

鋼橋部材の加熱矯正シミュレーションにおけるガス炎入熱モデルに関する検討

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	正会員	武川 哲
IHI インフラシステム	正会員	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では、入熱による変形、残留応力が不可避免的に発生する。溶接変形は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。著者らは、加熱矯正の簡易化、効率化を実現するためのツールとして、有限要素法を用いた熱弾塑性解析による加熱矯正のシミュレーション手法に関する検討を実施している。本稿では、既報^{1,2)}で着手したガス炎による入熱モデルを精緻化するために実施した一連の実験および解析の結果について報告する。

2. 鋼板加熱実験とそのシミュレーション

鋼板に対するガス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^{1,2)}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200mmで一定とし、鋼板の片面中央部分を20秒間加熱した(図-2)。加熱面の目標温度は600℃とし、熱電対とサーモグラフィを用いて、図中青枠で示す中心線上の温度履歴を計測した。加熱および冷却後、図-1に示す位置で面外変形をダイヤルゲージを用いて計測し、X線回折法を用いて残留応力を計測した。

汎用解析ソフトABAQUSの温度-変位連成解析を用い、鋼板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^{3,4)}。また、熱的境界条件として空気中への熱伝達を考慮し、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、既往の文献⁵⁾から熱流束分布の形状を推定し、複数の短冊形状で入熱するモデルを検討した。入熱領域は、まず、炎の噴流を直接受ける内炎部と、噴流の壁面衝突による外炎部の2つに分割した。炎の噴流を直接受ける内炎部については、加熱目標である中心位置と中心から約20mmの位置で熱流束が異なることを考慮し⁶⁾、中心内炎領域と

単位：mm

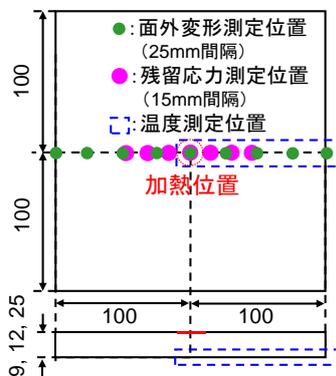


図-1 鋼板供試体



図-2 鋼板加熱実験の様子

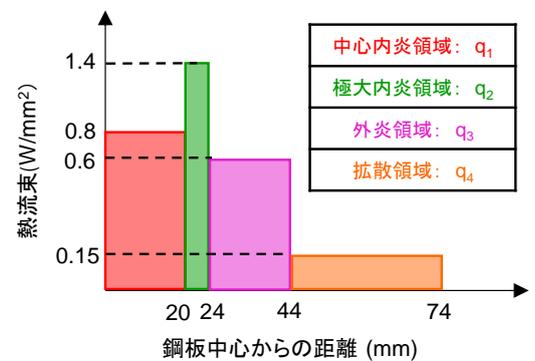


図-3 表面熱流束の分布

キーワード 加熱矯正, 変形, 残留応力, 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

極大内炎領域に分割した。また、外炎部では残留応力が大きく変化する位置（今回の実験では鋼板中心からの距離が 45 mm の位置）で外炎領域と拡散領域の 2 つに分割した。すなわち、図-3 に示すように入熱領域を中心内炎領域、極大内炎領域、外炎領域、拡散領域の 4 つに分け、それぞれの領域に異なる大きさの表面熱流束を与えた。表面熱流束の値は、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調整した。中心内炎領域に 0.8 W/mm^2 、極大内炎領域に 1.4 W/mm^2 、外炎領域に 0.6 W/mm^2 、拡散領域に 0.15 W/mm^2 の入熱を与えることで、図-4、5 に示すように、9 mm、25 mm の供試体について実験で得られた温度履歴、面外変形および残留応力を精度よく再現することができた。板厚 12 mm の場合についても同様に実験結果を解析により再現できることを確認している。

3. まとめ

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。中心内炎領域、極大内炎領域、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。今後は部材の形状および寸法、溶接変形の大きさおよび傾向に応じた加熱矯正条件の提示を目標に、本モデルの活用を検討する。

【参考文献】 1)徳丸悠二郎，廣畑幹人，武川哲，岡田誠司，東康二：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，令和元年度土木学会年次学術講演会，pp.58-59，2020. 2)徳丸悠二郎，廣畑幹人，武川哲，岡田誠司，東康二：溶接組立部材の加熱矯正シミュレーション手法の提案，鋼構造年次報告論文集，第 28 巻，pp.731-738，2020. 3)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. 4)金裕哲，李在翼，猪瀬幸太郎：すみ肉溶接で生じる面外変形の高精度予測，溶接学会論文集，第 23 巻，第 3 号，pp.431-435，2005. 5)熊田雅弥，馬淵幾夫：衝突噴流による熱伝達に関する研究，第 1 報，二次元空気噴流に直角に置かれた平板上の流れおよび物質伝達，日本機械学会論文集，第 35 巻，273 号，pp.1053-1061，1969. 6)水谷幸夫：燃焼の基礎技術(II)，技術資料 鉄と鋼 第 70 巻，第 8 号，pp.774-784，1984.

【謝辞】 研究の一部は、(一社)日本鋼構造協会 2020 年度鋼構造研究助成事業を受けて実施した。記して謝意を表す。

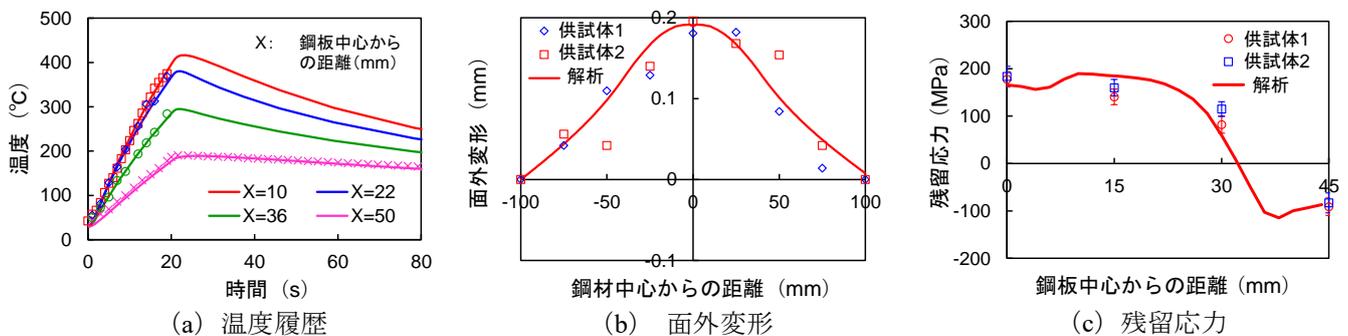


図-4 板厚 9 mm の実験および解析結果

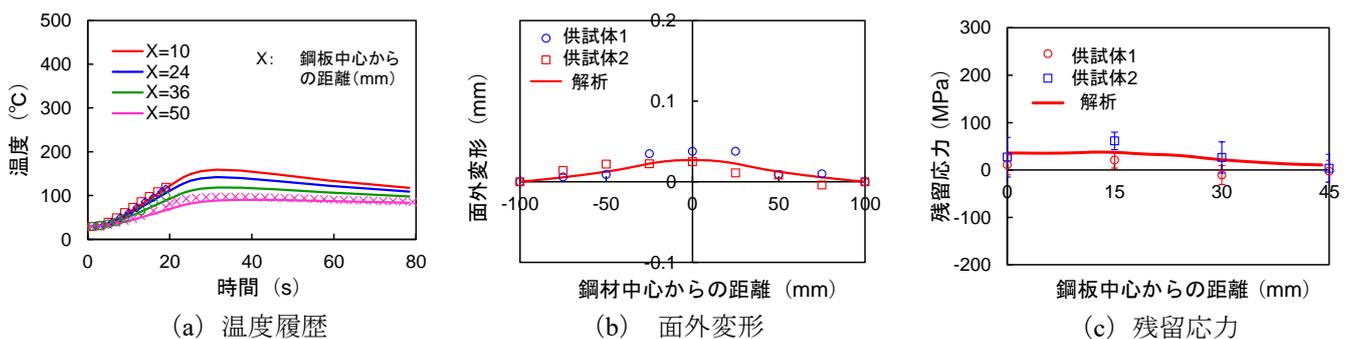


図-5 板厚 25 mm の実験および解析結果