

## 火害を受けた高架橋の補修工事

広島支店 藤岡 靖  
広島支店 土井政治  
広島支店 石田邦洋

概要：火害を受けた高架橋は、5径間のポストテンション方式PC連続中空床版橋であり、供用前にP2橋脚付近で火災が発生し、火災元近傍のP2橋脚や上部工に、広範囲にわたりコンクリートの剥落やひび割れが生じた。

本報告は、上部工、下部工及び支承の現地調査、載荷試験、補修設計及びその施工について報告するものである。

キーワード：火災、支承取り替え、補修、断面修復、表面保護

### 1. はじめに

平成13年11月、ある高架橋下で仮置きされていたダイポリンプレスト管(1800×5m×3本)が延焼し、橋梁の一部が被害を受けた。特に、火災元近傍のP2橋脚や、その直上の上部工下面には、広範囲にわたるコンクリートの剥落やひび割れ、鉄筋の露出などの損傷が生じており、被害が耐荷力や耐久性に及んでいる可能性も考えられた。

本報告は、損傷状況調査、材料試験、試験車による載荷試験、損傷に対する補修設計及びその施工について述べる。

### 2. 高架橋の概要及び補修対象範囲

高架橋の概要は次のとおりである。

- ・橋 長：124.000m (74.400m + 49.600m)
- ・構造形式：上部工：PC3径間連続中空床版橋 + PC2径間連続中空床版橋  
下部工：2柱式橋脚
- ・スパン割：(24.420m + 24.800m + 24.420m) , (24.420m + 24.375m)
- ・幅 員：A1～P3 L側(北行き)車線, 9.500m  
A1～P3 R側(南行き)車線, 9.480m  
P3～A2 L側(北行き)車線, 9.500m  
P3～A2 R側(南行き)車線, 8.798m～12.250m

図-1に上部工の概要図を示す。火災元は、図に示すようにP2橋脚のP3側であり、本工事の補修対象範囲は、P1～P3径間のL及びR側両方である。また、火害後の状況写真を写真-1～2に示すが、写真に示すように火災後は全径間に渡り上部工の下面に煤がついている状態であった。



藤岡 靖  
土木工事  
第一部



土井 政治  
土木工事  
第一部



石田 邦洋  
土木工事  
第一部

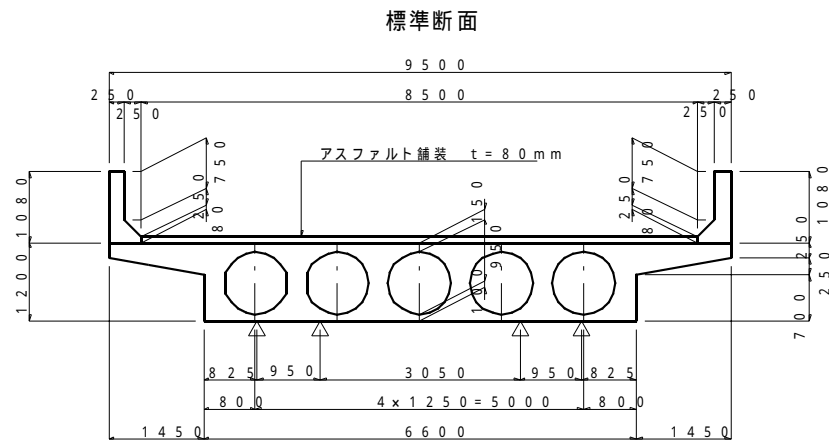
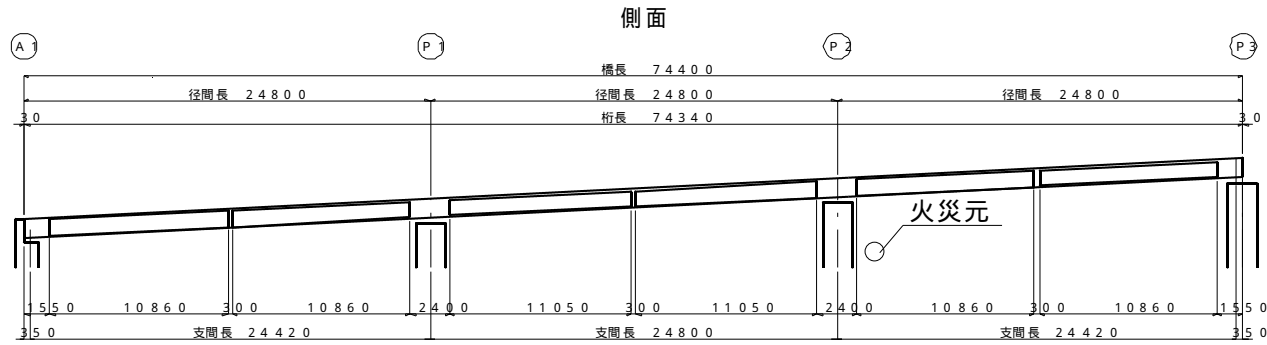


図 - 1 概要図



写真 - 1 火害後の状況  
(P2付近からP3方向を望む)



写真 - 2 火害後の状況  
(P2付近からP1方向を望む)

### 3. 現地調査

現地調査は、写真 - 1 ~ 2 に示す煤を洗浄した後、一次調査及び二次調査に分け、それぞれ、下記の項目について調査を行った。

#### (1) 一次調査

- ・ 外観損傷状況調査

#### (2) 二次調査

- ・ コア抜きによる圧縮強度、静弾性係数及び受熱温度測定
- ・ シュミットハンマーによる反発硬度測定
- ・ 鉄筋片による引張強度試験
- ・ フェノールフタレインによる中性化深さ測定

### 4. 一次調査結果

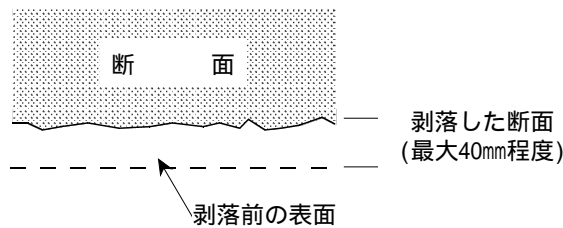
#### (1) 外観損傷調査結果

##### a) 上部工

両車線ともに、P2～P3とP1～P2の床版下面及び側面、張出し床版下面、高欄外面の一部に、コンクリートのひび割れ、浮き、剥落、鉄筋露出などの損傷が生じていた。各部の剥落の厚みは最大で40mm程度であるが、床版下縁の一部では、最大80mm程度の厚みで隅角部が欠け落ちていた。

図 - 2 に剥落状況概要、図 - 3 に外観損傷状況図、写真 - 3 に損傷状況、写真 - 4 に鉄筋の露出状況の写真を示す。

床版下面・側面，張出し下面，高欄外面



床版下縁隅角部

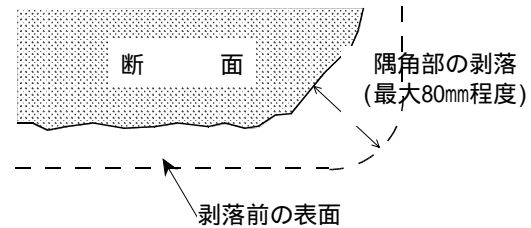


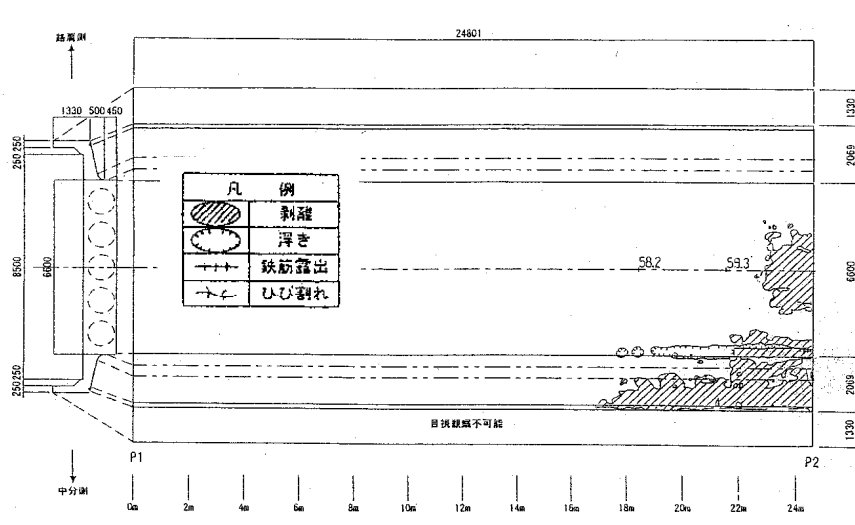
図 - 2 上部工の剥落状況



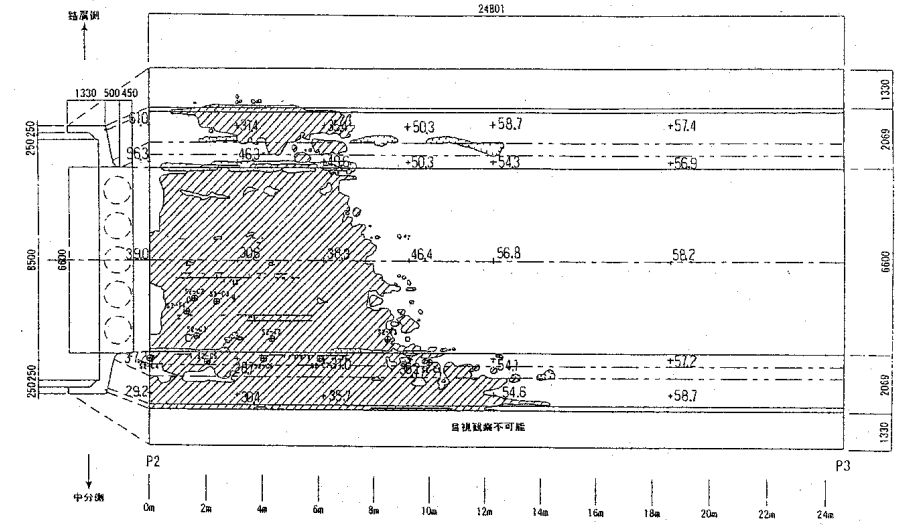
写真 - 3 損傷状況



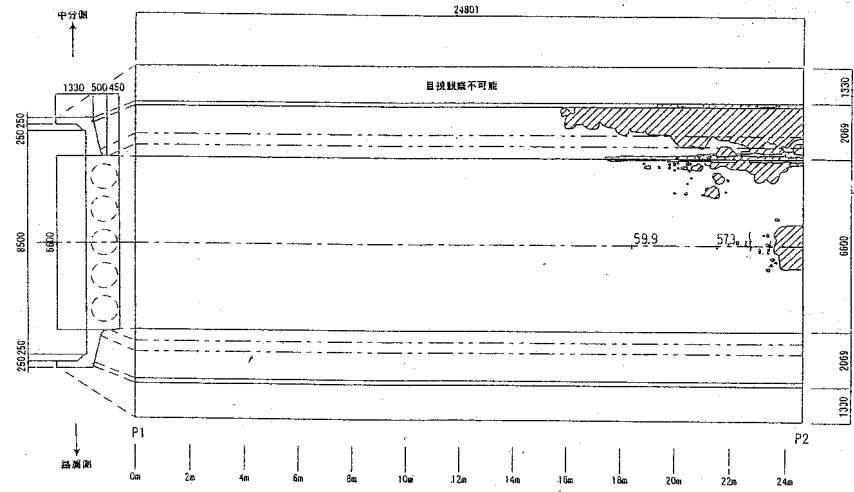
写真 - 4 鉄筋の露出状況



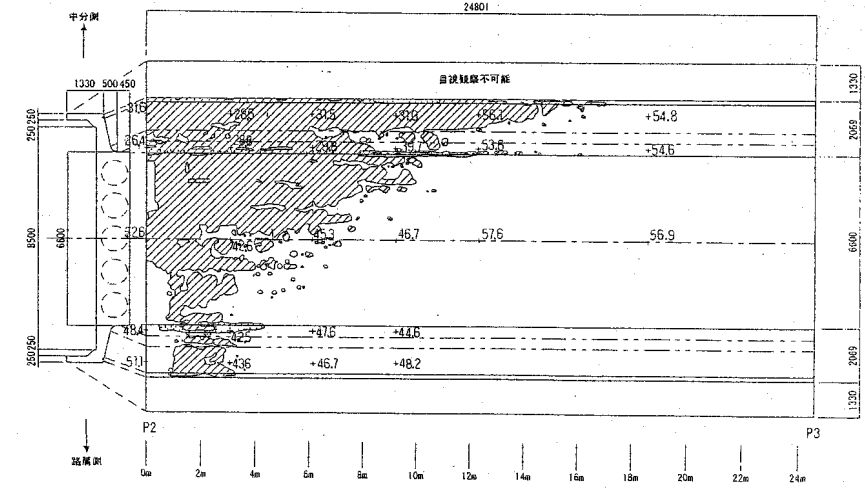
(a) P1 ~ P2径間L側 (北行き) 車線



(b) P2 ~ P3径間L側 (北行き) 車線



(c) P1 ~ P2径間R側 (南行き) 車線



(d) P2 ~ P3径間R側 (南行き) 車線

図 - 3 外観損傷図



b)下部工

両車線ともに、P2橋脚の各柱に、コンクリートのひび割れ、浮き、剥落が生じていた。これらの損傷は、火災元と対面していた北面の両隅角部と橋脚の天端付近が顕著で、浮きを叩き落とすと一部で最大80mm程度の深さの剥落となった。

図 - 4 に剥落状況概要、図 - 5 に外観損傷状況、写真 - 4 に損傷状況、写真 - 5 にその近接写真を示す。

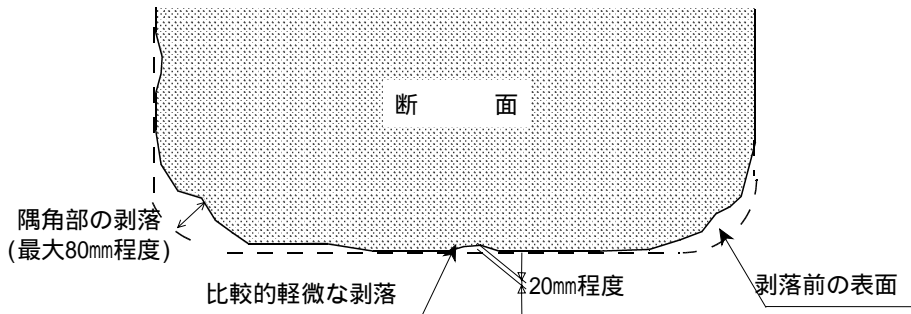


図 - 4 柱部の剥落状況



写真 - 4 損傷状況



写真 - 5 近接写真

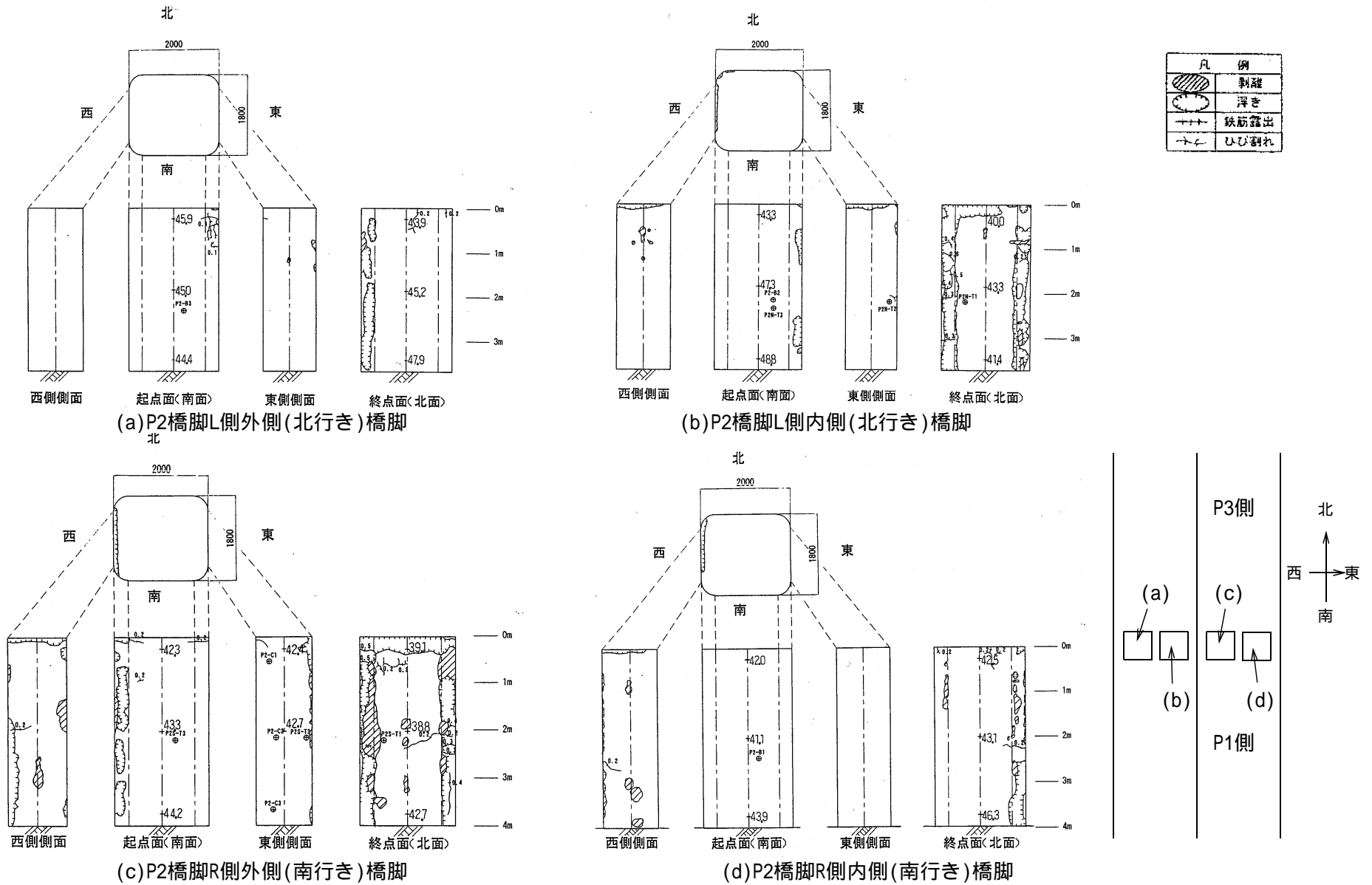


図 - 5 外観損傷状況

## c) 支承

両車線ともに、P2橋脚の支承はゴムの表面が燃焼して炭化していた。P3橋脚の支承は、外観上に顕著な変状は見られなかった。しかし、スプリング式ゴム硬度計により支承表面の硬度を測定したところ、高温にさらされた影響で支承の表面は健全な状態の硬度60度程度から約70度程度に硬化しており、劣化していることがわかった。図-6に各支承の損傷概要を示す。また写真-6にP2支承の損傷状況を、写真-7にP3支承の損傷状況を示す。

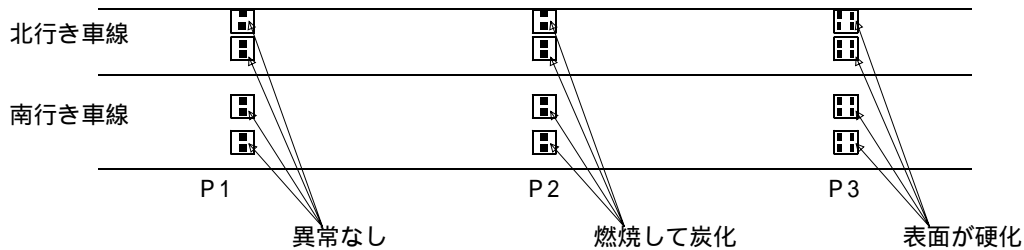


図-6 支承の損傷概要

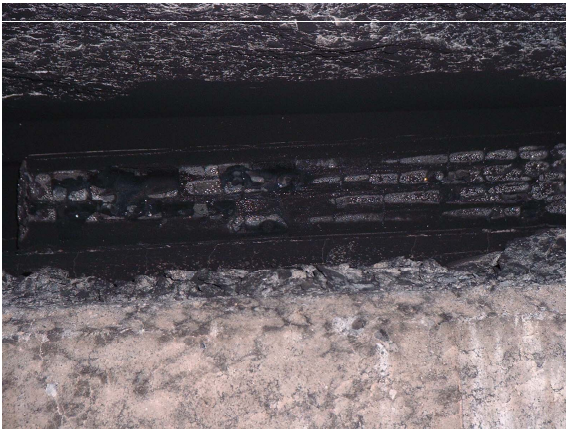


写真-6 損傷状況(P2支承)



写真-7 損傷状況(P3支承)

## (2) 二次調査

## a) コア抜きによる圧縮強度及び静弾性係数の測定結果

## ・ 上部工

圧縮強度を確認するために、コア抜きを健全部で3箇所、外観上損傷を受けている部分で8箇所行い供試体を採取した。表-1に、圧縮強度試験結果を示す。表に示すように、健全部と損傷部では、損傷部の圧縮強度は、8~9割程度となっているが、いずれも設計基準強度以上であるので、強度的には全く問題はないと考える。

表-1 圧縮強度試験結果

設計基準強度	供試体試験による圧縮強度		
	健全部の平均	損傷部	
		平均	最小値
34.3 N/mm <sup>2</sup> (350kgf/cm <sup>2</sup> )	50.2 N/mm <sup>2</sup>	44.0 N/mm <sup>2</sup>	40.9 N/mm <sup>2</sup>

静弾性係数は、健全部の平均値が25,500N/mm<sup>2</sup>、損傷部で最小値が20,300N/mm<sup>2</sup>となっており、低下していることがわかった。



## ・下部工

圧縮強度を確認するために、コア抜きを健全部で3箇所、外観上損傷を受けている部分で3箇所行い、供試体を採取した。表 - 2 に、圧縮強度試験結果を示す。表に示すように、いずれも設計基準強度を満足していることから、強度的には問題がないことがわかった。

表 - 2 圧縮強度試験結果

設計基準強度	供試体試験による圧縮強度		
	健全部の平均 (健全なP1橋脚の 結果)	損傷部 (損傷を受けたP2橋脚の結果)	
		平均	最小値
20.6 N/mm <sup>2</sup> (210kgf/cm <sup>2</sup> )	33.7 N/mm <sup>2</sup>	41.7 N/mm <sup>2</sup>	37.5 N/mm <sup>2</sup>

静弾性係数については、健全部の平均値が25,400N/mm<sup>2</sup>、損傷部の最小値が20,400N/mm<sup>2</sup>となっており、低下していることがわかった。

## b) シュミットハンマーによる反発硬度測定

シュミットハンマーにより、損傷範囲を特定するために、P1～P2径間及びP2～P3径間の床版や張り出し部について58点の表面反発硬度を測定した。

その結果、P1～P2径間及びP2～P3径間の外観損傷が見られない部分については、55以上の反発硬度を示していた。従って、当橋梁の場合は、健全であれば55以上の値を示すものと考えた。

これに対して、剥落の生じている箇所で測定した反発硬度は、いずれも45以下であり、最も小さな値は、28.5の値を示していた。反発硬度試験は、表面の状態がその結果に影響するので、一概には、結論付けることができないが、これらの結果を補修範囲決定の参考にすることとした。

## c) 受熱温度測定結果

一般に、RC構造の場合、断面温度が500 以内であったならば再使用に耐えられると言われている。PC構造については、PC鋼材位置の断面温度が300 になると2割程度のプレストレスが損失するといった実験結果等<sup>1)2)3)</sup>があることより、構造物の耐荷性能が低下していることが考えられるため、受熱温度の測定を行った。

表 - 3 には、各種文献を整理した温度の影響によるプレストレスの減少量を示す。

表 - 3 高温の影響によるプレストレスの減少量

ピーク温度	100	200	300	400	500
20 に対する比率	0.98	0.96	0.82	0.52	0.30

受熱温度の推定は、上部工では、コンクリート中の有機系化合物の量に着目する定量分析法 (KMnO<sub>4</sub>法) を用い、下部工では、混和剤の温度変質に着目するGBRC吉田法を用いた。GBRC吉田法は、近年比較的好く用いられる工法であるが、当橋梁の上部工では、この手法に適さない混和剤が使用されていたために、定量分析法 (KMnO<sub>4</sub>法) を用いた。

また、コア抜きを健全部で1箇所、外観損傷を受けている部分で3箇所行い供試体を採取した。

## ・上部工

外観損傷が顕著であったP2橋脚付近の受熱温度は表面から70mmの位置で約200 であり、PC鋼材が下縁近くにあるP2橋脚から8.55m離れた付近では、表面から70mmの位置で受熱温度は150 未満であることが推定された。なお、表 - 3 に示すように、PC鋼材の引張強度の温度による低下率は150 で3%程度である。



- ・下部工

推定受熱温度は最も表層付近（表面から15mm）の試料でも500 未満で、表面から45mmより深い箇所ではほとんどが200 未満と推定された。

d)鉄筋片による引張強度試験

引張強度試験は、すでに組み立て鉄筋が露出しているもの5本採取し行った。上部工や下部工に使用している鉄筋（SD295A）は降伏点強度で294N/mm<sup>2</sup>である。現地で採取した鉄筋の降伏点強度は、床版下面で採取した試料で354 N/mm<sup>2</sup>、床版の張出し水切り部は358 N/mm<sup>2</sup>、引張り強さは、517 N/mm<sup>2</sup>、528 N/mm<sup>2</sup>あり、強度的には問題ないことがわかった。

e)フェノールフタレインによる中性化深さ測定

- ・上部工

中性化深さ測定は、圧縮強度試験用及び受熱温度用の試料の採取後で行った。

外観損傷が生じておらず健全と思われる位置の中性化深さはP1～P2径間R側(南行き)で最大6mmであった。しかしながら、本橋梁は平成9年度に竣工しており、コンクリート標準示方書維持管理編（土木学会、2001年制定）に示される中性化の進行予測の理論式を用いた場合は、現在の中性化深さは1mm未満である。ここで、コンクリートは500 ～580 以上で中性化することから、外観損傷がない部分についても、6mm程度の深さまで500 以上受熱していたと考えることができる。

- ・下部工

上部工と同様に外観損傷が生じておらず健全と思われるP1橋脚の中性化深さは平均14mmであった。従って下部工についても表層付近は500 以上受熱していたと考えることができる。

## 5. 耐荷力照査

(1)上部工

受熱温度測定結果から、PC鋼材が上縁から下縁におりてくるP2橋脚+8.55mの断面で、表面からの深さが70mmの位置では、受熱温度は、150 未満であることが推定された。従って、検討は、受熱温度を150 と仮定した場合と、受熱温度を250 と仮定した場合の下記の2ケースについて検討を行った。

CASE-1：火災による断面欠損を下縁5cm、受熱温度を150 と仮定して、損傷した断面のプレストレス量を3%減少させたもの

CASE-2：火災による断面欠損を下縁5cm、受熱温度を250 と仮定して、損傷した断面のプレストレス量を11%減少させたもの

検討の結果、上部工は許容応力度内に収まっていることがわかった。

(2)下部工

圧縮強度は設計基準強度を満足していること、鉄筋については、下部工で採取していないが、上部工から採取した鉄筋の試験結果等から下部工の鉄筋についても強度的には問題がないと考え、設計値よりも低い値を示したコンクリートの静弾性係数に着目して検討を行った。

検討は、震度法による検討及び地震時保有水平耐力法による検討を行った。その結果、震度法による検討では、弾性係数の低下は影響せず、地震時保有水平耐力法では靱性が3～5%低下するが、保有水平耐力は満足する結果となった。

## 6. 実橋載荷試験

現地調査や採取試料による試験・分析及びそれらを基に行った設計照査の結果から、今回の火害による損傷が、耐荷力に影響を与えるものではないことが確認できた。しかしながら、現地において、上部工で採用した定量分析法でも、受熱温度を正確に推定することができないこと、PC鋼材は低い受熱によってもプレストレスが減少することから、上部工については、実橋で載荷試験を実施することとした。

下部工については、RC構造であり、コンクリートの静弾性係数以外は、設計値以上であったことから、耐荷性能の確認は必要がないと考え、載荷試験は行わないこととした。

### (1) 載荷方法

載荷試験は、総重量を約20トンに調整した大型ダンプトラック4台を試験車とし、P1～P2径間あるいはP2～P3径間の支間中央に載荷した。

写真 - 8 に載荷状況を示す。



写真 - 8 載荷状況

### (2) 試験結果

載荷試験の結果、各ケースで多少のばらつきはあるものの、各径間のたわみの実測値は、解析値の30～35%程度、ひずみは40～50%程度であり、いずれも解析値よりもかなり小さく、耐荷性能を十分に保持していることが確認された。

## 7. 補修設計

各調査・試験及び検討の結果から、コンクリート及び鉄筋ともに大きな強度低下は認められず、また、載荷試験でも耐荷性能に問題はないことが確認された。

よって、今回の火害復旧の対策工としては、損傷した脆弱部をはつり取り、断面補修工を行うこととした。以下に、補修の検討結果を示す。

### (1) 上・下部工

上・下部工ともに、損傷した脆弱部をはつり取り、断面を復旧する補修工を施す。上部工の剥落は、ほとんどが40mm以下であったが、床版下面の隅角部では最大80mm程度の箇所もあった。

断面修復は、剥落した面積が広範囲であることや、床版下面などは天井面への施工であること、P2～P3径間の下を横断する道路への剥落を将来にわたって未然に防ぐ必要があることを考えて、材料に付着力や変形への追従性に優れた補強繊維入りポリマーセメントモルタルを使用することとした。

更に既設コンクリートと補修材の付着切れが発生しても剥落しないように、図 - 7 に示すように補修材を埋設することとした。なお、脆弱部の除去及び断面調整のはつり工はコンクリートブレーカーを用いた手はつり法で、断面修復工は湿式吹付け工法で施工することとした。

また、P1～P3径間のコンクリートの剥落等がない部分については、コンクリート表面には、微細なひび割れが生じているので、中性化の進行を防止するために表面保護工を施工することとした。図 - 7 に断面修復の概要図を示す。

なお、断面修復工は、P1～P3径間のコンクリートが剥落等している部分に、表面保護工は、P1～P2径間及びP2～P3径間の床版及び張出し床版の下面、高欄外面の全面について実施することとした。

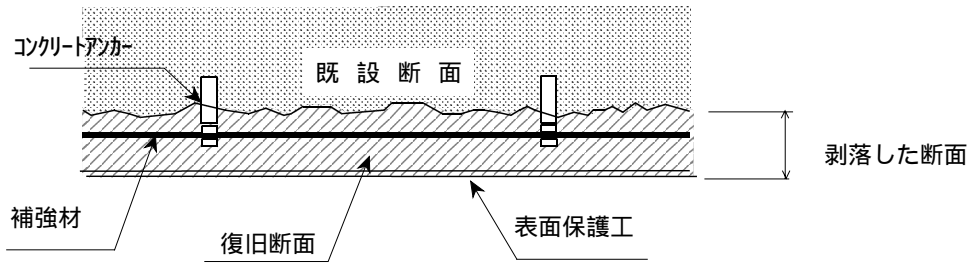


図 - 7 断面修復工

## (2) 支承

P2橋脚の支承は、損傷が顕著であったため、全数を取り替えることとした。P2橋脚の支承の交換は図 - 8 に示すように比較的容易に実施できることから、単純に上部工をジャッキアップして交換することとした。

P3橋脚の支承については、図 - 9 に表すようにアンカーバーが支承の中央を貫通するように設置されているため交換は容易ではない。また劣化が表面付近だけである可能性も考えられるため、まず撤去したP2橋脚の支承で内部状況を確認し、その結果からP3橋脚の劣化状況を推察して交換するか否かを定めることとした。

なお、P3橋脚の支承を交換する場合は、既設のアンカーバーを残したままで横からコア抜きを行う等により、既設の支承を撤去し、新たに分割した支承を新設する方法で交換することとする。

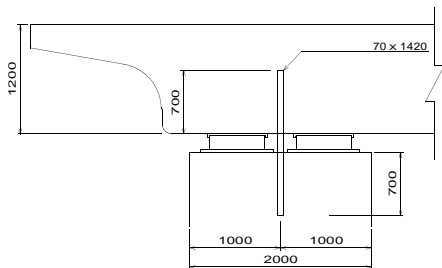


図 - 8 P2橋脚の支承

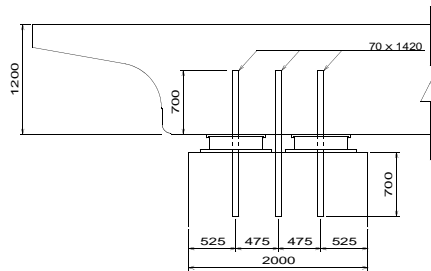


図 - 9 P3橋脚の支承

## 8. 補修工事

### 8.1 概要

補修工事は、まずP2橋脚の支承取り替えを行い、その後上部工及び下部工の補修を行った。それぞれの施工順序を図 - 10 及び 11 に示す。

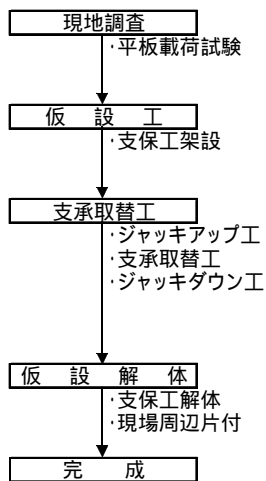


図 - 10 P2橋脚支承の施工順序

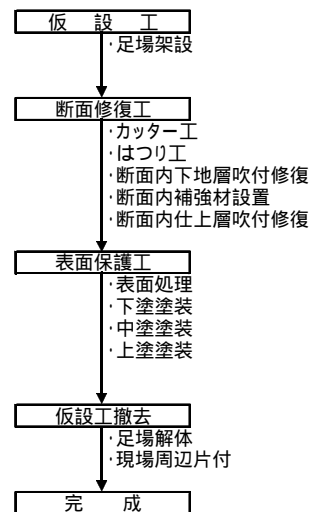


図 - 11 上部工及び下部工の施工順序

## 8.2 支承の取り替え及び支承試験

P2橋脚の支承の取り替えにあたっては、事前に平板載荷試験を行い、地盤の耐力を確認したうえで、支承取り替えのための支保工架設を行った。また事前に上部工が支承から離れる荷重とジャッキアップ時に上部工が損傷しない変位等を計算した。

写真-9には支保工の写真を示す。使用するジャッキは、1500kNのジャッキを1橋脚に2基ずつ、合計4基でジャッキアップを行うこととし、それぞれ同時に100kNずつ荷重をあげ、4カ所に取り付けた変位計でジャッキアップ量を確認しながら、上部工にねじれ等が発生しないように行った。写真-10には損傷した支承を抜き取り、新たな支承を設置している状況を示す。



写真 - 9 支保工設置状況



写真 - 10 支承取り替え状況

次に、撤去したP2橋脚の支承について各種の試験を行い、損傷状況を把握することとした。この試験は、取り替えが容易でなく、火害により硬化しているP3橋脚の支承を取り替えるか否かの判断に用いることを目的としている。試験に用いる供試体は、硬度がP3橋脚の支承の硬度70度と同程度になるものを抽出した。採取した供試体について、

- ・ ゴムと鋼板の剥離接着強度
- ・ 引張強さ、引張伸び
- ・ 静的せん断弾性率

の試験を行い、得られた試験結果のうち、最も厳しい条件となる値で、P3橋脚の支承の設計を行った。この設計により、支承の照査項目は許容値を満足したことから、P3橋脚の支承は火害を受けているものの使用可能であると判断し、P3橋脚の支承は取り替えないこととした。

## 8.3 上部工及び下部工の補修

上部工及び下部工の補修方法については、基本的に同じであるため、ここでは上部工の補修について説明する。

### (1)仮設工

現場周辺に住宅等があることから、はつり工を行うための足場を設置後、騒音対策として、断面修復部外面に防音シートを設置した。防音シートの設置により作業場内が暗くなることや、はつり工により粉塵が発生することから、作業場内には照明設備や換気設備を設置した。

### (2)断面修復工

はつり工を行う前に、はつり取り部と健全部の境界にカッターを入れ縁切りを行った。補修検討時には、はつり工として、手はつりが騒音が少ないと考えられたが、機械はつりでも騒音は同程度であったことから、実際の作業は、機械はつりと手はつりを併用し、機械作業が可能な範囲は機械はつりを用いた。

確実に脆弱部のはつり取りを行っていることを確認するために、フェノールフタレイン溶液を塗布し、はつり取り後の上部工コンクリートが中性化していないことを全面確認した。さらに、はつり取り面を高圧洗浄し、浮き石や埃を撤去した。

断面修復材は、補強繊維入りポリマーセメントモルタル(SARA20)を用いたが、補修厚さが平均40



mmであるので、20mmと20mmの2層に分けて吹き付けを行うこととした。1層目の吹き付けが終了し硬化した後に、補強材（トウグリッドFTG-CR4）を4本/m<sup>2</sup>のアンカーで取り付け、吹き付け面を湿らせた後に、仕上げ層として2回目の吹き付けを行った。

吹き付け終了後、コテ仕上げを行い、凸凹や健全部との段差が生じないようにした。写真-11には、補強材の取り付け状況、写真-12には、仕上げ層の吹き付け状況を示す。



写真-11 補強材取り付け状況



写真-12 仕上げ層吹き付け状況

### (3)表面保護工

表面保護工については、断面修復を行わない部分についても微細なひび割れを生じていたこと、供用時の車両通行によりひび割れが開閉することも考えられることから、塗装の伸び性能が良いレックス#5000を用いた。表面保護工は、火災元のP2橋脚を中心に、P1～P3径間の範囲で行った。最後に表面保護工の付着試験を行い、表面保護の品質管理を行った。写真-13、14に、塗布状況を示す。



写真-13 下地層塗布状況



写真-14 上塗り塗布状況

## 9.最後に

供用前の橋梁が火災に遭うというまれな損傷であったが、調査及び試験の結果、当所想定していたよりも、橋梁への影響が少なく、無事に補修工事を終えることができた。本報告が、増大しつつある補修工事の役に立てれば幸いと考える。また写真-15に工事完了後の写真を示す。



写真-15 工事完了後

## 謝辞

調査及び補修設計は、社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会として行ったものであり、本報告はその一部を抜粋したものです。火災の調査及び補修設計を行うにあたっては、貴重な助言とご指導を、岡山大学阪田教授に頂きました。この場をお借りして関係各位に深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) プレストレストコンクリート設計施工基準・同解説（日本建築学会 1998改訂）
- 2) 泉，加藤，板垣：プレストレストコンクリートの耐火性（1），プレストレストコンクリート，Vo 112，No.5
- 3) 田村：被火災PC桁の検査および補修（その1），プレストレストコンクリート，Vol.20，No.2