

長大 PC 下路鉄道橋の施工

(東北新幹線第二丘里架道橋)

小 林 明 夫*
 村 上 淳 也**
 高 藤 寛***

1. ま え が き

東北新幹線東京起点 66 km 062 m (茨城県猿島郡総和町) に位置する第二丘里架道橋は、都市計画道路と斜角 23°07' で立体交差するため幅員 18.0 m の道路に対し、スパン 61.4 m という長大スパンになった。橋種については、近年の社会的問題である騒音、振動に対し種々の構造を検討した結果プレストレストコンクリート複線下路桁の採用となった。しかしこの種の桁では従来になくスパンが大きく巨大であることから、施工上種々の問題が考えられる。主として施工時のひびわれ対策に重点を置き施工した。また、コンクリートの温度変化、ひずみの測定を行ったので合わせて報告する。

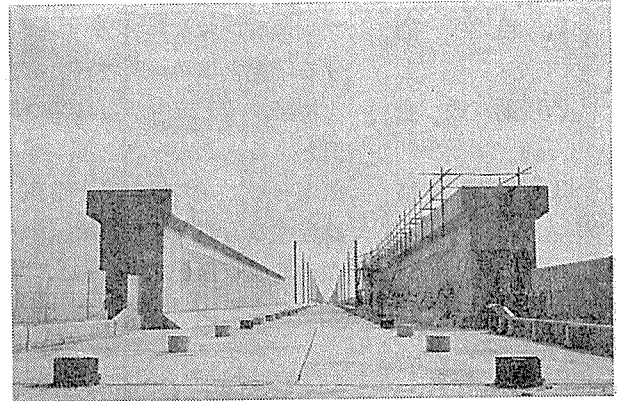


写真-1 桁 全 景

2. 設計の概略

(1) 断面の決定

従来施工された PC 下路桁の断面状は数種あるが、これらはいずれも 50 m 未満のものであった。下路桁は設計荷重に対する自重のしめる割合が大きいのが特徴であり、したがって少しでも経済的設計をするための断面が検討された。本橋は単純桁としては、これまでに例を見ない長スパンであるため、構造上の安定性および鋼材の建込み、型わくの組立、コンクリートの締固めなどを考慮した施工の容易さに重点を置き、主桁は直立のボックス形式とした (図-1)。

(2) 桁の設計

断面力の算定は、平面格子構造として求めた。格子の骨組は主桁 5 本と、横桁 13 本からなる骨組構造とした。各桁の断面二次モーメントは、ⒷⒸ主桁および横桁に関しては、各桁の図心軸に関する値とし、Ⓐ主桁について

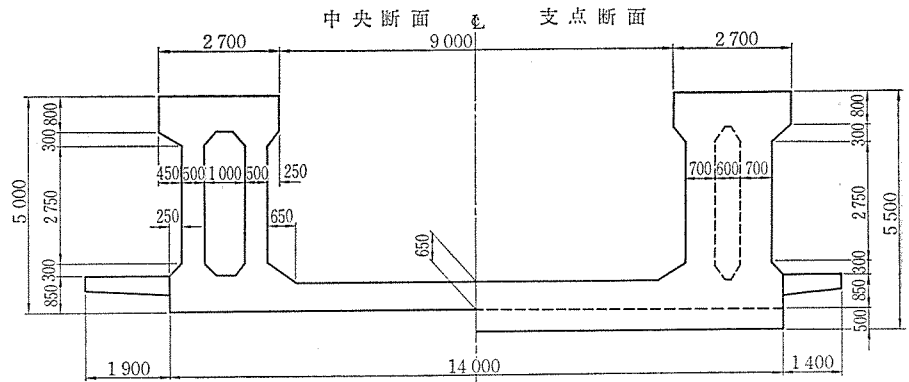


図-1 断面図

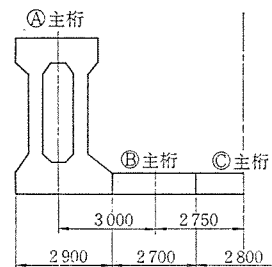


図-2 格子解析上の主桁

は、Ⓐ+Ⓑ+Ⓒが全断面の図心軸に関する断面二次モーメントに等しくなる値に補正した。主方向における断面力の解析結果は表-1 に示すようであるが、横方向については従来のヤコブセン氏の解法による場合と比較すると負の曲げモーメントが小さく出たため主桁中心位置に

* 国鉄福島工事事務所補佐 (元構造物設計事務所補佐)

** 国鉄東京第三工事局

*** 国鉄東京第三工事局

表-1 断面力

	曲げモーメント (t・m)	せん断力 (t)	ねじりモーメント (t・m)
桁自重	12 825	842	71
桁自重以外の死荷重	1 361	91	36
列車荷重	3 034	216	124
合計	17 220	1 149	231

生じた負の曲げモーメントを設計断面であるウェブ付根の負の断面力として検討した。両端横桁においても同様の結果で、安全を見て支間中央の正の曲げモーメントの20%をウェブの付根の負の曲げモーメントに想定して検討した。主要材料は次に示す通りである。

コンクリート ($\sigma_{ck}=450 \text{ kg/cm}^2$)	1490 m ³
鉄筋 (SD 35)	100 t
P C鋼材 主ケーブル ($\phi 12.4 \text{ mm}$)	73.4 t
横締ケーブル (")	19.7 t
鉛直鋼棒 (SBPR95/110 $\phi 26 \text{ mm}$)	6.6 t
橋側歩道鋼棒 (" $\phi 23 \text{ mm}$)	1.5 t

(3) 工 法

表-1 でわかるように曲げモーメント 17 220 t・m に対し、プレストレス導入力は、P C鋼材の偏心量が小さいため初期導入力で 15 000 t 必要である。従来多く使用されている 110 t または 150 t ケーブルでは、それぞれ約 130 ケーブル、80 ケーブル必要となり鋼材の配置が密になり、ケーブル配置、コンクリートの打設および締固めに困難であるため導入力の大きい VSL 工法を採用した。主ケーブルにはわが国で本格的使用が始めてである E5-31 (31- $\phi 12.4 \text{ mm}$) 最大緊張力 300 t (50 ケーブル)、横締めに E5-19 (19- $\phi 12.4 \text{ mm}$) 最大緊張力 200 t (75 cm ピッチ) を使用した。プレストレスによる応力変動の急変をなくすため、主ケーブルはすべて端部定着とし

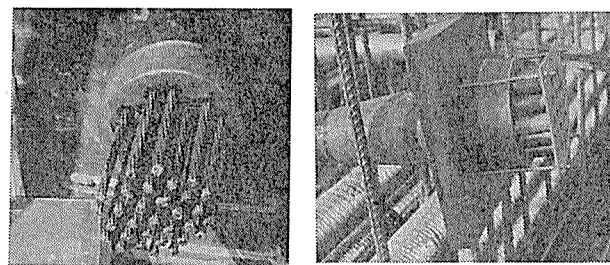


写真-2 VSL 定着具

(左:主ケーブル 右:横締用デッドアンカー)

た。また横締めには、試験緊張ケーブルを除いて固定側にデッドアンカーを使用した。

3. 施 工

(1) 支 保 工

支保工は、H鋼によるくい基礎でH鋼支柱による桁式支保工とした。くい打込み長さは、地質柱状図および載荷試験の結果 13 m 付近のN値 30 以上ある砂礫層で支持した。支保工配置は作用荷重とコンクリート打設方法と支保工桁のたわみ量によって決まる。作用荷重はくいおよび支保工柱に均等に作用し、さらに支保工はコンクリート打設後の不等沈下を防がなければならない。また本橋においてはコンクリートの打設方法による要因でスパン方向の最大スパンが決められた。文献 2) によれば、下床版を打設し硬化後ウェブを打継ぐ場合の下床版に生ずるひずみは、次式で表わされる。

$$4\epsilon \frac{H}{\xi} = \frac{q_H D^2}{8(E_s I_s + E_c I_c)} \left(\frac{h_s}{2} \right) \cdot K(\xi)$$

ここに

$E_s I_s$: 支保工ばりの曲げ剛度

$E_c I_c$: 下床版の曲げ剛度

$$K(\xi) : 4 \left(\frac{\xi}{D} \right) \left\{ 1 - \left(\frac{\xi}{D} \right) \right\}$$

ξ : ひずみ検討位置

q_H : ウェブのコンクリート

重量

h_s : 下床版厚

このひずみは下床版にひびわれが発生する原因となるほかプレストレスされてもひずみが残る設計で考えている応力状態にならなくなる。本橋の場合支保工スパンを 8.0 m にした場合下床版のコンクリート応力度は -12 kg/cm^2 となりまたスパン 4.0 m にすると -3 kg/cm^2 に相当の残留ひずみとなる。これ

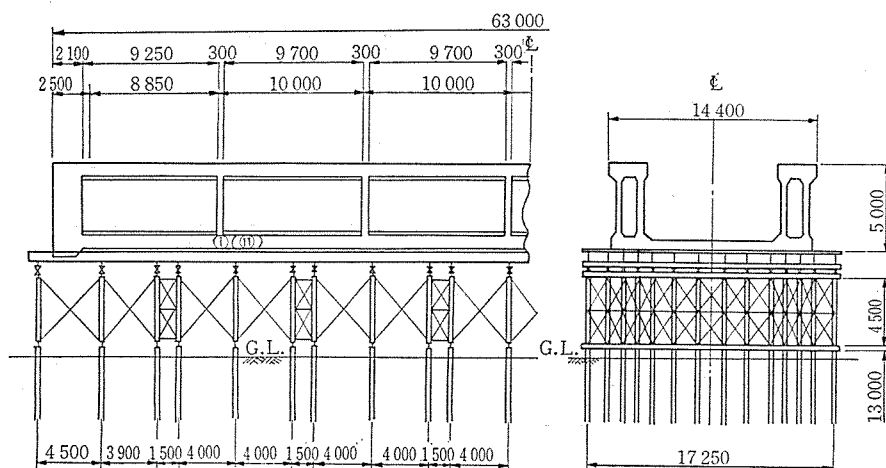


図-3 支 保 工

報 告

より安全を考へて支保工のスパンは4.0mとした。支保工の地震時に対する考へ方は支保工撤去まで長期間を要しプレストレスされない状態が続くため鉛直荷重の5%を水平荷重として考へし斜材を用い耐震構造とした。

(2) 上げ越し

本橋の架設工区は、スラブ軌道区間であるため軌道敷設時の床版レベルの許容値は±10mmとなっている。このため相当厳密に検討する必要がある。支保工に関しては、各部材の接合部のなじみと弾性変形を6mm、くいの沈下量を1mmとし計7mmと想定した。

クリープによるたわみは緊張後から6か月後にスラブ軌道が敷設されることを想定し、この時点でたわみ量が計算上±0になるよう検討した。たわみはコンクリートのヤング係数に左右されると考へてテストピースにより予め測定を行った。その結果ヤング率は $3.1 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$ とした。図-4に示すのは本体打設時のテストピースでの試験結果である。クリープの進行は材令差により異なり変形量に対する影響も大きい。本橋においては、コンクリート打設を大きく分けて3回としたため下床版と上床版の材令差は2か月以上にわたり各部材令が一様でないため表-2のような検討を行って上げ越し量は-15mm(上向き)とした。測定結果は図-5のようであり導入直後で約20mmの下ざりが生じこの時点で計算値と10mm程度の差が生じた。

(3) コンクリートの配合

配合の決定に当っては、施工時のひびわれ発生 の要因である次の事項について特に配慮した。

- (a) $\sigma_{ck} = 450 \text{ kg/cm}^2$ でありかつ部材が大きい。
- (b) 冬期施工である。
- (c) 打設量が多く打設に慎重を期すため分割打設する。

また、ひびわれは発熱による体積変化も原因の一つと考へられる。したがって硬化発熱を低くすることが重要である。セメント量は発熱に関し大きな要因であり、必要最小限にすることに着目し、ひびわれが発生しやすい部分で比較的作用応力の小さいウェブおよび床版中央部にフライアッシュを混入し、セメントと置換することとした。PC桁ではこの種の例がないため、その混入率を10%とした。また同じセメント量の場合、減水剤を用いない方が温度上昇が少ないという報告(文献1)によりこの配合には減水剤を使用しないこととした。

(4) 養生

コンクリート打設期は冬期であり特に風が強い地方である。本橋は部材が大きく高配合コンクリートであるため内部と外部の温度差が大きくひびわれが懸念された。これに対処するため型わくに断熱材(発泡ポリスチレン

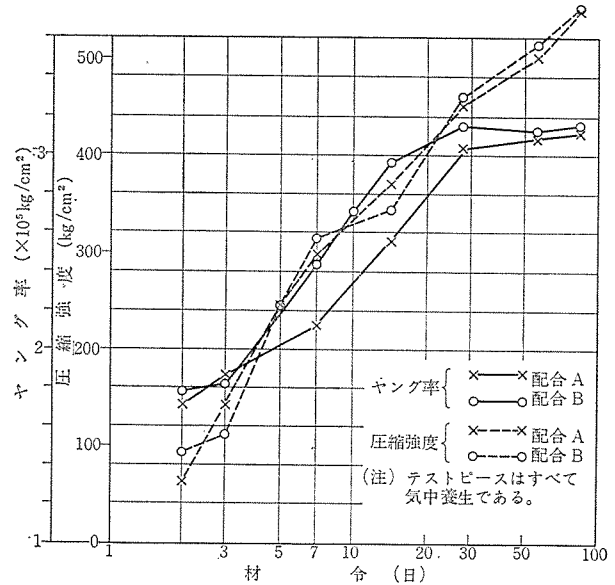


図-4

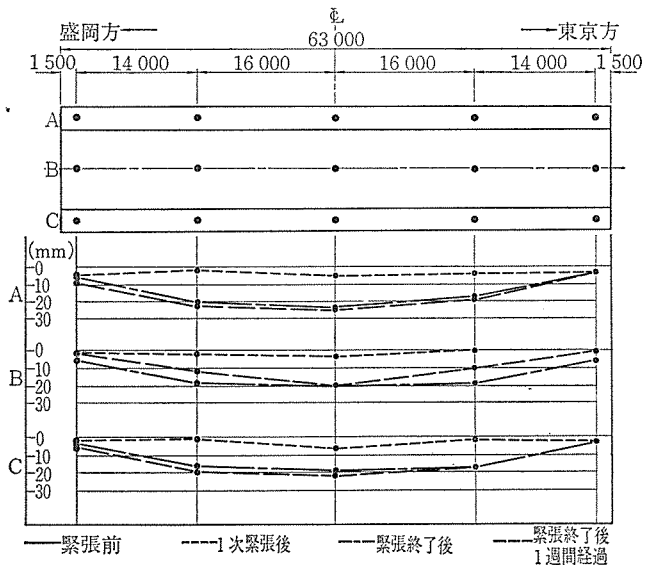


図-5 桁のたわみ測定値

表-2 上げ越しの検討

ϕ	2.0	1.8	1.5
δ_0 (桁自重)	44 mm	44 mm	44 mm
δ_p (プレストレス)	$-45 \times 0.8 = -36$	-36	-36
δ_c (クリープ)	7	0	-12
δ_s (支保工)	7	7	7
合計	22	15	3
上げ越し	-22	-15	-3
$\phi=2.0$	0	-7↑	-19↑
$\phi=1.8$	7↓	0	-12↑
$\phi=1.5$	19↓	12↓	0

表-3 配 合

配 合	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スラブ の 範 囲 (cm)	空 気 量 の 範 囲 (%)	水セメント 比 W/C (%)	骨材率細 S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
						セメント (C)		水 (W)	細 骨 材 (S)	粗 骨 材 (G)	ポゾリス No. 5L
						セメント	フ ラ イ ア ッ シ ュ				
A	25	8±1	3±0.5	35.4	39.0	420	—	149	718	1 125	4.2
B	25	8±1	—	38.1	39.0	380	40	160	726	1 140	—

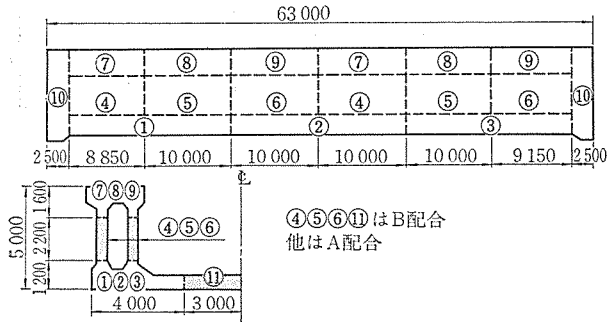


図-6 コンクリートの打設区分および順序

厚さ 20 mm) を貼り外気の影響を極力遮断することとした。露出部は凍結しない程度にできる限り散水し湿潤に保つようにし湿潤マットとシートで覆った。ウェブは湿潤養生が困難であったため、脱枠後ただちに被膜剤を塗布し表面乾燥の防止に努めた。このように種々ひびわれ防止策を講じたが、ウェブおよび上フランジにひびわれが認められた。これは養生方法から見る限りでは、十分な湿潤養生が可能であった部分については生じなかった。

4. コンクリートの温度およびひずみ測定

(1) 測定の目的

測定は、若材令期における温度とひずみ関係と、これに基づき施工段階における管理およびプレストレスングによる応力度の確認にあった。また今後この種の桁またはP C部材の施工の参考資料とするためである。

測定および試験は次の項目について行った。

- (a) コンクリートの温度およびひずみ測定
- (b) 外気温の測定
- (c) コンクリートのヤング係数の測定
- (d) この他温度履歴、内部応力の解析に必要な割裂試験、無拘束供試体の温度、ひずみ測定、コンクリートの熱的性質等
- (e) プレストレス導入時におけるひずみ測定

ゲージ埋込み箇所は 図-7 に示すとおりであるが、この他に熱電対を下床版、ウェブおよび上フランジに埋込んである。図のゲージ配置は、硬化時の部材中心部と表面部および打継部の新旧コンクリートの温度およびひずみの動向とプレストレスングによるひずみを知ることにある。ゲージは 600 kg/cm² と非常に低い弾性係数と膨潤による影響を受けない構造のものであり、打設直後の温度とひずみを同じに測定することが可能なものである。

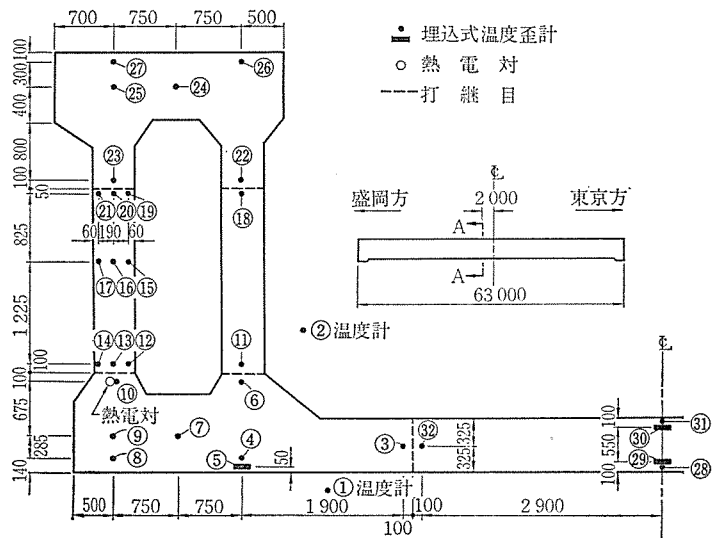


図-7 測定位置図 (A-A)

(2) 測定結果

発熱量を押える目的のB配合は、A配合と比較すると表-4 のようであり、種々の条件の差を含んだ値であるが、この結果を見る限り初期の目的を達した。これを下床版部のゲージ No. 4 と No. 29 の温度軌跡の実測値を比較したのが 図-8 である。

表-4

	下床版	ウェブ	上床版	後打下床版
配合種別	A	B	A	B
最高測定温度	61.8℃	49.5℃	53.0℃	46.5℃
材 令	45 hr	31 hr	53 hr	36 hr
打込み時温度	21℃	17℃	13℃	18℃
ゲージ番号	7	16	24	29

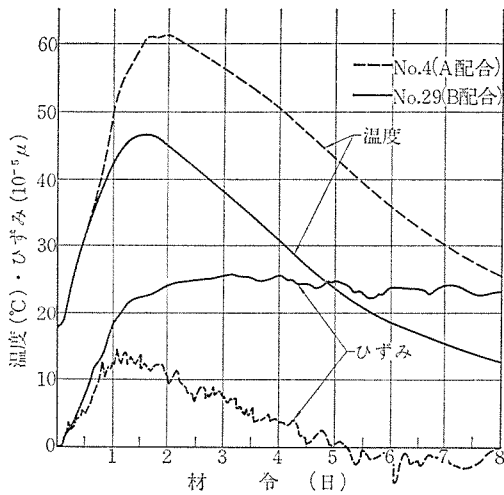


図-8

断熱材の保温効果は非常に良く、図-9 に見るようにウェブの中央の内部および表面部の温度差は 2°C 程度しかない。しかしそのため温度を上げる逆効果もあるのでさらに検討が必要と思われる。図-10 はウェブの鉛直方向の温度上昇を示したもので、上面および打継ぎ面から多く放熱されており、上面では材令2日で約 40°C の差が生じている。打継部は旧コンクリートに吸収されて、旧コンクリートが追従し放熱が比較的少ない(図-11)。

A配合とB配合で最高温度を示した部分について実測値と温度予測計算による推定温度を対比して見る。打設後のコンクリート温度は、主に次の要因により変化する。

(a) セメントの発熱量およびセメント量, (b) 材料の熱的性質, (c) コンクリートの練り上がり温度, (d) 外気温および天候, (e) 型わくの種類および養生条件等である。

(a), (c) は、発熱に関係する要素であるが、他は冷却に関係する要素である。コンクリートの温度の推定の方法は種々あるがここでは Schmidt の方法により算出した。

図-12 の (a) はA配合の No.7 であり (b) はB配合の No.16 の実測値と推定値を比較したものであり充分近似できるものと思われる。なおこの解析は簡単のため一次元二面放熱すなわち、上面および打継面のみ放熱するものとしたものである。

打設後のひずみは、大きく分けると熱膨張によるものと、断面拘束および外部拘束によるものがある。それぞれの図に示すひずみ曲線はこれらをすべて包含した値を示した実験値である。したがってコンクリートに生じている応力度は測定ひずみから温度ひずみを除いた拘束ひずみにその時のヤング係数を乗じて得る。若材令コンクリートの温度応力を求める方法は種々あるが、実際の温

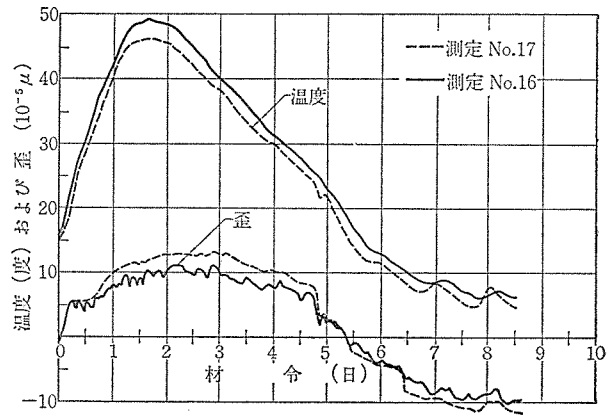


図-9

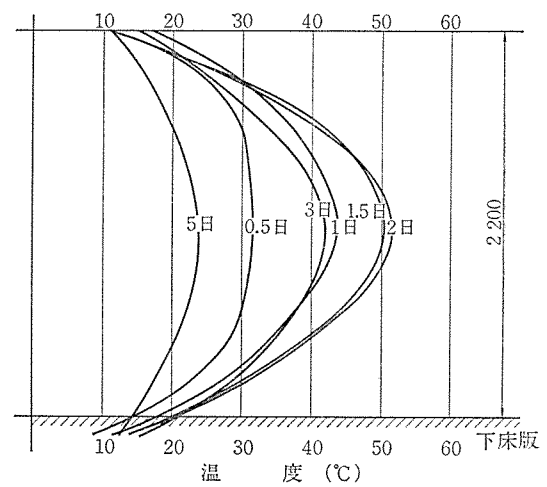


図-10 ウェブの温度分析

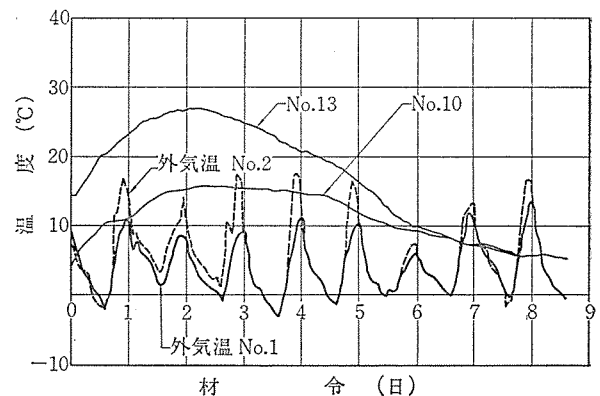


図-11 打継部の温度差

度、ひび割れの検討等を行うにはまだ精度上問題があると思われる。

ここでの推定値の解析は慣用計算法を用い、一次元解析すなわち上下方向のみ考えたものであり、また外的拘束がないとした場合のひずみ、および応力を測定温度分

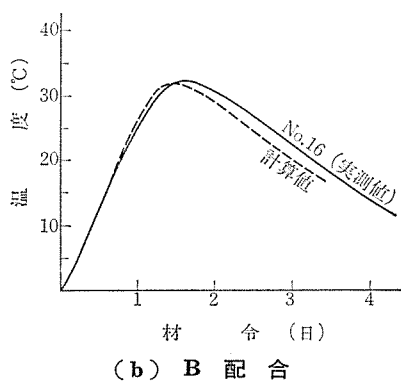
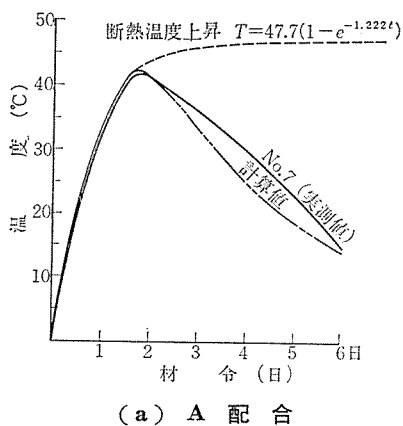


図-12 実測温度と推定温度の比較

布から求め、これに実測ひずみが合うような外的拘束を求め無拘束時の応力に加える方法で求めたもので、しかもヤング係数は供試体より求めた値(図-4)から推定していることから完全なものではないが、この方法によってウェブについて各部の応力度を実測値から推定すると図-13 のようになり打継部より上面の方が引張応力が大きくなっており材令2日で最大値を示している。この時点でのコンクリートの圧縮強度は約 100 kg/cm² であるので、これに対する -18 kg/cm² はひびわれの可能を示している。実際に生じたウェブのひびわれ状況は、観察した範囲では脱枠後に発現しそれが少しずつ下方に進行していった。この観察と解析した応力分布を関連づけるとすれば、材令2日位で微細なひびわれが上面にわずかに発生し脱枠後の乾燥収縮、温度降下による収縮等によってさらに進行したのではないかとと思われる。一般にここで採用した方法によるコンクリート打設では、旧コンクリートによる拘束面からの発生が通常であるが、本橋の場合は逆を示しているといつてよい。これは内型枠による拘束、B配合によるスパン方向の打設長さ、鉄筋等の影響によるものかはわからないが、推定値の傾向と観察と合っていると思われる。

(3) 緊張時のひずみ測定結果

測定ひずみは外気の影響を含んだものであるがコンク

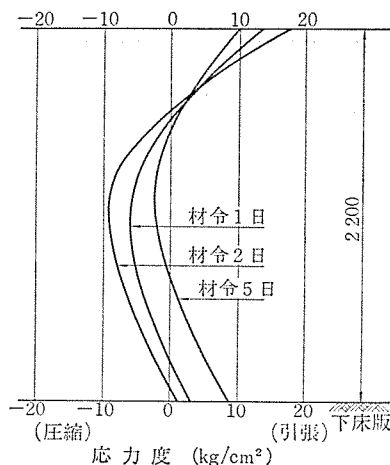


図-13 ウェブコンクリートの推定応力度(実測値)

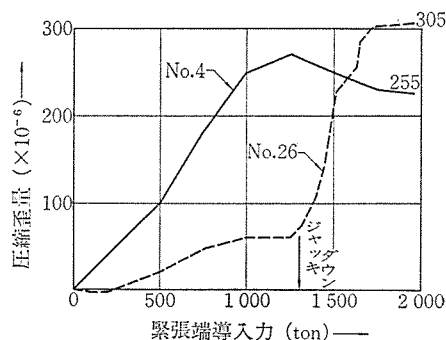


図-14 導入力と歪

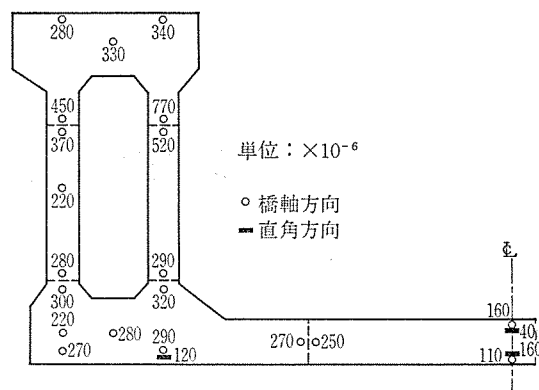


図-15 最終歪分布

リートの温度変化は 1~2°C 程度であるので無視できる。導入時におけるひずみの軌跡の例は図-14 に示すとおりであり、各測点の最終ひずみは図-15 に示すとおりである。この図からわかるように主桁部においては内側が外側よりも大きなひずみが生じている。これを測点 No. 26 と No. 27 の導入時のひずみの軌跡を比較すると図-16 のようになりジャッキダウンして自重が作用する時点からひずみの軌跡が逆転している。このことは主桁中央部においては負の曲げモーメントによって主桁が内側に、正の曲げモーメントによって外側に変形する振り

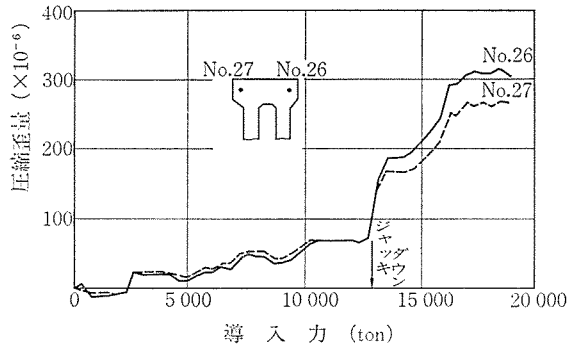


図-16

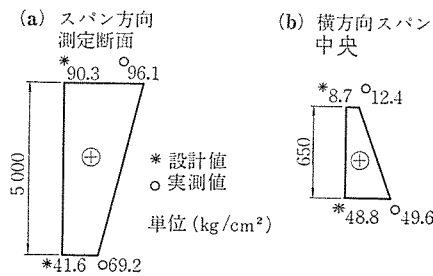


図-17 導入直後の設計応力度と実測応力度

モーメントが作用するものと思われる。床版中央でひずみの小さいのは、この部分の材令が最も若いため主桁部に応力が集中したものと思われ、時間とともに均一になっていくことと思う。

測定値と計算値を比較するのに、ばらつきのある各測点の値を平均して応力度を算出すると図-17のようになり設計値とほぼ合値しており所定のプレストレスが導入されていることが確認できる。

5. あとがき

本橋の製作架設には、約9か月を要した。このように巨大な下路桁の施工は国鉄で初めてであったため従来の施工法を基礎にし、さらに新しい試みも加え実施した。これらはその目的を充分達したもので、また今後さらに研究を要するものもある。種々のひびわれ防止策を講じたが最も効果があると思われるのは養生方法で、特に初期においては常にコンクリート表面を湿潤に保つことではないかと思われる。

測定結果の報告はまだ十分でないが、何かの参考になれば幸いと思う。最後にこの報告に当り御協力をいただいた大成建設開発部の松本、魚本両氏に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 塚山隆一著：マスコンクリートの施工，コンクリート技術の基礎
- 2) 尾坂芳夫著：下路形式のコンクリート鉄道橋に関する研究
- 3) 野尻陽一著：コンクリート打設後の温度計算方法について，コンクリートジャーナル VOL. 5, No. 8 1967
1977. 8. 20・受付

PC構造物設計図集発売について

当協会では、「PC 構造物設計図集」を本会編集、(株)技報堂発行の形で出版しておりますのでお知らせします。

本書は、本協会誌「プレストレスト コンクリート」の末尾に掲載致してございました折込付図を、協会誌編集委員会の手により、PC の設計・施工にたずさわの方々のご使用に便利なように、土木編(32編)・建築編(28編)・その他(4編)の三部門にわけ、それぞれに写真・説明等を入れ、わかりやすく編集したものです。皆様のお手元にぜひお備え下さいますよう、おすすめ申し上げます。

体 裁：B4判 133 ページ 活版印刷

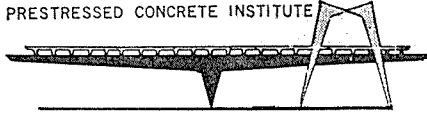
定 価：1500 円 会員特価：1200 円 (〒 200 円)

申 込 先：〒 102 東京都千代田区麴町1の10の15 紀の国やビル2階

社団法人 プレストレスト コンクリート技術協会

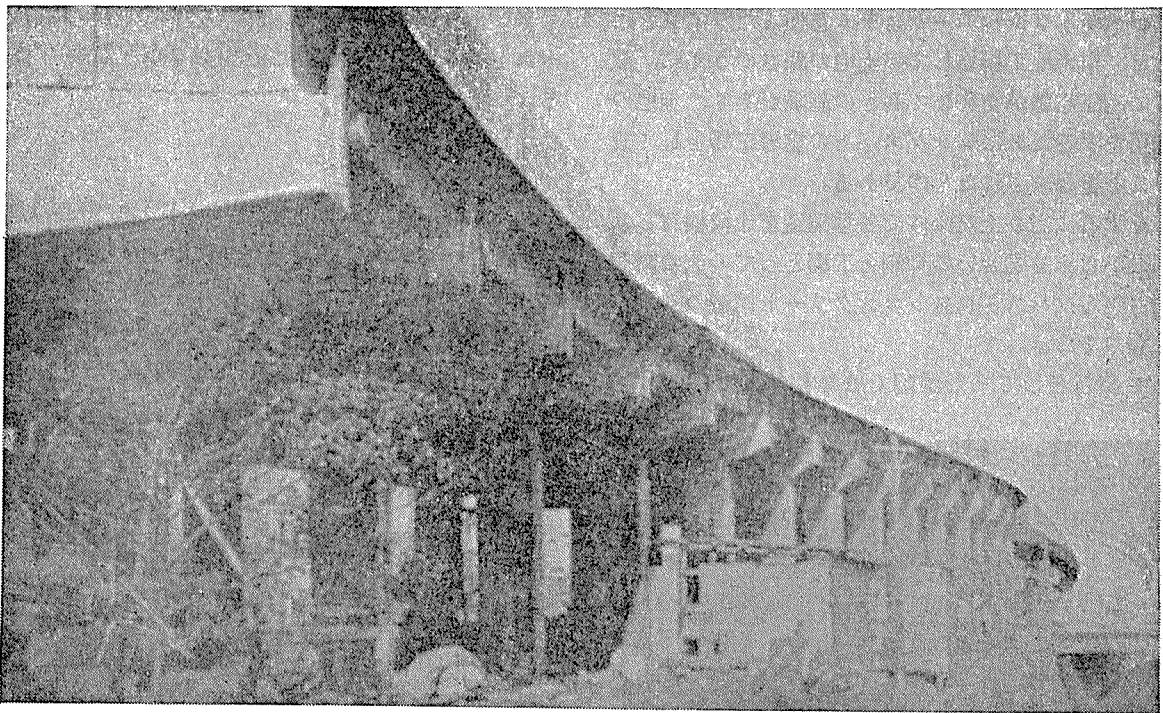
TEL (261) 9151 振替 東京 62774 番

MEMBER
PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE



興國のPC鋼線

鋼線・より線・異形線



★興國のPC鋼線・より線・鋼棒は国内はもとより海外の土木・建築に好評を得ております★



日本工業規格表示工場 B. B. R. V. 工法用鋼線認定工場 P. C. I. (アメリカP. C.協会) 会員

興國鋼線索株式會社

本社	東京都中央区宝町2丁目9番地 宝町清水ビル	電話	東京 (561) 2 1 7 1 代表
大阪営業所	大阪市西区阿波通り1の67の1 大急ビル550	電話	大阪 (541) 3 5 9 5 代表
東京工場	東京都江東区亀戸町九丁目19-15号	電話	東京 (681) 5 3 7 1 代表
大阪工場	大阪府貝塚市堤300番地	電話	岸和田貝塚(3)3701代表
新潟工場	新潟県加茂市上条1369番地	電話	加茂(2) 0280代表