



写真-1 完成写真

当初設計(図-4)の仮支点位置を、現地調査結果より図-5のように変更した。

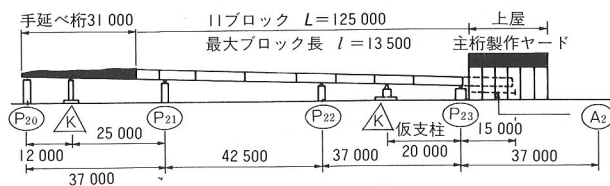


図-4 設計段階

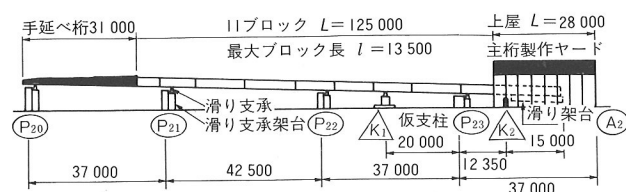


図-5 施工段階

当初は図-4に示すようにP₂₀～P₂₁間に仮支柱を設け第2工区へは手延べ桁を張り出さない計画であった。ここで、仮支柱の施工部には水路や地下道等が存在し、限られた場所で直接基礎による仮支柱は不可能であり、仮支柱を作るためには杭基礎にする必要があった。しかし、この金泉寺地区は振動規制区域で、無振動工法による施工は不経済であった。そこで仮支柱なしで施工することにして、第2工区へ手延べ桁の一部を張り出す方法に計画変更した。

次にP₂₂～P₂₃間の仮支柱は、当初計画どおりとした。

ここでK₁仮支柱の基礎形式は直接基礎とし、実際の仮支柱位置で地耐力試験を行い形状を決定した。

橋脚部の仮支点は、橋脚部上で行うのが一般的であるが、当橋梁は景観設計が考慮されているため、面積および桁下空間不足のため、別途滑り支承を支持する仮支柱(滑り支承架台)が必要となった。この仮支柱を、鋼構造およびコンクリート構造の2案により、施工性、経済性について検討を重ねた結果、コンクリート構造に決定した。

また押出しを引張り棒方式で行うため、主桁製作ヤードとP₂₃橋脚間に、押出しのスペースが必要となり、A₂側へ主桁製作ヤードを後退させた。

以上の検討を経て、手延べ桁、主桁、下部工について応力照査および仮支柱の設計を行った。

(2) 平面曲線および横断勾配への対応

図-3に示した曲線R=800mに対応するため手延べ桁は直線構造とし、PC桁との取り付け部に、先端のシフト量と中間のシフト量を等しくするよう取り付け角度を設けた。型枠については、外型枠は完全な曲線にし、内型枠は3点折れとした。押出し装置は接線方向へ押出す方法を採用した。

また、横断勾配(4%片勾配)により、半径中心方向へ水平力が発生するため、安全施工の点から図-6のように断面形状を変更し施工した。

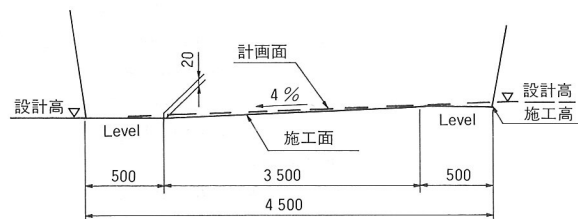


図-6 主桁底板形状

3. 仮設備工

(1) 主桁製作ヤード

a) 滑り架台

主桁製作台を滑り架台として使用する構造で(写真-2)最大ブロック長13.5mより若干の余裕をみて、架台長は14.0mとした。また基礎については、国道8号跡であり、十分地耐力が期待できるので直接基礎とした。

押出し時、不測の沈下に対応できるように、50tロックナット付き油圧ジャッキを滑り架台1列当たり7台据え付けた。また滑り架台上面は、滑り面および底板として使用するため図-7の構造にした。



写真-2 滑り架台

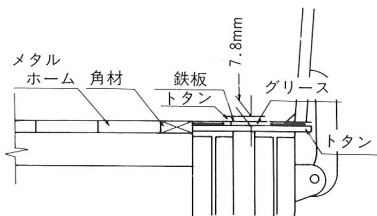


図-7 滑り架台詳細

b) 型枠

① 外型枠

外型枠(写真-3)は転用を考慮して鋼製とし、ウェブ直線部、サークルハンチ部、張出し部と3分割し、上下線での張出し部の長さおよび勾配の変化に対応した(図-8参照)。

平面曲線 $R=800$ mに側枠を合わせるため、1.5 m間隔に側枠を加工し、滑り架台上に乗せる構造とし、架台は直線構造となっている。

型枠の組立は、ピンとジャッキを使用した回転式であり、脱枠時にはコンクリートとの最大遊間を30 mm程度設けた。またコンクリート打設時の補助パイププレートとして、桁高1/3の高さに約1.5 m間隔で型枠パイププレート(3/4馬力)を取り付けた。

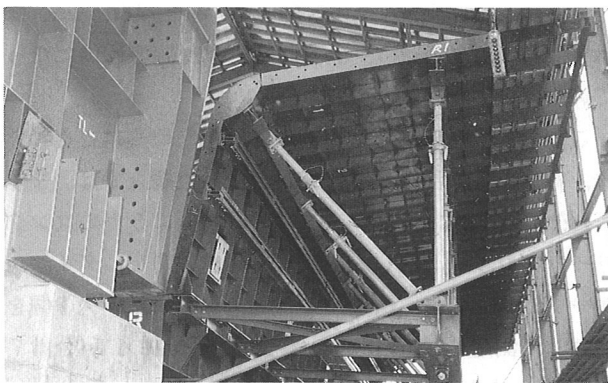


写真-3 外型枠

② 内型枠

支点ブロックは、ウェブ、上下床版とも断面変化があり、かつ横桁の張出し鉄筋、支承部の箱抜き等、複雑な細工が必要となるため木製型枠とした。

一般ブロックにおいては、市販のメタルフォームを角鋼管とH形鋼の骨組に取り付け、上下方向はジャッキ、横方向はピンとジャッキによる回転式とした。

移動は上下ジャッキ横に車輪を取り付け、レール上を移動する構造とした。一般ブロック押出し時は打設ブロック内に収納したまま押出し、ウェブ、下床版の鉄筋、ケーブル組立後に移動し組み立てる。支点ブロック時は不必要となるので、外部に引出し

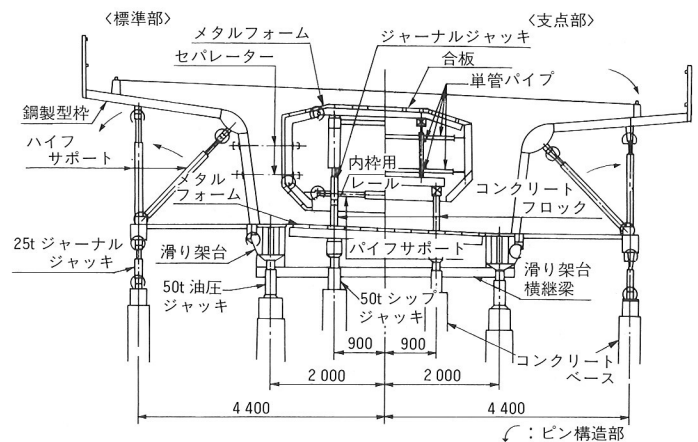


図-8 主桁型枠

仮置きした。

内型枠の受けは、底板に10cm角のコンクリートブロックを置き、その上にH型鋼を渡し支持台とした。

ブロックは上下方向に4 mmの横断勾配を付け、材料は主桁と同配合のコンクリートで製作した。

③ 底板

H形鋼を格子状に組み立て、その上に市販メタルフォームを取り付け、下には50 tロックナット付き油圧ジャッキ12台を配している。底板の降下量は、下床版より突起物の関係上50 mmとした。底板の組立はポンプ内蔵型ジャッキを使用し、片側より順次行った。

c) 上屋

作業能率向上のため、全天候型の定置式養生上屋($L=28$ m)を設備した(写真-4)。特に施工期間中に冬期間を含むため、側道の国道8号への屋根雪対策として、地下水による消雪装置を設備した。また上屋内には、2.8 t吊り天井クレーン2台および照明、溶接、水道、高圧洗浄機、コンプレッサーなど必要な機械設備を設置した。

上屋は工程管理、品質管理の上からもぜひとも必要な設備である。しかし今回、下り線施工時は、工程の関係上、上り線の場所打ち支保工を並行させたので、上下線の遊間がなく上屋を断念し、それに代わる方法として、移動式クレーンの常置、および雨天時のコンクリート打設を可能とする組立式簡易上屋を設備した。



写真-4 上屋組立

d) 押出し装置

押出し装置は、写真-5, 6に示すようにP₂₃橋脚に反力台・下床版にアンカーブラケット、それをつなぐPC鋼棒から成っている。

反力台は橋脚に取り付けられ、上部に200 tセンターホールジャッキ(ストローク500 mm)を2台据え付ける。

アンカーブラケットは、下床版よりφ55 mmボルト4本で固定されている。ボルトとコンクリートの接触を良くし、コンクリートの局部破壊を防ぐため、ボルトの外周りに鋼製の10 mmテーパ付きスリーブをコンクリート打設時に埋め込んでいる。

押出しは引張り棒方式により行い、反力台、アンカーブラケットともに固定し、ジャッキにより順次送出す。R=800 mであり、送出し時にPC鋼棒のナット当たり面に角度ができるので、ブラケット両側に球面座金を取り付けた。

(2) 仮支柱

a) K₁, K₂ 仮支柱

P₂₃前方20m位置に、施工性、経済性を検討のうえ、コンクリート製仮支柱K₁を設置した。基礎形式としては、現地盤を支持面とする直接基礎とした。図-9に仮支柱の構造を示す。

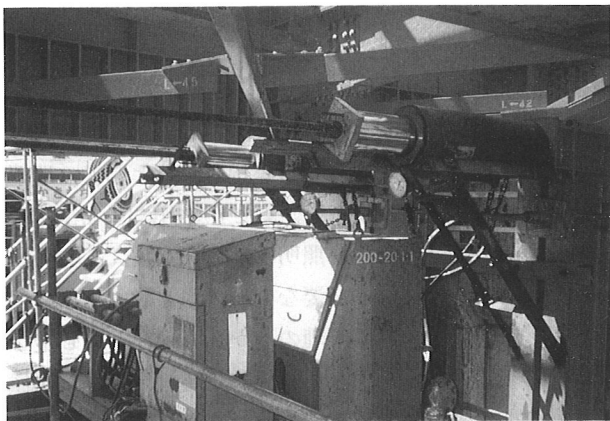


写真-5 押出しジャッキ

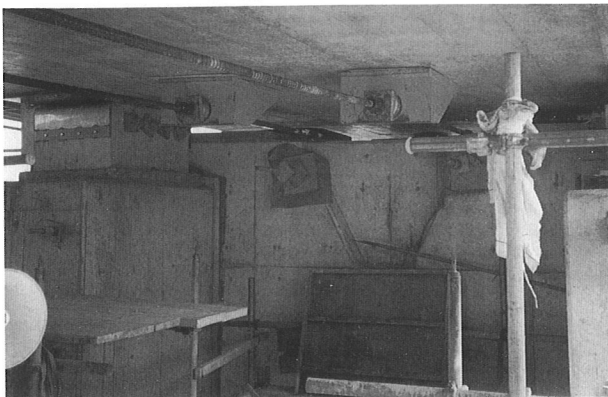


写真-6 押出しブラケット

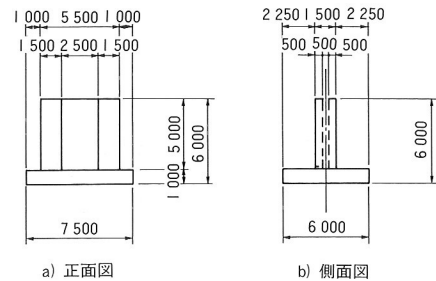


図-9 仮支柱構造図

設計計算の結果、K₁の最大支点反力および水平力は、

$$R_v = 312.3 \text{ t (最大反力)}$$

$$R_h = 312.3 \times 0.07 = 21.9 \text{ t (押出し中)}$$

$$R_h = 312.3 \times 0.12 = 37.5 \text{ t (地震時)}$$

である。

K₁仮支柱は、RC構造であること、また構造上直接基礎であるため、基礎面積全体に対して地盤耐力を期待している。したがって、フーチング厚さを1 mとし、十分な剛性をもたせた。

また、各ウェブの不均衡荷重によるねじれなどを考慮し、支柱間を厚さ0.5 mの壁によりつなぐ構造とした。

支柱の構造寸法は、滑り支承の大きさ(1 000×700)および作業性を考慮し、1.5 m×1.5 mとした。

フーチング面積は、許容鉛直支持力 $Q_a = 15.0 \text{ t/m}^2$ として試算した結果、6 m×7.5 mとなった。押出し時、橋軸方向地盤支持力は 13.02 t/m^2 必要で、許容値内になっている。

ここで、基礎形式を決める際に行った地盤調査を参考に、押出し時の沈下量を推定した。地盤調査では、まずK₁支柱の位置にて、1 m×2 mの載荷板に5 tのコンクリートブロック5個(合計25 t)を急速載荷し、ダイヤルゲージで測定した。次に、これに7 tのブロック1個を追加して測定し、最後にこれにもう1個を加えて(合計7個)測定した。結果は次のとおりであった。

ブロック数	荷 重	沈下量
5 個	12.5 t/m ²	1.80mm
6 個	16.0 t/m ²	6.62mm
7 個	19.5 t/m ²	11.95mm

以上の結果より、押出し時に5 mm程度の沈下は発生すると考えPC桁の応力照査を行った結果、許容値内であった。実際の押出し時にも計画どおりの沈下量が発生し、そのたびに薄板を滑り板とともに挿入し対処した。

仮支柱の施工においては、現地盤表土を排除し、所定の地盤高まで掘削、基礎面を碎石により整地転圧し、均しコンクリートを打設した。

本体はフーチング部と支柱部の二つに分けて施工し、フーチング打設時に水準管理用の測点鉄を4本埋め、支柱には押出し監視用の目盛板を取り付けた。

水準管理については、載荷(自重を除く)前より行った。

また支柱橋軸方向には、仮支柱が回転を起こした場合でも、前後の橋脚よりPC鋼材で拘束し、対処できるように配慮した。

b) 各橋脚部仮支柱(滑り支承架台)

P₂₀～P₂₃各橋脚に滑り支承の支持台となるコンクリート製仮支柱(写真-7)を設置した。形状は1.0m×1.5mの断面で高さ3mから6.5mの各橋脚2柱である。RC構造で、滑り支承面には用心鉄筋を有している。

仮支柱の構造については以下の点に留意した。

- ① 支持力は、橋脚フーチングにもたせる。
- ② 仮支柱と橋脚とをPC鋼棒を使用して緊結し、仮支柱に作用する外力としては、鉛直反力による軸圧縮力のみを考えた。
- ③ その他外力は、すべて橋脚が受け持つこととし、仮支柱と橋脚間の摩擦係数(PC鋼棒緊張力×摩擦係数0.6)により負担させる。

設計条件として、施工ステップ中最大の反力が生じるP₂₂橋脚について検討し、すべての仮支柱を同一の断面構造とした。

最大支点反力 $N_d = 814 \text{ t}$ 支柱1本当たり 407 t

押出し時水平力 $\mu = 0.07$

$H_d = 407 \times 0.07 = 28.5 \text{ t}$

地震時水平力

$H_d' = 407 \times 0.12 = 48.8 \text{ t}$

緊張材として、 $\phi 32 \text{ mm}$ PC鋼棒を使用した。有効緊張力 $P_t = 50 \text{ t}$ として、必要本数は各支柱当たり4本となった。橋脚については、各橋脚に発生する最も不利な条件において杭基礎についての検討を行い、十分安全であることを確認した。

各橋脚の仮支柱を施工するに当たり、橋脚にPC鋼棒締め付け用の孔をあけ、フーチング天端まで掘削し、その上に仮支柱を建てた。

なお仮支柱は主桁のケーブル応力導入後解体撤去した。



写真-7 橋脚部仮支柱

(3) 手延べ桁

最大径間42.5mを仮支柱を設けず施工するため図-10の手延べ桁を使用した。平面曲線 $R = 800 \text{ m}$ に対し手延べ桁は直線で用いるため、図-11のようなシフト量と角度を設けた。また手延べ桁とPC桁との連結は、PC鋼棒 $\phi 32 \text{ mm}$ 72本(全桁当たり)で、有効緊張力50t/本を導入した。

手延べ桁の緊張部は、緊張ジャッキ作業上の都合により下フランジ補強リブ枠を取り外し可能な構造で、今回はウェブにボルト締めする構造とした。写真-8に手延べ桁組立の状況を示す。

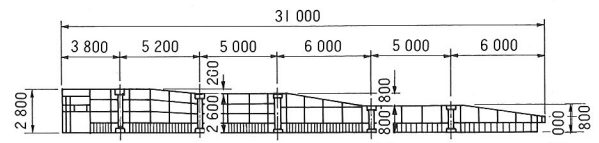


図-10 手延べ桁

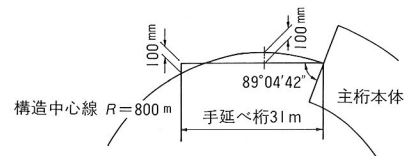


図-11 手延べ桁据え付け図



写真-8 手延べ桁組立

(4) 滑り支承

滑り支承には、鋼製とコンクリート製がある。今回はコンクリート製を採用した。

滑り支承の最大反力(P₂₂橋脚)は407 tであり、1.2倍の偏荷重を考慮するとコンクリートの支圧応力は最大113 kg/cm²である。

主桁の横方向修正を行うためや、地震時の横方向拘束、風荷重拘束の必要性から、鋼製ガイドを滑り支承脇に $\phi 32 \text{ mm}$ PC鋼棒4本で取り付けた。また形状は、橋軸直角方向の風荷重が全桁長にわたって作用したものとして決定した。

4. 現場施工

(1) 鉄筋, PC工

鉄筋は上下床版部で2段に配置してあり, PC鋼材は, その間に1次鋼材を配置し, ウェブには, 2次鋼材を配置している(図-12参照)。1次鋼材は $\phi 32$ mm PC鋼棒を使用し, 最大, 下床版部30本, 上床版部50本であり, 最小間隔は125 mmピッチに配置してある。ウェブには, 各支点付近にせん断鋼棒を配置し, 支点ブロックで最大58本の配置となっている。また第1ブロックには, 橋体と手延べ桁を連結するためにPC鋼棒を72本配置し, プレストレスを与える構造とした。したがって, 第1ブロックのウェブは手延べ鋼棒, せん断鋼棒, 2次鋼材が入り組み, 組立が複雑であった。

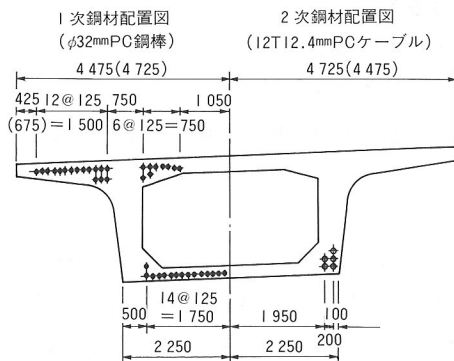
1次鋼材は, 平面線形が曲線(単円およびクロソイド)であるので, 各ブロックは法線方向に切っており, そのため, 長さが1本ずつ異なる。各ブロック端で定着するため, ブロック長(緊張長さ)の差異によって, 各鋼棒長さが変化し, 寸法・組立・管理(緊張・材料)などには細心の注意を払った。

また鋼材がコンクリート打設によって移動しないように補助鉄筋を用いて保持し, かつ鉄筋の変形, 移動が発生しないよう結束した。

2次鋼材は12T12.4 mm PCケーブルを使用し, 片引き緊張とした。このケーブルはコンクリート打設後挿入しコンクリート打設時は, シース内に保護パイプを挿入し, 変形が生じないように配慮した。

次に, 1ブロックごとの作業手順を示す。

- ① 底枠, 側枠組立後, 下床版下鉄筋, ウェブ鉄筋の組立
- ② 下床版1次鋼材の配置, ウェブ部2次鋼材用シースの配置, ウェブの鉄筋組立
- ③ 下床版上鉄筋の配置, せん断鋼棒の配置
- ④ 内型枠組立後, 上床版下鉄筋組立
- ⑤ 上床版1次鋼材の配置, 上床版上鉄筋組立(写真-9)



()内数値は下り線を示す

図-12 鋼材配置図



写真-9 上床版鉄筋PC鋼棒配置

表-1 コンクリート示方配合

セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
419 kg	159 kg	653 kg	1 085 kg	0.838 kg

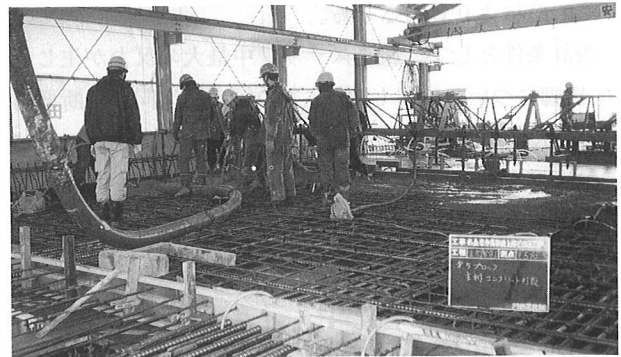


写真-10 コンクリート打設

(2) コンクリート打設

主桁コンクリートは $\sigma_{ck}=400$ kg/cm²を使用した。示方配合を表-1に示す。打設方法はコンクリートポンプ車による1ブロック全断面同時打設である。1回の打設量は最大で100 m³程度であり, 片側11回と支保工部1回の計12回である。打設順序は下床版奥にホースをはわせ, 順次打設しながら後退する。下床版打設終了後, 両ウェブを均等に打設し, 最後に上床版を仕上げた(写真-10)。夏期は浸透性養生剤を用い散水養生を行い, 冬期は製作台全体をシートで覆い, ジェットヒーターにて保温養生を行った。

各ブロック打ち継目のコンクリート表面処理は, 型枠に塗布するタイプの硬化遅延剤を使用し, 脱枠後高圧洗浄機で表面を洗い, レイタンス部分を除去する方法をとった。横桁部のコンクリートは, 押し出し施工の関係上, 押し出し完了後, 支承モルタルおよびストッパーを据え付け, 上床版の箱抜き部より打設した。

(3) 緊張管理

使用したPC鋼材は, 次のように分けられる。

押し出し部

- ① 手延べ鋼棒
- ② 1次鋼棒
- ③ 2次ケーブル
- ④ 横締め鋼棒
- ⑤ せん断鋼棒

支保工部

- ① 主ケーブル(2次ケーブルと連結を含む)
- ② 横締め鋼棒
- ③ せん断鋼棒

鋼棒の緊張には、油圧センターホールジャッキを使用した。コンクリート打設後3日目に $\sigma_3 \geq 260 \text{ kg/cm}^2$ であることを確認した後、緊張作業を行った。1次鋼材については、2台のジャッキを使用し、主桁に均等に緊張力が導入されるよう緊張順序に留意した。

鋼棒の緊張管理に当たり各種長さの鋼棒を緊張するため、あらかじめ伸び量を算出し $\pm 10\%$ の範囲で管理した。

2次ケーブルには、SEEE工法PACシステムを使用した。全ケーブル片引きとし、緊張計算における設計断面は、設計荷重時合成曲げ応力度の比較により P_{21} 支点断面とし、「コンクリート道路橋施工便覧」に従い緊張計算を行った。

主桁先端定着部(写真-11)の施工は、手延べ桁定着部でもあり、主桁を切り欠くことができないため、定着部型枠内にもコンクリートを打ち込み、手延べ桁撤去後取り外す方法を採用した。

ケーブル挿入は約125 mケーブルを工場加工とし、12本1巻で先端にフックを圧着したものを現場へ搬入した。

挿入は電動ウインチとターンテーブルを使用した。

緊張にはジャッキ2台使用し、主桁キャンバー測定等により所定の緊張力が導入できたことを確認した。

支保工部の特色としては、PAC工法によるカップリングを行ったことである。カップリング位置を3段階に分けているため、カップラーシースの径が小さくなっている。

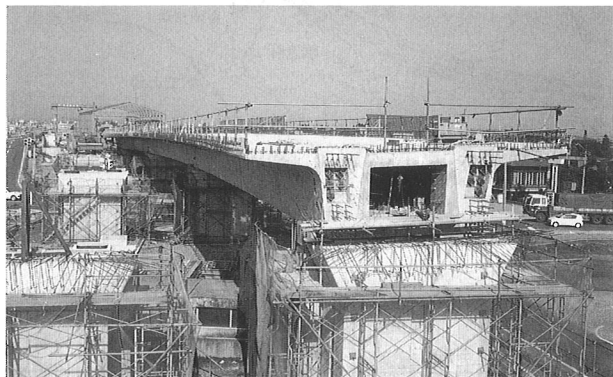


写真-11 主桁先端の定着部

(4) グラウト管理

PCグラウト施工時期として、冬期夏期にわたるため W/C は42%、45%のグラウトを使用した。混和剤としては、ポゾリスGF630を用いた。1次鋼棒のグラウトは、同一の鋼棒に対しての緊張時期を考慮し、十分養生期間が取れるよう配慮した。

2次ケーブルに対しては、注入、排出口をケーブル頂点部に設け、充填の完璧を期した。施工方法は最底部より注入し、排出口からグラウトが排出されるのを確認し、順次前方へと移動していき、最遠排出口のグラウト濃度を確認後、この排出口を閉じた。その次に逆に遠いほうより排出口を再び開きグラウトを注入し、排出口からの空気抜きを順次行い注入口まで戻り、ケーブル1本の注入作業を終えた。

(5) 押し出し管理

平面線形が曲線であるため、主桁の橋軸方向の確認は、円の弦に対するシフト量の差異により行った。 P_{20} 橋脚(押出し最終点)の構造中心点と、 A_2 橋台(主桁製作台後方)の構造中心点とを結んだ線と橋体の各点(今回は、先端、後端、中間点)でシフト量をトランシット、光波距離計により測定し、その違い分を押出し時に順次、滑り支承に設けたガイドと主桁との間に間隔材を入れていくことにより、方向を調整した。各ブロックの押出し終了点は、型枠にマークを付け、ブロック後端が到達した時点で完了とした。

鉛直方向に関して支持点の沈下が生じ、橋体に悪影響を与える可能性があるため、押出し前後および作業中随時、各橋脚、仮支柱の沈下の有無を調べ、沈下した個所は、滑り板と橋体の間に、間隔材を挿入することにより調整を行った。また滑り支承セット時には、入念に基準高、縦断勾配による傾きを確認し据え付けた。

押出し力は、押出しジャッキに取り付けた圧力計により確認し、設計による押出し力と比較し、計算値より大きな反力が生じた時は、テフロン板が正規の摩擦係数となるよう配慮した。

5. あとがき

本橋は現在供用され、交差点の渋滞も解消されて、順調に車輛が流れている。本報告はその施工について述べたが、交通量の多い交差点上を押出し工法にて無事故で完成をみたことは、大きな喜びであった。押出し工法は桁下空間の確保が難しい場所にその特長を発揮するため、今後、採用が多くなると期待される。

参考文献

- 1) 木越憲一郎：押出し工法による金泉寺高架橋の設計・施工，橋梁，Vol.25，No.5，1989年。