大きな損傷は見られなかった。

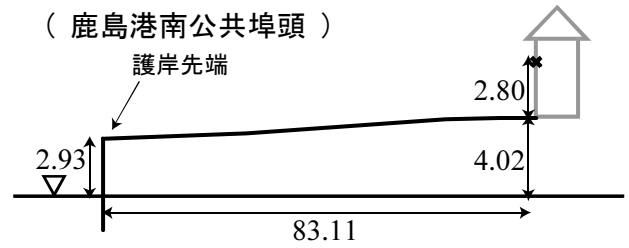


図-5.5.5.6 鹿島港南公共埠頭の縦断面図と痕跡高(単位：m)



写真-5.5.5.3 鹿島港（南公共埠頭）

港内の施設と船舶

南公共埠頭においては、建物の1階部分の窓ガラスが割れる、倉庫のシャッターが壊れるなどの被害があった(写真-5.5.5.4)。

港中央の港公園では、背後地盤が高いこともあり、津波の浸水深は小さかった(膝よりも下程度)と推測された(写真-5.5.5.5)。

北公共埠頭においては、津波によってコンテナが散乱、移動したようであり、なかには、港湾背後の商業施設に損害を与えているものもあったとのことである。津波発生から約3週間が経過した調査時点では、港内のコンテナは整理されていたけれども、港外ではいくつかのコンテナが放置されていた(写真-5.5.5.6)。

漁港においては(写真-5.5.5.7)、損傷を受けた船は約60隻(内、大きな損傷を受けた船：約30隻)であり、その他にも、配電盤等の漁港施設も大きな被害を受けたとのことであった。

人的被害及び建物被害

鹿島常港は、鹿嶋市と神栖市にまたがる港湾であるので、鹿嶋市と神栖市害を以下に示す。茨城県の発表によると、地震による被害も含めて、人的被害は、鹿嶋市で

死者1名(4月13日)であった。建物被害は、鹿嶋市で全壊129棟、半壊210棟、一部破損2,567棟、床上浸水77棟、床下浸水150棟、神栖市で全壊117棟、半壊138棟、一部破損245棟、床上浸水3棟、床下浸水2棟(4月27日)である。



写真-5.5.5.4 鹿島港(南公共埠頭)



写真-5.5.5.5 鹿島港(港公園)



写真-5.5.5.6 鹿島港(北公共埠頭港外)



写真-5.5.5.7 鹿島漁港

6. 地震被害の調査結果

6.1 青森県の調査結果

6.1.1 八戸港

(1) 調査結果の概要

2.2で述べたように、八戸港の強震観測地点八戸-Gで今回観測された揺れは、1968年十勝沖地震や1994年三陸はるか沖地震による同一地点での揺れをやや下回るものであった。これに対応するかのように、八戸港においては（津波による被害は顕著であったが）明らかに地震の揺れによると認められる被害は見られなかった。しかしながら、このような無被災事例について記録しておくことも、将来の研究にとって重要であるため、以下においては、無被災であることが具体的に確認できる地点を中心に見ていくことにする。なお、以下の記述に関連する地図を図-6.1.1.1に示す。

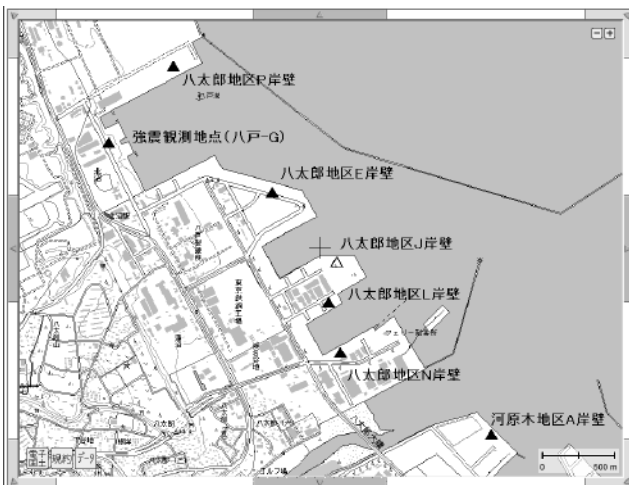


図-6.1.1.1 八戸港関連地図

(▲△は調査地点，うち▲は微動観測地点)

(2) 八太郎地区 P 岸壁

本岸壁は昭和63年度から平成4年度にかけて整備された水深-12.0mの重力式岸壁である。本岸壁の法線においては、最も先端（東側）の堤体と、その一つ手前の堤体の間に20cmの出入りがあることが、平成15年度の点検報告書（八戸港湾・空港整備事務所，2004）に記載されている（写真-6.1.1.1）。今回、同一箇所の状況を確認した結果、出入りの大きさに全く変化は認められず20cmであった（写真-6.1.1.2）。これ以外の箇所では法線の出入りは認められなかった（写真-6.1.1.3）。これらのことから、今回の地震による堤体の移動は無かったと見ることができる。

なお、当該岸壁に関しては、取付部護岸のブロックが



写真-6.1.1.1 八太郎地区 P 岸壁の法線の出入り
(八戸港湾・空港整備事務所，2004)（平成15年度撮影）



写真-6.1.1.2 写真-6.1.1.1と同一箇所の今回の状況
(平成23年3月17日撮影)



写真-6.1.1.3 八太郎地区 P 岸壁の地震後の法線の状況
(平成23年3月17日撮影)

海側に転倒・流出したことが顕著な被害として挙げられる（写真-6.1.1.4）。この被害は局所的であり、ここだけ



写真-6.1.1.4 八太郎地区P岸壁
—取り付け部護岸の流出—
(平成23年3月17日撮影)



写真-6.1.1.6 八太郎地区J岸壁
—津波による被害を受けたクレーンの走行装置—
(平成23年3月17日撮影)



写真-6.1.1.5 八太郎地区J岸壁の法線の状況
(平成23年3月17日撮影)



写真-6.1.1.7 写真-6.1.1.6の走行装置の一部
(平成23年3月17日撮影)

が地震動の影響を大きく受けたと考えることは不自然であるから、この被害は地震動によるものとは考えにくい。周辺ではソーラスのフェンス、ガードレール等が軒並み津波の引き波による被災を受けていたことから、ブロックの転倒も津波の引き波によるものと考えられる。

(3) 八太郎地区J岸壁（コンテナバース）

本岸壁は平成8年度から平成12年度にかけて整備された水深-13.0mの重力式岸壁である。本岸壁においても、地震によると見られる損傷は全く見られなかった（写真-6.1.1.5）。ガントリークレーンも走行装置を除けば健全であるように見え、レールの屈曲等も全く見られなかった。ただし、クレーンの走行装置の一部が、おそらくは津波による漂流物のため、損傷していた。具体的には、写真-6.1.1.6に示す走行装置の一部が折れて漂流し、コ

ンテナの下敷きとなっていた（写真-6.1.1.7）。また電源ケーブルも津波によりエプロン上に引き込まれるなどしており、損傷を受けている。

(4) 八太郎地区L岸壁

本岸壁は昭和63年度から平成2年度にかけて整備された水深-7.5mの重力式岸壁である。本岸壁の法線上においては、最も先端（東側）の堤体と、その一つ手前の堤体の間に25cmの出入りがあることが、平成15年度の点検報告書（八戸港湾・空港整備事務所、2004）に記載されている（写真-6.1.1.8）。今回、同一箇所を確認した結果、出入りの大きさに全く変化は認められず25cmであった（写真-6.1.1.9）。これ以外の箇所では法線の出入りは認められなかった（写真-6.1.1.10）。これらのことから、今回の地震による堤体の移動は無かったと見ることができる。

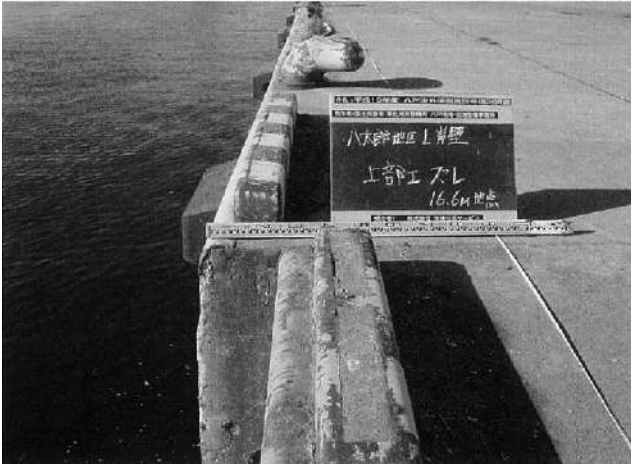


写真-6.1.1.8 八太郎地区L岸壁の法線の出入り
(八戸港湾・空港整備事務所, 2004) (平成 15 年度撮影)



写真-6.1.1.11 八太郎地区N岸壁の法線の状況
(平成 23 年 3 月 17 日撮影)



写真-6.1.1.9 写真-6.1.1.8 と同一箇所の今回の状況
(平成 23 年 3 月 17 日撮影)



写真-6.1.1.10 八太郎地区L岸壁の法線の状況
(平成 23 年 3 月 17 日撮影)

(5) 八太郎地区N岸壁 (耐震強化岸壁)

本岸壁は昭和 53 年度から昭和 55 年度にかけて整備された水深-7.5m の重力式の耐震強化岸壁である。法線の出入りは全く認められず (写真-6.1.1.11), その他の点でも, 今回の地震によるとみられる損傷は全く認められなかった。

(6) 河原木地区A岸壁

本岸壁は平成 3 年度から平成 7 年度にかけて整備された水深-14.0m の重力式岸壁である。本岸壁では地震の揺れによると明確に認められる損傷は見られなかった。ただし, 調査の時点において岸壁背後に大きな水たまりが存在していた (写真-6.1.1.12)。八戸港湾・空港整備事務所の職員の方から得た情報によれば, 本岸壁背後ではフェロニッケル鉱石が大量に野積みされており, そのた



写真-6.1.1.12 河原木地区A岸壁背後の水たまり
(平成 23 年 3 月 17 日撮影)

め、今回の地震の前からある程度の沈下は生じていたとのことである。

(7) 微動観測

八戸港では、被害調査の一環として、図-6.1.1.1に示す6地点(▲)において微動観測を実施した。ここに微動とは地盤の非地震時における微小な振動のことである。一般に微動の特性は地震動の特性と良く対応することが知られており、地震による被害を理解する上で微動データが参考になることが多い。今回の地震では、ここまで見てきたように、八戸港においては明らかに地震の揺れによると認められる被害は見られなかったが、今後地震が発生した場合の被害の分析や設計地震動の検討において、今回得られた微動データは有益であると考えられるので、以下に紹介する。

観測にはアカシのGPL-6A3Pを使用した。各地点とも東西、南北、上下の3成分を約11分間観測した。各地点で得られた11分間のデータから、163.84秒の区間を、重ならないように3区間抽出し、水平成分と上下成分のフーリエスペクトルを求め、その比(H/Vスペクトル)を求めた。ただし水平成分のスペクトルは水平2成分のRMS(自乗の平均値の平方根)である。また水平成分と上下成分のスペクトルにはバンド幅0.05Hzのパーセンウインドウを適用した。

強震観測点である八戸-Gの微動H/Vスペクトルを図-6.1.1.2に示す。3本の線があるのは抽出した3区間に対応する。この図から、八戸-Gの微動H/Vスペクトルには0.36Hz付近に顕著なピークがあることがわかる。従来より八戸-Gでは0.4Hz付近(周期2.5秒付近)にピークを有する地震動が多く観測されており(例えば野津・菅野, 2010)、今回の地震においても2.2で述べたように同様の傾向が見られたが、こうした地震動特性と上記の微動特性との間には非常によい対応関係があることがわかる。以下、八戸-Gにおける微動H/Vをリファレンスとして他の地点の特性を見ていく。

八太郎地区P岸壁の微動H/Vスペクトルのピーク周波数は八戸-Gとほぼ同程度であり、H/Vスペクトル全体の特性も良く類似している(図-6.1.1.3)。従って、八太郎地区P岸壁に今回作用した地震動は、八戸-Gで観測されたのとはほぼ同様であったと考えられる。

八太郎地区E岸壁、L岸壁、N岸壁の微動H/Vスペクトルのピーク周波数は八戸-Gよりやや高周波側である(図-6.1.1.4~図-6.1.1.6)。よって、これらの岸壁に今回作用した地震動は、八戸-Gで観測されたものよりもやや周期が短かったと考えられる。

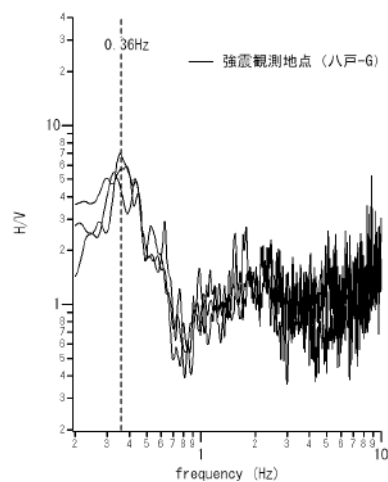


図-6.1.1.2 八戸港の強震観測地点(八戸-G)における微動H/Vスペクトル

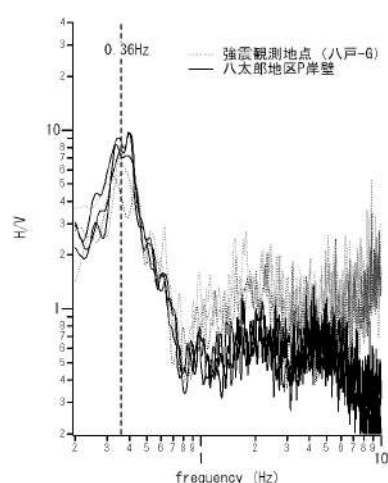


図-6.1.1.3 八戸-Gと八太郎地区P岸壁における微動H/Vスペクトルの比較

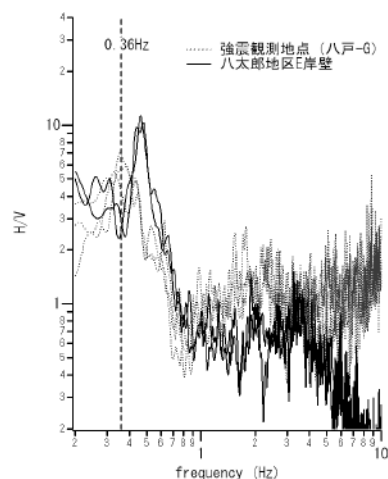


図-6.1.1.4 八戸-Gと八太郎地区E岸壁における微動H/Vスペクトルの比較

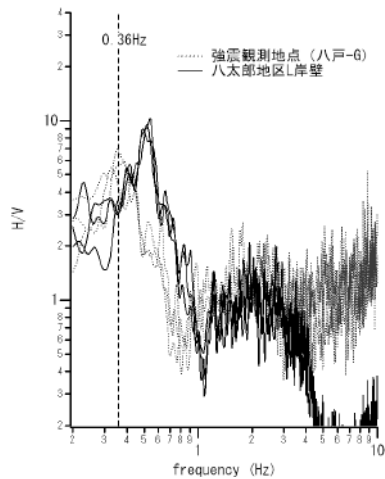


図-6.1.1.5 八戸-G と八太郎地区 L 岸壁における微動 H/V スペクトルの比較

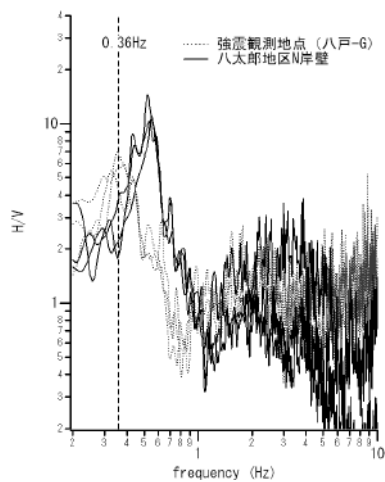


図-6.1.1.6 八戸-G と八太郎地区 N 岸壁における微動 H/V スペクトルの比較

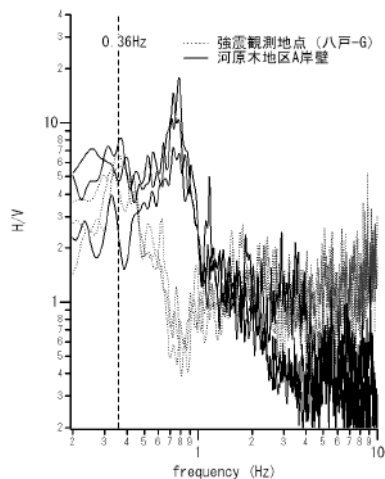


図-6.1.1.7 八戸-G と河原木地区 A 岸壁における微動 H/V スペクトルの比較

河原木地区 A 岸壁の微動 H/V スペクトルのピーク周波数は八戸-G よりかなり高周波側である (図-6.1.1.7)。よって、河原木地区 A 岸壁に今回作用した地震動は、八戸-G で観測されたものよりもかなり周期が短かったと考えられる。

このように、八戸港では強震観測点から南に向かうほど微動 H/V スペクトルのピーク周波数が高周波側に移動する傾向が認められる。従って、今回作用した地震動は南に行くほど周期が短いものであったと考えられる。

参考文献

野津厚・菅野高弘(2010):港湾地域強震観測年報(2008), 港湾空港技術研究所資料, No.1207.

八戸港湾・空港整備事務所(2004):平成15・16年度国有港湾施設一次点検—八戸港—報告書, 国土交通省東北地方整備局.

6.2 岩手県の調査結果

6.2.1 久慈港

(1) 調査結果の概要

久慈港においては、八戸港と同様、津波による被害は顕著であったが、明らかに地震の揺れによると見られる被害は諏訪下地区栈橋 (-6.0m) (魚市場前) で認められただけであった。以下においては、まず、揺れによる被害の認められなかった3つの施設について述べ、次に、揺れによる被害の認められた諏訪下地区栈橋 (-6.0m) について述べる。なお、前者の3施設については、発生した被害が揺れによると認められない理由についても、できるだけ記述するように努めた。以下の記述に関連する地図を図-6.2.1.1に示す。

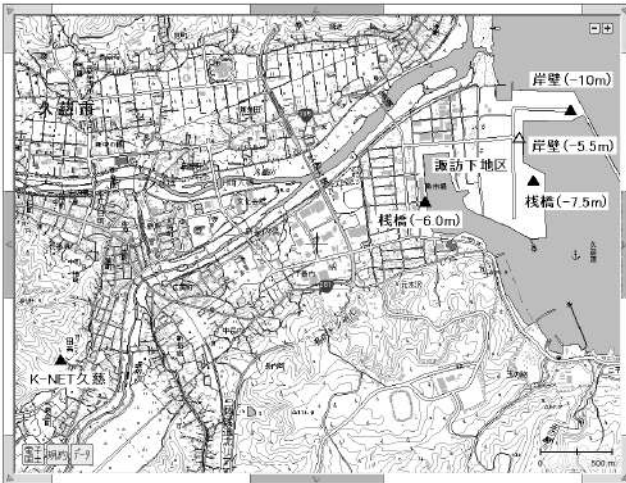


図-6.2.1.1 久慈港関連地図

(▲△は調査地点, うち▲は微動観測地点)

(2) 諏訪下地区岸壁 (-10m)

本岸壁については、岸壁法線に沿って存在するクラック (古いもの) が今回の地震で新しく開いたようには見えず (写真-6.2.1.1), 法線も保たれており (写真-6.2.1.2), 岸壁全体として揺れの影響は小さかったと考えられる。

ただし、本岸壁取り付け部 (図-6.2.1.2 参照) では上部工が流出する大きな被害が生じた (写真-6.2.1.3)。また、その一つ手前の (西側の) ブロックでは上部工が損傷して鉄筋がむき出しになっている (写真-6.2.1.4)。これらはいずれも局所的な被害である。岸壁全体としては健全であるにも関わらず、これらの部分だけが地震動の影響を大きく受けたと考えることは不自然であるため、これらは地震動による被害ではないと考えられる。

前者については、現地の民間技術者から得た情報によると、荒天時の被災で吸い出しをかなり受けていたとの



写真-6.2.1.1 諏訪下地区岸壁 (-10m)
—岸壁法線に沿って存在する古いクラック—
(平成23年3月18日撮影)



写真-6.2.1.2 諏訪下地区岸壁 (-10m) の法線の状況
(平成23年3月18日撮影)

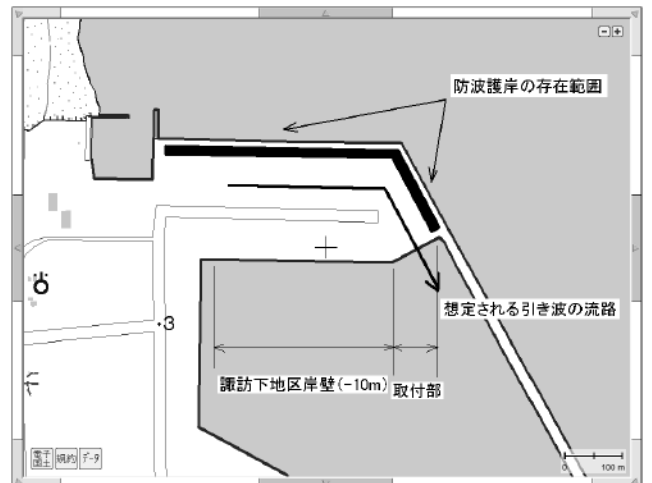


図-6.2.1.2 諏訪下地区岸壁 (-10m) 平面図



写真-6.2.1.3 諏訪下地区岸壁 (-10m)
—取り付け部における上部工の流出—
(平成23年3月18日撮影)



写真-6.2.1.6 諏訪下地区岸壁 (-10m)
—流出したフローティングドック—
(平成23年3月18日撮影)



写真-6.2.1.4 諏訪下地区岸壁 (-10m)
—上部工の損傷—
(平成23年3月18日撮影)



写真-6.2.1.7 諏訪下地区岸壁 (-10m)
—車止めの損傷—
(平成23年3月18日撮影)



写真-6.2.1.5 諏訪下地区岸壁 (-10m)
—取り付け部背後のアスファルト舗装の破損—
(平成23年3月18日撮影)



写真-6.2.1.8 諏訪下地区岸壁 (-10m)
—大型の漂流物の一例—
(平成23年3月18日撮影)

ことなので、その部分に津波の引き波の力が作用して、上部工が転倒したのではないかと考えられる。取り付け部の背後ではアスファルト舗装が広範囲で破損（流出）していることから（写真-6.2.1.5）、この部分で津波の引き波の力が特に強かったと考えられる。なお、取り付け部で特に引き波の力が強かった要因としては、図-6.2.1.2 に示すように岸壁を取り囲むように防波護岸が存在しており（写真-6.2.1.3や写真-6.2.1.5に見えている）、引き波時に取り付け部が流路になった可能性が考えられる（図-6.2.1.2の矢印）。

後者の上部工の損傷については、流出したフローティングドック（写真-6.2.1.6）が係留されていたブロックに該当することから、フローティングドックの衝突による可能性が考えられる。

岸壁法線の途中では車止めの損傷が認められた（写真-6.2.1.7）。これも局所的な被害であることから、地震動によるものとは考えにくく、漂流物の衝突によるものと考えられる。なお、当該岸壁上では大型の漂流物も認められた（一例を写真-6.2.1.8に示す）。

(3) 諏訪下地区岸壁 (-5.5m)

本岸壁はブロック積みの岸壁である。岸壁法線と平行に、上部工と舗装の間にクラックがあり、その幅は場所により5~11cmである（写真-6.2.1.9, 写真-6.2.1.10）。黒い目地材の幅よりもクラック幅が大きいので、いずれかの時期に堤体が前方に動いてクラックが生じたと考えられるが、この情報だけでは、今回の地震によるものとは判断しづらい。

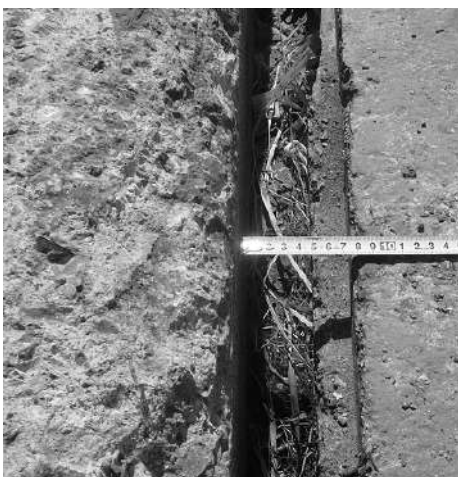


写真-6.2.1.9 諏訪下地区岸壁 (-5.5m)
—岸壁法線背後のクラック (その1) —
(平成23年3月18日撮影)

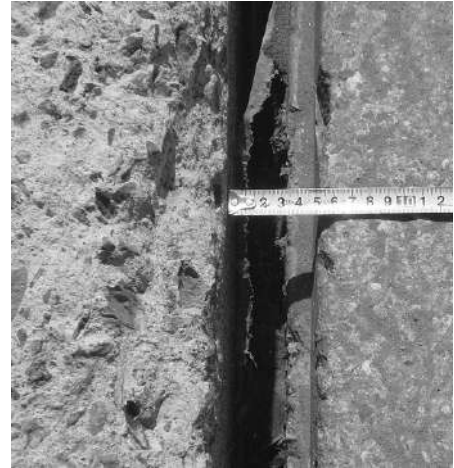


写真-6.2.1.10 諏訪下地区岸壁 (-5.5m)
—岸壁法線背後のクラック (その2) —
(平成23年3月18日撮影)

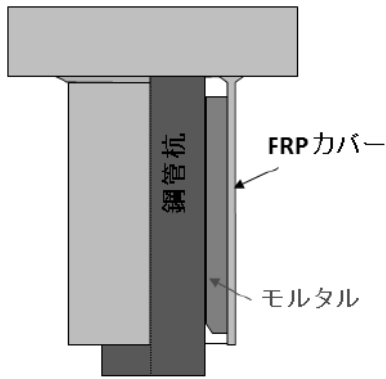
(4) 諏訪下地区栈橋 (-7.5m)

本施設は鋼管直杭式横栈橋である。本施設においても、明確に地震の揺れによると認められる被害は見られなかった。

本栈橋においては、渡版の大部分が津波により飛ばされている（写真-6.2.1.11）。また、落下した渡版の影響で、鋼管杭の防食工（モルタル被覆+FRPカバー、図-6.2.1.3に示す）が多数（確認できたもので11本）損傷している。中には鋼管杭表面が露出している杭もある（写真-6.2.1.12）。わずかに残っている渡版はグレーチング式のものが多かった（写真-6.2.1.13）。これは、グレーチング式の採用により津波による揚圧力のある程度は軽減できることを示唆している。



写真-6.2.1.11 諏訪下地区栈橋 (-7.5m)
—津波による渡版の被害—
(平成23年3月18日撮影)



モルタル被覆(+FRPカバー)工法

図-6.2.1.3 モルタル被覆+FRPカバー工法



写真-6.2.1.14 諏訪下地区栈橋 (-7.5m)
—コンクリート舗装と土留め壁の間の開き—
(平成23年3月18日撮影)



写真-6.2.1.12 諏訪下地区栈橋 (-7.5m)
—落下した渡版による鋼管杭防食工の損傷—
(平成23年3月18日撮影)



写真-6.2.1.15 諏訪下地区栈橋 (-7.5m)
—舗装下の空洞—
(平成23年3月18日撮影)



写真-6.2.1.13 諏訪下地区栈橋 (-7.5m)
—津波で飛ばされなかったグレーチング式の渡版—
(平成23年3月18日撮影)

土留めの前だしはわずかであったが、栈橋の南端でコンクリート舗装と土留め壁の間に比較的大きな開きが生

じていた(写真-6.2.1.14)。また、舗装の下には空洞が生じていた(写真-6.2.1.15)。

(5) 諏訪下地区栈橋 (-6.0m) (魚市場前)

本施設は鋼管直杭式横栈橋である(図-6.2.1.4)。本施設は、明らかに地震の揺れによると認められる被害が生じていた久慈港で唯一の施設である。

まず、写真-6.2.1.16は、栈橋南端付近において南から北を望んだものである。諏訪下地区栈橋(-7.5m)と同様、津波の影響で渡版が飛散しているが、土留めの前出しはこの部分では見られない。

一方、写真-6.2.1.17は栈橋中央付近(魚市場付近)において南から北を望んだものであるが、土留めが大き

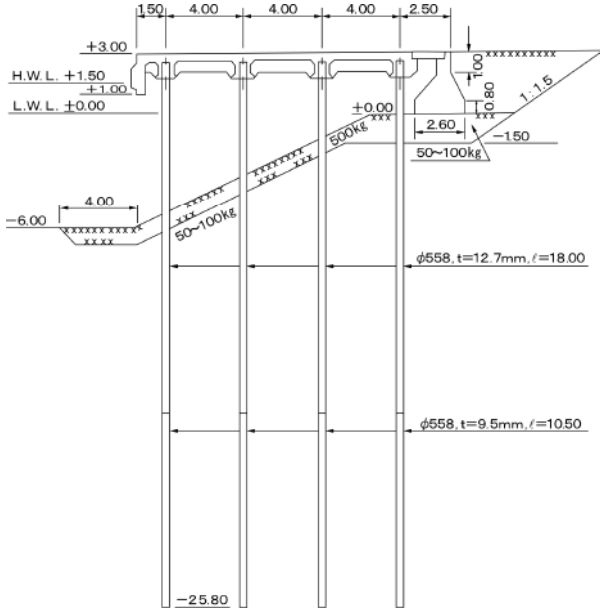


図-6.2.1.4 諏訪下地区栈橋 (-6.0m) 標準断面図
(運輸省港湾局他, 1968)

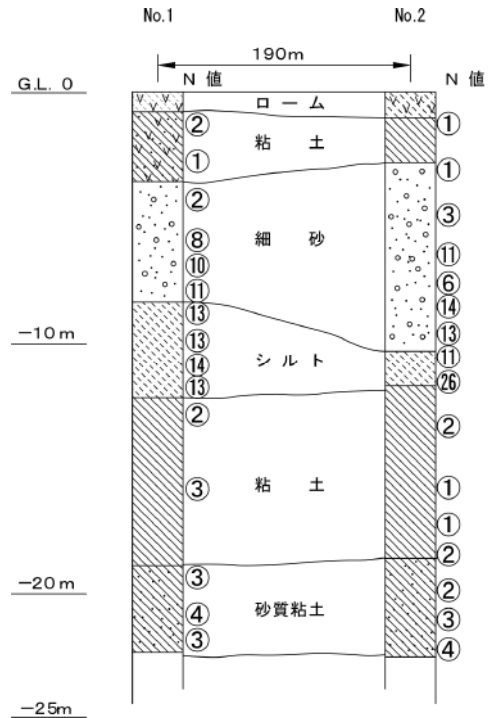


図-6.2.1.5 諏訪下地区栈橋 (-6.0m) 土質柱状図
(運輸省港湾局他, 1968) (丸囲み数字は N 値)



写真-6.2.1.16 諏訪下地区栈橋 (-6.0m)
—津波による渡版の被害—
(平成 23 年 3 月 18 日撮影)



写真-6.2.1.17 諏訪下地区栈橋 (-6.0m)
—栈橋背後の土留めの前出し—
(平成 23 年 3 月 18 日撮影)

く海側に傾斜している。水平変位は最大で 1.5m 程度であった。土留めの海側への傾斜は地震時によく見られる被災形態であることから (例えば南他, 1997; 菅野他, 2007), 地震の揺れによる被害であると判断される。ただし, 栈橋の法線に出入りは認められなかった。なお, 本施設の周辺地盤は-25m~-30m まで砂, シルト, 粘土が互層をなし軟弱な地盤であるが, -10m 付近のシルト層の N 値は 10~30 と比較的大きい (図-6.2.1.5) (運輸省港湾局他, 1968)。

被害の過程としては, 先ず, 地震時に土留めが傾斜して渡版にもたれかかり, 津波で渡版が飛んだ結果支えを失って前方に傾斜したものと考えられる。ただし, 既往の栈橋被害との違いも認められる。1995 年兵庫県南部地震の際, 神戸港高浜栈橋では, 前方に移動した土留めが渡版を介して栈橋を押し出したため, 栈橋杭に損傷が生じた (南他, 1997)。2005 年福岡県西方沖の地震の際, 須崎埠頭東側栈橋 (-11m) では, 前方に移動した土留めが同じように栈橋を押し出す可能性があったが, この時は土留め上部工に損傷が生じたため, 栈橋に力が伝達されず, 栈橋本体には目立った損傷が無かった (菅野他, 2007)。津波で渡版が飛ばされた今回の事例を併せ, 三者三様である。

また, もう一点, この被害を見るときに注意すべきなのは, 土留めの傾斜と渡版へのもたれかかりが今回の地

震で生じたとは必ずしも断定できないという点である。1968年十勝沖地震を始めとする過去の地震で土留めの傾斜と渡版へのもたれかかりが生じていたが、今回の津波で渡版が飛ぶまでそれが顕在化しなかった可能性も否定できない（当該栈橋の供用開始は1966年）。これを明らかにするためには、久慈港における今回の地震の揺れと過去の地震の揺れを比較することなどが必要である。なお1968年十勝沖地震後の本施設の状況については、被害が見られなかったことが運輸省港湾局他（1968）に記載されている。

(6) 微動観測

久慈港では港湾地域強震観測の観測点は設置されておらず、最寄りの強震観測点としては防災科学技術研究所のK-NET（Kinoshita, 1998）の久慈観測点が存在する（図-6.2.1.1）。K-NET久慈の観測データが久慈港の施設に作用した地震動を推定する上で参考になるかどうかは重要な検討課題である。そこで、その判断に資する目的で、被害調査の一環として、久慈港諏訪下地区の施設とK-NET久慈において微動観測を実施した。観測を実施したのは図-6.2.1.1に示す4地点（▲）である。観測に用いた機器とデータの処理方法は6.1.1と同様である。

得られた微動H/Vスペクトルを図-6.2.1.6に示す。この結果から、K-NET久慈ではピーク周波数が3Hz程度であるのに対し、久慈港諏訪下地区ではピーク周波数が1Hz付近と、かなり特性が異なることがわかる。このことから、K-NET久慈で観測された地震動と久慈港の施設に作用した地震動はかなり異なるものと考えられ、久慈港の施設に作用した地震動を推定するためには、今後、久慈港において中小地震観測記録を取得することなどが必要であると考えられる。

なお、久慈港諏訪下地区の三箇所では微動H/Vスペクトルの変動は小さく、この範囲では地震動特性は類似しているものと考えられる。

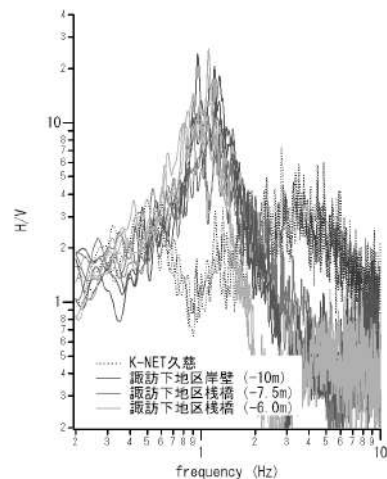


図-6.2.1.6 K-NET久慈と久慈港諏訪下地区の諸施設における微動H/Vスペクトルの比較

参考文献

- 運輸省港湾局・港湾技術研究所・第二港湾建設局（1968）：1968年十勝沖地震 港湾被害報告 津波調査報告。
菅野高弘・野末康博・田中智宏・野津厚・小濱英司・ハザリカ=ヘマンタ、元野一生（2007）：2005年福岡県西方沖の地震による港湾施設被害報告，港湾空港技術研究所資料，No.1165。
南兼一郎・高橋邦夫・園山哲夫・横田弘・川端規之・関口宏二・辰見ター（1997）：神戸港における横栈橋の被害調査と動的相互作用解析，第24回地震工学研究発表会講演論文集，pp.693-696。
Kinoshita, S. (1998): Kyoshin Net (K-net), *Seim. Res. Lett.*, Vol. 69, pp.309-332.

6.2.2 釜石港

(1) 釜石港における調査の概要

本調査は、図-6.2.2.1に示すように、釜石港における主力な公共埠頭である須賀地区の係留施設を対象とした。須賀地区にある岸壁 (-11m)、岸壁 (耐震強化) (-7.5m)、栈橋 (-7.5m) を中心に、地震動による被害状況を主に目視により調べた。あわせて、漁港地区にある係留施設についても参考として調査を行った。また、湾口防波堤についても、船上からの目視により被害状況を調べた。

釜石港全体として、地殻変動の影響により地盤沈下が発生し、すべての施設の天端が沈下しているようであった。その量は、50cm程度と推察される。

(2) 須賀地区岸壁 (-11m)

施設概要としては、構造形式は重力式 (合成版式ケーソン) であり、天端高が+3.0m、H.W.L.が+1.5m、L.W.L.が±0.0mである。標準断面図を図-6.2.2.2に示す。

設計条件としては、設計震度は、 $K_h=0.15$ で、対象船舶は貨物船 15,000DWT である。上載荷重については、



図-6.2.2.1 釜石港における主な調査対象施設

常時で $2.0t/m^2$ 、地震時で $1.0t/m^2$ である。岸壁延長は 190m で、供用開始は 2007 年である。

標準断面図

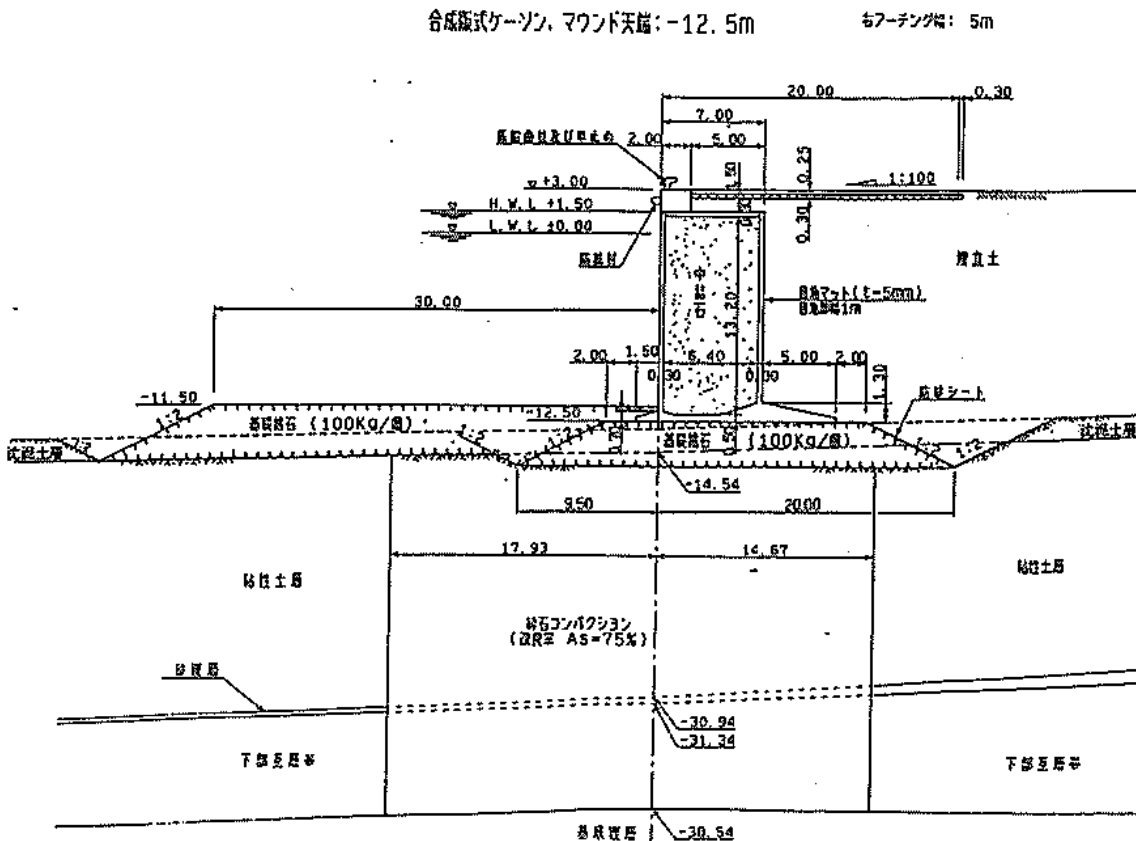


図-6.2.2.2 須賀地区岸壁 (-11m) の標準断面図



写真-6.2.2.1 岸壁前面の状況（異状なし）



写真-6.2.2.2 エプロンの状況（異状なし）



写真-6.2.2.3 岸壁法線（異状なし）



写真-6.2.2.4 背後との段差（10cm程度）



写真-6.2.2.5 湾奥側取付部との境界付近



写真-6.2.2.6 ハーバークレーンの状況

写真-6.2.2.1～写真-6.2.2.6に、須賀地区岸壁(-11m)の状況を示す。写真-6.2.2.1～写真-6.2.2.3に示すように、岸壁前面、岸壁法線およびケーソン上のエプロンに異状は見られなかった。ただし、写真-6.2.2.4に示すように、エプロンとケーソン背後に10～20cm程度の段差

（背後が低い）が見られた。完成して間もない施設であり、背後の地盤沈下が大きくなることが予測されたが、本体構造が合成版式ケーソンであり、ケーソン後部のフーチングが長いため、ケーソン背後の地盤沈下が小さくなったものと推察される。

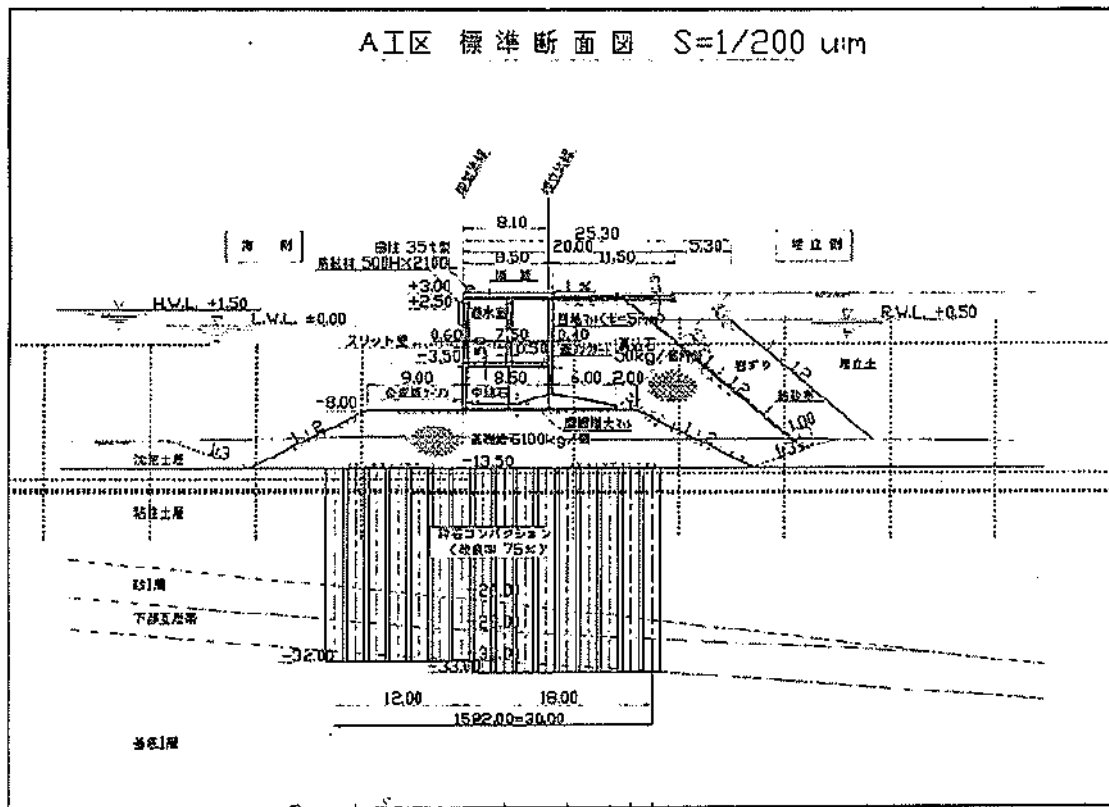


図-6.2.2.3 須賀地区岸壁（耐震強化）(-7.5m)の標準断面図



写真-6.2.2.7 岸壁前面の状況（異状なし）



写真-6.2.2.8 背後との段差（10cm程度）

また、湾奥側の取付部はブロック積構造であることから、写真-6.2.2.5に示すように、法線が前面に移動し（20cm程度）、エプロンで20cm程度の沈下が見られた。

写真-6.2.2.6に示すように、本岸壁の背後地盤上にハーバークレーンがアウトリガーを展開させた状態で設置されていた。津波の引き潮による流木等がアウトリガー

付近に堆積した状態であったが、目視によれば、クレーンの構造に大きな損傷は確認されなかった。

(3) 須賀地区岸壁（耐震強化）(-7.5m)

施設概要としては、構造形式は重力式（合成版式スリットケーソン）であり、天端高が+3.0m、H.W.L.が+1.5m、L.W.L.が±0.0mである。標準断面図を図-6.2.2.3に示す。



写真-6.2.2.9 エプロンの状況（異状なし）



写真-6.2.2.10 突堤先端側取付部の傾斜

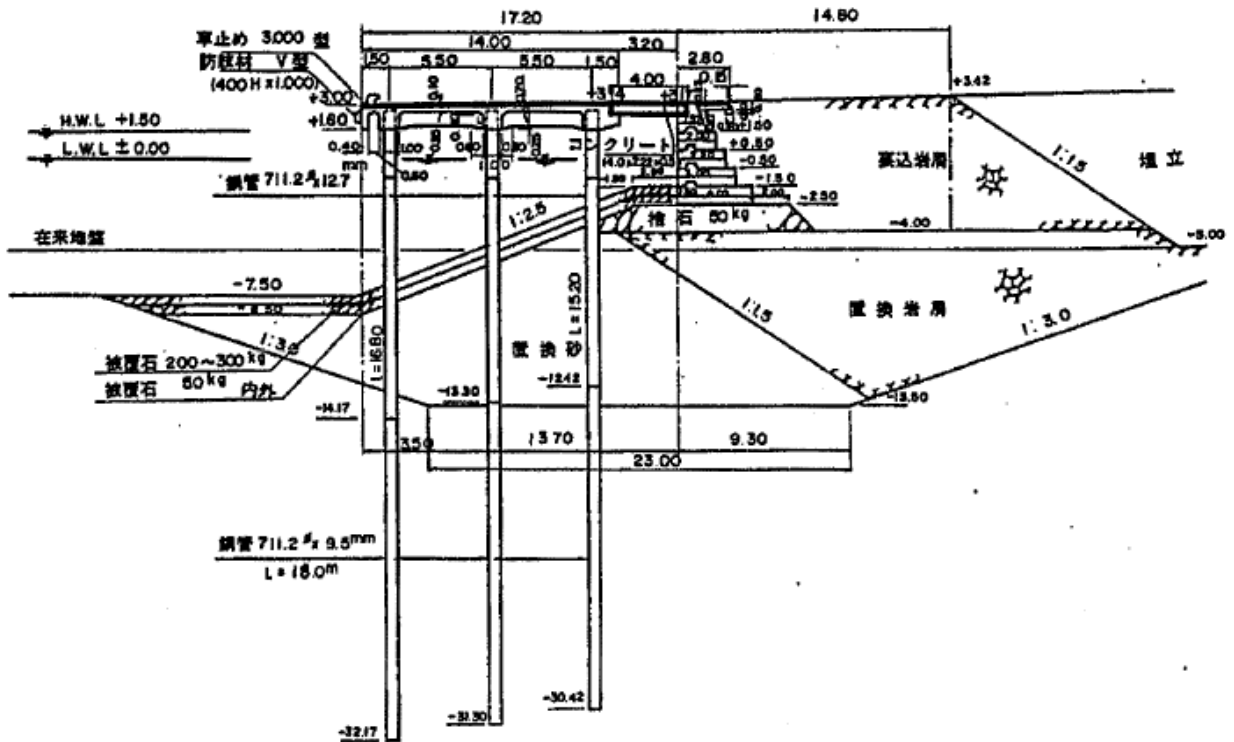


図-6.2.2.4 須賀地区栈橋 (-7.5m) の標準断面図

設計条件としては、設計震度は、 $K_h=0.23$ で、対象船舶は 5,000DWT である。上載荷重については、常時で 20kN/m^2 、地震時で 10kN/m^2 である。岸壁延長は 130m で、供用開始は 2007 年である。

写真-6.2.2.7～写真-6.2.2.10 に、須賀地区岸壁 (-7.5m) の状況を示す。須賀地区岸壁 (-11m) と同様に、写真-6.2.2.7 に示すように、岸壁前面および岸壁法線に異状は見られなかったが、写真-6.2.2.8 に示すように、エプロンとケーソン背後に 10cm 程度の段差（背後が低い）が見られた。ただし、写真-6.2.2.9 に示すように、

エプロンのコンクリート舗装には、顕著な変状は見られなかった。須賀地区岸壁 (-11m) と同様に、完成して間もない施設であり、背後の地盤沈下が大きくなることが予測されたが、本体構造が合成版式ケーソンであり、ケーソン後部のフーチングが長いので、ケーソン背後の地盤沈下が小さくなったものと推察される。

写真-6.2.2.10 に示すように、護岸（防波）側の取付部は、突堤先端側に拝むように傾斜していたが、その程度は顕著ではなかった。



写真-6.2.2.11 岸壁法線の状況 (異常なし)



写真-6.2.2.12 栈橋端部の状況 (異常なし)



写真-6.2.2.13 背後との境界



写真-6.2.2.14 県営上屋の状況

(3) 須賀地区栈橋 (-7.5m)

施設概要としては、構造形式は直杭式横栈橋であり、天端高が+3.0m、H.W.L.が+1.5m、L.W.L.が±0.0mである。標準断面図を図-6.2.2.4に示す。

設計条件としては、設計震度は、 $K_h=0.15$ で、対象船舶は5,000DWTである。栈橋延長は130mで、施設の完成は1970年である。

写真-6.2.2.11～写真-6.2.2.14に、須賀地区栈橋(-7.5m)の状況を示す。写真-6.2.2.11に示すように、栈橋の法線に凹凸は全く見られず、写真-6.2.2.12に示すように栈橋の端部にも変状は見られなかった。背後との境界部においても、写真-6.2.2.13に示すように、段差や見違いは生じておらず、渡版の移動・脱落も見られなかった。これらより、本施設は地震動によって全く被害を受けなかったといえる。

本施設の背後には県営上屋があるが、写真-6.2.2.14に示すように、大規模な損傷が生じていたが、おそらくは津波により損傷したものと推測されるため、地震動に

よってどれほど損傷していたのかは判断できない。

(4) 湾口防波堤

釜石港の湾口防波堤について、船上からの目視調査を行った。本防波堤は、南堤と北堤からなっており、南堤が全長670mで、22函(深部19函、浅部3函)のケーソンから構成されており、最深部の堤頭函のみが台形のスリットケーソンで、それ以外は通常のスリットケーソンである。北堤は全長990mで、44函(深部22函、浅部22函)のケーソンで構成されており、このうち深部2区と3区(573.5m)が台形のスリットケーソン、それ以外は通常のスリットケーソンとなっている。また、開口部潜堤は全長300mで、13函のケーソンで構成されており、端部以外は基面水深-32m、天端-19mとなっている。

写真-6.2.2.15～写真-6.2.2.17のように、北堤および南堤ともに大きく被災している。南堤の22函のケーソンのうち、開口部側から10函はほとんど移動していなかったが、それよりも陸側のケーソンについては水没し



写真-6.2.2.15 釜石港湾口防波堤の全景（被災後）



写真-6.2.2.16 南堤の状況



写真-6.2.2.17 北堤の状況

ていた。北堤の44函については、一部原形をとどめていたが、ほとんどのケーソンが移動あるいは水没していた。これらは、津波によって被災を受けたものと推測され、地震動によってどれほどの被災を受けていたのかは現時点では判断できない。

本防波堤の被災メカニズムおよび津波防御効果の検証については、8章にて詳述する。

(5) その他の施設

須賀地区の岸壁（-4.5m）および物揚場（-3m）（いずれも直立消波ブロック式構造）については、エプロンとケーソン背後に10cm程度の段差（背後が低い）が見られたものの、岸壁法線やエプロンのコンクリート舗装に顕

著な変状は見られなかった。

また、須賀地区の防潮堤については、写真-6.2.2.18～写真-6.2.2.19に示すように、バラベットの傾斜・移動・転倒といった変状は見られず、ほとんど健全な状態であった。海側の水叩き部の舗装が剥がれているが、これは、地震動によって舗装にひび割れ等が発生し、その後の津波による揚圧力によって剥離したものと考えられる。

漁港地区の係留施設の被害状況を写真-6.2.2.20～写真-6.2.2.21に示す。写真-6.2.2.20に示すようなアスファルト舗装の損傷や写真-6.2.2.21に示すようなエプロンの湛水が広範囲にわたって見られるなど、比較的損傷の程度が大きかった。



写真-6.2.2.18 防潮堤（須賀地区）の状況



写真-6.2.2.19 防潮堤（須賀地区）の状況



写真-6.2.2.20 アスファルト舗装の亀裂



写真-6.2.2.21 エプロンの湛水状況

6.2.3 大船渡港

(1) 大船渡港における調査の概要

本調査は、図-6.2.3.1に示すように、大船渡港における主力な公共埠頭である野々田地区および茶屋前地区、ならびに、近年整備が進められている永浜地区にある主要な係留施設を対象とした。野々田地区の栈橋 (-7.5m) および栈橋 (-13m)、茶屋前地区の岸壁 (-10m)、永浜地区の栈橋 (-13m) を中心に、地震動による被害状況を主に目視により調べた。また、湾口防波堤についても、遠望からの目視により被害状況を調べた。

大船渡港全体として、釜石港と同様に、地殻変動の影響により地盤沈下が発生し、すべての施設の天端が沈下しているようであった。その量は、50cm程度と推察される。漁業関係者も、通常よりも天端が低いことを指摘していた。



図-6.2.3.1 大船渡港における主な調査対象施設

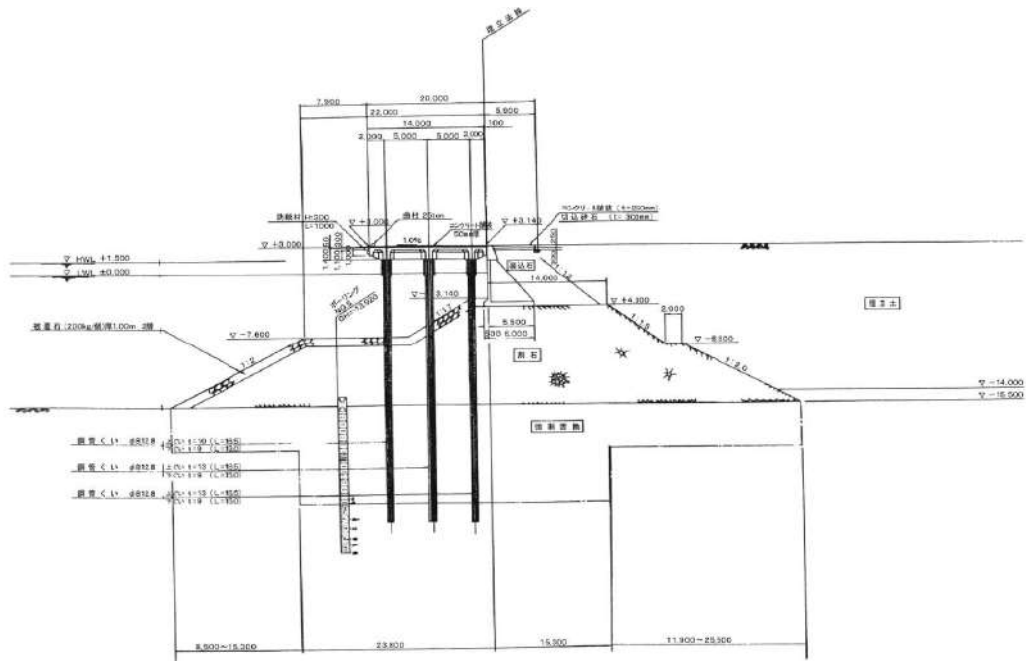


図-6.2.3.2 野々田地区栈橋 (-7.5m) の標準断面図



写真-6.2.3.1 栈橋法線の状況 (異状なし)



写真-6.2.3.2 栈橋ブロック間の相対ずれ

(2) 野々田地区栈橋 (-7.5m)

施設概要としては、構造形式は直杭式横栈橋で、土留部はL型ブロック構造となっている。天端高は+3.0mで、H.W.L.が+1.5m、L.W.L.が±0.0mである。標準断面図を図-6.2.3.2に示す。

設計条件としては、設計震度は、 $K_h=0.15$ で、対象船舶は貨物船5,000DWTである。上載荷重については、常時で $2.0t/m^2$ 、地震時で $1.0t/m^2$ である。栈橋延長は260mで、施設の完成は1987年である。

写真-6.2.3.1～写真-6.2.3.4に、野々田地区栈橋(-7.5m)の状況を示す。写真-6.2.3.1に示すように、栈橋法線には異状は見られなかった。ただし、建設当時

から側方流動などの懸念があり、栈橋上部工上のエプロンにおいて、写真-6.2.3.2に示すように栈橋本体の移動をモニタリングしていたようである。ブロック間の相対変位などから、今回の地震動によって栈橋本体が前面に数mm程度移動していたと推測される。また、写真-6.2.3.3に示すようにエプロン背後で10cm程度の沈下が発生していた。また、写真-6.2.3.4に示すように、部分的に鋼製の渡版が外れていたが、これは、津波による揚圧力によって外れたものと推測される。



写真-6.2.3.3 背後との段差

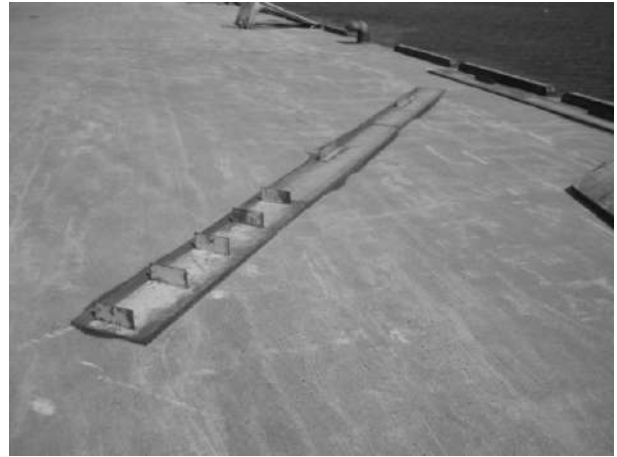


写真-6.2.3.4 外れた渡版

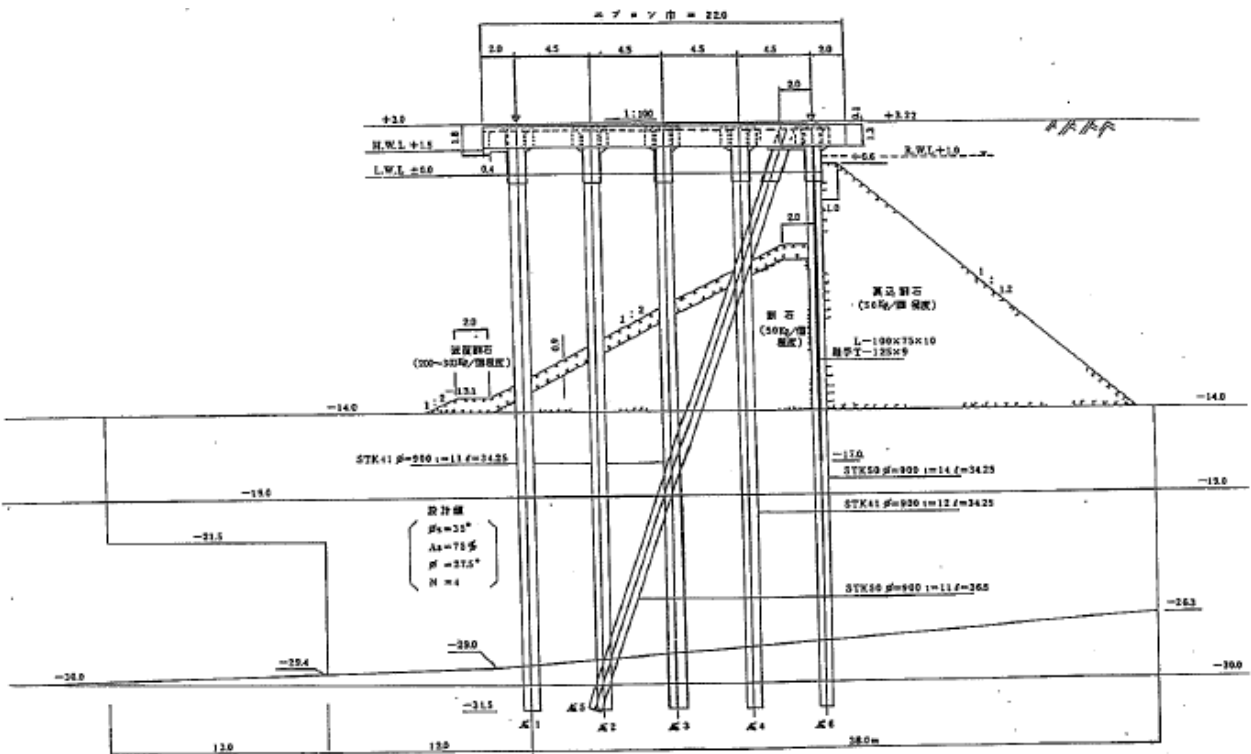


図-6.2.3.3 野々田地区栈橋 (-13m) の標準断面図

(3) 野々田地区栈橋 (-13m)

施設概要としては、構造形式は土留一体型横栈橋で、土留部は鋼管矢板と前方斜杭からなっている。天端高は+3.0mで、H.W.L.が+1.5m、L.W.L.が±0.0mである。標準断面図を図-6.2.3.3に示す。

設計条件としては、設計震度は $K_h=0.15$ 、対象船舶は50,000DWTである。上載荷重については、常時で $2.0t/m^2$ 、地震時で $1.0t/m^2$ である。栈橋延長は270mで、施設の完成は1989年である。

写真-6.2.3.5～写真-6.2.3.8に、野々田地区栈橋(-13m)の状況を示す。写真-6.2.3.5に示すように、栈橋本体の変状はまったく見られなかった。写真-6.2.3.6に示すように、エプロン背後で20cm程度の段差が見られたが、今回の地震で10cm程度の背後沈下が生じていたものと推測される。

ヤードについては、コンクリート舗装は多少の変状が見られたものの、使用に支障はない。写真-6.2.3.7に示すように、舗装が剥がれている箇所において、エプロン



写真-6.2.3.5 栈橋法線の状況（異状なし）



写真-6.2.3.6 背後との段差



写真-6.2.3.7 背後地のエプロン下の状況



写真-6.2.3.8 ハーバークレーンの状況

下を目視確認したところ、液状化の発生は確認できず、空洞化も生じていなかった。

栈橋背後のハーバークレーンに関しては、写真-6.2.3.8に示すように、津波の流れによってトラックやコンテナがクレーン下部にまとわりつくように存在していたが、クレーン本体に目立った損傷は確認されなかった。また、釜石港のクレーン同様にアウトリガーが展開されていた状態となっていた。

(4) 茶屋前地区岸壁 (-9m)

施設概要としては、構造形式は1バース分が栈橋、1バース分が柵式となっており、天端高は+3.0mで、H.W.L.が+1.5m、L.W.L.が±0.0mである。柵式部の標準断面図を図-6.2.3.4に示す。

設計条件としては、設計震度は、 $K_h=0.10$ で、対象船舶は10,000DWTである。岸壁延長は330mで、施設の完成は1バース目が1960年、2バース目が1985年である。

写真-6.2.3.9～写真-6.2.3.10に、茶屋前地区岸壁

(-9m)の状況を示す。栈橋部については、写真-6.2.3.9に示すように、変状はほとんど見られなかったが、写真-6.2.3.10に示すように、一部の渡版が外れていた。柵式部についても、本体に変状はまったく見られなかった。背後のエプロンにはひび割れ・陥没などの顕著な損傷が見られたが、今回の地震前から発生していたと思われる。

(5) 永浜地区栈橋 (-13m)

施設概要としては、構造形式は斜め組杭式横栈橋であり、上部工はPC桁、土留部はL型ブロック構造となっており、天端高は+3.0mで、H.W.L.が+1.5m、L.W.L.が±0.0mである。柵式部の標準断面図を図-6.2.3.5に示す。設計条件としては、設計震度は $K_h=0.15$ 、対象船舶は貨物船40,000DWT、上載荷重は常時で $2.0t/m^2$ 、地震時で $1.0t/m^2$ である。栈橋延長は260mで、供用開始が2009年である。

写真-6.2.3.11～写真-6.2.3.12に、永浜地区-13m栈橋の状況を示す。写真-6.2.3.11に示すように、エプロ

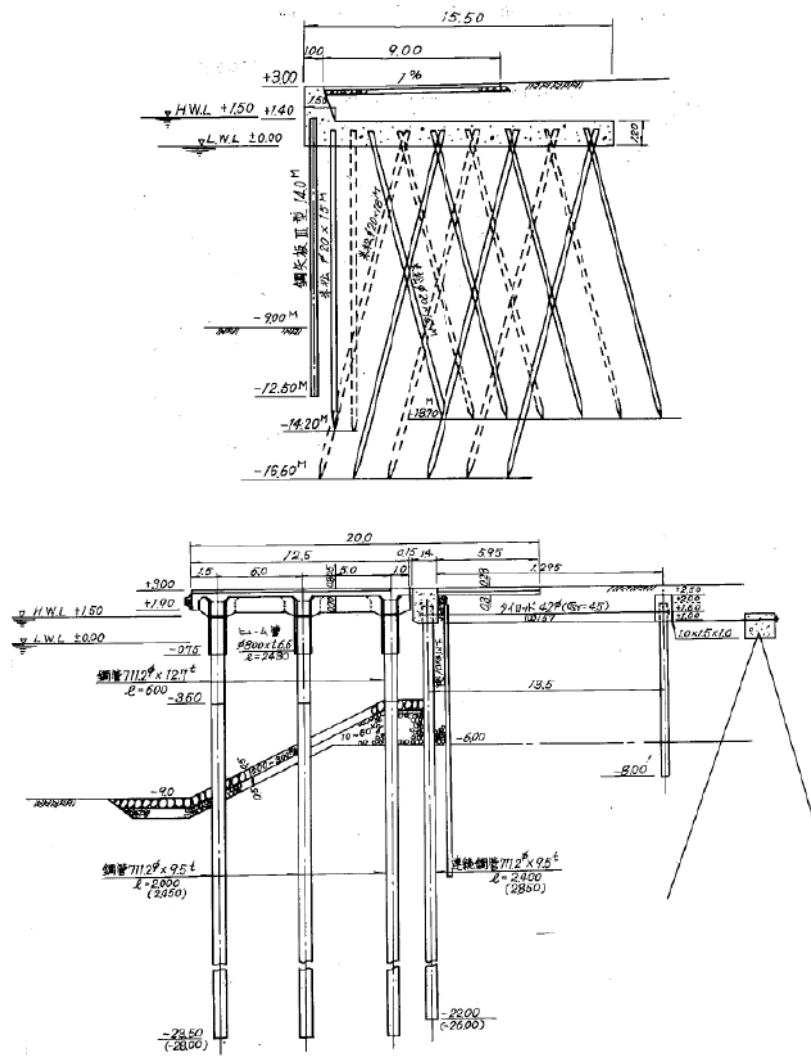


図-6.2.3.5 茶屋前地区岸壁 (-9m) の標準断面図



写真-6.2.3.11 栈橋法線の状況 (異状なし)

ン背後で 15cm 程度の段差が見られたものの、施設の健全度 (岸壁法線など) には問題が見られなかった。ただ



写真-6.2.3.12 渡版の外れ

し、写真-6.2.3.12 に示すように、大量の漂流物がエプロン上に堆積していたため、ほとんどの部分を確認でき

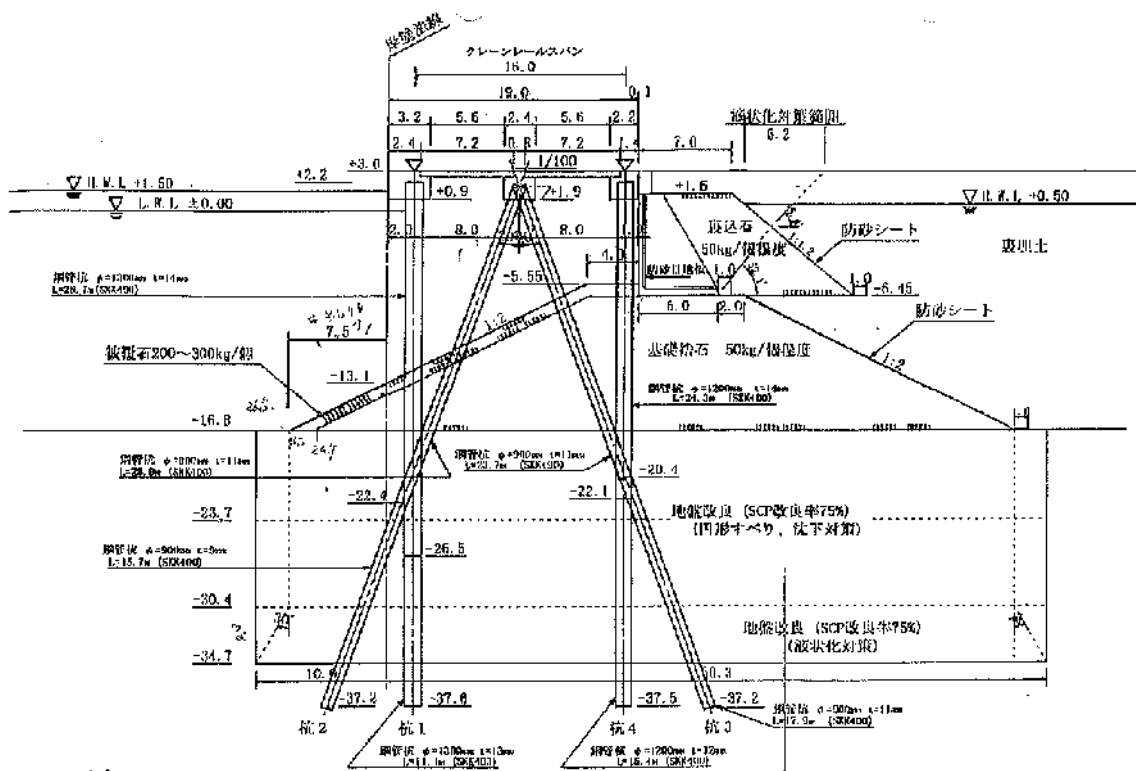


図-6.2.3.4 永浜地区栈橋 (-13m) の標準断面図



写真-6.2.3.9 背後との段差 (15cm 程度)



写真-6.2.3.10 エプロンの状況

なかった。

(6) 湾口防波堤

大船渡港の湾口防波堤について、遠望からの目視調査を行った。本防波堤は、南堤と北堤からなっており、南堤は全長 291m で、27 函のケーソンからなっており、北堤は全長 243.7m で、21 函のケーソンからなっている。開口部の潜堤は全長 201.7m で、鋼製セル+プレパック

トコンクリートで構成されている。

南堤および北堤の一部を除き、ほとんどのケーソンが水没していた。これらは、津波によって被災を受けたものと推測され、地震動によってどれほどの被災を受けていたのかは現時点では判断できない。

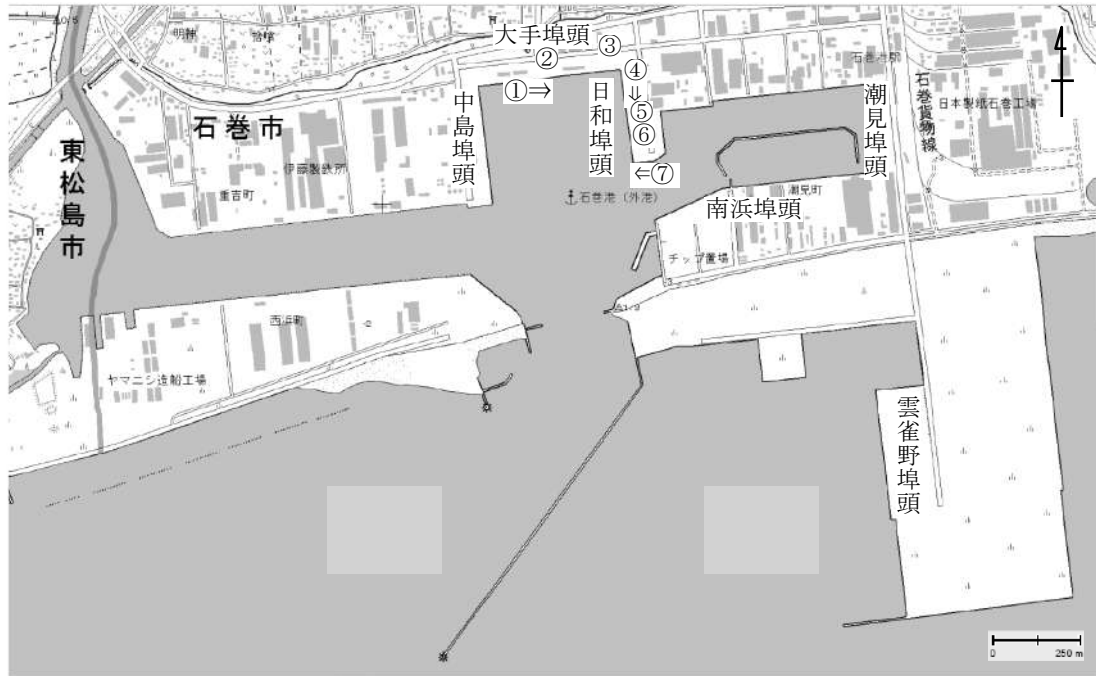


図-6.3.1 石巻港平面図

6.3 宮城県の調査結果

宮城県内の港湾空港施設については、石巻港、仙台塩釜港（仙台港区）、仙台空港を中心に目視による地震被害調査を実施した。

6.3.1 石巻港

石巻港は石巻市の北上川河口の西方約3kmに位置する重要港湾（昭和39年指定）である。石巻港の施設配置を図-6.3.1に示す。図中には後に示す写真の撮影場所が示してある（以下、図-6.3.2、6.3.3も同様）。津波による瓦礫のため、港内側、後背地からの中島、潮見、南浜および雲雀野埠頭への進入は困難であった。このため、大手埠頭と日和埠頭のみを踏査した。

岸壁天端に対して相対的に潮位が高かったが（平成23年3月16日（水）12:40頃確認）、岸壁全体の変状から見て大規模な液状化やはらみ出しによる沈下とは考えにくく、地震発生時の断層運動に起因するものと考えられる。

a) 大手埠頭

大手埠頭の東側3バース（延長320m）は矢板式岸壁（-5.5m）、西側2バース（延長260m）は栈橋式岸壁（-7.5m）である。両岸壁とも法線の直線性は保持されており、岸壁本体に甚大な損傷は見られなかった（写真-6.3.1）。

矢板式岸壁の荷捌ヤードに部分的な舗装の損傷および



写真-6.3.1 大手埠頭の岸壁法線（写真番号①）



写真-6.3.2 大手埠頭の荷捌ヤードの損傷（写真番号②）

沈下・陥没が確認されたが（写真-6.3.2）、舗装の健全な部分では平坦性が保たれていた。このような変状から、大規模な液状化の発生はなかったものと考えられる。沈下・陥没している部分は、舗装の損傷した部分が津波に



写真-6.3.3 大手埠頭棧橋部の舗装版の損傷
(写真番号③)



写真-6.3.4 日和埠頭の岸壁法線と背後の沈下
(写真番号④)



写真-6.3.5 日和埠頭のアンローダー用レールの沈下
(写真左が前面水深-9m側) (写真番号⑤)



写真-6.3.6 日和埠頭南側の荷捌ヤードの損傷
(写真番号⑥)

よる洗掘を受けたものと考えられる。

棧橋式岸壁についても大きな変状は見られなかった。棧橋背後の渡版部分で15~20cmの段差が認められた。また、西端の舗装板が揚圧力により外れ、陸側に移動していた(写真-6.3.3)。土留部の構造は不明であるが、棧橋部分は、杭頭部のコンクリートに亀裂等が認められず、概ね健全であると考えられる。

b) 日和埠頭

日和埠頭の構造形式は不明である。北側バース(延長185m)の前面水深は-10m、南側バース(延長165m)の前面水深は-9mである。岸壁法線とアンローダー海側レール間に、岸壁北端から南へ連続性のある沈下(最大1m程度)が認められた。また、レール間ではピッチ5m、最大沈下20cm程度の規則的な舗装面のうねりが見られた(写真-6.3.4)。今後の経時変化がなければ、吸出しの可能性は小さいと考えられる。埠頭に設置されていた3機の穀物用アンローダー(免震機構を有していない)のうち、2機は岸壁上に存在していなかった。残された脚の一部の状態から、これらは海中に倒壊したものと考えられる。前面水深-10mと-9mの境界部分で-9m側(南側)が沈下していた(写真-6.3.5)。ただし、レールの平面的な直線性は保持されていた。



写真-6.3.7 日和埠頭南端の護岸 (写真番号⑦)

日和埠頭南側の荷捌ヤードでは、60cm程度の沈下・陥没が見られた(写真-6.3.6)。剥離した舗装が散乱していたこと、照明用電柱が基礎部から抜けて倒壊していたことから、液状化による舗装の損傷および摩擦抵抗の減少の後、津波による洗掘を受けたものと推定される。日和埠頭南端の護岸では、若干のはらみ出しが生じていた(写真-6.3.7)。

6.3.2 仙台塩釜港(仙台区)

仙台塩釜港は仙台区と塩釜港区からなる特定重要港湾(平成13年指定)である。仙台区は仙台市中心部の西方約10kmに位置している。施設配置を図-6.3.2に示す。



図-6.3.2 仙台塩釜港（仙台港区）平面図



写真-6.3.8 高松埠頭の岸壁法線（写真番号①）



写真-6.3.9 高松埠頭エプロン背後の段差（写真番号②）

a) 高松埠頭

高松埠頭は鋼矢板式で延長240mの耐震強化岸壁(-12m)である。裏埋土はセメント系固化材により改良されている。法線の直線性、防舷材、係船柱は正常であった（写真-6.3.8）。荷捌ヤードが15cm～20cm沈下し、控え工（法線から18m）背後に段差が見られたが、舗装版は概ね健全であり（写真-6.3.9）、大規模な液状化は発生しなかったと考えられる。平成23年3月17日（木）16時頃には、九州地方整備局の海翔丸が接岸し、緊急支援物資、資機材等の荷下ろしを開始した。



写真-6.3.10 中野埠頭1号～2号岸壁の取付部エプロンの沈下（写真番号③）

b) 中野埠頭

中野埠頭は総延長1,165mの鋼矢板式岸壁である。東端の1号岸壁（延長240m）のみ前面水深が-12mで、2～6号の前面水深は-10mである。

1号岸壁では、穀物用アンローダーが脱輪していた。レールの直線性は保持されていたが、法線と海側レールの間の地盤が沈下していた。この部分は過去に沈下し、モルタル注入で補修されており、一部の注入痕が若干抜上っていた。また、荷捌ヤードが約20cm沈下していたほか、1号～2号岸壁の取付部で、エプロンが約20cm程度沈下していた。写真-6.3.10を見ると遠方の車止めの高さが低くなっていることが分かる。ただし、舗装の状況から大規模な液状化は発生しなかったと考えられる。

2号～4号岸壁では、控え工位置の沈下が少なく、背後側、法線側に緩く傾斜していた（写真-6.3.11）。エプロン部と荷捌ヤードの境界付近では10～20cmの段差、10～15cm幅の亀裂が発生していた（写真-6.3.12）。2号～4号岸壁では、法線のはらみ出しが見られたが（写真-6.3.13）、



写真-6.3.11 中野埠頭 2号~4号岸壁のエプロン部の沈下 (写真番号④)



写真-6.3.12 中野埠頭 2号~4号岸壁のエプロン部と荷捌ヤードの境界付近 (写真番号⑤)



写真-6.3.13 中野埠頭 2号~4号岸壁の法線 (写真番号⑥)

顕著ではなく、背後の変状と概ね整合していた。また、舗装がほぼ健全であった。これらのことから、大規模な液状化は発生しなかったと考えられる。

c) 雷神埠頭

雷神埠頭は鋼矢板式岸壁である。前面水深-7.5m, 3バース (延長390m) であったが、平成21年秋に前面水深-9.0mの2バース (延長440m) に増深, 延伸する工事が開始された (埠頭東端の延長部付近を残して施工は完了していたようである)。中央の220mは耐震補強岸壁で, 二段タイ材地下施工工法, および前面地盤の固化改良により補強されている。



写真-6.3.14 雷神埠頭の岸壁法線 (写真番号⑦)



写真-6.3.15 高砂埠頭 2号岸壁の岸壁法線 (写真番号⑧)

上部工直背後に5cm程度の段差が見られたが, 岸壁法線は直線性を保っており (写真-6.3.14), 荷捌ヤード舗装面に顕著な沈下や変状が見られなかった。このことから, 雷神埠頭においても大規模な液状化は発生しなかったと考えられる。

d) 高砂埠頭

高砂埠頭は鋼管矢板式岸壁で, 西側の延長270mの1号岸壁 (-12m) と東側の延長330mの2号岸壁 (-14m) からなる。2号岸壁は耐震強化岸壁である。

2号岸壁ではバース延長の中央付近で20cm程度のはらみ出しが見られた (写真-6.3.15)。クレーンのレールは水平に屈曲しており, 海側レール基礎が幾分海側に傾斜していた。海・陸レール間ではエプロン舗装版が40~70cm程度沈下しており, エプロン舗装版下に空洞が認められた。舗装版が70cm沈下した地点の空洞部分の地盤高さは, 舗装版上面から130cm程度であった。空洞の平面的な広がりには確認できなかったが, 海側レールから陸側5mの地点においても同程度の深さの空洞が確認された。同様の規模の空洞は, 海側レールと矢板上部工間においても確認された (写真-6.3.16)。東端隅角部では, 隅角部コンクリートに割裂が見られ, 地盤が2m以上沈下 (または土砂流出) していた (写真-6.3.17)。岸壁背後については, 散乱するコンテナや, 津波によると思われる堆積物のために, 舗装面の変状を詳細に調べることが困難であった



写真-6.3.16 高砂埠頭2号岸壁の
矢板上部工と海側レール間の空洞 (写真番号⑨)



写真-6.3.17 高砂埠頭2号岸壁隅角部の被災状況
(写真番号⑩)



写真-6.3.18 高砂埠頭2号エプロン背後の被災状況
(写真番号⑪)

が、エプロン直背後で比較的大きな沈下が見られた (写真-6.3.18)。当該岸壁は岩ズリで埋立てられており、地震時の揺すり込み沈下や粒子破碎について研究・検証が必要と考えられる。岸壁構造体の健全性が確認できた場合には、復旧作業による機能回復が可能であると判断された。また、マーシャリングヤードでは、背後緑地公園から向陽埠頭へ向かう築堤 (一部破堤、コンテナ流出) 付近において、数十センチから1m程度の不同沈下が見られた (写真-6.3.19)。

1号岸壁では、クレーンレール間の地盤が10cm程度沈下していたが、ほぼ健全と判断された。係留部に試験施工中のレール免震は、陸側に10cm程度移動しており、作動



写真-6.3.19 高砂埠頭マーシャリングヤード
の被災状況 (写真番号⑫)



写真-6.3.20 高砂埠頭1号岸壁の免震レール
(写真奥側が作動, 写真番号⑬)



写真-6.3.21 中央公園の被災状況 (写真番号⑭)

したもの想定された (写真-6.3.20)。

岸壁に設置されていたクレーンについては、免震装置付のクレーン (2号岸壁上に二機) では免震装置が作動しており、脱輪も見られなかった。非免震のクレーン (1号岸壁上に二機) についても脱輪は見られず、目視レベルでは構造部材に変状はなかった。

e) 中央公園

仙台港区中央公園は港奥部に位置しており (図-6.3.2)、延長350mの直立消波構造の護岸を有する。護岸は南側部分が崩壊・水没している (写真-6.3.21)。また歩道ボードウォークがめくれ上がっており、揚圧力が作用したも



図-6.3.3 仙台空港平面図



写真-6.3.22 仙台空港エプロン部の沈下 (写真番号①)



写真-6.3.24 仙台空港 B 滑走路上の亀裂 (写真番号③)



写真-6.3.23 仙台空港取付誘導路 B-6 付近の場周道路被災状況 (写真番号②)

のと思われる。目撃者の証言によると、本護岸は地震時に崩壊したとのことであった。崩壊部分の直背後に展覧用の築山があることから、地震時土圧が大きく作用したものと想定された。

6.3.3 仙台空港

仙台空港は、宮城県名取市と岩沼市に跨って位置する国管理空港で、二本の滑走路（A滑走路：1,200m、B滑走路：3,000m）を有している。空港の施設配置を図-6.3.2に示す。東方約1kmに海岸線がある。本調査では、エプロン東部およびB滑走路を中心に踏査を行った。

エプロンでは東部の2番スポットおよび2～3番スポット間前方の舗装に沈下が見られ（写真-6.3.22）、舗装版に亀裂が生じていた。亀裂は、それぞれ直径40m程度の円形、40m×25m程度の楕円形であった。沈下した部分に堆積した砂は津波によって運ばれた可能性が高く、液状化の痕跡を確認することはできなかった。しかし、液状化が発生していた場合には、舗装版下に空洞が生じている可能性もあるため、確認調査が必要と考えられる。

滑走路東端の取付誘導路B-6付近では、場周道路の盛土が崩壊しており（写真-6.3.23）、舗装の一部が取付誘導路まで流されていた。場周道路の当該部分は、以前の地震において液状化の発生が報告されており、今回も液状化によって崩壊し、津波によって被害が拡大したものと考えられる。

滑走路は、一部に軽微な亀裂が発生していたが（写真-6.3.24）、当面の暫定供用に支障はないものと判断される。確認された亀裂のうち、滑走路東端から1,200m付近のものに4～5mm程度の段差および目開が認められたほかは、横ずれ、段差、目開は認められなかった。木引堀のボックスカルバート付近は液状化対策が施されている。対策工法は、高圧噴射攪拌工法および浸透固化処理工法である。改良体は、カルバート直近から周辺部に向かっ



写真-6.3.25 仙台空港 B 滑走路摺付け改良部の状況
(写真番号④)

て改良深度を浅くする摺付け形状となっている。写真-6.3.25は摺付け改良部の状況で、滑走路の平坦性が保持されていることが分かる。この部分の舗装に亀裂が見られたが、舗装体の補修が予定されていたこと、舗装の平坦性が良好なことから、この亀裂は経年劣化によるものと思われる。一方、県道地下道のボックスカルバート付近も同様の対策が実施予定であったが、地震時、擦付け改良は未着手であった。現地担当者によると、擦付け改良予定部分が沈下しているとのことであったが、目視では判断できない程度であった。今後の測量による確認が望まれる。木引堀で擦付け改良の効果が認められたことから、県道地下道のボックスカルバート付近においても、予定通り擦付け改良の実施が望ましい。

また、緑地帯の対策として、止水壁の構築およびポンプアップなどを実施する際には、舗装構造への影響を評価した検討および継続的な観測が必要と考えられる。

6.3.4 その他

今回の被災調査では、前述の港湾・空港の他に仙台塩釜港（塩釜港区）、女川漁港を踏査した。以下、その概略を示す。

a) 仙台塩釜港（塩釜港区）

仙台塩釜港塩釜港区は、松島湾内、塩竈市中心部に對して北西に位置している。塩釜港区の西埠頭観光棧橋には、遠隔操作で閉鎖できる陸閘がある。堤内側に洗掘が見られるが（写真-6.3.26）、写真-6.3.27に示すように正常に作動していた。今後同様の施設については、基礎の充実・洗掘防止策の検討が必要と考えられる。

b) 女川漁港

女川漁港は女川湾奥に位置する第三種漁港である。構造形式は不明であるが、おそらく棧橋構造であると思



写真-6.3.26 仙台塩釜港（塩釜港区）
観光棧橋堤内側の洗掘



写真-6.3.27 仙台塩釜港（塩釜港区）観光棧橋の陸閘



写真-6.3.28 女川漁港の岸壁直背後の様子



写真-6.3.29 転倒した4階建ビル（女川漁港後背地）

れる。渡版が破損・流失していたほかには、岸壁本体に大きな変状は見られず、法線の直線性も保たれていた（写真-6.3.28）。写真-6.3.29は、漁港岸壁から約60m内陸部

に建設されていた4階建ビルである。このビルは転倒、約23m陸側に移動していた。ビルの基礎杭（直径約400mm、長さ5000mm）は16本であり、概ね杭頭部で破断していたが、1本は杭頭部分の鉄筋でぶら下がっている。複数の被災シナリオが考えられるが、地震動による基礎地盤内の過剰間隙水圧上昇に伴い、杭の周面摩擦力が極端に小さくなり、ビルの転倒時に杭が引き抜けたものと想定される。近隣の施設において海側基礎部に洗掘が確認されていることから、津波波力、浮力および洗掘された部分からの揚圧力により、転倒に対して周面摩擦力の低下した杭に引き抜けが生じた地震と津波の複合災害事例と考えられる。防潮堤・水門・陸開・津波避難ビルなどの施設設計の際に、基礎地盤の地震時特性・洗掘特性等について考慮する必要性が示唆された。

6.4 福島県の調査結果

福島県内の港湾施設として、相馬港、小名浜港を調査した。

6.4.1 相馬港

相馬港は、福島県相馬市に位置する重要港湾のひとつであり、福島県北部、宮城県南部および山形県南部の物流を担っていると同時に、相馬共同火力発電所（石炭火力発電所）が立地したエネルギー港湾の位置付けにある。

相馬港南端から図-6.4.1.1に示すように1号ふ頭、2号ふ頭、3号ふ頭（整備中、一部供用中）、4号ふ頭（計画中）、5号ふ頭（石炭）となっている。

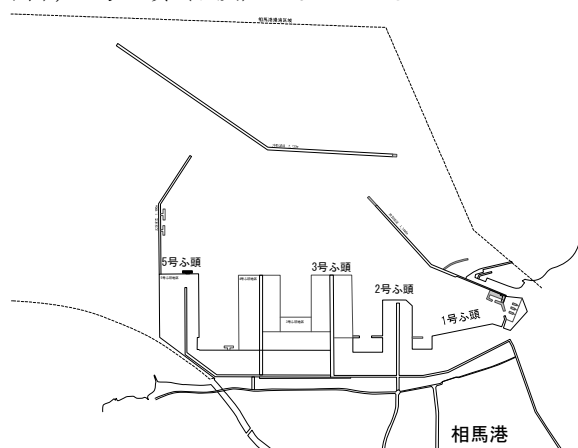


図-6.4.1.1 相馬港平面図

(1) 1号ふ頭の被災状況

鋼矢板岸壁(-5.5m) 1-1の法線の直線性は確保されている。図6.4.1.2に示すように1-1と1-2の隅各部において矢板継手が破損し開口しており、エプロン舗装版に亀裂、沈下がみられる。



図-6.4.1.2 隅角部の破損状況

破損範囲は隅角部から28m×17mの三角形の形状を示しており、陥没量は1.7m程度である。地震時に裏埋土に液状化が生じ開口した可能性が大きい、その後の津波

の作用により洗掘が生じたため大規模な変状となったものと想定される。鋼矢板岸壁(-5.5m) 1-2 エプロン背後15m付近において地盤面が約105cm沈下、エプロン舗装下に空洞が認められる。裏込砂が隅角部の亀裂から流失したものと考えられる。法線にはらみ出しが見られるが、はらみ出量については測量により特定する必要がある。鋼矢板岸壁(-7.5m)1-3～1-5 全長390mのうち、1-5～1-4に約140m区間で緩やかにはらみ出しているが、矢板継手が破損しており開口している。開口部より裏埋土が流失しており、幅30m×15mの範囲で舗装版が破損、最大2.8m程度陥没している。



図-6.4.1.3 矢板岸壁の破損・洗掘状況

当該地点においてタイ材（タイワイヤーあるいはタイロープ）の破断（図-6.4.1.3）が確認された。残り250m程度は直線性を保ったままはらみ出している。地震時に液状化が発生し、舗装面に損傷が発生したことが想定されるが、これに津波の作用が加わり被害程度を大きくしたものと考えられる。特に破損地点背後にサイロ2棟が建設されており、サイロ間の位置で破損していることから、津波の引波時に当該地点の流速が大きくなり、洗掘されるとともに、水圧差・波圧によりタイ材が破断したものと考えられる。1-5と1-6の隅角部においても、矢板継手の破損、裏埋土が流失している。タイ材が法線から概ね2m程度の部分で破断しており、控え組杭頭部が路頭している。陥没量は約2.8m。15m×20m程度の範囲で舗装版が陥没している。1-6側から15mが矢板式の取り付け部を構成している。直立消波岸壁(-5.5m)1-6 法線の直線性は保たれているが、海側に傾斜しており、60cm程度はらみ出しているものと考えられる。

(2) 2号埠頭

直立消波岸壁(-5.5m) 2-1 法線は概ね直線性を保っているが背後エプロン部舗装目地に20cm程度の亀裂が認められる。鋼矢板岸壁(-7.5m)2-2～2-3 矢板継手部に開口

部が4か所認められ、裏埋土が流出しており、1.6～2.2mの陥没であった(図-6.4.1.4)。目視によれば法線から約2mの位置でタイロッドが破断しているが、矢板側のリングジョイントは健全と判断される。2-3においてタイヤマウント式多目的クレーンが海側に転倒しているが、過去の地震被害事例では地震動による転倒事例が無いことから、津波作用による転倒と考えられる。



図-6.4.1.4 矢板岸壁の破損状況

法線から-20m部分で控え直杭の杭頭が路頭している。2-3と直立消波護岸の隅角部に若干の開きが認められ、若干はらみ出している。70m護岸と200m護岸の隅角部において陥没が見られる。

鋼管矢板式岸壁(-12m)との隅角部で直立消波ブロック1段および上部工が転倒し、10m程度陸側に移動しており、エプロン舗装面に摩擦痕が認められる。直立消波ブロックは開口しており、津波による揚圧力により破損したと考えられる(図-6.4.1.5)。



図-6.4.1.5 直立消波ブロック式護岸 移動・転倒したブロック

鋼管矢板式岸壁(-12m)控え組杭 法線の直線性は概ね保たれているが、波除堤付け根部で20cm程度海側に移動している。上部工直背後とエプロン部の10～20cmの段差。法線から20～25m位置において段差30cm程度。第2船だまり(-4m)北西隅角部において南北方向に目地の開き50cmが認められる。

(3) 3号埠頭

整備中であることから、津波作用によりパラペットや上部工が転倒・破損・陸側に移動している。



図-6.4.1.6 隅角部のケーソンの決壊

図-6.4.1.6に示すように隅角部ケーソンが決壊している。整備中であることから津波引き波時の水圧差等で決壊したものと想定される。また、埋立作業用の仮護岸(ブロック式)が崩壊したため、海浜状態となっている。

(4) 5号ふ頭

相馬共同火力発電所の専用施設であり、十分な調査は出来なかったが、地震時に石炭船が接岸しており荷役中であった。津波による水位上昇に伴い石炭船が浮き上がったため、図-6.4.1.7の右側2機のアンローダーが破損している。また石炭船(写真左端)は陸側に流されて座礁、船体が折れている。



図-6.4.1.7 アンローダーの状況。左端は座礁した石炭船

(5) まとめ

相馬港においては過去の地震において液状化現象が発生しており、今回も液状化現象が発生した可能性は大きい。但し、約10mの津波が来襲していることから、明確な液状化現象の痕跡を確認することは出来なかった。矢板岸壁の「隅角部の破損」、「直線部の破損」については、液状化による矢板本体に損傷、エプロン部に変状が発生した後に、エプロン部の変状に起因した津波による洗掘が発生し矢板背後の土砂が流失するとともに、根入部の洗掘も加わり、露出した矢板が引き波時の波圧・水圧差により大規模に開口したものと考えられる。

6.4.2 小名浜港

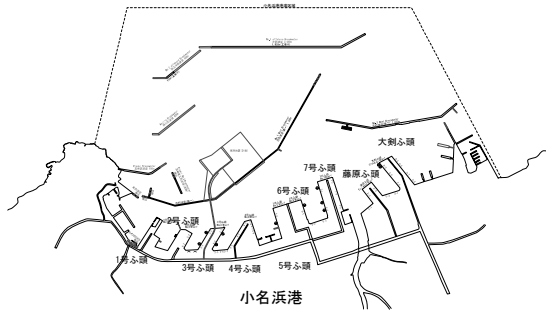


図-6.4.2.1 小名浜港平面図

小名浜港は福島県いわき市小名浜に位置する、福島県最大の港湾であり、物流とともに港湾施設のリニューアルによる観光拠点の位置付けにもある。図-6.4.2.1に示すように北から1号ふ頭(いわき市観光物産センター、遊覧船発着所)、2号ふ頭(ふくしま海洋科学館「アクアマリンふくしま」)、3号ふ頭(主に石炭荷役、バルク用クレーン設置、小名浜東港へのアクセス橋梁アプローチ部、橋脚施工中)、4号ふ頭(化学薬品用ローディングアーム設置)、5・6号ふ頭(多目的国際ターミナル、耐震強化岸壁(緊急物資輸送))、7号ふ頭(鉱物資源荷役、バルク用クレーン設置)、藤原ふ頭(木材専用)、大剣ふ頭(コンテナバース、コンテナクレーン設置)、小名浜東港(ポートアイランド、約50haの人工島、整備中)から構成される。観光施設の1号、2号ふ頭を除く施設について調査を実施した。

(1) 3号ふ頭

矢板式岸壁(-10m) 3-2 石炭用アンローダーが設置されている。図-6.4.2.2に示すように岸壁法線が最大50cm程度はらみ出しており、海側レールと陸側レール間のエプロン舗装版が30cm程度沈下している。陸側レール背後において1.0m程度の段差が発生している。



図-6.4.2.2 陸側レール部分の段差

連続している矢板式岸壁(-10m) 3-3 岸壁法線が最大35cm程度はらみ出している。控えは斜組杭であり、陸側レール基礎を兼ねているが、押込杭・引抜杭の杭長が等

しく、押込杭が支持層に根入れされていない可能性がある。エプロン部に20cm程度の沈下が見られ陸側レール基礎背面で約1mの段差が確認された。

地震時に液状化が発生したことにより、岸壁が変位し、過剰間隙水圧の消散による沈下が発生したものと考えられる。ふ頭先端の隅角部は洗掘により大きく陥没している。現地作業員からのヒヤリングによると大規模な液状化現象が発生したとのことである。

(2) 4号ふ頭

矢板式岸壁(-10m) 4-2 140m区間の法線は概ね直線性が保たれているが、図-6.4.2.3に示すようにケーソン式岸壁との境界部分約10mの区間において若干のはらみ出しが確認された。ケーソン式岸壁と矢板式岸壁との境



図-6.4.2.3 構造変化位置での法線の出入り

界部でエプロン舗装版(コンクリート舗装)に浮き上がりが確認された。ケーソン肩を中心として背後が沈下したため、境界部に若干の浮き上がりが生じている。

(3) 5号ふ頭

ケーソン式岸壁(-12m) 耐震強化岸壁(特定、緊急物資輸送) アンローダーが設置されている。岸壁法線は最大50cm程度はらみ出している(図-6.4.2.4)。ケーソン目地部でアンローダーレールが変形しており、アンローダーの運用には支障がある。



図-6.4.2.4 エプロン舗装部の変状

但し、本施設は緊急物資輸送用の耐震強化岸壁であり、その機能は確保されていると判断される。

(4) 6号ふ頭

ケーソン式岸壁(-14m) 6-1 石炭用アンローダー専用岸壁でありベルトコンベア設置されている(図-6.4.2.5).



図-6.4.2.5 エプロン部の変状

法線がはらみ出しており、最大約 60cm 程度と想定される。海側レール基礎とエプロンの境界部に亀裂が発生しており、コンクリート舗装版がケーソン肩を中心として背後が沈下したため、境界部で浮き上がりが生じている。陸側レール背後で50cm程度の段差が発生している。ケーソン目地部付近でレールにゆがみが見られる。先端護岸(直立消波ブロック)との隅角部で護岸が2m程度海側にせり出しており、背後が陥没(図-6.4.2.6)している。護岸のブロック目地に30cm程度の開きが確認された。



図-6.4.2.6 先端護岸背後の沈下・段差

また護岸背後の道路のアスファルト舗装が波打っており、液状化現象の発生の可能性が大きいと判断される。

(5) 7号ふ頭

ケーソン式岸壁(-13m) 7-1 鉱物資源用アンローダーが設置されておりベルトコンベアも整備されている。法線は緩やかにはらみ出しており、最大 30cm 程度と想定される。陸側レール基礎は直杭で支持されているが裏込石施工後に打設されたものと考えられ、支持層まで打設されておらず、裏込石部分で打止めされている。陸側レール天端が最大20cm程度沈下しており、最大沈下地点は、

岸壁のはらみ出し量が最大(30cm程度)の位置と調和的である(図-6.4.2.7)。



図-6.4.2.7 エプロン部・陸側レール部の状況

ケーソン式岸壁(-13m) 7-2 アンローダー専用岸壁 7-1と同様の変状であるが、はらみ出し量の最大値が90cm程度あることから、沈下量(最大値50cm程度)が大きくなっている。海側レール・陸側レールがうねっており、沈下も生じている。陸側レール基礎の直杭が支持層に根入れされていないことから、変状の大きな部分において、ボアホールカメラ等による健全度の確認をすることが必要と考えられる。

(6) 藤原ふ頭

ケーソン式岸壁(-12m) F-2 法線の直線性は、若干のはらみ出しがあるものと概ね保たれていた。エプロン舗装版(無筋コンクリート)がケーソン肩を中心として背後が沈下したため、境界部で浮き上がりが生じている(図-6.4.2.8)。



図-6.4.2.8 エプロンの変状

法線背後30m付近に既設ケーソン(幅8m、高さ9m)が残置されていたため、同様の構造形式のF-3と比較して被災程度は軽微であったが、若干の不同沈下がみられる。

ケーソン式岸壁(-10m) F-3 法線は緩やかにはらみ出し

ており最大約 1m. F-2 と同様にエプロン舗装版（無筋コンクリート）がケーソン肩を中心として背後が沈下したため、境界部で浮き上がりが生じている。被災程度は F-3 と比較して大きい。

(7) 大剣ふ頭

ケーソン式岸壁(-10m) O-4 コンテナバース 法線の直線性は概ね保たれており、最大 20cm 程度はらみ出ししている。海側レール基礎とエプロンの境界部に亀裂が認められ、エプロン舗装版（無筋コンクリート）がケーソン肩を中心として背後が沈下したため、境界部で浮き上がりが生じている。陸側レールが支持層に根入れされた直杭基礎であることから、エプロン海側・陸側に段差が生じている。コンテナクレーンの海側脚が変形（図-6.4.2.9）していることからレールスパンが拡大していると考えられる。陸側レール基礎の直杭の健全性が確認された場合には、海側レール基礎の打換により修復できるものと考えられる。



図-6.4.2.9 海側レールの損傷およびエプロン部の変状

(8) まとめ

エプロン部舗装が無筋コンクリートである場合、地震による壁体の海側への変位、裏埋土の沈下（液状化や揺すり込み沈下など）に伴い、舗装直下に空洞が発生している可能性がある。このため空洞調査を実施することが望ましい。

既往地震被害事例では、ケーソン式岸壁の隅角部は比較的安定していた。一方、今回は隅角部の被災程度が大きいことが特徴と考えられる。原因として、津波による作用が考えられる。すなわち、地震動により液状化等が発生し、エプロン舗装部やケーソン目地部に変状が発生し、その後に津波が来襲、エプロン部の土砂が洗掘されるとともに、基礎部の地盤・マウンド等が洗掘されたことにより安定性が低下したものと考えられる。これは地震と津波の複合災害と考えられ、今後検討が必要と考えられる。

6.5 茨城県の調査結果

茨城県では茨城港、鹿島港の2つの港湾を調査した。茨城港は、2008年に日立港、常陸那珂港、大洗港の3つの港が統合された重要港湾で、それぞれ正式には茨城港日立港区、茨城港常陸那珂港区、茨城港大洗港区となっている。これらのうち、茨城港常陸那珂港区と鹿島港は国の直轄事業により整備が進められている港である。図-6.5には各港の位置関係を示す。



図-6.5 茨城県の各港湾とその周辺

6.5.1 茨城港日立港区

(1) 日立港区の概要

図-6.5に示したように、日立港区は茨城県の北部に位置する港で、久慈川の河口の北側に位置しており、図-6.5.1.1に示すように、第1埠頭から第5埠頭までの5つの埠頭があるが、第3埠頭は海面処分用地となっており他の埠頭よりも岸壁は未整備の状況である。調査は第3埠頭を除く4つの埠頭で行った。



図-6.5.1.1 茨城港日立港区調査位置図

(2) 第1埠頭の被災状況

第1埠頭では、岸壁(-7.5m)、先端護岸部、岸壁(-10m)を調査した。

a) 岸壁(-7.5m)：重力式（ケーソン式）①

法線の直線性は概ね保たれている。ケーソンと裏込め境界部分のエプロンコンクリート版に亀裂が生じ山形に折れて背後が若干沈下したものと考えられるが、応急復旧されていた。背後エプロンの亀裂の積算から概ね50cm程度はらみ出しているものと推定される。

b) 先端護岸②

東隅角部においてエプロンコンクリート舗装が散乱、沈下している。フェンスが海側に倒れている。-7.5m岸壁との隅角部には開口部が認められ水面が目視できる。背後エプロンコンクリート版が散乱している。

c) 岸壁(-10m)：重力式（ケーソン式）③

法線の直線性は概ね保たれているが、一部ケーソン間に数センチの出入が生じており、荷役機械レールに屈曲が見られる。ケーソンと裏込め境界部分のエプロンコンクリート版に亀裂が生じ山形に折れて背後が若干沈下している。背後の石炭用アンローダーは揺脚であり、目視の範囲で損傷は認められないが、先端護岸部との隅角部近くでレール基礎部に30cm程度の段差が生じている。また、この先端護岸隅角部においては大きな陥没が発生しているが、ブロック間に開口部があることから、地震後の津波の引き波によって空洞が拡大したと考えられる。当該部分のフェンスは直立している。

(3) 第2埠頭の被災状況

第2埠頭では、岸壁(-9m)、先端護岸部、岸壁(-7.5m)を調査した。

a) 岸壁(-9m)：構造形式不明④

法線の直線性は概ね保たれている。エプロン下部に既設構造物があるものと推定され、この部分以外が約20cm程度沈下している。

b) 先端護岸⑤

消波工が設置されていたが、フェンスが海側に倒れ、アスファルト舗装がめくれて散乱している。

c) 岸壁(-7.5m)：重力式⑥

法線は概ね直線性を保っているが、背後の亀裂の積算から1m程度はらみ出していると推定される。エプロン下部に既設構造物があると推定され、この部分以外が約50cm程度沈下している。先端護岸との隅角部の異形ケーソンが海中に流失し水没し、背後の裏埋土が大規模に流失している(写真-6.5.1.1)。これは、津波によりマウンド部・マウンド基礎部が洗掘されたことによるものと推定される。



写真-6.5.1.1 第2埠頭重力式岸壁(-7.5m)隅角部
(2011年4月14日撮影)

(4) 第4埠頭の被災状況

第4埠頭では、岸壁(-12m)、先端護岸部、岸壁(-10m)を調査した。

a) 岸壁(-10m)：重力式(ケーソン式)⑦

法線の直線性は保たれているが、エプロン部の亀裂幅を積算すると概ね50cm程度はらみ出しているものと推定される。ケーソンと裏込め境界部分のエプロンコンクリート版に亀裂が生じ山形に折れて背後が沈下している。杭で支持されたレール基礎部(現在は使われていない)と比較して、エプロンが50cm程度沈下している。また、

北側隅角部の異形ケーソンが海中に流失して水没し、背後の裏埋土が大規模に流失している(写真-6.5.1.2)。これは、津波によりマウンド部・マウンド基礎部が洗掘されたことによるものと推定される。背後土砂の流失量は大きく、荷役機械のレール基礎の直杭が露出していた。



写真-6.5.1.2 第4埠頭重力式岸壁(-10m)隅角部
(2011年4月14日撮影)

b) 先端護岸部(直立消波式護岸)⑧

フェンスが海側に倒れており、アスファルト舗装がめくれて散乱している。

c) 岸壁(-12m)：重力式(ケーソン式)⑨

法線は若干はらみ出しており、ケーソンの出入りはあまりないが、一部陸側ケーソン目地が10cm程度開いており、海水面が目視できた。ケーソン肩部とコンクリート舗装目地がほぼ同じ位置であったことから、コンクリート舗装版に大きな亀裂は生じていないものの、ケーソン部とコンクリート舗装部の境界で1m程度の段差が生じている(写真-6.5.1.3)。



写真-6.5.1.3 第4埠頭重力式岸壁(-12m)背後
(2011年4月14日撮影)

(5) 第5埠頭の被災状況

第5埠頭では、先端護岸、岸壁(-12m)、岸壁(-10m)、第一小型船溜り、第二小型船溜りを調査した。

a) 岸壁(-10m)：重力式(ケーソン式)⑩

法線は矢板岸壁との境界部分を中心にゆるやかにはらみ出しており、境界部分でケーソン側が海側に約6cm移動している。ケーソンと裏込め境界部分のエプロンコンクリート版に亀裂が生じ山形に折れて背後が沈下しており、ケーソンはやや海側に傾いている。背後の車両置き場(アスファルト舗装)部分に一部陥没が見られる。

b) 先端護岸⑪

フェンスが海側に90度倒れている。背後舗装が一部流失している。

c) 岸壁(-12m)：矢板式⑫

法線は概ね直線を保っているが、上部工と背後舗装版間に20cmから30cm程度の段差があり、10cm程度の開きが認められた。コンクリート舗装版の背後の車両置き場(アスファルト舗装)は概ね平坦性を保っていたが全体的に沈下しているものと考えられる。

d) 第一小型船溜⑬

自立矢板式物揚場(-4m)の南西隅角部に25cm程度の法線のズレが認められた。

e) 第二小型船溜⑭

自立矢板式物揚場(-2m)の南東隅角部が大きくはらみ出し(2m程度)しており、背後が沈下している。エプロン舗装版が一部めくれ上がっている。西側の物揚場の法線が湾曲しながら大きくはらみ出している。

6.5.2 茨城港常陸那珂港区

(1) 常陸那珂港区の概要

図-6.5に示したように、常陸那珂港区は茨城県の最北部にある日立港区と中央部に位置する大洗港区の中間に位置する港である。常陸那珂港は、中核国際港湾に位置づけられ、コンテナターミナルの整備が進められている。また、常陸那珂有料道路の常陸那珂 I.C.が南埠頭の近くにあり、東京電力の常陸那珂火力発電所が北側に立地している。図-6.5.2.1に示すように、北埠頭、中央埠頭、南埠頭の3つの埠頭があり、北埠頭に外貿と内貿、中央埠頭と南埠頭は内貿のみであるが、中央埠頭には耐震強化岸壁が整備されている。

調査は上記の北埠頭、中央埠頭、南埠頭の3埠頭について行った。

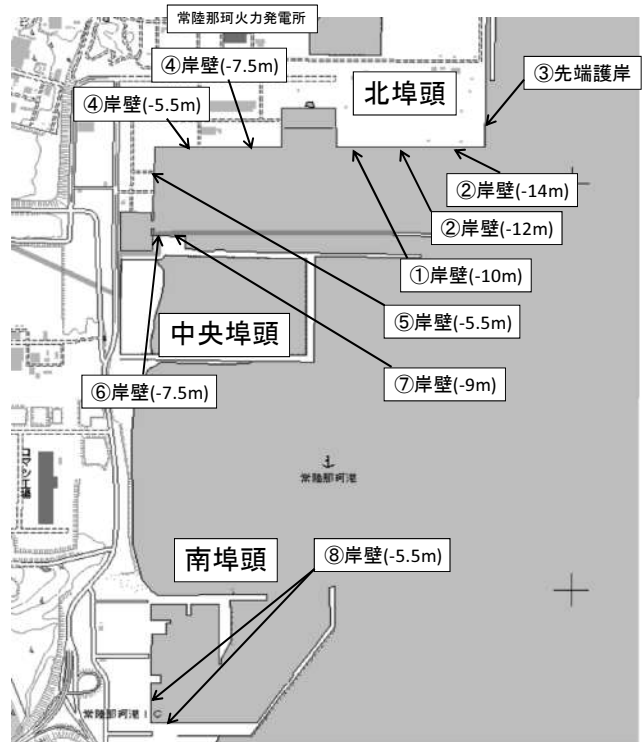


図-6.5.2.1 茨城港常陸那珂港区調査位置図

(2) 北埠頭の被災状況

北埠頭では、岸壁(-10m、-12m、-14m)、先端護岸部、岸壁(-7.5m、-5.5m)を調査した。

a) 岸壁(-10m)：重力式(ケーソン式)①

ケーソン毎に水平移動量が異なるため法線に凸凹が生じているが、全体的に海側にはらみ出している。ケーソン肩部と裏込め境界部でコンクリート舗装版に亀裂が生じ、山形に折れ、背後が沈下している。

ケーソン-クレーン陸側基礎の間は岩ズリが埋め立てに使用されており、1m程度沈下している。砂は見られたが、津波で流されてきた可能性があり、岩ズリに液状化が発生したかは不明である。クレーン陸側基礎よりも背後には多量の砂があり(写真-6.5.2.1)、また舗装には多数の亀裂があり、激しい液状化が発生したものと思われる。

クレーン海側レールはケーソン個々の相対的な変位の差に伴って湾曲している。クレーン陸側レールは杭で支持されているため鉛直の沈下はないと考えられ、水平への変位は海側レールほどではないが、ケーソンおよびその背後地盤の水平変位に引きずられてやや変位していると思われる。



写真-6.5.2.1 北埠頭重力式岸壁(-10m)多量の噴砂
(2011年3月15日撮影)



写真-6.5.2.2 北埠頭重力式岸壁(-12m)レールの湾曲
(2011年4月13日撮影)

b) 岸壁(-12m, -14m)：重力式(ケーソン式)②

-12m～-14m 岸壁のケーソン断面変化部において、25cm程度の海側への変位の差が発生しており、これは設計水深の違いが原因と思われる。また、背後が大きく陥没しており、1.7m程度の沈下量になっている。陸側レール部においては5cm程度の変位差によりレールが湾曲している(写真-6.5.2.2)。裏埋土が岩ズリであり、液状化は発生しなかったものと考えられるが、地震時にケーソンの海側への変位による沈下に加えて揺すり込み沈下が発生したものと考えられる(写真-6.5.2.3)。

コンテナクレーンが2機設置されており、先端部に近いクレーンは海側の1コーナー車輪がすべて脱輪していた。脚が浮き上がっている間に、ケーソンが海側に移動し、レール中央部に着地したことが塗料痕により確認できる。再度浮き上がっている間にケーソンが移動したため最終的に陸側に脱輪したものと推定される。脱輪していないクレーンは車輪フランジとレールが接触しており又割状態であることが推定される。



写真-6.5.2.3 北埠頭重力式岸壁(-14m)背後の沈下
(2011年4月13日撮影)

c) 先端部護岸③

護岸背後に1m程度の段差があるが、護岸法線は直線を保っている。また、上部工コンクリート面に直接アスファルト舗装が施工されていることから、栈橋構造であると推定される。背後マーシャリングヤード部の舗装には不同沈下や舗装のめくれが生じており、傾斜しているコンテナもある。

d) 岸壁(-7.5m, -5.5m)：(構造不明)④

法線が若干はらみ出しており、確認はできていないがケーソンあるいはブロックと思われる肩部と裏込め境界部でコンクリート舗装版に亀裂が生じ、山形に折れ、背後が数十センチ沈下している。

e) 岸壁(-5.5m)：重力式(直立消波式)⑤

岸壁法線の直線性はほぼ保たれているが、背後に段差が15cm程度発生している。荷さばきヤード舗装には不

同沈下や舗装のめくれが生じている。

(3) 中央埠頭の被災状況

中央埠頭では、岸壁(-7.5m)と岸壁(-9m)を調査した。このうち、岸壁(-7.5m)が耐震強化岸壁である。

a) 岸壁(-7.5m)：重力式(ケーソン式)⑥

法線の直線性はほぼ保たれている(写真-6.5.2.4)。ケーソン肩部と裏込め境界部でコンクリート舗装版に亀裂が生じ、山形に折れているが沈下量は軽微である。津波で流されていると思われるが、ヤード上に噴砂痕跡が若干あり、液状化は生じていたと考えられる。ケーソン背後の広い範囲に岩ズリ(液状化対策)が使われており、岩ズリが施されている部分ではあまり噴砂はみられない。耐震強化岸壁の要求性能を満足しているものと判断される。



写真-6.5.2.4 中央埠頭重力式岸壁(-7.5m)
(2011年3月13日撮影)

b) 岸壁(-9m)：重力式(L型ブロック式)⑦

法線の直線性はほぼ保たれている。係船曲柱が付いているコンクリート板はやや海側に傾いていた。このコンクリート板はL型ブロックのふ壁に乗っており、L型ブロックとともに傾いたと考えられる。

L型ブロック背後には裏込め石があり、その背後にセメント系柱状改良に加えて表層改良した地盤改良部と埋め土部がある。地盤改良部分はほぼ健全であるが、埋め土部分では沈下・陥没が発生しており液状化が発生したものと考えられる。地盤改良部と埋め土部の段差は50cm～1m程度となっていた(写真-6.5.2.5)。



写真-6.5.2.5 中央埠頭重力式岸壁(-9m)地盤改良部と埋め土部の段差(2011年3月13日撮影)

(4) 南埠頭の被災状況

南埠頭では、岸壁(-5.5m)を調査した。

a) 岸壁(-5.5m)：重力式(直立消波ブロック式)⑧

西側は法線が概ね直線を保っているが、背後に沈下が認められ液状化が発生したものと推定される。南側は60cm程度はらみ出しており、背後に段差40cmが発生している(写真-6.5.2.6)。この両者の法線変位の違いは、地震動の方向性の影響を受けたものと推定される。



写真-6.5.2.6 南埠頭重力式岸壁(-5.5m)
(2011年4月13日撮影)

6.5.3 茨城港大洗港区

(1) 大洗港区の概要

図-6.5に示したように、大洗港区は茨城県臨海部の中央にあり、カーフェリーが就航する港である。図-6.5.3.1に示すように、第1埠頭から第4埠頭までの4つの埠頭があり、第3埠頭がフェリーターミナルになっている。

調査は上記の第1埠頭を除く、第2埠頭、第3埠頭、

第4埠頭の3つの埠頭について行った。

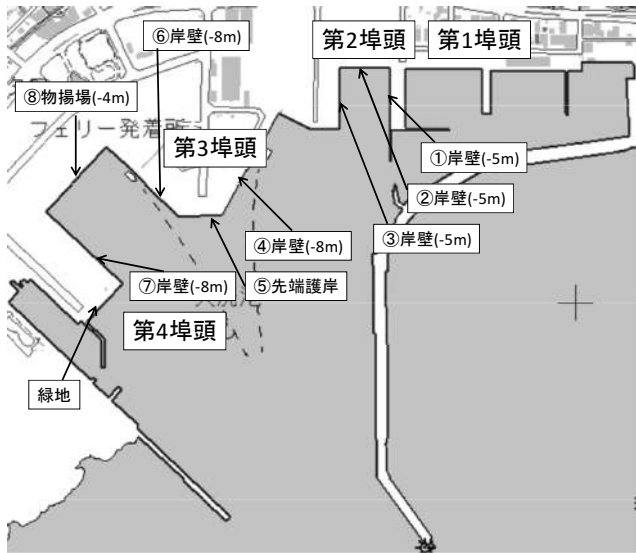


図-6.5.3.1 茨城港大洗港区調査位置図

(2) 第2埠頭の被災状況

第2埠頭では、岸壁(-5m)東、岸壁(-5m)北、岸壁(-5m)西を調査した。

- a) 岸壁(-5m)東：重力式（直立消波ブロック式）①
法線が若干はらみ出しており、背後エプロン部にほぼ法線と平行な亀裂が生じており、沈下している。
- b) 岸壁(-5m)北：重力式（直立消波ブロック式）②
法線が若干はらみ出しているが、背後に不同沈下等は認められない。
- c) 岸壁(-5m)西：重力式（直立消波ブロック式）③
法線の直線性はほぼ保たれており、概ね健全と考えられる。

(3) 第3埠頭の被災状況

第3埠頭では、岸壁(-8m)東、先端部護岸、岸壁(-8m)西を調査した。

- a) 岸壁(-8m)東：重力式（直立消波式） 東側フェリーターミナル④
法線は概ね直線性を保っていたが、背後、駐車場部アスファルト舗装部に不同沈下や舗装に亀裂が認められることから液状化現象が発生したものと考えられる。車両乗降用可動橋付近のアスファルト舗装がめくれており、沈下しており、これは津波の作用によるものと推定される。
- b) 先端部護岸⑤
法線は概ね直線性を保っていた。
- c) 岸壁(-8m)西：重力式（直立消波式） 西側フェリー

ターミナル⑥

法線は若干はらみ出しているようである。上部工とエプロン部コンクリート版との目地部に20cmから30cm程度の段差が認められたが、地震前から生じていたものと考えられ、今回の地震による段差は10m～20cm程度と推測される（写真-6.5.3.1）。背後、駐車場部アスファルト舗装部に不同沈下や舗装に亀裂が認められることから液状化現象が発生したものと考えられる。目視によるとボーディングブリッジに顕著な損傷は認められない。先端護岸との隅角部には陥没があり、段差30cm程度が生じていた（写真-6.5.3.2）。



写真-6.5.3.1 第3埠頭岸壁(-8m)西側フェリーターミナル（2011年4月12日撮影）



写真-6.5.3.2 第3埠頭岸壁(-8m)西側フェリーターミナル隅角部（2011年4月12日撮影）

(4) 第4埠頭の被災状況

第4埠頭では、岸壁(-8m)、物揚場(-4m)を調査した。

a) 岸壁(-8m)：重力式（ケーソン式）⑦

法線は緩やかに湾曲しながらはらみ出している（写真-6.5.3.3）。背後エプロン部は液状化により沈下している。ケーソン肩部と裏込め境界部でコンクリート舗装版に亀裂が生じ、山形に折れ、背後が沈下している。ケーソンはやや海側に傾斜しており、ケーソン上部工とエプロン舗装部の段差は10cm程度である。

先端緑地隣接部では、構造形式不明（ブロック式と想定される）であるが、法線が海側に10cm程度移動しており、上部工目地部に5cm程度の開きがあり、背後に15cm程度の段差が認められる。緑地部分においてはインターロッキングブロックが飛散しており、液状化の可能性が大きい。



写真-6.5.3.3 第4埠頭岸壁(-8m)
(2011年4月12日撮影)

b) 物揚場(-4m)：重力式（直立消波ブロック式）⑧

岸壁(-8m)との隅角部付近に20cmの亀裂が生じている。法線は緩やかにはらみ出しており、上部工とエプロン部コンクリート版との目地部に15m程度の段差が生じている

6.5.4 鹿島港

(1) 鹿島港の概要

図-6.5に示したように、鹿島港は茨城県臨海部の南部に位置し、鹿島臨海工業地帯を抱える港で、図-6.5.4.1(a)に示すように掘込み港湾である。

調査は、図-6.5.4.1に示した、北公共埠頭地区、南公共埠頭地区、および現在整備中の外港地区について行った。



図-6.5.4.1(a) 鹿島港調査位置図（全体図）

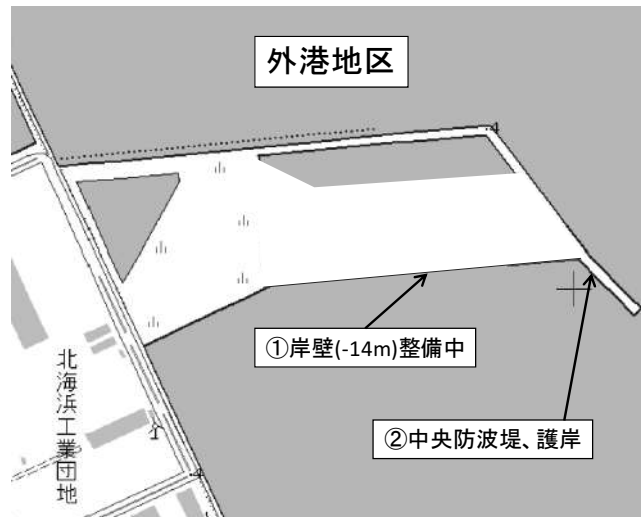


図-6.5.4.1(b) 鹿島港調査位置図（外港地区）



図-6.5.4.1(c) 鹿島港調査位置図（北公共埠頭地区）



図-6.5.4.1(d) 鹿島港調査位置図（南公共埠頭地区）

(2) 外港地区の被災状況

外港地区では、現在整備中の岸壁(-14m)、および中央防波堤と隣接する護岸を調査した。

a) 岸壁(-14m)：重力式（ケーソン式）①

法線がはらみ出しており、不同沈下が生じている（写真-6.5.4.1）。背後裏埋土に液状化が発生したものと推定される。当該地区は旧海岸線より海側に位置し、浚渫砂や、掘込部の掘削砂による埋立てにより施工中である。

b) 中央防波堤および隣接する護岸：ケーソン式、二重パラペット構造②

目視の範囲では大きな変状は認められないが、津波によるマウンドの変状に留意する必要がある。



写真-6.5.4.1 外港地区岸壁(-14m), 整備中
(2011年4月12日撮影)

(3) 北公共埠頭地区の被災状況

北公共埠頭地区では、岸壁 C(-10m)、岸壁 D(-10m)、岸壁 E(-10m)を調査した。

a) 岸壁 C(-10m)：矢板式③

上部工とコンクリート舗装版目地部分に若干の段差が発生しており（写真-6.5.4.2）、コンクリート舗装版に岸壁法線と平行にヘアークラックが発生している。岸壁法線が若干はらみ出したため、エプロン部に沈下が生じたものと考えられる。

b) 岸壁 D(-10m)：矢板式④

岸壁 C と岸壁 D のコーナー部を中心に上部工と背後コンクリート舗装版目地で段差が発生している。北 E のコンテナクレーンへの給電ケーブルが津波によりトレンチから浮き上がり、海側に落下・破断している（写真-6.5.4.3）。一部ケーブルトレンチが沈下している。海側レール基礎背後から 8m 付近に、岸壁法線と平行にクラックが発生している（写真-6.5.4.4）。

c) 岸壁 E(-10m)：矢板式⑤

クレーンレールは直線性を保っているが、陸側レール背後に若干の段差が見られる。免震コンテナクレーンは脱輪していないが、津波により脚部分・電源制御盤が冠水している。津波来襲時にマーシャリングヤードのコンテナが内陸部へ漂流したため、フェンスが倒壊した模様であるが、暫定的に単管等による補強が終了している。調査時点で、津波時に散乱したヤード内のコンテナは積み直しされていた。



写真-6.5.4.2 北公共埠頭地区岸壁 C(-10m)
(2011年4月12日撮影)



写真-6.5.4.3 北公共埠頭地区岸壁 D(-10m) ケーブル
(2011年4月12日撮影)



写真-6.5.4.4 北公共埠頭地区岸壁 D(-10m)クラック
(2011年4月12日撮影)

(4) 南公共埠頭地区の被災状況

南公共埠頭地区では、岸壁 A(-10m)、岸壁 B(-10m)、岸壁 C(-7.5m)、岸壁 G(-10m)、岸壁 H(-10m)を調査した。

岸壁 A (-10m)、岸壁 B(-10m)および岸壁 C(-7.5m)は、旧「神の池」を埋立して建設されていることから、腐植土層・粘土層などの影響が懸念される場所である。

a) 岸壁 A(-10m)、岸壁 B(-10m)：重力式（ケーソン式）

⑥, ⑦

岸壁 B 背後に上屋があるが、上屋床面が海側に向かって全体的に沈下しているが、陥没等は無かった。

岸壁 A も同様に岸壁背後 50m 付近から海側に向かって沈下している。隣地との境界部分から数十メートルの範囲で大規模な陥没が確認された。

b) 岸壁 C(-7.5m)：重力式（ケーソン式）⑧

エプロン部に大規模な陥没が見られるが（写真-6.5.4.5）、舗装断面からオーバーレイを何度も実施した形跡が見られることから、常時において何らかの問題が発生していた可能性がある。上部工目地部が開口しており、はらみ出しがあり、上部工直背後の舗装部分に沈下が見られる（写真-6.5.4.6）。

c) 岸壁 G(-10m)、岸壁 H(-10m)：矢板式⑨, ⑩

岸壁 G(-10m)、岸壁 H(-10m)のどちらも壁法線の直線性はほぼ保たれている。岸壁 H の上部工と背後のコンクリート舗装版間に数センチの段差が生じており、背後上屋基礎部と荷さきヤード舗装版間に段差が見られる。また、上屋基礎部に洗掘が発生していた。照明灯支柱が水路側に転倒していたが、津波の引波によるものと思われる。なお、岸壁 G については、船舶が接岸し供用中であつたため詳細な調査は実施できなかった。



写真-6.5.4.5 南公共埠頭地区岸壁 C(-7.5m)陥没
(2011年4月12日撮影)



写真-6.5.4.6 南公共埠頭地区岸壁 C(-7.5m)
(2011年4月12日撮影)

7. 釜石湾口防波堤の効果の検討

7.1 防波堤の概要

釜石港湾口防波堤は、釜石湾における津波対策を兼ねた防波堤として、昭和53年から建設が進められ、世界最大水深(-63m)に設置される湾口防波堤として平成20年度に完成した。図-7.1.1に示すように、北堤(延長990m)と南堤(延長670m)からなっており、開口部(300m)には、縮切効果を高めるため、潜堤が設置されている。

防波堤の縦断図を図-7.1.2に示す。南堤の22函(深部19函、浅部3函)については、最深部の堤頭函のみが台形のスリットケーソンで、それ以外は通常のスリットケーソンである。北堤の44函(深部22函、浅部22函)については、深部2区と3区(573.5m)が台形のスリットケーソンで、それ以外は通常のスリットケーソンである。開口部潜堤の13函については、全長300mで、端部以外は基面水深-32m、天端-19mである。

湾口防波堤は、明治29年三陸地震津波(最大痕跡高T.P.7.9m, 周期16分)および昭和8年三陸地震津波(最大痕跡高T.P.7.9m, 周期10分)を想定して設計されている。数値シミュレーション結果に基づき、防波堤位置での津波波高は5.0m, 堤内外の最大水位差は2.8m, 開口部最大流速8.2m/sとしている。また、シミュレーションによる堤外の最大津波高はT.P.+4.77m(D.L.+5.63m)であり、防波堤の天端高はこれよりも高いD.L.+6.0mとなっている。湾口防波堤の建設により、対象津波による浸水面積は141haから25haに縮小される。また津波の到達を遅らせ、避難のための時間を増やす効果も有している。

なお、防波堤の安定性は津波ではなく通常の波浪によって決まっており、設計波の条件は、 $T_{1/3}=13.0s$, $H_{1/3}=7.4m$, $H_{max}=13.3m$, $\beta=0^\circ$ である。

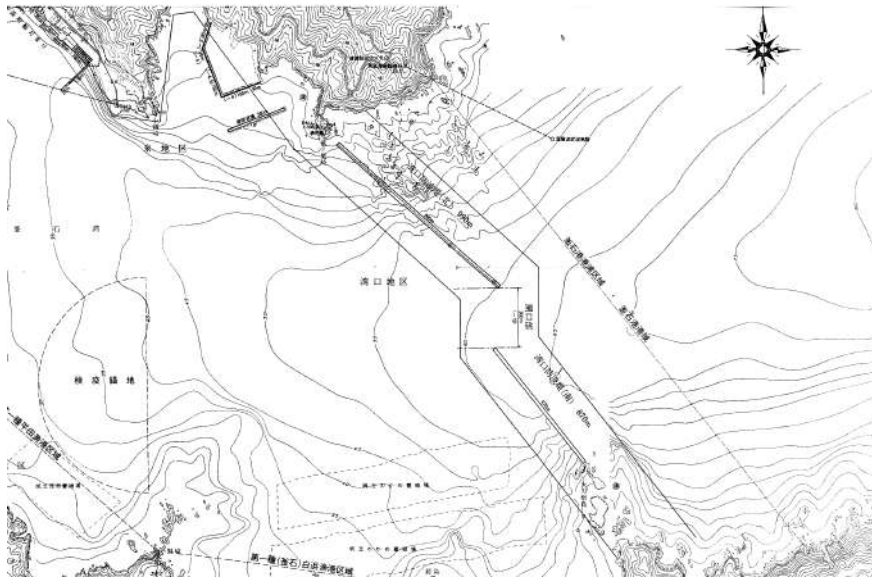


図-7.1.1 釜石湾口防波堤平面図

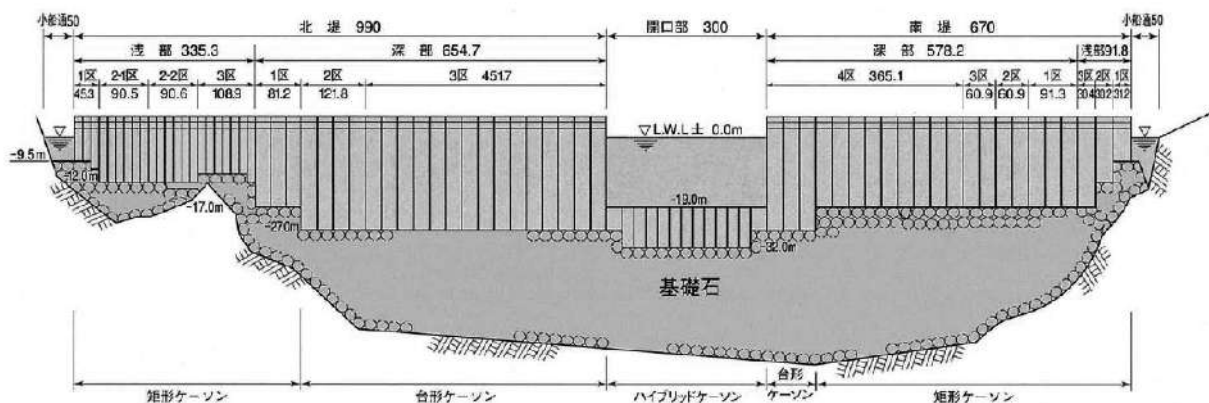


図-7.1.2 釜石湾口防波堤縦断図

7.2 防波堤の被災状況

7.2.1 被災の進行状況

被災の進行状況については、当日、釜石港湾事務所にて、地震発生時刻（14時46分）の約12分後（14時58分頃）から撮影されたビデオの映像から、その様子を知

ることができる。写真-7.1.1(1)～(4)は、ビデオの映像を取り出したものである。

映像で確認すると、第1波のピーク(15時24分頃)あたりまでは防波堤の損傷は小さく、ほぼ機能を維持しており、その後被災が徐々に進行したものと考えられる。



写真-7.1.1(1) 被災の進行状況(1)

15時12分（ビデオ開始から14分00秒） 白い目地からの流れがわかる



写真-7.1.1(2) 被災の進行状況(2)

15時17分（ビデオ開始から19分00秒）北堤からの越流（15時21分の潮位計が振り切れる）



写真-7.1.1(3) 被災の進行状況(3)

15時32分（ビデオ開始から34分11秒） 引き波で現れた堤体



写真-7.1.1(4) 被災の進行状況(4) 15時59分(ビデオ開始から61分57秒)

7.2.2 最終的な被災状況

防波堤の最終的な状態は、目視(写真-7.1.2~写真-7.1.4)およびマルチナロービーム測深機による測量結果(図-7.1.3, 右側が南堤)により知ることができる。南堤については、22函(深部19函, 浅部3函)全長670mのうち、最深部(開口部側)から10函はほとんどそのまま残っているが、11函めが港内側へ傾斜しつつ水没した隣接ケーソン側に大きく傾いている。12函め以降はほとんどのケーソンが港内側へ転落している。

一方、北堤については、44函(深部22函, 浅部22函)全長990mのうち、浅部3区付近の7函程度はほぼ原形をとどめているが、それ以外はほとんど変位がみられる。

浅部に関しては原形をとどめているもの以外はかなりの部分が港内側へ転落している。深部については、わずかに水面上に姿をとどめているものが多いものの、大半が港内側に傾斜しつつ水没した隣接ケーソン側(開口部方向)に大きく傾いている。堤頭函も開口部側へ大きく傾斜している。また、開口部潜堤もほとんどのケーソンが港内側へ転落している。

測量結果によれば、北堤側のマウンドには目地を中心に局所的な洗掘が確認されている。このことから、目地や潜堤部分の流れによる洗掘(被覆石やマウンド石の流失)によって破壊が進行したと考えられる。



写真-7.1.2 被災後の防波堤(全景)



写真-7.1.3 被災後の防波堤(北堤堤頭部から)



写真-7.1.4 残存している南堤(堤頭部港内側から)

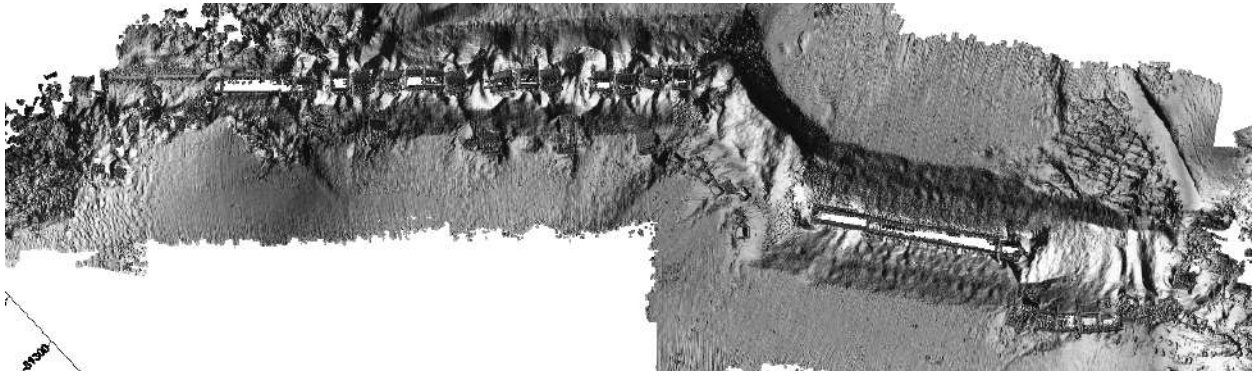


図-7.1.3 ナローマルチビームによる測深データ

7.3 津波に対する防波堤の安定性の検討

7.3.1 津波に対する防波堤の滑動限界

防波堤の形状は、南堤については堤頭部以外すべて矩形ケーソンであり、南堤深部1~3区はケーソンの平面形状も4区と同じであり、設計波高がわずかに違うだけである。一方、北堤については、深部2区と3区が台形ケーソンであるが、設計条件は南堤とほぼ同じで、津波に対する安定性もあまり変わらないと考えられる。そこで、ここでは安定計算の例として、南堤深部4区、北堤浅部3-1区、開口部潜堤の3つを対象として、それぞれの滑動限界となる水位差および流速について検討を行う。

(1) 南堤深部4区（最深部）

図-7.1.4は、南堤深部4区の標準断面を示したものである。安定計算は、設計資料におけるケーソンの空中重量（中詰等を含む）をもとに、1mあたりの水中重量を計算し、滑動安全率が設計値に一致することを確認して行った。計算に当たっては、あらかじめケーソン背

後（港内側）の水位の影響を検討した。その結果、背後の水位が上昇することによって冲向きの静水圧が増加するが、ケーソンが大きく浮力の増加分のほうが上回るため、背後の水位が高くなると安定性は低下することが分かった。そこで、最も不安定な状態として、背後水位を防波堤天端（D.L.+6.0m）とした場合（没水状態）について、ケーソン全体に浮力を作用させ、港外側と港内側のヘッド差による静水圧のみを考慮（ただし揚圧力は無視）したときに滑動限界となる水位差を求めた。その結果、 $\Delta\eta=9.6\text{m}$ でほぼ滑動限界となった。

(2) 北堤浅部3-1区

図-7.1.5は、北堤浅部3-1区の標準断面を示したものである。ケーソンの空中重量（中詰等を含む）の正確な値が不明であったため、南堤深部4区の断面を参考に重量を推測し、滑動安全率が設計資料の値に合うよう数値を調整した。南堤深部4区と同様に没水状態における滑動限界を計算した結果、 $\Delta\eta=7.5\text{m}$ であった。

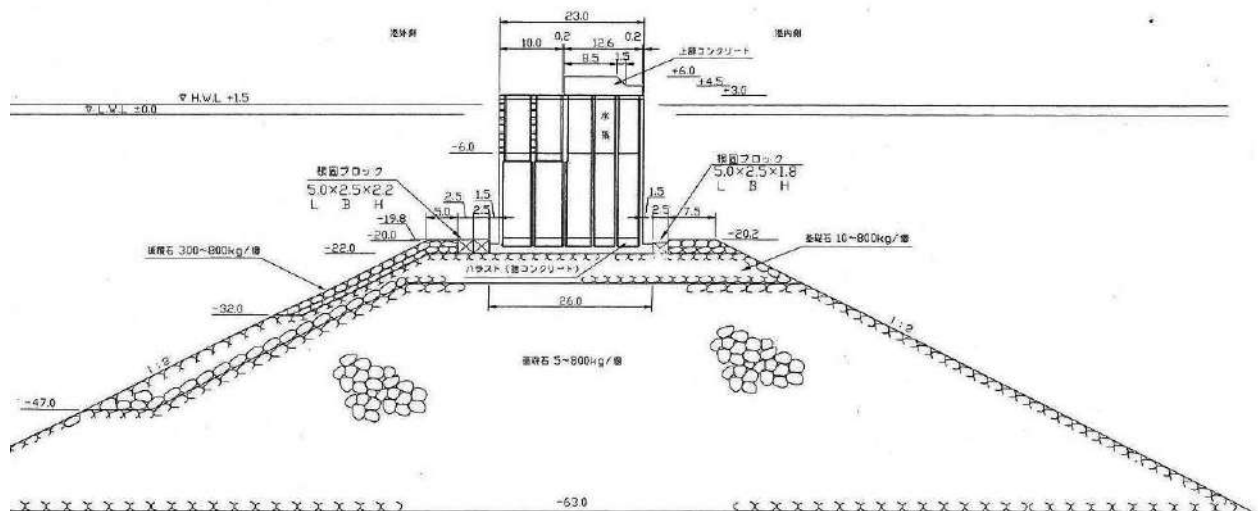


図-7.1.4 南堤深部4区標準断面図

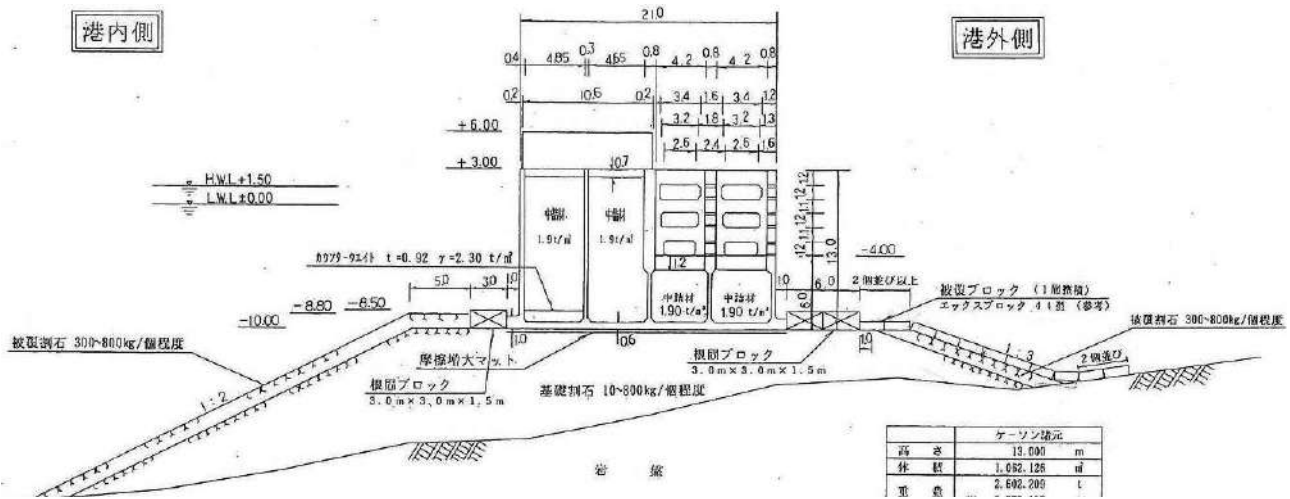


図-7.1.5 北堤浅部 3-1 区標準断面図

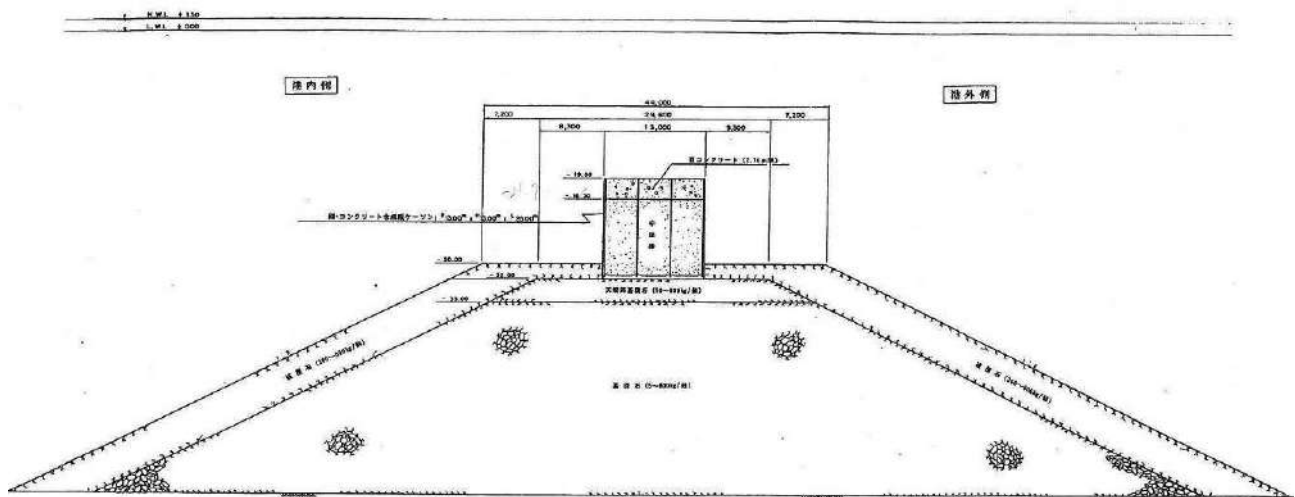


図-7.1.6 開口部潜堤標準断面図

(3) 開口部潜堤

図-7.1.6 は、開口部潜堤の標準断面を示したものである。潜堤の構造形式は、鋼・コンクリート合成板ケーソンで、蓋コンクリートの厚さは2.7mである。

詳細な重量が不明のため、ケーソン+中詰部の平均密度を 2.1t/m^3 、蓋コンクリート部の密度を 2.3t/m^3 と仮定して重量を計算した。

i) ヘッド差に対する安定計算

内外のヘッド差に対する安定計算を行った結果、 $\Delta\eta = 8.4\text{m}$ で滑動限界となった。

ii) 流れに対する安定計算

谷本ら (1988) によれば、潜堤ケーソンの安定性は流体力として計算可能であり、水面勾配の影響を考慮した

見かけの効力係数 $C_D^* = 1.0 \sim 1.5$ 、揚力係数 $C_L = 0.5 \sim 0.8$ で与えられる。この方法を用いた場合の滑動限界流速を求めると以下のとおりである。

- $C_D^* = 1.0$, $C_L = 0.5$ (下限値) のとき、限界流速 $u = 11.3\text{m/s}$
 - $C_D^* = 1.25$, $C_L = 0.65$ (中間値) のとき、限界流速 $u = 10.0\text{m/s}$
 - $C_D^* = 1.5$, $C_L = 0.8$ (上限値) のとき、限界流速 $u = 9.1\text{m/s}$
- すなわち、潜堤ケーソンは約 $9 \sim 11\text{m/s}$ 程度の流れで滑動することになる。

7.3.2 数値計算結果に基づく被災時の安定性の検証

数値計算の結果については 7.4 節で述べるが、それによれば、完成時 (被災前) の状態において南堤前面の最大水位は、地震発生後約 32 分 (15 時 18 分頃) で $+10.84\text{m}$ 、

そのときの背面の水位は+2.57mであり、水位差は8.27mとなる。このとき、ヘッド差による静水圧を考慮した滑動安全率（全断面に浮力を考慮、揚圧力は無視）は、深部で1.19、浅部では0.95となる。したがって、計算上では深部のケーソン本体は安定であるが、浅部についてはわずかに不安定であり、津波波力によって滑動が生じた可能性が考えられる。

また、開口部付近では、最大で10.5m/sの流速となっており、開口部潜堤は津波によって滑動あるいはマウンドからの転落が生じた可能性がある。

7.3.3 防波堤の安定性に関するまとめと考察

谷本ら(1988)の実験によれば、開口部のマウンドは、流れに対して突き出した部分（北堤堤頭部の港内側および南堤堤頭部の港外側）で洗掘が生じている。特に、流速がある程度以上になると北側と南側の流速の差が大きくなり、北側での流速の増加が顕著になる傾向が見られ、北堤港内側の洗掘が著しくなる。今回の被災では、谷本らの実験（最大で現地換算9m/s程度）よりも速い流れが作用したと考えられ、その結果、北堤堤頭部の基部が洗掘を受けて傾斜したことが考えられる。また、実験によれば、流れによる潜堤ケーソンの滑動は重量をかなり軽くした場合も含めて北側のみで生じており、南側はほとんど動いていない。

今回の被災においても、北側堤頭部ではマウンドの洗掘および潜堤ケーソンの移動が進行して堤頭部ケーソンまで被災したのに対して、南側では潜堤ケーソンは移動

したものの、堤頭部マウンドの洗掘はあまり進行せず、ケーソンの傾斜や移動に至らなかったのではないかと考えられる。

また、被災時の映像から、ケーソンの目地部に速い流れが発生している様子が確認されており、これによって生じた洗掘によってもケーソンが傾斜したと考えられる。

釜石港での津波波形記録によれば、今回の津波では第1波がもっとも大きかったことが明らかになっているが、ビデオの映像を見る限り、第1波の作用後においては、防波堤のかなりの部分は残っており、第2波以降に徐々に変位が進行している。これらのことから、今回の防波堤の被災は、浅部においては津波力により直接ケーソンが滑動した可能性が高いものの、深部に関しては速い流れによるマウンドの洗掘が主要な原因であり、それによってケーソンの安定性が低下し、滑動やマウンドからの転落に至ったケースが多かったと考えられる。

参考文献

谷本勝利・木村克俊・宮崎啓司(1988):津波防波堤海溝部潜堤の安定性に関する実験的研究,港湾技術研究所報告,第274巻第4号,pp.93-122.

7.4 津波の伝播計算

(1) 計算の目的

湾口防波堤による津波被害低減効果および防波堤周囲の津波の状況を把握するために津波の数値計算を実施した。

(2) 計算手法

数値計算モデル

津波の伝播計算には、高潮津波シミュレータ「STOC」を使用した(富田・柿沼, 2005)。「STOC」は3次元的な流体運動を考慮することが可能であるが、今回は静水圧近似を仮定した多層モデル「STOC-ML」を使用し、鉛直方向の層分割数は1とした。

水深・地形データ

津波の伝播計算には、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から提供された、水深・地形データ(水深, 地盤高, 構造物の位置・天端高, 土地利用状況)を使用した。表-7.4.1および図-7.4.1のとおり、6種類の格子サイズを用いたネスティング計算を行った。

格子サイズ12.5mの最内側の計算領域のみ、防波堤・防潮壁を考慮し、陸上における遡上まで計算した(図-7.4.2)。

計算ケース

湾口防波堤の状態は、次の3ケースを考慮した。なお、湾口防波堤以外の防波堤・防潮壁に関しては、全てのケースにおいて、損傷を受けず機能するものとして取り扱った。

a) ケース1

湾口防波堤建設前の地形を与えて計算したケース

b) ケース2

湾口防波堤完成時の防波堤形状が、津波来襲後も保たれていたと仮定したケース

c) ケース3

湾口防波堤破壊後(津波が繰り返し作用した後の現況)の防波堤形状が、津波来襲前から存在していたと仮定したケース。破壊状況は3月17日に行った目視に基づく。

北堤: 天端高 T.P.+0.0m (5.1m 沈下し, 天端が海面直下に見える)

開口部: 水深 T.P.-32.9m (潜堤が流失し, マウンドのみ残る)

南堤: 開口部から10函目までは, 天端高 T.P.+4.1m (1.0m 沈下)。10 函目以降は, 天端高 T.P.-2.0m (7.1m 沈下し, 天端が引き波時も確認できない)。

入射津波

津波観測波形を再現できる津波波源がまだ十分検討できていないため、今回は、津波の初期水位分布を初期条件として数値計算を実施することは行わなかった。代わりに、岩手南部沖 GPS 波浪計で観測された水位を、最外側の計算領域の東側境界から強制入射させた(このため、岩手南部沖 GPS 波浪計が東端に位置するように、最外側の計算領域の大きさを調整した)。岩手南部沖 GPS 波浪計の津波観測波形は、国土交通省港湾局・港湾空港技術研究所海象情報研究チームから提供いただいた。第1波による浸水状況に着目するため、地震発生から90分間を再現対象とした。

表-7.4.1 各計算領域における計算手法の詳細

領域番号	1	2	3	4	5	6
格子サイズ	600m	200m	100m	50m	25m	12.5m
時間ステップ	0.2 秒					
再現対象時間	地震発生から 90 分間					
遡上計算	なし					あり
底面摩擦項	海域に一樣な粗度係数					土地利用に応じた粗度係数
防波堤・防潮壁	なし					あり

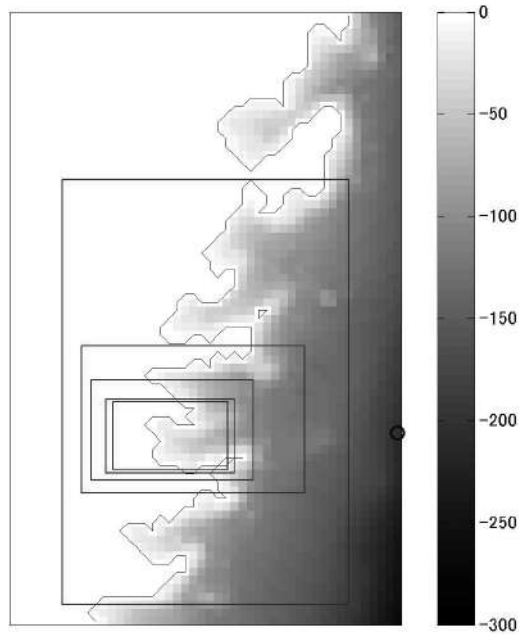


図-7.4.1 ネスティングした計算領域. 格子サイズ 600m の最外側の計算領域に, 枠囲みで内側の計算領域の位置をプロット. 丸印は, 岩手南部沖 GPS 波浪計の位置を示す.

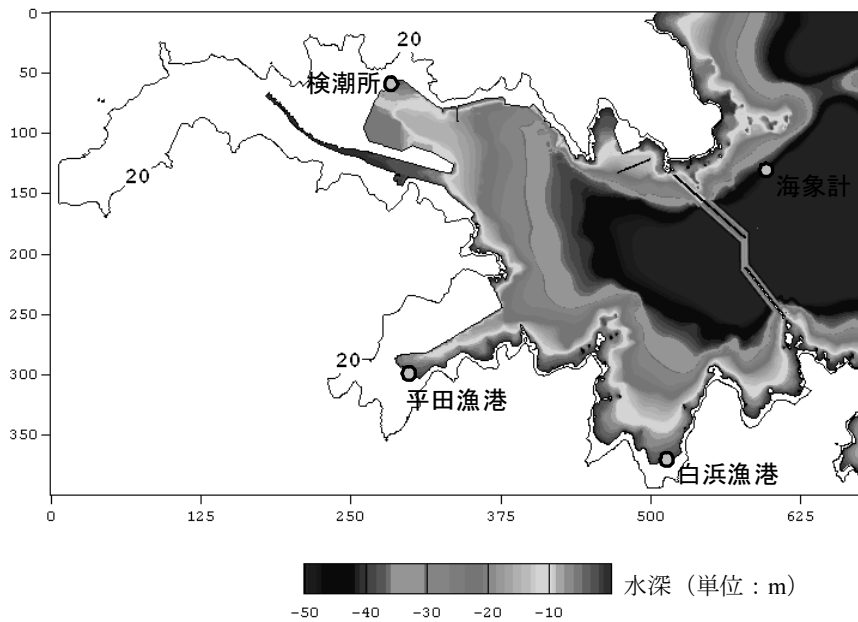


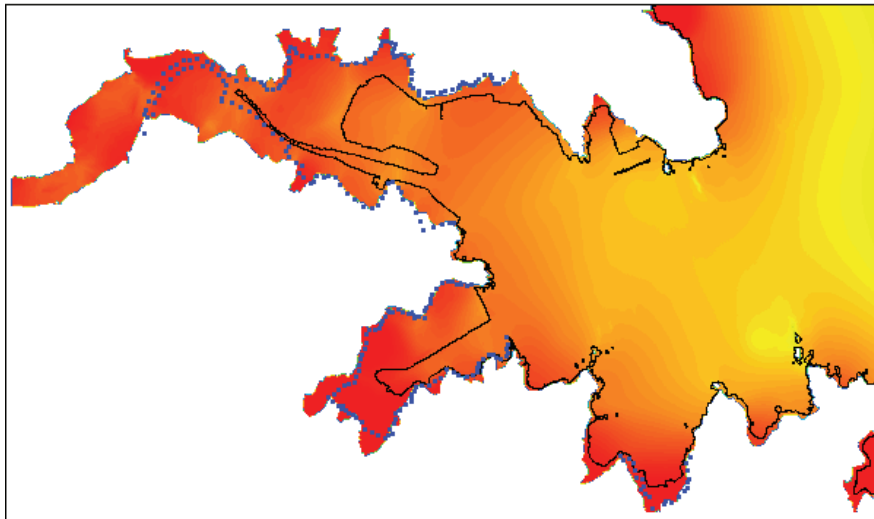
図-7.4.2 格子サイズ 12.5m の最内側の計算領域

(3) 計算結果

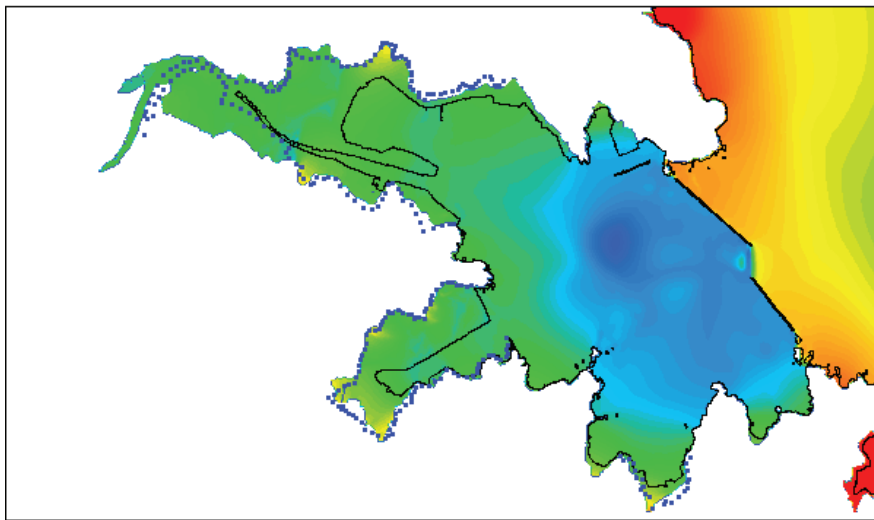
最大津波高の計算結果を, 図-7.4.3 に示す. 青点線は, 国土交通省東北地方整備局釜石港湾事務所が確認した浸水域である. また, 釜石港外 (海象計)・釜石港内 (検潮所)・平田漁港・白浜漁港・南堤前面 (港外侧)・南堤背後 (港内側) のそれぞれの水位の時系列変化を, 図-7.4.4

に示す.

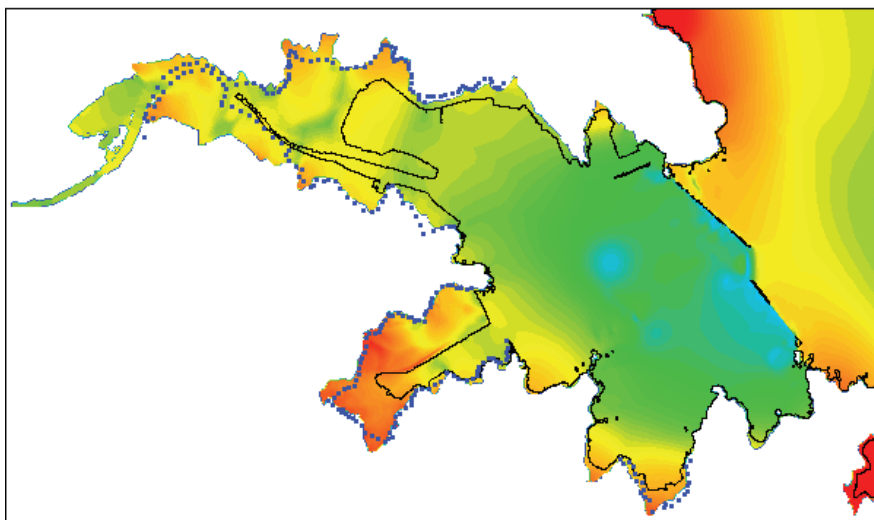
表-7.4.2 は, 第 1 波の津波高・押し波開始時刻・津波高が 4m 越えた時刻をケース間で比較した表である. また港内の須賀地区 (大渡川沿いを含む)・平田地区・白浜地区の最大遡上高を, 表-7.4.3 にまとめた.



建設前



完成時



破壊後

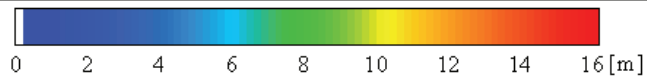


図-7.4.3 最大津波高の計算結果 (単位: m). 青点線は釜石港湾事務所が確認した浸水域.

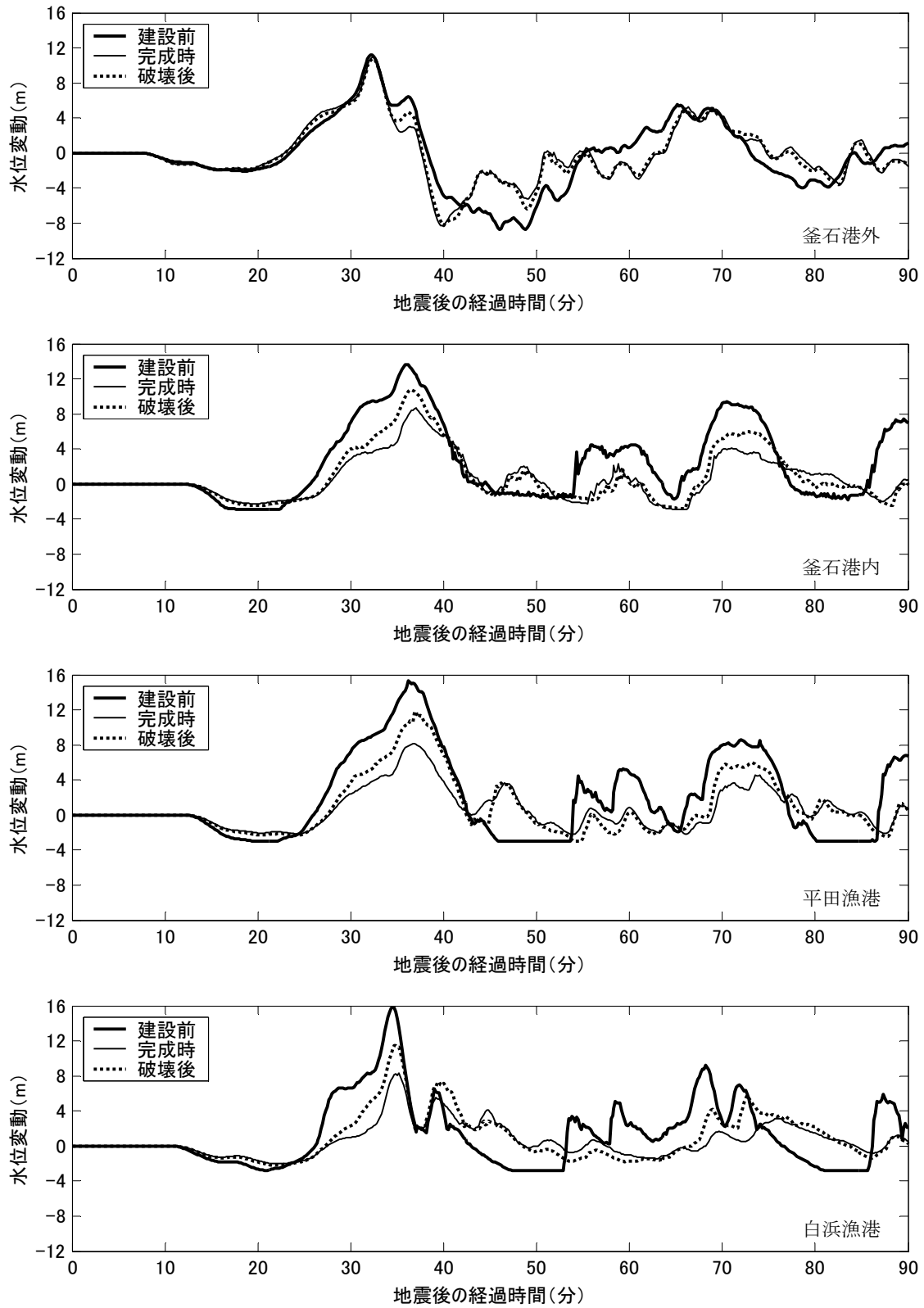


図-7.4.4 水位の時系列変化の計算結果

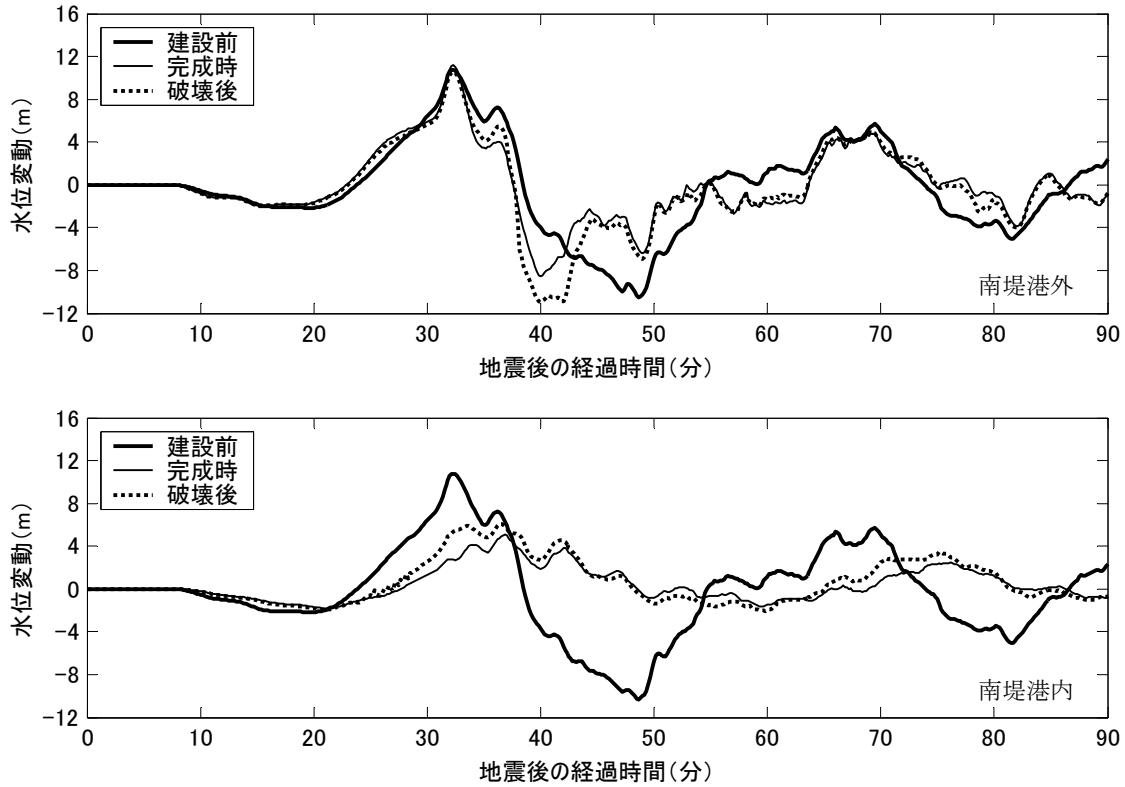


図-7.4.4 (つづき) 水位の時系列変化の計算結果

表-7.4.2 第1波の津波高・押し波開始時刻・津波高が4mを越えた時刻の比較. カッコ内の数字は建設前のケースを基準とした比率・時間差.

ケース名	建設前			完成時			破壊後		
	第1波津波高 (m)	押し波開始 (分後)	4mを越える (分後)	第1波津波高 (m)	押し波開始 (分後)	4mを越える (分後)	第1波津波高 (m)	押し波開始 (分後)	4mを越える (分後)
釜石港外海象計	11.17	23.5	27.8	11.01 (99%)	23.0 (-0.5分)	26.2 (-1.6分)	10.74 (96%)	23.0 (-0.5分)	26.5 (-1.3分)
釜石港内検潮所	13.66	25.7	28.0	8.67 (63%)	27.7 (+2.0分)	33.2 (+5.2分)	10.74 (79%)	27.5 (+1.8分)	30.0 (+2.0分)
平田漁港	15.30	26.0	28.2	8.14 (53%)	27.8 (+1.8分)	32.7 (+4.5分)	11.84 (77%)	27.7 (+1.7分)	30.2 (+2.0分)
白浜漁港	15.84	25.2	27.3	8.34 (53%)	27.5 (+2.3分)	33.5 (+6.2分)	11.48 (72%)	27.3 (+2.1分)	31.3 (+4.0分)

表-7.4.3 最大遡上高の比較. カッコ内の数字は建設前のケースを基準とした比率.

ケース名	建設前最大遡上高 (m)	完成時最大遡上高 (m)	破壊後最大遡上高 (m)
須賀地区 (大渡川沿い含む)	20.21	11.00 (54%)	13.29 (66%)
平田地区	20.78	10.46 (50%)	15.61 (75%)
白浜地区	18.14	12.28 (68%)	14.21 (78%)

7.5 湾口防波堤の効果についての考察

(1) 津波高の低減効果

湾口防波堤建設前と比較すると、完成時のケースでは、港内の津波高・浸水域が縮小する。例えば、釜石港内（検潮所、須賀地区）における第1波の津波高は、湾口防波堤建設前は13.66mであるが、湾口防波堤完成時は63%の8.67mとなる。

検潮所に隣接する釜石港湾合同庁舎では、6.93mと9.04mの痕跡高が測定されており、同地点で8.67mの津波高を算出した、完成時のケースの計算結果と比較的一致している。また、近くの釜石港湾事務所においても、完成時のケースの津波高の計算結果は8.26mであり、測定された痕跡高8.11mに近い。

津波来襲時の釜石港内の様子を撮影したビデオによると、部分的な損壊は見られるが、少なくとも押し波の第1波が終了した時点までは、湾口防波堤の北堤も南堤も視認できる。従って、押し波の第1波終了時までは完成時のケースの計算結果に近い挙動を、それ以降は破壊後のケースの計算結果に近い挙動をとった可能性がある。

なお、津波が繰り返して作用し、破壊が進んだ現況の防波堤形状を与えて計算したケースでは、津波高はやや大きくなり、例えば港内の検潮所で10.74m（建設前のケースの計算結果の79%）となる。この値は実測値より大きい。

(2) 津波到達の遅延効果

湾口防波堤建設前と比較すると、完成時のケースでは、港内の押し波開始時刻が2分程度、津波高が4mを越える時刻が5～6分遅れる。釜石港内の防潮壁の天端高は概ね3～5mであり、津波高が4mを越える時刻は、防潮壁を越流し始める時刻の目安となる。従って、湾口防波堤の効果により、陸上部が浸水する時間が5分程度遅れ、安全に避難するための時間が長くなったと推測される。

ただし、今回の計算では、湾口防波堤周辺の3次元的な流体運動が考慮されておらず、実際に測定された痕跡高との比較も限られた地点でしか実施していないため、引き続き検討を行う必要がある。

参考文献

富田孝史・柿沼太郎（2005）：海水流動の3次元性を考慮した高潮・津波シミュレーターSTOCの開発と津波解析への適用，港湾空港技術研究所報告，第44巻第2号，pp.83-98.

8. 地震・津波被害のまとめ

8.1 津波被害

(1) 岩手県・宮城県・福島県に集中した被害

3月11日14時46分に発生したM9.0の地震によって、巨大な津波が北海道・東北・関東の太平洋岸に主として来襲し、特に岩手・宮城・福島の3つの県の広い沿岸域に10mクラスの津波が来襲した。

表-8.1は警察庁が4月20日にまとめた被害状況の一覧である。全県で2万7千人以上の死者・行方不明者となっているが、岩手県・宮城県・福島県の死者行方不明者は、全国での死者行方不明者の99.8%となっている。また、建物の全壊は、全県で6万5千戸以上であり、三県はそのうちの97%である。これらのほとんどは、津波による被害である。この章では、主として10mクラスの津波被害について説明することにした。

表-8.2は、死者と行方不明者の多い市町村を示すものであり、岩手県と宮城県の人口が多く低い土地で、津波が大きなところである。甚大な人的被害が発生したのは、この津波の破壊力だけでなく、避難の遅れによるものであるが、現状では調査が十分ではない。その解析は今後進めていく予定である。

表-8.1 被害状況(警察庁ホームページ)

道府県	人的被害		建物被害	
	死者数	行方不明者数	全壊	半壊
北海道	1			
青森県	3	1	272	970
岩手県	4058	3759	17746	1041
宮城県	8541	7789	46273	9390
福島県	1422	1959	1966	3818
茨城県	23	1	892	4737
千葉県	18	2	664	2136
全体合計	14084	13511	68005	23382

表-8.2 死者・行方不明者が多い市町村(警察庁ホームページ)

人的被害の多い自治体	死者数	行方不明者数	人口に対する割合
①石巻市(宮城県)	2818	2770	3.49%
②陸前高田市(岩手県)	1335	841	9.36%
③気仙沼市(宮城県)	815	1216	2.77%
④名取市(宮城県)	883	1000	2.56%
⑤東松島市(宮城県)	988	740	4.03%

なお、10mクラスの津波は、1993年の北海道南西沖地震津波(M7.8)では、奥尻島のみであり、青苗地区で200名近くが亡くなっている。2004年のインド洋大地震津波

(M9.1:USGS)ではインドネシアやタイなど各地で10mクラスの津波が来襲し、22万人の死者を含む甚大な被害が発生している。

(2) 巨大な津波(GPS観測値と換算汀線入射津波高)

今回のM9.0の地震によって巨大な津波が発生している。図-8.1は、今回測定された津波の痕跡高さを示すものであり、岩手県と宮城県の境付近の宮古から相馬付近で特に高く10m以上となっている。ほとんどの場所で津波の高さは、明治三陸津波を上回り、特に岩手県南部以南では、2倍程度になっている。

この大津波を国土交通省港湾局のGPS波浪計が観測しており、そのデータは気象庁の警報にも役立てられた。例えば釜石港の沖合い18kmで水深204m地点にあるGPS波浪計によって6.7mの津波が15時12分に観測され、広田湾沖でも5.7mの津波が15時14分に観測されている。図-8.1にはGPS波浪計で捉えられた津波の高さも示している。

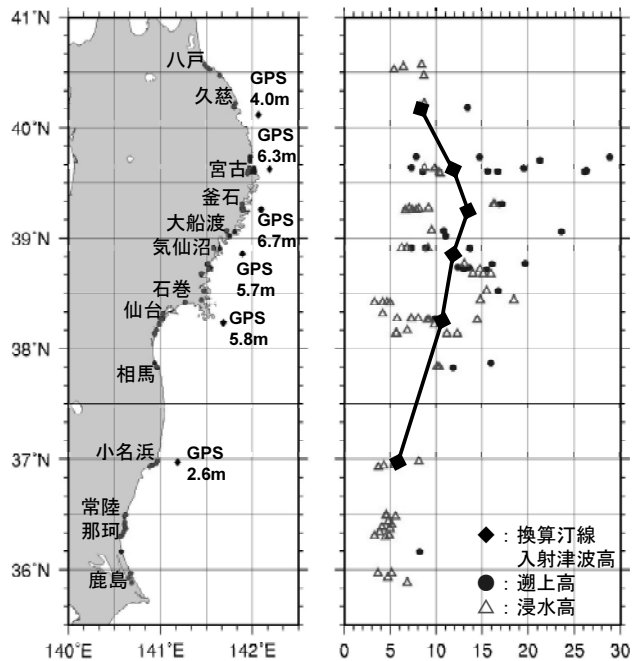


図-8.1 津波痕跡高と換算汀線入射津波高

このGPSによる津波のデータは貴重であり、これから簡単に沿岸に入射する津波が推定できる。同図には、単調な海岸に直角に入射した場合を仮定しグリーンの式で求めた汀線での津波の高さ(換算入射汀線津波高と定義)も示している。水深100~200mから浅い沿岸に来ると浅水変形によって2から3倍の値となり、久慈沖で7.9m、宮古沖で12.6m、釜石沖で13.3m、広田湾沖で11.1m、金華山沖で10.9m、小名浜沖で5.7mである。この換算入射汀線津波高

は、計測された津波の痕跡高の平均的な傾向に一致している。換算汀線入射津波高 η はGPSでの水深 h_G 、津波高 η_G 、として $\eta = (h_G \eta_G^4)^{0.2}$ である。

なお、よく知られているようにリアス式の海岸では、幅が狭くなることや共振効果によって津波はより高くなり、岬状のところでは屈折による増大などがある。一方、これまでの津波災害でも認められているように、前面の島や防波堤や護岸などの構造物によって津波が低減されていることも多い。釜石湾口の防波堤は、後述するように大きく被災したが、第一波の最大時近くまでその機能を保持しており、津波高を60%程度に軽減している。こうした影響で津波は図-8.1に示すように場所によって大きく異なる。また、津波は河口から河川を伝わり早い速度で遡上する。今回の津波でも河川から津波が越流した場合も多い。

(3) 巨大な津波の海岸への来襲・遡上

図-8.2は、代表的な海岸の断面について特に10mクラスの津波の侵入の様子を説明するものである。今回の津波は、ビデオや写真に多くとられており、それらから推定したものであり、今後さらに解析する予定である。

(a)は一般的な海岸における場合である。例えば仙台湾の東側の海岸(仙台湾)は典型的な海底勾配の緩い海岸であり、津波の先端が砕波し、砕けながら海面から5~10m程度の砂丘を駆け上がる。砂丘を下った津波は、海面から2m以下の低い田園地帯を砕けながら10~30km/h程度の速さで数キロも内陸に入っている。この海岸の海底勾配は水深が10~100mでは1/200~1/500程度であり、こうした陸棚では津波の先端部がソリトン分裂し砕けることがよく知られている。なお、陸前高田の海岸でも津波は砕けそのまま内陸の低地を襲っている。

(b)は、海岸の勾配が比較的急になっている場合であり、海岸で砕けた津波が、砕けながら非常な勢いを持って陸上の斜面を駆け上がる場合であり、これは綾里(白浜)湾や重茂半島など三陸海岸特有のリアス式海岸で陸上部が急勾配の斜面であるときによく見られている。綾里湾では海岸の海底勾配が水深10mで1/100程度で、陸上部は1/20程度と急勾配であり、海面上20m以上遡上している。図-8.1で大きな痕跡高となっているのは、太平洋側に面してこうした地形となっているところである。

(c)は、大船渡の外海に面した長崎地区のように、海岸がさらに急になっている場合(長崎地区では汀線から50mのところ急な崖がある)であり、海岸で津波はあまり砕けず、水位が上下するだけである。

(d)は、大船渡港など、ほとんどの港で見られた津波の

侵入である。港の前面は1/100より緩い海底勾配であるが、港内は水深が大きいために、津波が海側で砕けることは少なく、水位が上昇して岸壁などを乗り越えて、砕けながら10~30km/h程度の速い流れとなって市街地に侵入している。

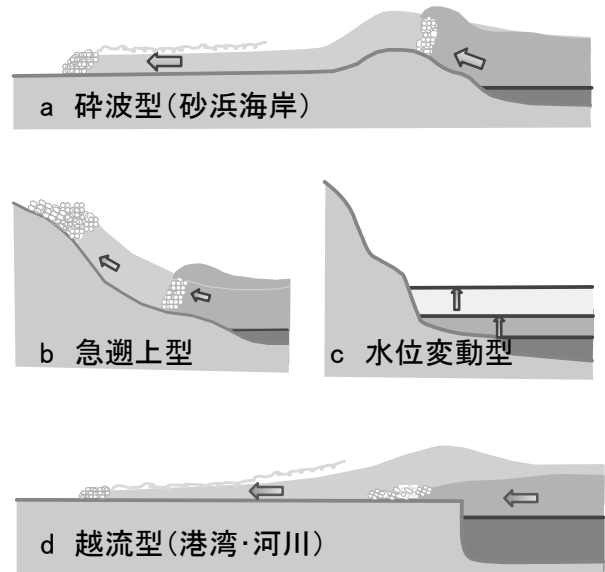


図-8.2 代表的な海岸断面と津波の侵入

(4) 10m以上の津波による多様で壊滅的な被害

この津波で東北・関東の太平洋沿岸の町に壊滅的な被害を及ぼした。特に10mクラスの津波の破壊力は巨大であり、過去の津波災害で認められたすべての種類の被害が大規模に発生している。

表-8.3は、特に10mクラスの津波を対象に人的被害以外の津波災害の種類をとりまとめたものである。10mクラスの津波で最も特徴的な被害は、木造家屋の壊滅的破壊・流失である。多くの沿岸の町で、ほとんどの木造家屋が破壊され流されて、悲惨な状況になっている。これらは、先に述べたすべてのタイプの海岸で発生しており、砕けた波の衝突や速い流れによる力、そして水位による圧力によって破壊されている。これまでも2m程度の浸水深さで木造の建物は破壊されており、10mクラスの津波では広範囲に破壊が進むのは当然である。また、コンクリートの建物は津波に対して十分強度があるといわれていたが、海岸付近でいくつかの建物が倒壊していた。(a)や(b)のような砕けた波の衝突によって破壊された可能性があるが、さらに検討が必要である。

車の漂流がどの浸水地域でも大規模に起こっており、その木造家屋の瓦礫の中に多くの車があり、中には鉄筋コンクリートの建物の中や屋上の上に乗っているものすらある。

また、破壊・流失していく家屋の瓦礫の中で火災が発

生しそれが流されることによって拡大していった場合がある。特に、タンクの油の流失によって火災が拡大したと思われるケースも認められる。

列車を含む鉄道や道路、橋梁の破壊もいくつか認められており、海岸から1.5kmのところにある仙台空港が冠水し航空機の浸水被害も発生している。

なお、地殻変動による地盤沈下は、岩手県から福島県の海岸線で0.5～1m程度あり、石巻など低い土地では春の大潮による浸水災害が二次災害として発生している。

表-8.3 10mクラスの津波の被害

陸域・一般の被害	建物の破壊・流出 (特に木造家屋壊滅的破壊・コンクリートの建物の3階以上の浸水)
	車の流失
	火災の発生
	タンク破壊と油流失
	鉄道・道路・橋梁の破壊
	地盤沈下
	田畑の冠水
港と海域の被害	船舶の漂流・衝突と乗り上げ
	港湾施設の破壊・浸水(上屋、クレーンなど)
	材木、コンテナの漂流・衝突
	漂流物の港内の航路への沈下
	航路洗掘と埋没
	海浜・海岸林の消失
海岸・港の被害	水産養殖施設の流失
	防波堤や岸壁の洗掘、滑動
	突堤・離岸堤などの破壊
	堤防・護岸(防潮堤)等の破壊(洗掘)
	水門・陸閘の破壊

(5) 港湾や海域の被害

港湾域でも先に述べた多様な被害が発生しており、さらに表-2の中央に示すように港湾特有の被害も発生している。すなわち、津波によって多くの船舶(FDなどを含む)が漂流して港湾施設に衝突したり、陸上に乗り上げるなどの被害が発生している。日本海事新聞等によると、石巻港(1隻)、相馬港(2隻)、原町港(1隻)、小名浜港(1隻)、鹿島港(1隻)において2万トンから20万トンクラスの6隻の船舶が、防波堤内で座礁したり漏油等が発生している。また、東北旅客船協会事務局が、旅客船について同協会会員から聞き取ったところでは、4月1日現在で全損29隻、一部破損が2隻と発表されている。また漁船などの小型のものは内陸部の奥まで漂流したのものも

少なくなく、17,000隻以上の漁船が被害を受けている。なお、港湾域の上屋や工場にも甚大な浸水被害が出ている。また、コンテナの漂流も仙台新港などで見られている。

さらに、津波による流れによって航路などで洗掘や堆積が発生しており、10mを超える深さに達した場所もある。港湾内には津波によって破壊された家屋や車などが沈没しており、それを除去しないと港湾の再開ができない。ただし、港での復旧は早く、被災後早急に港内の啓開作業が始まり、暫定推進による供用を含めて、一部の岸壁は1週間を待たずして利用できるようになり、復旧活動に利用されている。

なお、湾内にある水産養殖施設などにも大きな被害が出ている。また、越前高田海岸などのように津波によって海岸林や砂浜が消失している場合も多い。

(6) 構造物の被災

釜石および大船渡などには、津波と通常の波浪の低減を目的として湾口に防波堤(津波防波堤)が設置されている。釜石湾口防波堤は、厳しい太平洋の波浪に対して設計されており、設計を大きく上回る津波であったが、比較的粘り強く、第一波のピーク時近くまでは大きな被害には至っていないと、津波高を60%程度に低減していたと思われる。ただし、大船渡湾口防波堤は、チリ地震津波に対応して設計されており、第一波によって大きく壊れている。

また、通常の防波堤や護岸、離岸堤や突堤も被災を受けている。ただし、それらの多くは厳しい太平洋の波浪に対して設計されていて比較的粘り強く、この巨大な津波でも壊滅的な被害には至っていないが、多くの被害がでている。例えば防波堤では、八戸港の八太郎地区北防波堤、宮古港藤原神林地区マリーナ防波堤、相馬港沖防波堤に大きな被害が出ている。日本海中部地震津波などの津波災害では波除堤の滑動や開口部付近の洗掘被害など限定的であったが、外洋に面した防波堤のケーソンにも滑動が見られる。ただし、消波ブロック被覆堤などケーソン幅が小さいものがほとんどである。

なお、これらの構造物は、津波低減効果は考慮されていなかったが、これまでの津波災害の調査結果と同様に、防波堤の港内側では津波はやや小さくなっていた。

なお、岩手県や宮城県の沿岸では、津波に対する堤防や護岸(防潮堤)・水門や閘門が数多く建設されており、多くの場所でこれを越えて津波が侵入しており、結果として破壊されているものも少なくない。津波低減効果を発揮するためには、こうした巨大な津波に対しても粘り強い構造で、津波低減効果を発揮する必要がある。越流を

許したときの津波低減効果や構造物の安定性については、さらに検討が必要である。

(7) 津波力

表-8.4は、海岸構造物の被災原因としての主要な津波の力をとりまとめたものである。すなわち、

- ①構造物前後の大きな水圧差による力が、防波堤や護岸を破壊している。比較的水深が大きな場合の前面と後面の水位差から求められる静水圧的な力であり、それによる浮力なども考える必要がある。
- ②砕けた波の切り立った波面が衝突して、胸壁などを破壊している。海岸付近の波が砕ける場合で、波面の衝突力や砕波後の速い流れによる動的な圧力も重要である。
- ③流れによる抗力で捨石やブロックが散乱している。
- ④流れによる大きな洗掘力が構造物周辺に顕著な洗掘を引き起こしている。

これらの力によって構造物の被災を説明するためには、各構造物にどのような状態の津波が作用しているか、数値計算などで定量的に評価することが必要である。

表-8.4 津波による構造物への作用

津波の力	構造物前後の水圧の差
	砕けた波の衝突力
	流れによる抗力
	流れによる洗掘力

8.2 地震被害

平成23年東北地方太平洋沖地震は、東北地方から関東という広大な地域で被害が発生した地震であり、港湾施設被害にも地域性が見られた。青森県から岩手県では地盤の浅い部分に比較的硬質の岩が存在すること、三陸地方特有のリアス地形ことから広範囲な埋立地が少ないため、施設被害の被害要因として液状化現象が支配的では無かったものと考えられる。また、地震動の特性からも港湾施設が被害を受け易い周波数帯(0.5Hz~1.5Hz程度)と比較して比較的短周期成分が卓越したため、地震動による被害程度は小さかったものと考えられる。

一方、宮城県・福島県・茨城県の港湾施設では液状化現象の発生が確認されており、施設被害が大きかった。また、本調査によって地震動が作用した後に津波が作用した複合的な被害が確認されており、土砂等の洗掘や流出に伴う施設の不安定化、さらに、津波の波圧や圧力差など流体に起因する被害が発生したものと想定される。地震と津波の複合被害については今後の研究課題と考え

られる。

従来、裏埋め土が液状化すると岸壁の被害が甚大になるとの経験から、液状化が懸念される場合に、「液状化する」「液状化しない」という判定を実施し、原則的に裏埋め土等の液状化対策を実施してきた。このような対策の効果により構造部材の破壊や大規模な変状状態には至らず、構造の安定性は確保できたと判断される。一方、今回の地震動による被害の事例をみると、「液状化しない」材料として裏込め等に用いられた岩ズリが圧縮し、地盤沈下を生じ、結果として、段差や、エプロン部に大規模な空洞が生じるなどの事例がみられた。このように、施設の要求性能を確保できない可能性があるという事例が確認された。今後、構造物の性能確保の観点から既存施設の耐震性を再評価する必要性が示唆されたものと考えられる。構造構成部材(地盤材料を含む)の動的特性の把握に基づく耐震性能照査手法の再検証・高度化も必要と考えられる。

仙台新港、鹿島港には、旧海岸線付近に形成された砂丘部を掘削して建設された掘込部の港湾施設がある。これに隣接して埋立部の港湾施設が存在し、掘込部と比較すると被害程度が大きかった。施設整備前の微地形情報、地盤情報や地震動のサイト増幅特性を積極的に評価することにより、耐震性の高い新規施設整備や既存施設の耐震性の再評価に活用できるものと考えられる。

仙台空港においては、耐震対策の一環として液状化対策を施工中であった。滑走路部分・誘導路部分を横断する地下道等の周辺地盤に液状化の可能性があるため、改良工事が進められおり、工事実施済みの滑走路部分で効果が確認された。事前に耐震性を評価し対策を講じることの重要性が再確認された事例と考えられる。

参考文献

- 気象庁(ホームページ): <http://www.jma.go.jp/jma/press/1104/08a/1103jishin.html>
- 警察庁(ホームページ): <http://www.npa.go.jp/archive/keibi/biki/higaijokyo.pdf>
- いわて防災ポータル(ホームページ): <http://www.pref.iwate.jp/~bousai/>
- 宮城県(ホームページ): <http://www.pref.miyagi.jp/kinkyu.htm>
- 福島県(ホームページ): <http://www.pref.fukushima.jp/j/>
- 日本海時新聞(ホームページ): <http://www.jmd.co.jp/>

9. 今後の課題

9.1 津波防災の課題

(1) 地震津波および被害の実態さらなる解明

本報告は、今回の地震・津波災害の調査結果を速報するものであり、観測された地震や津波のデータの予備的な解析結果を報告するものである。

表-9.1は今後の課題を示すものであるが、特に津波の実態や災害の実態や原因をさらなる現地調査や数値計算、水理模型実験で検討を進める必要がある。また、避難することは津波防災の基本であり、船舶の避難を含めて避難の実態を詳細に調べ、問題点を明らかにすることも不可欠である。

さらに、今後は特に復旧復興を考えた防災対策が重要となるため、初期の復旧だけでなく今後の復興についてもしっかりとした調査が必要である。

表-9.1 今後の課題

1)	伝播数値計算による津波高さや痕跡との比較、震源域の検討
2)	津波防波堤の津波低減効果と耐津波安定性の検討
3)	他の防波堤や防潮堤の効果と耐津波安定性の検討
4)	石油タンクなどの危険物の耐津波安定性の検討
5)	コンクリートの建物の耐津波安定性の検討
6)	コンテナなど漂流と沈没の検討
7)	船舶の被害の実態、耐津波係留力の検討
8)	航路の洗掘、海岸の洗掘の検討
9)	地震と津波の複合災害の検討
10)	避難と犠牲者の実態の把握
11)	有効な避難方法や施設の検討
12)	船舶避難の実態の把握
13)	復旧・復興の状況の把握
14)	津波防災施設の「粘り強さ」の検討
15)	新たな粘り強い津波防災施設の検討
16)	GPS 波浪計によるリアルタイム予測の推進

(2) 巨大な災害への対応(レベルⅡへの対応-性能設計)

早期の復旧・復興を考える上では、今回のような非常に巨大な津波にどう対応するかという、基本的な方針が大きな問題となる。港湾空港技術研究所では、インド洋大津波やハリケーン・カトリーナの大災害以来、通常の設計を超えるような津波や高潮災害に備えることの重要性を指摘してきた(高橋ら2006)。

表-2は、最大級の津波に備える考え方を示すものである。すなわち、従来の設計対象津波(設計津波)に対し

ては、人々の生命はもちろん、財産も守り、被害を最小限に抑える。そして、さらに発生確率が非常に低い最大級の津波も考え、それに対しては、最低限、人命を守る対策を考えること、重要施設の壊滅的被害を防止し甚大な二次災害を防ぐことが必要である。表-2では、最大級の津波をレベルⅡとして設定しているが、今回の津波は、ほとんどの沿岸でまさにレベルⅡクラスの津波である。もちろん、レベルⅠは従来の想定津波を考える。

表-2 最大級の津波の考慮(性能設計)

	対象津波	要求性能
レベルⅠ	・近代で最大 (100年に一度程度)	・人命を守る ・財産を守る ・経済活動を守る
レベルⅡ	・最大級 (1000年に一度程度以上)	・人命を守る ・経済的損失を軽減する。 ・特に大きな二次災害をひきおこさない。 ・早期復旧を可能とする。

津波防災施設の設計では、このレベルⅠとⅡ(場合によってはさらに上のレベルⅢ)に対して、求められる防災機能(例えば津波低減効果)や安定性能(耐津波安定性)を決めて、それを満たすように施設の設計を行う必要がある。例えば、今回のように巨大なレベルⅡの津波に対して人命を守るためには、避難施設も含めてハードとソフトの対策を総合的にこなすことがもちろん重要である。ただし、経済的な損失については、ハード対策が必要となる。防潮堤で巨大な津波を完全に止めようとするとその高さが、非常に高くなるため、コストなどを考えて浸水災害を有効に軽減できる防潮堤の高さを選択する必要がある。

ただし、防潮堤などの防災施設はこのレベルⅡの津波に対しても安定でなくてはならない。少なくとも大きな変位に至らず津波を軽減する機能を保持している必要がある。こうした「粘り強さ」が求められており、津波防災施設の「粘り強さ」の検討や新たな粘り強い津波防災施設の検討が重要となる。性能設計については、すでに港湾施設の技術上の基準などにとりあげられており、次第にその体系の整備が進められている。

なお、住民の生命を守るためには、高所への街ごと移転が有効であることは古くから言われているとおりである。ただし、港の活動など海岸に近いところでの経済活動は不可欠であり、これを守ることも重要である。埋立地の地盤のかさ上げや高いビルの建設は、効果的な手段である。防

潮堤や津波防波堤など津波軽減のハード対策とともにソフト対策を含む総合的な対策が必要である。

(3) 今後の津波防災の研究

港湾空港技術研究所等では、津波災害の軽減にむけていくつかの研究を進めてきたが、特に「防災は市民が自分の町に発生する災害の具体的な様子を知ることが重要と考えて、災害の予測技術に力を入れている。特に数値計算による予測技術の構築を図っており、今回の調査の貴重なデータを利用し、被害を的確に予想でき、市民に具体的に示すことができる数値計算技術の開発をさらに進めていく必要がある。

また、前述したように「避難すること」は、津波防災の基本であり、これまで警報システムの高度化などが行われてきており、GPS波浪計の整備も進んでいる。今回、6m以上の津波を捕らえて大津波警報の発令に貢献したことは重要なことであり、その実用性が立証された。さらに、そのデータを用いたリアルタイム予測技術の研究を行っており、その実用化をはかることが急務である。

9.2 地震防災の課題

(1) 設計地震動設定手法の高度化

今回の地震では、日本海溝の西側の約500kmにわたる広い範囲で地震が発生した。また、マグニチュードが我が国の観測史上最大の9.0を記録しており、マグニチュード7.0を超える余震が続いており、地震規模としてこれまでにない大きなものであった。このため、各地で記録された地震動の継続時間が200秒以上と長いことが特徴であった。

耐震強化岸壁は、第1段階として1983年日本海中部地震以降、設計震度を高く設定することにより設計・建設が進められた。第2段階として、1995年兵庫県南部地震を契機にレベル1、レベル2地震動という2段階の地震動を採用し、当初は兵庫県南部地震時に神戸港で観測された地震動・八戸波・大船渡波の加速度振幅を補正しレベル2地震動として高い耐震性を有する施設として設計・建設が進められた。第3段階として近年の地震学の進歩により震源特性・伝播経路特性・サイト特性を考慮したシナリオ地震動を高精度に予測することが可能となり、新基準ではこれをレベル2地震と設定し、使用性を確保、すなわち軽微な被害にとどめることとしている。今回の地震規模は、従来想定していたシナリオ地震の見直しを必要とするレベルであった。すなわち、震源特性の設定について、国の地震調査委員会の想定ではマグニチュード7.5前後あるいは8前後の発生確率が30年以内に99%と程度されていた

宮城県沖地震であったが、今回発生した地震ではマグニチュード9.0であり、そのエネルギーはM8.0と比較して約32倍大きいものであった。震源特性・伝播経路特性・サイト特性の乗算によりシナリオ地震動を計算されることから、各々の特性の精度を確保した合理的なシナリオ地震動の推定手法の高度化が必要であると考えられる。

(2) 地震動が長期継続する場合の地盤の液状化判定法の改善

地震動が長時間継続する場合には、同じ加速度レベルであっても液状化被害が増大することが懸念されている。この問題は、地盤が液状化、あるいは液状化に近い状態で繰り返しせん断力を多数回受けることによって、液状化の程度が増加することが問題である。この課題についてはすでに山崎ら(2010)の研究成果があるが、今後さらに検討を進めていくことが必要である。

(3) 地震動に伴う地盤材料の圧縮性の把握

今回の地震では、宮城県南部から、茨城県にかけて、いくつかの港湾で甚大な地震被害が報告された。これらの中で、裏込めに砂岩ズリを用いたところで、やや大きめの地盤沈下が認められた。これが液状化によるものではないことは、現地調査によって確認されている。

砂岩ズリは粒度が良く、排水性が高いため液状化しにくい地盤材料であり、このため、裏込め、裏埋めに用いられたものであるが、地震動により著しい圧縮を生じたものである。この著しい圧縮によって、ケーソン背後のところで著しい段差が生じ、このために、荷役に支障が出るのが想定される。このようなことから、今後は、裏込め、裏埋め材料の地震時の圧縮特性についても検討することが必要である。

(4) 被災施設の健全度評価

被災地において港湾・空港施設の果たす役割は大きく、緊急物資輸送・救急隊の活動拠点・復旧資機材の輸送などに活用される。このため、現地において船舶の接岸・係留・荷役が可能であるかの判断を迅速に下す必要がある。過去の地震被災事例を根拠に、目視により施設の健全度を評価、海中部については水深の確保等を音響ソナー・潜水士による調査により確認することになる。特に、鋼材を用いた施設の場合、目視による健全度評価には限界があることから、今後は「モニタリングシステム」の技術開発が必要と考えられる。

(5) 被災施設復旧工法の高度化

従来は、港湾施設が被災した際には、被災前の機能に回復させるための、復旧工事が行われている。今回被災した施設の多くのものは、現行の港湾基準(平成19年4月施行)設定以前に設計されたものが多く、現行設計基準

で想定しているような性能を満足していない施設が多数ある。このような場合には、被災する前の状態に復旧することは適切ではなく、構造物の重要度に応じて、新基準の性能設計体系に基づいた修復を検討することが必要であると考えられる。

また、上記のような事情を鑑みると、被災施設の復旧断面の設計に当たっては様々な形式を提案することが考えられる。特に鋼材を用いた場合には、鋼材の変状を勘案して適切に改修することにより、経済的で効果的な改修を実施することが可能となると考えられる。

参考文献

- Takahashi, S. (2005) : Tsunami disasters and their mitigation in Japan, Toward the performance design of coastal defenses, International Symposium Disaster Reduction on Coasts, Scientific-Sustainable-Holistic- Accessible, 14-16, November, 2005, Monash University.
- 越村俊一・行谷佑一・柳澤英明 (2009) : 津波被害関数の構築, 土木学会論文集 B, Vol.65 No.4, pp. 321-331.
- 熊谷兼太郎・小田勝也・藤井直樹(2008) : コンテナ沈没挙動測定の現地実験と港湾における漂流数値シミュレーション, 海岸工学論文集, 第 55 巻, pp.271-275.
- 高橋重雄・河合弘泰・平石哲也・小田勝也・高山知司 (2006) : ハリケーン・カトリーナの高潮災害の特徴とワーストケースシナリオ, 海岸工学論文集第 53 巻 pp.411-415.
- 高橋重雄(2003) : 海域施設の性能設計の考え方とその適用, 2003 年度水工学に関する夏期研修会講義集, B-1-1～B-1-22.
- 本多和彦・富田孝史・西村大司・坂口章(2009) : 多数の津波漂流物を解析する数値モデルの開発, 海洋開発論文集, 第 25 巻, pp.39-44.
- 富田孝史・本多和彦・廉慶善(2010) : 漂流物による建物破壊や道路閉塞を考慮した津波被害推定, 海洋開発論文集, 第 26 巻, pp.225-230.
- 山崎浩之・江本翔一(2010) : 地震動波形の影響を考慮した液状化の予測・判定に関する提案, 独立行政法人港湾空港技術研究所報告, 第 49 巻第 3 号, pp. 79-109.

10. あとがき

今回の地震はその規模においても従来我が国で経験していた地震の規模を上回るものであり、広範囲に地震被害と津波被害を生じた。特に、津波被害については、多くの尊い命が奪われる結果となった。

三陸地方は明治三陸や昭和三陸、さらにはチリ地震津波など、多くの津波災害を経験しており、津波防災の意識は、行政だけでなく市民の一人一人も高かったと思わ

れる。釜石や宮古などでは、毎年、津波のセミナーが地域の自治体や国土交通省の港湾事務所らに主催で開催されて、多くの人が参加していた。それにもかかわらず、建物の被害だけでなく人的な被害が甚大であったことは、非常に残念である。最大級の津波の想定を見直すなど、津波防災を根本的に考える必要があると思われる。また、日本のみならず世界中で海溝に面したところでは、どこでも大津波が発生すると考えて対応することが重要と思われる。

港湾空港技術研究所では、前述したように津波の実態を知ってもらうことが重要と考えて、津波の大型実験の映像を市民に見ていただいたり、「津波は怖い」、あるいは津波から生き延びるという本を作成したりしてきたが、今回の津波では多くの人がテレビなどで津波の映像をみて、その怖さを十分理解したと思われる。これによって、津波の避難が確実に行われるようになることを期待している。ただし、先に述べたようにGPS波浪計で警報を的確に出せるようにすることも、避難の推進に不可欠である。

本調査は、国土交通省の要請のもとに行ったもので、港湾空港技術研究所と国土技術政策総合研究所が国土交通省の東北地方整備局や関東地方整備局のご協力のもとに実施したものである。非常に多くの方々にご支援・ご協力を賜っている。この場を借りて深く感謝の意を表す。

なお、2004年のインド洋大津波の後、日本だけでなく各国で地震・津波災害の研究が進み減災の対策も進められている。国際的な連携も進んでおり、例えば国際航路協会などでも対策の検討(PIANC WG53 2010)がなされており、港湾空港技術研究所でも毎年国際沿岸防災ワークショップを開催して国際連携を深めている。今後は、日本の経験を世界に知っていただくことも大切である。

(2011年4月28日受付)

参考文献

- Murata, S., Imamura, F., Katoh, k., Takahashi, S., and Takayama, T.(2010) Tsunami – To Survive from Tsunami, World Scientific, 302p.
- PIANC WG53 Report (2010): Mitigation of Tsunami Disaster in Ports, PIANC Report No.112, 111p.
- 港湾空港技術研究所・沿岸技術開発研究センター (2009) : 津波は怖い, 丸善プラネット, 30p.
- 沿岸開発技術研究センター(2008) : TSUNAMI-津波から生き延びるために, 丸善プラネット, 196p.



図-5.1.1.11 打ち上がった船舶（八戸港白銀地区）



図-5.1.1.16 八太郎北防波堤の11工区の被災状況（八戸港）



図-5.2.1.7 諏訪下地区の被災状況（久慈港）



図-5.2.1.8 諏訪下地区のオイルタンクの被災（久慈港）



図-5.2.1.15 諏訪下地区におけるFDの被災（久慈港）



写真-5.2.3.7 岸壁に乗り上げた船（釜石港）（3月17日撮影）



写真-5.2.3.11 道路を埋める瓦礫と車（釜石市）（3月17日撮影）



写真-5.2.3.20 両石地区の被災した防波堤（釜石市）



写真-5.2.4.8 大船渡駅周辺の被害(駅北の踏切から)



写真-5.2.4.1 大船渡商工会議所(丸太が二階に侵入している)



写真-5.2.4.5 防潮堤のゲートの流出(3月18日)



写真-5.2.5.1 海岸沿いに建っていた建物(基礎部はコンクリートであるがそのほか鉄骨)(宮古港田老(旧田老町))



写真-5.2.5.7 下水処理場の2階テラス部 (宮古港宇部町)



写真-5.3.2.4 本吉町赤崎海岸に残された元シーサイドパレス (2011年3月29日撮影) (気仙沼市)



写真-5.3.2.6 漂流した船の通った道沿いにあった鉄骨3階建ての建物 (2011年3月28日撮影) (気仙沼市鹿折唐桑駅周辺)



写真-5.3.3.2 2階建ての建物の壁面破壊 (南三陸町)



写真-5.3.4.3 岸壁の天板の破壊（女川港）



写真-5.3.7.3 高砂埠頭におけるコンテナ散乱の様子（仙台塩釜港）
(2011年3月17日撮影)



写真-5.3.8.2 ターミナル外部の様子（仙台空港）（2011年3月18日撮影）



写真-5.3.8.4 護岸とその背後の洗掘（南側）（仙台空港前面海岸）
(2011年3月18日撮影)



図-5.4.1.9 コンテナの衝突（相馬港第1埠頭）



図-5.4.2.2 小名浜港漁港区における津波痕跡



図-5.4.2.9 兎渡路における防波護岸と背後の被災状況（小名浜港豊間地区）



図-5.4.2.10 小名浜港漁港区に打ち上がった漁船

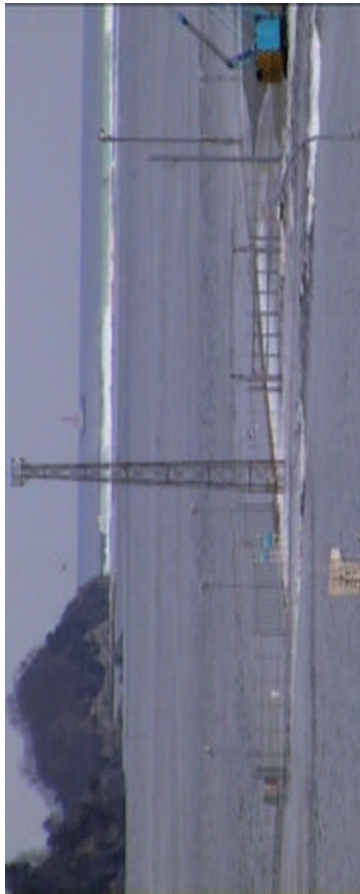


写真-7.1.1(2) 被災の進行状況(2) (釜石湾口防波堤ビデオ)



写真-7.1.3 被災後の防波堤 (北堤堤頭部から) (釜石湾口防波堤)

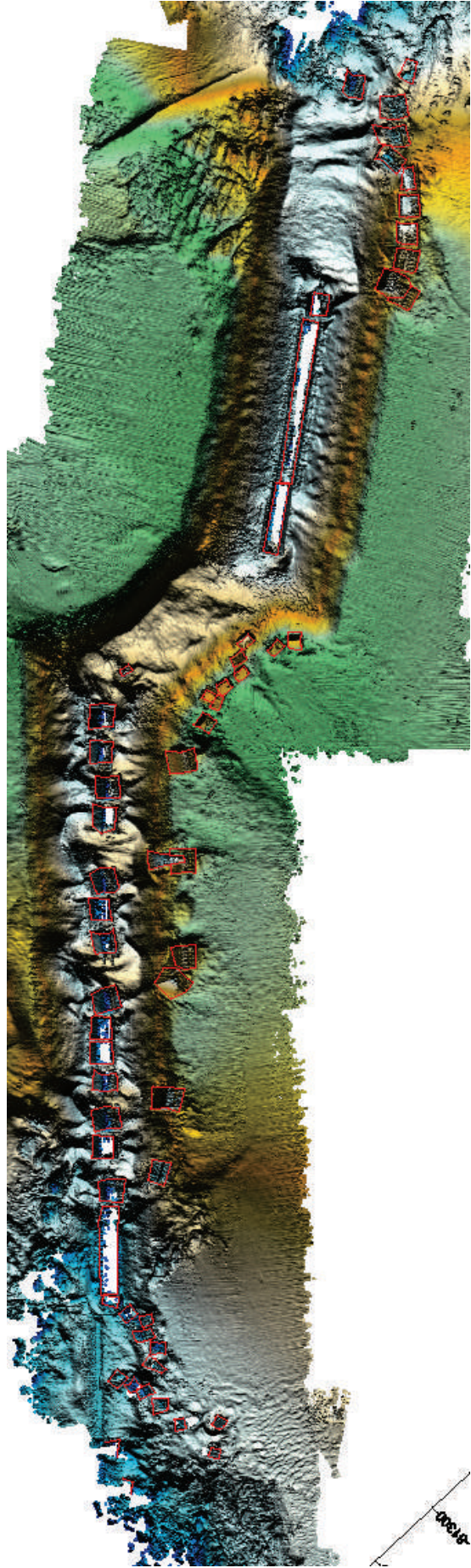


図-7.1.3 ナローマルチビームによる測深データ (釜石湾口防波堤)

付録2 地震被害のカラー写真



写真-2.2.2.1 相馬港の強震観測小屋跡（東北地方整備局提供）
（平成23年3月25日撮影）



写真-6.2.1.11 諏訪下地区棧橋（-7.5m）一津波による渡版の被害―
（久慈港諏訪下地区）（平成23年3月18日撮影）



写真-6.3.3 大手埠頭棧橋部の舗装版の損傷（石巻港）
（写真番号③：平成23年3月16日撮影）



写真-6.3.17 高砂埠頭2号岸壁東側隅角部（仙台塩釜港）
（写真番号⑩：平成23年3月17日撮影）



添付写真 地震時に免震機構が作動した免震コンテナクレーン
(高砂コンテナターミナル)



写真-6.3.29 転倒した4階建ビル(女川漁港後背地)
(平成23年3月16日撮影)



添付写真 発災後5日目(3月16日)仙台空港に着陸する大型輸送機
機の一機 液状化対策の効果を確認された

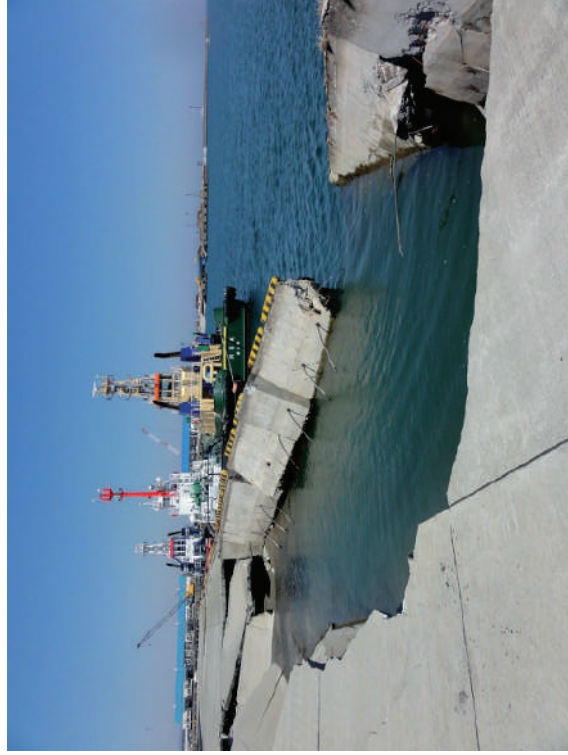
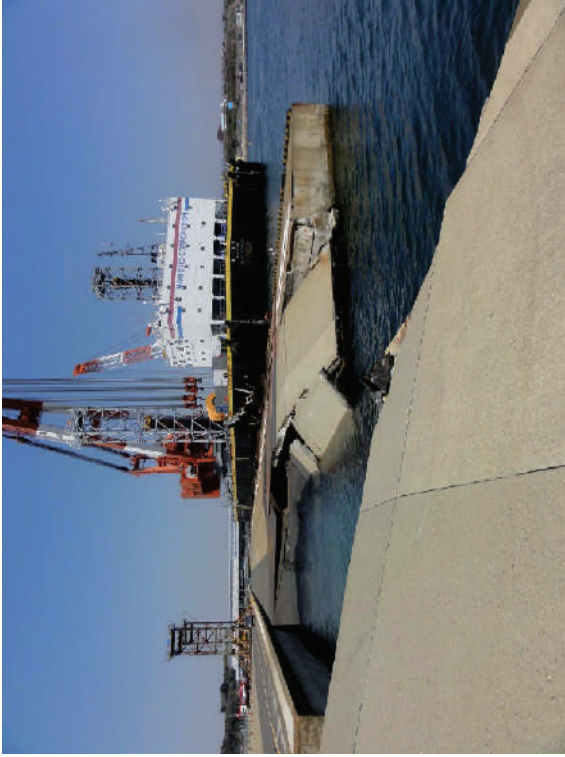


図-6.4.1.3 矢板岸壁の破損・洗掘状況(相馬港1号ふ頭)



6. 5. 1. 2 第 4 埠頭重力式岸壁 (-10m) 隅角部 (茨城港日立港区)
(2011 年 4 月 14 日撮影)



添付写真 脱輪した非免震コンテナクレーン (茨城港常陸那珂港区)



図-6. 4. 2. 4 構造変化位置での法線の出入り (小名浜港 4 号埠頭)



写真-6. 5. 2. 2 北埠頭重力式岸壁 (-12m) レールの湾曲 (茨城港常陸那珂港区)
(2011 年 4 月 13 日撮影)

付録3 調査団の構成と詳細行程

【第1班】

○日程：平成23年3月14日（月）～15日（火）

○調査対象地域：茨城港

○調査団員：

（地震班）山崎 浩之 地盤・構造部地震防災研究領域長
小濱 英司 同 耐震構造研究チームリーダー

○行程

平成23年3月14日（月）

（午前）研究所（久里浜）出発 関東地方整備局官用車にて水戸市へ、茨城県庁にて打ち合わせ

（午後）現地調査（茨城港大洗地区及び常陸那珂地区）、茨城県庁にて打ち合わせ（泊：水戸市）

平成23年3月15日（火）

（午前）現地調査（茨城港（常陸那珂地区））、茨城県茨城港湾事務所にて打ち合わせ

（午後）研究所（久里浜）へ

【第2班】

○日程：平成23年3月15日（火）～19日（土）

○調査対象地域：石巻港，仙台塩釜港，仙台空港

○調査団員：

（津波班）栗山 善昭 海洋・水工部長（団長）
有川 太郎 海洋・水工部主任研究官
関 克己 同 研究官

（地震班）菅野 高弘 特別研究官
森川 嘉之 地盤・構造部地盤改良研究チームリーダー
福永 勇介 国総研港湾研究部研究官

（東北地方整備局）

山崎 一雄 仙台港湾空港技術調査事務所

○行程

平成23年3月15日（火）

研究所（久里浜）出発 新幹線等で新潟市へ、新潟市よりレンタカーで仙台市へ

到着後東北地方整備局仙台技術調査事務所にて打ち合わせ（泊：仙台市）

平成23年3月16日（水）

（午前）東北地方整備局港湾空港部にて打ち合わせ

（午後）現地調査（石巻港，女川港）（泊：仙台市）

平成23年3月17日（木）

(午前) 現地調査 (仙台塩釜港 (仙台港区))

(午後) 現地調査 (仙台塩釜港 (塩釜港区))

(泊 : 仙台市)

平成 23 年 3 月 18 日 (金)

(午前) 現地調査 (仙台空港及び周辺海岸)

(午後) 現地調査後仙台技術調査事務所にて打ち合わせ

(泊 : 仙台市)

平成 23 年 3 月 19 日 (土)

仙台市から新潟市を經由し, 新幹線等にて研究所 (久里浜) へ

【第 3 班】

○日程 : 平成 23 年 3 月 16 日 (火) ~19 日 (土)

○調査対象地域 : 釜石港, 大船渡港

○調査団員 :

(津波班) 高橋 重雄 アジア・太平洋沿岸防災研究センター長 (団長)

下迫 健一郎 海洋・水工部海洋研究領域長

辰巳 大介 アジア・太平洋沿岸防災研究センター

根木 貴史 国総研沿岸海洋研究部沿岸防災研究室長

(地震班) 菊池 喜昭 地盤・構造部長

岩波 光保 地盤・構造部構造研究領域長心得

竹信 正寛 地盤・構造部研究官

(東北地方整備局)

早川 修 仙台港湾空港技術調査事務所

○行程

平成 23 年 3 月 16 日 (水)

研究所 (久里浜) 出発 羽田空港より秋田空港へ, 秋田市よりレンタカーで盛岡市へ. 到着後東北
地方整備局仙台技術調査事務所 早川氏と打ち合わせ

(泊 : 盛岡市)

平成 23 年 3 月 17 日 (木)

(午前) 釜石港へ移動, 東北地方整備局釜石港湾事務所との打ち合わせ

(午後) 現地調査 (釜石港)

(泊 : 盛岡市)

平成 23 年 3 月 18 日 (金)

(午前) 大船渡港へ移動

(午後) 現地調査 (大船渡港)

(泊 : 盛岡市)

平成 23 年 3 月 19 日 (土)

盛岡市から秋田市へ移動, 秋田空港より羽田空港へ, 研究所 (久里浜) 着

【第 4 班】

○日程 : 平成 23 年 3 月 16 日 (水) ~19 日 (土)

○調査対象地域：八戸港，久慈港

○調査団員：

(津波班) 富田 孝史 アジア・太平洋沿岸防災研究センター上席研究官 (団長)

鈴木 高二朗 海洋・水工部海洋環境情報研究チームリーダー

熊谷 兼太郎 国総研沿岸海洋研究部主任研究官

渡邊 祐二 同 研究員

(地震班) 野津 厚 地盤・構造部地震動研究チームリーダー

水谷 崇亮 同 基礎工研究チームリーダー

山路 徹 同 材料研究チームリーダー

(東北地方整備局)

菅原 豊明 仙台港湾空港技術調査事務所

○行程

平成 23 年 3 月 16 日 (水)

研究所 (久里浜) 出発 羽田空港より青森空港へ，レンタカーで八戸市へ

到着後東北地方整備局八戸港湾・空港整備事務所にて打ち合わせ

(泊：八戸市)

平成 23 年 3 月 17 日 (木)

(終日) 八戸港湾・空港整備事務所と打ち合わせ後現地調査 (八戸港)

(泊：八戸市)

平成 23 年 3 月 18 日 (金)

(午前) 八戸市から久慈港へ移動

(午後) 現地調査 (久慈港)

(泊：八戸市)

平成 23 年 3 月 19 日 (土)

八戸市から青森市へ移動，青森空港より羽田空港へ，研究所 (久里浜) 着

【第 5 班】

○日程：平成 23 年 3 月 27 日 (日) ～30 日 (水)

○調査対象地域：釜石港，宮古港

○調査団員：

(津波班) 富田 孝史 アジア・太平洋沿岸防災研究センター上席研究官 (団長)

中川 康之 海洋・水工部沿岸土砂監理研究チームリーダー

熊谷 兼太郎 国総研沿岸海洋研究部主任研究官

(東北地方整備局)

山崎 一雄 仙台港湾空港技術調査事務所

○行程

平成 23 年 3 月 27 日 (日)

研究所 (久里浜) 出発 羽田空港より花巻空港へ，レンタカーで花巻市へ

(泊：花巻市)

平成 23 年 3 月 28 日 (月)

(午前) 花巻市から釜石市へ移動, 東北地方整備局釜石港湾事務所にて打ち合わせ後
現地調査 (釜石港)

(午後) 現地調査 (釜石港) (泊: 花巻市)

平成 23 年 3 月 29 日 (火)

(午前) 花巻市から宮古市へ移動, 宮古港出張所にて打ち合わせ後現地調査 (宮古港)

(午後) 現地調査 (宮古港) (泊: 花巻市)

平成 23 年 3 月 30 日 (水)

花巻空港より空路羽田空港へ, 研究所 (久里浜) 着

【第 6 班】

○日程: 平成 23 年 4 月 5 日 (火) ~ 8 日 (金)

○調査対象地域: 相馬港, 小名浜港, 仙台空港

○調査団員:

(津波班) 下迫 健一郎 海洋研究領域長

富田 孝史 アジア・太平洋沿岸防災研究センター上席研究官

鈴木 高二朗 海洋環境情報研究チームリーダー

菅野 甚活 国総研港湾研究部施工港湾システム課長

(地震班) 菅野 高弘 特別研究官 (地震防災研究担当) (団長)

山崎 浩之 地盤研究領域長

長尾 毅 国総研港湾研究部港湾施設研究室長

(東北地方整備局)

及川 勝朋 仙台港湾空港技術調査事務所

○行程

平成 23 年 4 月 5 日 (火)

研究所 (久里浜) 出発 レンタカーで福島市へ (泊: 福島市)

平成 23 年 4 月 6 日 (水)

(午前) 福島市から相馬市へ移動

(午後) 現地調査 (相馬港) (泊: 郡山市)

平成 23 年 4 月 7 日 (木)

(午前) 郡山市からいわき市へ移動, 東北地方整備局小名浜港湾事務所と打ち合わせ

(午後) 現地調査 (小名浜港) (泊: いわき市)

平成 23 年 4 月 8 日 (金)

(午前) 小名浜港湾事務所と打ち合わせ後, 昨夜の地震により予定を変更し, いわき市から仙台空港へ移動

(午後) 現地調査 (仙台空港), 終了後仙台空港から研究所 (久里浜) へ

【第7班】

○日程：平成23年4月5日（火）～6日（水）

○調査対象地域：鹿島港，茨城港

○調査団員：

（津波班）栗山 善昭 特別研究官（海洋・水工研究担当）（団長）

加島 寛章 海洋研究領域研究官

伴野 雅之 沿岸環境研究領域研究官

泉山 拓也 国総研管理調整部企画調整課係長

○行程

平成23年4月5日（火）

（午前）研究所（久里浜）出発，車にて鹿嶋市へ，関東地方整備局鹿島港湾・空港整備事務所と打ち合わせ後現地調査（鹿島港）

（午後）現地調査（茨城港（大洗地区））（泊：水戸市）

平成23年4月6日（水）

（午前）現地調査（茨城港（常陸那珂地区））

（午後）現地調査（茨城港（日立地区）），終了後 研究所（久里浜）へ

【第8班】

○日程：平成23年4月12日（火）～14日（木）

○調査対象地域：鹿島港，茨城港

○調査団員：

（地震班）菅野 高弘 特別研究官（地震防災研究担当）（団長）

小濱 英司 耐震構造研究チームリーダー

長尾 毅 国総研港湾研究部港湾施設研究室長

○行程

平成23年4月12日（火）

（午前）研究所（久里浜）出発，車にて鹿嶋市へ，関東地方整備局鹿島港湾・空港整備事務所と打ち合わせ

（午後）現地調査（鹿島港）（泊：水戸市）

平成23年4月13日（水）

（午前）現地調査（茨城港（大洗地区））

（午後）現地調査（茨城港（常陸那珂地区））（泊：水戸市）

平成23年4月14日（木）

（午前）現地調査（茨城港（日立地区））

（午後）現地調査終了後，研究所（久里浜）へ

【合同調査団①】

○日程：平成23年3月25日（金）～30日（水）

○調査対象地域：石巻，女川，南三陸

○調査団員：有川 太郎 海洋・水工部主任研究官
作中 淳一郎 海洋・水工部研究官
鷲崎 誠 海洋・水工部研究官

○行程

平成23年3月25日（金）

研究所（久里浜）出発，仙台市へ移動

（泊：仙台市）

平成23年3月26日（土）

（午前）南三陸町志津川

（午後）南三陸町歌津

（泊：仙台市）

平成23年3月27日（日）

（午前）女川町

（午後）雄勝町

（泊：仙台市）

平成23年3月28日（月）

（終日）気仙沼市

（泊：仙台市）

平成23年3月29日（火）

（午前）気仙沼市唐桑町

（午後）気仙沼市本吉町

（泊：仙台市）

平成23年3月30日（水）

仙台市より研究所（久里浜）へ

【合同調査団②】

○日程：平成23年4月6日（水）～9日（土）

○調査対象地域：岩手県各地

○調査団員：有川 太郎 海洋研究領域上席研究官

○行程

平成23年4月6日（水）

（午前）研究所（久里浜）出発 花巻市へ

（午後）陸前高田

（泊：花巻市）

平成23年4月7日（木）

（午前）大船渡市

（午後）釜石市，遠野市

（泊：花巻市）

平成23年4月8日（金）

（午前）釜石市両石

(午後) 大槌町, 陸前山田
平成 23 年 4 月 9 日 (土)

(泊 : 花巻市)

(午前) 女川町

(午後) 仙台市 現地調査終了後 研究所 (久里浜) へ

付録4 痕跡調査データ

津波痕跡高の計測結果を、IUGG Tsunami Commissionが規定したフォーマットで整理した(付表-4.1)。「計測実施時の潮位」・「津波到達時の潮位」・「地盤高」は、C.D.L.を基準面とした高さであるが、「潮位補正前の津波痕跡高」は計測実施時の海面、「潮位補正後の津波痕跡高」は津波来襲時の海面、「浸水深」は地表面をそれぞれ基準面とした高さである。

「信頼度」はA～Dまでの4段階に分類され、それぞ

れ次のとおり定義される。

信頼度 A：痕跡が明瞭で測定誤差が小さい。

信頼度 B：痕跡は不明だが聞き込みや周囲の状況などから信頼ある水位を知ることができ、測定誤差が小さい。

信頼度 C：砂浜などで異常に波が這い上がったと考えられる、あるいは痕跡が海辺から離れていて測定誤差が大きい。

信頼度 D：高潮、高波等の影響で痕跡が重複し不明瞭。

付表-4.1 津波痕跡高の測定結果

番号	県名	地点名	緯度	経度	潮位補正前の津波痕跡高(m)	汀線からの距離(m)	湖上(R)/浸水(I)	津波痕跡	信頼度	計測実施時刻	(想定)津波到達時刻	潮位補正参照地点	計測実施時の潮位(m, CDL基準)	津波到達時の潮位(m, CDL基準)	浸水深(m)	地盤高(m, CDL基準)	潮位補正後の津波痕跡高(m)	計測実施者	備考
1-1	宮城	石巻港	N 38°24'59.5"	E 141°15'59.1"	4.25	49.12	I	建物水跡	A	2011/3/16 12:00	2011/3/11 15:00	石巻	1.10	0.38	2.88	2.47	4.97	栗山・有川・関	
1-2	宮城	石巻港	N 38°25'12.0"	E 141°16'13.2"	3.43	8.09	I	建物水跡	A	2011/3/16 12:36	2011/3/11 15:00	石巻	1.09	0.38	2.60	1.92	4.14	栗山・有川・関	
1-3	宮城	石巻港	N 38°25'14.1"	E 141°16'3.0"	3.92	117.495	I	合同庁舎水跡前面	A	2011/3/16 13:00	2011/3/11 15:00	石巻	1.09	0.38	2.25	2.76	4.63	栗山・有川・関	
1-4	宮城	石巻港	N 38°25'14.8"	E 141°16'7.8"	3.46	187.815	I	合同庁舎水跡背面道路側	A	2011/3/16 13:10	2011/3/11 15:00	石巻	1.09	0.38	2.45	2.10	4.17	栗山・有川・関	
1-5	宮城	石巻港	N 38°25'14.8"	E 141°16'7.7"	2.56	191.655	I	合同庁舎水跡背面奥側	A	2011/3/16 13:20	2011/3/11 15:00	石巻	1.09	0.38	1.17	2.48	3.27	栗山・有川・関	
1-6	宮城	女川港	N 38°26'55.5"	E 141°26'50.9"	14.72	33.73	I	建物水跡	A	2011/3/16 17:00	2011/3/11 15:00	石巻	0.45	0.38	13.40	1.77	14.79	栗山・有川・関	
1-7	宮城	仙台港区	N 38°16'24.9"	E 141°12'2.8"	7.47	75.26	I	建物水跡	A	2011/3/17 10:00	2011/3/11 15:00	塩釜	0.85	0.32	4.70	3.62	8.00	栗山・有川・関	
1-8	宮城	仙台港区	N 38°16'24.1"	E 141°12'6.3"	6.72	79.605	I	建物水跡	A	2011/3/17 10:20	2011/3/11 15:00	塩釜	0.85	0.32	4.20	3.37	7.25	栗山・有川・関	
1-9	宮城	仙台港区	N 38°16'18.9"	E 140°59'53.4"	5.05	35.21	I	階段水跡, 仙台港中央公園	A	2011/3/17 11:20	2011/3/11 15:00	塩釜	0.99	0.32	1.25	4.79	5.72	栗山・有川・関	
1-10	宮城	仙台港区	N 38°16'18.5"	E 140°59'53.1"	9.12	33.61	R	斜面湖上跡, 仙台港中央公園	A	2011/3/17 11:40	2011/3/11 15:00	塩釜	1.12	0.32	0.00	10.24	9.92	栗山・有川・関	
1-11	宮城	仙台港区	N 38°16'3.8"	E 141°12'0.1"	6.495	41.665	I	建物水跡	A	2011/3/17 12:00	2011/3/11 15:00	塩釜	1.12	0.32	3.70	3.92	7.30	栗山・有川・関	
1-12	宮城	仙台港区	N 38°15'56.8"	E 141°1'16.7"	8.335	61.525	I	木(枝折り), 蒲生干潟付近	A	2011/3/17 13:30	2011/3/11 15:00	塩釜	1.22	0.32	1.54	8.02	9.24	栗山・有川・関	
1-13	宮城	仙台港区	N 38°15'58.7"	E 141°05'4.0"	13.525	42.05	I	体育館水跡	A	2011/3/17 14:00	2011/3/11 15:00	塩釜	1.24	0.32	8.22	6.55	14.45	栗山・有川・関	
1-14	宮城	仙台港区	N 38°15'59.0"	E 141°05'2.9"	8.085	34.655	I	避難所証言(2階で胸の高さまで水が来た)	B	2011/3/17 14:13	2011/3/11 15:00	塩釜	1.24	0.32	4.10	5.23	9.01	栗山・有川・関	
1-15	宮城	塩釜港区	N 38°19'8.9"	E 141°14'2.0"	3.52	82.88	I	建物水跡	A	2011/3/17 15:40	2011/3/11 15:00	塩釜	0.97	0.32	2.48	2.01	4.17	栗山・有川・関	

付表-4.1 津波痕跡高の測定結果

番号	県名	地点名	緯度	経度	潮位補正前 の津波痕跡 高(m)	汀線からの距 離(m)	湖上(R)/浸 水(I)	津波痕跡	信頼度	計測実施時刻	(想定)津波到達 時刻	潮位補正参 照地点	計測実施時の 潮位(m, CDL 基準)	津波到達時の 潮位(m, CDL 基準)	浸水深(m)	地盤高(m, CDL基準)	潮位補正後の 津波痕跡高 (m)	計測実施者	備考
1-16	宮城	仙宮空港	N 38°8'18.0"	E 140°55'55.2"	4.91	99.48	I	電源局舎水跡	A	2011/3/18 12:30	2011/3/11 15:00	塩釜	0.99	0.32	3.35	2.55	5.58	栗山・有川・関	
1-17	宮城	仙宮空港	N 38°8'16.0"	E 140°55'51.5"	5.02	160.745	I	仙宮空港跡 水跡	A	2011/3/18 12:30	2011/3/11 15:00	塩釜	0.99	0.32	3.45	2.56	5.69	栗山・有川・関	
1-18	宮城	仙宮空港	N 38°86.6"	E 140°56'22.9"	11.395	317.672	I	建物水跡前面	A	2011/3/18 13:26	2011/3/11 15:00	塩釜	1.19	0.32	1.65+1(洗掘を 受けているた め不明)	不明	12.27	栗山・有川・関	
1-19	宮城	仙宮空港	N 38°86.7"	E 140°56'22.3"	10.285	328.322	I	建物水跡背面	A	2011/3/18 13:26	2011/3/11 15:00	塩釜	1.19	0.32	1.95	9.53	11.16	栗山・有川・関	
1-20	宮城	名取川河口	N 38°10'3.4"	E 140°57'19.1"	5.795	79.735	I	名取市サイクリン クアーズミナール 水跡	A	2011/3/18 15:10	2011/3/11 15:00	塩釜	1.33	0.32	4.60	2.53	6.81	栗山・有川・関	
1-21	宮城	荒砥地区	N 38°13'6.6"	E 140°59'5.8"	8.88	222.51	I	漂流物痕跡	B	2011/3/18 16:06	2011/3/11 15:00	塩釜	1.23	0.32	4.40	5.71	9.79	栗山・有川・関	
2-1	岩手	釜石市釜石港 湾事務所	N 39°16'6.6"	E 141°53'5.2"	7.44		I	室内の水跡, 目撃 証言	A	2011/3/17 11:35	2011/3/11 14:46	釜石	1.03	0.36	3.50	4.97	8.11	高橋・下迫・根 木・辰巳	
2-2	岩手	釜石市釜石港 湾合同庁舎	N 39°16'25.0"	E 141°53'19.9"	6.27	16.00	I	室内の水跡	A	2011/3/17 12:45	2011/3/11 14:46	釜石	1.12	0.36	5.72	1.67	7.03	高橋・下迫・根 木・辰巳	
2-3	岩手	釜石市釜石港 湾合同庁舎	N 39°16'25.0"	E 141°53'19.9"	8.38	16.00	I	建物外壁の水跡	A	2011/3/17 12:45	2011/3/11 14:46	釜石	1.12	0.36	7.61	1.89	9.14	高橋・下迫・根 木・辰巳	
2-4	岩手	大船渡市大船 渡船工会事務所	N 39°47.5"	E 141°43'17.6"	9.02	302.00	I	室内の水跡	A	2011/3/18 11:10	2011/3/11 14:46	大船渡	0.84	0.38	8.46	1.40	9.48	高橋・下迫・根 木・辰巳	
2-5	岩手	大船渡市大船 渡船員会	N 39°35'5.5"	E 141°43'10.8"	10.18	206.00	R	建物外壁の水跡, 目撃証言	A	2011/3/18 12:00	2011/3/11 14:46	大船渡	0.99	0.38	1.07	10.10	10.79	高橋・下迫・根 木・辰巳	
2-6	岩手	大船渡市長崎 漁港	N 39°11'5.4"	E 141°45'3.4"	10.36	62.00	R	目撃証言	B	2011/3/18 14:00	2011/3/11 14:46	大船渡	1.03	0.38	1.65	9.74	11.01	高橋・下迫・根 木・辰巳	
2-7	岩手	大船渡市綾里 白浜	N 39°32'7.6"	E 141°48'32.0"	22.79	440.00	R	漂流物(ブツ箱), 目撃証言	A	2011/3/18 15:17	2011/3/11 14:46	大船渡	1.19	0.38	0.00	23.98	23.60	高橋・下迫・根 木・辰巳	
3-1	青森	八戸・市川	N 40°34'23.7"	E 141°28'45.9"	7.85	57.00	I	室内機械の水跡	A	2011/3/17 11:15	2011/3/11 15:22	八戸	0.99	0.46	3.82	5.02	8.38	葛田・熊谷・渡 邊	
3-2	青森	八戸港第2埠頭	N 40°33'6.47"	E 141°30'6.10"	5.77	118.00	I	倉庫内壁の水跡	A	2011/3/17 13:20	2011/3/11 15:22	八戸	1.10	0.46	2.90	3.97	6.42	葛田・熊谷・渡 邊	

付表-4.1 津波痕跡高の測定結果

番号	県名	地点名	緯度	経度	潮位補正前の津波痕跡高(m)	汀線からの距離(m)	湖上(R)/浸水(I)	津波痕跡	信頼度	計測実施時刻	(想定)津波到達時刻	潮位補正参照地点	計測実施時の潮位(m, CDL基準)	津波到達時の潮位(m, CDL基準)	浸水深(m)	地盤高(m, CDL基準)	潮位補正後の津波痕跡高(m)	計測実施者	備考
3-3	青森	八戸港漁港区	N 40°31'37.72"	E 141°32'7.72"	4.87	90.00	I	建物内壁の水跡	A	2011/3/17 14:50	2011/3/11 15:22	八戸	0.99	0.46	2.47	3.39	5.40	窪田・熊谷・渡邊	
3-4	青森	階上・大蛇地区	N 40°28'27.90"	E 141°38'44.60"	8.87	72.00	I	建物内壁の水跡	A	2011/3/17 17:00	2011/3/11 15:22	八戸	0.56	0.46	2.70	6.39	8.64	窪田・熊谷・渡邊	
3-5	岩手	久慈港・玉の郷地区	N 40°10'58.71"	E 141°48'10.61"	12.99	75.00	R	漂着ごみのライン	A	2011/3/18 10:45	2011/3/11 15:22	八戸	0.83	0.46	0.00	13.82	13.37	窪田・熊谷・渡邊	
3-6	岩手	久慈港・諏訪下地区	N 40°11'35.13"	E 141°47'55.35"	7.49	46.00	I	建物内壁の水跡	A	2011/3/18 13:00	2011/3/11 15:22	八戸	1.18	0.46	4.37	4.30	8.22	窪田・熊谷・渡邊	死者行方不明者5名(内、行方不明者3名)玉の郷と半崎では、初動が引き波
3-7	岩手	久慈港・半崎地区	N 40°13'59.55"	E 141°48'54.28"	8.00	90.00	I	建物内壁の水跡	A	2011/3/18 15:30	2011/3/11 15:22	八戸	1.14	0.46	3.18	5.96	8.69	窪田・熊谷・渡邊	
4-1	宮城	南三陸町志津川	N 38°40'25.4"	E 141°26'42.6"	15.77		I	津波避難ビルの階段、浸水痕	A	2011/3/26 11:52	2011/3/11 14:46	鮎川	0.48	0.34			15.91	有川・鷲崎・作中	
4-2	宮城	南三陸町志津川	N 38°40'34.3"	E 141°26'46.5"	15.09		I	公立志津川病院の庭、浸水痕	B	2011/3/26 13:04	2011/3/11 14:46	鮎川	0.31	0.34			15.06	有川・鷲崎・作中	
4-3	宮城	南三陸町歌津	N 38°44'16.5"	E 141°31'50.5"	12.42		R	山の傾斜部、浸水痕	A	2011/3/26 14:06	2011/3/11 14:46	鮎川	0.24	0.34			12.32	有川・鷲崎・作中	
4-4	宮城	南三陸町歌津	N 38°43'59.6"	E 141°32'43.1"	12.85		R	山の傾斜部、浸水痕	A	2011/3/26 14:25	2011/3/11 14:46	鮎川	0.24	0.34			12.75	有川・鷲崎・作中	
4-5	宮城	南三陸町歌津	N 38°44'46.4"	E 141°32'39.1"	13.64		R	民家の庭、浸水痕	A	2011/3/26 14:41	2011/3/11 14:46	鮎川	0.24	0.34			13.54	有川・鷲崎・作中	
4-6	宮城	南三陸町歌津	N 38°43'17.7"	E 141°31'31.9"	13.09		R	民家の庭、浸水痕	A	2011/3/26 15:02	2011/3/11 14:46	鮎川	0.24	0.34			12.99	有川・鷲崎・作中	
4-7	宮城	南三陸町歌津	N 38°43'33.6"	E 141°31'19.3"	14.83		I	歌津駅舎、浸水痕	A	2011/3/26 15:17	2011/3/11 14:46	鮎川	0.26	0.34			14.75	有川・鷲崎・作中	
4-8	宮城	南三陸町歌津	N 38°42'52.0"	E 141°31'11.2"	15.49		R	山の傾斜部、浸水痕	A	2011/3/26 15:55	2011/3/11 14:46	鮎川	0.30	0.34			15.45	有川・鷲崎・作中	
4-9	宮城	南三陸町志津川	N 38°40'40.0"	E 141°26'48.6"	13.88		I	南三陸町役場屋上フェンス、浸水痕	A	2011/3/26 17:03	2011/3/11 14:46	鮎川	0.42	0.34			13.96	有川・鷲崎・作中	
4-10	宮城	石巻市雄勝	N 38°31'21.4"	E 141°28'9.1"	16.57		R	山の傾斜部、浸水痕	A	2011/3/27 13:26	2011/3/11 14:46	鮎川	0.48	0.34			16.71	有川・鷲崎・作中	

付表-4.1 津波痕跡高の測定結果

番号	県名	地点名	緯度	経度	潮位補正前の津波痕跡高(m)	汀線からの距離(m)	湖上(R)/浸水(I)	津波痕跡	信頼度	計測実施時刻	(想定)津波到達時刻	潮位補正参照地点	計測実施時の潮位(m, CDI基準)	津波到達時の潮位(m, CDI基準)	浸水深(m)	地盤高(m, CDI基準)	潮位補正後の津波痕跡高(m)	計測実施者	備考
4-11	宮城	石巻市雄勝	N 38°31'22.1"	E 141°28'15.0"	15.35		I	石巻市役所雄勝支所, 浸水痕	A	2011/3/27 13:30	2011/3/11 14:46	鮎川	0.47	0.34			15.48	有川・鷲崎・作中	
4-12	宮城	女川町女川港	N 38°26'36.8"	E 141°26'41.4"	18.41		I	女川町立病院の壁, 浸水痕	A	2011/3/27 14:39	2011/3/11 14:46	鮎川	0.36	0.34			18.43	有川・鷲崎・作中	
4-13	宮城	気仙沼市気仙沼港	N 38°54'36.6"	E 141°34'57.8"	8.57		R	オヨイ食品の壁, 浸水痕	B	2011/3/28 13:56	2011/3/11 14:46	大船渡	0.65	0.38			8.84	有川・鷲崎・作中	
4-14	宮城	気仙沼市気仙沼港	N 38°54'37.6"	E 141°34'56.0"	7.05		R	気仙沼までの壁, 浸水痕	A	2011/3/28 13:52	2011/3/11 14:46	大船渡	0.62	0.38			7.29	有川・鷲崎・作中	
4-15	宮城	気仙沼市気仙沼港	N 38°54'41.6"	E 141°34'51.6"	8.91		I	民家の壁, 浸水痕	A	2011/3/28 14:00	2011/3/11 14:46	大船渡	0.60	0.38			9.13	有川・鷲崎・作中	
4-16	宮城	気仙沼市気仙沼港	N 38°54'44.0"	E 141°34'55.4"	6.52		I	民家の壁, 浸水痕	A	2011/3/28 13:46	2011/3/11 14:46	大船渡	0.63	0.38			6.77	有川・鷲崎・作中	
4-17	宮城	気仙沼市気仙沼港	N 38°54'45.4"	E 141°34'47.1"	6.07		I	民家の壁, 浸水痕	A	2011/3/28 14:26	2011/3/11 14:46	大船渡	0.56	0.38			6.25	有川・鷲崎・作中	
4-18	宮城	気仙沼市唐桑町	N 38°54'50.5"	E 141°38'53.6"	13.09		R	民家の壁, 浸水痕	A	2011/3/29 11:51	2011/3/11 14:46	大船渡	0.95	0.38			13.66	有川・鷲崎・作中	
4-19	宮城	気仙沼市本吉町	N 38°46'14.2"	E 141°30'48.9"	12.63		I	3階建ての家の天井, 浸水痕	A	2011/3/29 13:53	2011/3/11 14:46	大船渡	0.80	0.38			13.05	有川・鷲崎・作中	これ以上の高さの津波が覆ったと考えられる
4-20	宮城	気仙沼市本吉町	N 38°46'26.3"	E 141°30'58.9"	19.49		R	木に引っかかっているコンクリート, 浸水痕	A	2011/3/29 16:03	2011/3/11 14:46	大船渡	0.55	0.38			19.66	有川・鷲崎・作中	
4-21	宮城	気仙沼市本吉町	N 38°46'00.4"	E 141°30'25.7"	16.01		R	小泉小学校前の道路, 浸水痕	B	2011/3/29 17:25	2011/3/11 14:46	大船渡	0.43	0.38			16.06	有川・鷲崎・作中	
5-1	岩手	富谷港・出崎地区	N 39°38'21.84"	E 141°58'19.62"	8.13	29.00	I	建物内壁の水跡	A	2011/3/28 14:54	2011/3/11 14:48	富古	0.94	0.33	6.92	2.15	8.74	富田・中川・熊谷	引き波初動
5-2	岩手	富古港・藤沼沖林地区	N 39°38'6.69"	E 141°58'1.08"	9.22	28.00	I	建物内壁の水跡	A	2011/3/28 14:54	2011/3/11 14:48	富古	0.92	0.33	6.95	3.19	9.81	富田・中川・熊谷	引き波初動
5-3	岩手	富古港・高浜地区	N 39°36'37.56"	E 141°57'40.20"	15.24	48.00	R	斜面の漂流物	A	2011/3/28 14:54	2011/3/11 14:48	富古	0.65	0.33	0.00	15.89	15.56	富田・中川・熊谷	引き波初動
5-4	岩手	富古港・高浜地区	N 39°36'10.80"	E 141°57'2.16"	10.08	38.00	I	建物外壁の漂流物	A	2011/3/28 14:54	2011/3/11 14:48	富古	0.53	0.33	10.08	0.53	10.28	富田・中川・熊谷	引き波初動

付表-4.1 津波痕跡高の測定結果

番号	県名	地点名	緯度	経度	潮位補正前 の津波痕跡 高(m)	汀線からの距 離(m)	湖上(R)/浸 水(I)	津波痕跡	信頼度	計測実施時刻	(想定)津波到達 時刻	潮位補正参 照地点	計測実施時の 潮位(m, CDL 基準)	津波到達時の 潮位(m, CDL 基準)	浸水深(m)	地盤高(m, CDL基準)	潮位補正後の 津波痕跡高 (m)	計測実施者	備考
5-5	岩手	宮古・赤前地区	N 39°35'12.9"	E 141°56'56.58"	10.32	25.00	I	建物外手すりの漂 流物	A	2011/3/28 9:50	2011/3/11 14:48	宮古	0.42	0.33	10.32	0.42	10.41	窪田・中川・熊 谷	
5-6	岩手	釜石・阿石地区	N 39°18'27.36"	E 141°53'23.58"	16.21		R	斜面の漂流物	A	2011/3/28 10:50	2011/3/11 14:46	釜石	1.01	0.36	0.00	17.22	16.86	窪田・中川・熊 谷	
5-7	岩手	釜石・阿石地区	N 39°18'35.40"	E 141°53'23.64"	16.56	224.00	R	階段上の漂流物	A	2011/3/28 12:40	2011/3/11 14:46	釜石	0.93	0.36	0.00	17.49	17.13	窪田・中川・熊 谷	
5-8	岩手	釜石・阿石地区	N 39°18'19.26"	E 141°53'25.50"	15.97	56.00	I	樹木上の漂流物	A	2011/3/28 12:40	2011/3/11 14:46	釜石	0.75	0.36	13.29	3.43	16.36	窪田・中川・熊 谷	
5-9	岩手	釜石・阿石地区	N 39°18'21.06"	E 141°53'23.52"	15.78	36.00	I	樹木上の漂流物	A	2011/3/29 10:28	2011/3/11 14:46	釜石	0.75	0.36	14.89	1.64	16.17	窪田・中川・熊 谷	
5-10	岩手	釜石港・平田地 区	N 39°15'19.74"	E 141°53'55.68"	7.69	188.00	I	建物外壁(海側前 壁)	A	2011/3/29 11:26	2011/3/11 14:46	釜石	0.49	0.36	0.93	7.25	7.82	窪田・中川・熊 谷	
5-11	岩手	釜石港・平田地 区	N 39°15'19.14"	E 141°53'53.64"	7.26	243.00	I	建物外壁(側壁)	A	2011/3/29 14:35	2011/3/11 14:46	釜石	0.49	0.36	0.47	7.28	7.39	窪田・中川・熊 谷	
5-12	岩手	釜石港・平田地 区	N 39°15'18.18"	E 141°53'53.04"	7.38	268.00	I	建物外壁(側壁)	A	2011/3/29 15:33	2011/3/11 14:46	釜石	0.49	0.36	0.51	7.36	7.51	窪田・中川・熊 谷	
5-13	岩手	釜石港・平田地 区	N 39°15'16.20"	E 141°53'51.66"	7.39	313.00	I	建物外壁(後壁)	A	2011/3/29 16:35	2011/3/11 14:46	釜石	0.49	0.36	0.66	7.22	7.52	窪田・中川・熊 谷	
6-1	福島	相馬港第1埠頭	N 37°50'10.8"	E 140°57'25.8"	10.63	25.00	I	階段手すりに絡み ついた断熱材破 片	A	2011/4/6 11:40	2011/3/11 14:55	相馬	0.05	0.32	7.55	3.13	10.36	窪田・下迫・鈴 木・菅野	
6-2	福島	相馬港第2埠頭	N 37°50'23.2"	E 140°57'25.1"	10.2	80.00	I	倉庫内壁の漂流 物	A	2011/4/6 12:57	2011/3/11 14:55	相馬	0.21	0.32	6.77	3.64	10.09	窪田・下迫・鈴 木・菅野	
6-3	福島	新地町新師匠 漁形安斎神社	N 37°52'14.0"	E 140°56'3.5"	15.55	175.00	R	斜面に落ちた漂流 物	A	2011/4/6 14:55	2011/3/11 14:55	相馬	0.70	0.32	0.00	16.24	15.92	窪田・下迫・鈴 木・菅野	
6-4	福島	相馬港第3埠頭 釜形安斎神社	N 37°49'32.5"	E 140°57'54.0"	11.08	346.00	R	斜面に落ちた漂流 物の塊	A	2011/4/6 16:25	2011/3/11 14:55	相馬	1.05	0.32	0.00	12.12	11.80	窪田・下迫・鈴 木・菅野	
6-5	福島	小名浜港漁港 区	N 36°56'37.0"	E 140°54'44.1"	5.60	35.00	I	海に落ちた窓の水 跡	A	2011/4/7 10:45	2011/3/11 15:05	小名浜	0.16	0.34	2.90	2.86	5.42	窪田・下迫・鈴 木・菅野	
6-6	福島	小名浜港4号埠 頭ペンション	N 36°56'15.2"	E 140°53'28.6"	4.56	55.00	I	埠頭先端の建物 内壁の水跡	A	2011/4/7 11:21	2011/3/11 15:05	小名浜	0.04	0.34	1.60	3.02	4.28	窪田・下迫・鈴 木・菅野	

付表-4.1 津波痕跡高の測定結果

番号	県名	地点名	緯度	経度	潮位補正前の 津波痕跡高(m)	汀線からの距離 (m)	潮上(R)・浸 水(I)	津波痕跡	信頼度	計測実施時刻	(想定)津波到達 時刻	潮位補正参 照地点	計測実施時の 潮位(m, CDL 基準)	津波到達時の 潮位(m, CDL 基準)	浸水深(m)	地盤高(m, CDL基準)	潮位補正後の 津波痕跡高 (m)	計測実施者	備考
6-7	福島	小名浜港第1埠 頭	N 36°5544.7"	E 140°5256.0"	3.96	23.00	I	埠頭上の配電盤 内の水跡	A	2011/4/7 12:00	2011/3/11 15:05	小名浜	0.06	0.34	1.29	2.75	3.70	菅田・下迫・鈴 木・菅野	
6-8	福島	いわき・中之作 漁港	N 36°5743.8"	E 140°5704.7"	5.52	33.00	I	海に面した建物の 背面の水跡	A	2011/4/7 13:43	2011/3/11 15:05	小名浜	0.24	0.34	2.76	3.02	5.44	菅田・下迫・鈴 木・菅野	
6-9	福島	いわき・豊間地 区	N 36°5850.9"	E 140°5759.2"	7.94	89.00	I	護岸背後の建物 内壁の水跡	A	2011/4/7 14:45	2011/3/11 15:05	小名浜	0.46	0.34	3.72	4.70	8.08	菅田・下迫・鈴 木・菅野	
6-10	福島	いわき・荒瀬路	N 36°5851.9"	E 140°5756.4"	7.96	163.00	I	建物内壁の水跡	A	2011/4/7 14:45	2011/3/11 15:05	小名浜	0.46	0.34	0.52	7.92	8.10	菅田・下迫・鈴 木・菅野	
7-1	茨城	鹿嶋港埠頭	N 35°538.20"	E 140°414.0"	7.04	83.11	I	鹿嶋港運送株 式会社ガラス面、 浸水痕	A	2011/4/5 11:37	2011/3/11 15:15	鹿嶋港	0.16	0.38	2.80	4.40	6.82	栗山・加島・伴 野・泉山	
7-2	茨城	鹿嶋港北埠頭	N 35°542.90"	E 140°391.60"	4.75	291.08	I	港内建物壁面、浸 水痕	A	2011/4/5 12:50	2011/3/11 15:15	鹿嶋港	0.34	0.38	1.86	3.23	4.71	栗山・加島・伴 野・泉山	
7-3	茨城	鹿嶋漁港	N 35°5811.10"	E 140°4024.80"	3.60	27.31	I	漁港トイレ、浸 水痕	A	2011/4/5 13:20	2011/3/11 15:15	鹿嶋港	0.45	0.38	0.80	3.25	3.67	栗山・加島・伴 野・泉山	
7-4	茨城	平井海岸	N 35°5811.60"	E 140°4022.90"	4.93	209.19	I	海岸トイレ内、浸 水痕	A	2011/4/5 13:50	2011/3/11 15:15	鹿嶋港	0.58	0.38	0.85	4.66	5.13	栗山・加島・伴 野・泉山	
7-5	茨城	大竹海岸	N 36°949.60"	E 140°3439.10"	7.66	56.36	R	崖上、遡上痕	B	2011/4/5 15:00	2011/3/11 15:15	鹿嶋港	0.88	0.38	0.00	8.54	8.16	栗山・加島・伴 野・泉山	
7-6	茨城	大洗漁港	N 36°1840.80"	E 140°3448.40"	4.25	71.97	I	トイレガラス面、浸 水痕	A	2011/4/5 15:50	2011/3/11 15:15	那珂湊	0.90	0.29	1.98	3.17	4.86	栗山・加島・伴 野・泉山	
7-7	茨城	大洗アウトラット	N 36°1829.60"	E 140°346.50"	2.62	158.10	I	店舗ガラス面、浸 水痕	A	2011/4/5 16:12	2011/3/11 15:15	那珂湊	0.95	0.29	1.20	2.37	3.28	栗山・加島・伴 野・泉山	
7-8	茨城	大洗サンビーチ	N 36°1752.60"	E 140°3339.70"	3.72	336.54	I	御膳の透視壁面、 浸水痕	A	2011/4/5 16:55	2011/3/11 15:15	那珂湊	1.03	0.29	0.87	3.88	4.46	栗山・加島・伴 野・泉山	
7-9	茨城	那珂湊	N 36°2028.00"	E 140°3544.40"	3.70	46.67	I	店舗、浸水痕	A	2011/4/6 8:49	2011/3/11 15:15	那珂湊	0.42	0.29	1.50	2.62	3.83	栗山・加島・伴 野・泉山	
7-10	茨城	磯崎海岸	N 36°2220.20"	E 140°3726.60"	5.04	19.36	I	護岸上、浸水痕 (注)茨城県護岸 取付基準集点 NO.02-19と同じ 高さ	C	2011/4/6 9:33	2011/3/11 15:15	日立港	0.30	0.37	0.00	5.34	4.97	栗山・加島・伴 野・泉山	
7-11	茨城	阿字ヶ浦海岸	N 36°237.20"	E 140°370.50"	4.29	40.45	I	護岸上、浸水痕 (注)	C	2011/4/6 10:20	2011/3/11 15:15	日立港	0.17	0.37	0.00	4.46	4.09	栗山・加島・伴 野・泉山	
7-12	茨城	常陸那珂港 クレーンヤード	N 36°2437.80"	E 140°3629.50"	5.37	133.83	I	トイレ内、浸水痕	A	2011/4/6 10:38	2011/3/11 15:15	日立港	0.13	0.37	1.54	3.96	5.13	栗山・加島・伴 野・泉山	

付表-4.1 津波痕跡高の測定結果

番号	県名	地点名	緯度	経度	潮位補正前の津波痕跡高(m)	汀線からの距離(m)	遡上(R)・浸水(I)	津波痕跡	信頼度	計測実施時刻	(想定)津波到達時刻	潮位補正参照地点	計測実施時の潮位(m, CDL基準)	津波到達時の潮位(m, CDL基準)	浸水深(m)	地盤高(m, CDL基準)	潮位補正後の津波痕跡高(m)	計測実施者	備考
7-13	茨城	碓氷郡河港北境頭	N 36°25'58.90"	E 140°36'54.60"	5.04	190.94	I	ひたちなか市AZ物産センター内、浸水痕	A	2011/4/6 11:04	2011/3/11 15:15	日立港	0.09	0.37	1.77	3.36	4.76	栗山・加島・伴野・泉山	
7-14	茨城	東海村海岸	N 36°28'49.50"	E 140°36'40.00"	5.81	266.24	I	トレ内、浸水痕	A	2011/4/6 12:04	2011/3/11 15:15	日立港	0.11	0.37	0.10	5.82	5.55	栗山・加島・伴野・泉山	
7-15	茨城	日立港	N 36°29'51.00"	E 140°37'24.40"	4.71	181.26	I	日立埠頭3号上屋付近、電話ボックス内、浸水痕	A	2011/4/6 12:35	2011/3/11 15:15	日立港	0.18	0.37	1.12	3.77	4.52	栗山・加島・伴野・泉山	
7-16	茨城	日立港	N 36°29'18.50"	E 140°37'9.70"	4.62	124.76	I	日立埠頭株式会社林ホールディングス内、浸水痕	A	2011/4/6 13:17	2011/3/11 15:15	日立港	0.30	0.37	1.57	3.35	4.55	栗山・加島・伴野・泉山	
8-1	岩手	宮古市田老町田老港	N 39°44'4.8"	E 141°58'39.0"	14.05		R	製氷施設の手すり、浸水痕	A	2011/4/15 12:20	2011/3/11 14:48	宮古	0.99	0.33			14.71	有川・佐藤・鷲崎	
8-2	岩手	宮古市田老町田老港	N 39°44'18.0"	E 141°58'21.9"	7.09		R	ビルの壁、浸水痕	A	2011/4/15 12:57	2011/3/11 14:48	宮古	1.03	0.33			7.79	有川・佐藤・鷲崎	
8-3	岩手	宮古市田老町三玉遊歩道	N 39°44'0.4"	E 141°58'46.5"	28.23		R	崖の週上先端、浸水痕	A	2011/4/15 14:48	2011/3/11 14:48	宮古	0.93	0.33			28.83	有川・佐藤・鷲崎	
8-4	岩手	宮古市田老町樫内港	N 39°42'23.6"	E 141°58'29.4"	21.07		R	山の週上先端、浸水痕	A	2011/4/15 17:19	2011/3/11 14:48	宮古	0.53	0.33			21.27	有川・佐藤・鷲崎	
8-5	岩手	宮古市シートピアなあと	N 39°38'20.8"	E 141°58'9.5"	7.25		R	シートピアなあとの壁、浸水痕(建物内の痕跡を参照)	A	2011/4/15 18:24	2011/3/11 14:48	宮古	0.38	0.33			7.30	有川・佐藤・鷲崎	
8-6	岩手	宮古市太田ノ浜	N 39°36'5.0"	E 141°58'19.4"	8.52		R	山の週上先端、浸水痕(漂流物)	A	2011/4/16 8:42	2011/3/11 14:48	宮古	0.34	0.33			8.53	有川・佐藤・鷲崎	
8-7	岩手	宮古市太田ノ浜	N 39°36'24.0"	E 141°58'31.9"	16.67		R	山の週上先端、浸水痕(漂流物)	A	2011/4/16 9:02	2011/3/11 14:48	宮古	0.35	0.33			16.69	有川・佐藤・鷲崎	
8-8	岩手	宮古市重茂	N 39°36'68.0"	E 142°13'2.0"	25.91		R	道路上の木くず、浸水痕(漂流物)	A	2011/4/16 10:12	2011/3/11 14:48	宮古	0.52	0.33			26.10	有川・佐藤・鷲崎	
8-9	岩手	宮古市重茂輪織小学校	N 39°36'58.5"	E 142°18.7"	26.03		R	倉庫の壁、浸水痕	A	2011/4/16 10:48	2011/3/11 14:48	宮古	0.63	0.33			26.33	有川・佐藤・鷲崎	
8-10	岩手	宮古市重茂中組漁港立地地区	N 39°38'8.4"	E 142°11'6.0"	19.09		R	山の週上先端、浸水痕(漂流物)	A	2011/4/16 11:26	2011/3/11 14:48	宮古	0.76	0.33			19.52	有川・佐藤・鷲崎	

港湾空港技術研究所資料 No.1231

2011. 4

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社 大應

Copyright © (2011) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。