

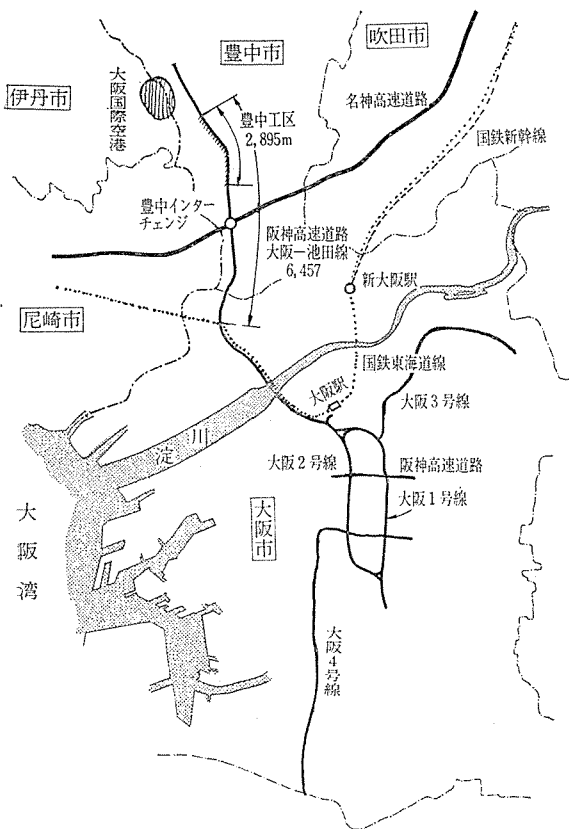
阪神高速道路 大阪府道大阪一池田線 豊中工区 における PC JIS 桁橋工事について

村 田 為 昭*
氈 受 昌 和**

1. まえがき

阪神高速道路公団では、昭和 41 年 1 月から、大阪市内と大阪国際空港とを結ぶ大阪府道大阪一池田線（大阪市内東淀川区加島町～豊中市大字走井、延長 6 457 m、自動車専用道路）の建設工事に着手した。このうち豊中工区は 図-1 に示すように、延長 2 895 m で、標準スパンとして T 型 JIS 桁（B-115-S スパン長 15 m）を用い、主要横断道路および横断水路部分上は、スパン長 15 m 以上のポステン桁および鋼桁（I 型合成桁）を採用している。

図-1



ここでは、豊中工区の T 型 JIS 桁工事の概要を述べるとともに、こうした桁を採用するに至った経緯、工場における桁製作の管理方法および桁架設の現況などについてふれてみたい。

2. JIS 桁工事の概要

豊中工区の本線標準断面は 図-2 に示すとおりで、左右を既設の大阪府道大阪一池田線にはさまれた中央部の緑地帯内に橋脚を施工し、その上に JIS 桁を架設して、全線高架構造の道路を建設する。このうち JIS 桁を採用したのは 2 160 m で、実に全延長の 74.6% をしめており、工区名、請負業者名、製作工場名、本数（連数）および契約金額等をまとめたのが表-1 である。

図-2 本線標準断面図

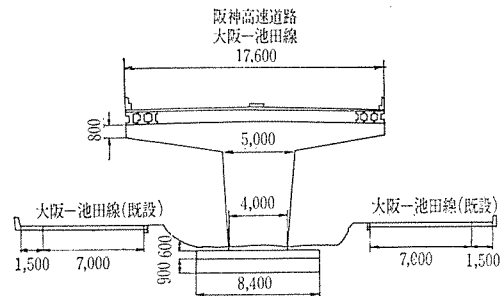


表-1

工区名	請負業者名	製作工場名	本数 (連数)	契約金額
豊中第2工区南	ビー・エス・コンクリート (株)	水口工場 滋賀工場	701 (25)	151 500 000
豊中第2工区北	中央ビーエス・コンクリート (株)	滋賀工場 江津工場	552 (23)	126 000 000
豊中第3工区南	住友建設 (株)	能登川工場 街川工場	528 (22)	131 000 000
豊中第3工区北	興和コンクリート (株)	豊橋工場 大東工場	648 (27)	150 500 000
豊中第4工区	オリエンタル・コンクリート (株)	滋賀工場 三里工場	408 (17)	106 000 000
豊中第5工区	日本鋼弦コンクリート (株)	滋賀工場 滋賀工場	444 (16)	110 150 000
豊中第6工区	日本ビーエスケコンクリート (株)	敦賀工場 揖斐川工場	336 (14)	80 250 000
			3 617 (144)	855 400 000

* 阪神高速道路公団大阪第一建設部工事第一課長
** " " " " 設計課

注：契約金額は、契約当初のものであり、その後、設計変更により、各社とも、多少減額になっている。

この表からも明らかなように、1カ所におけるJIS桁工事の規模としては、いままでも前例のない大きなものであり、あらゆる面から、JIS桁の真価を問う工事であると思われる。

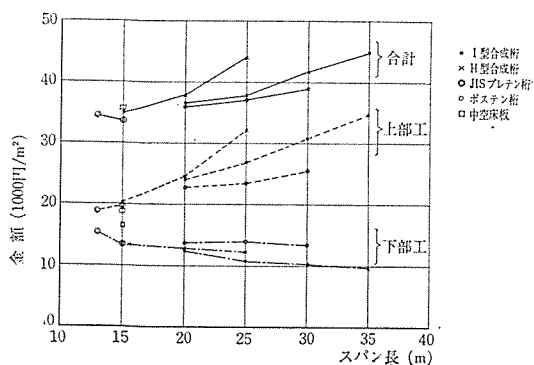
3. JIS 桁採用までの経緯

豊中工区における標準スパンとして、もっとも経済的な形式を選定するために、つぎのような工費比較を行なった。

ボーリング結果によれば、地上から5~7m程度の深さに堅固な砂利層が認められる。したがって、この砂利層を支持層と考え、種々の基礎形式を比較検討してみたが、結局、経済性、施工性および工期の点から、遠心力コンクリート既成杭φ400mmを用いた杭基礎がもっとも適していることが結論づけられた。また、橋脚は経済性、施工性とともな美観をも考慮し、柱寸法に制約条件のある所以外は、すべて、図-2に示したような鉄筋コンクリート橋脚を採用することにした。

さて、下部構造形式を上記のように決定し、上部構造形式を、I型合成桁20m、25m、30mおよび35m、H型合成桁15m、20mおよび25m、JISプレテン桁13mおよび15m、ポステン桁20m、25mおよび30m、中空床板15+3@16+15m=78m等の種別について工費比較を行なった。この結果を図に示したものが図-3である。これによれば、JISプレテン桁15mが、他の形式にくらべて、はるかに経済的であり、将来の維持、管理を考えても、鋼桁より優るとされる。

図-3 各種上部形式による工費比較図



ここで、JIS桁を使用した場合の長所および短所を列記すると、

長 所

- 1) 基礎工（下部工）が比較的簡単で、安価にできる場合は経済的である。
- 2) 将来の維持、管理の点で有利である。
- 3) 現場の施工管理が容易である。
- 4) 設計、製図が簡単で、鋼桁のような原寸、仮組の工程が省略できる。

- 5) 材料入手が容易である。
- 6) 桁高が低く、外観が美しい。
- 7) 塗装が不要である。
- 8) 伸縮継手およびシューが簡単である。

短 所

- 1) スパンが短いため、横断道路、横断水路などの障害物をさけるのがむずかしい。
- 2) 橋脚基数が多くなり、橋脚間隔が狭くなるので、施工が多少むづかしくなり、工期的にも長びく。
- 3) 曲線区間（クロソイド区間）では、桁をねじることができないので、カントの変化に応じて、橋脚天端構造に工夫がいる。また、カント量があり大きい部分では、桁の傾斜が大きくなり、応力的に問題が生じる。
- 4) 工場製作管理に問題がある。
- 5) 付属物（標識、料金徴収所等）をとりつけるのが鋼桁ほど簡単でない。

また、豊中工区を設計するに当たっての根本的な考え方として、構造をできるだけ簡単なものとし、材料も現在市販されている標準化されたもの（レディメイド）を組み合わせて使ってゆこうということである。従来、土木工事では、常にオーダーメイド——すなわち、設計者の思いのままのものを特別にあつらえて造る、というのが普通であった。しかし、種々の土木工専用二次製品が開発され製作されてきた現在、これらの組み合わせによって、土木構造物を造ってゆくという思想および努力が必要でないと思われる。

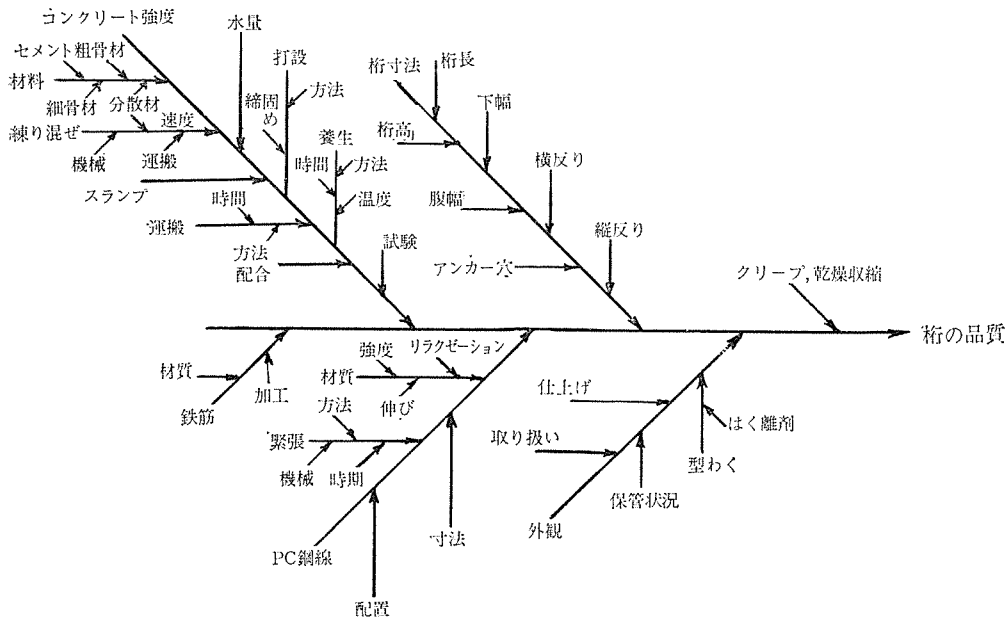
以上のことを総合して、多少の短所はあるにせよ、それを補う多くの長所が見い出されるので、豊中工区における標準スパンとして、JIS桁（B-115-S）を採用することに踏み切ったのである。

4. JIS 桁製作の管理方法

表-1に示したように、業者だけでも7社、工場にして14工場の多数にわたる所で製作される桁を、どのようにして管理してゆくかが一番大きな問題であった。

そこで、われわれは桁製作の管理を、各工場単位で行なうことを前提として、まず、「桁の品質」を特性値とし、これに影響をおよぼす要因図を特性要因図で描いてみた。この図が図-4に示すものである。この特性要因図というのは、俗称、魚の骨（fish born）とも呼ばれ、品質管理の分野で広く使われているものである。すなわち、ある特性（結果、ここでは桁の品質）を解析するに当たって、この特性とそれに影響をおよぼすと考えられる原因との相互関係を図示したもので、この図よりその工程の総体的な因果関係を整理することができ、また重点

図-4 桁の品質特性要因図



的に管理や改善を進めてゆくのに役立つ。俗称魚の骨 (fise born) と呼ばれるのは、見た所ちょうど、魚の骨のようなかっこうをしているからである。

この作り方は、

- 1) まず問題とする特性を決める。
- 2) 図-4 に示すように、用紙の中央に横線を引き、右端に問題とする特性を記入する。この矢印は、とりあげた工程を意味する。
- 3) 原因を大きく分類して、左から矢印で記入する。
- 4) 大きく分類した原因をさらに細分して小枝にしてゆく。

さて、こうして描いた特性要因図によれば、「桁の品質」に影響をおよぼす要因は多種多様にわたるのであるが、このうち比較的容易に数字のデータとして示すことができるものと、そうでないものがある。たとえば、コンクリート強度、緊張および桁寸法諸元などは、前者に属すると考えられるが、桁外観などはかなり官能的な要素が入ると考えられる。したがって、このようなものに対しては、点数制をとり入れるのがもっとも好ましいようである。

従来、機械工業、電気工業あるいは化学工業等、一定のサイクルをくり返すような工程をもった分野においては、品質管理 (Quality Control) がかなり浸透してきているが、土木工学の分野では、一部をのぞいて、まだあまり普及していない。しかし今後は、土木の分野においても、常に、品質管理的な考え方の上に立って、とり入れられるものには積極的にとり入れ、統計的手法の裏づけに立った質の向上に努めていく必要があると思われる。とくにこの JIS 桁の工場製作は、土木の分野のな

かでも、品質管理を適用するのに、きわめて適したものであろう。

そこでわれわれは、受入れ側の立場から、先にあげた要因のうちコンクリートの圧縮強度、スランブ、緊張および桁寸法諸元等に注目してデータを取り、これらの資料にもとづいて、桁全体の品質を管理してゆくことにした。もちろん、これらのデータそのものにはいろいろ問題があるであろうが、事前に各工場

場を念入りに検査した結果から、少なくとも、上記のデータに対してはかなりの信頼性がある、という確信が得られた。

さて、これらについては、つぎのような方針で管理を行なうことにした。すなわち、

1) まず、工場を単位として、類似の桁について、従来のデータ——すなわち過去 1~3 カ月の間のものを集成し、管理図として提出させる。

2) 1) の管理図を検討し、各工場の従来の工程状況を把握する。もし悪い所があればその原因を追求し、工程を改善させる。

3) 当公団の桁製作が進むにつれて新しいデータを取り、管理図にして従来のデータと比較検討する。すなわち、新しく作成した管理図と従来の管理図とが大差ないか、差があればその原因は何か、どうすれば改善されるか、というように、その原因を追求して具体的な対策を考える。

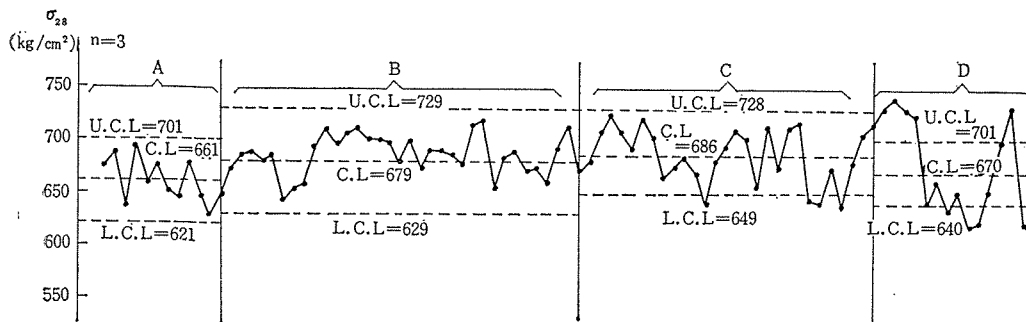
4) 新しいデータが 1 カ月程度集まれば、従来のデータのうち、古いもの 1 カ月をカットし、新しい 1 カ月のデータを加えて管理図を作成し直す。そしてつぎの 1 カ月はこの管理図をもとに管理してゆく。

5) 順次、1)~4) までのサイクルをくり返し、管理をつづけてゆく。

以上の方法について、コンクリートの圧縮強度の具体例を二、三示そう。

a) a工場の例 図-5 はコンクリートの圧縮強度 (σ_{28}) の管理図を示したものである。このうち A は当公団の桁製作前のものであるが、これによると実際の仕様 $\sigma_{28} > 500 \text{ kg/cm}^2$ に対し平均値 661 kg/cm^2 , UCL 701

図-5 コンクリートの圧縮強度 $\bar{x}-R$ 管理図 (a 工場の例)



kg/cm², LCL 621 kg/cm² と、かなり高い目標強度に基づいて製作していると考えられる。われわれとしては、この程度のものであればまず問題ないと考え、上記の工程を承認して桁製作を開始させた。B, C および D は、当公団の桁についてのものである。B および C については、いずれも A より高目の結果になってきており、問題ないので、そのまま製作を続行させた。ところが、D に至ってやや乱れが目立ち出した。そこでこの原因を追求してみると、どうも入荷バラスが変わったためではないかということになり、以後、バラスに注目して管理していくことにした。

b) b 工場の例 図-6 において、A がやはり当公団製作前のものであるが、これによると平均値 555 kg/cm², UCL 591 kg/cm², LCL 519 kg/cm² と a 工場にくらべるとかなり低いが、一応仕様に入っているので承認した。B および C が製作後のものであるが、工程としてはきわめて安定しており、申し分ない。

図-6 コンクリートの圧縮強度 $\bar{x}-R$ 管理図 (b 工場の例)

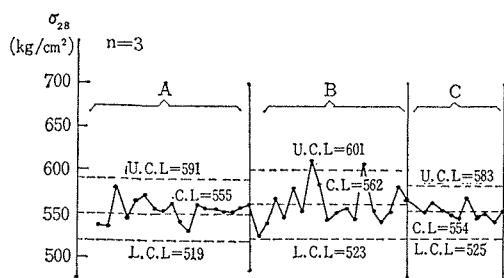
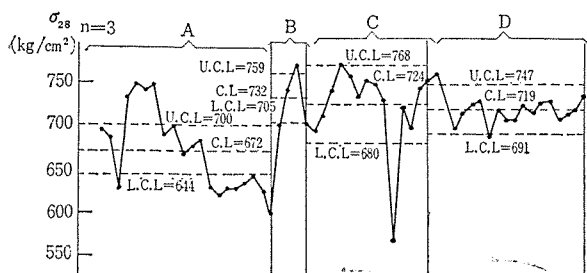


図-7 コンクリートの圧縮強度 $\bar{x}-R$ 管理図 (c 工場の例)



c) c 工場の例

図-7 における製

作前の管理図 A では、一応仕様内には収まっているが、かなりのばらつきが認められる。そこで桁製作に当っては、仕様をやや上げ、さら

にばらつきを少なくするよう指示した。B および C においては、多少のばらつきが感じられるが、D に至ってかなり安定してきている。この工程を持続していけば、十分な品質のものが得られると思われる。

以上のような管理を、コンクリートの圧縮強度、スランプ、緊張および桁寸法諸元などについて行なったが、これらのデータからいえることは、同じ仕様のものを作るのに各工場まちまちの値をもっているということである。これは、工場能力、ばらつきなどを考慮に入れ、各工場それぞれ独自の社内規準を考えているためであると思われるが、現状では、各自が自分だけの殻に閉じこもり過ぎていく傾向がある。今後の問題として、各工場がもう少しお互いに他社を研究し、長所、短所を検討して、PC 工場全体としての統一ある標準化を進めることであろう。

余談ではあるが、二、三の工場で、コンクリート強度の場合、 $\bar{x}-R$ 管理図よりも $\bar{x}-R_s$ 管理図の方が好ましい、という考え方をしているようであるが、確かに一理ある。しかし管理としては、やはり、 $\bar{x}-R$ 管理図で行なうのが基本であると思われる。すなわち、群間変動を群内変動で管理するのが管理図の原則であり根本である。したがって、やむを得ない場合以外は、 $\bar{x}-R$ 管理図を用いるべきであろう。

また、土木学会の鉄筋コンクリート標準示方書および桁橋用プレストレスト コンクリート橋桁 JIS 解説では管理限界を 2σ と定めているようであるが、最近の土木技術の進歩から考えても、また、統計学的に考えても、当然 3σ で管理するべきであり、実際にしうると考えられる。

なお、JIS 桁については、ひびわれ載荷試験を抜取試験で実施するよう規定されているが、実際に JIS Z 9002—1956—計数規準型 1 回抜取検査表 (不良個数の場合) を用いて抜取方式を設計すると表-2 のようになる。

すなわち、PC 桁の場合、不良率を極度に低く押える必要があるから、表-2 を一見しても、抜取試験はまず

表-2

$\alpha \approx 0.05$ (生産者危険)
 $\beta \approx 0.10$ (消費者危険)

p_1 (%)	0.71~0.90		0.91~1.12		1.13~1.40		1.41~1.80		1.81~2.24		2.25~2.80	
p_0 (%)	n	c	n	c	n	c	n	c	n	c	n	c
0.090~0.112	420	1	400	1							60	0
0.113~0.140	650	2		↓	300	1		↓		←		↓
0.141~0.180	840	3	500	2		↓	250	1		↓		←
0.181~0.224	990	4	670	3	400	2		↓	200	1		↓
0.225~0.280	1290	6	790	4	500	3	300	2		↓	150	1
0.281~0.355	2910	15	1050	6	630	4	400	3	250	2		↓
0.356~0.450	3440	20	1540	10	830	6	500	4	300	3	200	2
0.451~0.560	—	—	2070	15	1230	10	660	6	400	4	250	3
0.561~0.710	—	—	—	—	1630	15	960	10	500	6	300	4
0.711~0.900	—	—	—	—	—	—	1290	15	770	10	400	6

p_0 (%) : なるべく合格させたいロットの不良率の上限
 p_1 (%) : なるべく不合格としたいロットの不良率の下限
 n : 抜取個数
 c : 合格判定個数
 注 : 矢印は、その方向の欄の n, c を用いる。

不可能であり、たとえ採用したとしても、全数検査に近いものになってしまう。従来、施主側も業者側も、ただ漫然と何本に1本というような決め方で載荷試験を実施してきたようであるが、これはあまり意味がなく、一種の気安めに過ぎない。もし、実際に意味のある試験をやるとすれば、全数検査を実施することであろう。

最後に、この JIS 桁の実物破壊試験を行なったので、簡単にふれておく (写真-1~5)。

a) 桁の諸性質

1) 形状寸法

桁長 14.980 m, 支間 14.360 m, 桁高 900 mm,
 PCストランド ($\phi 9.3 \times 30$)

引張強度 $\sigma_{pu} = 176 \text{ kg/mm}^2$, 降伏点応力度 $\sigma_{py} = 150 \text{ kg/mm}^2$, 許容引張応力度 $\sigma_{pi} = 120 \text{ kg/mm}^2$,

2) コンクリート

打設日 : 昭和 41 年 2 月 22 日,
 プレストレス導入強度 : 478 kg/cm^2 , $\sigma_{28} = 677 \text{ kg/cm}^2$
 試験日 : 材令 36 日, セメント : 早強ポルトランドセメント,

3) 荷 重

設計下縁応力該当点 : 11.3 t, 下縁応力度 : 13.3 t
 設計ひびわれ荷重 : 18.1 t, 破壊予想荷重 : 43.0 t

b) 試験方法

1) 載荷要領

- 第1回 } 設計ひびわれ荷重 18.1 t まで
 - 第2回 } 0 t, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18.1
 - 第3回 }
 - 第4回 ひびわれ発生まで (発生を認めたら荷重をもどす)
 - 第5回 ひびわれ再開まで (再開を認めたら荷重をもどす)
- 0 t, 4, 8, 12, 16, 18.1, 19, 20, 21, ...

設計ひびわれ荷重以後は 1 t きざみに載荷。

第6回 破壊 (予想荷重 43.0 t) まで。

0 t, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 32, 40, 43, 44, ...

破壊予想荷重以後は 1 t きざみに載荷。

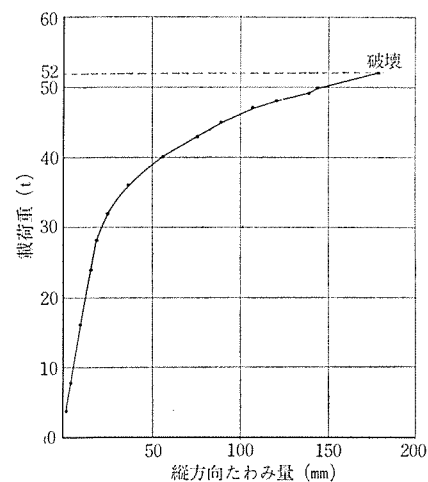
2) たわみ量の測定

縦方向 : 中央部 1 点, 両支点付近 2 点, 計 3 点
 横方向 : 中央部下突縁 1 点。

c) 試験結果

このようにして行なった載荷重一たわみ曲線を 図-8 に示す。また、各荷重におけるひびわれ状況および破壊状況の写真を示したものが 写真-1~5 である。

図-8 載荷重一たわみ曲線



試験結果をまとめると、

- 1) 荷重 30 t までは、ひびわれは下フランジ内に止っていた。
- 2) 荷重が 30 t を過ぎると、たわみおよびひびわれは急に増加し、35 t を越えると、ウェブ中央に向って、斜めにひびわれが発生した。

写真-1 載荷重 32 t



写真-3 載荷重 43 t

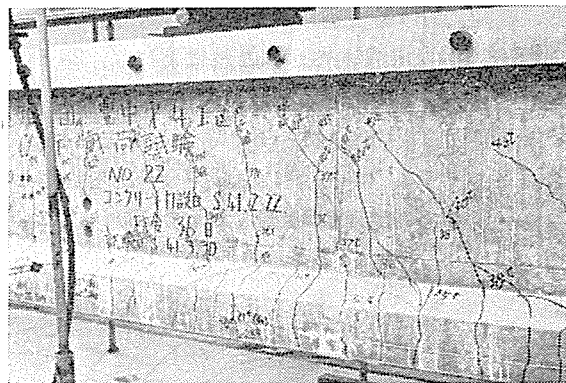


写真-2 載荷重 40 t

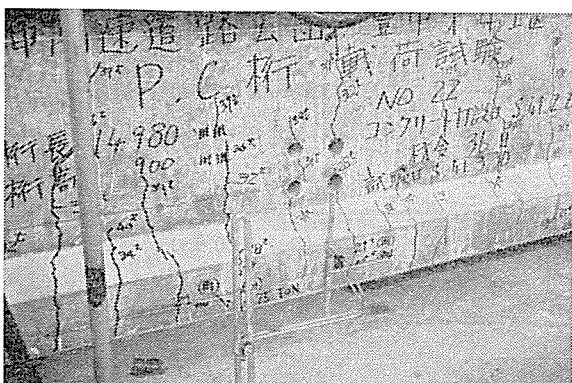
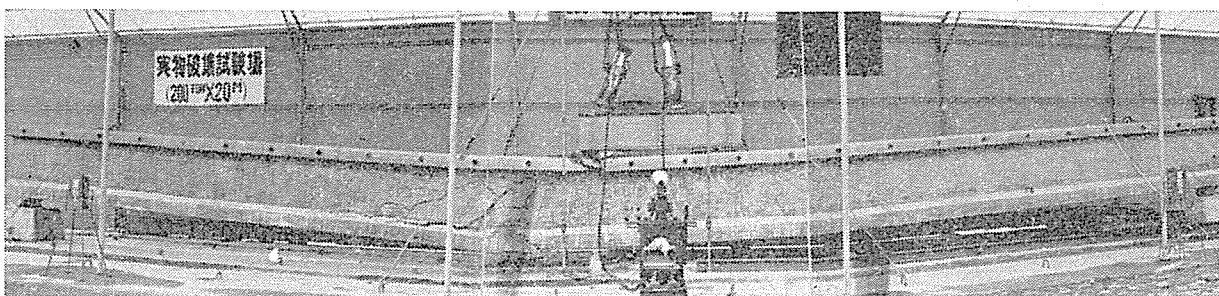


写真-4 載荷重 53 t (破壊時)



写真-5 破壊後全景



3) 荷重 40 t 近くでは、ひびわれの伸びも大きくなり、最大幅が目測で 1.5 mm ぐらいに達し、ウェブ中央に向かって斜めに上昇し、下フランジのひびわれも新たに発生し始めた。

4) 荷重 50 t 頃より、ウェブと上フランジの側面に水平方向のひびわれが現われ、ついに 53 t で上フランジのコンクリートが圧潰し、桁は破壊した。

なお、破壊直前のたわみ量は 181 mm で、破壊後においても桁端部における PC ストランドのすべりは認められなかった。

しかしこの試験は、なにぶん 1 本だけについてのものであり、もっと数多くの試験をしてみないと、くわしい資料は得られないと思われる。

以上、JIS 桁の製作管理方法を、受入れ側の立場からのべてきたが、要するに、桁製作の基本は上にのべた各

要因をいかにうまくバランスをとって管理して、仕様の品質に応じたものを作っていくか、である。各工場の技術水準が平均してもっと向上し、検査機関が整備されてくれば、施主側は、現在よりもっと工場を信用して、重要項目についてのみ受入れ検査を実施し、各データは鋼材におけるミル・シートと類似の考えで受けとれるようになると思われる。

こうした点で、今後、施主側も業者側もそれぞれの立場で努力を重ねてゆく必要があるであろう。

5. 桁架設の現況

前にも述べたとおり、豊中工区は両側を既設の大阪府道大阪一池田線にはさまれており、架設に当たってもこの道路における架設中の交通処理が大きな問題であった。

交通量調査の結果によれば、昼間はかなりの交通量が

あり、安全の面からも、能率の面からも好ましくない。一方、夜間における交通量調査の詳細は、図-9 および図-10 に示すようであるが、これによれば、23時～6時はかなり減少し、0時以降はきわめて少なくなる。そこで架設時間を夜間 23時～6時ということにしぼって25重りトラック クレーンによる架設計画を立案した。

図-9 交通量調査図 (大阪→池田)

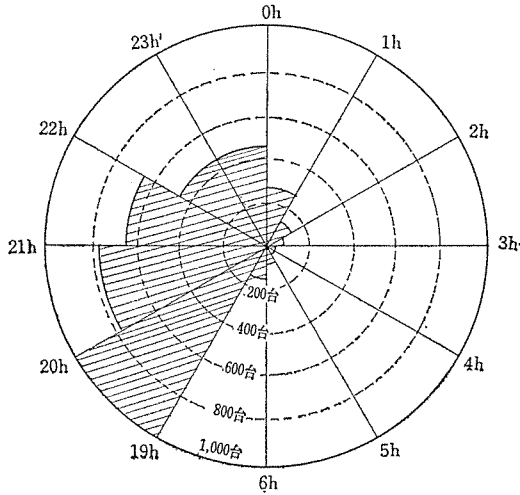
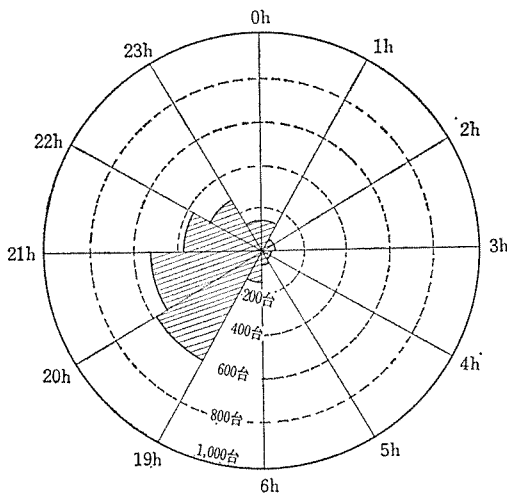


図-10 交通量調査図 (池田→大阪)



第1案

既設の大阪一池田線をまったく使用せずに架設する。すなわち、トレーラーをすべて工区内へ駐車させ、1カ所から桁をつり上げ、一時橋脚上に仮置きし、その後縦移動および横移動を行なう。能率の面できわめて劣るが、既設道路の交通障害になることが少ない。

第2案

既設の大阪一池田線を一車線だけ使用し、一車線を交通に供して架設する。能率的であるが安全の面からは好ましくない。

第3案

既設の大阪一池田線を片側2車線交通止めにして架設する。交通流は近くのう回道路を用いて処理する。きわ

めて能率的であるが、う回道路への適確な誘導処理が必要である。

以上、3案について詳細検討したが、警察および道路管理者とも協議の結果、能率、安全の両面から考え万難を排して第3案の方法による架設を行なうことにした。

第3案でもっとも問題になるのは、う回道路とそれへの誘導である。う回道路については、幸い近くに旧大阪一池田線(既設の大阪一池田線の改修前の旧道)があるので、これを用いることにし、誘導方法については、誘導標識を主要箇所を設置し、さらに誘導員をつけて誘導を行なわせることにした。

作業時間の内訳については、

- | | 時 | 時 | |
|-----------------------|-------|-------|--------------|
| ① 準備 | 23.00 | 23.30 | 30分 |
| ② クレーンおよびトレーラー配置 | 23.30 | 0.30 | 60分 |
| ③ 桁架設(第1連目, 12本) | 0.30 | 2.30 | 120分(10分/1本) |
| ④ クレーンおよびトレーラー配置替 | 2.30 | 3.00 | 30分 |
| ⑤ 桁架設(第2連目, 12本) | 3.00 | 5.00 | 120分(10分/1本) |
| ⑥ クレーンおよびトレーラー引上げ後片付け | 5.00 | 6.00 | 60分 |

合計 420分(7時間)

したがって、一夜に24本(一連相当)架設できるわけである。また、架設工程については、片側交通止め期間をできるだけ短くするために架設日を7~10日/月で定め、この期間中に各社集中して、いっせいに架設することにした。この計画表が表-3である。

9月には、第1回架設として、2工区北4連、3工区南3連、計7連の架設を行なったが、すべて計画どおり順調に進んだ。写真-6~8は、このときのものである。なにぶん、今回は架設連数が少なかったが、10月以降は、連数が多くなるので、多少の混乱や誤算が表面にあらわれてくるかもしれない。

なお、この工程でスムーズに進行していけば、昭和42

表-3

工区名	請負業者名	41年9月	10月	11月	12月	42年1月	2月	3月	4月	5月
豊中第2工区南	ビーエス・コンクリート(株)		4	4	4	2	4	2	5	
豊中第2工区北	中央ビーエス・コンクリート(株)	4	4	4	5		1	5		
豊中第3工区南	住友建設(株)	3	11	3	1	4				
豊中第3工区北	興和コンクリート(株)			5	9	5	6			2
豊中第4工区	オリエンタルコンクリート(株)		3	3	6	4	1			
豊中第5工区	日本鋼弦コンクリート(株)		7	3		3	3			
豊中第6工区	日本ビーエス・コンクリート(株)		5		5	2	2			
合 計		7	34	22	30	20	17	7	5	2

写真-6

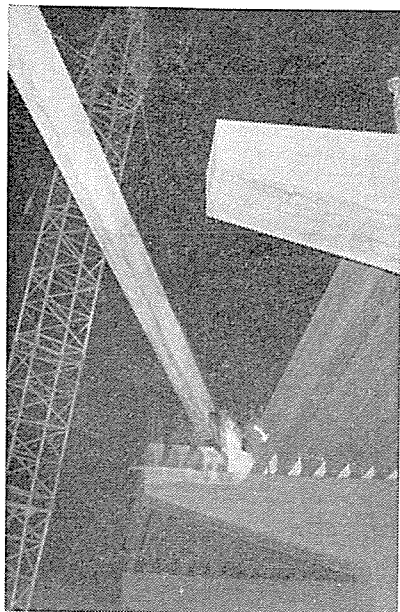


写真-7

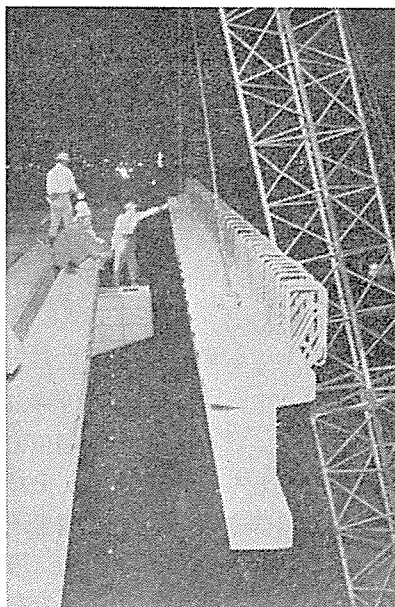
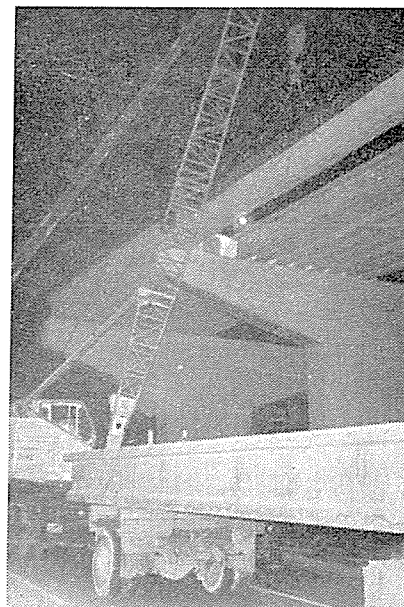


写真-8



年5月にはすべての桁架設が完了し、昭和42年夏の開通には十分間に合うと思われる。

6. あとがき

以上、豊中工区におけるPC JIS 桁橋工事についてその概要をのべてきた。なにぶん、JIS 桁橋工事規模としては未曾有のものであり、それだけに、今後のPC界

におよぼす影響はきわめて大きいと思われる。上に述べてきたように、経済性の問題、スパン長の問題、工場製作管理の問題、施工性の問題等々さまざまな課題をもっているが、これらについても今後もっともっと研究され改善されてゆくべきものである。

この報告書が多少でも今後のPC桁工事の参考になれば幸である。

1966.10.15・受付

東京製網製品



P C

JIS G 3536

鋼線・鋼より線
B B R工法鋼線
多層鋼より線 (19,37本より)

製造元 **東京製網株式会社**
発売元 **東網商事株式会社**

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)