

我が国の自然災害と防災・減災に向けて — 鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板が果たしてきた役割 —

私達の住んでいる日本列島は、ユーラシア大陸の東端の沿岸沖に位置しており、4つのプレートに挟まれて形成されております。過去から現在に至るまで、幾度となく地震災害や風水害に直面し、「災害大国」と呼ばれる我が国において、防災や減災（被害の極小化）と被災からの迅速な復旧は古来より国家の重要課題でありました。

本書をお読みになる皆様は、これまで、その課題を解決すべくご尽力されてきたことと推察いたします。そのような中で、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板が、いかにしてその課題に応え、人命を守り、復旧に貢献してきたか、戦後～昭和～平成～令和にかけての主要な災害を追いながら、その姿に迫ります。

1. はじめに

日本列島は4つのプレート境界に位置し、山と海が隣接する地形ながら四季移ろう温暖な気候と相まって、豊かな森林・水資源、温泉、海の幸・山の幸といった自然の恵みを多く生み出している。この恵まれた自然環境が我々日本人の感性というものを作り上げてきた一方で、豊かな自然と災害は隣り合わせであり、有史以来数多くの自然災害に見舞われてきた。

日本列島は、周囲を日本海、オホーツク海、太平洋、フィリピン海に囲まれ、太平洋側には千島・カムチャツカ海溝、日本海溝、伊豆・小笠原海溝、南海トラフなどの深い海溝が存在している。列島全体は地殻変動、造山活動が盛んな「活動地域」であり、火山の大噴火や大地震が繰り返し発生してきた。また、アジアモンスーン地帯にあって移動性低気圧や台風の影響で多雨であることに加え、急峻な山地が国土の7割を占めることから水害の頻度も高い。可住地面積が少ないことから都市部を中心に人口密度は高く、ひとたび災害が発生すると大きな被害を招く危険性が高い。我々は、自然

災害の危険性と隣り合わせを自覚しつつも、丘陵地を住宅地に造成したり、海岸を埋め立てたりしながら都市や産業基盤を拡大してきた。

我が国が、地震の活発な活動期に入ったと認識される兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）以降も日本各地で大規模な地震が頻発し、現代の日本に未曾有の被害をもたらした東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）以降も、大地の揺れがやむようには感じられない。さらに、この数年は豪雨水害の激甚化も目立つ。

自然災害から被害を最小限に抑えるため、そして災害被害の復旧のために土木が果たす役割は大きく、耐震対策をはじめとした分野で鋼構造物の優位性が認められており、その基礎として鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板は大きな役割を果たしている。

現代以降の主要な災害を追いながら災害からの復旧に加え、防災や減災に資する技術として鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板がどのように貢献し、発展してきたかを紹介したい。

2. 主要災害の社会への影響 鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板が果たした役割

1964年 新潟地震 M7.5 液状化現象で近代都市が大きな被害を受けた初の事例

6月16日13時1分、新潟県の粟島南方沖約40kmを震源として発生。日本海側で起こる地震としては最大クラスのマグニチュード7.5で、新潟市全域に大きな被害を与えた。

この地震によって初めて注目されたのが、地盤の液状化である。もちろん、これ以前の地震でも液状化は起きていたが、近代的な都市が初めて大規模な液状化に見舞われた

ことで世界中の注目を集めた。

新潟市内では、河川、港湾、空港、鉄道などの社会基盤施設が液状化により甚大な被害を受けたが、もっとも多かったのは建物被害であった。地震当時、新潟市内にあった



写真3.2.1 液状化により大きく傾斜した県営川岸町アパート3号棟（左）と4号棟（中央）。4号棟は転倒して屋上が見えている。外壁には亀裂ひとつ生じていない。

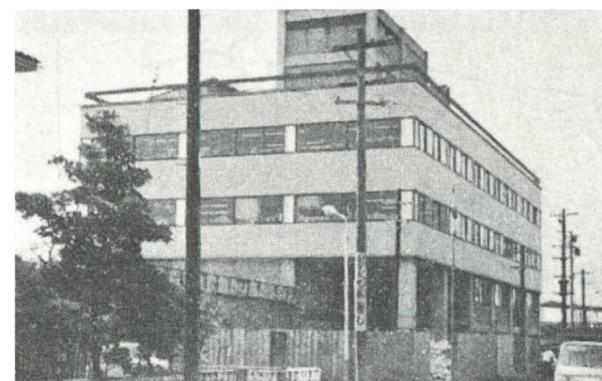


写真3.2.2 新潟総合通信部庁舎全景（かさ上げ前）

1,500余棟のRC建築のうち300棟以上が大きな被害を受けたが、189棟は上部構造にはまったく被害を受けず、そのまま沈下・傾斜した。そのうち、もっとも甚だしい被害例が、県営川岸町アパートである。信濃川左岸の河畔で液状化によって8棟のうち3棟が大きく傾き、うち1棟がほぼ横倒しとなった（写真3.2.1）。カラーテレビが普及しはじめた時期であったため衝撃的な記録映像が多く残る地震であり、専門家以外にも液状化による被害が認識された。

震災後、東京などの建築関係機関から現地へ多数の調査員が派遣され、建物の被害状況調査とともに、その復旧について検討したうえで、沈下復旧について計画、設計、施工が行われた。震害を受けた建物は、上部構造に大きな被害を受けなかったため、大きく傾斜したものでも取り壊して再築した例はごく少なく、大部分がなんらかの形でかさ上げを行い修復された。

そのうち、鋼管杭を建物下に圧入してかさ上げし、復旧した「新潟総合通信部庁舎」の例を紹介する（写真3.2.2）。

被災した庁舎は建築面積700.8m²、建物質量約4,400ト

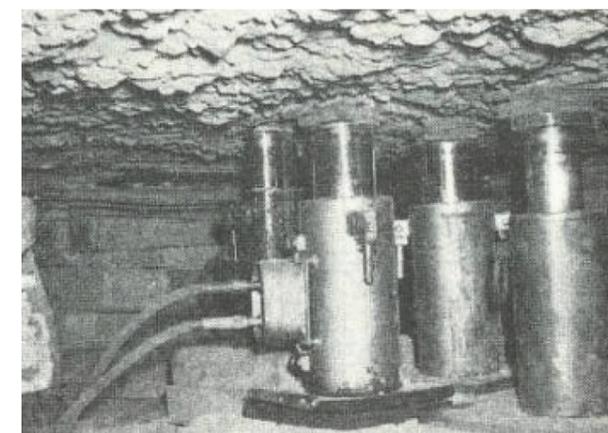


写真3.2.3 オイルジャッキの配置

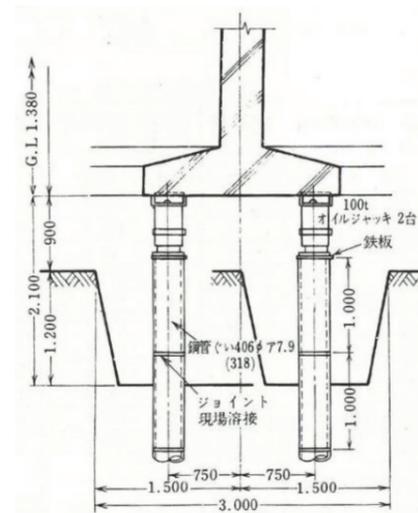


図3.2.1 鋼管圧入詳細図

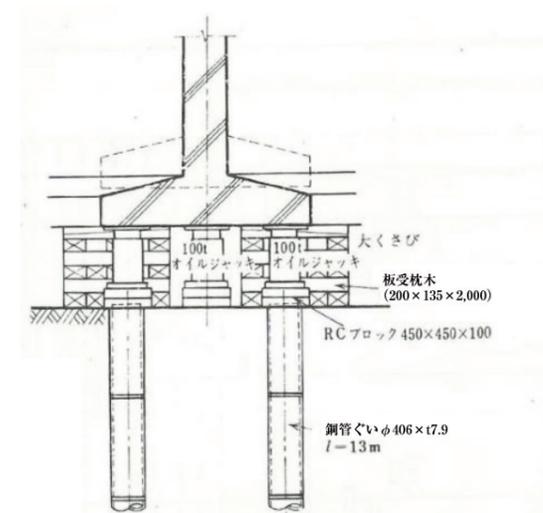


図3.2.2 仮受かさ上げ詳細図

ン。被害状況は最大沈下量530mm、最大傾斜角1/40～1/50勾配であった。地震により生じた構造体のクラックは皆無だった。

①被害はほかの建物と比べて少なく、そのまま使用しても耐えられないほどではない ②新しく建てなおす工費はかけたくない ③再度、この程度の被害を起こさないようにしたい、という条件から、工期・工費も考慮して「建物柱の基礎下に鋼管杭を圧入し、これを支持体として建物をかさ上げして定着する」工法が採用された(図3.2.1)。

施工は建物2階以上を使用しつつ行うことを条件に、既存の地盤改良(パイプロフローテーション工法)には支持力を

期待せず、柱下の軸力に応じて新たに長さ1.0mの鋼管杭を継ぎながらジャッキで圧入した。杭頭部にコンクリートを打設して、建物かさ上げ時のジャッキ支点とした(図3.2.2)。

復旧施工中、根切りの際に発生した沈下と地震直後の沈下量の合計は最大で663mmあった。使用したジャッキは100t—28台、50t—70台。当時は寄せ集めのジャッキで、それぞれストロークも異なり(写真3.2.3)、また、1台1台が手動であったことから、多数のジャッキをモーターで連動することもできず、ジャッキの作業者は総勢150人が必要であったという。

1968年 十勝沖地震M7.9 RC造の顕著な被害により建築分野の基規準改正の契機に

5月16日9時48分、青森県東方沖(北海道襟裳岬南南東沖120km)を震源として発生。青森を中心に東北から北海道で被害が出た。北海道襟裳岬で3m、三陸で3～5mの津波が襲来し、土砂災害もあったことから52人の犠牲者を出した。

建物被害は全壊673棟、半壊3,004棟、一部損壊15,697棟にのぼった。特に青森県内では三沢商業高校(写真3.2.4)や八戸東高校、八戸工業高専、むつ市役所など、昭和30年代後半から建築された鉄筋コンクリート造の公共建築物の被害が目立ったことから、1971年には「建築基準法施行令」の改正および、「日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準」が改定される契機となった。

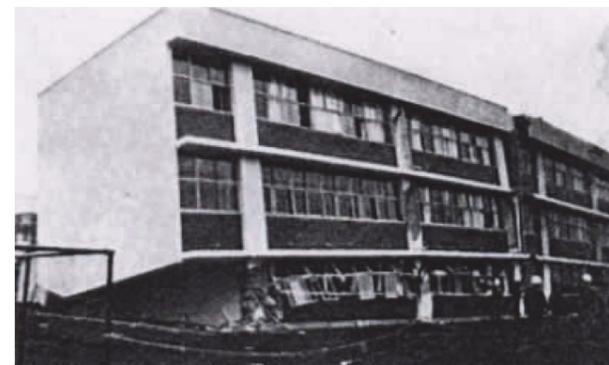


写真3.2.4 三沢商業高校、1階柱せん断破壊(防災ネット東北(c)東北地方整備局)

1978年 宮城県沖地震M7.4 50万人以上の大都市を初めて襲った地震

6月12日17時14分、宮城県仙台市の東方沖約100kmを震源として発生。マグニチュード7.4(震度5)で、海岸部の沖積平野では液状化現象によりガス・水道などのライフラインが被害を受け、埋立地に造成された産業団地では建物1階部分が潰れる被害が目立った。丘陵地に造成された新興住宅地では自然地盤と盛土の境界で地すべりや崩壊が生じ、住家の全半壊が4,385戸、一部損壊が86,010戸という大きな被害が発生した(写真3.2.5)ことから、当時の人口50万人以上の都市が初めて経験した都市型地震の典型とされた。

この地震では、建築物の基礎杭の掘削調査が意欲的に行

われ、杭種ごとの破損状況の比較が為された。その結果、次のような特徴が明らかとなった。

- ①杭種ではPC杭(プレストレストコンクリート杭)、とりわけAC杭(高強度コンクリート杭)の破損が顕著であった。
- ②杭が破損した建物の地盤は極端な軟弱地盤とはいえず、やや軟弱な地盤というものであった。

その上で、宮城県沖地震発生後までの被害調査から杭種と杭の破損パターンについてまとめられたのが表3.2.1で、鋼管杭と比較してコンクリート系の既製杭に地震時の破損が多いことがわかる。

表3.2.1 杭種と杭破損のパターン

杭種	杭頭沈下を伴う破損(せん断、圧壊)	曲げひび割れタイプの破損	基礎スラブとの離れ・ズレ	座屈・溶接部切断
鋼管杭	／	×	／	昭和大橋(新潟)
RC杭	東北電力循環室ポンプ(新潟)、三沢商業高校(十勝沖)	東警察署、八千代橋(新潟) 姉沼高架橋(十勝沖) 丸吉(宮城県沖)	／	×
PC杭	A社員寮(宮城県沖)	／	朝鮮学園高校(宮城県沖)	×
AC杭*	郡山住宅高層棟、サニーハイソ高砂(宮城県沖)	郡山住宅中層棟、西中田住宅(宮城県沖)	／	×
松くい	／	／	入船小学校(新潟)	×

* 高強度コンクリート杭(オートクレーブ養生による) 注) 斜線は事例なし、×印はありえないパターン、カッコ内は地震名

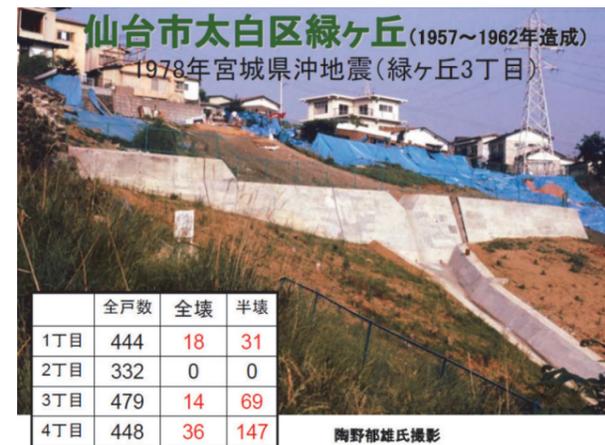


写真3.2.5 仙台市太白区緑ヶ丘の地すべり被害

	全戸数	全壊	半壊
1丁目	444	18	31
2丁目	332	0	0
3丁目	479	14	69
4丁目	448	36	147

陶野都雄氏撮影

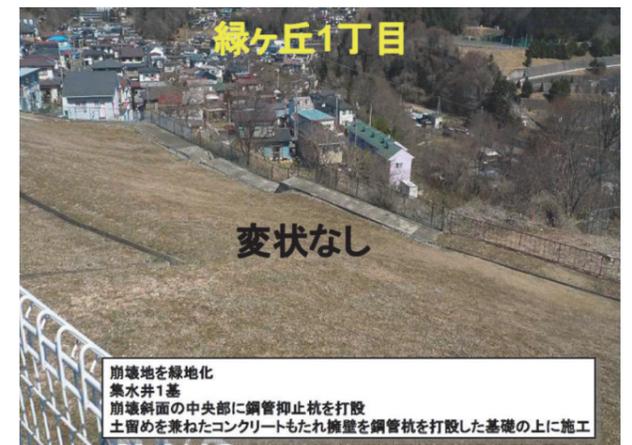


写真3.2.6 鋼管杭で対策し、東日本大震災による被害を回避した

一方、1960年以降に宅地造成された仙台市街中心部近郊丘陵地の住宅地では、盛土部の地すべり性変状が多数の箇所で見られた。その復旧対策として、崩壊地を緑地化し、鋼管杭を打

設した基礎の上に土留めを兼ねたコンクリートもたれ式擁壁を施工したエリアでは、2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震による被害はなかったと報告されている(写真3.2.6)。

1983年 日本海中部地震M7.7 津波による人的被害と広範囲にわたる液状化被害

5月26日11時59分、男鹿半島沖を震源として発生。最大波高7mの津波が沿岸部を襲い、秋田県八峰町では地形に沿って14mの高さまで遡上して大きな被害をおよぼした。地震による合計104人の死者のうち、100人が津波による犠牲者だった。

河川や海岸沿いの埋立地では液状化現象が発生し、特に秋田港ではより大きな被害を受け、荷揚場の機能が停止した。不同沈下や地すべりによって建造物やパイプラインが被害を受けたが、被害の大半は河川や海岸に沿った埋立地で生じた(写真3.2.7)。

この地震では、秋田港大浜地区において鋼矢板岸壁が海側に大きく湾曲し、水面下6m付近で広範囲にわたりクラックまたは折損が発生する事例が確認された。クラックや折損は電気防食用の陽極が(水中)溶接された箇所によく見られ、背後地盤の液状化による土圧の増大に伴って鋼矢板に過大

な応力が発生したことが原因とされた。この現象は1993年に発生した釧路沖地震でも確認されたが、これを契機として水中溶接による鋼矢板の材質劣化が指摘されたことから、鋼矢板の化学成分が変更されることとなった。



写真3.2.7 能代南バイパス被害状況(防災ネット東北(c)東北地方整備局)

1993年 北海道南西沖地震M7.8 津波による人的被害と甚大な火災被害

7月12日22時17分、渡島半島から西へ約60kmを震源に発生。地震発生5分後に津波の第一波が奥尻島を襲い、続いて渡島半島の西海岸に津波が到達した。奥尻島南端の青苗地区500戸は高さ10mの津波に流され、残った家屋から出火した火災は強風にあおられ家庭用燃料ボンベなどの爆発を伴いながら市街地を焼き尽くした(写真3.2.8)。西海岸の藻内北方では津波の高さが21mに達し、谷筋に沿って30m以上も遡上。死者行方不明者は230人にのぼった。



写真3.2.8 津波と火災で壊滅的被害を受けた奥尻島青苗地区(地震調査研究推進本部)

1995年 兵庫県南部地震M7.3 すぐれた耐震性能を証明した鋼管杭基礎

1月17日5時46分、明石海峡の海底、深さ16kmを震源に発生。日本が初めて経験する大都市直下で起きた大地震であり、震度7が初めて記録された。

神戸市の市街地を中心に死者6,000名を超える大災害となり、道路・鉄道・港湾などの土木構造物から一般家屋、事務所、マンションなどの建築構造物、さらには電気・水道・ガスなどの都市機能に至るまで甚大な被害をもたらした。大規模な地震災害であったことから、阪神・淡路大震災と呼称されることとなった。鋼管杭協会では、地震発生から50日後の3月初旬より、鋼管杭・鋼管矢板が採用されている構造物の被災状況調査(1次・2次)を実施した。

鋼管杭・鋼管矢板などの鋼製基礎構造は、海岸線近くや海中、あるいは埋立地などの軟弱地盤中の構造物基礎として多用されている。それらの被災には共通点があり、地盤・置換砂の液状化による側方流動や、有効応力の低下による地盤のすべり破壊等の影響が考えられるものが大半を占めた。また、栈橋における鋼管杭では、防食対策が不十分であったことによる保有耐力不足が損傷の原因となった例もあった。しかしながら、多くの鋼管杭・鋼管矢板はおおむね健全であったことが確認され、高い強度や優れた靱性という「鋼」の保有性能が示される結果となった。

護岸・岸壁等構造物における鋼管杭・鋼管矢板の被害

調査は、鋼管杭・鋼管矢板が使用された護岸、岸壁、栈橋、橋脚基礎等について、海側から船舶を使つての目視を中心に行なわれた。調査区域は摩耶埠頭、東部工区、芦屋浜、西宮浜沿岸部の埋立地、神戸ポートアイランド、六甲アイランドである。

1次調査は主に目視調査により実施したが、調査結果は、被災程度により次の4通りのランクに分類された。

- A) 上部工、施設、基礎杭とも健全で機能上支障なし
- B) 上部工、施設が被害を受け機能上支障があるが、基礎杭は健全である
- C) 上部工、施設が被害を受け機能上支障があり、基礎杭も一部補修・補強が必要である
- D) 上部工、施設、基礎杭とも被害を受け機能上支障がある構造物ごとの被害状況を表3.2.2に示す。調査された

表3.2.2 構造物の被害状況

	A	B	C	D	計
護岸	2				2
岸壁	1			1	2
栈橋式岸壁	6	1	4		11
橋脚基礎	3	1			4
閘門・水門	2				2
施設基礎ほか				2	2
計	14	2	4	3	23

構造物23件において、鋼管杭としてまったく被害のなかったもの(ランクAおよびB)は、調査した全構造物の中で約70%であった。

〈護岸・岸壁の被害状況〉

ケーソンによる重力式岸壁の被害模式図(断面図)を図3.2.3に示す。この種のケーソン式岸壁は、ポートアイランド、六甲アイランドで多用されており、甚大な被害を被ったが、栈橋式構造の被害が軽微であったことが特徴の一つとしてあげられる。

「摩耶埠頭第1突堤西岸壁(写真3.2.9)」は耐震護岸であり、水平設計震度が0.25まで高められていた。本突堤の付け根部近傍では図3.2.4に示すように、既設鋼板セル基礎の海側に押え盛土を置き、さらに斜杭式前面鋼管矢板横棧橋を新設した二重構造であった。また、突堤の先端寄りには陸側の置き鋼板セルと海側のケーソンを並べた非常に堅固な二重基礎岸壁で、これらは被災後も機能上まったく支障はなかった。しかしながら、上記の横棧橋とケーソンの接続部には不同沈下が生じ、コンクリートにも若干亀裂が生じていた。

「摩耶埠頭東側岸壁」は鋼板セル式岸壁であり、エプロン部に一部φ400とφ500の鋼管杭が使用されている。鋼板セルが海側に傾斜し、鋼管杭頭部にも座屈がみられ、岸壁機能に支障をきたしていた。地盤の液状化による大きな流動圧と鉛直方向・水平方向の地震動により、鋼板セルが海側に前傾したことによりエプロン部の杭に過大な水平力が作用したものと判断される。

〈栈橋式岸壁の被災状況〉

栈橋式岸壁調査件数11件のうち、4件において機能上支障がある被害があった。これらに共通してみられる被害は次の通りである。

- ①陸側のケーソン式護岸は既設護岸法線より海側に変位し、護岸は海側に傾斜している。



写真3.2.9 摩耶埠頭西側岸壁(鋼管矢板岸壁【耐震岸壁】の変位はなく、機能上支障がない)

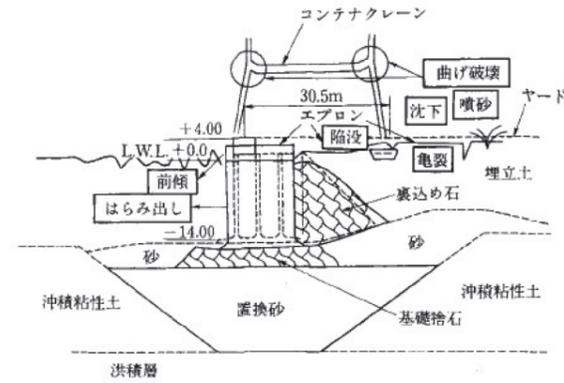


図3.2.3 ケーソンによる重力式岸壁の被害模式図*

(※出典：阪神・淡路大震災における鋼構造物の震災の実態と分析、第8章 鋼管杭・基礎、土木学会、平成11年5月)

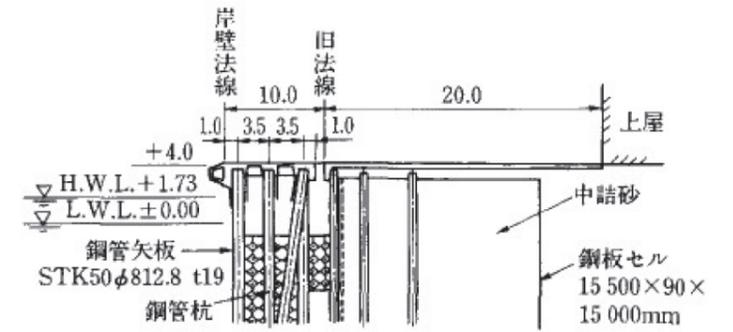


図3.2.4 摩耶埠頭西岸壁の基礎*



写真3.2.10 神戸製鋼所(尼崎)の栈橋式岸壁
アンダーローは倒壊しているが、カバー式の防食対策が施された鋼管杭式の栈橋は健全



写真3.2.11 新港第4突堤(-12m岸壁)の被災状況

- ②栈橋構造は斜杭組杭形式、直杭形式があり、鋼管杭で座屈がみられる。
- ③栈橋天端は陸側(御影浜サイロ岸壁では海側)に傾斜している。

なお、住吉浜のサイロ岸壁では、組杭中の1本が杭軸直角方向に破断する被害が1例あった。これは、腐食により鋼管の板厚が減厚したためと考えられ、古い時代の栈橋では防食対策が不十分であったことが推察される。重防食被覆、FRPカバーなどの新しい防食法や十分な腐食対策がとられている構造物では損傷はなく健全であった(写真3.2.10)。

〈施設基礎ほかの被災状況〉

岸壁背面(陸側)に設置された渡り歩道や、陸側クレーンなどの付帯施設の基礎等を施設基礎として分類した。東神戸フェリー埠頭では、ケーソン式岸壁が既設法線より海側に1~2m程度(前傾)変位し、ケーソン岸壁と渡り歩道基礎の間の地盤が2~3m程度陥没していた。渡り歩道基礎には鋼管杭(φ400)が使用されていたが、鋼管杭とフーチングは完全に分離し、鋼管杭がむき出しになっていた。鋼管杭の頭部には杭頭補強筋は全く設けられておらず、フー

チングに杭頭部を100mm程度埋め込んだ結合方法であったものと推察される。

〈健全であった鋼管杭・鋼管矢板に対する考察〉

基礎杭の調査結果として、健全であったと判断される被災ランクA、Bが全体の約70%を占めていたが、その理由をまとめると次の通りとなる。

- ①基礎の構造形式が鋼管杭を主体とした単独構造で、他の構造物(ケーソン等)との複合構造体になっていない。複合構造体では、個々の構造物の挙動や特性が異なることにより、鋼管杭基礎に過大な外力が作用する可能性があるが、単独構造ではそれが無い。
- ②全般的に新しい防食法を取り入れており、鋼管の腐食対策が十分にされている。
- ③鋼管杭と上部工との接合方法が、(鉛直方向や水平方向)外力を考慮した構造となっている。
- ④液状化に伴う側方流動など、土砂による流動圧の影響が比較的小さい。

ケーソン岸壁など重力式の基礎構造物では、自重による慣性力と液状化による流動圧が同時に作用し、ケーソン直下の地盤抵抗力を超えたことで岸壁の滑動や前傾が発生したため、背面地盤の大きな陥没という事態に至ったと推察

される。これに対して栈橋式岸壁など鋼管杭基礎では、岸壁の背面地盤の影響が小さく、栈橋上部工の躯体慣性力に対して十分な耐力と靱性を有していたため、被害が比較的少なかったものと推察される。

〈復旧の具体的事例〉

ポートアイランドへつながる新神戸大橋の付け根にある「新港第4突堤(-12m岸壁)」(写真3.2.11)は、国際旅客用バースとして使用されている。復旧は、スリップ内(突堤と突堤の間)であることから前面の水域の制約をうけること、背後に上屋が接近していることから、省スペースな対策として、既設のケーソンの前面に鋼管矢板を打設し、ケーソンとの間に水中コンクリートを間詰める工法とされた(図3.2.5)。

建築構造物における鋼管杭の被害

神戸ポートアイランド、六甲アイランドおよび深江浜町、鳴尾浜町の鋼管杭を使用した45件の建築構造物についても目視調査を行った。建築構造物基礎の被害程度を表3.2.3に示す。

〈基礎の被害原因〉

基礎の損傷がなかったものは、調査件数45件中の36件(80%)であった。損傷が確認された9件のうち、8件は神戸ポートアイランドのコンテナバースに隣接する倉庫(鉄骨トラス構造)であり、バースの損傷にともなう地盤の側方流動の影響で基礎本体が変位したものと推察される。他の1件は内陸部に位置する構造物で、露出した杭頭部は若干傾斜しているようであったが、上部構造物には損傷はみられなかった。また、基礎の損傷がみられなかった36件のうち、4件については、鋼管杭が露出していたものの、杭頭の座屈・変形などの損傷はみられなかった(写真3.2.12)。なお、六甲アイランド臨海部の2件の構造物(ともに倉庫)に基礎の損傷がなかったのは、比較的內陸部に位置していたことによりバース損傷の影響が小さかったためと考えられる。

〈上部構造の被害〉

調査した45件について、本体(梁、柱、壁)が損傷していたものは13件、本体は健全であるが付帯設備(階段、棟間の渡り廊下、エレベーターなど)が損傷していたものは11件、本体・付帯設備とも健全で周辺地盤の沈下による損傷

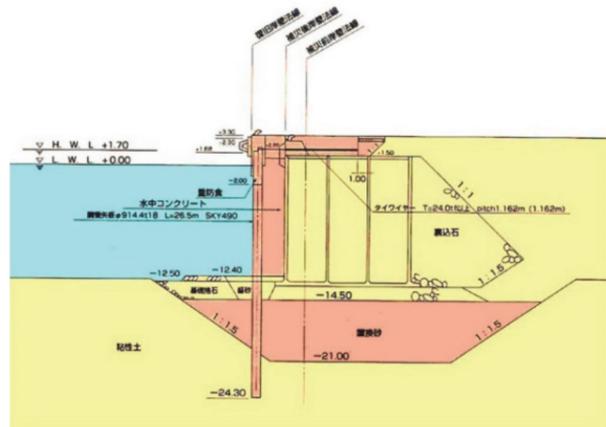


図3.2.5 新港第4突堤(-12m岸壁)の復旧断面



写真3.2.12 臨海部倉庫の露出した鋼管杭の杭頭部
〔周辺地盤が沈下し、杭頭部が露出していたが、外観上は鋼管杭に変状はみられない〕

表3.2.3 建築構造物基礎の被害状況

調査地区	立地条件	基礎の損傷なし	基礎の損傷あり	小計	計
神戸ポートアイランド	内陸部	16	0	16	24
	臨海部	0	8	8	
六甲アイランド	内陸部	16	0	16	18
	臨海部	2	0	2	
深江浜町・鳴尾浜	内陸部	2	1	3	3
計		36	9	45	45

被害程度分類
基礎の損傷あり：杭頭が露出したものについては、杭頭が座屈・変形などの損傷を受けている、または、フーチングに損傷・変位のあるもの。杭頭が露出していないものについては、フーチングがあまりに損傷・変位しているもの。
基礎の損傷なし：杭・フーチングともに損傷・変位のないもの。

にとどまっているもの(地中配管の損傷、駐車場・歩道の損傷)は21件であった。

本体が損傷を受けている13件のうち、5件はマンション・集合住宅で、他の8件はコンテナバースに隣接する倉庫(鉄骨トラス構造)である。内陸部に位置するマンション・集合住宅での被害は、主に壁部におけるX状せん断クラックの発生であり、バースに隣接する倉庫での被害は、地盤の側方流動による基礎本体の移動、建屋全体の傾斜・変形であった。

鋼管杭・鋼管矢板の被害調査結果のまとめ

兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)後の目視調査により、栈橋式岸壁や建築物基礎などの独立した鋼管杭基礎は、周

2004年 新潟県中越地震M6.8 兵庫県南部地震に続き、観測史上2回目の震度7を記録

10月23日17時56分、新潟県北魚沼郡川口町(現長岡市)の深さ13kmを震源に発生した内陸直下型地震で、兵庫県南部地震以来9年ぶりに観測史上2回目となる最大震度7が記録された。本震後の余震回数も多く、この年の暮れまでに震度5弱以上の余震が19回発生するなど、群発地震的な様相を呈した。

地震の3日前に通過した台風の降雨の影響もあり、丘陵地の傾斜地では地すべりが相次いだ。旧山古志村などでは土砂とともに家屋が崩れ落ち、棚田を利用した錦鯉の養殖池の水が流出する被害が生じた。山間部の支流では、崩れた土砂が河道閉塞を起こしたことにより自然ダムが形成さ

周辺地盤の沈下や上部工の被災状況にかかわらず、高浜栈橋等一部の事例を除いて、ほとんどが健全であることが確認された。また、鋼管矢板岸壁とケーソン岸壁を比較すると、ケーソン岸壁ではかなりの水平変位が生じていたのに対し、鋼管矢板岸壁にはほとんど変位がみられなかった。

基礎の変状がみられた護岸・岸壁構造物、建築構造物の共通点は、いずれも埋立て護岸近傍に位置していたことである。地震動による直接的な杭体損傷はなかったものの、臨海部では地盤の側方流動に伴う流動圧でケーソン式岸壁や護岸が大きく移動したため、近傍に位置した栈橋の鋼管杭や工場倉庫群の建屋基礎に変形や傾斜が発生したものと推察される。

れ、交通路を遮断された多くの集落が孤立した。

この地震で被害を受けた鉄道橋梁では、損傷した橋脚の周囲に鋼矢板による圧入連続壁を構築し、両者を一体化させることで耐震補強を実施した復旧事例がある(写真3.2.16, 写真3.2.17)。

打設された鋼矢板内部にはコンクリートが充填され一体化することで既設橋脚のせん断耐力および変形性能の向上が図られる。仮締切りと補強本体構造を兼ねる鋼矢板を、コンパクトな圧入機によって施工することで、大規模な仮設工が不要となり工期の短縮が図られた。



写真3.2.16 橋脚の被災状況



写真3.2.17 鋼矢板巻立て耐震補強工法の施工状況

2007年 新潟県中越沖地震M6.8 個人の宅地や住宅に大きな被害

7月16日10時13分、新潟県柏崎市沖の活断層を震源に発生。新潟県中越地震の発生から3年を経ずして、同じ新潟県中越地方を襲う震災となった。前者は内陸直下型で本地震は海域を震源としていたため、地震のエネルギーを示すマグニチュードは同じ6.8であったが最大震度は6強に

とどまるという違いがあった。

しかしながら、地盤の軟弱な海沿いの低地で多くの木造家屋が倒壊し、液状化現象で斜面や造成物の被害も顕著であった(写真3.2.18)。また、東京電力柏崎刈羽原子力発電所で破損事故や火災が起り、原発の安全性が問題となった。



写真3.2.18 土砂災害発生状況(新潟県記録)

2008年 岩手・宮城内陸地震M7.2 地すべり、崖崩れ、土石流など多大な土砂災害

6月14日8時43分、岩手県内陸南部を震源に発生。最大震度6強を観測し、地すべりや斜面崩壊など大規模な土砂災害が数多く発生した。公共構造物では一関市の国道342号にかかる祭時大橋が、耐震設計がなされていたにもかかわらず落

橋し(写真3.2.19)、その原因に注目が集まった。調査の結果、橋脚の地盤そのものが約10mにわたり地すべり性の移動を起こして崩壊したものと判明。落橋した橋は、2代目となる新橋が完成した後も災害遺構として保存されている。



写真3.2.19 災害遺構として落橋したまま保存される旧祭時大橋

2011年 東北地方太平洋沖地震M9.0 巨大津波による未曾有の大災害

3月11日14時46分、仙台市の東方約70kmの三陸沖を震源に発生。北米プレートとその下に沈みこむ太平洋プレートの境界から発生した巨大地震で、マグニチュード7は日本の観測史上最大規模であった。

最大震度7の激しい揺れが広い地域で2分以上続き、震源域付近の海岸には、本震から30分ほどして場所によっては波高10m以上、最大遡上高40mにもなる巨大な津波が押し寄せ、東北地方と関東地方の太平洋沿岸部に壊滅的な被害をもたらした(写真3.2.20, 写真3.2.21)。

この地震による死亡者は2021年3月時点で15,899人、行方不明者は2,526人であるが、その9割が広範囲にわたる巨大な津波の犠牲者である。大規模な地震災害であったことから、東日本大震災と呼称されることとなった。

海岸沿いの埋立地や川沿いの軟弱地盤の液状化被害も深刻で、千葉県浦安市などでは砂を含んだ地下水が大量に噴出し、マンホールの浮き上がりや建物の傾斜が発生、ライフラインも大きな打撃を被った。

さらに、東京電力福島第一原子力発電所では津波の侵入

により原子炉の電気系統が損傷。炉心冷却システムが停止したことから制御不能に陥り、水素爆発で原子炉建屋が破壊された。被爆の恐れから現在でも周辺住民の避難は続いており、地震に対する原発の安全性について社会に大きな問題を投げかけられた不安な状態が続いている。

当協会は震災発生後、道路・鉄道、港湾など各分野の鋼構造物について調査を実施し、その結果を1次調査報告書(2011年10月)、2次報告書(2012年12月)として発表した。

鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板を用いた構造物の被害状況

東日本大震災における、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板を用いた構造物の被害状況は次のとおりである。

①道路・鉄道分野における橋梁基礎は、津波により上部工・下部工が流出した橋梁があったものを除き、基礎本体部に大きな変状は確認されなかった。流出した橋梁も、地震動のみによる基礎本体の損傷は軽微であったと推測される。地震動のみによる基礎本体の損傷には、支承部の変形や橋台部での堤防法面のひび割れなどが若干確認さ



写真3.2.20 岩手県宮古市で防潮堤を乗り越える巨大津波



写真3.2.21 津波で上部工が流出した小泉大橋



写真3.2.22 支承部の変形



写真3.2.23 橋台法面のひび割れ



写真3.2.24 釜石湾口防波堤の被害



写真3.2.25 大船渡市三陸町の防潮堤被害

表3.2.4 女川町における転倒建物（杭基礎構造）の被災状況

被災建物	女川文番	江島共済会館	旅館ビル	水産加工物倉庫
構造・規模	RC造2F 長辺×短辺×高さ=10m×4.8m×10m 塔状比:短辺=2.08 長辺=1.00	S造3F(一部4F) 長辺×短辺×高さ=16m×8.4m×12m 塔状比:短辺=1.43 長辺=0.75	RC造4F 長辺×短辺×高さ=5.6m×5.6m×14.5m 塔状比:短辺=2.59 長辺=2.59	RC造2F 長辺×短辺×高さ=20m×8.8m×10m 塔状比:短辺=1.14 長辺=0.50
被災状況	<ul style="list-style-type: none"> その場で北向きに転倒 基礎杭にはφ300のPHC杭が使用されていた模様 全ての杭は杭頭部付近で破断 引抜かれた部分がフーチングに接続したまま露出 屋根及び壁面に衝突痕あり 	<ul style="list-style-type: none"> 建物の短辺方向から津波を受けた模様 付近で撮影された津波映像から、大津波の第1波(押し波)が建物の3階部分に達するまでは転倒しなかった模様 基礎杭にはφ250のPHC杭が使用されていた模様 露出したフーチング底面には杭頭部接合鉄筋(かご筋)、中詰めコンクリート、引抜かれた杭1本が残存 引抜かれた杭の長さは6.0m(現場溶接部にて破断?) この1本の杭を除き、杭は建物の元の位置に残置されている模様 	<ul style="list-style-type: none"> 元の位置より70m以上西側(押し波方向)に流された模様 基礎杭にはφ300のPHC杭が使用されていた模様 大半の杭が建物の元の位置で破断 1本の杭のみが建物が流された位置まで引きずられ折損 元の位置には4本の杭が2m程度引抜けた状態で残存 	<ul style="list-style-type: none"> 短辺方向に津波(押し波)を受け転倒した模様 フーチング底面には杭と接続された痕跡が若干残っていたものの、 <ol style="list-style-type: none"> 基礎杭の接合部分に鉄筋かごの痕跡等が確認できないこと 基礎杭がフーチングに埋込まれた痕跡がないこと フーチングせいが非常に小さいことから、フーチングと杭は接合されていないと思われる
状況写真				

注1) Yahoo! JAPAN: 東日本大震災写真保存プロジェクト
 注2) TETSU(中山 哲): 多摩ウォッチ, 2011年5月6・津波被害・宮城県女川町

れているが、基礎本体部に大きな変状は確認されておらず、ほぼ健全であった(写真3.2.22, 写真3.2.23)。

- ②建築物については、多くの地域で津波による建物の流出・転倒・崩壊・傾斜等の甚大な被害をもたらし、女川町では津波による杭基礎構造物の転倒被害も発生した(表3.2.4)。一方で、調査の結果、鋼管杭基礎を利用した建物の構造躯体に被害は確認されなかった。
- ③港湾構造物については、地震後の津波により防波堤や防潮堤は東北地方の多くの箇所倒壊等の大きな被害を受けた(写真3.2.24, 写真3.2.25)が、岸壁や護岸構造物の

被害は限定的であった。

復旧・復興に向けた鋼構造技術・工法の適用

東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)の復旧・復興事業に向けて、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板は、鋼材のもつ強さや品質の精度・安定性、施工性の良さなどの特性を活かし、災害に強いまちづくり・インフラ実現のために広い範囲で適用された。特に港湾・海岸施設等の早期復旧・整備、耐震・津波対策への貢献度は多大であった。鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の主な適用事例を紹介する。

鋼管杭・鋼矢板の適用事例【石巻 災害復旧工事】

●被災状況

震度6強の揺れに伴う地殻変動と地盤の液状化で、漁港区域全域で平均1.3m程度の地盤沈下を起し、係留用の棧橋や岸壁等の諸施設が破壊、または沈下による浸水被害を受けた。

設計水深-7m岸壁(延長270m)、-6m岸壁(延長700m)では、全域で約1.15m沈下し、護岸前面の鋼矢板頭部変位は矢板法線の出入りが最大46cmで海側にはらみ出した。また、エプロン部も陥没し、常時冠水状態となった(写真3.2.26)。

●復旧方針

原形復旧に基づきながら沈下部の嵩上げを目的とした設計がなされ、法線ズレを起こした鋼矢板については、既設の矢板よりも若干前出しでの新設が行われた(写真3.2.27, 写真3.2.28)。また、既設エプロン部で陥没したH形鋼に関しても、鋼管杭で新設。旧護岸に対する前出し法線1.7mで

鋼矢板を打設し、エプロン部にはφ600・L12~17mの鋼管杭を打設し、前面鋼矢板との間を約13mのタイロッドで結束して控え工とした(図3.2.9~図3.2.11)。施工期間は2011年10月~2014年3月である。



写真3.2.26 設計水深-7m岸壁 被災被災状況



写真3.2.27 設計水深-7m岸壁 新設の控え式構造による復旧施工(中詰施工前)



写真3.2.28 設計水深-6m岸壁 鋼矢板打設状況

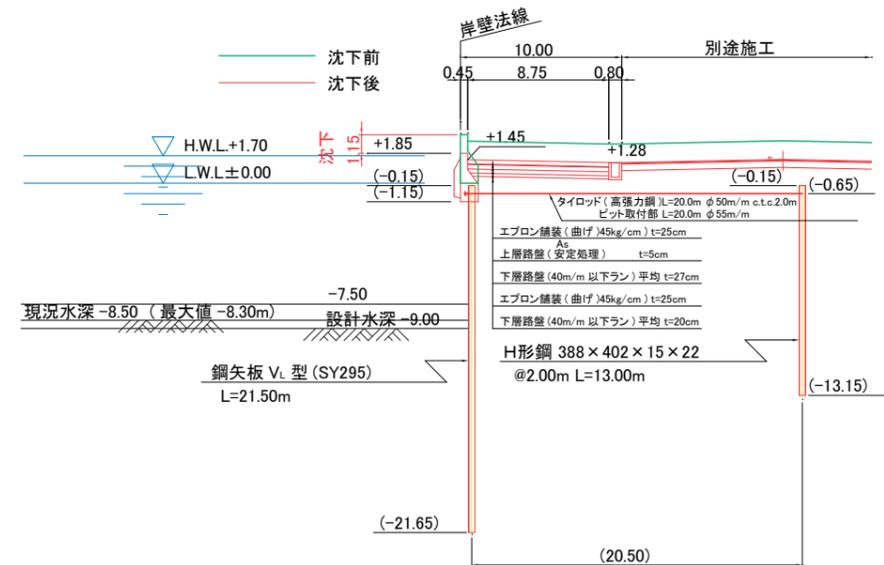


図3.2.9 設計水深-7m岸壁 被災断面図

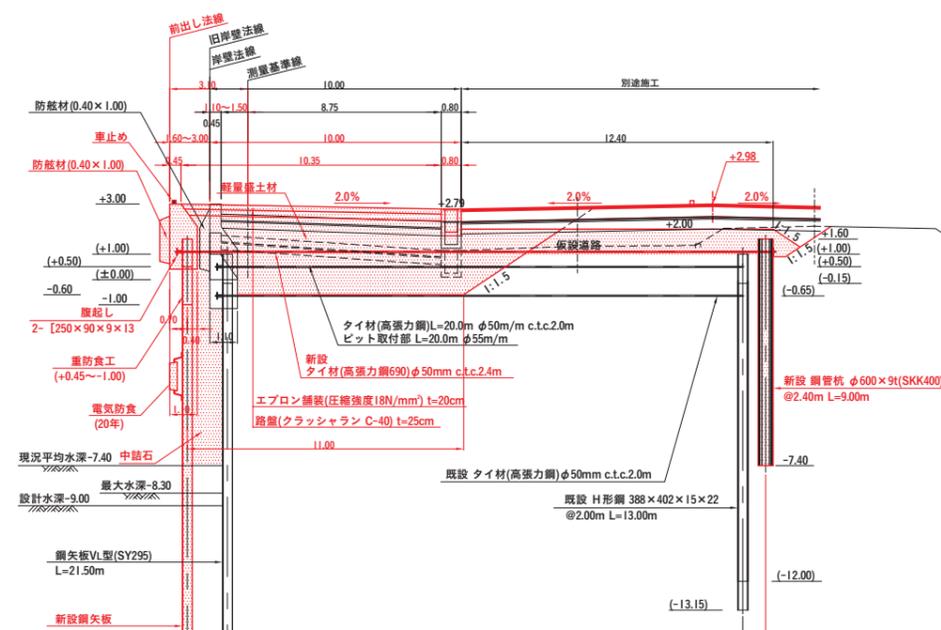


図3.2.10 設計水深-7m岸壁 復旧標準断面図

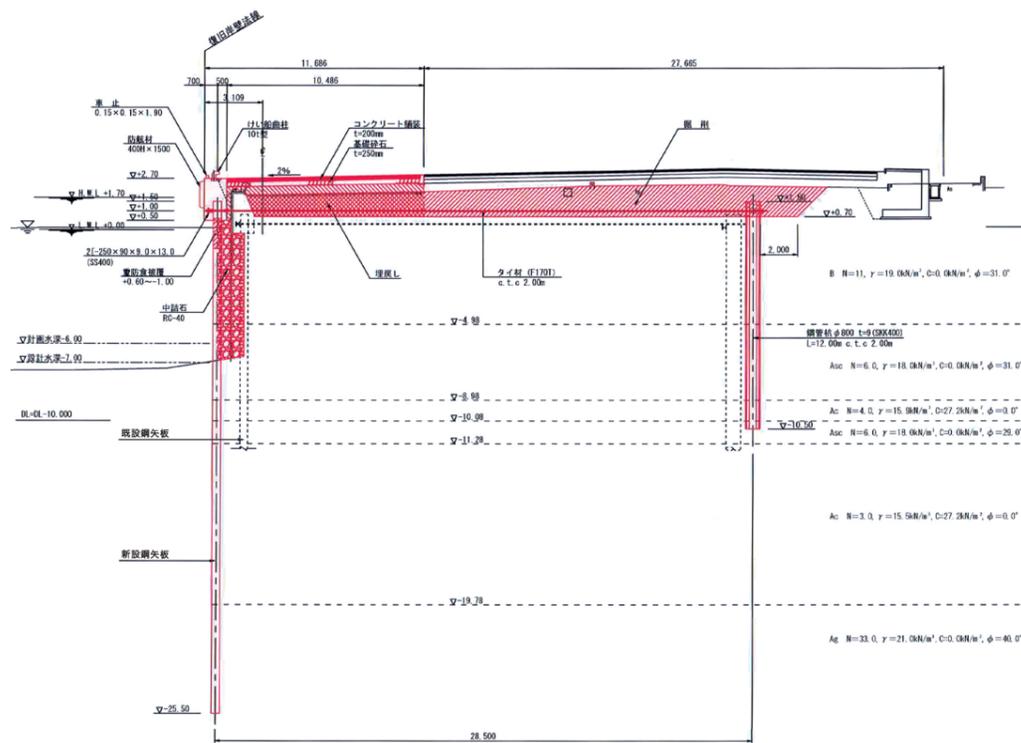


図3.2.11 設計水深-6m岸壁 復旧標準断面図

鋼管杭の適用事例【気仙沼沿岸防壁外災害復旧工事】

- 被災状況

発災時に既存防潮堤 TP+4.3mが、約1mの地盤沈下や津波による海側への倒壊といった被害を受けた。
- 復旧方針

災害査定の結果、宮城県沿岸のL1津波に対応する堤防高さとして設定されたTP+7.2mの防潮堤復旧事業が決定。現場の作業量を抑え、超急速施工を可能にするためプレキャストコンクリートを堤体に用いた新工法が採用された。この工法では、防潮堤の基礎となる鋼管杭を打設後、工場製作の堤体ブロックを現地に搬入するが、鋼管杭基礎

の打設終了後、数日で一体化することも可能なため、従来型工法の現場造成コンクリート壁と比較して大幅な工期短縮が見込める(写真3.2.29, 写真3.2.30)。また、粘り強く強靱な鋼材を基礎に、工場製作による高品質のプレキャストコンクリートを組み合わせることで、コンパクトかつ高強度な断面構造を実現することができる。壁高の高い直立式防潮堤でも、従来工法と比べて極めて省スペースでの施工が可能で、完成後の土地専有面積でも大幅な縮小を実現する工法となっている(図3.2.12, 図3.2.13)。



写真3.2.29 打設が終了した鋼管杭の施工状況



写真3.2.30 杭打設終了後、プレキャストコンクリート壁の設置状況

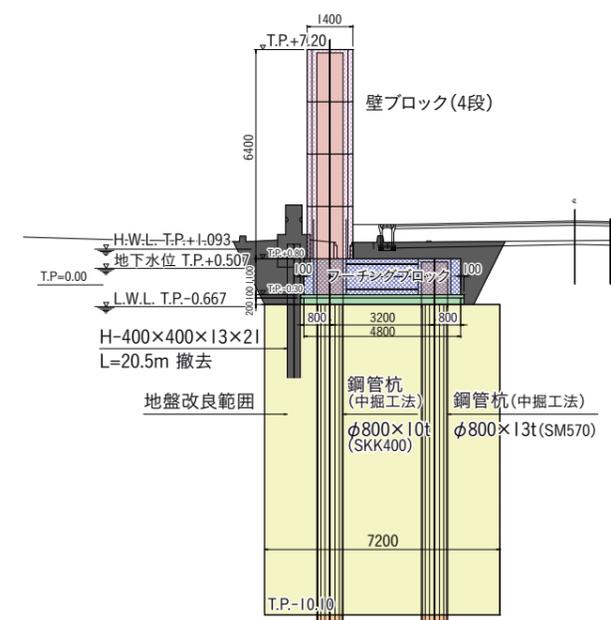


図3.2.12 気仙沼港標準断面図

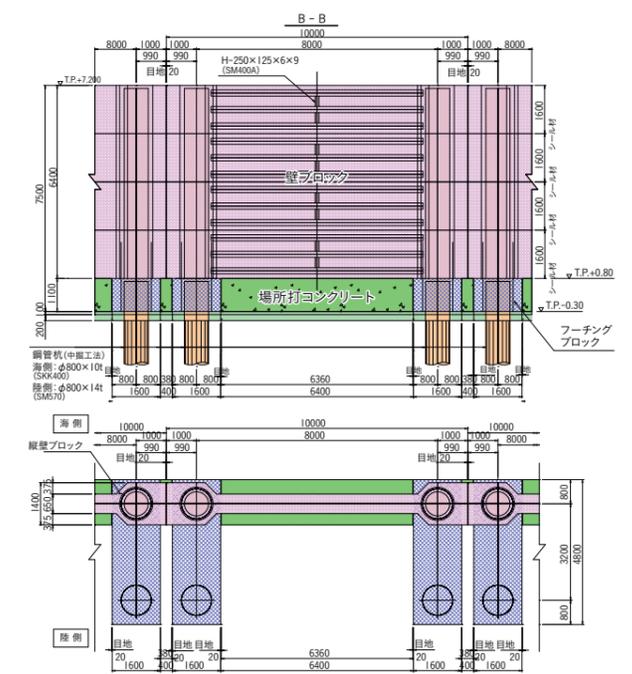


図3.2.13 気仙沼港堤体標準構造図

鋼管矢板の適用事例【石巻港東浜海岸防潮堤災害復旧工事】

- 被災状況

昭和40~50年代に築造されたTP+3.3~3.5mのコンクリート製の直立堤が、地震の影響で約1m沈降したほか、

津波の押し波で防潮堤前面を洗掘され引き波の際に倒壊するなどして、2箇所破堤した。

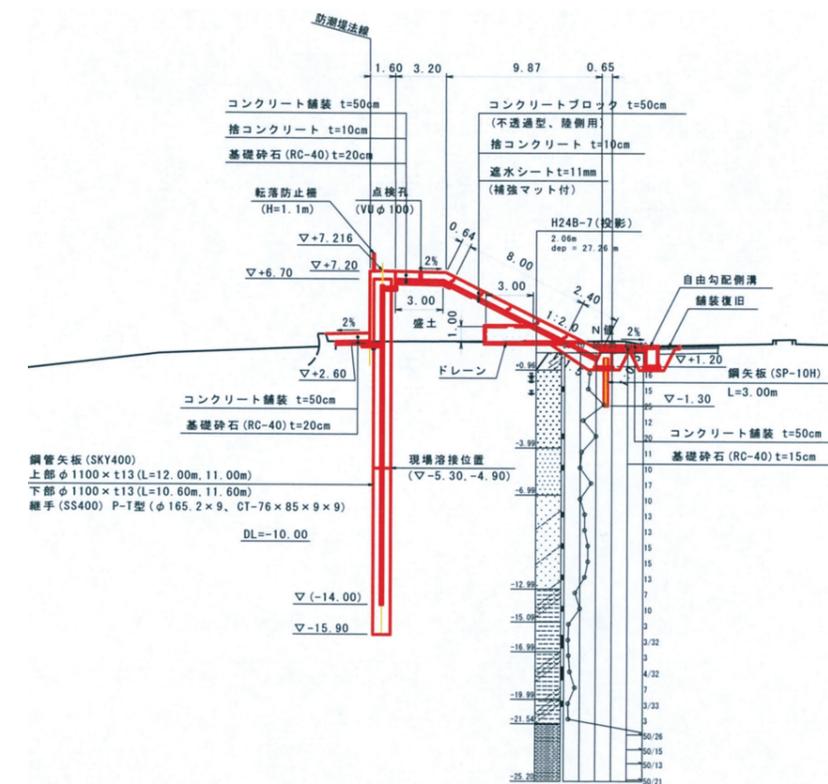


図3.2.14 石巻港東浜海岸防潮堤標準断面図

●復旧方針

災害復旧事業として新たに防潮堤を新設することになり、連続した自立式鋼管矢板による堤防高さTP+7.2mの盛土構造の直立堤が設計・採用された(図3.2.14)。

通常の防潮堤では、背後にある臨港道路に影響を与えず、規定の強度を確保するには海側に法面を設ける必要があったが、割高な工費と長い工期がネックであった。そのため、海側は直立堤として液状化の際の側方流動も抑制できる自立式鋼管矢板による連続壁が採用された(写真3.2.31)。



写真3.2.31 石巻港東浜防潮堤の鋼管矢板打設状況

2016年 熊本地震M7.3 2度におよぶ震度7で数多くの建物被害が発生

4月14日21時26分、熊本県益城町を震央とするマグニチュード6.5の地震が発生。益城町では震度7という激しい揺れとなった。その後も大きな余震が続き、14日22時7分にはマグニチュード5.8(最大震度6弱)、15日0時3分にはマグニチュード6.4(最大震度6強)という最初の大きな地震に匹敵する余震が発生。余震の数は時間の経過とともに減っていったものの、16日0時25分にマグニチュード7.3(最大震度7)という最初の地震を上回る規模の地震が発生。気象庁は、これを一連の地震の本震とし、これまでの地震を前震であったと発表した。マグニチュード7.3は1995年の兵庫県南部地震と同規模であり、同じ地点で震度7が2回観測されるのは初めてのことであった。

これ以降も、震度6弱以上の余震が3回発生し、強い揺れに何度も襲われたため、1回目、2回目の強震に耐えた建物も3回目、4回目の揺れに持ちこたえることができず倒壊してしまう事例が多く発生した。全壊した建物は8,600棟以上にのぼり、阿蘇地方では土砂災害も数多く発生し、倒壊した建

物の下敷きや土砂崩れに巻き込まれるなどして、50人が犠牲となった。

橋梁災害復旧の概要

この地震では、16日未明の本震により南阿蘇村にある阿蘇大橋が地盤のずれで崩落し、国道57号など熊本市と阿蘇山方面を直結する主要国道が寸断されるなど、大きな被害が発生した。熊本県が行なった調査では、全管理橋梁数3,615のうち37橋を被災橋梁と認定。上部工形式ではPC桁とRC桁を合わせたコンクリート橋が被災の7割を占め、その内容は上部工や支承の損傷、橋台の沈下・移動、桁の移動などであった。

橋面の補修、桁移動、支承補修(取替)、下部工再構築、上部工架替え等の復旧作業が地震発生後の6月から2020年9月まで実施された。そのうち、鋼管杭基礎を用いた橋梁の被災状況と復旧方法の事例を紹介する。

復旧事例【大正橋：竣工1996年】

〈構造概要〉

表3.2.5 大正橋の構造概要

	復旧前	復旧後
橋長	63.3m	74.3m
全幅	12.7m	10.0~13.0m
上部工形式	単純非合成箱桁	単純非合成箱桁
橋台形式	逆T型橋台 鋼管杭φ800	逆T型橋台 鋼管杭φ1000
橋脚形式	—	—

〈被災状況〉

●被災メカニズム——橋梁周辺の地盤が地震により大規模移動し、橋台が前面に押し出されることで、上部工と支承本体が断裂、パラベットや主桁が損傷した(図3.2.15)。

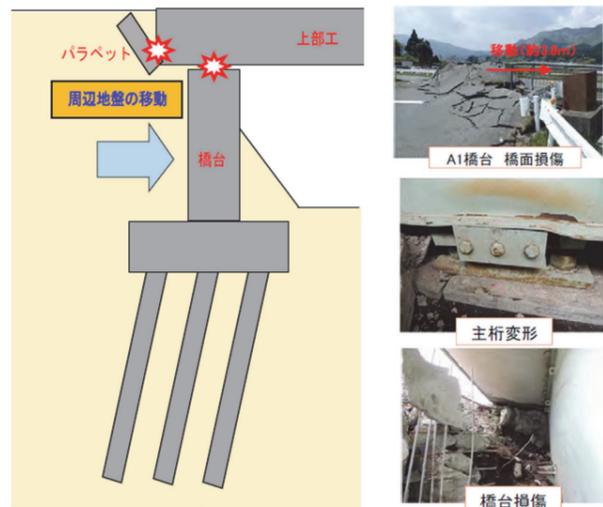


図3.2.15 大正橋の被災状況

〈復旧工事概要〉

地盤全体の大規模な移動に伴って、橋台も移動したことにより、杭基礎が変形したため、支持機能が失われていると判断し、橋台の復旧は再構築とした。A1橋台の再構築は、既設下部工の背面に配置することで、既設杭の撤去を不要とした(図3.2.16)。

再構築するA1橋台を既設橋台背面側に配置するため、橋長の変更および上部工の改修が必要となった。上部工の改修方法については、既設桁を延長する案と上部工を新設する案を比較し、経済性に優れた「既設桁を延長する案」を採用した。既設上部工は一時撤去後、約11m継ぎ足して再利用された。

●復旧概要

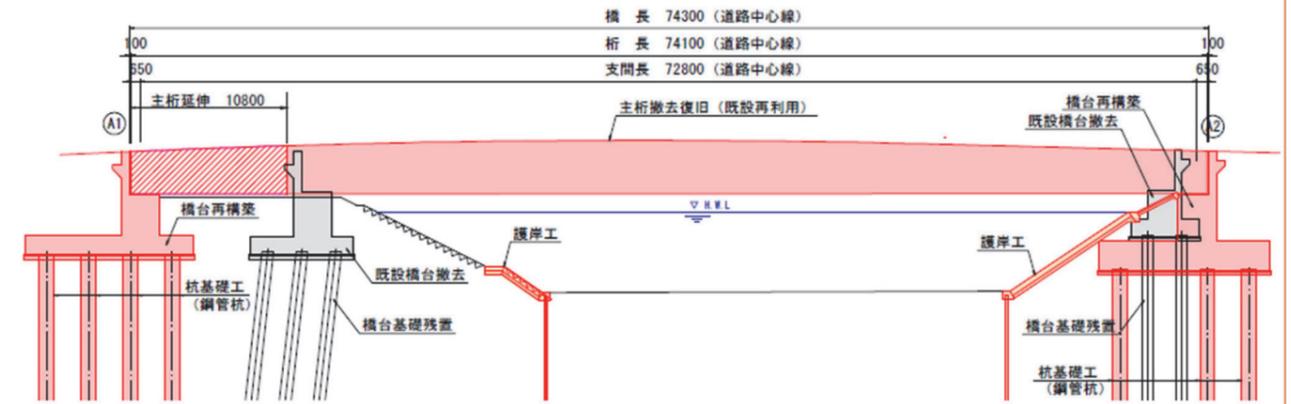


図3.2.16 大正橋の復旧イメージ(断面図)

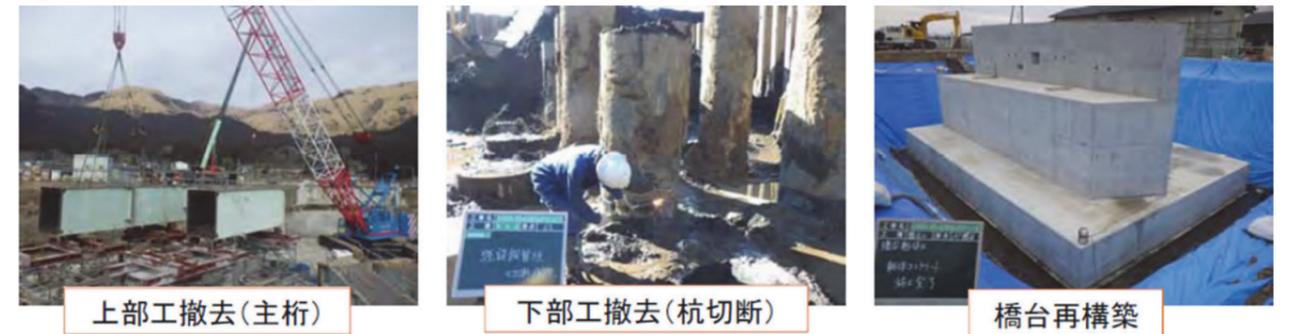


写真3.2.32 大正橋の復旧作業状況

復旧事例【府領第一橋：竣工1974年】

〈構造概要〉

表3.2.6 府領第一橋の構造概要

	復旧前	復旧後
橋長	61.4 m	61.4 m
全幅	8.5 m	8.5 m
上部工形式	中空床版	鋼床版桁
橋台形式	逆T型橋台 RC杭・PC杭	逆T型橋台 RC杭・PC杭
橋脚形式	ロッキングピア橋脚 RC杭・PC杭	張出し橋脚 回転杭φ400

〈被災状況〉

●被災メカニズム——大きな地震力により、A1橋台部に設置されていた変位制限構造が破壊され、水平方向の地震

力に対して抵抗できないロッキングピアが、上部工の橋軸直角方向への移動により、鉛直支持を失い落橋した(図3.2.17, 写真3.2.33)。

〈復旧工事概要〉

復旧方針は原形復旧を基本とし、上部工については高速道路上であるため施工上の制約が大きく、軽量で既設下部構造が利用可能な鋼連続鋼床版桁での復旧を計画した。橋台については、原形復旧による補修を計画した。橋脚はL2地震に対応する断面変更が図られ、杭基礎については、既設杭基礎ではなくL2地震対応での改良復旧を計画し、狭小ヤードで施工可能な回転杭が採用された(図3.2.18, 写真3.2.34)。

2015年 9月関東・東北豪雨 一級河川の堤防決壊の復旧に鋼矢板が貢献

9月7日に発生した台風18号や前線の影響で、西日本から北日本の広い範囲で大雨となり、その後、台風から変わった低気圧に流れ込む南寄りの風と、後に発生した台風17号からの湿った空気が流れ込み続けた影響で、関東地方と東北地方では記録的な大雨となった。
特に9月9日から10日にかけて、栃木県日光市では1975年の観測開始以来最多の24時間雨量551mmを記録したほ

か、統計期間が10年以上の観測地点のうち16地点で最大24時間降水量が観測史上1位を更新した。
こうした中、栃木県と茨城県では10日朝までに大雨特別警報が発令され、利根川の支流の鬼怒川では中流域の茨城県内で越水・溢水が発生し、昼過ぎには常総市三坂町地先の鬼怒川左岸堤防が約200mにわたって決壊した。これにより常総市では鬼怒川と小貝川に挟まれた広範囲の地

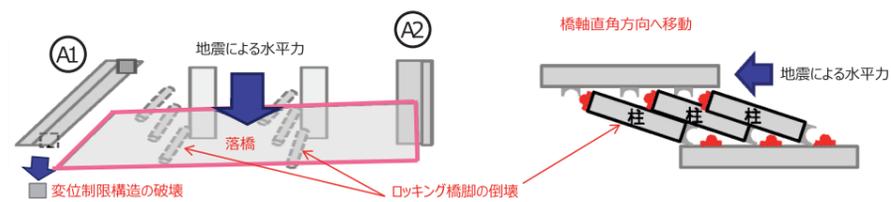


図3.2.17 府領第一橋の被災イメージ



写真3.2.33 府領第一橋の落橋状況

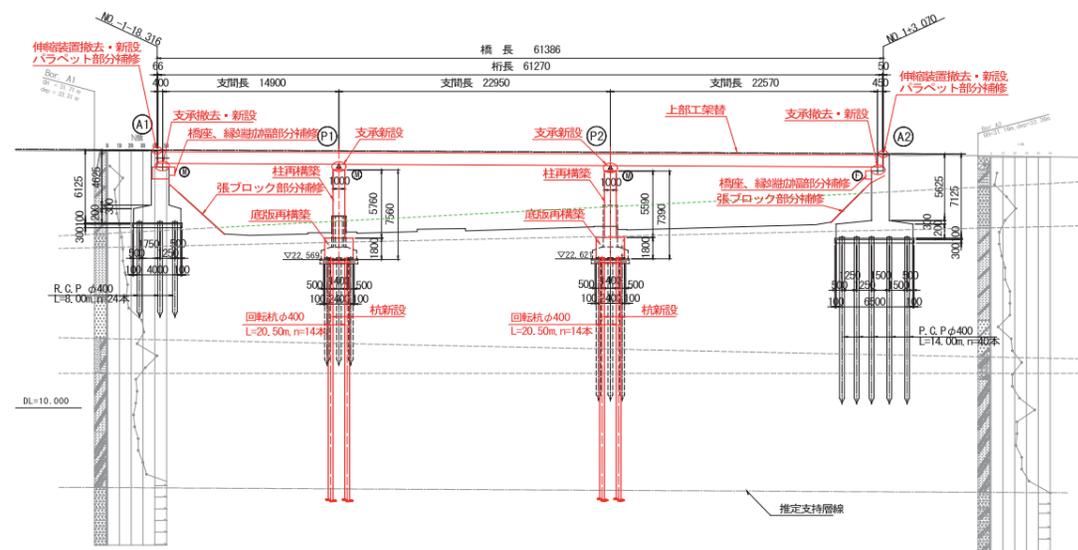


図3.2.18 府領第一橋の復旧一般側面図



写真3.2.34 完全自立構造の橋脚として改良復旧した

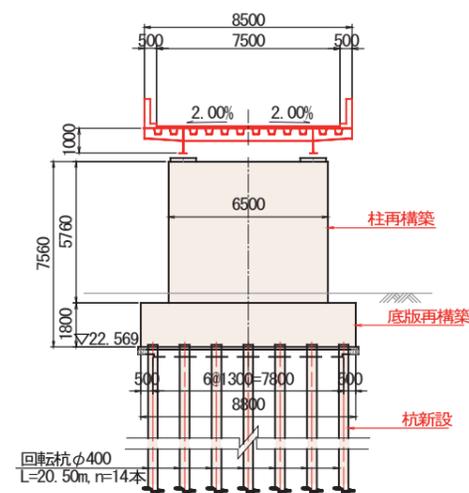


図3.2.19 PI橋脚断面図



写真3.2.35 茨城県常総市の浸水状況(9月11日撮影)

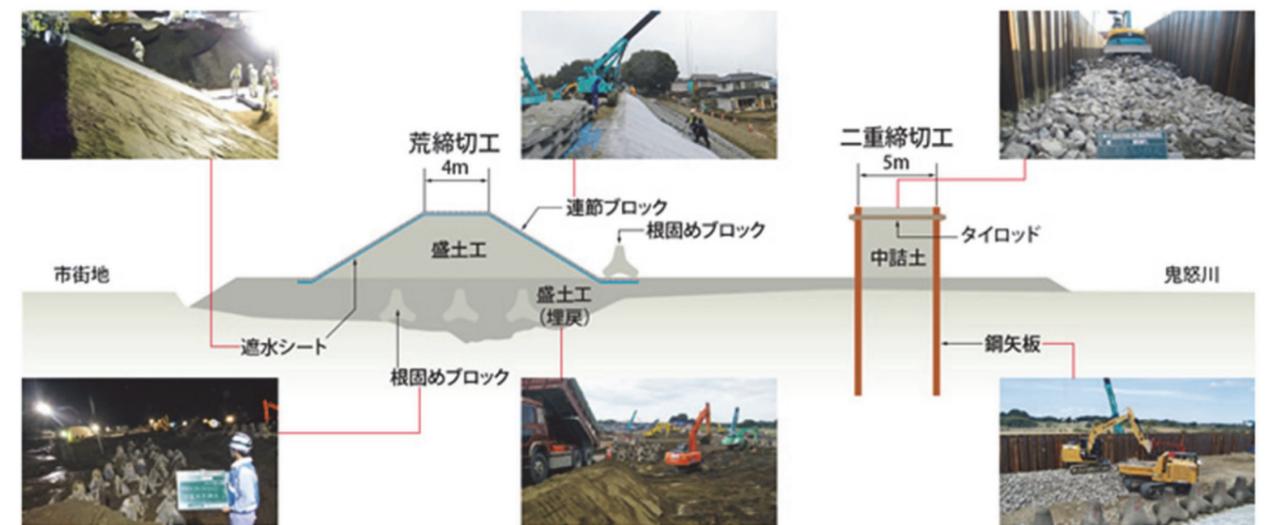


図3.2.20 荒締切、鋼矢板二重締切/標準断面図

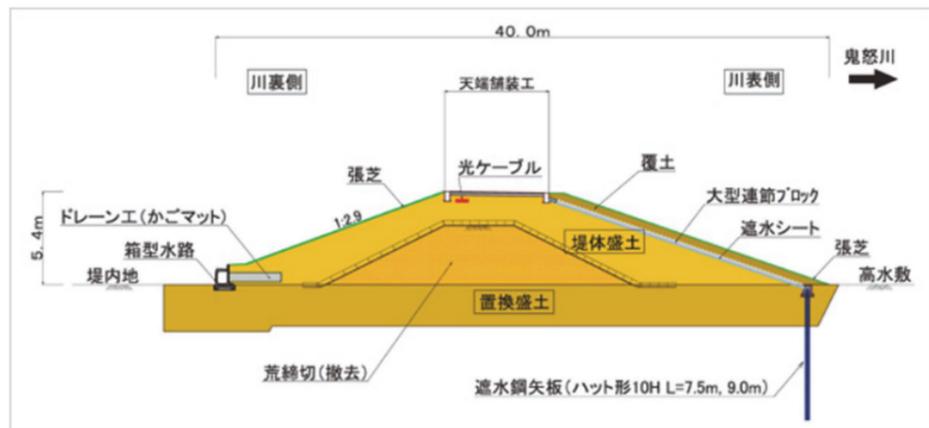


図3.2.21 本復旧堤防標準断面図

域が水没し、東日本大震災の教訓を踏まえて前年に竣工したばかりの市役所本庁舎が浸水したのをはじめ、全半壊家屋5,000棟以上、長期湛水による甚大な被害を受けた(写真3.2.35)。

鬼怒川の堤防決壊は1949年8月に栃木県内で起きて以来66年ぶりのことであり、関東地方で国が管理する一級河川の堤防決壊は1986年8月の小貝川以来となる。首都圏を抱える関東地方の大水害は特に甚大な被害をもたらすため、

鬼怒川堤防の決壊は深刻な事案として受け止められた。

決壊した堤防の復旧工事は、荒締切堤と鋼矢板二重締切による応急復旧として、2週間で行われた(図3.2.20)。その後、非出水期の2016年1月から本復旧工事(図3.2.21)が着手され、緊急復旧工事で築造した荒締切堤と鋼矢板二重締切を撤去した後に、堤防基盤置換え、川表側からの漏水対策となる遮水鋼矢板を打設し、築堤と護岸工事が行われ5月末に完成した。

2018年 7月豪雨(西日本豪雨) バックウォーター現象で被害甚大、平成最悪の犠牲者数に

6月29日に発生した台風7号は温帯低気圧になった後、7月5日には停滞していた梅雨前線と一体となった。そして、7月8日にかけて西日本から東海地方に向けた広い範囲に記録的な大雨を降らせた。愛媛県、岡山県、広島県等で河川の氾濫や土砂災害が相次ぎ、1府13県で245人の死者・行方不明者が出た。水害・土砂災害の犠牲者数としては1982年7月豪雨と台風10号を超え、平成で最悪となった。

家屋被害は全壊6,767棟、床上浸水7,173棟におよんだ。河川堤防の決壊は、国の管理河川で2カ所、県管理河川で25カ所、土砂災害は1道2府29件で2,581件発生した。

岡山県倉敷市真備町には、小田川が高梁川に合流する一体に低平地が広がっており、バックウォーター現象により以前からたびたび浸水が発生している。水害リスクが高い地域であったものの、鉄道の開通や道路整備等により、市



写真3.2.36 決壊した小田川の堤防(国土交通省中国地方整備局)



写真3.2.37 24時間体制で打設される鋼矢板二重締切



写真3.2.38 鋼矢板二重締切、完了状況

街化が急速に進んでいた。

豪雨により高梁川の水位が高くなり、その影響を受けたバックウォーター現象により、小田川の堤防は支川高馬川合流点で約100mにわたり決壊した。そのほかにも8カ所で堤防が決壊し、4カ所で越水したことで、浸水面積は1,200ha、浸水戸数は4,600棟におよんだ(写真3.2.36)。氾濫水は高梁川と小田川の堤防に囲まれた閉鎖型の氾濫原に流れ込んだことから逃げ場を失い、浸水深は最大5mにも

達した。多くの住民が逃げ遅れ、51人もの犠牲者が出た。

堤防が決壊した小田川の緊急対策工事は、土のうやシートを用いて流出した箇所の堤防を荒締切りするものであった。その後、本復旧までの仮設堤防を構築するため荒締切の背面に鋼矢板二重締切が施工された。鋼矢板の施工は24時間体制で行われ(写真3.2.37)、緊急対策工事は計14日間で完了(写真3.2.38)。極めて緊急性の高い災害復旧工事に、鋼矢板の強靱な特性と迅速な施工性が活かされた事例である。

2018年 台風21号 暴風と高潮で近畿地方を中心に甚大な被害

9月4日、25年ぶりに「非常に強い」勢力で徳島県南部に上陸した後、神戸市に再上陸して近畿地方を縦断した。主に猛烈な強風で甚大な被害をもたらした台風で、関西国際空港において最大瞬間風速50m/s以上を観測し、同空港の滑走路2本のうちA滑走路と駐機場のほぼ全域が浸水(写真3.2.39)。運用再開までに10日間を要した。また、2つあ

るターミナルのうち第1ターミナルの電気や空調等の設備が浸水で損傷し、本格運用開始までに1カ月以上を要した。空港連絡橋には漂流したタンカーが衝突し、橋桁が損傷(写真3.2.40)。3日後には対面通行による応急措置でリムジンバスの運行を再開したが、空港アクセス鉄道の再開には2週間、連絡橋の完全復旧には7か月間を要した。



写真3.2.39 浸水した関西国際空港の滑走路(近畿地方整備局)



写真3.2.40 タンカーが衝突した関空連絡橋

2019年 房総半島台風(台風15号) 港湾の船舶走錨事故防止対策に鋼管杭が貢献

9月9日、2019年台風15号は東京湾を北上しながら強い勢力で千葉市付近に上陸。千葉市で最大風速35.9m/s、最大瞬間風速57.5m/sを観測するなど、多くの地点で観測史上1位の暴風を記録し、千葉県を中心に甚大な被害をもたらした。全国で全半壊、一部半壊をあわせて74,666棟の住家被害が発生したが、特に被害が大きかった千葉県では64,000棟が被災した。

強い勢力(中心気圧960hPa、最大風速40m/s)を保ったまま上陸した台風は、千葉県を中心に首都圏とその周辺に大きな傷痕を残したが、交通機関への影響は陸上だけでなく海上にもおよんだ。東京湾に停泊していた345隻のうち、3分の1にあたる107隻が錨を降ろしたまま強風で流された(走錨した)可能性があることが、第3管区海上保安本部(横浜)の調べで判明している。加えて、対応が適切に行われなかったため漂流し、衝突などの海難事故が横浜港など神奈川県内の港湾で4件発生している。横須賀港では貨物船と実習船が、川崎沖では貨物船同士が衝突したが、走錨による最大の事故は、横浜港南本牧ふ頭につながる「南本牧はま道路」の橋梁への貨物船の衝突であった(写真3.2.41)。走錨により貨物船が衝突した横浜港「南本牧はま道路(臨港交通施設)」の橋梁の損傷は甚大で、PC栈橋にて大きな損傷が認められた4径間(全7径間)については桁全体を取り換えることとなった。そのため、南本牧ふ頭と首都高速湾岸線を結ぶ「南本牧はま道路」は長期間の通行止めを余儀なくされ、供用再開は翌年5月7日となった。

こうした事態を受けて国土交通省港湾局は2020年6月に、港湾での船舶の走錨事故防止対策として「港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示」の一部を改正。今後の再発を防止する観点から、橋梁(臨港交通施設)を建設または改修する場合には、船舶の走錨リスクを考慮し、必要に応じて「橋げた」の損傷を防止する防衛施設(図3.2.22)を設置する内容を追加した。

この措置を受けて横浜港「南本牧はま道路」では、PC栈橋部、鋼橋部の橋脚および橋梁(PC桁)を防護するための防衛施設を、橋脚から6m離れたところに10基設置した。この防衛施設は1基あたり3本の鋼管杭を打設して基礎としたうえでジャケットを据付け完成させるもので、2020年

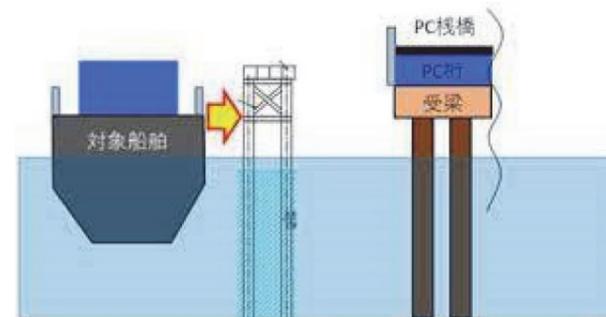


図3.2.22 防衛設備(イメージ)



写真3.2.41 横浜港南本牧はま道路における衝突事故



写真3.2.42 ジャケット式防衛施設の鋼管杭打設状況



写真3.2.43 ジャケット据付けが完了した防衛施設

8~9月に鋼管杭が打設され(写真3.2.42)、11月までにジャケット据付け・グラウト注入工を施して、復旧工事のすべてを完了した(写真3.2.43)。災害の規模により、すべての

2019年 東日本台風(台風19号) 多発した堤防決壊で甚大な被害に

10月12日に伊豆半島に上陸した後、関東地方を通過した2019年東日本台風(台風19号)は、13日未明までに静岡県や新潟県、関東甲信越地方、東北地方を中心とした広い範囲に記録的な大雨をもたらした。関東・東北地方を中心に河川の氾濫や土砂災害が相次ぎ、1都12県で86人の死者・行方不明者を出した。家屋被害は全壊3273棟、床上浸水7,666棟に及んだ。河川堤防の決壊は国管理河川で14カ所、県管理河川で128カ所、土砂災害は1都19県で952件発生した。142カ所の堤防決壊は2018年の西日本豪雨災害(27カ所)と比較して格段に多かった。

信濃川水系(千曲川~信濃川)では全川を通じて既往最高水位を観測。長野県内の千曲川では国管理区間で堤防決壊1カ所、越水・溢水14カ所、支川の県管理区間で堤防決壊6カ所、越水・溢水21カ所が発生した。家屋の損壊や浸水とともに、北陸新幹線の車両基地が浸水し(写真3.2.44)、10編成がすべて廃車となり5か月間にわたり減便運行を余儀なくされるなど重要インフラに大きな被害が生じた。



写真3.2.44 水没した北陸新幹線の車両



写真3.2.45 冠水した武蔵小杉駅東口付近

走錨事故を防ぐことが難しい海域で、豊富な海上施工の実績をもつ鋼管杭が防衛施設の基礎として貢献した事例となっている。

多摩川では中下流区間にあたる東京都調布市や大田区で計画高水位を超える大出水となった。川崎市でも多摩川の水位上昇の影響を受け、下水管を通じた河川水の逆流や地区内に降った雨水が行き場を失う内水氾濫により、110haの浸水が発生した武蔵小杉駅周辺(写真3.2.45)のタワーマンションでは地下の電源設備が浸水し、1週間以上にわたって電気や水道が途絶え、住民生活に大きな影響が出た。

東北地方では総降水量が600mmを超える豪雨となり、阿武隈川と吉田川の各所で計画高水位を超えた。両河川の氾濫に伴う浸水面積は18,300haにも及んだ(写真3.2.46)。阿武隈川では1986年8月や1998年8月の洪水が、吉田川では2015年9月の洪水など、これまで幾度となく激甚な災害にみまわれてきた。そして、その都度同規模の災害が発生した際の被害を想定して河川改修や遊水池等の整備に集中投資してきたが、整備規模を上回る洪水が発生しており、異常気象の影響で予測できない状況が続いている。

本台風では、広範囲にわたる浸水被害が多数発生したことから、更なる防災・減災対策として、河道掘削、堤防整備・強化、遊水池整備等が実施された。千曲川の堤防決壊箇所(左岸58.0km地点:長野市穂保地先)の緊急復旧工事では、仮堤防の補強として鋼矢板が1,700枚(延長約320m)使用された。また、吉田川の堤防決壊箇所(左岸20.9km地点:宮城県黒川郡大郷町地先)においても、同様の目的で鋼矢板が使用された。

加えて、信濃川水系や阿武隈川水系では、災害時の活動拠点となる「河川防災ステーション」が設置され、緊急復旧活動を行う上で必要なコンクリートブロックや鋼矢板等の緊急用資材が備蓄されるようになった。



写真3.2.46 阿武隈川の氾濫による郡山市街地の浸水(国土地理院)

3. 防災・減災に向けた最近の動向と取り組み

国土強靱化に貢献する鋼材の対策技術と工法

巨大な地震と津波により、東日本一帯に未曾有の甚大な被害をもたらした東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）以降も、熊本地震や北海道胆振東部地震など震度6強以上の強い揺れを伴う地震が続いている。今後も、南海トラフなどの連動型地震や首都圏直下型地震の発生リスクが高い可能性で想定されるため、われわれが暮らす国土では防災や減災の体制を整備・強化することが必要不可欠となっている。

2013年12月に成立した国土強靱化基本法では、インフラの補修や更新という老朽化対策に加え、防災・減災に資するインフラ等ハードと避難対策等ソフトの整備を行なうことが前提となっているが、これまで様々なインフラ新設に短工期かつ経済性に優れた特性を活かして貢献してきた鋼材が、自然災害から国土を守り、被害を軽減するための国土強靱化への対策技術として大きく寄与するものと考えられている。

鋼材は、高い強靱性と優れた加工性、高いレベルでの品質安定性を有しているため、現場施工における工期短縮が可能で、構造物の軽量化から狭隘地や軟弱地盤での施工が容易という特長がある。そのため、国土強靱化に向けても鋼材がもつ防災性能や経済性、環境性を発揮した貢献が可能となる。

鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板は、港湾や海岸施設等の早期復旧や整備、耐震・津波対策で実績があり、既設の岸壁や護岸などの耐震対策や増深化などの要求に応えている。また、地震時の液状化による側方流動や盛土構造物の変形抑制対策としても、これら鋼材の適用が広く図られており、いずれも高品質で信頼性の高い鋼材が、短工期かつ排土等の産業廃棄物が少ないなどの環境性も評価されて普及している。

流域治水など事前防災に向けた転換

2018年7月の西日本豪雨や翌年の東日本台風にみられたように、多数の堤防決壊や土砂災害を伴う洪水災害が毎年のように発生している。西日本豪雨では気象庁が、「地球温暖化による気温の長期的な上昇傾向とともに、大気中の水蒸気量も長期的に増加傾向であることが影響したと考えられる」と、個別災害に対する気候変動の影響に初めて言及した。近年は、河川整備で目標とする計画規模を超えるような洪水が頻発。降雨量の増加など、気候変動の影響が河川整備の進捗を上回る事態となっている。

気候変動を踏まえて治水計画を見直す必要性のなかでクローズアップされているのが、「流域治水」への転換である。これは、河川、下水道、海岸等の管理者が主体となつて行なう治水対策に加え、集水域と河川区域のみならず氾濫域も含めてひとつの流域として捉え、①氾濫をできるだけ防ぐ（減らす）対策 ②被害対象を減少させるための対策 ③被害の軽減、早期復旧・復興のための対策、まで多層的に取り込む考え方である。実際の施策としては、国土交通省は「堤防整備、ダム建設・再生などの対策をより一層加

速させるとともに、さらに集水域（雨水が河川に流入するエリア）から氾濫域（河川等の氾濫により浸水が想定されるエリア）にわたる流域に関わる全員で水災害対策を行う考え方」と説明している（図3.2.23）。具体的な展開としては、地球温暖化による気候変動により洪水災害が頻発・激化するなかで、前述①～③を柱としてハード・ソフト一体となった対策が多層的に推進されることが重要になる。

①氾濫をできるだけ防ぐための対策

集水域では「雨水貯留機能の拡大」があげられる。雨水貯留浸透施設の整備や田んぼ、ため池などの高度利用を、都道府県・市町村のみならず企業、住民も一体となって取り組む。

河川区域では「流水の貯留」がある。利水ダム等において貯留水を事前に放流し、洪水調整に活用する。また、土地利用と一体となった遊水機能を向上させる。国と都道府県、市町村が取り組む。「持続可能な河道の流下能力の維持・向上」も目指す。具体的には河床掘削や引堤、砂防堰堤、雨水排水施設等の整備で、国や都道府県、市町村の施策となる。

河川区域で「氾濫水を減らす」については、〈粘り強い堤防〉をめざした堤防強化等で、国と都道府県が取り組む。

②氾濫した場合の被害対象を減少させるための対策

集水域や氾濫域で、「リスクの低いエリアへ誘導・住まい方の工夫」をはかる。土地利用規制や誘導、移転促進、不動産取引時の水害リスク情報提供、金融による誘導の検討を行なう。市町村のほか企業、住民とも一体で取り組む。さらに「氾濫範囲を減らす」という目標では、二線堤の整備、自然堤防の保全を国や都道府県、市町村が取り組む。

③氾濫時の被害軽減や早期復旧・復興のための対策

氾濫域で次のような取り組みを掲げている（各項目の⇒以降は取り組み元を指す）。

「土地のリスク情報の充実」水害リスク情報の空白地帯解消、多段型水害リスク情報を発信⇒国と都道府県



図3.2.23 「流域治水」の取り組み（国土交通省）

「避難体制を強化する」長期予測の技術開発、リアルタイム浸水・決壊把握⇒国と都道府県、市町村
「経済被害の最小」工場や建築物の浸水対策、BCPの策定⇒企業、住民
「住まい方の工夫」不動産取引時の水害リスク情報提供、金融商品を通じた浸水対策の促進⇒企業、住民
「被災自治体の支援体制充実」官民連携によるTEC-FORCEの体制強化⇒国、企業
「氾濫水を早く排除する」排水門等の整備、排水強化⇒国と都道府県、市町村
大規模災害の防災・減災対策は、国、地方自治体、防災

4. おわりに

「2章 2.1節 1. 共通」でも述べているが、塩釜港棧橋の基礎として鋼管杭が採用されたことが契機となり、石狩河口橋の橋梁基礎として初採用された鋼管矢板基礎と併せて、高度経済成長期を弾みとして港湾構造物や道路・鉄道の橋梁、建築物の基礎といった新設基礎に鋼管が大量に採用されてきた。また、関東大震災の災害復旧のために海外から輸入されたことが契機となり、国内での生産・利用が本格的にはじまった鋼矢板も、これまでにさまざまな断面開発がなされ港湾や河川の整備において急速に普及していった。これらは、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板といずれも、鋼材の強靱で靱性に富む性質が都市形成のニーズに適合したためと考えられ、施工機械の大型化を促しながら施工の急速性や簡便性を発展させてきた。

本章では、紙面の関係上、全ての災害について取り上げてはいないが、国内における現代以降の主要な災害を追いながら災害復旧や防災に対して、前述の鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板がどのように貢献し、発展してきたかを述べてきた。自然災害大国である日本で、重要構造物の基礎や都市形成を担ってきた鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板は、兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）や東北地方太平洋沖地震（東

日本大震災）という人類史上最大級の震動や巨大津波による未曾有の大災害に対しても、大きな破損が確認されることなく、被害を抑制でき、迅速な施工性を活かして災害後の早期復旧・回復にも多大な貢献ができる強靱な材料であるということが改めて認識された。

現在、国の国土強靱化計画に代表されるように、日本の土木が今後注力すべき分野として、防災・減災への取り組みがあげられている。近年の自然災害の頻発化と激甚化を受けて、国は河川や下水道、港湾施設の整備計画を見直す方針を打ち出しており、道路橋基礎や学校施設などのインフラ施設へのさまざまな老朽化・耐震対策の推進や防災拠点の整備を急いでいる。

こうした時代の要請を受け、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板は、今もまさに国や関係地方自治体などと連携し、新たな構造開発や工法の技術革新に取り組み、鋼材以外との組み合わせによる、より強靱で信頼性の高い基礎となる技術の開発を進めているところである。鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板は、これらの取り組みを加速化・深化させ、これからも我が国の国土強靱化に貢献し、安全・安心な生活を支え続けていく。

【参考文献】

2. 主要災害の社会への影響 鋼管杭・鋼管矢板、鋼矢板が果たした役割

- 1) 社団法人鋼材倶楽部・鋼管杭協会：兵庫県南部地震 鋼管杭基礎調査報告書（第1次）改訂版、平成7年3月
- 2) 鋼管杭協会：兵庫県南部地震 鋼管杭基礎調査報告書（第2次）、平成8年3月
- 3) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災1次調査報告書、平成23年10月
- 4) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災2次報告書〔地震、津波を受けた基礎構造物の分析〕、平成24年12月
- 5) 月刊「基礎工」62号（1978年11月号） 報文：新潟地震における建築物の復旧
- 6) 建設省 建築研究所 兵庫県南部地震以前の建築における杭の被害
- 7) 一般社団法人 全国圧入協会 防災・災害対策事例 レスキュー工法（橋脚補強工法）
- 8) 熊本県土木部道路都市局道路整備課 熊本地震での経験を踏まえた橋梁災害復旧のまとめ（災害復旧工事編）
- 9) 国土交通省 関東地方整備局 『平成27年9月関東・東北豪雨』に係る洪水被害及び復旧状況等について
- 10) 国土交通省 港湾局技術企画課 港湾における船舶の走錨事故防止対策について
- 11) 豪雨・洪水災害の減災に向けて—ソフト対策とハード整備の一体化— 辻本哲郎/編 井上和也ほか/著
- 12) 地震の日本史—大地は何を語るのか（増補版） 寒川旭/著
- 13) 歴史から探る21世紀の巨大地震—揺さぶられる日本列島 寒川旭/著
- 14) 科学の目で見ると日本列島の地震・津波・噴火の歴史 山賀進/著
- 15) 水害列島日本の挑戦—ウィズコロナの時代の地球温暖化への処方箋 気候変動による水害研究会/著

3. 防災・減災に向けた最近の動向と取り組み

- 1) 国土交通省：総力戦で挑む防災・減災プロジェクト、https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/img/browse_relation2.pdf