

鋼 I 桁橋の耐火性能評価と対策の検討

東京大学 学生会員 ○川崎 広樹
 東京大学 正会員 蘇 迪
 東京大学 正会員 長山 智則

1. 目的

橋梁では、人的被害の少なさと発生頻度の小ささ故に、建築物と比べて耐火性能が要求されていない。しかし小規模火災は頻繁に起きていて交通停止や大規模火災の事後補修にともなう膨大な経済被害などの問題も生じているため、重要な橋梁においては適切な耐火性能の要求が必要である。経済面から、異なる火災規模に対して鋼橋の耐火性能評価を確立するのが望ましい。橋梁構造物に冗長性があるため部材のみの性能評価に止まらず、様々な火災のパターンにおいて鋼橋全体として火災時の性能を評価する必要がある。これらの背景から本研究では、様々な橋梁火災のシナリオに対して伝熱変形非連成解析を行って耐火性能の評価を行って弱点部位を発見し、同様の手法で弱点部位に耐火対策をした際の効果を確認することを目的とする。

2. 耐火性能評価基準

鋼橋の耐火性能評価を評価する際、橋梁のたわみ量は変形解析から、路面温度は伝熱解析から、それぞれ算出した。本研究では、評価基準として火災のレベルごとに2つ基準を提案した。まず1つ目として小規模の火災発生後たわみ量の減少や路面温度の上昇によって、橋梁機能を回復して速やかに通行ができるような供用性の基準を検討した。変位量の基準は道路橋示方書を参考にしスパンをLとして $L^2/20000$ に設定した。本解析で用いる橋梁モデルはスパン36mなので基準値は6.48cmとなり路面温度の基準は600℃とした。次に2つ目として伝熱解析で算出された温度分布に対応した各場所の降伏応力と火災時の応力を桁ごとの冗長性を加味しつつ大小比較することで火災時の落橋の可能性を計る安全性の基準を検討した。

3. 想定シナリオ

今回想定した火災のシナリオは32種類である。火災規模として耐震設計の分野で使われるレベル設計概念を参考にして、車両火災を主とする小規模高頻度のレベル1火災とタンクローリー火災を主とする大規模低頻度のレベル2火災の二種類を想定し、表1にまとめる。橋梁の種類は都市道路に多い鋼 I 桁橋の中でも数の多い3主桁と6主桁の鋼 I 桁橋の二種類を想定した。橋梁の各寸法は首都高速典型的な道路橋形式を参考に設定した。火災の発生位置は橋梁の床板上で起きる場合と、二層構造等ゆえに橋梁の下に道路や橋梁があつて火災が発生し桁下部から熱せられる場合の2通りを考えた。また上から見た場合に車線の中央か端か、橋脚付近かスパン中央付近かの4通りにも分けた。したがって計32通りのシナリオが想定された。

表 1 レベル設計概念

	レベル1 火災	レベル2 火災
発生原因	車両火災	タンクローリー火災
発生頻度	大きい	小さい
燃焼時間	50 分程度	90 分程度
要求性能	供用性	安全性



図 1 4 種類の火災配置

4. 対象橋梁と火災をモデル化

解析ソフトは有限要素解析ソフト Abaqus を用いた。橋梁のモデルはスパン36m、桁幅は3m、下の道路からの高さは8mとし、火災のモデル化はレベル1とレベル2ごとに作成した。レベル1火災は熱対流や各火災領域を考慮したうえで層ごとに時間温度曲線の異なる直方体モデルとした。各層ごとの時間温度曲線は火災の発熱速度から計算して求めた。レベル2火災は既往研究をふまえて温度一定の直方体モデルとした。

キーワード 鋼橋, 桁橋, 火災, 耐火性能, 耐火被覆
 連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 TEL 03-5841-6097

5. 解析手順

火災時の挙動の解析として、まず伝熱解析によって火災時の温度場を計算する。その後に伝熱解析結果の温度場を用いて変形解析を行う。伝熱解析では火災に接していない部材と火災の熱放射、火災に接している部材と火災の熱伝導をそれぞれ相互作用として考慮し、変形解析では境界条件を単純支持の支承として自重を載荷した。火災時は通行車両が避難したと仮定し、車両の静的荷重および動的荷重は無視した。また火災時の風による影響について、本研究では計算が煩雑になる流体解析を避けるため、モデル化の際に火災の燃焼量を安全側に仮定し、風の影響を考慮しないこととした。

6. 解析結果

解析の結果、床板上で火災が発生する場合いずれのシナリオでの変形量は安全性許容値の範囲内に収まった。しかし 3 主桁の桁橋は車線が狭いため床板上で火災が起きると火災規模にかかわらずすべての車線の路面温度が 600℃を上回り供用性を失う可能性が高いことが分かった。6 主桁の桁橋の場合は車線が広いのですべての路面の表面温度が 600℃を越えることはなく交通整理を行えば速やかに部分的に交通再開できると考えられるため供用性を満たすと考えられる。次に桁下からレベル 1 火災によって熱せられる場合、桁の数にかかわらずスパン中央付近で火災が起きると物理特性が低下して自重に耐えられなくなり、変形量が供用性許容値を越えてしまいが分かった。続いて安全性に関しては、桁下でレベル 2 火災が起きたすべてのシナリオで崩壊の危険が大きいことが分かった。

7. 耐火被覆の有効性

続いて対策について、火災が桁上に発生する場合、過大の路面変形により供用性を失う場合については現状有効な対策がないが、桁下で火災が発生し、橋梁機能を失う場合、建築分野で使われる耐火被覆を施して伝熱を抑える対策を検討した。耐火被覆はセラタイカ 2 号を参考にして物理特性を入力した。対策コストの観点から各火災レベルごとに対策の度合を変えて解析を行い、レベル 1 火災を視野にいたした小規模の対策では桁の一部分に耐火被覆を 30 mm 施工した。桁の一部分として選択した箇所は桁の下半分のスパン中央部のみであり、これは解析結果による考察から桁の変形に特に寄与すると考えられるからである。その結果表 2 のように耐火被覆を施すことで変形量が半減して 6.48cm という供用性基準を満たすようになり対策の有効性を示すこととなった。次に桁下でのレベル 2 火災を視野に入れて桁の全部分に被覆を施した。その結果桁と下の道路に距離のある場合に限って崩壊を防げるという結果になった。したがって下の道路との距離のあるジャンクション等では利用が見込めると考えられる。既往研究で検討されている火災対策の一つである耐火パネルと比べて火災による被害を完全に防ぐことはできないが部分施工などの汎用性に富みまた施工費用を大幅に抑えることができる。

8. まとめ

鋼 I 桁橋の弱点箇所を発見すると共に耐火被覆の有効性を示すことができた。適切な被覆の厚さやその他の橋梁での効果を調べることなどが今後の課題として挙げられる。また本研究は解析のみに留まっているため実実験も必要であると考えられる。

謝辞

本研究は日本鋼構造協会平成 28 年度鋼構造研究助成を受けて行った。ここに記して謝意を表す。

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) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説, 2012.

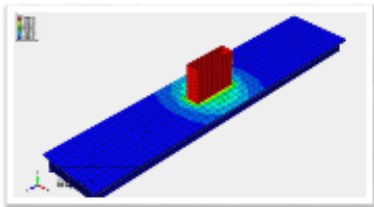


図 3 伝熱解析の結果

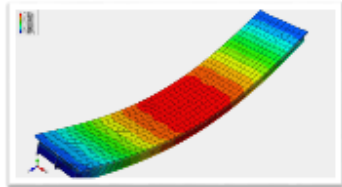


図 4 変形解析の結果

表 2 耐火被覆解析結果（レベル 1 火災）

	耐火被覆なし	耐火被覆あり
桁最高到達温度	107.6	71.6
変位量	8.40cm	4.45cm