

論文・報告

矢田第三橋の解析的検討と施工報告

～プレキャスト横梁で間接支持される多径間連結 T 桁橋～

Analytical Study and Construction Report of Yata 3rd Bridge

関 勝史 *1
SEKI Masafumi藤原 敏晃 *2
FUJIWARA Toshiaki藤原 陸 *3
FUJIWARA Riku梶川 裕子 *4
KAJIKAWA Hiroko伊佐 康一 *5
ISA Koichi大久保 孝 *6
OKUBO Takashi

本橋は、一般国道 42 号（湯浅御坊道路）の四車線化に伴うプレテンション方式 PC 連結 T 桁橋であり、支点部に配置するプレキャスト横梁上でプレテンション T 桁を連結し、横梁を介して支承に間接支持される SCBR 工法を用いている。中間支点部では、橋軸方向の連続梁挙動だけでなく、橋軸直角方向の影響が合成された複雑な力学性状となるため、終局限界状態に至るまで構造上の弱点とならないことを確認する必要があった。

施工においては、支点部にプレキャスト横梁を配置し、主桁に T 桁断面を用いた SCBR 工法とすることによる課題を克服するとともに、橋面排水は従来の鋼製排水溝の維持管理上の課題を解消した新形式の排水溝を提案した。

本稿では、連結構造部の力学性状および終局耐力の確認を目的に実施した解析的検討および SCBR 工法による T 桁断面連結構造での施工の留意点と、改良した排水溝について報告する。

キーワード：SCBR 工法、プレテンション T 桁、連結構造部、FEM 解析、排水溝

1. はじめに

矢田第三橋は、一般国道 42 号（湯浅御坊道路）の 4 車線化事業に伴うプレテンション方式 PC 多径間連結 T 桁橋である。本橋は、支点部に配置するプレキャスト横梁上でプレテンション T 桁を連結し、横梁を介して支承に間接支持（SCBR 工法）される連結桁橋である。従来の連結構造では、各桁の直接支持であるため、橋軸方向の連続構造とした構造解析を行うが、本橋は主桁が横梁を介して間接支持されるため、橋軸方向の連続梁挙動だけでなく、橋軸直角方向の影響が合成された複雑な力学特性となることが予想された。また、連続構造部が終局

状態に至るまで構造上の弱点とならないことを確認する必要があった。

本橋の特徴は、①支点部にプレキャスト横梁を配置しプレテンション桁を架設する SCBR 工法を採用② SCBR 工法の連結桁構造で主桁に T 桁を用いるのは初めて③維持管理上の課題を解消した新形式の排水溝を採用した点が挙げられる。

2. 橋梁概要

本橋の橋梁概要は下記の通りであり、側面図を図 1 に、断面図を図 2 に示す。また、橋梁諸元を表 1 に示す。

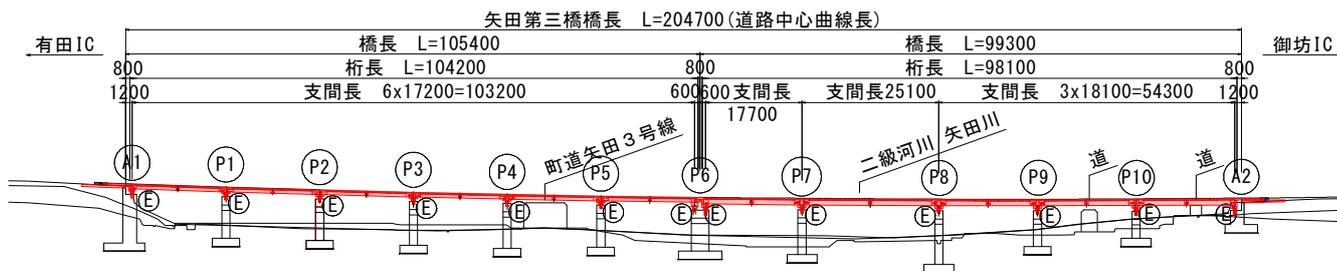


図 1 側面図

*1 川田建設㈱大阪支店工事事務課 担当工事長

*2 川田建設㈱大阪支店技術部技術課 主幹

*3 川田建設㈱大阪支店工事事務課

*4 川田建設㈱大阪支店技術部技術課 係長

*5 川田建設㈱大阪支店工事事務課 上席工事長

*6 川田建設㈱大阪支店技術部 担当部長

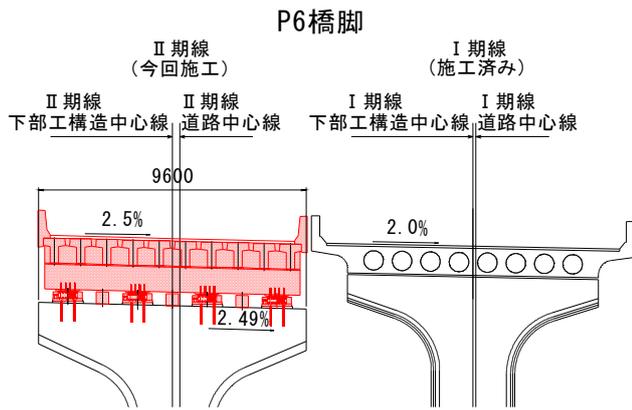


図 2 断面図

表 1 橋梁諸元

構造形式	6+5径間連結プレテン方式PCT桁橋
橋長	204.700m (105.400m+99.300m)
桁長	104.200m, 98.100m
支間長	6×17.200m, 17.700m+25.100m+3×18.100m
幅員	全幅 W=9.650m 有効幅員 W=8.760m
設計荷重	B活荷重
平面線形	R=2010.75m
縦断勾配	3.834% ↘ ~ 2.715% ↗
横断勾配	2.500% ↘
斜角	θ=90° 0' 0"

3. 連結構造部における2方向の合成された力学性状の確認

(1) 検討概要

本橋の連結部は横梁を介した間接支持であるため、橋軸方向と橋軸直角方向の2方向の合成された力学性状を確認する必要がある。そこで、連結構造部に着目した線形 FEM 解析と骨組み解析を比較することで、力学性状の妥当性を確認した。

解析は、最大支間となる P6-A2 径間の P7~P8~P9 区間をモデル化して行った。ただし、モデル化範囲は P8 支点に着目するため P8 支点を含み、P7-P8 径間、P8-P9 径間それぞれ支間の 3/4 程度とした (図 3)。

活荷重載荷ケースは、①横梁着目 (図 4) ②中間支点着目 ③主桁着目の 3 ケースを想定した。活荷重の載荷は、橋面上に L 荷重 (P1・P2 荷重) を面載荷し、モデル両端部には、骨組み解析結果から得られる断面力(曲げモーメント、せん断力)を各主桁に載荷した。

(2) FEM 解析結果

①横梁着目ケースの応力コンター図を図 5 に示す。図 5 は、連結部の影響を確認するため、P1 荷重のみ考慮した。図より、主たる挙動は主方向 (橋軸方向) であり、連結横梁上の挙動 (橋軸直角方向の挙動) は顕著でないことがわかった。また、①横梁着目ケースで、コンターレンジを変更した橋軸直角方向応力コンター図と FEM による

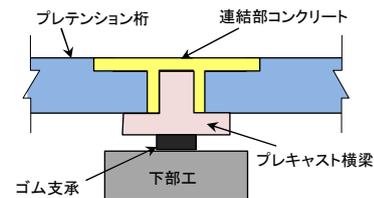
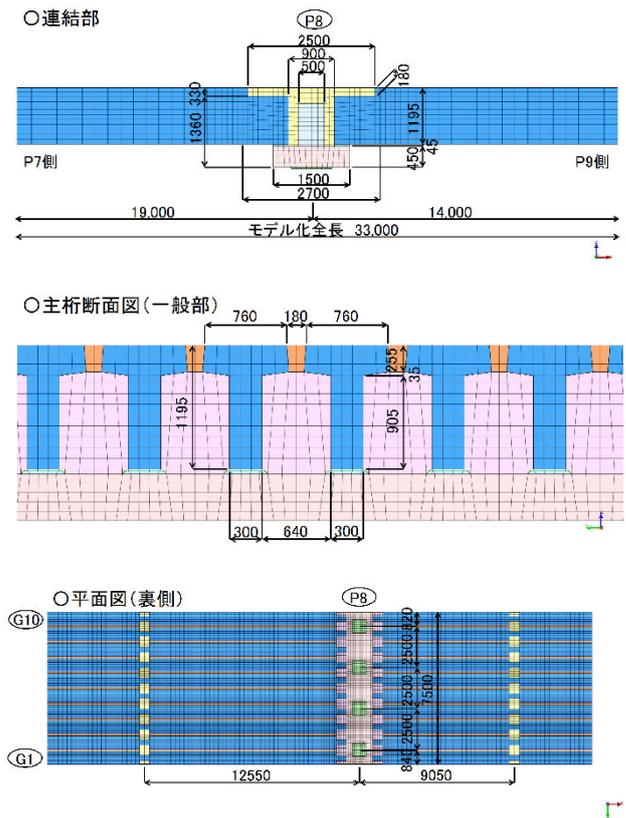


図 3 解析モデル

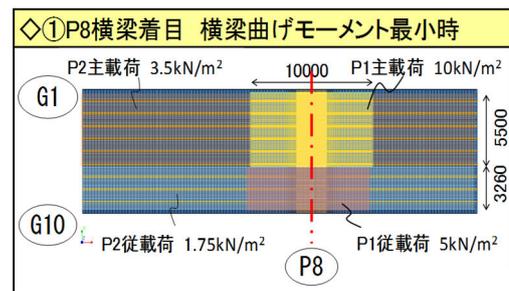
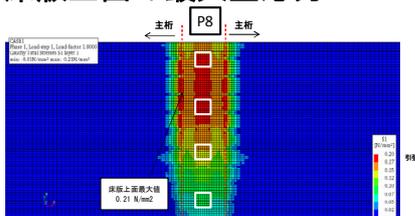


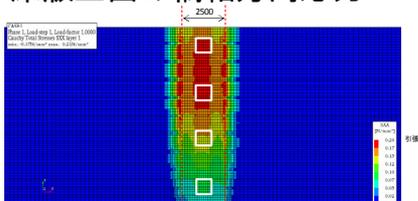
図 4 活荷重載荷ケース

る橋軸直交ひずみと骨組み解析の曲げモーメントの比較をそれぞれ図 6、図 7 に示す。FEM の解析値は、P1 荷重のみで最大 -0.04 N/mm^2 となり、P1+P2 荷重で最大 -0.14 N/mm^2 となる。中間横桁・横梁の設計で算出した骨組み解析の活荷重断面力で計算した横桁上面の応力は -0.24 N/mm^2 となる。P1+P2 荷重での FEM 解析値は、計算値の 6 割程度の値となる。また、線形領域において FEM 橋軸直交ひずみと骨組み曲げモーメントの比

床版上面の最大主応力



床版上面の橋軸方向応力



床版上面の橋軸直角方向応力

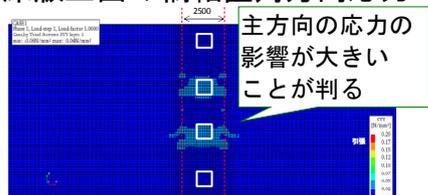


図5 ケース①横梁着目解析結果

較では、分布形状がほぼ相似しているため、力学的挙動はほぼ一致していると考えられる。これらにより、供用限界状態では、従来どおりの設計手法で十分安全側の値を得られることが分かった。

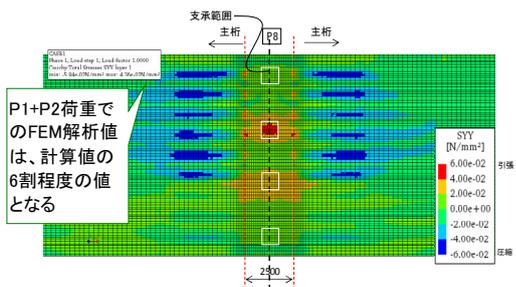


図6 橋軸直角方向応力コンターズ図

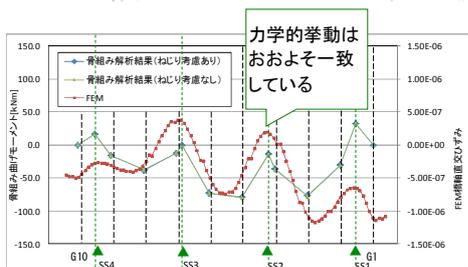


図7 FEMと骨組み解析値比較

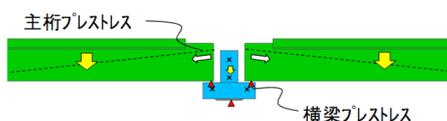
4. 連結構造部の終局耐力の確認

(1) 検討概要

SCBR 工法による連結桁橋では、プレキャスト横梁を介して連結構造を成立させている。このため、プレキャスト横梁を介する連結構造部が終局限界状態に至るまで構造上の弱点とならないことを確認する必要がある。そこで、非線形 FEM 解析を用い、载荷荷重を漸増させ、連結構造部が終局限界状態に至るまでの载荷ステップによる力学挙動を把握し、破壊進展の推移を確認した。解析ステップを図8に示す。

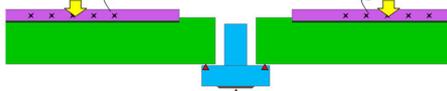
○ステップ1

モデル：主桁、横梁
作用荷重：自重+主桁プレ+横梁プレ



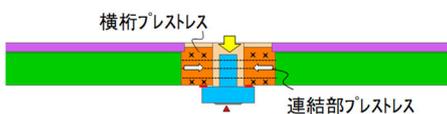
○ステップ2

モデル：主桁、横梁、間詰部、中間横桁
作用荷重：間詰・中間横桁部自重+床版プレ+中間横桁プレ
床版横締めプレストレス 床版横締めプレストレス



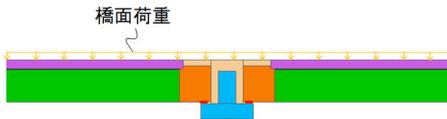
○ステップ3

モデル：完成系 (ステップ2+場所打ちコン+連結鉄筋)
作用荷重：連結部場所打ち自重+中間支点横桁プレ+連結部プレ



○ステップ4

モデル：完成系
作用荷重：橋面荷重+活荷重
(橋面荷重を載荷した状態までを、死荷重載荷時(D)と定義する。)



○ステップ5

モデル：完成系
作用荷重：活荷重 (α倍漸増載荷)

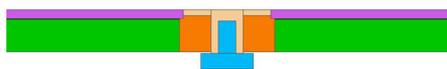


図8 解析ステップ

(2) FEM 解析結果

活荷重を 1.0 倍、1.75 倍、2.5 倍、4.0 倍の 4 ケースを

実施したが、最大値 $\alpha = 4.0$ 倍としても、横梁にひび割れは発生しなかった。これによりプレキャスト横梁による連結構造においては、横梁が構造上の弱点とならないことが確認できた (図 9)。

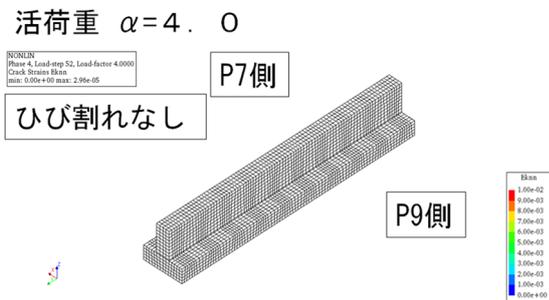


図 9 横梁のひび割れひずみ進展図

当初は活荷重を α 倍 ($\alpha = 1.0, 1.75, 2.5, 4.0$ の 4 ケース) して連結構造が終局限界状態に至るまでの進展を確認する計画としていたが、 $\alpha = 4.0$ 倍でも破壊には至らなかった。破壊性状を把握するため、プッシュオーバー解析 (漸増荷荷解析法) を行い、以下の順序で破壊性状が進行していくことが確認できた (図 10)。

主なイベント

ステップ	荷重倍率	相対変位 [mm] G1桁	備考
22	1.00	-7	荷重倍率 1.0
29	1.70	-11	荷重倍率 1.7
37	2.50	-15	荷重倍率 2.5
52	4.00	-23	荷重倍率 4.0
69	5.38	-40	相対変位 40mm
74	5.69	-46	横梁上面にひび割れ発生
84	6.31	-60	相対変位 60mm
85	6.36	-62	主桁鉄筋降伏開始
95	7.02	-80	相対変位 80mm
104	7.68	-101	相対変位 100mm
108	8.26	-119	主桁PC鋼材 $0.84\sigma_{pu}$ を超過 (降伏)
111	8.83	-132	NAPP鋼棒 $0.84\sigma_{pu}$ を超過 (降伏)
113	8.86	-140	相対変位 140mm
118	9.48	-164	床版上面で鉄筋引張降伏開始
120	9.65	-172	床版上面で鉄筋圧縮降伏開始
121	9.77	-177	床版圧縮軸ひずみ 3000μ 超過
122	9.84	-181	相対変位 180mm
125	10.06	-195	間詰部の鉄筋降伏開始
130	10.31	-211	最大荷重
131	10.29	-214	最終ステップ

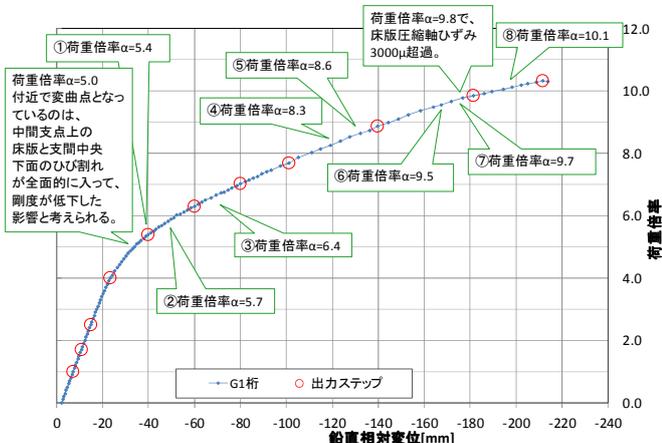


図 10 荷重-相対変位関係図

- ① $\alpha = 5.4$ 中間支点上の床版と支間中央桁下面に全面的にひび割れ発生
- ② $\alpha = 5.7$ 横梁上面 (片持ち付け根) に斜め方向にひび割れ発生
- ③ $\alpha = 6.4$ 主桁鉄筋降伏
- ④ $\alpha = 8.3$ 主桁 PC 鋼材 $0.84\sigma_{pu}$ を超過 = 降伏
- ⑤ $\alpha = 8.6$ 連結部 NAPP 鋼棒 $0.84\sigma_{pu}$ を超過 = 降伏
- ⑥ $\alpha = 9.5$ 中間支点付近の主桁 (床版) 鉄筋が引張降伏
- ⑦ $\alpha = 9.7$ 支間中央の主桁 (床版) で圧縮軟化
- ⑧ $\alpha = 10.1$ 間詰めの鉄筋が引張降伏

上記の破壊進行より、横梁にひび割れは発生するが、横梁の鉄筋が降伏することはなかった。

以上により、プレキャスト横梁を介する連結構造部が、構造上の弱点とならないことを確認できた。なお、本橋の中間支点部の設計には、橋軸方向を PRC 部材とし NAPP 鋼棒を配置したため (図 11)、NAPP 鋼棒による prestress 解析にも反映している。そのため、NAPP 鋼棒の圧縮力が連結構造部の耐力向上に寄与したと思われる。(活荷重を 10.31 倍まで漸増荷荷しても中間支点横桁・横梁部は破壊には至らなかった)

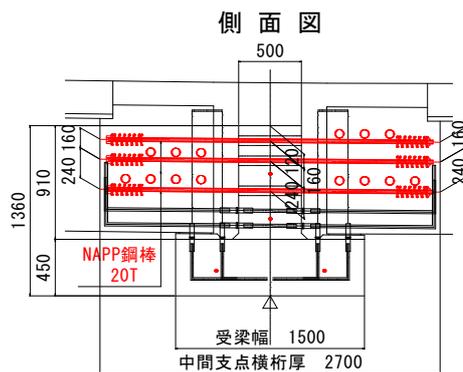


図 11 中間支点構造図

5. 検討結果

本検討で得られた知見を以下に整理する。

- ① 間接支持された連結部の設計では、従来通りの設計手法の適用で、十分安全側の設計が可能であると確認できた。
- ② 終局時において、連結部が先行破壊することは無いと確認できた。
- ③ 連結部に配置した NAPP 鋼棒による prestress 導入は、連結部の耐力向上に寄与しており、その有効性が確認できた。

6. 形式変更に伴う課題と対策

(1) 工程短縮の工夫

主桁をホロー桁断面から T 桁断面に変更する場合、プレキャスト横梁上には各主桁用の沓座を設ける必要が生

じた。プレキャスト横梁架設後に沓座モルタルを打設する場合、養生期間完了後に主桁架設を行うこととなる。これにより、工程の間延びが生じることが懸念された。そこで、あらかじめ横梁製造時に製造工場にて沓座を設けることとした。これにより、工程の間延びを生じさせることなく施工を行うことができた（写真1）。



写真1 横梁

(2) 鋼材配置の検討

中間支点部の連結部には、横締めPC鋼材、NAPP鋼棒が配置されるとともに、横桁やプレキャスト横梁の鉄筋が密に配置される。また、連結部中央にはプレキャスト横梁が配置されるため、あらかじめプレキャスト横梁にはNAPP鋼棒を配置するための貫通孔を設け、NAPP鋼棒を設置することとした。しかし、連結部には多くの鋼材が存在するため、鋼材が干渉することが懸念された。一般的には横梁図、連結部配筋図、PC鋼材配置図は異なる図で描かれる場合が多く、照査時に干渉を見逃す可

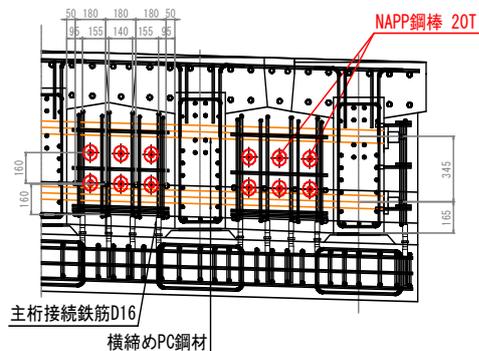


図12 連結部断面図

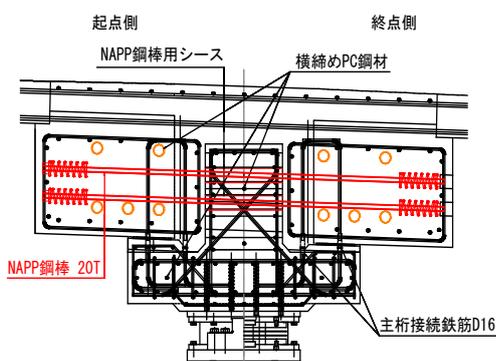


図13 連結部側面図

能性がある。今回は、それらを1枚の図に縮尺1/20で描いた取り合い図（図12, 13）を別途作成することにより、事前に干渉を防止することとした。

7. 新型式の排水溝の採用

(1) 橋面排水型式の選定

本橋は、線形条件や床版横締めケーブルの配置状況によりT桁フランジ部への排水樹設置が困難であった。そのため、橋面排水を排水樹に集積させて排水を行う型式ではなく、壁高欄前面に通水断面を確保したまま排水管へ誘導し排水させる鋼製排水溝とし、維持管理や品質向上の課題を克服した新たな構造型式を選定した。

(2) 新型式の排水溝の目的

道路供用後の維持管理を行ううえで、鋼製排水溝の蓋を無くすことが可能であれば、清掃作業時の蓋の開閉が不要となるとともに、老朽化した蓋に起因する事故を防止することができる考えた。また、排水溝下部の敷きモルタル層での雨水の滞留は、床版の劣化を加速させる懸念があった。そのため、排水溝下部に敷きモルタルを必要としない形状とすれば、雨水の滞留を防止することができ、それに伴う床版の劣化加速を抑制できると考えた。

そこで、維持管理、品質向上を目的とし、これらの蓋および敷きモルタルを必要としない構造とした。また、改修工事にも適用できる新型式の排水溝（図14）を提案することとした。

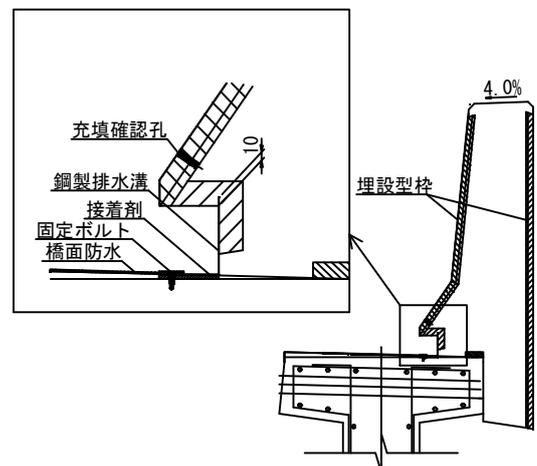


図14 排水溝断面図

(3) 新型式の排水溝の実験

新型式の排水溝を考案するうえで品質、性能について、事前に確認する必要がある。確認方法としては、実物大の試験体を製造し2回にわたり実験を行った。2回の実験により課題の洗い出しや有効性の確認を行った（写真2）。実験の主たる内容としては、壁高欄前面部に通水断面を確保するため、壁高欄前面の形状が複雑となり、コンクリートの充填性の確認を行うとともに、通水断面

部における止水性の確認を行った。1 回目の実験では、埋設型枠への充填性は確認されたが、止水性に関して課題が残った。しかし、施工手順の見直しや固定ボルトの設置間隔の改善などにより課題の解消に至った。



写真2 実験写真

(4) 新型式の排水溝の実用

2 回の実験と改善を経て、考案した新型式の排水溝採用に至った。実施工における排水溝の施工手順は下記の通りである。

ステンレス板で製作した鋼製排水溝を接着剤、固定ボルトなどを用いて床版へ接合する(写真3)。通水断面を確保するため切り欠いた断面形状を有する下側埋設型枠を鋼製排水溝の上方へ設置する(写真4)。壁高欄前面部となる上側埋設型枠を先程の下側埋設型枠の上方へ設置する(写真5)。組立を行った壁高欄型枠内部にコンクリートを充填し締めを行い、施工が完了(写真6)する。

橋長約 205 m にわたり新型式の排水溝を施工した。



写真3 ステンレス板設置



写真4 下側埋設型枠設置



写真5 上側埋設型枠設置



写真6 排水溝施工完了

8. おわりに

本工事は、多径間連結桁橋に T 桁断面を採用した初めての SCBR 工法による施工で、特に連結部に留意した。また、橋面排水に関しても今後の普及を期待する新型式の排水溝を採用した工事であった(写真7, 8)。

本工事の施工にあたり、発注者をはじめご尽力賜った関係各位に感謝を申し上げますとともに、本稿が、今後の類似工事の一助となれば幸いである。



写真7 完成写真(連結部)



写真8 完成写真(全景)

参考文献

- 1) 永吉雄太, 梅本洋平, 安田聖晃, 福永靖雄, 大塚久哲: プレキャスト横梁を介したプレテンション桁の連結構造に関する検討, 土木学会構造工学論文集 Vol.62A, pp.102-113, 2016.
- 2) 藤原敏晃, 福田雅人, 梶川裕子, 大久保孝: PCa 横梁で間接支持される T 桁を採用した SCBR 工法連結部の解析的検討, プレストレストコンクリート工学会第 24 回シンポジウム論文集, pp.647-650, 2020.10.
- 3) 関勝史, 豊田雄介, 奥山陽平, 藤原敏晃: PCa 横梁で間接支持される多径間連結 T 桁橋(矢田第三橋)の施工報告, プレストレストコンクリート工学会第 25 回シンポジウム論文集, 2021.10.