

神戸地下鉄の河川斜横断鉄樋工法

River Oblique Crossing Method by Iron Tub

水田 守*
Mamoru Mizuta

大浦 章延**
Akinobu Ohura

要 約

神戸市交通局発註の高速鉄道地下線路工事は、河川を斜に横断する線形であり開削工法により施工した。河川横断部は、河底を幅18.9m、長さ89m、高さ5mの鉄樋で置替える鉄樋工法を採用した。鉄樋架設および河川復旧は、河川を3分割、あるいは、2分割し仮締切壁を設置して渇水期に行った。架設、復旧時共に異常出水に見舞われ、架設時では、重機械等が冠水するといった事態が生じたが、大事に至らず無事完工することができた。本文は、その河川部の内、主要工事（鉄樋、瀬割工）について報告する。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 鉄樋断面の検討
- §3. 施工順序
- §4. 主要工事の施工
- §5. おわりに

§1. はじめに

当工区における地下鉄路線は、御蔵橋から昭和橋の間において新湊川河底を斜に横切る。この新湊川は、防災上重要な河川の一つであり現在の河積を極力減少させずに施工するよう義務づけられた。

新湊川は、天王谷川、石井川、荻藻川を水系に持ち流域面積が29.3km²の2級河川である。神戸海洋気象台の記録によると過去最大降雨量は、87.7mm/h、近年では、昭和42年7月に75mm/h（過去2位）の記録があり雨期における河川氾濫の懸念があった。既に河川改修工事が進んでいるが、当工事場所から上流側200m、下流側100mの300m区間が未改修である。現在の新湊川流過能力は、221m³/sであるが河川改修後には計画時間最大雨量95mm/h、流過能力410m³/sになる予定である。地下線路

工事完成後の河川復旧に当っては、河川改修計画断面での復旧となっている。

施工計画に際しては、監督員及び河川管理者と十分な打合せを行い出水時に災害を起さないよう検討した結果、河底を鉄樋で置替える「鉄樋工法」を採用することになった。

§2. 鉄樋断面の検討

鉄樋断面の決定に当っては、現河川の流過能力以上のものが要求される。したがって鉄樋部上流側、河川断面の最大流量として設計した。

1) 対象河川流量Q

マニング (Manning) 公式から

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{2}{3}}$$

ここに、Q：流量

n：河川の粗度係数

A：流積

R：径深

I：水面こう配

この公式において、 $n=0.025^{\frac{1}{3}}$ 、 $A=66\text{m}^2$ 、 $R=2.86$ m、 $I=0.004792$ を代入すれば、流量Qは、381m³/sになる。

* 関西(支) 神戸地下鉄(出)

** 関西(支) 神戸地下鉄(出)所長

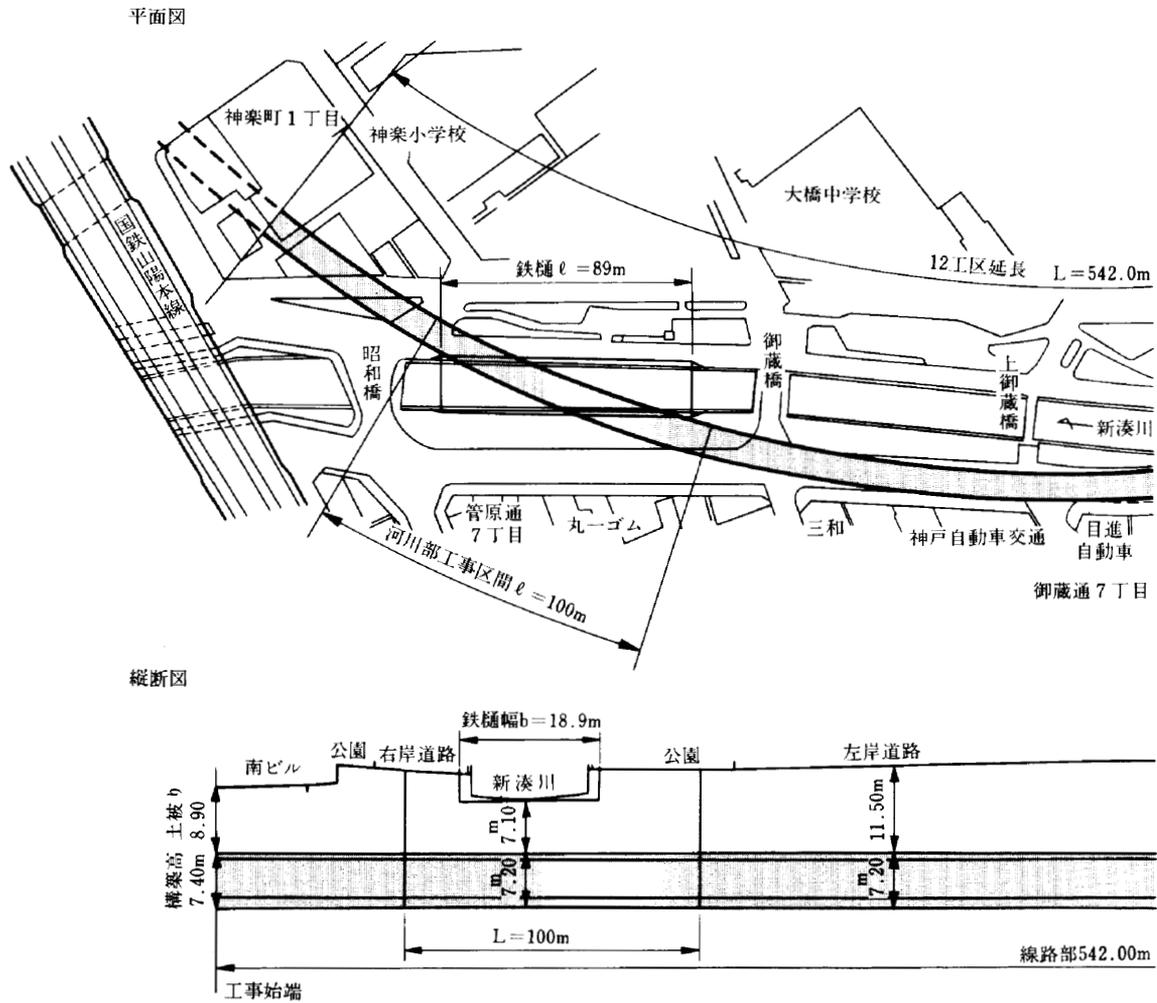


Fig.1 河川横断面部



Photo1 着手前

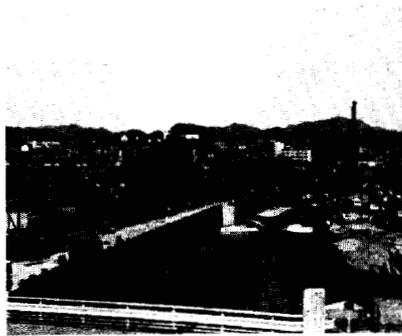


Photo2 鉄樋施工中

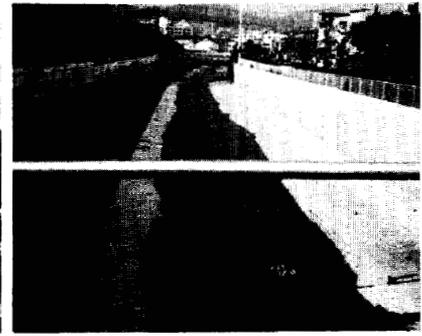


Photo3 河川復旧完了

2) 鉄樋断面の流過能力 Q_a

上記のマニング(Manning)公式に、 $n=0.017^{1)}$ 、 $A=92\text{m}^2$ 、 $R=3.24\text{m}$ 、 $I=0.004$ を代入すれば、流過能力 Q_a は、 $750\text{m}^3/\text{s}$ になり現河川断面に対して約2倍の流過能力がある。

§ 3 . 施工順序

- ① 河積を減少させず護岸背面から河川内に削孔に先立ちその部分の水流を避るべく一時的に土のうを積み、厚さ30cmの河床コンクリートを砕り撤去した。削孔建込は、リーダ懸垂式のアースオーガにより行い、H鋼杭を所定の深さまで挿入し建込んだ。

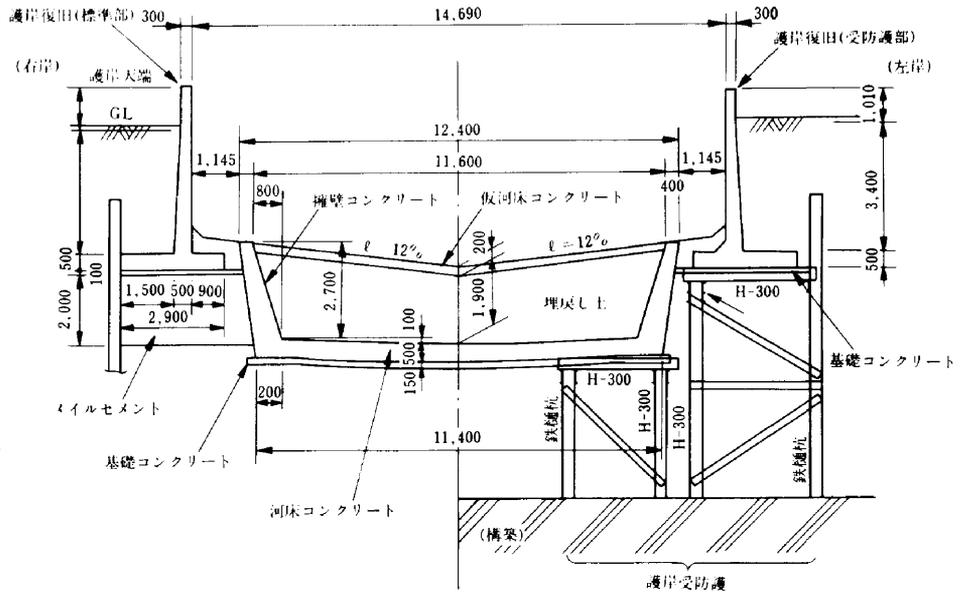
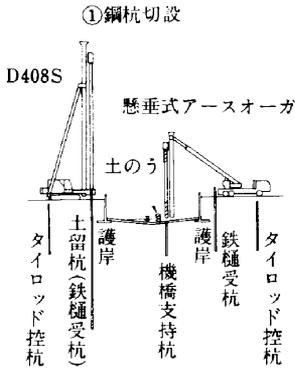
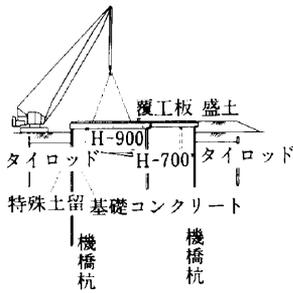


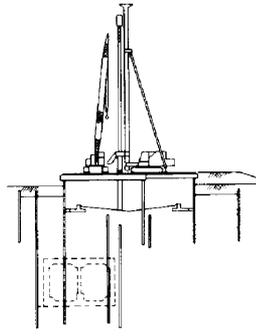
Fig.5 河川復旧標準断面図



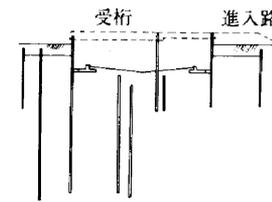
②棧橋架設 (Temporary bridge construction).



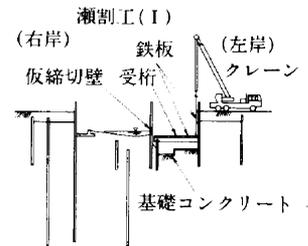
③棧橋上から鋼杭切設 (Steel pile cutting from temporary bridge).



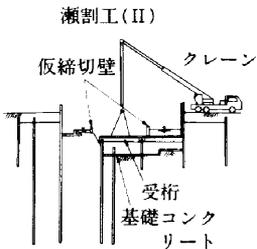
④棧橋撤去 (Temporary bridge removal).



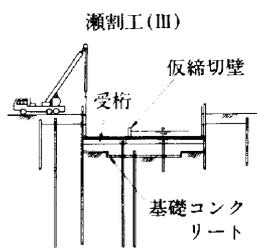
⑤左岸側鉄橋架設 (Steel bridge construction on left bank).



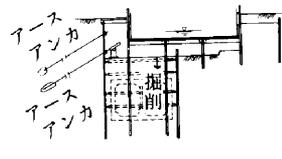
⑥中央部鉄橋架設 (Steel bridge construction in center).



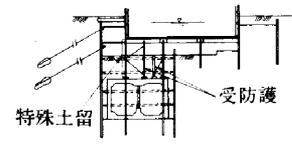
⑦右岸側鉄橋架設 (Steel bridge construction on right bank).



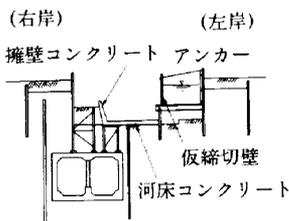
⑧鉄橋完成 (Steel bridge completion).



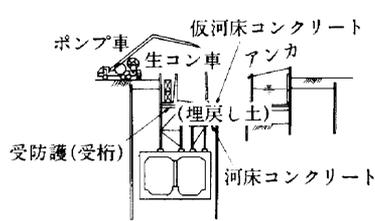
⑨受防護及び特殊土留施工 (Construction of protection and special soil retention).



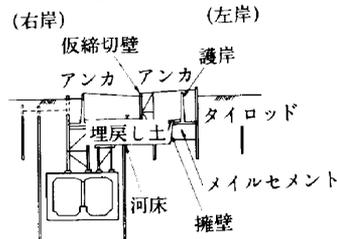
⑩右岸側河床復旧 (Right bank riverbed restoration).



⑪右岸側護岸復旧 (Right bank bank restoration).



⑫左岸側復旧瀨割工(II) (Left bank restoration cutting work II).



⑬河川復旧完成 (River restoration completion).

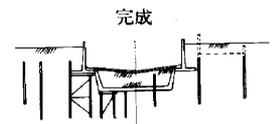


Fig.6 施工順序図 (Construction sequence diagram)

なお、H鋼杭建込後は、モルタルにより整形し河床の洗掘を防いだ。また、護岸背面に鉄樋受杭、タイロッド控え杭及び土留杭、中間杭を三点支持式杭打機（D-408-S）により削孔建込を行った（Fig.6①）。

② 河川沿の棧橋杭（鉄樋受杭兼用）に護岸背面上砂掘削後の打圧による杭変位を防ぐためにタイロッドを設置した。次に護岸背面をバックホーにより掘削、順次横矢板を施工した。棧橋杭面は、一時的に仮護岸とするため杭間に土留コンクリートを打設する特殊土留とし背面地山の洗掘を防止した。掘削及び特殊土留が護岸フーチング底部まで完了すると、基礎コンクリートを打設、根固めを行い護岸立上りコンクリートを下流側から順次砕り撤去した。

次に棧橋架設である。既に建込されている棧橋支持杭に上杭を継ぎ足し支承金物を取付け受桁を架設し引続き覆工板を敷設した。また、左岸側には、重機乗入れに必要な進入路の盛土を行い所定の勾配を確保し、しかも重量物に耐えるよう撤出し厚を50cm以下とし転圧を十分に行った。実際の乗入れ時には、鉄板を敷設し重機の安定を図った（Fig.6②）。

③ 棧橋上から河川内の鉄樋受杭及び土留杭の打設を行った。打設箇所は土のうで囲み、あらかじめ河床を砕り撤去しておいた。削孔時に発生する残土は、河床から棧橋上までケーシングを設置、棧橋上での残土処分とし極力、河川を汚さないよう努めた。また、上下流鉄樋取合部の鋼矢板（FSP-IV/A）をバイプロハンマにより打設した（Fig.6③）。



Photo4 棧橋上からの鋼杭打設

④ 全ての鋼杭建込込みが完了すると、クローラクレーン（440S）により棧橋を、バックホーにより進入路をそれぞれ

撤去した（Fig.6④）

⑤ 鉄樋架設は、河川を3分割し仮締切壁を設けて行う。まず瀬削工（I）である左岸側の1/3を締切る。水流が切替ると河床、護岸基礎部をアイオン及びブレーカにより砕り撤去した。次にバックホー及びビグラムシェルにより所定の深さまで掘削、並行し横矢板での土留を床付高さまで行い順次基礎コンクリートを打設した（基礎コンクリートは、仮締切壁を越流し現場が冠水したときに床付面が洗掘されないための保護である）。次に鉄樋受杭に支承金物を取付け順次受桁、覆工板をトラック、クレーンにより架設、敷設を行った。さらに覆工板上に鉄樋床となる厚さ4.5mmの鉄板を貼付けた。鉄板は、3.05m×1.52mのものを使用し重ね継手溶接で、また覆工板との取付けは、3㎡に1箇所穴を明けその部分を溶接した。鉄樋床完成後、側面を施工し引続き上下流、鉄樋と既設河床との取付けコンクリートを打設し水が円滑に流れるようにした（Fig.⑤）。

⑥ 左岸部の鉄樋が完成後、瀬削工（II）として鉄樋上に仮締切壁を施工、同時に右岸側仮締切壁を施工し水を左岸、右岸両側に切替え中央部をドライの状態にした。以下左岸部と同様に施工した（Fig.6⑥）。

⑦ 中央部の鉄樋が完了後、瀬削工（III）として鉄樋上に仮締切壁を施工し、水を中央、左岸に切替えた。以下同様に施工し鉄樋架設を完了した（Fig.6⑦）。

⑧ 鉄樋が完成後、地下線路本体工事を施工すべく掘削作業に着手する。掘削は、ブルドーザ（BS30）により鉄樋両側に土砂を集積、グラブリフタによりダンプトラックへと積込み残土処分した。

なお、掘削に伴い左岸、右岸共に支保工1段目、2段目にアースアンカを施工した（Fig.6⑧）。

⑨ 躯体コンクリート、防水工事が完了後、護岸及び擁壁を復旧する際に必要な、受防護材を地下線路本体上に建込み、順次埋戻し高さに沿って水平部材等の施工を行った。また、異常出水時に、河川から、水が流入した場合に備え、鉄樋外、地下線路本体への流出により災害を大きくさせないため鉄樋受杭列に横矢板及びコンクリートを打設し止水壁となる特殊土留を施工した（Fig.6⑨）。

⑩ この工程から河川復旧工事になる。まず、左岸側約1/3の位置に仮締切壁を施工する。水流を左岸側に切替え中央、右岸部がドライの状態にした後、トラッククレーンにより鉄樋撤去を行った。

次にブルドーザにより河床を所定の高さまで山砂による埋戻しを行った。十分な締固め後、基礎コンクリート、擁壁コンクリートの順に施工した。復旧延長は、約89m

であり1ブロック平均長12m, 8ブロックに分割し逐次ポンプ車によりコンクリートを打設した。養生後、擁壁コンクリートの背面を、山砂または、ソイルセメントにより一軸圧縮強度 $qu=10\text{kg f/cm}^2$ を基準として埋戻した。ソイルセメントは、護岸受防護区間以外とし現地混合方式により撤出し厚20cmに、転圧は、2.5tの振動ローラ、5回転圧とした (Fig.6⑩)。

⑪ 護岸の床付が完了すれば、河床と同様に全長を8ブロックに分け、護岸の底版、立上りのコンクリートを打設した。

次に将来、河川改修の際、撤去する埋戻し土及び仮河床コンクリート (厚さ20cm) を施工した。埋戻しは、瀬割工 (II) の際、仮水路底となるため十分な施工管理のもと撤出し厚30cmとし2tの振動ローラ5回転圧以上として十分な締固めを行った (Fig.6⑪)。

⑫ 右岸側タイロッド撤去及びそれぞれの鋼杭を標準仕様書に従い地盤下-2.1mの位置で切断、杭頭部を撤去した。次に護岸背面を埋戻し右岸側は、復旧を完了した。この工程までを、瀬割工 (I) の状態で施工した。

瀬割工 (II) での仮締切壁を仮河床コンクリート上に施工し右岸側に水流を切替えた。その後の工程は、瀬割工 (I) の場合と同様に護岸背面まで埋戻した。最後に仮締切壁を撤去、河川復旧を完成した (Fig.6⑫, ⑬)。

§ 4. 主要工事の施工

4-1 鉄樋架設

構造は、Fig.4のとおりである。以下に鉄板の継目の施工、鉄板と覆工板あるいは側壁の部材 H 鋼との取付け方法等について述べる。

鉄板は、3.05m×1.52m型を2cm程度重ね合せすみ肉溶接した。また、側壁部材 H-100とは、鉄板貼付け作業と合せて裏側から手延べして20cm間隔の10cmすみ肉溶接を行った。鉄板の継目等溶接の良否によっては、重大災害の誘発要因となるので再度溶接部を確認し、必要があれば2~3層の溶接を補足した。特に底部の覆工板との取付け部は、覆工面に凹凸があり隙間が生ずるため2~3層の溶接を行った。

以上熟練工による慎重な施工のもと懸念された夏冬期あるいは日温度差による鉄板の伸縮により溶接部の脱離、流石流木の衝撃による鉄板の損傷等もなく無事鉄樋の役割を果たした。また、幸いにして鉄樋完成後、地下線路本体工事中に異常出水による氾濫は、なかったが、災害に備えて鉄樋浮上防止金具を Fig.7 のように取付けた。

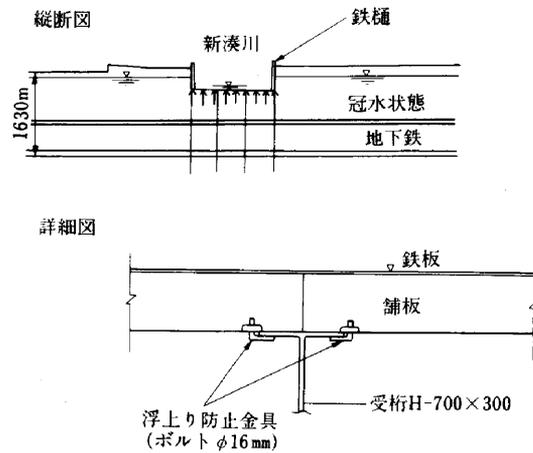


Fig.7 浮上り防止金具

4-2 瀬割工 (仮締切壁)

(1) 計画

現在の河床を鉄樋に置換える、また、河川復旧についても前述のとおり、鉄樋架設時には、河川を3分割、復旧時には、2分割する瀬割工により施工することになった。

瀬割工には、工事を円滑に進行させるのに必要不可欠な仮締切壁がある。構造を決定するには、慎重な検討を行い、特に次の項目を考慮し Fig.8, 9 のように決定した。

イ) 鉄樋架設時の仮締切壁

(a)、河川内に大規模な仮締切壁を施工することは、河川管理上からすれば、河積阻害の計算上支障がないとしても不測の事故等を考慮すると好ましくない。

(b) 規模を大きくし工費が大となる割には、メリットがない。

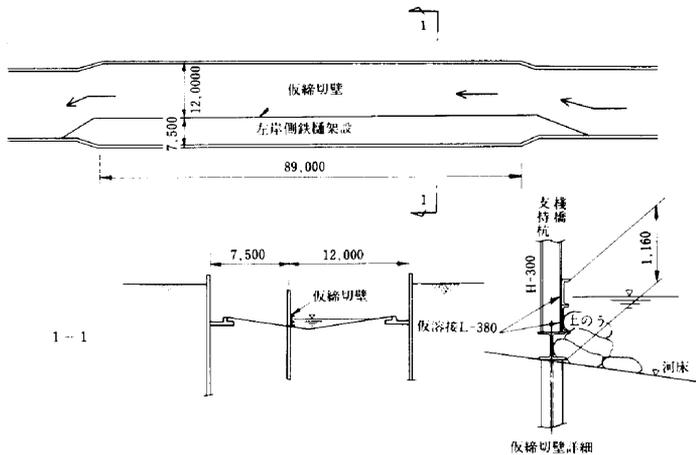
(c) 万一仮締切壁を越流した場合でも、被害が少なく復旧も速くできるので工程に支障がない。

(d) 瀬割工 (I) (II) は、ドライな状態で施工できるが、瀬割工 (III) では、撤去作業が水中となるので簡単な構造が望ましい。

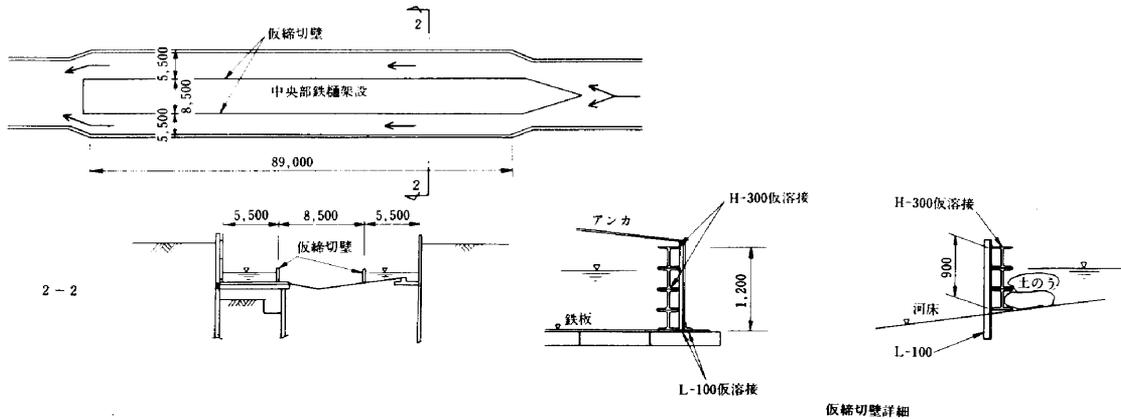
(e) 過去5年間の洪水期最大流量が $Q=121\text{m}^3/\text{s}$ 、時間最大降雨量 $r=17.5\text{mm/h}$ と少ない。

瀬割工による現河積阻害での河川流過能力計算結果を Telle 4 に示す。これによると洪水期最大流量 $Q=121\text{m}^3/\text{s}$ 出水の場合であっても河川より氾濫することがないが、仮水路能力が最小となる瀬割工 (II) では $Qa=20\text{m}^3/\text{s}$ であり明らかに仮締切壁はオーバフローする計算結果であった。しかし、最大流量 $Q=121\text{m}^3/\text{s}$ は、計算上のことであり神戸海洋気象台発表降雨量とその時期の新湊川流量との関係を53年~54年の間、調査した結果、

①瀬削工(I)



②瀬削工(II)



③瀬削工(III)

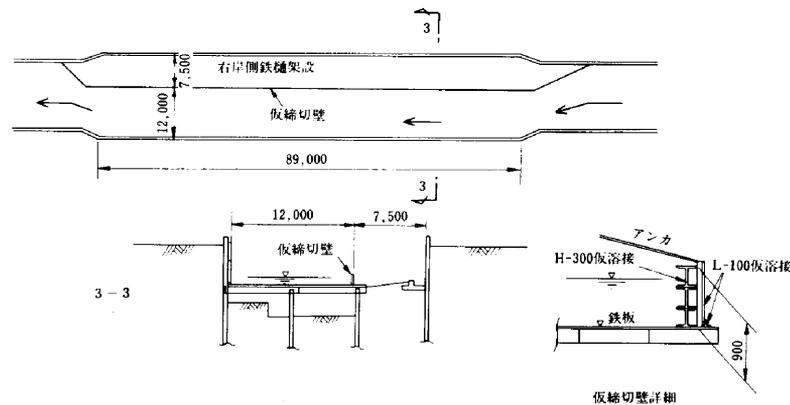


Fig.8 鉄橋架設時の仮締切壁

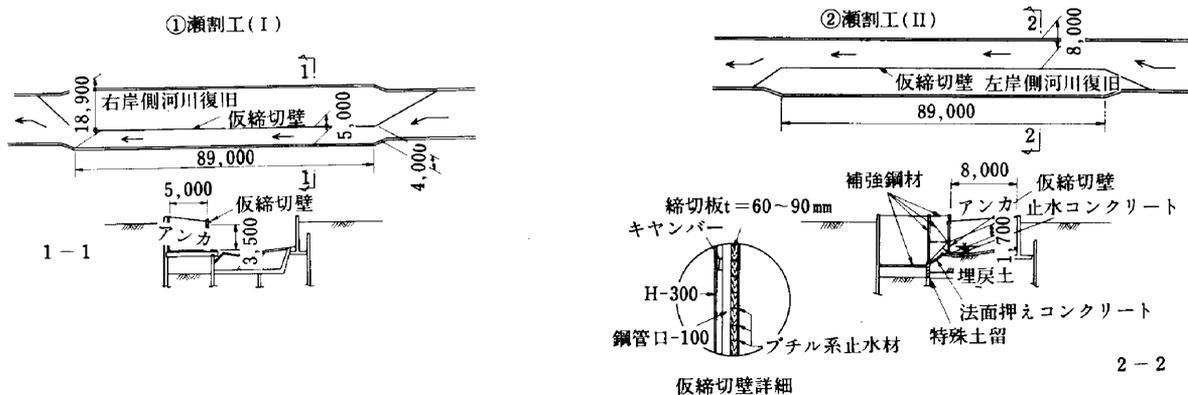
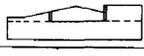
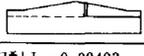


Fig.9 河川復旧時の仮締切壁

Table4 瀬割工による現河積阻害での河川流過能力計算結果

瀬割工	形状	阻害断面積 Ar(m ²)	有効断面積 Aa(m ²)	流過能力 Qa(m ³ /S)
(I)		4.86	77.14	363
(II)		7.65	80.25	—
(III)		2.37	84.45	—

但し 縦断勾配 I = 0.00403
粗度係数 n = 0.025⁽¹⁾(コンクリート) n = 0.017⁽¹⁾(鉄板)

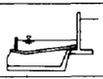
渇水期時間最大降雨量 $r=17.5\text{mm/h}$ では、 $Q'=19\text{m}^3/\text{s}$ であると推定され仮水路流過能力 $Qa=20\text{m}^3/\text{s}$ より僅かではあるが低い値となった。また、 $r=17.5\text{mm/h}$ の降水確率も低いことから仮縮切壁の構造を計画どおり小規模で簡単なものとした。

ロ) 河川復旧時の仮縮切壁

- (a) 仮縮切壁を越流すれば、河川復旧現場のみならず地下線路工事本体にわたり冠水する危険があり災害を大きくする。
- (b) 工程に余裕がなく出水事故による手戻りは、避けなければならない。
- (c) 瀬割工(I)では、ドライな状態で施工できるが瀬割工(II)では、撤去作業が水中となる。
- (d) 対象降雨量を過去5年間(昭和51年~55年)の時間最大降雨量 $r=24\text{mm/h}$ 、その時の新湊川推定流量 $Q'=55\text{m}^3/\text{s}$ とした。

瀬割工における仮水路の流過能力計算結果を Table 5 に示すが実施仮水路高は0.5m~1.0m 高くした。

Table5 瀬割工における仮水路の流過能力計算結果

瀬割工	形状	断面積 A(m ²)	流過能力 Qa(m ³ /S)
(I)		11.20	56
(II)		13.41	66

但し 縦断勾配 I = 0.00403, 粗度係数 n = 0.014⁽²⁾(コンクリート)

(2) 施工経緯

イ) 鉄樋架設時の仮縮切壁

瀬割工(I)………Fig.8 ①のように棧橋支持杭を支柱とし、溝形鋼([-380])を沿え仮溶接する構造であり問題なく、しかも、満足できる止水効果で施工できた。

瀬割工(II)………Fig.8 ②のように鉄板上に H 形鋼を積重ね、仮溶接する構造であったが、縮切壁が転倒したときに鉄板までひき裂き、後の補修が難しくなる。また、撤去の際、溶接をガス切断器で溶断するときに鉄板

まで影響を受ける心配があり等辺山形鋼を鉄板に溶接、それに H 形鋼を沿え仮溶接し等辺山形鋼は、撤去しない方法に変更した。

3日1日、渇水期では、雨量の多い豪雨に河水は、仮縮切壁を越流し倒壊さすまでに至った。現場は、雨天のため作業中止であったが、前日までの掘削作業状態でありバックホー、ブルドーザショベルが冠水した。天候が回復次第、水中ポンプでの水替え作業を行い仮縮切壁は、再度施工しアンカロープで補強することにした。

瀬割工(III)………Fig.8 ③のように施工したが瀬割工(II)の経験を生かし、当初施工時にアンカロープによる補強を行った。

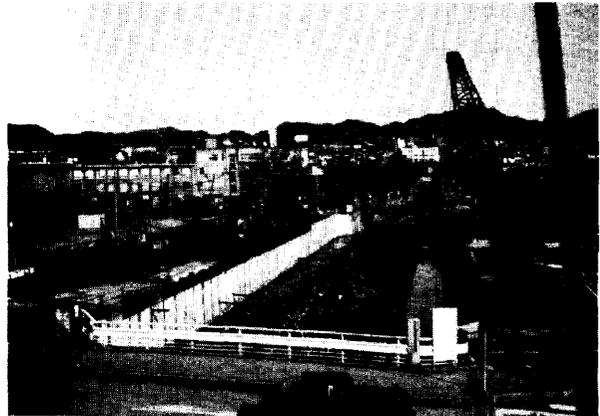


Photo5 瀬割工(II) (補強後)

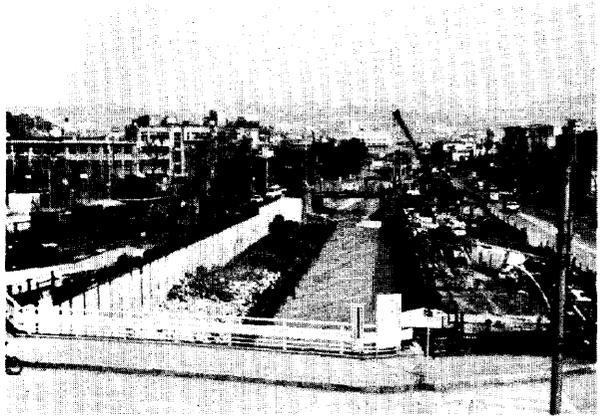


Photo6 瀬割工(III)

ロ) 河川復旧時の仮縮切壁

瀬割工(I)………Fig.9 ①のように仮縮切壁を施工し、この期間の雨量は、少なく設計対象水位3.0m に対し、最高水位でも1.5m~2.0m 程度であったので問題なく終えた。

瀬割工(II)………Fig.9 ②のように仮縮切壁を施工した。平常水位は、50cm程度であり止水性も良好であっ

た。しかし、降雨により水位が1.5mまで上り仮河床への水圧による負担が大きくなった。仮河床は、耐えられず仮締切壁と共に下り始めた。危険と思われたので Fig.9 ②のように補強した。その結果それ以上は下らず、それ以降の施工は、問題なく完了した。

(3) 反省

鉄樋架設時の仮締切壁では、ある程度予測できたことであるが、計画時考えていた以上に漏水が生じた。完全なドライ状況で施工する必要がないにしても、今後検討すべき事項と言える。また、河川の異常出水により仮締切壁を越流、倒壊した事で坑内の重機等が冠水、復旧に数日を要したり、当初設計になかったアンカロープ設置等の補強を余儀なくされた。異常出水であったことおよび重大災害に至らなかったことを配慮に入れても、さらに十分な事前対策が必要であったと云える。

次に河川復旧時の瀬割工(II)の場合である。仮締切壁が下がった事でその状態で放置したままであれば当然倒壊にまで至っていたであろう。したがって、Fig.9 ②のように補強したことは重大災害予防上大きな効果があったと考える。

§ 5 . おわりに

昭和54年9月から昭和57年5月までの2年9ヶ月間、河川部地下線路工事を、また、河川内での作業(鉄樋架設・河川復旧)は、渇水期(10月～4月)の限られた日程で行い非常にきびしいものがあつたが、地下鉄構内及び周辺地域に出水、氾濫を起さず無事完了した。この鉄樋工法による地下線路工事の完成は、関係各位の優れた技術力によるところが大きく、また、河川の渇水期平常流量($Q=0.5\text{m}^3/\text{s}$)が少なかったことも大きな要因であつたと思う。

ここに御指導、御協力をいただいた関係各位に御礼申し上げるとともに今後同様な工事の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 河川工事に関する検討資料
昭和53年6月 神戸市交通局
- 2) 新土木設計データブック
成瀬勝武他著 森北出版