

横リブ付き RC 床版を有する PC 箱桁ラーメン橋の設計と施工

—菅原城北大橋—

亀	井	正	博*
本	多		新**
松	村		勉***
曾	我	真	也†
石	塚	健	一††

1. まえがき

すがわらしろまた
菅原城北大橋は、図—1 に示すように豊里大橋と長柄橋の中間に位置し、都市計画道路豊里矢田線の整備の一貫として計画されたもので、大阪市北部と都心部との連絡をより充実させることを目的としている。

架設工事は昭和 59 年 12 月に東淀川区側から着手し、4 年半という短い工期のもとに平成元年 6 月供用を開始した。

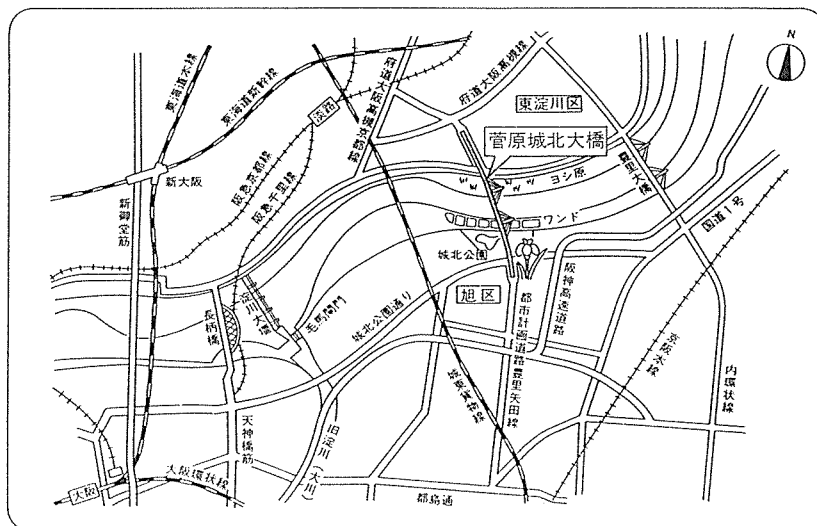
この橋梁は、全長約 1 206 m で、河川中央部の鋼斜張橋を中心として、両岸の PC 箱桁ラーメン橋、固定アーチ橋などから構成されている。図—2 に橋梁全体図を示す。

このうち右岸側の PC 箱桁ラーメン橋は、図—3 に示すように東淀川区側で鋼斜張橋の桁端とヒンジで接合さ



写真—1

れ、鋼斜張橋に対してカウンターウエイト的な役割を果たすもので、以下に示すような特色を有している（写真—1 参照）。



図—1 位置図

* Masahiro KAMEI : 大阪市建設局立体交差課

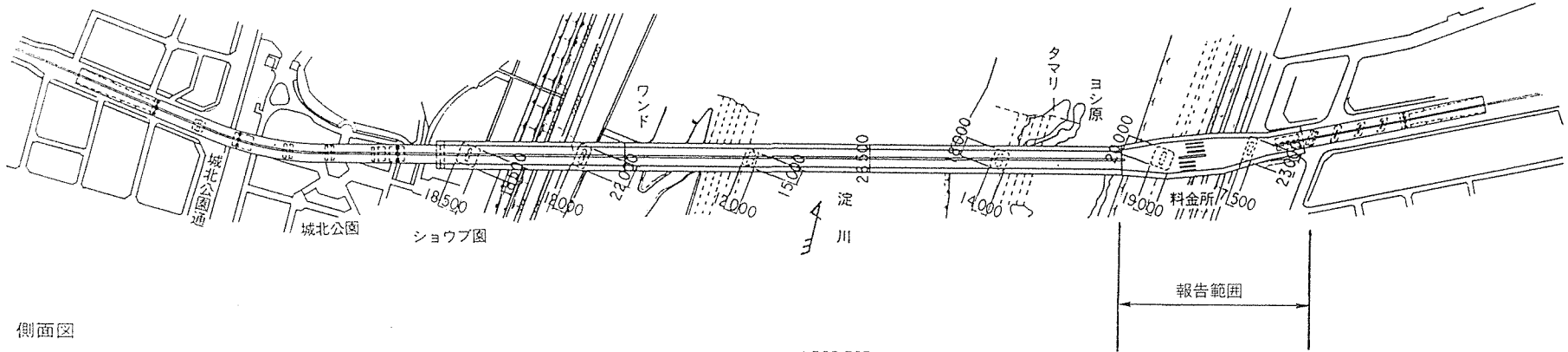
** Arata HONDA : 飛鳥建設(株)大阪支店

*** Tsutomu MATSUMURA : 飛鳥建設(株)技術本部土木設計部

† Shinya SOGABE : 飛鳥建設(株)技術本部土木設計部

†† Kenichi ISHIZUKA : 飛鳥建設(株)技術本部土木設計部

平面図



側面図

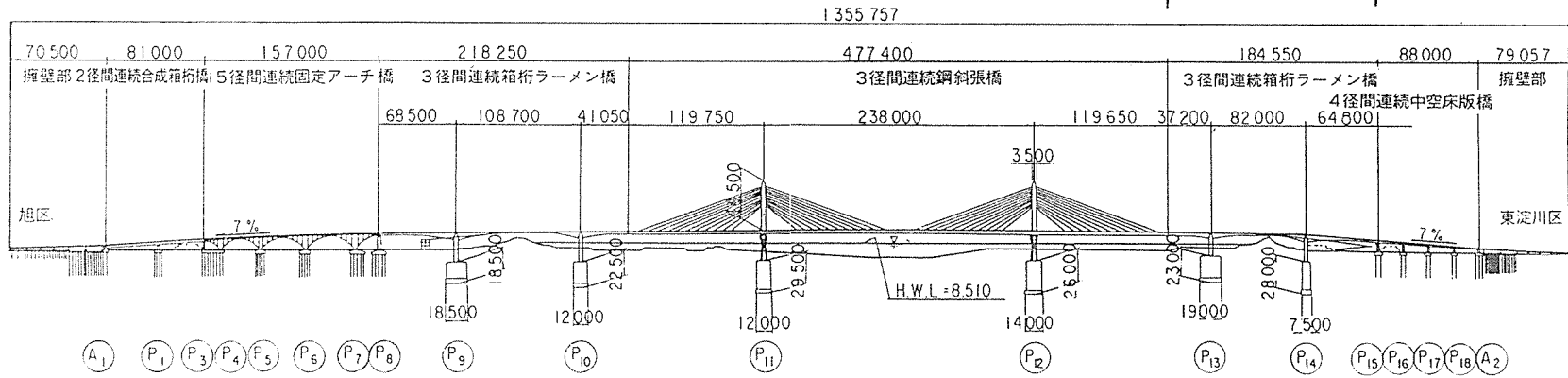
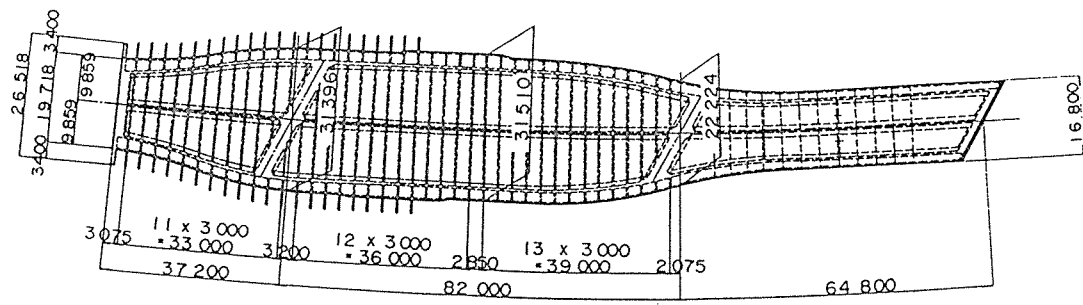
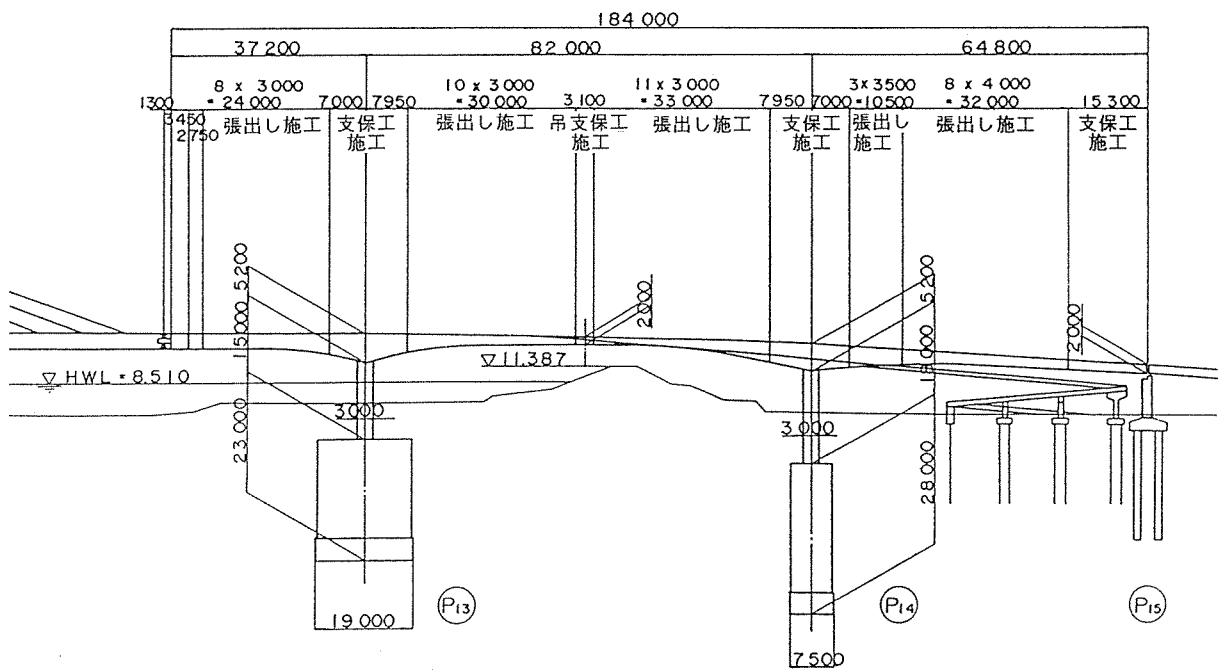


図-2 橋梁全体図

平面図



側面図



断面図

中央部

橋脚上

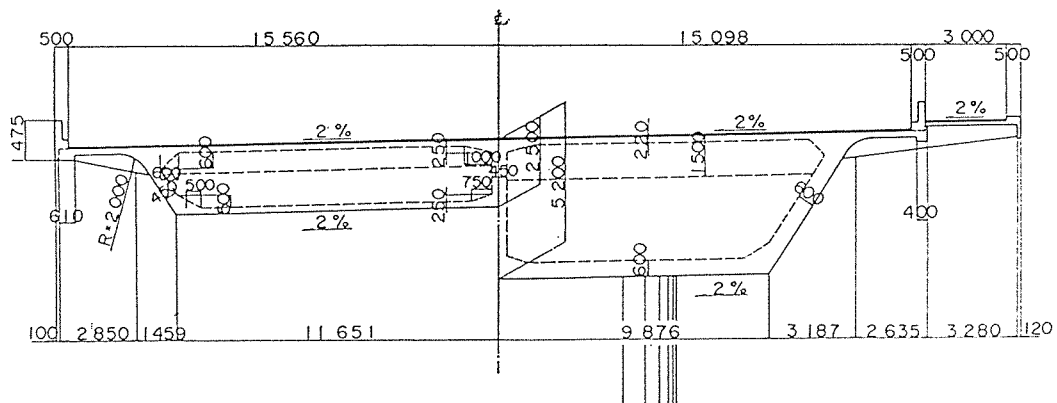


図-3 構造一般図

◇工事報告◇

- ① 中央径間に料金所があり、これに伴って著しく幅員が変化する。
- ② 上部工の主桁は2室箱桁断面を採用し、拡幅区間の上床版をRC構造とし横リブを設けて補強している。
- ③ P₁₃ 柱頭部横桁は、橋脚上でオーバーハングになっている。
- ④ 河川条件により橋脚は、約60°の斜角を有している。

本橋はこのような構造上の特徴を有し、しかも張出し架設工法にて施工された、国内では類を見ないものである。特に横リブ付きRC床版については、我が国においては過去に例がほとんどなく、その設計に当たってはFEM解析等を実施し十分な検討を行っている。

本文は、この右岸側PC箱桁ラーメン橋の横リブ付きRC床版を中心として、設計と施工の概要について述べるものである。なお菅原城北大橋の概要については、他の文献¹⁾を参照していただきたい。

2. 工事概要^{2),3)}

2.1 工事概要

発注者：大阪市建設局
 工事名：淀川新橋（仮称）架設工事
 工事場所：大阪市東淀川区豊里地先
 工期：昭和62年10月～平成元年6月
 施工者：飛島・松村建設工事共同企業体
 施工法：FCC工法（フレシネー）

2.2 構造概要

橋種：プレストレストコンクリート道路橋
 橋格：1等橋（TL-20）
 構造形式：上部工 PC箱桁ラーメン橋
 拡幅部 横リブ付きRC床版
 一般部 PC床版
 下部工 ケーソン基礎

橋長：184 m
 支間割：37.2 m+82.0 m+64.8 m
 幅員：全幅 17.0 m～38.3 m

表—1 主要工事数量表

主桁工			
工種	規格	単位	数量
鉄筋	SD35	tf	1017
型枠		m ²	13959
コンクリート	早強 $\sigma_{ck}=400 \text{ kgf/cm}^2$	m ³	4253
PC鋼材	主ケーブル SWPR 7 B 12 T 12.7	tf	158
	横締めケーブル SWPR 7 B12 $\phi 8$	tf	19
	鉛直鋼棒 SWPR 95/110 $\phi 32$	tf	28

有効幅員 車道部 16.0 m～30.3 m
 歩道部 2 @ 3.0 m

横断勾配：片勾配 2%～両勾配 2%
 横断勾配：1%～7%
 平面線形：R=1000 m
 斜角：P₁₃ 66°, P₁₄ 63°, P₁₅ 60°

2.3 主要工事数量

主要工事数量を 表—1 に示す。

3. 横リブ付きRC床版の概要

3.1 採用理由

本橋は有料道路として計画されており、料金所を中央径間上に設置せざるを得なかった。

このため、料金所を境に幅員が4車線16.0 mから6ブース30.3 mと変化し、また車道部の両側に幅員3.0 mの歩道が併設されているため、総幅員が38.3 mとなる。

一般的にPC橋で広幅員の場合には多室箱桁橋が採用されるが、本橋のように幅員が大きく変化し、張出し架設される場合には、次のような問題点があった。

- ① 中央径間のみ多室箱桁断面にすると、死荷重による柱頭部のアンバランスモーメントが極端に大きくなる。
- ② 架設ケーブルの配置上から、幅員の狭い側径間にもウェブを設けなければならず、死荷重が大幅に増加する。

このような理由により、幅員の狭い側径間で決まる2室箱桁断面を基本として、幅員変化に対しては内空幅を変化させることにした。直接輪荷重が作用する上床版は、道路橋示方書・同解説（以下道示と呼ぶ）Ⅲの適用範囲を超えるため、横リブで補強する構造とした。

またこの横リブを外側ウェブから張り出すことによってブラケット構造とし、その上に橋体完成後軽量のプレキャスト版を敷設して歩道部とした。

3.2 横リブ付きRC床版の利点

従来の箱桁橋の上床版は、ウェブを支点とした一方向版として設計し、輪荷重による応力は車両進行直角方向で負担する。

一方、横リブ付きRC床版はウェブと横リブとで支持される構造となり、横リブ間隔/ウェブ間隔の比に応じて車両進行方向の一方向版もしくは二方向版として応力を分担できる。

このため床版厚は、主桁の架設ケーブル、床版の鉄筋ならびにかぶりなどから決まる最小厚でよく、PC床版と比べて横締めケーブルの分だけ薄くすることができる。

本橋の場合、PC 床版では 30 cm 必要なのに対し、横リブ付き RC 床版では 22 cm でよく、この結果、大幅な死荷重軽減が図れることになる。

また、張出し床版部は 3 辺支持版となり、ある程度剛性が確保されることから、張出し長さを大きくとれるという利点がある。

さらに床版は RC 構造となるが、橋軸方向のプレストレスが作用するため、ひび割れ抵抗性が向上する有利さもある。

3.3 横リブ構造

横リブのピッチや断面寸法等は次のようにして決定した。

- ① 横リブは移動架設作業車（トラベラー）の移動据付けに際して支障とならないよう各ブロック後方に取り付け、ブロック割りと同様 3m ピッチとした。
- ② 横リブ高さは、T 形梁として十分な剛性を持つように 1m とした。
- ③ 横リブ幅は、鉄筋を適正に配置するために 25 cm とした。
- ④ ひび割れ制御用に PC ケーブルを配置し PRC 構造とした。

なお柱頭部付近の横リブは後に述べる理由により、その高さを 1.5m とし、PC ケーブルも 1 本追加している。

4. 設計概要

4.1 設計方法

主桁の設計は、架設手順を追った平面骨組構造解析を基本として、別途立体骨組構造解析によって算出したねじりモーメントを考慮して行った。

なお本橋は冒頭に述べたような構造上の特徴を有することから梁理論だけでは不十分と考えられたため、架設系の立体 FEM 解析と完成系の立体 FEM 解析を実施して詳細な検討を加えた。

横リブの設計は、完成系立体 FEM に道示に示される T-20 荷重を横リブに不利な応力が生じるように載荷し、得られた応力から断面力換算を行い、PRC の T 形梁として断面照査を行った。

上床版については、上記同様リブ間に T 荷重を載荷して得られた結果、ならびに道示Ⅲの床版の設計曲げモーメントの項を参照して鉄筋量を算出した。

ウェブ、下床版の設計は、横リブの有効幅を考慮したボックスラーメンと仮定して断面計算を行った。

図-4 に設計フロー図を示す。

4.2 架設時の立体 FEM 解析

本橋は、幅員の変化に対応できる総重量 $W=280$ tf の大型特殊トラベラー（詳細後述）にて施工されるため、架設時には、このトラベラー自重と新設ブロックのコンクリート重量が各ウェブに作用する。

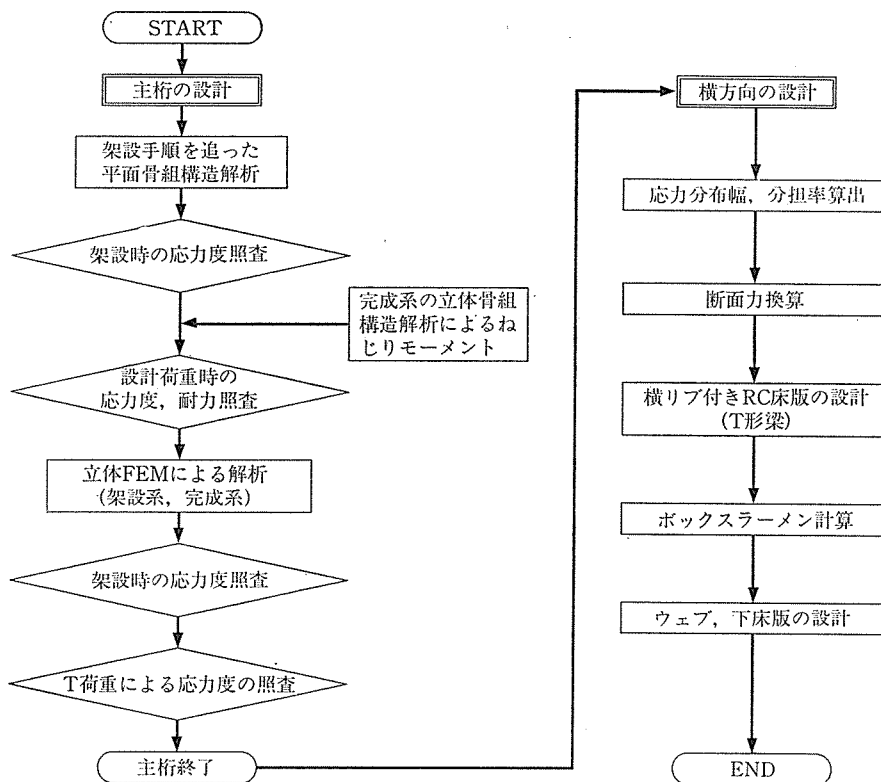


図-4 設計フロー図

◇工事報告◇

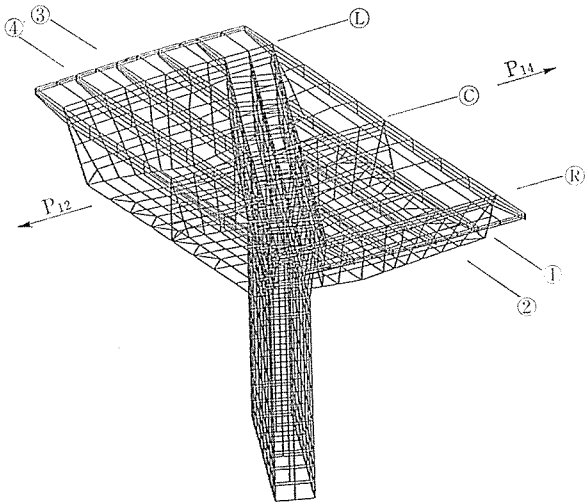


図-5 架設時 FEM 解析モデル図 (P₁₃ 柱頭部)

図-5 のモデルについて立体 FEM 解析を実施したところ、図-6 に示すように横リブに大きな引張力の発生することが判明した。これは、主桁が橋脚に対して斜角を有しており、柱頭部付近でオーバーハングの状態になっているからと考えられる。そこで、柱頭部付近の横リブ高を基本設計時の 1.0m から 1.5m とするとともに、PC ケーブルを追加してこれに対処することとした。

また、基本設計では中間隔壁が径間中央部のみしか配置されていたが、張出し架設時の主桁の断面変形による二次応力の軽減を目的として、中間隔壁を柱頭部付近のブロックに新設するものとした。

さらに、図-7 に示す主桁の応力分布からも分かるように、FEM 解析結果が梁理論よりも大きくなっている領域があり、これに対しては架設ケーブルを 6 本追加し、プレストレス力を増すことによって対処した。

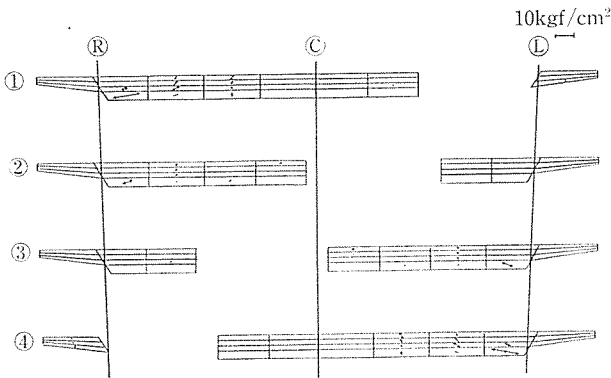


図-6 横リブ矢線図

5. 横リブの挙動

5.1 計測と実橋載荷試験

本橋は、架設時の安全性確保を目的として各種の計測を行っており、さらに完成時の安全性を確認するため、実橋載荷試験を行った^{4)~5)}。

なお、実橋載荷試験には、ダンプトラック（後輪 2 軸）に砂利を積載して、T-20 相当の荷重にしたものを用いた。載荷台数、配置等は構造の特徴が顕著に現れ、計測器の測読範囲に入るように決定した。

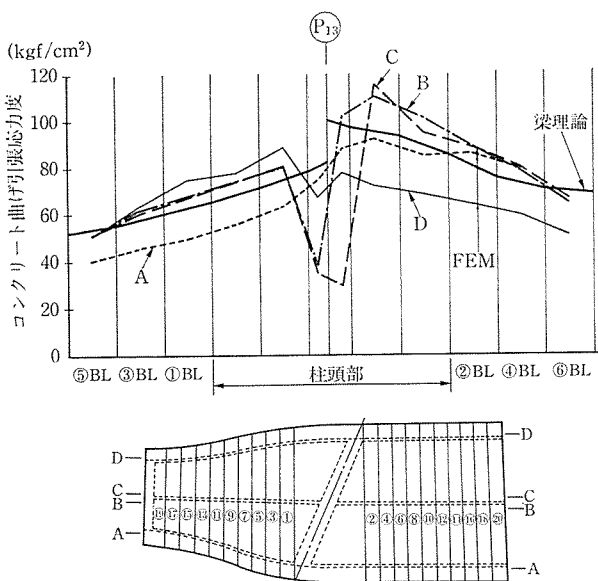


図-7 FEM 解析と梁理論の比較図 (P₁₃ 側最大張出し時)



写真-2 実橋載荷試験

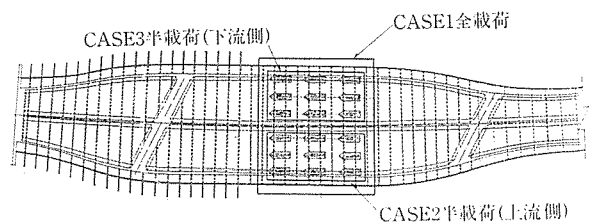
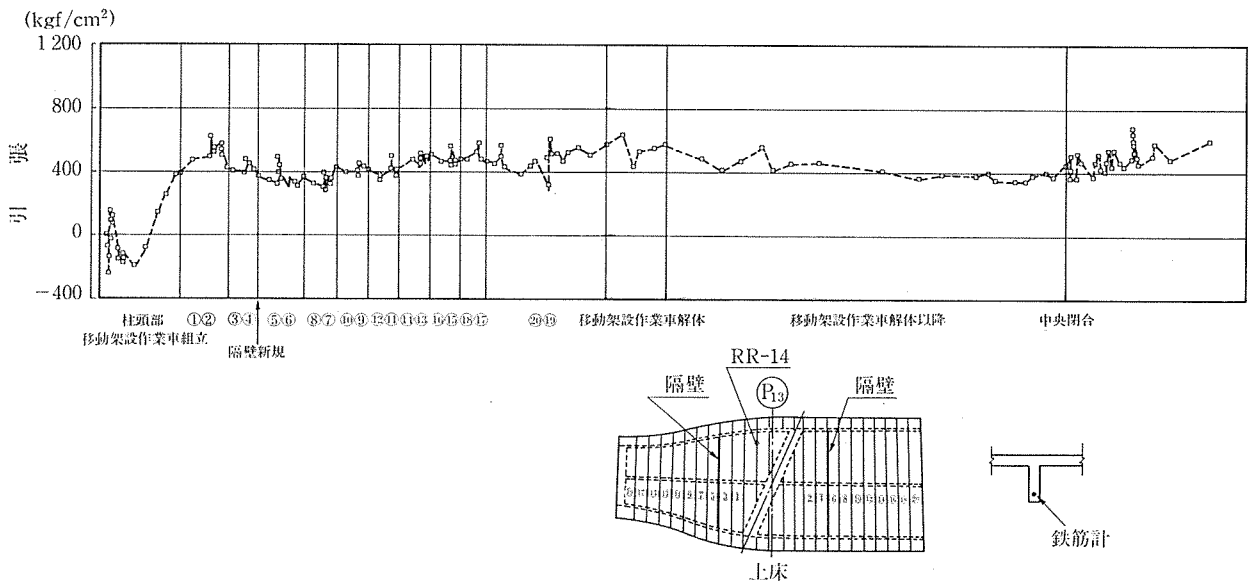


図-8 実橋載荷試験載荷ケース



図—9 横リブの鉄筋応力度経時変化図

載荷方法を 図—8 に、載荷状況を 写真—2 に示す。

5.2 架設時の挙動

ここでは、架設系立体 FEM 解析で明らかになった柱頭部付近の横リブの応力状態について述べる。

計測位置および鉄筋応力度経時変化図を 図—9 に示す。図からも分かるように、トラベラー組立後着目する横リブは応力度が急激に増加するが、その後の張出し架設による変動は少ない。この特徴は、立体 FEM 解析の傾向とよく一致しており、隔壁を新規に追加した効果が現れたものと考えられ、設計の妥当性が確認された。

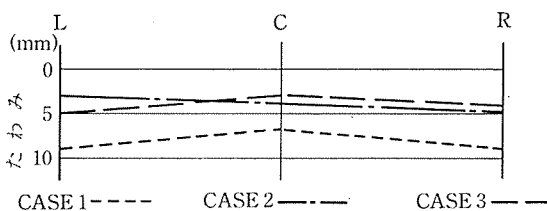
この横リブの鉄筋応力度は、完成後の死荷重時で約 $\sigma_{ck} = 700 \text{ kgf/cm}^2$ 程度の引張応力度となるが、解析の結果、設計荷重時においても十分許容値を満足するものであった。

5.3 完成時の挙動

実橋載荷試験の各載荷方法による中央径間中央部の各ウェブのたわみを 図—10 に示す。

この図から明らかなように、載荷方法により断面変形の影響が現われている。これは、中央径間中央部が超扁平な箱桁断面となっていることが一因と推定される。

通常箱桁断面は、断面変形に伴うそりによる橋軸方向



図—10 中央径間中央橋軸直角方向のたわみ (実橋載荷試験)

応力、橋軸直角方向の曲げを生ずるが⁹⁾、隔壁を設けることによってこれらの応力を小さくできるとされ、道示Ⅲで隔壁のピッチや厚さが規定されている。

しかしながら本橋のような扁平な断面を採用する場合、断面変形に伴う橋軸直角方向の床版の付加曲げや、隔壁ピッチについてはより詳細な検討を行う必要があると考えられる。

6. 施工概要

6.1 大型移動架設作業車 (トラベラー)

本橋の張出し架設にあたって、最大幅員 38.3 m の主桁の施工と幅員変化に対応するため、特別なトラベラーを開発した。本トラベラーは、抵抗モーメント 420 tf・m を擁し、総重量が 280 tf にも達する世界最大級のものであり、主桁の幅員変化に対応するため、主構 (メインフレーム) が横移動可能な構造になっている。トラベラーの詳細は、文献^{7)~9)}に譲ることとして、ここではその概要について述べる。

- ① トラベラーは、主桁ウェブ数に応じて 3 フレームとし、両端部のフレームが主桁ウェブの位置に応じて自由に移動できる。
- ② メインフレームの横移動は、トラス状に組まれた横梁上下弦材を、ジャッキを有する補助支柱にて押し広げた後、横移動用の水平ジャッキを用いて行う。
- ③ 負反力の生ずる C 支点は、ウェブ間で固定された横梁によって間接的に支持する。
- ④ 横移動の際の摺動部は、テフロン板を用いている。

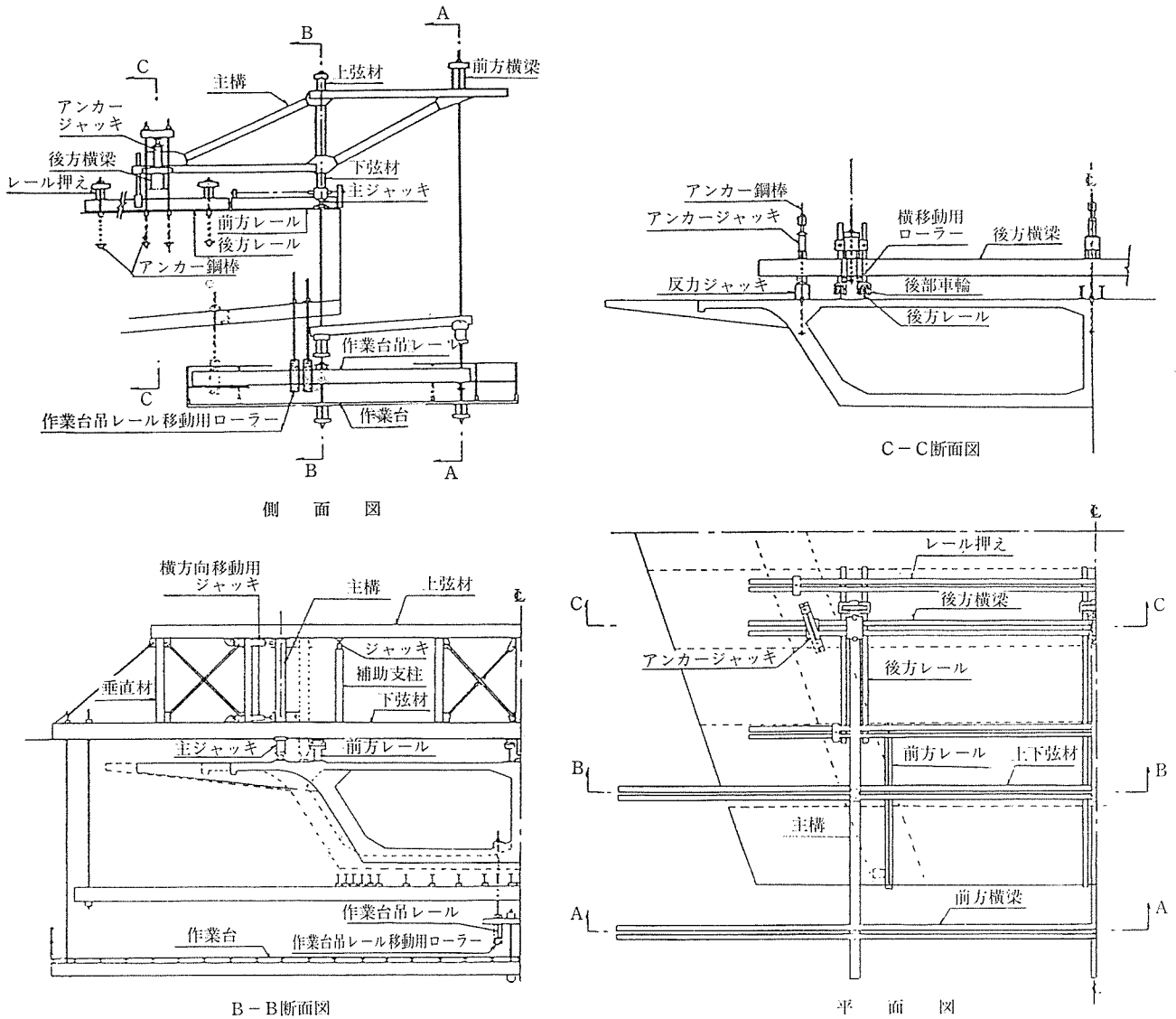


図-11 トラベラー構造図

図-11 にトラベラーの構造図を示す。

6.2 施工順序および工程

本橋の施工工程表を 図-12 に示す。また施工時の状況を 写真-3 に示す。

6.3 張出し架設サイクル

本橋は、幅員が広いので1ブロック当たりの施工数量が多いことや、主桁の幅員変化に対応するためのメインフレーム横移動等で、1サイクル18日と通常の張出し架設サイクルより5~7日程度工程が長くなっている。図-13 に張出し架設サイクル工程表を示す。

7. あとがき

本文でも述べたように本PC箱桁ラーメン橋は種々の構造的特徴を有しており、他に類例が少なく、その設計の妥当性を確認するために、FEM立体解析を実施するなど詳細な検討を加えている。また、架設時のみならず

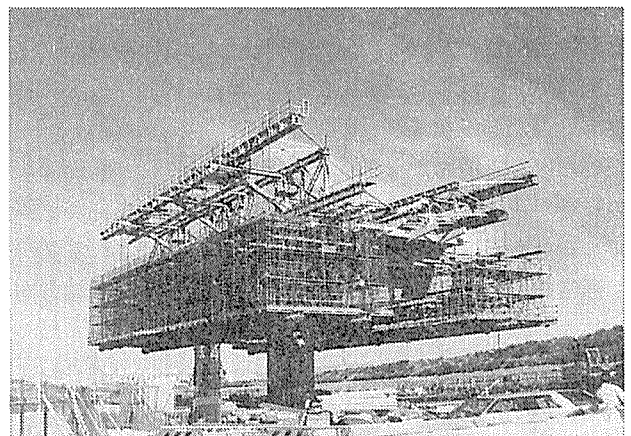


写真-3 施工状況

完成時の安全性を確認するために応力計測を含めた情報化施工に努め、さらに実橋載荷試験を実施しており、十分な品質が確保できたものと自負している。いずれにし

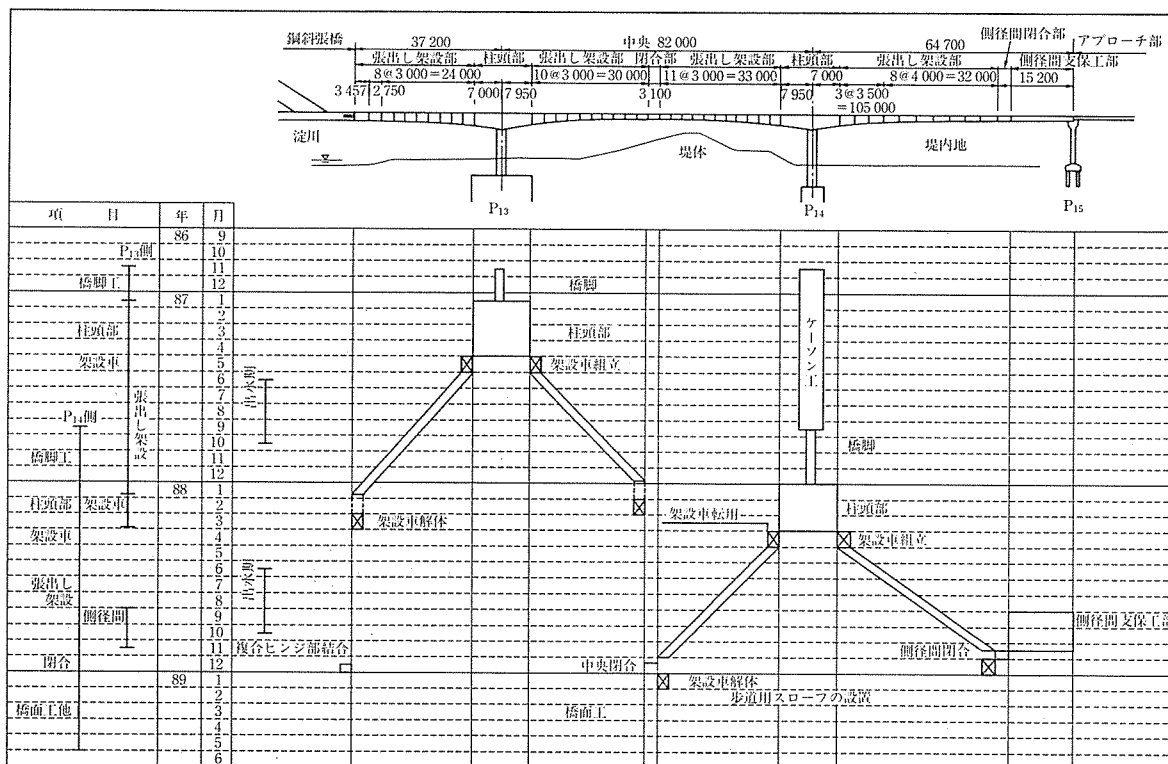


図-12 施工工程表

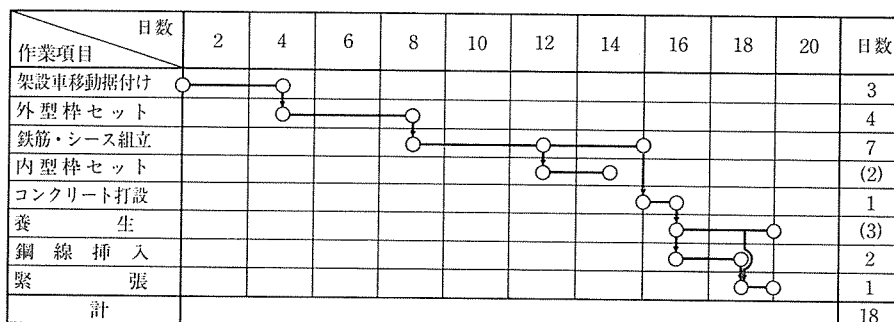


図-13 架設サイクル工程表

でも、ウェブが傾斜した変断面桁で、しかも世界にも例を見ない大型トラベラーによる張出し架設という難工事にもかかわらず、平成元年6月10日に無事完成させることができた。

これもひとえに関係各位の協力の賜と、この紙面を借りて深く感謝の意を表します。

最近我が国においても死荷重の軽減を目的として横リブ付き RC 床版を採用する事例が検討されているが、本文が同種の橋梁の計画に際して何らかの参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 日種, 藤沢, 中西, 石田: 淀川新橋(仮称)の設計計画, 橋梁と基礎, 1987年6月
- 2) 藤沢, 井下: PC ラーメン橋(淀川新橋の施工), 橋梁,

1988年9月

- 3) 西川, 亀井, 増田, 安部: PC 箱桁断面の張出し架設—菅原城北大橋右岸側アプローチ橋—, 土木学会第44回年次講演会 V-261, 平成元年10月
- 4) 亀井, 西川, 松村, 曾我部: PC 箱桁ラーメン橋の現場計測解析結果(その1)“菅原城北大橋アプローチ部”第45回土木学会年次講演会 VI-34, 平成2年9月
- 5) 亀井, 西川, 清水, 石塚: PC 箱桁ラーメン橋の現場計測解析結果(その2)“菅原城北大橋アプローチ部”, 第45回土木学会年次講演会 VI-35, 平成2年9月
- 6) 三上, 大谷訳: 鋼箱桁の設計ガイド(上), 橋梁, 1983年4月
- 7) 茶畑, 川上, 瓦, 中野: 幅員変化の大きな広幅員 PC 箱桁ラーメン橋の張出し架設—菅原城北大橋有料道路—, 建設の機械化, 1989年10月
- 8) 幅員が大きく変化する PC 橋の片持ち架設工法, プレストレストコンクリート, Vol. 31, 特別号, 1989

【1990年8月17日受付】