

被火災 PC 桁の検査および補修 (その2)

田 村 章 一*

3. 応力度の計算

被災桁では、その構成部材にコンクリートの剝落による断面の欠損があり、また、高温加熱の影響による PC 鋼材の状態の変化も考えられる。これらの変状が曲げ部材に及ぼす影響を考慮し、二、三の仮定を設けて応力度の計算を行い、耐荷力を検討した。計算に当って、断面欠損部の所在位置その範囲および元の設計計算の検討結果、等を併せ考えスパン中央断面における曲げ応力度に対する計算を行うことにした。

a. 部材の断面欠損を考えた曲げ応力度の計算

状態-I : 桁の下スラブ下面コンクリートが健全な状態におけるスラブ下面位置より 5 cm の深さまで無力化しているとして断面諸係数を求め応力度の計算をする。

状態-II : 上記の条件に加えて、下スラブの突出フランジの部分も無効であると考え、断面諸係数を求めて応力度の計算をする。

b. a の条件に加えてプレストレスの減少も考慮した場合の曲げ応力度の計算

高温加熱に起因する PC 鋼材のレラクセーションの増加については、別途、検討してあるが、ここではプレストレスの減少として 5% および 10% を考え、欠損断面について桁上・下縁の応力度を求める。計算では健全な断面および欠損断面の状態-I・II に対して、設計荷重である KS-16 および最大入線機の KS 相当値 KS-12 について、プレストレスの減少なしとした場合、5% および 10% 減の場合、などにおける応力度を求め、なお、活荷重無載荷の場合における応力度も求めて計算結果を表-6 (前号掲載) にまとめている。表中、KS-16 の載荷状態でプレストレス 10% 減の場合における桁下縁応力度 (状態-I : 11.3 kg/cm^2 ・状態-II : 9.6 kg/cm^2) および 5% 減の場合の下縁応力度 (状態-I : 1.9 kg/cm^2) は計算上、引張応力を示し、桁上縁側の圧縮応力度は、いずれの場合も部材圧縮部に許される許容値内にある。なお、活荷重無載荷の場合の桁下縁には $75 \sim 90 \text{ kg/cm}^2$ 程度の圧縮応力が残存することになる。

4. 総 括

4.1 被災部コンクリートに対する試験について

被災桁のコンクリートの被害状況および被害程度を調べる目的で、シュミットハンマーおよび超音波試験機を用いて検査を行ったが、その精度および誤差、測点位置の選択の制約、対象コンクリート面の不整状態などを考え、反撥硬度あるいはパルス速度を直接にコンクリートの強度に結び付けることなく、健全桁に対する検査を並行させて被災桁との対比を行った。

超音波試験では被災桁の下スラブ突縁部分における測定結果の図から、この部分に対する火熱のかかり方の強弱を知ることができ、また、これを同時に実施した健全桁における測定結果と対比してみると、被災桁突縁各部におけるコンクリートのおよその強度レベルが見当づけられる。シュミットハンマーは測点の選択が任意で、平面的に広がりをもつ測定結果が得られ、被害の範囲をつかむのに有効であった。

非破壊検査の不足を補うため、被災桁からコアを採取し、コンクリートの強度を試験した。コアは直接に火熱を受けた部分から 4 個、火災中心から離れた個所で 3 個採取したが、試験結果には火熱の影響の強弱による差異は現われず、コアにあったひびわれや載荷の仕方の不備が影響して試験値に差を生じている。圧縮破壊させる直前に測定したパルス速度は、コア No. 1 (ひびわれ有) を除けばいずれも 4100 台前後で、ほぼ一様な値を示している。このような試験の結果、コンクリートの圧縮強度としては、被害の大きい個所でも $450 \sim 500 \text{ kg/cm}^2$ 程度の強度は期待できると判断した。コア上端面のひびわれについては、その発生位置および圧漬後の観察から施工時に生じたひびわれと判断した。

コンクリートの中酸化試験では表層部のコンクリートでも顕著な中性化の現象は見られなかったが、今後なお実態を把握してゆく必要があると考える。

4.2 PC 鋼材に対する火災温度の影響について

PC 鋼線に直接に影響を与えた加熱の程度が不明であるため、桁内のケーブルにおけるかぶりの実態を調べ、被災部分から取出したシース片に対し金属材料試験をす

* 国鉄構造物設計事務所

るなどして、加熱温度を 200°C 以下と推定した。PC 鋼線の高温時の強度および高温加熱後徐冷された場合の残留強度については、加熱が 200°C 程度である場合、高温加熱中わずかに強度低下を示すが、冷却後の強度は変わらないとされている。レラクセーションについては加熱温度：200°C 以下、高温加熱をうける時点の PC 鋼材応力度：0.47 σ_B と仮定し、各種の試験例を参考にして、それぞれの条件のもとで考えられるレラクセーション値を求めてみた。鋼材メーカーによる一試験例からは、加熱温度 200°C、初応力 0.47 σ_B の場合の 10 時間レラクセーションとして約 4% が得られ、また、高温高圧養生 PC ぐいの製造工程を考慮して試験した裸の PC 鋼線による試験では 11% が得られ、同じく実物大のぐいを供試体として行った試験では 6~7% が求められる。既往の試験例から得られる数値がかなりの幅をもち、試験時の条件も様々であるため、ある程度まで被災桁の条件を入れて実施したレラクセーション試験では、高温加熱 200°C、初応力 0.5 σ_B に対して 5.8% が測定された。以上のデータだけからレラクセーション損失を一概に決めかねるが、桁内最下段ケーブル位置においてもその値は 10% 以下ではないかと推測した。

4.3 応力測定およびたわみ測定について

被災桁の曲げ応力の測定では、健全桁との比較において、測定値あるいは中立軸の位置にわずかの差が見られるが実測値は計算値に比し小である。例えば、DF 50 載荷時の実測値を、これに対する計算値と比較してみると、実測値が約 1/2 であり、キハ型式の列車載荷時の状態は DF 50 の実測値のさらに 1/2 程度の値となる。

たわみの実測値は、被災桁の方が健全桁より 10% 程度大きい、しかし、その測定値の差は DF 50 載荷の場合でも約 1 mm である。また、たわみの実測値と計算値との比較には十分なゆとりがみられる。

桁の変形については、一見して判別できるような外観上の状態の変化はなく、静荷重状態における反りの測定を時を別にして 2 回実施したが、被災後約 40 時間経過時のものと、48 日経過後の測定値の間に特に差異は認められなかった。また、健全桁との比較においても有意な差はなかった。

4.4 応力度の計算について

被災直後、桁の耐荷力検討のため曲げ応力度の計算を行ったが、この時点では未だ被害状態を十分に把握できず不明な点があったため、桁の断面欠損の状態に仮定を設けて一通りの検討を行い、なおレラクセーション損失の値を見当づけてから、この条件を入れて各種載荷状態に対する計算を行った。プレストレスの減少として 5% および 10% を考えてあるが、1 主桁におけるケーブル

配置はかぶりの少ない位置で 3 段で、スラブ下面からそれぞれのケーブル心までの寸法およびケーブル数は、7 cm (12ケーブル)、13.5 cm (10ケーブル)、20 cm (2ケーブル) であり、したがって、熱影響を大きくうけるケーブルは最下段の 12 ケーブルに限られる。この点を考えると表一6 の計算結果には、なお余裕が残ることになる。

以上を総合して一応つぎのように結論づけた。

被災桁に異状変形は残存してない。列車荷重載荷時における桁の挙動および耐荷力に特別な変状は現われない。試験の結果、コンクリートおよび PC 鋼材の強度は、本桁に対する所要の強度を満足する。スラブ下面のコンクリートの剝落については、PC ケーブルを十分に保護し得るように補修することが可能である。したがって、被災桁は、高熱をうけた欠陥部分のコンクリートをはつり落とし、本体との間に適切なつなぎとなる材料をいれて、表面近くに位置する PC ケーブルの保護を主目的とした被覆工を施せば、PC 桁として本来の使用に十分耐えるものとする。なお、火災に覆われた躯体全面に対しては適切な保護工を施工することとする。

5. 被災桁の補修

補修工法としては、前述した被災部補修の主旨に基づき、損傷のある桁の下面に、つなぎ筋およびエポキシ樹脂接着材を用いて鋼板を取付け、耐荷力の補強を図るとともに、桁の他の被災部も、火災をうけた表層部分は十分に目荒しを施した上で樹脂ライナーを塗布し、耐久的な状態に仕上げる方法をとることとした(図一24)。

a. 下地処理工および補強鋼板の取付け

被災部の劣化したコンクリートは、はつり機具を用いて一様に平滑になるようにはつりをかけ、特に下スラブ突出部のコンクリート劣化部分については、確実な強度の得られるところまではつり落して下地を仕上げた(写真一6)。接着下地のできた下スラブコンクリート面には、設計図に従ってアンカーボルト孔を穿孔し、板固定用ボルトをアンカーした。

補強鋼板は、工場において設計図に示す寸法に切断し、アンカーボルト孔および注入パイプ取付け孔を穿孔した後、サンドブラスト処理を行い防錆塗装を施して仕上げたものである。鋼板の取付けは桁全体の形状を考えた上で、もとの下スラブ下面に鋼板下面を合せるようにしてボルトで固定し、つぎに接合面にエポキシ樹脂を塗ったスプライス板をボルトで圧着固定した(写真一8)。鋼板取付け後、その周辺をエポキシ系シール材でふさぎ、同時に注入パイプ、空気抜きパイプの取付けをした。下突縁の欠陥部はこの部分の鉄筋をはつり出し、これにつ

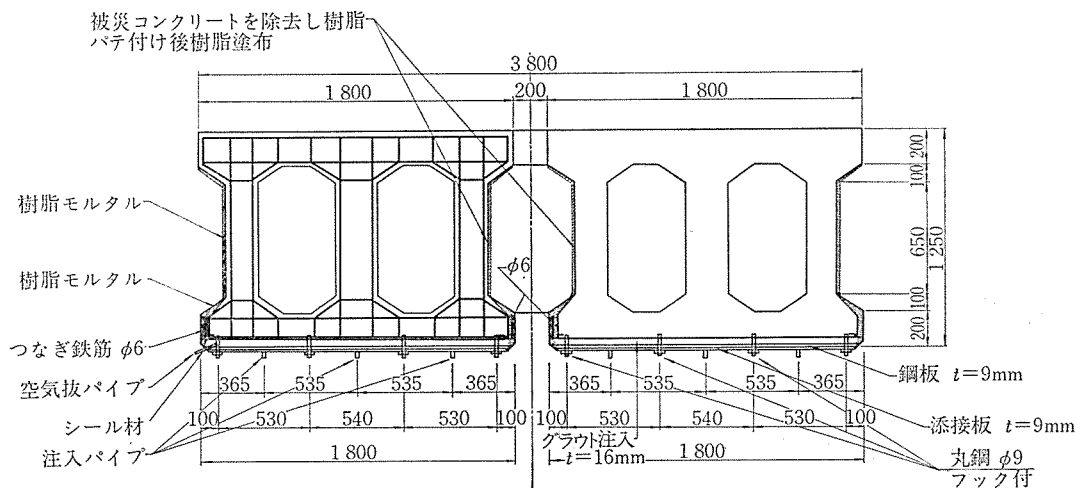


図-24 鋼板接合による被災桁の補修

なぎ筋を取付け 写真-7 のように配筋した上で樹脂モルタルを打設して断面を復旧した。

b. 注入工および樹脂塗布

注入準備のできた桁下面コンクリートと補強鋼板の間隙に液状のエポキシ系グラウト材を注入する。注入には足踏み式のポンプを用い、鋼板各部に設けた注入パイプより順次片押しに加圧注入を行い、隣接するパイプから注入材の流出するのを確かめながら作業を進めた。注入をおえたパイプには密栓を施し、樹脂漏れのないようにする。外側ウェブ、桁間ウェブおよび火災中心から離れ

た位置における比較的軽度の損傷部分に対しては、パテ用エポキシ樹脂および樹脂塗料を用いた。エポキシ樹脂塗装の施工に当っては塗装面の素地をサンダー、ワイヤーブラシなどを用いて目荒しをし、よく清掃した上で塗布を実施した(写真-10, 11)。

c. 補修後の測定

補修後の桁の状態を確かめる目的で、補修工事終了後、列車荷重載荷時の応力およびたわみの測定を実施し、補修前の状態との比較を行った。

応力測定の結果を、載荷状態別に DF 50 とキハ型式

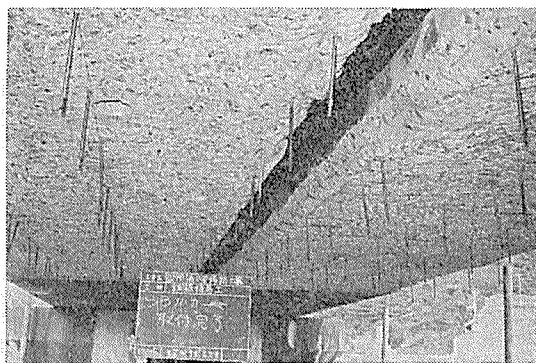


写真-6

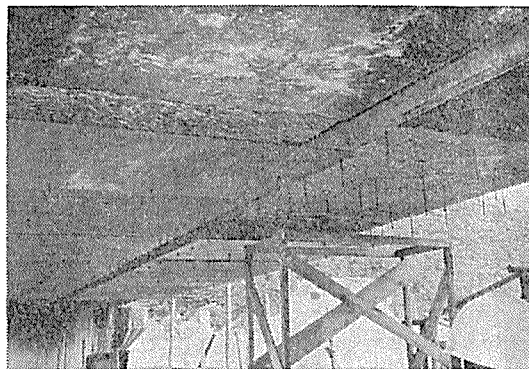


写真-8

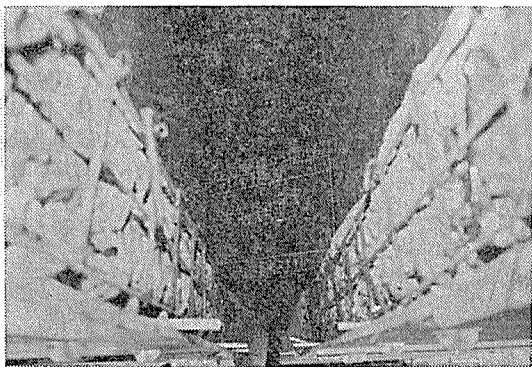


写真-7

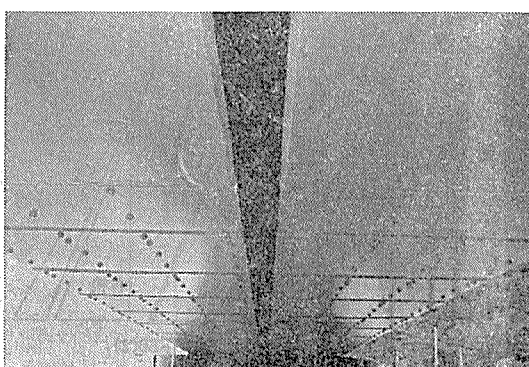
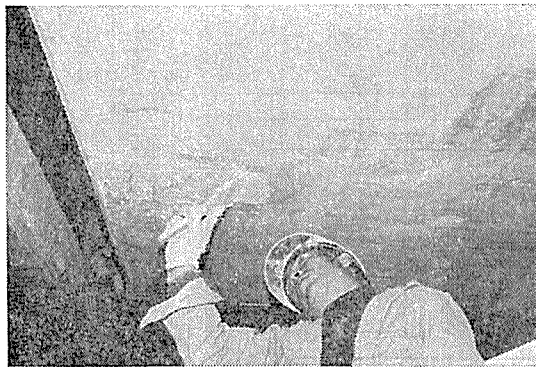
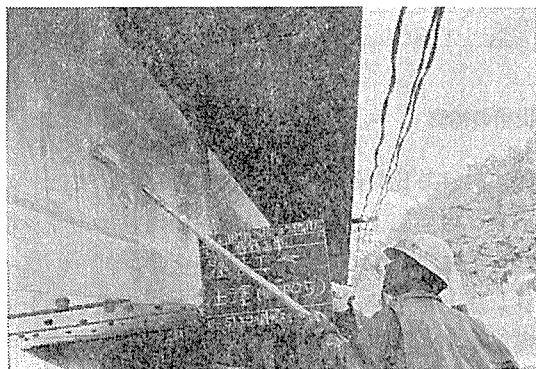


写真-9



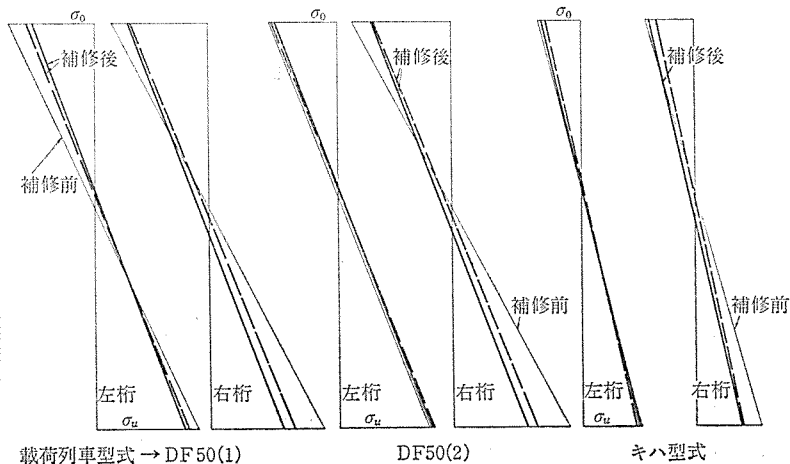
写真—10



写真—11

のものに分けて 図—25 に示す。図から DF 50 載荷の場合の傾向としては、左側の桁（被害大なる方）では上、下縁応力度の値が補修前と同程度か、またはわずかに小さく、中立軸は多少上方にあがり、右側の桁では、上、下縁応力度ともに数 kg/cm^2 の減少を示し、中立軸は下方に移行する。キハ型式の列車載荷の場合は、左側の桁では殆ど差異がみられず、中立軸の位置もほぼ同じであるのに対して、右側の桁では下縁応力度に多少の減少があり、中立軸は下降している。

同時に測定を行った健全桁との比較をすると、DF 50 載荷の場合、左右の桁とも健全桁の応力度と同等か、ま



図—25 補修前後の応力の状態

たは健全桁よりわずかに小さく、キハ型式の列車載荷の場合の応力状態には、両者の間に差がない。

たわみの測定結果は、左右の桁とも減少し、健全桁と殆ど同じ値である。

以上のことから、鋼板接合による補修工法によって、PCケーブルおよび部材の保護を目的とした被災部の被覆が行われ、同時に被災部の曲げ剛性が増強されて所期の補修の目的を達することができた。なお、補修後2年余を経過したが、現状において構造上の変状は現われていない。

あ と が き

被災した桁の外面に現われた被害は、下スラブ下面における表面層コンクリートの広範囲にわたる剝落であり、コンクリートの品質の劣化であった。しかし、現場においては、被災直後、応急に状況の検討を行い運転を再開している。これまで本文で述べてきた検査および測定は、この現状から出発した。被災桁の現位置における補修、再使用を考えた場合、被害の実態について、より多くを確かめ、早急にこれを健全度の判定に役立てる必要がある。この目的のために、被災直後から引続き多くの測定および試験などを実施し、結果として総括に述べたような結論を得た。ここに本文を報告するに当たり、現場で直接に測定にたずさわった関係者の方々、試験指導、材料試験などして戴いた技・研、構造物研究室、金属材料研究室の方々、また、資料を提供して戴いた神鋼鋼線 K.K.、住友電工 K.K.、日本コンクリート K.K. の関係者の方々に対して、改めて厚く謝意を申し述べる次第です。

参 考 文 献

- 1) 仁杉・河野・菅原：PC桁の耐火性の研究，土木学会誌，44-9，昭 34-9
- 2) 大石：コンクリート造鉄道建造物に現われる欠陥と、その補強方法に関する研究，鉄道技術研究報告，No. 168，Nov. 1960
- 3) 日本建築センター基礎評定委員会：高温におけるPC鋼棒および鋼線のレラクセーションに関する試験報告書，ビルディングレター，71-28
- 4) 鳥居，稲葉：高温度におけるPC鋼材の機械的性質，住友電気，第 74 号，昭 35-9
- 5) 富岡，倉内：PC鋼線の応力緩和挙動に関する二、三の考察，材料，第 22 巻 第 232 号，昭 48-1

1978. 2. 20・受付