

有効切欠き応力概念の十字溶接継手ルート破壊疲労強度評価に対する適用性

法政大学 正会員 森 猛

1. はじめに

国際溶接学会の疲労設計指針には、公称応力やホットスポット応力を用いた疲労強度評価法に加えて、有効切欠き応力を用いた疲労強度評価方法も示されている。有効切欠き応力は、溶接止端（あるいは溶接ルート）の局部的な形状も考慮して弾性計算から求められるき裂発生点での応力である。具体的には、溶接止端（あるいは溶接ルート）の形状のばらつきと、溶接止端（あるいは溶接ルート）では高い応力集中のために局部的な塑性変形が生じることを考慮し、その位置に半径 1mm の切欠きの存在を仮定して求められる。その際の疲労強度等級 FAT は 225 (200 万回疲労強度 225N/mm^2) とされている。このように、有効切欠き応力を求めることができれば、継手形式や疲労破壊起点によらず、一つの強度等級で疲労強度評価が可能になる。また、複雑な構造部についても有効切欠き応力を求めることができれば、容易に疲労強度評価が行える。

十字溶接継手がルート破壊する場合の疲労強度評価は、その寿命の大半が疲労き裂進展過程で費やされることから、破壊力学を用いた疲労き裂進展解析が有効とされており、著者が行ったものを含めていくつかの研究においてその有効性が確かめられている。

本研究では、主板の厚さ、中板の厚さ、溶接脚長、溶接形状、溶け込み深さ、中板に作用する応力と主板に作用する応力の比をパラメータした疲労き裂進展解析結果と、有効切欠き応力概念を用いた疲労強度・寿命解析結果を比較することにより、十字溶接継手がルート破壊する場合の疲労強度評価に対する有効切欠き応力概念の適用性について検討する。

2. 解析対象と有効切欠き応力の計算方法

解析対象は、図 1 に示す荷重伝達型十字溶接継手である。すなわち、主板の厚さ T_m (20~40mm)、中板の厚さ T_a (20~40mm)、主板側の溶接脚長 H_m (5.0~60mm)、中板側の溶接脚長 H_a (5.0~60mm)、溶接の溶け込み深さ P_w (0~16mm)、主板に作用する応力 σ_m に対する中板に作用する応力 σ_a の比 (-1.0~1.0) を変えた計 108 種類のモデルである。これらの継手を対象に 2 次元平面ひずみ条件化で有限要素応力解析を行い、有効切欠き応力を求めた。要素分割の例を図 2 に示す。曲率半径 1mm の切欠き部分の要素寸法は 0.1mm としている。ヤング率は 200kN/mm^2 、ポアソン比は 0.3 とした。

疲労き裂進展解析においては、最大主応力説でき裂の進展方向を判断し、疲労き裂進展速度表示式は国際溶接学会の指針に従った。

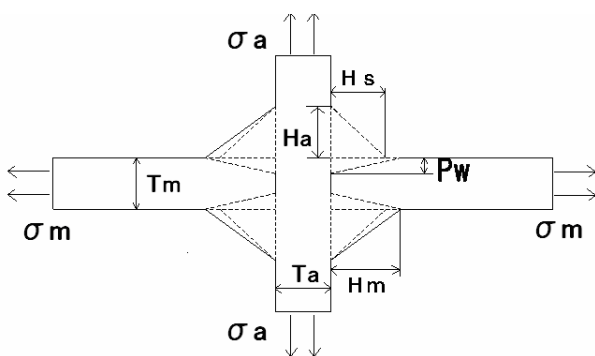


図1 解析モデル

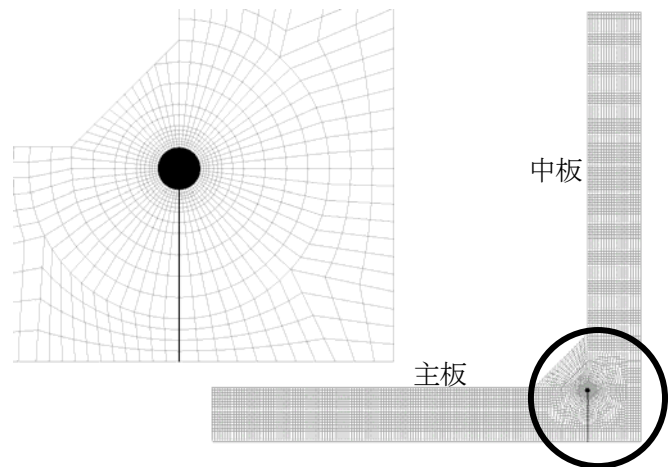


図2 要素分割図

キーワード：有効切欠き応力、疲労き裂進展解析、十字溶接継手、ルート破壊

連絡先：〒184-8584 東京都小金井市梶野町3-7-2 法政大学工学部 TEL：042-387-6279

3. 有効切欠き応力の適用性の検討

有限要素解析より求めた切欠き部の応力集中係数の計算例を図3に示す。応力集中係数は、円孔に沿う最も大きい主応力を主板に作用する公称応力 σ_m で序することにより求めている。したがって、有効切欠き応力は、この応力集中係数に σ_m を乗じることにより求められる。有効切欠き応力範囲に対する200万回疲労強度が 225N/mm^2 であり、疲労寿命が応力範囲の3乗に反比例するという性質を利用して、それぞれの継手モデルの200万回疲労強度を求めた。それらと疲労き裂進展解析から求めた200万回疲労強度を比較した結果を図4に示す。有効切欠き応力から求めた200万回疲労強度は、進展解析から求めた200万回疲労強度のほぼ下限に位置しており、有効切欠き応力概念で安全側の疲労強度評価を行えると言える。しかし、これらの関係にはばらつきが大きく、さらに詳細な検討が必要である。

十字溶接継手・ルート破壊の疲労強度は、種々の因子の影響を受けるが、有効切欠き応力によって各因子が疲労強度に及ぼす影響をどの程度整理できるか検討した。着目した因子は、板厚、溶接サイズ、溶け込み深さ、板厚比（中板厚/主板厚）、溶接脚長比（ H_a/H_m あるいは H_m/H_a ）、2軸応力比（ σ_a/σ_m ）である。それらの結果を図5(a)~(f)に示す。図の縦軸は、基準とするモデルの200万回疲労強度に対するそれぞれのモデルの強度の比である。疲労き裂進展解析から求めた関係の傾きに比べて、傾きが急であれば、そのパラメータの影響を有効切欠き応力概念は過大に評価していることになる。これらの図から判断して、溶接サイズ、溶け込み深さ、板厚比、溶接脚長比、が疲労強度に及ぼす影響は有効切欠き応力概念で整理できるといえる。しかし、板厚、2軸応力比の影響を過大に評価する結果となっている。

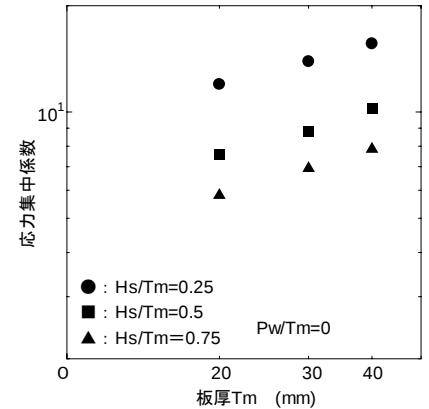


図3 板厚の影響

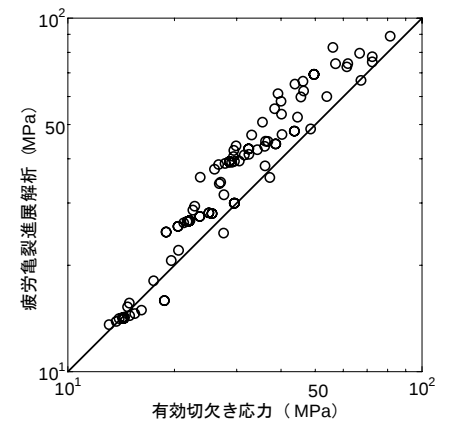


図4 200万回疲労強度

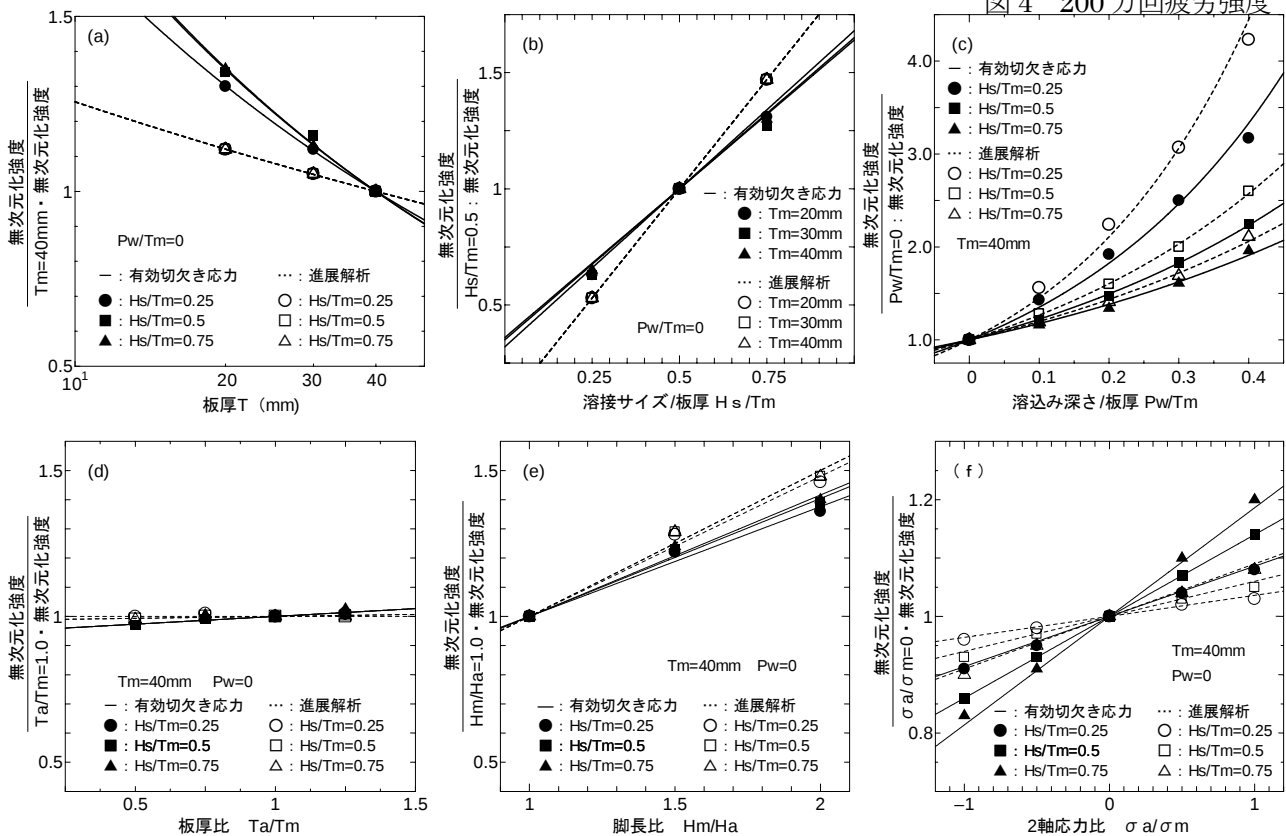


図5 各因子が200万回疲労強度に及ぼす影響