

上越新幹線のPC橋梁

青 木 浩 一*

1. まえがき

上越新幹線は、全国新幹線網の一環として太平洋岸の東京と、日本海岸の新潟を結ぶ延長 300 km の路線である。このうち、東京～大宮間約 30 km は東北新幹線と共用し、大宮～新潟間 270 km の建設は日本鉄道建設公団が担当し、昭和 46 年着工、最終ゴールめざして鋭意工事が進められている。特に長岡～新潟間（延長約 60 km）では昨年末より雪対策をかねて実車走行試験も始まっており、一日も早い開業が期待されている。

上越新幹線の構造の最大の特徴は、関東平野、越後平野と、これに挟まれた急峻な三国山脈を縦貫しており、長大橋梁と山岳部の長大トンネルにみられる。

構造物の内訳は、高架橋橋梁が 166 km (60%)、トンネルが 106 km (39%)、切取り、盛土が 3 km (1%)¹⁾ となっている。

高架橋、橋梁区間 166 km のうち、桁式の橋梁は、約 170 箇所、延長約 32 km である。連続桁を径間数として連数をあげると約 1 110 連の桁があるが、そのうち RC 桁が約 350 連（約 30%）、PC 桁は約 760 連（約 70%）となっている。

RC 桁の施工法は、大部分が場所打ちコンクリートで、ステージング工法によるもの 250 連（約 70%）、桁式工法によるもの 100 連（約 30%）となっている。

PC 桁は、表-1 に示すように径間 35 m までのものが 537 連と約 70% を占めるが、鉄道橋としては世界最大スパンを誇る赤谷川橋梁を始めとして、太田川橋梁、吾妻川橋梁等、長大橋梁が数多く計画、施工されている。

表-1 PC 桁径間別一覧表

	～ 20	～ 25	～ 30	～ 35	～ 40	～ 45	～ 計							
連数(連)	12	29	18	186	28	171	25	68	34	44	28	16	107	766
比率(%)	1	4	2	24	4	22	3	9	5	6	4	2	14	100

表-2 PC 桁架設工法別一覧表

工法	移動式架設工法			押出し工法	場所打ち式工法			計
	エレクション ガーダー工法	門構式	トラック クレーン工法		ステージング 工	桁工 式法	カンチレバー 工	
連数	147	16	377	39	102	18	67	766
比率	19	2	50	5	13	2	9	100%

*日本鉄道建設公団本社設計室長

表-3 PC 桁断面形状別一覧表

	単 純 桁			連続桁	計
	I形断面	箱形断面	下路桁		
連数(連)	554	137	5	70	766
比率(%)	72	18	1	9	100%

る。

PC 桁の架設は表-2 に示すように、移動式架設工法が 540 連（71%）、押出し工法が 39 連（5%）、場所打ち式工法が 187 連（24%）が採用されている。

PC 桁の断面形状は表-3 に示すように、単純桁では I 形 554 連（72%）、箱形 137 連（18%）、下路 5 連（1%）、また連続桁 70 連（9%）となっている。

以下、上越新幹線における主要な橋梁について、概略を述べることにする。

2. 主要な橋梁

2.1 吾妻川橋梁

(1) 概 要

本橋は、上越新幹線が群馬県渋川市川島付近で吾妻川と県道渋川中之条線とを横切る地点に架設された 2 径間 T 形ラーメン PC 橋で、大宮方径間は天然記念物川島浅間石を避け、新潟方径間は河川と県道を乗り越すため、それぞれ 110 m となった。位置は大宮起点 101.594 km である。

桁と中央橋脚を剛結する構造とすることによって、下部工の地震時曲げモーメントを約 20% 軽減でき、脊は不要となり、張出し架設に好都合である。橋軸方向水平力は中央橋脚に負担させ、終点方橋台には列車荷重時と地震時の橋軸方向振動を緩和するためにストッパーを設置している。基礎はすべて堅固な礫層上の直接基礎であり、中央橋脚はケーソン方式で施工した。

桁は、中間仮支柱を左右 1 か所に設けて全径間ワーゲ

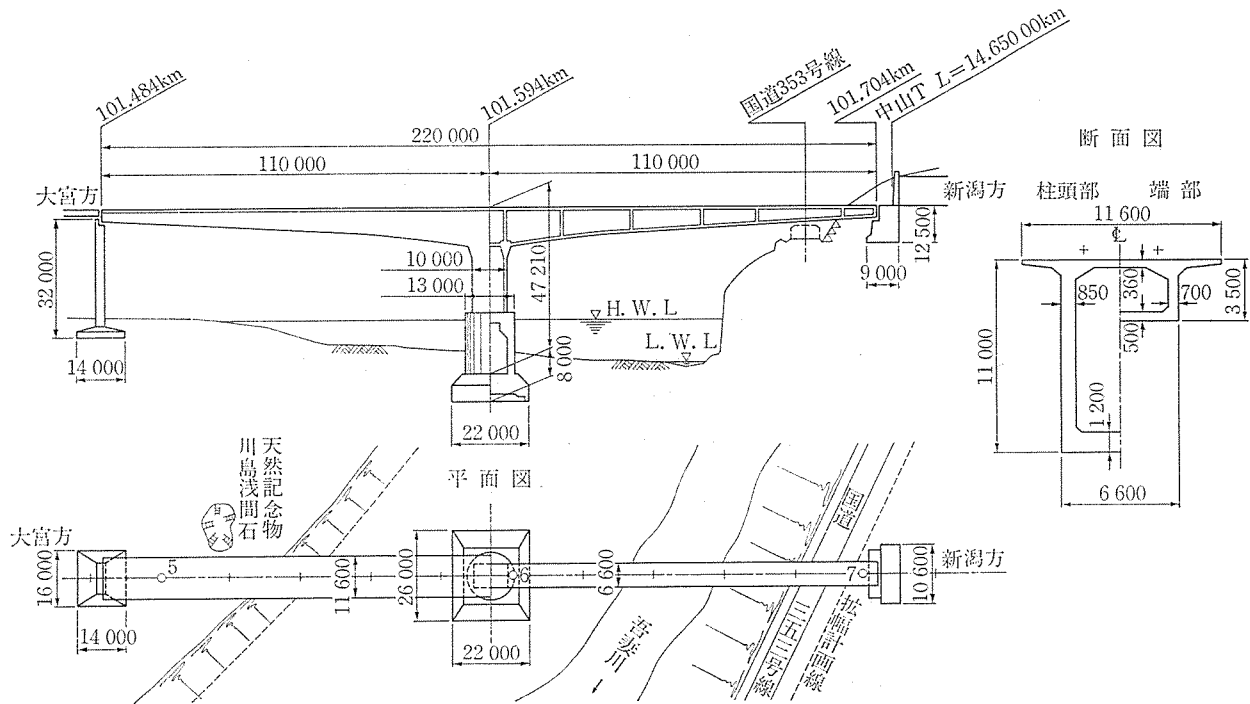


図-1 吾妻川橋梁

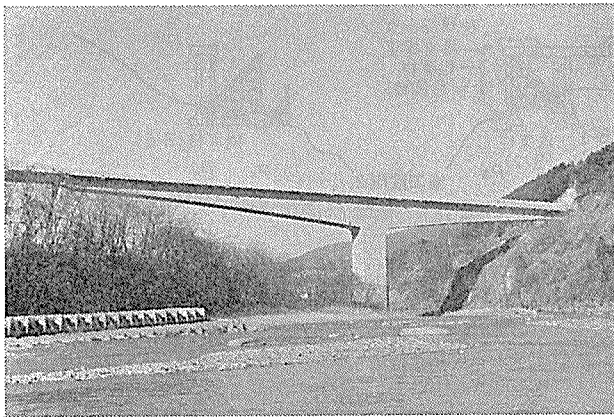


写真-1 吾妻川橋梁

ン施工とした。なお、軌道はスラブ軌道である。

(2) 柱頭部の応力解析

中央橋脚と桁を剛結する構造は数多く具体化されているが、基本的には、柱頭部の桁内部の隔壁を斜めに配置するトラス形式と、桁内部の隔壁を柱の壁の上に垂直に配置するラーメン形式の2つにしばられる。前者の代表例として天草3号橋、後者の代表例として浦戸大橋があげられるが、本橋では桁高が11mと高いため、施工性を考慮してラーメン構造を採用することとした。

このような箱形断面の桁と柱が一体となった橋梁柱頭部の応力解析のためには、十分な調査検討が必要である。

天草3号橋では光弾性実験、浦戸大橋では模型による載荷試験および2次元有限要素法による応力解析を行

い、その結果を設計に反映させているが、今回はさらに一歩進め3次元の有限要素法による応力解析を行い、アクリル樹脂模型による載荷実験によりその結果の妥当性を確認している。

(3) 振動試験

本橋は、スパン110m、橋長220.4mを有する我が国における鉄道橋としては有数の長大橋であり、しかも中央橋脚高さは約44mの高橋脚のため、地震時の挙動については静的、動的解析を行い、架設時、完成時における安全性を検討した。

しかしながら、現在の数少ない実験データによる動的解析に用いる諸数値(固有振動数、振動モード、減衰定数等)では必ずしも十分なものとは言えない。このため、実橋の強制振動試験により、動的解析の妥当性および地震時における安全性の確認を行った。

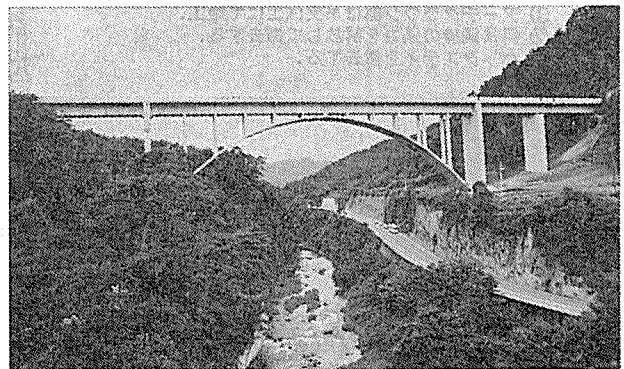


写真-2 赤谷川橋梁

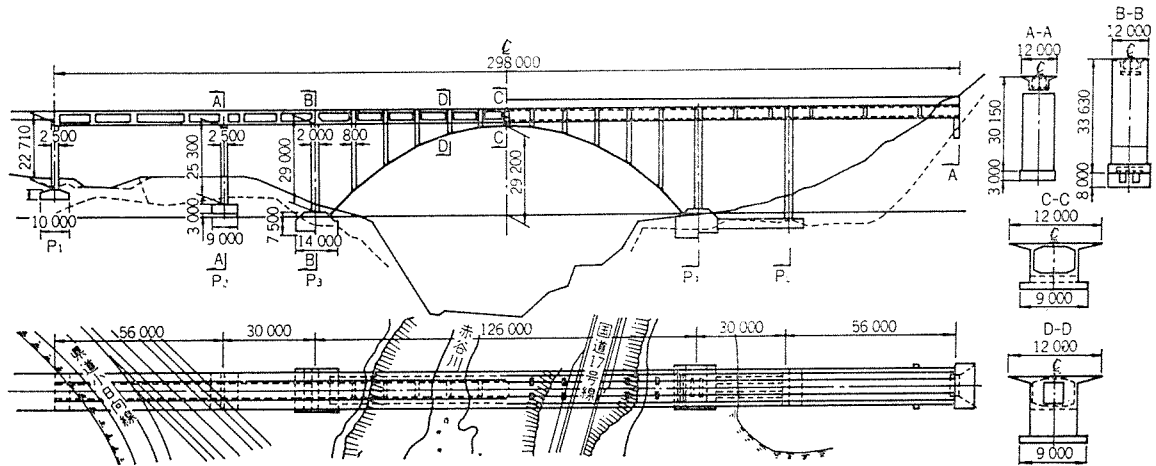
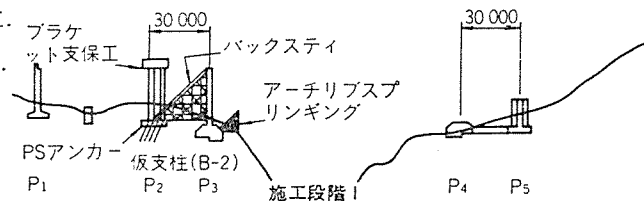
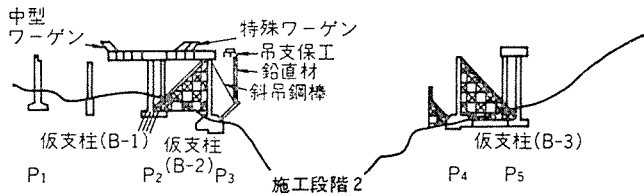


図-2 赤谷川橋梁

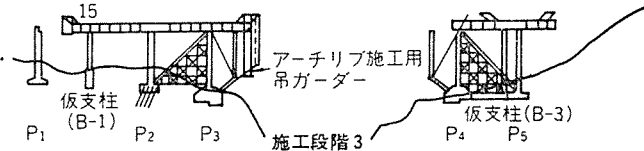
- ① P₁~P₅(ワーキングおよび橋脚), P₂ PSアンカーを施工.
- ② 仮支柱組立 (B-2).
- ③ P₂, P₃柱頭部を支保工により施工しP₂を仮固定する.
- ④ 支保工によりバックステイを施工.
- ⑤ 支保工によりアーチリブスプリングを施工.



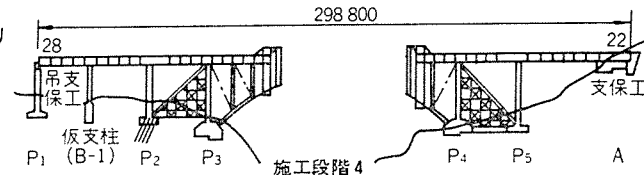
- ① 斜吊鋼棒を配置.
- ② P₂柱頭から中型ワーゲン(側径間)特殊ワーゲン(中央径間)により片持施工を行う.
- ③ 9ブロックについては吊支保工により施工.
- ④ 仮支柱組立 (B-1).
- ⑤ P₂仮固定撤去.



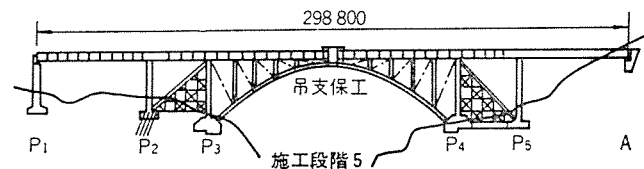
- ① 特殊ワーゲンに、アーチリブ施工用吊ガーダー組立.
- ② 15ブロックで仮支柱により主桁を支え片持施工を行う.



- ① 斜吊鋼棒を配置しながら特殊ワーゲンによりアーチリブ、鉛直材を施工する.
- ② 28ブロックは吊支保工にて施工.
- ③ 左岸側22ブロックは支保工にて施工.



- ① アーチクラウン部は吊支保工にて施工.
- ② 斜吊鋼棒の張力を解放して撤去する.
- ③ バックステイを撤去する.



完成

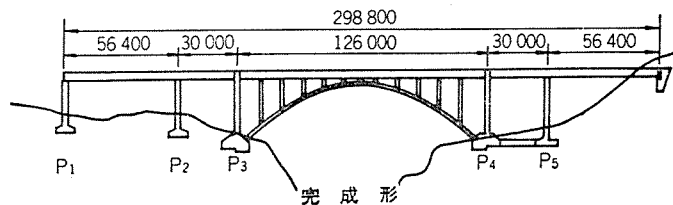


図-3 施工段階図

本橋は昭和 49 年 1 月に着工し、昭和 53 年 10 月に竣功した。

2.2 赤谷川橋梁

上越新幹線は、大宮起点 117.700 km 付近、群馬県月夜野町において、利根川の支流である一級河川赤谷川と交差する。

本橋は、赤谷川およびこれに平行する国道 17 号線を斜角左 75° で渡る全長 298 m の逆ランガーコンクリートアーチ橋である。上部構造は、複線型 1 室箱形断面の 5 径間連続 PC 桁であり、このうちの中央スパン 126m が逆ランガータイプのアーチ構造となる。

赤谷川橋梁架設地点一帯は、凝灰岩の露呈した、通称黒岩八景と言われる景勝地であり、この自然の美にふさわしい橋梁形式として、逆ランガー形式のスレンダーなアーチ橋を選定した。

一方、この地点は急峻な V 字谷であり、河底から約 70 m の高所に線路が位置している。

これらの諸条件を勘案して、架設工法には、“斜め吊り PC 鋼棒を用いたカンチレバー工法”を採用した。この工法は、上部 PC 桁をカンチレバー工法で施工しつつ、アーチリブおよび鉛直材を桁の下フランジから斜めに設置した PC 鋼棒で吊り下げるようにして施工するという極めてざん新なものであり、長大コンクリートアーチ橋の架設工法としては画期的なものである。なお、側径間もカンチレバー工法で施工され、コンクリートの打設には、全径間にわたりケーブルクレーンを使用した。

本橋を設計するにあたっては、地耐力試験をはじめ、架設時に用いる PS アンカーの引抜き試験が行われ、考え得るあらゆる条件を考慮して解析がなされた。

施工時には、1/10 スケールのコンクリート模型による施工段階を追った模型実験を先行させ、力学的な性状を明らかにしつつ施工を行うとともに、架設時における

重要部材の力学的諸数値の推移を管理することが極めて重要であることから、測定設備として、集中制御による一括即時処理システムをつくり管理を行った。

本工事は昭和 51 年 4 月着工し、本体は昭和 53 年 12 月に完成した。

2.3 戸座川橋梁および谷川橋梁

戸座川橋梁は、上越新幹線の大宮起点 202.390 km 付近に位置し、妙見トンネルと滝谷トンネルに挟まれた V 字谷の戸座川に架かるスパン 33 m の PC 単純箱形桁である。

本橋付近は豪雪地帯であるため、橋梁計画に際して、積雪および雪崩から列車を守ると同時に軌道の保守管理の容易な構造物が検討され、その結果、箱桁内部に列車を通すスノーシェッド方式の PC 橋を採用することになった。

本橋はスパン 33 m に対し、桁高 9.6 m、外幅 11.2 m の複線箱形断面であり、スパンに比べて桁高が大きいため、応力状態はディープビームの性状を示すものと考えられた。また、このような形式の橋梁は鉄道構造物には例がないため、設計に先立ってアクリル樹脂による 1/40 模型を製作し、主にディープビームの性状について実験が行われ、設計の方針が決定された。

架設地点の地質は泥岩で支持力は大きく表層も薄いので、下部工は直接基礎とし、支承にはゴムシューが用いられた。

桁は、図-4 に示すように、側壁厚 60 cm、上床版厚 55 cm で、両桁端にダイヤフラムが設けられている。PC 鋼材は、橋軸方向および下床版の橋軸直角方向に 12 T 12.4 mm、上床版の橋軸直角方向および腹部鉛直方向に φ26 鋼棒が使用された。

桁の架設は、桁下空頭が小さく架設条件は恵まれているためステージング方式がとられた。桁は 4 面が薄い壁

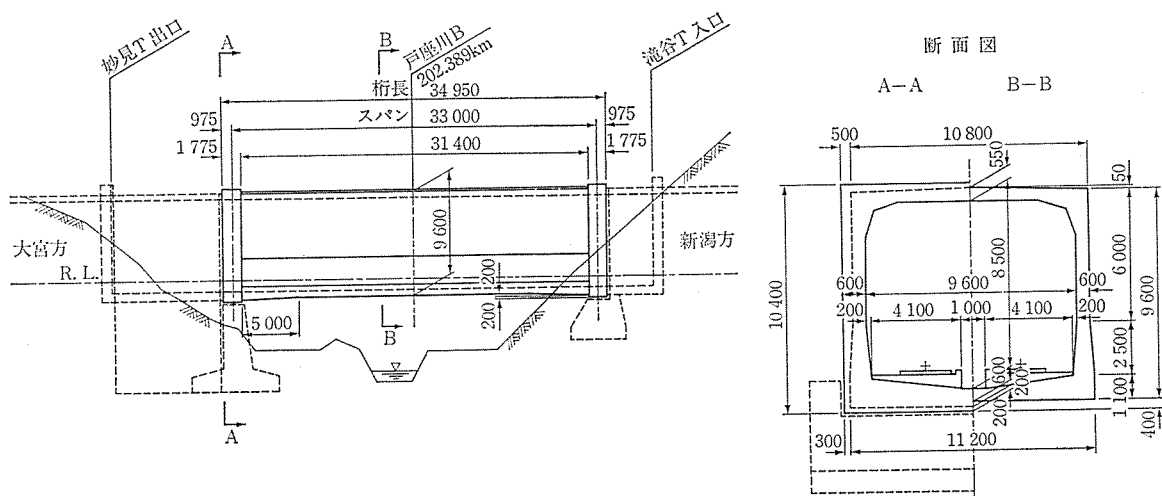
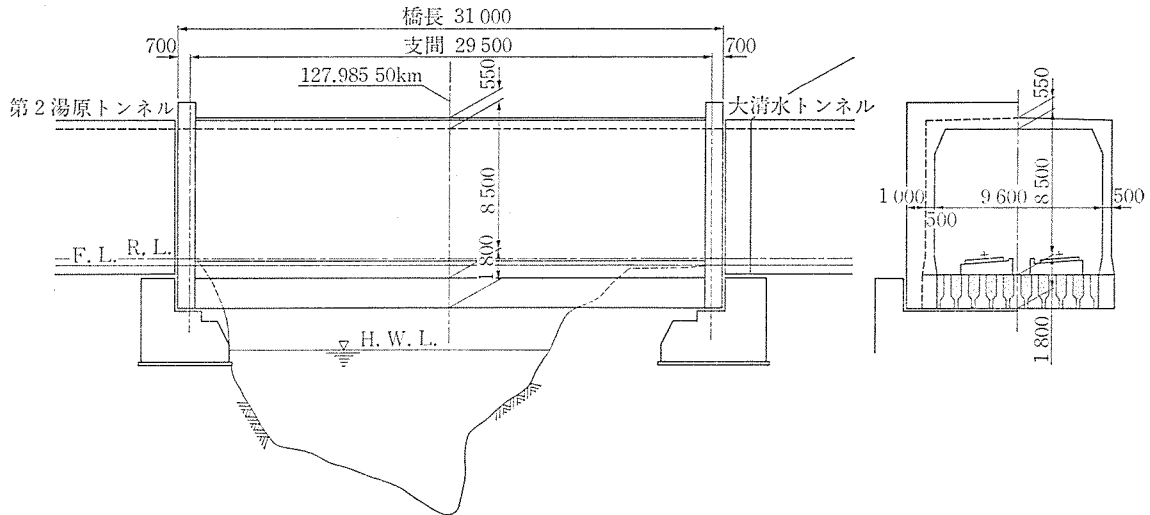


図-4 戸座川橋梁



図—5 谷 川 橋 梁

なので、コンクリート打設の各段階で仮緊張を行い、施工時のひびわれを防止するとともに、鋼材の配置、コンクリート打継目の施工、コンクリートの養生は入念に行われた。

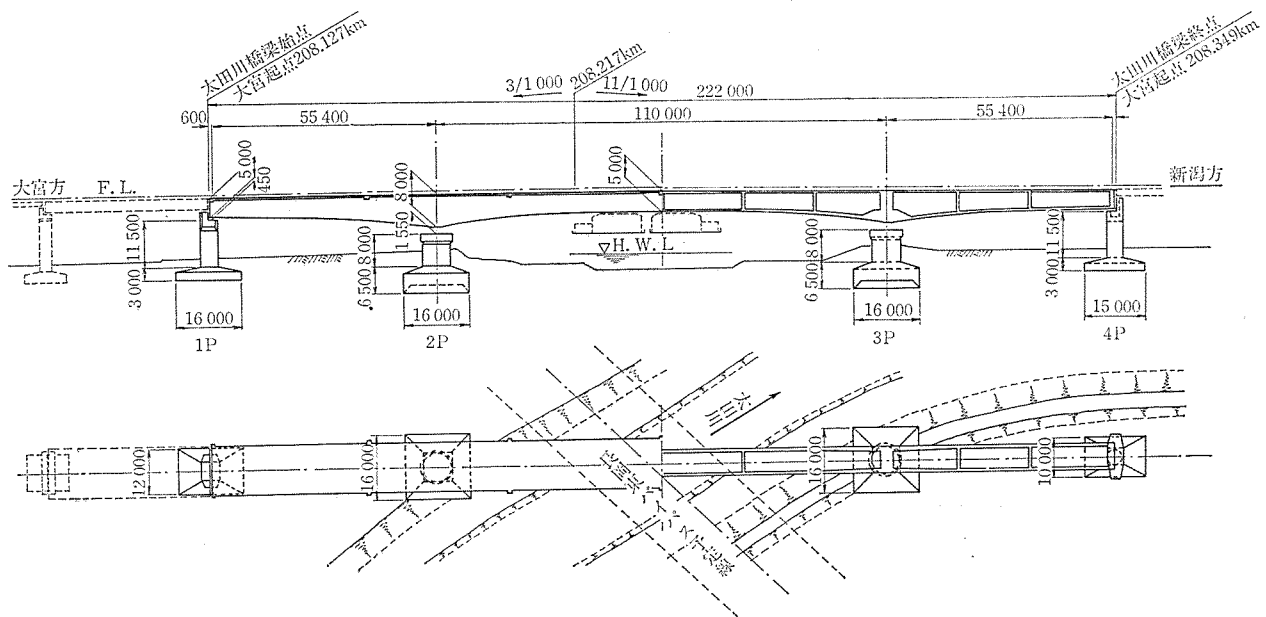
谷川橋梁は、大宮起点 127.986 km 付近第2湯原トンネル、大清水トンネル間に位置し、構造目的は戸座川橋梁と同様であるが、深い渓谷に架設されるため、下スラブを1セクションとしてプレキャスト PC 桁を架設し、これを足場として、ラーメン部分を閉合し一体化したものである。

戸座川橋梁は昭和 52 年 4 月に着手、昭和 52 年 12 月に竣功、および谷川橋梁は昭和 52 年 3 月に着手、昭和 53 年 8 月にそれぞれ竣功している。

2.4 太田川橋梁

本橋梁は、上越新幹線が大宮起点 208.238 km 付近で信濃川水系の太田川を横切る地点に架設された3径間連続箱形 PC 鉄道橋で、この橋梁は太田川改修計画流心方向に対して斜角 32° で横断し、また同地点で建設省長岡東バイパスが右 43° で交差する計画があり、河川、道路、鉄道と三重交差になるため、中央径間が 110 m となった。

架設地点は、信濃川下流右岸に発達する沖積地で新潟平野南縁部に位置している。ボーリングの結果、地表面下 2~3 m までは砂を混入した粘性土で、次第に砂礫が多くなり、地表面下 5 m 以下は N 値 50 以上のかかなり密な砂礫層が厚さ 35 m 程度存在し、その下に N 値 30 程度のよくしまった粘性土が厚さ 8 m 程度存在するが、以下再び砂礫層となっている。このように地盤はかなり



図—6 太 田 川 橋 梁

良好であるため、直接基礎（2P, 3P は施工上はニューマチックケーソン）とした。

桁の架設はディビダーク工法とし、2P, 3P に仮沓を設け、全径間ワーゲンで施工した。

地震時水平力の分担率は $10\% + 65\% + 65\% + 10\% = 150\%$ の割合で各橋脚に分担されることとし、ストッパーが使用された。

本橋は昭和 51 年 11 月に着手され、昭和 53 年 12 月に竣功している。

2.5 山田（南）高架橋（総延長約 764 m）

(1) 概 要

本高架橋の架設地点は大宮起点 262 km 付近、信濃川旧河川敷に位置し、先の新潟地震時に流動化を起こし、大きな被害が発生した地点であるため、構造形式の選定にあたっては、地震時に流動化が発生しても構造物および列車走行の安全が確保できる形式を選定する必要が生じた。

地震時の流動化を考慮した場合、当工区の N 値 0 に換算した層厚は 5~10 m となり、単純構造化すればスラブ軌道も可能な地盤なので、構造形式は桁式高架橋とすることにした。

桁長 20 m, 30 m, 40 m について比較検討の結果、①地震時の不同変位量は、桁長が長いほど有利である。②桁長 40 m とすると上部工反力が大きくなり、杭本数が多くなる。③地質条件、スパン割を考慮した工事費は、PC 箱桁 ($l=30$ m) を標準とし、移動支保工で架設する方が約 10% 安価である。

以上のことから、PC 箱桁 ($l=30$ m) を移動支保工で架設することにした。

(2) ラーメン橋台

従来、移動支保工により架設された橋梁は橋脚形式の橋梁であり、ラーメン橋台形式の橋梁に移動支保工を適用するのは初めてである。このため、橋台部における支保工の移動方法等を検討した結果、移動支保工を採用しても施工可能であり、PC 箱桁、帽子桁の架設を一連の作業として架設した。

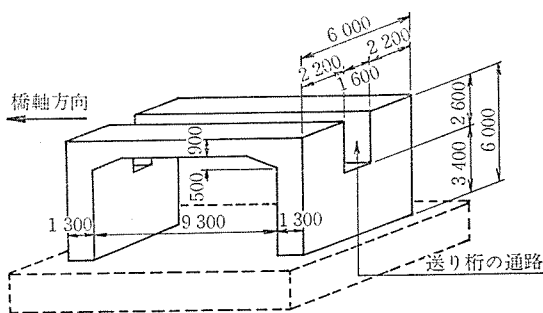


図-7 ラーメン橋台

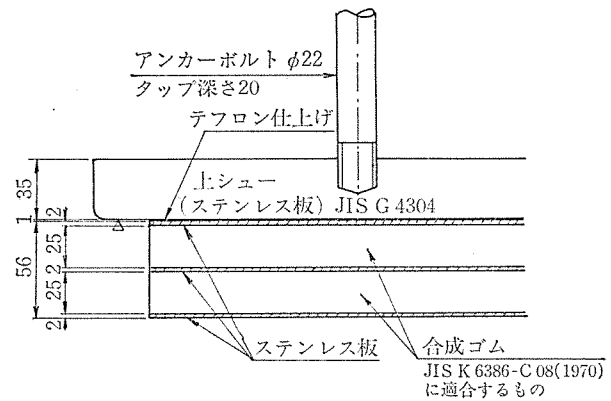


図-8 ゴムシュー断面図

(3) 支 承

PC 箱桁の支承として、ゴムシューとアンカーバーを採用した。可動側ゴムシューは図-8 のように上、下シューとからなり、ステンレス板とテフロンによる滑面付きゴムシューとなっている。これによりプレストレス導入による弾性短縮、クリープ、乾燥収縮等による短縮に対して、約 50% の短縮量を滑面に於て滑らせ、ゴムに生じるせん断変形を低減している。

アンカーバーは、水平力の増大に伴い、バーの断面積が増大し従来のような分散配置では、ゴムシュー交換ができない。このため各種の模型実験を行い、検討の結果、図-9 のような、応力集中からコンクリートを防護する保護装置を設けたアンカーバー・ブロックを使用した。

なお、保護装置下面の補強鉄筋は設計標準の設計法により配置した。本高架橋の着手は昭和 53 年 2 月、竣功は昭和 54 年 9 月である。

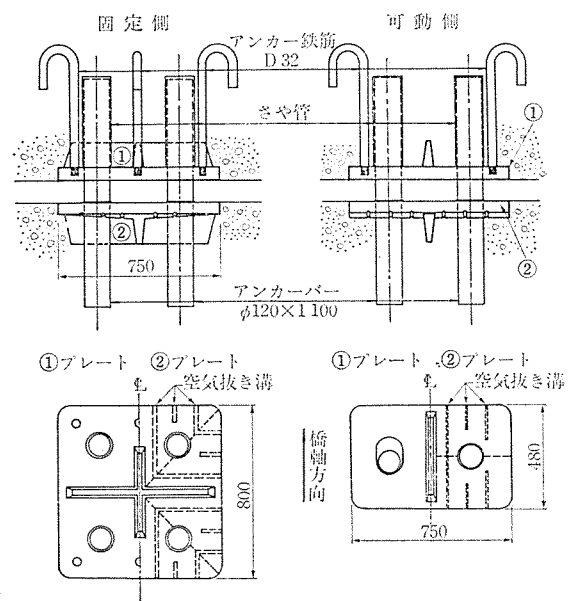


図-9 アンカーバー詳細図

2.6 下山田架道橋

(1) 概 要

本橋は大宮起点 263.007 km (新潟駅より約 5.5 km) に位置し、国道 8 号線と左 50 度で交差する 3 径間連続 PC 鉄道橋 (29.35 m + 59.70 m + 29.35 m) である。

国道 8 号線より終点方の本線用地の確保が難行し、着工が大幅に遅れたため、下部構造、上部構造も含めて工期短縮のため急速施工を必要とした。

架設工法として、各種工法について比較検討し、さらに現場の施工条件から急速施工性や施工条件をほぼ満足するプレキャストブロック工法を採用することにした。

プレキャストブロック張出し工法による施工例は、鉄道橋においては 1969 年に山陽新幹線加古川橋梁で初めて採用され、その後、上越新幹線烏川橋梁で、初めて門

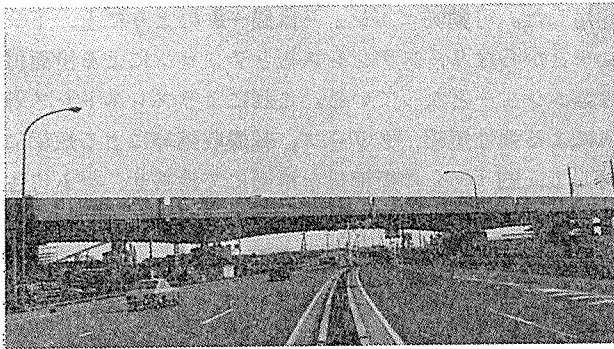


写真-3 下山田架道橋

型クレーンによる複線箱桁 (1 室断面) を架設した。本橋はエレクションガーダーと門型クレーンによって変断面複線箱桁 (1 室断面) を架設したもので、鉄道橋として 3 番目となる。なお、本橋は、スパン比が 1 : 2 : 1 であり、端部支点における上揚力抑制のため、側径間のウェブ、下フランジを若干厚くしている。

(2) ブロック割り

本工法は、製作ヤードにおいて製作したブロックをエレクションガーダー上の門型クレーンで吊り上げ、接合・緊張し一体化するもので、クレーンの吊能力は 65 t、ブロック割りは 48 個とした。基準ブロック長は 1.2 m とし、柱頭部と基準ブロックの間に 0.5 m の場所打ちコンクリート部を設けて、柱頭部とプレキャストブロック部が一体になるようにした。

(3) ブロックの製作

製作台の長さは、左右対照のため橋長の 1/2 とし、P₂ 橋脚の基準ブロックから製作を行い、先に施工したブロックの端面を型枠として使用し、両側交互に打設、製作した。はく離剤は石炭、珪酸ソーダを 2 : 1 に混合し、2~3 倍の水を加えたものを使用した。シースはカッターで切れ目を入れ、引離しを容易にし、かつ変形を防ぐため硬質塩ビ管を挿入した。また、ブロックを引き離す時、接合面にひび割れ、欠落が生じないように下床版の左右に突起を設け、油圧ジャッキをセットし、水平力

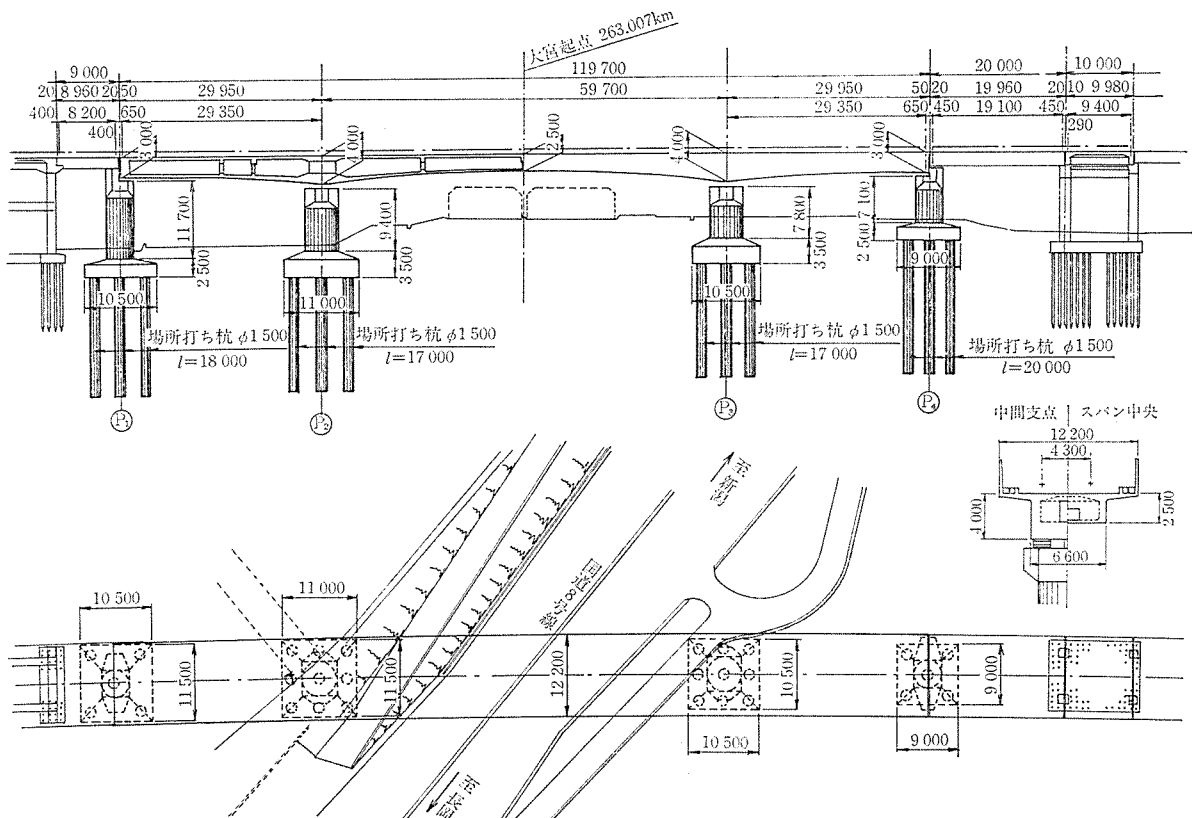


図-10 下山田架道橋

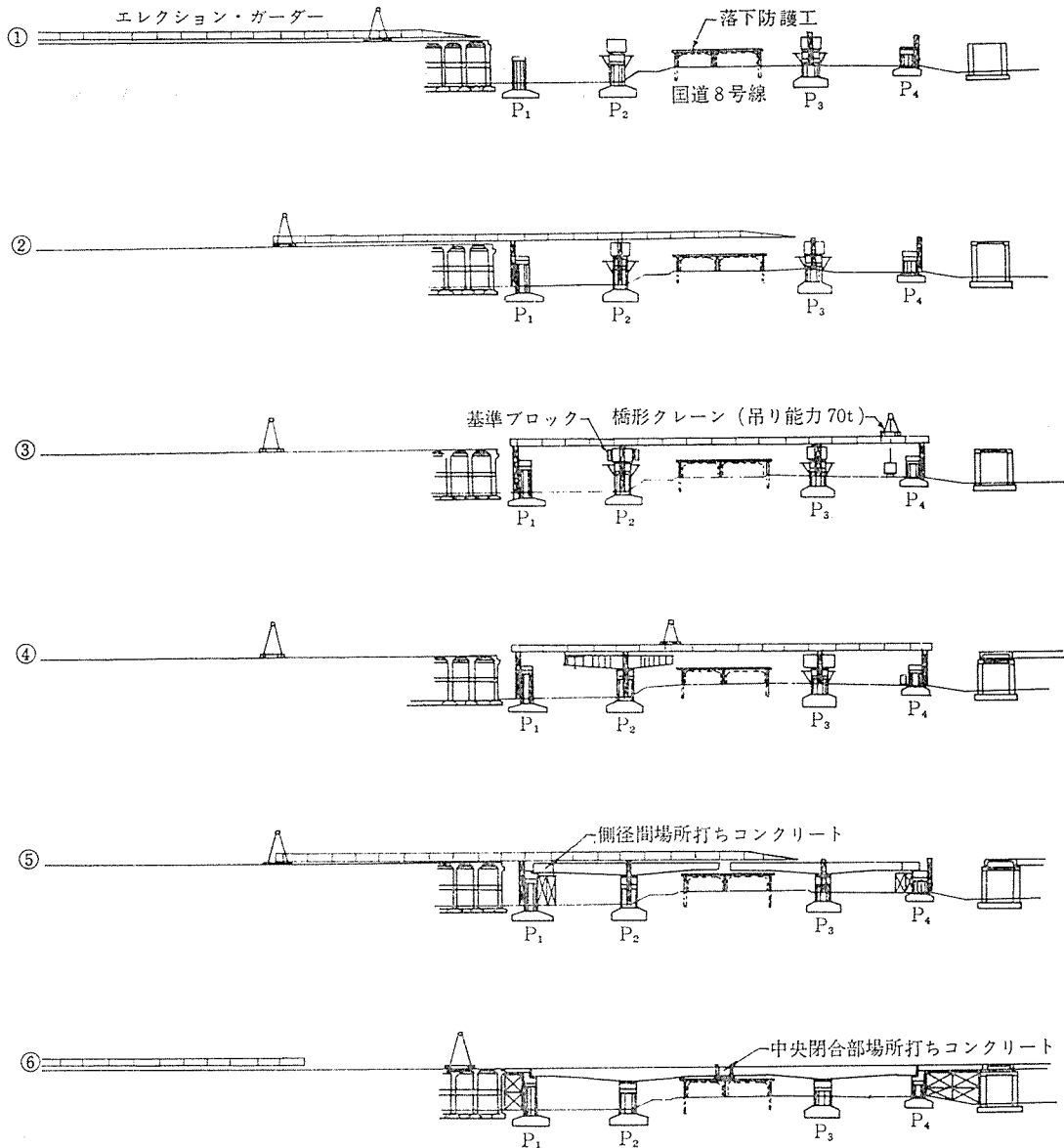


図-11 架設順序図

を作用させながら門型クレーンで吊り上げた。

(4) 架 設

架設はプレキャストブロックカンチレバー工法によって行った。架設順序は次のとおりである(図-11)。

- ① エレクションガーダーの組立て，国道上の落下防護工の設置。
- ② ガーダー用ベント，四角支柱の設置，ガーダーの引出し・固定。
- ③ 橋形クレーンによる基準ブロックの据付け。
- ④ P₂ 橋脚部のカンチレバー架設，次に P₃ 橋脚のカンチレバー架設。
- ⑤ 側径間端部場所打ちコンクリートの打設，ガーダーの引戻し。
- ⑥ 中央径間閉合部コンクリートの打設。

3. あとがき

上越新幹線は，構造物も 90% 以上完成し，着々と軌道工事が進められている。今回 PC 橋梁について上越新幹線の特徴を述べてきたが，中でも赤谷川橋梁，吾妻川橋梁は，土木学会より田中賞（作品部門）の荣誉に輝き，今後の長大 PC 橋梁の設計・施工の発展に貢献するところが大きいものと確信している。

PC 橋梁の長大化，高強度コンクリートによる施工，PC トラスによる押し出し式急速施工と経済性の追求など今後も大いに研究を続け，特に経済性の追求については社会的な要請にもなっており，既存のデータを十分に活用し，今後の鉄道計画に反映させたいと思っている。

最後に，各種橋梁の設計・施工に当たって，官・学・業界の各関係者にその都度適確な助言をいただいたことを，紙面をかりて感謝する次第である。