

## 外ケーブルによる桁および橋脚の補強

中 井 三 夫\*

ここに紹介する桁および橋脚の補強事例は、都市内高速道路の橋梁で施工されたものである。

これらの構造物は、いずれも建設後 20 年以上が経過しており、供用後の交通量の増大と車両の大型化は凄じく、構造物に対し非常に過酷な状況となっている。また、建設が行われた 20 数年前では検討し得なかった、設計および施工上の問題等も加わり、構造物の一部に有害なひびわれが発生した。

これら構造物に発生したひびわれの対策として、外ケーブルによる補強を行ったので、その事例について以下に紹介させて頂く。

### 1. 2 径間連続 PC T 桁橋、打継ぎ部の補強

#### 1.1 構造の概要

本橋は、2 径間連続 PC T 桁橋であるが、中央橋脚 ( $P_2$ ) で現場打ちされた RC 箱桁とプレキャスト PC 桁を連結後、プレストレスを導入し一体とした構造である。なお、中央橋脚 ( $P_2$ ) は上下部一体のピルツ構造である (図—1)。

#### 1.2 損傷の状況

損傷は、現場打ちの RC 橋桁とプレキャスト PC T 桁との連結部付近のウェブに多数のひびわれが発生したものである (図—2)。

ひびわれ発生の原因としては、平面線形が台形状をなしており、桁配置等が複雑で、かつプレキャスト桁と現場打ち桁を連結するという解析の難しい構造に対し、建設当時では十分な検討ができなかったことによると考えられる。



\* Mitsuo NAKAI  
首都高速道路公団神奈川  
建設局調査課

打継ぎ部付近のウェブに発生したひびわれは、図—2のように、曲げ引張による鉛直ひびわれと、せん断による 45 度方向のひびわれがあり、曲げひびわれの発生に伴い、コンクリートのせん断耐力が低下し、せん断ひびわれが発生したと思われる。

#### 1.3 補 強

本橋の補強方法としては、各主桁ウェブの両側に PC ケーブルを配置し、追加プレストレスを導入する工法を採用することとした。以下にその施工方法について述べる。

##### (1) 主桁内の PC ケーブルおよび鉄筋探査工

外ケーブルの定着は鋼製ブラケットを PC 鋼棒で横締めし固定することとした。横締め鋼棒の穿孔に当たっては、主桁内の PC ケーブルおよび鉄筋を切断することのないように、X 線探査器、パコメーターおよびハンマードリルにより確認をを行った。

##### (2) ブラケット取付け工

ブラケットの主桁への取付けは、主桁の取付け面をジェットタガネでチップングを施した後、床版下面より吊り下げたチェーンブロックにて行った。

##### (3) プレキャスト樹脂コンクリート工

主桁とブラケットの間には、図—3 のように、ウェブ部に空隙ができるため、亜鉛鉄板の型枠を製作し、コンクリート用 アンカーボルト で取り付け、シール用 エポキシ樹脂でシールを行った後、型枠内に骨材 (5~20 mm) を投入し、プレキャスト樹脂コンクリートで充填した。次に、主桁下フランジ部のブラケットの接触面の空隙にエポキシ樹脂を注入した。

##### (4) 外ケーブル緊張工

###### i) 横締め鋼棒の緊張

緊張は片引きで行い、ブラケットに平均に圧縮応力が生じるように緊張した。また、樹脂コンクリートの初期クリープ等による張力の減少およびバラツキをチェックして、二次緊張を行った。

###### ii) 縦締め鋼線の緊張

外ケーブルの緊張は、片引きで行い、また、主桁に対し左右均等にプレストレスが導入されるよう主桁の両側の鋼線を同時に緊張した。なお、ブラケットについては、防蝕のため鋼製カバーを取り付け、ケーブル部には防護を配慮して耳桁の外側のみ鋼製のカバーを取り付け

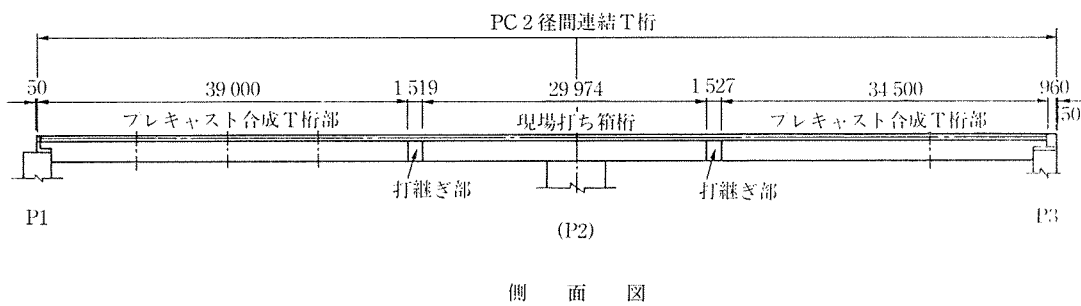
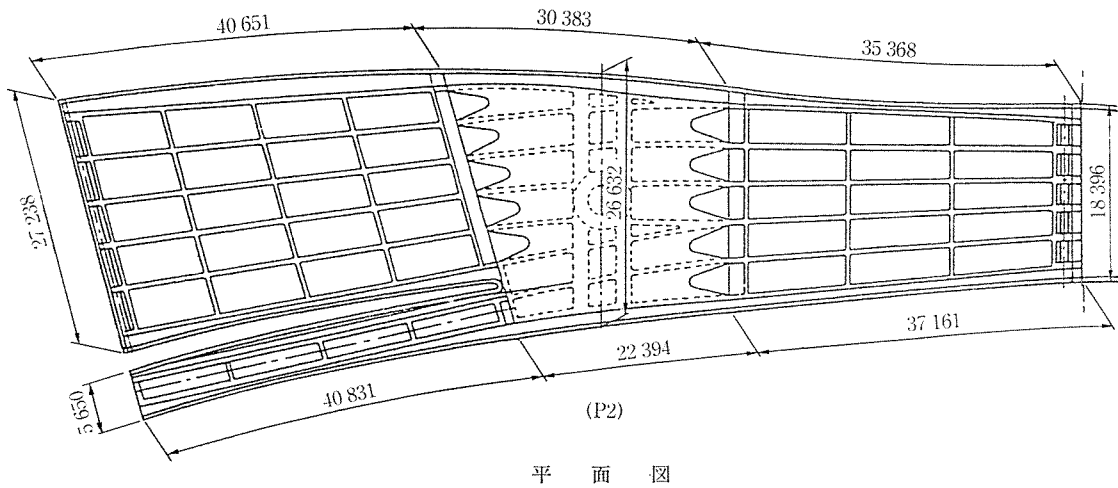


図-1 一般図

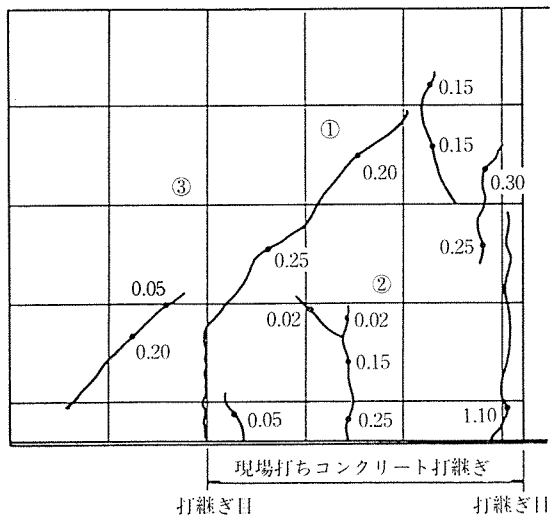


図-2 打継ぎ部付近に発生したひびわれ  
(単位: mm)

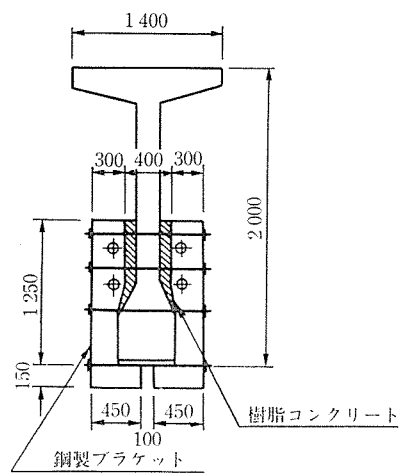


図-3 T 形桁とブラケット断面

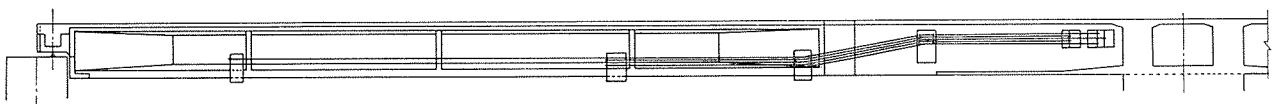
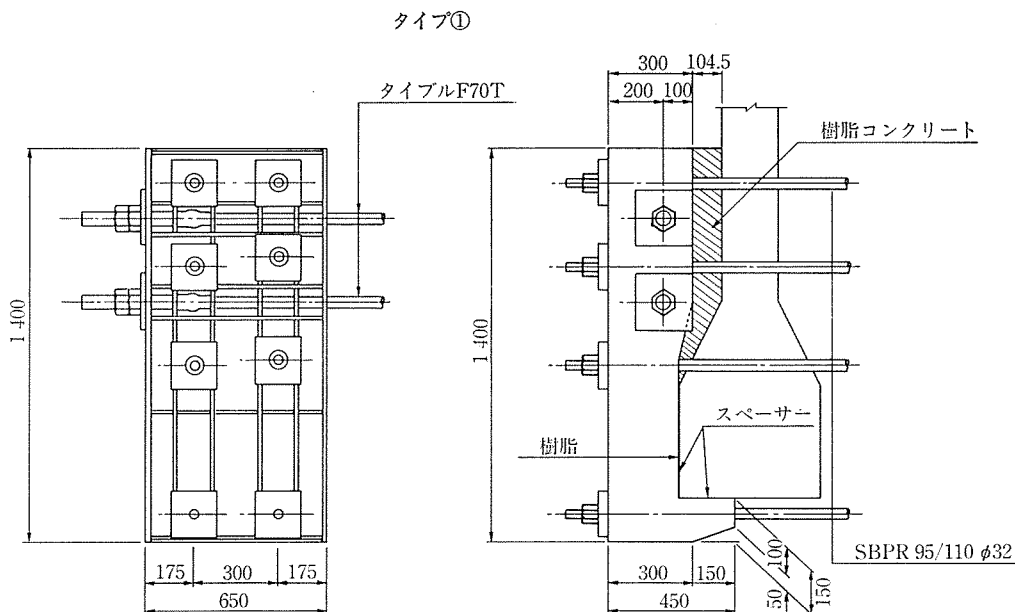


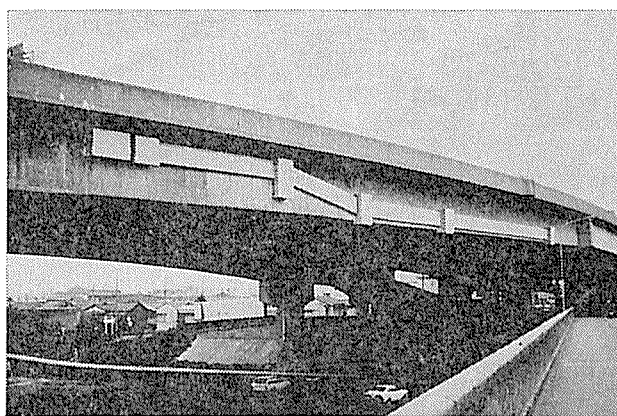
図-4 外ケーブル配置方法 (G1 桁)



図—5 ブラケット詳細



写真—1 縦締め緊張状況



写真—2 完成全景

た（写真—1，図—4，5，写真—2）。

## 2. 3 径間連続 PC 箱桁橋の補強

### 2.1 構造の概要

本橋は、3 径間連続 PC 箱桁構造で、本線に出入口が取りつく位置にあり、平面線形が台形状をなしている（図—6）。

### 2.2 揚傷の状況

損傷は、箱桁の下面全体にひびわれが発生していたが、曲げモーメントが零になる付近に集中していた。また、ひびわれ幅は 0.2 mm 前後であった。ひびわれ発生の原因を究明するため、①プレストレスの有効性、②ケーブル配置の施工誤差、③打継ぎ目の施工不良等の設計および施工に関する項目のほか、温度応力の影響、大気中の硫化物質等によるコンクリートの侵食作用の影響についても検討を行った。しかし、いずれの項目が主原因であるか特定することができなかったが、温度応力による影響が支配的であるのではないかと推測された。

### 2.3 補 強

本橋の補強方法としては、箱桁の下面に発生したひびわれを進行させないために、ひびわれにエポキシ樹脂を注入した後、箱桁内の主桁の両側に外ケーブルを配置し、プレストレスを導入することとした。以下にその施工方法について述べる。

#### （1）マンホール設置工

本橋は、箱桁構造であり、箱桁内部での作業用として、箱桁下面にマンホールを設置した。マンホールの大きさは、700×700 mm の矩形とし、それぞれの箱桁に

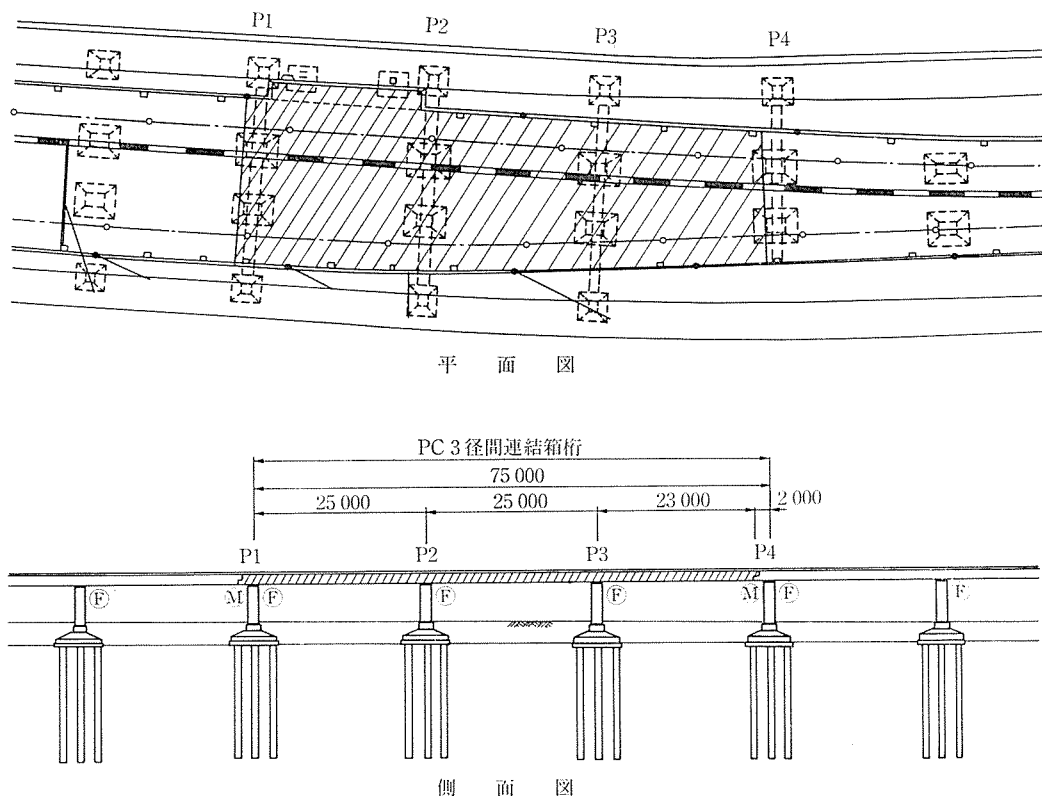


図-6 一般図

設けた。マンホールを新しく設置することは、この部分が断面欠損となり、応力集中によるひびわれが生じ易くなるので、マンホール部の回りを鋼板で補強した。

(2) エポキシ樹脂による亀裂注入工

外ケーブルによるプレストレスングを行う前に箱桁下面のひびわれをエポキシ樹脂で充填することとした。施工順序は、ひびわれに沿って幅 5 cm 程度ディスクサンダーをかけ、コンクリート面に付着したレイタンスや塵埃等を除去した後、ひびわれに沿って約 20~30 cm の間隔で注入用座金パイプをパテ用エポキシ樹脂で固定し、パイプ間のひびわれもパテ用樹脂で入念にシールを行って、亀裂注入用エポキシ樹脂を注入した。注入圧力は平均 3 kg/cm<sup>2</sup> である。

(3) 外ケーブル設置工

外ケーブルは、箱桁内の主桁に左右対称に配置することとした。また、外ケーブルの配置は、温度応力を考慮した場合の設計荷重時に生じている引張応力を打ち消すように行った(図-7)。

外ケーブルの定着は、箱桁内の作業ということ、また、マンホールからの材料搬入という条件も加わり、現場打ちコンクリートでブラケットを製作し、PC 鋼棒で締めつけて固定した(図-8)。

端部定着ブラケットおよび方向変換ブラケットの位置は、設計図書等を考慮して決定したが、横締め鋼棒用の穿孔に当たっては、主桁内の PC ケーブルを切断するこ

とのないよう X 線探査器等で確認しながら行った。

ブラケットの PC 鋼棒およびアウトケーブルの緊張、シース内のグラウト終了後、支圧板やコーン等露出している部分の腐蝕防止のため、タールエポキシ塗料を塗布し工事を完了した(写真-3)。

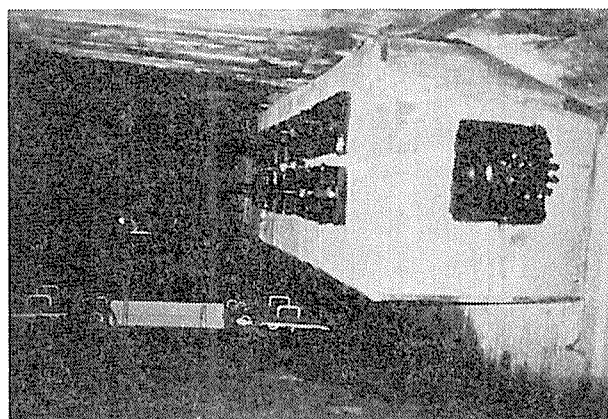
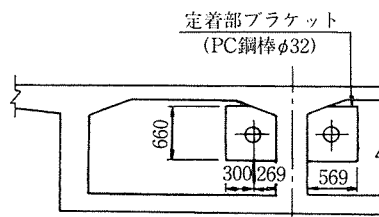
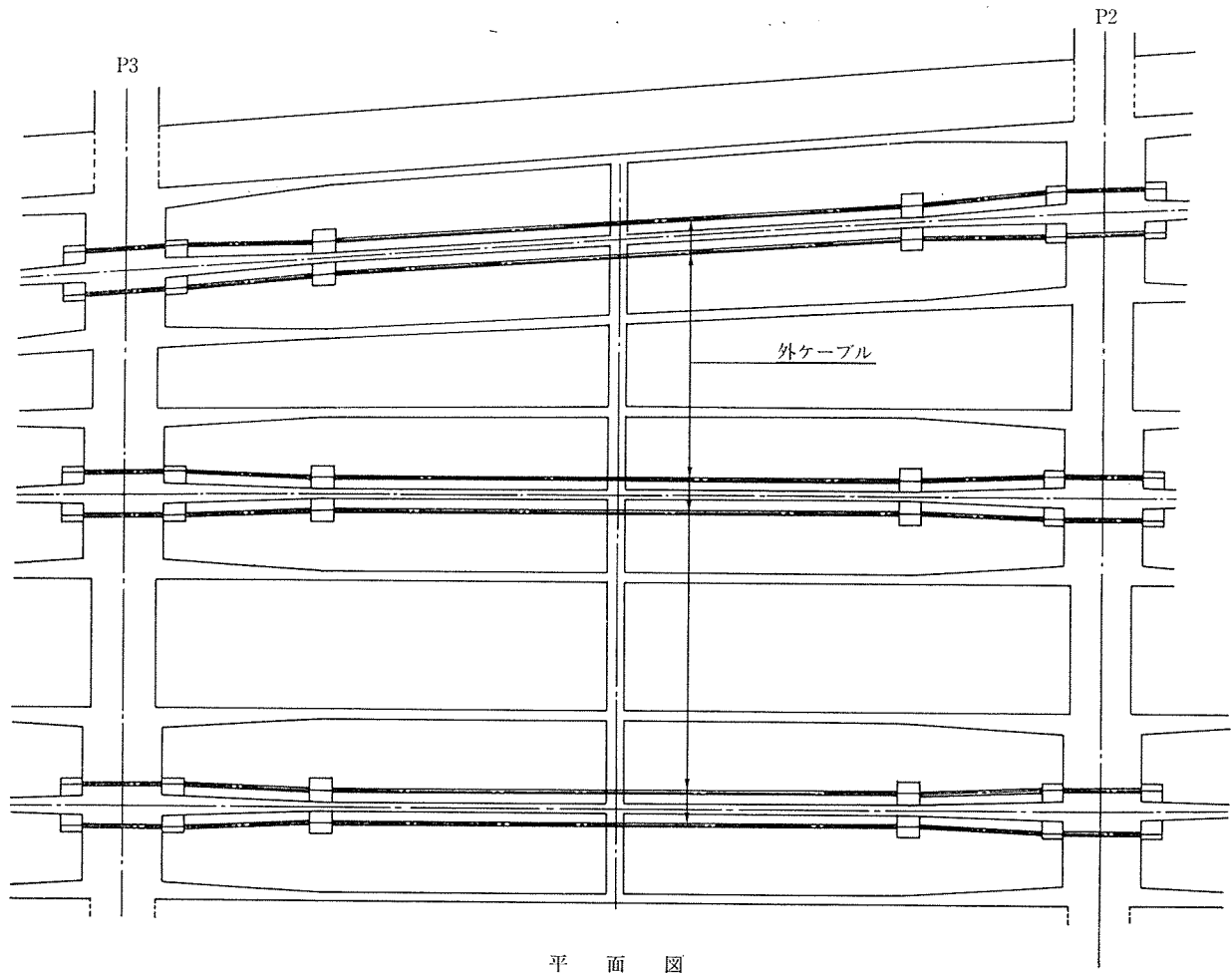
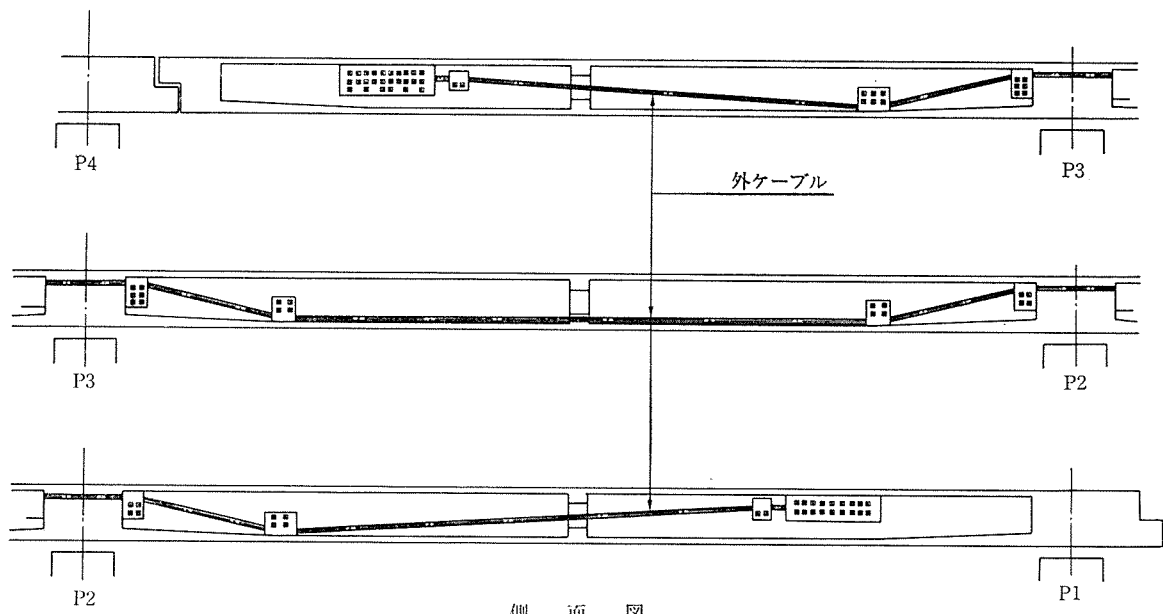


写真-3 定着部ブラケット(側径間)



平面図



側面図

図-7 外ケーブル配置図

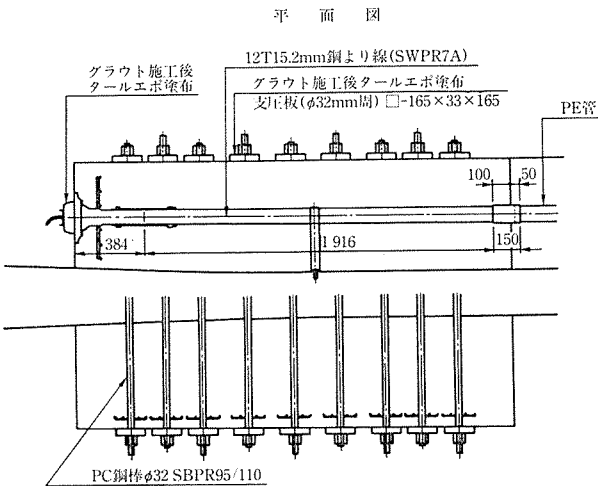


図-8 定着部ブラケット

### 3. 単純 PC T 桁橋の主桁および横桁の補強

#### 3.1 構造の概要

本橋は、支間 30m の比較的短い単純桁 PC T 桁橋であり、主桁間の床版部を間詰めコンクリートによって接合した構造である。

#### 3.2 損傷の状況

損傷は、主桁、横桁および主桁間の間詰め部にひびわれが発生した（図-9, 10, 11 参照）。

損傷の原因としては、床版部については昭和 44 年以前の設計であり、耐力不足が生じていること、主桁・横桁部については、供用以来 20 年以上を経過し、1日 10 万台を超える重交通による過剰荷重によるものと推測された。なお、主桁のひびわれ幅は 0.05~0.2mm であった。

#### 3.3 補 強

本橋の補強は、①床版の間詰め部と主桁を一体化し、床版二次応力を低減する、②横桁と主桁を一体化し、荷重分配性能を回復させる、③主桁については、パーシャルプレストレスで設計されていたものをフルプレストレスにし、プレストレス量の不足を補うこととした。

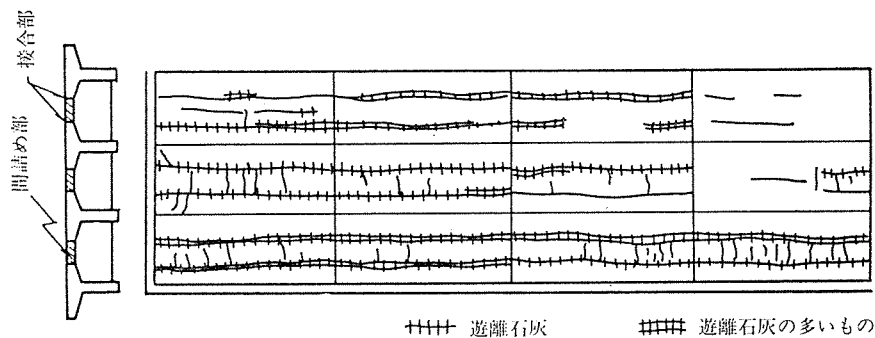


図-9 床版のひびわれ

|     | 横桁① | 横桁② | 横桁③ | 横桁④  | 横桁⑤ |
|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| 主桁① | 0.3 | 0.2 |     |      |     |
| 主桁② | 0.5 | 0.2 |     |      |     |
| 主桁③ | 1.5 | 3.0 | 1.5 | 10.0 |     |
| 主桁④ | 3.0 | 1.0 | 1.0 |      |     |
| 主桁⑤ | 0.2 | 3.0 | 0.4 | 0.2  |     |
| 主桁⑥ | 0.3 | 0.4 | 1.5 | 1.0  |     |

図-10 横桁のひびわれ

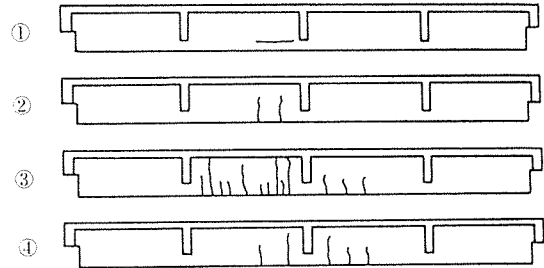


図-11 主桁のひびわれ

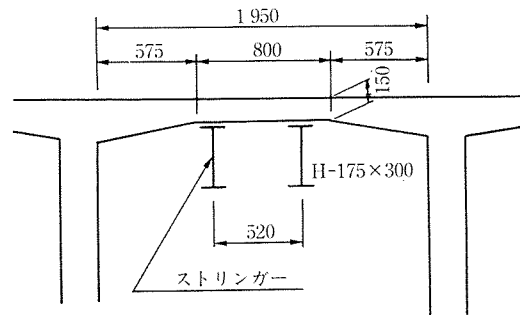


図-12 ストリンガーによる補強

#### (1) 床版の補強

間詰め部のひびわれ部にエポキシ樹脂を注入し、2本のストリンガーにより補強を行った（図-12）。

#### (2) 主桁の補強

主桁の補強としては、載荷実験や格子モデルによる検討を行い、外ケーブルを配置し、プレストレスを導入した。損傷の程度は、図-12のように、4本の主桁がそれぞれ異なっていたが、各主桁に同量のプレストレスを加えた（図-13, 写真-4, 5 参照）。

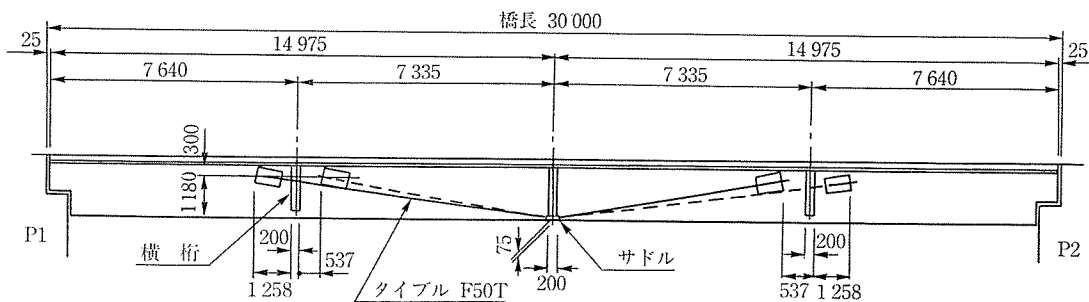


図-13 外ケーブル配置

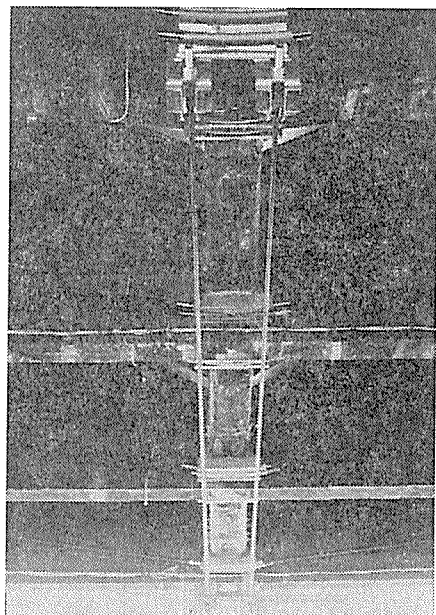
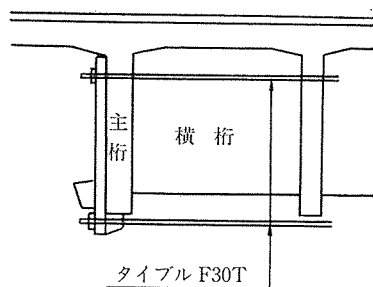


写真-4 横桁補強

#### 4. 逆π形 RC 橋脚の隅角部および張出し部の補強

##### 4.1 構造の概要

本橋脚は、出入路付近に建設された、単純合成鋼桁を支える逆π形をした RC 構造である。

##### 4.2 損傷の状況

損傷は、脚の梁上縁、隅角部および柱部に幅 0.1~0.8 mm のひびわれが発生した (図-14)。ひびわれの原因としては、乾燥収縮によって微小のひびわれが発生し、さらに上載荷重の振動が加わり、進行を助長したものと推測された。なお、原設計時には隅角部の設計方法が明確でなかったため、隅角部の補強は行っていない。

##### 4.3 補強

本橋脚の補強箇所としては、①張出し部の上縁に生ずる引張力に対する補強、②隅角部に生ずる引張力に対する補強、③柱部材に生ずる引張力に対する補強の3箇所を行うこととした。補強方法は、ひびわれにエポキシ樹脂

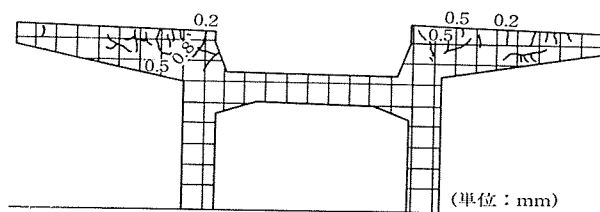


図-14 ひびわれ状況



写真-5 主桁補強

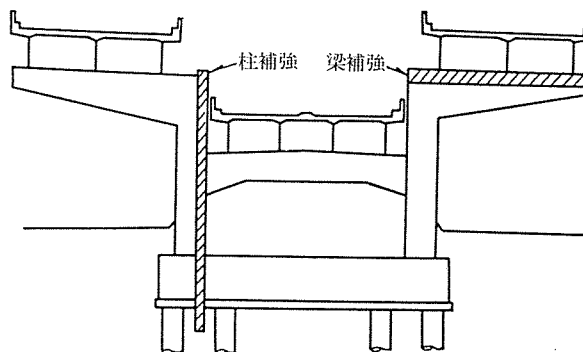


図-15 補強方法

脂を注入した後、柱部と張出し部を 図—15 のように、外ケーブルによってプレストレスを導入することにより、上記3箇所の補強を行うこととした。

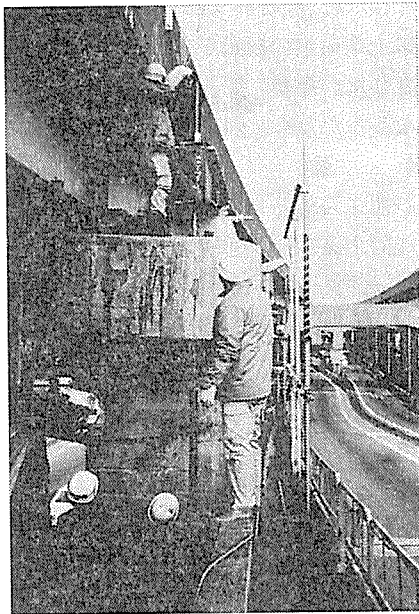
(1) 柱部の補強

外ケーブルのアンカーをとるため、地表よりフーチング上面まで掘削を行い、フーチング上面から油圧ボーリングマシンで底面まで穿孔(φ300)を行った。さらに、拡底機により直径75cm、深さ150cmの水中掘削を行い、ハイドロクリート(高分子系混和剤添加コンクリート)を打設した。

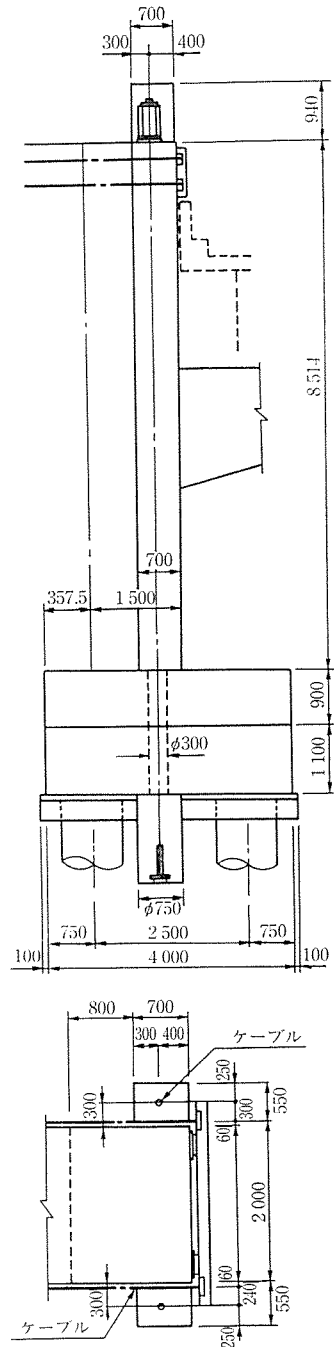
また、緊張端は柱の上部に鋼製ブラケットを設置し、プレストレスングが左右均等に行われるよう2台連動のジャッキで緊張した(図—16、写真—6)。

(2) 梁部の補強

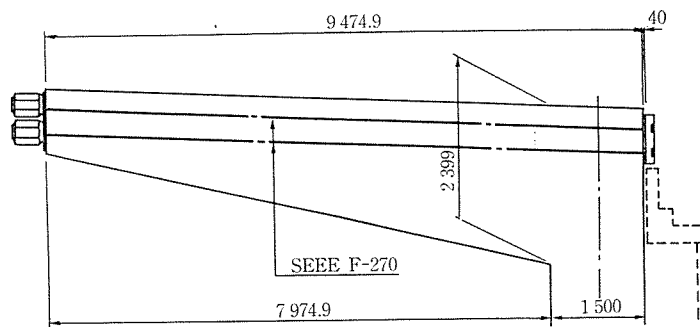
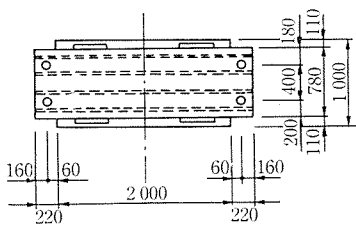
梁部の補強は、ひびわれにエポキシ樹脂を注入した後、梁上側にハチ巻きを巻くようにアウトケーブルを配置し、中央出入路車道側の建築限界の関係で張出し部先端側から緊張した。緊張後、カバープレートを取り付け



写真—6 ケーブル挿入状況



図—16 柱の補強



図—17 梁の補強



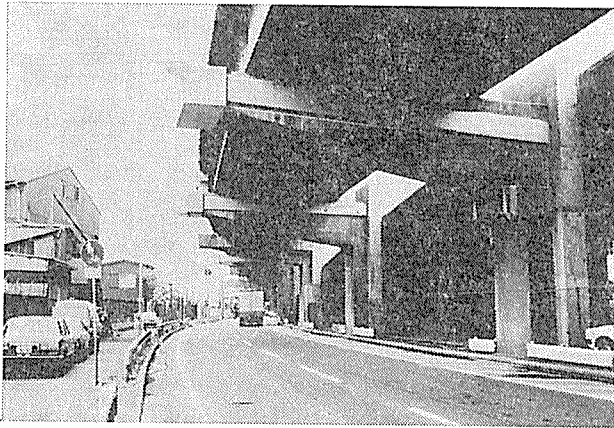


写真-7 補強完成

シールを行って完了した(図-17, 写真-7)。

### 5. 二層ラーメン RC 橋脚の隅角部の補強

#### 5.1 構造の概要

本橋脚は、3径間連続鋼箱桁を支える、二層ラーメンのRC橋脚で、基礎はケーソンである。

#### 5.2 損傷の状況

損傷は、二層目の柱を支える、一層目の梁隅角部にひびわれが発生した。ひびわれ幅は0.1~0.4mmである(図-18)。

ひびわれ発生の原因としては、ケーソン施工中のフリ

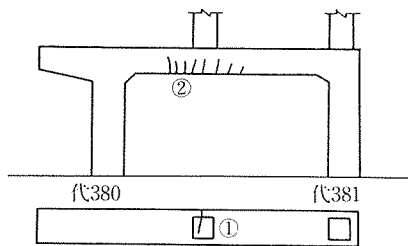


図-18 ひびわれ状況

クションカッターの原地盤のゆるみによる施工後の水平移動、また、3本束ね鉄筋の使用に伴う付着性の低下等が考えられた。

#### 5.3 補強

補強は、梁に生じた曲げ引張応力によるひびわれの拡大を防ぐため、活荷重載荷に対し外ケーブルによりプレストレスリングを与えることとした。また、ケーブルの配置は、外力に対し有効に働くよう曲線配置とし、ケーブルの角変化点には鋼製のサドルを設置した。また、PC鋼材の保護は鋼製のカバープレートによりケーブルを密閉し、軽量コンクリートを充填した(図-19, 写真-8)。

### 6. T形 RC 橋脚, 片持ち張出し付け根の補強

#### 6.1 構造の概要

本橋脚は、3径間連続鋼箱桁を支えるやや段違いになったT形RC橋脚である(図-20)。

#### 6.2 損傷の状況

損傷は、片持ち隅角部にひびわれが発生した。ひびわれ幅は、0.1~0.4mmであった(図-21)。

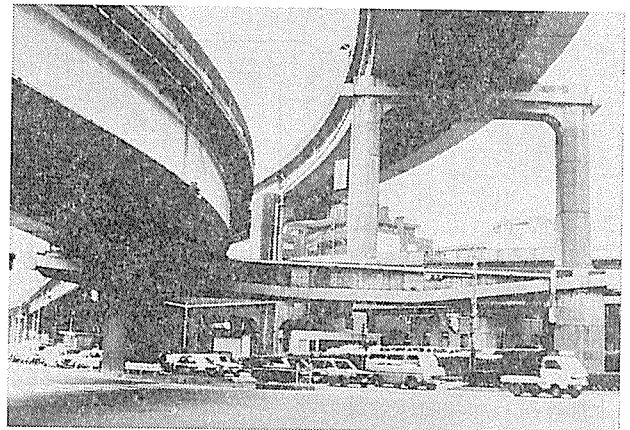


写真-8 補強完成(正面)

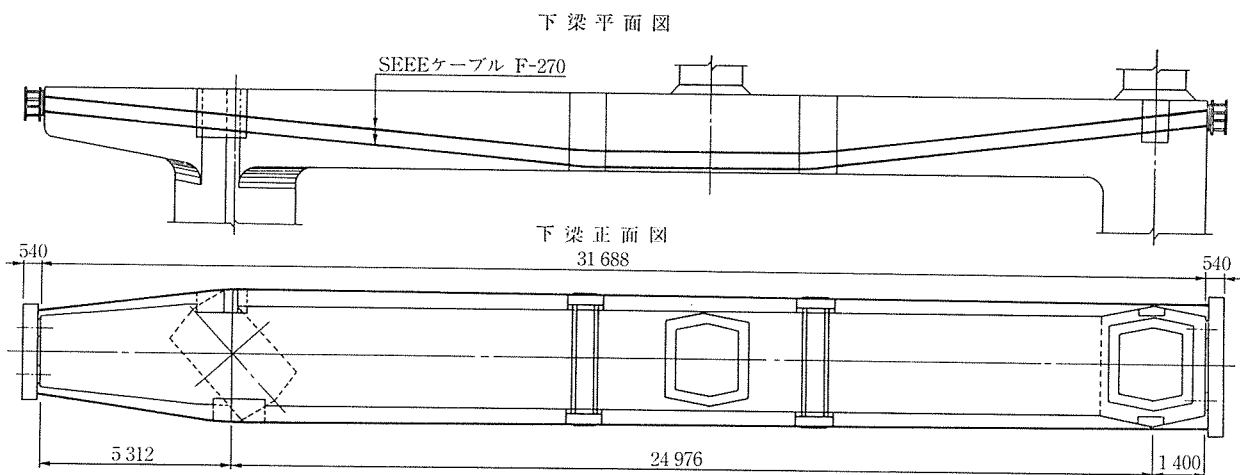
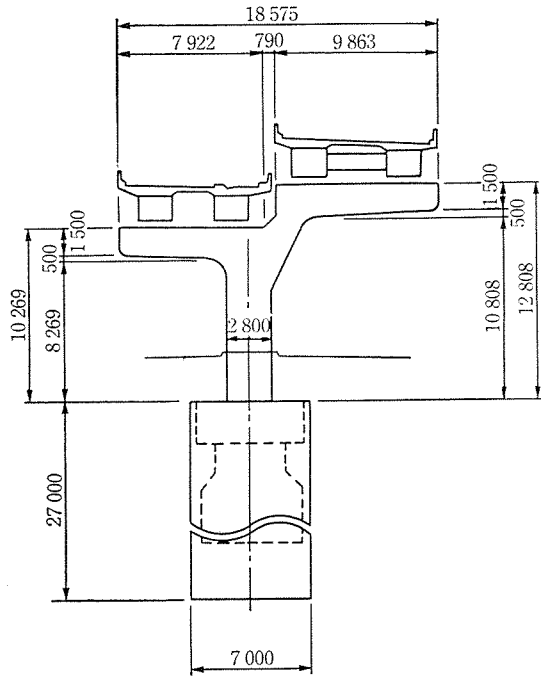
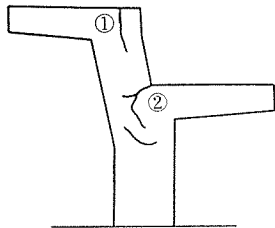


図-19 外ケーブル配置



図—20 断 面



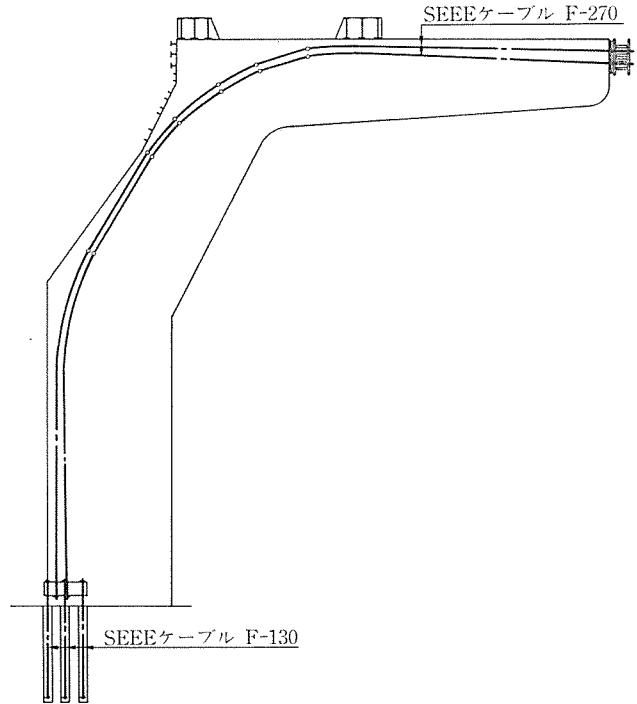
図—21 ひびわれ状況

### 6.3 補 強

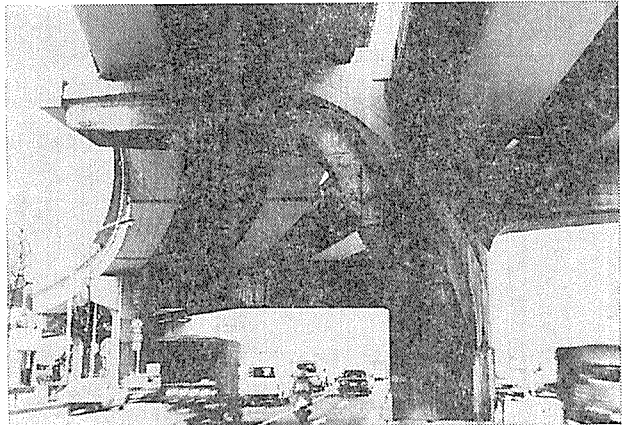
補強方法としては、フーチングにボーリングを行い、PC ケーブルをさし込み、デッドアンカーで固定した。上部片持ち部端面に金具で緊張端をつくって緊張した。

ケーブルは、柱部から片持ち張出し部へと連続する曲線配置とした。方向角の変化点には、鋼製サドルを設置した。

PC 鋼材の保護は、鋼製のカバープレートによりケー



図—22 外ケーブル配置



写真—9 補強完成

ブルを密閉し、軽量コンクリートを充填した（図—22、写真—9）。

【1990年8月27日受付】