

火災を受けた鋼箱桁橋の健全性評価と補修

日本橋梁建設土木施工管理技士会
高田機工株式会社 工事本部
安全技術部技術課係長

津 田 亮

1. はじめに

阪神高速道路の波除出路は、大阪市港区波除2丁目付近に位置する16号大阪港線の大阪市内方面行きの出口である。この波除出路下において火災が発生し、これにより主桁の一部が変形し、また塗装が焼けるなどの損傷を受けた（写真-1）。そこで、被災当日および翌日には阪神高速道路㈱によって緊急点検が行われ、落橋や交通障害等の二次災害の問題は少なく、緊急的応急処置の必要性はないと判断された^{1),2)}。本稿では、緊急点検に引き続き行った詳細調査による橋梁の健全性評価および補修施工について報告する。



写真-1 被災損傷状況（下フランジ）

なお、本対象橋梁の諸元を以下に、一般図と被災範囲を図-1に示す。

また、火災発生から補修施工までの流れを図-2に示す。

形 式 : 2径間連続非合成箱桁
橋 長 : 87.623m
支 間 長 : 43.354m + 43.269m
総 幅 員 : 6.250m
床 版 : 鉄筋コンクリート床版 220mm
主要鋼材 : SM50Y, SS41, S10T

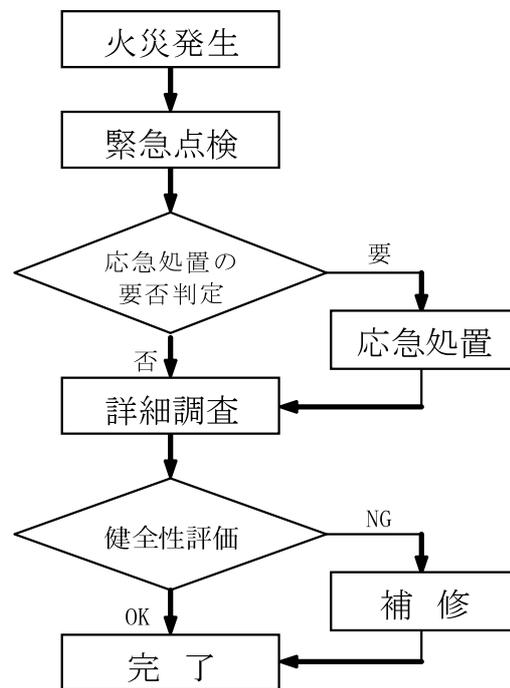


図-1 火災発生から補修施工までの流れ

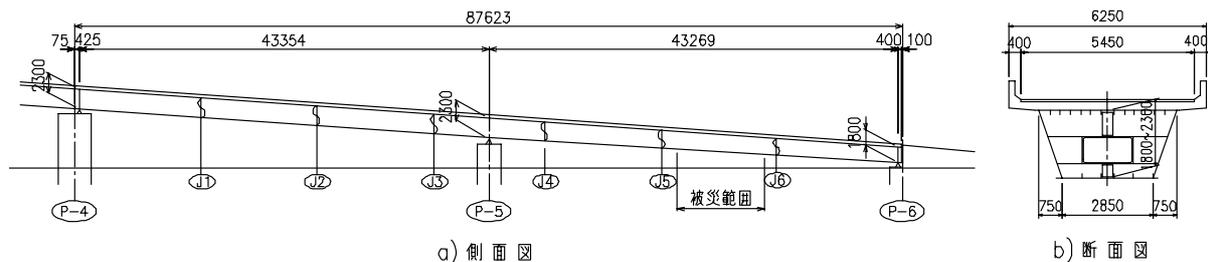


図-2 一般図と被災範囲

2. 現場における課題・問題点

火災を受けた鋼桁の健全性を評価するにあたっては、まず評価すべき項目を設定し、その評価方法を決定するとともに、評価の判断材料となる情報を収集するための詳細調査が必要であった。

そこで、火災を受けた鋼桁の損傷による機能低下は以下の3点が考えられ、これらを健全性の評価項目と設定することとした。

- ① 熱影響による鋼材の変質に伴う耐荷力の低下
- ② 鋼桁の変形に伴う耐荷力の低下
- ③ 塗膜の損傷に伴う耐久性の低下

また、健全性評価の結果から健全でないと判断された項目については、適切な補修を実施し橋梁の機能を回復する必要があった。

3. 対応策・工夫・改良点

3.1 健全性評価

3.1.1 鋼材の変質に対する健全性評価

鋼材の機械的性質の変状は目視試験では確認できず、被災した部材を直接抜き取って機械試験などを行うことが困難であるため、一般的には受熱温度を推定し耐熱温度と比較することで、健全性を評価している³⁾。

しかし、本橋梁では損傷が最も大きい箇所の下フランジの縦とじ継手がある。この継手の連結板は、主桁の母材と同一鋼種 (SM50YA) であり、また作用応力が極めて小さく、かつ機械試験片として抜き取ることも容易であったことから、直接機械試験で確認することが可能であった。

そこで、健全性評価は受熱温度の推定による間接的方法と、鋼材の機械試験による直接的方法との双

方で行うこととした。以下にその詳細について述べる。

① 受熱温度の推定

1) 塗膜の損傷状況による推定

塗膜は一般的に120℃以上の受熱温度で変色が始まり、400℃程度の受熱温度で炭化する³⁾ことより、塗膜の損傷状況から受熱温度を推定する。目視試験の結果、損傷が最も大きい箇所では塗膜が完全に炭化しており、受熱温度は400℃以上であったと推定した。

2) 高力ボルトの機械試験による推定

高力ボルトはその製造過程で、焼入れ、焼戻しの熱処理を施しているため、焼戻し温度である400℃～500℃以上の熱履歴を受けると強度および硬度が低下する⁴⁾。

そこで、被災部と健全部の高力ボルトを実橋から抜き取って機械試験を行い、強度低下および硬度低下から既往の研究結果²⁾を参考に受熱温度を推定する。実施した機械試験を以下に、その結果を表-1に示す。

a) ボルトの引張試験 (JIS Z2241)

b) ボルト・ナット・座金の硬さ試験 (JIS Z2245)

表-1 ボルトの機械試験結果

試験種別	試験項目	単位	被災部	健全部	JIS規格	備考
引張試験	引張強度	kN	313	315	303以上	製品引張 4号試験片
	降伏点耐力	N/mm ²	1016	1032	900以上	
	引張強さ	N/mm ²	1052	1050	1000~1200	
硬さ試験	ボルト	HRC	31.7	32.0	27~38	平均値
	ナット	HRC	28.7	28.2	16~35	
	座金	HRC	41.7	42.4	35~45	

上記より、被災部と健全部との試験結果を比較したところ、いずれの試験結果もほとんど差異がなく、また JIS 規格値を満足していることから、受熱温度は最高でも500℃程度であったと推定した。

ここで、鋼材の耐熱温度を道路橋示方書 (以下、

道示という)に示される非調質鋼の加熱矯正時の鋼材表面温度である900℃とすれば、推定された受熱温度は耐熱温度より十分に低く、被災を受けた鋼材の機械的性質には問題が少なく健全であると評価した。

ただし、高力ボルトは機械試験結果から健全であると評価できるが、過去の事例では熱影響を受けた高力ボルトを取替えている場合が多く、また実際に取替えが容易であること、後述の塗替え塗装時の素地調整の作業性を考慮して、より一層の安全性を確保するために新規ボルトに取替えることとした。

② 鋼材の機械試験

主桁下フランジ縦とじ継手部から、被災部と健全部で連結板の一部を抜き取って機械試験を行い、鋼材の機械的性質の変状を確認する。実施した機械試験を以下に、また各機械試験の結果を表-2に示す。

- a) 鋼材の引張試験 (JIS Z2241)
- b) シャルピー衝撃試験 (JIS Z2242)
- c) 硬さ試験 (JIS Z2244)
- d) ミクロ組成観察試験 (JIS G0551)

表-2 鋼材の機械試験結果

試験種別	試験項目	単位	被災部	健全部	JIS規格	備考
引張試験	降伏点耐力	N/mm ²	404	388	365以上	
	引張強さ	N/mm ²	564	550	490~610	
シャルピー試験	吸収エネルギー	J	108	250	(27以上)	(SM490YB)
硬さ試験	硬さ	Hv5	163	161	-	換算値
	引張強さ	N/mm ²	525	520	490~610	
ミクロ組成観察試験	平均粒度	外面	163	161	JIS G 0550 比較法	
		1/2	163	161		
		内面	163	161		

試験結果より、シャルピー衝撃試験による吸収エネルギーを除いて、被災部と健全部とでほとんど差異がなく、JIS規格値を十分に満足している。また被災部は健全部に対して吸収エネルギーの低下が認められるものの、試験体の鋼種 SM50YA と同等の SM490YA には規格値がないこと、および参考とした SM490YB の規格値を十分に満足していることから、とくに問題がないと考えられる。

以上より、鋼材の機械的性質に問題は少なく健全であると評価した。

3.1.2 鋼桁の変形に対する健全性評価

火災による鋼桁の変形は、その変形量測定が可能であるため、実際に補剛パネルの局部変形が見られ

る J5~J6間の下フランジおよび腹板の変形量を測定し、道示に示される部材精度の許容値(表-3)と比較して健全性を評価することとした。

表-3 桁変形量の許容値

対象部位	項目	許容値 δ (mm)		備考
腹板	平面度	h/250	8	h: 腹板高 (2100mm)
		w/150	4	w: 縦リブ間隔 (650mm)
下フランジ(突出部)	直角度	b/100	2	b: 突出幅 (150mm)

また桁の変形量測定は、測定用治具を製作し図-3に示す要領で行った。

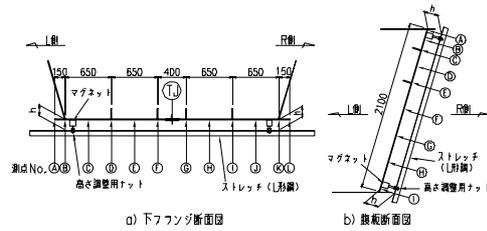


図-3 変形量測定要領

桁の変形量は腹板で最大15mm、下フランジ縦リブ間で最大10mm、下フランジ突出部で最大5mmの変形量が確認され、それぞれ表-3に示す許容値を超過しており、桁矯正により変形量を許容値内に収める補修が必要であると判断した。

3.1.3 塗膜の損傷に対する健全性評価

塗膜の損傷状況を目視試験にて確認した結果、塗膜が損傷を受けている範囲については防錆機能の低下による鋼桁の耐久性に問題があると評価し、塗替え塗装が必要であると判断した。

3.1.4 健全性評価のまとめ

- ① 受熱温度の推定および鋼材の機械試験結果から、熱影響による鋼材の変質は少なく健全であると判断した。ただし、熱影響を受けやすい高力ボルトは取替えを行うこととした。
- ② 桁の変形量が道示に示される許容値を超過する箇所は、桁矯正による補修が必要であると判断した。
- ③ 塗膜の損傷が確認された箇所は、防錆機能が低下しているため、塗替え塗装が必要であると判断した。

3.2 補修施工

3.2.1 桁矯正

変形した下フランジおよび腹板の矯正は、原則と

して図-4 に示す施工手順で行った。

なお、実施工においては、概ね常温状態での加圧により矯正することができ、一部加熱矯正を行った箇所があったが、150℃程度の加熱温度で矯正することができた。桁矯正時の状況を写真-2 に示す。

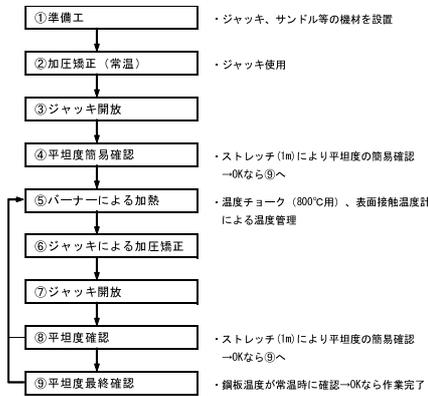


図-4 桁矯正の施工手順



写真-2 腹板の桁矯正状況（箱桁内）

3.2.2 高力ボルトの取替え

熱影響を受けた可能性がある J5～J6間の下フランジ縦と継手部の高力ボルトすべてを新規ボルトに取替えた。

また、鋼材の機械試験のために抜き取った連結板は、新規に再製作し、高力ボルトの取替えと同時に復旧した。

3.2.3 塗替え塗装

塗膜損傷状況の調査結果に基づき、水洗いと塗替え塗装を行った。なお、塗装仕様は現行の基準に従い表-4 に示す仕様とした。

表-4 塗替え塗装仕様

①外面塗装仕様						
工程	塗料名	塗装方法	標準使用量 (g/m ²)	標準膜厚 (μ)	塗装間隔 (20℃)	備考
素地調整	G-4 (パワーツール) SPS-PL3				4時間以内	
下塗1層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	はけ	240	60	1日～10日	
下塗2層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	はけ	240	60	1日～10日	
下塗3層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	はけ	240	60	1日～10日	
下塗4層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	はけ	240	60	1日～10日	(増し塗り)
下塗5層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	はけ	240	60	1日～10日	
中塗	ポリウレタン樹脂塗料中塗	はけ	140	30	1日～10日	
上塗	ポリウレタン樹脂塗料上塗	はけ	120	25	1日～10日	
②内面塗装仕様						
工程	塗料名	塗装方法	標準使用量 (g/m ²)	標準膜厚 (μ)	塗装間隔 (20℃)	備考
素地調整	G-4 (パワーツール) SPS-PL3				4時間以内	
第1層	無溶剤変性エポキシ樹脂塗料	はけ	300	120	2日～10日	
第2層	無溶剤変性エポキシ樹脂塗料	はけ	300	120	2日～10日	

ここで塗膜が完全に消滅または炭化している範囲の素地調整は2種ケレン、活膜が残存している範囲は3種ケレンとした。また、煤が付着している範囲は水洗いにより煤を除去した。

4. おわりに

今回の火災を受けた鋼桁の健全性評価においては、熱影響による鋼材の変質を確認するために、受熱温度の推定による間接的な方法と、被災部材を抜き取ったの機械試験による直接的な方法の双方で評価できた。また、桁の変形量測定や桁矯正においては、専用治具を製作するなどの工夫を凝らし効率的に施工できた。これらの結果、定量的な健全性評価を行うことができ、また補修施工により本橋梁の機能を被災前の状態に回復できた。

健全性評価および補修施工にあたっては、過去の事例や既往の研究成果等の技術情報が大いに参考となり、本稿もまた今後の参考になれば幸いである。

最後に、阪神高速道路(株)の関係者方々に種々の技術指導を頂いたことをこの紙面を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 丹波寛夫、梅木和徳：火災を受けた鋼箱桁橋の安全性評価と補修、第39回技術研究発表会論文集、阪神高速道路(株)、平成19年2月
- 2) 丹波寛夫、梅木和徳、宝角正明：火災を受けた鋼箱桁橋の安全性評価、土木学会第62回年次学術講演会概要集、6-343、平成19年9月
- 3) 酒井利忠、三輪浩二、本間順、原田康弘、高良人：火災を受けた橋梁の健全度評価と補修、橋梁と基礎、vol.37-No.4、pp.41-48、2003年4月
- 4) 脇山広三、巽昭夫：火災をうけた鋼構造物の熱履歴温度の推定法に関する研究—その1 高力ボルト座金の硬さによる方法—、日本建築学会論文報告集、第310号、pp.32-42、昭和56年12月