

広瀬高架橋の設計と施工

成瀬 隆弘*1・前田 正一*2・塚本 和義*3・品川 清和*4

1. はじめに

山陽自動車道宇部下関線は、宇部東インターチェンジ（仮称）と下関ジャンクション（仮称）を結ぶ、本州最西端の高速自動車国道である。この路線は、中国自動車道と山口宇部有料道路を東西に繋ぎ、宇部市、小野田市、山陽町、下関市の地域の主要都市を接続するアクセス道路として、山口県南西部の高速道路網を形成し、完成によって地域の産業・経済の発展と沿線諸都市の利便性向上への貢献が期待されている。

宇部下関線の延長28.3 kmのうち、トンネル部は3カ所1.8 km、橋梁部は29カ所5.1 kmを占め、本稿で紹介する橋長957.5 mの広瀬高架橋は、この路線内の主要構造物の一つとして位置づけられている（図-1）。広瀬高架橋は、標準支間28 mの35径間の橋梁で、4連のPRC連続中空床版橋からなる。大型移動吊り支保工（以下、移動支保工）を用いた分割施工によって、作業の標準化に努め、品質、安全性および経済性の向上を目指した橋梁である。

本報告は、広瀬高架橋の工事における移動支保工施工の特徴的な部分を中心に、設計・施工の概要について紹介するものである。

2. 工事概要

本橋の工事概要を以下に示す。また、橋梁の全体一般図を図-2に、標準断面図を図-3に、上部工の主要数量を表-1にそれぞれ示す。

工事名：山陽自動車道 広瀬高架橋（PC上部工）工事

路線名：高速自動車国道 山陽自動車道宇部下関線

工事場所：自) 山口県宇部市大字広瀬

至) 山口県宇部市大字末信

工期：平成9年9月～平成12年10月

構造形式：PRC（9+8+9+9）径間連続中空床版橋

橋長：957.500 m

支間長：1連目 24.550 m+6@25.500 m+29.700 m+24.050 m

2連目 24.400 m+6@28.000 m+27.400 m

3連目 27.400 m+7@28.000 m+27.400 m

4連目 27.400 m+7@28.000 m+27.400 m

有効幅員：10.250 m（全幅11.700 m）

平面線形：A=1 000～R=4 500～R=8 000～A=1 300～R=3 750

縦断勾配：1.150%（↘）～2.488%（↘）

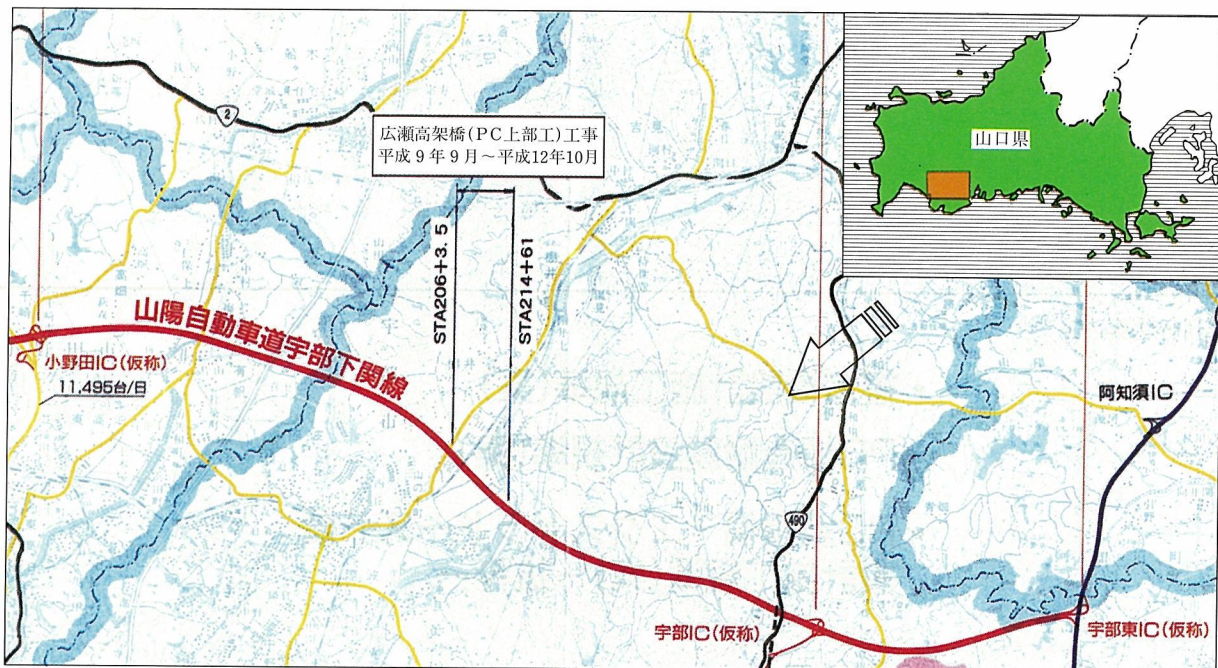


図-1 橋梁位置図

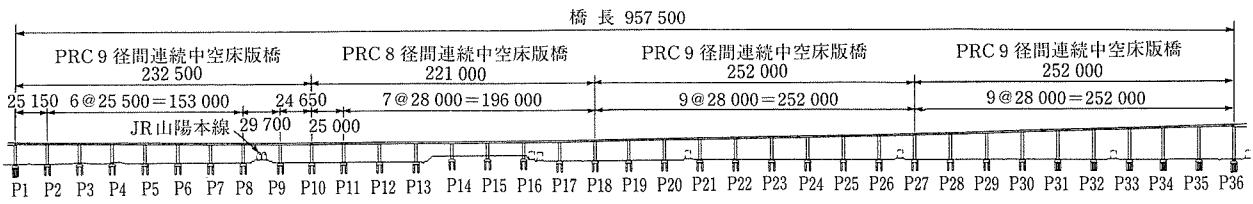
*1 Takahiro NARUSE：日本道路公団 中国支社 山口工事事務所 宇部工事区 工事長

*2 Shoichi MAEDA：佐藤工業(株)・ピーシー橋梁(株)共同企業体 所長

*3 Kazuyoshi TSUKAMOTO：佐藤工業(株)・ピーシー橋梁(株)共同企業体 副所長

*4 Kiyokazu SHINAGAWA：ピーシー橋梁(株) 本社 技術部 主任研究員

側面図



平面図

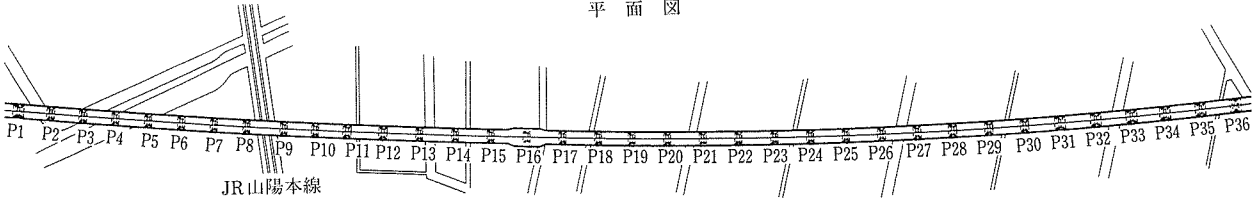


図-2 全体一般図

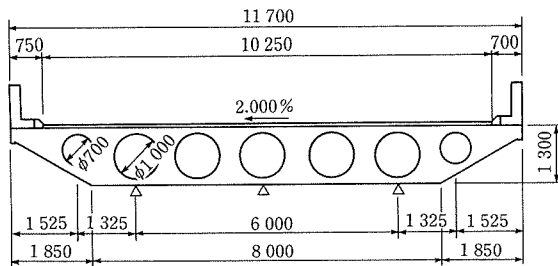


図-3 標準断面図

表-1 主要数量

項目	仕様	単位	数量
コンクリート	$\sigma_{ck} = 36 \text{ N/mm}^2$	m ³	9 126
鉄筋	SD345	t	1 045
P C 鋼材	12S12.7	kg	101 430
支 承	反力分散沓	箇所	117

横断勾配：2.0% (✓)

3. 設 計

3.1 設計概要

本橋は、「PRC道路橋設計マニュアル(案)」に準じて、ひび割れを制御したPRC構造としての設計を行った。ひび割れ制御の方法は、主版の上下縁ともにひび割れ幅の制限値まで許容する方法とした。

通常のPRC構造に対する検討以外に、本橋では移動支保工施工に特徴的なこととして、沓上ブロックの構造、施工継目部の補強、移動支保工の架設時移動荷重などに対して検討を加えた。また、定着部ならびに円筒型枠近傍の補強についてのFEM解析、仮固定治具を取り付けた支承部構造、隣接鋼橋との落橋防止構造などについても検討を行った。本報告ではこれらの検討項目のうち、沓上ブロック構造ならびに支承部構造についての検討概要を述べる。

3.2 沓上ブロック構造

(1) 沓上ブロックの形状

本橋の施工では、移動に先立って、橋脚上には沓上ブロックを設置し、移動支保工の支持台を支える必要があった(図-4(a))。この沓上ブロックの形状は、一般に2つに大別される。横断面を欠損させた形状と横断面を欠損させ

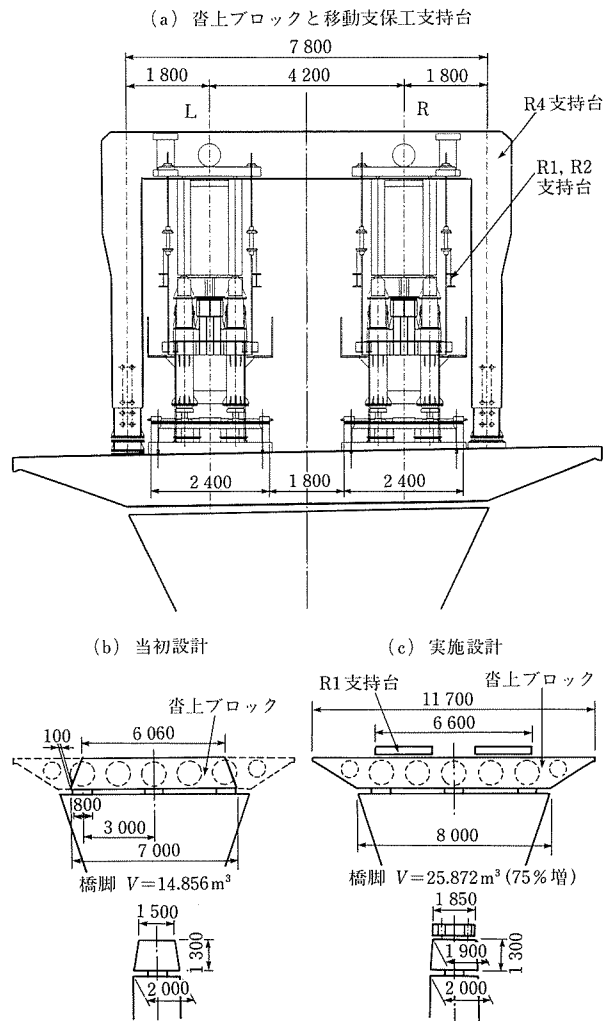


図-4 沓上ブロック上の移動支保工支持台と形状の比較

ず全断面一体打ちの形状である。当初設計においては、横断面を欠損させた形状(図-4(b))であったが、以下に述べる施工上ならびに構造上の理由から全断面一体打ちの形状とした(図-4(c))。

- ① R1 支持台端部間距離 6 600 mm⁸、当初計画の沓上ブロック天端長 6 060 mm より大きい(図-4(b))。
- ② 架設荷重 (R4) により橋軸直角方向に大きな曲げモー

表-2 沓上ブロック継目部のせん断補強比較

検討案	① コンクリート製せん断キー補強	② 鉄筋補強	③ プレストレス補強
構造特性	沓上ブロックと主桁との継目部のせん断力に対してコンクリート製せん断キーで補強する。	沓上ブロックと主桁との継目部のせん断力に対して鉄筋で補強する。	沓上ブロックと主桁との継目部のせん断力に対してプレストレスで補強する。
構造			
施工性	沓上ブロックの妻型枠の形状を変更する必要がある。施工性はよい。	鉄筋量が多く、施工性はよくない。	PC鋼材量が多く、施工性はよくない。
概略数量	沓上ブロック1カ所につき、900×1000のコンクリート製せん断キーが6カ所必要となる。 $A = 0.900 \times 1.000 \times 6 = 5.4 \text{ m}^2$ 全橋あたり $\Sigma A = 5.4 \times (8+7+8+8) = 167.4 \text{ m}^2$	沓上ブロック1カ所につき、D25が51本必要となる。 $W = 3.98 \text{ kg/m} \times 3.5 \text{ m} \times 51 = 710 \text{ kg}$ 全橋あたり $\Sigma W = 710 \times (8+7+8+8) = 22010 \text{ kg}$	沓上ブロック1カ所につき、 $P_e = 500 \text{ kN}$ 相当のPC鋼材が30本必要となる。 $W = 6.31 \text{ kg/m} \times 12 \text{ m} \times 30 = 2271.6 \text{ kg}$ 全橋あたり $\Sigma W = 2271.6 \times (8+7+8+8) = 70419.6 \text{ kg}$
評価	沓上ブロックの妻型枠の形状・取付け方法に工夫が必要となるが、工費が最も安くなる。	工費はあまり高くならない。沓上ブロックから突出する鉄筋が多く、突出長も長いいため、妻型枠の加工に手間がかかり、作業性も悪い。	工費が最もかかる。PC鋼材の配置、緊張でサイクル工程が1日増加する。デッドアンカーを使用するため、構造的にも好ましくない。
	1	2	3

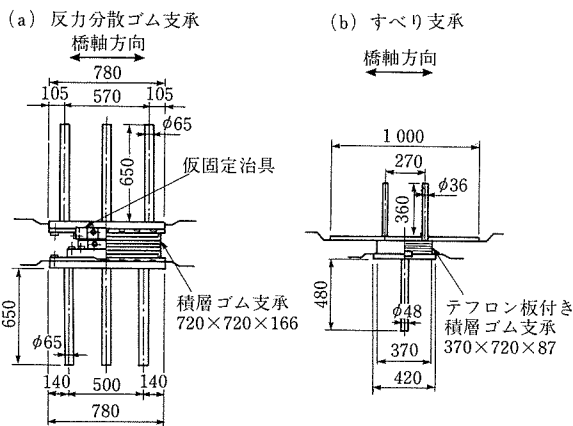


図-5 支承部構造

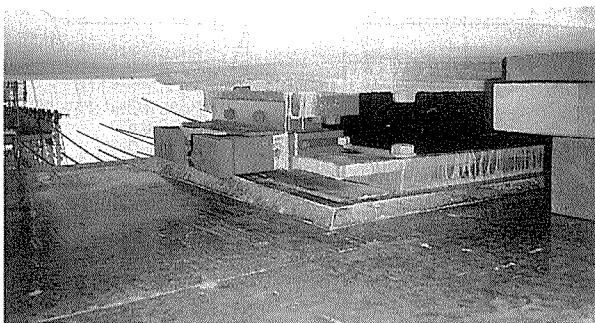


写真-1 仮固定治具

メントが生じるが (D25c125で $\sigma_s = 21.6 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{sa} = 22.5 \text{ N/mm}^2$), 橋軸直角方向はRC構造のため施工継目がない方が構造的に好ましい。

③ 支承上のコンクリート (縁端距離100mm) が欠落する恐れがある (図-4 (b))。

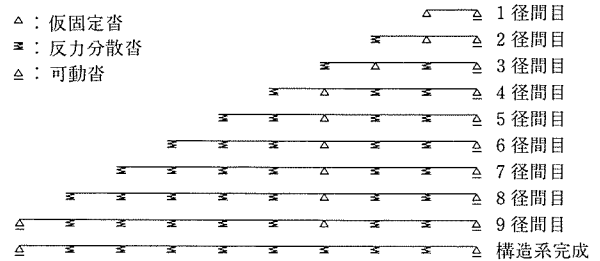


図-6 支承の仮固定順序

表-3 支承移動量 (1連目)

(単位: mm)

橋脚	温度変化	クリープ・乾燥収縮	プレストレス	合計
P1	45.3	19.3	7.8	72.3
P2	35.7	17.4	6.5	59.6
P3	25.3	14.7	5.2	45.2
P4	15.3	12.1	3.9	31.4
P5	5.0	8.5	2.6	16.1
P6	4.9	3.5	1.3	9.8
P7	15.2	1.9	1.9	19.0
P8	25.3	7.2	3.2	35.7
P9	37.2	17.0	5.1	59.2
P10	46.8	24.7	6.6	78.1

④ 全断面一体打ちの施工実績がある。

(2) 沓上ブロック継目部のせん断キー

沓上ブロックは支点上に設置されるため、継目部に大きなせん断力が作用した (終局荷重作用時約1MN)。このせん断力に対して「道路橋示方書」に定める斜引張鉄筋量ならびに平均せん断応力度については十分な安全性があった。一方、沓上ブロック継目部のずれせん断力に対しては、継目を通過する鉄筋のせん断耐力では不十分であったこと、PRC構造としての実績がなかったことなどから、補強を行

表-4 全体工程

工種	年度 月	平成10年度			平成11年度									平成12年度												
		10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
準備工		■																								
支保工組立て			■	■	■																					
PRC中空床版工																										
第4連					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
第3連																										
第2連																										
第1連																										
非常駐車帯																										
支保工解体																										
地覆・壁高欄																										
落下物防止柵																										
排水装置・伸縮装置等																										
後片づけ																										
JR防護工関連工程																										
電線等移設																										
JR防護工																										

1 径間14日サイクル

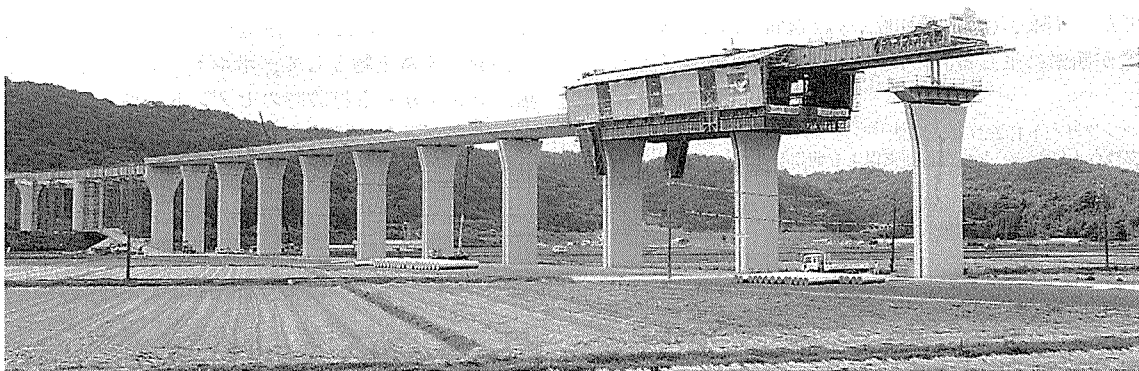


写真-2 施工中の移動支保工（前方より）

うこととした。沓上ブロック継目部のせん断にあたっては、表-2に示す3案の中から、構造特性、施工性および経済性に優れたコンクリート製せん断キー案を採用した。

3.3 支承部構造

中間支点上には、反力分散ゴム支承を、端支点上にはすべり支承を用いた（図-5）。

完成系における左右の支承移動量を平均化させるため、架設時に支点到仮固定点を設けた。仮固定治具は支承製作時に工場で取り付けられ、現場にて解放可能な構造とした（写真-1）。仮固定治具は、1橋脚3個の支承のうち、中央を除く端部の2個の支承に取り付けた。架設時の支承の仮固定順序を図-6に示す。移動支保工の移動に伴って、仮固定点を順次変更しながら、施工を進めていった。施工順序を考慮した支承移動量（1連目）は表-3のとおりとなった。

4. 施 工

4.1 施工概要

本工事は、平成9年9月に発注され、詳細設計を実施後、実施工は平成10年秋頃から始まった。表-4に全体工程を示す。

施工中の写真を、写真-2、3に示す。写真-2は、4連目の最終径間へ移動支保工が移動後、据付けが完了したものである。



写真-3 施工中の移動支保工（後方より）

移動支保工による施工は、以下のような優れた特徴を有する。

- ① 広い適用性：橋脚の形状や桁下空間に施工が左右されにくく、河川上、横断道路上においても容易に施工できる。
- ② 建設コストの低減：架設設備が比較的大規模であるため、工事規模が大きくなるほど、建設コストが低減される。
- ③ 優れた品質管理：繰返し作業のため、作業員の習熟が早く、品質が向上する。

- ④ 確実な工程管理：全天候作業を可能とする上屋設備を有し、確実な工程管理が可能となる。
- ⑤ 施工工期の短縮：片押し分割施工のため、下部工との重複工程が可能となり、上下部工を含めた全体工期が短縮できる。

4.2 移動支保工

本工事で用いた移動支保工は、総重量約650tで、全天候性の上屋設備を有し、側面には全面防災シートが設置されている。また、荷役設備、支持台移動用設備として、2.8t吊り走行式ホイストクレーンならびに10t吊りチェーンブロックなど24台が装備されている。

移動支保工の施工順序を図-7、作業フローを図-8にそれぞれ示す。標準の作業工程は約14日間となった(表-5)。

4.3 沓上ブロックの施工

沓上ブロックの形状を写真-4に示す。橋脚天端にはクレーンおよび高所作業車を使用して張出し床版部の支保工用ブラケットおよび橋軸方向の足場用ブラケットを取り付けた。橋脚脇には、沓上ブロック施工のための昇降足場を組み立てた。昇降足場は設置期間が約2週間であり、組立て解体作業が頻繁に生じる。したがって、通常の枠組み足場

ではなく、ユニット足場を採用し、組立て解体作業の省力化と高所作業の減少を図った。

張出し床版部には鋼製型枠を用い、その他の部分には合板型枠の使用を基本とした。継目部せん断キーの凹凸は発泡スチロール性の型枠を用いた。

沓上ブロックには移動支保工の鉛直反力と移動時の水平力が作用する。回転変形や転倒を防止するため、沓上ブロックと橋脚とを一体化させる必要があった。対策として、支承の周囲にコンクリート製の仮沓を設けて、支承反力の低減・分散を図った。また、橋脚の天端にはあらかじめPC鋼棒を埋め込み、沓上ブロックにはPC鋼棒貫通用のシースを配置して、沓上ブロックを8本のPC鋼棒にて固定した。

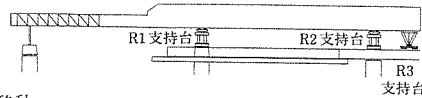
4.4 JR山陽本線上の施工

本橋は、P8～P9径間部でJR山陽本線を跨いでいる。この交差区間に関しては、防護工を設置した施工を実施した。関係部所との協議の結果、万一の場合の飛来落下物を受け止めるという施工上の理由ならびに橋梁交差部走行時の不安感を取り除くという運転手の心理面を考慮した安全上の理由によって、防護工の設置を決定した。

防護対象落下物として、ボルト・ナットなどの小物機器類、コンクリート打設時のセメントノロ、コンクリートかすおよびワイヤー類の垂れ下がりなどを想定した。防護工の設計荷重は、自重ならびに作業荷重のほかに、落下物荷重としてボルト・ナット1組500gを考慮した。

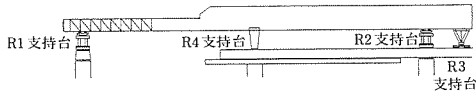
工程 1 コンクリート打設および脱型

R1, R2支持台上にセットされた移動支保工を使用して、コンクリートを打設する。
R1, R2支持台のメインジャッキを降下し、型枠(側型枠底版)を脱型する。側型枠は横方向に移動する。



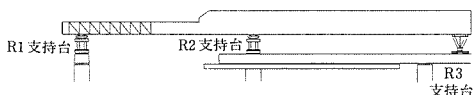
工程 2 R1支持台移動

R1支持台の荷重をR4支持台に盛り替え、R1を次の橋脚に移動する。



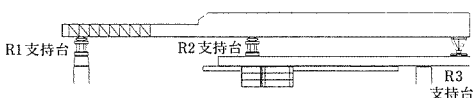
工程 3 R2支持台移動

R2支持台の荷重をR3に盛り替え、R2支持台をR4支持台の位置まで移動する。



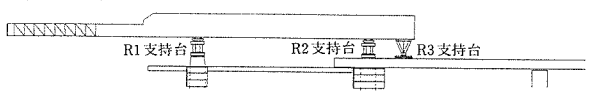
工程 4 型枠開放(底版)

型枠開閉装置を使用して、底版を左右に開放する。



工程 5 移動

移動走行装置を使用して、支保工設備および型枠を一体で、次の径間に移す。



工程 6 据付け

所定の位置(型枠、支保工設備)に移動したら、メインジャッキ R1, R2 を使用して、支保工設備の高さを調整し、型枠開閉装置を使用して側型枠、底版を組立て、固定する。

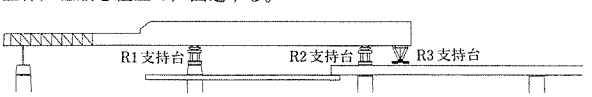


図-7 移動支保工移動順序

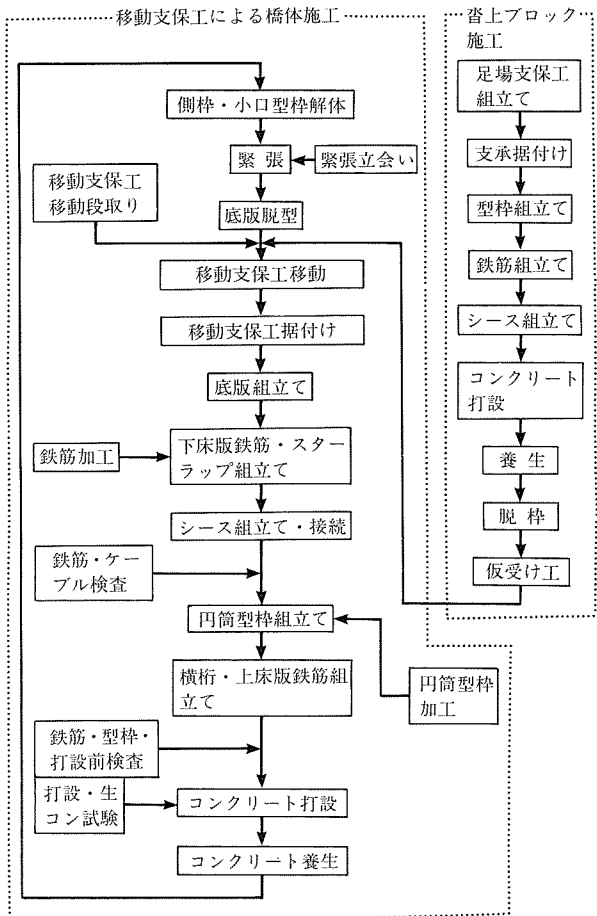


図-8 移動支保工の施工フロー

表-5 サイクル工程

工 程		日													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
緊張工	脱枠(側枠・小口)	■													
	緊張段取り	■													
	緊張工	■													
移動工	移動段取り	■													
	移動		■	■											
	据付け			■											
型枠工	吊り鋼棒取付け			■											
	型枠ケレン			■											
	底板・張出し部型枠組立て			■	■										
	小口型枠組立て				■										
鉄筋工	円筒型枠組立て								■	■					
	下床版鉄筋組立て				■	■									
	スターラップ組立て					■	■								
P C 工	上床版鉄筋組立て									■	■				
	シース管組立て接続						■	■							
	PC鋼より線挿入							■	■						
コン ク リ ー ト	定着具取付け								■	■					
	コン打設段取り・検査										■	■			
	コンクリート打設											■	■		
	打継目処理												■	■	
	養生												■	■	■

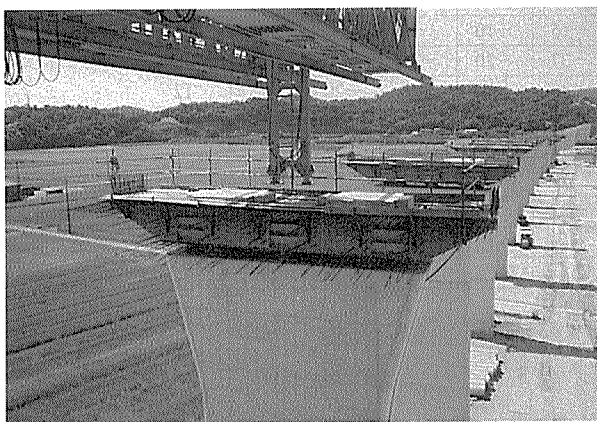


写真-4 橋脚上に設置された沓上ブロック

建地部材は主構構造とし、天盤覆工の仕様は、軽量性と緩衝性を考えた、デッキプレートと合板足場板を組み合わせた構造とした。また、移動支保工作業台をジャッキダウンしたときの作業台最下面と列車建築限界との取合いから、防護工下面から列車建築限界までの余裕量を1.2m確保し、防護工高さを決定した(図-9)。なお、き電線・信号高圧は、防護工と干渉するため、一部地上に移設した。

防護工の設置によって、型枠・鉄筋組立て、緊張およびコンクリート打設などの工程は鉄道線路近接工事で昼間の作業となり、移動支保工の移動作業についても、昼間の列車通過時刻の間合いに行うことが可能となった。移動作業時には、工事管理者ならびにJRとの協議によって、有資格者による列車の見張りを実施した。

4.5 たわみ管理

本橋はPRC構造であり、上越し量を決定する際に、今までのPC構造の実績から得られるたわみ量を直接適用するのは問題があると考えた。したがって、最初に施工するP35～

P36 径間においてたわみ量を計測し、次径間以降の上越し量の設定に反映させることとした。

実測した項目は、コンクリート打設時の移動支保工の変形量ならびに型枠開放時の主版のたわみであった。コンクリート打設時の移動支保工変形量の実測値を表-6ならびに図-10に示す。

P35～P36 径間の移動支保工本体の変形量(計画値)は、計算値の1/2とした。しかしながら、実測による最終変形量は、上越し量に比べて支間中央部で約20mm大きくなり、支点付近でも5mm～10mm程度大きく現れた。これは、移動支保工の変形自体が計算値の70%～80%程度生じ、移動支保工のなじみ量も5mm～10mm程度は生じたためと考えられる。とくになじみ量に関しては、計測時が移動支保工による最初のコンクリート打設であったため、通常より大きくなったことが予想された。

型枠開放時についても、計算値と実測値を比較してみた。それによると、橋体のたわみ量は計算値と比較的良好に対応していた。

これらの計測結果を踏まえて、次径間以降の上越し量を以下のように設定した。

- ① 移動支保工本体の変形量は、計算値の80%とする。
- ② 移動支保工のなじみ量は、5mmとする。
- ③ 橋体のたわみ量は、計算値を用いる。

5. おわりに

大型移動吊り支保工は、桁下空間に対する制約が少ないことから都市部や平野部での施工に適している。分割施工における作業を標準化し、作業効率を上げることによって、品質、安全性や経済性といった橋梁に求められる性能も向上するため、とくに大規模橋梁への適用が好ましいと考えられる。最適な断面形状や構造の検討を通して適用支間長を

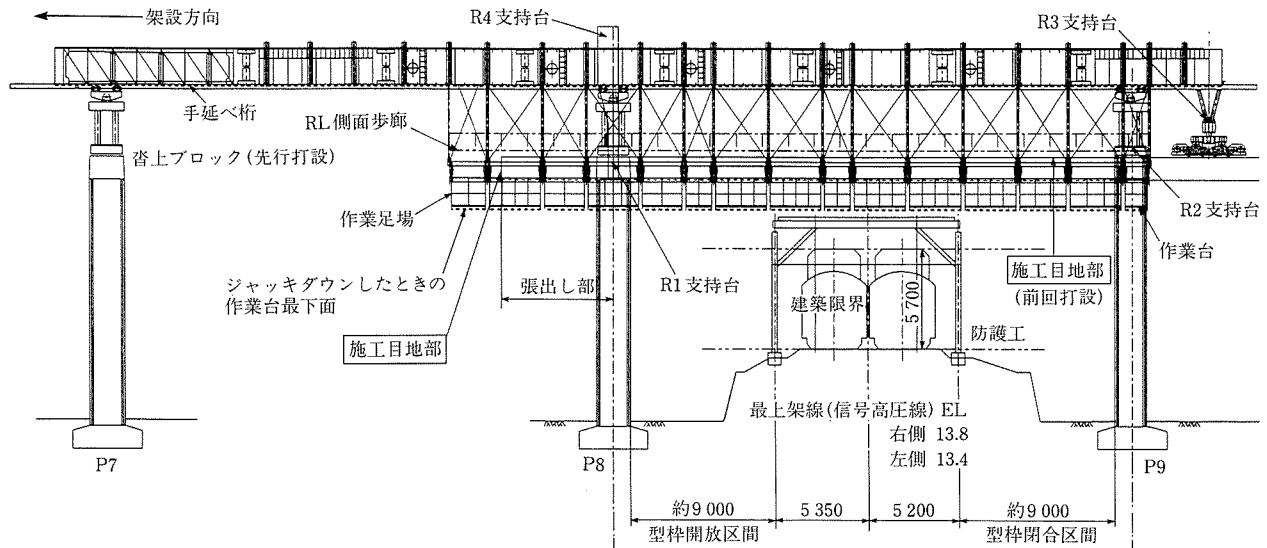


図-9 移動支保工とJR山陽本線との交差条件

表-6 移動支保工変形量の実測値と計算値ならびに計画値の比較

(単位: mm)

測 点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P36からの距離 (m)	2	5.2	8.1	11.2	14.4	18.3	21.4	23.1	29.7	32.2
50m ³ 打設時変形量	-5	-5	-7	-10	-10	-5	-3	-1	1	1
100m ³ 打設時変形量	-15	-15	-15	-15	-15	-10	-5	-3	3	3
150m ³ 打設時変形量	-17	-20	-23	-37	-37	-20	-15	-12	4	8
200m ³ 打設時変形量	-20	-25	-30	-40	-40	-30	-25	-20	5	12
250m ³ 打設時変形量	-20	-25	-30	-55	-50	-40	-30	-25	10	12
① 打設終了時変形量	-20	-26	-40	-57	-54	-42	-32	-25	12	15
② 変形量の計算値	-13	-42	-54	-63	-71	-61	-47	-32	18	31
③ 変形量の計画値	-9	-21	-27	-33	-35	-30	-22	-16	17	30
差 (①-③): なじみ量	-11	-5	-13	-24	-19	-12	-10	-9	-5	-15
比率 (①/②)	154%	62%	74%	90%	76%	69%	68%	78%	67%	48%

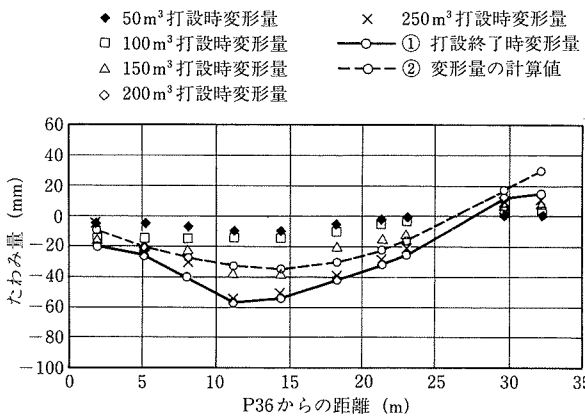


図-10 移動支保工変形量の実測値と計画値の比較



写真-5 広瀬高架橋フォトモンタージュ

伸ばし、下部工工費を低減することで、橋梁全体としてさらに建設コストの縮減が可能となっていくものと思われる。

宇部下関線は平成13年の開通に向けて、急ピッチで施工が進められている。宇部下関線において橋梁部の中心となる広瀬高架橋は、JR山陽本線上の施工も無事終了し、後は平成12年末の竣工を残すだけとなっている(写真-5)。完成後は地域高速道路のネットワークを形成することによって、山口県南西部の産業・経済の振興と地域社会の利便性向上に貢献することであろう。

本橋の設計・施工にあたり、ご指導・ご助言を賜った関係者の方々に感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 相良：たおやかな道 山陽自動車道、橋梁&都市プロジェクト、Vol.35, No.8, pp.40~46, 1999
- 2) 板井：大型移動支保工の留意点、プレストレストコンクリート、Vol.28, No.2, pp.86~93, 1986
- 3) 大山：月夜川橋上部工(大型移動支保工)の設計と施工、プレストレストコンクリート、Vol.31, No.6, pp.40~48, 1989

【2000年8月18日受付】