

神戸山手線(南伸部)建設における国道 2 号・阪神高速 3 号

神戸線との交差部の設計・施工

建設事業部 工事調整グループ 五反田英雄
神戸建設部 工事企画グループ 仲野 貴俊
神戸建設部 工事管理グループ 藤林 健二

要 旨

神戸山手線(南伸部)は都市内での開削トンネルであることから、多くの近接構造物と、並行する新湊川により平面・縦断線形共に制約を受けた路線である。国道 2 号及び阪神高速 3 号神戸線との交差部に位置する新湊川第 4 工区(その 1)は、工事区間の大部分が既設構造物による空頭制限下であり、また、開削範囲内外には国土交通省神戸第 2 共同溝シールドをはじめとする多くの重要地下構造物が近接しており、施工に際しては十分な対策工および計測管理が必要となった。

本稿は、これら重要近接構造物に対して、本工区で採用した対策工法及び管理手法について報告するものである。

キーワード:開削トンネル, 近接施工, 計測管理

はじめに

神戸山手線(南伸部)新湊川第 4 工区(その 1)は、新湊川の右岸沿いを並進し、国道 2 号線・阪神高速道路 3 号神戸線本線及び湊川出入路と交差するエリアに位置する、1 層 2 連断面のボックスカルバート構築を行う延長 101.0m の開削トンネル工事であり、神戸市道尻池西 1 号線と公園敷地に位置する北側 44.0m 区間(以降「市道部」と称す)と国道 2 号線横断部である南側 57.0m 区間(以降「国道部」と称す)の 2 つに大別される。

この工区の特徴は近接重要構造物が多数存在し、近接(交差)施工が要求されることである。そのため、工期が比較的長期間(H13.3~H18.10)要する上、重要構造物の健全性確保及び施工エリアの確保(上空空頭制限, 国道・市道開放車線の確保)が

施工上重要な課題となった。

1. 既設構造物との近接概要

1-1 近接状況

本工区における近接構造物を列挙する。また、近接状況を図-1 に示す。

(1) 市道部

- ・阪神高速湊川東行出路高架橋(空頭制限 3.3~6.7m)
- ・阪神高速湊川東出 P3 橋脚(開削範囲内)
- ・阪神高速湊川東共 P5 橋脚(近接)

(2) 国道部

- ・阪神高速 3 号神戸線高架橋(空頭制限 8.4m)
- ・阪神高速湊川西行入路高架橋(空頭制限 8.4m)
- ・阪神高速 3 号神戸線 P609、610 橋脚(近接)



図-1 位置図

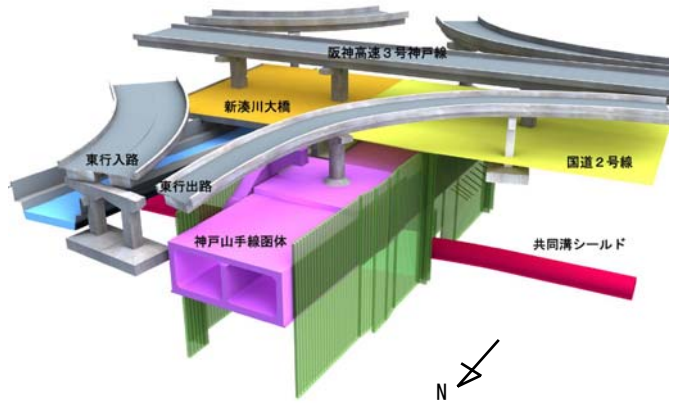


図-2 完成予想図

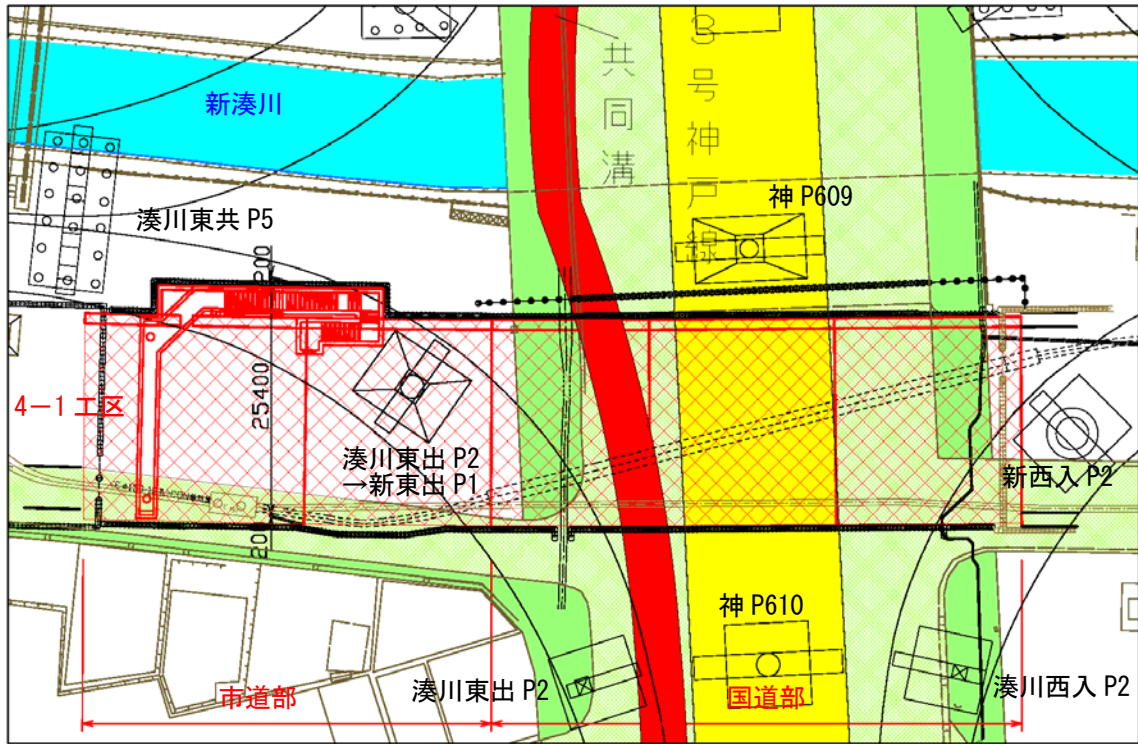


図-3 重要構造物近接状況

- ・ 阪神高速湊川東出 P2 橋脚(近接)
- ・ 阪神高速湊川西入 P2 橋脚(近接)
- ・ 国道 2 号線(東行・西行各 5 車線, 交通量 50000 ~60000 台/日)
- ・ 国土交通省新湊川大橋(国道 2 号線湊川橋梁) A2 橋台(開削範囲内) コンクリート床版、鋼製桁(一部開削範囲内)
- ・ 国土交通省神戸第 2 共同溝シールドφ4900(函体直下に近接, 土被り 25.4m, 掘削底面からの離

- 隔 9.4m)
- ・ 地下ライフライン(ガス、電気、上下水道)

2. 近接構造物に対する影響検討および計測管理

近接構造物への影響検討概要ならびに各管理者との近接施工協議の結果、本工区で実施した対策工及び計測管理手法について下記に示す。

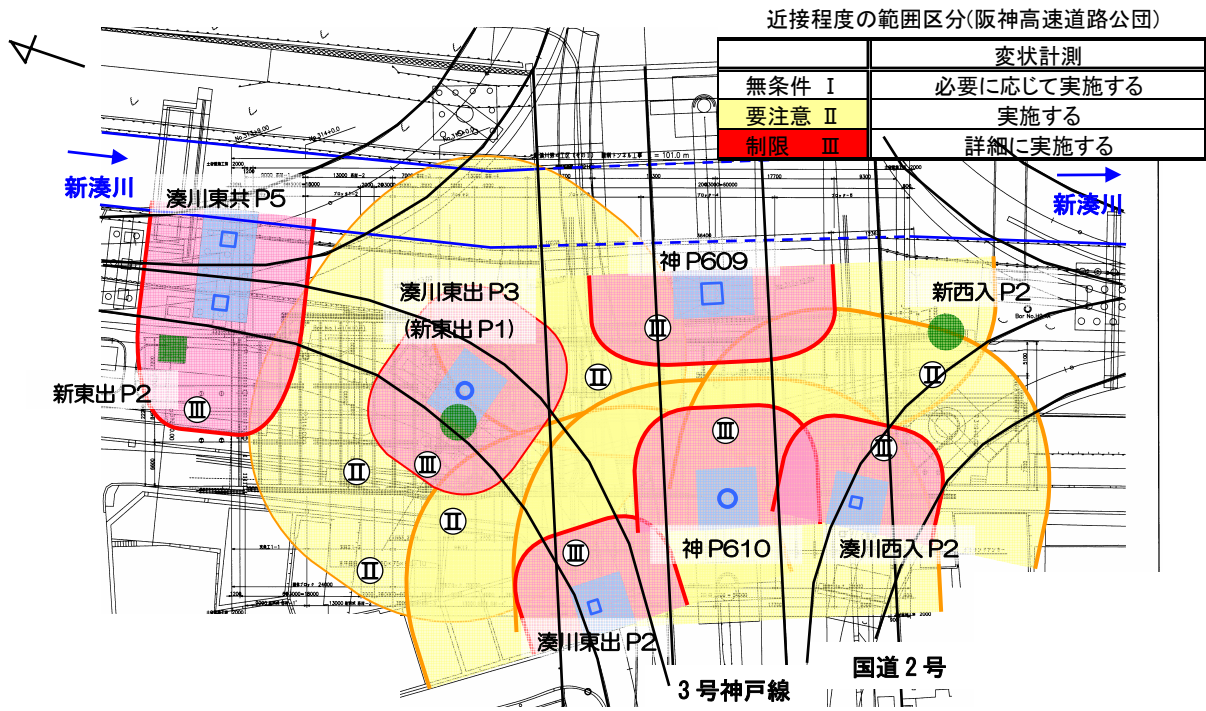


図-4 近接判定結果(阪神高速橋脚)

2-1 阪神高速橋脚

(1) 検討内容

「近接施工協議マニュアル(阪神高速道路公団)」に基づき、各橋脚の近接度合を以下に示す I～IIIの段階に分類した結果、全橋脚ともIIIに分類された(図-4 参照)。

無条件範囲 I : 特別な対策を必要としない。

要注意範囲 II : 有害な影響が生じる可能性がある範囲。構造物の挙動を計測管理する。

影響範囲 III : 有害な影響が及ぶと考えられる範囲。必要に応じて既設構造物に対策を施す。

そこで、弾塑性法により求めた土留水平変位を FEM モデルでの土留壁に強制変位として与えることで橋脚の各変位量(沈下, 傾斜, 水平移動)を予測し、施工中における構造物への影響を検討した。

その結果、支保工部材のランクアップ等により工事影響の軽減を図ったが、開削範囲に最も近接する神 P609, 610 橋脚については、マニュアルに規定された管理値(沈下 6mm, 傾斜 6 分, 水平移動 5mm)内に制御できないことが判明した(表-1 参照)。しかし、当該橋脚の機能性から決まる許

容変位量に対しては余裕があること、また、マニュアルに規定された管理値内に変位を抑えるためにはさらに大規模な対策工(先行地中梁の造成等)が必要となることから、管理者との協議の結果、神 P609 および 610 橋脚については管理値を見直し、許容変位量で管理することとなった。

表-1 影響検討結果(神 P609)

対象	予測値	マニュアル	許容変位量
神P609	沈下(mm)	8	9
	傾斜(分)	2.4	3
	移動(mm)	5	5

(2) 対策内容

- ・切梁支保工部材のランクアップ
- ・切梁支保工における段数増加
(他工区における通常区間より支保工, 盛替支保工共に 1 段増)
- ・切梁支保工におけるプレロード加圧の実施
(盛替梁除く)
- ・柱列杭, 連続土留壁の剛性ランクアップ

(3) 計測管理手法

表-2 に阪高橋脚の管理値を示す。計測手法については、電子スタッフおよび小型傾斜計, 温度計を各橋脚に設置し、自動計測を行うこととした。

表-2 阪高橋脚管理値

対象		1次管理値	2次管理値
沈下(mm)	神P609、610	±5	±9
	その他	±3	±6
傾斜(分)	神P609、610	±2	±3
	その他	±3	±6
移動(mm)	全橋脚	±3	±5

3-2 共同溝シールド

(1) 検討内容

共同溝シールドへの影響としては、開削土工によって上載荷重が解放されるために生じるリバウンド変位（隆起）が考えられ、管理者協議の結果、リバウンドによるシールド変形量及び内空の断面変形について計測管理を行うこととした。

シールドの許容変位量については、リバウンド変位を線形弾性 FEM 解析により解析し、その予測リバウンド変位量からシールドセグメントが受ける断面力を算出し、施工中における構造物への影響を検討した。また、断面変形については、共同溝シールド設計時の構造計算書より、建設初期に真円から横楕円形への変形（直径+5.16mm）を想定していることから、開削土工に伴う断面変形については横楕円形→真円→縦楕円形へ同様の変形量が許容されるが、ここでは安全側に、横楕円形から真円に移行するまでの変形量を管理値とした。

(2) 対策内容

共同溝シールドについては、平成 12 年に国土交通省が構築したものであり、設計段階から本工事の影響を考慮して、ダクティルセグメントおよび弾性ワッシャーが採用されている。

(3) 計測管理手法

表-3 に管理値を示す。シールドの鉛直変位については水盛式沈下計及び層別沈下計、内空変位については内空変位計を用いた自動計測により計測管理を行うこととした。

表-3 共同溝シールド管理値

対象		1次管理値	2次管理値
沈下(mm)		±6	±11
内空変位(mm)	鉛直、水平	±2.5	±5

3-3 新湊川大橋

(1) 検討内容

新湊川大橋については、A2 橋台を撤去後、開削トンネル構築上に橋台を復旧するまで桁（中央：ゲルバー桁，両外側：単純桁）を仮受けする。そのため、受替時及び受替後の仮受杭の不等沈下，活荷重による弾性沈下に伴う床版の損傷が懸念された。そこで、まず仮受構造体（床版・主桁・杭・プレス）のフレームモデルに単位荷重を載荷した際に床版に発生する変位量とモーメントを算出し、発生モーメントと床版のモーメント余裕量の対比により許容相対変位量を算出した。加えて、活荷重条件に準じた荷重をフレームモデルに載荷した際に発生する変位量を算出し、受替時等の影響も考慮した予想変位量と許容相対変位量と比較することにより床版の安全性について検討した。その結果を表-4 に示す。

表-4 影響検討結果

対象		ゲルバー桁部	単純桁部
絶対変位量(mm)	受替時	1.0	1.0
	杭の不等沈下	2.5	2.6
	合計	3.5	3.6
相対変位量(mm)	受替時	2.0	2.0
	杭の不等沈下	0.3	1.1
	合計	2.3	3.1
許容相対変位量(mm)		5.6	24.0
判定		O.K.	O.K.

(2) 対策内容

- ・新湊川大橋へのプレス取付による荷重の分散化
- ・仮受け支持杭の杭軸剛性ランクアップ（モルタル巻き）

(3) 計測管理手法

管理値を表-5 に示す。床版の管理値については許容相対変位量から設定した。また、自動車走行等に対して床版と覆工板との段差についても管理値を設定した。

表-5 新湊川大橋管理値

対象		1次管理値	2次管理値
桁の相対変位量(mm)	ゲルバー桁部	3	5.6
	単純桁部	12	24
覆工板との段差(mm)		—	10

4. 近接施工概要(国道部)

国道部における近接構造物は国道2号新湊川大橋，共同溝シールド，神 P609，神 P610 である。図-5 に国道部の施工フローを示す。

4-1 空頭制限下での地中連続壁，中間杭工

空頭制限下における地中連続壁工では，錐継ぎ・錐外し・芯材継足しに長時間を要するため，通常の SMW 工法では必要深度(遮水層貫入)までの施工を1作業日内に行うことが不可能であり，複数日作業が可能な BW 工法を当初予定していた(ただし，新湊川大橋路下施工部については，P609 近接影響検討により孔壁崩壊の危険が高い BW 工法は選定されず，SMW 造成不可能な深度(G.L. -20m 以深)を薬液注入工で遮水改良する併用工法が選定していた)。

これに対し，SMW 造成の複数日施工を可能にすることを目的に，超遅延剤の添加によりソイルセメントの硬化速度を遅延させる新工法を検討，採用した¹⁾。この工法では自走式の低空頭型杭打機を使用するため，同じ杭打機を中間杭工に転用できる，国道占用切替に伴う移動作業が低減できるなどのメリットがあり，コスト縮減，工期短縮等に効果をあげた(表-5 参照)。

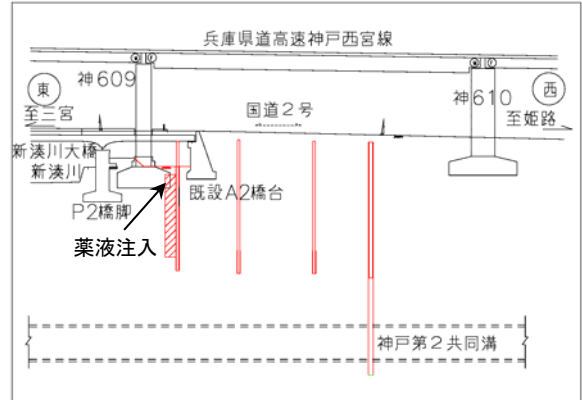
4-2 土留欠損部遮水改良(共同溝シールド部)

国道2号東行車線直下には掘削底面以下9.4mの深さに共同溝シールドφ4900が埋設されている。その位置は遮水層として設定したDc2層より上側になるため，遮水締切(地中連続壁工)に欠損部が生じることになった(地中連続壁と共同溝

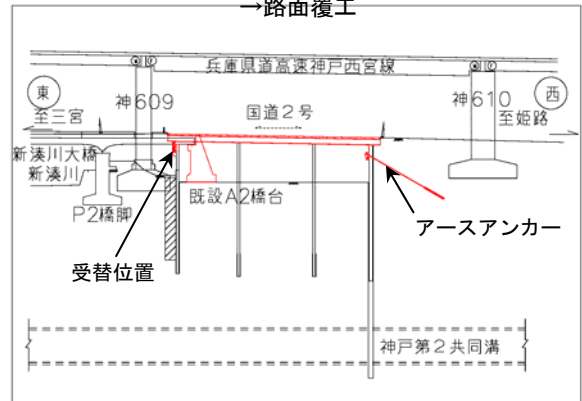
表-5 新湊川大橋管理値

項目	【当初】BW工法	比較	【変更】新SMW工法
プラントヤード	約800m ²	>	約200m ²
施工日数	510日	>	420日
コスト	連続壁(BW) 表層改良 薬液注入 ガイドウォール工	>	連続壁(SMW) 超遅延剤

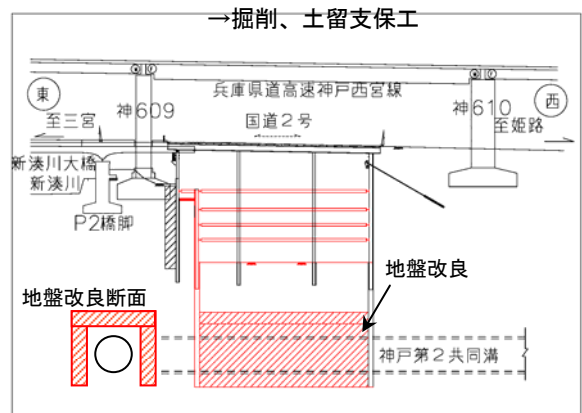
①西側土留、中間杭、薬液注入



②新湊川大橋受替、A2橋台撤去、アースアンカー→路面覆工



③東側土留、土留欠損部地盤改良



④函体構築、A2橋台新設→アースアンカー撤去

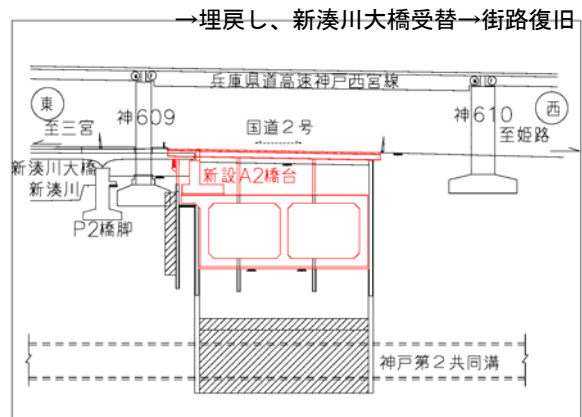


図-5 国道部施工ステップ

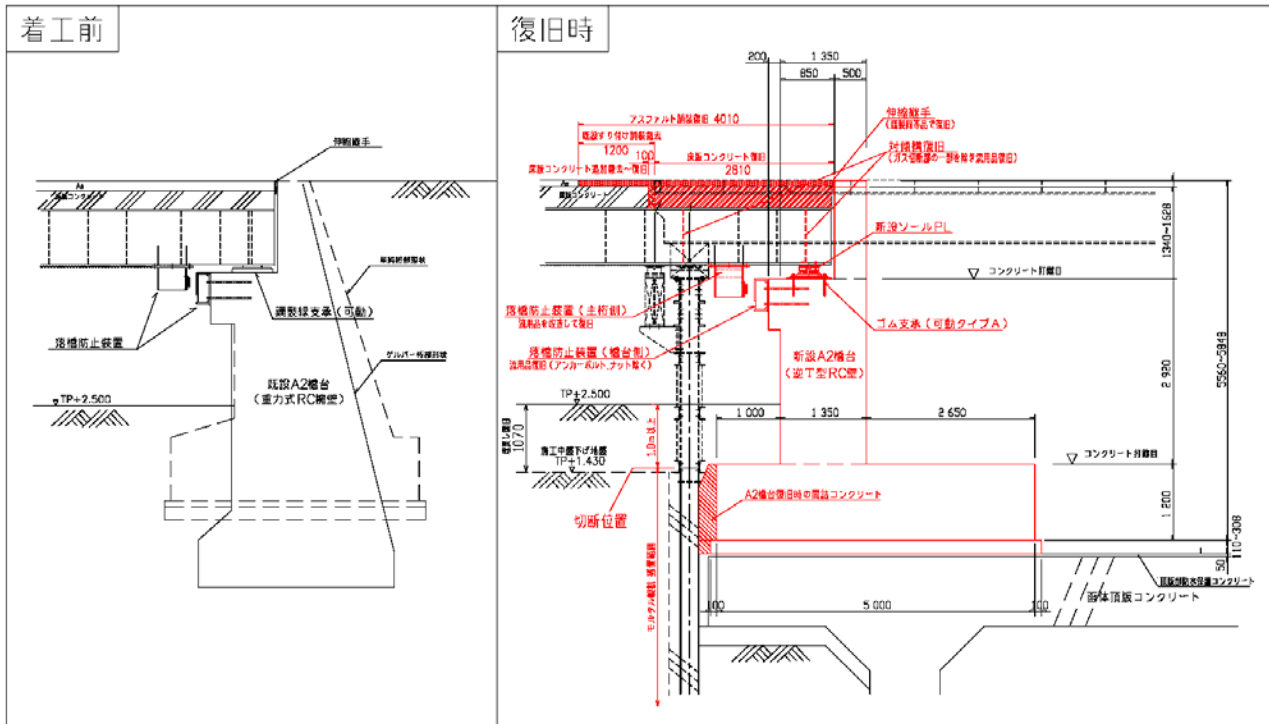


図-7 新湊川大橋 A2 橋台等復旧図

シールドの施工純離隔 1.0m 確保).

管理者協議の結果、遮水改良による施工圧力（注入圧力、噴射攪拌圧力）を共同溝シールドに直接与えずに遮水することが前提条件となったため、開削範囲内のシールド全延長に対し超高压噴射攪拌工法による門型止水改良を行うこととした。計画においては、噴射攪拌圧力による共同溝シールドの変形防止のため改良体とシールドの離隔検討、門型改良体の構造体としての強度検討（掘削地盤の地下水位低下により門型改良体が下方から受ける揚圧力に対する耐力）、門型改良範囲の掘削底面盤ぶくれ照査を実施し、施工に対する安全性の確認を行った。

4-3 新湊川大橋仮受、構造体の一部撤去復旧

新湊川大橋は中央のゲルバー桁部（昭和初期竣工）、両側単純桁部（昭和 41 年竣工）と、構造形式が異なる橋梁が伸縮継手で縁切り接続された複合構造となっている。いずれも施工後から長期間が経過している構造物であり、開削範囲内に位置する A2 橋台の全体撤去に伴って行う橋梁上部仮受工、路面覆工架設に伴って発生する上部橋梁構造体（床版、対傾構）の一部撤去工、撤去構造体の復

旧工については十分な検討が必要となった。

(1) 仮受工

上部工の桁間相対変位制御を考慮した仮受杭、仮受鋼材の選定（規格、設置間隔）を行うと共に、仮支承点における応力算出結果に対する主桁応力照査と新設補強鋼材の選定を行った。

施工は全て新湊川大橋床版下部での作業であるため、自然水位 +0.5m の高さまで既設地盤を盤下げした後も、主桁までの空頭制限が 3.2m という厳しい制約を受けることとなった。そのため、この条件下における仮受杭の打設が唯一可能な BH 工法を選定し、1.80m 毎に継手を設けた芯材を 3 点やぐらで建て込むことにより施工を行った。

しかしながら、BH 工法による削孔精度、継手箇所が 7 箇所/本という建込精度においては、仮受杭の平面直線性、傾斜の精度が低くなってしまい、上部仮受鋼材（水平継材、ブレス材、桁受溝形鋼）の設置に支障をきたす恐れがあるため、施工高さに位置する芯材継手をトッププレート方式の溶接継手にすることにより、施工地盤から杭天端までの仮受杭位置、傾斜の補正が可能になるよう工夫を行った。

(2) 撤去工

計画に際しては、

- ① 撤去による影響範囲を最小限にすること
- ② 撤去しない範囲の構造体に施工影響(打撃振動など)を与えない工法を選定すること
- ③ 国道2号の交通に支障を与えない(占用帯外に位置する構造体に影響を与えない)こと
- ④ 撤去鋼材を復旧時に流用することを考慮した撤去方法を選定すること
- ⑤ 騒音振動粉塵公害に対する近隣沿道からの苦情発生を抑える

以上5点に重点をおいて検討を行った。

検討の結果、RC床版についてはコンクリートカッター+連続コア併用によるブロック切断撤去工法(スパン毎)を、A2橋台についてはワイヤーソーによるブロック切断撤去工法(最大19.3t/ブロック)を、橋面舗装及び主桁直上部のRC床版については人力斫り工法を選定した。また、撤去鋼材(対傾構、落橋防止鋼材)の内、ボルトまたはリベット接合固定されている部材の撤去については、復旧時に流用が可能となるよう注意した。

(3) 復旧工

原形復旧を原則とし、流用できる部材(一部改造含む)については流用品による復旧(対傾構、落橋防止鋼材等)、同規格品による復旧(クリート、敷石等)を行った。ただし、撤去構造物の規格が現在の設計基準、規格に合致しないもの、また、撤去時に流用が不可能と判断されたものについては管理者協議により現在の基準、規格に変更して復旧計画を行った(リベット接合→高力ボルト接合、丸鋼鉄筋→異形鉄筋)。

5. 東行出路仮受、既設P3橋脚の撤去復旧

湊川東行出路既設P3橋脚については、開削範囲内に位置するため、橋脚全体撤去に伴って行う上部高架橋仮受工、函体上に復旧するRC橋脚構築工について十分な検討が必要となった。図-8にステップ図を示す。

(1) 仮受工

計画検討に際しては、上部工反力に対する仮受

構造体の照査、掘削による仮受杭支持地盤のリバウンド挙動が上部工に及ぼす変位量と管理値の比較照査を行った

仮受杭(鋼管φ1100×12)位置の決定においては、

- ① 上空構造物(高架橋)、側方構造物(既設P3橋脚、市道部路面覆工鋼材)との離隔制限
- ② 先行工区で製作、使用した仮受部材(上部杭、仮受梁、斜材)の流用
- ③ 本土工構築の側壁・中壁との離隔確保が求められ、打設時の機械配置、道路占用形態、施工地盤高さを工夫することにより、これらの条件を満たす位置に、全旋回型掘削機を使用した中掘掘削工法で打設を行った。なお、西行入路高架橋と東行出路高架橋では荷重条件が異なるため、②に対する応力照査結果に基づき、流用部材の補強と上部工活荷重調整(2車線共用→1車線規制)を行った。

(2) 橋脚撤去工

計画に際しては、以下の3点に重点をおいて検

東側土留、鋼管杭打設、受替架台設置
→東行出路仮受、P3橋脚撤去



掘削、支保工→函体構築、新P1橋脚構築

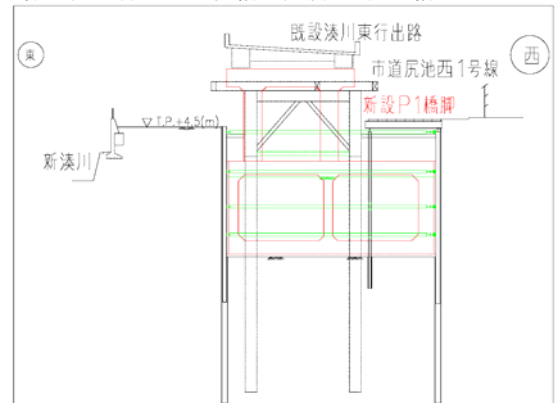


図-8 東行出路仮受、復旧施工ステップ

討を行った。

- ① 上部工, 仮受構造に影響を与えないこと
- ② 東行出路の供用に支障を与えないこと
- ③ 騒音, 振動, 粉塵対策

仮受設備構造に周囲を拘束された条件もとで, 上部工直下の既設支承, 橋脚撤去を行うことになるため, 検討の結果, 橋脚重量を支保した状態のまま水平移動, 降下作業が可能なパワージャッキ(重量構造物特殊運搬装置)を使用した上で, ワイヤソーによるブロック切断撤去工法(最大 19.3 t/ブロック)を採用して撤去作業を行った。

(3) 復旧工

橋脚形状は, 仮受設備鋼材に干渉しない位置とし, かつ下方の本体工函体構造に伝達される荷重

影響抑制を目的に, 本体工側壁・中壁直上に柱を配置した。仮受設備鋼材による空間制限のため, 梁部の断面高さが制限を受け, 鉄筋量が 344kg/m³ と超高密配筋となったため, 梁部についてはワーカビリティ向上を目的として高性能 AE 減水剤を混和したコンクリートを採用した。

5. おわりに

本工事は, 近接構造物への影響が予想される作業については全て管理値内で作業を終え, 平成 18 年 10 月末に竣工予定である。

謝辞: 当該工事の設計・施工にあたり, ご尽力を賜った関係者の方々に深く感謝の意を表します。

DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE INTERSECTION OF NATIONAL ROUTE 2 AND HANSHIN EXPRESSWAY ROUTE 3 FOR THE YAMATE ROUTE (SOUTH EXTENSION) PROJECT

Hideo GOTANDA, Takatoshi NAKANO and Kenji FUJIBAYASHI

The Kobe Yamate Route (south extension) which consists of a cut and cover tunnel runs beneath a developed area. Both horizontal and vertical alignments of this route were restricted because of many existing structures located in nationhood and the Shin Minato River running in parallel. Special measures and management by fine measurement were required on the Shin Minato River 4-1 tunnel section where National Route 2 and the Hanshin Expressway Kobe Route (R3) cross at the Minatogawa Interchange, with overhead clearances of three to eight meters. This section also had Kobe Second Common Duct (shield tunnel constructed by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport) and other important underground infrastructures in its vicinity. This report describes the measurement of movements of these important adjacent structures and other measures and management techniques taken to protect them during the construction.

五反田 英雄



阪神高速道路株式会社
建設事業部 工事調整グループ
Hideo Gotanda

仲野 貴俊



阪神高速道路株式会社
神戸建設部 工事企画グループ
Takatoshi Nakano

藤林 健二



阪神高速道路株式会社
神戸建設部 工事管理グループ
Kenji Fujibayashi