

都市内 PC 下路鉄道橋の設計と施工

小 須 田 紀 元*
平 井 義 啓**

1. ま え が き

都市内の鉄道橋においては、騒音，振動防止の観点からコンクリート橋の採用を条件とされることが多く，かつ桁高が制限される場合は，下路形式の橋梁となる。

PC 下路橋は，U字形断面形の橋梁であるが，桁重量が大きいため通常は，総足場によって施工されている。

このような橋梁を主要幹線道路，鉄道等交通規制が非常に強い場所に架設する必要がある場合には，施工方法について，特別な配慮をせねばならない。

踏切除去工事等，鉄道高架化工事においては，アプローチ部分の工事費を含めた経済的な理由からも，この種の工事は，今後増加する傾向にあると考えられる。

今回南方貨物線昭和架道橋にこの種条件の橋梁を施工したので，設計施工記録を報告し，参考に供する次第である。

昭和架道橋は，名古屋市中区東中島町付近で南方貨物線と国道1号線が立体交差する地点に施工した PC 下路鉄道橋である（図-1）。

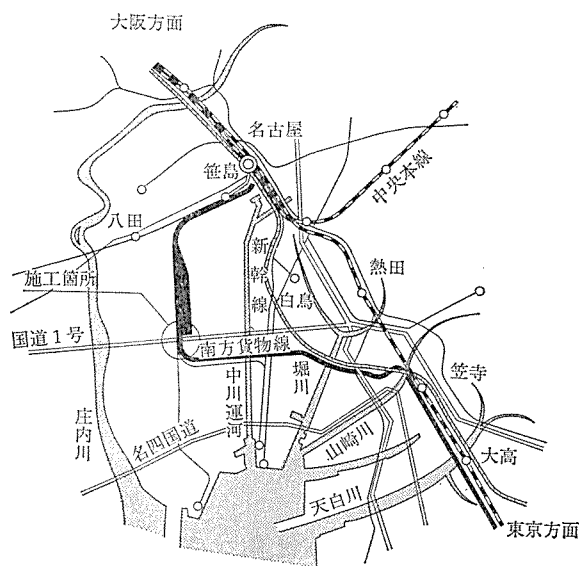


図-1 位置図

* 国鉄構造物設計事務所

** 国鉄岐工名古屋工事区

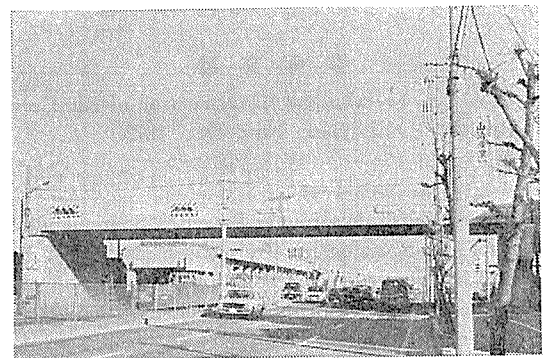


写真-1 昭和架道橋全景

この地点では，南方貨物線（複線）と，西名古屋港線（単線）が平行に走っており，それぞれ複線下路橋，単線下路橋として計画された。

国道1号線は，交通量が多く，施工時に交通規制を行うことは，困難であるため，設計上および施工計画，交通阻害のないように極力工夫した。

2. 設 計

1) 設計時点で仮定した施工方法

前述したように，本橋の施工にあたっては，道路交通を阻害しないことが条件であったので，施工方法としては橋梁側の主桁を移動架設し，この主桁を支持材として吊型枠および吊足場をセットし，断面中央スラブ部分の施工をする方法をとることにした。

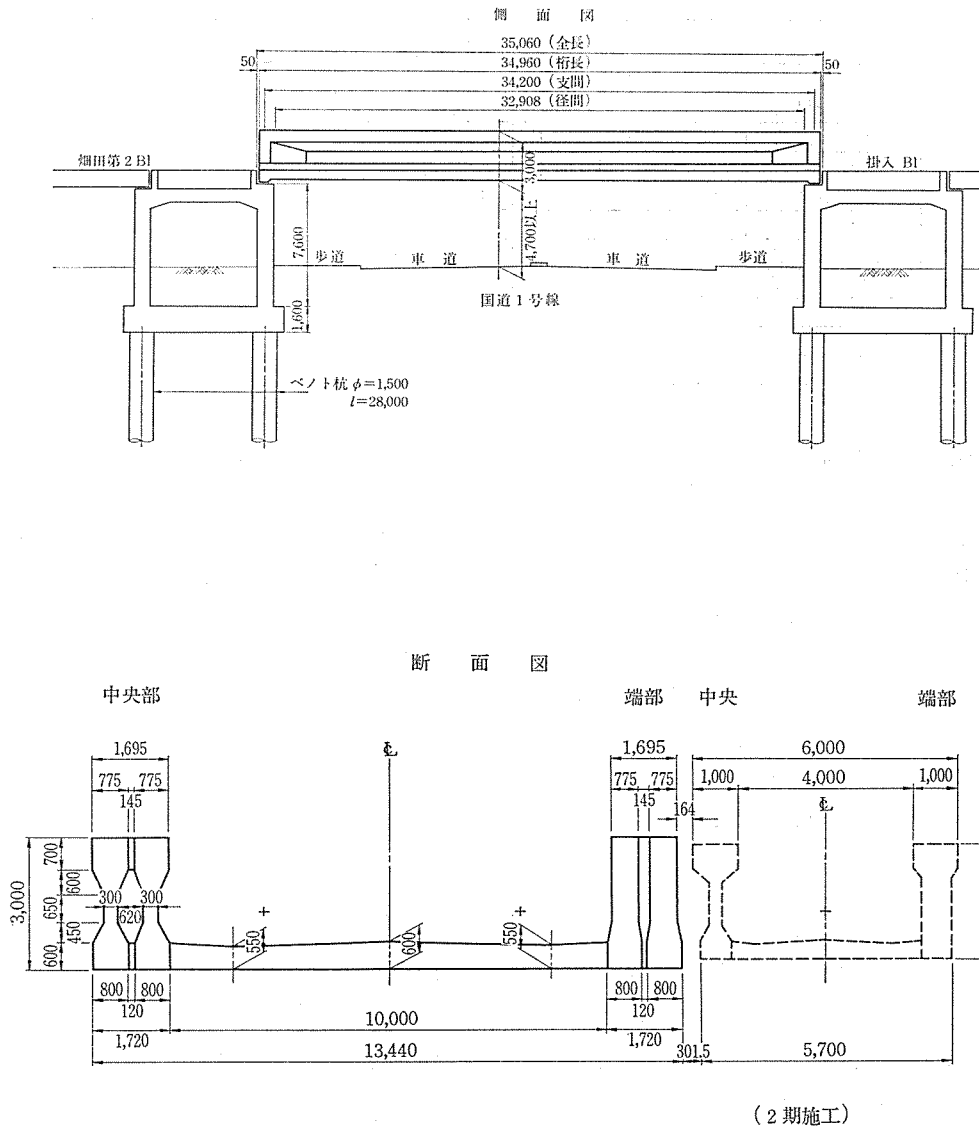
2) 設計の概要

(イ) 主桁断面

複線橋の主桁断面は，吊型枠をセットする際の主桁の横方向の安定が良いように箱形断面とし，支承についても同様の配慮からベアリングプレート沓を用いずにゴム沓を採用した。

また，主桁を移動架設するために，移動架設可能重量（約 150 t）以下とするために，箱形断面を二分割し，I 形断面桁 2 本を個々に移動架設し，移動架設後，所定の主桁位置において，合成し箱形断面の主桁とすることにした。

なお，軌道中心間隔が 6 m もあるので，床版中央部にも主桁を配置する，いわゆる 3 主桁の下路橋とする案も



図一2

考えられたが、特にメリットはなく、むしろ、中央の主桁が軌道間に大きな壁を形成することになり、前後の高架橋との、軌道空間の不一致による保守上の不便が考えられ、不採用とした。

(ロ) プレストレス

プレストレスは、2回に分割して行った。1次プレストレスは、移動架設前の主桁に行い、この量は、自重、床版重量、吊型枠、吊足場の重量を安全に支持可能な量とした（I形断面桁毎 12 T 12.4 各8本）。

下路橋のスラブ部分は、単純桁においては、引張側となる。このような部分のコンクリートを2次施工とすることは、コンクリートの乾燥収縮によるひび割れが発生し易いと考えなければならない。

すなわち、乾燥収縮による元引張応力がスラブ橋軸方向には相当量生ずるので、床版部の橋軸方向プレスト

レスは、この元応力をカバーできるように与えることが必要である。主桁とスラブとの乾燥収縮ひずみ差を 100 μ 程度考慮すれば、スラブ部分のプレストレスとしては、設計荷重作用時において、30 kg/cm² 程度のプレストレスの余裕は必要と考えられる。

したがって、1次プレストレスは必要最小限とし、2次プレストレス量を多くすることが、このような施工にあたっては必要である。

3. 施 工

1) 施工計画

本PC桁は、一般国道1号線上に架設するもので、桁の製作、架設計画にあたっては次の事項について考慮した。

- (1) 一般国道1号線の交通量が多いため、極力交通

表-1 主桁製作詳細工程

	1		2		3		4		備 考
	10	20	10	20	10	20	10	20	
ガーダー支保工									
ガーダー組立									
" 架設									
ベース組立									横桁架設, 門形クレーン, 防護工
支保工撤去									
主 桁									
主桁製作			18	16	16	16			
" 架設									
			75日						
" 合成									

制限を少なくする工法とする。

(2) 主桁の重量が 163 t/本と重く特殊な桁であるため、架設においてはできるかぎり手持ちの架設機材を使用できる工法とする。また、主桁の形状が、高さ 3.0 m 幅 0.8 m とスレンダーな桁であるため、製作から架設までの移動量を少なくする。

(3) 道路の地下埋設物に対する影響を考慮する。

以上により、道路管理者等関係者と打合せ、種々検討した結果、一般国道 1 号線上にガーダー支保工を架設し、その上で桁を製作するガーダー支保工上製作方式を採用した。

2) 施工順序および工程

施工順序は、ガーダー支保工上で主桁を 1 本ずつ製作、架設し、主桁合成後、吊型枠により床版製作をすることにした。

また、桁製作は、道路上で施工するため、道路管理者から工期短縮を要望された。ガーダー支保工および桁製作の詳細工程は表-1 に示す。

3) 主な現場設備

(1) 主桁製作設備

主桁を製作するガーダー支保工は、図-3 に示すとおり 4 主桁、桁長 54 m とした。桁には、NT パネルを使

用し、高架橋上で組立てを行い、横桁には、H 形鋼 (300 × 300 × 10 × 15 mm) を使用した。

ガーダーの架設は手延式とし、組立前にプレーンローラー 4 組/1 箇所を 5 箇所設置、減速ウインチ (7.5 HP) で移動架設とした。

またガーダーのタワミを少なくするため、スパン中央 (中央分離帯) に H 形鋼造の中間支保工を設け、基礎は鋼矢板 (Ⅲ型) を用いた。

ガーダー支保工および高架橋上には、門形クレーン (2.8 t 吊) を設置し材料運搬等に使用した。

(2) 床版製作設備

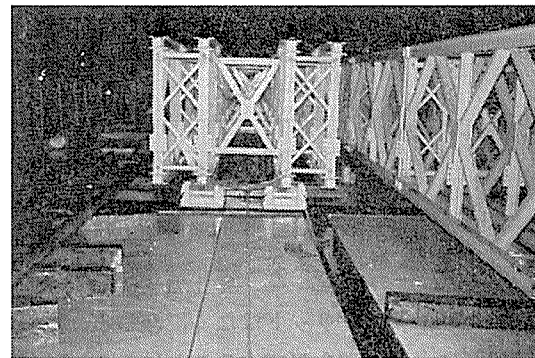


写真-2 ガーダー NT パネル

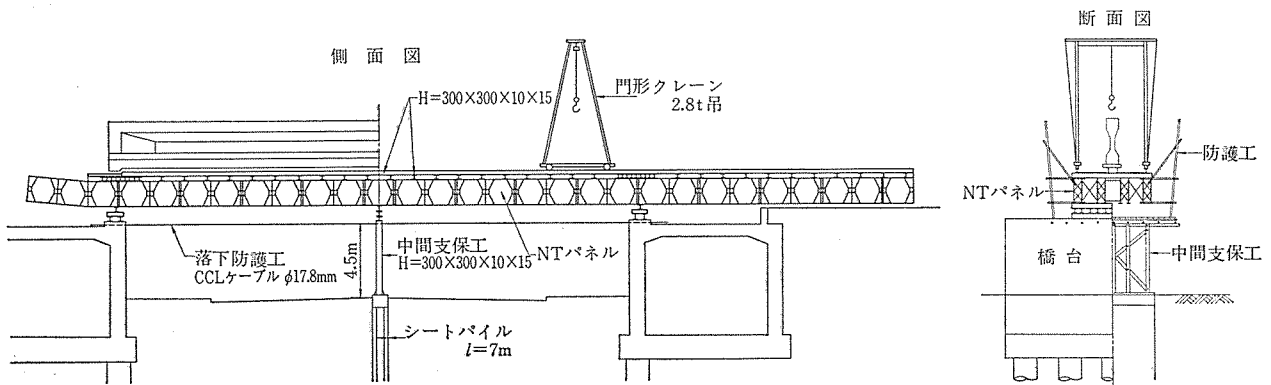


図-3 主桁製作設備

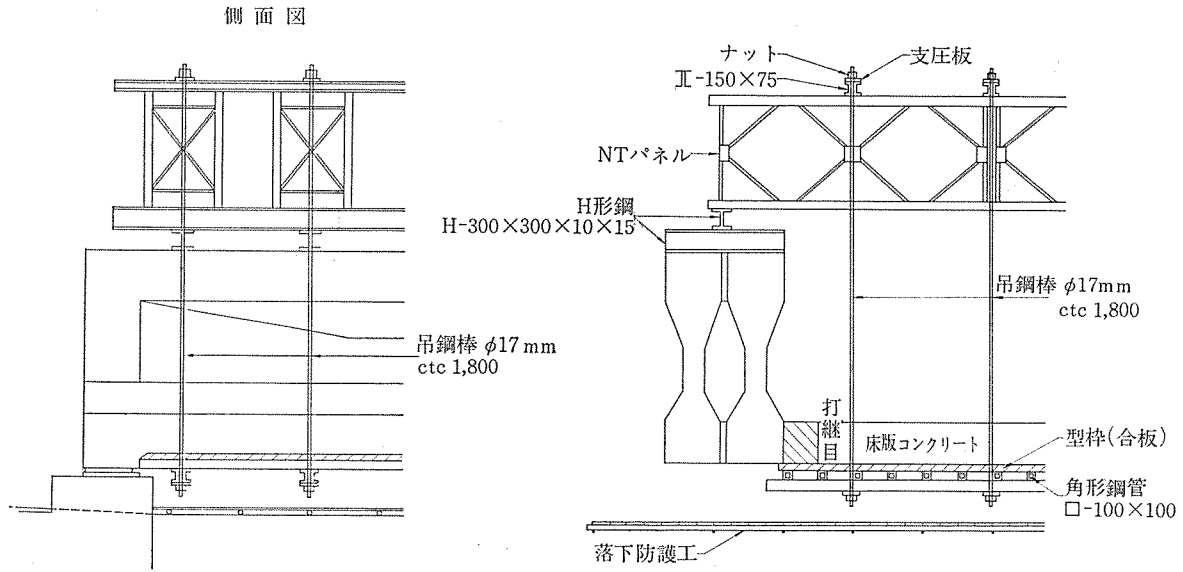


図-4 床版製作設備

床版支保工は、図-4 に示すとおり主桁を利用した吊支保工とした。

上部吊り梁は、主桁支保工に用いたガーダー（NTパネル）を組替えて 0.9 m 間隔に架設した。

吊り材は鋼棒 φ16 mm を、受け梁は架設および撤去を考慮して C 形鋼（2 C-150×75×6.5）を使用した。

上部吊り梁架設は、高架橋上で組替えトラッククレーン（35 t 吊）により架設した。

(3) 落下防護工

落下防護工は、道路面上、空頭 4.5 m 確保する必要があるため、新設桁下との余裕を多くとるため、ケーブル支保工を用いた。ケーブルには PC 鋼より線 φ17.8 mm を 11 本用い、横方向には単管 φ 48.6 mm を 1 m 間隔に組み、その上に足場板およびシートを敷設した。

4) 主な施工

(1) 鉄筋および PC 鋼材の配置

本下路 PC 桁には、PC 鋼材の縦締め、横締め、垂直締め、および鉄筋が配置されている。工事に先立ち、これらの相互関係を調べスムーズなケーブルの配置を行った。特に縦締めケーブルと横締めケーブルおよびスターラップとの支障の有無を検討した。

鉄筋は、高架上において所定の形に加工し、あらかじめスターラップおよびはかま筋等は設計図どおり組立て、運搬配置した。

ケーブルの配置は、あらかじめ水平鉄筋をスターラップに配置しておきシースを所定の高さに固定し、PC 鋼より線を挿入した。

(2) コンクリートの配合

主桁および床版の施工時期は、6 月～11 月であった。コンクリートの配合にあたっては、コンクリートの硬化熱および乾燥収縮によるひび割れの発生を少なくするよう考慮し、必要強度を得る最小セメント量を決定した。

また、主桁の施工は、前に述べたように、工期短縮を要望されたため、主桁コンクリートは、早強セメントを使用し、床版の打継目には、容積変化を押えるため、混和材として無収縮材（ジブカル）を使用した。コンクリートの配合は表-2 に示す。

(3) コンクリートの打込みおよび締め

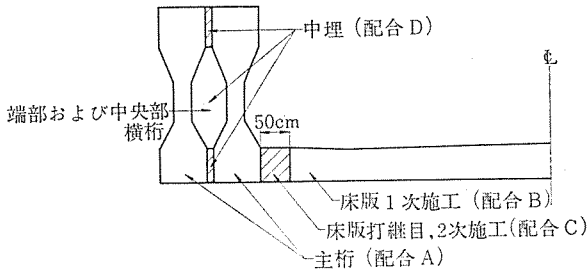
(i) 主桁コンクリート

コンクリートの施工区分は、施工順序から、主桁、中埋および床版コンクリートを分割して施工した。

主桁コンクリートの打込みは、下突縁および腹部と上

表-2 コンクリート配合表

配合	組骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m³)					
						セメント C	水 W	細骨材 S	組骨材 G	混和剤	
										ポゾリス No5 L	ジブカル
A	25	6±1.5	3±1	38.3	37.2	431	165	658	1159	1.077	—
B	25	6±1.5	3±1	39.7	38.6	401	159	699	1159	1.002	—
C	25	6±1.5	3±1	39.7	38.6	371	159	699	1159	1.002	30
D	25	8±2.5	4±1	47.5	40.1	343	163	731	1137	0.857	—



突縁とに分けた層状片押し式とした。

コンクリートの締固めには、型枠振動機および内部振動機を使用し、支保工のタワミ等特に注意し施工した。

(ii) 中埋コンクリート

中埋コンクリートの上縁幅は 14.5 cm, 下縁幅は 12.0 cm とせまく、主桁中央部の横桁の型枠 および上縁型枠は、あらかじめ、主桁架設前に取付けを考えた。

コンクリートの打込みは、下縁と横桁および上縁とに分け打設し、下縁部のコンクリートの締固めには、内部振動機と補助としてハンドバイブレーターを使用した。

(iii) 床版コンクリート

床版コンクリートの施工は、主桁との材令差によるコンクリートの乾燥収縮、吊支保工の沈下によるひび割れの発生を防止するため、主桁側に 50 cm の打継目を設け、2回に分けて施工した。

打継目には金網 (5 mm 目) を用い鉄筋で補強した。打継目部には、乾燥収縮ひび割れの発生するおそれがあるため、無収縮材を配合したコンクリートを用いた。

この結果、収縮ひび割れの発生は認められなかった。

(4) 主桁の架設

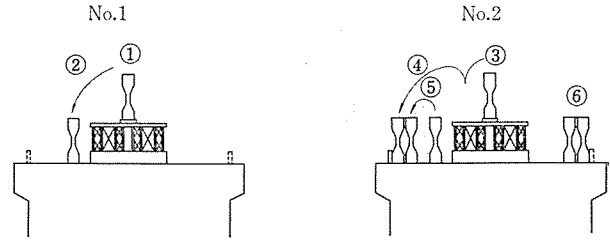


図-5 主桁架設順序図

主桁の架設は、トラッククレーン (150 t 吊) 2 台の相吊で施工した (図-5)。

仮設順序は次のとおりである。

- ①内側主桁製作
- ②内側主桁仮置 (トラッククレーン 2 台による相吊)
- ③外側主桁製作
- ④外側主桁架設 (トラッククレーン 2 台による相吊)
- ⑤内側主桁架設 (トラッククレーン 2 台による相吊)
- ⑥反対側主桁も上記作業による

主桁架設時の仮支点は、トラッククレーンの設置位置より、桁端から 4.2 m の位置とした。主桁を検討した結果、上縁において許容引張応力度をこえるため、上縁を PC 鋼より線 $\phi 17.8 \text{ mm}$ 6 本を用いて補強した。

主桁の吊装置は、主桁重量 163 t/本と重く、桁高が 3 m と高いため、図-6 に示す構造とした。

また、製作台は、下側吊装置取付けのため、あらかじめ取りはずしできるように配慮した。

5) 施工実績

本工事の施工は、交通量の多い一般国道 1 号線での作業の連続であり、特に夜間の交通規制を伴う作業が多く、

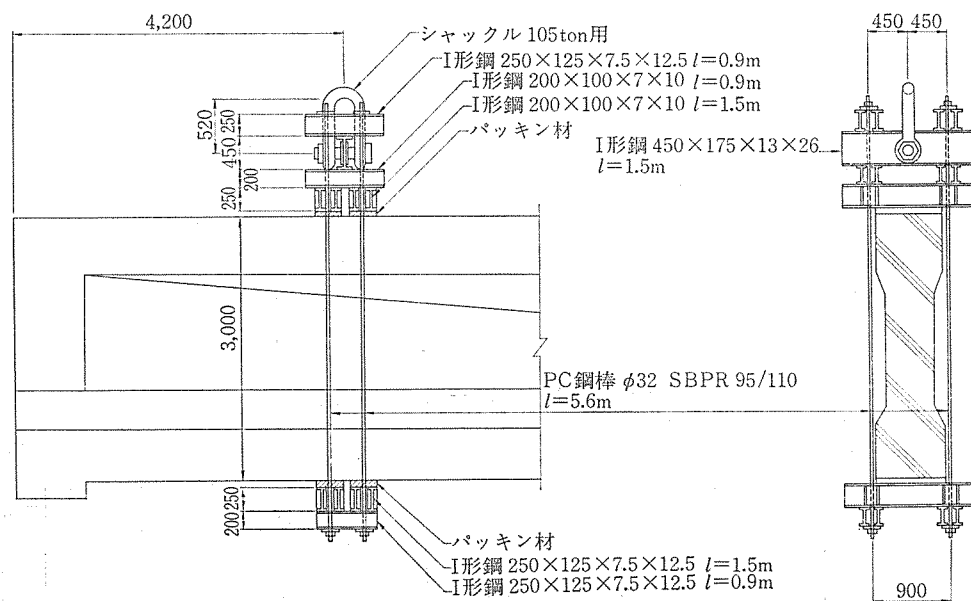


図-6 吊装置図

一般車両および歩行者等への事故防止に努めた。

また、ガーダー支保工および吊支保工による桁の製作等、むずかしい面もあったが、工期 10 カ月を要し、無事完成した。

(1) 支保工

ガーダー支保工および吊支保工のタワミについては不確定な要素があり、支保工の上げ越し量は特に配慮し、コンクリートの打込み時には、常時測定を行った。その結果、最大タワミ量と上げ越し量との差は、主桁は 0.3 cm、床版は 0.1 cm であった。

(2) コンクリート工

主桁コンクリートの打込みは夏期の施工であった。コンクリートの硬化温度は、カールソンひずみ計を埋設して測定した結果、最高 62.4 度であった。

床版コンクリートの施工は、打継目を設けて施工した結果、コンクリートのひび割れの発生等の異常はなかった。また、主桁の中埋および主桁と床版の打継目の下側には、美観上目地を設けた。

(3) 緊張

緊張に先だち、主ケーブルおよび横締めケーブルは、形状の異なるものを 5 本選定し、摩擦測定試験を行い、ケーブル 1 本毎の緊張管理図を作成して施工した。

緊張結果、特に問題の生じたケーブルはなかった。

(4) 桁架設

主桁架設時、吊上げによる桁の横倒れおよび座屈が心配された。

トラッククレーンの吊上げおよび移動の操作には、特に配慮し、作業前の打合せを行い、上記操作は、指揮者に従わせるようにした。

また、トラッククレーンの足場は、鉄板およびマクラギで補強を行い、桁吊上げ時には、足場まわりの監視を行った。

なお、支障する現場付近の架空線は、あらかじめ移転を行い施工したが、移転範囲が少しせまく限られた夜間作業時間のなかで、トラッククレーンの移動、据付けに時間を要した。

(5) 工事費

総工事費は、約 113 百万円で P C 桁 1 m³ 当り約 23 万円であった。

また支保工等仮設費は、全体の約 26% であり、その内訳は表-3 に示す。

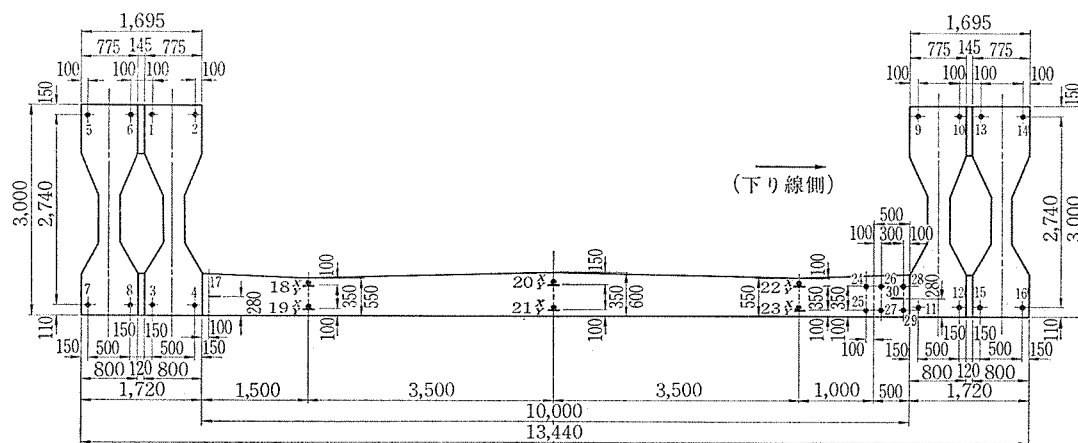
表-3 工 事 費 (単位：百万円)

	総 額	内 訳			備 考
		製作費	仮設費	架設費	
主 桁	64.6	30.2	16.2	18.2	
床 版	39.0	25.4	13.6	—	
高らんその他	9.5	9.5	—	—	
計	113.1	65.1	29.8	18.2	

4. 測 定

1) 一 般

本橋は特殊な施工であり、今後の資料とするために、



カールソンひずみ計

タワミ計

計器位置	中心線上	橋軸方向の両端	中心線上	スパン端部
主 桁	橋軸方向 16ヶ	ナ シ	上下方向 2ヶ	上下方向 4ヶ
ス ラ ブ	橋軸方向 12ヶ・橋軸鉛直方向 8ヶ	橋軸鉛直方向 4ヶ	上下方向 1ヶ	上下方向 2ヶ

X：橋軸鉛直方向

Y：橋軸方向

図-1 ひずみ計およびタワミ計取付位置図(架道中央断面詳細図)

カールソンによるコンクリートの温度およびひずみ測定を行った。

測定の主要な目的は、床版の目地部コンクリート打設の際の挙動を知ること、および、プレストレスの推移を知ることであった。図-7 にスパン中央断面の測点配置図を示す。スラブ部分のコンクリート打設は2回に分割して行った。すなわち、中央部分を1次施工とし、主桁内側面より50cmの区間を2次施工とした。

2) コンクリート温度分布

床版の2次コンクリート打設時のコンクリート温度分布を 図-8 に、同じく温度の推移を 図-9 に示す。

目地部コンクリートの配合は、表-2 に示した。

1次コンクリートの打設は10月15日、2次コンクリート打設は10月19日なので、1次コンクリートの温度は、ほぼ気温に近い状態にあったと考えられる。

最大の温度差は、2次コンクリート打設後12時間後生じ、図-8 に示すように10°Cであった。

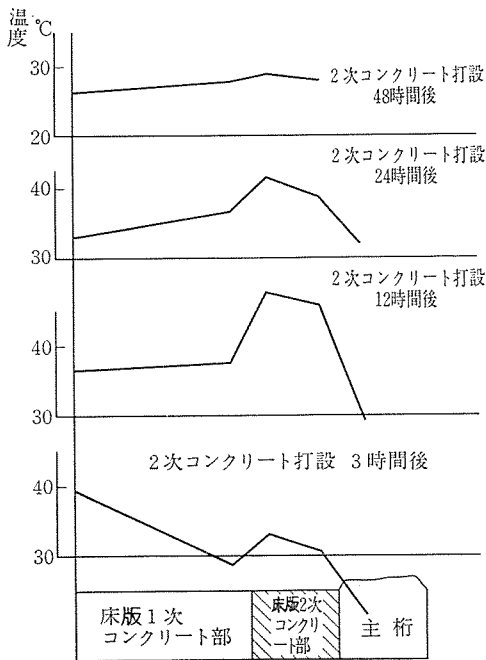


図-8 床版コンクリート温度分布

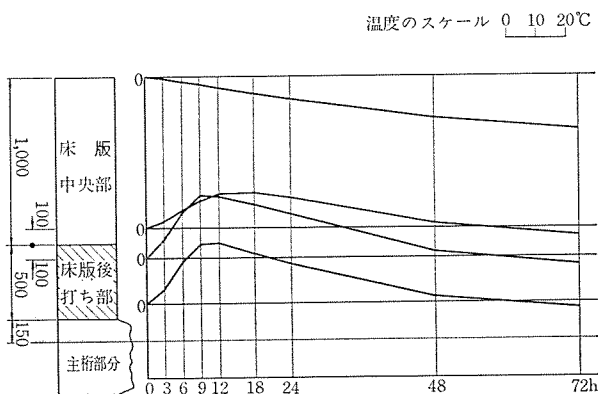


図-9 床版の温度推移

ひずみスケール 0 100 200 × 10⁻⁶

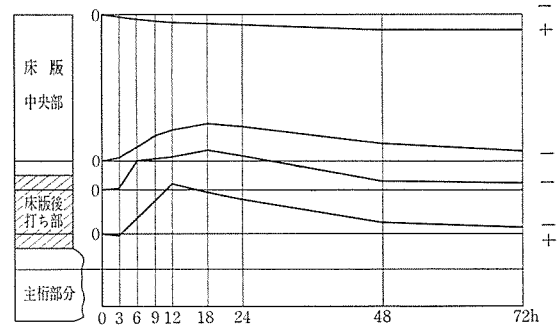


図-10 床版コンクリートのひずみ分布

3) 床版の2次コンクリート打設に伴うコンクリートひずみ

2次コンクリート部と1次コンクリートとのコンクリートひずみの分布を 図-10 に示した。

ここに示すコンクリートのひずみは、温度補正を行った値であるが、温度の時間的な推移と同様の傾向を示している。測定前の予想では、2次コンクリート部には、引張ひずみが残ると考えられたが、温度分布がほぼ一様となった時点(2次コンクリート打設後72時間)では、圧縮ひずみが測定された。

この疑問を解決するために、2次コンクリート部と1次コンクリート部の温度ひずみの相互作用を考慮することにした。

これは1次コンクリート部の温度変化が、2次コンクリート部の測定ひずみに影響することを意味し、同様に、この逆も成立つ。この値は、通常の温度補正では消去できない。

いま1次コンクリート部と2次コンクリート部の境界部の測定の測定値についてこの関係を適用すると、次式が成立つ。

$$a\epsilon_{t1} + \epsilon_{s0} = \epsilon_0 \dots\dots\dots(1)$$

$$a\epsilon_{t0} + \epsilon_{s1} = \epsilon_1 \dots\dots\dots(2)$$

ここで、

a ; 温度ひずみの相互作用に関する係数

ϵ_{t1} ; 1次コンクリート部の温度ひずみ

ϵ_{t0} ; 2次コンクリート部の温度ひずみ

ϵ_0 ; 2次コンクリート部の測定ひずみ

ϵ_1 ; 1次コンクリート部の測定ひずみ

ϵ_{s0} ; 温度変化の相互作用を消去したときの2次コンクリート部のひずみ

ϵ_{s1} ; 温度変化の相互作用を消去したときの1次コンクリート部のひずみ

いま、2次コンクリート打設3時間後より72時間後の間の ϵ_{s0} を計算すると、

$$\epsilon_1 = -20 \times 10^{-6}, \epsilon_0 = -20 \times 10^{-6}, \epsilon_{t1} = -50 \times 10^{-6},$$

$$\epsilon_{t0} = -80 \times 10^{-6}, \epsilon_{s1} = 0$$

として,

$$\epsilon_{s0} = -12 \times 10^{-6}$$

となる。この値は、この時間中に生じた、2次コンクリートの収縮ひずみのトータルと考えられる。

簡易な推論であるが、無収縮性コンクリートを使用した効果ではないかと考えられる。

この関係を12時間後～72時間後に適用すると、約 31×10^{-6} の引張ひずみとなり、この間では、2次コンクリートが膨張していることになる。

4) プレストレス

主方向プレストレスについては、プレストレス導入時より施工完了までの間において、約 300×10^{-6} 程度の塑

性ひずみが測定されたが、プレストレス量は、ほぼ設計値に近い値が得られている。

主桁部と床版コンクリート部のクリープひずみの相互作用については、十分な結果が得られていないので、省略する。

5. あとがき

昭和橋についての設計と施工についての概要を報告致しました。

このような施工は、初めてのことであり、ひび割れ、プレストレス量等について、心配の点も多くありましたが、結果としては、無事に竣工致しました。岐工、その他、関係者の皆様に、深く感謝致します。

1977. 10. 18・受付

1978年版 FIP Notes 購読予約受付について

1977年版は入手部数の関係上、折角のお申込みに対し一部会員の方々にはお断り申し上げ大変失礼いたしました。1978年版につきましてはFIP本部から若干の増量発送が認められましたので、この機会にお早目に下記要領にてお申し込み下さい。予約価格は前年度と変わりません。

- 1) 内 容：ロンドンに事務局を置くFIP (Fédération Internationale de la Précontrainte の略) は、PC技術普及発展のための国際交流機関で、その組織下にある各種委員会の活動状況や世界各国の技術水準を知るにふさわしい工事写真、報告、論文等が掲載されている。
- 2) 発 行：隔月刊(年6回)
- 3) 体 裁：A4判の英文、頁数12~16(不含表紙)
- 4) 価 格：年間(6冊分) 3600円(送料手数料共)
- 5) 申 込：希望者は「ハガキ」に必要部数、送付先(〒)、氏名、所属会社名記入のうえ協会事務局(電03-261-9151)へ、送金は三井銀行銀座支店(普通預金)920-790。なお、部数に制限がありますのでお早目どうぞ。

◀刊行物案内▶

プレストレスト コンクリート構造物の設計実技

- 体 裁：A4判 113頁
 定 価：2000円 送 料 400円
 内 容：(A) PC緊張材定着部材端区間の設計 (B) 建築構造物における設計例 (C) 道路橋における設計例 (D) 鉄道橋の設計例 (E) PCパイルベント橋脚の設計例
 お申込みは代金を添えて、(社)プレストレストコンクリート技術協会へ