

倉谷2号橋 (V脚ラーメン橋) の設計と施工

木下 邦雄*1・伊東 正人*2・服部 満*3・長瀬 忠良*4・中村 修*5

1. まえがき

倉谷2号橋(仮称)は宮崎県が改良を進めている主要地方道日南～高岡線のうち、宮崎郡田野町大字倉谷地内に橋梁整備事業の一貫として架設される、橋長310mのプレストレストコンクリート道路橋である。

架橋地点は底部に井倉川が流れる急峻なV字谷で、斜面に地滑り地帯があり橋脚位置が限定され、谷底部より約40mの路面高となる。

このような条件から橋梁形式は、立地条件に適合し、工期短縮もはかれ、また景観美にも優れた5径間連続PC V脚ラーメン橋が選定された。このような大規模なV脚構造を有する橋梁は、常磐自動車道十王川橋の実績があるが、V脚の規模としては本橋が日本で最大のものとなる。

2. 事業概要

事業名：地方道整備事業
 施工箇所：宮崎県宮崎郡田野町大字倉谷地内
 路線名：県道28号線 日南・高岡線
 設計諸元：
 橋格：一等橋(TL-20)
 橋長：310m
 支間：38.3+91.0+50.0(V字支間)+91.0+38.3
 道路幅員：車道7.25m+歩道2.5m

表-1 主要材料表

	規格	V脚工	主桁工
コンクリート	$\alpha_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$	1 765 m ³	3 740 m ³
鉄筋	SD 30 A	331 t	346 t
型枠	-	2 380 m ²	10 600 m ²
PC鋼材	PC鋼より線 12 T 12.7	-	160 115 kg
"	PC鋼棒 $\phi 32$	19 435 kg	11 255 kg
"	PC鋼より線 1 T 21.8	-	18 200 kg

構造形式；上部工 5径間連続 PC V脚ラーメン橋
 下部工 直接基礎(P₂)
 逆T式橋台(A₁, A₂)
 壁式橋脚(P₁, P₃)

3. 設計

3.1 概要

V脚ラーメン橋は、これまで国内に施工実績が少ないので、設計に着手するに当たってV脚下端の結合方法、支間割りとV脚角度、桁高等について比較検討している。

V脚下端の結合は、表-2に見るように諸外国ではヒンジ結合が多いが、わが国のような地震国の場合、耐震性を優先させる必要があり、またヒンジの場合、支承、メナーゼ筋の防錆処理、維持管理が必要であり、剛結構造の方が施工性もよく経済性も優れるなどの理由により剛結構造とした。

支間割りとV脚角度は3ケースを想定し、構造的、経済性、施工性、美観などを総合的に判断しV脚角度35°と決定した。

主桁の桁高は桁高を変化させて比較したが、工費に大差ないことから、V脚柱頭部 $h=6.0 \text{ m}$ (1/15)、P₁、P₃柱頭部3.5 m (1/25)とした。V脚斜材の桁高は既往の実績を参考に4.0 mとした。

表-2 V脚橋梁実績(コンクリート橋)

	十王川橋 (茨城県)	ブレルシュ マス橋 (オランダ)	マイン橋 (ドイツ)	ヘーゲン バーガー橋 (アメリカ)	倉谷2号橋 (宮崎県)
V脚角度	40°	40°	30°	40°	35°
V脚上端	剛結	剛結	剛結	剛結	剛結
V脚下端	剛結	ゴム沓	ヒンジ	ゴム沓	剛結
V脚構造	PC	PC	RC	PC	PC
V脚スパン	45 m	22 m	27 m	42.7 m	50 m

*1 Kunio KISHITA：宮崎県土木部道路建設課橋梁係長
 *2 Masato ITO：宮崎県宮崎土木事務所道路建設係主査
 *3 Mitsuru HATTORI：ピー・エス・コンクリート(株)九州支店

*4 Tadayoshi NAGASE：ピー・エス・コンクリート(株)九州支店
 *5 Osamu NAKAMURA：ピー・エス・コンクリート(株)九州支店

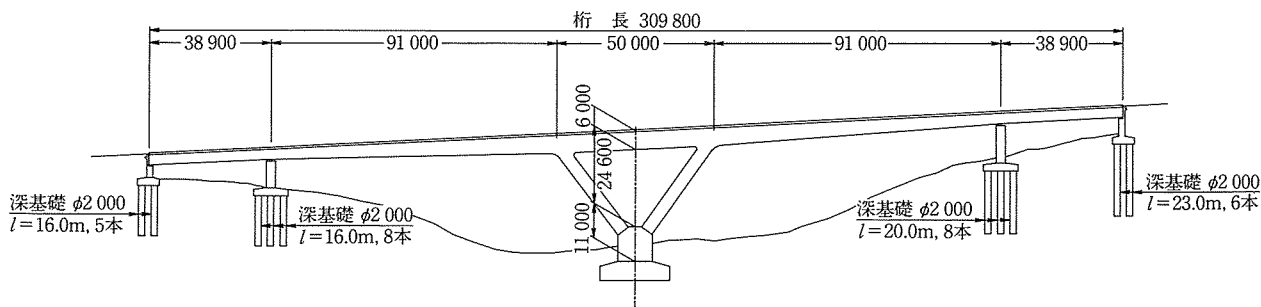


図-1 全体一般図

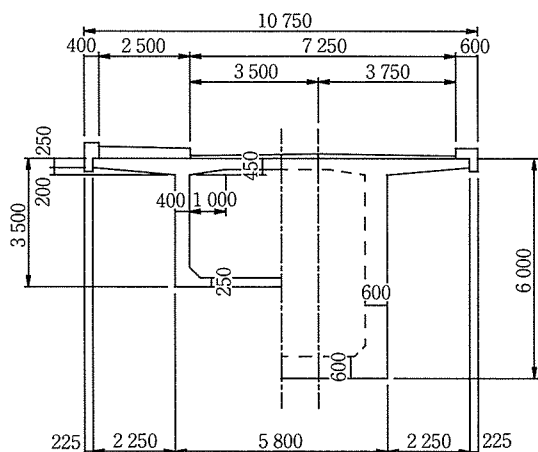


図-2 主桁断面図

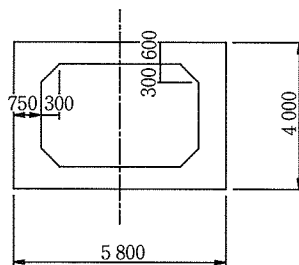


図-3 V脚斜材断面図

リートの引張側の規定はないが、全断面有効とした場合 $\sigma_c = -30 \text{ kg/cm}^2$ を超す部材についてはコンクリートの引張応力を受ける部分を無視して検討を行った。その他も含め、引張応力が生じる断面については引張鉄筋の計算を行い配置した。

主鋼材の配置は各荷重ケースの応力度を照査し決定した。V脚柱頭部の支点断面では一般に横桁を無視した断面で検討するが、横桁の影響を追加検討し不足するプレストレスを追加している。

軸方向力が作用する部材の曲げ破壊抵抗モーメントは軸方向力の大きさにより異なるが、終局荷重が作用する場合について算出した。PC鋼材のみで破壊安全度を満足しない断面については鉄筋を考慮した。

せん断の検討では、スターラップ配置を最大 D 19 ctc 125 mm とし、斜引張応力度を満足しない断面にはせん断鋼棒を鉛直配置した。

3.5 V脚の設計

V脚の斜材は軸力に比べ、曲げモーメントが卓越する部材であるため、不足する軸力をPC鋼棒で補う構造としている。したがって、PC鋼棒の軸力を考慮したRC部材として設計を行った。適用示方書は原則としてIV下部構造編に準じるが、構造物の重要性を考慮して終局荷重時の検討も行っている。

V脚の施工時にはひび割れによる断面力の移行を防ぐため、弾性範囲内となるよう上下2段のV脚開き止めストラット(PC鋼棒およびPC桁)にて調整する。

V脚の断面は充実、中空ともに曲げ破壊耐力に大差ないこと、中空断面の方がプレストレスが有効に作用すること、地震時慣性力を減少させることなどの理由により

3.2 施工法

V脚部の施工法は架設桁(桁高2.1m)2連を用いたガーダーリフトアップ工法である。V脚斜材の立上げに架設桁を用い順次リフトアップしてブロック施工を行う。最終ブロックを打設後柱頭部主桁コンクリート打設時の増加張力に対処するため、V脚間にコンクリート製ストラットを設置しPC鋼棒にて緊結する。V脚部の完成後、通常のキャンチレバー架設を行い橋体を完成する。図-4～図-11に施工手順を示す。

3.3 断面力の計算

断面力は構造系の変化や、コンクリートの材令差によるクリープの影響を考慮できるように、施工段階にしたがって任意系骨組解析プログラムにより算出した。すなわち、桁自重、作業荷重、プレストレス2次力、クリープ2次力等を施工段階ごとに算出し、橋体完成後は、橋面荷重、活荷重、温度変化、温度差、地震時水平力等を面内および面外荷重として受ける骨組みとして算出した。

コンクリートのクリープ係数および乾燥収縮度は有効部材厚を考慮して道示により求めた。

3.4 主桁の設計

主桁の検討は、施工時、死荷重時、設計荷重時、終局荷重時について行っている。

地震時および地震を含む荷重組合せの場合、コンク

中空断面を採用した。またコンクリート標準示方書のせん断耐力の規定を満足するよう接点部付近には充実断面部分も設けている。

3.6 耐震設計

本橋の耐震設計は修正震度法によって行ったが、震度の算出に当たっては、改訂中であった道示V耐震設計編に従った方法にて行った。橋台・橋脚を含めた全体系と P_2 のみに注目した場合とについてそれぞれ、 P_2 基礎地盤の変位を考慮する場合、しない場合の4ケースについて震度を算出し、最も現実の振動系に近いと考えられる全体系で P_2 変位なしの震度を設計に採用した。

4. 施 工

4.1 V脚の施工

4.1.1 概 要

V脚の施工は大別して以下の2段階に分けられる。

① フーチング基礎頭部の施工

② V脚斜材部の施工

斜材の施工では架設桁（鋼製、桁高2.1m）を支保工として用いる。斜材の上昇とともに架設桁も順次引き上げ（リフトアップ）、V脚柱頭部、支間部の支保工にも使用する。V脚完成後は、型枠移動台車を用いた張出し架設工法となる。

4.1.2 フーチング基礎頭部の施工

フーチング基礎頭部は斜材の鉄筋、PC鋼棒が交錯する箇所であり、その配置には正確さが要求された。そのため写真に見られるような架台を設け、施工性を向上させた。

フーチング基礎頭部の施工は、通常の足場、支保工を組み立て、8リフトに分割して行った。フーチング基礎頭部完成後は、掘削している地盤を埋め戻し、A、Bブロック施工時に支保工基礎となる部分については十分な締固め転圧を行った。

4.1.3 V脚斜材部の施工

V脚斜材部の施工は、大別して以下の3段階に分けられる。

① A、Bブロックの施工

V脚斜材の施工の最初の段階では位置がまだ低いため、地盤上にH鋼を組み立て、型枠をセットし、コンクリートを打設した。V脚斜材の付け根部には、施工中の応力度の変化を知るため、鉄筋計、ひずみ計、有効応力計、無応力計等の計測器を設置した。

② Cブロックの施工

Cブロックから架設桁を用いた施工となる。この段階では斜材内側に架設桁受けのブラケットを取り付けるスペースが無いいため、重荷重ベントを組み立てて支点としている。架設桁の架設は移動式クレーン（45t吊り2

台）にて行った。架設桁の上に移動式型枠台車を載せ、型枠をセットし、コンクリートを打設した。ブロック長6mを3mごとの2回打ちとした。

③ D、E、Fブロックの施工

V脚斜材は鉛直の柱と異なり、軸力よりも曲げが卓越する部材である。そのため不足する軸力を斜材内部に配置したPC鋼棒で与え、軸力のある鉄筋コンクリートとして設計されている。本工事のリフトアップ工法では施工済みの斜材内側に設けた鋼製ブラケットで架設桁は支持される。施工時においては、このブラケットから伝達される荷重により、斜材内側付け根部のコンクリートの引張応力度が -30 kg/cm^2 を超えることが予想され、ひび割れ発生のおそれがあった。施工時に発生したひび割れは、断面力の再分配を生じること、V脚の逆三角形構

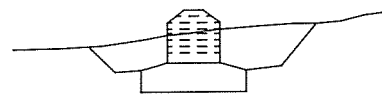


図-4 基礎頭部の施工

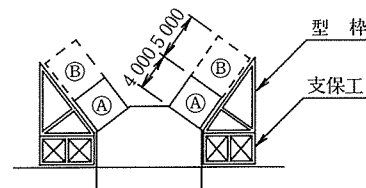


図-5 A、Bブロックの施工

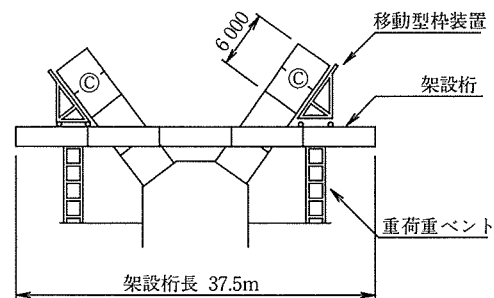


図-6 Cブロックの施工

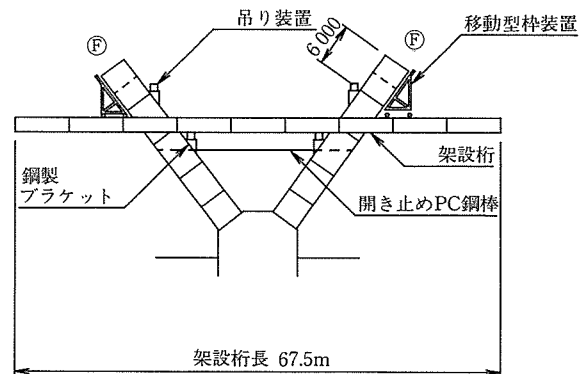


図-7 D、E、Fブロックの施工

◇工事報告◇

造完成後にも残留することから、施工時にはV脚斜材付け根部をひび割れを許さない弾性範囲内に管理する必要があった。D、E、Fブロックの増加荷重に対しては、左右のCブロック間にφ36ゲビンデスターブPC鋼棒14本を開き止めとしてアウトケーブルで配置、緊張した。PC鋼棒の緊張は一度に行うと斜材付け根外側にひび割れの発生する恐れがあったため、2回に分けて行っている。1次緊張は架設桁の荷重が載荷される直前（Bブロック完成後）で、350tの緊張力を与えた。2次再緊張の時期および緊張力はAブロック付け根に配置した計測器のデータを確認しながら、Dブロックへのリフトアップ直前に決定し250tを追加している。各ブロック

の施工終了後、次のブロックの施工へ移るため、架設桁を上部のブラケットまでリフトアップする。Fブロックの施工終了でV脚の完成となる。

4.2 V脚支間部主桁、柱頭部の施工

V脚支間部主桁、柱頭部は、全体で約1300m³の打設量があり、1日の打設能力、支保工（架設桁を含む）の変形の管理に問題があるため、図-8のように5回に分けて施工した。

また、Cブロックに配置した開き止めのPC鋼棒では、V脚支間部主桁、柱頭部の増加荷重に対処できないため、Eブロック間にコンクリート桁とPC鋼棒から成るストラット部材を設けている。ストラット部材は、PC鋼棒のみでは鋼棒の伸びによるV脚本体の変位が大きいため、また、必要な鋼棒本数が多くなり配置が困難であるため、コンクリート部材をV脚斜材で挟む形でプレストレスにより一体化し、圧縮材として荷重を受け持たせる構造とした。圧縮材をコンクリート製とした理由は、鋼製に比べ剛性が高く変位が少ない、座屈の可能性が低い、組みばらしの手間が少ない、現場でプレキャスト桁として製作でき経済的である、等である。この部材に

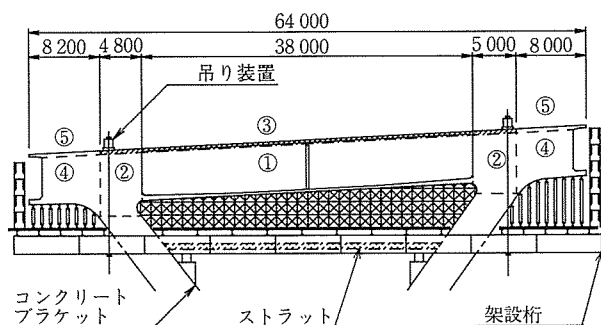


図-8 V脚支間部、柱頭部の施工
(○は打設順序を示す)

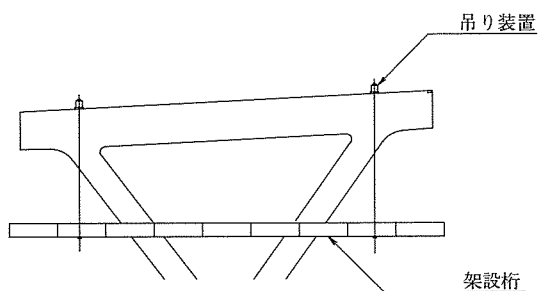


図-9 架設桁の撤去

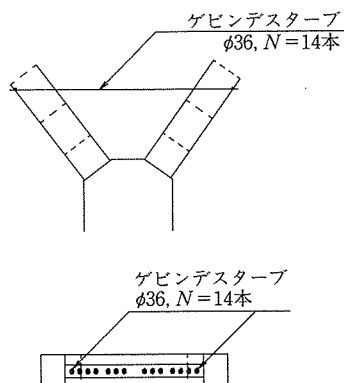


図-12 開き止めPC鋼棒

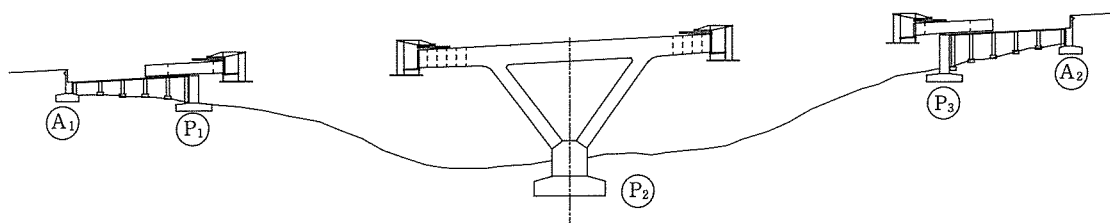


図-10 張出し施工要領図

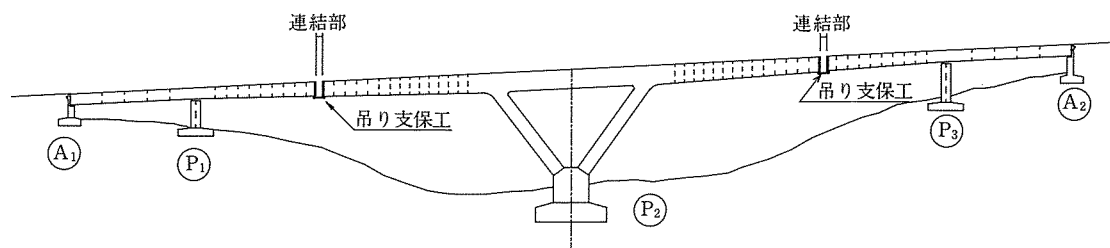


図-11 吊り支保工部の施工

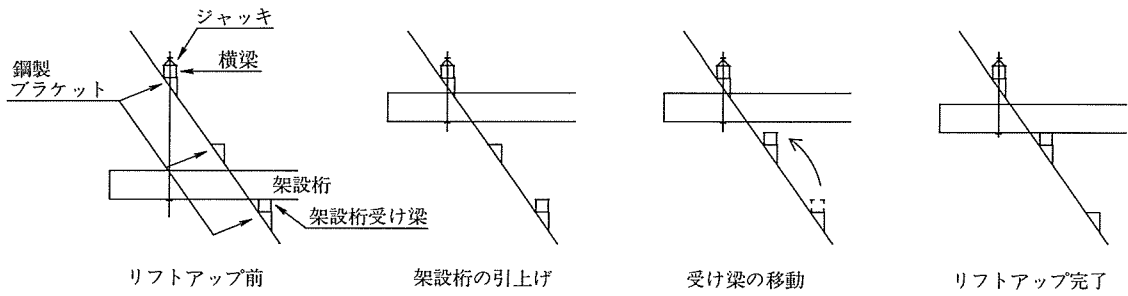


図-13 リフトアップ概念図

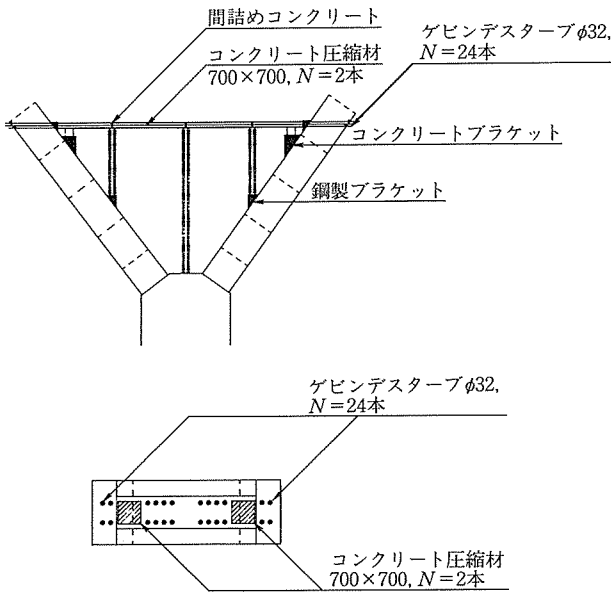


図-14 ストラット施工図

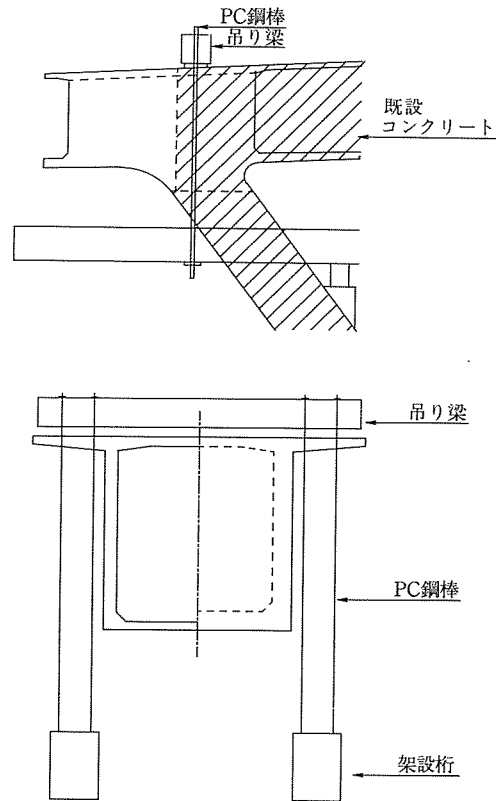


図-15 架設桁吊替え概念図

は、自重による曲げに対処できるだけのプレストレスを導入し、PC 桁とした。上段ストラットの 경우도 圧縮部材を有効に活用するため、2 回の緊張を行っている。なおストラット部材は、700×700 の断面の PC 桁 2 本およびφ32 ゲビンデスターブ 24 本で構成される。

4.2.1 V脚支間主桁の施工 (①部)

最初はV脚柱頭部内側の 38 m 区間の主桁の下床版およびウェブの施工を行った。コンクリートの乾燥収縮による主桁の短縮の影響をなるべく少なくするためにこの部分からの施工とした。施工に先立ちストラットの軸力導入を行い、630 t の軸力を導入し、その後下段の開き止め PC 鋼棒を解体した。型枠は架設桁上に組み立てられた支保工上にセットし、コンクリートの打設を行った。

打設量は約 280 m³ あり、架設桁のたわみは中央部で -30 mm、端部で +20 mm であった。ストラット圧縮材の軸力の減少量は、開き止め PC 鋼棒の解体の影響、①部コンクリート打設の影響を合わせて約 470 t であった。②部以後の増加荷重の影響による軸力の減少量を予想すると、ストラット圧縮材の軸力は圧縮から引張へと変化するため、圧縮材が有効に作用しなくなる。また②

部の打設を行うと逆 3 角形の構造が形成され、軸力を導入するための緊張力が有効にストラット圧縮材に伝達されなくなる。そのためにこの段階で PC 鋼棒の 2 次緊張を行い、約 100 t の軸力を追加している。

4.2.2 V脚柱頭部の施工 (②部)

柱頭部は左右それぞれ 4.8 m、5.0 m 区間の施工を行った。この部分の打設により逆 3 角形の構造が一応完成する。

4.2.3 上床版の施工 (③部)

②部の打設により逆 3 角形の構造が形成されると、以後の荷重はストラット部材よりも主桁本体に引張力として作用する割合が多くなる。そのため主桁内部にアウトケーブルとしてゲビンデスターブφ36 を 12 本配置し、約 600 t の緊張力を与え対処した。上床版の施工は、①部、②部の 47.8 m 区間について行った。

◇工事報告◇

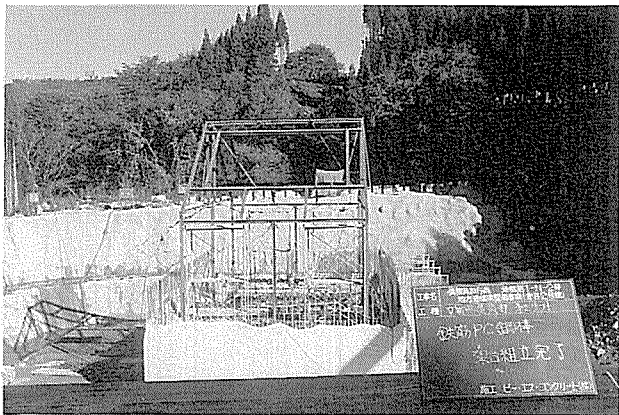


写真-1 基礎頭部 鋼材組立用架台

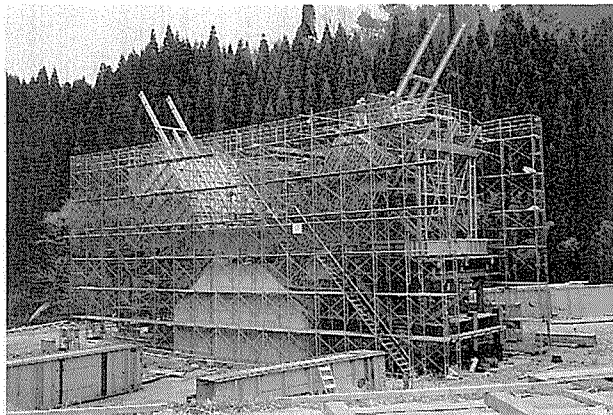


写真-5 A, Bブロックの施工状況

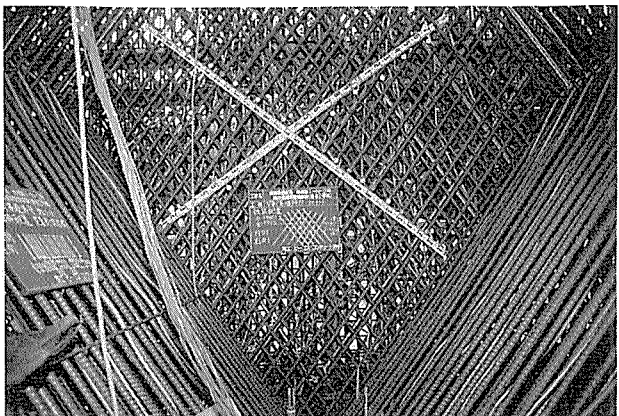


写真-2 基礎頭部 配筋状況

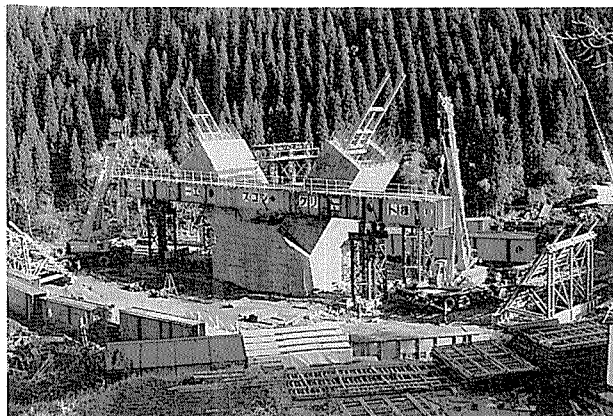


写真-6 仮設桁の設置



写真-3 基礎頭部 施工状況

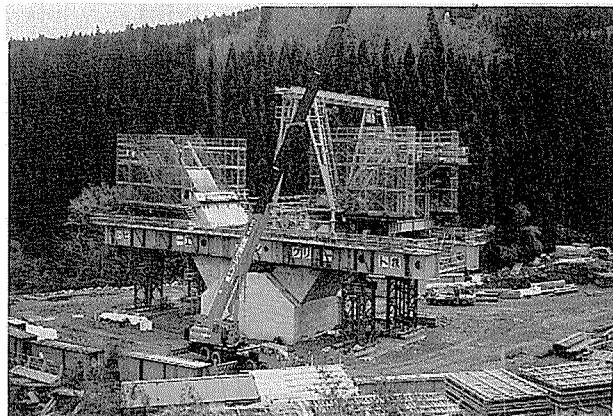


写真-7 Cブロックの施工

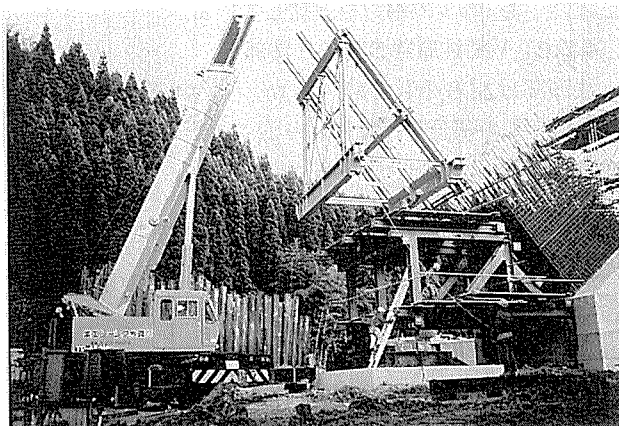


写真-4 A, Bブロックの施工・支保工の組立

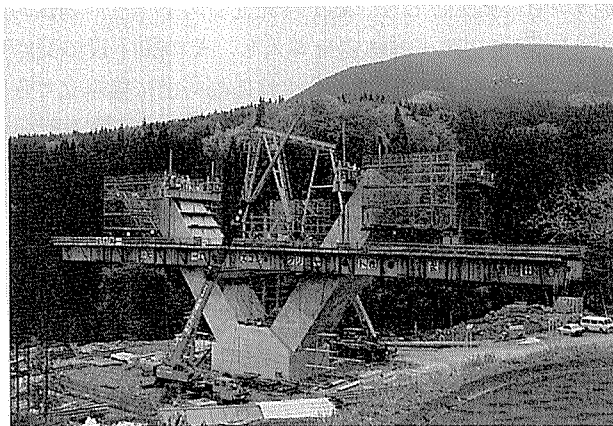


写真-8 D, E, Fブロックの施工

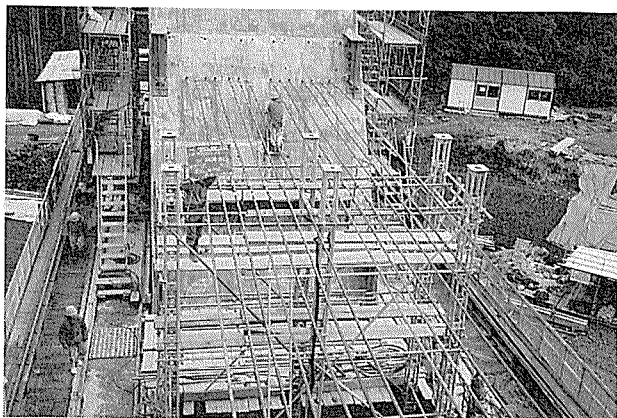


写真-9 開き止め PC 鋼棒の配置

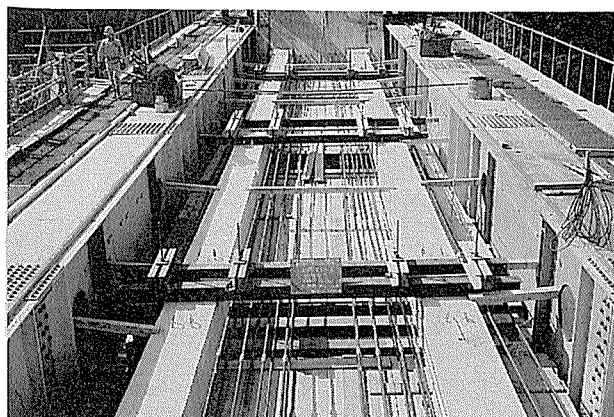


写真-13 ストラット全景

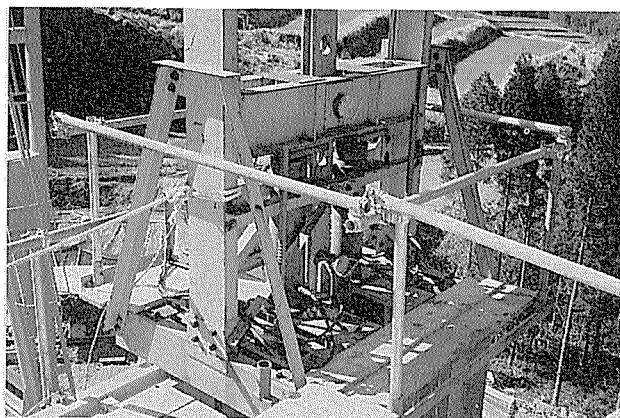


写真-10 リフトアップ設備 引上げ用ジャッキ



写真-14 鋼製ブラケットとコンクリートブラケット

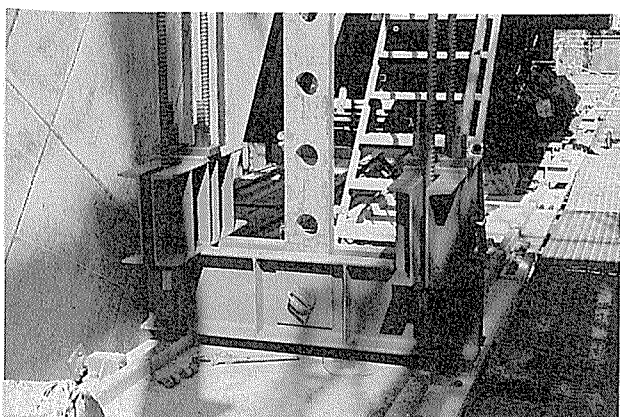


写真-11 リフトアップ装置 仮設桁との取合い部

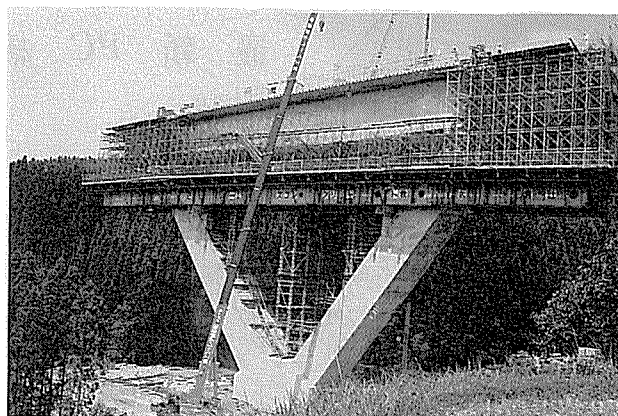


写真-15 V脚支間柱頭部の施工

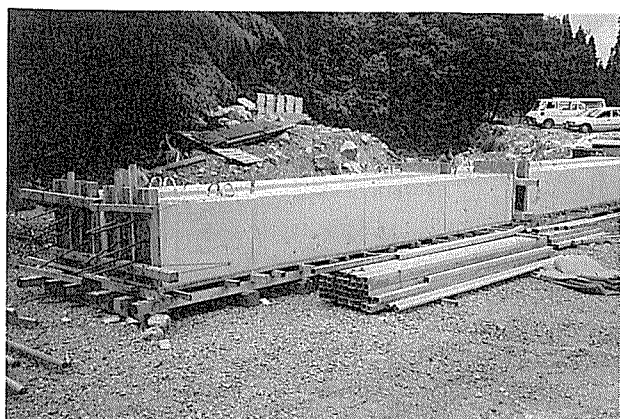


写真-12 ストラット圧縮材の製作

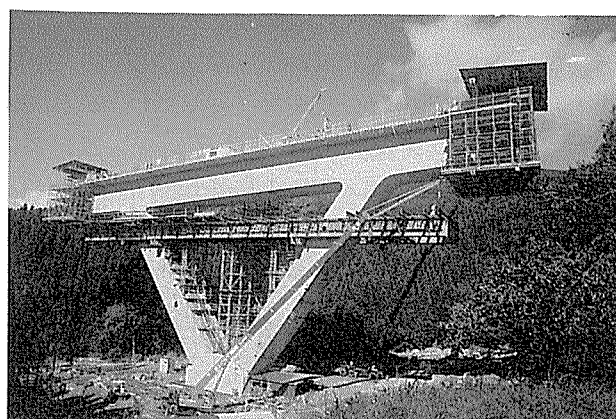


写真-16 V脚からの張出し施工

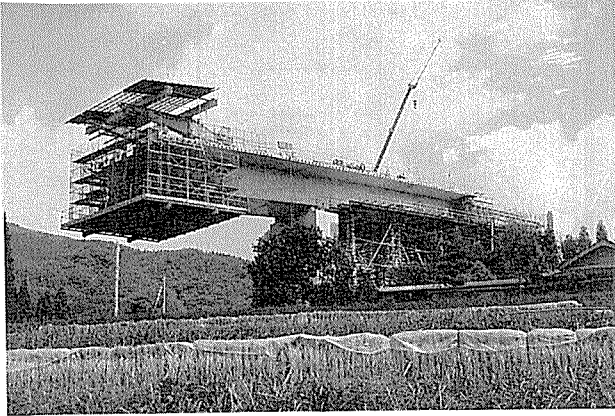


写真-17 側径間からの張出し施工

4.2.4. V脚外側の施工 (④)

V脚外側の施工では、架設桁の張出し長が長いため、コンクリート打設時に架設桁の支点部の応力度が許容値を満足しなくなる。そのため既設桁の端部に架設桁吊り装置を設け、張出し区間を短くした。打設は、下床版か

らウェブまでである。

残り区間のV脚外側上床版(⑤部)を打設後、主ケーブルを緊張して、V脚支間部主桁、柱頭部までの完成である。

4.3 主桁の張出し架設

V脚完成後は型枠移動台車(フォルバワーゲン、中型200tm)を設置し、主桁の張出し架設を行う。V脚からの張出しは、14ブロック、43.5mである。

側径間部も各橋脚からの張出し架設工法である。

5. あとがき

施工例の少ない大規模V脚構造の設計、施工について以上のとおり報告した。本橋は、平成3年春完成の予定であり、現在急ピッチで施工が進められているところである。

【1990年10月22日受付】

◀刊行物案内▶

最新 PC 橋 架 設 工 法

体 裁 : B5判 147頁

頒布価格 : 3,000円

内 容 : PC橋架設工法総論 <桁橋> 張出し工法概論/ディビダーク工法/FCC—PC鋼より線を用いた片持ち張出し工法/P&Z工法/架設桁を用いた場所打ち張出し工法/フリー・ワイズ・ワーゲン工法/逆片持ち架設工法/幅員が大きく変化するPC橋の片持ち梁架設工法/プレキャストブロックキャンチレバー工法/押出し工法概論/TL押出し工法/SSY式押出し工法/RS工法/移動支保工架設工法概論/ゲリュストワーゲン工法/OKK式大型移動支保工/FPS式移動支保工/ストラバーグ方式可動支保工/プレキャスト桁架設工法概論/固定支保工式架設工法概論 <アーチ橋> アーチ橋架設工法概論/ピロン・ラメン張出し工法/トラス張出し工法/トラス・ラメン併用工法/ロアリング式架設工法/CLCA工法(剛性アーチ巻立て工法) <斜張橋> 斜張橋架設工法概論/SLT工法/ジャンピングステージ工法(主塔施工用移動足場工法)/スウェーフト工法/埋込み桁を用いたキャンチレバー架設工法/主塔用クライミングフォーム工法/FPR斜材外套管の架設工法/斜張ケーブルの被覆工法/複数集合斜材の架設・緊張工法/ π フレーム工法 <吊床版橋> 吊床版橋架設工法概論/吊床版懸垂架設工法/吊床版架設工法/吊床版橋のスライド式架設工法/吊床版橋の架設工法 <その他の橋梁> バイプレ工法/プレビーム工法/PCトラスの架設工法/PC方杖ラーメン橋片持ち架設工法