

鉄筋コンクリート構造物の耐火性評価に関する基礎的数値解析

九州大学 学生会員 ○二村 俊輔
九州大学 正会員 園田 佳巨
九州大学 正会員 宗本 理

1. 目的

土木分野で火災事故を想定する必要がある鉄筋コンクリート構造物として、トンネルや高架橋などが挙げられ、海外ではユーロトンネルやモンブラントンネルなどで大規模な車両火災事故が発生し、多数の人命が失われただけでなく、社会的・経済的にも大きな損失を生じた事例がある。一方、日本国内においては社会的影響が甚大な火災事故は稀にしか起こっていないため、構造物の耐火性に関する意識が希薄であるのが現状である。そのような状況の中で、本年3月20日に発生した首都高速高架橋の火災事故は、コンクリート構造物の耐火性の定量的評価の必要性を改めて認識させるものである。本研究では、火災外力を受けた鉄筋コンクリート構造物の耐荷性を定量的に把握するために、有限要素法を用いた熱応力解析および構造解析によって基礎的な考察を行った。

2. 内容

2.1 解析について

図-1に示すような実規模の鉄筋コンクリート製ボックスカルバート型構造物（以後、RC構造物と称する）を対象とし、火災に対する熱伝導解析および応力解析を行った。ここでは、RC構造物の火災に対する安全性を簡易に評価するため、数種類の火災レベルを想定し、それぞれ火災発生前と消火後に時間が経過して常温に戻った後の耐荷性能を比較した。

2.2 材料の熱物性

火災事故でRC部材が長時間にわたって高温に晒された場合、コンクリートおよび鉄筋の材料特性は大きく変化することは良く知られている。本研究では、既往の研究を参照して高温環境下における各材料の力学モデルを適用することで、コンクリートと鉄筋の比熱、熱伝導率、弾性係数、圧縮・引張強度等に関して温度依存性を考慮した。

2.3 火災曲線

火災外力には、海外で規定されている火災曲線を採用して数値解析を行った。火災曲線とは、火災発生後の温度の時間的変化を表したもので、本研究では図-2に示すような火災曲線を用いた。図中のRWS曲線はオランダ運輸省で採用されている火災曲線で、トンネル内でタンクローリー等の危険物を有する大型車両が炎上した場合を想定している。一方、RABT曲線はドイツ交通省で規定されている乗用車と電車のトンネル火災を想定した火災曲線である。日本国内では海底トンネルなどの重要構造物に危険物車両の通行が許可されておらず、RWS曲線の設定は過大であると考えられることから、一般的にRABT曲線が採用されている。本研究では、通常の覆道においてRWS曲線に匹敵する火災事故が発生した最悪の場合を想定し、耐火性能を評価することにした。

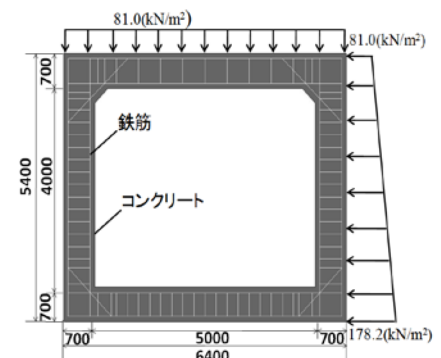


図-1 解析モデル

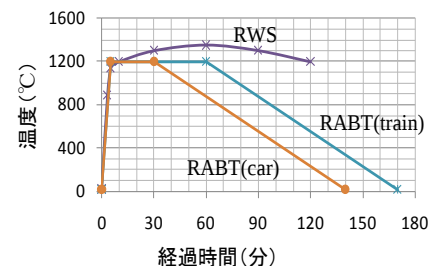


図-2 火災曲線

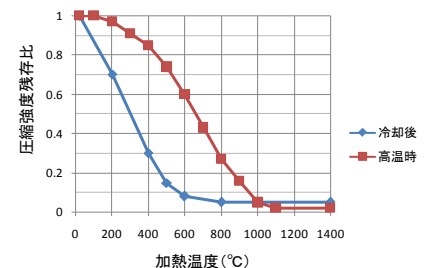


図-3 加熱温度と圧縮強度残存比の関係

キーワード トンネル火災、鉄筋コンクリート構造物、火災曲線、有限要素法

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744 ウェスト2号館1102号室 構造解析学研究室 TEL 092-802-3370

2.4 火災によるコンクリートの損傷度評価

本研究では、火災によるコンクリート材料の損傷度の評価として、Eurocode2⁽¹⁾によって提案されている高温時および冷却後のコンクリートの圧縮強度、また日本建築学会⁽²⁾の設計基準である弾性係数を用いて解析を行った。図-3 に加熱温度と弾性係数残存比の関係、図-4 に加熱温度と圧縮強度残存比の関係をそれぞれ示した。

2.5 解析手順および鉄筋コンクリートの安全性評価法

鉄筋コンクリートの火災発生前後の耐荷性能を比較し、火災事故に対する構造物の安全性を検討するため、以下の手順で有限要素法を用いた解析的な検討を行った。

- 1) 土圧が作用する覆道内で火災が発生した場合を想定した熱応力解析を行う。本解析では、熱応力と死荷重および常時荷重を同時に作用させた構造解析を行い、火災が収まって常温に戻った時点の各要素（各材料）の残存強度および弾性係数を求めた。
- 2) 1) の計算結果を用いて、常時荷重に加えて外荷重を漸増载荷させた弾塑性解析を行って終局耐力を求めた。なお、本研究では主鉄筋が降伏した時点を構造物の降伏荷重と定義し、各火災レベルに対する解析を行い、火災外力を受けていない場合の降伏荷重と比較することで安全性を検証した。

2.6 数値計算結果および考察

図-5 に火災前後における荷重-変位曲線、図-6 に最大荷重载荷時のコンクリートの最大主ひずみ分布、さらに火災レベル別に求めた耐荷性能を表-1 に示す。図-5 と表-1 から火災の有無や規模によって降伏荷重が大きく異なり、RWS 曲線が想定する火災を受けた場合には、健全時の半分程度にまで低下することが確認できる。また、図-6 に示す相当ひずみ分布で火災を受けない場合と RWS 曲線に基づく火災を受けた場合で比較すると RWS 曲線を想定した場合の方が、特に構造物の上部では耐荷性能が失われていることが把握できる。

3. 結論

本研究では、火災を受けた RC 構造物の耐荷性能を評価するため、熱応力解析によって火災により低下した材料の圧縮強度や弾性係数を求め、それらを用いた弾塑性解析によって残存耐力の検討を行った。その結果、火災外力を受けた RC 構造物の耐荷性能を定量的に把握することができた。

参考文献

- (1)CEN:EN1992-1-2:2004 Eurocode4 - Design of concrete structures - Part 1-2:General rules - Structural fire design, Dec.2004concrete structures - Part 1-2:General rules - Structural fire design, Dec.2004
- (2) 日本建築学会：構造材料の耐火性ガイドブック，2009.

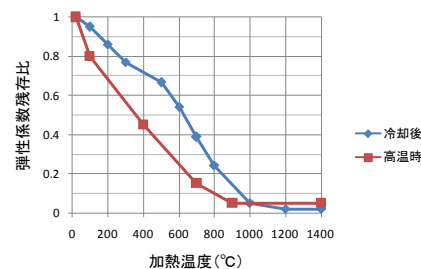


図-4 加熱温度と弾性係数残存比の関係

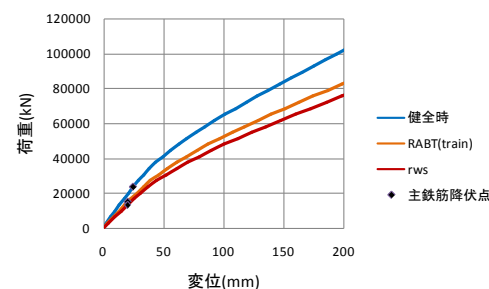


図-5 火災前後における荷重-変位曲線

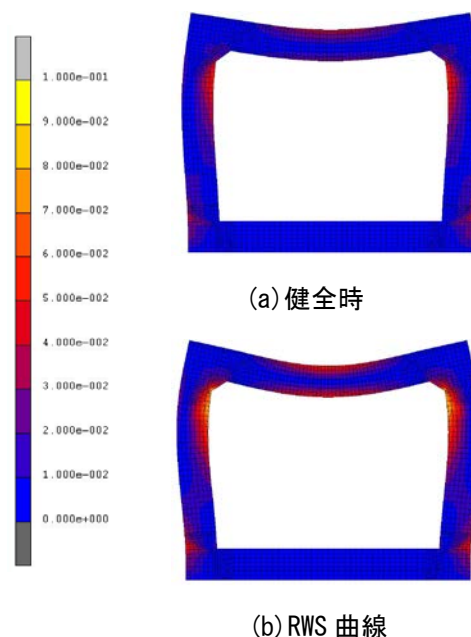


図-6 最大荷重载荷時の相当ひずみ

表-1 火災別による耐荷性能

火災名	健全時	RABT(train)	RWS
降伏荷重(kN)	23889	15249	13519
降伏荷重時変位(mm)	24.5	20.1	19.6
降伏荷重低下率	-	0.362	0.434