# 潜湾空港技術研究所 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 戸田 和彦 菊池 菅野 高弘 栗山 浩之 重雄 喜昭 善昭 山崎 長尾 下迫健一郎 根木 菅野 弘泰 毅 貴史 甚活 富田 孝史 河合 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 慶善 竹信 鷲崎 誠 泉山 拓也 関 克己 廉 正寛 加島 寛章 勇介 作中淳一郎 祐二 伴野 雅之 福永 渡邉

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	토	8
2.1 地震の	)発生	8
2.2 地震重	かの観測記録	9
2.3 震源断	<b>所層の破壊過程の推定</b>	22
3. 津波の概要	ਸ਼ੁ	31
3.1 地震時	寺の気象・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 伝播言	十算	38
3.4 測定剤	<b>赴波痕跡高さの概要</b>	42
3.5 明治三	三陸津波の再来(各県想定結果)との比較	44
4. 現地調査の	D方法	45
4.1 調査目	1的	45
4.2 調査団	日と行程	45
4.3 調査夫	疗法	45
5. 津波災害		47
5.1 青森県	見の調査結果	47
5.1.1 ノ	<b>\戸港及びその周辺</b>	47
5.2 岩手県	見の調査結果	51
5.2.1 ク	、慈港及びその周辺	51
5.2.2 僖	『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		67
5.2.5 日	3老(旧田老町)・重茂半島・宇部町	70
5.3 宮城県	見の調査結果	75
5.3.1 僖	3城県の被害の概要	75
5.3.2 気	低仙沼港及びその周辺	75
5.3.3 南	可三陸町	79
5.3.4 岁	x川港及びその周辺	80
5.3.5 そ	5巻港及びその周辺	84
5.3.6 仙	山台塩釜港(塩釜港区)	85
5.3.7 仙	山台塩釜港(仙台港区)	86
5.3.8 仙	山台空港及びその周辺	88

5.4	福島	県の調査結果	
5.	. 4. 1	相馬港及びその周辺	
5.	. 4. 2	小名浜港及びその周辺	
55	茶垣	通の調査結果	100
5.0	5 1	茨城県の被害の概要	
5	5 2	茨城港(日立港区)及びその周辺	
5.	. 5. 3	茨城港(常陸那珂港区)及びその周辺	
5.	. 5. 4	茨城港(大洗港区)及びその周辺	
5.	. 5. 5	鹿島港及びその周辺	
6. 地	震被害	の調査結果	
6.1	青森		
6.	. 1. 1	八戸港	111
6.2	岩手	・県の調査結果	
6.	. 2. 1	久慈港	
6.	. 2. 2	釜石港	
6.	. 2. 3	大船渡港	
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)	
6.	. 3. 3	仙台空港	
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	
7.2	防波	:堤の被災状況	
7.3	津波	に対する防波堤の安定性の検討	
7.4	津波	の伝播計算	
7.5	湾口	防波堤の効果についての考察	168
8. 地	震·津氵	皮被害のまとめ	169
8.1	津波	被害	

8.2	地震被害
9. 今	後の課題
9.1	津波防災の課題173
9.2	地震防災の課題
10. あ	とがき
付録1	津波被害のカラー写真
付録2	地震被害のカラー写真
付録3	調査団の構成と詳細行程

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:

- 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\* · 戶田和彦\* · 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\* · 鷲崎 誠\* · 泉山拓也\*\* · 関 克己\* · 廉慶善\* · 竹信正寬\* · 加島寬章\* · 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.

 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,500km<sup>2</sup>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ている,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 タの解析などにあたったものが、それぞれ担当のところ を執筆している.執筆の分担は、表-1.1のとおりである. また、調査にあったっては、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.

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・鷲崎)
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)

**表-1.1** 執筆者一覧

#### 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-taihei yo/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っ 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

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

能性がある.





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いのは,同一 港湾内の複数箇所で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.



以下においては、先ず、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.





# 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(ダイアルアップ方式)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)

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



**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)

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-2.2.3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.



# 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で実施しているので、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





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 ー (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 ー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-2.2.3.11 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 ウインド 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 ウイン 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 ばかり隔たっ 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-2.2.4.5 今回の地震のフーリエスペクトル -釜石-GとK-NET 釜石-



図-2.2.4.6 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-2.2.4.8 今回の地震のフーリエスペクトル -仙台-Gと K-NET 仙台-



図-2.2.4.9 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-2.2.4.10 小名浜事-GとK-NET 勿来の位置関係



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-2.2.4.12 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-2.2.4.14 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)

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



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-2.2.4.16 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)

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-2.2.5.3 地表と地中のスペクトル比 (仙台-G/仙台-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)

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 のパーセンウインドウを適用し 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 考えられる.

#### 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 挙げることができる.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-2.2.6.2 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



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)

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乗じ、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 <sup>**</sup>	(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2005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/m<sup>3</sup>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.



-25-





-27-





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:強震記録の数字化と補正(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/ind ex.htm.
- 土田肇・山田逓一郎・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(工事用基準面)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 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)

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

表-3.1.1 警報発令から解除までの主な経緯

#### 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 解の得られた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) 津波発生の頃から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

						最大波
地点名	水深	緯度	経度	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・髙田美津雄 (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巻,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.
- 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.
- 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.

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、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.

	• 1	
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	
素和用々	500km×200km	
例眉文で、幅	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	$0.475 \times 10^{23}$ Nm	
モーメント・	0.05	
マグニチュード	9.05	

**表-3.3.1** 本研究で使用した断層パラメータ



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.



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.

		計算値			観測値	
地点名	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

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



図-3.3.3 最大津波高の計算結果(単位:m). △印は震央位置.



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/11 04/08a/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.

県名	地域名	浸水高 (m)	遡上高(m)
書本個	八戸市八戸港	5.4~8.4	
月秋乐	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
	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	
宮城県	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・兎渡路・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
	<b>鹿嶋市鹿</b> 島港	37~68	

表-3.4.1 地域別に整理した津波痕跡高



# 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な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、構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】
〇日程:平成23年3月14日~15日
〇調査対象地域:茨城港
〇調査団員: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】 〇日程: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】

〇日程:平成23年4月6日~9日

○調査対象地域:岩手県各地

〇(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 残る浸水の痕跡までの高さ 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.

調査にあったっては、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嵜一雄氏・ 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





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 定海水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-5.1.1.4 市川地区工業地帯の津波痕跡





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

(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-5.1.1.8 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-5.1.1.10 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

漂流物被害

港内における浸水深は2~3m程度であったので,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 たが,船舶の打ち上げや自動車の漂流等の被害が認めら れた.10トン程度の船舶でも喫水が2m程度以下の船舶も あり,そのような船舶は津波により岸壁に打ち上げられ た.図-5.1.1.12は八戸港白銀地区に打ち上がった漁船で ある.



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 部による水深測量の結果判明した(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

人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年より堀 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-5.2.1.2 玉の脇地区の津波痕跡





図-5.2.1.3 諏訪下地区の津波痕跡



図-5.2.1.4 諏訪下地区の防潮壁とその前の漂流物





(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-5.2.1.11** 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)

### 防波堤被害

湾ロ防波堤は,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,津波は湾ロ防波堤を飲 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-5.2.1.12 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-5.2.1.14 諏訪下地区の仮置きケーソンの被災



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年で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、鍬ヶ崎、 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高を図-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、浸水高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,浸水高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の浸水高から、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であると考え らえる. 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-5.2.2.3 藤原・神林地区の津波痕跡





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-5.2.2.5 高浜地区の水門の痕跡



図-5.2.2.6 津軽石河口部の水門





### (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や水面下 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以上の高さに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閘も変形して 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 量した浸水高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も 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、大槌湾の鵜住居 (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 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.



<image>

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o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0.3 mからベルヌ ーイの法則に基づいて算出される流速は2.4 m/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っ 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、その浸水高はそれぞれ 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-5.2.3.5 両石における津波痕跡高





図-5.2.3.6 両石の海側南斜面における津波痕跡



**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-5.2.3.8 両石の中ほどから奥にかけて残る 津波漂流物の筋

(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(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台引上げ 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、両橋の間の「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-5.2.3.5 港内を漂流する小型ボート(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-5.2.3.7 岸壁に乗り上げた船(3月17日)



写真-5.2.3.8 港内で座礁する FD (3月17日)



写真-5.2.3.9 1 階から2 階まで浸水した市街地 (3月17日)



写真-5.2.3.10 市街地奥の店舗(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o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)やさらに北側にあっ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リアス式の海岸であ 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(あったり)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 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 分後にピークとなったと思われる.この第 一波で最大の浸水高となっている.

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-5.2.4.1** 大船渡商工会議所 (丸太が二階に侵入している)





**写真-5.2.4.2** 綾里湾での津波の遡上(左下は海側, 上は陸側)



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、基部の数函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 なように,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-5.2.4.6 大船渡港内に残った船舶(3月18日)



写真-5.2.4.7 茶屋前地区の工業地帯



写真-5.2.4.8 大船渡駅周辺の被害(駅北の踏切から)



写真-5.2.4.9 大船渡保育園周辺



**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れられて、同地区を 守っている.

へ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が鉄骨)

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 と低い浸水高(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高を示すのがよい)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の浸水高が同じものであると言ってい るのかいない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.これをみると、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 (標高およそ23m)





## 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ったと述べられた.

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い、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,揺れが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 を感じることがなかったが,岸側をみると,岬から南北 に向かって,花火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 宮城県の調査結果

#### 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った.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)

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ん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,漂流した船舶のとおったと考 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.



**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)



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

#### 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/09052
3k-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が, 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来襲 し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階だて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.そこの浸水高は、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;水揚魚種はサンマ,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

女川の湾ロ防波堤であるが,インターネット上に 2008 年2月28日に撮影された湾ロ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(いしみなと)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年には沖合埋立地(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	大 手	合同	合同庁	合同庁
	埠頭	埠頭	庁舎	舎背面	舎背面
			前面	東側	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-5.3.5.1** 大手埠頭西側の様子 (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)



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-5.3.5.4 離岸堤(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「マリンゲート塩釜」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))





#### (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** 西埠頭観光桟橋周辺の様子 (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 位置付けられた堀込式港湾である.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5371	津波の痕跡高さ	(仙台塩釜港	(仙台港区))
1, 0.0.1.1			

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 調查地点(仙台塩釜港(仙台港区))

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収,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,閖上漁港南側海岸(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 空港	仙 台 空港 前 面 海岸	閖上漁港 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-5.3.8.3 調査地点の縦断面(閖上漁港南側海岸) 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-5.3.8.3** 護岸とその背後の洗掘(北側) (2011 年 3 月 18 日撮影)



**写真-5.3.8.5** 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-5.3.8.6** 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)

## 閖上漁港南側海岸(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く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 がっていた(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



(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 にはガソリンタンカー(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 収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 ある兎渡路(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,中之作漁港と兎渡路において 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.兎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.

豊間地区兎渡路では、防波護岸背後にある民家の階段 室および2階の床上の水跡、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.それぞれの浸水高は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-5.4.2.3 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-5.4.2.6 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 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える.

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パラペットが残っている場合 が多く、逆にパラペットが陸側に飛ばされている箇所の 背後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)

	♥2/円(22)		
	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,周辺の 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)



(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)



写真-5.5.2.3 東海村海岸の公衆トイレ



(3)茨城港(日立港区)の被害状況 防波堤や護岸 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-5.5.2.5 日立港区第二埠頭地区(護岸フェンス)

## 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

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

## 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

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.



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.

# 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	阿字ヶ浦海岸
		ヤード	(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





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が 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ずるのを見て「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.





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.

(次城港(八加港区)及0~00月辺)					
	大洗	アウト	サンビーチ南側	大竹	
	漁港	レット	(港外)	海岸	
		モール			
浸水高	4.86m	3.28m	4.46m		
浸水深	1.98m	1.20m	0.87m		
遡上高				8.16m	

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 ことからも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



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







写真-5.5.4.4 大竹海岸



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,片付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

2.80m

浸水深

各地点における津波の痕跡高さは表-5.5.2 の通り である.

表-5.5.5.2 津波の狼跡局さ			(鹿島港及びその周辺)	
	南公共	北公共	漁港背後	平井海岸
	埠頭	埠頭		(港外)
浸水高	6.82m	4.71m	3.67m	5.13m

1.86m

0.80m

0.85m

合いすい (年白) キャッシュ

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-5.5.6). 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)





(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