

常陸利根川橋 (上部工) の設計と施工

小 野 正 二*
 森 義 武**
 木 村 政 彦†
 太 田 豊††

1. まえがき

東関東自動車道、市川潮来線は千葉県市川市を起点とし、茨城県行方郡潮来町までの延長 75 km の高速自動車国道である。現在、市川～佐原間が供用中で、終点潮来までは昭和 62 年度開通をめざして建設中である。

常陸利根川は霞ヶ浦と外浪逆浦を結ぶ水上運搬の航路として利用され、又十二橋めぐりや、あやめ園等で名所となっている水郷観光潮来地内を流れる一級河川である。ここに架かる常陸利根川橋は、橋長 330.4 m、5 径

間連続のプレストレストコンクリート橋で、ディビダーク工法を用いた片持張出し工法で架設される橋梁である(図-1、2)。

2. 工事概要

2.1 橋梁諸元

工事名：東関東自動車道常陸利根川橋 (PC 上部工) 工事

路線名：高速自動車国道東関東自動車道 市川～潮来線

工事場所：茨城県行方郡潮来町大字 潮来

工期：昭和 60 年 5 月 29 日～
昭和 62 年 3 月 19 日

橋種：プレストレストコンクリート道路橋

構造形式：5 径間連続箱桁橋

架設工法：片持張出し工法 (ディビダーク工法)

橋格：一等橋

道路規格：第一種第 2 級 A 規格

橋長：330.4 m

桁長：330.2 m

支間：54.000 m + 3 @ 73.500 m
+ 54.000 m

有効幅員：10.0 m × 2

斜角： $\theta = 63^\circ 45' \sim 74^\circ 30'$

平面曲線： $R = 1600 \text{ m} \sim A = 800$

縦断勾配： $\rightarrow 0.36\%$

横断勾配：3.0%

2.2 施工概要

本橋は $P_2 \sim P_5$ が常に河川流水部にあるため、荷揚設備の選定が問題となったが、ケーブルクレーン等の利用も含めて種々検討が行われた結果、栈橋を用いて施工する方法が採用された。

栈橋使用が許されるのは渇水期のみであること、および航路を確保する必要のあることを考慮して施工順序が

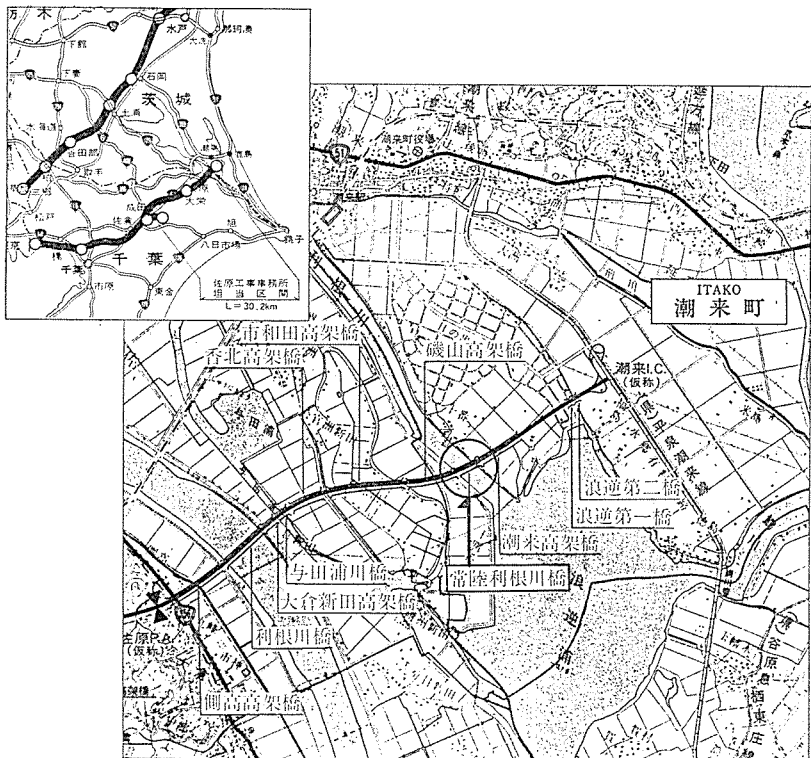


図-1 架設位置図

* 日本道路公団東京第一建設局建設第二部構造技術課長
 ** 日本道路公団東京第一建設局佐原工事事務所潮来工事区工事長
 † 住友建設(株)・富士ピーエスコンクリート(株)東関東自動車道常陸利根川橋(PC上部工)工事共同企業体所長
 †† 住友建設(株)・富士ピーエスコンクリート(株)東関東自動車道常陸利根川橋(PC上部工)工事共同企業体副所長

側面図

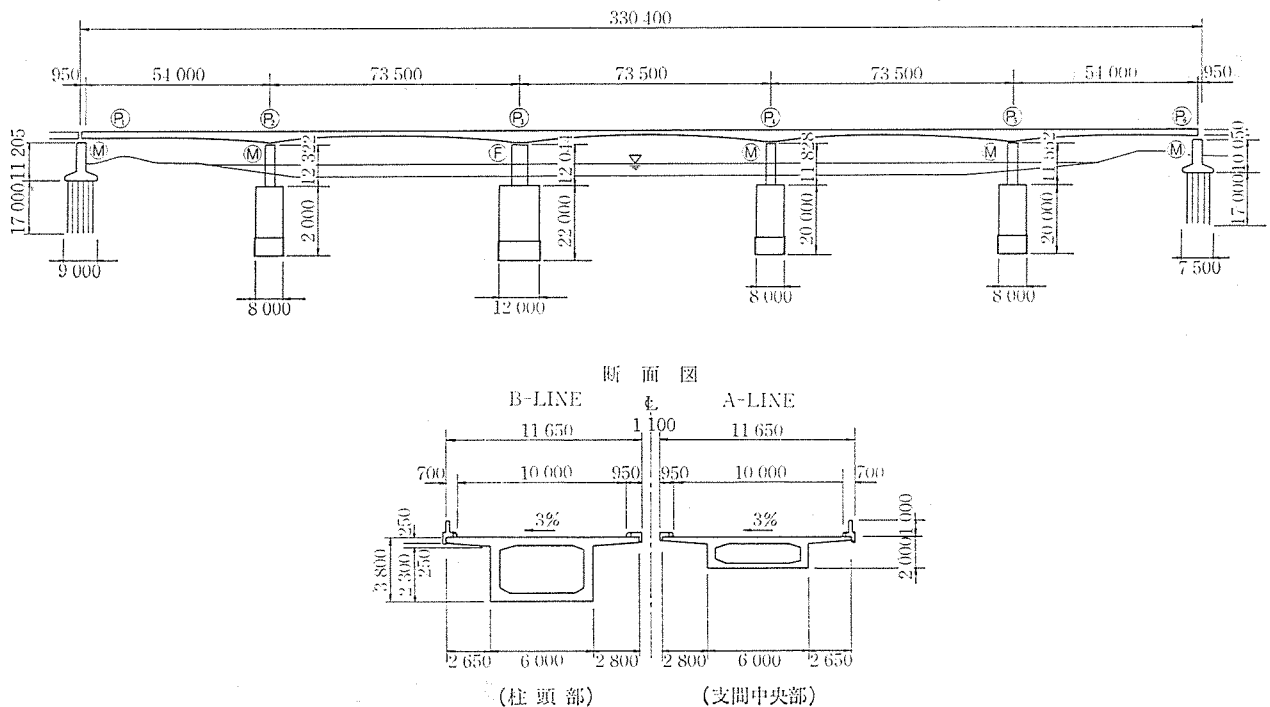


図-2 一般図

定められている。

すなわち、渇水期の昭和 60 年 11 月 1 日から昭和 61 年 5 月 31 日までの間に、栈橋架設も含めて下り線の大部分と上り線の柱頭部を完了させ、栈橋を撤去した後は下り線本体を利用して上り線の施工に供するという方法が採られた。

栈橋架設は、H 鋼杭打込みは台船使用によるパイプロ工法で行い、桁材取付けおよび覆工は陸上から 25 t クローラークレーンで順次進む方法で行った結果、右岸・左岸ともに 20 日間を要した。

栈橋完成後、鋼製ブラケットを使用した支保工で下り線の各柱頭部をまず施工した。その後各橋脚 2 台、計 8 台のフォルバウワーゲンを使用して下り線の片持張出し架設を行い、その間に上り線の各柱頭部を施工した。下り線のワーゲン施工終了後、各ワーゲンは上り線の施工に転用されている。

工事は予定どおり進行し、5 月 30 日現在栈橋撤去完了、ワーゲンも上り線に 8 台すべてが組立てを完了し、上り線のワーゲン施工が進められている。下り線のワーゲン組立解体および上り線のワーゲン組立までは、栈橋を利用して 50 t クローラークレーンで行われたが、上り線のワーゲン解体は完成した下り線本体を利用してトラッククレーンで行う予定である。

側径間は、P₁ 側および P₀ 側ともにステーキングと吊支保工を併用して施工し、中央連結部は吊支保工で施工する。下り線は 5 径間連続箱桁橋として完成に至っている（写真-1）。

2.3 主要材料仕様および数量

| | |
|---|----------------------|
| コンクリート： $\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$ | 5 990 m ³ |
| 鉄筋：SD 30 | 957 t |
| PC 鋼棒： $\phi 32$ A種 2号（主方向） | 510 t |
| $\phi 32$ A種 2号（横方向） | 108 t |

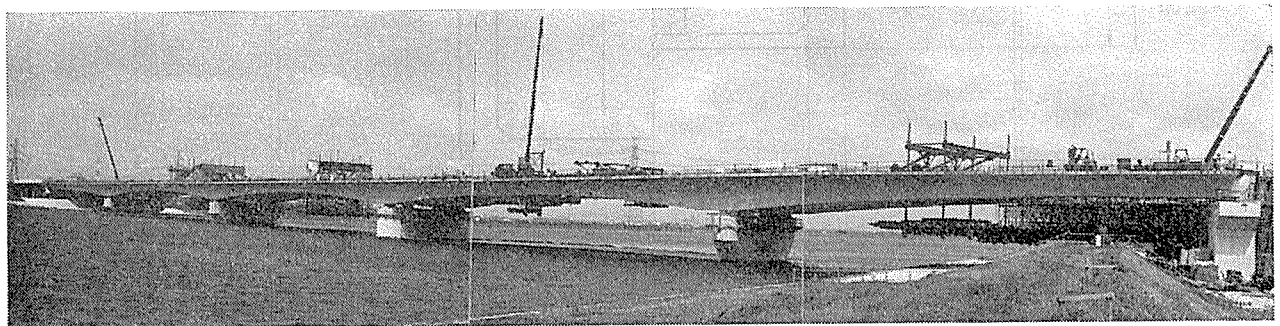


写真-1 全体写真

◇工事報告◇

φ32 B種2号 (鉛直方向) 17 t
支 承: BP 沓 (最大 1500 t) 150 t

3. 設 計

3.1 設計条件

- ・活荷重: TL-20, TT-43
- ・衝撃係数: $i=10/(25+l)$
- ・材料強度: 2.3 参照
- ・TT-43 荷重に対する割増し係数:

モデル構造で TT-43 荷重を実載荷して求めた断面力と TL-20 荷重による断面力とを比較して、各径間毎に割増し係数を決定した (図-3)。

| | P ₁ | P ₂ | P ₃ | P ₄ | P ₅ | P ₆ |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 曲げモーメント (支点上) の割増し係数 | | 1.20 | 1.16 | 1.16 | 1.20 | |
| " (径間部) | 1.255 | 1.245 | 1.245 | 1.245 | 1.255 | |
| せん断力, ねじりモーメントの割増し係数 | 1.36 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.36 | |

図-3 各径間ごとの割増し係数

道路公団設計要領第2集によると、不等径間の連続桁では、各支間のうち最も大きい割増し係数を与えるもので行うことになっているが、本橋のような大型橋梁では過大設計になりうると見なされるため、このように割増し係数を定めた。

- ・クリープ係数および乾燥収縮度:

本橋のように片持架設を行う連続桁では、施工時の構造系と完成時の構造系が異なるため、主桁コンクリートのクリープ作用により、施工後に自重およびプレステ

ス2次力による断面力には移行が生じる。また、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮により、プレストレス力には減少が生じる。これらを厳密に求めるためには、主桁の材令が施工ブロック毎に異なることを考慮して計算する必要があるが、この過程をそのまま構造解析に組み込むと、いたずらに煩雑な計算が増すばかりの結果となる。

本橋では、あらかじめモデル計算によって、ブロック毎に材令を変えて求めた場合と等しい値の不静定力 (支点たわみ角の関数) を与えるような平均クリープ係数を求めておき、これを構造解析計算に用いた。プレストレス力の減少に対しても同様に、等しい桁縮み量を与える平均クリープ係数ならびに乾燥収縮度を求めた。その結果、

不静定力算出用クリープ係数 $\phi=1.4$
有効係数算定用クリープ係数 $\phi=2.4$
有効係数算定用乾燥収縮度 $\epsilon_s=18 \times 10^{-5}$

のように決定された。

3.2 構造寸法の決定 (図-4 参照)

- ・桁高

路面線形や航路限界による制約等を考慮して種々比較した結果、施工性、構造的性、美観ではほとんど差がつかず、わずかに経済性が勝るということで、径間部 2.0 m、柱頭部 3.8 m となった。

- ・下床版幅 (ボックス幅)

支承の配置、施工時仮固定との関係、上床版曲げモーメントのバランス等を考慮して比較した結果、6.0 m が最も有利となった。

- ・床版厚

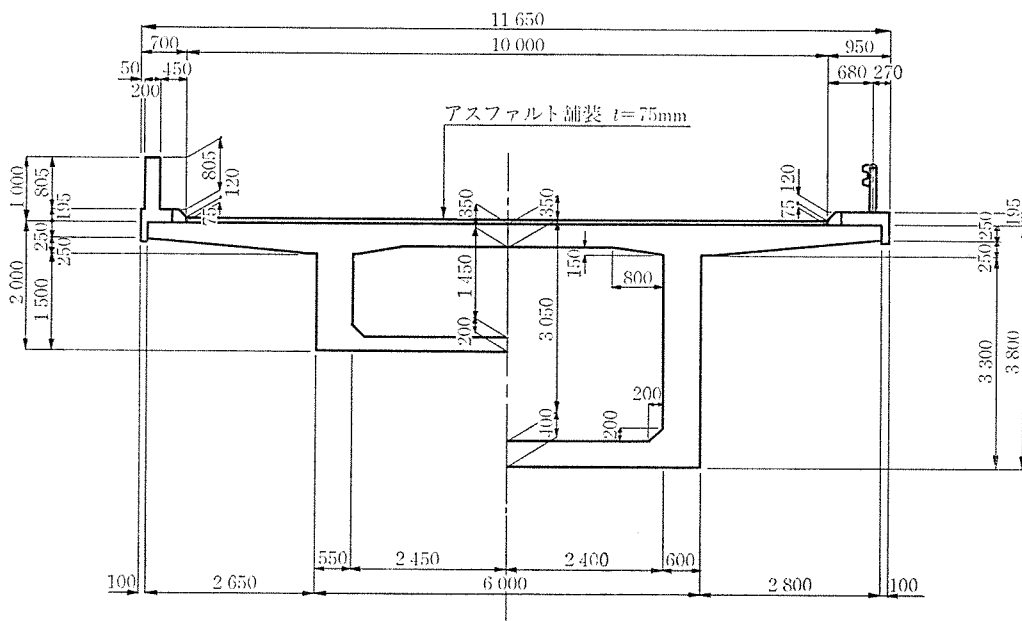


図-4 構造寸法図

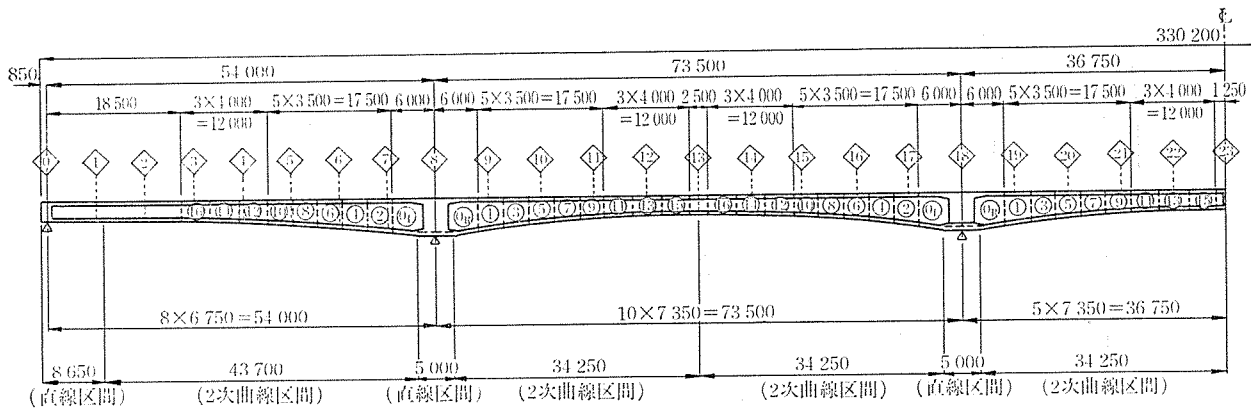
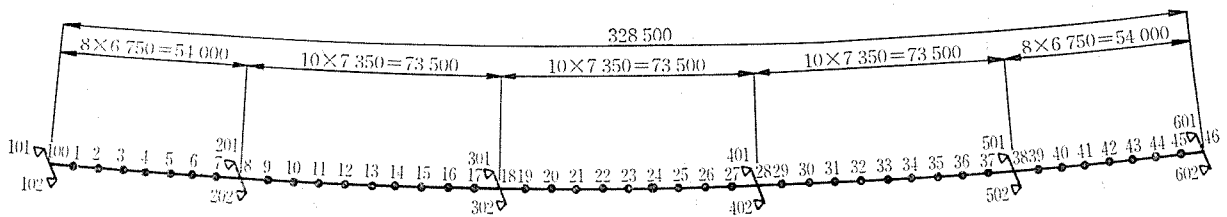


図-5 ブロック割り図



支点……101.102, 201.202, 301.302, 401.402, 501.502, 601.602

図-6 格子骨組図

上床版は、主鋼材の配置、床版の曲げ等を考慮して 35 cm とした。下床版は、最小 20 cm を確保して、主鋼材配置、主桁下縁圧縮応力度から決めている。

・ウェブ厚

ウェブ厚の決定に際し、径間部の主鋼材配置 (φ32A 種 2 号) について 2 列配置と 4 列配置の比較を行った。前者はウェブを薄くできるが、段数が増えて最上段となると PC 鋼棒は桁の上縁近くまで上がり、偏心モーメントが小さくなって効率が悪く、構造的・経済的に劣る結果となった。よって後者の 4 列配置を採用したので、コンクリートの締固めを考慮した鋼材配置から決まる最小ウェブ厚は 55 cm となった。支点上はせん断力に抵抗させるために 60 cm と定めている。

工程等を考慮した施工ブロック割は図-5 のようである。

3.3 主桁の設計

本橋は平面曲線および斜角を有するため、主桁の断面力解析はつぎのように行った。

主方向の曲げモーメントおよびせん断力については、単ボックスの主桁を 1 本の棒と考え、曲線・斜角を無視して面内解析で計算した。つぎに、曲線・斜角の影響によって生じる主桁のねじりモーメントおよび各支点上で 2 点支持となっている支承に生じる反力差は、図-6 に示すような骨組構造で面外解析により求めた。

下り線の断面力図を 図-7~8 に示す。

主方向の PC 鋼棒としてディビダーク 鋼棒 A 種 2 号

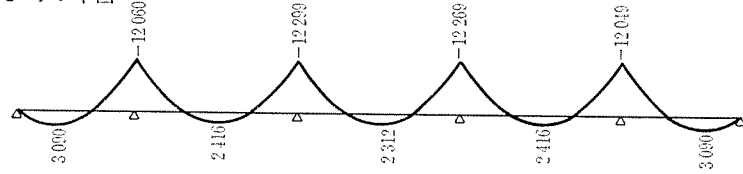
表-1 主要断面の曲げ応力度表

| SECT-③ | | SECT-⑧(⑧) | |
|--------|---|-----------|---|
| | | | |
| 鋼材本数 | 100本 | 鋼材本数 | 138本 |
| 鋼材圆心 | 1.818m | 鋼材圆心 | 0.315m |
| | 上縁(t/m ²) 下縁(t/m ²) | | 上縁(t/m ²) 下縁(t/m ²) |
| 設計荷重時 | 799 -28 | 設計荷重時 | 115 (76) 1102 (1162) |
| 設+温度差 | 741 -73 | 設+温度差 | 263 (148) 1067 (1154) |
| SECT-④ | | SECT-⑨ | |
| | | | |
| 鋼材本数 | 130本 | 鋼材本数 | 126本 |
| 鋼材圆心 | 1.617m | 鋼材圆心 | 1.608m |
| | 上縁(t/m ²) 下縁(t/m ²) | | 上縁(t/m ²) 下縁(t/m ²) |
| 設計荷重時 | 993 -21 | 設計荷重時 | 977 -35 |
| 設+温度差 | 1116 -184 | 設+温度差 | 1074 -155 |

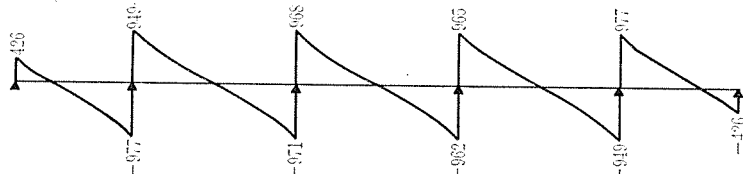
φ32 mm を使用した結果、鋼棒配置は 図-9 に示すようになった。主要断面の曲げ応力度は 表-1 のようである。

CASE 4 (死荷重時:クリープ終了時)

モーメント図

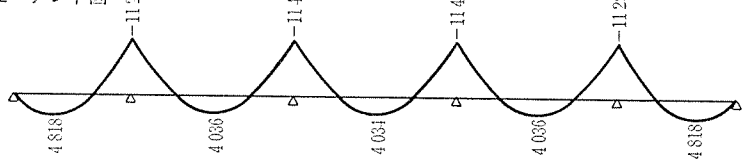


せん断力図

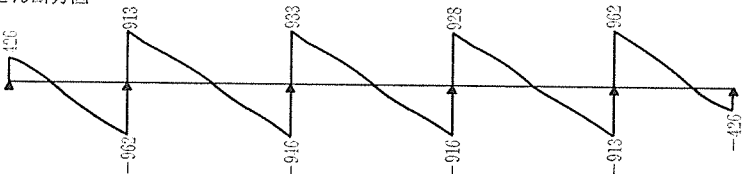


CASE 5(+)(設計荷重時: M_{max})

モーメント図

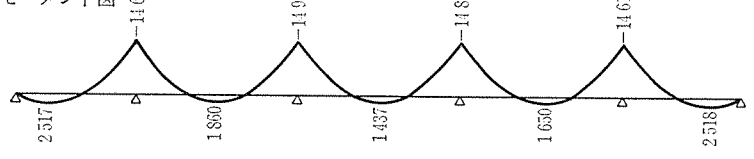


せん断力図



CASE 5(-)(設計荷重時: M_{min})

モーメント図



せん断力図

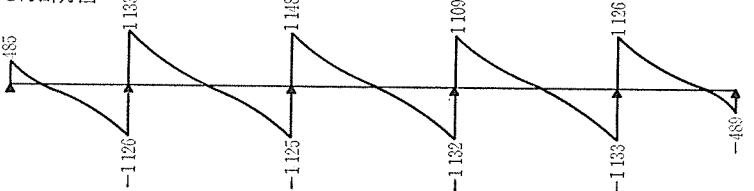


図-7 曲げモーメント, せん断力図

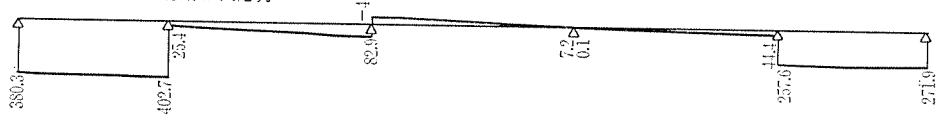
主桁自重



橋面荷重



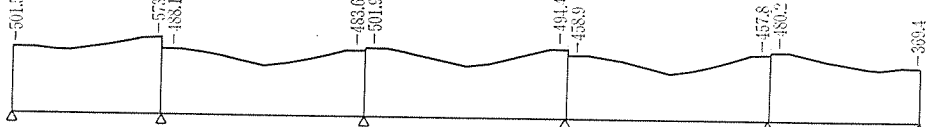
プレストレス有効2次応力



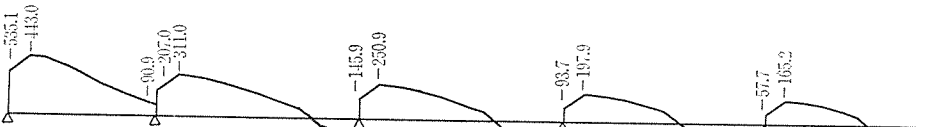
活荷重(ねじりモーメント最大時)



活荷重(ねじりモーメント最小時)



活荷重(せん断力最大時)



活荷重(せん断力最小時)

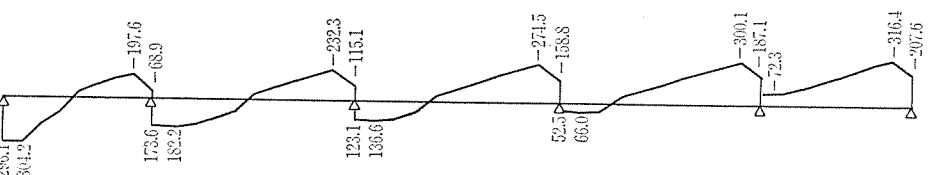


図-8 ねじりモーメント図

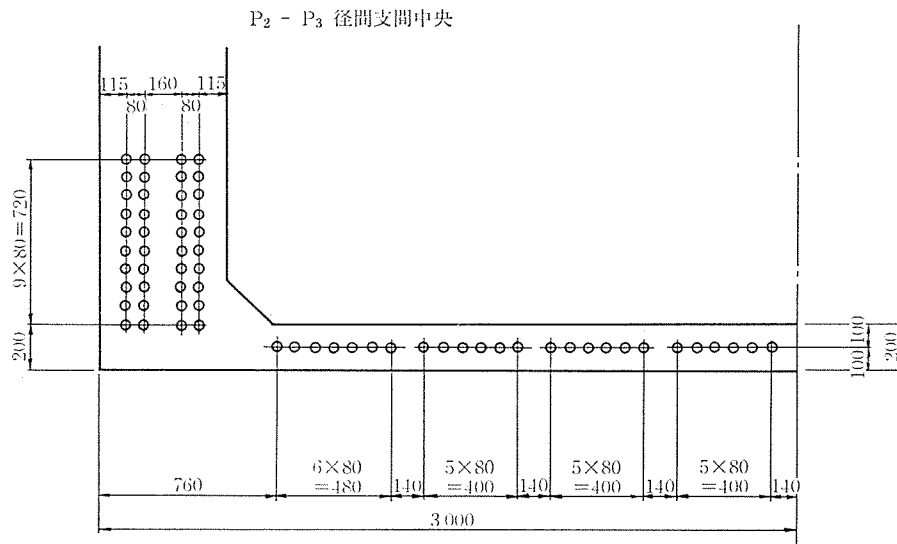
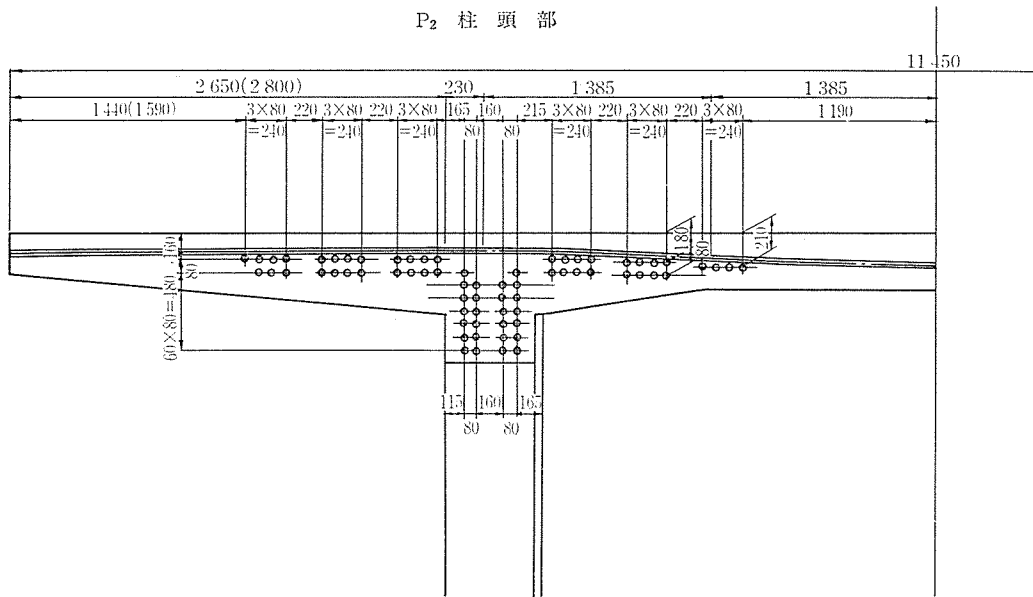


図-9 鋼材配置図

せん断力およびねじりモーメントによるせん断応力度に対しては、スターラップ優先で抵抗させるものとした。すなわち、施工性からみて限度と考えられる D 22 ctc 125 をスターラップの最大許容配置密度とし、必要鉄筋量がこれに達するまではすべて鉄筋でせん断に抵抗させ、必要量がこれを越える場合のみ、不足量を鉛直 PC 鋼棒でもたせることにした。この結果、スターラップはほぼ全橋にわたって D22 ctc 125 が配置されることになり、鉛直 PC 鋼棒は支点付近を除いて最小必要間隔（桁高の 1/2 以下）で配置されることになった。鉛直 PC 鋼棒には、ディビダーク鋼棒 B 種 2 号 $\phi 32$ を使用している。

3.4 横方向の設計

床版の設計はボックスラーメン解析で行った結果、横締め PC 鋼棒（ディビダーク鋼棒 A 種 2 号 $\phi 32$ ）は、桁端部で 35 cm となるほかは、全橋にわたって 50 cm ピッチで配置されることとなった。

横桁の設計は、横桁を、支承で単純支持されて有効幅上の荷重は全面で受け、有効幅以外のすべての荷重は主

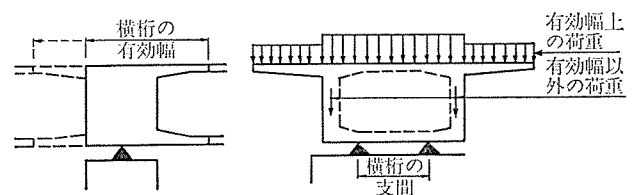


図-10

◇工事報告◇

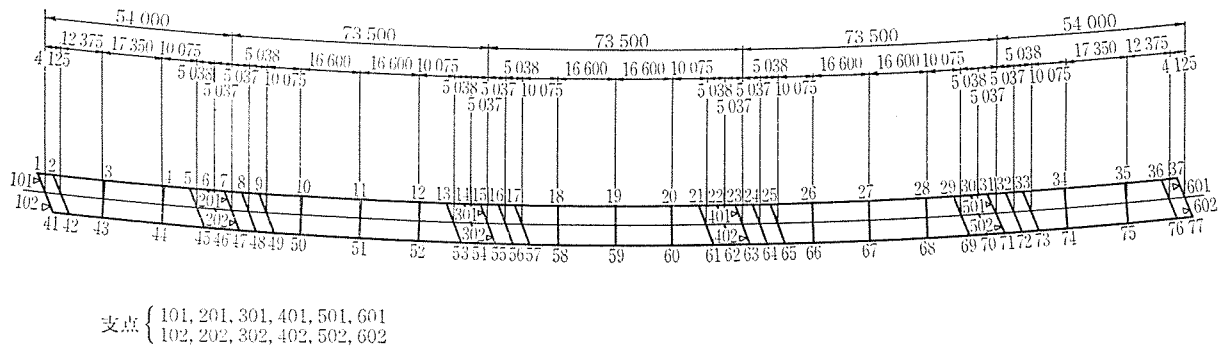


図-11 格子骨組図

桁のウェブを通して受ける梁と考へて行つた(図-10)。平面曲線および斜角によつて生じる横桁のねじりモーメントは、図-11に示すような骨組構造により2主桁格子解析で求めた。

3.5 柱頭部の設計

連続桁の柱頭部は通常、支点反力を受ける隔壁と施工時仮固定鉛直締め鋼棒を通す2枚の隔壁の合計3枚の壁から成る中空構造とするのが一般的である(図-12)。

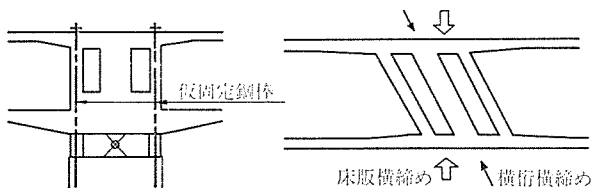


図-12

しかし、本橋のように70°以下の斜角をもつた構造の場合、中空にすると床版や横桁の横締めによる平面的な壁の曲げが大きくなり、またねじりモーメントに対しても弱い構造となることが懸念されたため、充実構造を採用した。

このため、P₂、P₄、P₅(可動支承部)では3.5m、P₃(固定支承部)では4.5mの横桁厚となるので、3.4で述べた梁理論による解析のほか、モデル構造のFEM解析を行つてマッシブな構造の応力を照査している(図-13~16)。メッシュが若干荒いために、支点拘束を設けた部分で値が乱れているが、隔壁に生じるせん断応力度としては、梁理論による場合と同様の傾向を示すこと

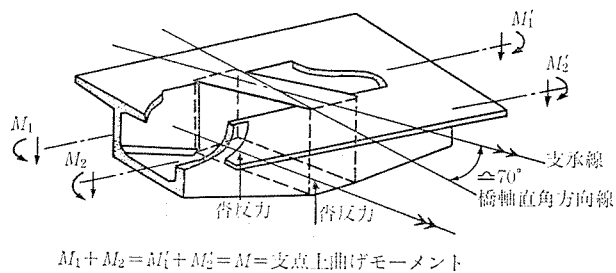


図-13 概要図

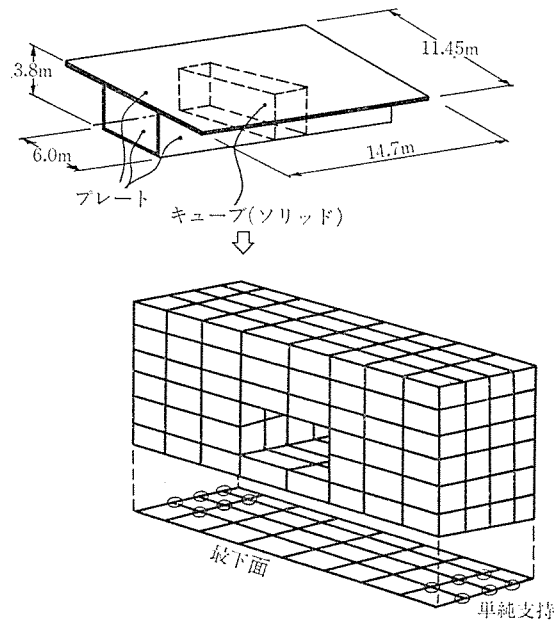


図-14 モデル図

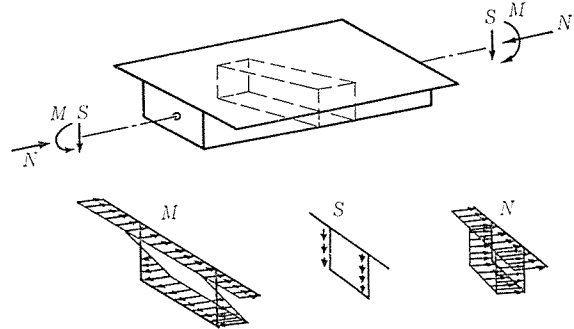


図-15 荷重載荷図

が確かめられた。

4. 施工

4.1 仮設棧橋

仮設棧橋は資材搬入等の工事用通路と作業台確保を目的として架設した。航路確保のためP₃、P₄橋脚間45mをのぞき、右岸側より12スパン120m、左岸側より13スパン134mをそれぞれ架設した。昭和60年11月1日より施工し、撤去完了は昭和61年5月30日であつ

$T_{zz}(t/m^2)$ = 橋軸方向に垂直な面内での鉛直方向せん断応力度
(\approx 主桁のせん断応力度と重なる)

| 1 | | | | 2 | | | | 3 | | | | 4 | | | |
|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|
| 一 | 二 | 三 | 四 | 一 | 二 | 三 | 四 | 一 | 二 | 三 | 四 | 一 | 二 | 三 | 四 |
| -72 | 9 | 30 | 28 | -56 | -14 | 6 | 0 | -36 | -10 | -8 | -1 | -25 | -13 | -11 | 2 |
| -117 | 0 | 62 | 80 | -112 | -32 | 41 | 57 | -86 | -36 | 19 | 48 | -63 | -35 | 7 | 43 |
| -132 | -4 | 92 | 104 | -130 | -53 | 68 | 87 | -119 | -57 | 59 | 83 | -67 | -33 | 31 | 48 |
| -134 | 5 | 117 | 125 | -120 | -68 | 74 | 113 | -172 | -80 | 91 | 123 | | | | |
| -119 | 54 | 94 | 139 | -77 | -16 | 15 | 126 | -136 | -1 | -12 | 50 | | | | |
| -48 | 129 | 60 | -29 | 164 | 60 | -40 | -137 | 151 | 16 | -53 | -187 | 167 | 34 | -54 | -126 |

$T_{xy}, T_{yz}(t/m^2)$ = 橋軸直角方向に垂直な面内での水平および鉛直方向せん断応力度
(\approx 横桁のねじり)

| 1 | | | | 2 | | | | 3 | | | | 4 | | | |
|-----|------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| 一 | 二 | 三 | 四 | 一 | 二 | 三 | 四 | 一 | 二 | 三 | 四 | 一 | 二 | 三 | 四 |
| -50 | 17 | 35 | 35 | -22 | 5 | 34 | 41 | -14 | -3 | 19 | 38 | -13 | -5 | 13 | 31 |
| 102 | | 67 | 65 | 65 | | 33 | 32 | 32 | | -20 | 31 | -20 | | -20 | 31 |
| 135 | 36 | 29 | 53 | 100 | -34 | -15 | 8 | 64 | 8 | 32 | -19 | 43 | 13 | 35 | -41 |
| 129 | -37 | -59 | 37 | 104 | -37 | -30 | -27 | 73 | -27 | -28 | -37 | 50 | -32 | -32 | -43 |
| 137 | -35 | -45 | 6 | 115 | -40 | -70 | -28 | 79 | -60 | -56 | -45 | | | | |
| 233 | 138 | -189 | -77 | 141 | -37 | -138 | -29 | -43 | -38 | 6 | 23 | | | | |
| 576 | -551 | -387 | 343 | -62 | -369 | -32 | 166 | -193 | -101 | 34 | 41 | -103 | -41 | 37 | 58 |
| 223 | 412 | -419 | -150 | -46 | 27 | -180 | 52 | -96 | 16 | 16 | 48 | 81 | 86 | -20 | 10 |

上段 = T_{xy} : 水平方向, 下段 = T_{yz} : 鉛直方向

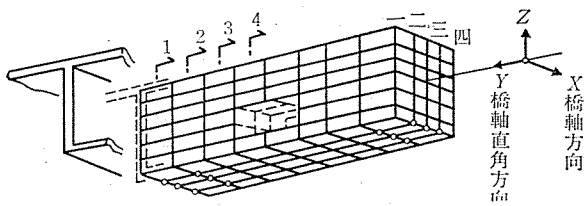


図-16 せん断応力度の結果

た。

栈橋施工は、作業台の位置関係、栈橋の位置関係に十分な検討を重ねて行った。作業台は、下沓(4.5t)セット時 50t クローラークレーンで吊上げ可能な位置(沓位置より旋回中心が 18m 以内)にクレーンを設置できるように架設し、栈橋は上り線のワーゲン組立時、ガーダー材が当たらないよう、構造物の張出し先端と栈橋との間隔を 2.0m とし架設した(写真-2~4, 図-17)。

4.2 柱頭部の断工

栈橋完成後、橋脚上部に鋼製ブラケットを取り付け、その上にH鋼を敷き並べ、ピティ枠を組み立てて柱頭部



写真-2 仮設栈橋

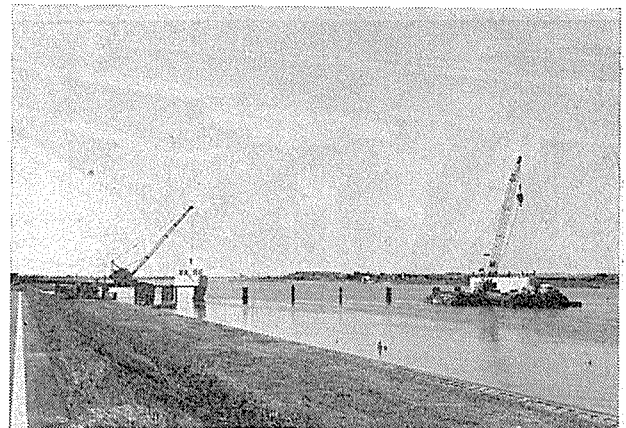


写真-3 仮設栈橋

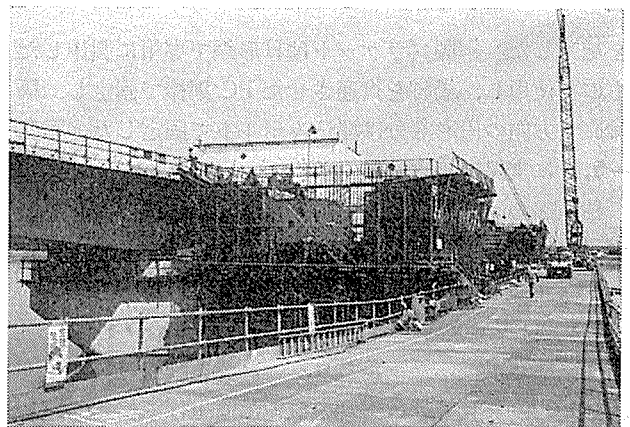


写真-4 仮設栈橋

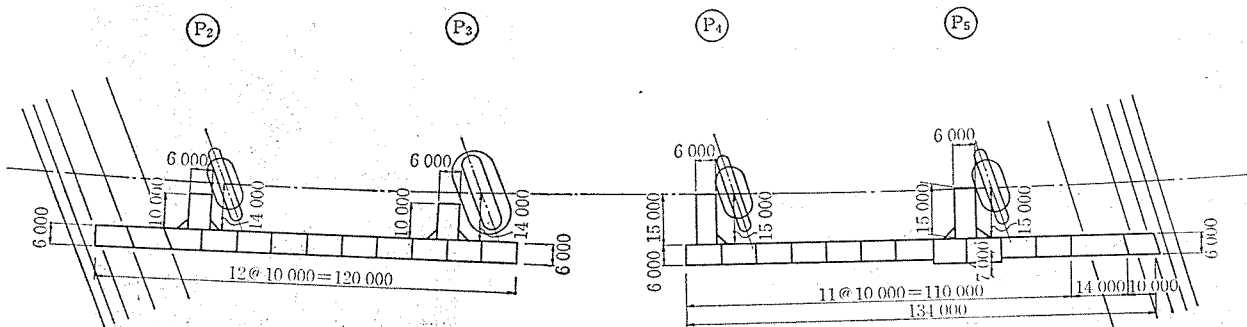
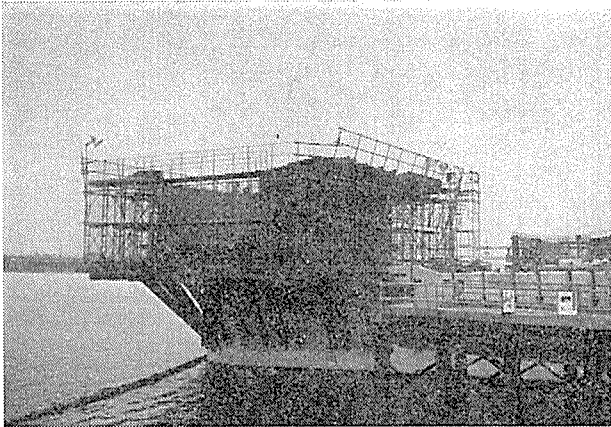
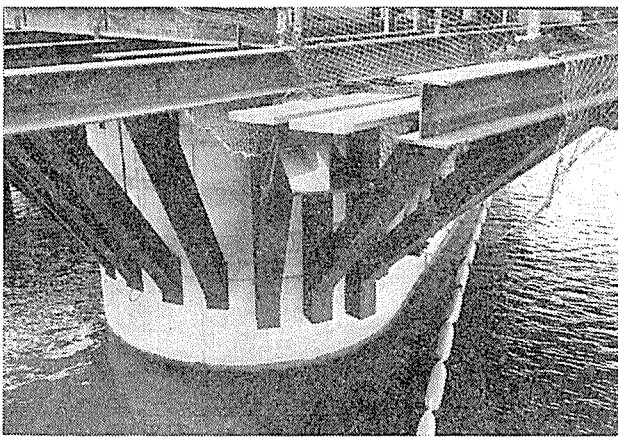


図-17 仮栈橋架設図

◇工事報告◇



写真—5 支保工組立状況



写真—6 支保工組立状況

を施工した。鋼製ブラケットはH形鋼で専用に製作したものを使用し、橋脚を貫通させたPC鋼棒で固定し、橋軸直角方向の円形部分は埋込みボルトで固定した。写真—5, 6 に支保工組立状況を示す。

柱頭部のコンクリート打設は下床版およびウェブをまず同時に打設し、その後、内支保工を組み立てて上床版コンクリートを打設した。

4.3 ワーゲン部の施工

柱頭部施工後、フォルパウーゲンを仮設栈橋上で地組し、50tクローラークレーンで吊り上げて柱頭部にセットした。柱頭部の桁長は12mとしていたので、2台同時に組み立てることができた。P₂、P₃、P₄、P₅橋脚の左右に合計8台のワーゲンを使用して片持張出し施工を行った。

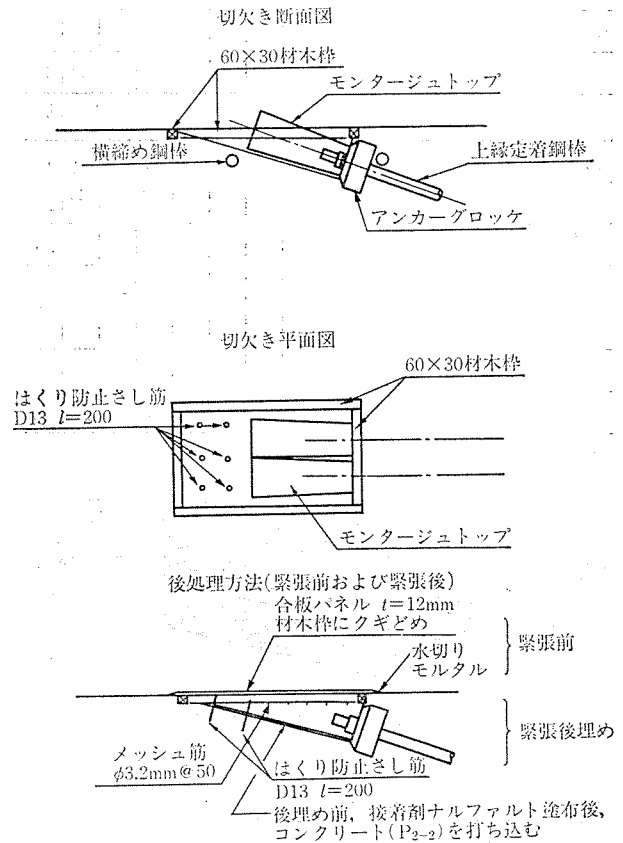
下り線の施工終了後、ワーゲンは上り線の施工に転用している。

P₃~P₄間の施工は、最低でも20m以上の航路幅が常に確保できるように配慮して工程の管理を行った。

コンクリート打設は、栈橋のある期間はポンプ車による打設を行い、栈橋撤去後はトラッククレーンとフォークリフト車の使用による打設とした。スランプは7±

1.5cmであったが、締固めは良好であった。

本橋は多径間連続桁であるため、径間部でPC鋼棒の桁上縁定着が避け難く、図—18 および写真—7~9 に示すように跡埋めコンクリートの剝離防止処置に留意して施工を行った。



図—18 上縁定着部切欠きおよび後処理方法



写真—7 上縁定着部後処理



写真—8 上縁定着部後埋め

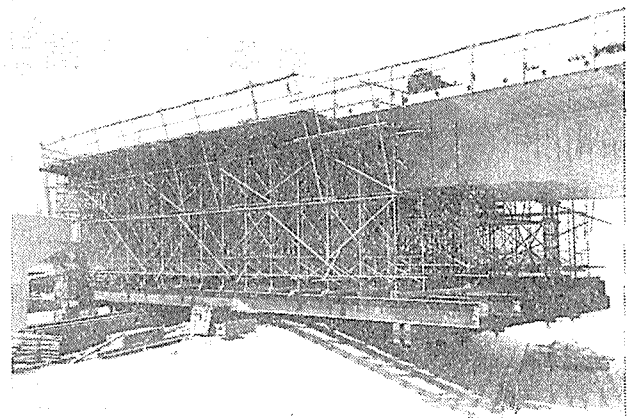


写真—9 上縁定着部後埋め

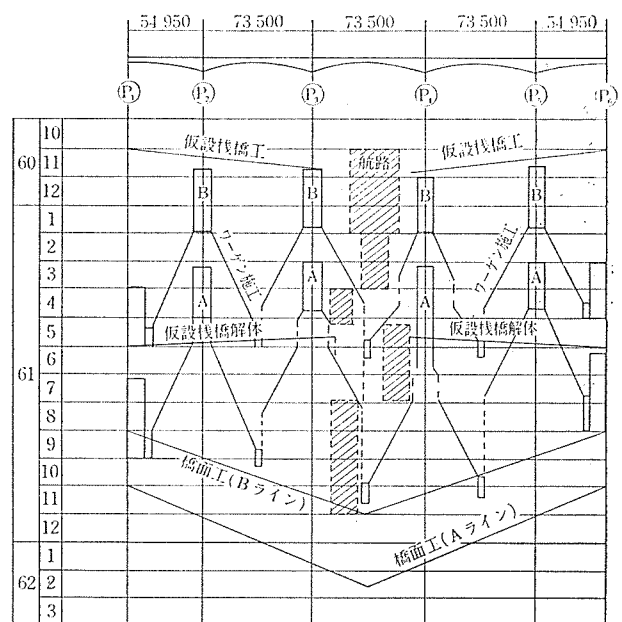
4.4 支保工部の施工

側径間支保工部の全長は 19.35 m である。支保工組立状況を 写真—10 に示す。当初、接地式支保工区間と吊支保工区間に分けて施工を考えていたが、施工が豊水期に入り込むため、河川内にH鋼杭等の打込みが不可能となった。軟弱地盤地帯であるため、堤体上に支点を設けることが可能かどうか載荷試験を行うと同時に、ボーリングデータより地盤支持力や正確な沈下量を推定する検討を重ねて堤体上に支点を設けた。また堤内地側はフーチング基礎より支持する四角支柱による支点を設け、堤外地（ワーゲンブロック施工側）はゲビンデスターブによる吊支点とし、全長 19.35 m を連続で施工した。

下床版およびウェブと上床版との2回に分けてコンクリート打設を行ったが、計算上の地盤沈下と実際の沈下



写真—10 側径間支保工組立状況



図—19 工程表

量はほぼ一致し 30 mm~20 mm であった。

4.5 工事工程

渇水期の仮設栈橋使用と航路確保とに留意して、全体の工事工程は 図—19 に示すように計画されている。

5. あとがき

渇水期（仮設栈橋のある間）に下り線の大部分と上り線の柱頭部施工完了をめざして工事を進めた結果、昭和 61 年 7 月現在、すでに仮設栈橋の撤去も無事完了し、下り線は連結を終え、上り線のワーゲン施工も順調に進行して、数ブロックを余すのみとなっている。

工事の無事完了を祈念するしだいである。

【昭和 61 年 7 月 16 日受付】