

## RC 2 径間連続箱桁橋の補強工事

酒井 伸治\*<sup>1</sup>・遊佐 和明\*<sup>2</sup>・柳 武夫\*<sup>3</sup>・吉田 光秀\*<sup>4</sup>

### 1. はじめに

東京高架橋は、東名高速道路 東京 IC～川崎 IC 間（日平均交通量 13 万台）に位置する RC 2 径間連続箱桁橋である。

本橋は中間支点近傍のウェブ、中間床版を中心に遊離石灰を伴った斜めひびわれが発生している状況であった（写真-1 参照）。詳細調査・載荷試験を実施し、中間床版は耐荷力が不足しており、主桁は L-20 に対しては耐荷力を有しているが、無対策のまま放置すると耐荷力が低下する可能性が高いため、耐久性を向上させる措置が

必要であると考えられた。

そこで、床版の補修、補強および B 活荷重による活荷重の増加に伴う主桁の耐荷力の向上を目的とし、外ケーブルによる緊張力の導入を柱とした各種補修・補強工事を実施したものである。工事完了後の完成状況を写真-2 に示す。

本橋の補修、補強に関するこれまでの経緯を図-1 に示す。

### 2. 工事概要

本工事の工事概要を下記に示す。

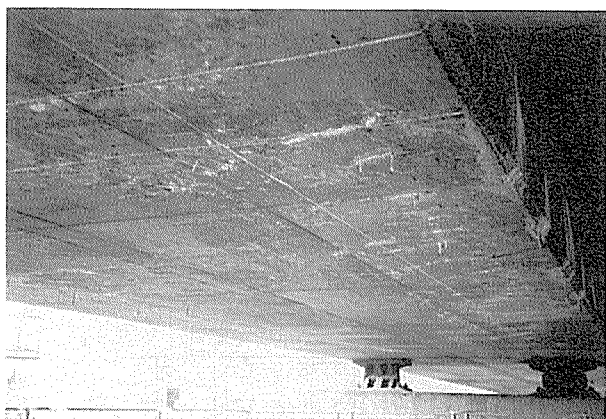
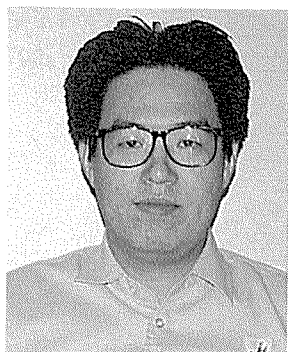


写真-1 ひびわれ状況写真



写真-2 完成写真



\*1 Shinji SAKAI  
日本道路公団  
東京第一管理局  
横浜管理事務所



\*2 Kazuaki YUSA  
大成エンジニアリング（株）



\*3 Takeo YANAGI  
（株）富士ピー・エス



\*4 Mitsuhide YOSHIDA  
（株）富士ピー・エス

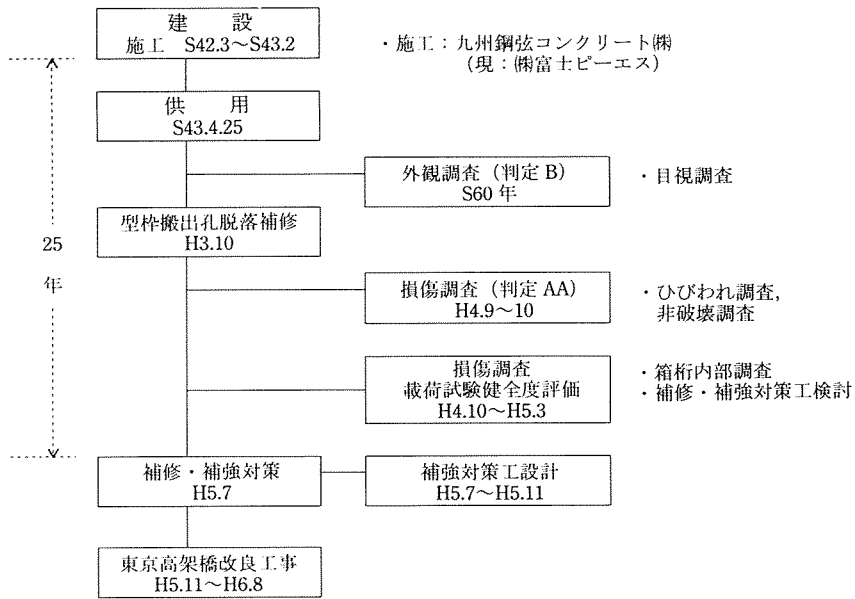


図-1 東京高架橋の補修・補強の経緯

工事名：東名高速道路 東京高架橋改良工事  
 路線名：高速自動車国道 第一東海自動車道  
 施工箇所：東京都世田谷区喜多見三丁目  
 主な施工項目：

- (a) 外ケーブル工<sup>1)</sup>  
 …主桁の曲げおよびせん断補強
- (b) 床版補強工<sup>2)</sup> (鋼繊維補強モルタル吹付け)  
 …中間床版の曲げ補強

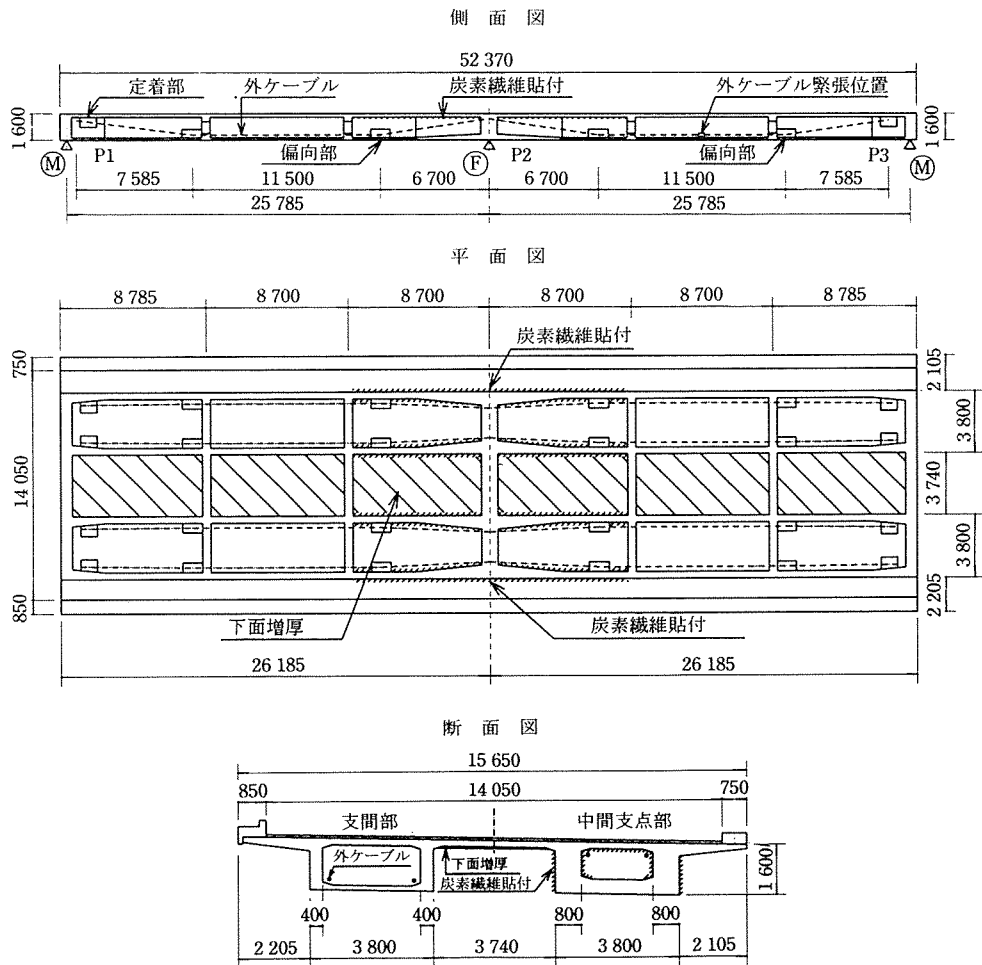


図-2 一般図

- (c) 主桁補強工<sup>3)</sup> (シート状炭素繊維貼付け)  
…主桁のせん断補強, 中間支点付近床版部の  
耐久性の向上
- (d) 主桁補修工 (断面修復, ひびわれ補修工・ラ  
イニング工)  
…橋梁の耐久性の向上

橋梁寸法および施工項目を図-2 に示す。

### 3. 外ケーブル工

#### 3.1 概 要

本橋は RC 構造であり, 外ケーブルで増加する後死荷重および B 活荷重の断面力を負担することが考えられるが, このような外ケーブルによる補強は既存の鉄筋を無視することになり不経済であり, 緊張材の本数も多くなり配置も困難である。そこで, 本橋では当初設計 (死荷重+L-20) の荷重と補強設計 (死荷重+増し厚+B 活荷重) の荷重による断面力を求め, その差分を外ケーブルによるプレストレスで補うこととした。また, ひびわれ損傷を受けた RC 構造物に対する外ケーブルの適用に前例がないことや, 定着具や緊張方法など既設橋梁に対する補強方法として設計・施工方法が確立されてないため, 本工事において種々の計測を行っている。写真-3 に外ケーブルの配置状況を示す。

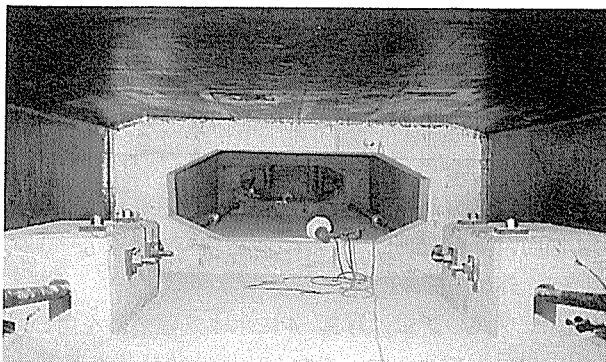


写真-3 外ケーブルの配置

#### 3.2 設 計

##### (1) 外ケーブル橋軸方向の配置

外ケーブルは中間支点上の曲げモーメントを補えるよう中間横桁の上縁付近に配置し, 端支点付近と中間支点付近をケーブル配置角度を大きくしてせん断力を補えるように偏向部を極力各支点側へ配置した。

##### (2) 外ケーブル橋軸直角方向の配置

ケーブルの腐食や外力による損傷, さらに景観への配慮により箱桁内配置とし, 箱桁各ウェブにケーブル1本を配置した。

##### (3) 緊張位置

外ケーブル定着部を極力桁端部に配置したため, 桁端部における緊張が困難となり, ジャッキ本体とストロー

ク長を考慮した作業空間を確保するため, 径間中央で緊張を行うこととした。なお, この中間緊張は本工事の特徴の一つでもある。

##### (4) 外ケーブル導入張力の設定

当初設計のモーメントに対しては, 既存桁の耐力で補えることから, 外ケーブルに導入する張力は, 補強設計荷重による増加分を補うこととした。また, せん断力についても同様の考え方とするが, このときの導入レベルは, 曲げモーメントを補う場合と比較して大きなものになってしまう。そこで, プレストレスの導入レベルは, 補強設計時のせん断力不足を補える導入力とし, ケーブル1本当たりの導入時張力を約 120 tf に設定した。外ケーブルに使用した PC 鋼材は高密度のポリエチレン被覆を施した 200 tf ケーブルを使用した。

##### (5) 定着部の設計

外ケーブル定着部は, 既設橋の箱桁ウェブに PC 鋼棒を用いて連結するコンクリート構造 (図-3 参照) と

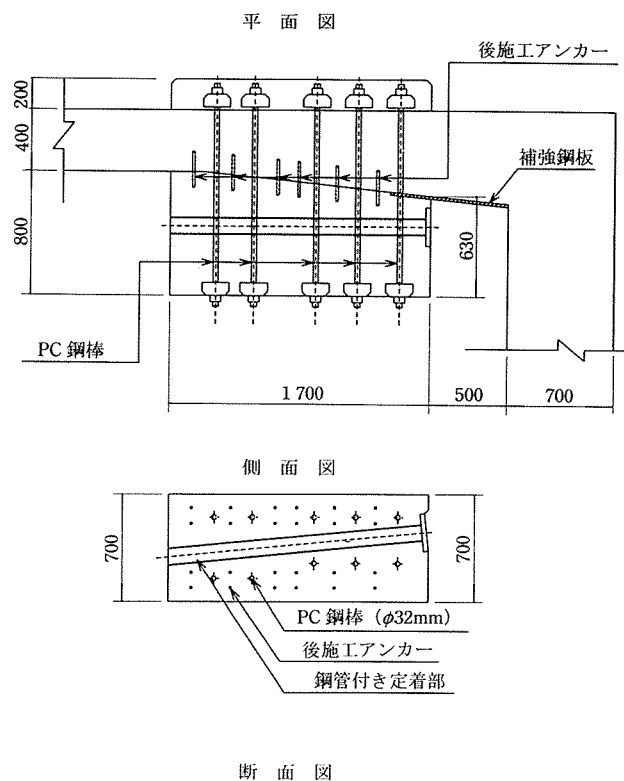


図-3 定着部構造図

し、プレストレスによる摩擦抵抗力でケーブル緊張力を主桁に伝達する構造とした。定着部の設計に使用した摩擦係数は下に示す値とし、安全率 $f=2.0$ とした。

設計に用いた摩擦係数

コンクリートとコンクリート  $\mu=0.8$

コンクリートと鋼板  $\mu=0.5$

また、定着部 PC 鋼棒のプレストレスが大きく減少した場合でも定着部が破断しないようにアンカーを設置した。

定着部の連結に使用する PC 鋼棒は、長さが短いため、コンクリート構造定着部のクリープおよび弾性変形等により PC 鋼棒に導入した張力の減少が考えられるため、試験供試体ブロックを製作し、導入張力の経時変化の測定を行った。計測結果より定着時の緊張力の低下を 20%、長期の張力低下を 20% として設計張力を緊張作業時の 60% とした。

また、PC 鋼棒の緊張システムについては、PC 鋼棒と定着プレートの角度が定着ブロックの施工精度に左右されないものを採用した。

外ケーブルの定着部の主抵抗力は、以下に示す方法で算出した。

Step 1 : PC 鋼棒 ( $\phi 32$  mm, SBPR 930/1 180) の最終プレストレスの推定値

$$P_{\infty} = 0.6 \times 85.5 \text{ kgf/mm}^2 \times 804.2 \text{ mm}^2 \\ = 41\,255 \text{ kgf}$$

Step 2 : 摩擦抵抗力 ( $F_p$ ) の算出

$$F_p = \mu \times (P - P_V)$$

$$P_V = P \times \sin \theta$$

ここで、

$P$  : 連結用 PC 鋼棒プレストレス

$P_V$  : ウェブの拡幅による  $P$  の鉛直分力

$\theta$  : ウェブ拡幅の角度

$$P_V = P \times \sin \theta$$

$$= 10 \times 41.3 \times \sin 5.7^\circ$$

$$= 41.0 \text{ (tf)}$$

$$F_p = \mu \times (P - P_V)$$

$$= 0.6 \times (10 \times 41.3 - 41.0)$$

$$= 223.2 \text{ (tf)}$$

### (6) 定着部コンクリート

定着部コンクリートは、施工性、早期強度の確保および PC 鋼棒緊張力の減少を極力少なくするよう弾性係数が多く、乾燥収縮度が小さく、狭い箱桁内で比較的締固めが容易な材料を選定するために、流動性の高い無収縮コンクリートと無収縮モルタルの比較検討を行い、無収縮コンクリートを使用した。ここで言う「無収縮コンクリート」とは普通ポルトランドセメント、粗・細骨材と特殊混和材を用いたコンクリートである。

### (7) 定着部の補強

定着部後部の主桁ウェブには外ケーブルに導入する緊張力により引張応力が作用するため、箱桁内側ウェブを鋼板接着工法により補強することとした。なお、補強に使用した鋼板厚は  $t=4.5$  mm でアンカーと樹脂による鋼板接着を行った。

## 3.3 施工

### (1) 定着部 PC 鋼棒の緊張管理

PC 鋼棒が短い場合、鋼棒の伸びの変化が緊張力の大幅な低下に影響するため、PC 鋼棒にひずみゲージを貼り付け直接緊張力を確認することとした。緊張管理は PC 鋼棒の伸び、ひずみゲージによる測定値、ジャッキのマノメーターにより管理を行った。なお、設計上の PC 鋼棒の伸びは約 7 mm であり、伸び量の管理は 0.1 mm 単位で行った。

### (2) 外ケーブルの組立

使用したケーブルは 1 本の重量が約 400 kgf となり、設置はウインチを用いて箱桁内に搬入し、組立を行った。

中間支点横桁部は  $\phi 200$  mm の削孔を行い、図-4 に示す偏向装置を設置した。

### (3) 外ケーブルの緊張

外ケーブルの緊張は写真-4 に示す緊張装置を用いて径間中央付近で行った。また、中間定着装置を写真-5 に示す。

本橋の場合、偏向部に鋼管を使用しているため、緊張計算は外ケーブルの鋼管との接触長を算出し、通常の内ケーブルと同様の手法とした。

緊張管理については、PC ケーブルの伸び、ジャッキ

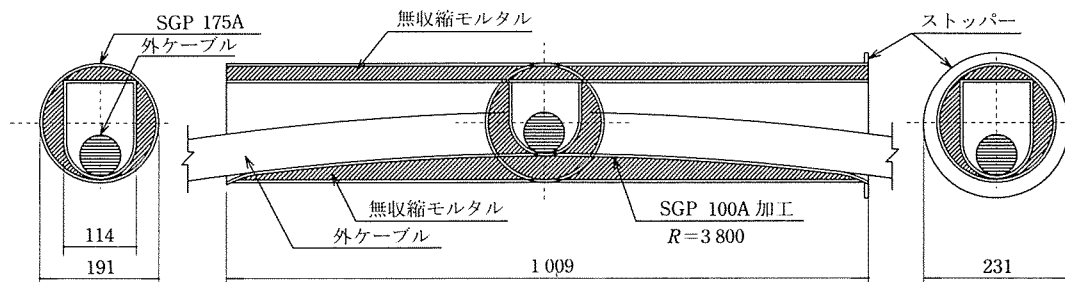


図-4 中間支点部偏向装置

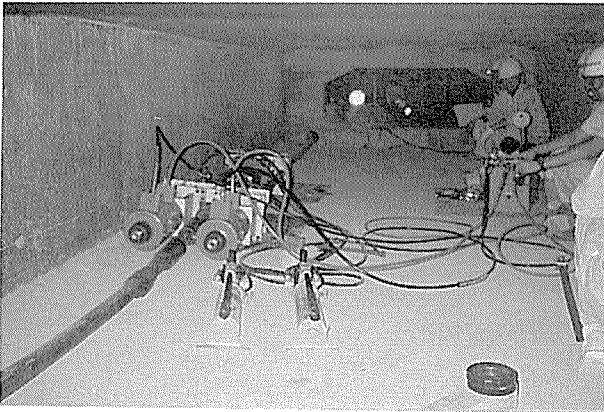


写真-4 中間緊張装置



写真-5 中間定着装置

のマノメーターにより行った。また、桁端部において緊張力をロードセルによって計測しており、各偏向部間でも微小変位計等を用いて張力測定を行った。

### 3.4 補強効果の確認

本橋は外ケーブルによる補強効果を確認するために種々の計測を行っており、その中間報告について述べる。

#### ●PC 鋼棒張力の経時変化

定着部連結用 PC 鋼棒張力の張力の経時変化を図-5 に示す。現時点では当初想定していたほどの張力減少は認められなかった。

#### ●外ケーブル張力の経時変化

外ケーブル定着部に設置したロードセルによる測定の結果、緊張後 5~6 日間で 2~3% 程度の張力低下があり、その後 2~3 ヶ月の間穏やかな低下が見られ、3 ヶ月を過ぎると安定状態となった。図-6 に外ケーブル張力の経時変化を示す。

#### ●曲げひびわれ

パイゲージにより径間中央部に発生していた 0.6~0.7 mm のひびわれについて計測を行った結果、外ケーブル緊張直後に 0.2~0.3 mm 収束し、2~3 日は減少傾向を見せるが、その後は複雑な挙動を示している。図-7 に径間中央部ひびわれ開閉量経時変化を示す。

#### ●主鉄筋ひずみ

径間部の主鉄筋は、外ケーブル緊張に伴い圧縮ひずみ

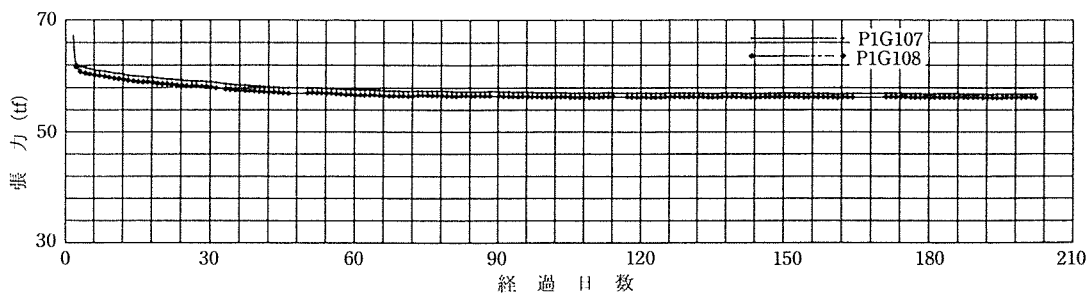


図-5 PC 鋼棒張力の経時変化

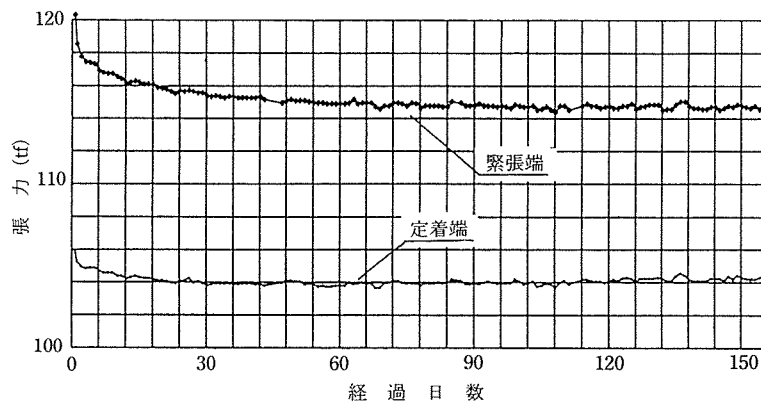


図-6 主ケーブル定着端部張力経時変化図

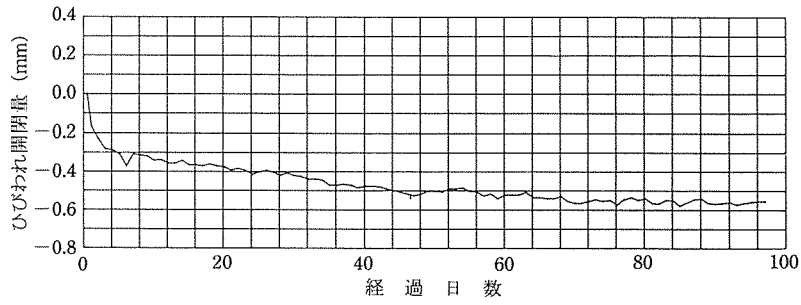


図-7 径間中央部ひびわれ開閉量経時変化図

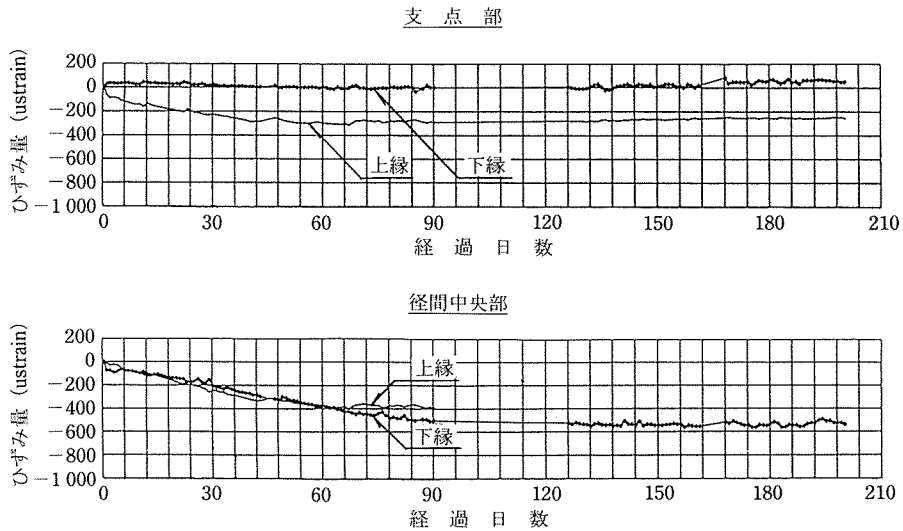


図-8 主桁主筋ひずみ経時変化図

が生じている。図-8に主桁主鉄筋ひずみ経時変化を示す。

●スターラップ筋ひずみ

スターラップ筋ひずみは、外ケーブル緊張に伴い圧縮ひずみが生じており、ゲージ取付け位置により変化量に差はあるが、緊張後3ヶ月程度で一旦安定状態になって

いることから外ケーブル張力の変化と連動していると考えられる。図-9にスターラップ筋ひずみ経時変化を示す。

●主桁たわみ量

外ケーブルの緊張による偏向部での鉛直分力により、径間中央部で0.3~0.4 mmの桁の上昇が確認された。

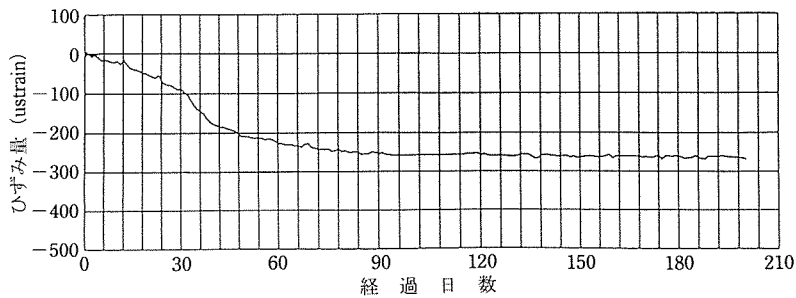


図-9 スターラップ筋ひずみ経時変化図

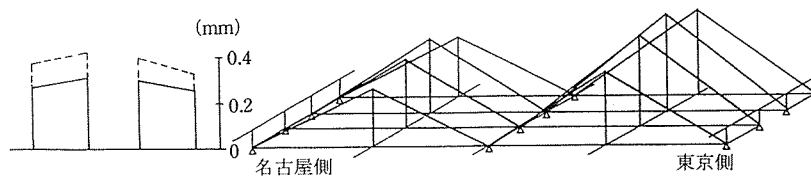


図-10 主桁たわみ図

図-10 に主桁たわみを示す。

#### 4. その他の補修・補強工法

##### 4.1 概要

床版に対する補強方法として、箱桁間の中間床版部の鋼繊維補強超速硬モルタル吹付けによる下面増厚工，中間支点近傍箱桁内のシート状連続炭素繊維による下面補強を行うこととした。

また，中間支点近傍の主桁のせん断耐力を増加させるために主桁ウェブ面にシート状連続炭素繊維を接着し，その補強効果を期待することにした。

##### 4.2 下面増厚工

箱桁間の中間床版部下面は床版厚も薄く，ひびわれの発達も著しいため，補強鉄筋を配置した鋼繊維補強超速硬モルタルを吹き付けることにより，既設床版と一体化し，活荷重による既設床版鉄筋応力およびたわみを低減させ，曲げ耐力を向上させた。当該箇所は，床版上面増厚工法による補強のみを計測していたが，B活荷重による検討の結果，床版下面側に配置されている既設鉄筋応力が許容値を超過するため，比較的広い施工空間が確保できることから，鋼繊維補強超速硬モルタル吹付けによる下面増厚工法を採用した。図-11 にその概要を示す。

吹付け後の鋼繊維補強超速硬モルタル表面は鋼繊維が

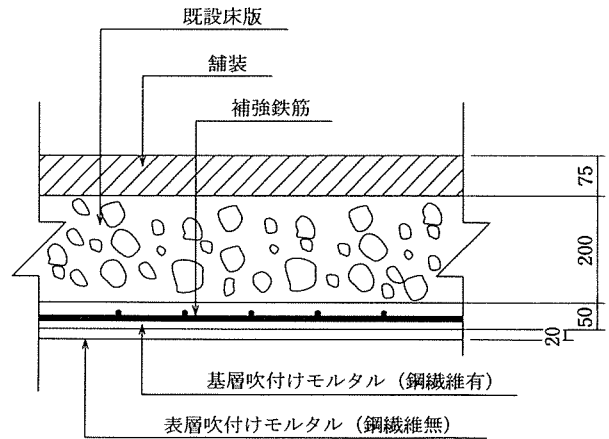


図-11 下面増厚工法概要図

露出することになり，将来的な発錆が問題とならぬよう，モルタルは基層と表層の2層仕上げとした。

なお，施工厚さ管理は，施工厚さ管理用のピンを1ヶ所/m<sup>2</sup>設置して，モルタル表面と既設床版面との厚さを測定し，所定の施工厚さが確保されているかどうかを確認した。

既設床版と増厚部に配置した鉄筋のひずみの比を新旧鉄筋の負担率とし，図-12 に負担率の時間的推移を示す。

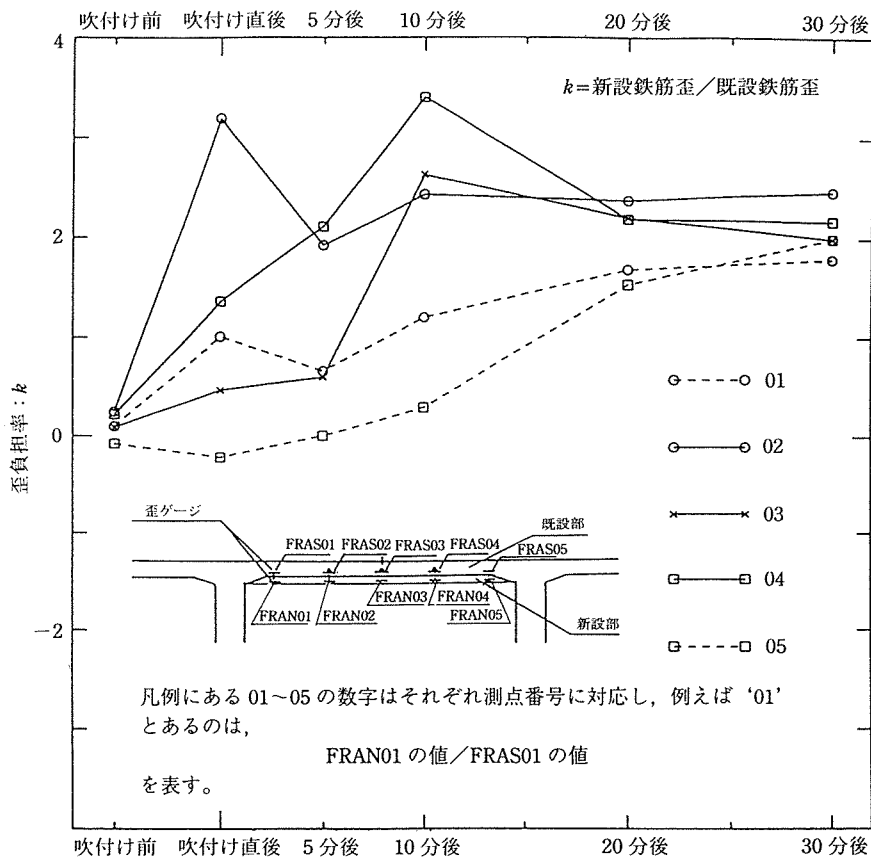


図-12 床版部新旧鉄筋の負担率の時間的推移



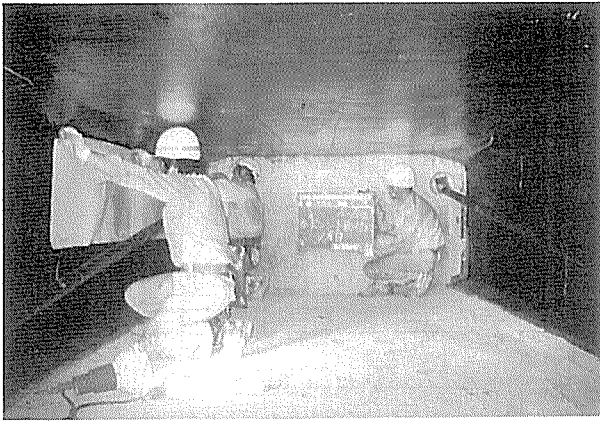


写真-6 シート状連続炭素繊維の貼付け

#### 4.3 シート状連続炭素繊維による下面補強工

中間支点部箱桁内床版についても床版厚が薄くひびわれが発達しているため、上面増厚工法によって既設床版鉄筋応力度は許容値を満足しているものの、床版部材でもあり鋼材応力に余裕を持たせるためシート状連続炭素繊維による補強を行った。施工箇所は箱桁内であり、施工空間が狭く吹付け工事が不可能なため、床版下面にシート状連続炭素繊維を2方向に2層貼り付けることとした。施工状況を写真-6に示す。

#### 4.4 主桁補強工

本橋ではB活荷重による作用せん断力超過分は外ケーブルにより補うが、耐久性を考慮し、当初設計時のせん断余耐力をシート状連続炭素繊維工法により補うことを目的とし設計を行った。

設計上最も問題となるコンクリートとシート状連続炭素繊維の付着応力については、RC梁のせん断補強実験に関する実験結果を参考にし、実橋による確認試験を行った結果、せん断補強時のシート状連続炭素繊維の付着破壊強度を13 kgf/cm<sup>2</sup>、長期付着応力としてその1/2の6.5 kgf/cm<sup>2</sup>とした。

梁側面に貼り付けたシート状連続炭素繊維によるせん断耐力は、梁の水平中心軸とせん断面で作られる三角形の面積の付着力で決まる。また、せん断面と直交する方向に貼り付けた場合の、せん断耐力は1.6倍に向上するとの試験結果から、主応力方向にシート状連続炭素繊維の方向を合わせることにより、最も有効なせん断力に

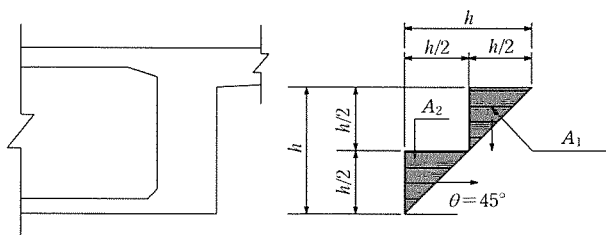


図-13 シート状連続炭素繊維の耐荷機構

対する補強効果が発揮できるとされている。しかし、現実には橋軸方向の各位置で主応力方向が変化するため、せん断面の水平軸に対する角度が変化しても対処できるように、縦・横にシート状連続炭素繊維を貼り付けた。

シート状炭素繊維に作用する引張力が、許容引張応力度を超過しないように断面を決定する必要があるため、縦・横それぞれのシート状連続炭素繊維で等分にせん断力を受け持つと仮定し、最大付着力によるシート状連続炭素繊維の引張応力を求め、シート状連続炭素繊維の厚さを決定した。

#### 4.5 主桁補修工

主桁ウェブや張出し床版の大きなクラック部には耐荷力向上のために樹脂を注入しクラック補修工を行った。また、主桁断面に段差等や、欠損が生じている部分には断面修復工を行い、美観と耐久性を考慮しライニングも行っている。写真-7, 8に修復状況および修復後の状況を示す。

### 5. あとがき

RC 2 径間連続箱桁橋の補修・補強事例を紹介した。本橋ではこの報告で述べた補修・補強工事終了後に上面増厚の施工も行い、実橋載荷試験を実施しており、併せ



写真-7 ひびわれ修復

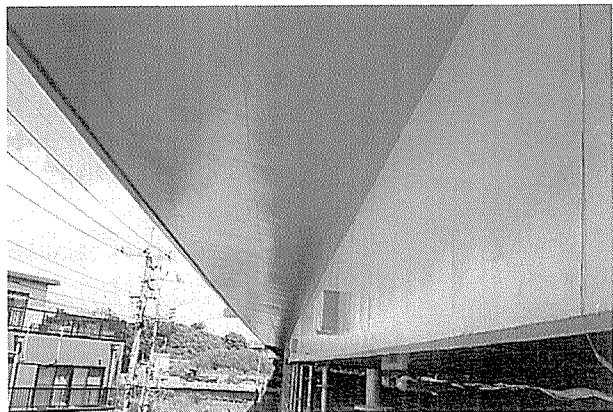


写真-8 修復後状況



て今後補強効果の確認および解析を進めていきたいと考えている。今回採用した補修・補強工法においても、まだ解決すべき問題点が幾つか残っており、今後とも補修・補強工事で検討を継続し、既設橋梁の補修・補強工法として確立されたものとする必要があると考えている。

#### 参 考 文 献

- 1) プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC橋の新しい構造事例に関する研究報告書（外ケーブルの有用性と適用に関する調査検討）
- 2) 吉野伸一ほか：添え筋と吹き付けモルタルによる RC床版補強工法に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，9-1，1987
- 3) シート状連続炭素繊維補強材を用いた既設鉄筋コンクリート部材のせん断耐力向上効果に関する研究，コンクリート工学論文集，第3巻第2号，1992年7月

【1995年8月17日受付】