

車両火災時の部材温度に着目した鋼橋の耐火性能評価

東京大学 学生会員 ○国吉 竜太
 東京大学 正会員 蘇 迪
 東京大学 正会員 長山 智則

1. 背景

橋梁における火災は、その発生頻度の低さから建築分野に比べると対策が確立されていない。今まで橋梁火災による大きな人的被害が存在しないため事後対策が中心だったが、2008 年首都高速 5 号池袋線でのタンクローリーの横転炎上事故のように大きな交通被害が生じた事例もあり、経済損失や緊急車両の交通確保といった観点から事前対策も必要である。また事後対策に関しても、2015 年に日本初の評価指標となる「火災を受けた鋼橋の診断補修ガイドライン」¹⁾が制定されたが、対象の橋梁の種類が限られているなど不十分な点がある。そこで、適切な事前、事後対策を可能にするために火災による被害の大きな場所を特定することが重要である。本研究では、火災被害の大きいとされる鋼橋を対象に応力ではなく部材の温度を指標とし、また土木分野の防災評価において一般的である Lv1, Lv2 災害の基準を設けて火災時の部材の温度と比較することで、耐火性能を評価する。

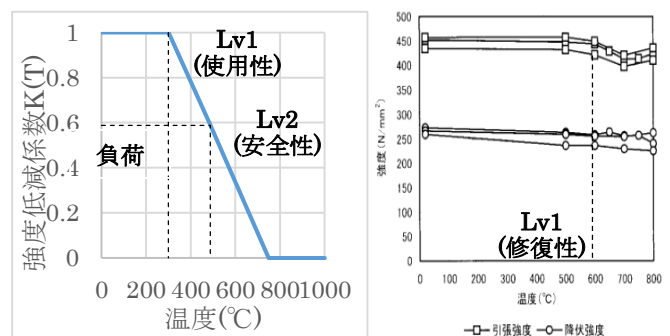
2. Lv1 および 2 の基準の設定

橋梁で想定する火災の規模や確率に応じて、橋梁に求める耐火性能の基準も異なる。本研究では Lv1 火災には一般車両火災、Lv2 火災には規模が著しく大きいタンクローリー車両火災を設定し、そして基準については耐震設計にならい使用性と修復性、及び安全性に着目した。Lv1 の基準は使用性と修復性を満たすように、火災後の強度と変形において損傷が無いといえる上限の温度とした。一方 Lv2 の基準は安全性を満たすように、最も高温になる部材が終局状態に到達するときの温度とした。また建築物の耐火設計手法と同様に安全率は 1 とした。終局状態と定めたのは、火災の影響が局所であるため周辺構造への応力再分配が期待できるという前提、また安全率 1 と定めたのは、ばらつきについて部材温度は上限を算定し部材強度は下限を算定するという前提に基づいている。

3. 基準温度と部材温度の算定

本研究では橋梁の部材レベルに着目しており、一般鋼材に加えケーブル吊形式に用いられる高強度鋼材、また継手に用いられる高力ボルト、支承に用いられるゴムを対象とする。これらの部材を対象としたのは、一般鋼材と異なる材料を使用しており、耐火性能が低く別途検討が必要と考えられるからである。

材料の高温特性は、図 1 のような高温時の強度を常温時との割合で表した係数を用いる。Lv1 については、各材料には図 1 のように強度が急激に低下し始める温度があり、この温度までは損傷がないと見なして基準の温度とした（使用性）。実際は高温から常温に戻ると強度も復元する特性があり、例えば一般鋼材は 600℃まではほぼ完全に復元する。そのため、この基準は事後対策の上では安全側となる（修復性）。Lv2 については、温度劣化により耐力が主荷重による負荷を下回るときの温度とした（安全性）。なお図 1 は降伏強度に関する値だが、この値で終局状態を考えることができるのは高温時の降伏強度と引張強度がほぼ等しい点等のためである。ケーブル鋼材やボルト鋼材も図 1 のように決まっており、またゴムについては既往実験を参考にして Lv1 の基準は力学特性の低下がない温度の上限、Lv2 の基準は建築物の荷重支持能力を



(a)高温時降伏強度 (b)冷却後引張強度・降伏強度
 図 1.材料強度（一般構造鋼材を例として）²⁾

キーワード 橋梁火災，部材温度，Lv2 災害

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL 03-5841-6097

保つ温度とし、それぞれ 150℃、400℃とした。各部材の基準となる温度は表 1 にまとめる。

次に、基準と比較する火災時の部材の温度を算出した。部材温度は、まず車両の燃焼時の火炎の最高温度と発熱量をもとに Lv1、2 の火炎自体の温度 T_f を求め、この値を入力値として伝熱式を解くことにより得られる。ここで、伝熱式では考慮されていない部材内部への伝熱を考えるために解析ソフトによる計算を行った。図 2 のように一般的な部材と直径の異なる複数のケーブルのモデルを同条件で加熱した結果、直径の大きいケーブルほど部材温度は低くなり内部伝熱の影響が大きいことがわかった。よって、ケーブルの部材温度には一般的な伝熱式が適用できないため計算ソフトを用い、一方他の部材温度は伝熱式に用いて計算して、表 1 に示す基準温度と比較することで評価を行った。

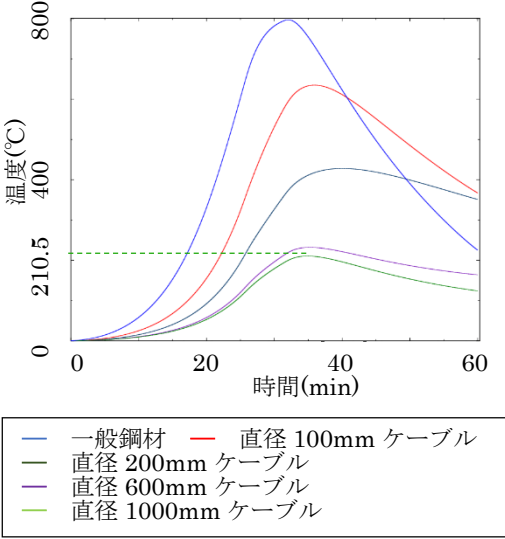


図 2.解析ソフト計算結果例
(Lv1 火災時の高さ 2m にある部材の温度)

4. 耐火性能の評価結果

部材温度は火源となる車両から距離と時間に依存する。しかし部材ごとで最も危険な場合に着目すれば部材の路面からの高さ、もしくは桁橋の高架下で火災が起きる場合は桁下の高さのみで議論できる。これは、部材の直下で火災が起きた場合である。また、最も危険となる最高温になる時刻、つまり図 2 中の各線の頂点での温度に着目すれば、時間の議論が不要となる。例えば Lv1 火災時の高さ 2m にある直径 1000mm ケーブルは、図 2 の緑線の最大値より得られる 210.5℃と表 1 より得られる 200℃を比較し、要求性能を満たしていないと判断できる。このような比較を繰り返して、部材温度が Lv1,2 の各基準温度を上回る高さをまとめたものを表 1 に示す。この表より、事前に防火対策を行うべき場所や火災後に診断補修すべき場所がわかる。

5. まとめ

本研究では、鋼橋の普遍的・初歩的な耐火性能評価を目的として、火災の規模に応じて Lv1,Lv2 火災として基準を設け、火災時の部材の温度を基準となる温度と比較することで、性能不十分な場所を高さの指標を用いて明らかにした。人命の危険があり最も着目すべき Lv2 のタンクローリー火災について、高さ 20m 前後までの部材が危険と評価され経済的に全ての範囲への対策は難しいことがわかる。今後は、応力再分配の影響を考慮することで、危険な場所の中で優先度をつけることや基準温度をより高く設定することが可能となる。また、一般鋼材やボルト材の高温特性とは異なり、高強度鋼材の高温時強度劣化特性はデータが少なく、他にも高温クリープ現象は火災時の変形に影響を及ぼすため重要であるがデータが少ないため、これらをより適切に評価することが課題となる。

謝辞

本研究は NEXCO 東日本技術研究助成を受けたものである。

参考文献

1)土木学会：火災を受けた鋼橋の診断補修ガイドライン，2015
2)日本建築学会：構造材料の耐火性ガイドブック，2009

表 1.各部材の基準温度と性能不十分な高さ範囲

評価対象部材 ()内は直径(mm)	基準温度		性能不十分な部材の高さ範囲	
	Lv1 火災	Lv2 火災	Lv1 火災	Lv2 火災
一般鋼材	300 ℃	485 ℃	6 m	23 m
吊橋主ケーブル(1000)	200 ℃	412 ℃	3 m	17 m
吊橋主ケーブル(600)	200 ℃	412 ℃	3 m	17 m
斜張橋主ケーブル(200)	200 ℃	430 ℃	4 m	23 m
ハンガーケーブル(100)	200 ℃	388 ℃	5 m	25 m
高力ボルト継手	250 ℃	488 ℃	7 m	23 m
ゴム支承	150 ℃	400 ℃	12 m	25 m