

京橋橋の補修工事について

山 本 俊 夫*
 瀬 戸 口 嘉 明**
 堂 園 和 馬***
 安 永 正 道†

1. はじめに

阪神高速道路神戸西宮線京橋ランプ西側の海上部に位置する、5径間連続有ヒンジ PC ラーメン橋（以下京橋橋と略称する）は、中央の3径間にヒンジ沓を有する構造である。京橋橋は昭和41年の竣工以来、今日では大阪と神戸を結ぶ主要幹線道路として、日交通量約11万台にもものぼる車両が通行している。

供用開始後20年を経過し、中央ヒンジ部のたれ下がりによる走行性の悪化、中央ヒンジ沓の損傷による騒音、振動の発生などの問題が生じてきた。昭和59年より、たびたび調査、応急対策を実施してきたが、このた



写真-1 全 景

び、抜本的な補修工事を実施したので、設計・施工の概要について報告する。

2. 橋梁の概要

京橋橋の構造諸元は以下のとおりである（図-1 参照）。

形 式：5径間連続有鉸 PC ラーメン橋
 橋 長：290.5 m (48.5+70.0+70.0+65.0+37.0)
 幅 員：17.6 m
 活 荷 重：TL-20
 コンクリート： $\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$
 施工時期：昭和39年12月～昭和41年3月
 補修工事：昭和63年7月～昭和63年11月

3. 補修前の状況

補修工事前の橋面高さは図-2に示すような分布をしており、橋脚部と橋脚部を直線で結んだ仮想計画高に対し、ヒンジ部において最大60mmのたれ下がりを生じていた。また、中央ヒンジ部に設けてあるヒンジ沓4個は、図-3に示すようなオスヒンジとメスヒンジから成る線支承タイプであり、交通量の増加、車両重量の増大によって接触部に摩耗によるすき間を生じていた。このため、走行性の悪化、車両通過時における衝撃音の発生を招いていた。

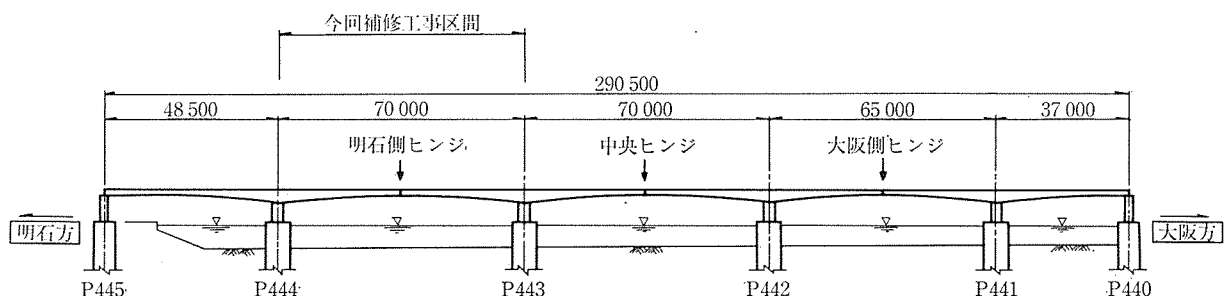


図-1 側 面 図

* 阪神高速道路公団神戸管理部

** " "

*** " "

† 鹿島建設(株)土木設計本部

◇工事報告◇

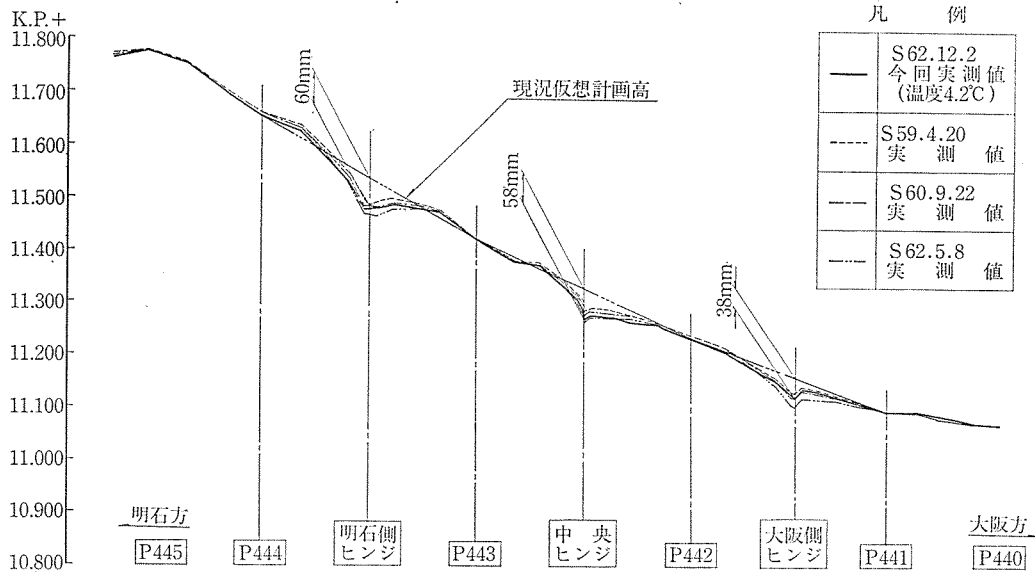


図-2 橋 面 高

4. 研究会報告

京橋橋と同様の現象が、阪神高速道路公団が管理している他の有ヒンジラーメン橋にも見られたため、状況の把握、原因の調査および補修工法の検討を総合的に行う目的で、(財)阪神高速道路管理技術センターへ委託し、研究会を発足させた。

研究会の調査結果として、以下のことが報告されている。

- ① 昭和 59 年以降の水準測量の結果、測量時の温度条件を考慮すると、中央ヒンジ部の沈下は進行していないものと推定される。
- ② 試験車 (20 t×4 台=80 t) を明石側中央ヒンジ部に載荷して行った実験での主桁のたわみ形状は、

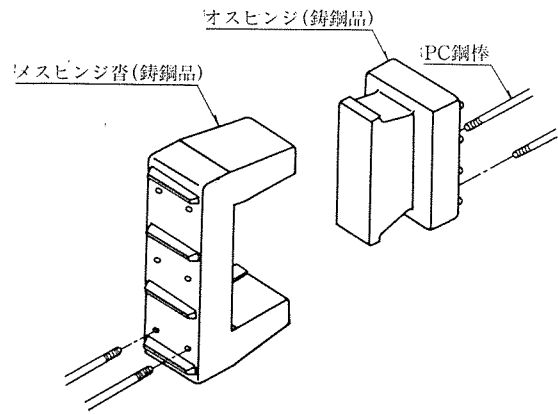


図-3 線 支 承 タ イ プ

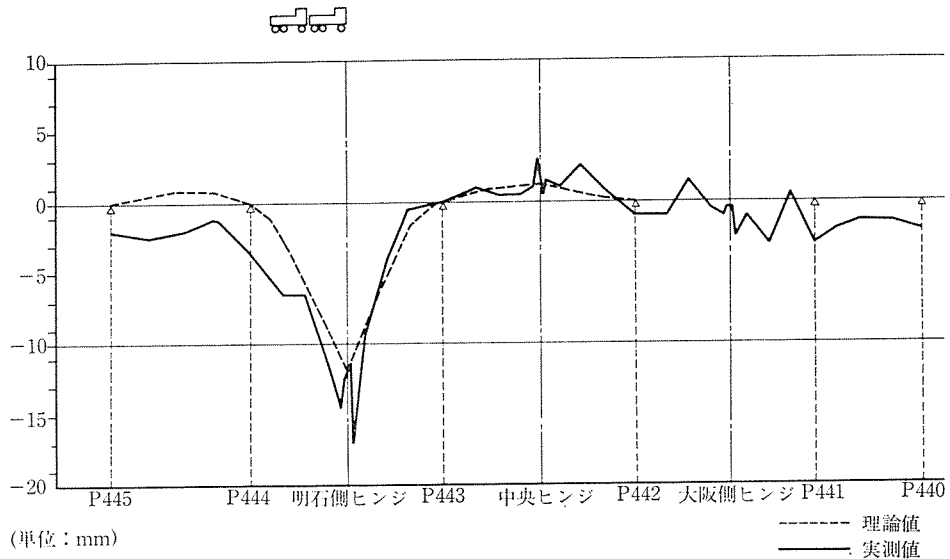


図-4 載 荷 実 験

PC 桁部 $E_c=3.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、橋脚部 $E_c=2.7 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ の場合の解析値と一致している（図—4 参照）。また、柱頭部横桁より採取したコアの圧縮試験により求めたヤング係数は、 $E_c=4.04 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ であり、設計時に想定した値を満足している。

- ③ コンクリートの強度は、シュミットハンマーによる 24 箇所の推定値で $\sigma_c=578 \text{ kg/cm}^2$ 、コア 3 本の平均値で $\sigma_c=628 \text{ kg/cm}^2$ であり、設計基準強度 $\sigma_{cb}=400 \text{ kg/cm}^2$ を十分に満足している。
- ④ クリープ係数 $\phi=2.0, 2.6$ 、コンクリートのヤング係数 $E_c=3.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2, 3.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ の組合せ 4 ケースについて計算値と測定値のたわみ量を比較すると、表—1 に示すように、 $\phi=2.6, E_c=3.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ が比較的近似している。

表—1 ヒンジ部のたわみ (単位: mm)

位 置		明石側 ヒンジ	中 央 ヒンジ	大阪側 ヒンジ
測 定 値		-131	-118	-73
計 算 値	$\phi=2.0 E_c=3.5$	-101	-87	-53
	$\phi=2.0 E_c=3.0$	-117	-102	-62
	$\phi=2.6 E_c=3.5$	-126	-108	-65
	$\phi=2.6 E_c=2.0$	-147	-126	-76

⑤ 今後の推定沈下量は、荷重の増減がなければ 10 mm 以内と推定される。その場合の主桁コンクリートの応力度は、設計荷重作用時で最大 -5 kg/cm^2 程度であり問題ないと判断される。

⑥ オス・メスヒンジ沓の接触部に摩耗によるすり減りが見られ、衝撃音、きしみ音が発生している。

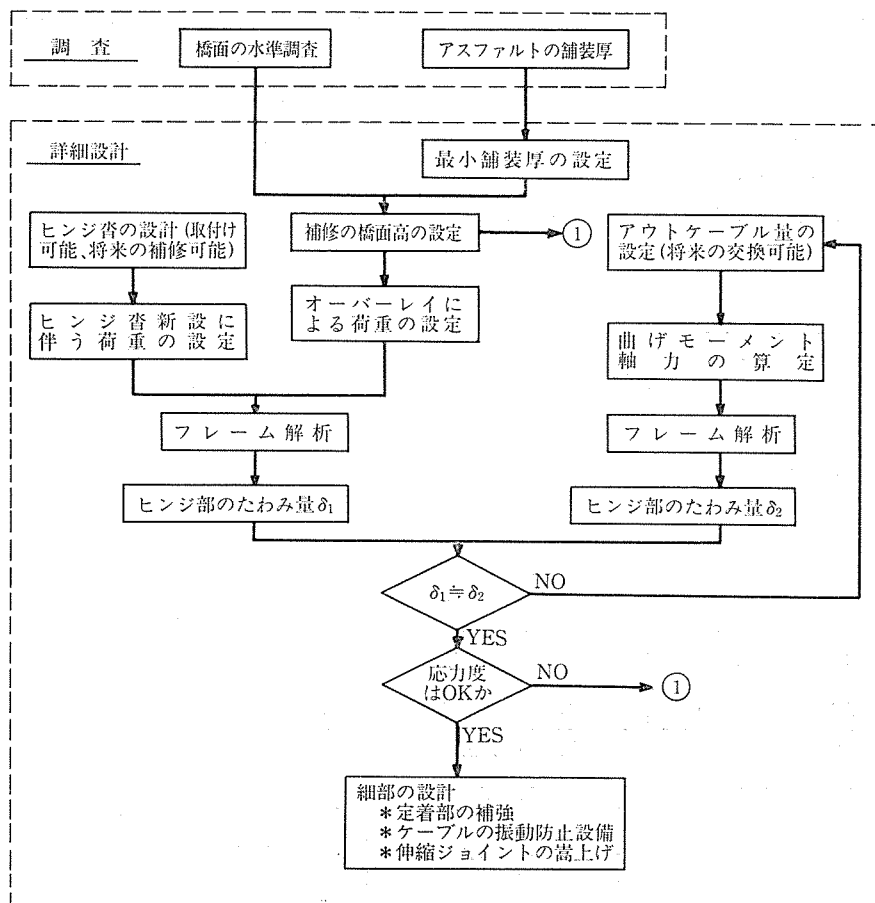
以上の結果を踏まえて種々の対策工が検討されたが、最終的には以下の方針が提案された。

- ① 中央ヒンジ沓を線支承タイプから、面支承タイプの BP 沓に取り替える。
- ② 舗装のオーバーレイなどの増加荷重に対するたわみ抑制のため、主桁内上面にアウトケーブルを設置する。

5. 補修設計

補修工事は、走行性の悪化が激しい明石側の径間 (P 443~P 444) について、

- ① 中央ヒンジ沓の取替え
- ② 増加荷重に見合ったアウトケーブルの設置を実施する。また、全橋にわたって、
- ③ 舗装・路肩コンクリートの嵩上げ、切削



図—5 設計フロー

◇工事報告◇

④ 伸縮ジョイントの補修

を行い走行性の改善を図ることとした。これらの補修設計のフローを 図-5 に示す。

また、他の径間については、今後とも調査を続け、必要に応じて補修工事を行うこととした。

5.1 調査工

舗装のオーバーレイなどの補修工事を長年にわたって実施してきている。そのため、橋梁の状況が完成時に比べ変化していると考えられ、補修設計に先立って橋面の水準測量、アスファルトの舗装厚について調査を行った。

5.2 橋面高の設定

調査結果をもとに補修後の橋面高を以下の方針のもとに設定した。

- ① 縦断線形は、完成時の 0.3% 片勾配にこだわらず、設計速度 $V=60$ km/h での走行性を確保できる線形とする。
- ② アスファルト舗装厚を最小 55 mm 確保することとし、オーバーレイと切削の併用により増加荷重を極力小さくする。

5.3 中央ヒンジ沓の設計

中央ヒンジ沓の設計に際しては、表-2 に示す 4 案について検討を行ったが、研究会の報告、ヒンジ室の作業性、耐久性および将来の補修の容易さを考慮し、D 案を採用することとした。

BP 沓は、図-6 に示すように面支承タイプであり、主桁の伸縮についてはメスヒンジ側の BP (ベアリングプレート) とオスヒンジ側のステンレス板のすべりで吸

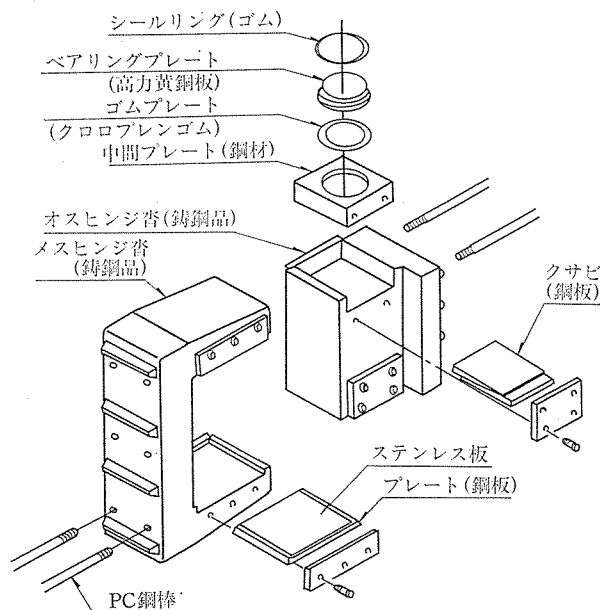


図-6 面支承タイプ

収する。また、主桁の回転については、BP の下面に組み込まれたゴムプレート (クロロプレンゴム) の変形で吸収する。BP, ゴムプレート, ステンレス板は交換が可能であり、将来の補修が極めて容易である。

5.4 アウトケーブルの設計

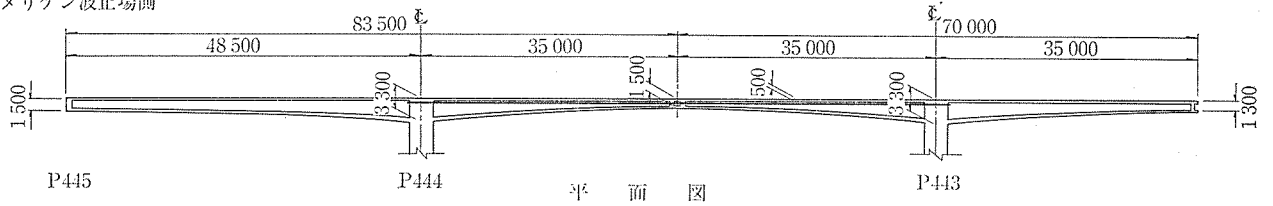
アスファルト舗装のオーバーレイ, BP 沓の新設および沓取り付け部の補強コンクリート, アウトケーブル定着部の横桁補強コンクリートによる増加荷重により、明石側ヒンジ部は約 9.2 mm 沈下する。現状のままでは、9.2 mm の弾性沈下に、さらにクリープによる沈下が加算され、走行性の確保が困難となる。補修設計では、9.2

表-2 中央ヒンジ補修案比較表

項目	A 案	B 案	C 案	D 案
概念図	<p>既存沓の隙間に、ライナープレートを挟み込む</p> <p>ライナープレート</p>	<p>既存沓の両サイドに小さいベアリングプレートをだかせる</p> <p>ベアリングプレート沓</p>	<p>既存沓の一部を切断し、ベアリングプレート沓を挟み込む</p> <p>ベアリングプレート沓</p>	<p>既存ヒンジ沓の隣に新たな中央ヒンジ沓 (BP 沓) を取り付ける</p> <p>既存ヒンジ沓 新型ヒンジ沓</p>
概略工期 (4箇所)	2 日	2 か月	2 か月	4 か月
機能性	若干のガタは免れない	ほぼ完全な機能を有する	ほぼ完全な機能を有する	完全な機能を有する
耐久性	短期的 (一年ぐらい) に補修の要あり	5年間ぐらいで点検修理の要あり	5年ぐらいで点検修理の要あり	10年ぐらいの使用は耐えられる
施工性	<ul style="list-style-type: none"> ・簡便である ・車線規制なし 	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的容易な中規模工事、ただし桁内の作業性は悪い ・桁の化粧板のハツリ必要 ・一車線規制 	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的容易な中規模工事、ただし桁内作業性は悪い ・切断部材厚さ 100 mm 程度まで ・一車線規制 	<ul style="list-style-type: none"> ・桁のハツリ作業を伴い、工事規模は大きい
施工実績	過去一番多い例	なし	1 橋	3 橋

側面図

メリケン波止場側



平面図

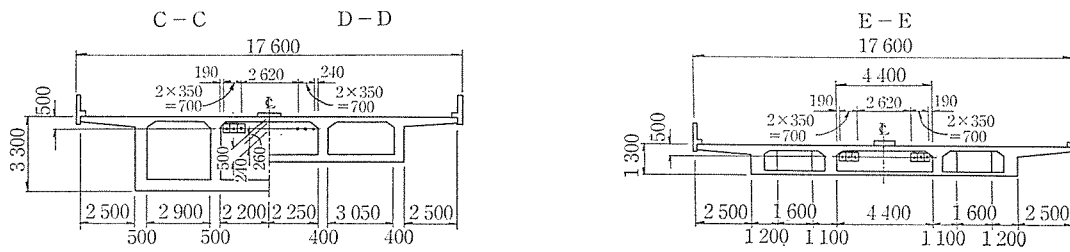
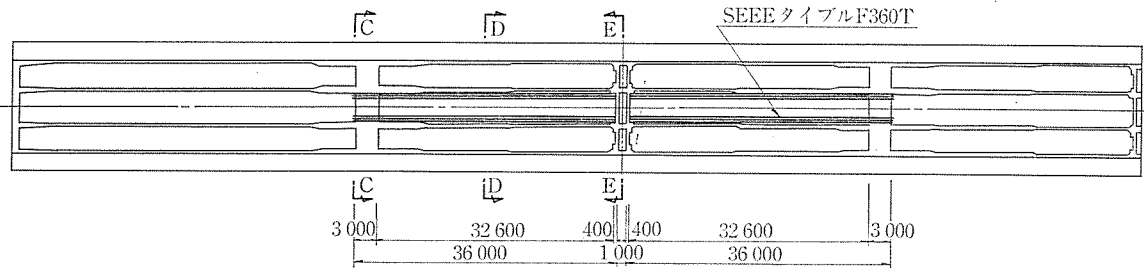


図-7 アウトケーブル配置図

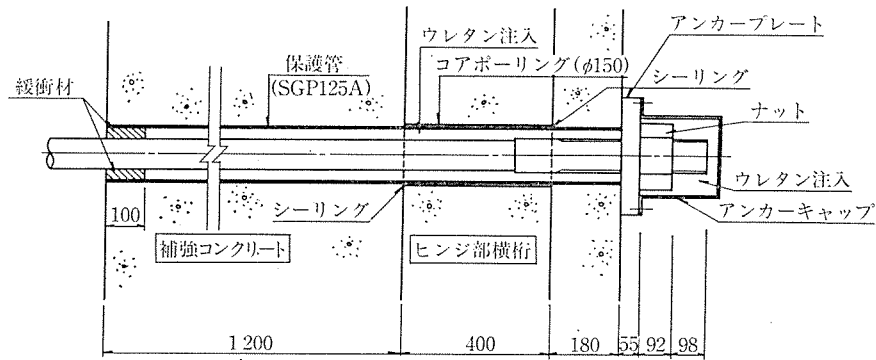


図-8 アウトケーブル定着部

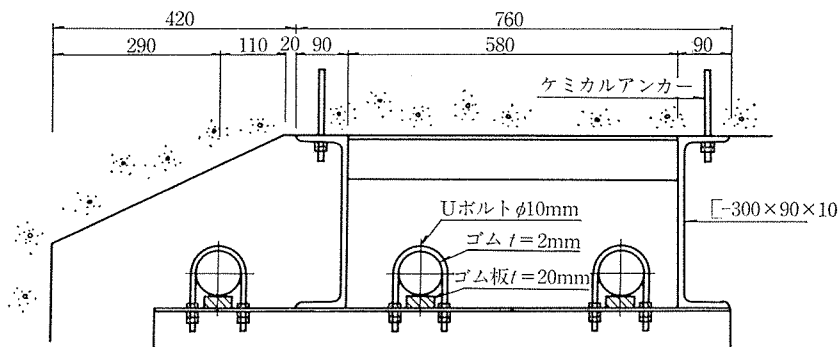


図-9 ケーブル防振設備

◇工事報告◇

mm の弾性沈下を打ち消すためのアウトケーブルを配置し、弾性変形量をほぼ零にすることとした。これによって、弾性変形に連動するクリープ変形などの将来的な変形をおさえることができる。

アウトケーブルは、SEEE タイプ F 360 T を使用することとし、耐久性、美観を考慮して主桁内に配置した。また、新設沓との取合せの関係から、アウトケーブル6本を中央ボックスに、沓をサイドボックスに各2個配置した。中央ヒンジ部、柱頭部の横桁に削孔し、横桁をアウトケーブルの定着部とした。横桁削孔のボーリング機械、ケーブル定着金物の寸法、ジャッキ寸法などを考慮し、ケーブルは上床版下面より 24 cm 下りの位置に配置することとした（図-7 参照）。

また、重車両の走行に伴うアウトケーブルの振動を防止し、ケーブルの定着部に発生する応力を緩和するため、定着部は図-8 に示すようにウレタンを注入し、ゴムリングを取り付ける構造とした。さらに、図-9 に示す振動防止装置を 4 m 間隔で設けた。

5.5 横桁補強工

柱頭部横桁は、3 m の厚さを有しているため、アウトケーブルの導入力に対し十分な余裕を持っているが、中央ヒンジ部横桁は厚さ 40 cm しかなく、現状のまま定着すると部分的に $\tau_c = 70 \text{ kg/cm}^2$ のせん断応力度が発生する。当初の設計においてはアウトケーブルの定着部として考えられていないため、鉄筋量も少なく、何らかの補強が必要であった。今までの同種工事による補強例、狭い空間（高さ 0.8 m、幅 4.4 m）での作業性、施工の確実性を考慮し、コンクリートで横桁部を補強することとした。

中央ヒンジ部は、新設沓4個の取付け、アウトケーブルの定着、横桁部補強などによる荷重の増加のほか、工

事のために下床版に開口部を設けるなど複雑な構造となっている。そのため、この部分について半橋モデルによる立体 FEM 解析を行い、開口部形状、横桁補強の妥当性について検証した（図-10 参照）。

6. 施 工

6.1 施工条件

補修工事であるがために、施工に際して以下のような制約条件があった。

- ① 中央ヒンジ部の作業室空間が非常に狭い密室であり、しかも動力ケーブル等が多数配置されている。
ヒンジ沓据付け室
1 m × 2.8 m × 0.8 m（幅 × 長さ × 高さ）
ケーブル定着室
1 m × 4.4 m × 0.8 m（幅 × 長さ × 高さ）
- ② 作業用の通路として、主桁・横桁・下床版に開口部を新設する必要がある。
- ③ 供用中の道路下で行う作業であるため、橋面からの作業は極力少なくする必要がある。

6.2 作業フロー

作業は、図-11 に示すフローに従って行った。

6.3 X線およびレーダー探査

作業用開口部、沓・アウトケーブルのための削孔、横桁補強部のケミカルアンカー用の削孔など、本工事では供用中の PC 桁への穴あけ作業が多い。PC 鋼材、鉄筋の切断は耐力の低下に直結し好ましくないことから、その位置を工事に先立って調査した。調査は、竣工図の調査、X線探査、レーダー探査により行った。

X線探査は、調査範囲の罫書きを行ったのち、図-12 に示すようなX線発生器を使った透過撮影法により行った。また、レーダー探査は、調査位置上にレーダー探査

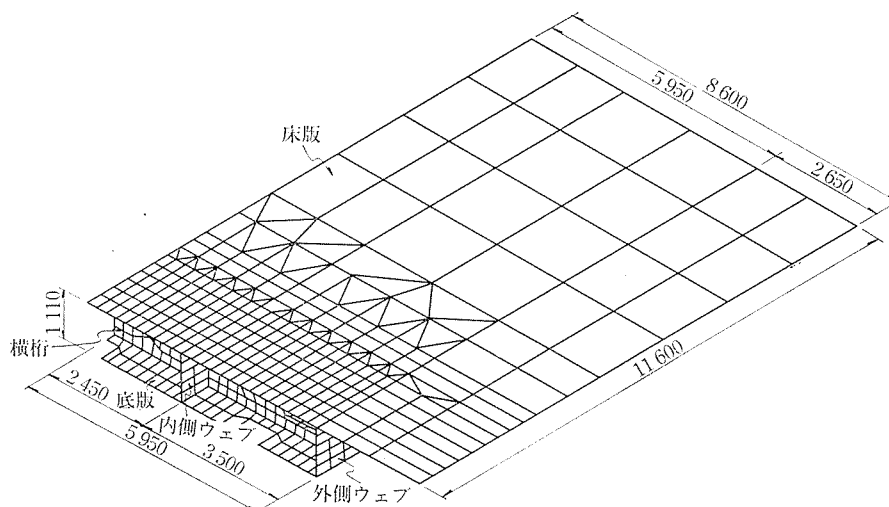


図-10 横桁部 FEM 解析

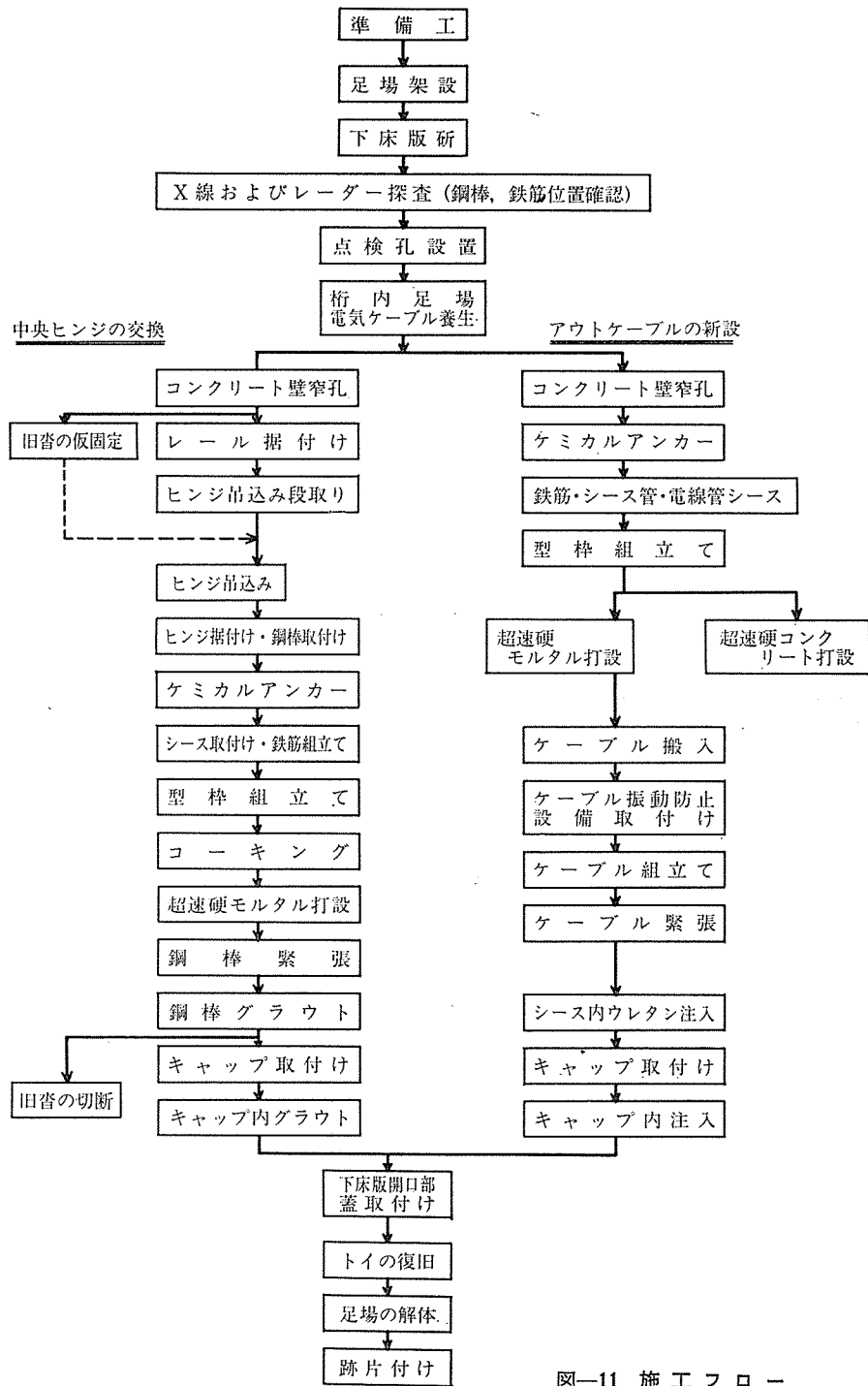


図-11 施工フロー

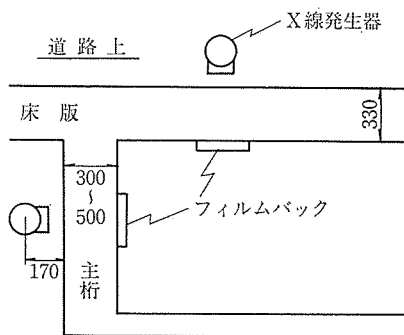


図-12 X線探査

機を走査させ、画面上で鋼材位置を確認するものである。

6.4 新設沓の取付け

外寸法 69 cm×50 cm×60 cm, 重さ 1.04 t の BP 沓 4 個をヒンジ沓据付け室に吊り込み、据え付けた。吊込みは、下床版に設けた開口部 (1.0 m×0.6 m) より行った。

沓は、艀装の完了したスパット台船に積み込み、現場へ曳航したのちヒンジ部真下に固定した。吊込みは、ス

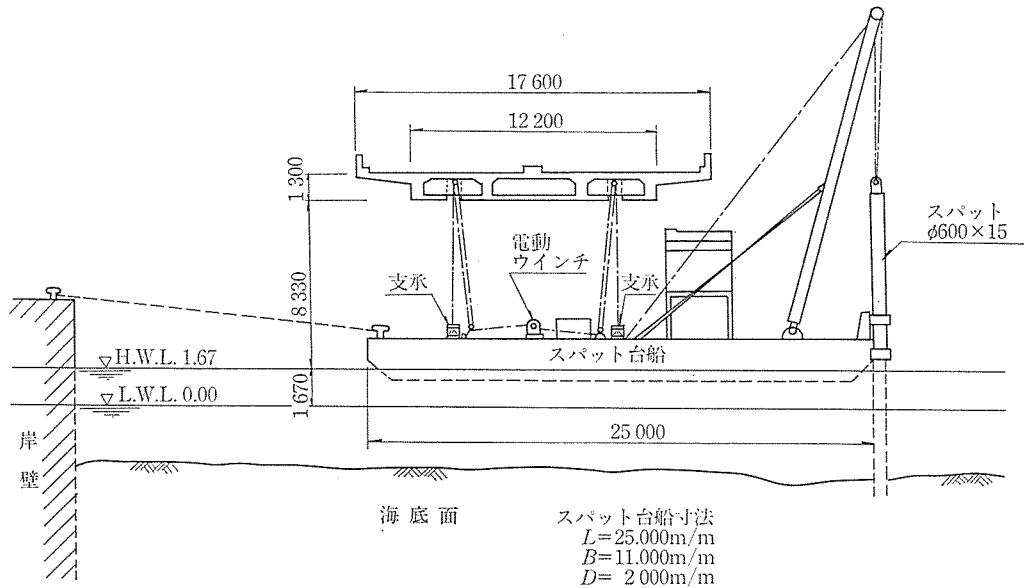


図-13 吊込み作業図

パット台船に据え付けたウインチとヒンジ部横桁に取り付けた滑車により慎重に行った。吊り込んだのち、あらかじめセットしておいたレール上をジャッキにて横移動させ所定の位置に据え付けた (図-13 参照)。

6.5 横桁補強工

アウトケーブルの導入力に対し横桁の耐力が不足するため、横桁補強を行った。補強コンクリートを横桁・主桁と一体化させるため、多数のケミカルアンカーを打設した。ケミカルアンカーの取付け位置は、X線およびレーダー探査により作成した PC 鋼材・鉄筋の配置図に基づいて決定した。

横桁補強コンクリートは1箇所 1m³ 程度であり、合計 4m³ である。上床版に1箇所当り φ160mm の穴を各2個設け、橋面上よりジェットコンクリート (σ_{3H} = 200 kg/cm², スランプ 18cm) を打設した。2箇所の穴は、コンクリート投入孔、パイプレーター挿入孔として相互に用いた。アウトケーブル定着部は、1箇所当り 0.13~0.18m³, 厚さ 18cm であるため、鋼型枠の中にジェットモルタル (フロー値 18cm) を注入する方法で行った。

コンクリートの打設は、夜間の交通量の少ない時間に一車線規制を行って実施したが、トラックなどの重車両の走行に伴う振動は避けられない。そのため、工事に先立って京橋橋の主桁内にジェットコンクリートの入ったモールドを持ち込み、強度の発現速度、振動がコンクリート強度に及ぼす影響について調査し、品質的に問題ないことを確認した。

6.6 アウトケーブル取付け工

アウトケーブルとして、SEEE タイプ F 360 T 12

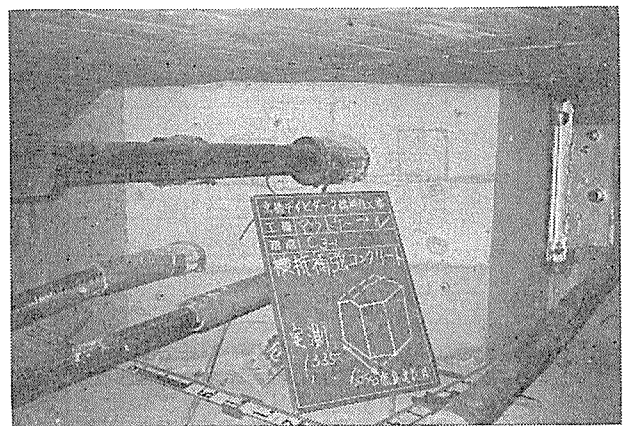


写真-2 横桁補強工

本を用いた。ケーブルは PC 鋼より線 (φ12.7) 19本を1組としてマンションに圧着させたものであり、外周部をポリエチレンコーティングされている。

ケーブルは1本当り長さ 36m, 重さ 800kg であり、直径 2m のドラムに巻かれて搬入される。桁内への挿入は中央分離帯に設置されているマンホール (50cm × 40cm) から人力にて行った。また、横桁定着部への挿入は、ウインチで引き込む方法で行った。

7. あとがき

京橋橋は、昭和 41 年に竣工し 22 年後の昭和 63 年に大規模な補修工事を実施した。その間、本橋の持つ社会的な重要性は増し、補修工事のための通行止めは許されない状況であった。そのため、大規模な補修工事であるにもかかわらず、夜間・短時間の一車線規制での作業を余儀なくされた。また、作業場所 (空間) が制約され、

困難な工事であった。

近年、供用後 20 年を超える PC 橋梁が多くなってきており、橋梁の補修工事は社会的にも重要な問題となっている。本稿が同種構造物の補修工事に際し参考となれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 阪神高速道路管理技術センター：ディビダーク橋支点沈下に関する報告書，S63.3
- 2) 酒井：美陵高架橋の補修，橋梁と基礎，Vol. 17, No. 8

【1989 年 7 月 10 日受付】

◀刊行物案内▶

穴あき PC 板設計施工指針・同解説（改訂版）

本書は、建築基準法改正ならびに技術の進歩に伴い、10 年前に発行した「穴あき PC 板設計施工指針・同解説」を改訂し、公表するもので、その後の委員会で行った実験結果等を数多く添付してあります。ご希望の方は、代金を添え（現金書留か郵便振替東京 7-62774）プレストレストコンクリート技術協会（電話 03-260-2521）宛お申し込みください。

体 裁：B5 判 134 頁

頒布価格：2 000 円

送 料：450 円

内 容：1. 総則 2. 材料および許容応力度 3. 部材の設計 4. 構造設計 5. 接合部の設計 6. 施工 付録：1. 標準断面と定数 2. 組立床の設計例 3. 合成床の設計例 4. 床版の剛性評価 5. 壁板の設計例 6. 土留めの設計例 7. 床版の取付け例 8. 壁板の取付け例 9. 部材の曲げ試験 10. 合成床版の載荷試験 11. 合成床版の長期載荷実験 12. 層間変位を考慮した張壁構造の水平加力実験 13. 床構造の実験 14. 板の特性に関する試験 15. 取付け金物の耐力試験結果 16. 耐火構造