

波形鋼板ウェブ構造に生じる溶接残留応力分布の推定

○ 九州大学大学院・正会員・小沼恵太郎
九州大学大学院・正会員・後藤浩二
九州大学大学院・正会員・豊貞雅宏

1 緒言

近年、張出し架設工法を用いた波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋の施工実績が増加している。波形鋼板ウェブの橋軸方向接合に高力ボルト接合が採用されることが多いが、耐久性や景観性の観点からは溶接接合の方が好ましい。波形鋼板ウェブの橋軸方向接合に溶接接合を採用する場合、継手の疲労強度の評価が問題となるが、これに対し大型供試体を用いた大規模疲労試験によること多く、溶接工程から疲労き裂の発生及び伝播までを系統的且つ理論的に検討した例はほとんど報告されていない。鋼構造物の疲労損傷は、応力集中源である溶接止端部から発生・伝播するものが大半である。一方、溶接残留応力が疲労寿命に影響を与えることはこれまでの種々の研究から明らかである。従って、波形鋼板ウェブ構造の疲労強度に関して理論的に検討を行うためには、この構造の溶接止端部に生じている溶接残留応力を定量的に推定することが必要である。

そこで本研究では、固有応力法¹⁾を利用して、波形鋼板ウェブ構造の溶接部付近の溶接残留応力分布を推定した。

2 残留応力推定手法

溶接残留応力の推定手法は熱弾塑性解析と変形発生源を考慮した弾性解析に大別される。前者は実際の溶接をシミュレートしたものではあるが、詳細なモデル化並びに膨大な計算時間が必要となるばかりでなく、力学的溶融状態における弾塑性挙動の追跡を行うことに起因する誤差が累積し、この結果が最終的な残留応力や変形に大きな誤差を生じさせることもある。一方後者は、固有ひずみや固有応力の形で表現される変形発生源を付与して弾性有限要素解析を行うものであり、熱弾塑性シミュレーションに比べて短時間でかつ簡易的であるにもかかわらず、特に大型構造物の残留応力推定に関しては、一般に要求される精度を十分に確保できる手法であり、本報告ではこの手法を適用して、波形鋼板ウェブとフランジ間のすみ肉溶接により生じる残留応力を推定する。

具体的には、(1) 入熱情報より固有応力を計算して固有ひずみに変換、(2) FEM モデルに固有ひずみを付与、(3) 弾性 FEM 解析を行い残留応力を算定、という手順で残留応力が計算できる。

変形発生源については、溶接入熱量との関係が最も整っており、今回の解析対象のように溶接線が折れ曲がっている場合でも変形発生源を与えることが比較的容易な固有応力法を適用する。固有応力を与えるためには溶接入熱量の情報が必要であるが、すみ肉溶接に関しては、過去の実測データより脚長と入熱量の関係¹⁾が与

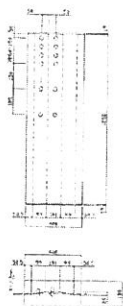


図1 波形鋼板ウェブ構造モデル

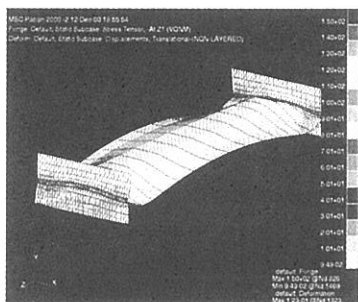


図2(a) 計算結果(変形と von Mises 応力分布)

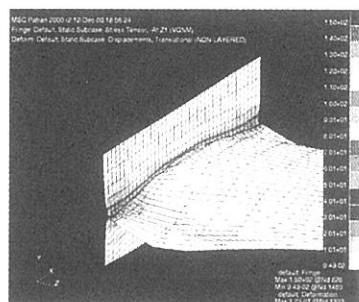


図2(b) 計算結果の拡大図

えられているため、これを用いて脚長 (4mm) から入熱量を推定した。
弾性 FEM 解析には汎用 FEM コード MSC/NASTRAN を用いた。

3 計算例

図 1 に解析対象の波形鋼板ウェブ構造モデルを、図 2(a)(b) に計算結果 (変形と von Mises 応力分布) 示す。なお、変形量は 1000 倍に拡大して表示している。計算に当たっては下フランジ中央の一点 ($z = 0$) を完全拘束した。図 3 と図 4 は、それぞれ溶接線に沿ったウェブ中の要素に生じた残留応力の溶接線平行成分と溶接線直角方向成分である。また、図 5 に von Mises 相当応力を示す。ウェブの波形形状の影響のため、ウェブの R 部に対応する箇所では、ウェブ表裏面での残留応力の値が異なっている。図 2 から分かるように波形ウェブは表面 (図中では Front と示している) 方向へ変形しており、その結果として裏面に比べて大きな引張残留応力 (溶接線直角方向) が生じている。

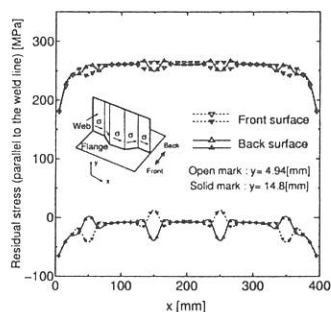


図 3 溶接線に沿ったウェブ中の要素に生じた残留応力 (溶接線平行成分)

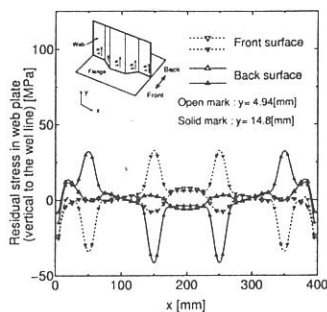


図 4 溶接線に沿ったウェブ中の要素に生じた残留応力 (溶接線直角方向成分)

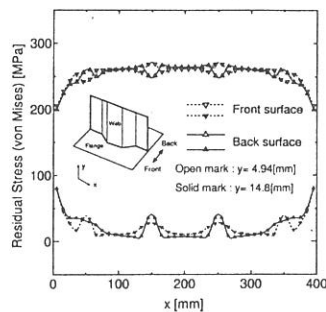


図 5 溶接線に沿ったウェブ中の要素に生じた残留応力 (von Mises 相当応力)

4 結言

大型溶接鋼構造物の残留応力分布推定に適した、固有応力を変形発生源とする弾性 FEM 解析を用いて波形鋼板ウェブ構造モデル中に生じている溶接残留応力を推定した。同手法の妥当性に関しては、これまでに種々の検証例が報告されており、今回の計算結果も妥当な結果を与えていると考えられる。なお、同手法は鋼製橋脚の隅角溶接部や鋼コンクリート合成構造のジベル溶接部等、様々な溶接構造物への適用が可能であるため、今後、それらの疲労寿命評価を行う際に採用されることが期待できる。

参考文献

- 1) 松岡一祥, 吉井徳治, “角回し溶接継手の残留応力”, 日本造船学会論文集, Vol.180(1996), pp.753-761