

火災による爆裂が発生した RC 柱の受熱温度推定に関する研究

中央復建コンサルタンツ(株) 正会員 ○大岩 司  
 大阪工業大学 正会員 大山 理

1.はじめに

近年、火災により橋梁がコンクリートの爆裂や桁の変形、最悪の場合落橋するといった大きな被害を受ける事例が増えているため、土木学会やコンクリート工学会からマニュアルや報告書が発刊されている<sup>2),3)</sup>。しかしこれらは、鋼の塗膜損傷、コンクリートの変色状況から受熱温度を推定し、その状況から通行可否の判定が行われているのに留まっているが現状である。このことから、火災による熱影響を受けた構造物の耐荷力を数値的に評価することが管理者側には必要であると考えられる。さらに、道路橋が火災による熱影響



(a) 火害箇所



(b) 爆裂箇所

写真-1 一般国道1号守口高架橋における火災事例

を受けた場合、最悪、迂回路を設けて交通を確保することができるが、公共性の高い鉄道橋の場合は、その確保が難しく、より迅速かつ正確な判断が必要となる。ここで、鉄道橋の橋脚によく用いられる鉄筋コンクリート柱(以下 RC 柱と略記)が加熱された際に、懸念される爆裂(写真-1(b))の影響を受けた場合の耐荷力を求めるためには、精度の高い熱伝導解析によって受熱温度を把握する必要がある。本研究では、爆裂が発生した RC 柱の受熱温度について、解析および実験を行い、検証した結果について報告する。

2.実験概要

本実験に用いた供試体の一般図と熱電対の配置を図-1 に示す。

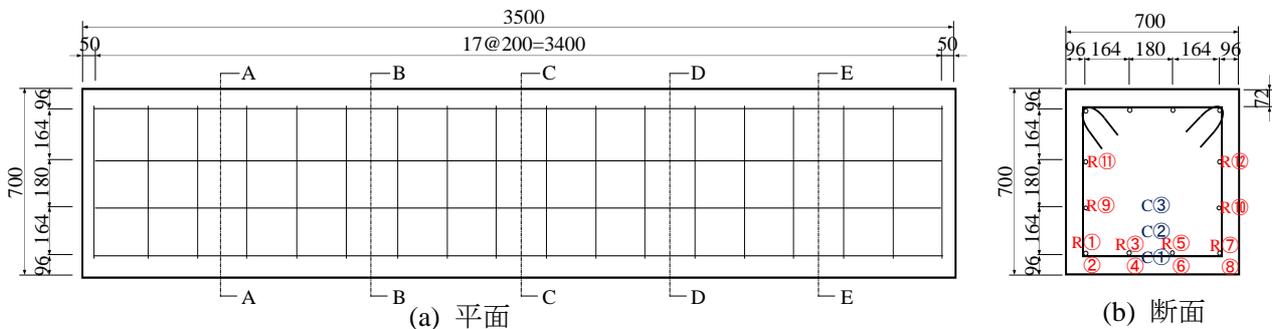


図-1 供試体の一般図と熱電対配置(寸法単位: mm)

同図より、熱電対を A~E 断面の箇所に配置し、主に、鉄筋の受熱温度を測定できるようにした。ここで、下段鉄筋において、偶数番号が鉄筋下側、奇数番号が鉄筋上側に配置した。また、コンクリート部の測定位置として、C1, C2 ならびに C3 は、コンクリート表面から内部に向かって、96mm, 178mm ならびに 260mm の位置となっている。なお、鉄筋径は D16 を用い、純かぶりは 88mm である。本実験で用いたコンクリートの圧縮強度は、加熱試験日である材齢 18 日の計測を失敗したため、値を得ることができなかったが、材齢 12 日で 71.2N/mm<sup>2</sup> であることから、それ以上の値と考えられる。

加熱試験を行うにあたっては、大阪工業大学が所有する水平耐火炉(幅 3m, 長さ 8m, 高さ 1.5m : エアガスバーナー 20 台 : 燃料 LP ガス)を用いた。ここで、設定温度は Eurocode<sup>4)</sup>が規定するタンクローリーの横転を想定した HC 曲線とし、加熱時間は 90 分とした。なお、設定温度と実験温度に差異はほとんど生じなかった。

キーワード 火災, RC 柱, 爆裂, 受熱温度推定, 熱伝導解析

連絡先 〒533-0033 大阪市淀川区東中島 4-11-10 中央復建コンサルタンツ(株) TEL : (06)6160-1139

### 3.実験結果

一例として、B断面 R6、C2 および D断面 R4、C2 の測定結果を図-2 に示す。同図より、爆裂深さ 83mm の B断面 R6 では、爆裂面から鉄筋までの距離が 5mm しかないことから、加熱 14 分から急激に温度が上昇し、90 分後では 732°C の温度上昇がみられた。一方、爆裂深さ 79mm の D断面 R4 では、90 分後で 672°C と爆裂深さの違いによって B断面と 60°C の温度差がみられた。また、コンクリート内部である C2 では、どちらの断面も 100°C 前後の温度上昇となった。

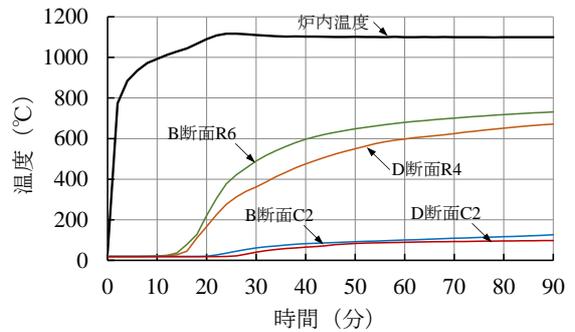


図-2 測定結果

### 4.解析結果

爆裂状況を写真-2 に示し、測定した爆裂深さを用いて図-3(一例として B断面)に示す解析モデルを作成した。なお、解析の便宜上 2 分の 1 モデルを作成し、爆裂深さの測定箇所との間は線形補間により深さを仮定した。解析時に必要となる熱物性値(単位体積重量, 比熱, 熱伝導率)は各材料ともに Eurocode<sup>5),6)</sup>が規定する値を用いた。ここで、コンクリートの比熱は、含水率測定試験結果より、3%の値を用い、熱伝導率は上限値と下限値の平均値を用いた。



写真-2 爆裂状況 図-3 B断面解析モデル

また、爆裂観測状況より、2~10 分で爆裂が徐々に発生し、10~16 分で最盛期を迎え、20 分後にほぼ終息した。よって、本解析では、最盛期が収まった 16 分後に、一気に断面が損傷すると仮定した。

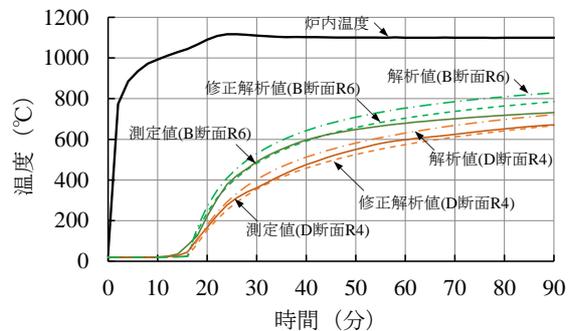


図-4 測定値と解析値の比較

以上の条件を用いて解析を行い、一例として、B断面 R6 および D断面 R4 の測定値と解析値の比較を行った結果、測定値より解析値の方が最大で約 100°C の高い値が算出された。この誤差に関して、断面のモデル化、熱物性値の設定、加熱条件等の再現性が不足していると考えられる。ここで、文献 7)によれば、Eurocode の熱物性値は安全側の設計を意図し、高い熱伝導率と低い比熱をコンクリートに設定していると考えられている。そこで、コンクリートの熱伝導率の上限値に 0.8、比熱に 1.2 を乗じた解析結果が、測定値に最も近づくという研究成果を適用し、解析を行った結果を図-4 に示す。同図より、修正前と比べて解析値が測定値を良く再現できており、本研究の条件下での爆裂を考慮した RC 柱の熱伝導解析を概ね評価できた。

### 5.まとめ

本研究では、鎮火後、迅速かつ正確な運行可否の判断が求められる鉄道橋の RC 柱を対象に、爆裂の影響を考慮した受熱温度推定の実験的検討を行い、以下の結果が得られた。

- 1) 本実験で用いた断面寸法(700×700mm)では、10~16 分で爆裂の最盛期を迎え、20 分後にほぼ終息した。
- 2) 本研究の条件では、Eurocode が規定するコンクリートの熱伝導率の上限値を 0.8 倍、比熱を 1.2 倍することで、解析値が測定値を良く再現できており、爆裂を考慮した RC 柱の熱伝導解析を概ね評価できた。

最後に、今後の課題として、解析モデルや爆裂条件など、種々の検証を重ね、爆裂を考慮した熱伝導解析手法を確立するとともに、部材の受熱温度簡易推定式の提案を目指す予定である。

### 【参考文献】

- 1) 例えば、大山 理, 今川雄亮, 栗田章光: 火災による橋梁の損傷事例, 橋梁と基礎 Vol.42, No.10, pp. 35-39, 2008.10.
- 2) 公益社団法人 土木学会: 鋼構造シリーズ 24 火災を受けた鋼橋の診断補修ガイドライン, 2015.7.
- 3) 公益社団法人 日本コンクリート工学会: コンクリートの高温特性とコンクリート構造物の耐火性能に関する研究委員会 報告書, 2012.5.
- 4) CEN: Eurocode 1-Actions on structures-Part 1-2: General actions-Actions on structures exposed to fire, EN 1991-1-2, 2002.
- 5) CEN: Eurocode 2-Design of concrete structures-Part 1-2: General rules-Structural fire design, prEN 1992-1-2, 2002.
- 6) CEN: Eurocode 3-Design of steel structures-Part 1-2: General rules-Structural fire design, prEN 1993-1-2, 2003.
- 7) 斎藤秀人, 森田 武: 火災時におけるコンクリート内部温度の予測手法, 清水建設研究報告書, 第 80 号, pp.25-32, 2004.10.