6. 地震被害の調査結果

6.1 青森県の調査結果

6.1.1 八戸港

(1) 調査結果の概要

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

図-6.1.1.1 八戸港関連地図
（▲△は調査地点，うち▲は微動観測地点）

(2) 八太郎地区 P 岸壁

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

なお，当該岸壁に関しては，取付部護岸のブロックが

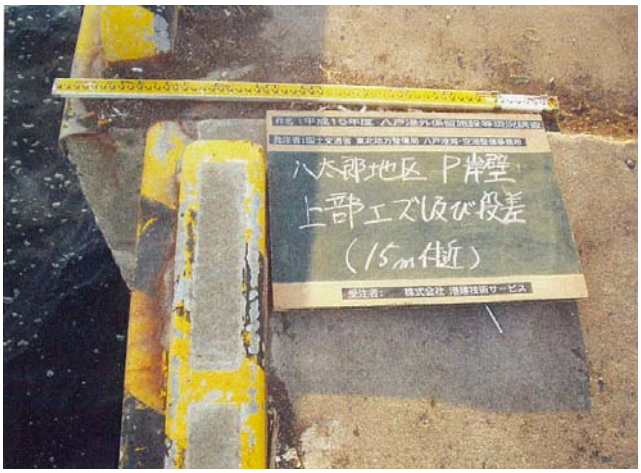


写真-6.1.1.1 八太郎地区 P 岸壁の法線の出入り
（八戸港湾・空港整備事務所，2004）（平成 15 年度撮影）

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

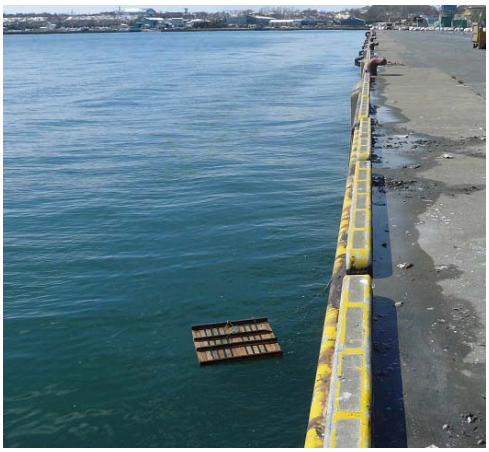


写真-6.1.1.3 八太郎地区 P 岸壁の地震後の法線の状況
（平成 23 年 3 月 17 日撮影）

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

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

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

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

(3) 八太郎地区 J 岸壁（コンテナバース）

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

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

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

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

(4) 八太郎地区 L 岸壁

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

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

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

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

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

（5）八太郎地区 N 岸壁（耐震強化岸壁）

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

（6）河原木地区 A 岸壁

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

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

め，今回の地震の前からある程度の沈下は生じていたとのことである．

(7) 微動観測

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

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

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

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

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

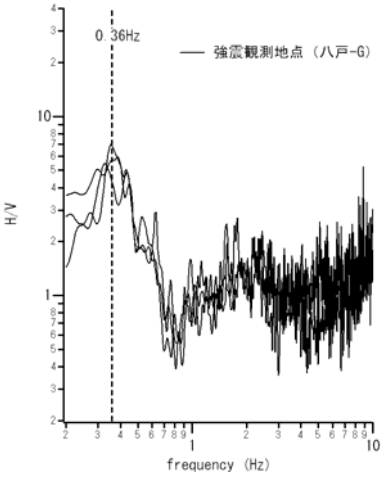


図-6.1.1.2　八戸港の強震観測地点（八戸-G）における微動 H/V スペクトル

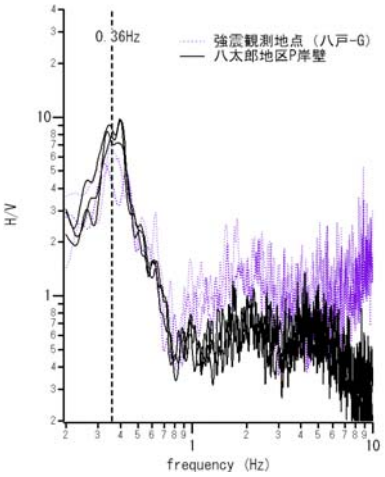


図-6.1.1.3　八戸-G と八太郎地区 P 岸壁における微動 H/V スペクトルの比較

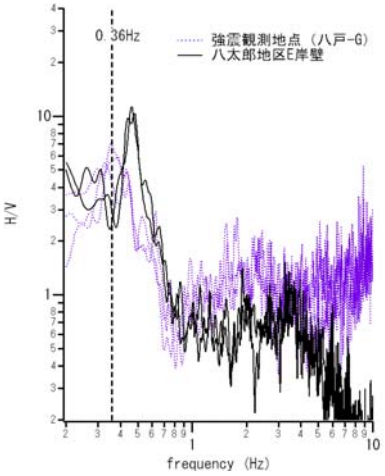


図-6.1.1.4　八戸-G と八太郎地区 E 岸壁における微動 H/V スペクトルの比較

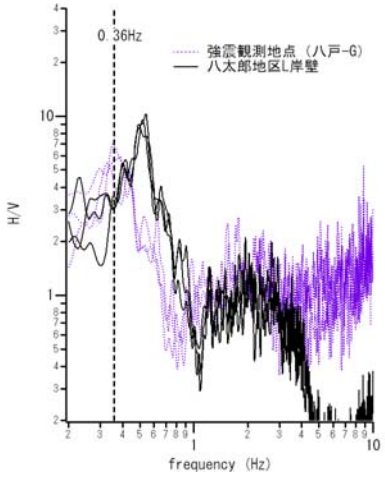


図-6.1.1.5　八戸-G と八太郎地区 L 岸壁における微動 H/V スペクトルの比較

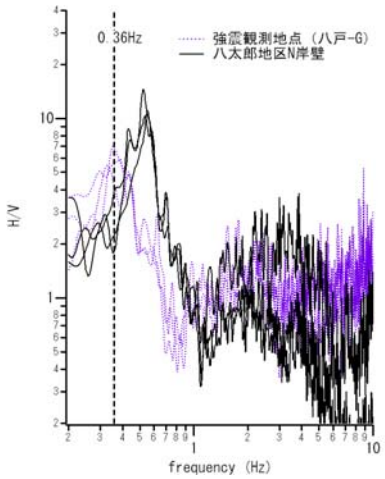


図-6.1.1.6　八戸-G と八太郎地区 N 岸壁における微動 H/V スペクトルの比較

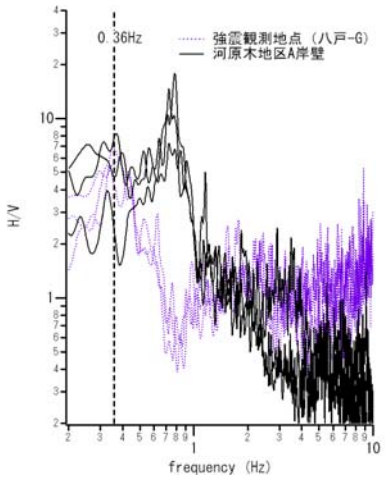


図-6.1.1.7　八戸-G と河原木地区 A 岸壁における微動 H/V スペクトルの比較

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

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

参考文献

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

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

6.2　岩手県の調査結果

6.2.1　久慈港

(1) 調査結果の概要

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

図-6.2.1.1　久慈港関連地図
（▲△は調査地点，うち▲は微動観測地点）

(2) 諏訪下地区岸壁（-10m）

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

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

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

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

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

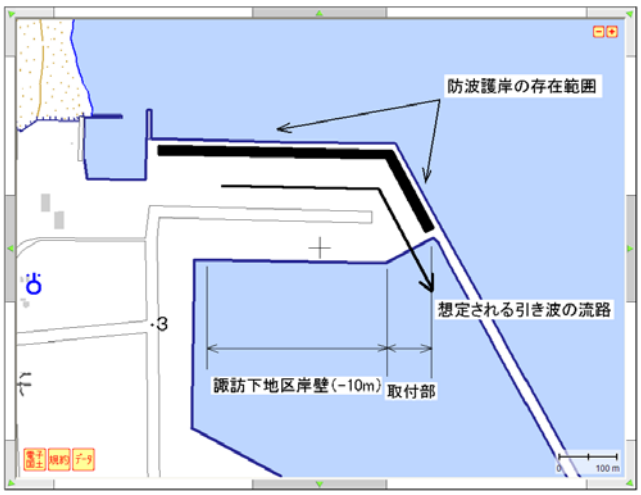


図-6.2.1.2　諏訪下地区岸壁（-10m）平面図

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(3) 諏訪下地区岸壁（-5.5m）

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

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

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

(4) 諏訪下地区桟橋（-7.5m）

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

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

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

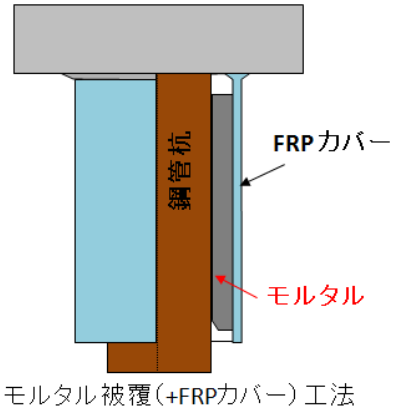


図-6.2.1.3　モルタル被覆＋FRP カバー工法

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

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

土留めの前だしはわずかであったが，桟橋の南端でコンクリート舗装と土留め壁の間に比較的大きな開きが生じていた（**写真-6.2.1.14**）．また，舗装の下には空洞が生じていた（**写真-6.2.1.15**）．

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

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

（5）諏訪下地区桟橋（-6.0m）（魚市場前）

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

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

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

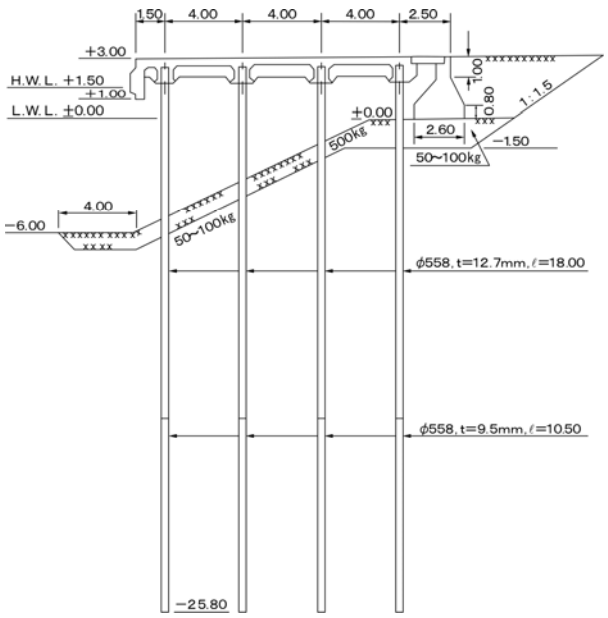


図-6.2.1.4　諏訪下地区桟橋（-6.0m）標準断面図
（運輸省港湾局他，1968）

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

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

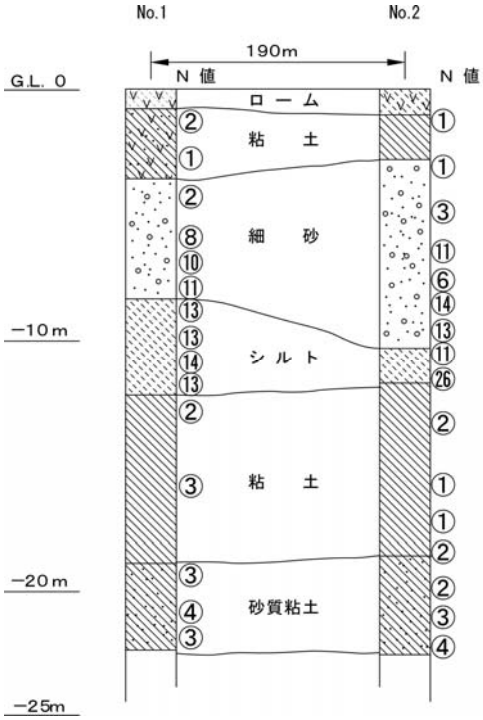


図-6.2.1.5　諏訪下地区桟橋（-6.0m）土質柱状図
（運輸省港湾局他，1968）（丸囲み数字は N 値）

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

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

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

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

（6）微動観測

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

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

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

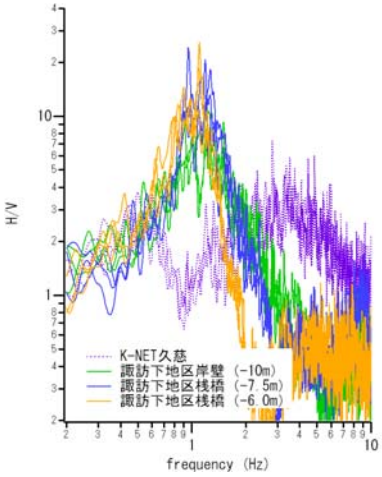


図-6.2.1.6　K-NET 久慈と久慈港諏訪下地区の諸施設における微動 H/V スペクトルの比較

参考文献

運輸省港湾局・港湾技術研究所・第二港湾建設局（1968）：1968 年十勝沖地震 港湾被害報告 津波調査報告．

菅野高弘・野末康博・田中智宏・野津厚・小濱英司・ハザリカ=ヘマンタ，元野一生（2007）：2005 年福岡県西方沖の地震による港湾施設被害報告，港湾空港技術研究所資料，No.1165.

南兼一郎・高橋邦夫・園山哲夫・横田弘・川端規之・関口宏二・辰見夕一（1997）：神戸港における横桟橋の被害調査と動的相互作用解析，第 24 回地震工学研究発表会講演論文集，pp.693-696.

Kinoshita, S. (1998): Kyoshin Net (K-net), *Seim. Res. Lett.*, Vol. 69, pp.309-332.

6.2.2　釜石港

(1) 釜石港における調査の概要

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

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

図-6.2.2.1　釜石港における主な調査対象施設

(2) 須賀地区岸壁（-11m）

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

設計条件としては，設計震度は，K_h=0.15 で，対象船舶は貨物船 15,000DWT である．上載荷重については，常時で 2.0t/m^2，地震時で 1.0t/m^2 である．岸壁延長は 190m で，供用開始は 2007 年である．

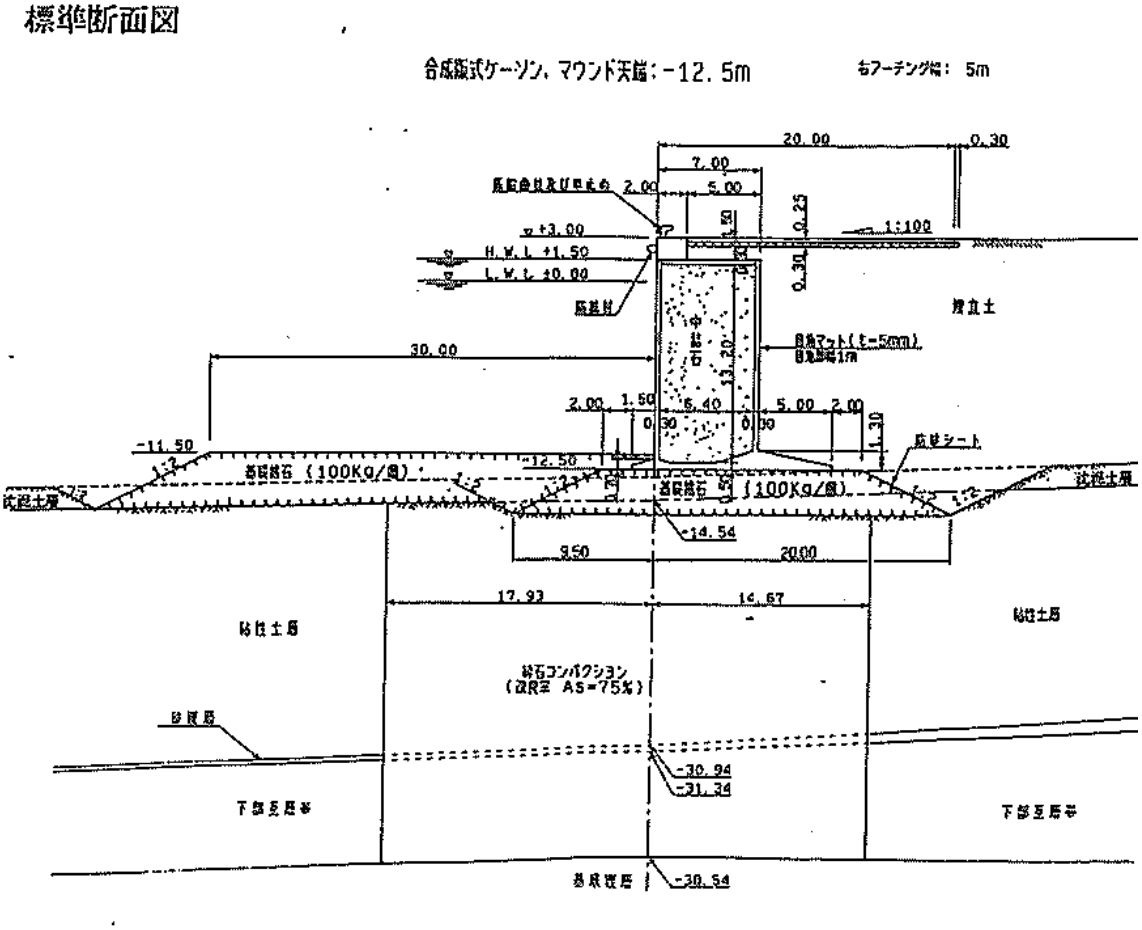


図-6.2.2.2　須賀地区岸壁（-11m）の標準断面図

写真-6.2.2.1　岸壁前面の状況（異状なし）

写真-6.2.2.2　エプロンの状況（異状なし）

写真-6.2.2.3　岸壁法線（異状なし）

写真-6.2.2.4　背後との段差（10cm 程度）

写真-6.2.2.5　湾奥側取付部との境界付近

写真-6.2.2.6　ハーバークレーンの状況

写真-6.2.2.1～**写真-6.2.2.6** に，須賀地区岸壁（-11m）の状況を示す．**写真-6.2.2.1**～**写真-6.2.2.3** に示すように，岸壁前面，岸壁法線およびケーソン上のエプロンに異状は見られなかった．ただし，**写真-6.2.2.4** に示すように，エプロンとケーソン背後に 10～20cm 程度の段差（背後が低い）が見られた．完成して間もない施設であり，背後の地盤沈下が大きくなることが予測されたが，本体構造が合成版式ケーソンであり，ケーソン後部のフーチングが長いため，ケーソン背後の地盤沈下が小さくなったものと推察される．

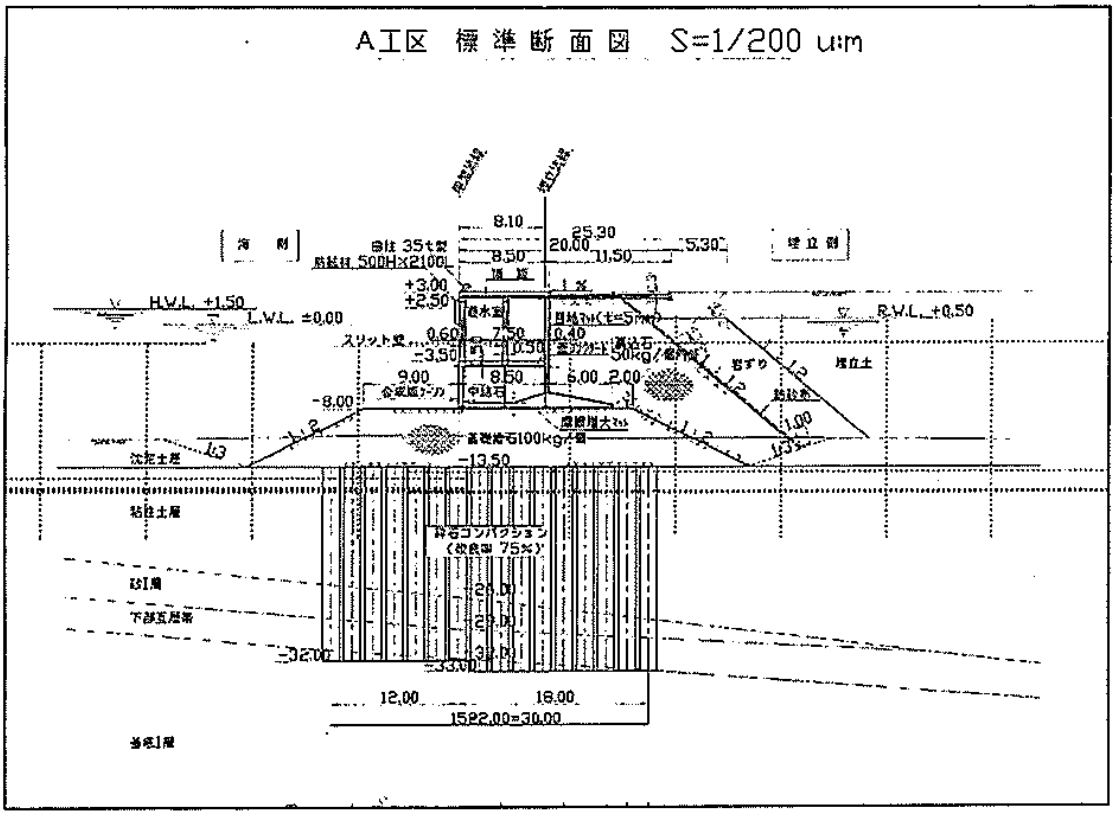


図-6.2.2.3　須賀地区岸壁（耐震強化）（-7.5m）の標準断面図

写真-6.2.2.7　岸壁前面の状況（異状なし）

写真-6.2.2.8　背後との段差（10cm 程度）

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

写真-6.2.2.6 に示すように，本岸壁の背後地盤上にハーバークレーンがアウトリガーを展開させた状態で設置されていた．津波の引き潮による流木等がアウトリガー付近に堆積した状態であったが，目視によれば，クレーンの構造に大きな損傷は確認されなかった．

(3)　須賀地区岸壁（耐震強化）（-7.5m）

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

写真-6.2.2.9　エプロンの状況（異状なし）

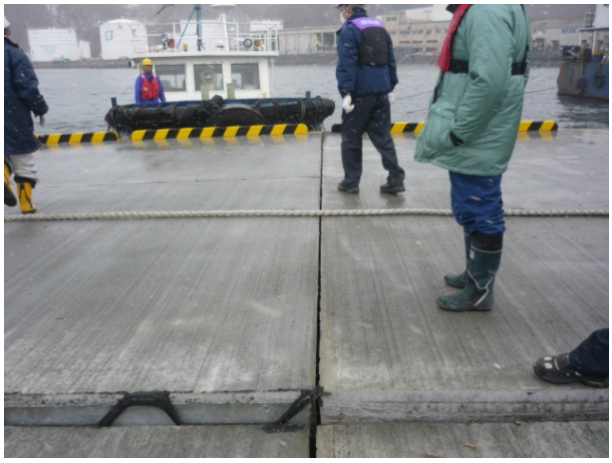


写真-6.2.2.10　突堤先端側取付部の傾斜

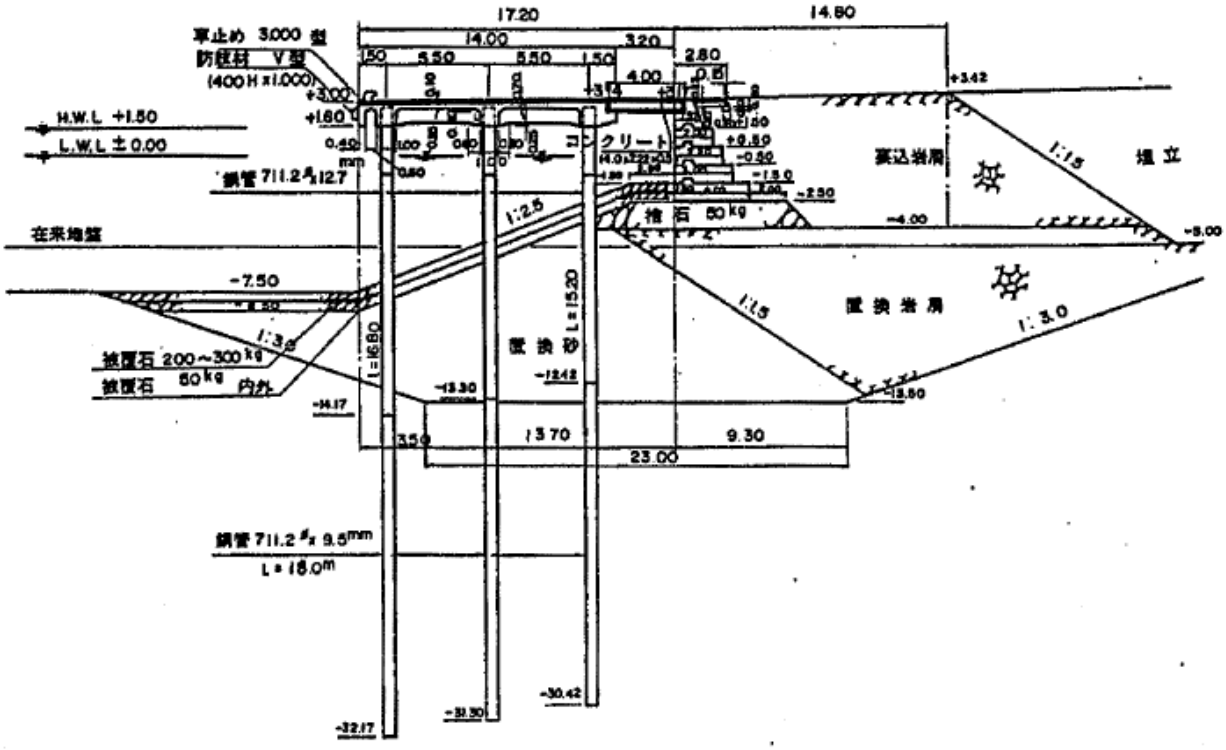


図-6.2.2.4　須賀地区桟橋（-7.5m）の標準断面図

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

写真-6.2.2.7～写真-6.2.2.10 に，須賀地区岸壁（-7.5m）の状況を示す. 須賀地区岸壁（-11m）と同様に，**写真-6.2.2.7** に示すように，岸壁前面および岸壁法線に異状は見られなかったが，**写真-6.2.2.8** に示すように，エプロンとケーソン背後に 10cm 程度の段差（背後が低い）が見られた．ただし，**写真-6.2.2.9** に示すように，エプロンのコンクリート舗装には，顕著な変状は見られなかった．須賀地区岸壁（-11m）と同様に，完成して間もない施設であり，背後の地盤沈下が大きくなることが予測されたが，本体構造が合成版式ケーソンであり，ケーソン後部のフーチングが長いため，ケーソン背後の地盤沈下が小さくなったものと推察される.

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

写真-6.2.2.11　岸壁法線の状況（異状なし）

写真-6.2.2.12　桟橋端部の状況（異状なし）

写真-6.2.2.13　背後との境界

写真-6.2.2.14　県営上屋の状況

（3）須賀地区桟橋（-7.5m）

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

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

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

本施設の背後には県営上屋があるが，**写真-6.2.2.14** に示すように，大規模な損傷が生じていたが，おそらくは津波により損傷したものと推測されるため，地震動によってどれほど損傷していたのかは判断できない．

（4）湾口防波堤

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

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

写真-6.2.2.15　釜石港湾口防波堤の全景（被災後）

写真-6.2.2.16　南堤の状況

写真-6.2.2.17　北堤の状況

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

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

(5) その他の施設

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

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

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

写真-6.2.2.18　防潮堤（須賀地区）の状況

写真-6.2.2.19　防潮堤（須賀地区）の状況

写真-6.2.2.20　アスファルト舗装の亀裂

写真-6.2.2.21　エプロンの湛水状況

6.2.3　大船渡港

(1) 大船渡港における調査の概要

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

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

図-6.2.3.1　大船渡港における主な調査対象施設

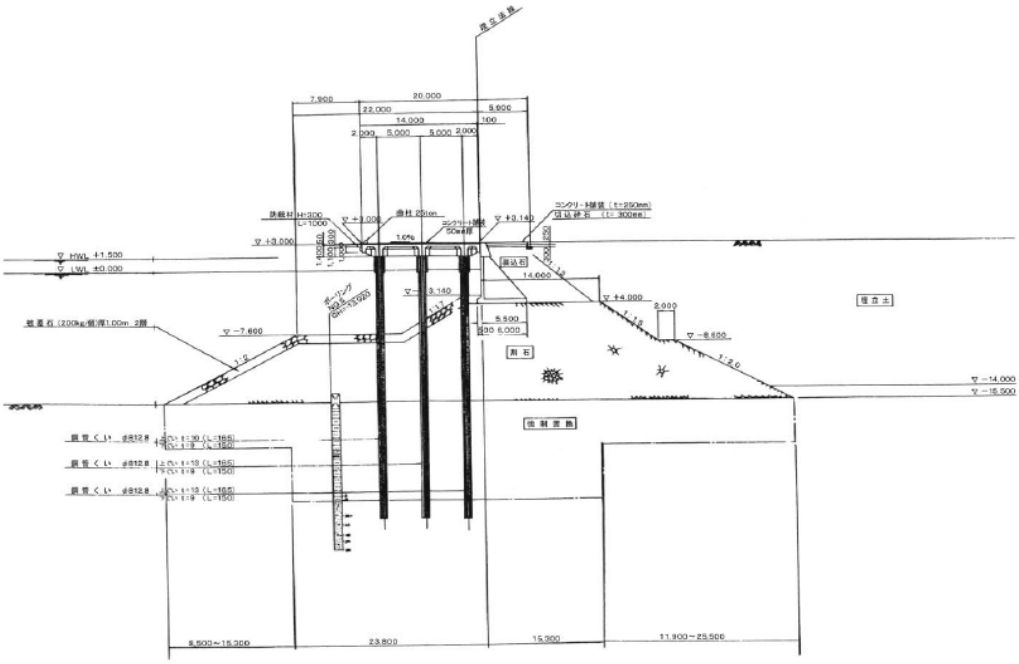


図-6.2.3.2　野々田地区桟橋（-7.5m）の標準断面図

写真-6.2.3.1　桟橋法線の状況（異状なし）

写真-6.2.3.2　桟橋ブロック間の相対ずれ

(2) 野々田地区桟橋（-7.5m）

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

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

写真-6.2.3.1～**写真-6.2.3.4** に，野々田地区桟橋（-7.5m）の状況を示す．**写真-6.2.3.1** に示すように，桟橋法線には異状は見られなかった．ただし，建設当時から側方流動などの懸念があり，桟橋上部工上のエプロンにおいて，**写真-6.2.3.2**に示すように桟橋本体の移動をモニタリングしていたようである．ブロック間の相対変位などから，今回の地震動によって桟橋本体が前面に数 mm 程度移動していたと推測される．また，**写真－6.2.3.3** に示すようにエプロン背後で 10cm 程度の沈下が発生していた．また，**写真-6.2.3.4**に示すように，部分的に鋼製の渡版が外れていたが，これは，津波による揚圧力によって外れたものと推測される．

写真-6.2.3.3　背後との段差

写真-6.2.3.4　外れた渡版

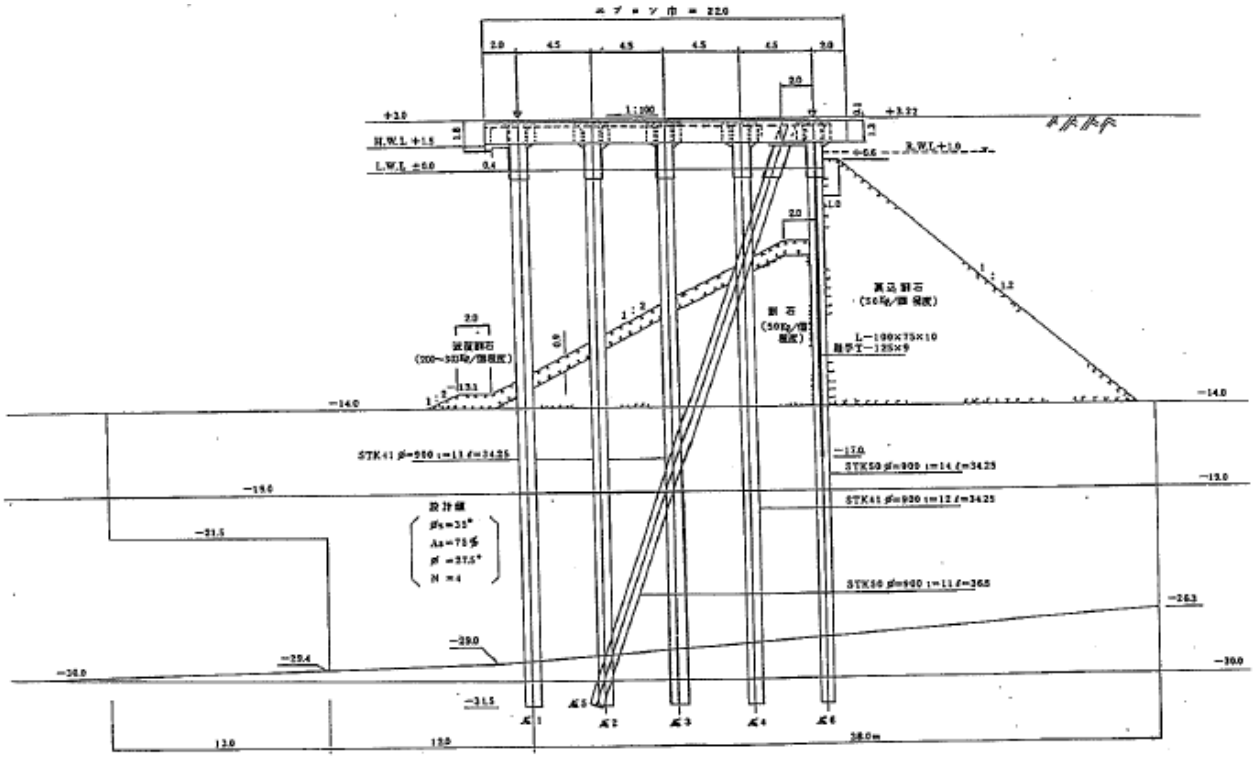


図-6.2.3.3　野々田地区桟橋（-13m）の標準断面図

(3) 野々田地区桟橋（-13m）

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

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

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

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

写真-6.2.3.5　桟橋法線の状況（異状なし）

写真-6.2.3.6　背後との段差

写真-6.2.3.7　背後地のエプロン下の状況

写真-6.2.3.8　ハーバークレーンの状況

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

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

（4）茶屋前地区岸壁（-9m）

施設概要としては，構造形式は 1 バース分が桟橋，1 バース分が棚式となっており，天端高は+3.0m で，H.W.L.が+1.5m，L.W.L.が±0.0m である．棚式部の標準断面図を**図**-6.2.3.4 に示す．

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

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

（5）永浜地区桟橋（-13m）

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

写真-6.2.3.11～**写真**-6.2.3.12 に，永浜地区-13m 桟橋の状況を示す．**写真**-6.2.3.11 に示すように，エプロ

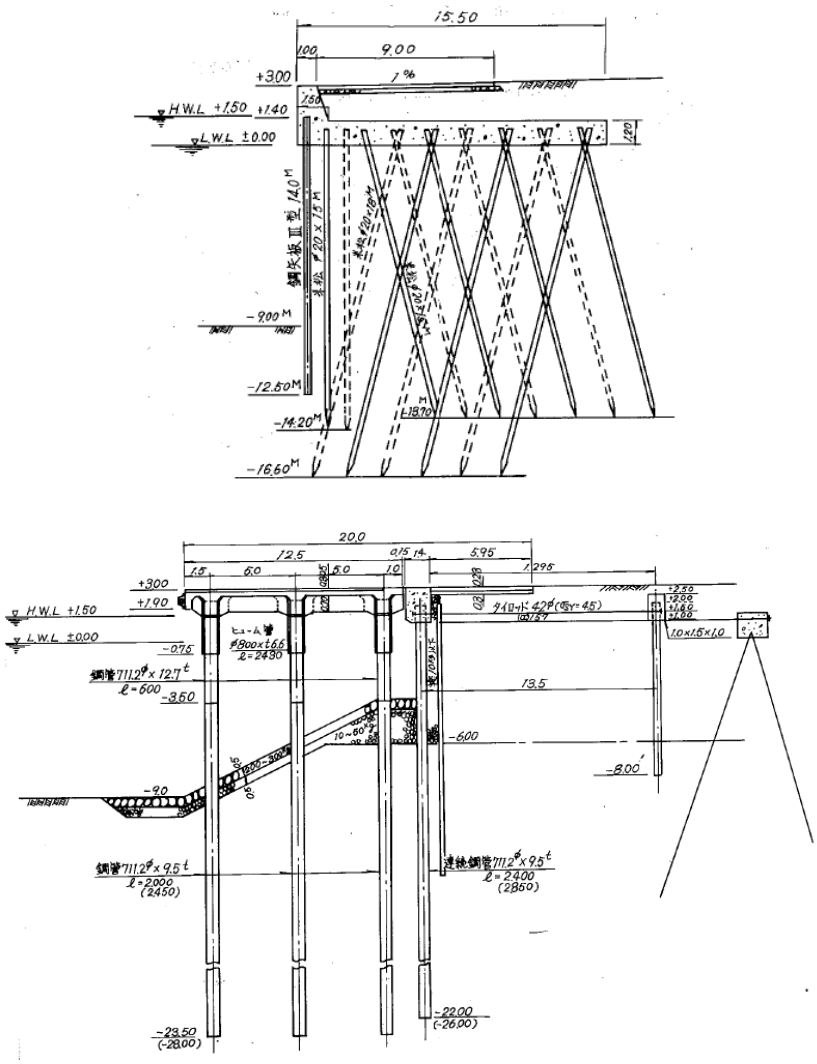


図-6.2.3.5　茶屋前地区岸壁（-9m）の標準断面図

写真-6.2.3.11　桟橋法線の状況（異状なし）

写真-6.2.3.12　渡版の外れ

ン背後で 15cm 程度の段差が見られたものの，施設の健全度（岸壁法線など）には問題が見られなかった．ただし，**写真-6.2.3.12** に示すように，大量の漂流物がエプロン上に堆積していたため，ほとんどの部分を確認でき

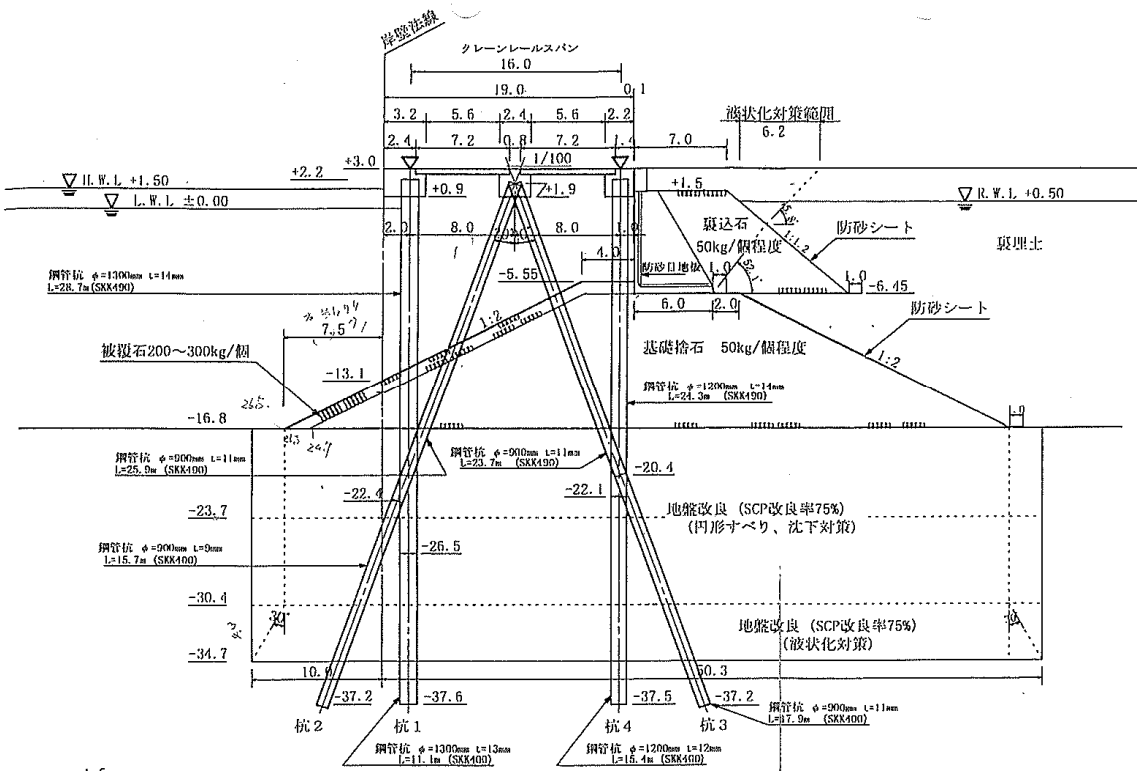


図-6.2.3.4　永浜地区桟橋（-13m）の標準断面図

写真-6.2.3.9　背後との段差（15cm 程度）

写真-6.2.3.10　エプロンの状況

なかった．

(6) 湾口防波堤

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

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

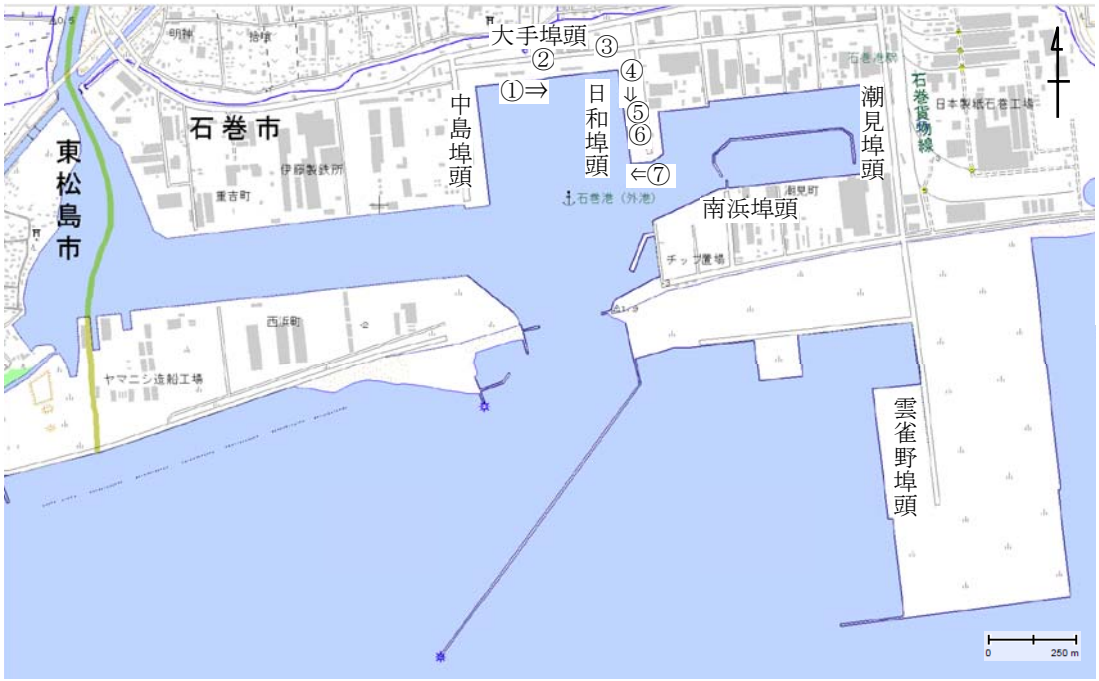


図-6.3.1　石巻港平面図

6.3　宮城県の調査結果

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

6.3.1　石巻港

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

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

a）大手埠頭

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

矢板式岸壁の荷捌ヤードに部分的な舗装の損傷および

写真-6.3.1　大手埠頭の岸壁法線（写真番号①）

写真-6.3.2　大手埠頭の荷捌ヤードの損傷（写真番号②）

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

写真-6.3.3　大手埠頭桟橋部の舗装版の損傷
（写真番号③）

写真-6.3.4　日和埠頭の岸壁法線と背後の沈下
（写真番号④）

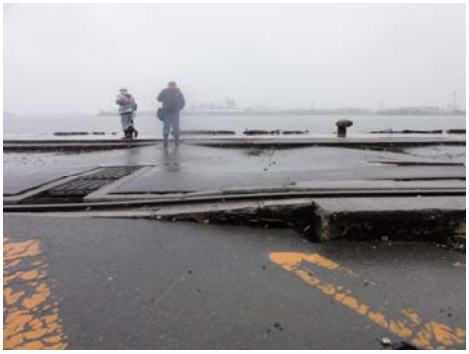


写真-6.3.5　日和埠頭のアンローダー用レールの沈下
（写真左が前面水深-9m 側）（写真番号⑤）

写真-6.3.6　日和埠頭南側の荷捌ヤードの損傷
（写真番号⑥）

写真-6.3.7　日和埠頭南端の護岸（写真番号⑦）

よる洗掘を受けたものと考えられる．

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

b）日和埠頭

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

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

6.3.2　仙台塩釜港（仙台港区）

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

図-6.3.2　仙台塩釜港（仙台港区）平面図

写真-6.3.8　高松埠頭の岸壁法線（写真番号①）

写真-6.3.9　高松埠頭エプロン背後の段差（写真番号②）

a）高松埠頭

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

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

b）中野埠頭

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

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

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

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

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

写真-6.3.13　中野埠頭 2 号～4 号岸壁の法線（写真番号⑥）

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

c）雷神埠頭

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

写真-6.3.14　雷神埠頭の岸壁法線（写真番号⑦）

写真-6.3.15　高砂埠頭 2 号岸壁の岸壁法線(写真番号⑧)

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

d）高砂埠頭

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

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

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

写真-6.3.17　高砂埠頭 2 号岸壁偶角部の被災状況
（写真番号⑩）

写真-6.3.18　高砂埠頭 2 号エプロン背後の被災状況
（写真番号⑪）

写真-6.3.19　高砂埠頭マーシャリングヤード
の被災状況（写真番号⑫）

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

写真-6.3.21　中央公園の被災状況（写真番号⑭）

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

1号岸壁では，クレーンレール間の地盤が10cm程度沈下していたが，ほぼ健全と判断された．係留部に試験施工中のレール免震は，陸側に10cm程度移動しており，作動したものと想定された（**写真-6.3.20**）．

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

e) 中央公園

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

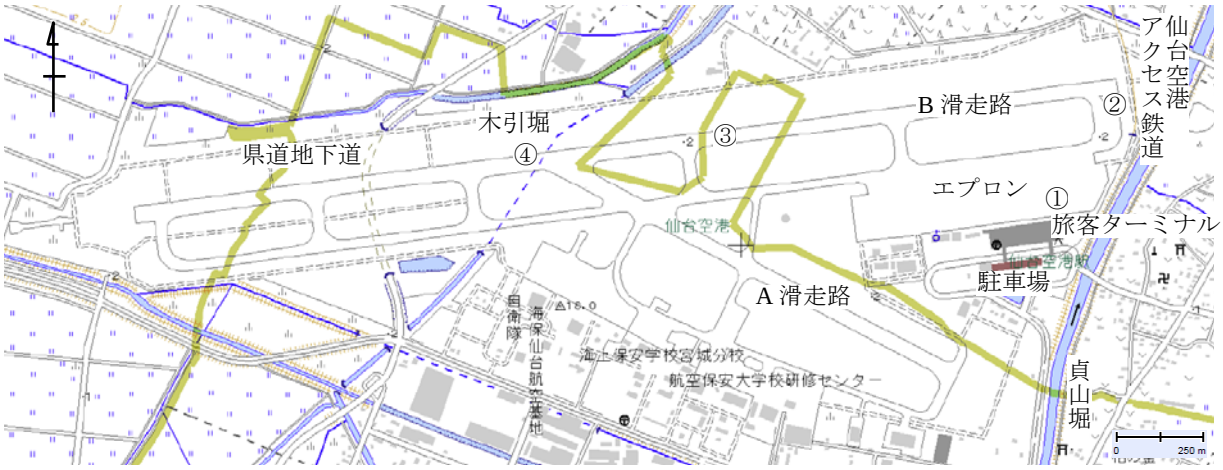


図-6.3.3　仙台空港平面図

写真-6.3.22　仙台空港エプロン部の沈下（写真番号①）

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

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

6.3.3　仙台空港

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

写真-6.3.24　仙台空港 B 滑走路上の亀裂（写真番号③）

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

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

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

写真-6.3.25　仙台空港 B 滑走路摺付け改良部の状況（写真番号④）

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

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

6.3.4　その他

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

a）仙台塩釜港（塩釜港区）

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

b）女川漁港

女川漁港は女川湾奥に位置する第三種漁港である．構造形式は不明であるが，おそらく桟橋構造であると思われる．渡版が破損・流失していたほかには，岸壁本体に大きな変状は見られず，法線の直線性も保たれていた（**写真-6.3.28**）．**写真-6.3.29**は，漁港岸壁から約60m内陸部

写真-6.3.26　仙台塩釜港（塩釜港区）観光桟橋堤内側の洗掘

写真-6.3.27　仙台塩釜港（塩釜港区）観光桟橋の陸閘

写真-6.3.28　女川漁港の岸壁直背後の様子

写真-6.3.29　転倒した 4 階建ビル（女川漁港後背地）

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

6.4　福島県の調査結果

福島県内の港湾施設として，相馬港，小名浜港を調査した．

6.4.1　相馬港

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

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

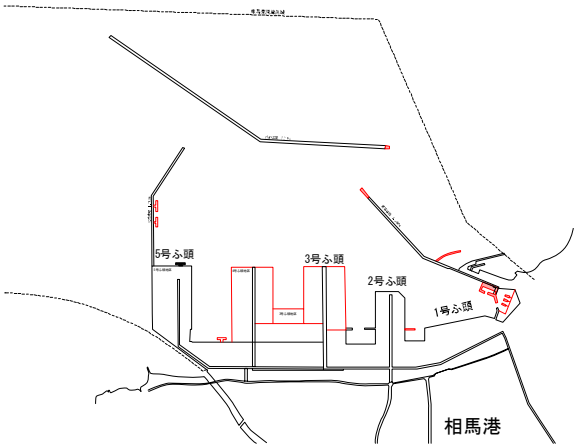


図-6.4.1.1　相馬港平面図

（1）1 号ふ頭の被災状況

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

図-6.4.1.2　隅角部の破損状況

破損範囲は隅角部から 28m×17m の三角形の形状を示しており，陥没量は 1.7m 程度である。地震時に裏埋土に液状化が生じ開口した可能性が大きいが，その後の津波の作用により洗掘が生じたため大規模な変状となったものと想定される．鋼矢板岸壁(-5.5m) 1-2 エプロン背後 15m 付近において地盤面が約 105cm 沈下，エプロン舗装下に空洞が認められる．裏込砂が偶角部の亀裂から流失したものと考えられる．法線にはらみ出しが見られるが，はらみ出量については測量により特定する必要がある．鋼矢板岸壁(-7.5m)1-3～1-5　全長 390m のうち，1-5～1-4 に約 140m 区間で緩やかにはらみ出しているが，矢板継手が破損しており開口している。開口部より裏埋土が流失しており，幅 30m×15m の範囲で舗装版が破損，最大 2.8m 程度陥没している．

図-6.4.1.3　矢板岸壁の破損・洗掘状況

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

（2）2 号埠頭

直立消波岸壁(-5.5m) 2-1　法線は概ね直線性を保っているが背後エプロン部舗装目地に 20cm 程度の亀裂が認められる．鋼矢板岸壁(-75m)2-2～2-3　矢板継手部に開口

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

図-6.4.1.4　矢板岸壁の破損状況

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

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

図-6.4.1.5 直立消波ﾌﾞﾛｯｸ式護岸 移動・転倒したﾌﾞﾛｯｸ

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

(3) 3 号埠頭

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

図-6.4.1.6　隅角部のケーソンの決壊

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

(4) 5 号ふ頭

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

図-6.4.1.7　ｱﾝﾛｰﾀﾞｰの状況．左端は座礁した石炭船

(5) まとめ

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

6.4.2　小名浜港

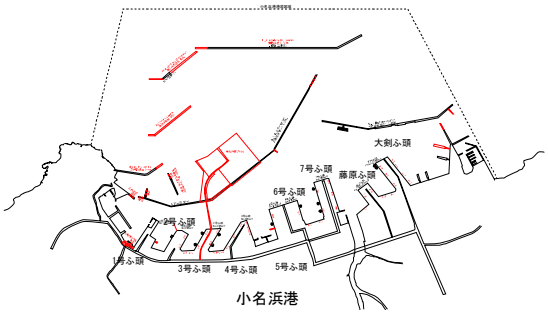


図-6.4.2.1　小名浜港平面図

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

(1) 3 号ふ頭

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

図-6.4.2.2　陸側レール部分の段差

連続している矢板式岸壁(-10m) 3-3　岸壁法線が最大 35cm 程度はらみ出している．控えは斜組杭であり，陸側レール基礎を兼ねているが，押込杭・引抜杭の杭長が等しく，押込杭が支持層に根入れされていない可能性がある．エプロン部に 20cm 程度の沈下が見られ陸側レール基礎背面で約 1m の段差が確認された．

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

(2) 4 号ふ頭

矢板式岸壁(-10m) 4-2　140m 区間の法線は概ね直線性が保たれているが，図-6.4.2.3 に示すようにケーソン式岸壁との境界部分約 10m の区間において若干のはらみ出しが確認された．ケーソン式岸壁と矢板式岸壁との境界部でエプロン舗装版（コンクリート舗装）に浮き上がりが確認された．ケーソン肩を中心として背後が沈下したため，境界部に若干の浮き上がりが生じている．

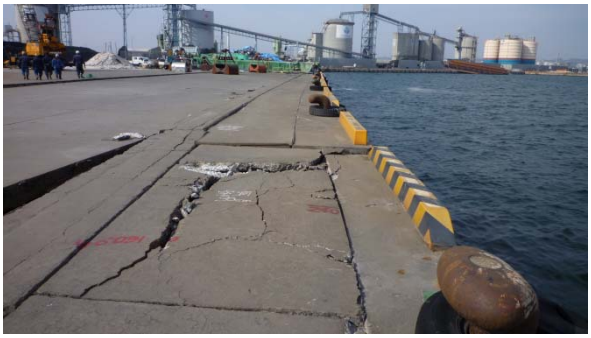


図-6.4.2.3　構造変化位置での法線の出入り

(3) 5 号ふ頭

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

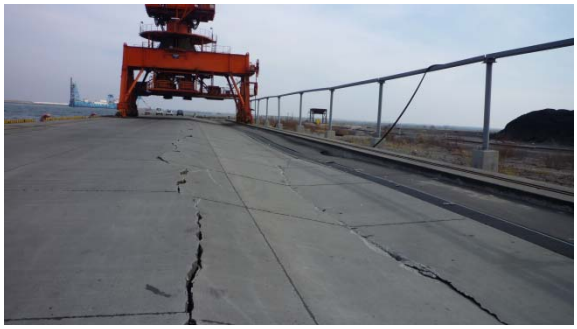


図-6.4.2.4　エプロン舗装部の変状

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

(4) 6 号ふ頭

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

図-6.4.2.5　エプロン部の変状

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

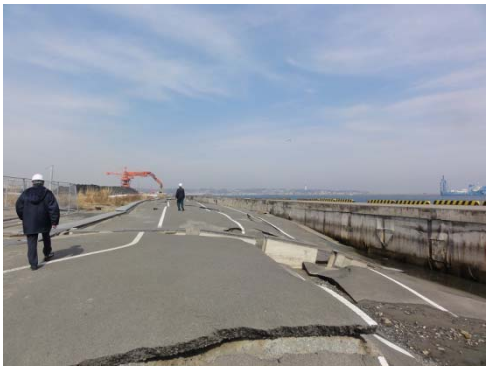


図-6.4.2.6　先端護岸背後の沈下・段差

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

(5) 7 号ふ頭

ケーソン式岸壁(-13m) 7-1 鉱物資源用アンローダーが設置されておりベルトコンベアも整備されている．法線は緩やかにはらみ出しており，最大 30cm 程度と想定される．陸側レール基礎は直杭で支持されているが裏込石施工後に打設されたものと考えられ，支持層まで打設されておらず，裏込石部分で打止めされている．陸側レール天端が最大20cm程度沈下しており,最大沈下地点は,岸壁のはらみ出し量が最大（30cm 程度）の位置と調和的である（**図-6.4.2.7**).

図-6.4.2.7　エプロン部・陸側レール部の状況

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

(6) 藤原ふ頭

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

図-6.4.2.8　エプロンの変状

法線背後 30m 付近に既設ケーソン（幅 8m，高さ 9m)が残置されていたため，同様の構造形式の F-3 と比較して被災程度は軽微であったが,若干の不同沈下がみられる．ケーソン式岸壁(-10m) F-3　法線は緩やかにはらみ出し

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

（7）大剣ふ頭

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

図-6.4.2.9　海側レールの損傷およびエプロン部の変状

（8）まとめ

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

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

6.5　茨城県の調査結果

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

図-6.5　茨城県の各港湾とその周辺

6.5.1　茨城港日立港区

(1) 日立港区の概要

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

図-6.5.1.1　茨城港日立港区調査位置図

(2) 第 1 埠頭の被災状況

第 1 埠頭では，岸壁(-7.5m)，先端護岸部，岸壁(-10m)を調査した．

a)　岸壁(-7.5m)：重力式（ケーソン式）①

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

b)　先端護岸②

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

c)　岸壁(-10m)：重力式（ケーソン式）③

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

(3) 第 2 埠頭の被災状況

第 2 埠頭では，岸壁(-9m)，先端護岸部，岸壁(-7.5m)を調査した．

a) 岸壁(-9m)：構造形式不明④

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

b) 先端護岸⑤

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

c) 岸壁(-7.5m)：重力式⑥

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

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

(4) 第 4 埠頭の被災状況

第 4 埠頭では，岸壁(-12m)，先端護岸部，岸壁(-10m)を調査した．

a) 岸壁(-10m)：重力式（ケーソン式）⑦

法線の直線性は保たれているが，エプロン部の亀裂幅を積算すると概ね 50cm 程度はらみ出しているものと推定される．ケーソンと裏込め境界部分のエプロンコンクリート版に亀裂が生じ山形に折れて背後が沈下している．杭で支持されたレール基礎部（現在は使われていない）と比較して，エプロンが 50cm 程度沈下している．また，北側隅角部の異形ケーソンが海中に流失して水没し，背後の裏埋土が大規模に流失している（**写真-6.5.1.2**）．これは，津波によりマウンド部・マウンド基礎部が洗掘されたことによるものと推定される．背後土砂の流失量は大きく，荷役機械のレール基礎の直杭が露出していた．

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

b) 先端護岸部（直立消波式護岸）⑧

フェンスが海側に倒れており，アスファルト舗装がめくれて散乱している．

c) 岸壁（-12m）：重力式（ケーソン式）⑨

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

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

(5) 第 5 埠頭の被災状況

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

a) 岸壁(-10m)：重力式（ケーソン式）⑩

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

b) 先端護岸⑪

フェンスが海側に 90 度倒れている．背後舗装が一部流失している．

c) 岸壁(-12m)：矢板式⑫

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

d) 第一小型船溜⑬

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

e) 第二小型船溜⑭

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

6.5.2 茨城港常陸那珂港区

(1) 常陸那珂港区の概要

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

調査は上記の北埠頭，中央埠頭，南埠頭の 3 埠頭について行った．

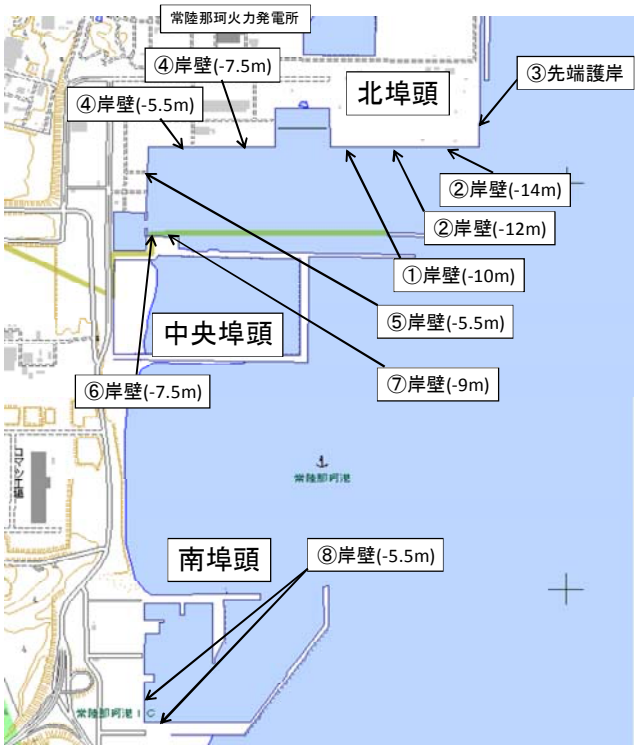


図-6.5.2.1 茨城港常陸那珂港区調査位置図

(2) 北埠頭の被災状況

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

a) 岸壁(-10m)：重力式(ケーソン式)①

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

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

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

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

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

b)　岸壁(-12m，-14m)：重力式(ケーソン式)②

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

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

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

c)　先端部護岸③

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

d)　岸壁（-7.5m，-5.5m)：(構造不明)④

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

e)　岸壁（-5.5m)：重力式(直立消波式)⑤

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

同沈下や舗装のめくれが生じている．

(3) 中央埠頭の被災状況

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

a) 岸壁(-7.5m)：重力式(ケーソン式)⑥

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

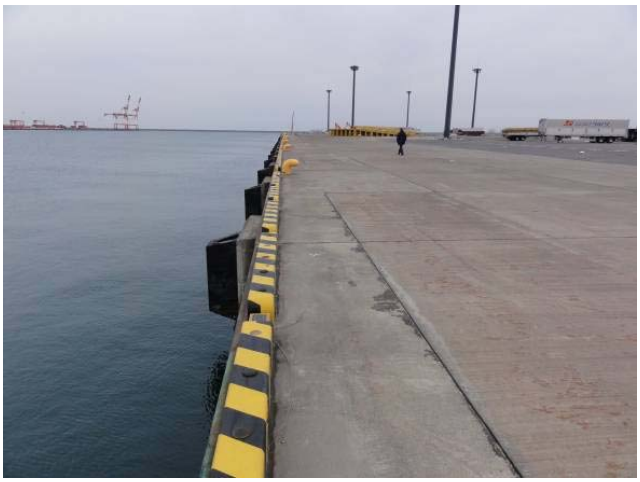


写真-6.5.2.4 中央埠頭重力式岸壁(-7.5m)
（2011 年 3 月 13 日撮影）

b) 岸壁(-9m)：重力式(L 型ブロック式)⑦

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

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

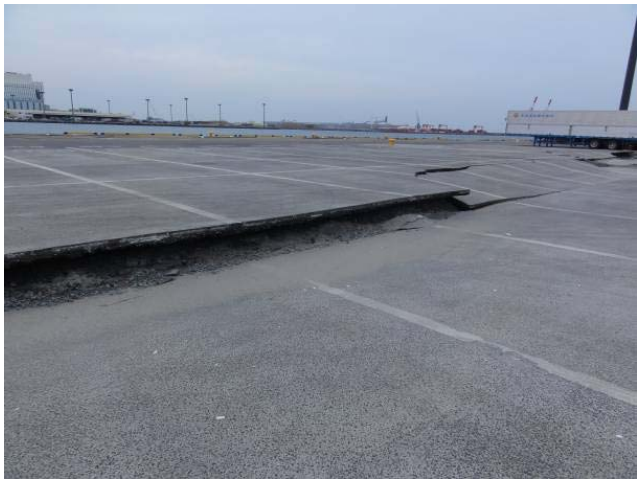


写真-6.5.2.5 中央埠頭重力式岸壁(-9m)地盤改良部と埋め土部の段差（2011 年 3 月 13 日撮影）

(4) 南埠頭の被災状況

南埠頭では，岸壁(-5.5m)を調査した．

a) 岸壁(-5.5m)：重力式(直立消波ブロック式)⑧

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

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

6.5.3 茨城港大洗港区

(1) 大洗港区の概要

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

調査は上記の第 1 埠頭を除く，第 2 埠頭，第 3 埠頭，

第 4 埠頭の 3 つの埠頭について行った．

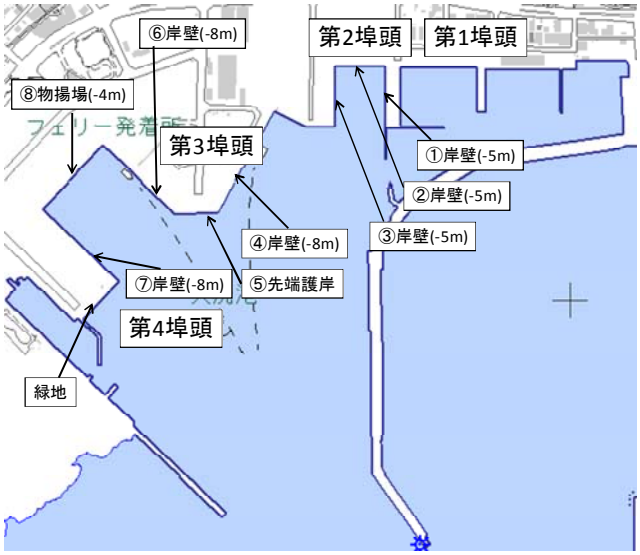


図-6.5.3.1　茨城港大洗港区調査位置図

（2）第 2 埠頭の被災状況

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

a)　岸壁(-5m)東：重力式（直立消波ブロック式）①

法線が若干はらみ出しており，背後エプロン部にほぼ法線と平行な亀裂が生じており，沈下している．

b)　岸壁(-5m)北：重力式（直立消波ブロック式）②

法線が若干はらみ出しているが，背後に不同沈下等は認められない．

c)　岸壁(-5m)西：重力式（直立消波ブロック式）③

法線の直線性はほぼ保たれており，概ね健全と考えられる．

（3）第 3 埠頭の被災状況

第 3 埠頭では，岸壁(-8m)東，先端部護岸，岸壁(-8m)西を調査した．

a)　岸壁(-8m)東：重力式（直立消波式）　東側フェリーターミナル④

法線は概ね直線性を保っていたが，背後，駐車場部アスファルト舗装部に不同沈下や舗装に亀裂が認められることから液状化現象が発生したものと考えられる．車両乗降用可動橋付近のアスファルト舗装がめくれており，沈下しており，これは津波の作用によるものと推定される．

b)　先端部護岸⑤

法線は概ね直線性を保っていた．

c)　岸壁(-8m)西：重力式（直立消波式）　西側フェリーターミナル⑥

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

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

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

(4) 第 4 埠頭の被災状況

第 4 埠頭では，岸壁(-8m)，物揚場(-4m)を調査した．

a) 岸壁(-8m)：重力式（ケーソン式）⑦

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

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

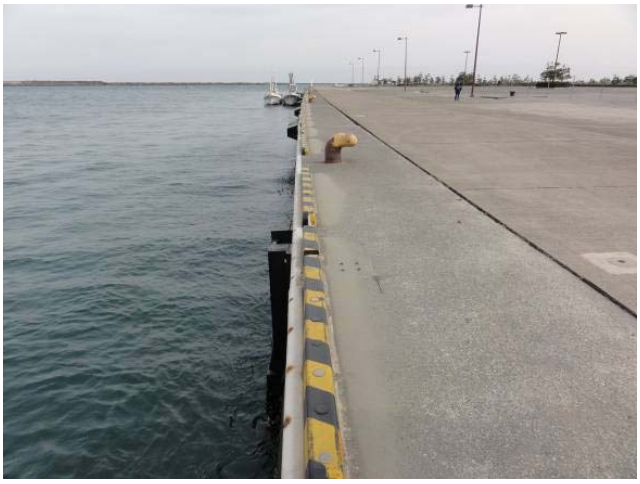


写真-6.5.3.3 第 4 埠頭岸壁(-8m)
（2011 年 4 月 12 日撮影）

b) 物揚場(-4m)：重力式（直立消波ブロック式）⑧

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

6.5.4 鹿島港

(1) 鹿島港の概要

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

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

図-6.5.4.1(a) 鹿島港調査位置図（全体図）

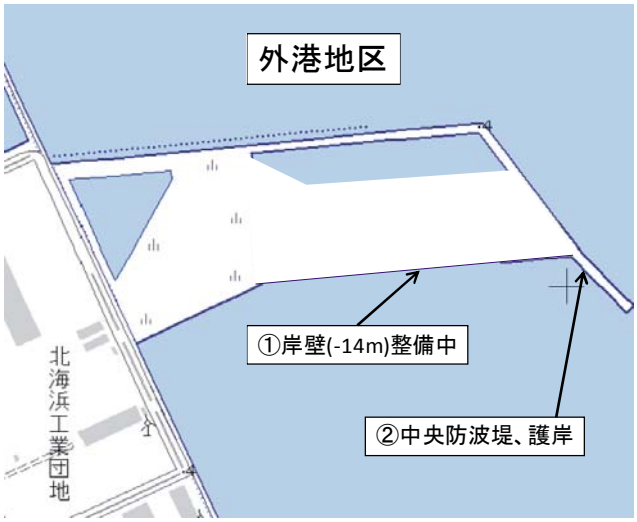


図-6.5.4.1(b) 鹿島港調査位置図（外港地区）

図-6.5.4.1(c) 鹿島港調査位置図（北公共埠頭地区）

図-6.5.4.1(d)　鹿島港調査位置図（南公共埠頭地区）

（2）外港地区の被災状況

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

a)　岸壁(-14m)：重力式（ケーソン式）①

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

b)　中央防波堤および隣接する護岸：ケーソン式，二重パラペット構造②

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

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

（3）北公共埠頭地区の被災状況

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

a)　岸壁 C(-10m)：矢板式③

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

b)　岸壁 D(-10m)：矢板式④

岸壁 C と岸壁 D のコーナー部を中心に上部工と背後コンクリート舗装版目地間で段差が発生している．北 E のコンテナクレーンへの給電ケーブルが津波によりトレンチから浮き上がり，海側に落下・破断している（**写真-6.5.4.3**）．一部ケーブルトレンチが沈下している．海側レール基礎背後から 8m 付近に，岸壁法線と平行にクラックが発生している（**写真-6.5.4.4**）．

c)　岸壁 E(-10m)：矢板式⑤

クレーンレールは直線性を保っているが，陸側レール背後に若干の段差が見られる．免震コンテナクレーンは脱輪していないが，津波により脚部分・電源制御盤が冠水している．津波来襲時にマーシャリングヤードのコンテナが内陸部へ漂流したため，フェンスが倒壊した模様であるが，暫定的に単管等による補強が終了している．調査時点で，津波時に散乱したヤード内のコンテナは積み直しされていた．

写真-6.5.4.2　北公共埠頭地区岸壁 C(-10m)
（2011 年 4 月 12 日撮影）

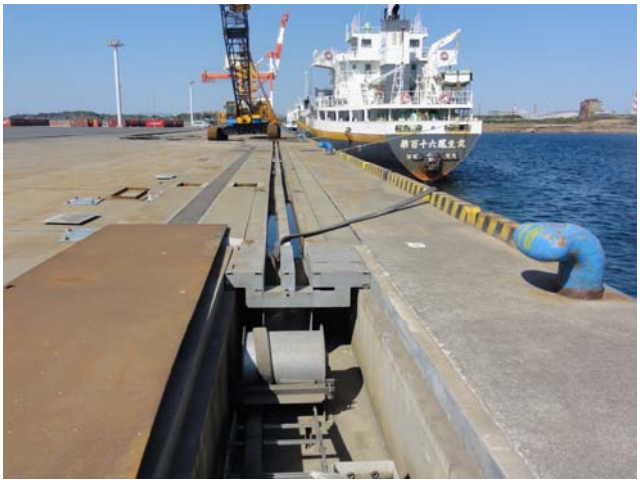


写真-6.5.4.3　北公共埠頭地区岸壁 D(-10m) ケーブル
（2011 年 4 月 12 日撮影）

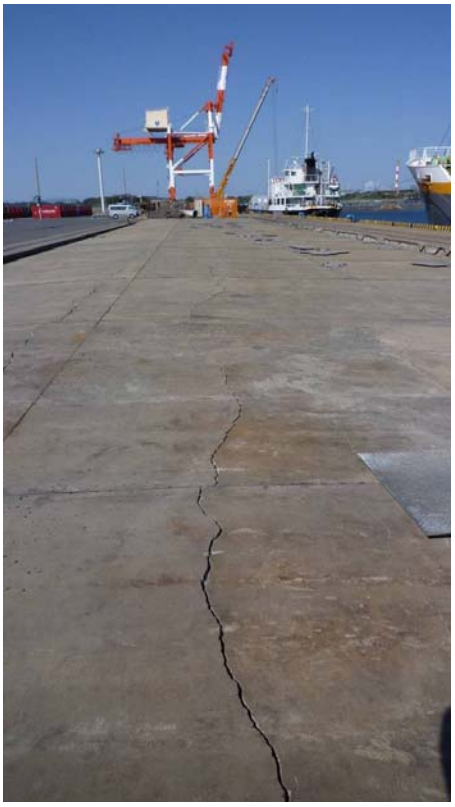


写真-6.5.4.4　北公共埠頭地区岸壁 D(-10m)クラック
（2011 年 4 月 12 日撮影）

（4）南公共埠頭地区の被災状況

南公共埠頭地区では，岸壁 A(-10m)，岸壁 B(-10m)，岸壁 C(-7.5m)，岸壁 G(-10m)，岸壁 H(-10m)を調査した．

岸壁 A（-10m），岸壁 B(-10m)および岸壁 C(-7.5m)は，旧「神の池」を埋立して建設されていることから，腐植土層・粘土層などの影響が懸念されるところである．

a)　岸壁 A(-10m)，岸壁 B(-10m)：重力式（ケーソン式）⑥，⑦

岸壁 B 背後に上屋があるが，上屋床面が海側に向かって全体的に沈下しているが，陥没等は無かった．

岸壁 A も同様に岸壁背後 50m 付近から海側に向かって沈下している．隣地との境界部分から数十メートルの範囲で大規模な陥没が確認された．

b)　岸壁 C(-7.5m)：重力式（ケーソン式）⑧

エプロン部に大規模な陥没が見られるが（**写真-6.5.4.5**），舗装断面からオーバーレイを何度も実施した形跡が見られることから，常時において何らかの問題が発生していた可能性がある．上部工目地部が開口しており，はらみ出しがあり，上部工直背後の舗装部分に沈下が見られる（**写真-6.5.4.6**）．

c)　岸壁 G(-10m)，岸壁 H(-10m)：矢板式⑨，⑩

岸壁 G(-10m)，岸壁 H(-10m)のどちらも壁法線の直線性はほぼ保たれている．岸壁 H の上部工と背後のコンクリート舗装版間に数センチの段差が生じており，背後上屋基礎部と荷さばきヤード舗装版間に段差が見られる．また，上屋基礎部に洗掘が発生していた．照明灯支柱が水路側に転倒していたが，津波の引波によるものと思われる．なお，岸壁 G については，船舶が接岸し供用中であったため詳細な調査は実施できなかった．

写真-6.5.4.5　南公共埠頭地区岸壁 C(-7.5m)陥没
（2011 年 4 月 12 日撮影）

写真-6.5.4.6　南公共埠頭地区岸壁 C(-7.5m)
（2011 年 4 月 12 日撮影）

7. 釜石湾口防波堤の効果の検討

7.1 防波堤の概要

釜石港湾口防波堤は，釜石湾における津波対策を兼ねた防波堤として，昭和 53 年から建設が進められ，世界最大水深（-63m）に設置される湾口防波堤として平成 20 年度に完成した．**図-7.1.1** に示すように，北堤（延長 990m）と南堤（延長 670m）からなっており，開口部（300m）には，締切効果を高めるため，潜堤が設置されている．

防波堤の縦断図を**図-7.1.2** に示す．南堤の 22 函（深部 19 函，浅部 3 函）については，最深部の堤頭函のみが台形のスリットケーソンで，それ以外は通常のスリットケーソンである．北堤の 44 函（深部 22 函，浅部 22 函）については，深部 2 区と 3 区（573.5m）が台形のスリットケーソンで，それ以外は通常のスリットケーソンである．開口部潜堤の 13 函については，全長 300m で，端部以外は基面水深-32m，天端-19m である．

湾口防波堤は，明治 29 年三陸地震津波（最大痕跡高 T.P.7.9m，周期 16 分）および昭和 8 年三陸地震津波（最大痕跡高 T.P.7.9m，周期 10 分）を想定して設計されている．数値シミュレーション結果に基づき，防波堤位置での津波波高は 5.0m，堤内外の最大水位差は 2.8m，開口部最大流速 8.2m/s としている．また，シミュレーションによる堤外の最大津波高は T.P.+4.77m（D.L.+5.63m）であり，防波堤の天端高はこれよりも高い D.L.+6.0m となっている．湾口防波堤の建設により，対象津波による浸水面積は 141ha から 25ha に縮小される．また津波の到達を遅らせ，避難のための時間を増やす効果も有している．

なお，防波堤の安定性は津波ではなく通常の波浪によって決まっており，設計波の条件は，$T_{1/3}$=13.0s，$H_{1/3}$=7.4m，H_{max}=13.3m，β=0°である．

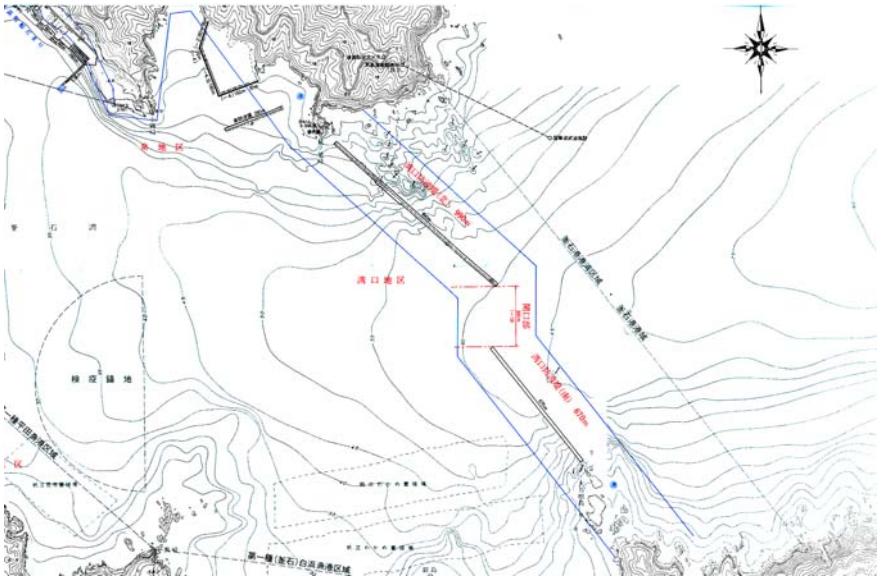


図-7.1.1 釜石湾口防波堤平面図

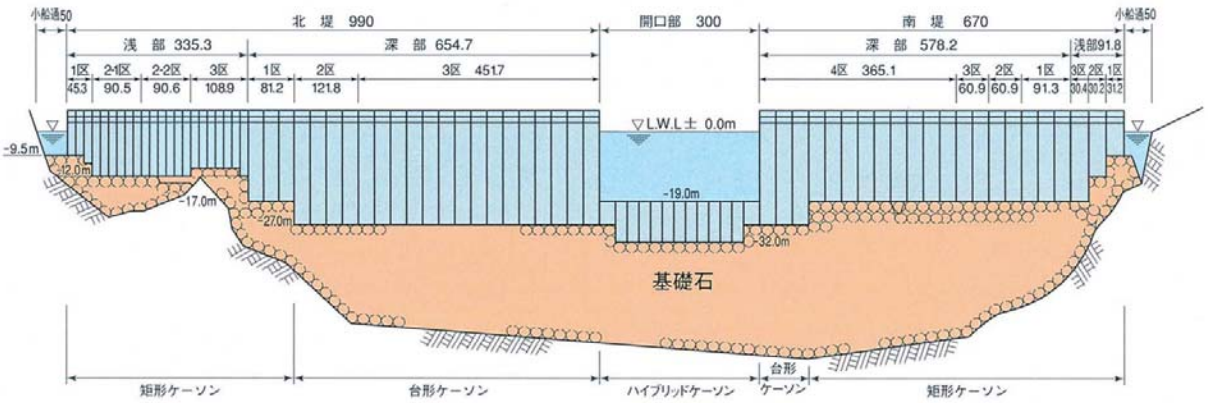


図-7.1.2 釜石湾口防波堤縦断図

7.2　防波堤の被災状況

7.2.1　被災の進行状況

被災の進行状況については，当日，釜石港湾事務所にて，地震発生時刻（14 時 46 分）の約 12 分後（14 時 58 分頃）から撮影されたビデオの映像から，その様子を知ることができる．**写真-7.1.1(1)～(4)**は，ビデオの映像を取り出したものである．

映像で確認すると，第 1 波のピーク(15 時 24 分頃)あたりまでは防波堤の損傷は小さく，ほぼ機能を維持しており，その後被災が徐々に進行したものと考えられる．

写真-7.1.1(1)　被災の進行状況(1)
15 時 12 分（ビデオ開始から 14 分 00 秒）　白い目地からの流れがわかる

写真-7.1.1(2)　被災の進行状況(2)
15 時 17 分（ビデオ開始から 19 分 00 秒）北堤からの越流（15 時 21 分の潮位計が振り切れる）

写真-7.1.1(3)　被災の進行状況(3)
15 時 32 分（ビデオ開始から 34 分 11 秒）　引き波で現れた堤体

写真-7.1.1(4)　被災の進行状況(4)　　15 時 59 分（ビデオ開始から 61 分 57 秒）

7.2.2　最終的な被災状況

防波堤の最終的な状態は，目視（**写真-7.1.2～写真-7.1.4**）およびマルチナロービーム測深機による測量結果（**図-7.1.3**，右側が南堤）により知ることができる．南堤については，22 函（深部 19 函，浅部 3 函）全長 670m のうち，最深部（開口部側）から 10 函はほとんどそのまま残っているが，11 函めが港内側へ傾斜しつつ水没した隣接ケーソン側に大きく傾いている．12 函め以降はほとんどのケーソンが港内側へ転落している．

一方，北堤については，44 函（深部 22 函，浅部 22 函）全長 990m のうち，浅部 3 区付近の 7 函程度はほぼ原形をとどめているが，それ以外はほとんど変位がみられる．浅部に関しては原形をとどめているもの以外はかなりの部分が港内側へ転落している．深部については，わずかに水面上に姿をとどめているものが多いものの，大半が港内側に傾斜しつつ水没した隣接ケーソン側（開口部方向）に大きく傾いている．堤頭函も開口部側へ大きく傾斜している．また，開口部潜堤もほとんどのケーソンが港内側へ転落している．

測量結果によれば，北堤側のマウンドには目地を中心に局所的な洗掘が確認されている．このことから，目地や潜堤部分の流れによる洗掘（被覆石やマウンド石の流失）によって破壊が進行したと考えられる．

写真-7.1.2　被災後の防波堤（全景）

写真-7.1.3　被災後の防波堤（北堤堤頭部から）

写真-7.1.4　残存している南堤（堤頭部港内側から）

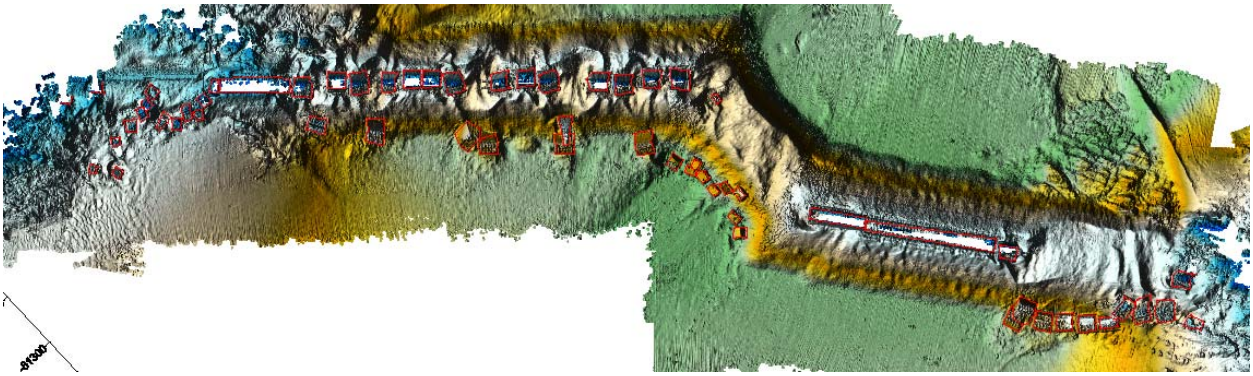


図-7.1.3　ナローマルチビームによる測深データ

7.3　津波に対する防波堤の安定性の検討

7.3.1　津波に対する防波堤の滑動限界

防波堤の形状は，南堤については堤頭部以外すべて矩形ケーソンであり，南堤深部 1～3 区はケーソンの平面形状も 4 区と同じであり，設計波高がわずかに違うだけである．一方，北堤については，深部 2 区と 3 区が台形ケーソンであるが，設計条件は南堤とほぼ同じで，津波に対する安定性もあまり変わらないと考えられる．そこで，ここでは安定計算の例として，南堤深部 4 区，北堤浅部 3-1 区，開口部潜堤の 3 つを対象として，それぞれの滑動限界となる水位差および流速について検討を行う．

（1）南堤深部 4 区（最深部）

図-7.1.4 は，南堤深部 4 区の標準断面を示したものである．安定計算は，設計資料におけるケーソンの空中重量（中詰等を含む）をもとに，1m あたりの水中重量を計算し，滑動安全率が設計値に一致することを確認してから行った．計算に当たっては，あらかじめケーソン背後（港内側）の水位の影響を検討した．その結果，背後の水位が上昇することによって沖向きの静水圧が増加するが，ケーソンが大きく浮力の増加分のほうが上回るため，背後の水位が高くなると安定性は低下することが分かった．そこで，最も不安定な状態として，背後水位を防波堤天端（D.L.+6.0m）とした場合（没水状態）について，ケーソン全体に浮力を作用させ，港外側と港内側のヘッド差による静水圧のみを考慮（ただし揚圧力は無視）したときに滑動限界となる水位差を求めた．その結果，$\Delta\eta$=9.6m でほぼ滑動限界となった．

（2）北堤浅部 3-1 区

図-7.1.5 は，北堤浅部 3-1 区の標準断面を示したものである．ケーソンの空中重量（中詰等を含む）の正確な値が不明であったため，南堤深部 4 区の断面を参考に重量を推測し，滑動安全率が設計資料の値に合うよう数値を調整した．南堤深部 4 区と同様に没水状態における滑動限界を計算した結果，$\Delta\eta$=7.5m であった．

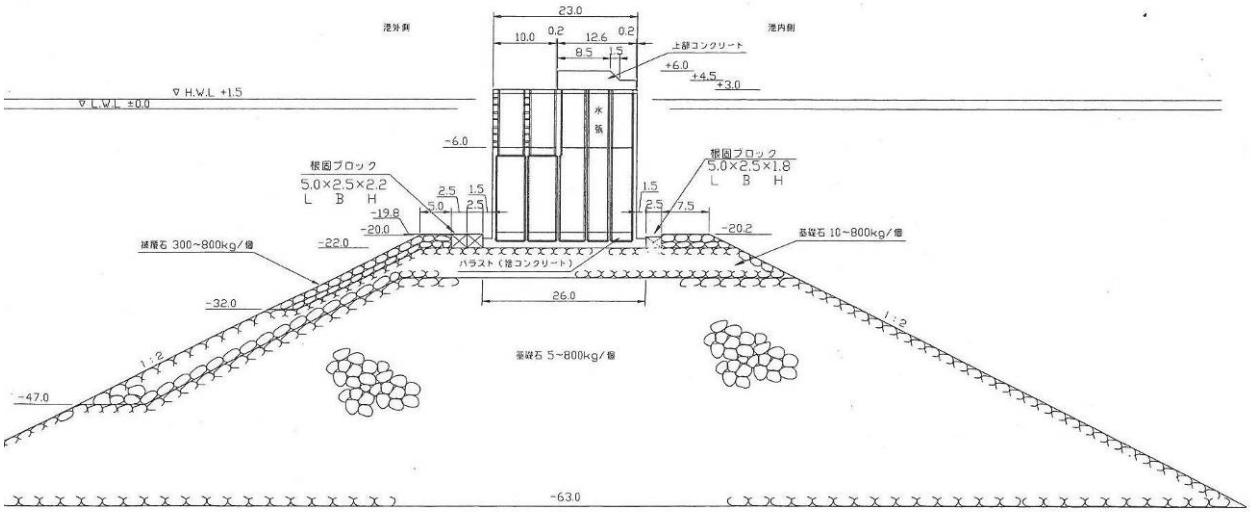


図-7.1.4　南堤深部 4 区標準断面図

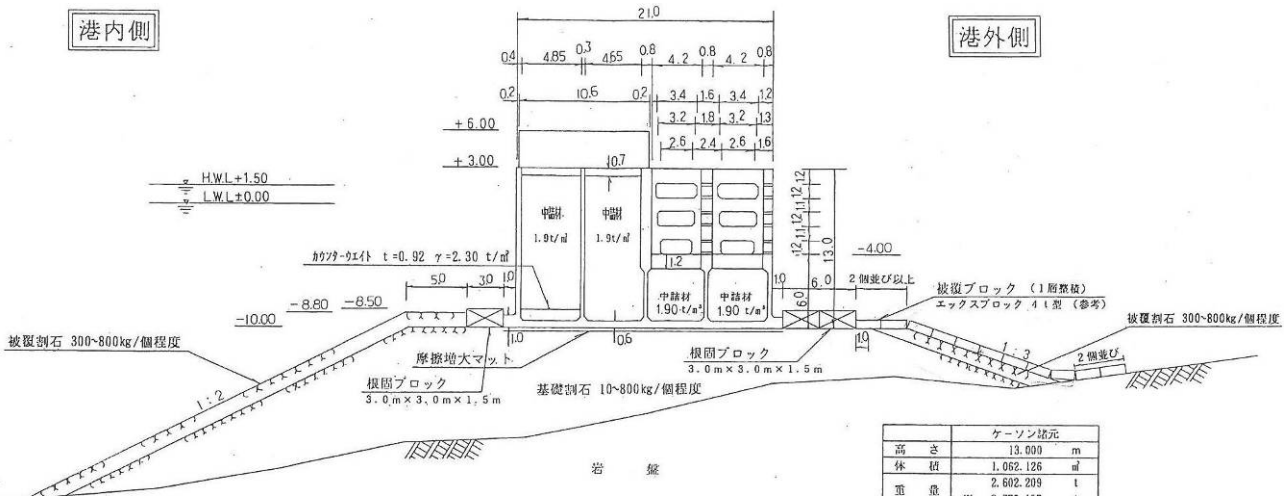


図-7.1.5　北堤浅部 3-1 区標準断面図

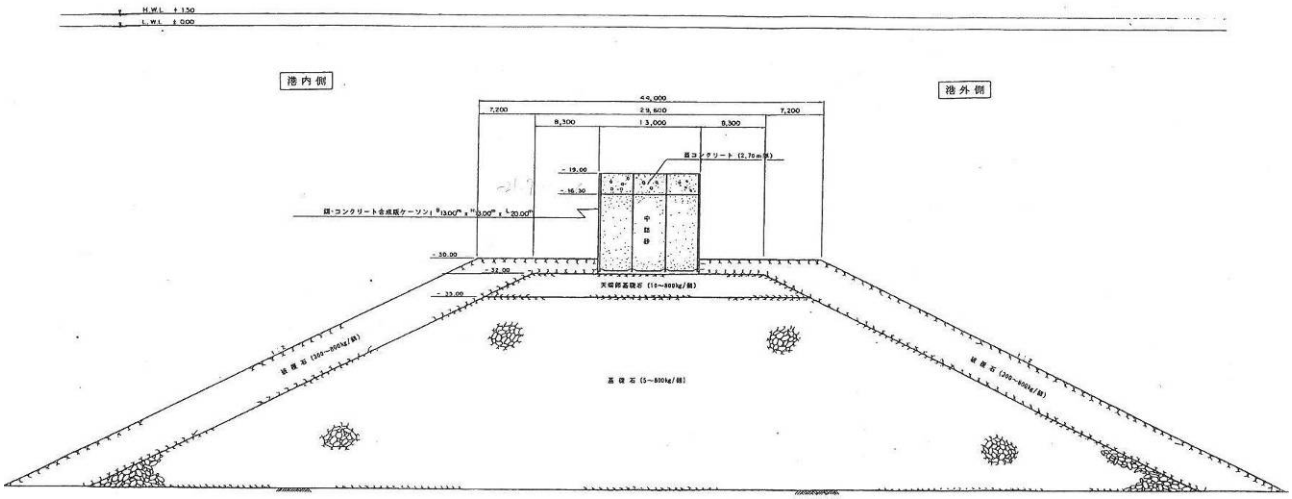


図-7.1.6　開口部潜堤標準断面図

(3) 開口部潜堤

図-7.1.6 は，開口部潜堤の標準断面を示したものである．潜堤の構造形式は，鋼・コンクリート合成板ケーソンで，蓋コンクリートの厚さは 2.7m である．

詳細な重量が不明のため，ケーソン＋中詰部の平均密度を 2.1t/m^3，蓋コンクリート部の密度を 2.3t/m^3 と仮定して重量を計算した．

i）ヘッド差に対する安定計算

内外のヘッド差に対する安定計算を行った結果，$\Delta\eta$=8.4m で滑動限界となった．

ii）流れに対する安定計算

谷本ら（1988）によれば，潜堤ケーソンの安定性は流体力として計算可能であり，水面勾配の影響を考慮した見かけの効力係数 C_D*=1.0～1.5，揚力係数 C_L=0.5～0.8 で与えられる．この方法を用いた場合の滑動限界流速を求めると以下のとおりである．

・C_D*=1.0，C_L=0.5（下限値）のとき，限界流速 u=11.3m/s
・C_D*=1.25，C_L=0.65（中間値）のとき，限界流速 u=10.0m/s
・C_D*=1.5，C_L=0.8（上限値）のとき，限界流速 u=9.1m/s

すなわち，潜堤ケーソンは約 9～11m/s 程度の流れで滑動することになる．

7.3.2　数値計算結果に基づく被災時の安定性の検証

数値計算の結果については 7.4 節で述べるが，それによれば，完成時（被災前）の状態において南堤前面の最大水位は，地震発生後約 32 分（15 時 18 分頃）で+10.84m,

そのときの背面の水位は+2.57m であり，水位差は 8.27m となる．このとき，ヘッド差による静水圧を考慮した滑動安全率（全断面に浮力を考慮，揚圧力は無視）は，深部で 1.19，浅部では 0.95 となる．したがって，計算上では深部のケーソン本体は安定であるが，浅部についてはわずかに不安定であり，津波波力によって滑動が生じた可能性が考えられる．

また，開口部付近では，最大で 10.5m/s の流速となっており，開口部潜堤は津波によって滑動あるいはマウンドからの転落が生じた可能性がある．

7.3.3　防波堤の安定性に関するまとめと考察

谷本ら(1988)の実験によれば，開口部のマウンドは，流れに対して突き出した部分（北堤堤頭部の港内側および南堤堤頭部の港外側）で洗掘が生じている．特に，流速がある程度以上になると北側と南側の流速の差が大きくなり,北側での流速の増加が顕著になる傾向が見られ，北堤港内側の洗掘が著しくなる．今回の被災では，谷本らの実験（最大で現地換算 9m/s 程度）よりも速い流れが作用したと考えられ，その結果，北堤堤頭函の基部が洗掘を受けて傾斜したことが考えられる．また，実験によれば，流れによる潜堤ケーソンの滑動は重量をかなり軽くした場合も含めて北側のみで生じており，南側はほとんど動いていない．

今回の被災においても，北側堤頭部ではマウンドの洗掘および潜堤ケーソンの移動が進行して堤頭部ケーソンまで被災したのに対して，南側では潜堤ケーソンは移動したものの，堤頭部マウンドの洗掘はあまり進行せず，ケーソンの傾斜や移動に至らなかったのではないかと考えられる．

また，被災時の映像から，ケーソンの目地部に速い流れが発生している様子が確認されており，これによって生じた洗掘によってもケーソンが傾斜したと考えられる．

釜石港での津波波形記録によれば，今回の津波では第 1 波がもっとも大きかったことが明らかになっているが，ビデオの映像を見る限り，第 1 波の作用後においては，防波堤のかなりの部分は残っており，第 2 波以降に徐々に変位が進行している．これらのことから，今回の防波堤の被災は，浅部においては津波力により直接ケーソンが滑動した可能性が高いものの，深部に関しては速い流れによるマウンドの洗掘が主要な原因であり，それによってケーソンの安定性が低下し，滑動やマウンドからの転落に至ったケースが多かったと考えられる．

参考文献

谷本勝利・木村克俊・宮崎啓司（1988）：津波防波堤海溝部潜堤の安定性に関する実験的研究，港湾技術研究所報告，第 274 巻第 4 号，pp.93-122.

7.4　津波の伝播計算

(1) 計算の目的

湾口防波堤による津波被害低減効果および防波堤周囲の津波の状況を把握するために津波の数値計算を実施した.

(2) 計算手法

数値計算モデル

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

水深・地形データ

津波の伝播計算には，国土交通省東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所から提供された，水深・地形データ（水深，地盤高，構造物の位置・天端高，土地利用状況）を使用した．**表-7.4.1** および**図-7.4.1** のとおり，6 種類の格子サイズを用いたネスティング計算を行った.

格子サイズ 12.5m の最内側の計算領域のみ，防波堤・防潮壁を考慮し，陸上における遡上まで計算した（**図-7.4.2**).

計算ケース

湾口防波堤の状態は,次の 3 ケースを考慮した.なお,湾口防波堤以外の防波堤・防潮壁に関しては，全てのケースにおいて，損傷を受けず機能するものとして取り扱った.

a) ケース 1

湾口防波堤建設前の地形を与えて計算したケース

b) ケース 2

湾口防波堤完成時の防波堤形状が，津波来襲後も保たれていたと仮定したケース

c) ケース 3

湾口防波堤破壊後(津波が繰り返し作用した後の現況)の防波堤形状が，津波来襲前から存在していたと仮定したケース．破壊状況は 3 月 17 日に行った目視に基づく.

北堤：天端高 T.P.+0.0m（5.1m 沈下し，天端が海面直下に見える）

開口部：水深 T.P.-32.9m（潜堤が流失し，マウンドのみ残る）

南堤:開口部から10函目までは,天端高T.P.+4.1m(1.0m沈下)．10 函目以降は，天端高 T.P.-2.0m（7.1m 沈下し，天端が引き波時も確認できない).

入射津波

津波観測波形を再現できる津波波源がまだ十分検討できていないため，今回は，津波の初期水位分布を初期条件として数値計算を実施することは行わなかった．代わりに，岩手南部沖 GPS 波浪計で観測された水位を，最外側の計算領域の東側境界から強制入射させた(このため，岩手南部沖 GPS 波浪計が東端に位置するよう，最外側の計算領域の大きさを調整した)．岩手南部沖 GPS 波浪計の津波観測波形は，国土交通省港湾局・港湾空港技術研究所海象情報研究チームから提供いただいた．第 1 波による浸水状況に着目するため,地震発生から 90 分間を再現対象とした.

表-7.4.1　各計算領域における計算手法の詳細

領域番号	1	2	3	4	5	6
格子サイズ	600m	200m	100m	50m	25m	12.5m
時間ステップ	0.2 秒					
再現対象時間	地震発生から 90 分間					
遡上計算	なし					あり
底面摩擦項	海域に一様な粗度係数					土地利用に応じた粗度係数
防波堤・防潮壁	なし					あり

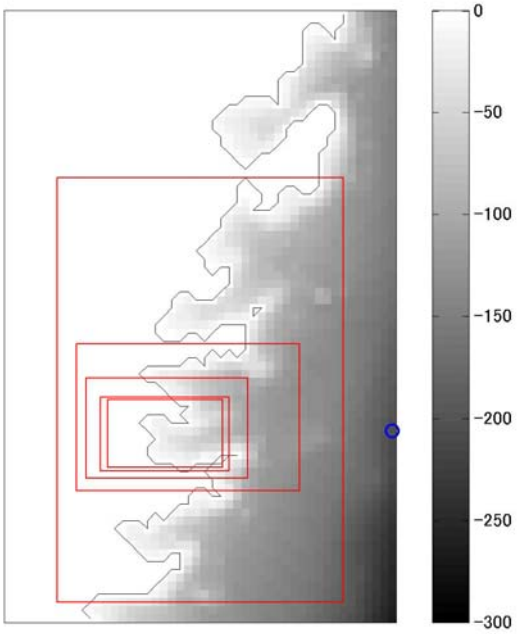


図-7.4.1 ネスティングした計算領域．格子サイズ 600m の最外側の計算領域に，枠囲みで内側の計算領域の位置をプロット．丸印は，岩手南部沖 GPS 波浪計の位置を示す．

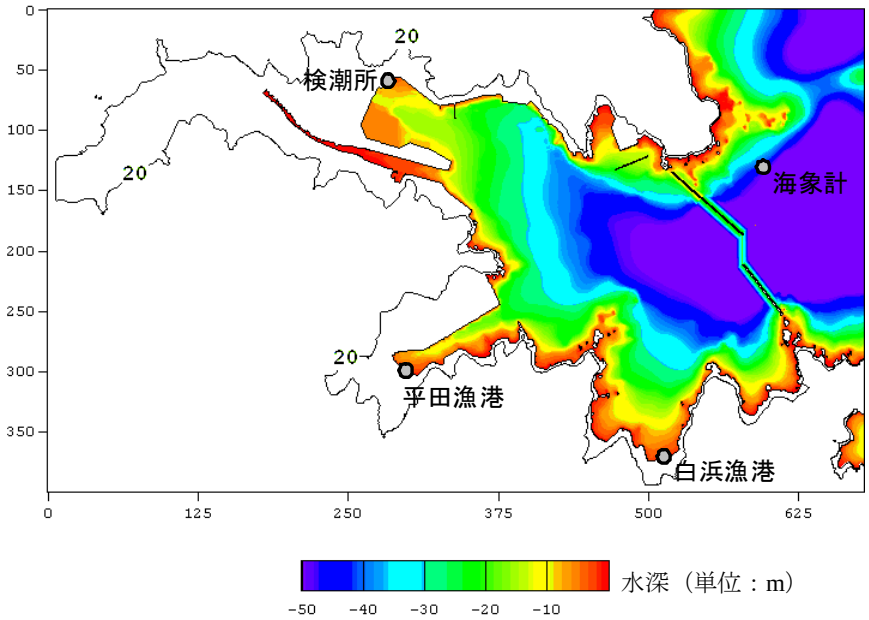
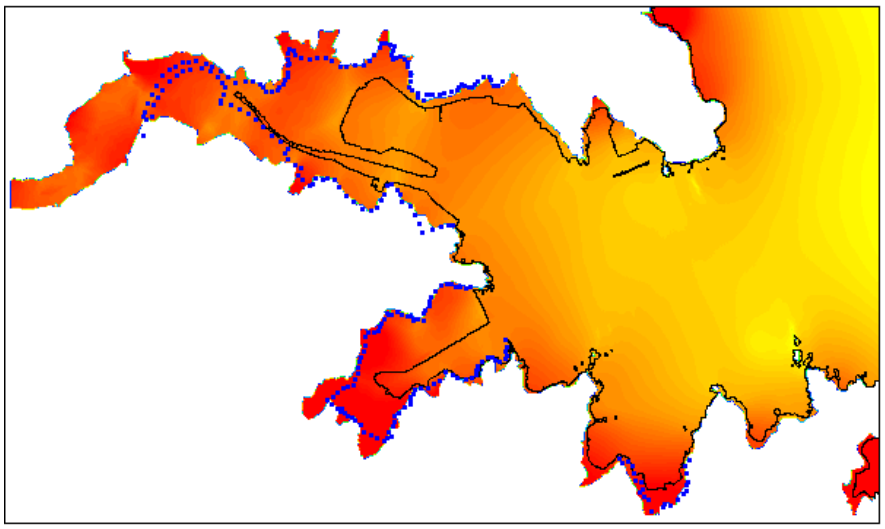


図-7.4.2 格子サイズ 12.5m の最内側の計算領域

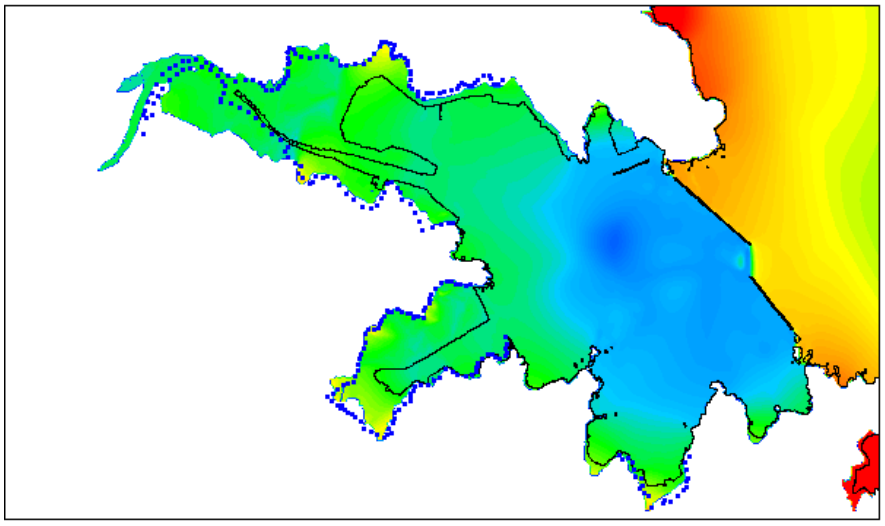
(3) 計算結果

最大津波高の計算結果を，**図-7.4.3** に示す．青点線は，国土交通省東北地方整備局釜石港湾事務所が確認した浸水域である．また，釜石港外（海象計）・釜石港内（検潮所）・平田漁港・白浜漁港・南堤前面（港外側）・南堤背後（港内側）のそれぞれの水位の時系列変化を，**図-7.4.4** に示す．

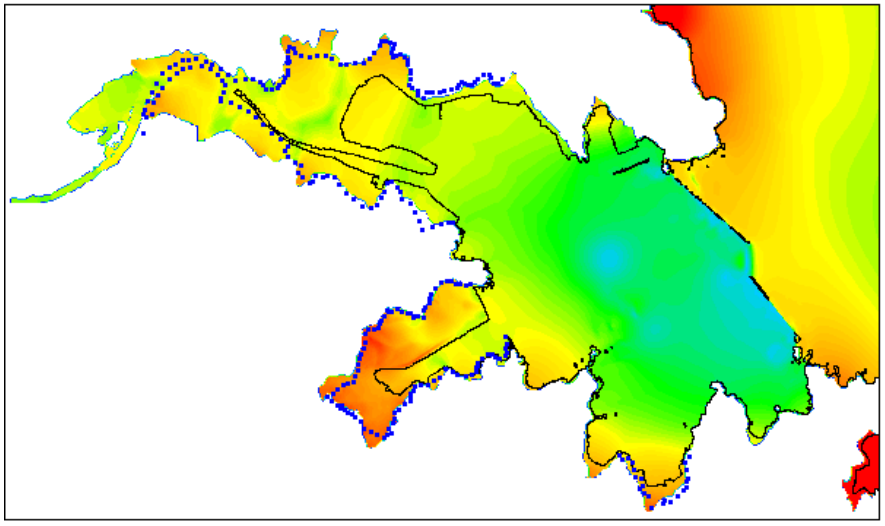
表-7.4.2 は，第 1 波の津波高・押し波開始時刻・津波高が 4m越えた時刻をケース間で比較した表である．また港内の須賀地区（大渡川沿いを含む）・平田地区・白浜地区の最大遡上高を，**表-7.4.3** にまとめた．

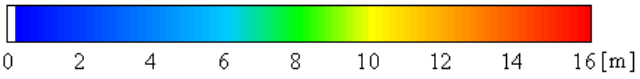


建設前



完成時





破壊後

図-7.4.3　最大津波高の計算結果（単位：m）．青点線は釜石港湾事務所が確認した浸水域.

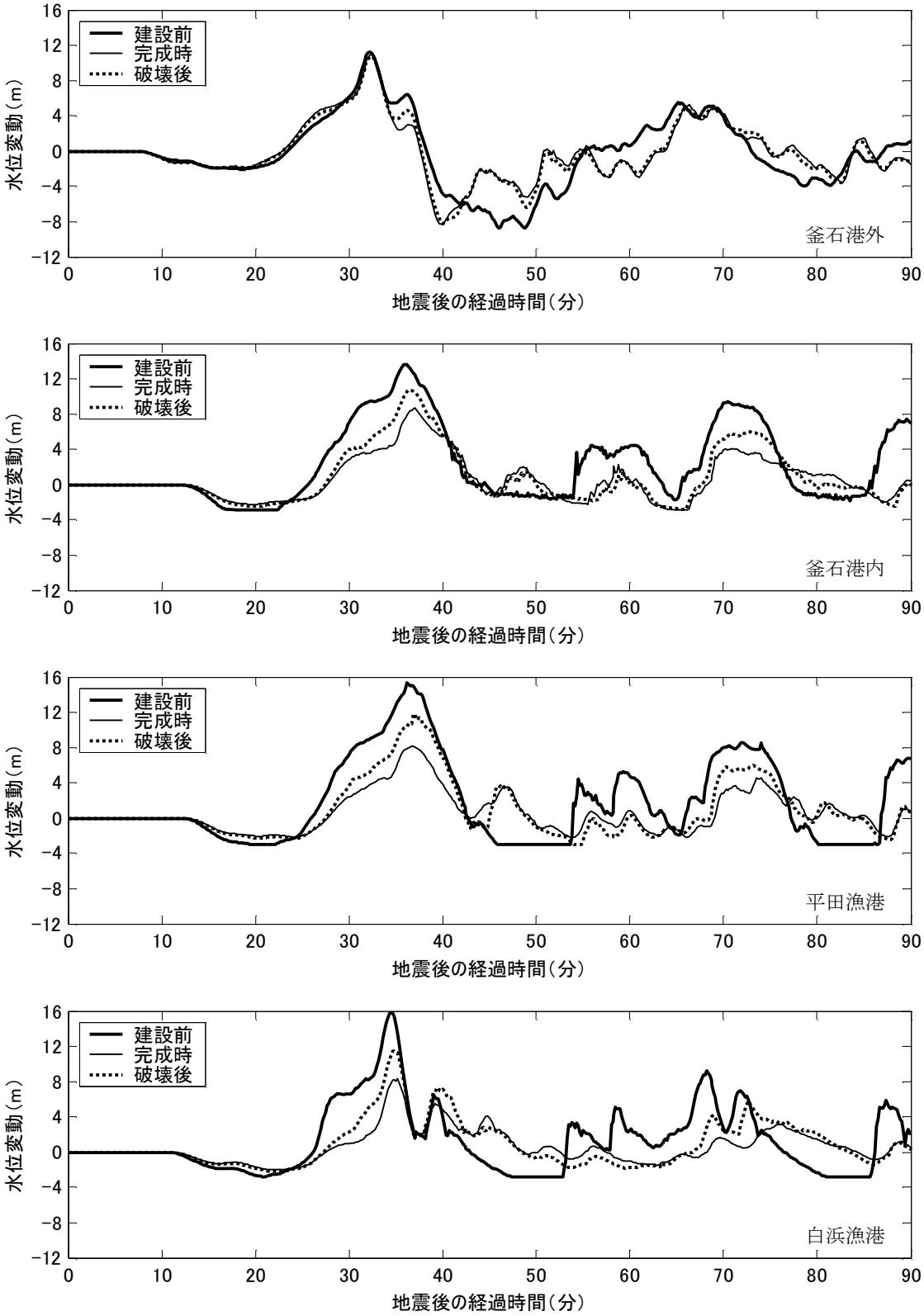
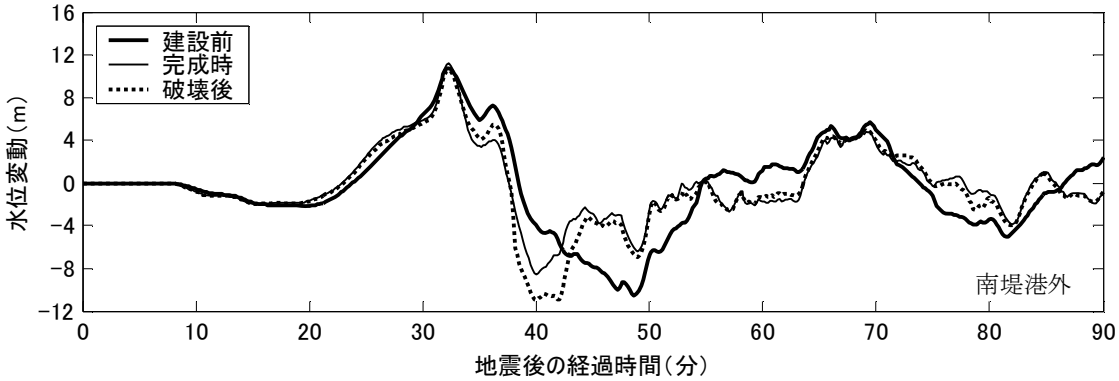


図-7.4.4　水位の時系列変化の計算結果



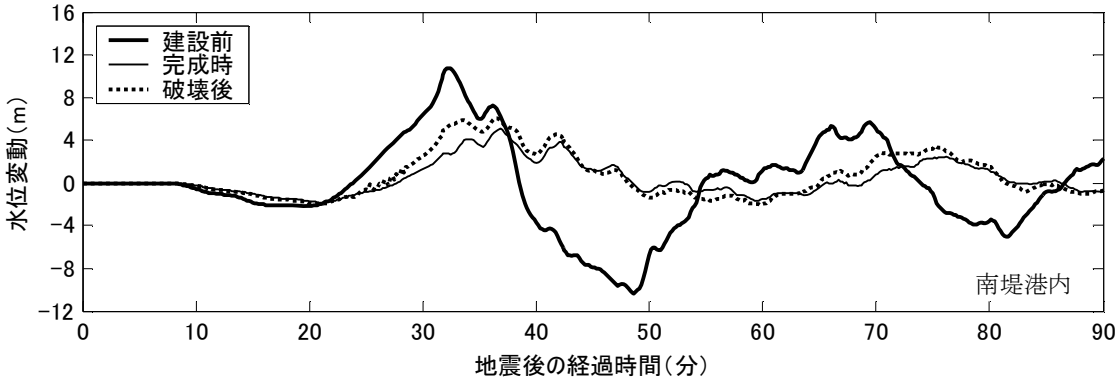


図-7.4.4（つづき）　水位の時系列変化の計算結果

表-7.4.2 第 1 波の津波高・押し波開始時刻・津波高が 4m を越えた時刻の比較．カッコ内の数字は建設前のケースを基準とした比率・時間差.

ケース名	建設前			完成時			破壊後		
比較対象	第 1 波 津波高 (m)	押し波 開始 (分後)	4m を 越える (分後)	第 1 波 津波高 (m)	押し波 開始 (分後)	4m を 越える (分後)	第 1 波 津波高 (m)	押し波 開始 (分後)	4m を 越える (分後)
釜石港外 海象計	11.17	23.5	27.8	11.01 (99%)	23.0 (-0.5 分)	26.2 (-1.6 分)	10.74 (96%)	23.0 (-0.5 分)	26.5 (-1.3 分)
釜石港内 検潮所	13.66	25.7	28.0	8.67 (63%)	27.7 (+2.0 分)	33.2 (+5.2 分)	10.74 (79%)	27.5 (+1.8 分)	30.0 (+2.0 分)
平田漁港	15.30	26.0	28.2	8.14 (53%)	27.8 (+1.8 分)	32.7 (+4.5 分)	11.84 (77%)	27.7 (+1.7 分)	30.2 (+2.0 分)
白浜漁港	15.84	25.2	27.3	8.34 (53%)	27.5 (+2.3 分)	33.5 (+6.2 分)	11.48 (72%)	27.3 (+2.1 分)	31.3 (+4.0 分)

表-7.4.3　最大遡上高の比較．カッコ内の数字は建設前のケースを基準とした比率.

ケース名	建設前 最大遡上高（m）	完成時 最大遡上高（m）	破壊後 最大遡上高（m）
須賀地区 （大渡川沿い含む）	20.21	11.00 (54%)	13.29 (66%)
平田地区	20.78	10.46 (50%)	15.61 (75%)
白浜地区	18.14	12.28 (68%)	14.21 (78%)

7.5　湾口防波堤の効果についての考察

(1) 津波高の低減効果

湾口防波堤建設前と比較すると,完成時のケースでは,港内の津波高・浸水域が縮小する．例えば，釜石港内（検潮所，須賀地区）における第 1 波の津波高は，湾口防波堤建設前は 13.66m であるが，湾口防波堤完成時は 63%の 8.67m となる．

検潮所に隣接する釜石港湾合同庁舎では，6.93m と 9.04m の痕跡高が測定されており，同地点で 8.67m の津波高を算出した，完成時のケースの計算結果と比較的一致している．また，近くの釜石港湾事務所においても，完成時のケースの津波高の計算結果は 8.26m であり，測定された痕跡高 8.11m に近い.

津波来襲時の釜石港内の様子を撮影したビデオによると，部分的な損壊は見られるが，少なくとも押し波の第 1 波が終了した時点までは，湾口防波堤の北堤も南堤も視認できる．従って，押し波の第 1 波終了時までは完成時のケースの計算結果に近い挙動を，それ以降は破壊後のケースの計算結果に近い挙動をとった可能性がある．

なお，津波が繰り返して作用し，破壊が進んだ現況の防波堤形状を与えて計算したケースでは，津波高はやや大きくなり，例えば港内の検潮所で 10.74m（建設前のケースの計算結果の 79%）となる．この値は実測値より大きい.

(2) 津波到達の遅延効果

湾口防波堤建設前と比較すると,完成時のケースでは,港内の押し波開始時刻が 2 分程度，津波高が 4m を越える時刻が 5～6 分遅れる.釜石港内の防潮壁の天端高は概ね 3～5m であり，津波高が 4m を越える時刻は，防潮壁を越流し始める時刻の目安となる．従って，湾口防波堤の効果により，陸上部が浸水する時間が 5 分程度遅れ，安全に避難するための時間が長くなったと推測される．

ただし，今回の計算では，湾口防波堤周辺の 3 次元的な流体運動が考慮されておらず，実際に測定された痕跡高との比較も限られた地点でしか実施していないため，引き続き検討を行う必要がある.

参考文献

富田孝史・柿沼太郎（2005）: 海水流動の 3 次元性を考慮した高潮・津波シミュレーターSTOC の開発と津波解析への適用，港湾空港技術研究所報告，第 44 巻第 2 号，pp.83-98.

8. 地震･津波被害のまとめ

8.1 津波被害

(1) 岩手県・宮城県・福島県に集中した被害

3月11日14時46分に発生したM9.0の地震によって,巨大な津波が北海道・東北・関東の太平洋岸に主として来襲し，特に岩手･宮城･福島の3つの県の広い沿岸域に10mクラスの津波が来襲した.

表-8.1は警察庁が4月20日にまとめた被害状況の一覧である．全県で2万7千人以上の死者･行方不明者となっているが，岩手県・宮城県・福島県の死者行方不明者は，全国での死者行方不明者の99.8%となっている．また，建物の全壊は，全県で6万5千戸以上であり，三県はそのうちの97%である．これらのほとんどは，津波による被害である．この章では，主として10mクラスの津波被害について説明することにしたい.

表-8.2は，死者と行方不明者の多い市町村を示すものであり，岩手県と宮城県の人口が多く低い土地で，津波が大きなところである．甚大な人的被害が発生したのは，この津波の破壊力だけでなく，避難の遅れによるものであるが，現状では調査が十分ではない．その解析は今後進めていく予定である.

表-8.1 被害状況(警察庁ホームページ)

災害種別 / 道府県	人的被害		建物被害	
	死者数	行方不明者数	全壊	半壊
北海道	1			
青森県	3	1	272	970
岩手県	4058	3759	17746	1041
宮城県	8541	7789	46273	9390
福島県	1422	1959	1966	3818
茨城県	23	1	892	4737
千葉県	18	2	664	2136
全体合計	14084	13511	68005	23382

表-8.2 死者・行方不明者が多い市町村(警察庁ホームページ)

人的被害の多い自治体	死者数	行方不明者数	人口に対する割合
①石巻市(宮城県)	2818	2770	3.49%
②陸前高田市(岩手県)	1335	841	9.36%
③気仙沼市(宮城県)	815	1216	2.77%
④名取市(宮城県)	883	1000	2.56%
⑤東松島市(宮城県)	988	740	4.03%

なお，10mクラスの津波は，1993年の北海道南西沖地震津波（M7.8）では，奥尻島のみであり，青苗地区で200名近くが亡くなっている．2004年のインド洋大地震津波(M9.1：USGS)ではインドネシアやタイなど各地で10mクラスの津波が来襲し，22万人の死者を含む甚大な被害が発生している.

(2) 巨大な津波（GPS観測値と換算汀線入射津波高）

今回のM9.0の地震によって巨大な津波が発生している．図-8.1は，今回測定された津波の痕跡高さを示すものであり，岩手県と宮城県の境付近の宮古から相馬付近で特に高く10m以上となっている．ほとんどの場所で津波の高さは，明治三陸津波を上回り，特に岩手県南部以南では，2倍程度になっている.

この大津波を国土交通省港湾局のGPS波浪計が観測しており，そのデータは気象庁の警報にも役立てられた．例えば釜石港の沖合い18kmで水深204m地点にあるGPS波浪計によって6.7mの津波が15時12分に観測され，広田湾沖でも5.7mの津波が15時14分に観測されている．図-8.1にはGPS波浪計で捉えられた津波の高さも示している.

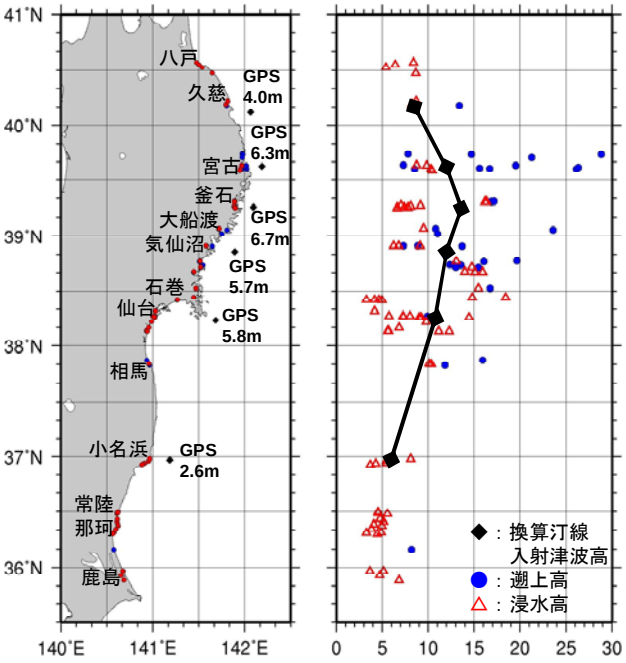


図-8.1 津波痕跡高と換算汀線入射津波高

このGPSによる津波のデータは貴重であり，これから簡単に沿岸に入射する津波が推定できる．同図には，単調な海岸に直角に入射した場合を仮定しグリーンの式で求めた汀線での津波の高さ（換算入射汀線津波高と定義）も示している．水深100～200mから浅い沿岸に来ると浅水変形によって2から3倍の値となり，久慈沖で7.9m，宮古沖で12.6m，釜石沖で13.3m，広田湾沖で11.1m，金華山沖で10.9m,小名浜沖で5.7mである．この換算入射汀線津波高

は，計測された津波の痕跡高の平均的な傾向に一致している．換算汀線入射津波高ηはGPSでの水深h_G，津波高η_G，として$\eta=(h_G\eta_G^4)^{0.2}$　である．

なお，よく知られているようにリアス式の海岸では，幅が狭くなることや共振効果によって津波はより高くなり，岬状のところでは屈折による増大などがある．一方，これまでの津波災害でも認められているように，前面の島や防波堤や護岸などの構造物によって津波が低減されていることも多い．釜石湾口の防波堤は，後述するように大きく被災したが，第一波の最大時近くまでその機能を保持しており，津波高を60%程度に軽減している．こうした影響で津波は**図-1**に示すように場所によって大きく異なる．また，津波は河口から河川を伝わり早い速度で遡上する．今回の津波でも河川から津波が越流した場合も多い．

(3) 巨大な津波の海岸への来襲･遡上

図-8.2は，代表的な海岸の断面について特に10mクラスの津波の侵入の様子を説明するものである．今回の津波は，ビデオや写真に多くとられており，それらから推定したものであり，今後さらに解析する予定である．

(a)は一般的な海岸における場合である．例えば仙台空港の東側の海岸(仙台湾)は典型的な海底勾配の緩い海岸であり，津波の先端が砕波し，砕けながら海面から5～10m程度の砂丘を駆け上がる．砂丘を下った津波は，海面から2m以下の低い田園地帯を砕けながら10～30km/h程度の速さで数キロも内陸に入っている．この海岸の海底勾配は水深が10～100mでは1/200～1/500程度であり，こうした陸棚では津波の先端部がソリトン分裂し砕けることがよく知られている．なお，陸前高田の海岸でも津波は砕けそのまま内陸の低地を襲っている．

(b)は，海岸の勾配が比較的急になっている場合であり，海岸で砕けた津波が，砕けながら非常な勢いを持って陸上の斜面を駆け上がる場合であり，これは綾里（白浜）湾や重茂半島など三陸海岸特有のリアス式海岸で陸上部が急勾配の斜面であるときによく見られている．綾里湾では海岸の海底勾配が水深10mで1/100程度で，陸上部は1/20程度と急勾配であり，海面上20m以上遡上している．**図-8.1**で大きな痕跡高となっているのは，太平洋側に面してこうした地形となっているところである．

(c)は，大船渡の外海に面した長崎地区のように，海岸がさらに急になっている場合（長崎地区では汀線から50mのところに急な崖がある）であり，海岸で津波はあまり砕けず，水位が上下するだけである．

(d)は，大船渡港など，ほとんどの港で見られた津波の侵入である．港の前面は1/100より緩い海底勾配であるが，港内は水深が大きいために，津波が海側で砕けることは少なく，水位が上昇して岸壁などを乗り越えて，砕けながら10～30km/h程度の速い流れとなって市街地に侵入している．

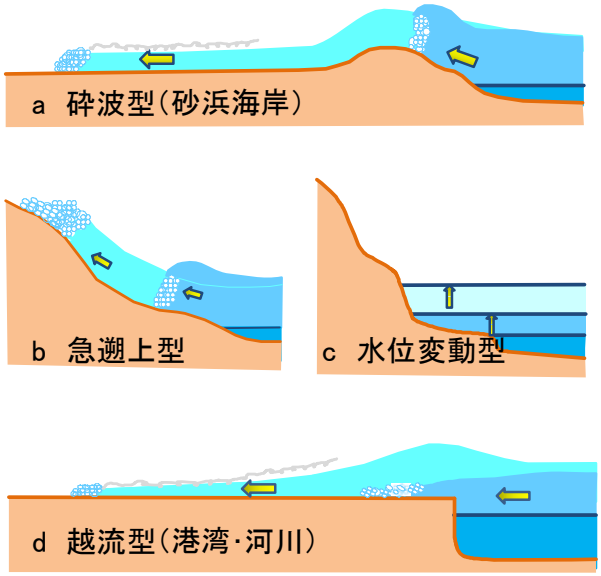


図-8.2　代表的な海岸断面と津波の侵入

(4) 10m以上の津波による多様で壊滅的な被害

この津波で東北･関東の太平洋沿岸の町に壊滅的な被害を及ぼした．特に10mクラスの津波の破壊力は巨大であり，過去の津波災害で認められたすべての種類の被害が大規模に発生している．

表-8.3は，特に10mクラスの津波を対象に人的被害以外の津波災害の種類をとりまとめたものである．10mクラスの津波で最も特徴的な被害は，木造家屋の壊滅的破壊・流失である．多くの沿岸の町で，ほとんどの木造家屋が破壊され流されて，悲惨な状況になっている．これらは，先に述べたすべてのタイプの海岸で発生しており，砕けた波の衝突や速い流れによる力，そして水位による圧力によって破壊されている．これまでも2m程度の浸水深さで木造の建物は破壊されており，10mクラスの津波では広範囲に破壊が進むのは当然である．また，コンクリートの建物は津波に対して十分強度があるといわれていたが，海岸付近でいくつかの建物が倒壊していた．(a)や(b)のような砕けた波の衝突によって破壊された可能性があるが，さらに検討が必要である．

車の漂流がどの浸水地域でも大規模に起こっており，その木造家屋の瓦礫の中に多くの車があり，中には鉄筋コンクリートの建物の中や屋上にのっているものすらある．

また，破壊・流失していく家屋の瓦礫の中で火災が発生しそれが流されることによって拡大していった場合がある．特に，タンクの油の流失によって火災が拡大したと思われるケースも認められる．

列車を含む鉄道や道路，橋梁の破壊もいくつか認められており，海岸から1.5kmのところにある仙台空港が冠水し航空機の浸水被害も発生している．

なお，地殻変動による地盤沈下は，岩手県から福島県の海岸線で0.5～1m程度あり，石巻など低い土地では春の大潮による浸水災害が二次災害として発生している．

表-8.3　10mクラスの津波の被害

陸域・一般の被害	建物の破壊・流出 （特に木造家屋壊滅的破壊・コンクリートの建物の３階以上の浸水）
	車の流失
	火災の発生
	タンク破壊と油流失
	鉄道・道路・橋梁の破壊
	地盤沈下
	田畑の冠水
港と海域の被害	船舶の漂流・衝突と乗り上げ
	港湾施設の破壊・浸水（上屋、クレーンなど）
	材木、コンテナーの漂流・衝突
	漂流物の港内の航路への沈下
	航路洗掘と埋没
	海浜･海岸林の消失
	水産養殖施設の流失
海岸・港湾構造物の被害	防波堤や岸壁の洗掘、滑動
	突堤・離岸堤などの破壊
	堤防・護岸（防潮堤）等の破壊（洗掘）
	水門・陸閘の破壊

(5) 港湾や海域の被害

港湾域でも先に述べた多様な被害が発生しており，さらに**表-2**の中央に示すように港湾特有の被害も発生している．すなわち，津波によって多くの船舶（FDなどを含む）が漂流して港湾施設に衝突したり，陸上に乗り上げるなどの被害が発生している．日本海事新聞等によると，石巻港（１隻），相馬港（２隻），原町港（１隻），小名浜港（１隻），鹿島港（1隻）において２万トンから20万トンクラスの6隻の船舶が，防波堤内で座礁したり漏油等が発生している．また，東北旅客船協会事務局が，旅客船について同協会会員から聞き取ったところでは，4月1日現在で全損29隻，一部破損が2隻と発表されている。また漁船などの小型のものは内陸部の奥まで漂流したものも少なくなく，17,000隻以上の漁船が被害を受けている．なお，港湾域の上屋や工場にも甚大な浸水被害が出ている．また，コンテナの漂流も仙台新港などで見られている．

さらに，津波による流れによって航路などで洗掘や堆積が発生しており，10mを超える深さに達した場所もある．港湾内には津波によって破壊された家屋や車などが沈没しており，それを除去しないと港湾の再開ができない．ただし，港での復旧は早く，被災後早急に港内の啓開作業が始まり，暫定推進による供用を含めて，一部の岸壁は1週間を待たずして利用できるようになり，復旧活動に利用されている．

なお，湾内にある水産養殖施設などにも大きな被害が出ている．また，越前高田海岸などのように津波によって海岸林や砂浜が消失している場合も多い．

(6) 構造物の被災

釜石および大船渡などには，津波と通常の波浪の低減を目的として湾口に防波堤(津波防波堤)が設置されている．釜石湾口防波堤は，厳しい太平洋の波浪に対して設計されており，設計を大きく上回る津波であったが，比較的粘り強く，第一波のピーク時近くまでは大きな被害には至っていなく，津波高を60%程度に低減していたと思われる．ただし，大船渡湾口防波堤は，チリ地震津波に対応して設計されており，第一波によって大きく壊れている．

また，通常の防波堤や護岸，離岸堤や突堤も被災を受けている．ただし，それらの多くは厳しい太平洋の波浪に対して設計されていて比較的粘り強く，この巨大な津波でも壊滅的な被害には至っていないが，多くの被害がでている．例えば防波堤では、八戸港の八太郎地区北防波堤，宮古港藤原神林地区マリーナ防波堤，相馬港沖防波堤に大きな被害が出ている．日本海中部地震津波などの津波災害では波除堤の滑動や開口部付近の洗掘被害など限定的であったが，外洋に面した防波堤のケーソンにも滑動が見られる．ただし，消波ブロック被覆堤などケーソン幅が小さいものがほとんどである．

なお，これらの構造物は，津波低減効果は考慮されていなかったが，これまでの津波災害の調査結果と同様に，防波堤の港内側では津波はやや小さくなっていた．

なお，岩手県や宮城県の沿岸では，津波に対する堤防や護岸(防潮堤)･水門や閘門が数多く建設されており，多くの場所でこれを越えて津波が侵入しており，結果として破壊されているものも少なくない．津波低減効果を発揮するためには，こうした巨大な津波に対しても粘り強

い構造で，津波低減効果を発揮する必要がある．越流を許したときの津波低減効果や構造物の安定性については，さらに検討が必要である．

(7)　津波力

表－8.4は，海岸構造物の被災原因としての主要な津波の力をとりまとめたものである．すなわち，

①構造物前後の大きな水圧差による力が，防波堤や護岸を破壊している。比較的水深が大きな場合の前面と後面の水位差から求められる静水圧的な力であり、それによる浮力なども考える必要がある．

②砕けた波の切り立った波面が衝突して，胸壁などを破壊している．海岸付近の波が砕ける場合で，波面の衝突力や砕波後の速い流れによる動的な圧力も重要である．

③流れによる抗力で捨石やブロックが散乱している．

④流れによる大きな洗掘力が構造物周辺に顕著な洗掘を引き起こしている．

これらの力によって構造物の被災を説明するためには，各構造物にどのような状態の津波が作用しているか，数値計算などで定量的に評価することが必要である．

表-8.4　津波による構造物への作用

津波の力	構造物前後の水圧の差
	砕けた波の衝突力
	流れによる抗力
	流れによる洗掘力

8.2　地震被害

平成 23 年東北地方太平洋沖地震は，東北地方から関東という広大な地域で被害が発生した地震であり，港湾施設被害にも地域性が見られた．青森県から岩手県では地盤の浅い部分に比較的硬質の岩が存在すること，三陸地方特有のリアス地形ことから広範囲な埋立地が少ないため，施設被害の被害要因として液状化現象が支配的では無かったものと考えられる．また，地震動の特性からも港湾施設が被害を受け易い周波数帯（0.5Hz～1.5Hz 程度）と比較して比較的短周期成分が卓越したため，地震動による被害程度は小さかったものと考えられる．

一方，宮城県・福島県・茨城県の港湾施設では液状化現象の発生が確認されており，施設被害が大きかった．また，本調査によって地震動が作用した後に津波が作用した複合的な被害が確認されており，土砂等の洗掘や流出に伴う施設の不安定化，さらに，津波の波圧や圧力差など流体に起因する被害が発生したものと想定される．地震と津波の複合被害については今後の研究課題と考えられる．

従来，裏埋め土が液状化すると岸壁の被害が甚大になるとの経験から，液状化が懸念される場合に，「液状化する」「液状化しない」という判定を実施し，原則的に裏埋め土等の液状化対策を実施してきた．このような対策の効果により構造部材の破壊や大規模な変状状態には至らず、構造の安定性は確保できたと判断される．一方，今回の地震動による被害の事例をみると，「液状化しない」材料として裏込め等に用いられた岩ズリが圧縮し，地盤沈下を生じ，結果として，段差や，エプロン部に大規模な空洞が生じるなどの事例がみられた．このように，施設の要求性能を確保できない可能性があるという事例が確認された．今後，構造物の性能確保の観点から既存施設の耐震性を再評価する必要性が示唆されたものと考えられる．構造構成部材（地盤材料を含む）の動的特性の把握に基づく耐震性能照査手法の再検証・高度化も必要と考えられる．

仙台新港，鹿島港には，旧海岸線付近に形成された砂丘部を掘削して建設された掘込部の港湾施設がある．これに隣接して埋立部の港湾施設が存在し，掘込部と比較すると被害程度が大きかった．施設整備前の微地形情報，地盤情報や地震動のサイト増幅特性を積極的に評価することにより，耐震性の高い新規施設整備や既存施設の耐震性の再評価に活用できるものと考えられる．

仙台空港においては，耐震対策の一環として液状化対策を施工中であった．滑走路部分・誘導路部分を横断する地下道等の周辺地盤に液状化の可能性があるため，改良工事が進められおり，工事実施済みの滑走路部分で効果が確認された．事前に耐震性を評価し対策を講じることの重要性が再確認された事例と考えられる．

参考文献

気象庁（ホームページ）：http://www.jma.go.jp/jma/press/1104/08a/1103jishin.html

警察庁（ホームページ）：http://www.npa.go.jp/archive/keibi/biki/higaijokyo.pdf

いわて防災ポータル（ホームページ）：
http://www.pref.iwate.jp/~bousai/

宮城県（ホームページ）：
http://www.pref.miyagi.jp/kinkyu.htm

福島県（ホームページ）：
http://www.pref.fukushima.jp/j/

日本海時新聞(ホームページ)：
http://www.jmd.co.jp/

9. 今後の課題

9.1 津波防災の課題

(1) 地震津波および被害の実態さらなる解明

本報告は，今回の地震･津波災害の調査結果を速報するものであり，観測された地震や津波のデータの予備的な解析結果を報告するものである．

表-9.1は今後の課題を示すものであるが，特に津波の実態や災害の実態や原因をさらなる現地調査や数値計算，水理模型実験で検討を進める必要がある．また，避難することは津波防災の基本であり，船舶の避難を含めて避難の実態を詳細に調べ，問題点を明らかにすることも不可欠である．

さらに，今後は特に復旧復興を考えた防災対策が重要となるため，初期の復旧だけでなく今後の復興につていてもしっかりとした調査が必要である．

表-9.1 今後の課題

1)	伝播数値計算による津波高さと痕跡との比較，震源域の検討
2)	津波防波堤の津波低減効果と耐津波安定性の検討
3)	他の防波堤や防潮堤の効果と耐津波安定性の検討
4)	石油タンクなどの危険物の耐津波安定性の検討
5)	コンクリートの建物の耐津波安定性の検討
6)	コンテナなど漂流と沈没の検討
7)	船舶の被害の実態，耐津波係留力の検討
8)	航路の洗掘，海岸の洗掘の検討
9)	地震と津波の複合災害の検討
10)	避難と犠牲者の実態の把握
11)	有効な避難方法や施設の検討
12)	船舶避難の実態の把握
13)	復旧･復興の状況の把握
14)	津波防災施設の｢粘り強さ｣の検討
15)	新たな粘り強い津波防災施設の検討
16)	GPS 波浪計によるリアルタイム予測の推進

(2) 巨大な災害への対応（レベルⅡへの対応-性能設計）

早期の復旧・復興を考える上では，今回のような非常に巨大な津波にどう対応するかという，基本的な方針が大きな問題となる．港湾空港技術研究所では，インド洋大津波やハリケーン・カトリーナの大災害以来，通常の設計を超えるような津波や高潮災害に備えることの重要性を指摘してきた(高橋ら2006)，

表-2は，最大級の津波に備える考え方を示すものである．すなわち，従来の設計対象津波（設計津波）に対しては，人々の生命はもちろん，財産も守り，被害を最小限に抑える．そして，さらに発生確率が非常に低い最大級の津波も考え，それに対しては，最低限，人命を守る対策を考えること，重要施設の壊滅的被害を防止し甚大な二次災害を防ぐことが必要である．**表-2**では，最大級の津波をレベルⅡとして設定しているが，今回の津波は，ほとんどの沿岸でまさにレベルⅡクラスの津波である．もちろん，レベルⅠは従来の想定津波を考える．

表-2 最大級の津波の考慮(性能設計)

	対象津波	要求性能
レベルⅠ	･近代で最大 （100年に一度程度）	･人命を守る ･財産を守る ･経済活動を守る
レベルⅡ	･最大級 （1000年に一度程度以上）	･人命を守る ･経済的損失を軽減する。 ･特に大きな二次災害をひきおこさない。 ･早期復旧を可能とする。

津波防災施設の設計では，このレベルⅠとⅡ(場合によってはさらに上のレベルⅢ)に対して，求められる防災機能（例えば津波低減効果）や安定性能(耐津波安定性)を決めて，それを満たすように施設の設計を行う必要がある．例えば，今回のように巨大なレベルⅡの津波に対して人命を守るためには，避難施設も含めてハードとソフトの対策を総合的におこなうことがもちろん重要である．ただし，経済的な損失については，ハード対策が必要となる．防潮堤で巨大な津波を完全に止めようとするとその高さが，非常に高くなるため，コストなどを考えて浸水災害を有効に軽減できる防潮堤の高さを選択する必要があろう．

ただし，防潮堤などの防災施設はこのレベルⅡの津波に対しても安定でなくてはならない．少なくとも大きな変位に至らず津波を軽減する機能を保持している必要がある．こうした｢粘り強さ｣が求められており，津波防災施設の｢粘り強さ｣の検討や新たな粘り強い津波防災施設の検討が重要となる．性能設計については，すでに港湾施設の技術上の基準などにとりあげられており，次第にその体系の整備が進められている．

なお，住民の生命を守るためには，高所への街ごと移転が有効であることは古くから言われているとおりである．ただし，港の活動など海岸に近いところでの経済活動は不可欠であり，これを守ることも重要である．埋立地の地盤のかさ上げや高いビルの建設は，効果的な手段である．防

潮堤や津波防波堤など津波軽減のハード対策とともにソフト対策を含む総合的な対策が必要である．

(3) 今後の津波防災の研究

港湾空港技術研究所等では，津波災害の軽減にむけていくつかの研究を進めてきたが，特に「防災は市民が自分の町に発生する災害の具体的な様子を知ること」が重要と考えて，災害の予測技術に力を入れている．特に数値計算による予測技術の構築を図っており，今回の調査の貴重なデータを利用し，被害を的確に予想でき，市民に具体的に示すことができる数値計算技術の開発をさらに進めていく必要がある．

また，前述したように「避難すること」は，津波防災の基本であり，これまでも警報システムの高度化などが行われてきており，GPS波浪計の整備も進んでいる．今回，6m以上の津波を捕らえて大津波警報の発令に貢献したことは重要なことであり，その実用性が立証された．さらに，そのデータを用いたリアルタイム予測技術の研究を行っており，その実用化をはかることが急務である．

9.2 地震防災の課題

(1) 設計地震動設定手法の高度化

今回の地震では，日本海溝の西側の約500kmにわたる広い範囲で地震が発生した．また，マグニチュードが我が国の観測史上最大の9.0を記録しており，マグニチュード7.0を超える余震が続いており，地震規模としてこれまでにない大きなものであった．このため，各地で記録された地震動の継続時間が200秒以上と長いことが特徴であった．

耐震強化岸壁は，第1段階として1983年日本海中部地震以降，設計震度を高く設定することにより設計・建設が進められた．第2段階として，1995年兵庫県南部地震を契機にレベル1，レベル2地震動という2段階の地震動を採用し，当初は兵庫県南部地震時に神戸港で観測された地震動・八戸波・大船渡波の加速度振幅を補正しレベル2地震動として高い耐震性を有する施設として設計・建設が進められた．第3段階として近年の地震学の進歩により震源特性・伝播経路特性・サイト特性を考慮したシナリオ地震動を高精度に予測することが可能となり，新基準ではこれをレベル2地震と設定し，使用性を確保，すなわち軽微な被害にとどめることとしている．今回の地震規模は，従来想定していたシナリオ地震の見直しを必要とするレベルであった．すなわち，震源特性の設定について，国の地震調査委員会の想定ではマグニチュード7.5前後あるいは8前後の発生確率が30年以内に99%と程度されていた宮城県沖地震であったが，今回発生した地震ではマグニチュード9.0であり，そのエネルギーはM8.0と比較して約32倍大きいものであった．震源特性・伝播経路特性・サイト特性の乗算によりシナリオ地震動を計算されることから，各々の特性の精度を確保した合理的なシナリオ地震動の推定手法の高度化が必要であると考えられる．

(2) 地震動が長期継続する場合の地盤の液状化判定法の改善

地震動が長時間継続する場合には，同じ加速度レベルであっても液状化被害が増大することが懸念されている．この問題は，地盤が液状化，あるいは液状化に近い状態で繰り返しせん断力を多数回受けることによって，液状化の程度が増加することが問題である．この課題についてはすでに山﨑ら(2010)の研究成果があるが，今後さらに検討を進めていくことが必要である．

(3) 地震動に伴う地盤材料の圧縮性の把握

今回の地震では，宮城県南部から，茨城県にかけて，いくつかの港湾で甚大な地震被害が報告された．これらの中で，裏込めに砂岩ズリを用いたところで，やや大きめの地盤沈下が認められた．これが液状化によるものではないことは，現地調査によって確認されている．

砂岩ズリは粒度が良く，排水性が高いため液状化しにくい地盤材料であり，このため，裏込め，裏埋めに用いられたものであるが，地震動により著しい圧縮を生じたものである．この著しい圧縮によって，ケーソン背後のところで著しい段差が生じ，このために，荷役に支障が出ることが想定される．このようなことから，今後は，裏込め，裏埋め材料の地震時の圧縮特性についても検討することが必要である．

(4) 被災施設の健全度評価

被災地において港湾・空港施設の果たす役割は大きく，緊急物資輸送・救急隊の活動拠点・復旧資機材の輸送などに活用される．このため，現地において船舶の接岸・係留・荷役が可能であるかの判断を迅速に下す必要がある．過去の地震被災事例を根拠に，目視により施設の健全度を評価，海中部については水深の確保等を音響ソナー・潜水士による調査により確認することになる．特に，鋼材を用いた施設の場合，目視による健全度評価には限界があることから，今後は「モニタリングシステム」の技術開発が必要と考えられる．

(5) 被災施設復旧工法の高度化

従来は，港湾施設が被災した際には，被災前の機能に回復させるための，復旧工事が行われている．今回被災した施設の多くのものは，現行の港湾基準（平成19年4月施行）設定以前に設計されたものが多く，現行設計基準

で想定しているような性能を満足していない施設が多数ある．このような場合には，被災する前の状態に復旧することは適切ではなく，構造物の重要度に応じて，新基準の性能設計体系に基づいた修復を検討することが必要であると考えられる．

また，上記のような事情を鑑みると，被災施設の復旧断面の設計に当たっては様々な形式を提案することが考えられる．特に鋼材を用いた場合には，鋼材の変状を勘案して適切に改修することにより，経済的で効果的な改修を実施することが可能となると考えられる．

参考文献

Takahashi, S. (2005)：Tsunami disasters and their mitigation in Japan, Toward the performance design of coastal defenses, International Symposium Disaster Reduction on Coasts, Scientific-Sustainable-Holistic- Accessible, 14-16, November, 2005, Monash University.

越村俊一・行谷佑一・柳澤英明（2009）：津波被害関数の構築，土木学会論文集 B，Vol.65 No.4, pp. 321-331.

熊谷兼太郎・小田勝也・藤井直樹(2008)：コンテナ沈没挙動測定の現地実験と港湾における漂流数値シミュレーション，海岸工学論文集，第 55 巻，pp.271-275.

高橋重雄・河合弘泰・平石哲也・小田勝也・高山知司(2006)：ハリケーン・カトリーナの高潮災害の特徴とワーストケースシナリオ,海岸工学論文集第 53 巻 pp.411-415.

高橋重雄(2003)：海域施設の性能設計の考え方とその適用, 2003 年度水工学に関する夏期研修会講義集，B-1-1～B-1-22.

本多和彦・富田孝史・西村大司・坂口章(2009)：多数の津波漂流物を解析する数値モデルの開発，海洋開発論文集，第 25 巻，pp.39-44.

富田孝史・本多和彦・廉慶善(2010)：漂流物による建物破壊や道路閉塞を考慮した津波被害推定，海洋開発論文集，第 26 巻，pp.225-230.

山﨑浩之・江本翔一(2010)：地震動波形の影響を考慮した液状化の予測・判定に関する提案，独立行政法人港湾空港技術研究所報告, 第 49 巻第 3 号, pp. 79-109.

10. あとがき

今回の地震はその規模においても従来我が国で経験していた地震の規模を上回るものであり，広範囲に地震被害と津波被害を生じた．特に，津波被害については，多くの尊い命が奪われる結果となった．

三陸地方は明治三陸や昭和三陸，さらにはチリ地震津波など，多くの津波災害を経験しており，津波防災の意識は，行政だけでなく市民の一人一人も高かったと思われる．釜石や宮古などでは，毎年，津波のセミナーが地元の自治体や国土交通省の港湾事務所らに主催で開催されて，多くの人が参加していた．それにもかかわらず，建物の被害だけでなく人的な被害が甚大であったことは，非常に残念である．最大級の津波の想定を見直すなど，津波防災を根本的に考える必要があると思われる．また，日本のみならず世界中で海溝に面したところでは，どこでも大津波が発生すると考えて対応することが重要と思われる．

港湾空港技術研究所では，前述したように津波の実態を知ってもらうことが重要と考えて，津波の大型実験の映像を市民に見ていただいたり，「津波は怖い」，あるいは津波から生き延びるという本を作成したりしてきたが，今回の津波では多くの人がテレビなどで津波の映像をみて，その怖さを十分理解したと思われる．これによって，津波の避難が確実に行われるようになることを期待している．ただし，先に述べたようにGPS波浪計で警報を的確に出せるようにすることも，避難の推進に不可欠である．

本調査は，国土交通省の要請のもとに行ったもので，港湾空港技術研究所と国土技術政策総合研究所が国土交通省の東北地方整備局や関東地方整備局のご協力のもとに実施したものである．非常に多くの方々にご支援･ご協力を賜っている．この場を借りて深く感謝の意を表する．

なお，2004年のインド洋大津波の後，日本だけでなく各国で地震･津波災害の研究が進み減災の対策も進められている．国際的な連携も進んでおり，例えば国際航路協会などでも対策の検討(PIANC WG53 2010)がなされており，港湾空港技術研究所でも毎年国際沿岸防災ワークショップを開催して国際連携を深めている．今後は，日本の経験を世界に知っていただくことも大切である．

（2011年4月28日受付）

参考文献

Murata, S., Imamura, F., Katoh, k., Takahashi, S., and Takayama, T.(2010) Tsunami – To Survive from Tsunami, World Scientific, 302p.

PIANC WG53 Report (2010): Mitigation of Tsunami Disaster in Ports, PIANC Report No,112, 111p.

港湾空港技術研究所･沿岸技術開発研究センター（2009）：津波は怖い，丸善プラネット, 30p.

沿岸開発技術研究センター(2008)：TSUNAMI-津波から生き延びるために，丸善プラネット，196p.

付録１　津波被害のカラー写真

図-5.1.1.11　打ち上がった船舶（八戸港白銀地区）

図-5.1.1.16 八太郎北防波堤の 11 工区の被災状況（八戸港）

図-5.2.1.7 諏訪下地区の被災状況（久慈港）

図-5.2.1.8 諏訪下地区のオイルタンクの被災（久慈港）

図-5.2.1.15 諏訪下地区におけるFDの被災（久慈港）

写真－5.2.3.7　岸壁に乗り上げた船（釜石港）（3月17日撮影）

写真－5.2.3.11　道路を埋める瓦礫と車（釜石市）（3月17日撮影）

写真-5.2.3.20 両石地区の被災した防潮堤（釜石市）

写真-5.2.4.8　大船渡駅周辺の被害(駅北の踏切から)

写真－5.2.4.1　大船渡商工会議所(丸太が二階に侵入している)

写真-5.2.4.5　防潮堤のゲートの流出(3 月 18 日)

写真-5.2.5.1　海岸沿いに建っていた建物(基礎部はコンクリートであるがそのほかが鉄骨)(宮古港田老(旧田老町))

写真-5.2.5.7　下水処理場の 2 階テラス部（宮古港宇部町）

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

写真-5.3.2.6　漂流した船の通った道沿いにあった鉄骨 3 階建ての建物（2011 年 3 月 28 日撮影）（気仙沼市鹿折唐桑駅周辺）

写真-5.3.3.2　2 階建ての建物の壁面破壊（南三陸町）

写真-5.3.4.3　岸壁の天板の破壊（女川港）

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

写真-5.3.8.2　ターミナル外部の様子（仙台空港）（2011 年 3 月 18 日撮影）

写真-5.3.8.4　護岸とその背後の洗掘（南側）（仙台空港前面海岸）
（2011 年 3 月 18 日撮影）

図-5.4.1.9 コンテナの衝突（相馬港第１埠頭）

図-5.4.2.2　小名浜港漁港区における津波痕跡

図-5.4.2.9 兎渡路における防波護岸と背後の被災状況（小名浜港豊間地区）

図-5.4.2.10　小名浜港漁港区に打ち上がった漁船

写真-7.1.1(2)　被災の進行状況(2)　(釜石湾口防波堤ビデオ)

写真-7.1.3　被災後の防波堤（北堤堤頭部から）（釜石湾口防波堤）

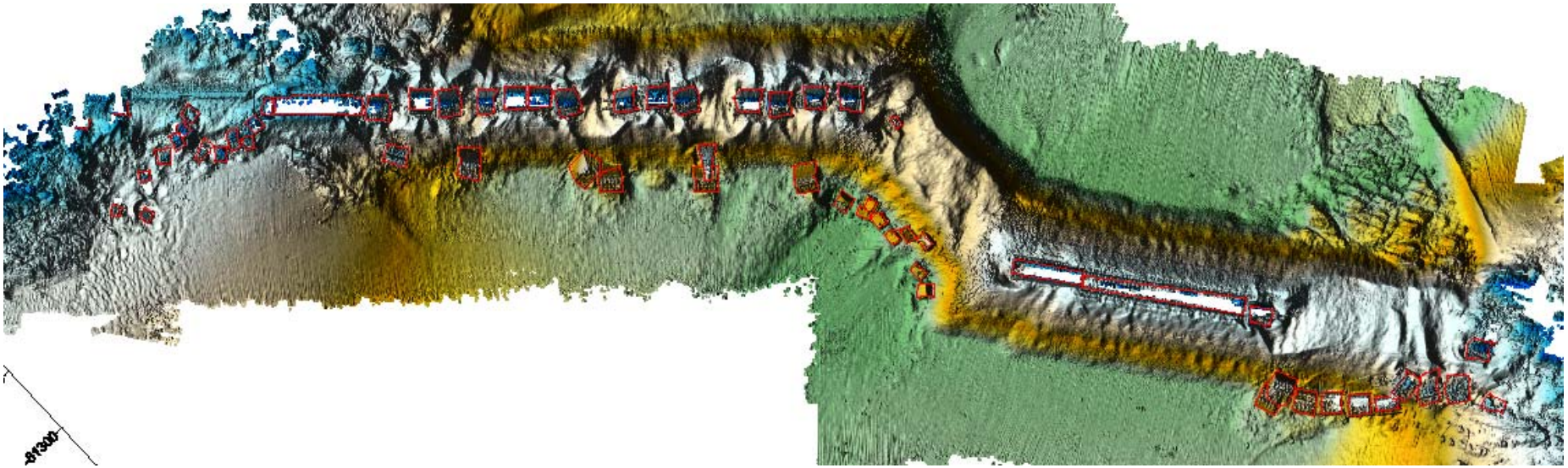


図-7.1.3　ナローマルチビームによる測深データ（釜石湾口防波堤）

付録２　地震被害のカラー写真

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

写真-6.2.1.11　諏訪下地区桟橋（-7.5m）―津波による渡版の被害―
（久慈港諏訪下地区）（平成 23 年 3 月 18 日撮影）

写真-6.3.3　大手埠頭桟橋部の舗装版の損傷（石巻港）
（写真番号③：平成 23 年 3 月 16 日撮影）

写真-6.3.17　高砂埠頭 2 号岸壁東側偶角部（仙台塩釜港）
（写真番号⑩：平成 23 年 3 月 17 日撮影）

添付写真　地震時に免震機構が作動した免震コンテナクレーン
（高砂コンテナターミナル）

添付写真　発災後５日目（3 月 16 日）仙台空港に着陸する大型輸送機の一番機　　液状化対策の効果が確認された

写真-6.3.29　転倒した４階建ビル（女川漁港後背地）
（平成 23 年 3 月 16 日撮影）

図-6.4.1.3　矢板岸壁の破損・洗掘状況（相馬港１号ふ頭）

図-6.4.2.4　構造変化位置での法線の出入り（小名浜港４号ふ頭）

6.5.1.2　第４埠頭重力式岸壁(-10m)隅角部（茨城港日立港区）
（2011 年４月 14 日撮影）

写真－6.5.2.2　北埠頭重力式岸壁(-12m)レールの湾曲（茨城港常陸那珂港区）
（2011 年４月 13 日撮影）

添付写真　脱輪した非免震コンテナクレーン（茨城港常陸那珂港区）

付録３　調査団の構成と詳細行程

【第１班】

○日程：平成 23 年 3 月 14 日（月）～15 日（火）

○調査対象地域：茨城港

○調査団員：

（地震班）山崎　浩之　地盤・構造部地震防災研究領域長

小濱　英司　　同　　耐震構造研究チームリーダー

○行程

平成 23 年 3 月 14 日（月）

（午前）研究所（久里浜）出発　関東地方整備局官用車にて水戸市へ，茨城県庁にて打ち合わせ

（午後）現地調査（茨城港大洗地区及び常陸那珂地区），茨城県庁にて打ち合わせ　（泊：水戸市）

平成 23 年 3 月 15 日（火）

（午前）現地調査（茨城港（常陸那珂地区）），茨城県茨城港湾事務所にて打ち合わせ

（午後）研究所（久里浜）へ

【第２班】

○日程：平成 23 年 3 月 15 日（火）～19 日（土）

○調査対象地域：石巻港，仙台塩釜港，仙台空港

○調査団員：

（津波班）栗山　善昭　海洋・水工部長（団長）

有川　太郎　海洋・水工部主任研究官

関　克己　　同　　研究官

（地震班）菅野　高弘　特別研究官

森川　嘉之　地盤・構造部地盤改良研究チームリーダー

福永　勇介　国総研港湾研究部研究官

（東北地方整備局）

山嵜　一雄　仙台港湾空港技術調査事務所

○行程

平成 23 年 3 月 15 日（火）

研究所（久里浜）出発　新幹線等で新潟市へ，新潟市よりレンタカーで仙台市へ

到着後東北地方整備局仙台技術調査事務所にて打ち合わせ　（泊：仙台市）

平成 23 年 3 月 16 日（水）

（午前）東北地方整備局港湾空港部にて打ち合わせ

（午後）現地調査（石巻港，女川港）　（泊：仙台市）

平成 23 年 3 月 17 日（木）

（午前）現地調査（仙台塩釜港（仙台港区））

（午後）現地調査（仙台塩釜港（塩釜港区））　（泊：仙台市）

平成 23 年 3 月 18 日（金）

（午前）現地調査（仙台空港及び周辺海岸）

（午後）現地調査後仙台技術調査事務所にて打ち合わせ　（泊：仙台市）

平成 23 年 3 月 19 日（土）

仙台市から新潟市を経由し，新幹線等にて研究所（久里浜）へ

【第３班】

○日程：平成 23 年 3 月 16 日（火）～19 日（土）

○調査対象地域：釜石港，大船渡港

○調査団員：

（津波班）高橋　重雄　アジア・太平洋沿岸防災研究センター長（団長）

下迫　健一郎 海洋・水工部海洋研究領域長

辰巳　大介　アジア・太平洋沿岸防災研究センター

根木　貴史　国総研沿岸海洋研究部沿岸防災研究室長

（地震班）菊池　喜昭　地盤・構造部長

岩波　光保　地盤・構造部構造研究領域長心得

竹信　正寛　地盤・構造部研究官

（東北地方整備局）

早川　修　　仙台港湾空港技術調査事務所

○行程

平成 23 年 3 月 16 日（水）

研究所（久里浜）出発　羽田空港より秋田空港へ，秋田市よりレンタカーで盛岡市へ．到着後東北地方整備局仙台技術調査事務所　早川氏と打ち合わせ　（泊：盛岡市）

平成 23 年 3 月 17 日（木）

（午前）釜石港へ移動，東北地方整備局釜石港湾事務所との打ち合わせ

（午後）現地調査（釜石港）　（泊：盛岡市）

平成 23 年 3 月 18 日（金）

（午前）大船渡港へ移動

（午後）現地調査（大船渡港）　（泊：盛岡市）

平成 23 年 3 月 19 日（土）

盛岡市から秋田市へ移動，秋田空港より羽田空港へ，研究所（久里浜）着

【第４班】

○日程：平成 23 年 3 月 16 日（水）～19 日（土）

○調査対象地域：八戸港，久慈港

○調査団員：

（津波班）富田　孝史　　アジア・太平洋沿岸防災研究センター上席研究官（団長）

鈴木　高二朗　海洋・水工部海洋環境情報研究チームリーダー

熊谷　兼太郎　国総研沿岸海洋研究部主任研究官

渡邉　祐二　　同　　研究員

（地震班）野津　厚　　地盤・構造部地震動研究チームリーダー

水谷　崇亮　　同　　基礎工研究チームリーダー

山路　徹　　同　　材料研究チームリーダー

（東北地方整備局）

菅原　豊明　　仙台港湾空港技術調査事務所

○行程

平成 23 年 3 月 16 日（水）

研究所（久里浜）出発　羽田空港より青森空港へ，レンタカーで八戸市へ

到着後東北地方整備局八戸港湾・空港整備事務所にて打ち合わせ　（泊：八戸市）

平成 23 年 3 月 17 日（木）

（終日）八戸港湾・空港整備事務所と打ち合わせ後現地調査（八戸港）　（泊：八戸市）

平成 23 年 3 月 18 日（金）

（午前）八戸市から久慈港へ移動

（午後）現地調査（久慈港）　（泊：八戸市）

平成 23 年 3 月 19 日（土）

八戸市から青森市へ移動，青森空港より羽田空港へ，研究所（久里浜）着

【第５班】

○日程：平成 23 年 3 月 27 日（日）～30 日（水）

○調査対象地域：釜石港，宮古港

○調査団員：

（津波班）富田　孝史　アジア・太平洋沿岸防災研究センター上席研究官（団長）

中川　康之　海洋・水工部沿岸土砂監理研究チームリーダー

熊谷　兼太郎　国総研沿岸海洋研究部主任研究寛

（東北地方整備局）

山嵜　一雄　仙台港湾空港技術調査事務所

○行程

平成 23 年 3 月 27 日（日）

研究所（久里浜）出発　羽田空港より花巻空港へ，レンタカーで花巻市へ　（泊：花巻市）

平成 23 年 3 月 28 日（月）

（午前）花巻市から釜石市へ移動，東北地方整備局釜石港湾事務所にて打ち合わせ後
現地調査（釜石港）
（午後）現地調査（釜石港）（泊：花巻市）
平成 23 年 3 月 29 日（火）
（午前）花巻市から宮古市へ移動，宮古港出張所にて打ち合わせ後現地調査（宮古港）
（午後）現地調査（宮古港）（泊：花巻市）
平成 23 年 3 月 30 日（水）
花巻空港より空路羽田空港へ，研究所（久里浜）着

【第 6 班】
○日程：平成 23 年 4 月 5 日（火）～8 日（金）
○調査対象地域：相馬港，小名浜港，仙台空港
○調査団員：
（津波班）下迫　健一郎　海洋研究領域長
富田　孝史　アジア・太平洋沿岸防災研究センター上席研究官
鈴木　高二朗　海洋環境情報研究チームリーダー
菅野　甚活　国総研港湾研究部施工港湾システム課長
（地震班）菅野　高弘　特別研究官（地震防災研究担当）（団長）
山崎　浩之　地盤研究領域長
長尾　毅　国総研港湾研究部港湾施設研究室長
（東北地方整備局）
及川　勝朋　仙台港湾空港技術調査事務所
○行程
平成 23 年 4 月 5 日（火）
研究所（久里浜）出発　レンタカーで福島市へ（泊：福島市）
平成 23 年 4 月 6 日（水）
（午前）福島市から相馬市へ移動
（午後）現地調査（相馬港）（泊：郡山市）
平成 23 年 4 月 7 日（木）
（午前）郡山市からいわき市へ移動，東北地方整備局小名浜港湾事務所と打ち合わせ
（午後）現地調査（小名浜港）（泊：いわき市）
平成 23 年 4 月 8 日（金）
（午前）小名浜港湾事務所と打ち合わせ後，昨夜の地震により予定を変更し，いわき市から仙台空港へ移動
（午後）現地調査（仙台空港），終了後仙台空港から研究所（久里浜）へ

【第７班】

○日程：平成 23 年 4 月 5 日（火）～6 日（水）

○調査対象地域：鹿島港，茨城港

○調査団員：

（津波班）栗山　善昭　特別研究官（海洋・水工研究担当）（団長）

加島　寛章　海洋研究領域研究官

伴野　雅之　沿岸環境研究領域研究官

泉山　拓也　国総研管理調整部企画調整課係長

○行程

平成 23 年 4 月 5 日（火）

（午前）研究所（久里浜）出発，車にて鹿嶋市へ，関東地方整備局鹿島港湾・空港整備事務所と打ち合わせ後現地調査（鹿島港）

（午後）現地調査（茨城港（大洗地区））　（泊：水戸市）

平成 23 年 4 月 6 日（水）

（午前）現地調査（茨城港（常陸那珂地区））

（午後）現地調査（茨城港（日立地区）），終了後　研究所（久里浜）へ

【第８班】

○日程：平成 23 年 4 月 12 日（火）～14 日（木）

○調査対象地域：鹿島港，茨城港

○調査団員：

（地震班）菅野　高弘　特別研究官（地震防災研究担当）（団長）

小濱　英司　耐震構造研究チームリーダー

長尾　毅　　国総研港湾研究部港湾施設研究室長

○行程

平成 23 年 4 月 12 日（火）

（午前）研究所（久里浜）出発，車にて鹿嶋市へ，関東地方整備局鹿島港湾・空港整備事務所と打ち合わせ

（午後）現地調査（鹿島港）　（泊：水戸市）

平成 23 年 4 月 13 日（水）

（午前）現地調査（茨城港（大洗地区））

（午後）現地調査（茨城港（常陸那珂地区））　（泊：水戸市）

平成 23 年 4 月 14 日（木）

（午前）現地調査（茨城港（日立地区））

（午後）現地調査終了後，研究所（久里浜）へ

【合同調査団①】

○日程：平成 23 年 3 月 25 日（金）～30 日（水）

○調査対象地域：石巻，女川，南三陸

○調査団員：有川　太郎　　海洋・水工部主任研究官

作中　淳一郎　海洋・水工部研究官

鷲崎　誠　　海洋・水工部研究官

○行程

平成 23 年 3 月 25 日（金）

研究所（久里浜）出発，仙台市へ移動　（泊：仙台市）

平成 23 年 3 月 26 日（土）

（午前）南三陸町志津川

（午後）南三陸町歌津　（泊：仙台市）

平成 23 年 3 月 27 日（日）

（午前）女川町

（午後）雄勝町　（泊：仙台市）

平成 23 年 3 月 28 日（月）

（終日）気仙沼市　（泊：仙台市）

平成 23 年 3 月 29 日（火）

（午前）気仙沼市唐桑町

（午後）気仙沼市本吉町　（泊：仙台市）

平成 23 年 3 月 30 日（水）

仙台市より研究所（久里浜）へ

【合同調査団②】

○日程：平成 23 年 4 月 6 日（水）～9 日（土）

○調査対象地域：岩手県各地

○調査団員：有川　太郎　海洋研究領域上席研究官

○行程

平成 23 年 4 月 6 日（水）

（午前）研究所（久里浜）出発　花巻市へ

（午後）陸前高田　（泊：花巻市）

平成 23 年 4 月 7 日（木）

（午前）大船渡市

（午後）釜石市，遠野市　（泊：花巻市）

平成 23 年 4 月 8 日（金）

（午前）釜石市両石

（午後）大槌町，陸前山田　　（泊：花巻市）

平成 23 年 4 月 9 日（土）

（午前）女川町

（午後）仙台市　現地調査終了後　研究所（久里浜）へ

付録 4　痕跡調査データ

津波痕跡高の計測結果を，IUGG Tsunami Commission が規定したフォーマットで整理した（**付表-4. 1**）.「計測実施時の潮位」・「津波到達時の潮位」・「地盤高」は, C.D.L. を基準面とした高さであるが,「潮位補正前の津波痕跡高」は計測実施時の海面,「潮位補正後の津波痕跡高」は津波来襲時の海面,「浸水深」は地表面をそれぞれ基準面とした高さである.

「信頼度」は A～D までの 4 段階に分類され，それぞれ次のとおり定義される.

信頼度 A：痕跡が明瞭で測定誤差が小さい.

信頼度 B：痕跡は不明だが聞き込みや周囲の状況などから信頼ある水位を知ることができ, 測定誤差が小さい.

信頼度 C：砂浜などで異常に波が這い上がったと考えられる，あるいは痕跡が海辺から離れていて測定誤差が大きい.

信頼度 D:高潮, 高波等の影響で痕跡が重複し不明瞭.

付表－4.1　津波痕跡高の測定結果

番号	県名	地点名	緯度	経度	潮位補正前の津波痕跡高(m)	汀線からの距離(m)	遡上(R)・浸水(I)	津波痕跡	信頼度	計測実施時刻	(想定)津波到達時刻	潮位補正参照地点	計測実施時の潮位(m, CDL基準)	津波到達時の潮位(m, CDL基準)	浸水深(m)	地盤高(m, CDL基準)	潮位補正後の津波痕跡高(m)	計測実施者	備考
1-1	宮城	石巻港	N 38°24'59.5"	E 141°15'59.1"	4.25	49.12	I	建物水跡	A	2011/3/16 12:00	2011/3/11 15:00	石巻	1.10	0.38	2.88	2.47	4.97	栗山・有川・関	
1-2	宮城	石巻港	N 38°25'12.0"	E 141°16'13.2"	3.43	8.09	I	建物水跡	A	2011/3/16 12:36	2011/3/11 15:00	石巻	1.09	0.38	2.60	1.92	4.14	栗山・有川・関	
1-3	宮城	石巻港	N 38°25'14.1"	E 141°16'3.0"	3.92	117.495	I	合同庁舎水跡前面	A	2011/3/16 13:00	2011/3/11 15:00	石巻	1.09	0.38	2.25	2.76	4.63	栗山・有川・関	
1-4	宮城	石巻港	N 38°25'14.8"	E 141°16'7.8"	3.46	187.815	I	合同庁舎水跡　背面道路側	A	2011/3/16 13:10	2011/3/11 15:00	石巻	1.09	0.38	2.45	2.10	4.17	栗山・有川・関	
1-5	宮城	石巻港	N 38°25'14.8"	E 141°16'7.7"	2.56	191.655	I	合同庁舎水跡　背面奥側	A	2011/3/16 13:20	2011/3/11 15:00	石巻	1.09	0.38	1.17	2.48	3.27	栗山・有川・関	
1-6	宮城	女川港	N 38°26'35.5"	E 141°26'50.9"	14.72	33.73	I	建物水跡	A	2011/3/16 17:00	2011/3/11 15:00	石巻	0.45	0.38	13.40	1.77	14.79	栗山・有川・関	
1-7	宮城	仙台港区	N 38°16'24.9"	E 141°1'22.8"	7.47	75.26	I	建物水跡	A	2011/3/17 10:00	2011/3/11 15:00	塩釜	0.85	0.32	4.70	3.62	8.00	栗山・有川・関	
1-8	宮城	仙台港区	N 38°16'24.1"	E 141°1'26.3"	6.72	79.605	I	建物水跡	A	2011/3/17 10:20	2011/3/11 15:00	塩釜	0.85	0.32	4.20	3.37	7.25	栗山・有川・関	
1-9	宮城	仙台港区	N 38°16'18.9"	E 140°59'53.4"	5.05	35.21	I	階段水跡, 仙台港中央公園	A	2011/3/17 11:20	2011/3/11 15:00	塩釜	0.99	0.32	1.25	4.79	5.72	栗山・有川・関	
1-10	宮城	仙台港区	N 38°16'18.5"	E 140°59'53.1"	9.12	33.61	R	斜面遡上跡, 仙台港中央公園	A	2011/3/17 11:40	2011/3/11 15:00	塩釜	1.12	0.32	0.00	10.24	9.92	栗山・有川・関	
1-11	宮城	仙台港区	N 38°16'3.8"	E 141°1'20.1"	6.495	41.665	I	建物水跡	A	2011/3/17 12:00	2011/3/11 15:00	塩釜	1.12	0.32	3.70	3.92	7.30	栗山・有川・関	
1-12	宮城	仙台港区	N 38°15'36.8"	E 141°1'6.7"	8.335	61.525	I	木(枝折れ), 蒲生干潟付近	A	2011/3/17 13:30	2011/3/11 15:00	塩釜	1.22	0.32	1.54	8.02	9.24	栗山・有川・関	
1-13	宮城	仙台港区	N 38°15'38.7"	E 141°0'54.0"	13.525	42.05	I	体育館水跡	A	2011/3/17 14:00	2011/3/11 15:00	塩釜	1.24	0.32	8.22	6.55	14.45	栗山・有川・関	
1-14	宮城	仙台港区	N 38°15'39.0"	E 141°0'52.9"	8.085	34.655	I	避難所証言(2階で胸の高さまで水が来た)	B	2011/3/17 14:13	2011/3/11 15:00	塩釜	1.24	0.32	4.10	5.23	9.01	栗山・有川・関	
1-15	宮城	塩釜港区	N 38°19'8.9"	E 141°1'42.0"	3.52	82.58	I	建物水跡	A	2011/3/17 15:40	2011/3/11 15:00	塩釜	0.97	0.32	2.48	2.01	4.17	栗山・有川・関	

付表－4.1　津波痕跡高の測定結果

番号	県名	地点名	緯度	経度	潮位補正前の津波痕跡高(m)	汀線からの距離(m)	遡上(R)・浸水(I)	津波痕跡	信頼度	計測実施時刻	(想定)津波到達時刻	潮位補正参照地点	計測実施時の潮位(m, CDL基準)	津波到達時の潮位(m, CDL基準)	浸水深(m)	地盤高(m, CDL基準)	潮位補正後の津波痕跡高(m)	計測実施者	備考
1-16	宮城	仙台空港	N 38°8'18.0"	E 140°55'55.2"	4.91	99.48	I	電源局舎水跡	A	2011/3/18 12:30	2011/3/11 15:00	塩釜	0.99	0.32	3.35	2.55	5.58	栗山・有川・関	
1-17	宮城	仙台空港	N 38°8'16.0"	E 140°55'51.5"	5.02	160.745	I	仙台空港駅　水跡	A	2011/3/18 12:30	2011/3/11 15:00	塩釜	0.99	0.32	3.45	2.56	5.69	栗山・有川・関	
1-18	宮城	仙台空港	N 38°8'6.6"	E 140°56'22.9"	11.395	317.672	I	建物水跡前面	A	2011/3/18 13:26	2011/3/11 15:00	塩釜	1.19	0.32	1.65+1(洗掘を受けているため不明)	不明	12.27	栗山・有川・関	
1-19	宮城	仙台空港	N 38°8'6.7"	E 140°56'22.3"	10.285	328.322	I	建物水跡背面	A	2011/3/18 13:26	2011/3/11 15:00	塩釜	1.19	0.32	1.95	9.53	11.16	栗山・有川・関	
1-20	宮城	名取川河口	N 38°10'3.4"	E 140°57'19.1"	5.795	79.735	I	名取市サイクリングターミナル　ビル水跡	A	2011/3/18 15:10	2011/3/11 15:00	塩釜	1.33	0.32	4.60	2.53	6.81	栗山・有川・関	
1-21	宮城	荒浜地区	N 38°13'6.6"	E 140°59'5.8"	8.88	222.51	I	漂流物痕跡	B	2011/3/18 16:06	2011/3/11 15:00	塩釜	1.23	0.32	4.40	5.71	9.79	栗山・有川・関	
2-1	岩手	釜石市釜石港湾事務所	N 39°16'6.6"	E 141°53'5.2"	7.44		I	室内の水跡，目撃証言	A	2011/3/17 11:35	2011/3/11 14:46	釜石	1.03	0.36	3.50	4.97	8.11	高橋・下迫・根木・辰巳	
2-2	岩手	釜石市釜石港湾合同庁舎	N 39°16'25.0"	E 141°53'19.9"	6.27	16.00	I	室内の水跡	A	2011/3/17 12:45	2011/3/11 14:46	釜石	1.12	0.36	5.72	1.67	7.03	高橋・下迫・根木・辰巳	
2-3	岩手	釜石市釜石港湾合同庁舎	N 39°16'25.0"	E 141°53'19.9"	8.38	16.00	I	建物外壁の水跡	A	2011/3/17 12:45	2011/3/11 14:46	釜石	1.12	0.36	7.61	1.89	9.14	高橋・下迫・根木・辰巳	
2-4	岩手	大船渡市大船渡商工会議所	N 39°4'7.5"	E 141°43'17.6"	9.02	302.00	I	室内の水跡	A	2011/3/18 11:10	2011/3/11 14:46	大船渡	0.84	0.38	8.46	1.40	9.48	高橋・下迫・根木・辰巳	
2-5	岩手	大船渡市大船渡保育園	N 39°3'55.5"	E 141°43'10.8"	10.18	206.00	R	建物外壁の水跡，目撃証言	A	2011/3/18 12:00	2011/3/11 14:46	大船渡	0.99	0.38	1.07	10.10	10.79	高橋・下迫・根木・辰巳	
2-6	岩手	大船渡市長崎漁港	N 39°1'15.4"	E 141°45'3.4"	10.36	62.00	R	目撃証言	B	2011/3/18 14:00	2011/3/11 14:46	大船渡	1.03	0.38	1.65	9.74	11.01	高橋・下迫・根木・辰巳	
2-7	岩手	大船渡市綾里白浜	N 39°3'27.6"	E 141°48'32.0"	22.79	440.00	R	漂着物(プラ箱)，目撃証言	A	2011/3/18 15:17	2011/3/11 14:46	大船渡	1.19	0.38	0.00	23.98	23.60	高橋・下迫・根木・辰巳	
3-1	青森	八戸・市川	N 40°34'23.7"	E 141°28'45.9"	7.85	57.00	I	室内機械の水跡	A	2011/3/17 11:15	2011/3/11 15:22	八戸	0.99	0.46	3.82	5.02	8.38	富田・熊谷・渡邉	
3-2	青森	八戸港第2埠頭	N 40°33'6.47"	E 141°30'6.10"	5.77	118.00	I	倉庫内壁の水跡	A	2011/3/17 13:20	2011/3/11 15:22	八戸	1.10	0.46	2.90	3.97	6.42	富田・熊谷・渡邉	

付表－4.1　津波痕跡高の測定結果

番号	県名	地点名	緯度	経度	潮位補正前の津波痕跡高(m)	汀線からの距離(m)	遡上(R)・浸水(I)	津波痕跡	信頼度	計測実施時刻	(想定)津波到達時刻	潮位補正参照地点	計測実施時の潮位(m, CDL基準)	津波到達時の潮位(m, CDL基準)	浸水深(m)	地盤高(m, CDL基準)	潮位補正後の津波痕跡高(m)	計測実施者	備考
3-3	青森	八戸港漁港区	N 40°31'37.72"	E 141°32'7.72"	4.87	90.00	I	建物内壁の水跡	A	2011/3/17 14:50	2011/3/11 15:22	八戸	0.99	0.46	2.47	3.39	5.40	富田・熊谷・渡邉	
3-4	青森	階上・大蛇地区	N 40°28'27.90"	E 141°38'44.60"	8.87	72.00	I	建物内壁の水跡	A	2011/3/17 17:00	2011/3/11 15:22	八戸	0.56	0.46	2.70	6.39	8.64	富田・熊谷・渡邉	
3-5	岩手	久慈港・玉の脇地区	N 40°10'58.71"	E 141°48'10.61'	12.99	75.00	R	漂流ごみのライン	A	2011/3/18 10:45	2011/3/11 15:22	八戸	0.83	0.46	0.00	13.82	13.37	富田・熊谷・渡邉	死者行方不明者5名(内, 行方不明者3名) 玉の脇と半崎では, 初動が引き波
3-6	岩手	久慈港・諏訪下地区	N 40°11'35.13"	E 141°47'35.35"	7.49	46.00	I	建物内壁の水跡	A	2011/3/18 13:00	2011/3/11 15:22	八戸	1.18	0.46	4.37	4.30	8.22	富田・熊谷・渡邉	
3-7	岩手	久慈港・半崎地区	N 40°13'9.55"	E 141°48'54.28"	8.00	90.00	I	建物内壁の水跡	A	2011/3/18 15:30	2011/3/11 15:22	八戸	1.14	0.46	3.18	5.96	8.69	富田・熊谷・渡邉	
4-1	宮城	南三陸町志津川	N 38°40'25.4"	E 141°26'42.6"	15.77		I	津波避難ビルの階段, 浸水痕	A	2011/3/26 11:52	2011/3/11 14:46	鮎川	0.48	0.34			15.91	有川・鷲崎・作中	
4-2	宮城	南三陸町志津川	N 38°40'34.3"	E 141°26'46.5"	15.09		I	公立志津川病院の壁, 浸水痕	B	2011/3/26 13:04	2011/3/11 14:46	鮎川	0.31	0.34			15.06	有川・鷲崎・作中	
4-3	宮城	南三陸町歌津	N 38°44'16.5"	E 141°31'50.5"	12.42		R	山の傾斜部, 浸水痕	A	2011/3/26 14:06	2011/3/11 14:46	鮎川	0.24	0.34			12.32	有川・鷲崎・作中	
4-4	宮城	南三陸町歌津	N 38°43'59.6"	E 141°32'43.1"	12.85		R	山の傾斜部, 浸水痕	A	2011/3/26 14:25	2011/3/11 14:46	鮎川	0.24	0.34			12.75	有川・鷲崎・作中	
4-5	宮城	南三陸町歌津	N 38°44'6.4"	E 141°32'39.1"	13.64		R	民家の庭, 浸水痕	A	2011/3/26 14:41	2011/3/11 14:46	鮎川	0.24	0.34			13.54	有川・鷲崎・作中	
4-6	宮城	南三陸町歌津	N 38°43'1.7"	E 141°31'31.9"	13.09		R	民家の庭, 浸水痕	A	2011/3/26 15:02	2011/3/11 14:46	鮎川	0.24	0.34			12.99	有川・鷲崎・作中	
4-7	宮城	南三陸町歌津	N 38°43'3.6"	E 141°31'9.3"	14.83		I	歌津駅舎, 浸水痕	A	2011/3/26 15:17	2011/3/11 14:46	鮎川	0.26	0.34			14.75	有川・鷲崎・作中	
4-8	宮城	南三陸町歌津	N 38°42'52.0"	E 141°31'11.2"	15.49		R	山の傾斜部, 浸水痕	A	2011/3/26 15:55	2011/3/11 14:46	鮎川	0.30	0.34			15.45	有川・鷲崎・作中	
4-9	宮城	南三陸町志津川	N 38°40'40.0"	E 141°26'48.6"	13.88		I	南三陸町役場屋上フェンス, 浸水痕	A	2011/3/26 17:03	2011/3/11 14:46	鮎川	0.42	0.34			13.96	有川・鷲崎・作中	
4-10	宮城	石巻市雄勝	N 38°31'21.4"	E 141°28'9.1"	16.57		R	山の傾斜部, 浸水痕	A	2011/3/27 13:26	2011/3/11 14:46	鮎川	0.48	0.34			16.71	有川・鷲崎・作中	

付表－4.1 津波痕跡高の測定結果

番号	県名	地点名	緯度	経度	潮位補正前の津波痕跡高(m)	汀線からの距離(m)	遡上(R)・浸水(I)	津波痕跡	信頼度	計測実施時刻	(想定)津波到達時刻	潮位補正参照地点	計測実施時の潮位(m, CDL基準)	津波到達時の潮位(m, CDL基準)	浸水深(m)	地盤高(m, CDL基準)	潮位補正後の津波痕跡高(m)	計測実施者	備考
4-11	宮城	石巻市雄勝	N 38°31'22.1"	E 141°28'15.0"	15.35		I	石巻市役所雄勝支所, 浸水痕	A	2011/3/27 13:30	2011/3/11 14:46	鮎川	0.47	0.34			15.48	有川・鷲崎・作中	
4-12	宮城	女川町女川港	N 38°26'36.8"	E 141°26'41.4"	18.41		I	女川町立病院の壁, 浸水痕	A	2011/3/27 14:39	2011/3/11 14:46	鮎川	0.36	0.34			18.43	有川・鷲崎・作中	
4-13	宮城	気仙沼市気仙沼港	N 38°54'36.6"	E 141°34'57.8"	8.57		R	ヤヨイ食品の壁, 浸水痕	B	2011/3/28 13:36	2011/3/11 14:46	大船渡	0.65	0.38			8.84	有川・鷲崎・作中	
4-14	宮城	気仙沼市気仙沼港	N 38°54'37.6"	E 141°34'56.0"	7.05		R	気仙沼ほていの壁, 浸水痕	A	2011/3/28 13:52	2011/3/11 14:46	大船渡	0.62	0.38			7.29	有川・鷲崎・作中	
4-15	宮城	気仙沼市気仙沼港	N 38°54'41.6"	E 141°34'51.6"	8.91		I	民家の壁, 浸水痕	A	2011/3/28 14:00	2011/3/11 14:46	大船渡	0.60	0.38			9.13	有川・鷲崎・作中	
4-16	宮城	気仙沼市気仙沼港	N 38°54'44.0"	E 141°34'55.4"	6.52		I	民家の窓, 浸水痕	A	2011/3/28 13:46	2011/3/11 14:46	大船渡	0.63	0.38			6.77	有川・鷲崎・作中	
4-17	宮城	気仙沼市気仙沼港	N 38°54'45.4"	E 141°34'47.1"	6.07		I	民家の窓, 浸水痕	A	2011/3/28 14:26	2011/3/11 14:46	大船渡	0.56	0.38			6.25	有川・鷲崎・作中	
4-18	宮城	気仙沼市唐桑町	N 38°54'30.5"	E 141°38'53.6"	13.09		R	民家の庭, 浸水痕	A	2011/3/29 11:51	2011/3/11 14:46	大船渡	0.95	0.38			13.66	有川・鷲崎・作中	
4-19	宮城	気仙沼市本吉町	N 38°46'14.2"	E 141°30'48.9"	12.63		I	3階建てビルの天井, 浸水痕	A	2011/3/29 13:53	2011/3/11 14:46	大船渡	0.80	0.38			13.05	有川・鷲崎・作中	これ以上の高さの津波が襲ったと考えられる
4-20	宮城	気仙沼市本吉町	N 38°46'26.3"	E 141°30'58.9"	19.49		R	木に引っかかっているビニールシート, 浸水痕	A	2011/3/29 16:03	2011/3/11 14:46	大船渡	0.55	0.38			19.66	有川・鷲崎・作中	
4-21	宮城	気仙沼市本吉町	N 38°46'0.4"	E 141°30'25.7"	16.01		R	小泉小学校前の道路, 浸水痕	B	2011/3/29 17:25	2011/3/11 14:46	大船渡	0.43	0.38			16.06	有川・鷲崎・作中	
5-1	岩手	宮古港・出崎地区	N 39°38'21.84"	E 141°58'19.62"	8.13	29.00	I	建物内壁の水跡	A	2011/3/28 14:54	2011/3/11 14:48	宮古	0.94	0.33	6.92	2.15	8.74	富田・中川・熊谷	引き波初動
5-2	岩手	宮古港・藤原神林地区	N 39°38'6.69"	E 141°58'1.08"	9.22	28.00	I	建物内壁の水跡	A	2011/3/28 14:54	2011/3/11 14:48	宮古	0.92	0.33	6.95	3.19	9.81	富田・中川・熊谷	引き波初動
5-3	岩手	宮古港・高浜地区	N 39°36'37.56"	E 141°57'40.20"	15.24	48.00	R	斜面の漂流物	A	2011/3/28 14:54	2011/3/11 14:48	宮古	0.65	0.33	0.00	15.89	15.56	富田・中川・熊谷	引き波初動
5-4	岩手	宮古港・高浜地区	N 39°36'10.80"	E 141°57'2.16"	10.08	38.00	I	建物外壁の漂流物	A	2011/3/28 14:54	2011/3/11 14:48	宮古	0.53	0.33	10.08	0.53	10.28	富田・中川・熊谷	引き波初動

付表－4.1 津波痕跡高の測定結果

番号	県名	地点名	緯度	経度	潮位補正前の津波痕跡高(m)	汀線からの距離(m)	遡上(R)・浸水(I)	津波痕跡	信頼度	計測実施時刻	(想定)津波到達時刻	潮位補正参照地点	計測実施時の潮位(m, CDL基準)	津波到達時の潮位(m, CDL基準)	浸水深(m)	地盤高(m, CDL基準)	潮位補正後の津波痕跡高(m)	計測実施者	備考
5-5	岩手	宮古・赤前地区	N 39°35'12.9"	E 141°56'56.58"	10.32	25.00	I	建物外手すりの漂流物	A	2011/3/28 9:50	2011/3/11 14:48	宮古	0.42	0.33	10.32	0.42	10.41	富田・中川・熊谷	
5-6	岩手	釜石・両石地区	N 39°18'27.36"	E 141°53'23.58"	16.21		R	斜面の漂流物	A	2011/3/28 10:50	2011/3/11 14:46	釜石	1.01	0.36	0.00	17.22	16.86	富田・中川・熊谷	
5-7	岩手	釜石・両石地区	N 39°18'35.40"	E 141°53'23.64"	16.56	224.00	R	階段上の漂流物	A	2011/3/28 12:40	2011/3/11 14:46	釜石	0.93	0.36	0.00	17.49	17.13	富田・中川・熊谷	
5-8	岩手	釜石・両石地区	N 39°18'19.26"	E 141°53'25.50"	15.97	56.00	I	樹木上の漂流物	A	2011/3/28 12:40	2011/3/11 14:46	釜石	0.75	0.36	13.29	3.43	16.36	富田・中川・熊谷	
5-9	岩手	釜石・両石地区	N 39°18'21.06"	E 141°53'23.52"	15.78	36.00	I	樹木上の漂流物	A	2011/3/29 10:28	2011/3/11 14:46	釜石	0.75	0.36	14.89	1.64	16.17	富田・中川・熊谷	
5-10	岩手	釜石港・平田地区	N 39°15'19.74"	E 141°53'55.68"	7.69	188.00	I	建物外壁(海側前壁)	A	2011/3/29 11:26	2011/3/11 14:46	釜石	0.49	0.36	0.93	7.25	7.82	富田・中川・熊谷	
5-11	岩手	釜石港・平田地区	N 39°15'19.14"	E 141°53'53.64"	7.26	243.00	I	建物外壁(側壁)	A	2011/3/29 14:35	2011/3/11 14:46	釜石	0.49	0.36	0.47	7.28	7.39	富田・中川・熊谷	
5-12	岩手	釜石港・平田地区	N 39°15'18.18"	E 141°53'53.04"	7.38	268.00	I	建物外壁(側壁)	A	2011/3/29 15:33	2011/3/11 14:46	釜石	0.49	0.36	0.51	7.36	7.51	富田・中川・熊谷	
5-13	岩手	釜石港・平田地区	N 39°15'16.20"	E 141°53'51.66"	7.39	313.00	I	建物外壁(後壁)	A	2011/3/29 16:35	2011/3/11 14:46	釜石	0.49	0.36	0.66	7.22	7.52	富田・中川・熊谷	
6-1	福島	相馬港第1埠頭	N 37°50'10.8"	E 140°57'25.8"	10.63	25.00	I	階段手すりに絡みついた断熱材破片	A	2011/4/6 11:40	2011/3/11 14:55	相馬	0.05	0.32	7.55	3.13	10.36	富田・下迫・鈴木・菅野	
6-2	福島	相馬港第2埠頭	N 37°50'23.2"	E 140°57'25.1"	10.2	80.00	I	倉庫内壁の漂流物	A	2011/4/6 12:57	2011/3/11 14:55	相馬	0.21	0.32	6.77	3.64	10.09	富田・下迫・鈴木・菅野	
6-3	福島	新地町釣師浜漁港安波神社	N 37°52'14.0"	E 140°56'3.5"	15.55	175.00	R	斜面に残った漂流物	A	2011/4/6 14:55	2011/3/11 14:55	相馬	0.70	0.32	0.00	16.24	15.92	富田・下迫・鈴木・菅野	
6-4	福島	相馬港原釜尾浜海水浴場	N 37°49'32.5"	E 140°57'54.0"	11.08	346.00	R	斜面に残った漂流物の塊	A	2011/4/6 16:25	2011/3/11 14:55	相馬	1.05	0.32	0.00	12.12	11.80	富田・下迫・鈴木・菅野	
6-5	福島	小名浜港漁港区	N 36°56'37.0"	E 140°54'44.1"	5.60	35.00	I	海に面した窓の水跡	A	2011/4/7 10:45	2011/3/11 15:05	小名浜	0.16	0.34	2.90	2.86	5.42	富田・下迫・鈴木・菅野	
6-6	福島	小名浜港4号埠頭ポンプ場	N 36°56'15.2"	E 140°53'28.6"	4.56	55.00	I	埠頭先端の建物内壁の水跡	A	2011/4/7 11:21	2011/3/11 15:05	小名浜	0.04	0.34	1.60	3.02	4.28	富田・下迫・鈴木・菅野	

付表－4.1　津波痕跡高の測定結果

番号	県名	地点名	緯度	経度	潮位補正前の津波痕跡高(m)	汀線からの距離(m)	遡上(R)・浸水(I)	津波痕跡	信頼度	計測実施時刻	(想定)津波到達時刻	潮位補正参照地点	計測実施時の潮位(m, CDL基準)	津波到達時の潮位(m, CDL基準)	浸水深(m)	地盤高(m, CDL基準)	潮位補正後の津波痕跡高(m)	計測実施者	備考
6-7	福島	小名浜港第7埠頭	N 36°55'44.7"	E 140°52'56.0"	3.96	23.00	I	埠頭上の配電盤内の水跡	A	2011/4/7 12:00	2011/3/11 15:05	小名浜	0.06	0.34	1.29	2.75	3.70	富田・下迫・鈴木・菅野	
6-8	福島	いわき・中之作漁港	N 36°57'43.8"	E 140°57'04.7"	5.52	33.00	I	海に面した建物の背面の水跡	A	2011/4/7 13:43	2011/3/11 15:05	小名浜	0.24	0.34	2.76	3.02	5.44	富田・下迫・鈴木・菅野	
6-9	福島	いわき・豊間地区	N 36°58'50.9"	E 140°57'59.2"	7.94	89.00	I	護岸背後の建物内壁の水跡	A	2011/4/7 14:45	2011/3/11 15:05	小名浜	0.46	0.34	3.72	4.70	8.08	富田・下迫・鈴木・菅野	
6-10	福島	いわき・兎渡路	N 36°58'51.9"	E 140°57'56.4"	7.96	163.00	I	建物内壁の水跡	A	2011/4/7 14:45	2011/3/11 15:05	小名浜	0.46	0.34	0.52	7.92	8.10	富田・下迫・鈴木・菅野	
7-1	茨城	鹿島港南埠頭	N 35°53'8.20"	E 140°41'4.0"	7.04	83.11	I	鹿島港湾運送株式会社ガラス面, 浸水痕	A	2011/4/5 11:37	2011/3/11 15:15	鹿島港	0.16	0.38	2.80	4.40	6.82	栗山・加島・伴野・泉山	
7-2	茨城	鹿島港北埠頭	N 35°55'42.90"	E 140°39'1.60"	4.75	291.08	I	港内建物壁面, 浸水痕	A	2011/4/5 12:50	2011/3/11 15:15	鹿島港	0.34	0.38	1.86	3.23	4.71	栗山・加島・伴野・泉山	
7-3	茨城	鹿島漁港	N 35°58'11.10"	E 140°40'44.80"	3.60	27.31	I	漁港内トイレ, 浸水痕	A	2011/4/5 13:20	2011/3/11 15:15	鹿島港	0.45	0.38	0.80	3.25	3.67	栗山・加島・伴野・泉山	
7-4	茨城	平井海岸	N 35°58'11.60"	E 140°40'22.90"	4.93	209.19	I	海岸トイレ内, 浸水痕	A	2011/4/5 13:50	2011/3/11 15:15	鹿島港	0.58	0.38	0.85	4.66	5.13	栗山・加島・伴野・泉山	
7-5	茨城	大竹海岸	N 36°9'49.60"	E 140°34'39.10"	7.66	56.36	R	崖上, 遡上痕	B	2011/4/5 15:00	2011/3/11 15:15	鹿島港	0.88	0.38	0.00	8.54	8.16	栗山・加島・伴野・泉山	
7-6	茨城	大洗漁港	N 36°18'40.80"	E 140°34'48.40"	4.25	71.97	I	トイレガラス面, 浸水痕	A	2011/4/5 15:50	2011/3/11 15:15	那珂湊	0.90	0.29	1.98	3.17	4.86	栗山・加島・伴野・泉山	
7-7	茨城	大洗アウトレット	N 36°18'29.60"	E 140°34'6.50"	2.62	158.10	I	店舗ガラス面, 浸水痕	A	2011/4/5 16:12	2011/3/11 15:15	那珂湊	0.95	0.29	1.20	2.37	3.28	栗山・加島・伴野・泉山	
7-8	茨城	大洗サンビーチ	N 36°17'52.60"	E 140°33'39.70"	3.72	336.54	I	潮騒の湯横壁面, 浸水痕	A	2011/4/5 16:55	2011/3/11 15:15	那珂湊	1.03	0.29	0.87	3.88	4.46	栗山・加島・伴野・泉山	
7-9	茨城	那珂湊	N 36°20'28.00"	E 140°35'44.40"	3.70	46.67	I	店舗, 浸水痕	A	2011/4/6 8:49	2011/3/11 15:15	那珂湊	0.42	0.29	1.50	2.62	3.83	栗山・加島・伴野・泉山	
7-10	茨城	磯崎海岸	N 36°22'20.20"	E 140°37'26.60"	5.04	19.36	I	護岸上, 浸水(証言), 茨城県常陸那珂港基準点NO.02-19と同じ高さ	C	2011/4/6 9:33	2011/3/11 15:15	日立港	0.30	0.37	0.00	5.34	4.97	栗山・加島・伴野・泉山	
7-11	茨城	阿字ヶ浦海岸	N 36°23'7.20"	E 140°37'0.50"	4.29	40.45	I	護岸上, 浸水(証言)	C	2011/4/6 10:20	2011/3/11 15:15	日立港	0.17	0.37	0.00	4.46	4.09	栗山・加島・伴野・泉山	
7-12	茨城	常陸那珂港ケーソンヤード	N 36°24'37.80"	E 140°36'29.50"	5.37	133.83	I	トイレ内, 浸水痕	A	2011/4/6 10:38	2011/3/11 15:15	日立港	0.13	0.37	1.54	3.96	5.13	栗山・加島・伴野・泉山	

付表－4.1 津波痕跡高の測定結果

番号	県名	地点名	緯度	経度	潮位補正前の津波痕跡高(m)	汀線からの距離(m)	遡上(R)・浸水(I)	津波痕跡	信頼度	計測実施時刻	(想定)津波到達時刻	潮位補正参照地点	計測実施時の潮位(m, CDL基準)	津波到達時の潮位(m, CDL基準)	浸水深(m)	地盤高(m, CDL基準)	潮位補正後の津波痕跡高(m)	計測実施者	備考
7-13	茨城	常陸那珂港北埠頭	N 36°25'58.90"	E 140°36'54.60"	5.04	190.94	I	ひたちなかFAZ物流サイト内, 浸水痕	A	2011/4/6 11:04	2011/3/11 15:15	日立港	0.09	0.37	1.77	3.36	4.76	栗山・加島・伴野・泉山	
7-14	茨城	東海村海岸	N 36°28'49.50"	E 140°36'40.00"	5.81	266.24	I	トイレ内, 浸水痕	A	2011/4/6 12:04	2011/3/11 15:15	日立港	0.11	0.37	0.10	5.82	5.55	栗山・加島・伴野・泉山	
7-15	茨城	日立港	N 36°29'51.00"	E 140°37'24.40"	4.71	181.26	I	日立埠頭3号上屋付近, 電話ボックス内, 浸水痕	A	2011/4/6 12:35	2011/3/11 15:15	日立港	0.18	0.37	1.12	3.77	4.52	栗山・加島・伴野・泉山	
7-16	茨城	日立港	N 36°29'18.50"	E 140°37'9.70"	4.62	124.76	I	日立埠頭株式会社コンテナターミナル事務所壁, 浸水痕	A	2011/4/6 13:17	2011/3/11 15:15	日立港	0.30	0.37	1.57	3.35	4.55	栗山・加島・伴野・泉山	
8-1	岩手	宮古市田老町田老漁港	N 39°44'4.8"	E 141°58'39.0"	14.05		R	製氷施設の手すり, 浸水痕	A	2011/4/15 12:20	2011/3/11 14:48	宮古	0.99	0.33			14.71	有川・佐藤・鷲崎	
8-2	岩手	宮古市田老町田老漁港	N 39°44'18.0"	E 141°58'21.9"	7.09		R	ビルの壁, 浸水痕	A	2011/4/15 12:57	2011/3/11 14:48	宮古	1.03	0.33			7.79	有川・佐藤・鷲崎	
8-3	岩手	宮古市田老町三王遊歩道	N 39°44'0.4"	E 141°58'46.5"	28.23		R	崖の遡上先端, 浸水痕	A	2011/4/15 14:48	2011/3/11 14:48	宮古	0.93	0.33			28.83	有川・佐藤・鷲崎	
8-4	岩手	宮古市田老町樫内漁港	N 39°42'23.6"	E 141°58'29.4"	21.07		R	山の遡上先端, 浸水痕	A	2011/4/15 17:19	2011/3/11 14:48	宮古	0.53	0.33			21.27	有川・佐藤・鷲崎	
8-5	岩手	宮古市シートピアなあど	N 39°38'20.8"	E 141°58'9.5"	7.25		R	シートピアなあどの壁, 浸水痕(建物内の痕跡を参考)	A	2011/4/15 18:24	2011/3/11 14:48	宮古	0.38	0.33			7.30	有川・佐藤・鷲崎	
8-6	岩手	宮古市太田ノ浜	N 39°36'5.0"	E 141°58'19.4"	8.52		R	山の遡上先端, 浸水痕(漂流物)	A	2011/4/16 8:42	2011/3/11 14:48	宮古	0.34	0.33			8.53	有川・佐藤・鷲崎	
8-7	岩手	宮古市太田ノ浜	N 39°36'24.0"	E 141°58'31.9"	16.67		R	山の遡上先端, 浸水痕(漂流物)	A	2011/4/16 9:02	2011/3/11 14:48	宮古	0.35	0.33			16.69	有川・佐藤・鷲崎	
8-8	岩手	宮古市重茂	N 39°36'8.0"	E 142°1'32.0"	25.91		R	道路上の木くず, 浸水痕(漂流物)	A	2011/4/16 10:12	2011/3/11 14:48	宮古	0.52	0.33			26.10	有川・佐藤・鷲崎	
8-9	岩手	宮古市重茂鵜磯小学校	N 39°36'58.5"	E 142°1'8.7"	26.03		R	倉庫の壁, 浸水痕	A	2011/4/16 10:48	2011/3/11 14:48	宮古	0.63	0.33			26.33	有川・佐藤・鷲崎	
8-10	岩手	宮古市重茂仲組漁港立浜地区	N 39°38'8.4"	E 142°1'16.0"	19.09		R	山の遡上先端, 浸水痕(漂流物)	A	2011/4/16 11:26	2011/3/11 14:48	宮古	0.76	0.33			19.52	有川・佐藤・鷲崎	