局所押圧による面内ガセット継手の疲労特性向上効果

日本製鉄　正会員　○島貫　広志，　正会員　米澤　隆行

１．背景と目的

面内ｶﾞｾｯﾄ継手の溶接止端部は JSSC の疲労設計指針において H 等級となっており疲労強度が低いため，現在では疲労設計でできるだけ避けられているが，古い工場のｸﾚｰﾝﾗﾝｳｪｲｶﾞｰﾀﾞｰ(CRG)などで多用されており，現在も多大な労力をかけて疲労き裂の点検・補修を繰り返し，稼働させているｹｰｽがある．近年は溶接止端部に圧縮残留応力を付与する，疲労対策である各種ﾋﾟｰﾆﾝｸﾞ処理が一般化したため，面内ｶﾞｾｯﾄ継手においても活用されている．しかし，面内ｶﾞｾｯﾄ継手止端部はﾋﾟｰﾆﾝｸﾞﾋﾟﾝの先端が処理部から逃げやすく処理効率が低い為，工場での生産活動へ支障をきたすことがある．ﾋﾟｰﾆﾝｸﾞを用いずに溶接止端部に圧縮残留応力を付与して疲労特性を高める方法の一つとして，局所押圧法が知られている [1]．本研究では局所押圧法を面内ｶﾞｾｯﾄ継手の疲労対策として止端部に適用した実験を行い疲労特性の向上効果の確認を行った．さらに FEM 解析を用いて溶接止端部付近に発生する応力挙動を推定し，疲労き裂の発生抑制や進展の抑制への効果について考察した．

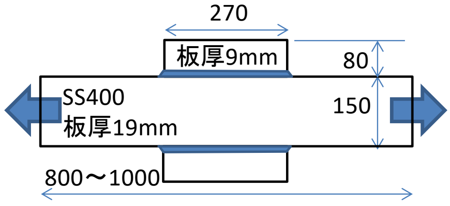

図1　面内ｶﾞｾｯﾄ継手試験体

２．試験片の製作

図1の面内ｶﾞｾｯﾄ継手を作製し，疲労試験に供した．使用鋼材には板厚 19mm と 9mm の溶接施工も行われる一般構造用鋼である SS400 材を用いた．溶接は主板とｶﾞｾｯﾄの片表面を合わせ，CO2 溶接による完全溶け込み溶接で組み立て，脚長は 5-6mm 程度を狙いとした．

なお，試験体は①溶接ままの疲労寿命を求める試験体と②疲労試験前に押圧処理を行う試験体と③疲労試験を行い，き裂が生じた止端部を押圧処理した後に疲労試験を継続する試験体を準備した．②の試験体は新設の溶接構造物に本処理を行った場合を想定し，③の試験体は既存構造体で既に繰り返し荷重にさらされ疲労き裂が発生してしまった後で本処理が効力を奏するかについて検討することを目的とした．

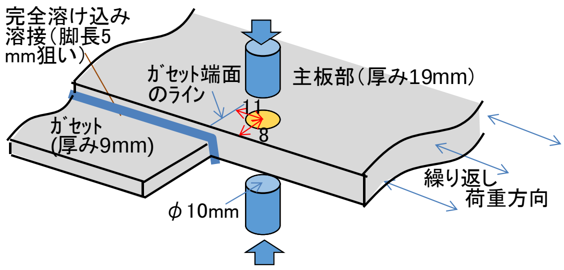

図2　押圧処理した溶接止端部の例

３．局所押圧条件

図 2 に示すように試験体のｶﾞｾｯﾄの端面から 11mm，主板の端面から 8mm 離れた位置を中心に，直径 10mm の押圧治具を用い，両面から凹み量が板厚の 5%を狙って押圧した．押圧処理を行った部位の例を図3に示す．

図3　押圧部の例

４．疲労試験結果

疲労試験結果を図4に示す．なお，試験体の疲労寿命 Nf は，ｶﾞｾｯﾄの 4 止端の内の一つからのき裂長が主板幅の約 10mm に到達した繰り返し数と定義した．①の溶接ままの疲労寿命に対して，溶接まま試験体に押圧処理を行った②試験片では特に低応力範囲側で大幅に寿命が延長された．また，③のき裂発生後の進展抑制効果を確認する試験体では、止端に主板をほぼ貫通し主板幅方向に約 3mm のき裂が生じた時点で押圧処理を行い，疲労試験を継続した．他の溶接止端についても同様に，3mm 程度のき裂を確認した時点で順に押圧処理を行った．この結果，200 万回を越した②の試験体の寿命と同等以上となり，き裂検出のために溶接止端から 5mm 部に添付したひずみｹﾞｰｼﾞの出力にほとんど変化がなく，試験を中止した．

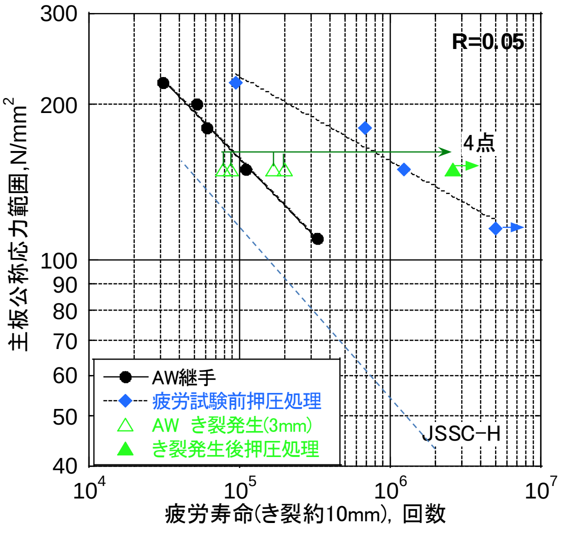

図4　疲労試験結果

以上の試験の結果，新設構造物に処理することを想定した試験で

キーワード　疲労強度，残留応力，Local compression，面内ｶﾞｾｯﾄ継手，溶接止端
連絡先　〒293-8511　千葉県富津市新富 20-1　日本製鉄（株）鉄鋼研究所　材料信頼性研究部

© Japan Society of Civil Engineers

も，既設構造物を想定し，疲労負荷によりき裂探傷ｽﾌﾟﾚｰで容易に確認できる程度のき裂（主板板厚貫通で主板幅方向に 3mm 程度）発生後の処理でも大きな疲労き裂進展抑制効果が見られた．なお，疲労試験条件は面内ｶﾞｾｯﾄ継手の JSSC の疲労等級 H（40MPa で 200 万回）に比べ遥かに大きい応力範囲（Δσ=150MPa）での結果であることも着目すべき点である．

４．疲労寿命延長メカニズムの考察

本工法の疲労寿命延長ﾒｶﾆｽﾞﾑは(a)新設の場合と(b)既設で既に疲労き裂が生じた後での処理の場合では若干異なるが，基本的には溶接止端部付近への圧縮残留応力が効果の主因であり，(a)新設の場合，溶接止端の引張残留応力の緩和と，圧縮残留応力の付与による止端部の平均応力の低減効果である．また，(b)疲労き裂発生後の場合，押圧処理で溶接止端部側に強い圧縮応力が導入される．この強い閉口応力により，処理後の繰り返し負荷でもき裂口はある程度の応力まで開かず，実質的なき裂長が短くなった効果と相まってき裂先端のΔK が抑制されるためき裂進展が遅延すると考えられる。

４．１　FEM 解析

次に，押圧処理により溶接部付近に生じる残留応力とその後の引張負荷止端部の応力状態を検討した．厳密な残留応力推定では溶接残留応力との重畳を考慮する必要があるが，溶接止端や主板部が明らかに塑性変形するﾚﾍﾞﾙまで塑性流動を起こさせているため，溶接時の残留応力は緩和され，新たな残留応力分布が形成されていると考え，押圧により生じる残留応力と引張負荷のみを検討した．図 4 に FEM 解析ﾓﾃﾞﾙと解析条件を示す．押圧-除荷による圧縮引張負荷を考慮し，硬化則には移動硬化を用い，圧部は剛体治具との接触条件のみ設定し摩擦は無いものとした．

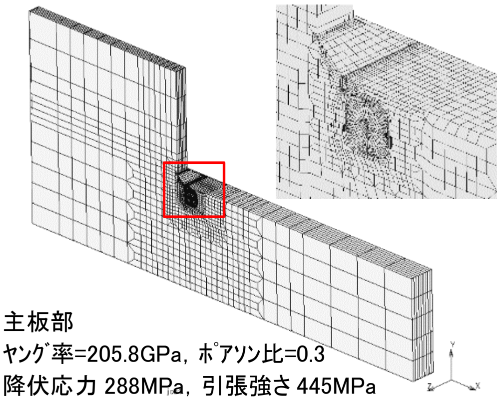

図4　1/4 対称 FEM 解析ﾓﾃﾞﾙ例(3mm き裂あり)

FEM 解析結果の例を図5に示す．図ではｶﾞｾﾞｯﾄの板厚中央付近断面での溶接止端部と押圧部のみを拡大し，a)には押圧処理を行わずに主板に 102MPa 付与した時点(き裂口が開口を開始する応力)，b)には押圧処理後 102MPa 付与した場合，c)は b)に 3mm のき裂があった場合の応力分布を示した．図5a)では溶接止端部に強い応力集中がみられるが，図5b)では，止端の応力集中の緩和が確認されており，図5c)では応力分布から先端を除き，き裂部付近の応力が非常に低いことがわかる．図 6 では押圧処理の有無による負荷応力に対するき裂の無い止端部（想定き裂長さ 3mm までの領域）近傍応力分布を比較した。解析結果から明らかに特に止端から 1 mm程度までの応力が著しく低下しており，3mm 先でも 100MPa 程度の応力低減効果がみられた．

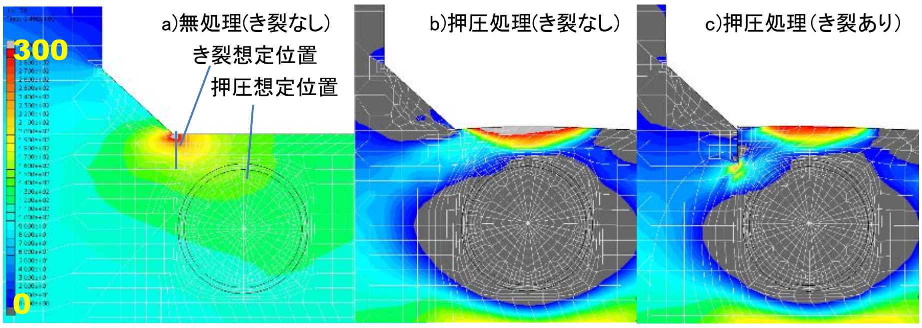

図5　ｶﾞｾｯﾄ止端部の材軸方向応力の解析例　（負荷応力 102MPa）

５．疲労き裂抑制効果の考察

疲労き裂発生後に押圧処理した場合は，圧縮負荷によりき裂が閉口し，ある程度の負荷(102MPa)を受けるまで開口しないため，実質上き裂が短くなった効果と圧縮残留応力による開口抑制で K 値が小さくなる．図 6 中に図 5a,b)ﾓﾃﾞﾙで計算した片側貫通亀裂の Weight Function[2)]による K 値の算定結果を示す．処理止端のき裂の K 値は無処理に比べ著しく小さい．また，処理継手の K 値が 0 を超えるのは負荷応力 58MPa 以上であり，き裂開口時の応力範囲が制限される．これらの効果により，疲労き裂進展速度が低下したものと考えられる．

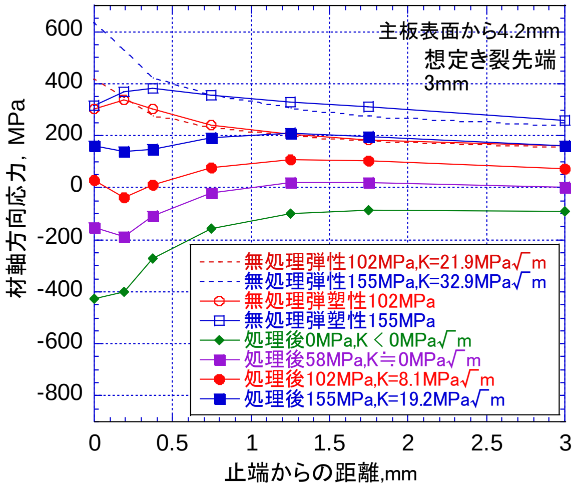

図 6　想定き裂部の応力分布とＫ値

参考文献：1)例えば Booth,G.S,1991.　2)Grinka G.,Shen G. 1991.

© Japan Society of Civil Engineers