

ピルツ PC 高架橋に関する実験 (その2)

—実橋による施工性および載荷試験—

木 下 忠 朋*
佐 藤 重 尚**
笹 井 陽 二***

1. ま え が き

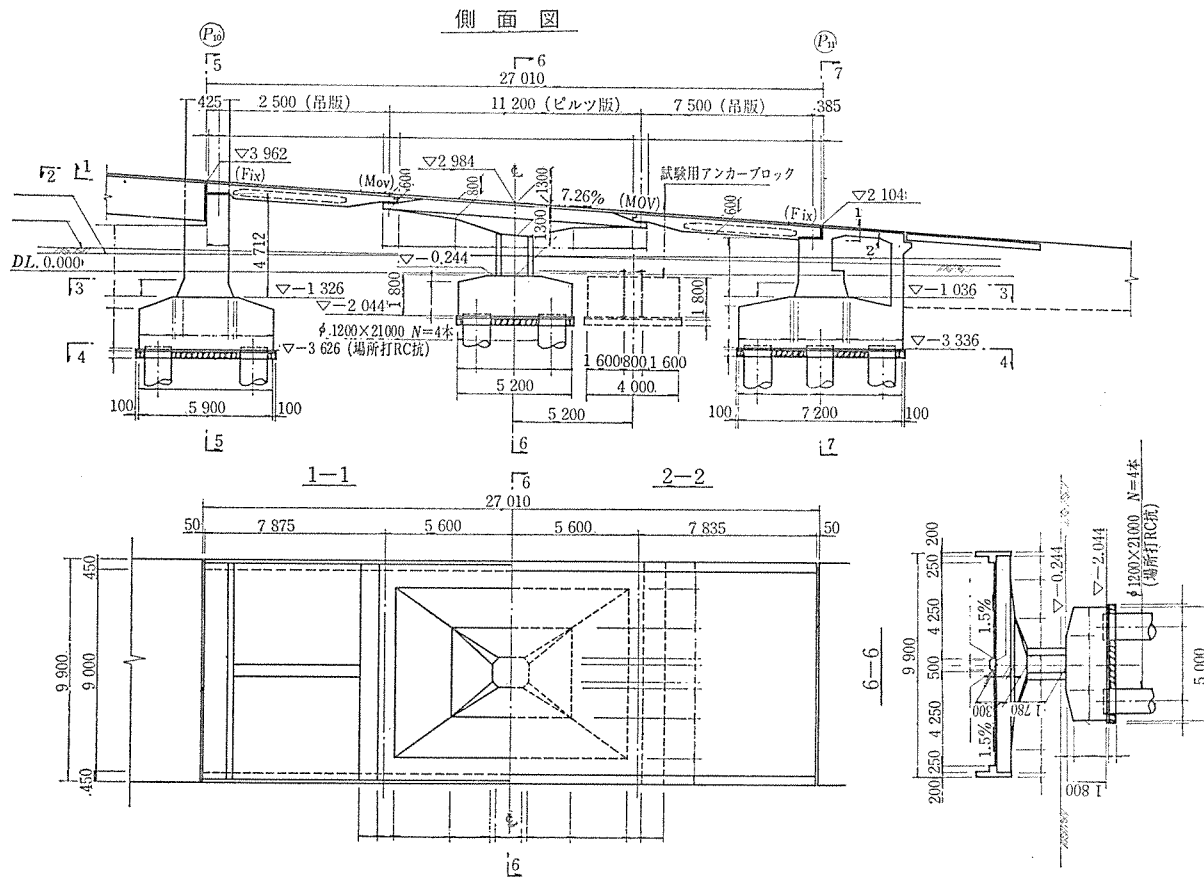
この報告は当誌 Vol. 12, No. 1 (昭和 45 年 1 月)「ピルツ PC 高架橋に関する実験(その1)」に続くもので、首都高速道路公団、高速道路 7 号線第 727 工区ランプ部に、ピルツ構造の施工性と構造計算の適合性を確認するため実施した実橋による施工性および載荷試験結果について述べるものである。

施工前、施工中、施工後において、おもに調査した内

容を列挙すれば、

- 1) 一般的施工性の調査
 - ① 型わくの加工, 組立, 配筋作業の難易
 - ② コンクリートの打設に関するもの
とくに, 遅延剤を混入したコンクリートの性状に関する試験
 - ③ プレストレス導入に関するもの
 - ④ 型わくの沈下
- 2) 床版に関する静的載荷試験

図-1 ランプ部ピルツ版橋一般図



* 首都高速道路公団 工務部次長 ** 首都高速道路公団 松江工事事務所 *** 住友建設株式会社 PC設計課

3) 新しい伸縮継手構造の挙動に関する調査
のとおりである。

ピルツ床版橋本体の施工は、昭和 44 年 1 月下旬より 3 月中旬にかけて実施し、載荷試験は、3 月下旬に行なった。

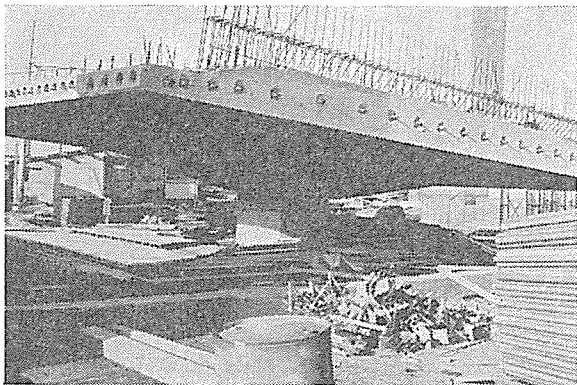
2. ピルツ橋の概要

第 727 工区ピルツ橋の竣工図を 図-1, 2 に、またピルツ頂版部の全影を 写真-1 に示す。

(1) 設計計算法のあらまし

この種の構造解析方法には、格子析理論の応用と最近発達してきた有限要素法とが考えられるが、ここでは後者を採用した。有限要素法は版のような連続体の場合には、構造をいくつかの三角形あるいは四角形の要素に分割し、その各接点においてのみ互いに連結されている集

写真-1 ピルツ床版全景



合体として理想化する。そして、平衡条件式、適合条件式および応力-ひずみ関係式の 3 つの条件から各要素の剛性マトリックスを導き、それを集合および適当に加減して、全体の剛性マトリックスを作成する。その結果多元連立一次方程式となる。これを解いて変位(変位法の場合)を求め、逆に筋をたどって、断面力、応力等を算出する。

このピルツ床版では、11 200×9 600 の版を橋軸方向に 14 等分、幅員方向に等分して、一つの要素を 80 cm 角とした(計算方法の詳細については省略する)。

ヒンジ部断面の設計については、種々の実験および考察の結果、直線的に、なだらかに変化した断面として応力集中をさけるようにした。

(2) 施 工

a) 基礎、支保工、型わく 橋脚の基礎は、地盤が非常に軟弱なことおよび経済性などを総合して径 1.200、長さ 21 m の場所打 R C 杭とした。支保工は、実際上は工事量、地盤の状態、経済性などに応じて、ビテイ式にするか、ゲリュストワーゲンという移動式支保工にするかが決定される。本来、ピルツ版の施工には、移動式支保工が用いられるところに特徴がある。しかし、ここではピルツ版橋の実験的な意味と経済性からビテイ式とした。支保工基礎は、ブルドーザーで整地し、山砂を 50 cm 程度敷き、許容支持力 3.6 t/m² が得られるようにした。ビテイ式支保工のベースには、荷重の集中をさけるために、尺角および、矢板を敷いて、支圧面積が大

図-2 ピルツ縦締め P C 鋼棒配置

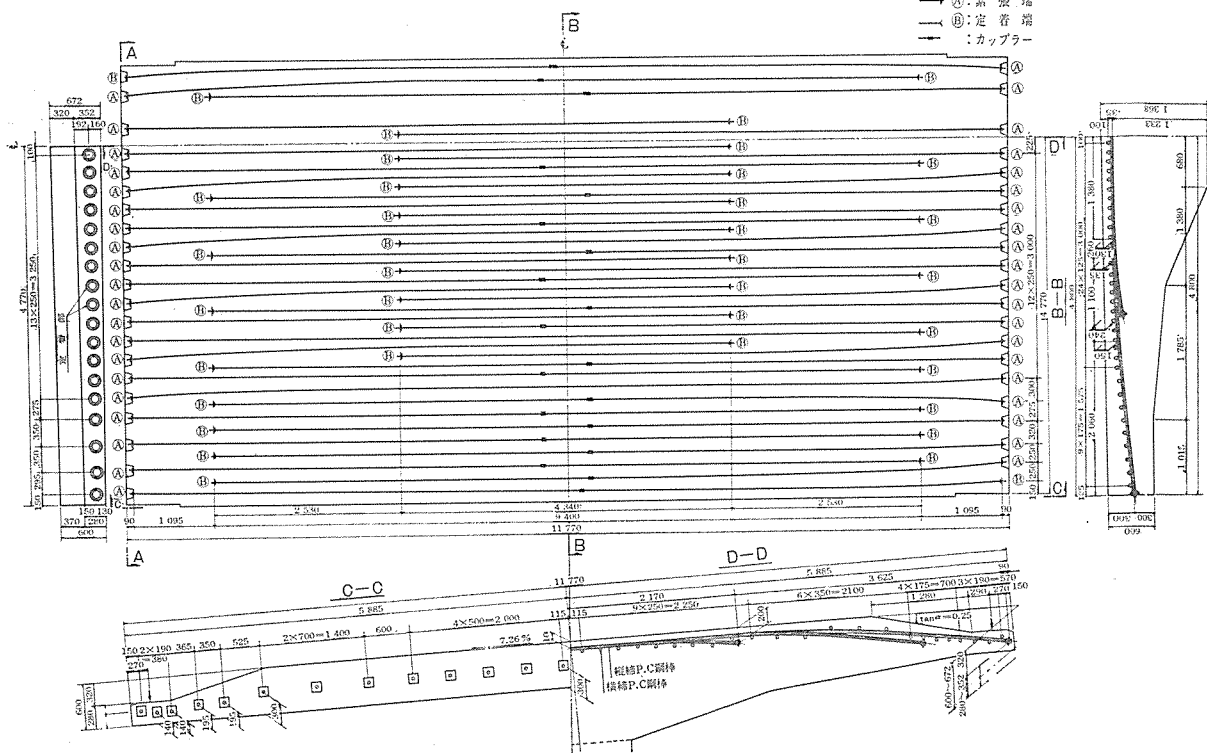
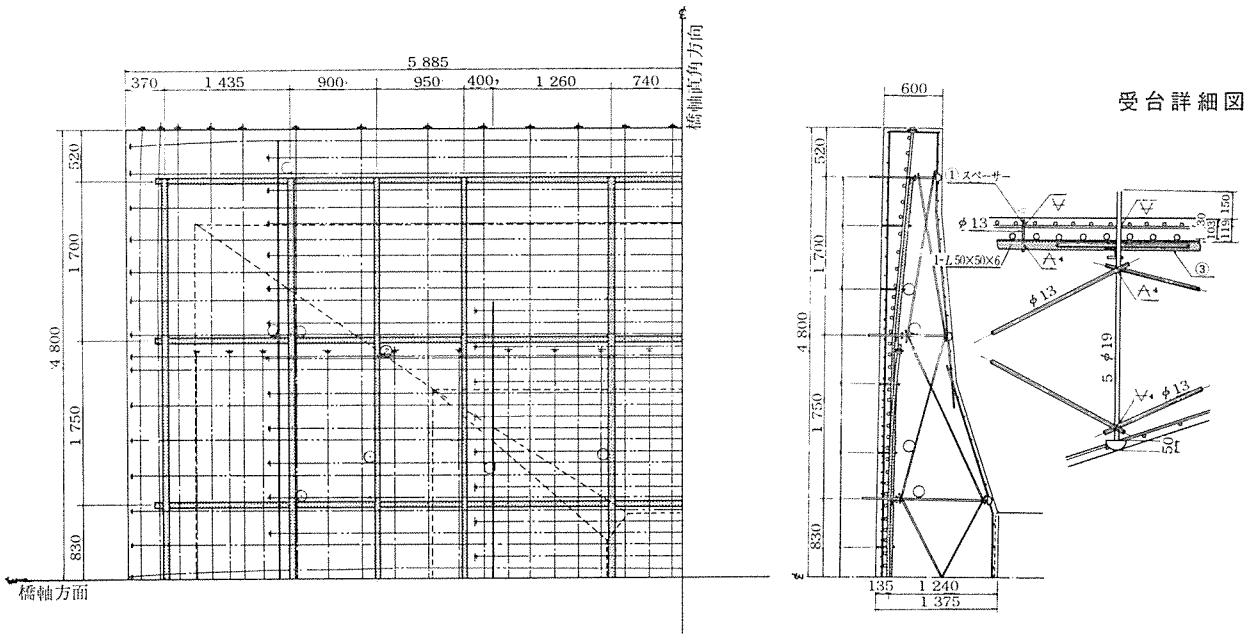


図-3 鋼 棒 受 台



きくなるようにした。

型わくは、木製型わくとし、板目を考慮して、幅をそろえ、板厚 24 mm 本ざねとして使用した。

型わくの上げ越し量は、版自重、静荷重、プレストレス、クリープ、および乾燥収縮などによる計算値は、ピルツ版外周の隅角部で 4 mm である。

さらに、型わく、支保工、基礎地盤のコンクリート打設による沈下量は、それぞれ、10, 4, 14 mm, 合計 28 mm と推定した。

コンクリートの打設前後において、水管式変位計を設置して測定したところ、それぞれ 12.0 mm, 5.7 mm, 10.2 mm, 合計 27.9 mm となった。

型わくの部分のものが大き目で、基礎地盤のものが小さ目であった。

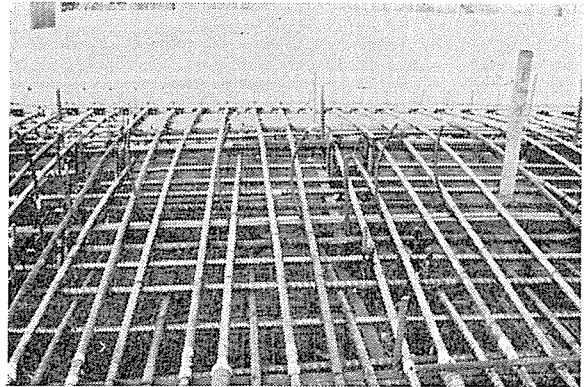
b) 鉄筋およびPC鋼棒の配置 下型わくの組立が完了すると下筋を配置した。PC鋼棒は住友電工製φ27 mm 第2種鋼棒を使用した。PC鋼棒は加工場において所定のシースおよびアンカープレート、ナットをとりつけた。

その後、現場に運搬し、配置した。PC鋼棒配置用受台は、図-3 に示すごとく、コンクリート打設時正しい位置を保つように、L-50×50×6 の形鋼によって縦横に

組んで、強固にPC鋼棒と緊結した(写真-2)。所要鋼棒本数は、橋軸方向が104本、横締用が68本であった。

その後、上筋とヒンジ部の配筋を実施した。ヒンジ部の配筋は、はじめ非常な難しさを予想したが、それほど困難さはなく、比較的簡単に進んだ。

写真-2 PC鋼棒配置



c) コンクリート 本試験ピルツ橋のコンクリート打設計画は、ゲリュスト ワーゲン(移動式吊支保工)を使用して施工する連続ピルツ橋を想定している。そのため、連続的に 250 m³ 程度のコンクリートを同時に打設する必要がある。その場合、全コンクリートの打設終了後に凝結が開始されると、不等沈下や、打継目などの悪影響が除かれて、好都合である。したがって、コンクリートに適当な遅延剤を添加して、凝結の遅延を行なうように計画した。その結果、早強および普通セメントで遅延剤として、ポゾリスとリタルを併用し、10~30°C

の温度条件により組合せを変化させて、コンクリートの凝結ならびに強度試験を実施した。その結果、練り上りコンクリート温度により表-1のように遅延剤配合を決めた。

表-1 遅延剤使用計画表

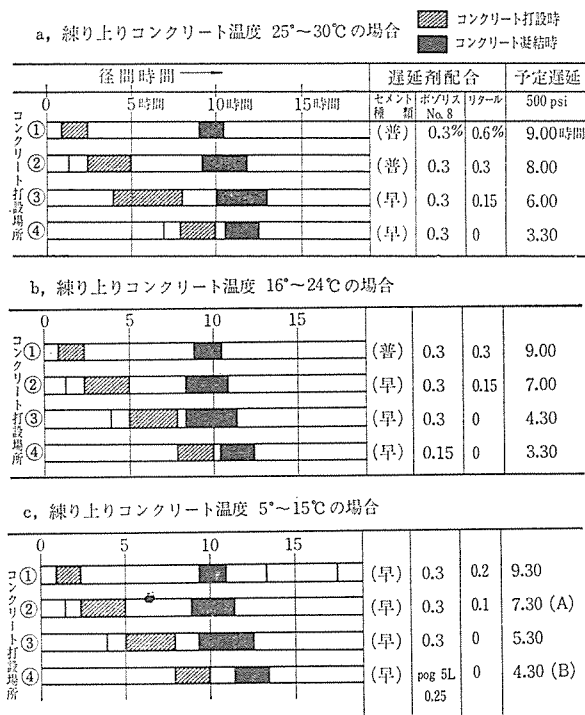
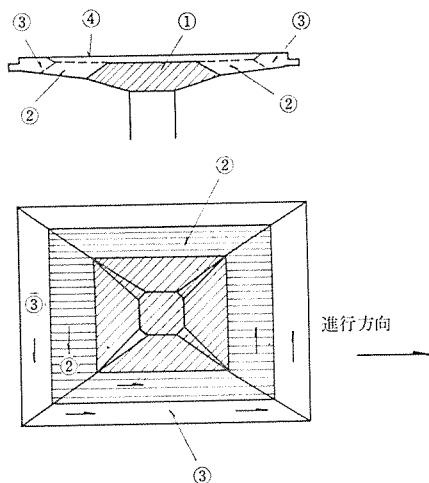


図-4 ピルツ床版コンクリート打設場所



なお、コンクリート打設場所は 図-4 に示す。

一般に、ピルツ橋のコンクリート打設区分は、ワーゲン受台部、ピルツ部、吊版部および伸縮継手部の区分に分けられる。ワーゲン受台部は、橋脚の延長部分で、ワーゲンの支点となる部分であり、一般に、トラッククレーンを利用して打設される。

ピルツ部は打設量が 250 m³ 以上にも達することと、ワーゲンにて施工する関係から、コンクリートポンプ2台を並列に使用し、約 10 時間以下で打設完了するよう計画されている。

3. 第 727 工区ランプ部ピルツ橋

(1) 打設順序

1 回あたりの打設量が少ないので、コンクリートポンプを使用しないで、トラック クレーンで打設した。

版厚の大きいところは、普通セメントと早強セメント配合の 2 つに分けた。P C 鋼棒が定着される上層部分を早強セメント配合とした。

(2) コンクリート配合

コンクリート打設時期が 2~3 月であるため、遅延剤に関する調査結果の内、コンクリート温度 5~15℃の場合 表-1 を参考にして、コンクリートの配合を 表-2 のように決定した。

(3) コンクリート打設

ピルツ部の打設は、下層部分 表-2 ① を朝 8 時に打設開始して、1 時間あたり 6 m³ 打設を目標にした。下層部分は、早強セメント コンクリート (A) と普通セメントコンクリート (B) が、橋軸に対して、左右対称になるように交互に打設し、下層部分全体の打設が 12 時に完了するようにした。上層部分は午後 1 時より打設開始して、橋面の低い方から打設しながら、午後 5 時に完了するようにした。コンクリートの締固めは、径 75 mm, 8 500 rpm のフレキシブル バイブレーター 計 4 台を用いて入念に行なった。特にヒンジ部においては慎重に施工した。

(4) 養生

養生は試験の意味もかねて、橋面が傾斜している低い方半分は、濡れむしろでおおい、残り半分は、ビニール皮膜養生とした。ビニール皮膜剤には、サララテックス養生剤を噴霧した。

打設されたコンクリートの硬化温度をカールソン型ひずみ計とコンクリートに、シースで穴をあけてその内にそう入した温度計により測定した。その位置は、版厚の最も厚い中心部で早強および普通セメントコンクリートについて行なった。

(5) P C 鋼棒の緊張

P C 鋼棒の緊張は、コンクリート強度が 300 kg/cm² 以上になってから実施した。緊張は、コンクリート応力の関係上、1 次と 2 次の 2 回に分けられた。1 次緊張のコンクリート材令は 4 日であった。緊張は緊張計画書の P C 鋼棒の伸びと、ジャッキ マノメーターとにより、確認しながら引張ったが、さらに伸び計によって確認した。

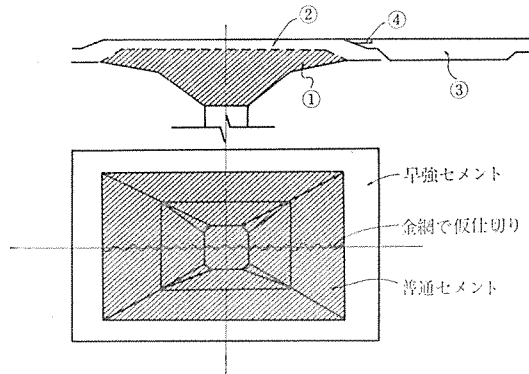
ポンプのキャリブレーションは、現場においてダイナモメーターによって実施した。

鋼棒の伸びの許容誤差は「ディビダーク工法設計施工

表-2 コンクリート配合表

使用場所	設計基準強度	組骨材	スラブ厚	空気量	水セメント比	細骨材率	単 位 量 (1 m ³ あたり)					打設量	
							水	セメント	細骨材	組骨材	混 和 剤		
記 号	σ_{CK}	M_S	(cm)	(%)	W/C	S/a	W(kg)	C(kg)	S(kg)	G(kg)	C×%	(kg)	(m ³)
A ビルツ部②	350	25	7 +1.5 -2.0	2~4	39	36.9	152	早 390	666	1 161	(P No. 8) 0.3 1.17 (リターナル) 0.1 0.39	78.0	
B ビルツ部②	350	25	7 +1.5 -2.0	2~4	37	36.9	146	普 390	671	1 171	(P No. 5 L) 0.25 0.975		
C ビルツ部① 伸縮継手	350	25	7 +1.5 -2.0	2~4	39	36.9	152	早 390	666	1 161	(P No. 5 L) 0.25 0.975		
D 吊版部 ③	300	25	7 +1.5 -2.0	2~4	43	36.9	150	早 345	681	1 187	(P No. 5 L) 0.25 0.863		

S=2.6 t/m³, G=2.64 t/m³



指針(案)1966年7月, P. 17, 19 条にのっとって実施し, それを越える場合には, 再度ディビダークジャッキを装置して修正した。

水管式変位計で測定した緊張前後におけるビルツ版隅点のたわみは 3.3 mm であった。

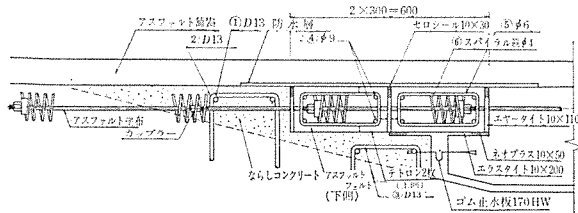
(6) 吊版と伸縮継手構造の施工

吊版は, RCホーラスラブから成り立っている。ホーラスラブの施工完了後, ビルツ版のヒンジ部分にならしコンクリートを施工した。上表面は, 慎重にならした。

ここで採用した伸縮継手構造を 図-5 に示す。この新しい伸縮継手構造は, その間に弾性体をはさみ込んだコンクリートブロック帯を敷きならべて, 鋼棒の引張力(版のクリープ乾燥収縮によって導入される)によって, ヒンジの間隔の拡大あるいは, 縮少を均等に分散させるものである。その結果, 橋面には, 継手がなくなり車両の走行が快適になる。

ならしコンクリートの上に, 摩擦を減ずるためにアスファルトとテトロン紙を敷きならべ, 伸縮継手を構成するコンクリートブロックのPC鋼棒鉄筋を配置

図-5 ブロック式伸縮継手構造図



し, コンクリートを打設した。

継手の施工完了後の挙動を調査するために, ビルツ版と吊版の間と各コンクリートブロック帯の間に継目計をそう入して継手の挙動を調査することにした。

4. 施工性調査結果

(1) 型わく支保工

桁下断面が, 四方に広がりを示しているうえに, 縦断勾配(7.2%)が大きかったため, 支保工天端敷角の配置および高さの調整に予定より多少多くの時間を要した。したがって, 鉄骨等で特別の大型の支保工わくを作り, ならべてセットできる構造を考える必要があると思われる。上げ越し量は, ほぼ計画どおりである。

(2) 鉄筋およびPC鋼棒

受台は, 正確に設置する必要があるため, 比較的時間を要するが, これが完了すればその後の配置は非常に簡単に完了できる。したがって, 受台は, いかに早く堅固に, かつ正確に組立てられるかを考える必要がある。

構造は計画書どおりで十分である。

上筋については, 受台よりスペンサー鉄筋で, 電気溶接により固定すれば十分である。加工, 組立は普通の場合とあまり変わらず問題はない。

(3) コンクリート

コンクリート打設方法には問題はなかったが, 夕方になり, 生コンクリートが京葉道路の交通渋滞に影響され計画通り搬入せず, その上, 天端仕上げが, アンカーボルト, 鉄筋, 測定用コード, グラウトパイプ, 天端仕上げゲージ等の障害物により3時間ほどオーバーした。

マスコンクリートの硬化温度については, カールソン計による測定温度とパイプの中に水を入れた温度計による測定温度とに約2割の差が生じた(図-6)。

また, 普通セメントコンクリートと, 早強セメントコンクリートとの間には, 約1割の差が生じた。すなわち, コンクリート硬化温度については, この実験では大差なく, いつも 60°C 以下であった。しかし, 生コンク

リートの温度が高くなると、さらに温度上昇が考えられるので、その場合は、普通セメントコンクリートの方がよいように思われる（実験時、生コンクリート温度 13°C）。

コンクリート圧縮強度については、28日強度は全く同じであったが、初期強度 ($\sigma_3 \sim \sigma_7$) については、10~20%程度の差が生じた。

養生については、ひびわれ等は観測されず、いずれも良好効果であるが、むしろ散水は、ある程度硬化後になるので、風の強い日にはビニール皮膜がよいように思われる。

5. 載荷試験

ピルツ床版のコンクリート応力およびたわみについて有限要素法による設計計算値と実測値を比較し、その適合性を確認するために、載荷試験を行なった。

(1) 試験方法のあらまし

コンクリート応力の測定には、カールソン型ひずみ計を用いた。埋設した位置は、計算上の格点のうち、適当な点 22 を選んで上面、中央面、下面に取り付けた。

取付方法は、位置の正確を保つためゲージ取付用スターラップを上筋、下筋に溶接してさらに振れ止めをつけた。

たわみの測定には、ダイヤルゲージを用いた。ゲージ取付位置は載荷位置とともに図-7 に示す。

(2) 載荷方法

荷重の種類は 図-7 に示すように L 荷重 (7つの格点の等価荷重に換算したもの) と集中荷重 J-1, 2~7 とした。荷重は センターホール ジャッキで作用させ、荷重のチェックは、集中荷重の場合には圧力計で、L 荷重の場合にはダイナモメーターを使用した。荷重の反力は橋脚基礎工事と同時に基礎のまわりに打設したコンクリ

写真-3 載荷試験風景

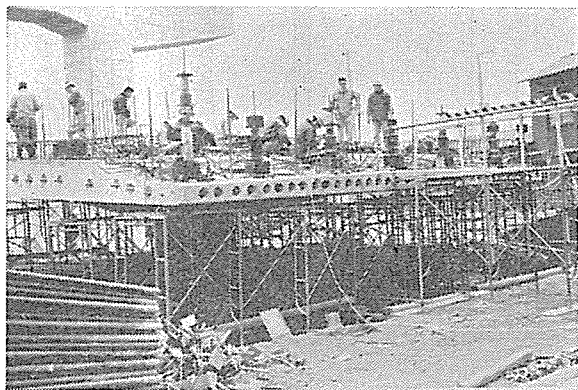


図-6 コンクリート硬化温度測定

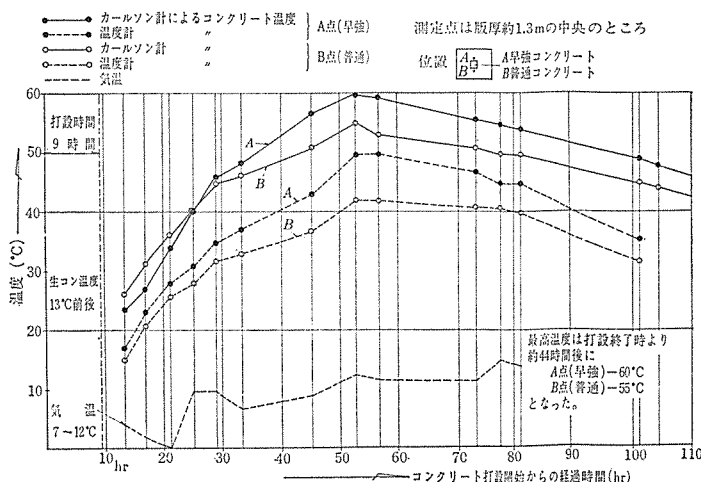
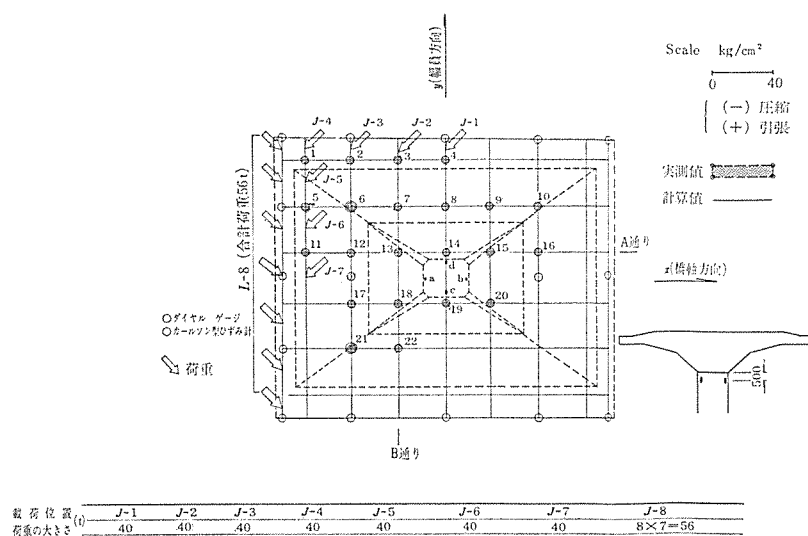


図-7 各種ゲージ位置



ートにとらせた。

荷重の大きさは、集中荷重が 40 t まで、L 荷重が 1 個あたり最高 8 t までとした (写真-3)。

(3) 載荷試験結果

測定結果は計算値とともに、荷重 J-4 と、L-8 およびプレストレス導入によるものだけを示している。図-8, 9 はたわみ分布を示している。柱の回転によるものに対しては、荷重と反対側の版端中央のたわみを δ を 0 にするようにして補正してある。

図-10, 11 にモーメント分布を示した。

コンクリートのヤング係数は載荷試験の場合、L 荷重のたわみ値より $E_c = 3.25 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ として統一してプレストレス時については、その上りが 3.3 mm 程度であったので、 $E_c = 2.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ とした。

図-12, 13 は断面の応力分布を示している。

(4) 載荷試験考察

計算値は、Finite Element Method で解いたものである。そのときのピアーの周囲および中心点の境界条件

としてはたわみが0であるとし、回転に対しては、ピア一と版との境界線に平行な方向に対しては拘束され、それに直角方向に対しては、自由とした（いわゆる回転半固定）。

プレストレスによる曲げモーメントの分布図をみると計算値と実測値がよく一致していることがわかる。そして、ピア一近傍において、特別な集中ということは見あたらない。

荷重が版の対称軸に載った場合（J-1, J-4）の幅員方向軸上のもの（J-1）の場合のたわみ図と、モーメント図を見ると、たわみについては、実測値の方が計算値より載荷点近傍で大きめにしている。モーメント分布においては、幅員方向のモーメント M_y は、計算値と実測値が非常に一致を示している。

橋脚の近傍のものは、計算値に対してある程度大きめにしている。

もう一つの対称軸（橋軸）上に載った場合のたわみ図と、モーメント図を見ると、これも J-1 の場合と同様に、たわみは多少大きめであった。

モーメント分布については、ピア一上の境界条件として弾性支承と、回転半拘束の中間位の分布を示している（「ピルツ（葺型）PC橋に関する報告書」—ピルツ（葺型）PC橋設計・施工要領、第1次案—（昭和44年3月、財団法人高速道路調査会、橋梁構造小委員会、ピルツ高架橋専門委員会）。

ねじりモーメントが、最も大きく出るのであろうと思われる版の対角線上の隅に載った場合（J-4）のたわみ図（図-8）とモーメント図（図-10, 11）を見ると、たわみは実測値が小さめであり、モーメントについては、実測値と計算値の分布形状は良好であるが、やはり橋脚近傍の14点のものについて M_x が2.4倍、 M_y が2.6倍に出ている。

設計荷重における線荷重を想定したL荷重のたわみ図（図-9）とモーメント図を見ると、たわみについては計算値と実測値が非常に一致している。

モーメントについては、J-7の場合と同様なモーメントの流れを示している。

このような結果を総合的にみると、finite element 法によってたわみを計算

する場合には、集中荷重の荷重近傍では、いく分誤差が大きくなるようであり、モーメントの算出については、十分正確で妥当な計算法であるといえよう。

最後に変断面部における曲率の影響をみてる。x方向については、格点⑬、y方向については格点⑭で行なう。各格点付近で、版の中央面が放物線と仮定して、おおよその曲率半径を計算すると、

$$\text{⑬点 } R=6.9\text{ m} \quad \text{⑭点 } R=4.3\text{ m}$$

したがって、曲率の影響による付加応力を

$$\sigma = \frac{M}{hR}$$

図-8 たわみ分布（荷重位置 J-4）

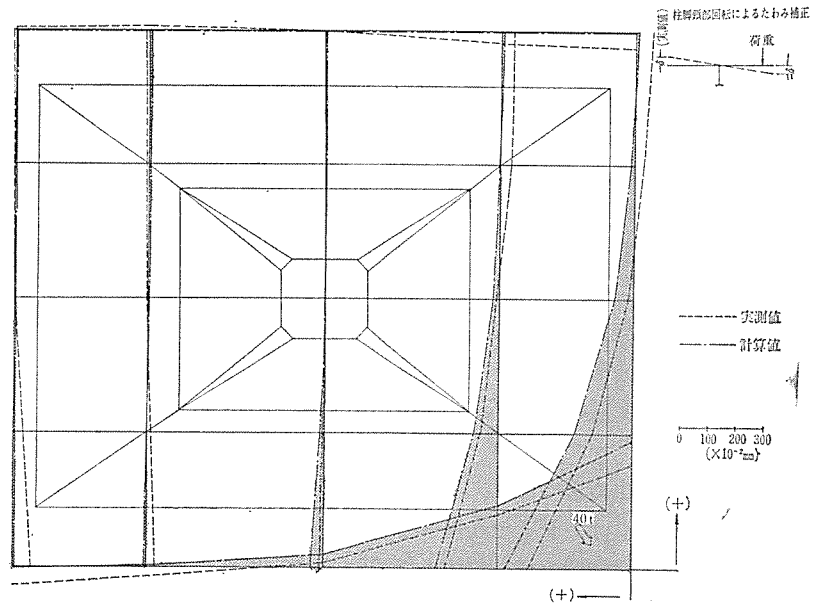
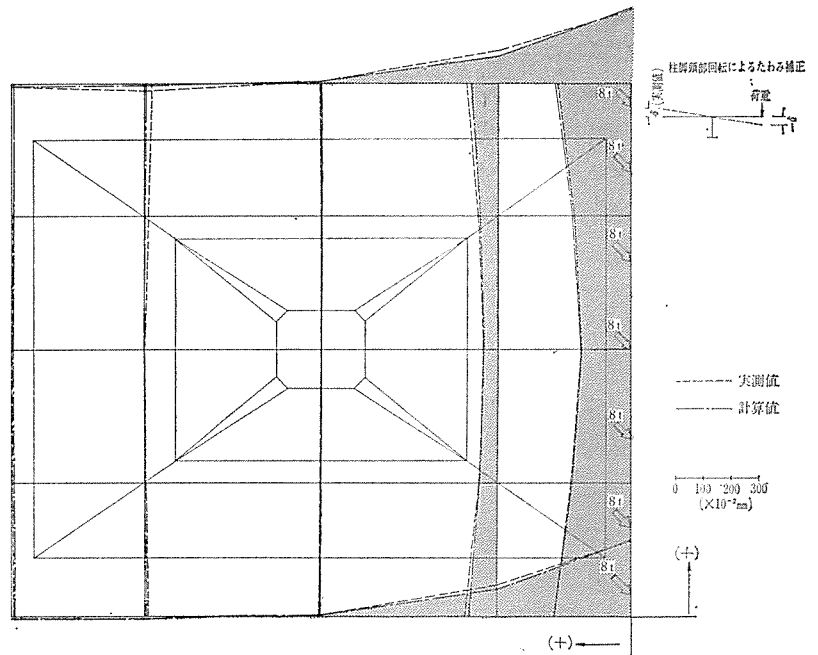


図-9 たわみ分布（荷重位置 L-8）



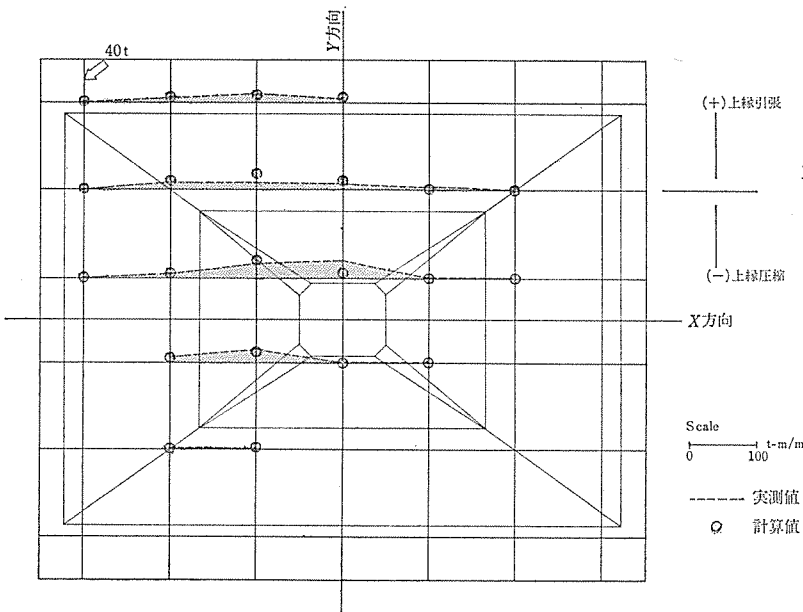
にて検討すると、荷重についての付加応力は、せいぜい 1 kg/cm^2 を満たない値となる。プレストレスによるものについては、 2.5 kg/cm^2 程度となる。

したがって、図—12,13 の断面内の応力分布においても、はっきり出ていない。応力分布の曲線状態から推定することは困難であり、版厚の中央における応力の有無についても、はっきりしていない。

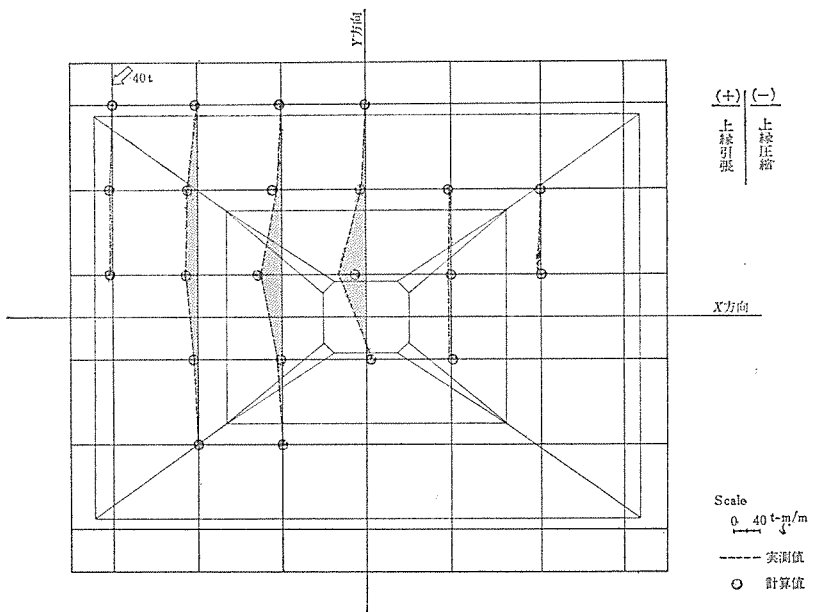
(5) 伸縮継手構造の挙動調査結果

前述のように、ここに用いた伸縮継手はヒンジの伸縮量をいくつかのブロック間の伸縮にほぼ均等に分散させアスファルト舗装材の変形以下におさえることによって橋面のきれつをなくすることに特徴がある。

図—10 モーメント図 (載荷位置 J-4)- M_x



図—11 モーメント図 (載荷位置 J-4)- M_y



このピルツ床版の設計上のヒンジの伸縮量は 3.6 mm で1目地あたり $3.6/3=1.2 \text{ mm}$ と推定された。

温度変化 $\pm 40^\circ\text{C}$ を含めると、約2倍になる。

測定はコンクリート ブロック間とヒンジの間に継目計をセットして測定した。測定結果の一例を図—14 に示す。

図から推測すると、必ずしもヒンジの変位は正確に分散されていないが十分に分散性を示しており、ブロック間の合計とヒンジの変位は、良好な結果を示している。また、測定開始が夏期であったため、間隔は縮少の傾向であるが、夏期を過ぎても100%回復していない。

6. ま と め

1) 一般的施工性の調査について

㊸ 全般的にピルツ橋の施工について特別に問題となる点は見受けられなかった。

㊹ 全体的な工程として、型わく支保工をビテイ式支保工で、個々に組立てると、割合時間を要するので、工程を早める場合には、特別の鉄骨等で大型支保工わくを作る必要があると思われる。

㊺ セメントの種類として、普通セメントの方が遅延効果および硬化温度についても良好であるが、初期強度が低いので、PC材定着付近には難点がある。したがって、打設時期および打設順序等によって、両者を適当に選定する必要があるように思われる。

2) 実橋の載荷試験によって、次のように結論できる。

㊻ モーメントの柱脚付近の流れについては、「ピルツ(葦型) PC橋に関する報告書」—ピルツ(葦型) PC橋設計施工要領第1次案—(昭和44年3月財団法人高速道路調査会、橋梁構造小委員会、ピルツ高架橋専門委員会)における参考資料に掲載されているところの(pp. 42)いわゆる変位拘束回転半自由という支承条件と弾性支承との中間というより弾性支承に近い分布を示している。

㊼ 版と柱脚との接合部付近のモーメントの集中は、ねじりモーメントが作用する場合が最も大きかった。

㊽ 載荷試験によるたわみおよびモーメントの実測値と計算値とを比較した結

図-12 A通り応力分布 (σ_x)

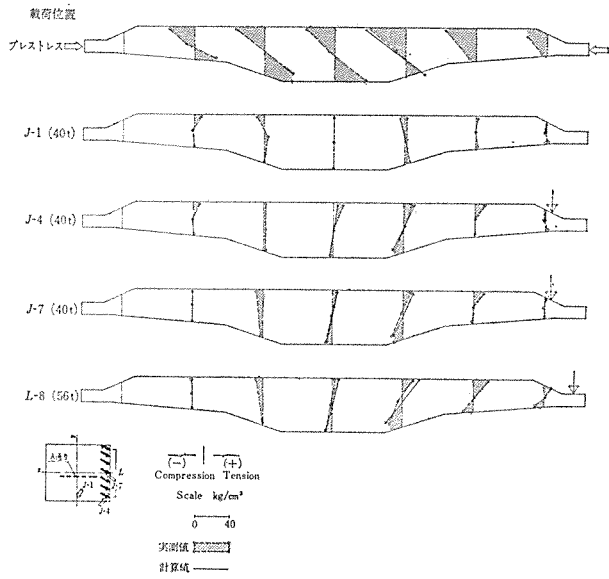


図-13 B通り応力分布 (σ_y)

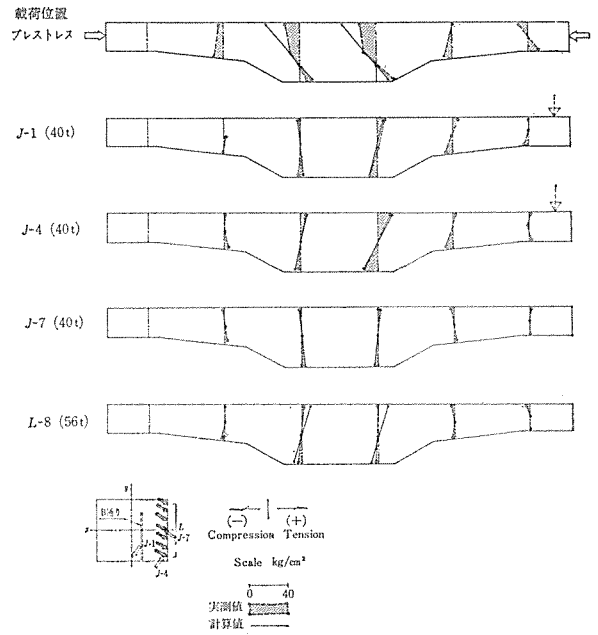
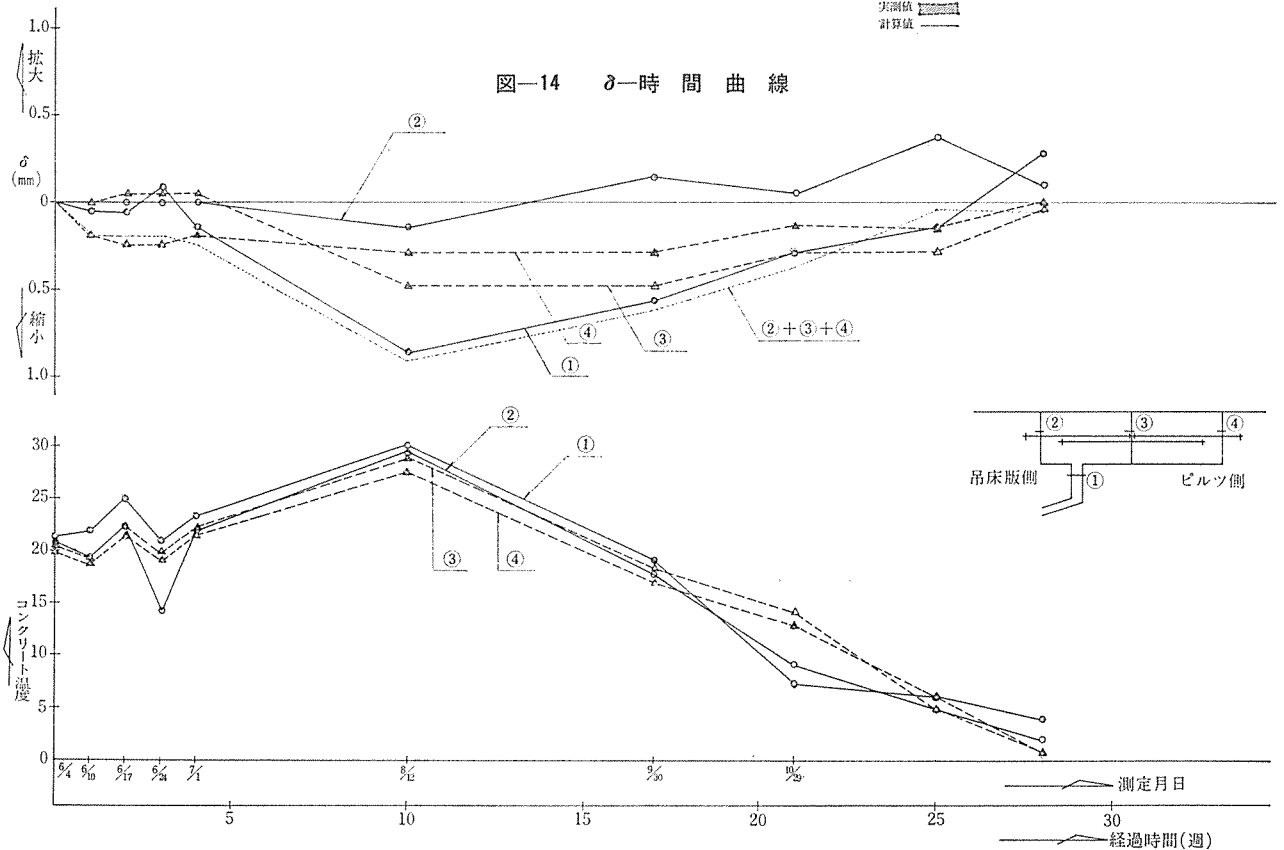


図-14 δ-時間曲線



果、版全体として、非常に良好な結果を得ることができ有限要素による設計法が十分妥当なものであり、安全なものであることが確認できた。

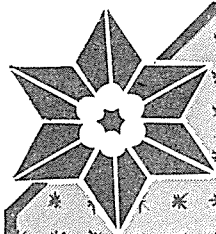
3) 伸縮継手構造の調査：ピルツ版打設より 8ヵ月、継手構造施工終了時より 5ヵ月、舗装終了より 5ヵ月経過した現在、車両通行はなされてはいないが、舗装上面にはきれつ、ゆがみ、その他何の異状も認められない。

7. あとがき

この実橋による実験でピルツ構造は設計においても施工においても当初計画どおりで十分耐えうる構造物ができると考えられる。またこの構造は経済的にも都市美的にもすぐれた構造であると考えられるので、今後このピルツ構造が都市高架道路に採用され発展することを願う者である。なお、この実験は住友建設(株)技術研究所が担当した。実験にあたっては高速道路調査会ピルツ高架橋専門委員会の御指導を頂き深く感謝致します。

1970. 2. 2・受付

東京製鋼製品



PPC

JIS G 3536

鋼線・鋼より線
BBR工法鋼線
多層鋼より線 (19~127本より)

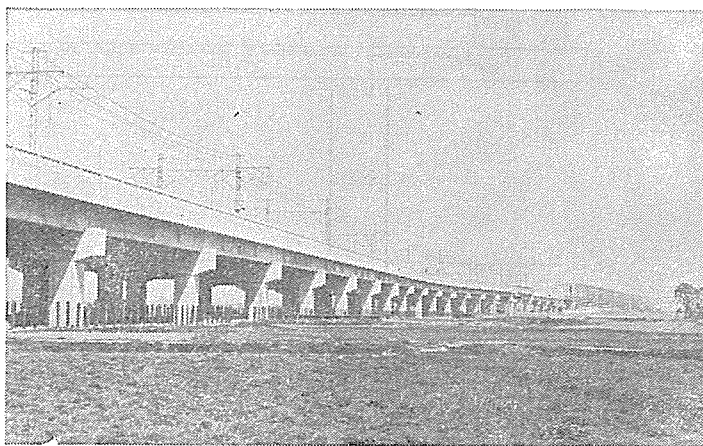
製造元 東京製鋼
発売元

東京都中央区日本橋室町2丁目8番地 古河ビル四階
電話 (211) 2851 (大代表)



鋼弦コンクリート

設計
施工
製造



地下鉄5号線(上妙典工区) 鉄道橋

九州鋼弦コンクリート株式会社

取締役社長 山崎 剱 秋

本社	福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル)	TEL 大代表(75)6031
営業部	福岡市天神2丁目14番2号(福岡証券ビル)	TEL 代表(74)7963
大阪事務所	大阪市北区芝田町9-7(新梅田ビル)	TEL 代表(372)0384
東京営業所	東京都港区新橋4丁目24番8号(第2東洋海事ビル)	TEL 代表(432)6877
大分出張所	大分市府内町2の3(吉良ビル)	TEL 大分(2)9850
宮崎営業所	宮崎市二葉町1	TEL 宮崎(3)3429
広島出張所	広島市大手町2丁目11番15号(新大手町ビル)	TEL 広島(47)9733
福岡山家工場	福岡県筑紫郡筑紫野町山家	TEL 代表(二日市)2733
大阪大東工場	大阪府大東市新田境町1	TEL 大東(72)1010
工 場	夜 須 ・ 甘 木 ・ 大 村	