

大阪大学 接合科学研究所 学生員 ○北村 拓也
正会員 堤 成一郎
Fincato Riccardo

1. 緒言

高い降伏強度を有する高強度鋼を構造物に適用することで、鋼重の低減およびそれに伴う輸送・製作コストの削減が期待される¹⁾。しかし、溶接入熱による継手強度の低下、溶接割れに対する感受性の高さへの懸念、溶接継手の疲労強度向上が母材強度に対して低いことなどが高強度鋼の適用拡大を阻害しており、現状では中・軟鋼程度の鋼材が多用されている。そこで高強度鋼使用時の強度低下対策として、レーザー溶接による入熱量の低減や低強度溶接金属を用いたアンダーマッチング手法などの実験的検討が行なわれている。しかし、強度や残留応力が複雑に分布し、さらに溶接条件によってもそれら特性が変化する溶接継手の強度評価手法に関しては、まだ十分に確立されているとはいえない。

そこで本研究では、高強度鋼溶接継手の強度評価手法の確立を目的として、まず母材 HT780 および 3 パス突合せ継手試験片に対する形状計測、ビッカース硬さ計測、x 線残留応力計測、単調載荷試験時の荷重、変位およびデジタル画像相関法 (DIC) を用いたひずみ計測を行う。次に計測により得られた強度分布および詳細形状を考慮した有限要素解析を実施し、実験結果との比較を通じて考察を行なう。

2. 実験内容および結果

本研究では、板厚 9mm の HT780 鋼板を母材として、溶接金属に MG80 を用いたアーク溶接 (表 2 パス、裏 1 パス) により突合せ溶接継手を作製した。試験片形状および寸法を Fig.1 に示す。また、Fig.2 に示すように、試験片表裏面の形状測定を行なうことで継手試験片における余盛り形状および目違い量を取得した。次に Fig.3 に示すように、継手断面に対して、板表裏面から 0.5mm より内部の領域でビッカース硬さを計測した。この結果より溶接 1・2 パス目の溶接金属と母材間の熱影響部において広い軟化域が形成された一方で、裏面 3 パス目の溶接部に硬化域が形成されたことがわかる。続いて母材および継手試験片に対して、変位速度 (1mm/min) 一定で単調引張試験を実施した。実験より得られた公称応力-変位関係を Fig.4 に示す。この図より母材試験片に比べ継手試験片において最大応力および伸びともに低下していることが分かる。

次に単調引張試験時の局所的な応力ひずみ挙動と硬さ分布の関係把握を目的として、まず DIC を活用することにより局所的なひずみ挙動を取得する。続いて DIC により得られた局所的なひずみと公称応力の関係から 0.2%、1%および 2%耐力を算出する。これにより各ひずみ算出位置における硬さと耐力の関係を整理する。なお、予め実施した弾性・有限要素法解析結果により算出したひずみ計測位置の応力集中を考慮することにより耐力値を補正する。例として、上記手順によって得られた 0.2%耐力と硬さの関係を Fig.6 に示す。

Takuya KITAMURA, Seiichiro TSUTSUMI, Fincato RICCARDO
tsutsumi@jwri.osaka-u.ac.jp

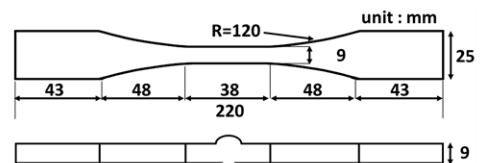


Fig. 1 試験片形状および寸法

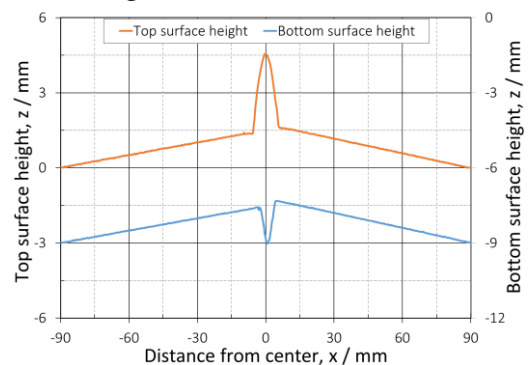


Fig. 2 継手断面形状

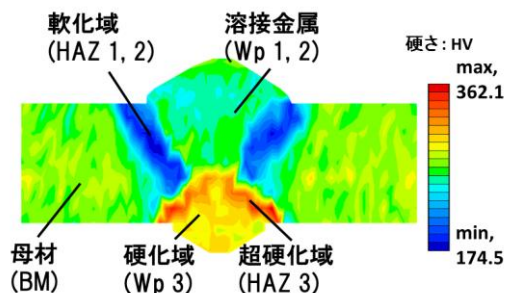


Fig. 3 継手断面硬さ結果

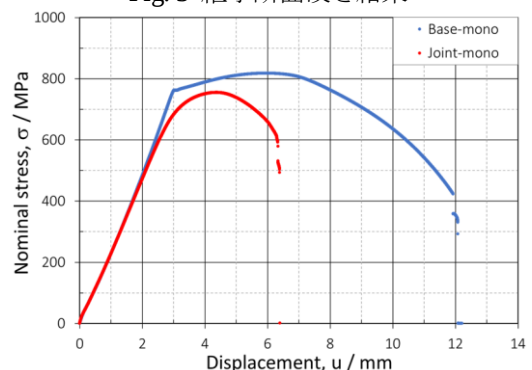


Fig. 4 公称応力-変位関係

この図よりそれぞれの硬さ領域における耐力と硬さの相関を把握することができる。また一般的な耐力と硬さの関係 ($\sigma_f = HV \cdot 3$) に比べ強度が低い領域が見られた。これは耐力値の補正に用いた局所的な応力値の精度や試験片に存在する溶接残留応力による影響などが考えられる。

3. FEM 解析による検討

先の実験を模擬した FEM 解析を行なった。本研究では材料モデルとして Fatigue-SS Model²⁾を採用した。また解析ソルバーとして ABAQUS を採用し USUB 機能を用いて上記モデルを実装した。また対称性を考慮して母材モデルは 1/8, 継手モデルでは 1/2 を解析対象とし, 端部に強制変位を与えることで単調引張試験の再現を行った。また実験結果より求めた耐力と硬さの関係を考慮して, 各硬さ領域に対応した降伏強度を設定することで, 溶接部の強度分布を再現した。継手モデルの解析より得られた公称応力-ひずみ関係 (DIC 38mm ゲージ) を Fig.7 に示す。なお強度分布の影響を確認するため, 均一な母材強度を仮定した継手モデル (Joint-Base), 各強度分布エリアに対して, $HV \cdot 2.7$ 値を初期降伏応力と定義したモデル (Joint-HV) の解析結果も示す。これらの結果より, 強度分布と DIC により得られた局所的な応力材料特性を考慮することにより, 実験結果に近い応力ひずみ応答が得られることが分かる。また実験および解析結果における特定ひずみ量における最大主ひずみ分布を比較すると, 強度分布を考慮した解析では応力集中部および軟化域におけるひずみの局所化を再現できていることがわかる。

4. 結 言

本研究では, HT780 による突合せ継手を対象として, 溶接部の強度不均一 (硬・軟化域) およびビッカース硬さと耐力の関係を定量化した。また引張試験を模擬した数値シミュレーションを実施し, 溶接部における強度分布を考慮することにより, 応力ひずみ関係および最大主ひずみ分布の再現性が向上することを明らかにした。今後は, 溶接により導入される残留応力および延性き裂の発生を考慮することにより, より精度の高い評価手法の確立につなげることが望まれる。

参考文献

- 1) 穴見健吾, 三木千寿, 山本晴人, 樋口嘉剛: 高強度鋼溶接継手部の疲労強度と疲労強度向上法, 土木学会論文集 No.675, I-55, pp.251~260, 2001
- 2) 堤成一郎, 村上幸治, 後藤浩二, 豊貞雅宏, 高サイクル疲労過程の繰返し応力-ひずみ関係, 日本船舶海洋工学会論文集, (2008), pp.243-250

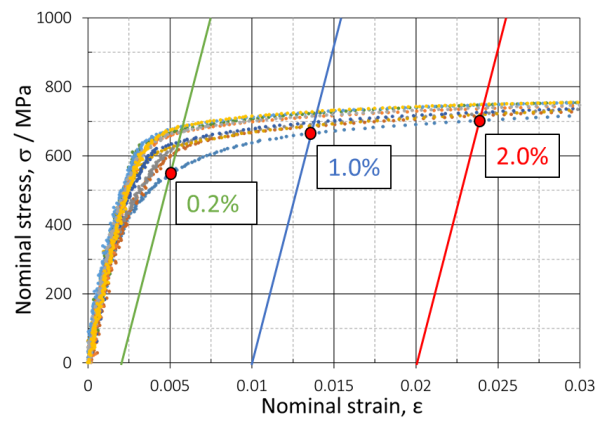


Fig. 5 局所位置における公称応力-ひずみ関係

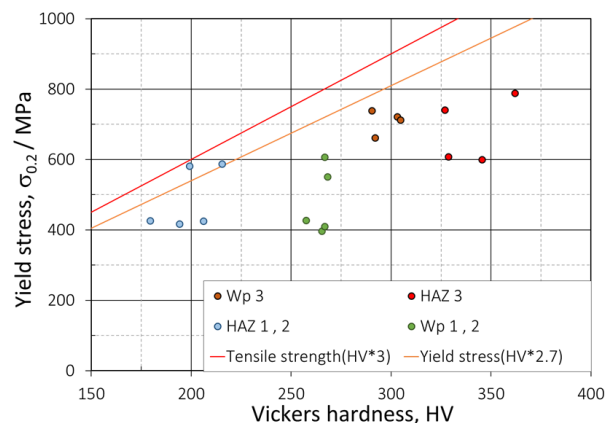


Fig. 6 0.2%耐力-硬さ関係

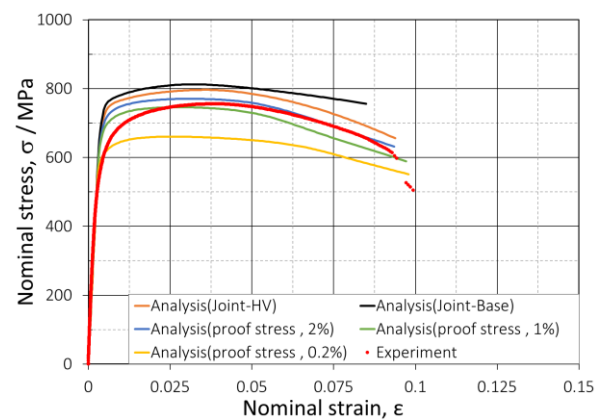


Fig. 7 公称応力-ひずみ関係 (DIC 38mm ゲージ)

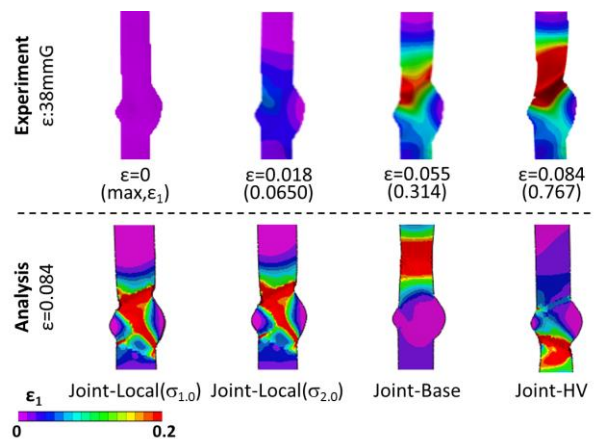


Fig. 8 DIC および FE 計算によって得られた最大主ひずみ分布