

東日本大震災特集

東日本大震災 災害復旧現場レポート

～あれから1年 被災地区から、いま～

道路・橋梁	新北上大橋災害応急工事	P. 4
漁港岸壁	石巻漁港 災害復旧	P. 7
河川護岸	小野川災害復旧工事	P. 9
	利根川（松岸地区、および波崎地区）災害復旧工事	
復興計画	石巻市の復興計画を聞く	P.12

未曾有の震度を観測した地震と、想定外の波高を記録した大津波による被災から1年が経過した。数多くのインフラが破壊、消失、寸断され、私たちが長年かけて築き上げてきた資産の多くが失われてしまった。

しかし、国土とそこに暮らす人々にとって社会インフラの復旧と再整備は急がれるものであり、今後の再生とより強固で安全な社会構築のため土木とそこに果たす鋼管杭・鋼矢板の役割は大きなものがある。

震災から1年が経過し、現在、進捗する復旧現場の現状を道路・橋梁、港湾、河川の各分野でレポート。併せて、被災地での今後の都市復興計画も探ってみた。



仮橋開通済みの新北上大橋

道路・橋梁

上部工流失という大津波にも耐えた 鋼管杭による橋梁基礎

～新北上大橋災害応急工事～

昭和47年の道路橋示方書による 鋼管杭（斜杭）基礎のトラス桁橋

新北上大橋は、宮城県登米市で旧北上川と流れを分かち、追波湾に注ぐ新北上川の河口から約3.7kmに位置する、橋長約566mのトラス桁橋である。

竣工したのは、昭和51（1976）年12月。適用された道路橋示方書は昭和47年のものである。下部工については一部橋台（A2）は直接基礎であるが、A1、およびP1～P6の橋台と橋脚は、外径800mmの鋼管杭を使用している。

下部工の鋼管杭で特徴的なのは、P6を除く橋台、橋脚に斜杭構造が用いられていることである。

この構造背景には、本橋を管理する宮城県東部土木事務所の担当が以下のような見解を寄せてくれた。「当時の設計意図を明確に図る資料が残っていないが」との前置きで、「架橋ポイントとなる地層は、おおむねN値10以下のシルト層で軟弱な地盤である。当該基礎の推定支持層は砂質土（Ds2層）のN値30以上となっており、その上面に1D

（800mm）以上の根入れを確保している。深度59～60m付近のN値60の地層を狙って杭を打つ兼ね合いも含めて、当時は斜杭が構造的にもコスト的にも最適だったのではないだろうか」とのことである。



新北上大橋位置図

巨大津波の直撃で 2径間155mの上部工を流失

新北上大橋を巨大津波が襲ったのは、地震発生後およそ50分後の15時36分ごろのことであった。

事後、国土交通省の水位計データの解析によれば、津波は北上川河口で7m以上の高さになり、河口から17km地点にある高低差3mの堰も乗り越えたとみられるという。

新北上大橋 橋梁諸元

完成	昭和51（1976）年12月
路線名	一般国道398号
橋種	2径間+2径間 +3径間連続下路式トラス桁橋
橋長	L=565.69m
支間長	2@76.9+2@76.9+3@84.78
幅員	車道：W=7.5m 歩道：W=2.7m
設計荷重	TL-20（道路橋示方書 昭和47年）

この大きな津波にのみ込まれた新北上大橋は、左岸側の2径間155mのト

ラスを流失。落橋したトラス桁は、現在でも700m上流の河中に没したままとなっており、津波の外力のすさまじさを追体験させる。その他、損傷個所の所見は、次のとおりであった。

●P3橋脚支承（ピン支承）のズレ

2径間連続トラスの中間支点であるP3橋脚部において、固定ピン支承の上沓と下沓が水平方向に約60mmズレている。



上沓と下沓でズレを生じたP3橋脚

●トラス主構・下弦材の変形

端支点部（A2橋台）のトラス主構・下弦材は、上下流ともに軸圧縮力により局部座屈が生じた想定され、部材板要素の面外変形が確認された。

●下部工の損傷

A1橋台、P1～P2橋脚は、上部工の落橋に伴い、沓座部のコンクリートに断面欠損等の損傷が発生した。

襲来した津波の方向に加え、水平力と上揚力が落橋の要因に

新北上大橋の上部工落橋の要因は次のように推測されている。

まず、第一に考えられるのが想定をはるかに超えた、新北上大橋に向けた巨大津波の外力である。三陸海岸各所を襲った津波は、追波湾奥にある長面地区の海岸線を一気に消失させ、新北上川右岸をのみ込む被害をもたらした。地震による地盤沈下の影響もあるが、この地区は現在でも津波の外力による陸地消失で壊滅的な状態にある。

この、計り知れないパワーをもった津波が直線的に一気に押し寄せたのが、新北上大橋の個所では左岸側2径間ではないかと推測される。

さらに、本橋下流側には歩道部床版

が張り出しており、落橋しなかった箇所でも広範囲に歩道部床版がめくれあがっていた。この、床版のめくれあがりにより津波の水平力が増大し、浸水による橋梁上部工の上揚力と合わせて流失という結果になったものと考えられている。

現在も、落橋部の下部工であるA1橋台とP1、P2橋脚には、落橋防止装置であったPCケーブルとブラケットが破断したままの状態に残っている。想定外の津波の威力から、自然災害の恐ろしさをまざまざと感じさせる痕跡となっている。

地震と津波の外力に健全性を発揮した鋼管杭基礎

津波によるトラス桁橋の流出という被害の一方で、マグニチュード9.0、最大震度7を記録した地震の下部工への影響はほとんどなかったと判定された。

実際、地震発生直後に本橋を通行して避難したという報告もあり、津波以前は巨大地震の揺れにも耐え、橋全体は健全であった可能性が高い。

震災後には、橋脚が地震もしくは津波により傾いているかの調査が、水平器を用いて行われた。

その結果、水位が高くて計測できなかったP1橋脚以外は橋軸方向、および直角方向ともにすべて、ズレや傾きは確認されなかった。地震、および津波に下部工が耐え、健全性を保ったのは次のことが要因として挙げられる。

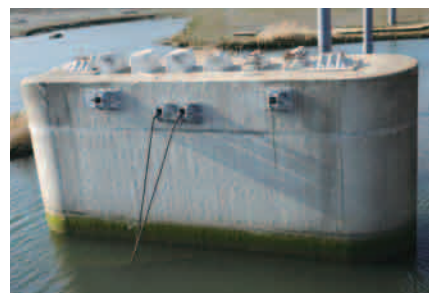
- 1) 地震時の影響は当初の設計範囲内に収まったと考えられる。
- 2) 津波の影響は、より大きな橋脚耐力を有している橋軸直角方向の水平力であったことから、橋脚・基礎工ともに健全であったと考えられる。
- 3) 鋼管杭が引抜き＋水平力に対する杭本体の耐力が強い構造であったと考えられる。

さらに、地盤調査、ボーリング調査、深浅測量による洗掘の状況確認などの地質調査でも、当初地盤からの影響がほとんどみられなかったため、液状化等による被害が出なかったことも大きな要因として挙げられるという。

地盤への変位が発生しなかったことに加え、引抜き・水平変位に強い鋼管杭を用いた基礎工が、地震と津波という想定外の外力に対して、その耐力を発揮したという好例となるであろう。

災害復旧の要を担う橋として 工期重視の仮橋建設が行われた

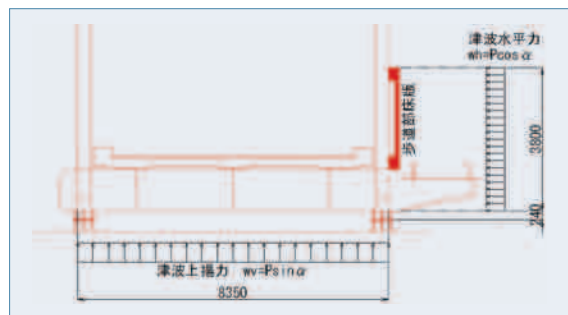
新北上大橋が架かる国道398号は、石巻市街を起点として女川町を通過し、石巻市の雄勝地区、北上地区から南三陸町という三陸海岸沿岸部を通り、登米市、栗原市など内陸部に入り、秋田県由利本荘市へと至る主要幹線である。



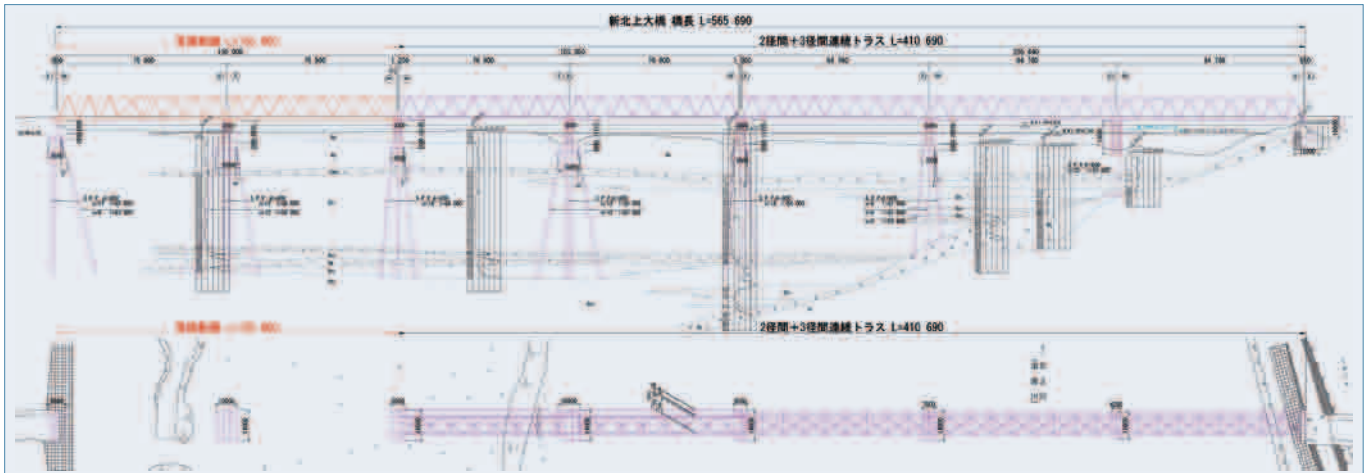
落橋による傷あとを残しつつも基礎としては健全性を保ったP2橋脚



水平器による測定で橋軸・直角とも90度を計測



歩道部床版のめくれあがりによる影響について



新北上大橋 橋梁一般図

他県へとまたがる生活、産業道路としての目的のほかに、非常事態発生時は第2次緊急輸送道路としても指定されており、今回の大震災発生後も重要な役割を担うべき路線であった。

新北上大橋の落橋による国道398号の寸断の間、約12km上流の飯野川橋まで往復でおよそ40分もの迂回を強いられていた。そのため、生活道路としての重要性に加えて、工事車両や資材運搬など災害復旧の要を担う橋として、早期の仮橋建設が求められた。

こうした背景から、仮橋の設計と工法選択のポイントとなったのは次の通りである。

- 残存するP2橋脚～A2橋台の上部工は応急復旧で利用可能であることから、落橋部分のみを仮橋で暫定供用する。
- 支間割は地震による河床の地盤沈下の影響で高水敷からの支持杭打設ができなため、仮橋上から順次打設、桁架橋が可能となる工法が採用された。

施工上のスピードを最重視するということで、鋼桁での仮橋建設が採用された。その径間についても、河川管理者との調整の上、なるべく短いスパンで行われた。ワンスパンを製作したらクレーンがそこに移動し、片押しでの施工でスピードアップを図った。また、本橋の本復旧の施工時には、この仮橋が仮設橋として転用できるようにという狙いもあるという。

昨年7月から始まった仮橋工事は休日返上の突貫体制で行われ、当初は年内の完成を見込んでいたものの1か月半も前倒しがされ、2011（平成23）年10月17日に開通した。

「地域の復旧・復興に弾みがつく」と大きなよろこびをもって迎えられた仮橋開通だが、今後の本格的復旧については新北上川の総合的な河川復旧の詳細が未定のため、最終的な決定に

は至っていない。

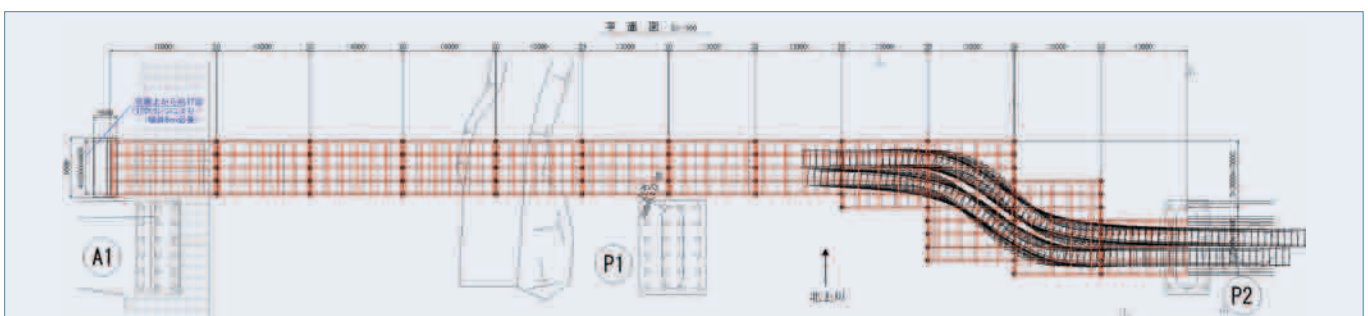
ただし、現況復旧となった場合でも、落橋部分の残存橋脚は補修工事を行うことで使用が可能だという。鋼管杭基礎の高耐力と災害への強靱さを発揮した事例となるのではないだろうか。



現在供用中の新北上大橋



上流700mには流失したトラスが残る



仮橋 平面図



満潮時には半ば水没する-7m栈橋の現況

漁港岸壁

鋼管杭や鋼矢板など、さまざまな工法の適用が検討される国内漁業基地の雄

～石巻漁港 災害復旧～

充実したハード面を誇る 日本有数の大規模漁港

特定第3種漁港と呼ばれる漁港が日本に13港ある。水産業の振興のために特に重要であるとして政令で指定された漁港のことで「特三（とくさん）」と略して呼ばれることが多い。

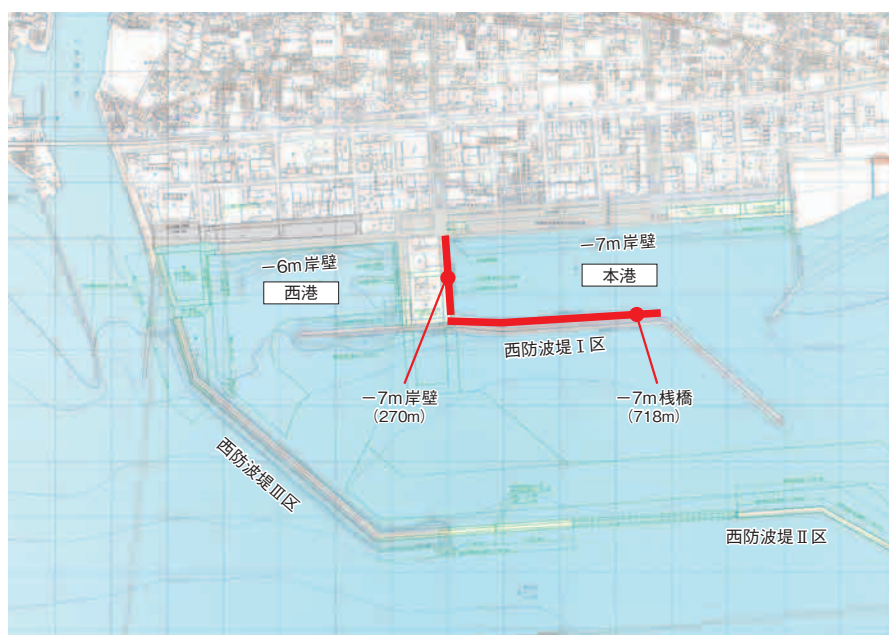
全国13港のうち宮城県には石巻、気仙沼、塩釜と3港の特三がひしめき、三陸海岸の水産資源の豊穡さをうかがうことができる。

その中でも石巻漁港は、水揚量と漁港の施設規模で他を圧倒。ハード面では-7mの設計水深を誇る水揚岸壁を持ち、その延長も1200mと日本でも最大級の施設規模を有する漁港として知られている。

重要漁港として昭和30年代より国の補助事業で漁港整備事業が営々とすすめられ、昭和49（1974）年には東側の本港に対して新港となる西漁港

も開港。本港に匹敵する-6m岸壁を約700mの規模で備えるなど、漁港としての規模と質的な向上を果たしてきた。

これら、メイン施設を守る外郭施設としてある防波堤・防潮堤も充実した施設内容で、延長1500m近い西防波堤Ⅲ区と延長1300mの西防波堤Ⅰ区で



石巻漁港 施設概要図

漁港の前面を守り、延長600mの西防波堤Ⅱ区で沖合の波から漁港と出入りする船を守っている。

こうした、漁港施設の背後には魚市場の管理事務所や水産加工会社など大型の施設が建ち並び、幅員50mをはじめとした大小が交錯する臨港道路の整備により、一漁港を超えた水産資源基地としての威容を誇っていたのが、震災以前の石巻漁港であった。

漁港全域で約400億円の被害総額を計上

石巻漁港を襲った地震と津波による被害は甚大なものであった。古くは旧北上川河口部にあった漁業施設の外港として、埋立工事によって成立している漁港なので、地盤はおおむね軟弱で防波堤などの各施設は地盤改良を施して、40～50m級の支持杭を打設するなどして築造されている。そのため、今回の巨大地震により漁港区域全般が地盤沈下を起こし、防波堤先端部では最大3mの沈下量を記録している。他の施設、地区でもおおむね1.2m～1.3m程度沈下してしまった。

地殻変動による地盤沈下に加えて、14～15m規模の波高の津波被害も深刻だった。漁港後背の水揚施設や水産加工施設は壊滅状態で、岸壁等も2m近く沈下したために満潮時には海水が流入してくる状態が長く続いた。

現在は強制排水と本港岸壁部を中心とした主要部の嵩上げ応急工事の完了で浸水被害は脱しつつある。

津波被害の大きさを象徴的に物語るものに、西港地区、中防波堤に隣接した東波除堤の流失が挙げられる。

東波除堤は、鋼管杭基礎にカーテンウォール式の壁が乗っている構造だったが、設計で想定した波力を大きく上回る津波の第一波と、その後の引き波の威力で鋼管杭が破断し、138mの波除堤のうち約100mが流失して海中に水没してしまった。

このように、漁港関連のほぼ全施設が被害を受けた格好となった石巻漁港は、漁港本体施設だけで被害総額は約400億円と試算されている。

次に代表的な被災箇所の状況を紹介していきたい。

沈下施設の嵩上げ工を基本にさまざまな工法を検討

本港西側に延長270mの規模で位置する-7m岸壁は、その全域で約1.15mの沈下を引き起こしている。

護岸前面の鋼矢板頭部変位は、矢板法線の出入りが全体で46cmで海側へのはらみ出しという状態になっている。また、エプロン部も陥没しており、常時冠水状態となっている。

今後の復旧工事としては、沈下部の嵩上げを基本とした原形復旧が行われ



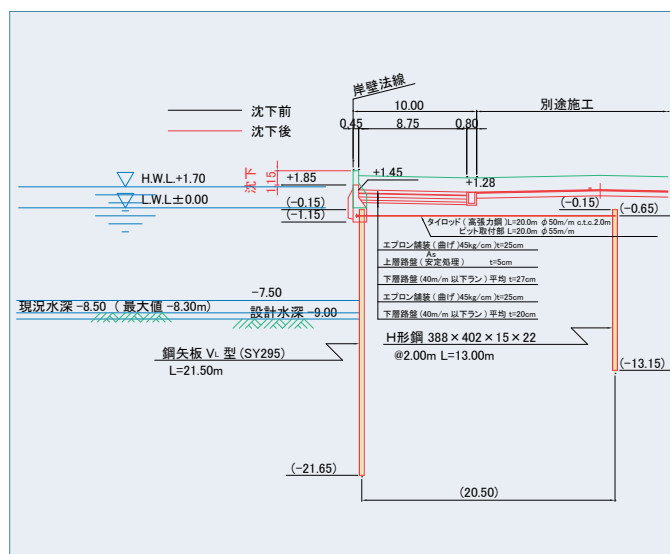
昨年3月15日 被災間もない石巻漁港の様子

る予定である。その中で、法線ズレを起こしている鋼矢板については既存の矢板よりも若干前出しでの新設が、また、陥没しているエプロン部へは鋼管杭の新設が検討されている。

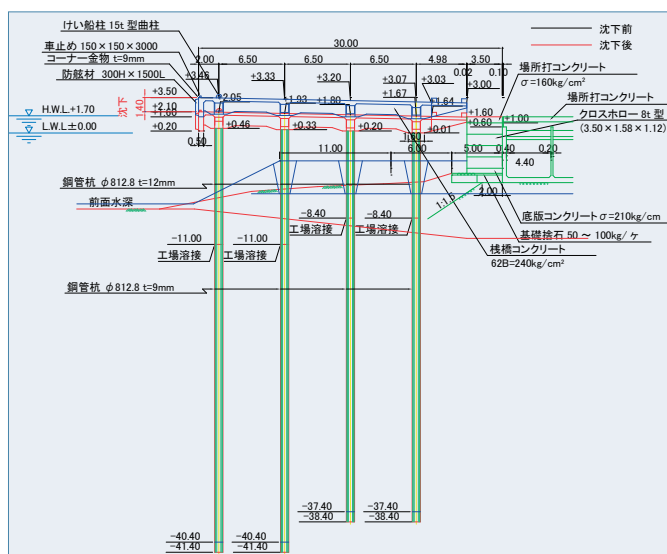
一方、本港の海側には休憩・出漁準備用の係船施設である-7m栈橋がある。総延長718mとなるこの施設も、全体で約1.4mの沈下を起こしている。沈下による影響は漁港施設内で最も深刻で、満潮時には栈橋の半分近くが水没してしまう状態が続いている。

当施設の復旧についても、必要な箇所には鋼管杭基礎の新規打設を行い、その上で沈下した栈橋天端の嵩上げを行う工法などが検討されている。

これら、石巻漁港の復旧事業は平成23年度後半から順次事業化され本格化する見込みである。一日も早い復旧を果たすとともに、今後の災害にもより強く安心な漁港施設として、日本を代表する水産基地としての活況を取り戻すことを願うばかりである。



-7m岸壁被災断面図



-7m栈橋被災断面図



周辺住宅地にも液状化による大きな被害が発生した小野川流域

河川護岸

迅速性、狭隘地施工、将来への液状化対策と さまざまな点を考慮し、採用された鋼矢板

～小野川災害復旧工事～

水郷の風情をいまに伝える 流程5.8kmの一級河川

小野川は千葉県香取市下小野に源を発し、北西へと流下。途中で香西川を合わせ、佐原の市街地を北上して利根川本流に合流する、延長5.8kmの一級河川である。

その下流部、忠敬橋付近の佐原の町並みには伊能忠敬旧宅（国指定史跡）に代表される重要伝統的建造物群保存地区として知られ、“小江戸”の風情を味わおうと多くの観光客も訪れる。また、江戸・明治期の佐原は利根川に至る小野川の水運で栄えた町でもあり、伝統的建造物とも相まって、情緒あふれる水郷の風情をいまにたたえている。

そうした、歴史的情緒にあふれた反面、小野川は利根川洪水時にその水位の影響を受けるとともに河道の流下能力不足などが障害となり、歴史的な氾濫をたびたび経験している。1971（昭和46）年9月の台風25号接

近時には約1000ha、合計479戸が浸水被害を受け、1999（平成11）年10月の集中豪雨では約200ha、682戸が浸水するという大きな被害を出している。

そんな経緯から、小野川では昭和50年代から流水のバイパス機能を持つ分水路と遊水池を備えた小野川放水路事業を推進。2004（平成16）年にすべての工事が完成し、大洪水の危険はクリアされた。

わずか5.8kmながら利根川支流の一級河川として指定されているのには、こうした歴史的文化的価値と治水管理の困難さがあってのことなのである。



小野川流域 概要図

液状化と側方流動により 最大2mもの大きな変位が発生

2011年3月11日、小野川を襲った地震は予想外の大きな被害をもたらした。北脈橋が架かる国道356号線以北、排水機場のある利根川合流点手前までの約400mで大規模な河床隆起と、護



震災直後 河床隆起の状況



震災直後 護岸損壊の状況

岸の川側へのはらみ出しが発生した。

小野川の川底は噴出した土砂で完全に閉塞され、停泊していたボート類が完全に座礁状態となったほか流水もどこおるありさまとなった。護岸については最大で2mも川側へ移動したという被害状況であった。

この付近の国道356号線の大部分は、明治期まで利根川の堤防であった。そのため、今回、被災を受けた地帯は昔は河川敷だったという地盤成因上のもろさがあり、大きく長い地震の揺れから液状化が発生した。小野川兩岸の地盤では側方流動が発生、護岸の押し出し倒壊と、河床の隆起を加速したものと推測されている。

この被災の状況は、小野川の当該400m区間だけにとどまらなかった。旧河川敷の国道356号線より利根川寄りの域内は、香取市役所周辺などをはじめとして激しい液状化とそれに伴う地盤沈下を起こしており、十間川など他の市管理の河川でも小野川同様の被害が出た。

掘削による河川機能復旧に、最も迅速な工法として採用された鋼矢板

被災にあった旧護岸は、兩岸でそれぞれ400mという広範囲になるため、築造の年代もまちまちで鋼矢板を打設してブロック積みをしたものから、単純にブロックを根入れしただけの掘込み護岸まで形式もさまざまであった。いずれにしても液状化を想定した護岸

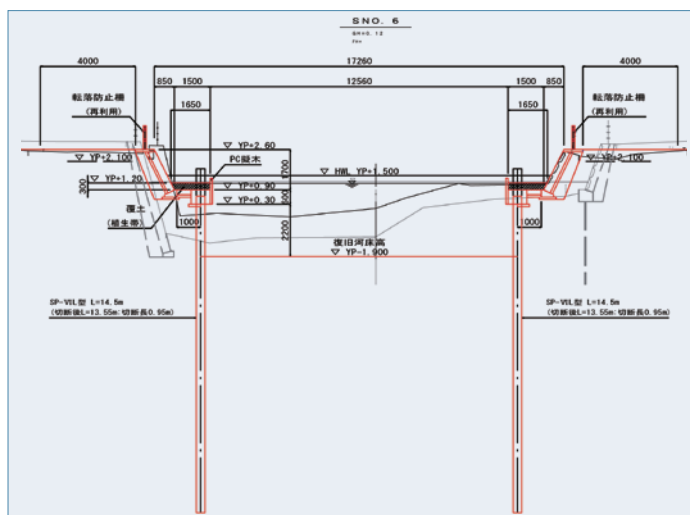
構造はなく、今回の被害は起こるべくして起こった事例ともいえる。

災害復旧に向けて、まず取られたのは河床掘削である。河川内にバックホーが投入され、流量確保のための滯筋が応急的に掘られた。

その後、本格的な災害査定を受けて、昨年10月より護岸工復旧のための工事が本格着工された。

新設する護岸の設計については、現地ボーリング調査を行い、今回の被災要因である液状化への検討が行われた。その結果、一部にはFL値1以上の地層があるものの大部分でFL値1以下となるため、液状化対策を考慮した設計がなされた。

その上で河川断面の決め方として、今後の民地の復興計画を想定に、4m道路を確保する位置に新設護岸を設定。災害復旧工事の最終目的とは、従来の流量確保を目指した河道掘削のため、護岸築造には鋼材を土留めとして利用し、もっとも短時間で河床の掘削に工程を移すことのできる鋼矢板の打設による施工が採用された。コンクリート系の工法であれば一定の養生期間が必要であるが、鋼矢板であれば打設直後から河川機能回復のための掘削が可能になるからという判断である。



復旧時設計標準断面図

シンプルな構造ながら粘り強く 工期も迅速で災害復旧に強み

本工区で採用された鋼矢板は、すべてVL形で2枚継ぎの14.5mというものである。

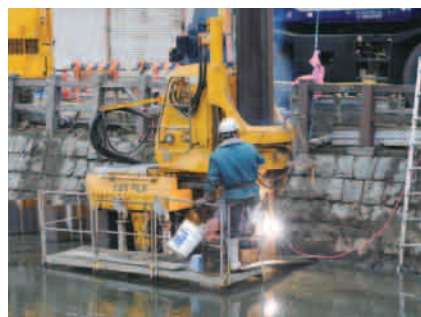
VL形という強固な仕様が考慮されたのは、液状化検討の結果による。検討時の判定計算では、常時変位量を5.0cm以下、地震時変位量を7.5cm以下と設定。IVw形、VL形などさまざまな仕様検討比較から、常時変位量2.1cm、地震時変位量7.1cmと両方の基準を満たしたVL形が採用された(使用材はSYW295、総量は1398枚)。

右岸367m、左岸336mの工事延長は、左右それぞれ2工区に分けられ、全4工区で鋼矢板打設が進められた。

狹隘地への搬入の取り回しを考慮し、打設される鋼矢板は2枚継ぎとされたため溶接作業が発生している。雨天時は、溶接の品質確保から打設が見合わされることもあるというが、現地での施工実績は1日当たり6～7枚と



VL形鋼矢板 打設状況



VL鋼矢板 溶接状況



搬入の取り回しから2枚継ぎの鋼矢板を打設する

いう設計時の積算値をやや上回るペースで進行。4工区すべてで打設が完了している。

被災によって失われた河川流量機能の回復を図り、地域への安全を確保する。その目的のための護岸復旧に、工期・工程の迅速性を実現し、シンプルな構造で将来の地震時変位量対策も確保できるという、鋼矢板工法の有効な活用事例となっている。



利根川本流側から工区全体を見る

利根川（松岸地区、および波崎地区）災害復旧工事

利根川本川でも延長6.9km 多数の箇所の護岸が被災

小野川に代表される支流部の被害も深刻であるが、利根川本川でも震災により多くの箇所が被災している。その数は、利根川下流河川事務所管内だけでも、千葉県側・茨城県側併せて25箇所。護岸延長の合計は6.9kmにもものぼっている。

震災直後から出水期が始まる6月までの短期間で応急的な復旧工事が施されていたが、非出水期に入り始めた11月ごろから相次いで、護岸機能の本格的回復のための工事が開始されている。

まず、利根川右岸約5kmに位置する松岸護岸では、既設護岸の前倒れと護岸沈下による被災で延長190mの区間で鋼矢板による災害復旧工事が行われている。

打設される鋼矢板はⅡw形（SYW295）のL=10.5mで、使用総量は331枚（他、異形鋼矢板4組）となっている。満

潮時は塩害の恐れのある工区なので、ウレタンエラストマー被覆による重防食（L=2.55m）を採用している。

バイプロハンマを用いた打設が行われるが、地層の下端にN値50程度の強固な地

盤が存在するので、ウォータージェットを併用しながら1日当たり20～30枚のペースで打設・貫入される。

松岸地区からほぼ真向かいに位置する波崎地区でも同様の災害復旧工事が行われている。こちらも、タイロッド式低水護岸の沈下と前倒れ、天端ブロックの破損等の被災を受けて、延長825mの災害復旧工事が行われている。

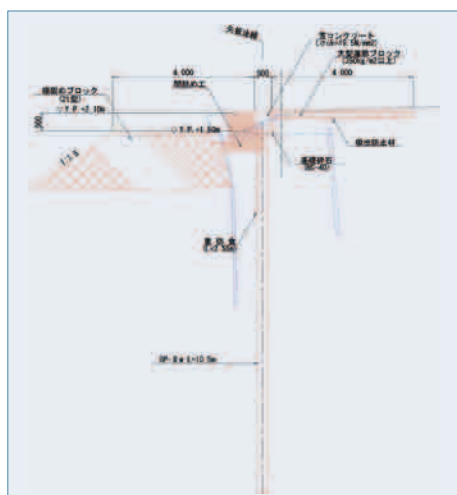
打設される鋼矢板は、松岸地区と同じⅡw形（SYW295）・L=10.5mの重防食（L=2.55m）仕様で、使用総量は



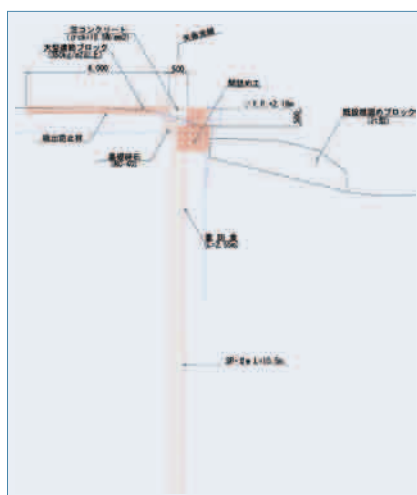
松岸地区・波崎地区護岸 位置図

724枚（他、異形鋼矢板4組）。こちらも、バイプロハンマによる打設だが、地盤に強固なところはないために先行掘削は行われていない。そのため、1日当たりの平均打設枚数は30～40枚と順調なペースで施工された。

昨年末には松岸・波崎いずれの護岸でも鋼矢板の打設は完了。その後は、根固めブロック据え付け、コンクリートブロック張り順次施工され、松岸地区では2月末、波崎地区では3月中旬に所定の災害復旧工事が完了している。



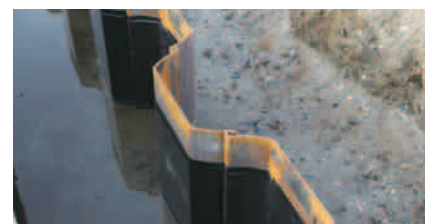
松岸地区 復旧時標準断面図



波崎地区 復旧時標準断面図



松岸地区 鋼矢板打設状況



両地区とも重防食被覆の鋼矢板が使用されている

災害に強いまちづくりを

～石巻市の復興計画を聞く～



震災後1年が経過、災害の爪跡が生々しく残る石巻市門脇地区

中心市街地エリアは 高盛土道路の整備など、 防災を意識した整理事業を推進

まず、旧北上川河口部に位置する中心市街地エリアは、河川堤防と一体となった街づくりを基本とし、新たな都市活用手法を導入しながら市街地再開発を行う予定だという。そこで、目を引くのが特に被害が甚大だった海岸部エリアを、海岸防潮堤と高盛土道路で囲み、安全上の観点から原則非可住地として再整備しようということだ。

海岸部エリアに関しては、公園等の整備とともに道路網による交通の便利

性を活かし、石巻港や石巻漁港を活用する製造業や水産加工業の集積地として、地域の産業ゾーンとしての復興を担う土地利用を推進するという。

一方、高盛土道路から内陸部は住民の意向を踏まえながら土地区画整理事業をすすめる、公営住宅などの整備も併せて住宅地の早期開発で、良好な住環境の創出を図りたいという。

沿岸部・半島部は高台移転 などと併せて漁業復興への 環境整備が急がれる

2005（平成17）年に1市6町が合併し

て市域が拡大した石巻市は、旧雄勝町や旧牡鹿町など津波により壊滅的被害を受けた沿岸・半島部のエリアが広大に存在する。

こうした地域についても、今後想定される最大級の災害に備える目的から、安全な高台とする土地利用を推進する。ただし、この場合も住

民の意向を踏まえることに加え、高齢化や人口流出による集落の維持が困難にならないよう配慮が必要だという。

また、石巻市内には44の漁港が存在し、すべてが甚大な被害を受けており、日常的な冠水など漁業再開に大きな支障を残している。住民の移転事業に伴う土地利用とも関連しながら、漁業の復興を図る環境整備を図っていききたいという。

継続的な財源と人的支援で 着実かつスピーディーな 復興を目指したい

今後、こうした施策を推し進めていくために課題となるのは、住民の合意形成に加えて財源の確保、そして行政のマンパワー不足だという。

財源に関しては現時点の復興交付金が平成27年度までの5カ年での集中的な執行が想定されているが、あまりにも甚大な被害に対して5カ年以上の期間を要することが想定されるため、確実な財源確保を望むという。マンパワー不足に対しては、国・県等の諸機関には継続的な人的支援を要望。さらに、行政のみで復興を成し遂げることは不可能なため、産業界をはじめとした民間との連携も模索しながら一日も早い復旧を目指していきたいという。



石巻市街部の将来構想



岩手県宮古市（旧田老町） 防潮堤を越えた津波の状況

写真提供：田老町漁業協同組合

東日本大震災特集

東日本大震災 調査報告

1. はじめに

当協会は、地震発生後の平成23年3月第7回理事会において、協会として独自に本地震への取り組みを実施する方針が決議され、4月に道路・鉄道技術委員会、港湾技術委員会、建築基礎技術委員会、鋼矢板技術委員会の中に震災対応チームを設置した。

各委員会の震災対応チームは、各分野の鋼構造物（鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板）に着目し、被災状況の把握、鋼構造物に対する耐震性と被災メカニズムの解明に取り組むべく、公開調査結果やヒアリング結果をもとに調査場所を選定、一次調査として平成23年4～6月に現地調査を行った。

道路・鉄道分野では、阪神大震災で無被災であった鋼管

平成23年3月11日14時46分頃 三陸沖を震源（深さ24km）とし、我が国観測史上最大のマグニチュード9.0を観測したプレート境界型の巨大地震が発生、気象庁により「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」と命名された。

本地震は、地震動による被害のみならず、巨大津波発生により、東北地方から関東地方の太平洋沿岸にかけて広範囲かつ甚大な被害をもたらすこととなった。

ここに、当協会各委員会の調査結果をレポートする。

矢板基礎と、大震災を経験していない鋼管ソイルセメント杭・回転杭に的を絞り調査を実施した。

港湾分野では、広範囲にわたり重力式防波堤や防潮堤が壊滅的に倒壊等の被害が見られる中、鋼管杭栈橋・鋼製波除堤及び鋼製護岸について調査を実施した。

建築分野では杭基礎構造物の津波に対する被災事例がみられたため、津波被害に焦点をあて石巻市内の鋼管杭基礎構造物を調査した。

鋼矢板分野においては、鋼矢板が採用されている河川堤防、河川護岸、道路擁壁、二重鋼矢板仮締り堤の4つに大別して調査を行った。

本報告はその概要を整理したものであり、各分野の被災状況を取りまとめている。

2.1 道路・鉄道基礎の被災状況

(1) 全体概要

鉄道・道路分野における橋梁基礎の被害は、随時応急復旧が進み、4月上旬時点で高速道路・国道・新幹線等がほぼ通行可能となったことから、甚大な被害は現段階で確認されていない。

また、津波により上部工・下部工が流失した橋梁（気仙大橋（写真2.1.1）、小泉大橋（写真2.1.2）、外尾川橋、歌津大橋（写真2.1.3）、新北上大橋、鹿行大橋等）はあったものの、地震のみによる基礎本体の損傷は軽微であったものと推測される。



写真2.1.1 気仙大橋



写真2.1.2 小泉大橋



写真2.1.3 歌津大橋

(2) 調査結果

今回の調査では、公開調査結果やヒアリング結果を基に鋼管杭基礎・鋼管矢板基礎の被災調査箇所の選定を行い、鋼管矢板基礎14件、鋼管ソイルセメント杭6件、回転杭3件、計23件の現地調査を行った。

地震動のみによる基礎本体の損傷には下記のような傾向があった。

- a) 盛土構造自体の崩壊
- b) 背面盛土部の崩壊による段差
- c) 支承部破損に伴う上部工の移動による段差
- d) 橋脚のせん断破壊
- e) 路面のひび割れ

今回の鋼管杭基礎、鋼管矢板基礎の調査においても、支承部の変形（写真2.1.4）、橋台部での堤防法面のひび割れ（写真2.1.5）、桁端部でのずれ（写真2.1.6）は若干確認されているが、基礎本体部に大きな変状は見られておらず、ほぼ健全であったと考えられる（写真2.1.7～写真2.1.9）。



写真2.1.4 支承部の変形



写真2.1.5 橋台法面のひびわれ



写真2.1.6 桁端部でのずれ



写真2.1.7 米谷大橋（鋼管矢板基礎）



写真2.1.8 磐城バイパス橋梁（鋼管ソイルセメント杭）



写真2.1.9 宮の下高架橋（回転杭）

2.2 港湾構造物の被災状況

(1) 全体概要

港湾構造物では、公開調査結果やGoogleの航空写真から鋼材系工法の被災地点を抽出し、図2.2.1に示す地点にて現地調査を行った。

東北地方の多くの箇所で、防波堤や防潮堤が倒壊する等の大きな被害が見受けられた（写真2.2.1、写真2.2.2）。また、津波によって多くの船舶が漂流して港湾施設に衝突したり、陸上に乗り上げる等の被害が発生したり（写真2.2.3）、港湾域の工場等で被害が出ていた（写真2.2.4）。一方、岸壁や護岸構造物の被害は防波堤に比べると限定的であった。

青森県から宮城県にかけての岸壁は、港湾構造物の被災に影響を与える周波数成分（0.3～1.0Hz）が少ない地震動であったため大規模な被害は生じていない。一方、福島県から茨城県にかけての岸壁で、埋立により築造されたものは、港湾構造物の被災に影響を与える周波数成分が比較的多かったため、地盤の液状化による被害が見受けられた。

また、今回の地震による被害は、地震の後に津波が作用したことや、大きな余震が繰返し発生したことにより被害程度が増加していったものと考えられる。



図2.2.1 主な調査箇所



写真2.2.1 釜石湾口防波堤の被害*



写真2.2.2 大船渡市三陸町の防潮堤被害*



写真2.2.3 岸壁に打ち上げられたタンカー（釜石市）*



写真2.2.4 石巻漁港の工場被害*

(2) 調査結果

調査を行った中で、代表的な被災事例を紹介する。

1) 久慈漁港

久慈漁港はブロック積み護岸を鋼管杭栈橋で前出した船着き場と鋼矢板による護岸で構成されている。鋼矢板護岸は隅角部で被災が見られた。船着き場では、渡版が半数以上落下しており、一部区間のブロック積みが前傾し背面が陥没していた（写真2.2.5）。また、鋼管杭の防食工（モルタル被覆）のFRPカバーの脱落が見受けられた。



写真2.2.5 久慈漁港；渡版落下・背面陥没

2) 気仙沼漁港栈橋

気仙沼漁港については魚市場周辺で調査を実施した。気仙沼漁港は約70cmの地盤沈下が発生した地域である。栈橋の上部工が流出しており、背後地は浸水している。栈橋は海側から陸側にかけて3列の構造であると思われるが、海側から1列目は水没しており状況を確認することはできない。2列目は杭頭部に上部工が残っているが、3列目は上部工が流出して、鋼管杭頭部が露出している。また、3列目の鋼管杭頭部の標高が高く、他とは構造が異なっていると考えられる（写真2.2.6）。



写真2.2.6 気仙沼漁港；栈橋上部工の流出

*は、Yahoo! JAPAN HP「写真保存プロジェクト 復興支援東日本大震災」より引用

3) 石巻漁港波除堤

東波除堤の一部は被災しており、カーテン式構造が陸上に引き上げられていた（写真2.2.7）。被災状況であるが、カーテン側の鋼管杭はカーテンウォールの下部で破断している。後面の斜杭は座屈を生じているものや、中詰めコンクリート部で破断しているものもある。想定外の大きさの津波による被災と思われる。



写真2.2.7 石巻漁港：波除堤の鋼管杭破断状況

4) 相馬港1号埠頭

鋼矢板岸壁の海側へのはらみ出しと背後地盤の流出が見られた。約2mピッチで設けられたタイワイヤーが破断しており、鋼矢板の爪が離脱している。本地点では、地震によるタイワイヤーの破断により鋼矢板岸壁が海側へはらみ出し、さらに津波の洗掘により土砂流出が起こり、被害が拡大したものと推察される（写真2.2.8）。



写真2.2.8 相馬港1号埠頭：直線部の破損・洗掘

5) 小名浜港第3埠頭（－10m）

第3埠頭は主に石炭荷役、バルク用のクレーンが設置された矢板式岸壁（－10m）である。

東側岸壁では、法線のはらみ出し（最大50cm程度）の発生および、埠頭内地盤の液状化により、石炭用アンローダーの陸側レール背後において地盤沈下や、1m程度の段差が観察された。また、クレーンケーブルダクト支柱の傾斜が見られた（写真2.2.9）。



写真2.2.9 小名浜港第3埠頭：岸壁背面の液状化

6) 那珂湊漁港

那珂川左岸の開口部奥に位置する那珂湊漁港では、矢板式岸壁のはらみ出しが確認された（写真2.2.10）。背面の舗装部分は水没しており、津波によって裏込め部が洗い出されたと推察される。また、上部工が傾斜し目地部も開いていた。



写真2.2.10 那珂湊漁港：鋼矢板岸壁のはらみ出し

2.3 建築基礎の被災状況

(1) 全体概要

今回の地震では、比較的震源に近い地域において非常に大きな地動加速度が観測されたが、建物倒壊等の被害は比較的少なかった。一方、東日本の太平洋沿岸部各地で観測された大津波は、多くの地域で建物の流出・転倒・崩壊・傾斜等、甚大な被害をもたらした。特に宮城県牡鹿郡女川町においては、杭基礎構造のRC造・S造建物が転倒・移動するという被災事例も発生した（写真2.3.1）。

また、液状化による被害は、茨城県・千葉県を中心に多数発生し、千葉県浦安市では、市域の約85%で液状化が発

生し、上下水道・ガス等のライフラインの寸断、戸建て住宅の沈下・傾斜、集合住宅周辺の地盤沈下等の甚大な被害が発生した（写真2.3.2～2.3.3）。ただし、支持地盤まで基礎杭を設置した建物については、沈下・傾斜・構造躯体の損傷等の被害は発生しなかった（写真2.3.4）。

(2) 調査結果

北海道・東北・東関東地区での鋼管杭基礎建物は、予備調査の結果453件で、地震動および液状化による構造躯体の被災事例は確認されなかった。そこで、被災調査の視点を地震被害から津波被害に切り替え、宮城県石巻市内の鋼管杭基礎建物およびその周辺地域について調査した。

①遊戯施設

（RC造 地上4階、鋼管杭、中掘り根固め工法）

津波により1～1.5m程度冠水したと推察されるが、構造躯体等には損傷は認められなかった（写真2.3.5～2.3.6）。

②飼料工場

（S造、鋼管杭、中掘り根固め工法）

石巻工業港に面し、到達した津波高は、約3.5m（事業者発表情報）であったが、外壁部の一部に破損はみられるものの、構造躯体の損傷は認められなかった（写真2.3.7）。



写真2.3.1 津波により転倒したRC造建物



写真2.3.2 液状化被害①*



写真2.3.3 液状化被害②*



写真2.3.5 遊戯施設 建物全景



写真2.3.6 近隣建物の冠水痕



写真2.3.4 支持地盤まで基礎杭を設置した建物（浦安市）



写真2.3.7 飼料工場 建物全景

*は、Yahoo! JAPAN HP「写真保存プロジェクト 復興支援東日本大震災」より引用

③原料サイロ

(S造、鋼管杭、中掘り根固め工法 回転杭工法)

対象建物は②「飼料工場」に隣接する構造物であり、波

高約3.5mの津波波圧を直接受けたと思われるが、構造躯体・外壁部の損傷は認められなかった(写真2.3.8～2.3.9)。



写真2.3.8 原料サイロ 建物全景



写真2.3.9 近接構造物の被害状況

2.4 鋼矢板構造物の被災状況

(1) 全体概要

鋼矢板構造物について、「河川堤防」「河川護岸」「道路擁壁」「二重鋼矢板仮締切り堤」について被害調査を実施した。図2.4.1に調査位置を示す。

「河川堤防」では、鋼矢板による耐震補強が施されている箇所とその近傍の無対策箇所、さらに止水等の耐震対策以外の目的で鋼矢板を設置している箇所について、利根川と阿武隈川の現地調査を行い、被災箇所の有無を確認した。「河川護岸」は、液状化の発生した横利根川と新木場地区の現地調査を実施した。「道路擁壁」では、青森、岩手、宮城の3県に設置された擁壁を調査し、健全であることを確認した。「二重鋼矢板仮締切り堤」では、水門建設の為に設置されていた岩手県内の2箇所について調査、中詰め土が流出しているものの鋼矢板に損傷がない事を確認した。

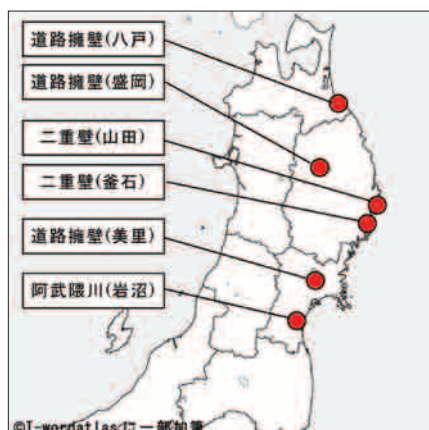


図2.4.1 調査位置図

(2) 調査結果

「河川堤防」

1) 利根川

現地調査は図2.4.2に示したように、耐震対策区間、止水矢板区間、無対策区間を各々調査した。

①耐震対策区間

河口部から33.25～33.5kmの左岸では、法尻に鋼矢板が施工されているが、写真2.4.1に示すように健全性を保持し



図2.4.2 利根川調査位置図

ていた。

②止水矢板区間

河口部から18.5～41.0kmまでの区間において、止水矢板と想定される矢板が設置されているが、被災した箇所と被災していない箇所が混在している。このような止水矢板の設置が耐震性能に及ぼす効果は今後の検討課題である。

③無対策区間

図2.4.2に記載した4箇所で沈下や崩壊が発生し、応急復旧が行われていた。写真2.4.2に状況を示す。

2) 阿武隈川

止水矢板設置位置を中心に調査したが、当該区間は無被災で健全性が保たれていた。

「河川護岸」

1) 横利根川

液状化による填砂の痕跡が認められ、鋼矢板護岸は前面にはらみ出し、護岸背面の堤防盛土は沈下していた（写真2.4.3）。

2) 新木場

新木場地区は鋼矢板による護岸構造である。当該地域の揺れは震度5弱で液状化が発生したが、いずれの護岸も鋼矢板の変状は認められず、無被災であった。

「道路擁壁」

調査対象を表2.4.1に、調査対象の地震後の状況を写真2.4.4に示す。

外観調査によると、3件とも鋼矢板擁壁の水平変形、傾斜等の大きな変状は見られず、健全性を保持していた。

表2.4.1 道路擁壁の調査対象一覧

地域	使用鋼矢板	修景方法	震度
八戸市	Ⅲw, Ⅳw L=9.5～11.5m	場所打ちコンクリート	4
盛岡市	Ⅱw L=7.5～9.5m	重防食	5弱
美里町	Ⅱw	コンクリートパネル	6強

「二重鋼矢板仮締切り堤」

二重鋼矢板仮締切り堤の調査対象を表2.4.2に示す。何れも二重鋼矢板締切り堤は健全な状態で残っており、鋼矢板による根入れ構造が有効であったことが確認できた。

表2.4.2 二重鋼矢板仮締切り堤の調査対象一覧

地域	使用鋼矢板	震度
山田町	SP-Ⅳw、ⅤL、Ⅲ型（隔壁部）	5弱～強
釜石市	SP-10H×L10.5～13.5m SP-Ⅲ×L12.5m（護岸部）	5強～6弱



写真2.4.1 利根川左岸33.25km近傍



写真2.4.2 利根川右岸39.0km近傍



写真2.4.3 横利根川



写真2.4.4 道路擁壁（八戸市）

1) 岩手県下閉伊郡山田町織笠（織笠川水門工事）

写真2.4.5に示すように、本二重締め切り堤は健全な状態が残っており、根入れ構造により津波にも耐えうる構造であったことが確認できた。

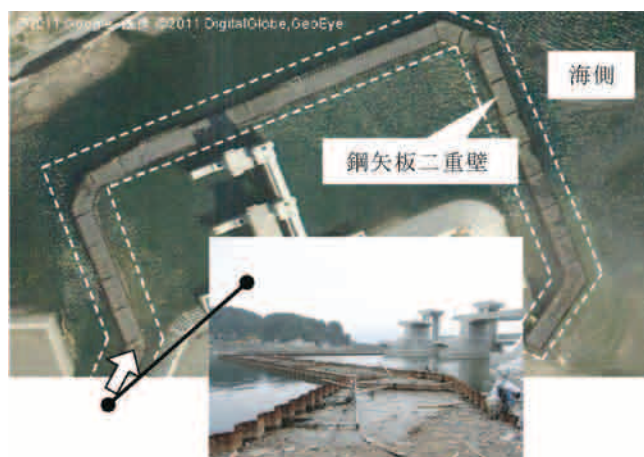


写真2.4.5 二重鋼矢板締め切り堤（山田町）

2) 岩手県釜石市唐丹町下荒川（水門工事）

水門内側の締め切り堤は海側の締め切り堤についても、写真2.4.6に示すように、鋼矢板は健全であった。また、締め切り堤の両側で水深に差があることが分かった。護岸部の二重壁も健全な状態を維持していた。

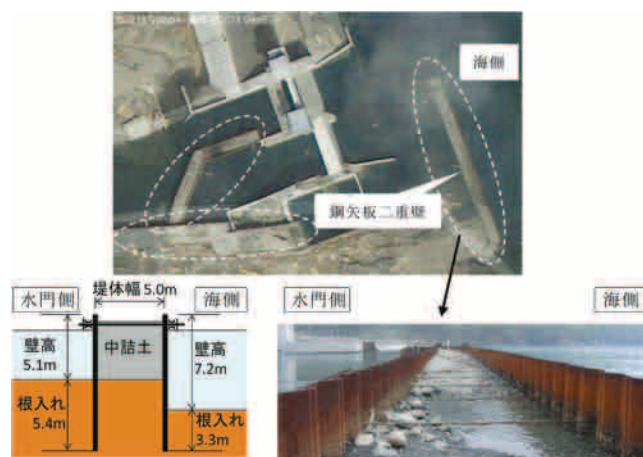


写真2.4.6 二重鋼矢板締め切り堤（釜石市）

3. まとめ

鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板が使用された構造物を中心に、道路・鉄道橋基礎、港湾構造物、建築基礎、鋼矢板構造物について主に目視により被災状況を調査した。その調査結果について述べる。

道路・鉄道橋では、津波による橋梁の流出、地震による鉄道橋の橋脚の損傷が見られたが、基礎の損傷は軽微であったとみられる。鋼管矢板基礎およびこれまで大きな地震を経験していなかった鋼管杭工法（鋼管ソイルセメント杭、回転杭）の被害状況を重点的に調査したが、いずれも損傷は見られなかった。

港湾構造物については、津波による重力式の防波堤・防潮堤の倒壊が多く、壊滅的な被害を受けた港も多かったが、岸壁・護岸の被害は限定的であった。青森から宮城にかけては津波による被害が大きく、栈橋式岸壁の渡版・床版の流出、矢板式岸壁のはらみ出しがみられた。相馬港、小名浜港、那珂湊漁港では矢板式護岸が被災し、矢板のはらみ出し、控えとのタイ材の破断、背後地盤の沈下が見られた。特殊な例としては鋼管式波除堤の倒壊が見られ、どの程度の津波まで耐えることができたのか検討中である。

建築構造物については、津波による被害は非常に大き

かったが、地震動による被害は比較的軽微であったと思われる。調査した鋼管杭基礎が用いられた構造物の損傷は見られなかった。

鋼矢板構造物については、河川堤防、河川護岸、道路擁壁、二重仮締め切り堤の調査を実施した。堤防の被害は東北～関東の広範囲に渡ったが、鋼矢板による液状化対策実施箇所については無被災であった。河川護岸については、液状化の程度により、被災の程度が異なっていた。道路擁壁については調査の結果いずれも健全であった。二重仮締め切り堤は近傍で重力式の防波堤に被害が生じているにもかかわらず、大きな損傷は無く、津波に対して根入れ式構造物が強いことを示唆する結果となった。

今回の地震の被害は東北～関東までの広範囲に及び、一次調査により鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板が使用された構造物の健全性、被害状況の概況を把握することができた。今後は、本調査で明らかになった課題について、関係各機関と連携しながら解決することにより、我が国の安全・安心のために貢献していきたいと考えている。