

鋼桁の加熱冷却実験を模擬した解析モデルの構築

名古屋大学大学院	学生会員	○国井 俊輔
名古屋大学大学院	正会員	北根 安雄
名古屋大学大学院	正会員	廣畑 幹人
名古屋大学大学院	フェロー会員	伊藤 義人

1. 目的

近年、橋梁が火災を受ける事例が数多く報告されている。橋梁が火災を受けた場合、調査、診断ののち、必要に応じて補修補強や架替えなどにより長期間の交通規制が強いられる。一日でも早い復旧のためには、損傷状況や補修補強の要否、交通再開の可否を迅速且つ的確に判断することが重要となる。しかしながら、火災を受けた橋梁に対する診断法が今日までに確立しておらず、さらに、橋梁火災に関する実験や解析などのデータが不足しているのが現状である。そこで、本研究では鋼桁の加熱冷却実験¹⁾の結果を模擬できる解析モデルを作成し、実験結果と解析結果を比較することで、解析モデルの妥当性を検証した。さらに、作成した解析モデルにより加熱冷却過程において鋼桁の応力やひずみがどのように変化するかを明らかにした。

2. 実験概要

供試体は、長さ 2750mm、断面 588x300x12x20mm の H 型鋼に、荷重点および支点位置に補剛材として 548x130x12mm の鋼板を溶接して製作した(図-1)。実験手順は荷重、加熱、冷却、除荷の順番で行った。荷重は支点間距離が 2,300mm となるように単純支持し、合計 600kN 一定の荷重を 4 点曲げで荷重した。荷重した状態で、ヒーターを下フランジ下面にあて、下フランジの温度が 900°C になるまで加熱した。効率的に桁の温度を上昇させるために、桁の下半分を断熱材で覆った。ヒーターを中央パネル下に設置した場合と端部パネル下に設置した場合の 2 種類の加熱位置を検討した。下フランジの温度を 900°C の状態で 1 時間保持した後、断熱材等を取り外して、ホースにより放水して冷却した。なお、ホースからの水量が少なく、効率的に温度を下げるため下フランジには氷塊を置いた。最後に、桁温度が常温に戻った後、除荷した。これらの過程において桁温度、たわみ、ウェブの面外変位を計測した。中央加熱の場合の冷却直前のウェブの温度分布を図-2 に示す。

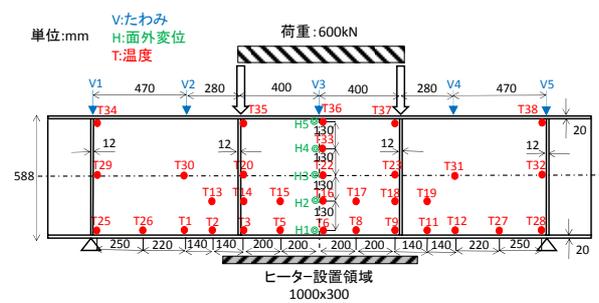


図-1 供試体の各種計測位置

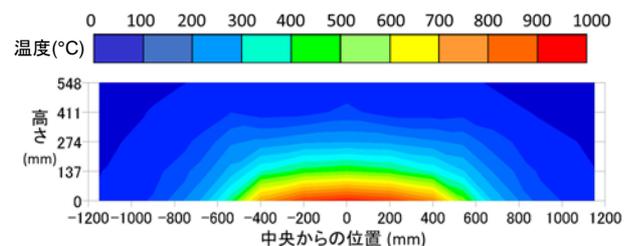


図-2 ウェブの温度分布(中央加熱)

3. 解析条件

加熱冷却実験における荷重、加熱、冷却、除荷の過程に対して汎用有限要素解析ソフトウェア Abaqus 6.13 を用いて熱応力解析を行った。作成した解析モデルを図-3 に示す。要素はシェル要素を使用し、要素サイズは 50mm 程度とした。材料定数は、弾性係数、応力-ひずみ関係(図-4)、密度、熱伝導率、比熱、線膨張係数に対して温度依存性を考慮して定義した。最初に、2 つの中間補剛材

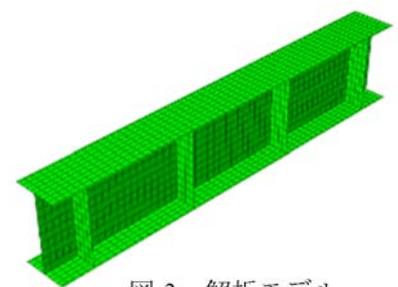


図-3 解析モデル

上の節点集合それぞれに 300kN の集中荷重を与えた。加熱は下フランジ下面に表面熱流束として入力した。次に、冷却過程では、放水および氷塊設置による熱伝達を考慮するため、氷塊設置領域では 1500W/m²K、それ以外の領域

キーワード 鋼桁、火災、有限要素解析

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院 社会基盤工学専攻 TEL052-789-2736

では 300W/m²K という大きい熱伝達係数を用いて対流熱伝達を考慮した。表面熱流束および熱伝達係数は、温度履歴が実験結果と合うように、大きさや時間変化を決定した。最後に荷重をゼロにして除荷を行った。なお、解析においては高温時のクリープひずみを考慮していない。

4. 解析結果

図-5 と図-6 に中央加熱における温度の時刻歴、たわみの時刻歴をそれぞれ示す。ここで、実線は実験値を、破線は解析値を表している。温度の時刻歴(凡例の計測位置は図-1 参照)では、誤差は最も温度の高い T6 で 50°C 程度と非常に小さく、概ね実験値と解析値が一致している。たわみの時刻歴では、加熱途中で僅かに誤差が生じているが、最大たわみは、中央加熱において、実験値が 10.0mm に対して解析値が 10.6mm、端部加熱において、実験値が 9.0mm に対して解析値が 8.4mm となっており、誤差は約 6%にとどまっている。しかしながら、冷却過程におけるたわみは誤差が大きくなっており、残留たわみは、実験値で 1.5mm に対して解析値は 0.2mm であった。これらの誤差の原因として、温度分布や温度履歴の誤差が考えられ、特に冷却過程での条件の違いが誤差の主原因であると考えられる。パネルの面外変位は最大 0.25mm 程度であり、実験結果と同様に非常に小さい値となった。

図-7 に各時刻における橋軸方向の応力のコンター図を示す。加熱前は、下フランジでは引張応力、ウェブ中央では応力がゼロとなっているが、加熱することで下フランジは圧縮応力が、ウェブ中央では引張応力となっている。これは、下フランジの局所的な熱膨張を、相対的に温度が低いウェブが拘束するため、下フランジに圧縮力が、ウェブに引張力が作用するからである。さらに、桁の高温化にともない降伏点が低下し、発生応力が降伏点を上回ると、下フランジに圧縮塑性ひずみ、ウェブに引張塑性ひずみが生じる。冷却により熱ひずみはゼロとなるが、下フランジでは圧縮塑性ひずみが、ウェブでは引張塑性ひずみが存在しており、それらが互いに拘束されることで、下フランジには引張応力が、ウェブには圧縮応力が発生する。最終的に、ウェブ中央で最大 266MPa の圧縮、ウェブ下側で最大 206MPa の引張の残留応力が生じていた。

5. まとめ

作成した解析モデルによって鋼桁の加熱冷却実験における桁の応答を解析した結果、冷却後の残留たわみでは誤差が約 1mm あったものの実験結果を精度よく再現できた。また、解析により、加熱冷却過程における応力とひずみの変化や残留応力の分布を明らかにした。局所的に加熱・冷却された鋼桁は、熱応力の発生と降伏点の低下によって塑性ひずみが発生し、それによって残留応力や残留たわみが生じる。残留たわみや残留面外変形が小さくても、大きな残留応力が生じることが明らかとなった。今後、高温クリープがこれらの結果に与える影響を検討する必要がある。

参考文献

1) 国井俊輔, 廣畑幹人, 北根安雄, 伊藤義人: 桁下での火災を模擬した鋼桁の加熱冷却実験, 平成 26 年度土木学会中部支部, pp.37-38, 2015.3.

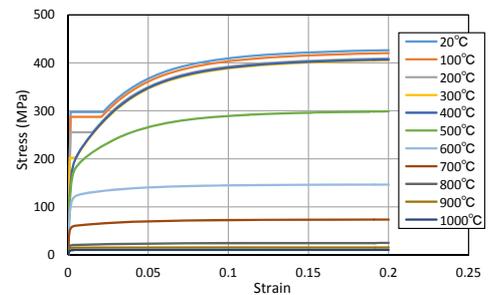


図-4 温度毎の応力-ひずみ関係

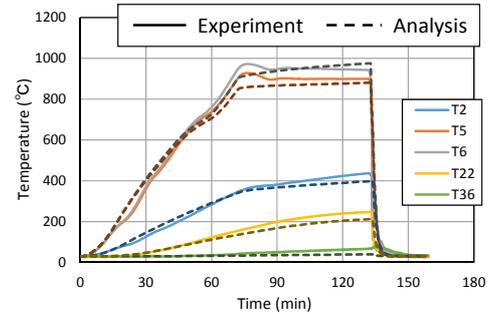


図-5 温度の時刻歴の比較

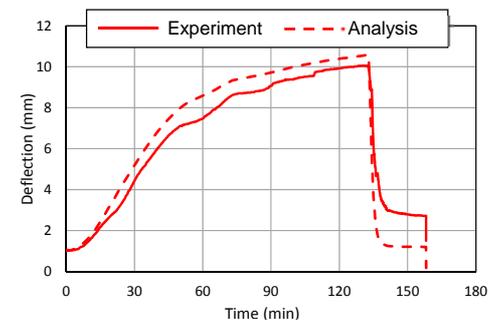


図-6 たわみの時刻歴の比較

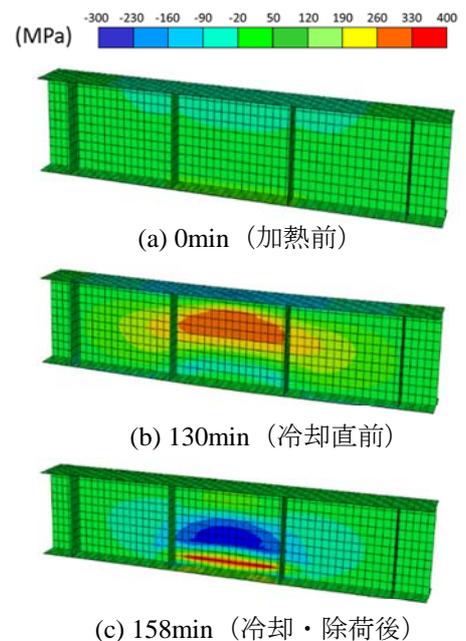


図-7 橋軸方向の応力のコンター図