

## コンクリート橋の補修・補強について

音 川 庫 三\*

## 1. はじめに

首都高速道路は、昭和 37 年 12 月に 1 号線の京橋～芝浦間 4.5 km が供用されて以来、昭和 59 年 5 月現在では 160.8 km を供用しており、東京都内の主要な道路として、経済活動や生活必需物資の輸送を中心に、1 日平均利用台数は 77 万台に達している。道路本体は複雑な構造が多く、道路延長の 82.8% が高架構造（その中で上部構造では 64.3% が鋼構造、18.5% がコンクリート構造）、5.2% がトンネル構造、6.2% が半地下構造であり、一般的な平面構造はわずか 5.8% にすぎない。

このような構造物は経過年数とともに疲労、劣化が進み、特に 10 年経過（約 70%、110 km）したものにあっては、予測以上の速さで損傷が現われてきている。ちなみに東京オリンピックと前後して供用された路線は、1 号線、2 号線、3 号 I 期線および 4 号 I 期線の一部で、その延長は 44.2 km（高架構造物は 32.8 km）であり、既に 20 年の歳月を経ている。このなかでコンクリート構造物の例をあげると、上部桁 523 スパン（約 10.5 km）、橋脚 780 基のうち、約 5% が何らかの方法で補修されている。

道路の中にあって橋梁構造物は、極めて建設コストが高く社会的資産であるという性格から、長期耐用が期待される構造物である。それゆえに、社会的要請に十分機能させるための維持管理が常に課題となる。

一般に橋梁構造物における補修・補強は、多くの費用と日時を要し、交通に与える影響も大きい。

首都高速道路は、建設が始まってから既に 20 数年が経過しており、この間設計、施工、材料等の適用基準に幾たびかの変化をみている。補修が必要となる要因は、構造物の経過年数に伴う劣化や老朽化があり、地震など自然環境に災いするものがある。そのほか火災、衝突による損傷や交通の量の増大、質の大型化による過積載荷重の頻度の増大に伴う外的要因がある。更には設計上の配慮不足、施工上の不良など人為的要因等、多種多様なものがあげられ、これらが複雑に絡みあって生ずる場合が多いようである。

このための対策として、構造物の入念な診断となる早期点検、早期補修により機能回復のための構造物の補強

工事等が必要となる。このような経緯によって損傷が生じた構造物を補修する場合、最も重要な課題は構造物の当初の設計条件をどこまで引き上げ、使用限界や終局限界に対してどの程度の安全度を確保させるかである。

コンクリート構造物の初期の損傷はひびわれに代表されるが、特にその原因の究明が大切であり、誤った補修や補強はかえって橋梁全体の機能や耐久性を損なうことがあるので注意しなければならない。

首都高速道路でのコンクリート桁の補修例としては、桁の下面に発生したひびわれに対して、PC 箱桁では鋼板接着を、PC の T 形桁では PC 鋼材によるアウトケーブルがある。また橋脚では柱、梁のひびわれに対して PC 鋼材によるアウトケーブルや鋼板の巻立て、重ね梁等の断面増による補修、あるいはこれらの併用による補修がある。ここでは PC 桁の損傷と補強対策について、2, 3 例をあげ報告する。

## 2. PC 桁の点検、補修

コンクリート構造物の補修に先立っては、診断となるべき点検がある。点検は構造物の状態を把握する必要から欠かすことのできない重要な業務である。

首都高速道路における点検は、大別して日常点検、定期点検、臨時点検があげられるが、コンクリート桁を主体とした点検を示すと表-1 となる。

点検によって構造物に何らかの症状が現われた際には、様々な検討の結果、補修に移行することがあるが、首都高速道路のように都市内にある構造物では、補修工事の際に次のような問題がある。

- ① 首都高速道路はよほどの大きな損傷でなければ交通止めをして補修することが困難である。これは先に述べたように交通量が多く、断面交通量が 10～15 万台/日 であり、交通止めによる一般街路への影響が大きいためである。
- ② 補修工事は、一般街路あるいは高速道路上を車線を規制して時間的な制限、場所的な制約をうけた中で行わなければならない。また制限範囲内での工事のために、材料搬入や補強部材についても小割にしたもので補強するなど、細々した配慮が要求される。

PC 桁は構造物の中で最も補修の行いにくい構造物と

\* 首都高速道路公団東京保全部設計課長

いえる。その理由は構造物の主応力をうけもつのがプレストレス力にあるということである。

建設時点においては入念な管理のもとに設計荷重に対するプレストレス力を計算し導入することができるが、一たんいろいろな要因が重なって補修あるいは補強を余儀なくされた場合には、RC 構造と比べて非常に厄介である。

RC の場合には様々の角度から構造物の損傷要因となる荷重の推定をも含めての応力計算をし、それに対して

表-1 定期点検の例

点検の種類	内 容	対象構造物
コンクリート桁の写真点検 (1回/5~7年)	コンクリート桁の写真点検は、コンクリート桁を写真撮影し、そのフィルムを判読して行う点検である。なお床版と同時撮影した場合桁のひびわれ等の損傷の判読が床版と同程度行える場合は、床版と同一フィルムで撮影する。	コンクリート桁
工事用足場上からの点検 (工事用足場を)設置したとき	構造物の補修工事には塗装工事のように一定のサイクルで行われるものと、支承補修工事のように一時的なものがある。工事用足場上からの点検とは点検を効率よく行うために塗装工事あるいは床版補修工事の工事用足場を利用し、定期点検のサイクルに組み入れて行う点検である。その他支承補修工事のように一時的で計画的に行われたい工事については、必要に応じ点検計画に組み入れて行う。	① 床版 ② 桁 ③ 伸縮継手(下側のみ) ④ 支 承 ⑤ 橋 脚 ⑥ 塗装(特に箱桁、橋脚内部) ⑦ 排水管 ⑧ 桁落下防止装置
橋脚および梁上の点検 (1回/5年)	橋脚および梁上の点検は、伸縮継手、支承、桁落下防止装置のほかに、桁および床版端部等比較的損傷しやすい部分が集中している個所であることから、他の個所の点検と区別して点検計画を立てて行う点検である。ここで点検する範囲は、橋脚および橋脚梁上のすべてであり、桁、床版は横桁を含めたその間とする。	① 床版端部 ② 桁端部 ③ 伸縮継手(下側のみ) ④ 支 承 ⑤ 橋 脚 ⑥ 塗装(特に箱桁、橋脚内部) ⑦ 排水管(一部) ⑧ 桁落下防止装置
コンクリート箱桁内部の点検 (1回/5~7年)	コンクリート箱桁の外周は、写真点検や高架下の徒歩による点検等で点検が可能である。コンクリート箱桁内部の点検は直接箱内部に入り行う点検である。箱桁内部は、特に上床版に注意して点検する必要がある。この際、箱内部が滞水している場合もあるので注意する必要がある。	コンクリート箱桁
コンクリート動態点検 (2回/年) (夏; 冬)	コンクリート動態点検は、コンクリート構造物に異状なひびわれが生じている場合、構造物の健全度を把握する資料を得る必要から、ひびわれの進行の程度を把握する点検である。	① 桁 ② 橋脚、橋台 ③ トンネル

既設構造物の鉄筋量と対比させながら部材断面の応力度をチェックすることができる。

PC 構造物(特に初期の PC 構造物)では、鉄筋量は組立て筋程度と非常に少なく、プレストレス力で 100% 応力をとらせている場合が多く、任意の断面での計算上のプレストレス力でない実際のプレストレス量が、どの程度入っているのかが判断しにくいことにある。また補修工法を考える際に、RC の場合であれば支保工等の仮設材を十分に利用することによって損傷部材のはつりや壊しが可能であり、更に新しい材料(コンクリート等)で打直し補修することも可能である。

ところが PC 構造物では、補修の過程において部材を部分的に取り壊したり、はつたりすることが非常に難しい。これは先に述べたように、目に見えないプレストレス量の存在をいかに把握するかという点にある。プレストレス量の推定は、計算を繰り返し行って実際の有効プレストレス量を算出することや、実橋に載荷試験をし、そのデータからプレストレス量を推定するなど、困難なのが実状である。

### 3. コンクリート桁の補修例

#### 3.1 PC 橋(T形)の補修例

本例は、スパン 30 m、幅員 8.3 m で 4 主桁からなる PC の T 形橋梁で、昭和 37 年に供用され、その後の交通の質や量の増加に伴い横桁および床版にひびわれ等の損傷が生じたものである。このため詳細点検を行うとともに実橋をトラック等の積載荷重により載荷試験を実施し構造物の耐力の度合や、横桁および床版についてのひびわれの及ぼす影響、荷重分配性能等設計どおり機能しているかについて調査し、補修した構造物である。以下にその概要を記述する。

#### (1) 損傷の概要

##### (i) 床 版

床版下面の点検結果で 0.2 mm 以上のひびわれは図-1 のとおりであり、シュミットハンマーによる圧縮強度試験は 500~520 kg/cm<sup>2</sup> と設計圧縮強度 330 kg/cm<sup>2</sup> を上まわっている。実橋での載荷試験および解析結果か

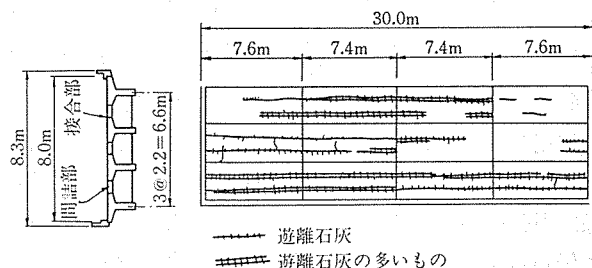


図-1 床版下面のひびわれ状況(0.2 mm 以上)

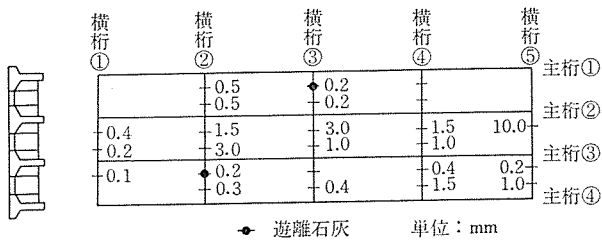


図-2 横桁のひびわれ状況

ら、床版の橋軸直角方向の応力は、床版に直接載荷される荷重によるものと主桁のたわみ差による影響がある。このほか主桁の鉛直軸向回転角の差による引張応力が横桁の間詰め部に生じており、横桁のひびわれ等からも床版が損傷をうけたと考えられる。このようなことから床版と合わせて横桁についても補修を行う必要がある。

(ii) 横 桁

横桁には、ほとんどのひびわれが主桁と間詰め部の接合部に生じており、ひびわれの中には車両通行時に開く活性ひびわれもある(図-2)。シュミットハンマーによる圧縮強度試験は 460~510 kg/cm<sup>2</sup> と設計圧縮強度 330 kg/cm<sup>2</sup> 以上となっている。

(iii) 主 桁

主桁は図-3 に示すように 0.05~0.20 mm のひびわれが主桁 ③ および ④ に比較的多く発生している。なお、シュミットハンマーによる圧縮強度は、510~560 kg/cm<sup>2</sup> で設計圧縮強度 450 kg/cm<sup>2</sup> 以上である。

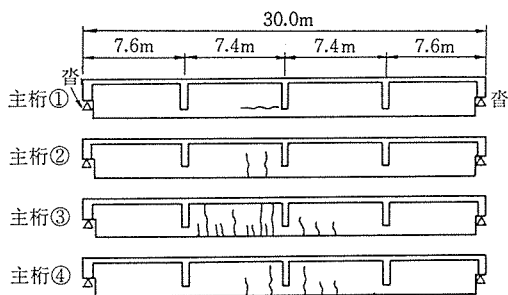
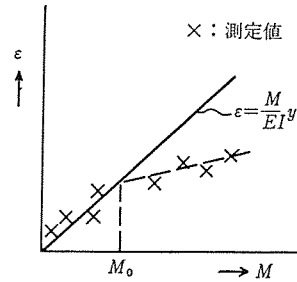


図-3 主桁のひびわれ (0.1 mm 以上)

主桁のプレストレス量は、桁にひずみ計を貼り付け載荷試験により計測し推定した。主桁下縁のひずみと曲げモーメントの関係は、ひびわれを生じていなければ  $y/EI$  を係数とする一次式  $\epsilon = \frac{M}{EI}y$  で表わせる(図-4)。図-4 で  $M_0$  以下の曲げモーメントは桁下縁も圧縮応力が作用しており、ひずみが正常に伝達されていると考えられる範囲であり、 $M_0$  以上の曲げモーメントでは桁下縁は引張応力度を生じ、ひびわれ等によりひずみが正常に伝わらず桁下縁ひずみ計位置での応力度は 0 となる。

この仮定によりプレストレス量を推定すると、



ひずみと曲げモーメントが  $M_0$  の点で変化する。

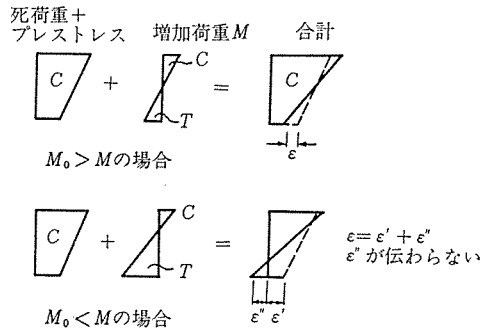


図-4 主桁下縁のひずみと曲げモーメントの関係

$$-\sigma_d - \sigma_0 + P_t \left( \frac{1}{A} + \frac{e_p}{I} y_m \right) = 0$$

$$\therefore P_t = \frac{\sigma_d + \sigma_0}{\frac{1}{A} + \frac{e_p}{I} y_m}$$

ここで、 $\sigma_d$  : 下縁ひずみ計位置での死荷重応力度

$\sigma_0$  : "  $M_0$  による応力度

$A$  : 断面積

$I$  : 断面 2 次モーメント

$e_p$  : 中立軸から鋼材図心までの距離

$y_m$  : 中立軸から下縁ひずみ計位置までの距離

この結果、各主桁でのプレストレス力は、主桁 ③ および ④ が低下していると推定される。このように主桁のひびわれ発生要因の一つにプレストレス不足が考えられるためにプレストレス不足分を補修する必要がある(表-2)。

(2) 補修の概要

- ① 床版は鋼縦桁増設により補強する。
- ② 横桁はアウトケーブルによって横締めし剛結させる。
- ③ 主桁はプレストレスの不足分および増加荷重分をア

表-2 各主桁の推定プレストレス

主桁	推定プレストレス (t)	設計プレストレス (t)	補修設計計算のためのプレストレス量 (t)
①	270~295	300	285
②	260~290	300	280
③	220~250	300	240
④	240~270	300	255

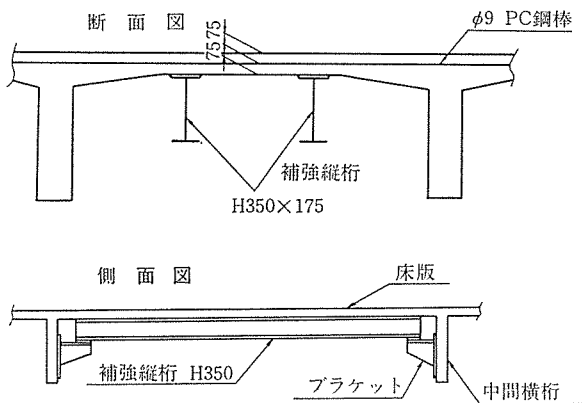


図-5 床版部分の増設桁による補強

ウトケーブルによりプレストレスを与え補強する。

以下にこれらの概要を示す。

① は主桁と間詰め床版の接合面に発生しているひびわれの進行を押さえ、鉄筋およびPC鋼材の腐食を防ぐため、ひびわれ部にはエポキシ樹脂を注入する。更に床版については、鋼縦桁2本を既設主桁間に取り付けた増設桁による床版補強を行う(図-5)。

② は主桁と横桁の打継目地部に発生しているひびわれを防ぎ主桁と一体化すること、床版補強用の増設縦桁の支点とするための横桁の補強である。

ひびわれ部にはエポキシ樹脂の注入を行い、新たに横桁部にPC鋼材を設置しプレストレスを増設する。増設縦桁の支点とするために中間横桁には補強板をエポキシ樹脂で接着し、かつ通しボルトで取り付け固定する。またアウトケーブルの導入緊張力は横桁1か所に20トン導入する(図-6)。

③ は、実橋の載荷試験結果から約5%程度のプレストレス損失があるため、この量を復元させること、床版

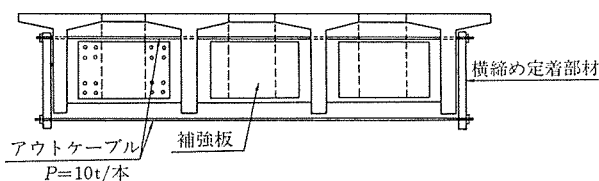


図-6 中間横桁の補強

表-3 合成応力度(中桁中央部) (kg/cm<sup>2</sup>)

荷重	上縁	下縁	備考
桁自重	43.3	-84.9	
場所打ち部	21.4	-39.2	
静荷重	9.9	-26.9	
活荷重	30.0	-81.6	
プレストレス	-35.6	209.5	5%の減少を考慮した値
小計	69.0	-23.1	
増加荷重	5.8	-15.7	補強部材の鋼重 10 t/桁
アウトケーブル	-6.1	41.1	F50 タイプ 2本使用
合計	68.7	2.3	

および横桁補強に伴う荷重増に対して補強すること、および当初設計時に設計荷重作用時で主桁中央部で約10 kg/cm<sup>2</sup>の引張応力度が発生しているため、これを打ち消すための補強を行う。補強は新たにアウトケーブルを配置し120 t/桁のプレストレスを与える。その際の中桁中央での合成応力度では表-3となる。

アウトケーブルの配置は、本来、緊張端を桁端に定着させ実施するのが望ましいが、隣接桁との隙間もなく設置が不可能なこと、また桁端部付近には既設のPCケーブルが集合する場所であり定着が無理なことにより、やむを得ず桁長の1/4付近とした。なお実施工に際しては、定着部の模型試験による安全性の確認や、現地のコンクリート桁内のケーブル配置をX線により確認し、その位置を桁にプロットするなど注意を払いアウトケーブルの定着となる鋼製ブラケットを取り付けた。主桁補強のプレストレスは、図-7に示すように鋼製ブラケットを主桁ウェブに通しボルトで締め付け定着させ、摩擦力で伝達させるものであり、アウトケーブルを緊張することにより導入する。

### 3.2 PC箱桁のせん断キーによる補強

本例は昭和42年に供用された橋長85m、幅員16.2mの3径間連続PC箱桁橋であり、中央径間のみブロック工法で、あとは場所打ち工法で完成されたものである。

この橋梁の中央径間の支点付近の場所打ち部とブロック工法部分の境目付近で、桁下面および側面にひびわれ

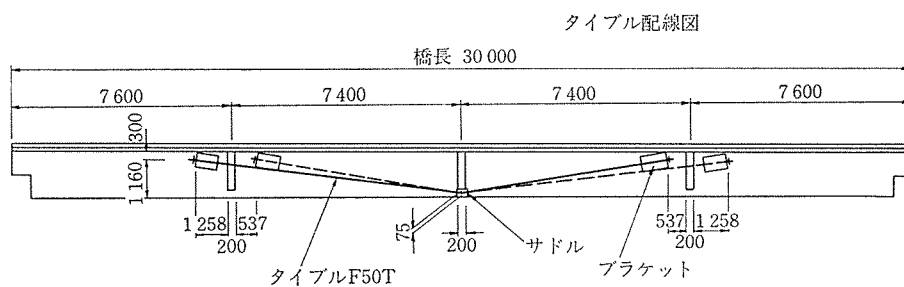


図-7 主桁の補強

報 告

を生じたものである。ひびわれは 図-8 に示すように PC 定着の問題や、剛横桁の橋軸方向拘束による引張応

力の集中、あるいは連続された PC ケーブル区間のためクリープ等によるなどの要因が重なり生じたと考えられる。

補修方法は種々比較検討の結果、箱桁の内側に沿って RC 構造のせん断キーを設け、かつ桁下面に鋼板接着をすることにより処理した(図-9)。

3.3 ゲルバー部の補修

本補修例は、昭和 37 年に供用されたスパン 22 m、幅員 16.8 m のゲルバー付き RC 箱桁のゲルバー構造を取り壊し補修したものである。補修に至った要因としては、このゲルバー構造と隣接する 5 径間連続 RC 桁(固定沓は 1 か所である)の温度変化に対する構造物の変位応答が、当初設計で想定された挙動と著しく異なったものとなっていることにある。この構造物の場合では、温度変化に対する不動点が固定沓のある橋脚と一致すると考えているが、実際には可動沓の摩擦抗力、上部構造の平面形状(直線、曲線の別)、上部構造物を支える橋脚等の剛度差による分配などに複雑に関係しているようである。

また上部構造物の温度変化による変位値および方向は次の事項に関係がある。

- ① 上部工の変位は、不動点からの距離に  $\alpha t$  を乗じた値となる。

$\alpha$ : 温度膨張係数,  $t$ : 温度昇降値

- ② 曲線橋では、桁変位を橋軸方向にのみ許容する沓配置にすれば、下部構造により上部工の変位は拘束をうけ、沓または構造物に損傷を生じたり、上部工

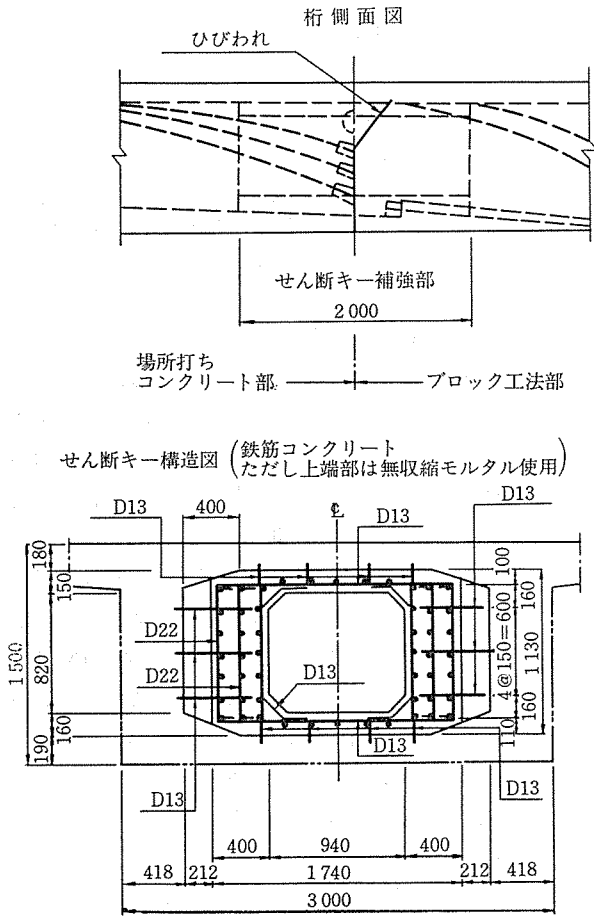


図-8 桁のせん断キー補強

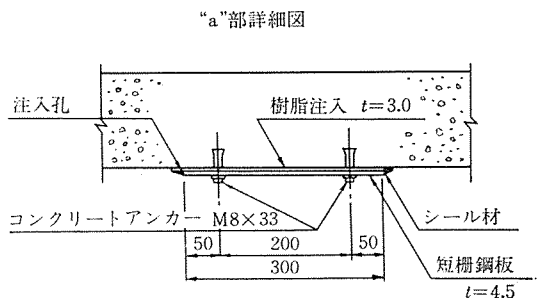
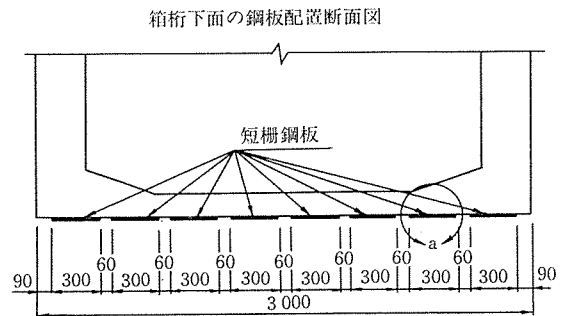
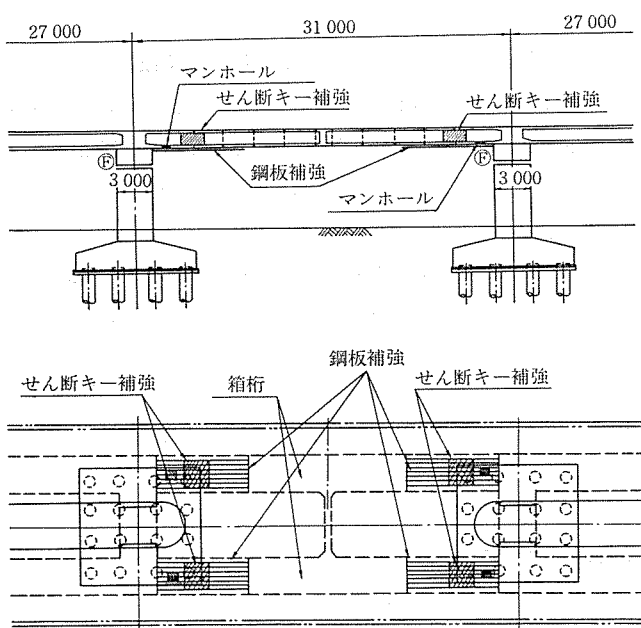


図-9 PC 箱桁の補修

に複雑な変位挙動を生じる。

③ 温度変化の不動点の位置は、上部工の平面形状、寸法、上部工を支える構造物の剛度（橋脚躯体剛度、基礎の水平および回転剛度、沓の変位に対する剛性等の合成値）に関係する。

④ 温度変化等の不動点の左右両側の上部工に作用する水平力は、常に釣り合っていないなければならない。

この区間では、左右の隣接構造としてゲルバー付き5径間連続RC桁（120.9m）、もう一方の側はゲルバー付き2径間連続RC桁（47.0m）で、その間に本橋のスパン22mのゲルバー付きRC箱桁がある構造形式であり、過去3年間の桁変位と温度との関係の測定および解析検討結果から、隣接の5径間連続RC桁の不動点である固定橋脚とは一致していないことが判明されたものである。

これは主としてゲルバー付きRC箱桁の可動端ゴム沓の水平変位の拘束力の介在により、沓の変状および機能を損なっていると考えられた。このため、この可動端の相対変位増加によるせん断力の増加を防ぐため、現在のゴム沓をテフロン滑り層を設けたゴム沓に置き換えて補修することにした。この方法により隣接の5径間連続RC桁（4m+4 @ 24m+20.9m=120.9m）の中央に位置する固定橋脚の温度中心を不動点に近づけるとともに、同橋脚に加増されている曲げモーメントをも減少させることが目的である。

補修は端部のゲルバー部を取り壊し、復旧する際に支承高を既設高より10mm増分した30mmに変更する。なお支承はテフロン滑り支承に変更する。この支承は、

テフロン板とフレシパッドを組み合わせたもので、常時の上部工の温度変化をテフロン板の滑り面でとらせ、回転はフレシパッドでとらせる構造である（図-10）。

取壊し部分の新旧コンクリート部は、温度ひびわれや乾燥収縮ひびわれを防止あるいは制御するためにRC構

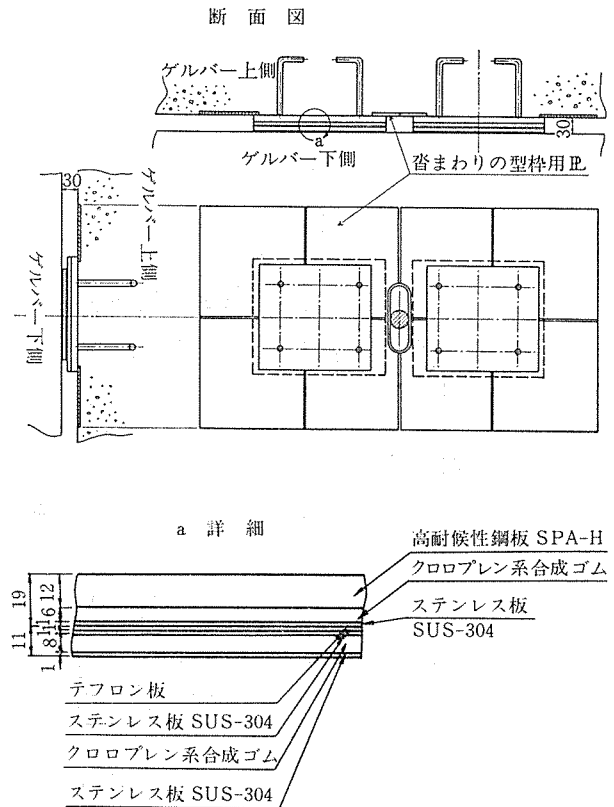


図-10 ゲルバー部補修用支承

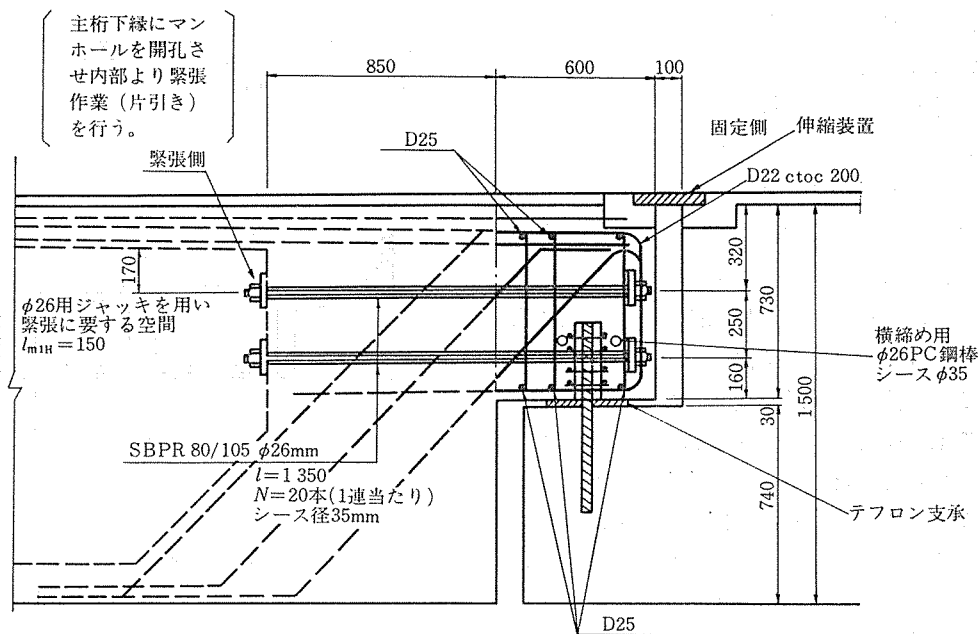


図-11 ゲルバー補修構造略図

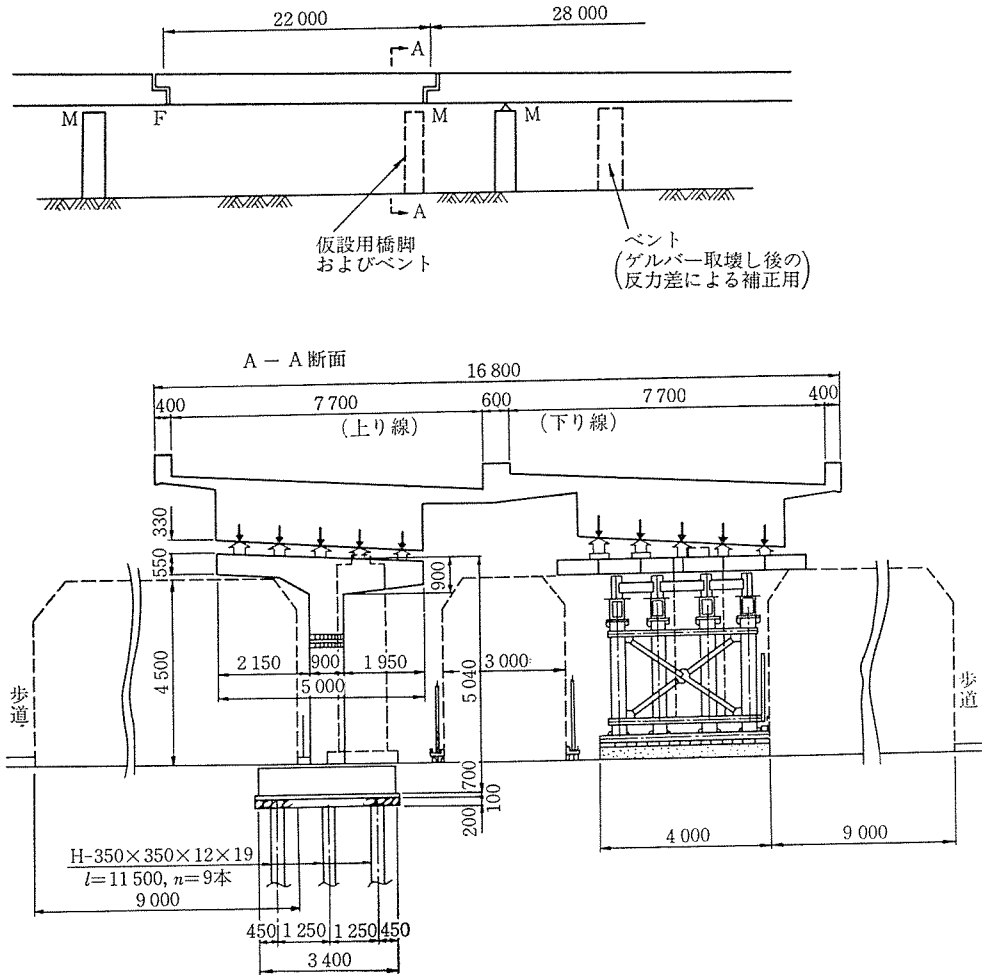


図-12 ゲルバー補修用仮設例

造のほかに PC 鋼棒を設置し、プレストレスを導入し補修した。また作業空間が限定されるゲルバーヒンジ部の補修工事において、万一既設の斜め引張鉄筋の機能を現況復旧できない場合に対する 2 重の安全機構のためにもプレストレスを導入した (図-11)。

図-12 に示すように、ゲルバー補修は補修する範囲は小さいが、それを取り壊すことによっては大掛りな仮設を設けなければならない。本橋の例では、上り線側には上部工の偏心量が大きいことや、街路幅員および建築限界確保のために、フーチング+H鋼抗の基礎の上に仮設橋脚を、下り線側にはベント工法による仮設材を設け施工時の上部工を支持する仮設構造とした。なおこれら仮設材には上部工の反力をスムーズに伝達させるためのジャッキアップ装置をも含んでいる。そのほかゲルバーを仮設支柱で受けることにより、隣接の上部工には反力移行の影響もあるため、ジャッキアップ装置の支柱が必要となるなど様々な検討と設備を要する。

### 3.4 PC 箱桁の短冊鋼板接着による補修

本例は昭和 38 年に供用された橋長 82.7 m、幅員 8.3

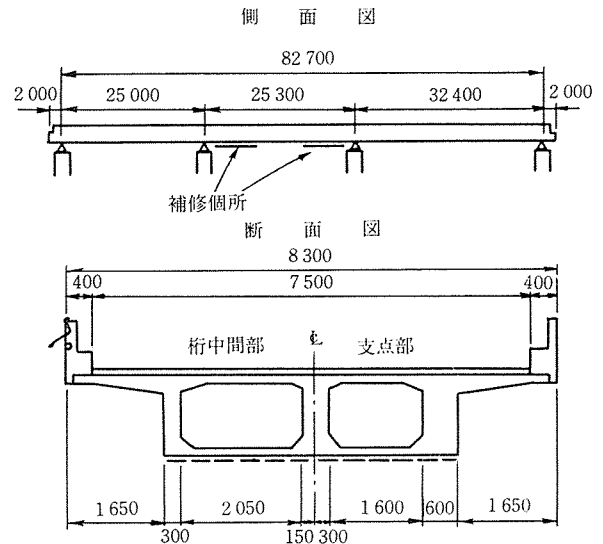


図-13 ゲルバー付き 3 径間連続桁の形状

m のゲルバー付き 3 径間連続 PC 箱桁であり (図-13)、中央径間のインフレクションポイント付近に 0.3~0.5 mm 幅のひびわれが発生し補修した例である。

ひびわれの原因は次に示す幾つかの要素が重なって生

じたものと考えられる。

ひびわれ個所はインフレクションポイント付近であり通行車両の大型化や増大のために著しく繰返し応力をうけていること、PC ケーブルを主桁途中で定着しておりプレストレス量の変化の大きい個所であること、定着部の断面欠損が考えられることからひびわれ発生の起こりやすい部分であること、またプレストレス量の不足、ケーブル配置の誤差の影響、グラウトや定着部の施工不良の影響、夏と冬などの温度差の影響を顕著にうけていることなど、設計・施工および外的要因が重なったものと考えられる。

補修は、鉄筋や PC 鋼線の劣化を防止するためにひびわれ部にエポキシ樹脂を注入し、さらに活荷重の応力に対して耐荷力を増すために、ひびわれ部分を中心にして、厚さ 6 mm、幅 350 mm の短冊鋼板 (SS 41) をエポキシ樹脂注入により接着し、鋼板とコンクリートを一体化させ作用力に対処させる方法をとったものである。

補修詳細図は 図-9 の a 部詳細図とほぼ同様である。

#### 4. ま と め

補修の最大目標はその構造物を現行に見合った耐荷力にいかにか近づけるかにある。そのためには補修効果が確実な方法を選定し補修設計をしなければ意味がない。

補修設計では、第 1 に、補強用の部材等の追加によっても当初の構造系をベースとした応力の分配や伝達がスムーズに行われ、かつ強度上満足されているかである。

第 2 には補修工事を実施する際の作業空間などの制約条件、作業時間帯、部材の小割り程度、資器材搬入などの諸条件について施工の容易さを配慮した補修設計とな

っているかである。

第 3 には補修することのみの検討は十分であっても、補修工事を行う過程において当初の構造系が異なったり、ある部材に局所的な応力集中を生じさせる、あるいは補修する工事過程の中で損傷していない部材をはつるなど、補修することにより本体が痛められていないかである。

そのほか、経済的な補修方法が望ましいこと。また補修を行うことにより形状が複雑で見苦しく、補修個所が目立ち心理的に不安感を与えないなど、補修後の美観に配慮することも大切である。更には補修工事を実施する請負者は、補修する設計内容を十分熟知しており、補修施工の順序、補修施工の緻密さと慎重さ、高度の補修施工技術と構造物に対する観察力が要求される。

補修の施工技術の悪さは、かえって構造物を痛めることになるからである。

構造物の補修は従来いろいろの形で実施されてきている。しかしこれら補修は類似のものはあるが、どれ一つとっても同じ損傷状態ではない。補修工法についても、構造物の形状による物理的な補修条件や損傷の規模、更には補修する構造物の環境上の制約条件の差、力学上の問題点、使用材料や施工法などその形態は実に様々である。これら構造物の補修後の効果、確実さが十分であったか否か長期にわたった効果という点では、補修後の経過年数が短いことや、経年に対する補修効果の持続性について十分な追跡調査や解明がなされておらず、今後の補修技術の大きな課題である。

【昭和 59 年 5 月 21 日受付】

#### ◀ 刊行物案内 ▶

## PC くい基礎の最近の進歩

—PC ぐいの正しい使い方—

体 裁：A 4 判 246 ページ

定 価：2 000 円 (会員特価 1 800 円) 送 料：800 円

内 容：1) PC くい、2) PC くい基礎の設計、3) PC ぐいの施工、4) 超高強度コンクリートくい、超大径くい

お申込みは代金を添え、(社)プレストレストコンクリート技術協会へ