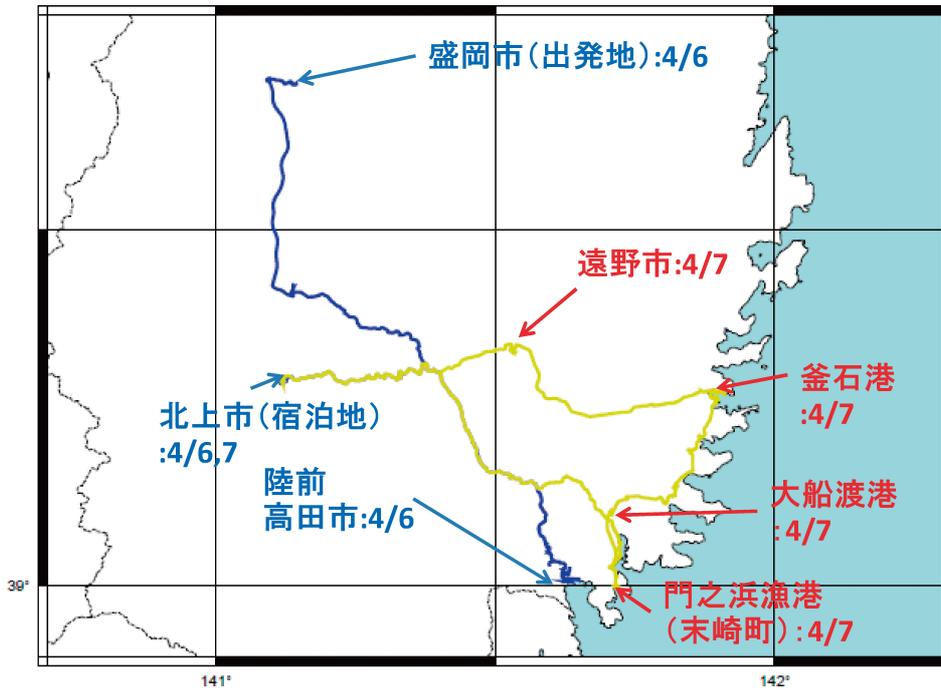


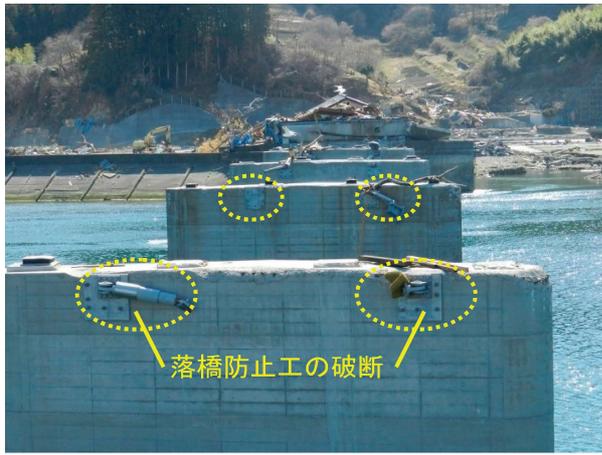
東北地方太平洋沖地震による岩手県沿岸中南部の被災調査の概要
(本文30～35ページ参照)



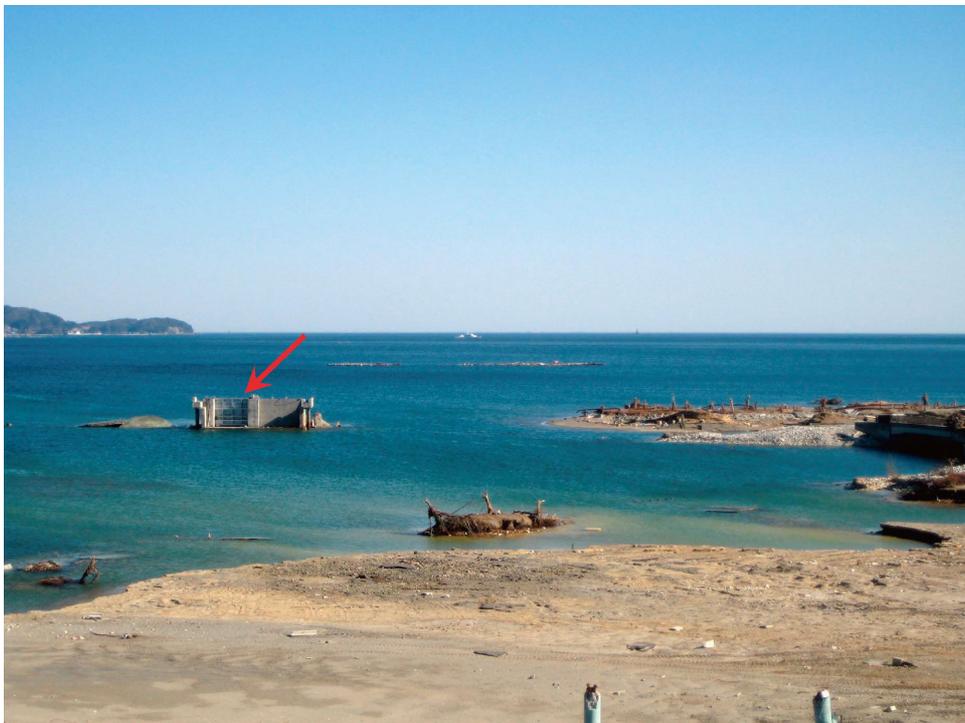
口絵写真一七 調査対象地域



口絵写真一八 鉄道施設の被害(大船渡線 陸前矢作～竹駒間)



口絵写真—9 気仙大橋の落橋と河川堤防の被害(気仙川左岸)



口絵写真—10 津波に耐えた水門(陸前高田市高田松原)



口絵写真—11 基礎形状の違いによる建築構造物の損傷程度の違い



口絵写真一12 災害廃棄物の分別状況



口絵写真一13 旧崩壊地の表層崩壊(釜石市大平町)



口絵写真一14 釜石湾湾口防波堤の被害



口絵写真一15 岩手県オイルターミナル内の重力式護岸の倒壊



口絵写真一16 防潮堤の倒壊状況(大船渡市末崎町門之浜湾)



口絵写真一七 背後地の津波被害(大船渡市末崎町)



口絵写真一八 津波による鉄道盛土の洗掘



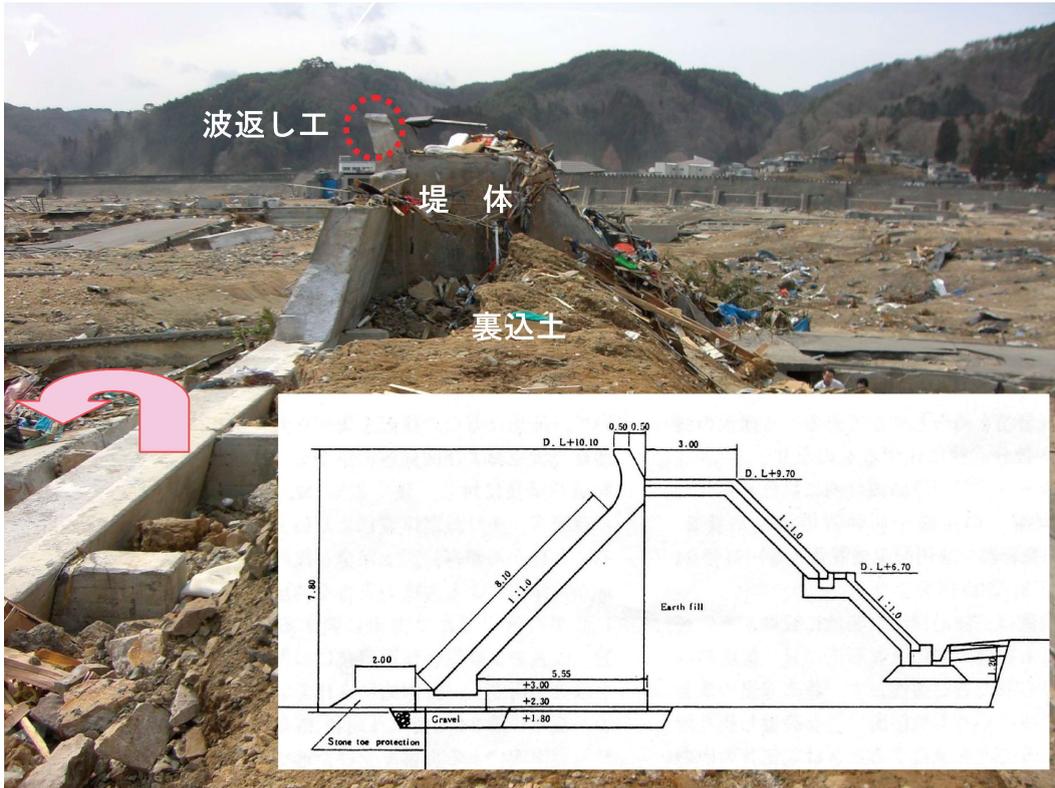
口絵写真一九 港湾埋立地内にある避難タワー(大船渡市野々田)



口絵写真一20 宮古市田老地区の防潮堤全景
 (国土交通省東北地方整備局釜石湾港事務所ホームページより)



口絵写真一21 海側東方向に延びる防潮堤の破壊状況



口絵写真—22 防潮堤の構造と破壊状況



口絵写真—23 堤体の倒壊と自立裏込土

東北地方太平洋沖地震による岩手県沿岸中南部の被災調査の概要

Flash Report of Field Investigation on the Damage of Middle Southern District in Iwate Prefecture caused by The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Japan

地盤工学会 東北支部・四国支部合同一次調査団

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(Mw9.0(暫定値))では、東北地方太平洋沿岸に津波が襲来し、大きな被害が発生した。中でも岩手県沿岸部の被害は甚大で、人的被害は、死者3834人、行方不明者4116人(4月12日現在)を数える。予測値をはるかに超える津波の襲来により、家屋の倒壊や防波堤・防潮堤の倒壊、河川堤防の決壊なども報道されている。

地盤工学会としても災害状況を早期に把握し、成果を迅速に内外に発表・提言して社会に貢献するために、東北支部・四国支部合同で調査団を結成し、以下のメンバー構成で一次調査をすることになった。

- 東北支部
 - 大河原正文(岩手大学、支部代表者兼主査)
 - 山本 英和(岩手大学)
 - 鴨志田直人(岩手大学)
 - 荻野 俊寛(秋田大学)
 - 藤井 登(奥山ボーリング㈱)
- 四国支部
 - 原 忠(高知大学、支部代表者兼主査・団長)
 - 大角 恒雄(徳島大学)
 - 山中 稔(香川大学)
 - 石原 行博(㈱技研製作所)
 - 常川 善弘(㈱相愛)
 - 森 伸一郎(愛媛大学)

ここでは、主として4月5日から4月8日の4日間わたり上記調査団が実施した現地被災調査の概要を報告する。調査結果の速報版は地盤工学会のホームページに掲載されているので参照されたい¹⁾。

2. 調査地域と調査内容

調査対象地域を口絵写真一7に示す。主な調査地は、陸前高田市、釜石市、大船渡市沿岸部で、いずれも津波による被害が大きい地域である。被害規模の大きい宮古市田老地区の防潮堤被害調査については、災害発生直後より東北支部単独で行った。

調査初日に岩手大学において、被害概要の確認と調査方針を決定した。その結果と各公共機関より公表された情報に基づいて被害状況の概要を把握したうえで、地盤

災害を主体とした現地調査を実施した。

3. 陸前高田市の被害

3.1 斜面崩壊・液状化被害

気仙川に近接した国道340号太田地区の急傾斜地で、地震に起因した斜面崩壊が確認された(写真一1)。調査の範囲では、全体的には崩壊箇所数はほとんどなく、崩壊規模は軽微で大規模な地すべり性の斜面崩壊は確認されなかった。太田地区の周辺家屋は、一部で瓦や土塀の落下が見られたものの、顕著な被害はなく、ほぼ健全であった。

堂の沢地区では、水田内や畦道周辺で液状化の痕跡が見られた(写真一2)。複数の水田内や畦道で噴砂を確認したが、いずれも局所的であった。周辺道路において液状化による小規模なすべり破壊が生じたが、舗装部はおおむね健全で、自動車等の走行に支障をきたすもので



写真一1 耕作地法面の浅い崩壊事例



写真一2 水田内で見られた噴砂



写真一3 沼田こ線橋の盛土被害

はなかった。

3.2 鉄道・道路施設の被害

JR大船渡線の鉄道施設で大きな被害が生じた。陸前矢作-竹駒駅間では、気仙川を渡る7径間規模の鉄道橋の橋桁が5径間にわたって流失した(口絵写真一8左)。陸前高田市の大船渡線中島では、津波が鉄道盛土を越流し、線路が流失した(口絵写真一8右)。ただし、鉄道盛土の海側と陸側とでは津波による被害形態が異なり、鉄道盛土によりエネルギーが軽減したと思われる。また、堤体自体も形状が保たれており、長年の鉄道振動による締め固め効果と施工当時の丁寧な施工が効果をもたらしたものと推察される。

大船渡線をまたぐ国道45号の沼田こ線橋では、津波が道路盛土を越流し、橋台部・盛土周辺に非常に大きな洗掘痕がみられた。長さ65mの上部工がすべて流失し、側道部分は基礎部以外消失していた(写真一3)。

3.3 橋梁および河川堤防の被害

気仙川河口部に架かる国道45号気仙大橋(橋長181.5m, 3径間+2径間連続鋼桁橋)が、落橋防止装置が設けられていたものの橋軸横方向からの津波による流失で落橋し、上流側約200mに押し流された。また、この気仙大橋取付部の左岸側河川堤防が大きく洗掘され破堤した(口絵写真一9)。この破堤は、河川堤防と道路盛土が交差する隅角部にのみ生じており、国道をアンダーパスするカルバートに流入した津波による押し波と、その後の引き波により運ばれた大量のがれきが集積・衝突し、河川堤防を洗掘したためと考えられる。

3.4 港湾構造物の被害

津波により港湾構造物が甚大な被害を受けた。地盤の沈降と津波浸水により、湾口部の砂州(高田松原)が消失し、地盤の浸水被害が生じた(図一1)。砂州周辺の防波堤や防潮堤のほとんどが転倒、流失したが(図一2)、水門部分のほとんどは残存していた(口絵写真一10)。多くの水門が津波の水圧に抵抗してきた要因として、杭を用いた基礎形式が採用されていた可能性が考えられる。

3.5 建築構造物の被害

木造の建物の多くはべた基礎を残し、津波により壊滅状態であった。コンクリート構造物は基礎形状の違いにより、損傷程度が明らかに異なっていた。べた基礎構造



図一1 砂州の消失(点線部分, Google Earthに加筆)



図一2 防波堤・防潮堤の被害

物の多くは倒壊しているのに対し(口絵写真一11左)、コンクリート杭基礎の場合は海岸線に近い構造物でも杭周辺の洗掘程度で倒壊は免れていた(口絵写真一11右)。

陸前高田市役所は、海岸線から1km離れているが、津波の被害を受けた。4階の庁舎まで津波による痕跡が見られた。

3.6 災害廃棄物の処理

被災地沿岸部に設けられた災害廃棄物の仮置き場には、集積されたがれきが山積みされ、中間処理としての分別が実施されていた(口絵写真一12)。分別後は、木材類、鉄類、布団・畳類が量的に多く集積されていた。木材類に分類された家屋解体系木材には留め金等の多くの金属類が付帯しており、今後破碎処理を行う場合には困難さを伴うであろうことが伺えた。

沿岸部の津波被災地から生じた災害廃棄物は、浸水による泥の付着が見られるなど水害廃棄物と様相が近似していた。今後、有害物質が付着した災害廃棄物の仮置き場においては、環境保全対策として、降雨の遮断や地盤汚染を防止するための遮水シート等の設置、飛散を防止するためのフェンス等の設置や散水の実施、場内から発生する汚水を処理するための水処理設備等の設置が必要と考えられる。

4. 釜石市の被害

4.1 斜面の被害

釜石港沿岸部の急斜面において、岩盤の小崩落や表層

崩壊（口絵写真一13）が確認された。岩盤の小崩落は、流れ盤での表層部小剥落で、道路などの社会基盤施設に影響を及ぼすものではなかった。また、旧崩壊跡地で生じた表層崩壊は、頭部の緩んだ表土部のみ崩壊であり、崩壊規模としては軽微であった。

4.2 港湾構造物の被害

釜石湾の湾口に築造された約2 kmの巨大防波堤が津波により倒壊し、ケーソン上部が部分的にしか確認できない状態になっていた（口絵写真一14）。本格的な耐震設計を取り入れた施設として知られていたが、基礎石が地震動や津波による洗掘などにより不安定化し、複数回の津波によりケーソンが倒壊、流失したと考えられる。釜石港北岸部の防潮堤は、引き波により海面側に押し出されるように倒壊していた（写真一4）が、陸前高田沿岸部に比べ施設被害は軽微であった。護岸の倒壊は部分的で、エプロンの不同沈下や目開きが目立った（図一3）。

4.3 コンビナートの被害

釜石湾南部の湾区付近に位置する岩手県オイルターミナルは、敷地面積36392 m²で石油タンク8基、LPGタンク2基を配置し、湾部に受入設備1バースを構える²⁾。県下有数のエネルギー備蓄拠点として、昭和56年1月に操業を開始している。

地震の振動もしくは津波により、重力式護岸が約50 mにわたり敷地内部に転倒した（口絵写真一15）。敷地内部に津波の痕跡が見られ、タンク周辺部の地盤の不同



写真一4 引き波により倒壊した護岸



図一3 釜石港東護岸の被害状況

沈下から液状化の発生が疑われたが、防油堤やタンク本体の被害はほとんどなかった。フレキシブルジョイントで接合された配管類が効果を発揮し、油の漏洩は見られなかった。施設の被害は軽微であったため、地震発生直後からのエネルギー供給に役立ったとのことである。

5. 大船渡市の被害

5.1 門之浜湾の被害

門之浜湾に面する大船渡市末崎町では、港湾構造物や建築物に甚大な被害が生じた。津波により、離岸堤や防潮堤（基礎部に付着した栗石から求めた堤高約3.4 m）が倒壊したが（口絵写真一16）、倒壊状況から押し波と引き波の繰返しにより不規則に破壊したことが伺える。湾口部の防波堤もそのほとんどが転倒、流失し、基礎地盤の吸い出しにより防波堤が湾口方向に転倒していた（図一4）。

津波の流入により、防潮堤背後の住宅地は、木造家屋のほとんどが倒壊した（口絵写真一17）。ただし、陸前高田市の沿岸部に比べ、倒壊家屋のほとんどが基礎部を残しており、水際構造物が一定の機能を発揮し、津波のエネルギーが軽減されたと推察される。

5.2 鉄道盛土の被害

大船渡線細浦では、鉄道盛土を津波が越波し、局所的に盛土法面が洗掘された。大船渡湾から最短距離に位置する盛土斜面に津波が押し寄せ、盛土側面がガリ浸食されたが、盛土自体の損傷は少なかった（口絵写真一18）。線路が流失した盛土には、枕木を支えていた締固まった路床の痕跡が見られた。盛土背後の住宅は、湾内に比べ家屋の損傷程度に明らかな差が生じていたが、鉄道と交差する道路付近では津波の流入が激しく、家屋の倒壊などの被害が顕著であった。

5.3 大船渡港の被害

大船渡港は、昭和34年に県内3番目の重要港湾の指定を受け、その後、背後の都市整備と併せて近代的なふ頭に徐々に整備されてきた²⁾。2003年の三陸南地震では、野々田地区の岸壁背後に比較的規模の大きな液状化が確認されている³⁾。

地震により、野々田地区の東岸壁物揚場付近では岸壁



図一4 防波堤の被害（末崎町）



写真一5 エプロン部の不同沈下

背後で約20 cm 沈下したが、岸壁法線は直線的で、側方流動等によるはらみ出しは確認されなかった。南岸壁背後のエプロンは、比較的大規模な不同沈下が生じ、コンクリート床板にひび割れが生じていた（写真一5）。現地の損傷程度から液状化の発生が疑われるが、津波の流入が激しく噴砂跡は見られなかった。

港湾埋立地内のサンアンドレス公園に立地する津波避難タワーは、本体の損傷は軽微であったが津波の痕跡が確認された（口絵写真一19）。今回調査した範囲では、海水面から約8 m 付近の2階部分まで水没したが、海水面から約14 m の3階部分には痕跡が見られなかった。設計高さや収容可能人数など、復興後の津波避難を検討する上で検討すべき課題であろう。

6. 宮古市田老町の防潮堤被害

6.1 田老地区の津波防災

田老地区（旧田老町）は、岩手県三陸海岸において最も甚大な津波被害を受けてきた地域の一つで、慶長16年（1611）の大津波（波高15～20 m）、明治29年（1896）の明治三陸津波（津波水位15 m）、昭和8年（1933）の昭和三陸津波（津波水位10 m）では全町壊滅という大被害を受けている。昭和三陸大津波による被災後、津波の襲撃から集落を護るための防潮堤を中心に据えた「田老村災害復旧工事計画」が策定され、長大防潮堤の建造、防波堤・護岸の建設、防潮林の植林、避難道路の整備、宅地の区画化、耕地整理などが実施された。防潮堤は昭和9年度から着手され、昭和53年に総延長2 433 m、海拔約10 m の大防潮堤が完成した。世界に類を見ない規模から地元では「田老万里の長城」といわれ、国内外より多くの視察団が訪れている。防潮堤のほかに28ヶ所の緊急避難場所、16ヶ所の二次避難施設、津波避難路、防潮林、防災無線、津波防災情報システムなどが整備され、自主防災組織の育成、津波避難訓練、防災教育などにも力を入れるなど、津波防災の先進地として国内外に知られていた。

田老地区の防潮堤は、国土交通省東北地方整備局所管の総延長1 350 m、海拔10.45 m の傾斜式防潮堤と農林水産省水産庁所管の総延長1 083 m、海拔10 m の扶壁式



図一5 田老漁港における津波の到達高さ
（左下は過去の津波到達高さ）

防潮堤からなる（口絵写真一20）。10 m というのは海面からの高さで、堤体そのもの高さは平均7.8 m ほどである。国交省の防潮堤は、中心から西方向と北方向に延びる“くの字形”（陸側）の構造で、水産庁の防潮堤は南方向と東方向に延び国交省とは逆向きの“くの字形”（海側）の構造であった。両堤は中心部で連結され“X形”を呈し、連結部を除き津波に対して2重の備えとなっていた。

6.2 防潮堤の被害

2011年東北地方太平洋沖地震による津波水位は、田老漁港で18 m を記録し、防波堤が整備されているにもかかわらず、慶長16年（1611）の大津波と同程度、明治三陸大津波（約15 m）と昭和三陸大津波（約10 m）に至ってはこれを超えた（図一5）。海拔10 m に設定された2重の防潮堤は、図一6に示されるように海側、陸側ともに越流を許し、高台にある田老役所や避難所を除くほとんどの住宅等構造物が流された。とくに海側防潮堤と陸側防潮堤に挟まれた野原地区は、鉄骨6階建のホテル（4階まで浸水）と携帯電話の電波塔を残してほぼ壊滅した（写真一6）。

海側と陸側の2重の備えとなっていた防潮堤のうち、破壊が著しいのは昭和32年～37年に建設された海側の東方向に延びた防潮堤である（口絵写真一21）。この防潮堤は、海側では最初に建設された防潮堤で、堤体には花崗岩を主体とする割栗石とマサ土からなる裏込土が使用され、その周囲をコンクリート製の壁体が覆い、上部には同じくコンクリート製の波返し工がかさ上げされていた（口絵写真一22）。

波返し工、壁体の多くは引き波により海側に倒されていたほか、4基の防潮堤扉と河川水門はかろうじて原形をとどめていた。注目すべきは、水門付近の裏込土が、周囲の壁体や波返し工が流されてむき出しになっているにもかかわらず、津波に耐え比較的残存していたことである（口絵写真一23）。田老漁港の湾口防波堤は破壊され、数個のケーソンが湾口部に残されていた。

6.3 地盤の被害

野原地区において、帯状、フーチング基礎の周囲に洗掘等による多数の空孔を確認した（写真一7）。建物の支持力を失う現象であり、今後、津波避難タワー、津波



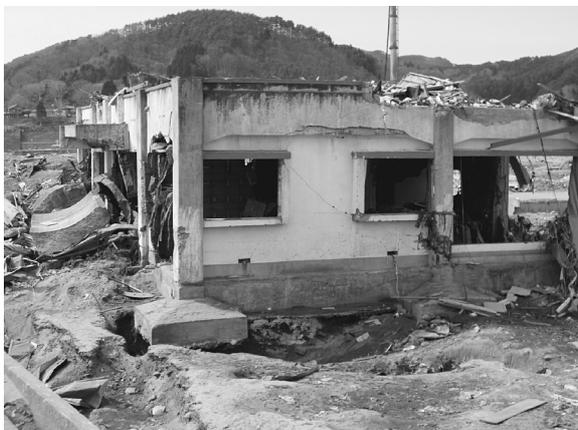
図一6 2011年3月11日の津波襲来状況
(岩手日報, 畠山昌彦氏提供)



写真一9 岸壁基礎の土質材料(粘性土)



写真一6 野原地区の被害状況



写真一7 洗掘等による基礎地盤の流出



写真一8 田老魚市場周辺の状況

避難高層ビルの建築にあたり注意すべき点と考える。

田老漁港では、市場、資材置き場、水産加工場、アワビ養殖施設などの建築物は、鉄骨を残して壊滅状態であった(写真一8)。一方で岸壁は、コンクリート床板の一部に亀裂や鋼製枠の落下が認められるものの、エプロンの不同沈下や損壊といった被害は認められず比較的健全であった。岸壁の基礎に使われていた土質材料が粘性土主体であり、液状化の発生を抑制したと考えられる(写真一9)。

鉄道盛土は、車からの目視調査の限りにおいては亀裂、崩壊等は確認されず健全性を保っているものとみられる。

7. その他の被害

7.1 宮古市小堀内漁港

宮古市田老の北約6 kmに位置する小堀内漁港では、調査範囲で最大の津波遡上の地点であり、港湾構造物、道路舗装、河川護岸、河道に甚大な被害が生じた。GPS高度計によれば、高さ30 mまでの樹木と表土はすべて流出し、漂流物で確認できる津波遡上は、湾を囲む斜面のほとんどで約35から36 mに、北側と西側斜面では36から39 mに達し、西側に延びる道路面では最大高さ42 mであった(写真一10)。

湾口に構築されたコンクリート製の北側防波堤は前後に最大4.1 m 水平に相対的にずれていた(写真一11)。防波堤の海側に設置されていた大型の消波ブロックは、多くが湾内に移動し、双方の損傷から、その移動は防波堤を乗り越える際の衝突によるものと推察された。

7.2 大槌町と防潮堤の被害

大槌町の中心部である大槌地区はRC造や鉄骨造の構造物を除いてその多くが流出し、全滅の様相を呈した。防潮堤および水門も甚大な被害を受けた。なかでも、水門は越流により欄干が大きく変形し、水門そのものは、構造的被害は軽微なもの、その横には流出して不明な構造物の基礎杭が3 m 突出しており、杭頭が曲げせん断破壊し、陸側に杭頭が移動していた(写真一12)。この地震での基礎杭の被害は珍しく今後の調査が望まれる。



写真一10 小堀内漁港の被害（写真は高さ35 mで撮影）
写真奥の上部中央左寄りに防波堤が見える



写真一11 小堀内漁港防波堤の被害

8. おわりに

今回調査した地域では、沿岸部の津波被害が甚大で、陸前高田市中心部を流れる気仙川では、湾口から約7.5 km 上流まで遡上が確認された。湾口部の防波堤や防潮堤が壊滅的な被害を受け、田老漁港を囲む防波堤は、明治29年の明治三陸津波や、昭和8年昭和三陸津波を上回る津波水位約18 mの大津波により、海側の東方向に延びる防潮堤が扉部分を残し破壊された。一方、鉄道・道路・河川などの土構造物の大規模な被害は認められず、堤体内部の裏込土が洗掘され破堤に至った事例も見られたが、被災範囲は局所的であった。斜面崩壊は、今回調査した範囲では規模、個数とも少なく、津波被害の甚大



写真一12 大槌町での防潮堤水門横の基礎杭の被害

な地域であっても、RC造の構造物の被害は軽微であった。今後はより詳細な調査を行い、特に津波被害を拡大させた港湾構造物の被災や災害廃棄物等の扱いについて、地盤工学的視点から原因究明が行われることが望ましい。さらに、土構造物の津波防波堤としての役割や緊急避難所としての機能についても、既存の施設の有効利用の観点から検討が進められることを期待したい。

北海道南西沖地震では、津波による甚大な被害が発生していたにもかかわらず、阪神・淡路大震災以降に頻発した内陸型の地震により、津波災害が国内では影を潜めてしまった。今回の甚大な津波災害の陰に地盤災害が隠れてしまわないように、冷静な調査・研究に努めることが今後の地震災害軽減に貢献するものと思われる。

参考文献

- 1) 地盤工学会ホームページ：<http://www.jiban.or.jp/file/file/4-11hara2.pdf>
- 2) 岩手県オイルターミナル株式会社ホームページ：<http://www.iot-kamaishi.co.jp/index.html>
- 3) 国土交通省東北地方整備局釜石港湾事務所ホームページ：<http://www.pa.thr.mlit.go.jp/kamaishi/index.html>
- 4) 地土木学会・地盤工学会合同宮城県沖の地震調査団報告書：pp. 15～16, 2003.

(原稿受理 2011.4.26)