

火災を受けた鋼橋の耐久性調査

Examination of Durability of a Bridge Subjected to a Fire

沓掛 靖夫*¹ 能登 宥愿*² 加藤 徹*³ 林 兼生*⁴
Yasuo KUTSUKAKE Horoyoshi NOTO Toru KATO Kaneo HAYASHI

Summary

The three-span continuous steel-girder bridge that this paper deals with had a fire near its middle pier. The fire burned both the paint on the bridge and the FRP that was covering high-tension power lines held by the bridge. The heat of the fire also damaged a part of the steel girder and the RC deck. In order to assess the durability of the bridge after the fire, metallic materials of the bridge were tested for changes in their structure as well as for deterioration in their mechanical properties, and the deck concrete underwent a strength test as well. In addition, deformations and stress frequencies were measured locally, and the load-bearing strength of the bridge was investigated at the same time. In this paper the authors report not only the judgment on the soundness of the bridge, reached through the above tests, but also give evaluation on the judgment.

キーワード：火災焼損，耐荷力，耐久性

1. まえがき

本橋は3径間連続鈑桁で主桁G1~G2, G2~G3間にFRPで被覆した高压電線を添架している鋼橋である。平成9年2月4日、P4橋脚付近の主桁G1~G2間から火災が発生し、高压電線の被覆FRPに延焼した。また、その火災は鋼桁を防錆処理している塗膜に類焼し、橋梁に熱影響を与え、主桁、床版等を変形させた。

本文は火災等により高熱を受けた鋼材のマイクロ組織変化による材質劣化と機械的性質の変化、及び橋梁形状の変化による耐荷力変化を確認するために応力頻度を計測し設計値との比較を行い、安全を確認すると共に補強の可否を「応力頻度測定要領」案に倣い判定した経緯について報告する。

2. 施工範囲図

図-1に火災範囲を示す。

3. 火災状況

表-1に火災状況を示す。

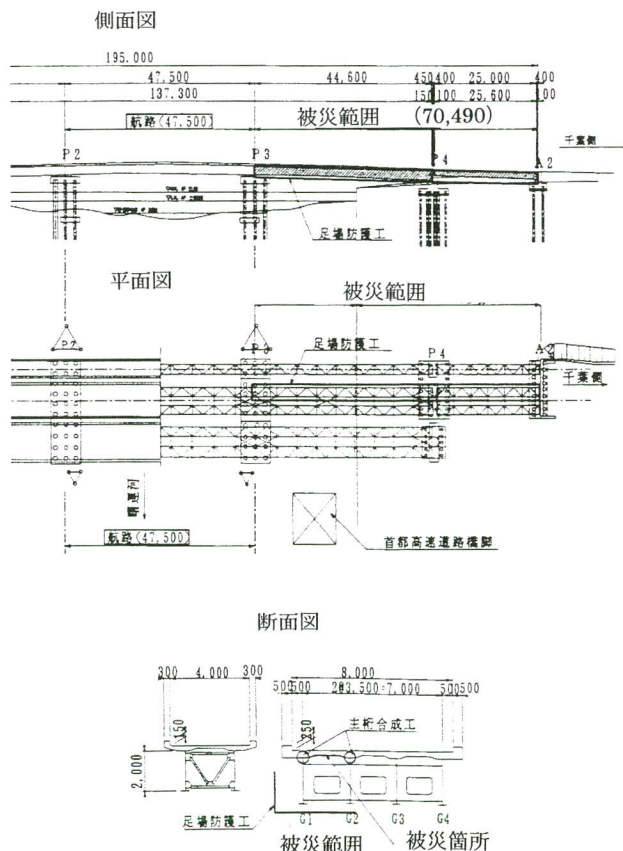


図-1 火災範囲図

*¹技術本部保全技術室長

*²技術本部先行技術研究室長

*³技術本部工事事務課

*⁴(株)宮地総合メンテナンス工事事務部長

表-1 火災状況

項目	記 事
・出火発生 ・火災番通報 第1報 ・消火活動時間	・18時00分頃 P4橋脚、主桁G1～G2桁間から出火。 ・18時29分 ・第1次 20時20分 高圧電線が添架されており電力会社の要請により消火活動がストップ、延焼中。 20時55分 送電ストップ。 ・第2次 21時00分 消火活動スタート。
・鎮火時刻 ・使用消火剤 ・消火活動状況	・21時48分～22時00分鎮火。 ・水のみ。 ・第1次 添加物の下面に鋼板を張り疑似箱桁形状になっており、隙間から消火活動。 ・第2次 添加物の下面の鋼板を取り除き、炎の出ている状態で桁下の隙間から消火。両主桁、床版、添加物で囲まれた空間の温度降下を待ち、空間に入り消火活動。
・火力 (燃焼時間の推定) ・主な燃焼物	・煙が多くて炎が見えず、時々炎が上がる状態。 ・電力会社の送電線は被覆材としてφ200が入っていた。 ・燃焼は主にFRP材(発火温度は700度C以上)、さらに、内部に送電線のシース(紡糸層の材料ビニル系)、アルミ被覆材を含む。
・燃焼したボンベの容量 ・ガスの種類	・ポータブルの家庭用ボンベ2本。 ・ブタンガス

4. 調査項目

(1) 鋼桁調査

目視点検：焼損状況調査

形状計測：焼損による形状変形調査

レプリカ法による金属組織調査

：マイクロ金属組織観察

：簡易硬さ調査

鋼材試験片採取による調査

：試験片採取による金属材料機械試験

高力ボルト採取による調査

：採取した高力ボルトの材料機械試験

応力頻度測定

：通常交通状況下の鋼桁の応力頻度測定を行い、実応力を得る。表-2に計測項目と計測目的を示し、実測位置を図-2, 3, 4, 5に示す。また、測定結果を使用しB活荷重供用に対して、補強の可否を判定する。

塗膜の健全度調査

：焼損による塗膜の劣化度範囲の調査

(2) 床版調査

目視点検：焼損状況調査

形状計測：焼損による形状、剥離状況計測

コンクリートの圧縮強度計測

：コア採取試験片及びシュミットハンマーによる圧縮強度計測

中性化試験による中性化深さ計測

：コア採取試験片及び現地中性化試験

応力頻度測定

：床版支間のたわみ及び鉄筋の応力度計測

表-2 計測項目と計測目的

	計測項目	計測目的
焼 損 部	主桁上、下フランジ応力	外桁と中桁の桁全体の構造系としての検討
	主桁腹板水平補剛材端応力	焼損により腹板面外変形の影響と面外、面内曲げに基づく応力の把握
	主桁たわみ	主桁のたわみ差の把握、外桁と中桁の桁全体の構造系としての検討
	分配横桁上、下フランジ応力	主桁のたわみ差等に基づくフランジ応力の把握 同一構造・寸法の健全部との応力比較
	床版主鉄筋応力	床版剛性劣化度の把握、健全部床版との応力比較
	床版配力鉄筋応力	同上
	床版ハンチ鉄筋応力	破りコンクリート剥落による鉄筋応力への影響把握
	床版支間中央のたわみ	床版剛性劣化度の把握と健全部床版とのたわみ比較
	主桁上フランジ～床版間隙間の相対たわみ	床版焼損による影響把握
健 全 部	主桁上フランジ応力	外桁と中桁の桁全体の構造系としての検討
	分配横桁上、下フランジ応力	主桁たわみ差等に基づくフランジ応力の把握、 焼損部との比較
	床版コンクリートひずみ(橋軸、橋軸直角方向)	床版剛性劣化度の把握、焼損部主鉄筋及び配力鉄筋ひずみとの比較
	床版支間中央のたわみ	床版剛性劣化度の把握と焼損部床版とのたわみ比較

5. 調査結果

(1) 焼損部位の温度分布比較

火災による温度分布図を図-6に示す。

1) 200℃の場合

塗料の熱影響を受けた状態から推定する。

2) 300～800℃の場合

塗料の灰化、炭化及び鋼材の状態から推定する。

3) 896℃以下

コンクリート中の炭酸カルシウムが分解される温度は896℃であり、床版の状態から推定する。

FRPの発火温度が700℃以上であることから損傷の温度を推定する。

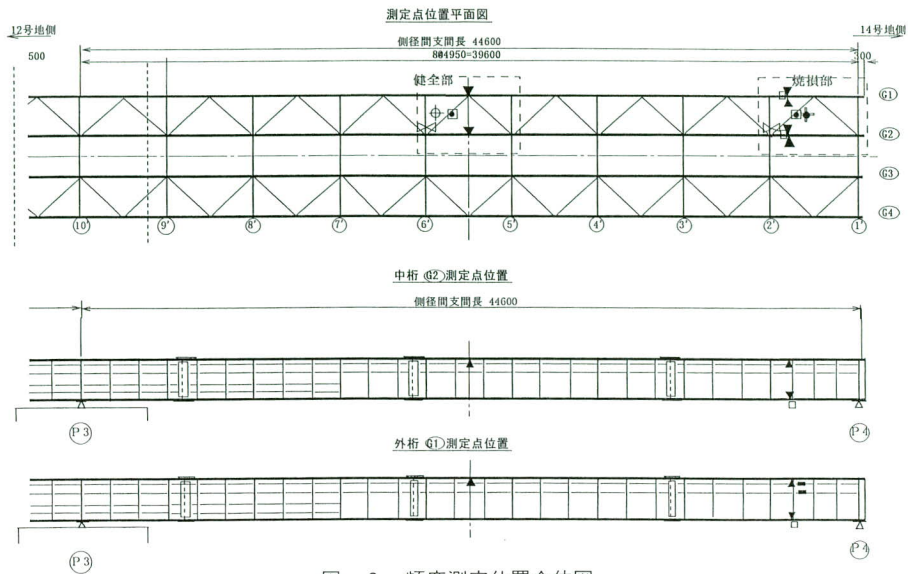


図-2 頻度測定位置全体図

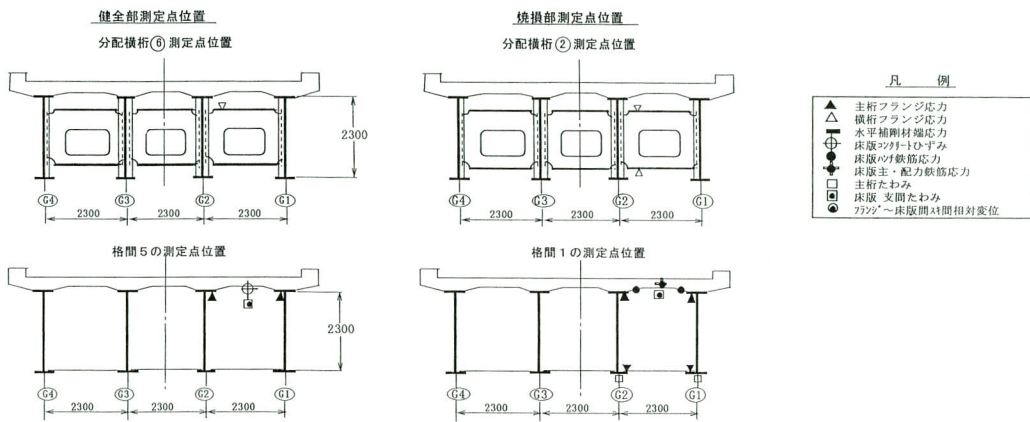


図-3 頻度測定位置全体図

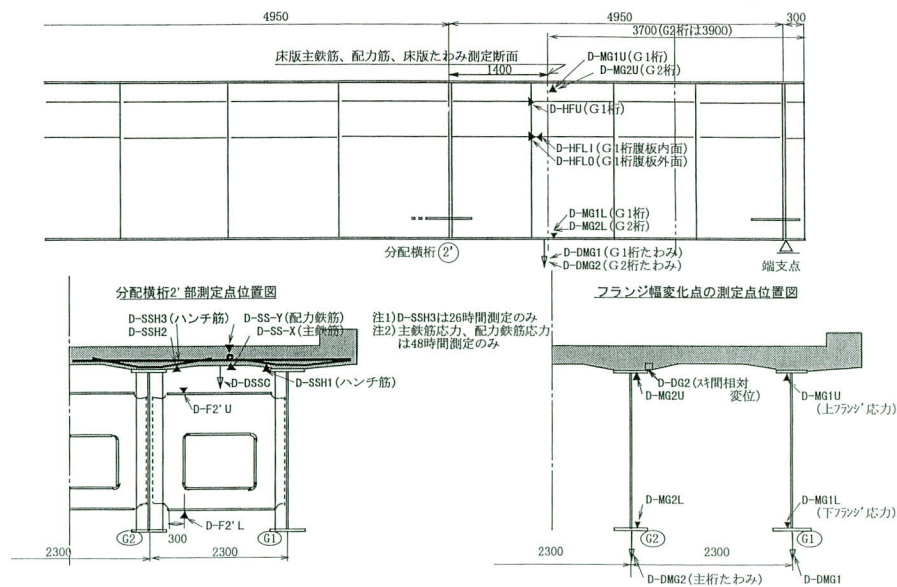


図-4 焼損部測定位置図

表-5 塗膜調査結果

調査項目	調査方法	調査結果	評価及び規格値
・塗料の健全度	・目視調査	・塗膜の炭化状況及び残存塗料から、熱影響は200～800度C程度と判断される。	

3) 応力頻度測定調査結果

応力頻度測定結果及び設計応力度との比較を表-6に示す。

表-6 応力頻度測定結果

調査項目	調査方法	調査結果	評価及び規格値
・応力頻度測定	・48時間測定	<p>・主桁の構造系</p> <p>主桁上フランジ応力 (単位 kgf/cm²)</p> <p>健全部 外桁 G1, $\sigma = -105 \sim 84$</p> <p>中桁 G2, $\sigma = -105 \sim 84$</p> <p>焼損部 外桁 G1, $\sigma = -147 \sim 63$</p> <p>中桁 G2, $\sigma = -128 \sim 84$</p> <p>主桁下フランジ応力 (単位 kgf/cm²)</p> <p>焼損部 外桁 G1, $\sigma = -32 \sim 410$</p> <p>中桁 G2, $\sigma = -95 \sim 284$</p> <p>主桁たわみ (単位 mm)</p> <p>焼損部 外桁 G1, $\delta = -5.4 \sim 2.3$</p> <p>中桁 G2, $\delta = -5.4 \sim 2.7$</p> <p>焼損による主桁の局部変状の影響</p> <p>ウェブに板曲げが発生しているが、構造系への影響は少ない。</p> <p>水平補剛材端の腹板応力</p> <p>上段内面 $\sigma = -221 \text{ kgf/cm}^2$</p> <p>下段内面 $\sigma = 315 \text{ #}$</p> <p>・分配横桁上フランジ応力 (単位 kgf/cm²)</p> <p>健全部 $\sigma = -105 \sim 63$</p> <p>焼損部 $\sigma = -42 \sim 63$</p> <p>分配横桁下フランジ応力</p> <p>健全部 $\sigma = -42 \sim 168$</p> <p>焼損部 $\sigma = -63 \sim 210$</p> <p>・床版</p> <p>床版支間のたわみ (単位 mm)</p> <p>健全部 $-1.1 \sim 0.3$</p> <p>焼損部 $-2.2 \sim 0.9$</p> <p>床版主鉄筋応力度 (単位 kgf/cm²)</p> <p>焼損部 $\sigma = -126 \sim 441$</p> <p>床版配力鉄筋応力度</p> <p>焼損部 $\sigma = -105 \sim 273$</p> <p>焼損部床版ハンチ筋の応力度</p> <p>外桁 G1, $\sigma = -21 \sim 189$</p> <p>中桁 G2, $\sigma = -68 \sim 294$</p>	<p>設計値</p> <p>G1 = -838</p> <p>G2 = -762</p> <p>G1 = -527</p> <p>G2 = -530</p> <p>G1 = -528</p> <p>G2 = -530</p> <p>許容応力度</p> <p>$\sigma_{ca} = 1400 \text{ kgf/cm}^2$</p> <p>$\sigma_{ta} = 1400 \text{ kgf/cm}^2$</p> <p>$\sigma_{ca} = 969 \text{ #}$</p> <p>$\sigma_{ta} = 1400 \text{ kgf/cm}^2$</p> <p>$\sigma_{ca} = 1164 \text{ #}$</p>

表-7 床版に関する調査結果

調査項目	調査方法	調査結果	評価及び規格値
・床版の性状試験	・コア採集による試験	<p>・圧縮強度試験 (単位 kgf/cm²)</p> <p>健全と見なした部位:</p> <p>$\sigma_c = 162.1 \text{ kgf/cm}^2$</p> <p>焼損部 $\sigma_c = 178.5 \text{ #}$</p> <p>・中性化試験 (単位 mm)</p> <p>健全と見なした部位 $d = 15 \sim 21$</p> <p>焼損部 $d = 13 \sim 17$</p> <p>・ヤング係数</p> <p>健全と見なした部位 $E_c = 2380 \text{ kgf/cm}^2$</p> <p>焼損部 $E_c = 2470 \sim 2950$</p>	<p>$\sigma_c = 240 \text{ kgf/cm}^2$</p> <p>$E_c = 2500 \text{ kgf/cm}^2$</p>
	・現地試験	<p>・圧縮強度試験 (単位 kgf/cm²)</p> <p>健全と見なした部位</p> <p>$\sigma = 291.9 \text{ kgf/cm}^2$</p> <p>焼損部 $\sigma = 236.3 \sim 257.7 \text{ kgf/cm}^2$</p>	<p>$\sigma_{ca} = 240 \text{ kgf/cm}^2$</p>

(3) 床版に関する調査結果

床版に関する調査結果を表-7に示す。

6. 補強要否の判定

応力頻度測定値を用いて、活荷重に許容される計算上の余裕量、即ち余裕応力度 ($\sigma_a - \sigma_d$) と最大の実応力度 σ_{max} とを比較することにより判定する (図-7)。

ここで、 σ_a : 許容応力度

σ_y : 降伏応力度 = $1.7\sigma_a$

σ_d : 死荷重応力度 (計算値)

σ_l : 活荷重応力度 (計算値)

σ_{max} : 実応力度 < ($\sigma_a - \sigma_d$)

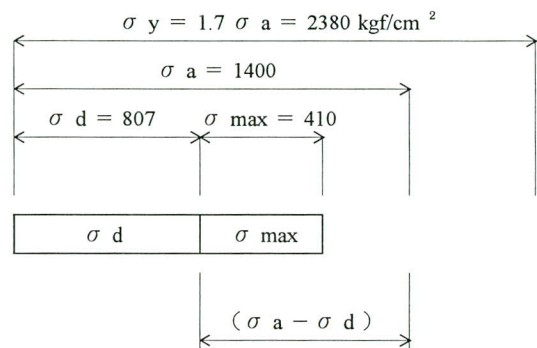


図-7 模式図

表-8に計算値と実測値の比較表を示す。

設計死荷重応力度に応力頻度測定による活荷重応力度の合計が許容応力度以下であり、現段階では耐力を保有していると判断した。

表-8 計算値と実測値の比較表

		設計計算書抜粋値		応力頻度測定値による活荷重応力度	設計死荷重+応力頻度による活荷重応力度	許容応力度
		死荷重応力度	活荷重応力度			
焼損部	G1	807	528	410	$807+410 = 1217$	1400
	G2	827	530	284	$827+284 = 1111$	1400

7. まとめ

火災事故により構造系の変状による影響、鋼材のミクロ金属組織変化による規格劣化、応力頻度測定による耐力実態の判定を行った結果を以下にまとめる。

- ①構造系の変状は、焼損部の主桁G2のキャンバーが支点付近で最大10mmであったが、支間44.915mであることから $10/44915=0.0002$ の矯正変位と考えれば微少であり問題はないと判定した。また、主桁腹板のやせ馬が最大43mmであり、使用鋼材が非調質鋼材であることから900℃以下の加熱矯正法で局部変形を規定値 $=2300/150=15\text{mm}$ （従来めっき桁のやせ馬規定値）以下に矯正する方法を選定した。
- ②鋼桁のフランジ，ウェブの鋼材組織が変化し、規格劣化が生じていないかを判断するために、金属組織をレプリカ法で鋼材表面の組織を観察し、使用鋼材が熱間圧延後放冷された標準マイクロ組織と比較した結果、フェライト－パーライト組織を呈しており、異常な粒成長や急冷組織は見られず異常なしと判断した。
- ③高力ボルトの抜き取り試験片の機械的性質はいずれも異常なしの結果が出たが、450℃に加熱されたボルトは、締め直しによる被災ボルトの修復を期待しないとの判断より、腹板部の高力ボルトは全て取り替えとした。
- ④塗膜への熱影響は塗膜状態により判断できるが、500℃以上は全て炭化状態になることから、塗膜状態から明らかにそれ以上の熱影響が有ったものと判断できる。
- ⑤応力頻度測定により、耐久性に対する評価は当面の安全性に対して問題のないことが確認できたが、被災は

広範囲にわたって受けているので、修復後の耐力・耐久性の再確認を必要に応じて照査を行うべきであると提案する。

⑥床版が火災を受けた箇所により床版劣化が異なっている事は、ひびわれ、剥離状況により明白である。コア採取試験片の圧縮強度は許容値を下回っているが、試料コア端面に脆弱な骨材が存在したためと考えられた。また、現地シュミットハンマー試験の測定値は許容値を上回っているもののバラツキがあり、定量的に判断する事は困難であった。

最終的に、応力頻度測定及び中性化試験結果により床版の焼損程度を評価した結果、健全と判断する事が出来た。

8. あとがき

本稿の執筆に当たり、関係者皆様のご協力によるものであり、紙上をかりて深謝する次第です。

<参考文献>

- 1)「ネーカ頻度測定要領」案(財道路保全技術センター、平成8年3月

1998.10.31 受付

グラビア写真説明

OM24工区

本工事は、高速大宮線の美女木JAC～与野JAC間（全施工長 約8km）に位置し、国道新大宮バイパス上に建設された高架橋である。構造形式は耐震性、維持管理上の有利性、経済性を考慮し、橋脚とその横梁を介して主桁を剛結した多径間連続RC床版鋼箱桁立体ラーメン構造となっている。また鋼橋脚の形状がY型であるのも本工事の特徴です。

本工事では、工事期間中に兵庫県南部地震が発生しその教訓から、さらに耐震性を向上するため「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様（平成7年6月）」を用いて、橋脚耐震補強、落橋防止装置の設計を見直し補強を行いました。

また本路線は、都市内高速道路であるため周辺地域に対する環境対策、景観性向上を図るため高速音壁や化粧板が採用されました。

(若松)