

PRC2 径間連続ラーメン橋における RC 連壁を用いた橋台および橋脚

株式会社大林組 正会員 ○仲田 宇史
 株式会社大林組 正会員 稲積 一訓
 株式会社大林組 正会員 齋藤 隆

1. 目的

神戸ジャンクションは、神戸市北区にある中国縦貫自動車道（以下、中国道）と山陽自動車道（同、山陽道）のジャンクション（図-1）である。現在、建設中の新名神高速道路（以下、新名神）と山陽道を接続するため改良工事を実施中である。今回、供用中の中国道下部を通過する新名神の建設に伴い、新名神と立体交差する部分の中国道本線の橋梁化工事（PRC2 径間連続ラーメン橋）において、急速施工と施工時の安全性確保の観点から下部工を逆打ちで構築する工法を採用し、RC 地中連続壁（以下、RC 連壁）を本体利用する構造形式（図-2）とした。本稿では、RC 連壁を壁式橋台・橋脚の躯体～基礎とした設計事例について報告する。

2. 下部工構造形式の検討

本橋梁の下部工構造形式を決定するため、走行路盤面から橋台・橋脚の躯体～基礎の逆打ち構築が可能な 4 工法を挙げ、施工時の工期・安全性・経済性だけでなく、最終的な下部工としての構造特性に着目した比較検討を行った。その結果、既存の設計手法により構造成立性の検証が可能で、実績がある RC 連壁が有利であると判断した。表-1 に下部工の構造特性の比較検討結果を示す。

3. RC 連壁の設計

3.1 橋梁の概要と特徴

本橋梁の構造形式は、メンテナンスフリーという観点から支承や伸縮装置を省略した PRC2 径間連続ラーメン橋とし、橋台・橋脚は RC 連壁を本体利用した躯体・基礎の一体構造とした。同様に、橋台背面の翼壁も RC 連壁の単独壁を本体利用する形式とした。その他の特徴としては、橋台・橋脚とも交差道路と平行として斜角を有する橋梁としたことが挙げられる（図-2）。

3.2 地盤条件

当該地は、神戸層群に該当し非海成の堆積物である砂岩・泥岩・礫岩で構成される。RC 連壁の根入れ部は、図-3 に示すように主に凝灰質砂岩（Kss）と礫岩（Kcg）からなる CL 級以上の岩盤である。



図-1 神戸ジャンクション完成予想図
 (NEXCO 西日本ホームページより)

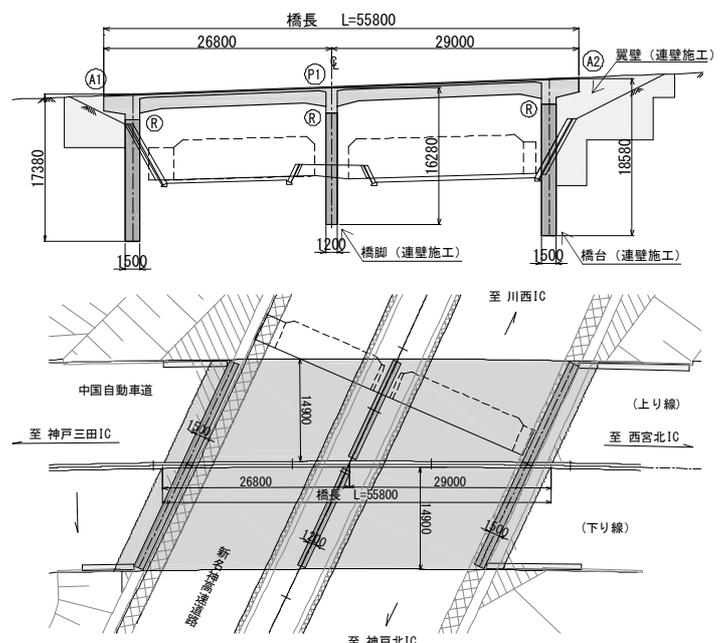
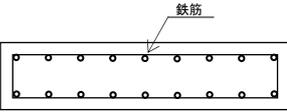
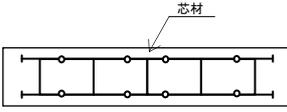
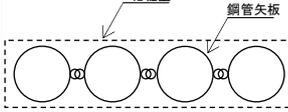
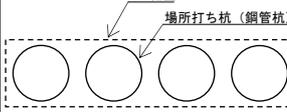


図-2 橋梁一般図

キーワード RC 地中連続壁、本体利用、壁式橋台、壁式橋脚、PRC2 径間連続ラーメン橋

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 (株) 大林組 橋梁技術部 TEL03-5769-1306

表-1 下部工構造形式比較表

構造形式	R C 地中連続壁	鋼製地中連続壁	鋼管矢板	柱列式場所打ち杭, 鋼管杭
概要	 <ul style="list-style-type: none"> 芯材に鉄筋カゴを用いた R C 連壁 	 <ul style="list-style-type: none"> 芯材に嵌合継手付きの鋼材を用いた連壁 	 <ul style="list-style-type: none"> 鋼管矢板を打設して開削後に R C 化粧壁で巻立て 	 <ul style="list-style-type: none"> 杭を打設して開削後に R C 化粧壁で巻立て 橋台は杭間に土留め構造が必要 (R C 壁等)
構造特性	<ul style="list-style-type: none"> 橋脚および橋台躯体は R C 連壁で構築されるが構造は一般的な R C 橋台・橋脚と同じ (特別な構造形式ではない) 設計は壁基礎の設計 (R C 連壁基礎) に準拠 	<ul style="list-style-type: none"> 大きな剛性, 耐力が期待できるため, R C 連壁よりも壁厚縮小が可能 面内鉛直方向せん断に対して芯材継手の剛性効率が明確でない 上部工と下部工の接合は枕梁を介して連結する構造検討が必要 (構造が複雑) 	<ul style="list-style-type: none"> 上部工と下部工の接合は枕梁を介して連結する構造が必要 (構造が複雑) 上部工の斜角に起因するねじれに対して, 鋼管矢板継手にせん断ズレが生じる可能性があり, 杭頭枕梁を主とした下部工の構造成立性検証が困難 (挙動が複雑) 	<ul style="list-style-type: none"> 上部工と下部工の接合は枕梁を介して連結する構造が必要 (構造が複雑) 上部工の斜角に起因するねじれに対して, 各杭間に相対変位が生じる可能性があり, 杭頭枕梁を主とした下部工の構造成立性検証が困難 (挙動が複雑)
実績	実績: 札幌自動車道, 大府高架橋	実績: なし	実績: なし	実績: なし
評価	◎	○	△	△

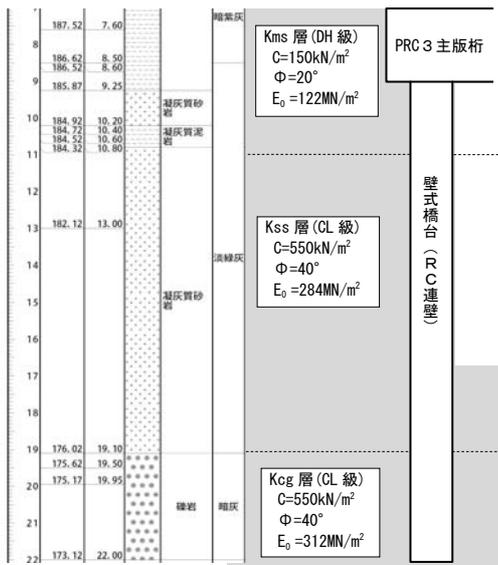


図-3 地盤条件

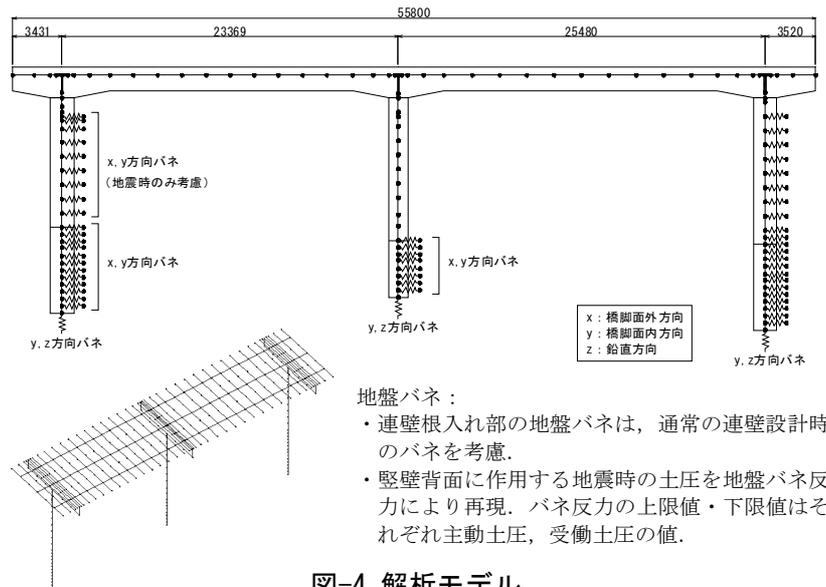


図-4 解析モデル

3.3 設計手法

橋台・橋脚が斜角を有していることによって地震時の挙動が複雑となることが想定されたため, 非対称性を考慮した設計が必要と判断し, 上下部一体の 3 次元はりモデルを用いた動的解析を実施し, 橋台・橋脚の躯体および基礎の照査を行った. 図-4 に解析モデルを示す.

3.4 設計結果

(1) 下部工の設計結果

表-2 に設計結果一覧を示す. L 2 地震時において橋台・橋脚の躯体および基礎は弾性範囲内となり, 連壁の配筋決定要因は常時の荷重ケースがクリティカルとなった. 通常, 下部構造の配筋は L 2 地震時の影響が支配的となるのが一般的であるが, 橋台背面地盤 (岩盤) が地震時の変形を実挙動以上に拘束することで発生断面力を抑えたという可能性が考えられた. そこで, 橋台背面地盤の影響を考慮しないケースを別途検討したが, その状態においても L 2 地震に対する耐震性能が確保されていることを確認した.

表-2 下部工の設計結果一覧

				A1	P1	A2
部材寸法	壁・基礎			幅16.68m×厚1.5m×高13.3m(基礎6.0m) 主筋:D38 82@200 帯鉄筋:D25@150 せん断補強筋:D25 16@1000×150	幅15.53m×厚1.2m×高12.2m(基礎4.0m) 主筋:D22 81@250 帯鉄筋:D22@150 せん断補強筋:D22 15@1000×150	幅16.47m×厚1.5m×高14.5m(基礎6.0m) 主筋:D51 96@170 帯鉄筋:D29@150 せん断補強筋:D29 18@850×150
常時	壁・基礎 (橋軸方向)	応力度	σ_c, σ_{cs} (kN/mm ²)	5.1 < 11.5 O.K	5.0 < 10.0 O.K	7.2 < 10.0 O.K
			σ_s, σ_{ss} (kN/mm ²)	153.7 < 184.0 O.K	153.2 < 160.0 O.K	158.1 < 160.0 O.K
			τ_{mv}, τ_s (kN/mm ²)	0.372 < 0.420 O.K	0.150 < 0.375 O.K	0.750 < 1.900 O.K
	基礎 (橋直方向)	安定計算	天端の水平変位 δ_f, δ_g (mm)	1.1 < 15.0 O.K	0.6 < 12.0 O.K	2.3 < 15.0 O.K
			弾性域根入長 L_d, L_{min} (m)	6.0 > 2.0 O.K	4.0 > 2.0 O.K	6.0 > 2.0 O.K
		底面のせん断抵抗力 H_{max}, H_a (kN)	1,191.3 < 6,115.8 O.K	350.3 < 6,336.8 O.K	1,061.6 < 7,224.8 O.K	
		底面の鉛直地盤反力度 q_{max}, q_b (kN/m ²)	1,373.3 < 1,721.7 O.K	1,256.4 < 1,703.1 O.K	1,607.9 < 1,721.3 O.K	
レベル1地震時	壁・基礎 (橋軸方向)	応力度	σ_c, σ_{cs} (kN/mm ²)	4.4 < 15.0 O.K	2.4 < 15.0 O.K	7.0 < 15.0 O.K
			σ_s, σ_{ss} (kN/mm ²)	132.8 < 300.0 O.K	33.2 < 300.0 O.K	151.3 < 300.0 O.K
			τ_{mv}, τ_s (kN/mm ²)	0.306 < 0.582 O.K	0.128 < 0.563 O.K	0.707 < 2.850 O.K
	基礎 (橋直方向)	安定計算	天端の水平変位 δ_f, δ_g (mm)	0.8 < 15.0 O.K	0.4 < 12.0 O.K	2.0 < 15.0 O.K
			弾性域根入長 L_d, L_{min} (m)	6.0 > 2.0 O.K	4.0 > 2.0 O.K	6.0 > 2.0 O.K
		底面のせん断抵抗力 H_{max}, H_a (kN)	782.1 < 7,497.9 O.K	990.3 < 7,938.5 O.K	664.8 < 7,884.9 O.K	
		底面の鉛直地盤反力度 q_{max}, q_b (kN/m ²)	1,679.8 < 2,541.3 O.K	1,780.9 < 2,527.3 O.K	1,997.4 < 2,541.0 O.K	
レベル2地震時	壁・基礎 (橋軸方向)	断面力	曲げモーメント M_{max}, M_y (kNm)	38,368.4 < 39,981.0 O.K	10,203.6 < 10,873.0 O.K	52,018.8 < 77,960.0 O.K
			せん断耐力 S_{max}, P_s (kN)	16,112.4 < 30,282.0 O.K	15,638.0 < 25,785.2 O.K	20,338.1 < 39,842.4 O.K
	基礎 (橋直方向)	安定計算	底面のせん断地盤反力度 ρ_s, ρ_{qu} (kN/m ²)	102.7 < 1,182.0 O.K	702.9 < 2,584.1 O.K	89.7 < 1,347.3 O.K
			底面の鉛直地盤反力度 q_{max}, q_d (kN/m ²)	1,986.7 < 5,000.0 O.K	4,323.5 < 5,000.0 O.K	2,245.6 < 5,000.0 O.K

(2) 上部構造への影響

下部構造として設計が成立しても、橋梁全体としては上部構造が現実的な断面寸法やPC鋼材量で成立することが重要である。下部工と一体モデルで構造解析を実施した上部工の設計において決定した断面を図-5に示す。概略検討時にウェブ幅を800mmとすることで経済性が最適となるという結果を得られていたが、下部工形式の選定時に径間長を減じる目的で斜橋としたことより、ねじり剛性の必要性からウェブ幅が900mmへとアップした。しかし、2径間ラーメン橋としては、下部工による拘束力が低減されたことにより、死荷重だけでなく乾燥収縮やPC2次力など、殆どの作用に対して概略検討時の直接基礎と比較して断面力分布が緩やかになり、PC鋼材量や鉄筋量を抑えた効率的な設計が可能となった。図-6に上部工設計時の死荷重に対する下部工形式の影響比較結果を示す。

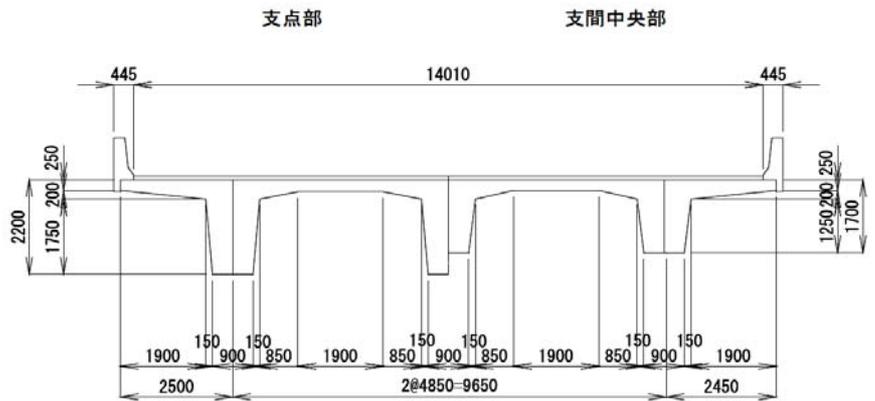


図-5 上部工断面図

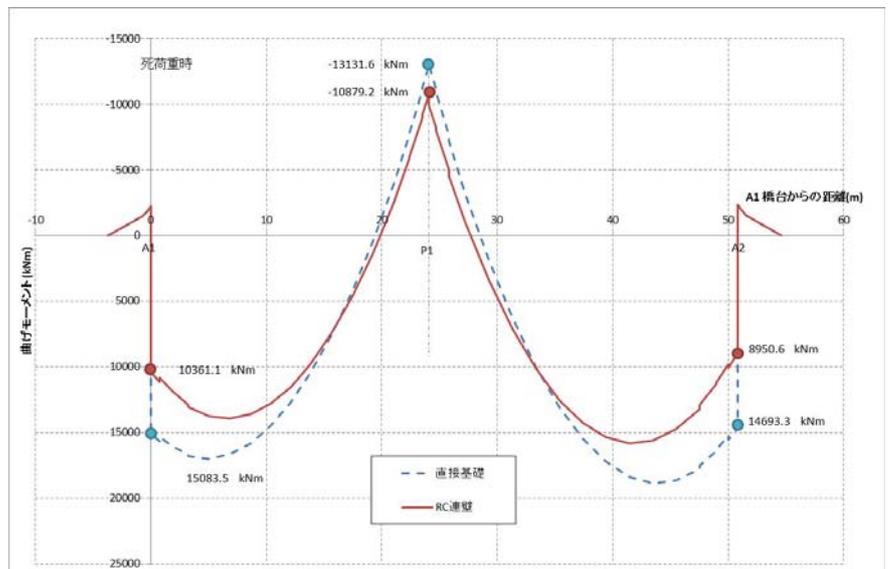


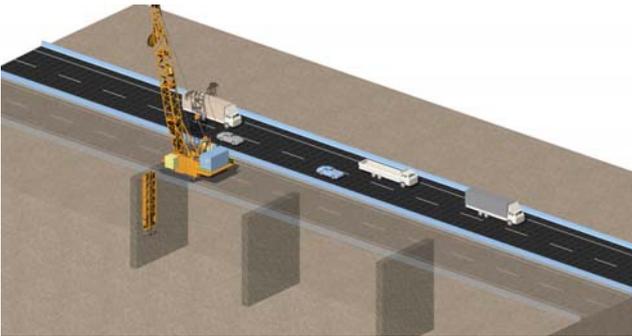
図-6 上部工設計への下部工形式の影響比較 (死荷重)

4. RC連壁の施工

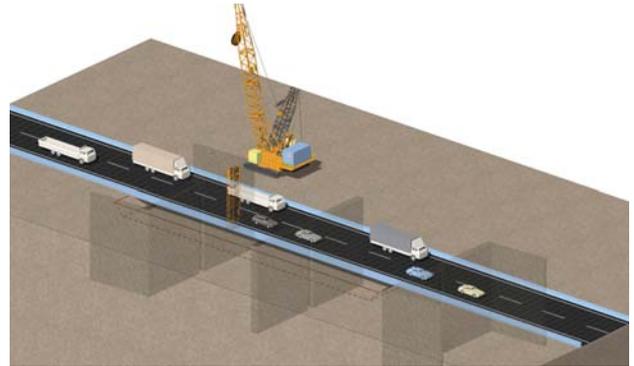
4.1 施工手順

中国道本線走行路盤面から壁式の橋台・橋脚を施工し、最小限の掘削を行った後に上部工を構築し、上部供用開始後に橋台・橋脚間の掘削を継続する逆打ち工法により施工することとした。これにより大規模掘削を無くし、影響範囲を限定的とした橋梁上下部工の構築が可能となるため、ジャンクション区間の供用道路への規制を少なくするとともに、道路全体の開通時期を早めることができるというメリットがある。図-7 に施工ステップを、写真-1, 2 に連壁の施工状況を示す。

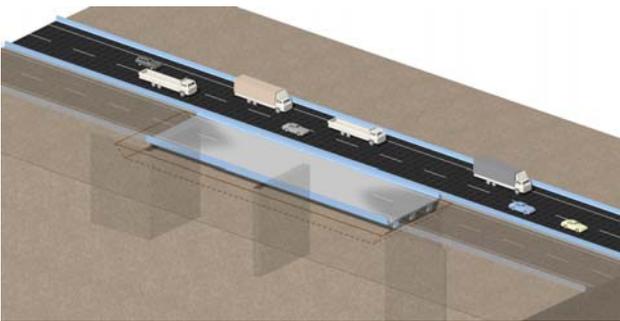
手順①：下部工構築（連壁施工）



手順③：供用後反対車線施工（①②と同様）



手順②：上部工構築



手順④：上下線供用後、交差路の掘削開始

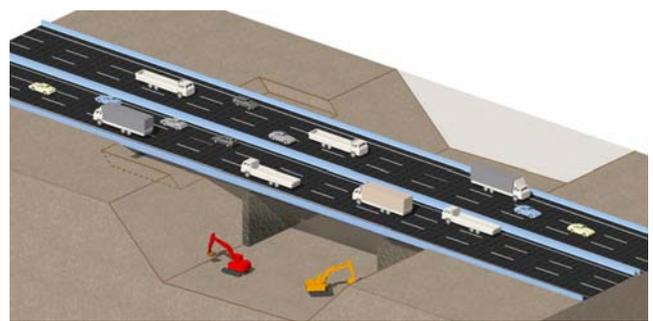


図-7 施工ステップ



写真-1 ハイドロフレーズ掘削機



写真-2 鉄筋カゴ建込み状況
(継手構造取付け部)

4.2 剥落防止対策工の検討

RC連壁は、掘削した溝壁内に直接コンクリートを打設するため、掘削後に露出する橋台のコンクリート表面には不陸が生じる可能性が高い。また、当該構造には剥落防止対策工が必要となるため、コンクリート表面を成形したうえで、剥落防止機能を有するコンクリートの増し厚が必要となる。しかし、コンクリートの増厚部分は、日射や寒冷、風雨、凍結融解等の気象条件の影響を受けやすいことから、長期間の湿潤養生を行わないと耐久性を確保できないことが懸念された。

そこで、剥落防止対策工として「高靱性セメントボード（スムーズボード工法）」を採用することとした。このボードの使用により、増厚部分の劣化や養生の問題を解決し、増し厚施工の際には型枠としても利用できるため、耐久性および施工性の大幅な向上が期待できる。図-8に剥落防止対策工の施工手順を示す。

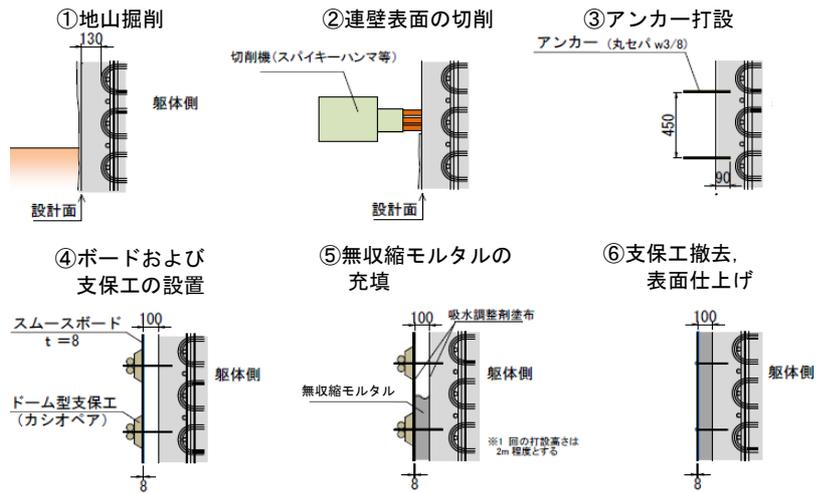
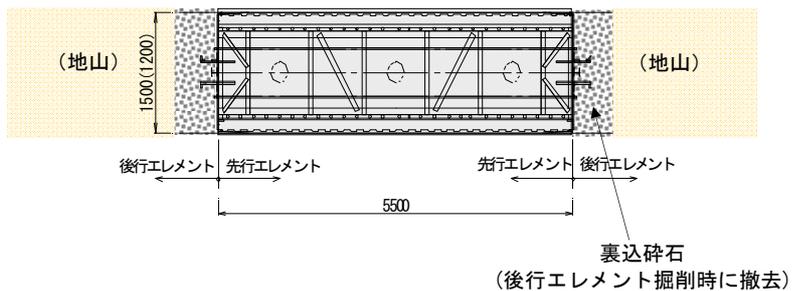


図-8 剥落防止対策施工手順

<エレメント割>



<先行エレメントコンクリート打設要領図>



4.3 継手構造

橋台・橋脚のRC連壁は3エレメントに分割して施工した。1エレメントあたりの長さは掘削機の幅により決定した。エレメント間の継手については先行エレメントにアンカー筋を取り付け、裏込砕石の封入と撤去を介して後行エレメントとの一体化を図った。図-9にエレメント割および継手詳細図を示す。

5. おわりに

本橋梁は現在も順調に建設が進んでいる。本稿で報告したRC連壁を壁式橋台・橋脚として本体利用した構造形式は、アンダーパス立体交差に橋梁を用いた急速施工法のひとつとして活用できるものと期待する。また、平成24年度版の道路橋示方書で新たに記載されたインテグラルアバット式の橋梁への適用に対しても、本構造の適性が発揮できるものと考えている。

最後に、本事例の紹介にご理解いただいた西日本高速道路株式会社関西支社新名神戸兵庫事務所の皆様に深く感謝致します。

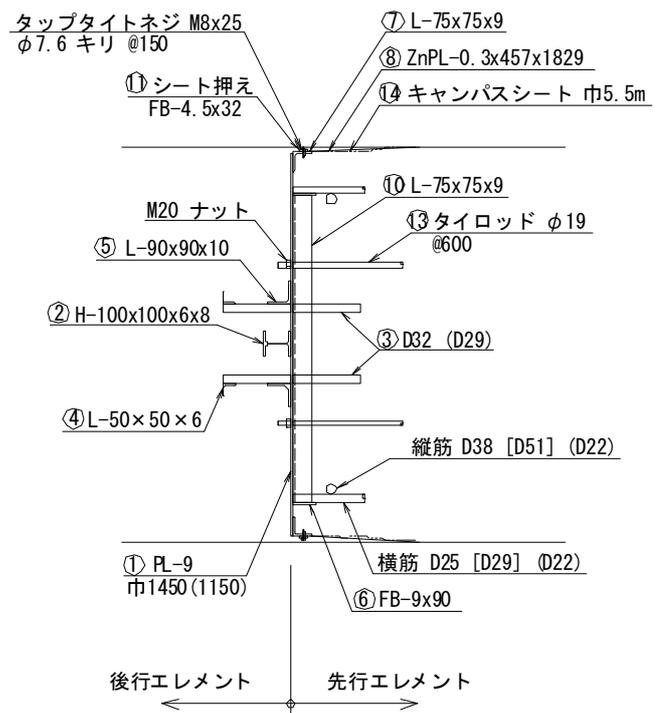


図-9 エレメント割および継手構造