

鉄道函体アンダーピニング下に構築する 開削トンネル本体工の設計

阪神高速道路(株) 神戸建設部 設計・審査グループ 新名 勉
 阪神高速道路(株) 神戸建設部 設計・審査グループ 今田 康博

要 旨

神戸山手線南伸部の大道工区交差部は、重交通道路の地下空間において、阪神高速道路の開削トンネルが神戸高速鉄道の営業線を鋭角に下越する形で近接・交差する工区である。この特殊条件により、本工区の道路函体は、営業中鉄道函体のアンダーピニング下で構築後、鉄道函体の支持構造としても機能するため、異方向の多段配筋が必要となり、従来工区では類を見ない過密配筋となる。本稿では、この開削トンネル本体工の設計として、異方向・多段配筋に対する配筋細目の設定や、過密配筋に配慮したコンクリートの選定について述べる。

キーワード: アンダーピニング, 開削トンネル, 過密配筋, 高流動コンクリート

はじめに

神戸山手線南伸部の大道工区交差部は、重交通の県道神戸明石線の地下空間において、阪神高速道路の開削トンネルが神戸高速鉄道の開削トンネルを鋭角に下越する形で近接・交差する工区である(図-1,2)。この特殊条件により、本工区では、延長 120mに及ぶ営業中鉄道函体のアンダーピニング下に道路函体を構築した後、鉄道函体を仮受構造から道路函体に盛替え、最終的に、道路函体が鉄道函体を支持する。本稿では、この道路函体の設計について述べる。

1. 設計方針

1-1 基本条件等

表-1 に道路函体の基本条件を示す。

本工区の特異性から、道路函体の設計では、道

表-1 基本条件

道路等級	第2種第2級
設計速度	V = 60km/h
車線数	4車線(上下各2車線)
延長	L = 136m (No.263+14 ~ No.270+10)
横断構成	0.10+0.75+1.25+2*3.25+0.75+0.15+ (: 曲線・視距拡幅)
内空高さ	建築限界4.5 + 道路施設保全空間0.5 = 5.0m

路基準^{1,2)}の常時・耐震設計に加え、鉄道基準³⁾による耐震設計を実施した。

1-2 横断方向の設計

図-3 に鉄道函体盛替え・本受施工ステップを、図-4 に鉄道函体支持構造の流れを示す。鉄道函体を仮受杭から道路函体に盛替える際に、鉄道函体を一時的に仮受杭杭列間の道路函体で支持する必要がある。このため、この仮受杭杭列間の道路函体の頂・底版には、本来の道路函体配筋に加え

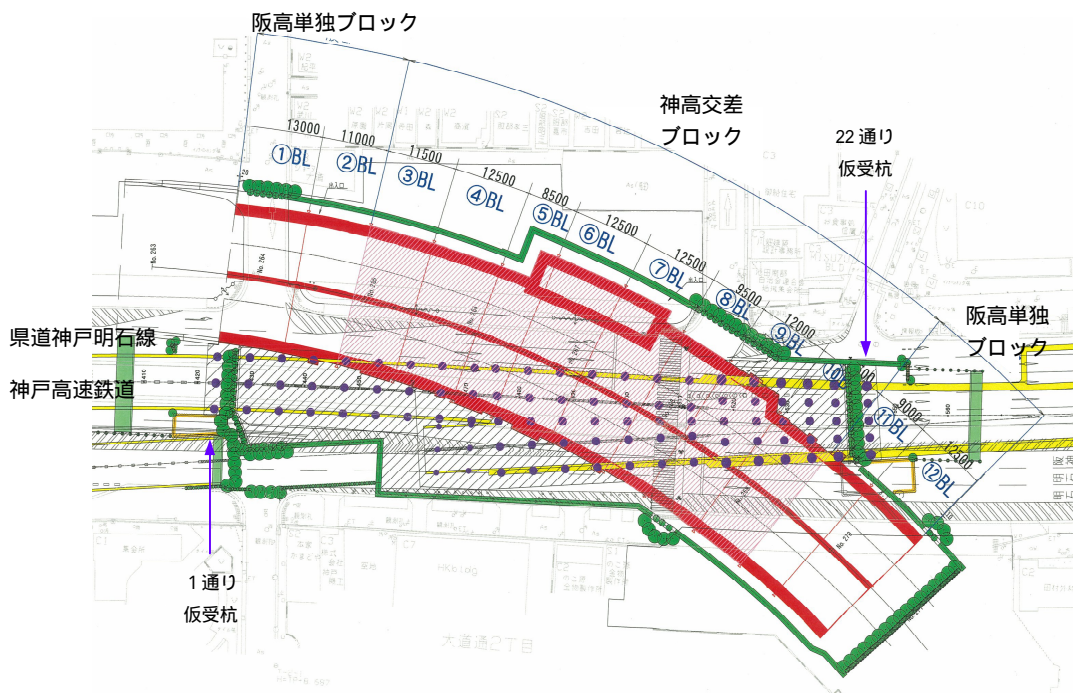


図-1 大道工区交差部全体平面図

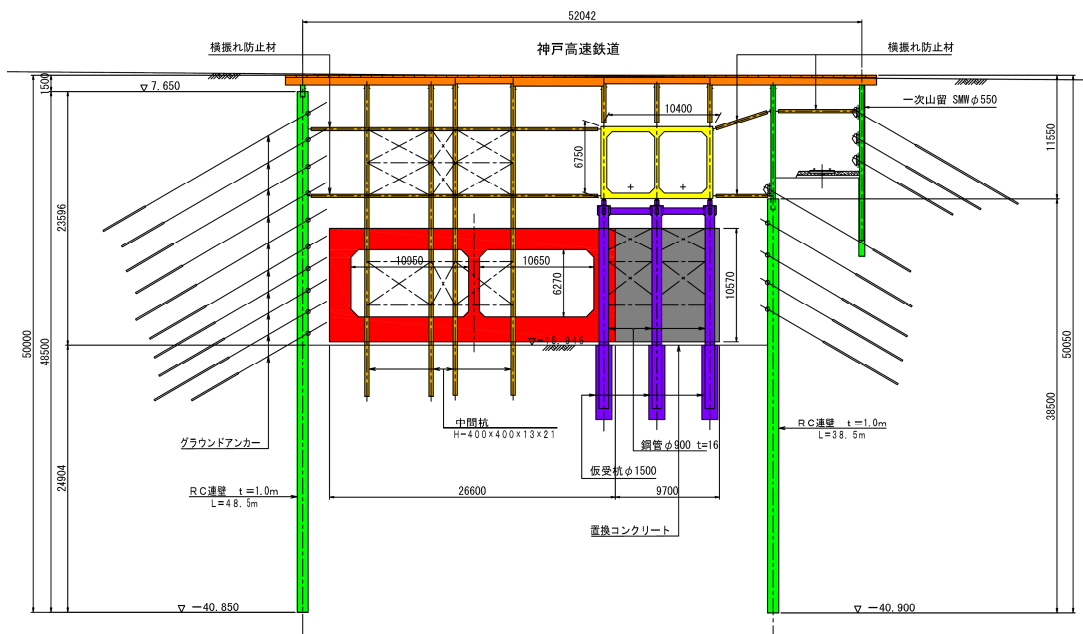


図-2 横断図 (No.265)

て、鉄道函体横断方向の配筋（以下、「盛替え補強筋」）を配置する必要があった。この盛替え補強筋は約1年間、鉄道函体支持構造として機能するため、仮設時の許容応力度の割増は行わず、アンダー・ピニング設計・施工の手引き⁴⁾に基づき設計した。

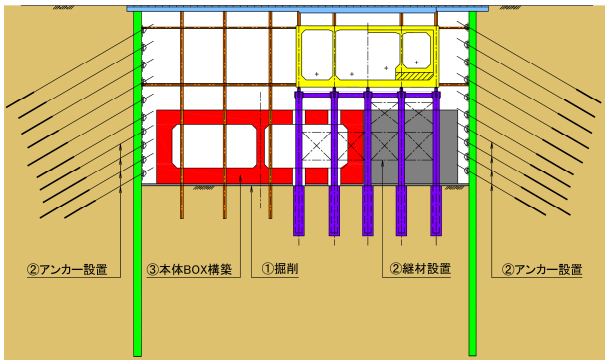
なお、鉄道函体の地震時水平荷重に対しては、

鉄道函体側部とRC地中連続壁との間に設置した切梁部材（横揺れ防止材：図-2）が抵抗する構造系としている。

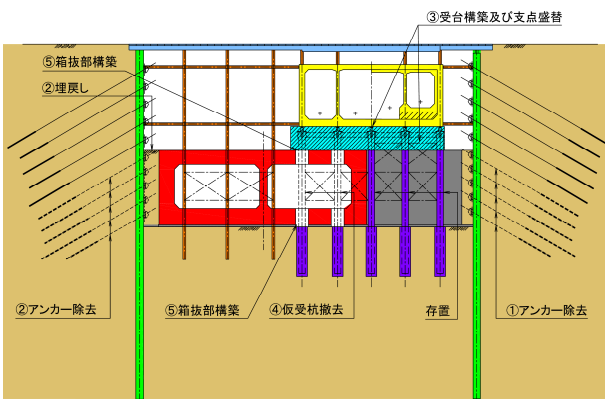
1-3 縦断方向の設計

鉄道函体との交差により、道路函体の上載荷重は縦断方向で変化するため、道路函体を縦断方向

A . 鉄道函体仮受工 ~ 道路函体側部埋戻し工



B . 鉄道函体盛替え工 ~ 本受工



< 縦断面図 >

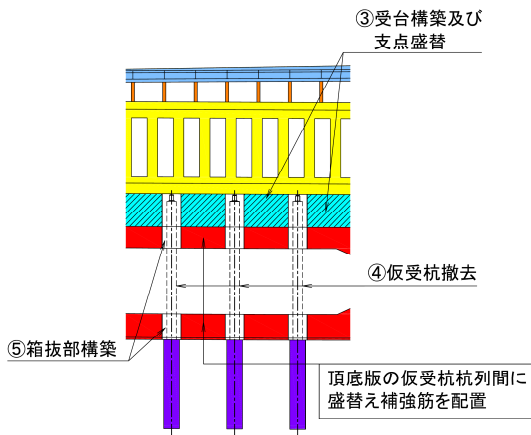


図-3 鉄道函体盛替え・本受施工ステップ

の弾性床上の梁とみなして設計した。また、鉄道函体には構造継手が設けられていないことから、縦断方向の安全性に配慮し、本工区の道路函体も施工ブロック間は全て施工継手とし、一体構造と

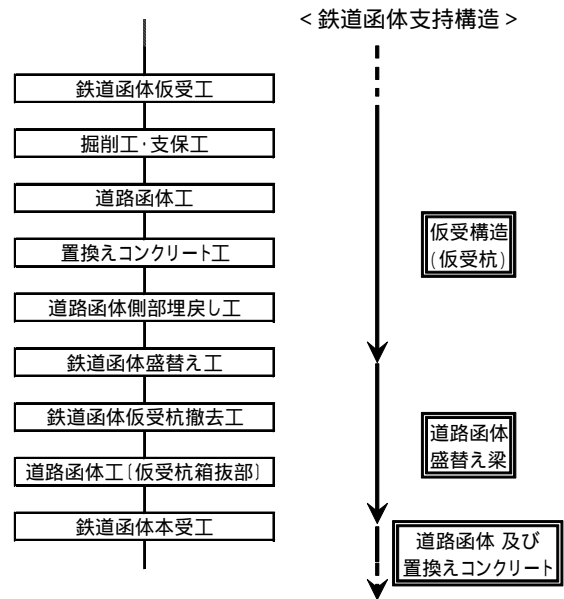


図-4 鉄道函体支持構造の流れ

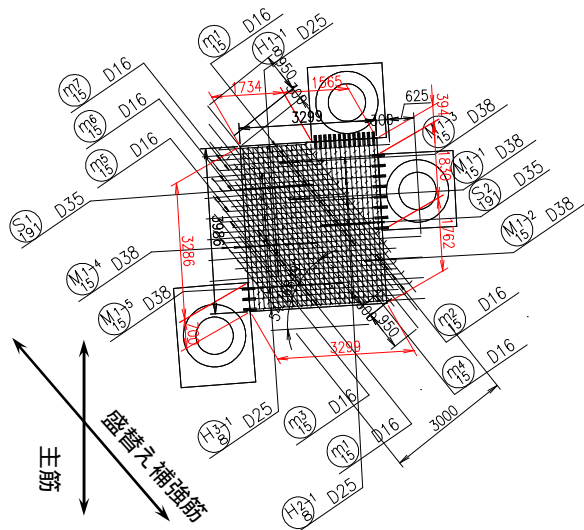
した。

2 . 過密配筋部の施工性試験

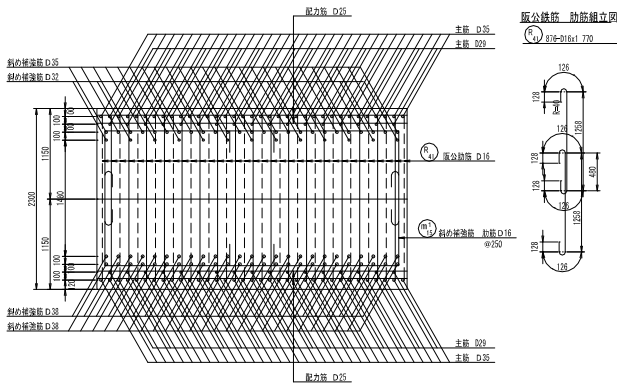
2-1 試験目的

盛替え補強筋を配置するブロック（以下、これを「神高交差ブロック」、盛替え補強筋の無いブロックを「阪高単独ブロック」: 図-1) の頂・底板は、最大2段の道路主筋の内側に、同2段（修正設計では同3段）の盛替え補強筋を配置する多段配筋となる。また、本工区はR = 200mの曲線区間にあたり、鉄道横断方向の盛替え補強筋と道路横断方向の主筋の交差角が約 15° から 45° に連続的に変化する異方向配筋となる。この過密配筋部の鉄筋組立施工性や、組立後のコンクリートの打設施工性・充てん性等を確認すべく、実物大試験体による施工性試験を実施した。

図-5、写真-1 に施工性試験供試体を示す。試験対象は、条件の厳しい部位として、中壁近傍（ハンチ筋有）の4段配筋部で、仮受杭箱抜き型枠・施工目地襷型枠に接する 15 - 16 通り仮受杭間の底板を選定した。



平面図



断面図

図-5 施工性試験供試体



写真-1 施工性試験供試体

2-2 スターラップ施工性試験 (1次選定)

標準形状の半円形フック2本組では、組立て施工が困難と想定されたため、鋭角・直角フックや、



写真-2 プレート定着型せん断補強筋⁶⁾

表-2 スターラップ施工性試験結果

フック形状	a. 半円形フック 2本組	b. プレート定着型 (1本)	c. 半円形・直角 フック2本組
模式図			
上面	阪高鉄筋のみ 盛替え補強筋(1段) 盛替え補強筋(2段)		
下面	阪高鉄筋のみ 盛替え補強筋(1段) 盛替え補強筋(2段)	/ 箱抜き近傍: x x x	/ ハンチ筋近傍: x / ハンチ筋近傍: x / ハンチ筋近傍: x
施工性の評価 (神高交差ブロック)	x: 盛替え補強筋部、箱抜き近傍で施工不可	: 盛替え補強筋部、箱抜き近傍とも施工可能	x: 盛替え補強筋の有無に係わらず、ハンチ筋近傍で施工不可
備考	阪高標準形状	プレート定着型の定着性能は半円形フックと同等以上	直角フックは、鉄道構造細目規定外、補強筋干渉時の定着部がぶり侵入が懸念

・半円形フック: 曲げ半径 2.5 , フック長 8
・直角フック: 曲げ半径 2.5 , フック長 12

半円形フックと同等以上の定着性能を有する⁵⁾ プレート定着型せん断補強筋 (ダクティル鑄鉄製プレートをフラッシュ溶接法で鉄筋端部に接合 (写真-2)) を比較に加えた。

表-2 にスターラップ施工性試験結果を示す。試験により、盛替え補強筋のある下面配筋に対して、半円形フックは施工不可能、プレート定着型は施工可能の結果となり、プレート定着型せん断補強筋の必要性が確認された。

2-3 コンクリート施工性試験 (高流動コンクリート1次選定)

表-3 にコンクリート施工性試験結果を示す。材料は、過密配筋に配慮しワーカビリティの改善を図った 普通コンクリート (スランプ 18cm, 高性能 A E 減水剤使用) と、自己充てん性を有し

締固め作業が不要となる 高流動コンクリートを選定し、この2ケースの試験を実施した。高流動コンクリートの自己充てん性は、ランク1（表-6参照）で設定し、本試験を、高流動コンクリート施工指針⁷⁾に規定する実物大模型による照査として位置づけた。なお、打設時は、現場条件と同等の圧送負荷（水平換算距離 200m程度）を与えた。

試験結果より、神高交差ブロックの頂・底版は、普通コンクリートを基本とするが、筒先・パイプレータ挿入による打込み・締固め作業が困難であり、打設後の材料分離も確認されたため、コンクリート標準示方書⁸⁾に規定する打下し可能高さ1.5m以深は、高流動コンクリートを適用することとした（表-3、2層分割打設）。

この場合、鉄筋組立後の打継ぎが生じるが、下層がノンブリーディングの高流動コンクリートのため、基本的に打継処理（レイタンス除去）が不要であること、文献^{9,10)}によれば、無処理でも通常の打継処理と比較して打継強度の低下が認められないことから、施工可能と判断した。

3. 修正詳細設計

3-1 スターラップ最終選定

阪高指針改定¹⁾により、定着性能・施工性を考

慮し、部材の部位ごとにフック形状を選択できるようにしたことを受け、スターラップ形状の最終選定を行った。

表-4 にスターラップの選定結果を示す。プレート定着型せん断補強筋は、神高交差ブロックで半円形フックと同等の定着性能が必要となる、隅角部および隅角部ハンチ端から部材高さの範囲（以下、「隅角部+1D範囲」）に適用することとした。

表-4 スターラップ選定結果（頂版・底版）

施工性試験：鉄道構造細目に規定するフック形状(半円形・鋭角)と同等性能のものから、施工可能な形状を選択 神高交差ブロック：半円形・鋭角フックでは施工不可 プレート定着型せん断補強筋の必要性を確認			
阪高単独ブロック		神高交差ブロック	
半円形フック2本組		プレート定着型(1本)	
↓			
修正詳細設計：阪高指針改定を受け、隅角部+1D外のフック形状は定着性能・施工性を勘案し、適宜選択（地震時の荷重性状を考慮し、部位ごとにフック形状選択可） プレート定着型せん断補強筋の適用範囲を、神高交差ブロックの「隅角部+1D範囲内」に設定			
阪高単独ブロック		神高交差ブロック	
隅角部+1D内	隅角部+1D外	隅角部+1D内	隅角部+1D外
半円形フック2本組	阪高J筋(1本)	プレート定着型(1本)	阪高J筋2本組

表-3 コンクリート施工性試験結果

種別	普通コンクリート	高流動コンクリート	2層打設
概要 (底版部材厚)	・スランブ18cm ・高性能AE減水剤使用 上筋上側から打設	・スランブフロー65cm 上筋上側1箇所から打設	・上層普通コン() ・下層高流動コン() の併用案
配合等	RL302F(30-18-20L)	ランク1高流動(30-65-20L)	-
打設時の規定	×：コン示規定の打下し可能高さ(1.5m)を超過	：施工指針規定の最大自由落下高さ5mを満足	：、両者の基準を満足
打設状況	鉄筋と接触し材料分離多数	特に問題なし	特に問題なし
強度分布	筒先直下で部分的に強度が大きい箇所あり	ほぼ一定値	-
骨材分布	下方が密、上方が粗の傾向	上下の分布は均一	-
水中重量	場所により大きなばらつきあり	密度差は小さく平面的にほぼ一定	-
打継処理	2層分割打設となる場合は、打継処理が困難	ブランク能力から2層分割打設が必要だが、下層が高流動コンの場合、打継面の問題はない	
経済性	-	×	
評価	×		

3-2 配筋細目の設定（神高交差ブロック）

(1) 鉄道函体仮受杭との取合い処理

道路函体構築時に鉄道函体仮受杭の機能を確保するため、仮受杭は箱抜き処理を基本とした。また、鉄道縦断方向 6mの仮受杭スパンに箱抜きと盛替え補強筋を配置するため、箱抜き寸法は極力小さくする必要がある。よって、鉄筋継手は機械継手とし、箱抜き寸法は、内型枠と主筋・配力筋の取合いに配慮の上、仮受杭との離隔 300mmを確保するよう設定した（杭径 900mm の場合、箱抜き 1,500 × 1,500mm を基本）（写真-3，図-6-1,2）。

(2) 施工目地での頂底版の継手処理

施工目地では配力筋に加え、主筋と異方向の盛

替え補強筋の継手も必要となる。阪高指針¹⁾では、施工目地の配力筋は重ね継手が基本であるが、当該目地に適用した場合、先行打設ブロック裏面が

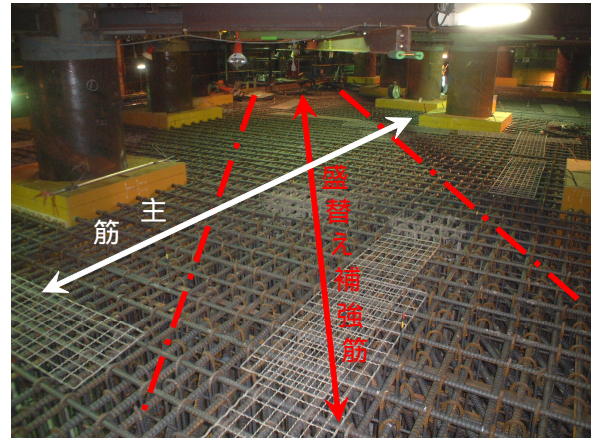


写真-3 仮受杭箱抜き・頂版配筋状況

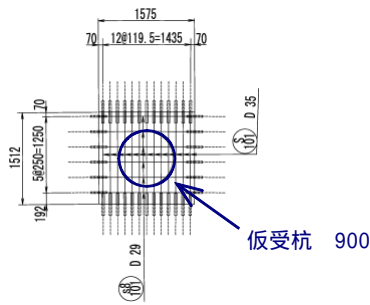


図-6-1 箱抜き部頂版上面展開配筋図〔b部〕

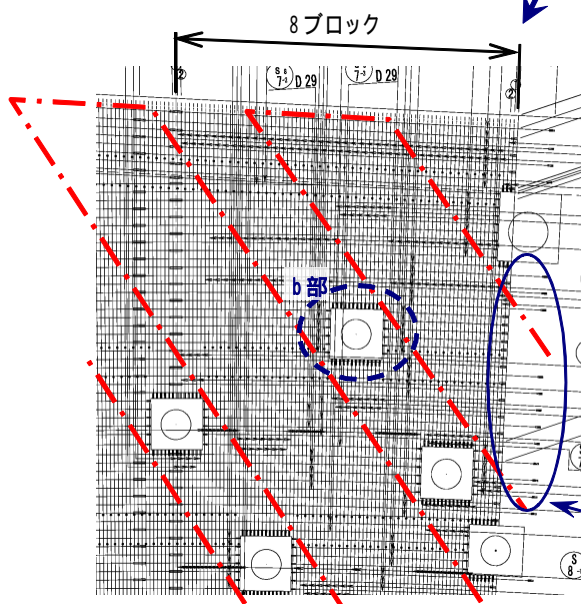


図-6-2 頂版上面展開配筋図〔a部〕

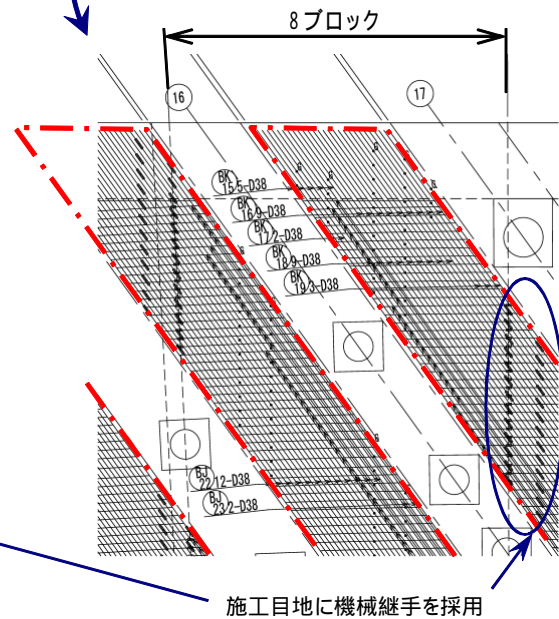
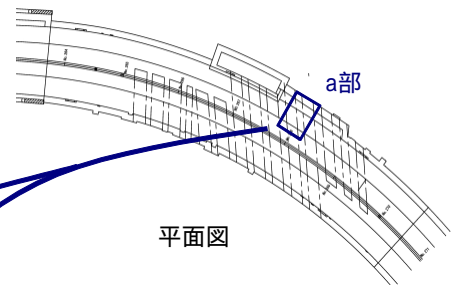


図-6-3 頂版上面展開配筋図（盛替え補強筋）〔a部〕

図-6 配筋細目の設定（神高交差ブロック）

ら、配力筋と盛替え補強筋が複数段で最大3m程度張り出し、稜部の施工が困難となる。よって、施工目地の鉄筋継手は、千鳥配置の機械継手で設定した(図-6-2,3)。

また、後行打設ブロックの盛替え補強筋が曲げ加工筋の場合、鉄筋を回転させて接続する標準タイプの機械継手では接続出来ないため、鉄筋を回転させないで接続できる機械継手を採用した(表-5)。

表-5 機械継手種別

種別	直鉄筋用	曲げ鉄筋用
適用対象	・後施工側が直筋 ・ナット締付の代わりに、鉄筋の回転によるトルク導入が可能	・後施工側が曲げ加工筋 ・トルク導入部がナット部に限定され、鉄筋を回転させないで接続可能
概要図	D13～D32適用タイプ 	D13～D35適用タイプ

3-3 高流動コンクリート最終選定

神高交差ブロック頂・底版下層の高流動コンクリートについて、施工性・経済性に配慮し、自己充てん性ランクの検討を行った。

高流動コンクリート施工指針⁷⁾によると、自己充てん性ランクは、最小鋼材あき・鋼材量の構造物条件に基づき設定される(表-6)。本工区は、

・最小鋼材あき：115mm(中壁主筋間隔) - D38(最大径) = 77mm ランク2相当

・鋼材量：最大 400kg/m³程度 ランク1相当

となり、ランク1と2の境界領域と捉えられる。

一般的に、自己充てん性ランクが高いほど、材料分離抵抗性を発揮させるため、配合中の微粉末量(セメント+混和材)は増加、粗骨材量は減少する。即ち、材料単価は、ランク1の方がランク2より高い傾向にある。また、材料分離抵抗性が大きくなると、打設時の圧送負荷は増大するため、長距離配管が必要な本工区では、必要以上の自己充てん性が施工性の低下を招く恐れがある。

以上をふまえ、ランク2配合について、実物大試験体による自己充てん性の追加試験を実施した。表-7にランク1と2の配合比較表を示す。

試験の結果、コンクリートの充てん性、骨材分

表-6 自己充てん性のランク

ランク	ランク1	ランク2	ランク3
自己充てん性を有する対象	複雑な断面形状、断面寸法の小さい部材または箇所	下記の最小鋼材あきの鉄筋コンクリート構造物または部材	配筋量の少ない部材または箇所、無筋の構造物
構造物の条件(最小鋼材あき) ¹	35～60mm程度	60～200mm程度	200mm程度
構造物の条件(鋼材量の目安) ²	350kg/m ³ 以上	100～350kg/m ³	100kg/m ³ 以下

土木学会高流動コンクリート施工指針⁷⁾より引用・編集

1 「2.2 自己充てん性」の条文規定

2 同解説文の記載事項

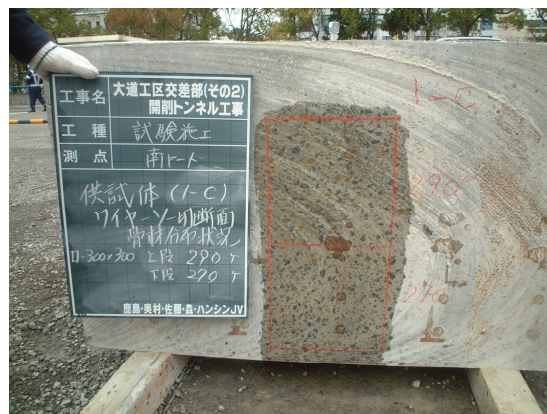


写真-4 骨材分布確認状況

表-7 試験配合比較表(ランク1, 2)

自己充てん性ランク	水セメント比 (%)	空気量 (%)	単位粗骨材絶対容積 (m ³ /m ³)	水粉体容積比 (%)	細骨材容積比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)							
							水	セメント 低熱ボルト ランド(L)	混和材 石灰石 微粉末	細骨材 海砂	細骨材 砕砂	粗骨材 砕石	混和剤 高性能AE 減水剤	混和剤 増粘剤
1	50.0	4.5	0.280	80.0	43.3	51.1	170	340	291	526	226	731	8.96	0.170
2	50.0	4.5	0.315	85.0	43.9	47.1	165	330	250	505	217	822	8.7	0.165

両配合とも、「併用系高流動コンクリート」に分類される(使用材料による分類⁷⁾)

布（写真-4），施工性等の問題が認められなかったことから，高流動コンクリートの自己充てん性は“ランク2”で設定した．図-7 に神高交差ブロックのコンクリート選定結果を示す．

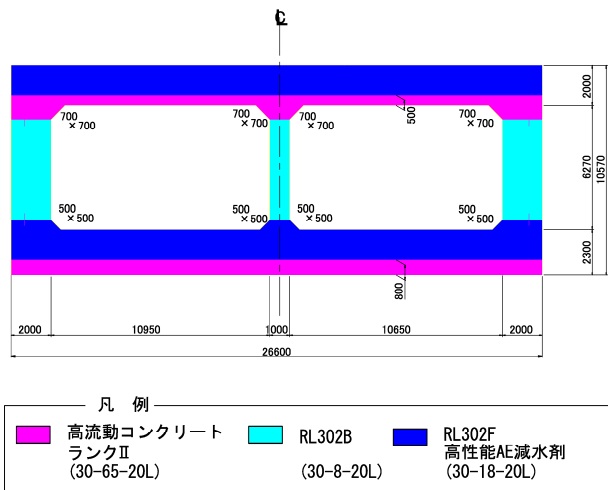


図-7 コンクリート選定結果
(神高交差ブロック)

謝辞：本工区は，神戸高速鉄道(株)委託工事との連携のもと事業を進めており，平成19年10月末に道路函体工を概成し，12月現在，置換えコンクリートの施工中である．同社を始めとする関係各位のご指導・ご協力に対し深く感謝の意を表す．

参考文献

- 1) 阪神高速道路公団：開削トンネル設計指針，2005.9.
- 2) 阪神高速道路公団：開削トンネル設計耐震指針(案)，1999.11.
- 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物設計標準・同解説耐震設計，1999.10.
- 4) 鉄道総合技術研究所：アンダー・ピニング 設計・施工の手引き，1987.9.
- 5) 古市他：プレートを用いた新しいせん断補強鉄筋，鹿島技術研究所年報第53号，2005.9.
- 6) プレート定着型せん断補強鉄筋「Jフットバー」HP
- 7) 土木学会：コンクリートライブラリー93 高流動コンクリート施工指針，1998.
- 8) 土木学会：コンクリート標準示方書 施工編，2002.
- 9) 小松原,早川他：高流動コンクリートの打継強度に関する一実験，土木学会第49回年次学術講演会. pp. 378-379, 1994.
- 10) 河井,黒田：高流動コンクリートの打継強度に関する実験的研究，土木学会第49回年次学術講演会. pp. 380-381, 1994.

DESIGN OF CUT AND COVER TUNNEL CONSTRUCTION BENEATH THE UNDERPINNING OF SUBWAY TUNNEL

Yasuhiro IMADA and Tsutomu NIINA

The Ohmichi tunnel section of the Hanshin Expressway Kobe Yamate Route (south extension) is where the route crosses under an underground tunnel of the Kobe Kousoku Railway beneath a heavy traffic road on the ground surface. Because of this special condition, the cut and cover tunnel of the expressway needs to be constructed beneath the underpinning of the operating subway tunnel and is expected to support it when completed. This report describes special considerations given to bar arrangement and determination of concrete specifications appropriate for the closely placed rebars.

今田 康博



阪神高速道路株式会社
神戸建設部 設計・審査グループ
Yasuhiro Imada

新名 勉



阪神高速道路株式会社
神戸建設部 設計・審査グループ
Tsutomu Niina