

未来 FRONT

Part 1

100年先を見越した首都高速の 更新に多種多様な杭工法で貢献

高速1号羽田線（東品川栈橋・鮫洲埋立部） 更新工事

1950年代後半からの高度成長に伴い、モータリゼーションの急激な進展から建設された首都高速道路。1962年に京橋～芝浦間で開通した1号線から年々ネットワークを広げ、現在の総延長は300km以上にもなり首都圏の交通と流通の大動脈として経済的にも重要な役割を果たしている。しかし、初期に建設された路線は供用からすでに50年以上が経過し、老朽化が進む首都高速道路の大規模な更新・修繕が求められるようになってきた。今回は、首都高速道路の大規模更新の第1弾として着工された「高速1号羽田線」の迂回路から更新線の、長期にわたる更新工事を支える鋼管杭・鋼管矢板基礎の役割についてレポートする。

空頭制限下にあるP27橋脚での鋼管杭打設状況

半世紀が経過し、老朽化した首都高速の再生事業

首都高速道路のうち供用開始から50年を超える路線は、2024年には全体の約3割に達するとされており、首都高速道路では、きめ細やかな点検と補修が日夜行われているが、老朽化と過酷な使用状況から、これまでの点検と補修では対応が困難な箇所が浮き彫りになった。こうした状況を受け、首都高速道路では2013年12月に合計延長63kmを対象とする大規模更新・修繕計画を発表。既存の構造を維持したまま補修・修繕が必要な路線は約55kmで、橋梁の架替えや床版の取替えによる更新が必要な路線は約8kmと選定した。東品川栈橋・鮫洲埋立部は、上記約8kmのうち約1.9kmに該当する区間である。

腐食環境著しい立地にメンテナンス困難な構造

1963年に供用された「高速1号羽田線（東品川栈橋・鮫洲埋立部）」は、老朽化に加え、立地環境による塩害と維持管理が困難な構造等により、著しく腐食劣化が進み、2016年2月から更新作業が進められている。

更新延長約1.9kmの同区間は、建設時に京浜運河沿いのスペースを活用したため、海水による塩害の影響を受けやすい。同区間のうち栈橋構造となっている約1.3kmの「東品川栈橋部」では、橋桁と海面との空間が3m程度しかなく満潮時にはその距離が狭くなり、高波の影響などを含めて点検、補修にあてられるタイミングが限られるため、維持管理が非常に困難な状況にある。そのため供用から50年以上を経て、激しい腐食環境によりコンクリート剥



■首都高速道路 大規模更新実施区間

離や鉄筋腐食等の重大な損傷が多数発生している。そのため、「東品川栈橋部」では長期的な安全性を確保する観点から構造物の更新が必要となった。

更新に際しては、並行する東京モノレールから一定の距離を確保し、海水面との桁下余裕高が極めて狭い現道の構造から12～20mの桁下余裕高をとる。これにより、更新後の点検や補修を容易にし、海水の飛沫や塩害環境の影響も最小限になるため高速道路の長期耐久性と維持管理を向上させる。

東品川栈橋部の南の「鮫洲埋立部」約0.6kmは、海水面に鋼矢板護岸で土留めた盛土にグラウンドアンカーを設置して路体を保持しており、現代では仮設に近い構造である。長期間海水にさらされた影響で鋼矢板護岸やグラウンドアンカー等も腐食が進行し、路面陥没等の重大な損傷が発生しているため、この区間は、地盤改良とプレキャストU型ボックスによる路面嵩上げ工事を行うことが決定された。

■大規模更新（橋梁架替え・床版取替え）実施区間

路線	対象箇所	当初開通年度	事業年度	延長
1号羽田線	東品川栈橋・鮫洲埋立部	1963年度	2014～2026年度	1.9km
	高速大師橋	1968年度	2015～2023年度	0.3km
3号渋谷線	池尻・三軒茶屋出入口付近	1971年度	2015～2027年度	1.5km
都心環状線	竹橋・江戸橋JCT付近	1964年度	2015～2028年度	2.9km
	銀座・京橋出入口付近	1962年度	2015～2028年度	1.5km
小計				8km



■海水面に近いため日常の維持管理が困難であり、コンクリート剥離から鉄筋露出などの損傷が発生



■路面ひび割れなど損傷が発生する鮫洲埋立部



■高速1号羽田線（東品川栈橋・鮫洲埋立部）更新区間平面図

既存道路の交通機能を維持しながら進められる建設工事

「高速1号羽田線（東品川・浅草橋・鮫洲埋立部）」更新工事は、2016年2月に着工され、2026年度末の完了を見込んでいる。わずか2km足らずの区間に10年以上もの期間を費やすのは、この路線がもつ社会的、経済的な影響の大きさが理由となっている。

同区間は羽田空港へアクセスするための主要路線であり、沿線には物流施設も数多く立地しているため、産業上重要な役割を果たしている。通行量は1日7万台にものぼり、更新工事に際して通行止めにするのは、社会的にも経済的にも損失が大きいため避けなければいけない。そのため、工事を進めるにあたっては暫定的な迂回路を用意して、工事期間中の同路線の円滑な通行を確保しなければいけない。迂回路の設置工事と更新路線の新設、そしてその間に切り替わる迂回路の供用は複雑なス

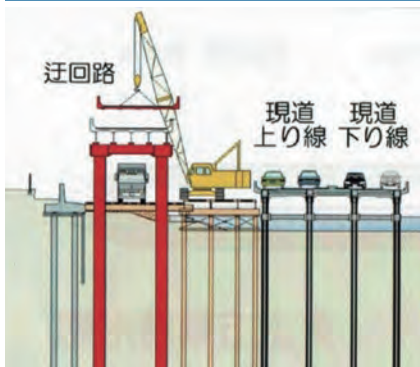
テップを踏み、工期の長期化はやむを得ない難工事となっている。その上、工区全般がマンション等の住戸に隣接するため、作業時間は8時～17時の昼間に限定されるなど制約が厳しい現場である。

着工開始から更新完了までの大まかな施工ステップは以下、図に示すとおりである。暫定上り線となる迂回路を施工して供用後（STEP①）、更新上り線となる半断面（Ⅰ期）を施工し、暫定下り線として東京五輪開幕までに供用する（STEP②）。その後、更新下り線となる半断面（Ⅱ期）を施工し（STEP③）、完成後は暫定下り線だった半断面（Ⅰ期）を更新上り線とし、迂回路を撤去して更新工事が完了する（STEP④）。

【迂回路】低騒音・低振動の回転杭で周辺環境に配慮

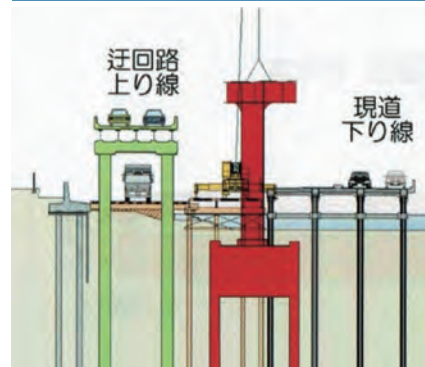
最終的に更新路線として供用する道路の建設だけではなく、その間、暫定的

STEP ① 迂回路（上り線）施工 2016年2月～2017年9月



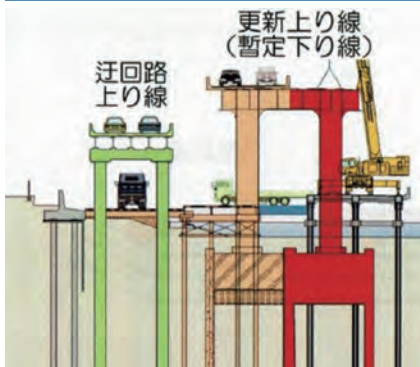
■ 工事用道路設置後に迂回路（上り線）を施工

STEP ② 更新線半断面（Ⅰ期）施工 2017年9月～2020年夏頃



■ 迂回路を上り線として供用し、更新上り線となる半断面（Ⅰ期）を施工、暫定下り線として供用する

STEP ③ 更新線半断面（Ⅱ期）施工 2020年夏頃～2023年頃



■ 更新線半断面（Ⅱ期）を施工

STEP ④ 更新線（上下線）供用 2023年頃～



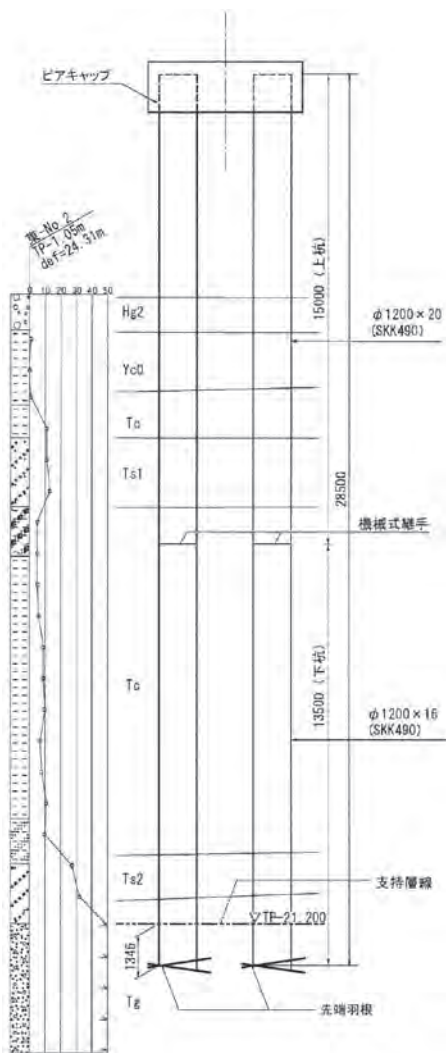
■ 更新線（上下線）を供用し、迂回路を撤去

とはいえ長期間にわたって使用される迂回路まで、「高速1号羽田線（東品川橋・鮫洲埋立部）」更新工事には、さまざまな種類の橋脚が用いられ、その結果多種多様な基礎工法が採用されている。

迂回路の構造では、打設した鋼管杭をそのまま橋脚とするパイルベント橋脚が採用され、迅速な施工に貢献している。鋼管杭は先端に羽根を有する回転杭が採用された。この橋脚基礎に回転杭が採用された理由としては、低騒音・低振動な施工が可能であるため周辺環境に配慮した工法であることに加えて、迂回路は供用が終わると撤去されるため、逆回転で鋼管杭の引抜きが可能であることも考慮されている。鋼管杭の接合方法は、現場での継手溶接が不要な機械式継手が採用され、施工時の工期短縮を実現している。

また、鋼管杭を打設した後に工場製作のピアキャップを、外面リブ付きの杭頭に間詰めコンクリートを用いて設置し、

橋脚として一体化。そこに上部工である鋼鉄桁を施工するため、工期がさらに大幅短縮となり、杭本数の削減から周辺環境への圧迫感も低減。スッキリと見通しのよい景観に貢献している。狭隘地でも桁下空間が大きく確保できるため、工事・点検用道路として有効活用され、橋梁そのものの維持管理にも寄与するなどメリットが大きい工法となっている。



■回転杭の建込み状況

■迂回路 DP20 橋脚（正面図）



■回転杭を用いて施工された迂回路の桁下空間は長期間の工事用道路としても活用されている

[更新線] 水中での施工実績豊富な鋼管矢板基礎が採用される

更新線の施工については現場工程の短縮が最優先で図られているのが特徴だ。そのため、橋脚は場所打ちRC橋脚ではなく工場製作の鋼製橋脚を採用し、上部工や床版についても工場製作の鋼桁やプレキャストPC床版を採用している。

橋脚基礎についても工期短縮に主眼がおかれていることから、全長約22～38mとなる鋼管矢板基礎が採用された。鋼管矢板基礎は水中での施工実績が豊富で、仮締切り兼用とすることができる。そのため、締切り後はドライ環境の中ですみやかに頂版コンクリートから鋼製橋脚、床版等を立上げていくことができる。

狭隘な施工現場であることや隣地に住宅が接することなどから、低騒音・低振動でありながら迅速な施工性の鋼



■鋼管矢板基礎 締切り状況



■橋脚一般部の床版・桁架設状況



■東品川橋部、迂回路と更新1期線の現況

安全性を担保し、工期短縮を実現する鋼管矢板基礎

管パイラーを用いた圧入工法が採用された。

更新線半断面（Ⅰ期線）の基礎工は、2018年4月に施工が終了し、その後、急ピッチで進められた上部工も2019年度末で完成間近となっている。更新線完成後に上り線となるⅠ期施工は、現在、上り線として供用されている迂回路と併せて2020年夏頃には暫定下り線として供用され、この形で東京オリンピックを迎える予定である。



■鋼管矢板基礎 圧入状況

■鋼管杭・鋼管矢板工事数量

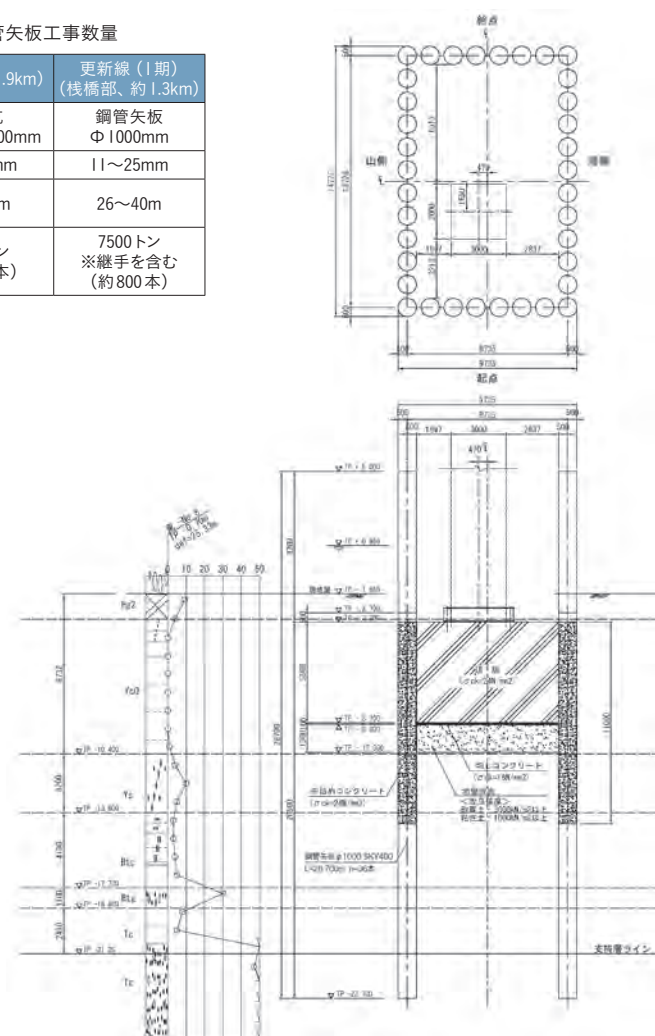
	迂回路（約1.9km）	更新線（Ⅰ期） （栈橋部、約1.3km）
杭径	鋼管杭 Φ1000、1200mm	鋼管矢板 Φ1000mm
肉厚	11～24mm	11～25mm
鋼管1本 あたり長さ	22～35m	26～40m
鋼管 合計	4300トン （約300本）	7500トン ※継手を含む （約800本）

厳しい空頭制限下でも安全性を確保し、迅速な施工が可能

迂回路および更新線では、それぞれ異なる施工条件下で、最適な工法による施工が行われている。特にP26、P27橋脚では、既設の高速1号線に近接し空頭制限下での施工が求められたため、P26橋脚では低空頭対応の圧入工法が、P27橋脚では低空頭対応の中掘り杭工法がそれぞれ採用された。

P26橋脚は支持層まで約20mでP27橋脚は約14mだが、現地盤面と既設構造物の有効空間高が7m程度しかない。そのため、もっとも厳しい空頭制限下では2～3m程度の短尺の鋼管矢板または鋼管杭をP26橋脚では9本、P27橋脚では6本継ぎとする低空頭施工が計画されていた。

短尺の鋼管となる低空頭施工では、基礎杭1本あたりの継手箇所数も多く



■鋼管矢板基礎構造図（Ⅰ期線・P7橋脚）

なる。そのため、現場溶接継手よりも短時間で接合可能な機械式継手を採用。既設構造物の空頭制限下であるととも、供用済みの迂回路や運行中の東京モノレールなど安全への配慮が求められるシビアな施工現場で、溶接不要な無火気施工が安全性を高めながらスピーディーな施工を実現している。

さまざまな施工条件に応え、工期短縮に貢献した鋼管杭

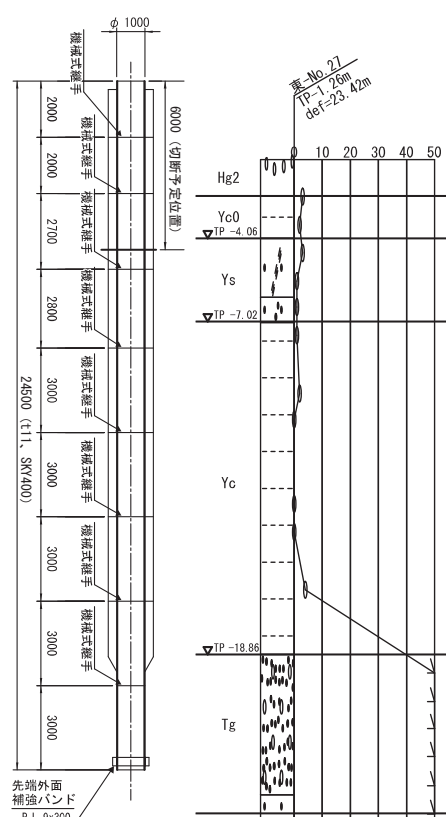
過酷な自然環境で50年以上にもおよぶ供用に耐え、著しい老朽化から大規模更新に踏み切った高速1号羽田線（東品川栈橋・鯨洲埋立部）は、この夏の五輪前にはすでに供用されている迂回路とともに更新半断面（Ⅰ期線）が暫定下り線として使用される。その後、更新半断面（Ⅱ期線）の工事が着手され、この完成を2023年頃に目指す。迂回路の撤去は、更新線上下線の供用開始後から進められ、これら事業

すべての完了を2026年度中と見込んでいる。

100年の耐久性とともに維持・管理も行いやすいよう各所に新工法、新技術が導入されながら建設される高速1号羽田線（東品川栈橋・鯨洲埋立部）。その基礎工事では、さまざまな鋼管杭・鋼管矢板基礎工法が低騒音・低振動や景観への配慮、狭隘な工事スペースなど、施工環境による厳しい要求をクリアして工期短縮と安全性の確保に貢献している。



■鋼管矢板の建込み状況（Ⅰ期線・P26橋脚）



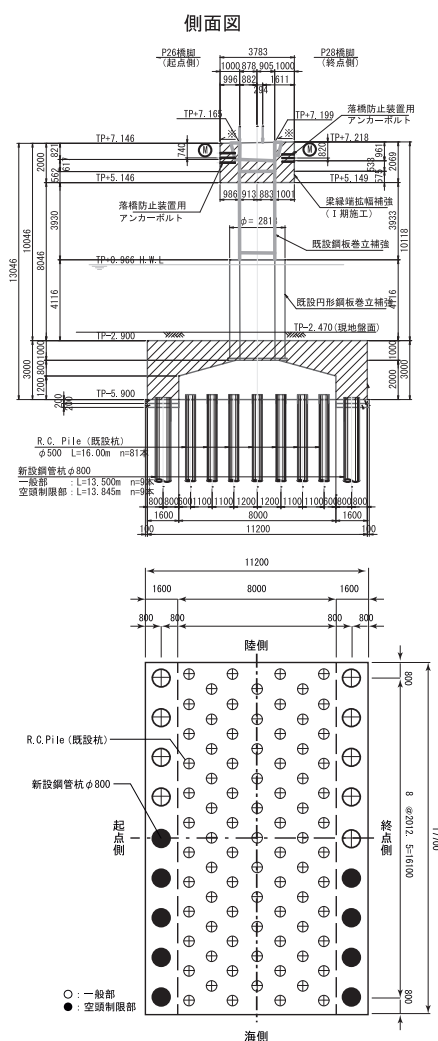
■鋼管矢板概要図（Ⅰ期線・P26橋脚）



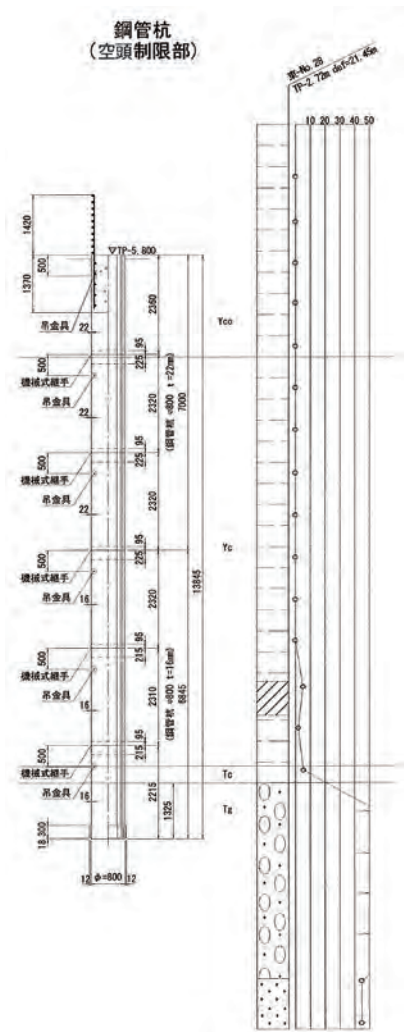
■鋼管杭の圧入状況（Ⅰ期線・P27橋脚）



■機械式継手の嵌合状況



■鋼管杭基礎側面図・杭配置図（Ⅰ期線・P27橋脚）



■鋼管杭詳細図（Ⅰ期線・P27橋脚）

取材協力：首都高速道路株式会社

未来

FRONT

Part 2

次の災害に備える治水工事から 応急堤の築造まで 幅広いニーズに応える鋼矢板

2018年の西日本豪雨で甚大な被害を受けた岡山県倉敷市真備町川辺地区で遮水矢板を用いた堤防強化が実施されている

岡山県／高梁川・小田川の堤防機能強化から緊急対策工まで 河川の総合的な治水対策に鋼矢板が大規模採用

河川の増水からその後背地を守る河川堤防では、鋼矢板が幅広く採用されている。その強靱な特性から耐震性を期待した堤防補強、河川の流れに対する侵食対策、浸透水に起因する堤防法尻からの崩壊抑止等、様々な堤防機能強化に活用されている。たびたび大規模な河川氾濫が

発生する高梁川と小田川では、これらの堤防機能強化の目的に加えて、西日本豪雨による大規模水害からの復旧事業推進のために、鋼矢板が大規模採用されているのが特徴となっている。

堤防決壊により県内最大の 浸水被害が発生した倉敷市真備町

高梁川は、岡山県西部を流れる延長約111kmの一级河川で、流域面積2670km²は県下最大である。主な支流のひとつである小田川は、広島県の神石高原を水源とし、真備高原を南東に流れながら岡山県井原市で東流に転じ、倉敷市真備町と総社市の境界付近で高梁川に合流する。流量の多い高梁川との合流点では、洪水時に本流への流入障害を起こすバックウォーター現象が発生し、たびたび氾濫を起こしてきた。

平成30年7月豪雨(通称：西日本豪雨)では、2018年7月5～7日にかけて本州付近に停滞した梅雨前線と、前線に流れ込んだ暖かく湿った空気の影響で西日本各地ではこれまでにない降雨を記録。これに伴い、河川氾濫や浸水害、土砂災害が広範囲で発生し、死者行方不明者が200人を超える平成最悪の水害となった。

岡山県の死者行方不明者は64人で広島県の114人に次ぐ被害となり、小田川の堤防2か所が決壊したことにより約12万km²が冠水した真備町では、最大浸水深が約5mにも達し、51人の



■高梁川水系流域図



■高梁川、小田川河川図



■倉敷市真備町における浸水範囲と小田川の堤防決壊箇所

※国土地理院公表資料を基に作成



■倉敷市真備町における浸水状況(7月7日 左岸1.2km付近)

死者を出す惨事となった。

高梁川水系には2010年に、おおむね30年間を目標に策定された河川整備計画があった。小田川では特に、高梁川への合流点の付替えを10年間で計画しており、2018年に仮設工が着手されたばかりのタイミングで西日本豪雨の被害を受けた。

災害復旧を後述の方法で迅速に完了させることに加え、「真備緊急治水対策プロジェクト」と呼ばれる前述の合流点付替え等のハード対策を5年間前倒した計画が推進される他、堤防の基盤漏水対策を目的とした遮水矢板の施工が、西日本豪雨で甚大な被害を受けた岡山県倉敷市真備町川辺地区で実施されている。

堤防の基盤漏水対策に 止水壁として適用される鋼矢板

小田川では西日本豪雨の際、越水による法面崩壊などの顕著な堤防決壊事例以外にも、堤内地に噴砂孔が散見された。この現象は「パイピング」と呼ばれ、河川水位の上昇から動水勾配が大きくなると、堤防基礎地盤の透水層（砂や礫）の浸透水の圧力が上昇し、堤内側の相対的に弱い箇所から漏水が発生することをいう。水みちの進行で、堤体が不安定となり決壊に至るおそれがある。こうしたパイピング破壊を防ぐため、堤防の堤外側法尻に止水壁として鋼矢板を打設する基盤漏水対策が行われている。

現在、鋼矢板が施工されているのは小田川右岸の矢形橋から二万橋までの川辺地区約1.4km。

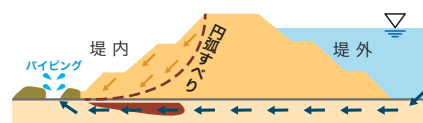
この区間では、現在の堤防が旧河道に設置されている。旧河道は基礎地盤の透水性が高く、パイピングが発生しやすい。そのため、堤防の断面拡幅や断面に遮水シートを施すとともに、水みちを遮断するため対象区間において連続して鋼矢板を施工する。

この区間は2019年度末までを目標に対策が進められており、これまで打設された鋼矢板は、ハット形鋼矢板25H L=18.5m 757枚、L=15.0m 392枚で総計2246トンにのぼる。鋼矢板長はパイピング対策を念頭に各断面で

浸透流解析を実施し、決定された。当初は経済性の観点からハット形鋼矢板10Hで設計されたが、比較的長尺でN値50以上の地盤に約1m根入れして打ち止めとするため、打設時の鋼矢板への施工負荷を考慮してハット形鋼矢板の型式を上げ、25Hを採用することにした。打設方法は、設計段階ではウォータージェット併用バイプロハンマ工法だったが、試験施工で最大粒径φ80程度の礫・玉石などが存在す



■小田川右岸 1.6km 付近 噴砂の状況



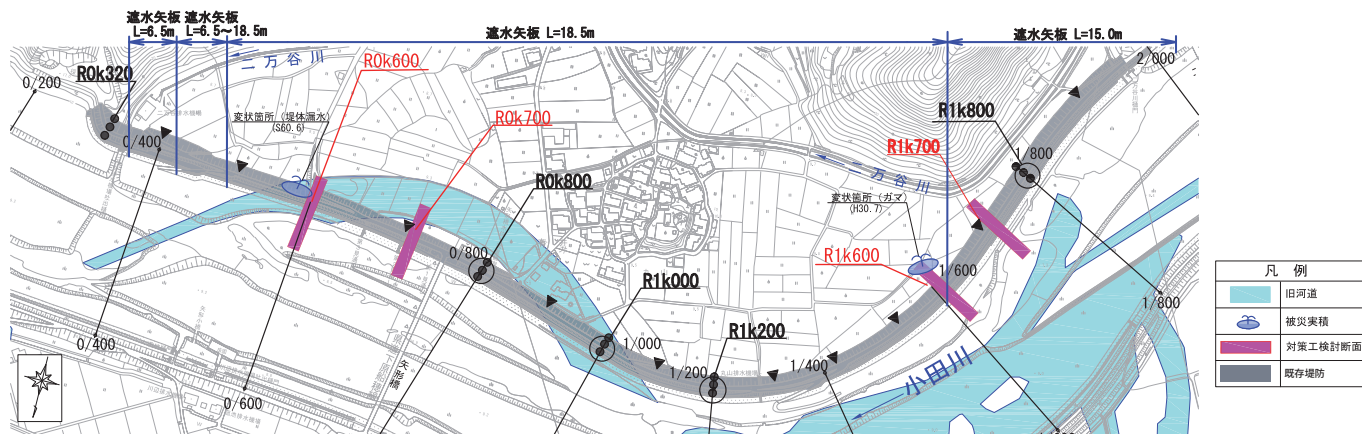
■パイピング現象による堤防破壊イメージ図



■小田川・川辺地区 鋼矢板の圧入状況



■硬質地盤クリア工法による圧入状況



■小田川・川辺地区 旧河道と遮水矢板計画図

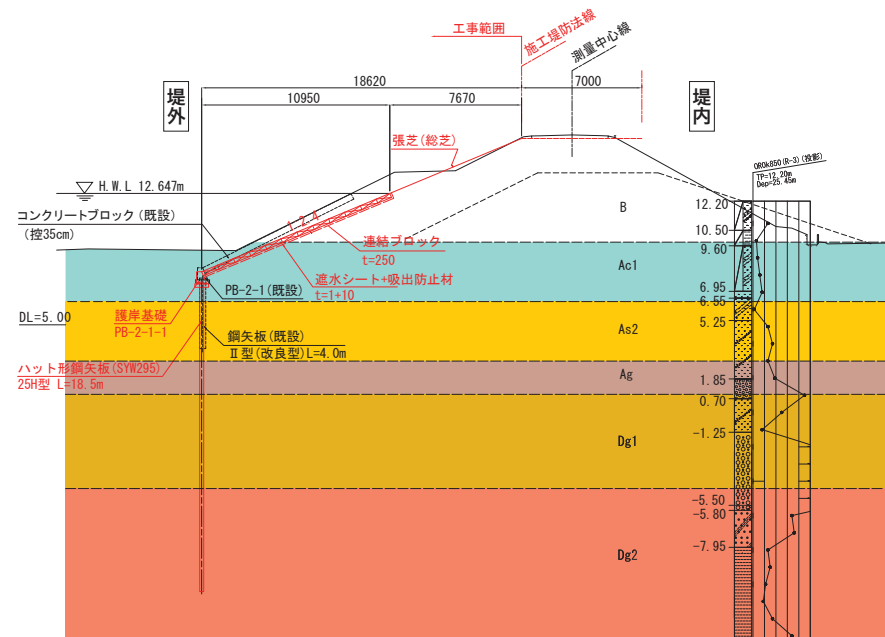
るため所定の根入れ長の確保が困難なことが判明した。そこで、硬質地盤にも鋼矢板の圧入が可能となるパイルオーガと圧入機が一体型の複合式圧入機（硬質地盤クリア工法）を用いた施工に変更し、これに対応した。日当たり施工枚数は、地盤条件によって左右されるが、25H L=18.5mは約5枚/日、25H L=15.0mは約7枚/日であった。

鋼矢板の迅速な施工性で 非出水期限定の長大工区を対策

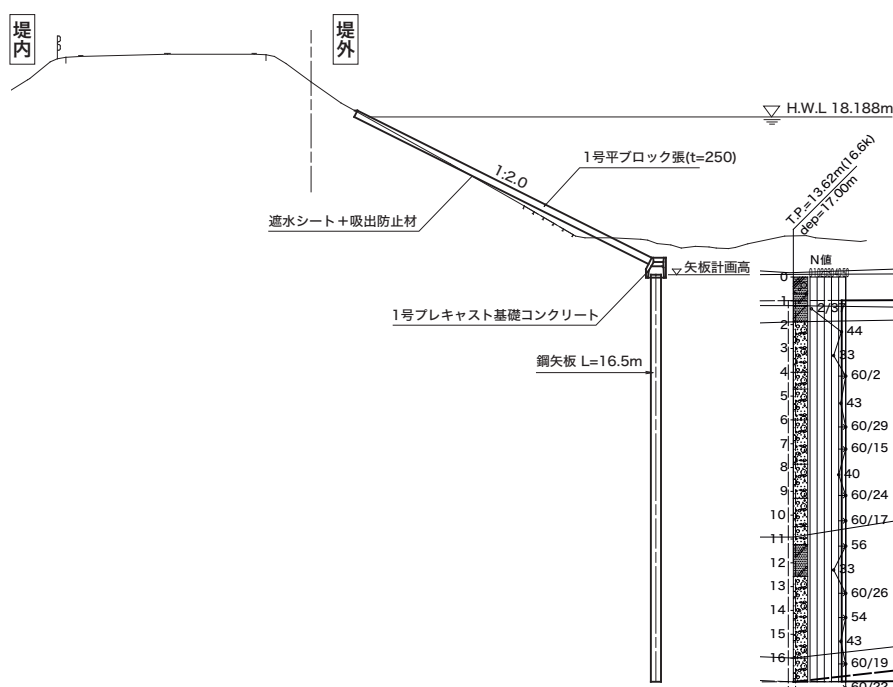
本流である高梁川左岸の、総社市清音・中原地区でも西日本豪雨時に多数の噴砂が発生し、小田川・川辺地区と同様の基盤漏水対策を目的とした遮水矢板の打設が行われた。同地区周辺では噴砂による堤防への影響は見受けられなかったが、今後の出水に伴い、堤防

基盤の砂や礫の流出による堤防の沈下等が発生しないようにすることで、再度災害の防止を図ったものである。

対策区間はL=3405mあり、堤外側



■小田川・川辺地区 標準断面図



■高梁川・中原地区 標準断面図



■高梁川 清音・中原地区 浸透対策施工区間



■高梁川左岸 16.5km 付近 噴砂の状況



■高梁川・中原地区 硬質地盤クリア工法による圧入状況

の堤防法尻に鋼矢板を打設する工事は次の出水期が訪れる6月ごろまでに完了させる必要があった。そのため工事区間を11工区に分割し、各工区にクレーンと複合式圧入機（硬質地盤クリア工法）を配置して、L=10.5～16.5mの鋼矢板約5000トンを一斉に圧入したのが特徴である。

遮水矢板の全長については、透水性のあるAg層（沖積礫質土層）を遮断することを設計思想としており、ボーリング試験で確認したN値50以上のDg層（洪積礫質土層）に約1mの根入れを確保することを基本としつつ、最終的には浸透流解析の結果から適切に設定されている。

強靱な特性と迅速な施工性で 決壊後の緊急対策工に貢献

2018年7月の西日本豪雨の際、高梁川水系では降り始めからの累加雨量が400mmを超え、各水位観測所で観測史上最高水位を記録し、7日朝までに小田川の左岸3.4kmで長さ約100m、左岸6.4kmで長さ50mと2か所で堤防が決壊した。決壊の要因は、記録的な雨量と高梁川本流からのバックウォーター現象により水位が上昇し、堤防を越水。堤内側の堤防法尻から洗掘が生じ、決壊したと推定されている。

緊急対策工事は早期復旧に向けて土日も含む24時間体制で実施され、決壊した2か所については、災害発生日の7日22時には緊急対策工事が着手された。まず、土のうやシートで覆うことで決壊前の断面形状や所定の高さを確保することで、堤防が流出した箇所の荒締切は15日23時に完了。ただし、この

荒締切盛土だけでは次の出水時に耐えられる堤防機能は確保されていないため、水害により決壊した堤防を本復旧までの比較的長時間の安全性を確保すべく、その背面に鋼矢板二重締切（以下、二重締切）を築造した。

この二重締切は、平成27年台風18号の豪雨で約200mにわたり決壊した茨城県常総市の鬼怒川堤防の応急復旧等でも実績がある。

バイプロハンマを用いた鋼矢板の打設は、二列ある鋼矢板壁の外側から先行して行われ、鋼矢板壁の内側を打設後、順次タイ材や中詰土工を設置し、21日10時には二重締切が完成。計14日間で緊急対策工事を完了した。

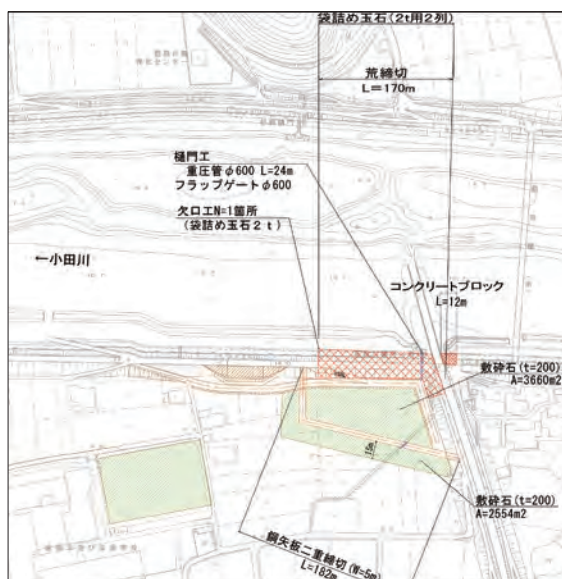
この二重締切に使用された鋼矢板は、Ⅲ型 L=11.0～12.0m 936枚（約620トン）である。決壊箇所を2週間以内にふさぐ緊急対策工であったため、中古材も含めてその当時製造済みであった資材を集約して現地に適用することが最優先された。

この小田川で用いられた二重締切も、鋼矢板の特徴であ

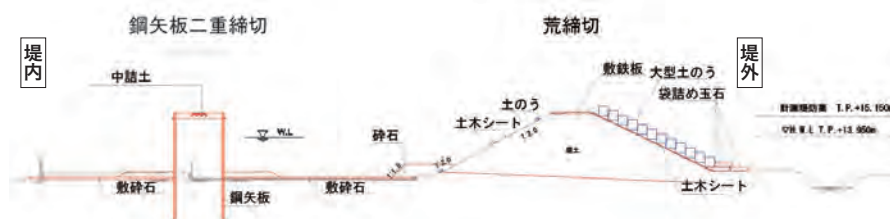
る迅速な施工性と強靱な特性から、極めて緊急性の高い災害復旧を目的とした仮設堤防の築造に貢献している。



■小田川左岸3.4kmの被害状況（2018年7月7日）



■鋼矢板二重締切 平面図



■鋼矢板二重締切 断面図



■鋼矢板二重締切の打設状況



■鋼矢板二重締切後の中詰土、作業状況



■完成した鋼矢板二重締切（左岸3.4km）

取材協力：国土交通省中国地方整備局岡山河川事務所、高梁川・小田川緊急治水対策河川事務所