未来 FRONT

Part 1

最大クラスの津波へ備える 津波対策水門の基礎を固める鋼管杭

釜石市ほか岩手県・三陸海岸での 海岸防潮堤および津波水門建設工事

東日本大震災から丸5年が経過し、被災地のハード面での復興事業も計画の半ば付近に到達しつつあるものが多い。被災直後の現況復旧から一歩前進し、地域の復興をより確実にするためのインフラ整備が着々と完成へ向けてすすめられている。今後、再び来襲するかも知れない津波に対して安全で安心な海岸保全施設の再構築に、鋼管杭が貢献している現場を訪れてみた。

野田地区海岸防潮堤建設工事空撮　提供：飛島建設（株）

明治期より大きな被害を受け続けてきた津波常襲地帯

総面積1万5275km^{2}と四国地方に匹敵する広さを有する岩手県は、海岸線も約708kmの総延長を誇る。その全域が陸中海岸国立公園に指定され、変化に富んだ美しい景観で貴重な観光資源にもなっている。

そんな岩手県沿岸は古くから津波の常襲地帯であり、近代になってからも明治、昭和と年代をまたいで起こった三陸沖地震津波のほか、遠くチリ地震の影響を受けた大津波の被害が記録されている。

度重なる大地震に伴う津波の被害を教訓に、ハード・ソフトともさまざまな津波対策に取り組んできた岩手県だが、2011年3月11日に発生した東日本大震災では、想定を超える規模の津波が来襲し、大きな被害を被った。東日本大震災による岩手県内の人的被害は、死者4672人・行方不明者1151人の合計5823人にものぼった。また、家屋被害も全半壊2万4916棟と、そのほとんどが津波による被害であった。

堤防嵩上げによる復旧とともに水門方式も採用される津波対策

岩手県沿岸地域の津波による被害は、陸前高田市のように壊滅的な被害を受け集落・都市機能をほとんど喪失した地域、釜石市のように臨海部の市街地を中心に被災し、背後地の市街地は残存している地域など、その状況は地域や防災施設等の条件により大きく異なっているのも特徴だ。

海岸保全施設の被災では、釜石市鵜住居川河口や片瀬海岸など県内各地で、広範囲にわたり海岸堤防が流出するという事例が多数発生した。海岸防潮堤の主要な被災原因は、津波の越流により堤防の法尻が洗掘され、傾斜堤では裏法被覆の流出を伴うなどして堤防を流出してしまったと考えられている。

こうした被害を受けて、岩手県では「同一の湾で区分」するなどを基本として設定した24の地域海岸に対して、それぞれ過去に発生した津波を総合的に分析・検討することで設計津波の水位を設定し、余裕高1.0mを加えた高さを新計画堤防高として、東日本大震災後の海岸保全施設の復旧を図っている。

海岸堤防高の設定とともに、河川を遡上する津波から集落や市街地を防御するための河川津波対策では、海岸堤防と河川堤防をあわせた堤防方式での防御とともに、河川河口部に水門を併設する対策も採用されて県内各地で工事が進められている。

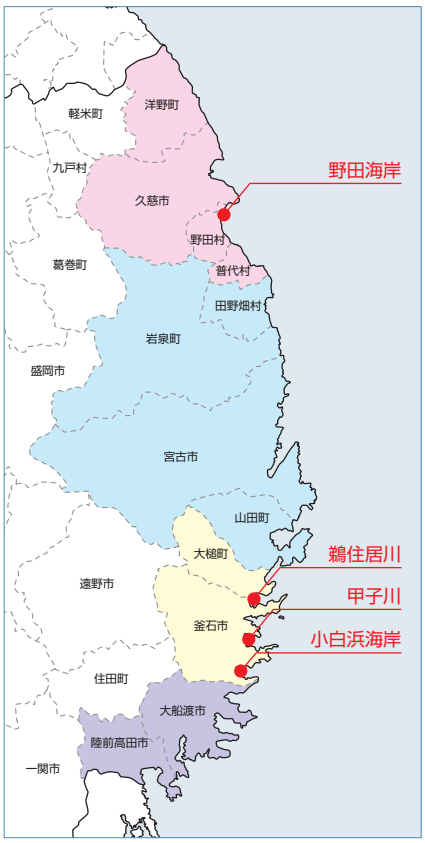
都市景観や確実な防御効果を考慮した水門方式を選択

水門方式が採用されるのは、社会的な影響や経済性、津波水門の維持管理や操作の確実性、街づくりの観点を含めた総合的見地から判断されているが、市街地で河川堤防を築堤するには裏法傾斜部の十分な用地確保が困難であったり、都市景観を含めた街づくりに影響を及ぼす場合などは、水門方式が採用されていることが多い。

また、堤防案・水門案ともに設計対象としている明治三陸地震等の数十年から百数十年に一度程度発生すると想定される「L1津波」には背後地への浸水を許容しない十分な防御能力をもっているが、千年に一度程度の最大クラスの「L2津波」を想定した場合は浸水面積に著しい差が出る地域があるため、経済性のみならず背後のまちづくりへの影響等を考慮して、県内の多くの河川で水門方式による津波対策が施されている。

岩手県各地では、こうした海岸保全施設や河川堤防の復旧および新設工事が平成23年度から設計着手されており、平成32年度までの完成予定で工事が進められている。今回は、その中でも鋼管杭を用いた水門と海岸防潮堤の建設事例を取材した。

東日本大震災から5年が経過し、岩手県沿岸部の津波防御のためのハード対策の構築も仕上げに向けて佳境にさしかかっている現状と、そこに大きく寄与する鋼管杭の役割についてレポートする。

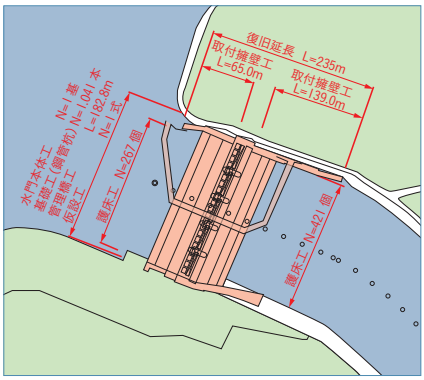


■岩手県内の津波水門工事位置図

■小白浜海岸被災状況

■片岸海岸・鵜住居川の被災状況

二級河川「鵜住居川」水門工事



■鵜住居川水門整備平面図

■鵜住居川水門工事での鋼管ソイルセメント杭施工状況

地下被圧水対策に有効な鋼管ソイルセメント杭が採用

津波被害により鵜住居川の河口部に展開していた砂洲のほとんどを消失した片岸海岸では、L1津波を想定した新計画堤防高T.P.+14.5mが設定され既存堤防を嵩上げ復旧するとともに、総合的な街づくりや津波へのより確実な防御対策を考慮して鵜住居川河口部に鋼管杭基礎を用いた水門を新設することになった。

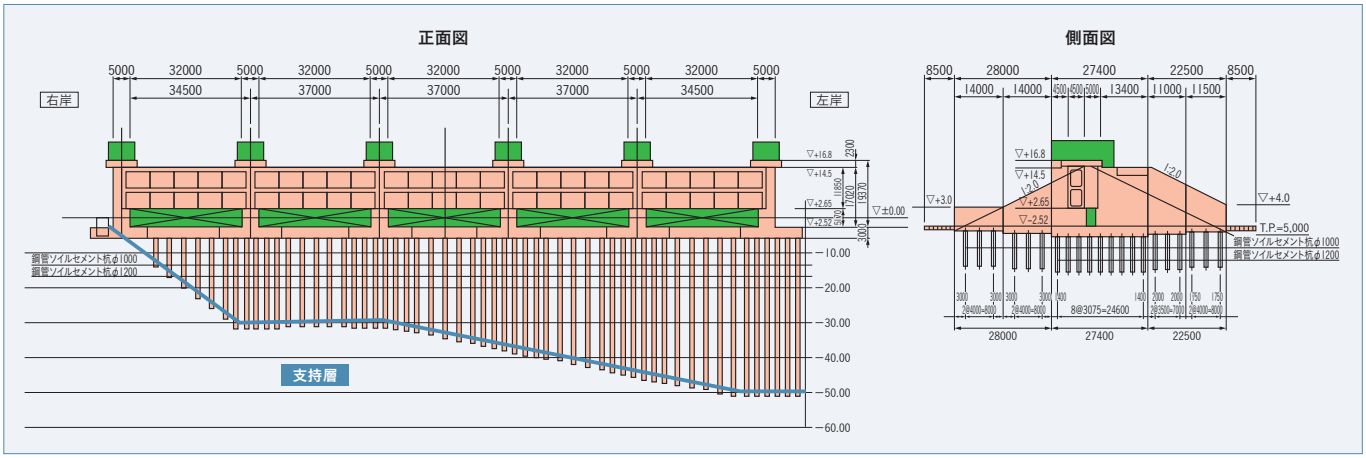
この水門では、被圧水対策のため掘削しながら比重の高いソイルセメント柱を築造した後に鋼管を建て込む、鋼管ソイルセメント杭工法が採用されており、杭径は1000～1200mm（鋼管径800～1000mm）・杭長7～46m（鋼管長3.5～45.0m）の合計1141本が使用されている。

河川河口部のさまざまな条件に配慮しながら施工が行われる

鵜住居川河口部の地層は、右岸側が山付きのため支持層が浅く、打設する鋼管杭も短いものの、海岸側に向かう左岸では支持層が46m程度と、急激に深くなっているのが特徴だ。

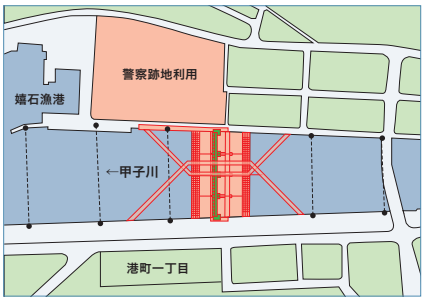
鵜住居川では秋に河口部を遡上する鮭を対象とした漁業従事者もあることから、通常の河川流量を損ねないよう配慮され施工されている。まず、右岸側の河川内を締切ってドライエリアを設けることで2径間のみの水門基礎工から上部工までを施工し、その後、左岸側を締切って残り3径間を築造する二期間に分割した計画で施工が行われている。

■鵜住居川水門施工状況



■鵜住居川水門正面図・側面図

二級河川「甲子川」水門工事



■甲子川水門整備平面図

■甲子川水門工事の鋼管ソイルセメント杭施工状況

釜石市街地への浸水を防御する重要河川への水門新設工事

釜石市の中心部を流れ釜石港に注ぐ甲子川は、背後地の市街中心部へと津波浸水の影響が大きいほか、近接する港湾施設や工場用地などへの防災の観点からも重要な対策が必要な河川である。

本工事では、釜石港海岸防潮堤と一体となった水門を構築することで釜石市の嬉石・松原地区の災害復旧を確かなものにする役割を担っている。

主要構造物となる水門本体および、水門に接続する防潮堤の高さはL1津波に対応した、T.P.+6.1mの計画堤防高に設定されている。4径間・全長120mとなる水門本体は、こちらも鵜住居川水門と同様に被圧水対策の必要があることから、鋼管ソイルセメント杭（杭径1000～1400mm・鋼管径800～1200mm、杭長29～39m・鋼管長25.0～35.5mの合計249本）が基礎工に採用されている。

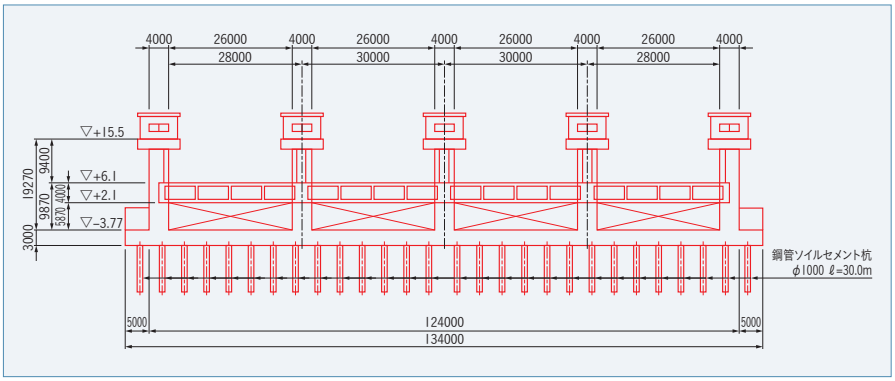
甲子川水門の場合も通常の河川利用を損ねないように、第1期工事では左岸側河川内を締切って水門の基礎工から上部工までを築造する。その後、第2期工事として右岸側の水門の築造に移る予定だ。

鮭漁など豊かな恵み育む河川環境へ配慮しながら施工

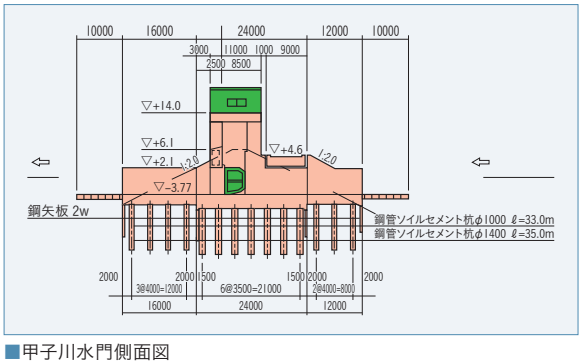
甲子川でも鵜住居川と同様に、被圧地下水が確認されたため、その対策としてもっとも有効と考えられる鋼管ソイルセメント杭工法が採用された。

本河川でも、秋の鮭漁の時期はもちろん稚魚の放流を行う春にも河川内での施工による水質汚濁や振動・騒音の影響に気を配っている。通常、放流された鮭の稚魚は3～5年後に生まれ故郷の川に帰ってくるので、今シーズン遡上する鮭の多くは震災の年に放流されたものが多い。そのため、工事における騒音･振動等を定期的に観測して、鮭漁に影響のないレベルであることを確認しながら、地元漁協との協議を密に行い、環境に配慮した工事を進めている。

現在、甲子川水門は左岸側の基礎工施工を終え、上部工の立ち上げが進められている。



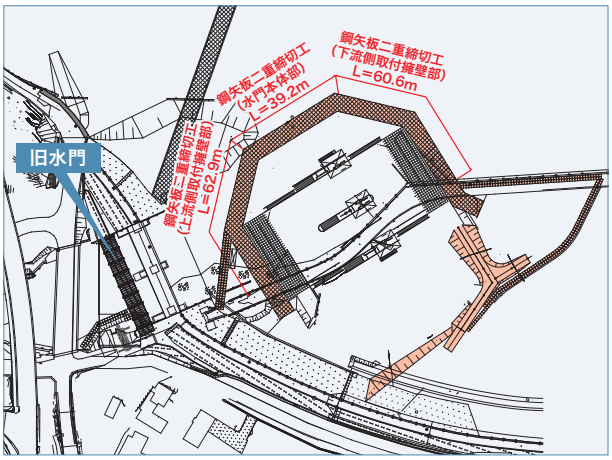
■甲子川水門正面図



■甲子川水門側面図

■甲子川水門施工状況

小白浜地区海岸水門工事



■小白浜海岸水門工事位置図

破損した既設水門更新のための新設工事に鋼管杭基礎が採用

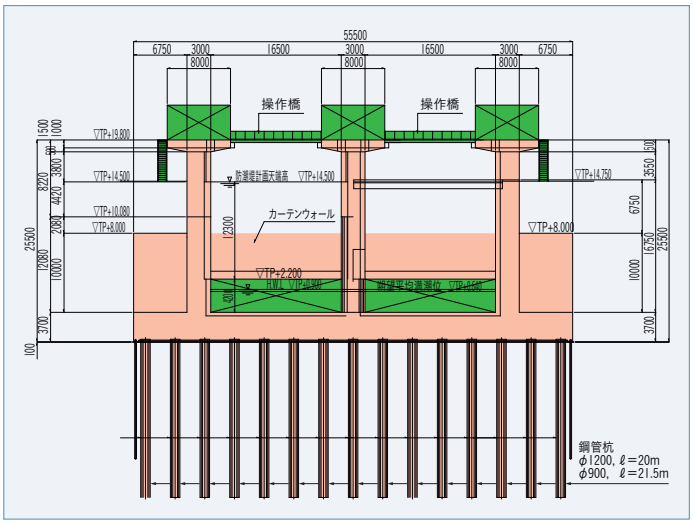
釜石市の南部、唐丹湾に面する小白浜海岸でも、海岸保全施設約470mが全線にわたり津波による被害を受けた。既存の防潮堤は引き波による裏法尻の洗掘で裏法が空洞化するなどしたほか、コンクリート被覆も損傷するなどして堤防が破損した。唐丹湾に流れ込む片岸川の既設水門は水門建屋を越えた津波の水勢で上屋設備等も損壊し、機能喪失となった。

平成23年より設計、用地確保などが着手された災害復旧工事では新計画堤防高さはL1津波を想定したT.P.+14.5mに設定され、総延長520mの防潮堤の嵩上げと、あわせて旧水門から85m海側に前出しした水門1基を新設する工事が行われている。

硬い中間層も確実に打ち抜き確実な施工が可能な鋼管杭基礎

2径間全長55mとなる水門部の基礎には、杭径1200mm・杭長20mの鋼管杭が105本、杭径900mm・杭長21.5mの鋼管杭が48本と合計153本の鋼管杭が支持杭として打設されている。当工区では支持層に到達するまでに礫混じりの硬い層があることや、周辺民家等への振動や騒音に配慮が必要ないことから、安価な工費で打設も確実で施工も早い打撃工法が採用されている。

現在はすべての基礎工を終え、水門部の堰柱を立ち上げるコンクリート工が行われている。完成は平成29年度末の予定で、新設された防潮堤や水門の背後地には、漁業関連施設などの産業エリアとして復興が進められることが決定している。



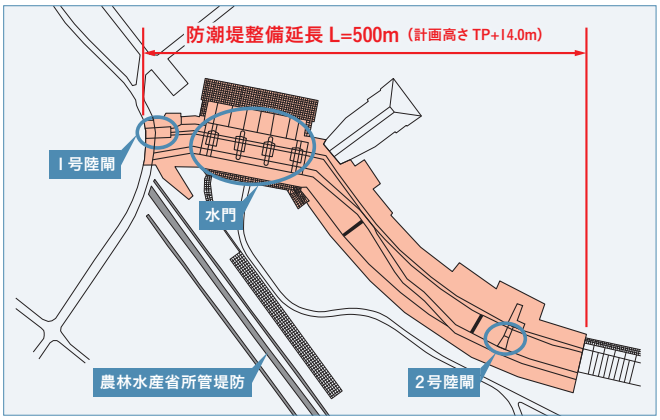
■小白浜海岸水門正面図

■水門堰柱部コンクリート工の施工状況

■小白浜海岸水門工事の河川内締切りと鋼管杭打設状況

■小白浜海岸水門工事の鋼管杭打設状況

野田地区海岸防潮堤ほか工事



■野田地区海岸防潮堤等整備平面図

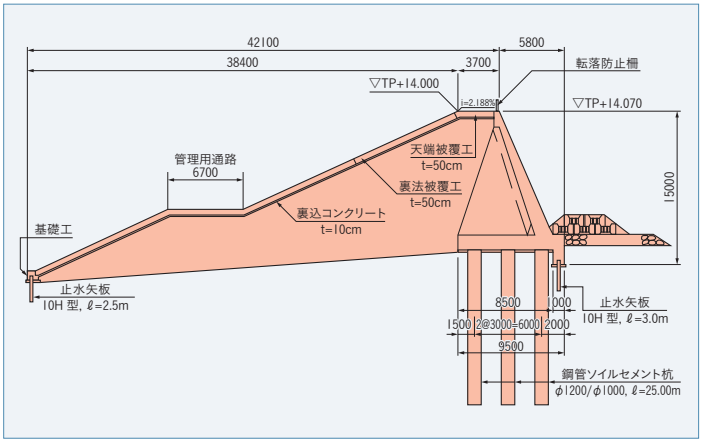
■野田地区海岸の鋼管ソイルセメント杭施工打設状況

二重三重の防御ラインで備える基礎に鋼管杭が採用

死者38名、家屋被害約500棟と久慈地区の中ではもっとも大きな被害を出した野田村では、水門1基・陸閘2基を備えた延長500mの海岸防潮堤の整備が進められている。

野田地区海岸での新たな計画堤防高は、次のような基準で設定されている。もともとこの地区には、農林水産省所管でT.P.+10.3mとT.P.+12mの防潮堤があった。それを今回の計画堤防高の見直しで第一線堤をT.P.+14mに嵩上げするとともに、その北側の開口部にさらに新たな防御ラインを新設することになったのが、この計画延長500mの海岸津波対策事業となる。

全長約100mで3径間の構造となる水門部の基礎は、山側の露岩に近いなどの地質条件から場所打ちコンクリート杭が採用されているが、T.P.+14mの防潮堤部には全線にわたって杭径1200mm（鋼管径1000mm）・杭長17.6～25.1m（鋼管長17.0～24.5m）・SKK490・総本数390本の鋼管ソイルセメント杭が打設されている。



■野田地区海岸防潮堤標準断面図

軟弱層も遍在する地層を考慮し鋼管ソイルセメント杭が採用

水門部と異なり防潮堤に鋼管杭が採用されたのは、津波の洗掘にも耐えられるよう裏法の傾斜を大きく取った防潮堤の構造とコンクリート被覆による大きな荷重を支える必要があることに加えて、中間層に軟弱な層が遍在することから確実な打設が必要とされたからである。

また、鋼管杭の中でも鋼管ソイルセメント杭工法が採用された理由としては、支持層となる砂礫層のほかに軟弱な粘性土層が混じる地層条件で、さまざまな杭工法を検討した結果、鋼管ソイルセメント杭工法は支持力が大きく少ない杭本数で設計できるため、施工日数も短く、経済性にもすぐれていることから、最適な工法と判断された。

基礎杭の打設が行われた現場は、外海に面しているため、低気圧が接近すると仮締切の鋼矢板を超えるほどの波浪に見舞われるのが常という過酷な施工環境でもある。施工管理、安全管理ともに大変な苦労を要しながらも、平成26年3月に着手された鋼管杭の打設は同年12月には無事完了し、現在は防潮堤本体の築造が行われている。

■波浪時の影響も大きな環境で水門と堤防の築造が進んでいる

■防潮堤本体の築堤工事の状況

未来FRONT

Part 2

省スペースで近接施工に強みを発揮
施工性のよさで経済メリットと
強靱な素材の頼もしさもアピール

送電鉄塔のほか河川航路にも近接し、厳しい安全管理が求められる旧吉野川・広島堤防工区

徳島県／吉野川下流域および那賀川・桑野川における鋼矢板を用いた河川堤防の地震・津波対策

2011年3月11日に発生した東日本大震災の被害状況を踏まえ、現在、全国各地の河川堤防で津波対策が行われている。その際の堤防の施設計画で重要視されているのは、数十年から百数十年に一度程度発生するとされる大規模地震で基礎地盤が液状化することで堤防が沈下し、その後に来襲する津波への対策である。そのため、現状で無堤または堤防高さが不足している地区については、築堤や堤防嵩上げが図られるとともに、既存堤防にも必要に応じて堤防の沈下を抑制する対策工事が実施されている。その対策工法はさまざまであるが、住宅地などが近接する狭隘地での施工を余儀なくされる地区では、省スペースで迅速な施工が可能な鋼矢板を用いた対策工が進められている。徳島県の2河川での実例を紹介する。

東日本大震災の被害を教訓に津波対策が進められる河川堤防

四国第一の河川であるばかりでなく、利根川の「坂東太郎」、筑後川の「筑紫次郎」とならび「四国三郎」と称される日本有数の大河川・吉野川。そのうち、旧吉野川とその分流である今切川。そして、県南部の阿南市に河口部をもつ那賀川と、その支流の桑野川で、現在、大規模な河川堤防の地震・津波対策工事が行われている。

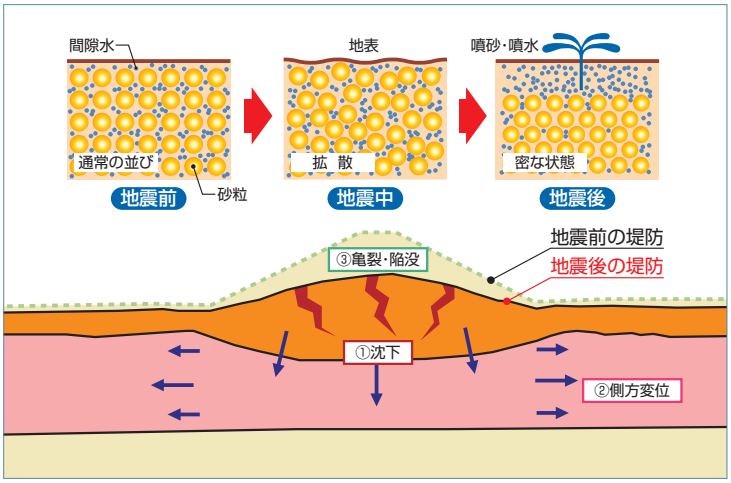
両河川とも対策の契機となったのは、2011年3月11日に発生した東日本大震災の被害である。その巨大な地震動や津波によりもたらされた被害の状況を教訓に、徳島県では東南海・南海地震等による数十年から百数十年に一度程度発生すると想定される「L1津波」を施設計画上の津波と設定し、海岸および河川の堤防や津波水門等の整備により、津波災害からの防災を目指す計画・設計が図られた。

その基本的な考え方は、無堤地区や堤防高さが不足している箇所については順次、築堤や堤防の嵩上げを図りつつ、地震による基礎地盤の液状化に伴い河川堤防が沈下することも想定した液状化対策を行うことである。

液状化層の剛性・強度が低下し堤防機能の低下・喪失への対策

液状化とは、地下水位が高く緩い砂質地盤で、地震の揺れで土の粒子間結合が解かれ液化したような状態になることである。地盤に液状化が発生すると噴砂・噴水のほか地盤沈下を引き起こす。特に大量の盛土で築堤されている堤防の場合は、液状化層が堤防自重により側方に押し出され、その変位によって堤防が両側に引っぱられることで亀裂が発生する。沈下や亀裂による堤防の機能低下・喪失により、津波が越流することで堤防背後の市街地等に

■吉野川、および那賀川位置図



■地盤における液状化のメカニズム

■川表側の耕作地、川裏側の住宅地と民地にはさまれた環境に配慮しながら施工される桑野川・住吉堤防工区

大きな被害をもたらすことになる。

近接施工等に強みを発揮、堤防の沈下を抑制する

今回、河川堤防の津波・高潮対策が必要とされる吉野川および那賀川の両下流域の地盤は、砂質土層が20～30m程度堆積した地層で液状化層が厚く存在しているのが特徴である。これらエリアでは、堤防の沈下を抑制するためサンドコンパクションパイル（SCP）工法による地盤改良と鋼矢板工法が、施工箇所ごとの環境を考慮し、採用されている。それぞれの工法が選択されるポイントは次の通りである。

作業スペースが十分に確保でき、居住地家屋などが隣接しない工区ではSCP工法を採用するが、狭隘地の施工区間では省スペースで迅速な施工が可能な鋼矢板工法が用いられている。

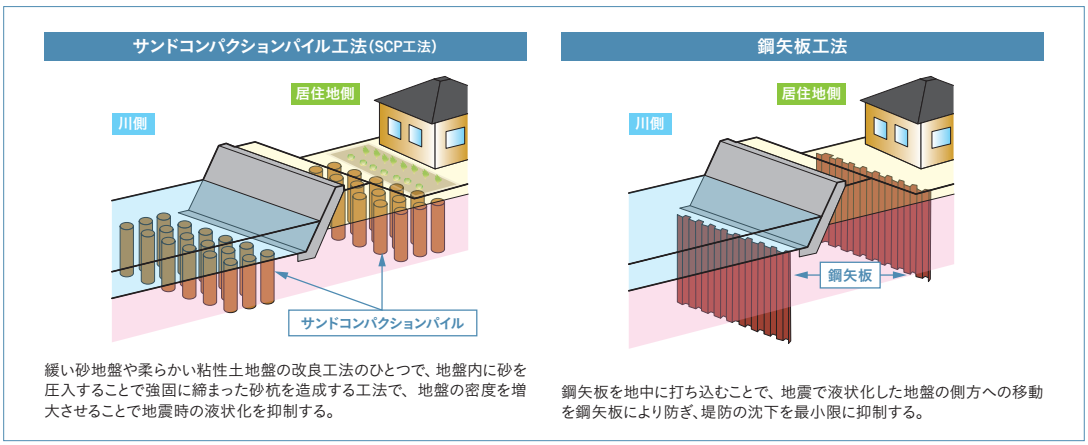
作業スペースの有無にかかわらず、隣地家屋などへSCP工法による地盤変位の影響が予想される工区でも積極的に鋼矢板工法が用いられており、SCP工法で施工した堤防の川裏側のみに鋼矢板を打設している箇所も多い。

剛性で側方流動を抑える鋼矢板工法は、地盤変位を最小限に抑えることができ、隣接家屋だけでなく施工現場付近の川底に水道管や工業用配水管などの施設・設備がある場合でも積極的に採用されている。

鋼材ならではの頼もしさを近隣にアピールする鋼矢板

鋼矢板を用いることのメリットは、省スペースで迅速かつ近接施工が可能というほかにも剛性の高い鋼材を用いることで、近隣住民への説明会などでも安心感をアピールしやすい点があるという。特に、実際に鋼矢板を搬入し、打設している状況を確認してもらうことで強靱な素材を用いた確かな対策が施された構造物ができあがり、地域が地震と津波から守られるということも理解されやすいという。

さらに、鋼矢板工法は大きな作業ヤードを必要としないことや迅速な施工が可能なことから、施工スペースの確保や要員削減などが見込める。そのため、施工環境の諸条件によってはSCP工法と同等以上の経済性を発揮する。



■SCP工法と鋼矢板工法による液状化対策工法の概要図

旧吉野川・今切川「広島堤防耐震対策工事」

20m前後の液状化層への沈下対策に鋼矢板工法を採用

旧吉野川、およびその分流の今切川の下流域は、地盤高が潮位以下の箇所が多く存在し、また古くから吉野川の氾濫地域という歴史背景から、おおむね20m前後の砂質土層で形成されており、厚い液状化層が存在している。

この地域の地震・津波対策工事はL1津波を想定した堤防の沈下対策で、既設堤防の嵩上げとともに液状化抑制のための対策工としてSCP工法と鋼矢板工法が採用されている。

鋼矢板工法が採用されている工区の特徴は、作業ヤードが不足していることや家屋等の建造物が工区に近接するためSCP工法を用いるには適していないという環境条件に加え、作業ヤードが確保できSCP工法で施工可能でも地盤変位の影響が懸念される場合にも鋼矢板工法が併用されている。

住宅地のほか送電鉄塔、開閉橋航路対策などシビアな近接施工

今回、取材に入った今切川左岸、延長約198mの「広島堤防耐震対策工事」地区では、川裏側に住宅地が近接するほか工区の上空には送電線鉄塔が迫るシビアな施工管理を求められる狭隘地・近接施工となっている。さらに、開閉橋を航行する船舶の運航や旧橋の撤去工事などにも近接しており、クレーンを用いた鋼矢板工法には特に安全管理に細心さが求められる現場となっている。

開閉橋の新設から旧橋の撤去、そして本工事と、さまざまな工事が長期間にわたり進行しているのも本工区の特徴で、近隣住宅地への騒音・振動管理にも細心の注意が払われており、24時間測定の騒音・振動計を設置して周辺の自治会や各家庭への配慮を徹底している。

鋼矢板の打設スピードは、継矢板か一枚物の鋼矢板か、さらには陸上施工か水上施工かによって差はあるが、2枚継の鋼矢板の場合は平均して1日5～6枚、19.5mの一枚物・水上施工で1日10枚程度の鋼矢板を打設できるという。

■吉野川位置図および河川堤防の地震・津波対策区間

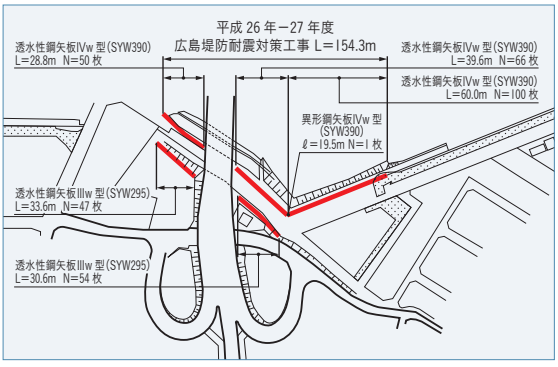
■一部、水上施工も行われた広島堤防工区

■旧吉野川・今切川　耐震対策延長

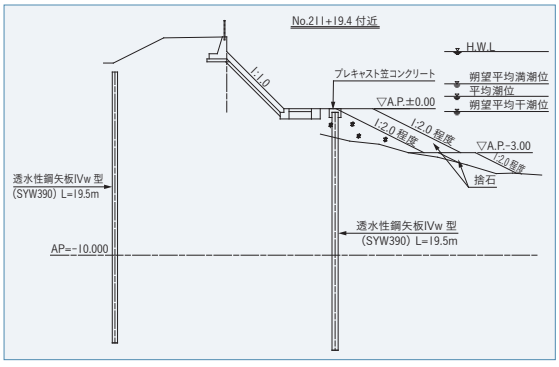
対策済延長（使用鋼矢板規格）	約4.6km Ⅲw型 L=16.5～20.5m、Ⅳw型 L=21.5～22.5m VL型 L=19.5～22.0m、VIL型 L=20.5～25.5m
未対策延長	約24.1km
全延長	約28.7km

■低振動・低騒音で施工が可能な油圧圧入機による鋼矢板打設

■住宅地のほか送電線鉄塔も近接する環境での鋼矢板打設



■広島堤防耐震対策工事／平面図



■広島堤防耐震対策工事／標準断面図

那賀川・桑野川「住吉堤防耐震対策工事」

県南の一級河川でも進む鋼矢板を用いた地震・津波対策

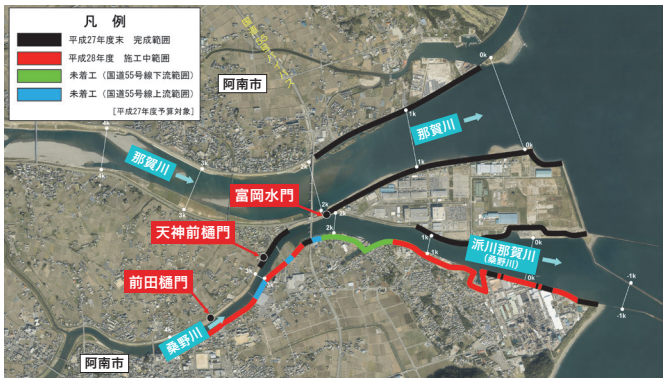
剣山山系ジロウギュウを源流とし、河口部まで流程125kmの一級河川那賀川と、その支流である桑野川でもL1津波を想定した地震・津波対策が着手されている。《事業対策延長約11.1km（内訳・那賀川約4.6km、派川那賀川約4.5km、桑野川約2.0km）》その計画は、無堤地区の解消とともに巨大地震による堤防の沈下対策として既設堤防の嵩上げと液状化抑制のための対策工が行われている。那賀川、桑野川とも国道55号バイパスよりも下流部から先行して対策工がはじまり、現在は上流部での工事が中心となっている。

嵩上げを含む既存堤防の液状化対策工約7kmで、旧吉野川・今切川と同様にSCP工法による地盤改良（約3.4km）と、鋼矢板を打設することで堤防地盤の側方流動を抑制する工法（約3.6km）が比較検討のうえ採用されており、両工法の選択ポイントは吉野川下流域と同様である。

深く厚い液状化層に対応し標準積算を超える長尺施工も

那賀川・桑野川下流域の地盤は、砂質土層の液状化層がおおむね約20m前後であり、河口部の液状化層は30m前後と非常に厚く存在しているのが特徴だ。非液状化層まで鋼矢板を到達させる必要があるため、最長で約30mの鋼矢板を打設する。河口部の施工は鋼矢板を海上運搬できることから一枚物の鋼矢板を使用するが、河口部以外は陸上運搬となるため2枚継の鋼矢板を使用する。

鋼矢板を打設するパイラーは、近接家屋等に配慮した低振動・低騒音で施工が可能な油圧圧入機を使用する。地中に点在する支障物の影響や高いN値などの条件で鋼矢板が打設しにくい地盤では硬質地盤クリア工法も採用されている。また、N値25以上の地盤と、鋼矢板の標準積算25mを超える長尺施工の場合はウォータージェット併用で打設が行われている。



■那賀川・桑野川の地震・津波対策区間

■那賀川・桑野川　耐震対策／鋼矢板使用数量

規格		重量（t）
Ⅱw型	L=7.5～14.5m	683
Ⅲw型	L=15.0～29.0m	3,179
Ⅳw型	L=18.0～29.5m	3,383
VL型	L=18.0～29.5m	592
VIL型	L=19.5～29.5m	10,280
		18,117

振動・騒音に配慮しながら迅速な施工が可能な鋼矢板工法

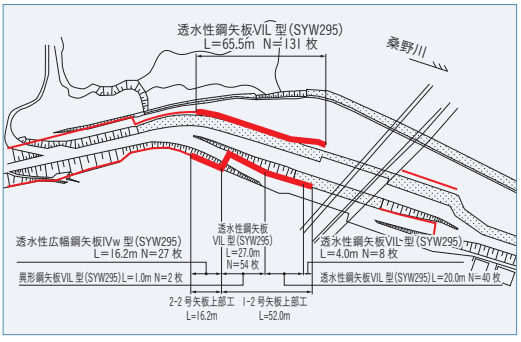
取材に入った桑野川右岸、延長約65mの「住吉堤防」工区では、川表側には耕作地などの民地があり、川裏側には住宅家屋が近接する現場となっている。川表側の耕作地に透水層が存在するため透水性鋼矢板を使用するほか、ここでも近接する宅地への騒音・振動対策として24時間測定の騒音・振動計を設置して近隣住民への配慮を徹底している。

「住吉堤防」工区では堤防上を作業ヤードとして使用できるため、搬入後の鋼矢板の継溶接を打設に先行して行い、1枚物の鋼矢板としてクレーンで吊り込み、打設を行っているのが特徴だ。

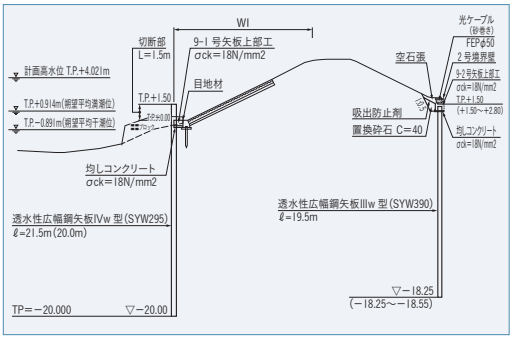
当工区での鋼矢板の施工スピードは、ウォータージェット併用で1日5～6枚、ウォータージェットを併用しなくてもよい地盤なら1日10枚程度の打設が可能だという（以上、鋼矢板長20m前後の場合）。

■硬質地盤クリア工法による鋼矢板打設状況

■堤防上を作業ヤードに行われる鋼矢板の継溶接



■住吉堤防耐震対策工事／平面図



■住吉堤防耐震対策工事／標準断面図