# 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う沿岸域での被害状況について

下川信也<sup>\*1</sup>・飯塚 聡<sup>\*1</sup>・村上智一<sup>\*1</sup>・栢原孝浩<sup>\*1</sup>・酒井直樹<sup>\*1</sup>・ 納口恭明<sup>\*2</sup>・小笠原敏記<sup>\*3</sup>・安田孝志<sup>\*4</sup>

# On the Coastal Disaster by the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

Shinya SHIMOKAWA<sup>\*1</sup>, Satoshi IIZUKA<sup>\*1</sup>, Tomokazu MURAKAMI<sup>\*1</sup>, Takahiro KAYAHARA<sup>\*1</sup>, Naoki SAKAI<sup>\*1</sup>, Yasuaki NOUGUCHI<sup>\*2</sup>, Toshinori OGASAWARA<sup>\*3</sup>, and Takashi YASUDA<sup>\*4</sup>

\*1 Monitoring and Forecast Research Department, Storm, Flood, and Landslide Research Unit, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan simokawa@bosai.go.jp, iizuka@bosai.go.jp, tmurakami@bosai.go.jp, kayahara@bosai.go.jp, sakai@bosai.go.jp \*2 Social System Research Department, Disaster Risk Research Unit, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan nhg@bosai.go.jp \*3 Department of Civil and Environmental Engineering, Hydraulic Laboratory, Iwate University, Japan togasa@iwate-u.ac.jp
\*4 Environmental and Renewable Energy Systems Graduate School of Engineering, Natural Energy Laboratory Gifu University, Japan coyasuda@gifu-u.ac.jp

#### Abstract

On 11 March 2011, the off the Pacific coast of Tohoku earthquake struck Japan. The magnitude was 9.0, which is the largest earthquake in recorded history in Japan. We have carried out the field survey of the coastal disaster caused by the off the Pacific Coast of Tohoku earthquake and subsequent Tsunami in the coastal areas of Ibaraki and Iwate prefectures along with Iwaki City of Fukushima prefecture. It was observed that the tsunami caused the heavily damage along the coastal areas of Iwate prefecture. The worst severe damage was observed in Rikuzen-Takada City without any seawall at the mouth of the bay. In some coastal areas of Ibaraki prefecture, the damage was caused by both liquefaction and Tsunami.

Key words : The 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, Tsunami, Coastal Disaster

# 1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波は,東北および関東の太平洋沿岸域に死者・ 行方不明者が約 2 万人に及ぶ甚大な被害をもたらした. また,この地震に伴う液状化や地盤沈下により東北および関東の広い地域でインフラなどへ大きな影響を与えた. さらに、高さ10mを超える津波により、福島第一原発で は重大な原子力事故が生じた.防災科学技術研究所では、 今回の大震災から今後の沿岸災害の軽減のための知見を 得るために、茨城県、福島県ならびに岩手県の沿岸域で 被害状況の視察を行った.本稿では、その調査の概要等 について報告する.

\*1 独立行政法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究ユニット

<sup>\*2</sup> 独立行政法人 防災科学技術研究所 災害リスク研究ユニット

<sup>&</sup>lt;sup>\*3</sup> 岩手大学, <sup>\*4</sup> 岐阜大学

## 2. 調査ならびに調査日程

#### 2.1 調查対象

今回の調査では,各地点での津波の高さと被害状況の 確認を行った.一般に,津波の高さの定義としては,以 下のものが用いられる.

(1) 津波高

験潮所や沖合の波高計で計測された津波の高さ.例として,神奈川県庁の平塚観測塔で観測された波形記録を 図 2.1 に示す.



- 図2.1 平塚観測塔で観測された波形記録.黒線が実測値. 青線が天文潮に伴う水位変化.津波の到達に伴う 水位変動(振幅が1m,周期30分程度)が見られる.
- Fig. 2.1 Sea Level Height recorded at Hiratsuka Wave Observation Tower. Black line is observed sea level height and blue line is astronomical tide.

津波の高さを正確に論じるうえで、この情報は有益で あるが、今回も含め巨大津波襲来の際には、験潮所が破 壊され波形データが記録されないことが多い.

#### (2) 浸水高

沿岸域の建物に付着した泥やごみなどの高さをもって 定義される高さ.

(3) 遡上高

陸上で最も高い位置に到達した津波の痕跡.



- 図2.2 津波高,浸水高,遡上高と地盤高,平均海面との 関係を示した模式図
- Fig. 2.2 Schematic figure for Tsunami height, inundation height, run-up elevation, and topography.

今回の調査では、沿岸部に構造物がある場合には、地 盤高からの浸水高を簡易なレーザー距離計や巻尺で測定 を行った(図2.2).但し、多くの地域で建物が全壊した岩 手県沿岸部やすでに撤去作業などが行われていた地域で は、浸水高は測定していない.調査日程ならびに調査地 域は以下の通りである.

#### 2.2 調查日程

(1)茨城県沿岸部
 日程:平成23年4月1日
 調査員:下川,飯塚,村上,納口

- 調查地点:潮来市大利根東公園,潮来市日の出地区, 鹿島市鹿島港魚釣園,鹿島市下津海水浴場,鹿島市 荒野地区,鹿島市京地釜海水浴場,鉾田市大竹海岸 鉾田海水浴場,大洗町大洗港,那珂湊市那珂湊港, 那珂湊市平磯,那珂湊市阿字ヶ浦海水浴場
- (2) 福島県(いわき市)および茨城県北部沿岸部

日 程:平成23年4月8日

- 調查員:下川,飯塚,村上,納口,栢原
- 調査地点:いわき市四ツ倉漁港,いわき市平薄磯地区, いわき市小名浜港,北茨城市大津港
- (3) 岩手県北部沿岸部
  - 日 程:平成23年4月14日

調查員:下川,飯塚,村上,納口,酒井

- 調查地点:宮古市田老町,下閉伊郡岩泉町小本地区, 下閉伊郡普代村,下閉伊郡田野畑村明戸地区
- (4) 岩手県南部沿岸部
- 日 程: 平成 23 年 4 月 15 日

調查員:下川,飯塚,村上,納口,酒井

調查地点:下閉伊郡山田町,上閉伊郡大槌町,釜石市, 大船渡市,陸前高田市

尚,岩手県沿岸部の調査にあたっては,海岸工学の専 門家である岐阜大学工学部安田教授ならびに岩手大学工 学部の小笠原准教授に同行を依頼した.

## 3. 岩手県沿岸域での被害状況

#### 3.1 下閉伊郡普代村

普代村は、岩手県北東部の海沿いに位置する村である. 1896年の明治三陸津波で1,000人以上もの死者が出たことから、この村を流れる普代川の河口から300m上流側に高さ15.5m、長さ約200mの普代水門が、そのすぐ南に位置する大田名部漁港には、高さ15.5m、長さ約130mの防潮堤が建設された。今回の津波では、普代水門では2m程度の越流が生じ、水門脇の連絡用の橋が破損したものの、上流の住宅地に被害は出なかった。また、大田名部漁港の防潮堤では、幸いにも越流は生じず、背後の住宅に被害は出なかった。今回の津波での人的被害は漁船を退避させようとした行方不明者1名であった(平成23年10月11日の時点での消防庁の発表).



写真 3.1 調查地点 Photo 3.1 Map around Fudai Village.



写真 3.2 海側から見た普代水門 Photo 3.2 Tsunami gate on the mouth of the Fudai River.



写真 3.3 山側から見た普代水門 Photo 3.3 Destructed Bridge by Tsunami.



写真 3.4 大田名部防潮堤から見た山側の住宅地 Photo 3.4 Seawall at Ootanabe fishing port.



写真 3.5 大田名部防潮堤から見た海側の漁港 Photo 3.5 Destructed buildings at Ootanabe fishing port by Tsunami.

### 3.2 下閉伊郡岩泉町小本地区

小本地区には、小本川河口に高さ10mの防潮堤および 高さ12mの水門が設置されていた.海側に飛び出た防潮 堤の一部は破堤したが、その他の部分や水門には損傷は 見られなかった.しかし、河口に向かって右側の防潮堤 から津波が越流し、周辺では全壊していた住居が多数見 られた.なお、平成23年10月11日の時点での消防庁の 発表によれば、今回の津波での岩泉町における死者は7 名となっている.



写真 3.6 調查地点 Photo 3.6 Map around Omoto.



写真 3.7 海側から見た小本水門 Photo 3.7 Tsunami gate on the mouth of the Omoto River.



写真 3.8 破堤した海側の防潮堤と津波により 数 10 m 流された 20 t のテトラポット Photo 3.8 Destructed seawall and swept away wave dissipating concrete blocks by Tsunami.



**写真 3.9** 小本水門に隣接する陸側の防潮.防潮 堤脇が津波により洗掘されている. **Photo 3.9** Exposure by Tsunami.



**写真 3.10** 山側から見た小本水門. 普代水門に見られるような連絡用の道路橋の損傷は見られない. Photo 3.10 Bridge at Omoto Tsunami gate.

#### 3.3 宮古市田老町

田老町には、1896年の明治三陸津波で1,859人、1933 年の昭和三陸津波で911人もの尊い人命が失われたこと を教訓に、「万里の長城」とも称される高さ約10m,幅 3m以上、総延長2.4kmにも達するXの形状をした巨大 な防潮堤が建設され、津波に強い街として宣伝されてい た.実際、この防潮堤により、1960年のチリ津波の際に は犠牲者が出ていない、しかしながら、今回の津波では、 防潮堤が破堤し、ほとんどの建物は全壊していた.なお、 平成23年10月11日の時点での消防庁の発表によれば、 今回の津波での田老町のある宮古市全体における死者は 420名、行方不明者は121名となっている.



写真 3.11 調查地点 Photo 3.11 Map around Taro Town fishing port.



写真 3.12 高さ 10 m の田老町の防潮堤 Photo 3.12 Seawall at Taro Town.



写真 3.13 破堤した防潮堤 Photo 3.13 Destructed seawall by Tsunami.



写真 3.14 破堤した防潮堤 Photo 3.14 Destructed seawall by Tsunami.



写真 3.15 津波により倒れた電柱 Photo 3.15 Telephone pole destructed by Tsunami.

### 3.4 下閉伊郡山田町

山田町は、岩手県沿岸の中部に位置し、カキの養殖を 生業とした漁業の町である.漁港近くの防潮堤は5m程 度と低いものであった.ほとんどの家屋は全壊しており、 鉄筋の店舗では天井まで破損が見られた.なお、平成23 年10月11日の時点での消防庁の発表によれば、今回の 津波での山田町における死者は604名、行方不明者は211 名となっている.



写真 3.16 調查地点 Photo 3.16 Map around Yamada Town fishing port.



写真 3.17 防潮堤. 5 m 程度と低い. Photo 3.17 Seawall at Yamada Town.



写真 3.18 津波により被害を受けた家屋 Photo 3.18 Destructed buildings at Yamada Town fishing port by Tsunami.



写真 3.19 津波により被害を受けた店舗 Photo 3.19 Destructed building at Yamada Town fishing port by Tsunami.

### 3.5 上閉伊郡大槌町

今回の震災で、大槌町は、死者 802 名、行方不明者 551 名もの被害を受けた.防潮堤は破堤し、大槌駅の駅舎は すべて流されていた.また、建屋には2階を超えるとこ ろまで津波による損傷が見られた.



写真 3.20 調查地点 Photo 3.20 Map around Otsuchi Town.



写真 3.21 破堤した大槌駅周辺の防潮堤 Photo 3.21 Destructed seawall at Otsuchi Town by Tsunami.

#### 防災科学技術研究所主要災害調查 第48号 2012年3月



写真 3.22 大槌駅周辺に残された線路.駅舎やホームの残骸は確認できなかった.
 Photo 3.22 Destructed railway around Otsuchi Station by Tsunami.



写真 3.23 津波により損傷した建物.2階部分ま で損傷している.

Photo 3.23 Destructed building at Otsuchi Town by Tsunami.



写真 3.24 被災した大槌町役場 Photo 3.24 Destructed Otsuchi Town Hall by Tsunami.

# 3.6 釜石市両石地区

釜石市は岩手県沿岸の南部に位置し,以前は製鉄業が 盛んな地域であった.今回の震災では,死者884名,行 方不明者194名もの被害が出た.調査した両石地区には, 12m程度の防潮堤があったが破堤しており,周辺の集落 は壊滅的被害を受けていた.



写真 3.25 調查地点 Photo 3.25 Map around Ryoishi, Kamaishi-City.



写真 3.26 破堤した防潮堤 Photo 3.26 Destructed seawall at Ryoishi, Kamaishi–City by Tsunami.



写真 3.27 防潮堤のすぐ脇の鉄筋の建物 Photo 3.27 Destructed building at Ryoishi, Kamaishi–City by Tsunami.

### 3.7 大船渡市大船渡港

今回の震災で、大船渡市は、死者 339 名、行方不明者 107 名もの被害を受けた.建屋には、2 階を超えるとこ ろまで損傷が見られた.また、津波により重油が流出し、 火災の被害も発生した.一方、護岸には目立った損傷は 見られず、調査に行った際には、すでに数隻の大型船が 停泊していた.また,一部では今回の地震に伴う地盤沈下で冠水している道路も見られ,交通に支障をきたしていた.



写真 3.28 調查地点 Photo 3.28 Map around Ofunato--City.



写真 3.29 津波により損傷した家屋. 津波により直接壊れた家屋もあるが,津波により運ばれた船によって壊れた家屋も見られる.
 Photo 3.29 Destructed buildings and swept ship at Ofunato-City by Tsunami.



写真 3.30 被災した小学校の校舎. Photo 3.30 Destructed elementary school building at Ofunato-City by Tsunami.



**写真 3.31** 重油により黒くなっている瓦礫 Photo 3.31 Debris.



写真 3.32 大船渡の港 Photo 3.32 Ofunato habor.



写真 3.33 冠水している道路. Photo 3.33 Inundation area around Ofunato habor.

## 3.8 陸前高田市

今回の震災で,陸前高田市は,死者1,554名,行方不明者385名もの被害を受けた.海の近くにあるホテルの4階まで津波による損傷が見られた.津波により,ほとんどの家屋や瓦礫が山際まで流されていた.また,津波が気仙川を遡上し,4~5km奥まで壊滅的な被害を受けていた.



写真 3.34 調查地点 Photo 3.34 Map around Rikuzen-Takada-City.



写真 3.35 海沿いに建つホテル.5階近くまで損傷が見られる. Photo 3.35 Destructed building by Tsunami.



写真 3.36 損傷した校舎 Photo 3.36 Destructed school building by Tsunami.



写真 3.37 河口から 4~5 km ほど離れた気仙川周辺 Photo 3.37 Disaster-stricken area about 5 km away from the mouth of the Kesen River.

#### 4. 福島県(いわき市)沿岸域での被害状況

いわき市は、福島県の沿岸部の南に位置する都市で、 小名浜港をはじめとする11か所の港を有すると同時に、 10か所の海水浴場もある.人口は東北地方では仙台に次 ぐ2番目に多い約30万人(平成23年8月1日現在)である. 今回の震災で、いわき市は、死者310名、行方不明者38名、 住家全半壊3万棟以上もの被害を受けた.

#### 4.1 四ツ倉漁港

四ツ倉漁港の道の駅脇の小河川の河口やそのすぐ南側 の砂浜を中心に構造物に損壊が見られた.海岸線から同 じ距離でも北側に移動するにつれて家屋の損傷が見られ なくなっていた.電柱の傾きからも防潮堤がない南側の 砂浜や小河川の河口方向から津波が侵入したものと推測 される.多くの家屋では、1階部分の損傷が激しい一方で、 2階部分の損傷は一部にとどまっていた.沿岸の道路付近 では地上3mのところまで津波が達していたものと推定 される.一方,海岸に植林されていたヤシの木には、4m の高さ付近に津波の跡が確認された.海面から道路まで 高さが4.5mあったことから、津波の波高は7.5mと推定 される.また、海岸から数100mほど離れた沿岸の低地 の住宅域では1.5mから50 cmの浸水痕跡が見られると同 時に、液状化に伴うと思われる墳砂も見られた.同様な 状況は、富神岬に至るまで見られた.



写真 4.1 調查地点 Photo 4.1 Map around the Yostukura fishing port.



写真 4.2 四ツ倉漁港道の駅 Photo 4.2 Destructed building at the Yostukura fishing port.



**写真 4.3** 道路を挟んで道の駅の反対側の家屋 **Photo 4.3** Destructed houses around the Yostukura fishing port.



写真 4.4 海近くの公衆トイレ. 3 m のところにある屋根まで損傷が見られる. Photo 4.4 Destructed roof of public lavatory at the Yostukura fishing port.



写真 4.5 3.6 m 近くの高さに津波の痕跡が見られる. Photo 4.5 Inundation height marked on tree around the Yostukura fishing port.



写真 4.6 海岸から数 100 m ほど離れた人家. 1.2~1.6 m のところまで浸水跡が見られる. Photo 4.6 Inundation height marked on house around the Yostukura fishing port.



写真4.7 四ツ倉漁港から平薄磯に向かう途中の海沿い の道路. 道路沿いには,津波により流された 自動車が何台も見られた.

Photo 4.7 Disaster-stricken area about 5 km away from the Yostukura fishing port.

# 4.2 平薄磯

いわき市平薄磯には,近くに塩屋崎灯台がある海水浴 場があり,毎年多数の海水浴客でにぎわう.海岸線には 防潮堤が存在したものの,今回の津波により破堤し,地 区全体が壊滅状態の被害を被っていた.鉄筋の構造物や 山際の一部家屋を除くと,原型をとどめる家屋は見られ なかった.原型をかろうじて留めていた家屋では,2階の 下部まで著しい損傷が見られたことから,浸水高は四ツ 倉漁港と同程度と考えられる.



写真 4.8 調查地点 Photo 4.8 Map around the Hirausuiso area in Iwaki City.



写真 4.9 津波により破堤した防潮堤 Photo 4.9 Destructed seawall at the Hirausuiso area in Iwaki City.



写真 4.10 津波によりほとんどの家屋は全壊 Photo 4.10 Destructed houses at the Hirausuiso area in Iwaki City.



**写真 4.11** 津波により損壊した鉄筋コンクリートの建屋. 1 階の天井部分まで損傷が見られる.

Photo 4.11 Destructed building at the Hirausuiso area in Iwaki City.



**写真 4.12** 損傷した家屋. ベランダまで損傷が見られる. **Photo 4.12** Destructed house at the Hirausuiso area in Iwaki City.



写真 4.13 周辺道路との入口付近に置かれていた壊れた時計 Photo 4.13 Disaster-stricken area at the Hirausuiso area in Iwaki City.



写真 4.14 地震にともなう斜面崩壊 Photo 4.14 Landslide and destructed houses.

## 4.3 小名浜港

小名浜港は,古くからの港町で漁業が盛んであると同時に,周辺には大規模な臨海工業地帯もあるところである.今回の調査では,多くの漁船が岸壁に打ち上げなどの被害が見受けられた.津波による浸水跡は,海沿いの 道路の反対側まで見られた.但し,港の防潮堤並びに護 岸には,目立った損傷は見られず,また,工業・商業地 域のため,調査地点周辺の建屋には著しい損傷は見られ なかった.



写真 4.15 調查地点 Photo 4.15 Map around the Onahaha harbor.



写真 4.16 津波により打ち上げられた漁船 Photo 4.16 Fishing ship on the seawall.

# 5. 茨城県沿岸部での被害状況

# 5.1 大津港

北茨城市の大津港では、小名浜港と同様な被害が見ら れた.



**写真 5.1** 被害を受けた大津港の様子. **Photo5.1** Disaster-stricken Ostu fishing port.

## 5.2 那珂湊港

那珂湊市の那珂湊港周辺では,津波による道路の破損 が見られたが,液状化による被害が顕著であった.



写真 5.2 調查地点 Photo 5.2 Map around the Nakaminato fishing port.



写真 5.3 被害を受けた那珂湊港の様子. Photo 5.3 Disaster-stricken Nakaminato fishing port.



**写真 5.4** 那珂湊港周辺の道路. 液状化で信号が傾いている. **Photo 5.4** Disaster-stricken road around the Nakaminato fishing port.



**写真5.5** 那珂湊港周辺の道路. 液状化で道路の下の砂が 大量に脇へ噴出し, 陥没などが生じていた. Photo 5.5 Disaster-stricken road around the Nakaminato fishing port.

## 5.3 大洗港

大洗港では,最大 4.2 m の高さの津波が気象庁により観 測されている.周辺の家屋の1階部分には,津波による 損傷が見られたが,2階には損傷は見られなかった.



写真 5.6 調查地点 Photo 5.6 Map around the Oarai fishing port.

### 防災科学技術研究所主要災害調查 第48号 2012年3月



写真 5.7 被害を受けた大洗港の様子. Photo 5.7 Disaster-stricken Oarai fishing port.



**写真 5.8** 被害を受けた大洗港の倉庫用の建物 **Photo 5.8** Destructed building by Tsunami.

## 5.4 鉾田市京知釜海水浴場

海に面したプレハブ式の家屋に損傷が見られた.家屋 の1階の天井近くまで損傷が見られたことから,大洗港 と同程度の津波に襲われたものと推測される.



写真 5.9 調查地点 Photo 5.9 Map around the Kyochigama beach.



写真 5.10 津波の被害を受けた店舗. Photo 5.10 Destructed building by Tsunami.

## 5.5 鉾田市荒谷地区

海沿いの草地に見られる津波跡の高さは 1.2 m 程度で あった.また,海沿いの家屋には,目立った損傷は見ら れなかった.



写真 5.11 調查地点 Photo 5.11 Map around the Araya area in Hokota City.



写真 5.12 津波の遡上跡 Photo 5.12 Inundation height marked on bushes.

#### 5.6 鹿島港魚釣園

津波よりも液状化による護岸などの破壊が顕著である. 地元の方の話によれば、地震に伴い液状化で護岸が損傷 し、その後、津波が到達したようである.周辺には液状 化に伴う墳砂が見られた.また、風力発電の支柱も傾い ていた.



写真 5.13 調查地点 Photo 5.13 Map around the Kashima Harbor.



写真 5.14 液状化と津波により被害を受けた魚釣園 Photo 5.14 Destructed sea wall by both liquefaction and tsunami.



- 写真5.15 魚釣園近くの工業団地地帯にある防潮堤. 防潮堤には損傷は見られないが,液状化 による砂の噴出が見られる.
- Photo 5.15 Sand boils near the seawall around the Kashima Harbor.



**写真 5.16** 液状化により傾斜した風力発電用風車 の支柱 **Photo 5.16** Leaning prop of wind power by liquefaction.

### 5.7 潮来市日の出地区

潮来市の日の出地区全域では,至る所で液状化に伴い 電柱や家屋などが傾いている状態となっていた.但し, この地区の周りでは,このような被害状況は確認されず, 液状化は極めて局所的に発生したことがわかる.



**写真5.17** 日の出地区内の様子. 至る所で電信柱が 傾いている.

Photo 5.17 Leaning telephone pole at Hinode-area in Itako City.



写真 5.18 日の出地区入口近くの住宅. 右側の住宅 が左に傾いている.

Photo 5.18 Leaning house at Hinode-area in Itako City.

#### 6. 津波浸水高と破壊状況

ここでは、まず今回の津波の高さについて述べる.以下は、気象庁が発表している今回の津波の高さである(気象庁、2011).気象庁の東北地方の太平洋沿岸域の験潮所のほとんどが今回の津波により損傷したため、その数値は験潮計の記録ではなく、浸水高である.

表 6.1	気象庁報道発表資料「現地調査による津波観測点
	付近の津波の高さについて」より引用

Table 6.1Observed inundation height of the Tsunami caused by<br/>2011 off the pacific coast of Tohoku Earthquake. The<br/>data is based on the report of Japan Meteorological<br/>Agency.

地点	浸水高(m)
八戸	6.2
久慈港	8.6
宮古	7.3
釜石	9.3
大船渡	11.8
石巻市鮎川	7.7
仙台港	7.2
相馬	8.9

今回の調査で計測された浸水高は以下のとおりである. 但し,浸水高は海水面高への補正は行っていない.平均 水面と計測地点での地盤高の差が 3~4 m 程度あったので, 実際の浸水高はこれにその値を加えた程度あったものと 推定される.

#### 表 6.2 浸水高

**Table 6.2** Observed inundation height of the Tsunami caused by2011 off the pacific coast of Tohoku Earthquake.

地点	浸水高(m)
岩手県普代村水門	17~18
福島県いわき市四ツ倉漁港	3~4
福島県いわき市平薄磯地区	3
茨城県鉾田市荒谷地区	1~1.5

ところで、今回のような津波による被害を考える上で、 単に浸水高だけで評価することには限界がある.なぜな らば、進行してくる津波による動的な力が実際には付加 されるためである.宮古市田老地区をはじめ、ところど ころで電柱が津波の力を受けて、折れることなくその地 中部分が地盤ごとひっくり返る根返りが見られた(写真 3.15).この根返りが一気に起こったものと仮定した場合 の津波力を簡単なモデル(図6.1)で推定し、それを生み出 す津波の最小流速を見積もることにする.

電柱は直径Dの円柱とし,深さLまで地中に埋まって いるものとする.電柱の地上高を2H,電柱は完全に津波 に飲み込まれたとして,電柱に加わる力を高さHのとこ ろにFの力が加わったものとして代表させる.仮定とし てFがFyのとき電柱は折れずに地盤を降伏させ一気に根 返りするものとする. また, 電柱の単位長さ当たりに作 用する地盤の降伏力をfとする. この時のF, は並進と回 転に関する力の釣り合いから以下のとおり求められる.



**Fig. 6.1** Schematic figure of model.

回転に関する力の釣り合いの方程式は,

$$(L+H-l)F_{y} = f(l^{2} - Ll + L^{2}/2)$$
(1)

である.一方,並進に関する力の釣り合いの方程式は,

$$F_{y} = f(L - 2l) \tag{2}$$

である.これらの式を*l*と*F*,を未知数とする連立方程 式として意味のある解を求めると,

$$l = L + H - (L^2/2 + HL + H^2)^{1/2}$$
(3)

となり, (2) 式から *F*, が求まる. 電柱の地上高を 2*H* と仮 定する. このとき, 地中深さは JIS 規格にある全長の 6 分 の 1 の条件から,

$$L = 1/6 \left( L + 2H \right) \tag{4}$$

となり、したがって、

$$H = 5/2L \tag{5}$$

となる、このとき、

$$l \approx 0.46L$$
 (6)

$$F_{y} \approx 0.08 fL \tag{7}$$

となる.

例えば電柱の太さを 0.4 m, 地中深さを 2 m, 地盤の地
 耐力を 100 kN/m<sup>2</sup> とするとfは 40 kN/m, Fy は 80 kN となる.
 一方電柱にかかる津波力 F は津波の速度 v から

$$F \approx \rho v^2 D H \tag{8}$$

と評価できるので,FがF,のときのvは約6m/s となる. すなわち電柱が根返るためにはこの値以上の流速があったと推定される. なお、電柱の直径は実際には一定ではなく高くなるほ ど細くなっておりこれを考慮するとこの最低流速はさら に大きくならなければならない、また、地盤の液状化現 象が起こっていたならば地耐力はほとんどなくなるため わずかの力で根返ることも考えられる、この場合、流速 はほとんど必要ない。

## 7. 地盤沈下と今後へのその影響

今回の地震に伴い東北の各地で地盤沈下が生じている. 図7.1 は国土地理院が,測定した今回の地震に伴う各地の 地盤沈下量を示したものである.大船渡市,陸前高田市, 気仙沼市,石巻市では70 cm を超える地盤沈下が観測さ れている.この地盤沈下に伴い,大潮の満潮時に冠水し, 復旧・復興作業に支障が生じている.



- 図7.1 東日本大震災による地盤沈下量.国土地理院「平成 23年東北太平洋沖地震に伴う地盤沈下調査結果につ いて」よりデータ参照
- Fig 7.1 Observed subsidence caused by 2011 off the pacific coast of Tohoku Earthquake. The data is based on the report of Geospatial Information Authority of Japan.

潮位の変化は、潮汐の他に気象条件によっても引き起こ される.図7.3は、2002年1月から2011年2月までに東 北地方の気象庁の験潮所(図7.2参照)で潮汐以外の影響で 30 cm以上の潮位上昇が観測されたイベントの頻度分布を 示したものである.東北地方で30 cmを超える潮位偏差 が観測された回数は、1月、10月、12月に多く見られる. 台風が太平洋沿岸を通過時に潮位の上昇が生じることも あるが、そのほとんどは台風並みに発達した低気圧に よって引き起こされている(表7.1).特に、2006年10月



図7.2 潮位観測地点. 気象庁 HPより引用 Fig. 7.2 Map of tidal observation station of JMA.



図 7.3 30 cm を超える潮位偏差が観測された回数

### Fig. 7.3 Frequency of storm surges with heights more than 30 cm.

#### 表 7.1 鮎川における 30 cm を超える潮位偏差が観測さ れた日とその要因

 Table 7.1
 Date of storm surge events with heights more than 30 cm observed at Ayukawa station, and its relation with weather.

年	月	日	潮位偏差	要因
2002	1	27	33	低気圧
2002	7	11	35	台風6号
2002	10	2	49	台風 21 号
2004	12	5	39	低気圧
2005	12	5	34	低気圧
2005	12	22	37	低気圧
2006	4	3	36	低気圧
2006	10	7	60	低気圧
2006	12	27	39	低気圧
2007	1	7	38	低気圧
2007	3	25	31	低気圧
2007	5	17	31	低気圧
2007	9	7	34	台風9号
2007	12	30	34	低気圧
2009	10	8	41	台風 18 号
2010	12	22	36	低気圧
2011	1	1	40	低気圧

の低気圧には、2002 年以降の最大潮位偏差 60 cm が気仙 沼市で観測されている.この時,仙台の塩釜港周辺や福 島県の相馬市などでは高潮による冠水の被害が生じてい る.気象庁の報告(http://www.jma.go.jp/jp/choi/list2.html)に よれば,鮎川,大船渡,釜石,宮古で過去に110 cm を超 える潮位偏差が低気圧により引き起こされている.従っ て,防潮堤などが破堤し,地盤沈下が生じている地域で は、1 mを超える浸水高にさらされる危険性が今後しばら く続く状況にあると考えられる.実際には、高波の影響, さらに降雨の影響も考慮する必要があることを考えれば、 さらに注意を払うべき状況と言える.

### 8. おわり**に**

本稿で記したように今回の東北地方太平洋沖地震によ る津波で岩手県沿岸のほとんどすべての場所は壊滅的な 被害を受けた.その中でも陸前高田市はもっとも被害が 大きかった.海岸沿いは瓦礫さえない状態で,すべての 瓦礫が山側まで押し流されていた.このように陸前高田 市で特に建物の被害が大きくなった原因には,湾口防波 堤が設置されていなかったという点は大きいと考えられ る.湾口防波堤の有効性については懐疑的な意見もある が,今回の津波被害の様子を見ると,湾口防波堤が設置 されている釜石市や大船渡市などでは,少なくとも,そ れが津波を減衰させ,被害を多少は小さくする効果はあっ たと考えられる.

一方,被害をある程度は防ぐことができた地域や被害 がより小さく留まった地域も少数ではあるが存在する。 ここで,このことについて明記しておくことは、今後の津 波災害に関わる様々な対策を考えてゆく上で有用である と考える.以下に代表的ないくつかの地域について記す。 (1) 岩泉町小本地区

小本川河口には高さ12mの水門,周辺には高さ10m の防潮堤が整備されていた.越流による家屋被害はあっ たが,田老町のように町全体を壊滅させるほどではなかっ た.水門が津波を止めた一方,分岐した津波が脇の防潮 堤を越流し,その背後の家屋が被害を受けたものと推定 される(写真 3.7, 3.8, 3.9, 3.10).

(2) 普代村

普代川の河口から約300 m に高さ15.5 m,長さ205 m の普代水門とその南の大田名部漁港のそばに高さ15.5 m, 長さ155 m の大田名部防潮堤が整備されている(写真3.2, 3.3, 3.4, 3.5). この2つの施設は、当時の和村幸徳村長 が、明治・昭和三陸地震津波の経験の元に、周囲の反対 の声を押し切って15 m 以上を主張し、建設に力を注いだ ものである(普代村,2011;岩手県立図書館指定管理者、 2011). 一方, 普代村の隣の田野畑村(人口約4,000人)には, 高さ8mの防潮堤が2つあるが, 津波を防げず, 死者・行方不明者30人, 住家全半壊270棟の被害が出た. (3) 大船渡市吉浜地区

普代村は、ハード的な対策により津波被害を防いだ例 だが、ソフト的な対策により津波被害を防いだ例として、 大船渡市の吉浜地区がある.同地区は、明治三陸地震津 波により被災したため、東北出身の地理学者山口弥一郎 の計画により、住民は高所に移転した(中央防災会議-災 害教訓の継承に関する専門委員会、2011).そのため、昭 和三陸地震津波では、被害は、流出家屋12軒のみで済んだ. 今回の津波でも、破堤はしたが、被害は、流出家屋3軒・ 行方不明者1名に留まった.

普代村と大船渡市吉浜地区の事例は、災害に関わる大 規模な対策を行うには、ハード的な対策を行うにせよソ フト的な対策を行うにせよ、先見の明をもったリーダー の存在が重要であることを示している。

#### 謝辞

東北地方太平洋沖地震により被害された方々には心か らお見舞いを表するとともに、今後の復旧と復興をお祈 り申し上げる.また、このたびの岩手県での現地調査に 際しては、岩手大学工学部の堺教授、松林助教にご支援、 ご協力を頂いたことをここに記し、一同の感謝の意を表 したい.

#### 参考文献

- 1) 気象庁(2011):気象庁報道発表資料「現地調査による 津波観測点付近の津波の高さについて」.
- 2) 国土地理院(2011):国土地理院「平成23年東北太平洋 沖地震に伴う地盤沈下調査結果について」.
- 中央防災会議(災害教訓の継承に関する専門委員会)編
   (2011):災害誌に学ぶ「海溝型地震・津波編」,内閣府
   (防災担当)災害予防担当.
- 4) 普代村(2011): 広報普代 No.586 (平成 23 年 3 月号).
- 5) 岩手県立図書館指定管理者(2011):いわて復興偉人 伝(岩手県立図書館飾り棚展示「いわて復興偉人伝」 資料).
- 6) 消防庁(2011):消防庁災害対策本部発表資料「平成23 年(2011年)東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)に ついて(第140報)」.

(2011年11月1日原稿受付,
2011年11月10日改稿受付,
2011年11月10日原稿受理)

# 要 旨

2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震が発生した.地震の規模は M9.0 で,これは日本で記録された最大の規模の地震である.本稿は、東北地方太平洋沖地震とそれに引き続いて発生した津波による沿岸災害の調査報告である. 今回の東北地方太平洋沖地震による津波で岩手県沿岸のほとんどすべての場所は壊滅的な被害を受けたが、その中でも陸前高田市は著しく被害が大きかった.今回の津波被害の様子を見ると、湾口防波堤が設置されていた釜石市や大船渡市などと比べると、湾口防波堤は津波による破壊力を減衰させ、被害を小さくする一定の効果はあったと考えられる.また、茨城県の沿岸域では、液状化と津波の両方の影響を受けた地域も見られた.

キーワード:東北地方太平洋沖地震, 津波, 沿岸災害