

火災を受けた橋梁の損傷とその対応

久田宗昌¹

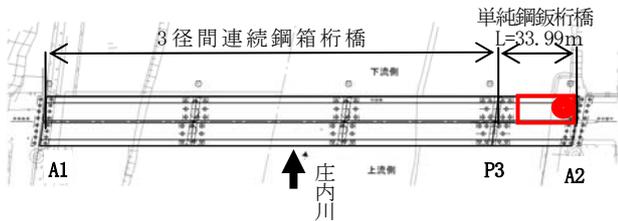
¹名古屋市緑政土木局 道路建設課（〒460-8508 名古屋市中区三の丸3丁目1-1）

本稿は、主要地方道名古屋中環状線の庄内川に架かる明德橋の桁下にて平成25年6月に発生した火災への対応を報告するものである。橋梁が火災により損傷を受けた事例の報告が全国的に少ない中で補修方針を決定する必要がある。被災状況に応じた補修を行うために、まずは詳細調査を行った。詳細調査については、受熱温度を推定し、鋼部材、コンクリート部材について部材強度や変形等を調査することにより損傷程度の確認を行った。補修方針については、詳細調査の結果に基づいて、被災程度に応じて方針を定めたことにより適切な補修方針を決定することができた。

キーワード：火災、受熱温度、塗装損傷調査、鋼桁補強、断面修復

1. はじめに

平成25年6月17日早朝、主要地方道名古屋中環状線の明德橋において、庄内川右岸下流側A2橋台前の高水敷付近で、所有者不明の古タイヤをはじめとする可燃物より発災し一時間程度燃え続ける火災が発生した。



●；火災発生箇所，□；影響した範囲
図-1 火災発生箇所及び影響した範囲

橋梁が火災により損傷を受けた事例は全国的に少ない。また、橋梁の受熱による被災程度の研究は近年端緒についたところであり、要領やマニュアルについても全国統一のものは整備されていない。よって、このような状況の中で、道路管理者として火災を受けた橋梁に対する安全性をいかに評価するか、及び損傷に対しての補修方針をどのように決定するかが課題であった。

本稿では、被災直後の一次判断及びその後の詳細調査についての内容を整理するとともに、長期的な安全性の確保のための補修設計方針決定までの経緯及び結果について述べる。

2. 被災状況と通行制限実施の判断

(1) 被災状況

写真-1～3は、被災当日に現場確認を行った際に撮影したものである。橋梁下側はA2橋台直近からかなりの面積に亘って延焼している（写真-1）。火災前は古タイヤを始めとした蓄積物が散乱していたが、これらが全て火災により延焼したものと考えられる。橋台のコンクリートについては、A2橋台の前面が火災による煤により黒くなっており、被災した範囲を示している（写真-2）。

上部工については、A2橋台付近では塗膜が剥がれるなどかなりの損傷を受けており（写真-3）、A2から10m～20m離れていて塗膜の剥がれがない箇所でも煤が付着していた。

現地確認の結果、火災により受熱したと考えられる部材は、主桁等の鋼材、床版コンクリート、A2橋台前面コンクリート、落橋防止装置及び支承部であると推測された。

(2) 通行制限実施の判断

被災当日にて現地の確認を行った。前項の通り、古タイヤを含む集積物からの発火という状況を考慮すると高温の受熱があったものと推定された。比較的高温と推定される火災により塗膜が焼失している状況から、鋼部材の強度が低下している可能性はあるが、その数値を把握するためには、硬さ試験や引張試験等の実施が必要で



写真-1 火元の状況



写真-2 被災状況 (橋台前面)



写真-3 被災状況 (上部工)

ある。しかしながら、上記の強度低下が懸念される箇所について試験を実施し、結果を判断するまでには相当時間を要するため、当面の通行安全に対する緊急的な判断（通行制限を実施する必要があるか）は、構造的な視点等から以下の事項を踏まえて行うこととした。

- ・ 強度低下の懸念箇所は、単純桁の端部付近で比較的曲げモーメントが小さい箇所である。
- ・ 一部の横構に変形が見られるが、これは高温膨張によるそり変形と考えられる。大きな横荷重（風や地震）が作用しない限り、常時荷重（鉛直荷重）に与える影響は小さいと考えられる。
- ・ 目視で確認できる範囲ではフランジのゆがみ等の大きな主桁の変形は確認されていない。また、主桁のボルト添接部は、塗膜損傷はあるが残存しておりボルト耐力の極度の低下は生じていない

いと考えられる。

- ・ RC 床板も被災を受けたが、顕著な熱膨張ひび割れや剥離は見られない。
- ・ 橋面の舗装面、伸縮装置部に顕著な変状（ひび割れ、段差等）も生じていない。
- ・ 落橋防止（緩衝チェーン方式）は、大きく被災して機能低下を生じているが、常時荷重への影響はない。
- ・ 2時間の現場確認の間、特に変わった振動性状や桁下音、変状はなかった。

上記の状況から一般通行を制限しなくても調査及び検討期間中の安全を確保できると判断した。

3. 詳細調査

(1) 詳細調査について

次に、火災による損傷状況を明らかにし、安全性の評価及び補修方針を確定させるため、詳細調査を行った。損傷を受けた部材は、主に桁部分の鋼材と床版、橋台部分のコンクリートである。

桁部分の鋼材については、塗装の損傷はもちろん、受熱による引張強度の低下や分子構造の変化による性状の変化等が懸念された。また、体積膨張による桁の変形や溶接部分の割れについても調査を行う必要があった。一方、コンクリートについては、受熱による圧縮強度の低下や中性化の進行が懸念された。また、鋼材、コンクリート双方について、消火に河川水（汽水域のため海水混じり）を用いたことによる塩分の付着が懸念された。

(2) 鋼部材についての詳細調査項目

一般的に鋼材（構造用鋼材）は、受熱時の温度が 600°C を超える場合、高力ボルトについては 450°C を超える場合に冷却後の引張強度が低下するとされている。また、鋼材は合熱処理によって結晶構造が変化するという性質を有しており、受熱温度によってはもともと付与された性質が失われる懸念がある。以上のことから、火災による鋼材の損傷評価にあたっては受熱温度の推定が重要になる。

受熱温度の推定にあたっては、既往の論文等を参考として、塗装の劣化状況から推定することとした。

また、塗装の劣化状況については、塗膜状態を目視確認するとともに塗膜の健全度については塗膜附着試験（図-2）にて評価を行うこととした。

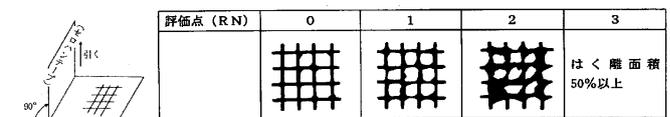


図-2 塗膜附着試験方法 (クロスカット法)

出展：鋼構造物塗膜調査マニュアル（平成18年6月）

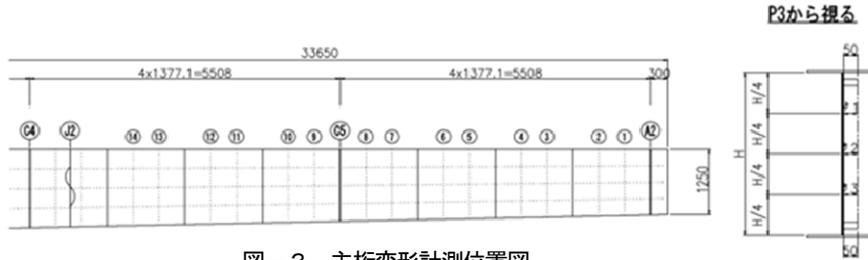


図-3 主桁変形計測位置図

次に、主桁等の構造部材は受熱したことによる変形が懸念される。したがって、各部材の変形の計測を行うこととし(図-3)、その判定については道路橋示方書Ⅱ(鋼橋編)において、新設桁製作工の規格値は $h/250$ (h =腹板の高さ)と定められているため、評価はこれに従う方針とした。

さらに、受熱により溶接の割れ等の溶接部の損傷が懸念されたため、主桁腹板と下フランジの溶接部において磁粉探傷試験にて確認することとした。

その他、鋼部材の調査項目については表-1に示す通りとした。

(3) コンクリート部材についての詳細調査項目

コンクリート部材については、火災により損傷を受けたと考えられるA2橋台前面及びP3~A2間の床版コンクリートについて行うこととした。調査項目としては、近接目視による点検、テストハンマーによる反発係数の測定、ドリル法による中性化測定、コア採取による圧縮強度試験、塩化物イオン濃度測定である。調査項目の一覧を表-2に示す。

4 調査結果

(1) 鋼部材の詳細調査結果

a) 損傷度の目視確認

目視により塗装の損傷状態の調査を行った。また、損傷程度とその範囲から部材ごとの塗装損傷記録及び被災温度推定マップを作成した。(図-4)

表-1 鋼部材 調査項目一覧表

調査項目	調査方法	調査概要と範囲
部材の損傷度	目視確認	塗膜の状態により被災温度の推定を行う。橋桁全体の被災温度マップを作成する。
塗装損傷調査	目視確認 クロスカット試験	塗膜状態を目視確認し、損傷記録表を作成する。橋桁全体 塗膜の健全度はクロスカット法で確認する。C3付近が塗膜損傷境と推定し調査
部材変形量	下げ振り、水糸を用いて変形量の測定	部材の変形量の有無、程度を確認する。被災の顕著なC4-A2間
溶接部検査	磁粉探傷試験	火災による溶接部の亀裂の有無を確認する。被災の顕著なC4-A2間主桁下フランジ溶接部
付着塩分量	塩分濃度計	海水を含む川の水を使って消火したため、付着塩分濃度を測定する。着地露出部など箇所
鋼板確認試験	[室内試験] 引張試験 ビッカース硬さ試験 組織試験 [現場試験] 鋼材硬さ試験	排水装置取付金具を撤去し、試験体を採取する。JIS5号試験片にて引張強度試験する。 被災鋼材の硬さ試験を行う。被災鋼材の組織試験を行う。 損傷部材2検体+比較用一般鋼材1検体 ポータブル硬さ試験機を使用して被災箇所の鋼材硬さを試験する。

b) 塗装損傷調査(クロスカット試験)

外観目視調査では塗膜の健全性までは評価できないため、健全範囲を区別するために塗膜付着試験(クロスカット試験)を行った。その結果を以下に示す(図-5)。塗装に異常がある箇所は、C3~A2間の主桁、G1~G3端横桁及び分配横桁に大別できる。G4桁もC5~A2間に一部異常が見られた。

c) 変形量測定

鋼上部工の構成部材である主桁、端横桁の平面度測定及び主桁下フランジの直角度、端横桁及び横構の大曲りの測定結果を示す。

測定結果を以下に示す。基準値は新設橋の平面度管理基準値である $h/250$ (h =腹板の高さ)とする。ただし、既設桁の補修につき新設の規格を満足させるために加熱矯正や外力を無理に加えれば鋼材の劣化や残留応力を生じさせることになるため、補修にあたっては、十分考慮する必要がある。

表-2 コンクリート部材 調査項目一覧表

調査項目	調査方法	調査概要と範囲
外観調査	目視及び打診	近接目視による点検 被災部全体
反発硬度	JSCF-G504-2007「硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法」	テストハンマーにより反発係数を測定し圧縮強度を推定する 床版10箇所、橋台9箇所
中性化深さ測定(ドリル法)	ドリル削孔粉を用いたコンクリート構造物の中性化深さ試験方法(NDIS 3419:1999)	ドリル削孔穴を用いてフェノールフタレイン溶液により中性化を判定する 床版10箇所、橋台9箇所
コアの圧縮・中性化試験	・圧縮強度試験 JIS A 1108 ・静弾性係数試験 JIS A 1149 ・中性化試験 JIS A 1152	コアドリルにより採取したコンクリートコアにより、圧縮強度試験、静弾性係数試験、中性化試験を公的機関において行う 床版1本 橋台1本
コアの塩化物イオン濃度	SC-4「硬化コンクリートに含まれる塩分の分析方法」	コアドリルにより採取したコンクリートコアにより公的機関において行う 床版1本

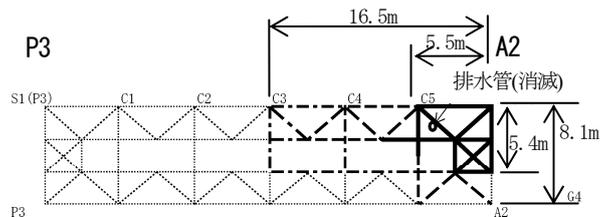
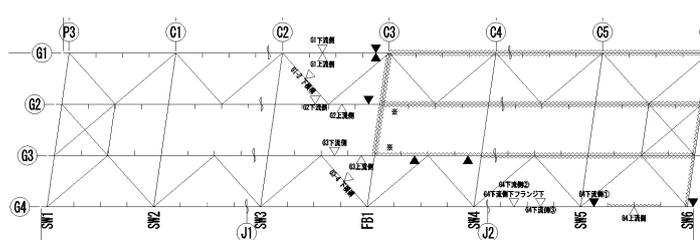


図-4 被災温度推定マップ

——	600°C以上	火元に近いと思われる端パネル間は塗装がすべて灰となり残っており、鋼材が焼けている。
----	400°C~600°C	中・上塗りがはがれておりプライマー及び下塗り塗装が焼けている。
.....	150°C~400°C	塗装が焼けて黒く炭化しており、塗膜に浮きみられる。プライマーもしくは下塗り塗料がまだ鋼材に付着している。
- · - · -	150°C未満	塗装損傷なし、すす汚れあり



凡例
 ~~~ 塗装目視調査異常あり  
 △ クロスカット試験位置 (異常なし)  
 ▲ クロスカット試験位置 (異常あり)  
 ※ 目視触指判断位置 (異常あり)

図-5 クロスカット試験結果

結果, 太字の箇所について規格値であるh/250を超えていた. 特にG2桁は被災中心に近く, 熱影響による変形度合いが大きい(表-3)

表-3 主桁腹板変形量計測結果

| 測点     | 腹板高  | 規格値 | G1                |           |           | G2        |            |           | G3 |            |           | G4 |           |    |   |   |
|--------|------|-----|-------------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|----|------------|-----------|----|-----------|----|---|---|
|        |      |     | 1                 | 2         | 3         | 1         | 2          | 3         | 1  | 2          | 3         | 1  | 2         | 3  |   |   |
| S2(A2) | 1250 | 5.0 | -                 | -         | -         | -         | -          | -         | -  | -          | -         | -  | -         | -  | - | - |
| ①      | 1260 | 5.0 | +3                | +4        | +0        | -3        | <b>-13</b> | -5        | +5 | <b>+10</b> | +4        | -  | -         | -  | - | - |
| ②      | 1271 | 5.1 | +2                | <b>+6</b> | +3        | -2        | <b>-14</b> | <b>-8</b> | +2 | <b>+8</b>  | <b>+6</b> | 0  | -3        | -2 | - | - |
| -      | 1281 | 5.1 | -                 | -         | -         | -         | -          | -         | -  | -          | -         | -  | -         | -  | - | - |
| ③      | 1292 | 5.2 | +3                | +1        | -1        | -5        | <b>-6</b>  | -1        | 0  | -2         | -2        | -  | -         | -  | - | - |
| ④      | 1302 | 5.2 | +4                | <b>+6</b> | +2        | 0         | -2         | -3        | +2 | <b>+6</b>  | +1        | -1 | <b>-6</b> | -2 | - | - |
| -      | 1313 | 5.3 | -                 | -         | -         | -         | -          | -         | -  | -          | -         | -  | -         | -  | - | - |
| ⑤      | 1323 | 5.3 | +4                | +1        | +1        | -1        | -3         | -1        | -2 | -3         | -1        | -1 | -1        | 0  | - | - |
| ⑥      | 1333 | 5.3 | 落橋防止装置補強材があり、計測不能 |           |           |           |            |           |    |            |           |    |           |    |   |   |
| -      | 1344 | 5.4 | -                 | -         | -         | -         | -          | -         | -  | -          | -         | -  | -         | -  | - | - |
| ⑦      | 1354 | 5.4 | +5                | <b>+9</b> | +4        | <b>-6</b> | <b>-11</b> | -5        | +3 | <b>+8</b>  | +2        | -3 | -4        | -1 | - | - |
| ⑧      | 1365 | 5.5 | +5                | <b>+9</b> | <b>+6</b> | <b>-5</b> | <b>-10</b> | -5        | +3 | <b>+7</b>  | +3        | -  | -         | -  | - | - |
| C5     | 1375 | 5.5 | -                 | -         | -         | -         | -          | -         | -  | -          | -         | -  | -         | -  | - | - |
| ⑨      | 1385 | 5.5 | +1                | +2        | +1        | -3        | 0          | +3        | +2 | +3         | +1        | -2 | -4        | -1 | - | - |
| ⑩      | 1396 | 5.6 | +3                | +4        | +2        | -4        | <b>-8</b>  | -3        | +2 | <b>+7</b>  | +3        | -  | -         | -  | - | - |
| -      | 1406 | 5.6 | -                 | -         | -         | -         | -          | -         | -  | -          | -         | -  | -         | -  | - | - |
| ⑪      | 1417 | 5.7 | +3                | +4        | +2        | <b>+6</b> | <b>+7</b>  | +2        | -5 | <b>-7</b>  | -3        | -  | -         | -  | - | - |
| ⑫      | 1427 | 5.7 | +2                | +4        | +2        | <b>+6</b> | <b>+7</b>  | +3        | 0  | 0          | 0         | -3 | -5        | -2 | - | - |
| -      | 1438 | 5.8 | -                 | -         | -         | -         | -          | -         | -  | -          | -         | -  | -         | -  | - | - |
| ⑬      | 1448 | 5.8 | +3                | +5        | +3        | +5        | <b>-8</b>  | -5        | +2 | +3         | 0         | -  | -         | -  | - | - |
| ⑭      | 1458 | 5.8 | +3                | <b>+6</b> | +3        | +4        | <b>-8</b>  | -3        | +2 | +5         | +2        | -2 | -4        | -2 | - | - |
| -      | 1469 | 5.9 | -                 | -         | -         | -         | -          | -         | -  | -          | -         | -  | -         | -  | - | - |
| -      | 1479 | 5.9 | -                 | -         | -         | -         | -          | -         | -  | -          | -         | -  | -         | -  | - | - |
| -      | 1490 | 6.0 | -                 | -         | -         | -         | -          | -         | -  | -          | -         | -  | -         | -  | - | - |
| C4     | 1500 | 6.0 | -                 | -         | -         | -         | -          | -         | -  | -          | -         | -  | -         | -  | - | - |

・主桁下フランジの直角度

主桁下フランジについては, 新設橋の管理項目であるフランジの直角度 $\delta \leq w/200$  (w ; フランジ幅) を規格値とする.

測定の結果, 腹板を起点とした山・谷折れは見受けられなかった. G2~G4の4点(太字)で規格値を上回った(表-4). 下フランジは引張り部材であり, その傾きは構造の強度低下に影響しないと考えられるため, 補修対象とはしない.

・端横桁の変形量

端横桁については, 主桁の腹板変形量の規格値であるh/250を基準として判断を行う. 測定の結果, 損傷度の大きいG1~G4間で腹板の面外変形が起こっている(太字). 変形が生じた要因は, 受熱によりG2桁に伸びが生じ, その影響を受けたものと考えられる(表-5).

・端横桁, 横構 大曲り

これらの圧縮材についての規格値はL/1000 (L ; 格間長) とした. 測定の結果, 太字の箇所について規格値を超えていた. 特に, ※の箇所は規格値を大幅に超えてい

る(表-6)

d) 溶接部検査

溶接部については400°C以上の受熱があった範囲において割れが発生していることが懸念されたため, 磁粉探傷試験により調査を行った. 試験の結果, 割れなどの有害な欠陥は検出されなかった.

e) 付着塩分量

消火の際に海水が混じった河川水を使用したことから, 被災範囲の塩分付着が懸念されたため塩分濃度の測定を行った. ほぼ全ての箇所で規格値(50mg/m<sup>2</sup>)より高い塩分濃度が測定された.

f) 鋼材試験

火災により損傷を受けたと思われる鋼材について, 引張試験, 硬さ試験, 組織観察を行った. なお, 試験に用いる鋼材は, 600°C以上の受熱があったと推測されるA2橋台付近の排水取付金具とした.

表-4 直角度計測結果

| フランジの直角度 |        | ⑦  | ⑥    | ⑤    | ④    | ③    | ②    | ①           |             |
|----------|--------|----|------|------|------|------|------|-------------|-------------|
| G1       | フランジ   | mm | 580  | 580  | 520  | 520  | 520  | 380         | 380         |
|          | 規格値    | mm | 2.9  | 2.9  | 2.6  | 2.6  | 2.6  | 1.9         | 1.9         |
|          | 測定値(%) | %  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0           | 0           |
|          | 直角度δ   | mm | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0           | 0           |
|          |        | ⑦  | ⑥    | ⑤    | ④    | ③    | ②    | ①           |             |
| G2       | フランジ   | mm | 510  | 510  | 420  | 420  | 420  | 350         | 350         |
|          | 規格値    | mm | 2.55 | 2.55 | 2.1  | 2.1  | 2.1  | 1.75        | 1.75        |
|          | 測定値(%) | %  | 0.5  | 0.5  | 0.2  | 0.2  | 0    | 0.9         | 3           |
|          | 直角度δ   | mm | 2.55 | 2.55 | 0.84 | 0.84 | 0    | <b>3.15</b> | <b>10.5</b> |
|          |        | ⑦  | ⑥    | ⑤    | ④    | ③    | ②    | ①           |             |
| G3       | フランジ   | mm | 510  | 510  | 420  | 420  | 420  | 350         | 350         |
|          | 規格値    | mm | 2.55 | 2.55 | 2.1  | 2.1  | 2.1  | 1.75        | 1.75        |
|          | 測定値(%) | %  | 0    | 0    | 0.3  | 0    | 0.2  | 0           | -0.9        |
|          | 直角度δ   | mm | 0    | 0    | 1.26 | 0    | 0.84 | 0           | <b>-3.2</b> |
|          |        | ⑦  | ⑥    | ⑤    | ④    | ③    | ②    | ①           |             |
| G4       | フランジ   | mm | 520  | 520  | 440  | 440  | 440  | 340         | 340         |
|          | 規格値    | mm | 2.6  | 2.6  | 2.2  | 2.2  | 2.2  | 1.7         | 1.7         |
|          | 測定値(%) | %  | 0.2  | 0    | -0.4 | -0.5 | -0.5 | 0.5         | 0.7         |
|          | 直角度δ   | mm | 1.04 | 0    | -1.8 | -2.2 | -2.2 | 1.7         | <b>2.38</b> |

表-5 端横桁平面度計測結果

| 測点 | 腹板高  | 規格値 | ①G1~G2間 |            |            | ②G2~G3間   |            |            | ③G3~G4間 |           |           |
|----|------|-----|---------|------------|------------|-----------|------------|------------|---------|-----------|-----------|
|    |      |     | 1       | 2          | 3          | 1         | 2          | 3          | 1       | 2         | 3         |
| S2 | 1040 | 4.2 | +2      | <b>+12</b> | <b>+10</b> | <b>+6</b> | <b>+15</b> | <b>+18</b> | +2      | <b>+5</b> | <b>+5</b> |

表-6 大曲り計測結果

| 測点 | L    | 規格値 | 測定値          |
|----|------|-----|--------------|
|    |      |     |              |
| ②  | 2727 | 2.7 | -2           |
| ③  | 3596 | 3.6 | <b>+18 ※</b> |
| ④  | 4136 | 4.1 | <b>+32 ※</b> |
| ⑤  | 2727 | 2.7 | +5           |
| ⑥  | 2727 | 2.7 | -2           |
| ⑦  | 2727 | 2.7 | <b>+5</b>    |
| ⑧  | 3596 | 3.6 | <b>+21 ※</b> |
| ⑨  | 2727 | 2.7 | <b>+7</b>    |
| ⑩  | 2727 | 2.7 | +0           |
| ⑪  | 4136 | 4.1 | <b>+15 ※</b> |
| ⑫  | 3596 | 3.6 | <b>+4</b>    |
| ⑬  | 2727 | 2.7 | -2           |

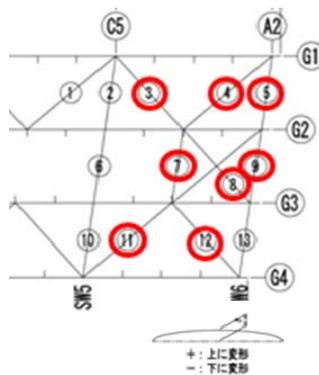


図-6 大曲り調査位置図

引張試験は2つの供試体 (SS400) について行った (写真-4) . 結果, 両者とも許容値を満足しており, 火災による影響はないと思われる (表-7) .

ビッカース硬さ試験及び鋼材組織観察の結果, ビッカース硬さから算出した引張強度換算値は全て規格値内であり, また, 組織観察結果もいずれの組織もフェライト+パーライト組織で, 表面の焼き入れ, 結晶粒の異常成長といった火災の影響を確認できるものはなかった (写真-5) .

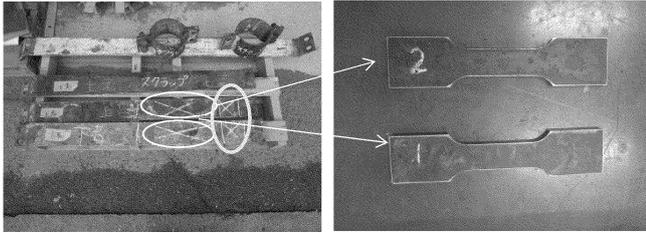


写真-4 引張試験体

表-7 引張試験結果

| 試験片番号 | 材質    | 引張試験                   |                         |      |     | 標点距離 (mm) | 伸び (%) |    | 判定結果 |    |
|-------|-------|------------------------|-------------------------|------|-----|-----------|--------|----|------|----|
|       |       | 断面積 (mm <sup>2</sup> ) | 耐力 (N/mm <sup>2</sup> ) |      | 試験値 |           |        |    |      |    |
| 1     | SS400 | 152                    | 297                     | ≥245 | 428 | 400~510   | 68.0   | 36 | ≥21  | 合格 |
| 2     | SS400 | 153                    | 298                     | ≥245 | 426 | 400~510   | 68.9   | 38 | ≥21  | 合格 |

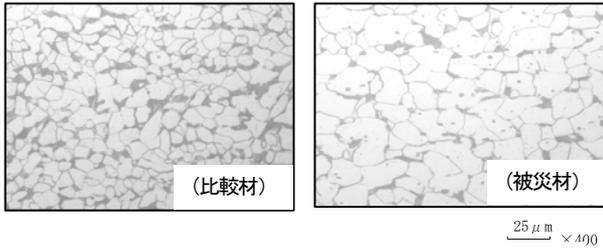


写真-5 鋼材マイクロ組織

## (2) コンクリート部材の詳細調査結果

コンクリート部材についての調査結果を以下に示す。近接目視による調査の結果, 床版部はA2橋台付近の火元に近い箇所においてピンク色に変色していた。また, 微細な亀甲状のひび割れも確認された。その他はP3橋脚に向かい, すすが付着していた。A2橋台のコンクリートについても, 表層の爆裂や亀甲状のひび割れが発生していた (写真-7) . コンクリートの変色状況と受熱温度の関係を表-8に示す。火元に近い箇所でピンク色に変色していたことから, 受熱温度は300°C~600°Cとなる。

シュミットハンマーによる反発硬度試験の結果, 橋台, 床版ともに設計上の強度である24N/mm<sup>2</sup>を満足していた。ドリル法による中性化試験の結果, 床版, 橋台ともに測

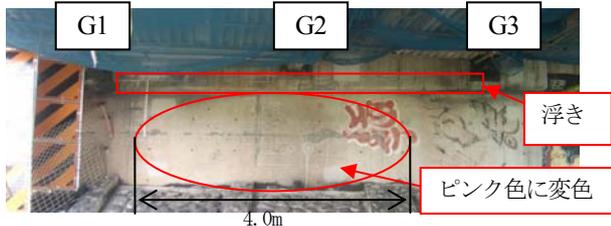


写真-7 A2橋台変色状況

表-8 コンクリートの変色状況と受熱温度の関係

| 変色状況           | 温度範囲 (°C) |
|----------------|-----------|
| 表面にすすが付着している状態 | 300 未満    |
| ピンク色           | 300~600   |
| 灰白色            | 600~950   |
| 淡黄色            | 950~1200  |
| 溶解する           | 1200 以上   |

出展: 建物の火災診断及び補修・補強方法 (平成16年3月)

定箇所により中性化深さが異なり, 損傷状況と中性化深さとの関係は見受けられなかった。

コア採取による試験結果を以下に示す。圧縮強度試験の結果, 床版部が40.1N/mm<sup>2</sup>, 橋台部が35.3N/mm<sup>2</sup>であり, 上記の設計強度を満足していた。塩分含有量試験の結果, 塩化物イオン量の測定結果は鉄筋付近で0.27kg/m<sup>3</sup>であった。土木学会の鋼材腐食発生限界濃度は1.2kg/m<sup>3</sup>であることから, 塩化物による鉄筋腐食の可能性は低いと考えられる。

## 4. 今後の対応

### (1) 鋼部材における補修方針

鋼部材における受熱温度は最高で600°C程度と推定できるが, 3章に示した通り鋼材の性質には特段の変化はなかった。よって, 鋼部材における補修を行うべき損傷は主に入熱による変形及び塗装の剥離であると考えられる。したがって, 補修方針については下記のようにした。

#### a) 塗装の補修

火災により損傷を受けた鋼桁は, 最も損傷が激しい部分では下塗が剥がれており, 腐食が懸念される状況であった。したがって, 損傷を受けた箇所について塗替塗装を行う。損傷により鋼材の素地が露出していることを考慮し, ケレンは2種とした。塗装仕様については, 「鋼道路橋塗装・防食便覧(H17.12)」を参考として, Rc-IIとした (表-9) .

#### b) 鋼桁の補強

火災に伴う受熱により, 主桁及び横桁の腹板において, 新設橋に求められる平面度であるh/250以上の面外変形が見られた。確かに, 現場での測定値はこの規格値を10mm程度上回るものであり, 僅かな変形と考えられる。しかし, 規格値以上の変形が生じていれば, 上部工に生じる荷重が正しく下部工に伝達されず, 長期に渡りこの状態であれば特定の部材に応力が集中して疲労による損傷を招くことにもなりかねない。したがって, 規格値を超える面外変形が生じている箇所に対して補強を行うこととした。

本事例では, 補剛材により桁の補強を行う方法を採用することとした。具体的には, 桁のI方向からL形鋼により, 反対側から平鋼により腹板を挟み込み, 補剛材を高力ボルトで締め付けることにより変形矯正を行い, 耐座

表-9 旧塗膜と塗替え塗装系の組み合わせ

| 塗替え塗装系 | 旧塗膜塗装系             | 素地調整 | 特徴                                                              |
|--------|--------------------|------|-----------------------------------------------------------------|
| Rc-I   | A, B<br>a, b, c    | 1種   | プラスト工法により旧塗膜を除去し、スプレー塗装する。                                      |
| Rc-III | A, B, C<br>a, b, c | 3種   | 工事上の制約によってプラストできない場合に適用する。<br>耐久性は Rc-I 塗装系に比べて著しく劣る。           |
| Rc-IV  | C<br>c             | 4種   | 旧塗膜に欠陥がなく、美観を改善するために行われる。                                       |
| Ra-III | A<br>a             | 3種   | A 塗装系の塗替えで十分な塗膜寿命を有していて、適切な維持管理体制がある場合や橋梁の残存寿命が 20 年程度の場合に適用する。 |
| Rc-II  | B<br>b, c          | 2種   | 工事上の制約によってプラストできなく、かつ、B系、b系の旧塗膜に適用する。                           |
| Rd-III | D<br>d             | 3種   | 暗く換気が十分に確保されにくい環境の内面塗装に適用する。                                    |

出展：鋼道路橋塗装・防食便覧（平成17年12月）

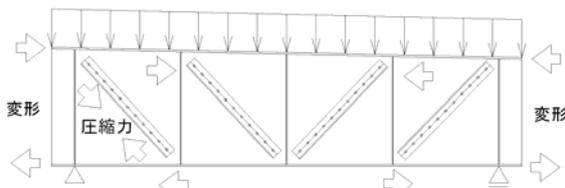


図-7 補剛材設置イメージ

屈性能を向上させ、かつ、桁材に作用する荷重の一部を負担するものである（図-7）。桁材に作用する死荷重については既設部材により負担できているものと考えられるため、補剛材により負担する荷重は活荷重とした。

なお、補強方法の検討にあたっては、加熱矯正を行う方法も検討したが、加熱矯正に必要な温度は900℃程度であり、火災による入熱を上回る温度であることから鋼材への影響を勘案して加熱矯正を行わない方針とした。

### c) 部材取替

火災により損傷を受けた鋼部材のうち、損傷が重大であり取替が可能なものについては、取替を行う方針とした。取替を行う部材は下横構、落橋防止装置工、高力ボルトとした。下横構については、風荷重や地震荷重に対して抵抗して剛性を確保するものであり、常時（活荷重、死荷重）の鉛直力に対しては、直接影響する部材ではないことから、取替が可能な部材を取替えることとした。落橋防止装置工については、火災により緩衝ゴムがかなり損傷を受けているため、取替を行うこととした。高力ボルトについては、既往の論文等によると受熱温度450℃で損傷を受けるとある。想定される受熱温度が最大600℃であることを考慮し、影響範囲について全数取替を行う方針とした。

### (2) コンクリート部材における補修方針

火災によるコンクリート部材の損傷は、浮き及び微細な亀甲状のひび割れであった。補修については、これらの損傷部をはつり取った上で断面補修を行う。断面補修の工法については、厚さ2～3cm程度の浮きであればポリマーセメントモルタルを用いた左官工法とし、さらに深い場合は無収縮モルタルを型枠内に注入する型枠工法を

用いることとする。

### (3) 補修の優先順位

鋼部材については、詳細調査により部材の強度低下は確認されなかった。補修方針では、塗装による防食及び鋼桁の補強、部材取替を挙げた。本事例では、部材の強度低下が見られないこと、また排水管が焼失し、橋面からの排水が直接主桁等に当たり腐食しやすい環境であるため、塗装による防食を最優先で行い、鋼桁の補強及び部材取替については、直ちに行う必要はないと判断した。ただし、鋼部材に見られた変形については、長期に渡る応力集中等の影響も懸念されることから、早期に補修することが望ましいと考えている。なお、現状では塗装塗替のみ昨年度に実施している。

コンクリート部材は、詳細調査により圧縮強度の低下等は見られなかった。補修方針では断面補修を行うこととしたが、直ちに行う必要はないと考えている。特に床版については、床版補強工事と同時期に補修を行う考えである。現状では、コンクリート部材の補修は未実施である。

## 5. おわりに

本稿では、明德橋で発生した火災につき、通行制限の要否の判断、詳細調査の実施方針、補修方針の決定を述べた。全国的に事例が少ない中で火災を受けた橋梁の安全性を判断し、詳細調査や補修方針を決定した。一次判断としての通行制限の要否については、構造的な視点から通行制限は不要と判断し、被災の状況と構造的な要素について総合的に判断することで、安全性を評価した上で交通に与える影響を最小限にした。また、詳細調査については、鋼部材、コンクリート部材それぞれについてあらゆる観点から調査を行うことにより、部材の安全性を適切に評価することができた。今後も橋梁の維持管理を行う上で、予期せぬ事故により重大な損傷が発生した場合の安全性評価及び調査、補修の方向性を決定する際に本事例は参考になるものと考えている。

### 参考文献

- 道路橋示方書Ⅱ（鋼橋編），社団法人日本道路協会，平成24年3月
- 鋼道路橋防食便覧，社団法人日本道路協会，平成26年3月
- 玉越 隆史他；鋼道路橋の受熱温度推定に関する調査，国総研資料第710号 平成24年12月
- 今川 雄亮他；合成桁橋を含む鋼橋の火災診断マニュアルの作成と適用例，橋梁と基礎2012-10