

鋼橋部材製作における加熱矯正のシミュレーションに関する基礎的検討

大阪大学大学院 工学研究科	学生会員	徳丸 悠二郎
大阪大学大学院 工学研究科	正会員	廣畑 幹人
IHI インフラシステム		武川 哲
IHI インフラシステム		岡田 誠司
崇城大学		東 康二

1. はじめに

鋼橋部材製作に用いられる溶接接合は、他の接合方法に比べ狭隘部での作業が容易な点や構造の軽量化が可能な点などの利点を有する一方で、溶接熱による変形や残留応力の発生といった欠点がある。溶接変形は鋼橋部材の組立精度や強度に影響を及ぼすため、許容値を超える変形が発生した場合、変形の矯正が必要となる。加熱矯正では、ガスバーナーなどの入熱による部材表裏の温度差を利用して変形を矯正する。加熱位置や時間などの入熱条件は熟練技術者の経験に依存している部分が多く、技術者数の減少や高齢化による技術継承が課題とされている。このような背景から、加熱矯正における鋼部材の力学的挙動を解明し、加熱矯正プロセスを簡易化、効率化することが望まれる。本研究では、加熱矯正の簡易化、効率化を実現するために活用するツールを構築することを念頭に、有限要素法を用いた熱弾塑性解析による加熱矯正プロセスのシミュレーションに関する基礎的検討を実施した。

2. 鋼板加熱実験とそのシミュレーション

鋼板に対するバーナーの入熱を再現するモデルを構築するため、鋼板加熱実験を実施した。実験に用いた鋼板は SS400 であり、図-1 に示す寸法の供試体に対して、バーナーによる加熱を行った。鋼板とバーナーの距離を 200 mm で一定とし、鋼板の片面中央部分（図中×印の位置）を 20 秒間加熱した（図-2）。

汎用解析ソフト ABAQUS の温度-変位連成解析を用い、加熱実験をシミュレーションした。4 節点シェル要素を用いて供試体をモデル化し、温度依存型の材料定数を与えた¹⁾。また、熱的境界条件として空気中への熱伝達、力学的境界条件として剛体変位のみ拘束した。入熱方法については、炎の噴流を直接受ける領域と、噴流の壁面衝突による拡散領域の2つに分割した。炎の噴流を直接受ける領域については、循環気流が生じる内

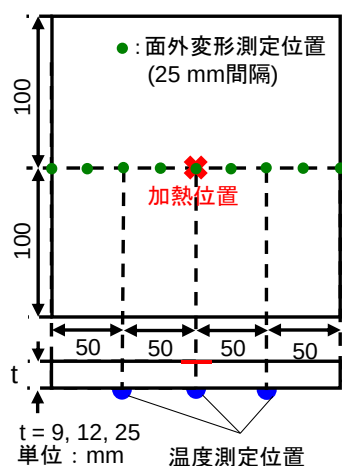


図-1 鋼板供試体



図-2 鋼板加熱実験の様子

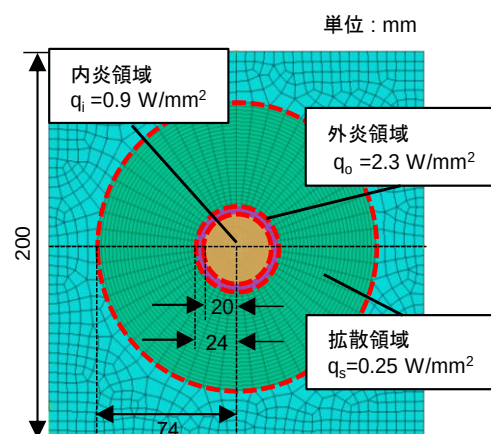


図-3 入熱モデル

キーワード 鋼橋, 加熱矯正, 変形, 熱弾塑性解析

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL 06-6879-7598

炎と外炎では熱流束が異なることを考慮し^{2~4)}，内炎領域と外炎領域に分割した．すなわち，図-3に示すように入熱領域を内炎領域，外炎領域，拡散領域の3つに分けて，それぞれの領域に異なる大きさの表面熱流束を与えた．鋼板の非加熱面で計測した温度履歴が再現できるように表面熱流束の値を調整した．内炎領域に 0.9 W/mm^2 ，外炎領域に 2.3 W/mm^2 ，拡散領域に 0.25 W/mm^2 の入熱を与えることで，図-4に示すように全ての板厚の供試体について実験で得られた温度履歴および面外変形を再現することができた．

3. I形断面部材の加熱矯正シミュレーション

既往の研究⁵⁾において実施された，フランジに 4 mm の溶接変形を有する I 形断面部材に対する，点状加熱法による加熱矯正実験（図-5）をシミュレーションした．入熱後，鋼材表面に現れる円模様の半径が，本研究における鋼板加熱実験の半径と類似していたため，鋼板加熱実験の場合と同じ半径の入熱モデルを用いた．ウェブ上端から 50 mm ，長さ 5466 mm の中央位置で計測した温度履歴が再現できるように入熱量を調整した．

各領域への入熱比率を考慮した上で，内炎部に 3.11 W/mm^2 ，外炎部に 8.05 W/mm^2 ，拡散部に 0.88 W/mm^2 を与えることで，図-6に示すように実験の温度履歴が再現できた．変形は 4 mm から 1.15 mm に矯正され，実験における矯正効果（ 4 mm から 0 mm ）が概ね再現された．

4. まとめ

- (1) 板厚 9 mm ， 12 mm ， 25 mm の鋼板に対する加熱実験を行い，実験を熱弾塑性解析によりシミュレーションした．内炎領域，外炎領域，拡散領域に異なる入熱を与えるモデルを構築し，その妥当性を確認した．
- (2) I 形断面部材に対する加熱矯正実験のシミュレーションを行い，フランジの溶接変形が修正される状態を概ね再現した．

【参考文献】 1)中川弘文，鈴木弘之：鋼橋の崩壊温度，鋼構造論文集，第6巻，22号，pp.57-65，1999．
2)水谷幸夫：燃焼の基礎技術(II)，技術資料鉄と鋼 第70年第8号，pp.774-784，1984．3)富田康光，橋本聖史，大沢直樹，新海信隆，澤村淳司：線状加熱における加熱ガス炎と鋼板の熱伝達に関する研究，秋季造船三学会連合大会，pp.111-116，1997．4)松岡潔，富田康光，大沢直樹，橋本聖史，澤村淳司：熱伝導逆解析による線状加熱時の入熱量の推定法に関する研究，関西造船協会論文集第237号，pp.255-261，2002．
5) Koji Azuma: Improvement of the Work Efficiency and Optimization of the Material Properties in Heating Correction Processes of Welded I-section Steels, International Institute of Welding 72nd Annual Assembly, Doc. No. XV-1587-19, 2019.

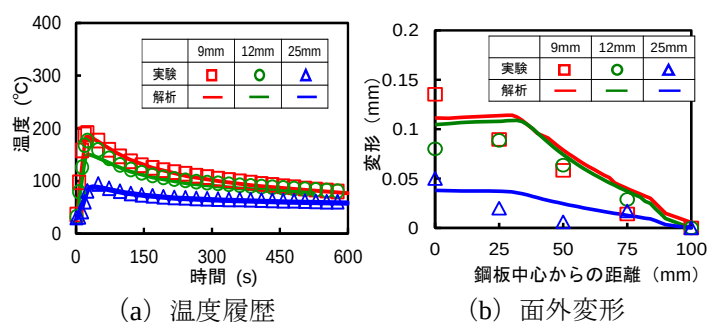


図-4 鋼板加熱の実験および解析結果

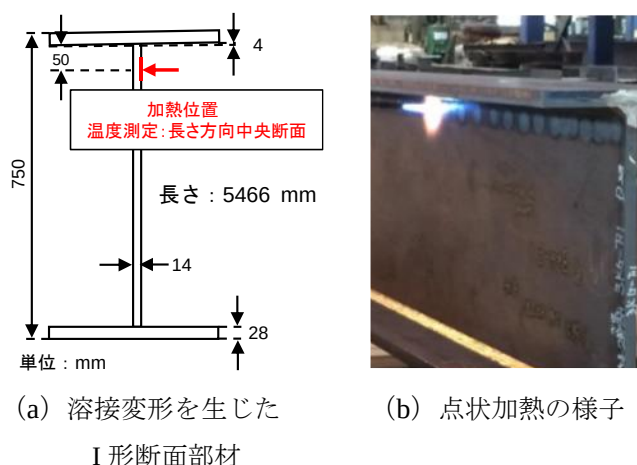


図-5 I 形断面部材の加熱矯正

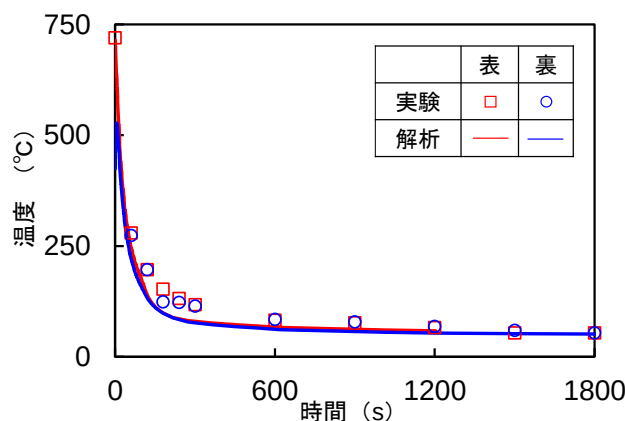


図-6 I 形断面部材の加熱矯正による温度履歴