リブ十字溶接継手の止端形状と疲労寿命

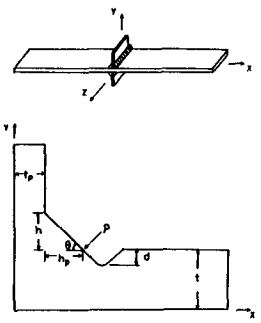
名城大学　　海老名　光雄　　名城大学　　児玉　英治
名城大学　学　塚本　勝巳　　名城大学　正　近藤　明雅

1．まえがき

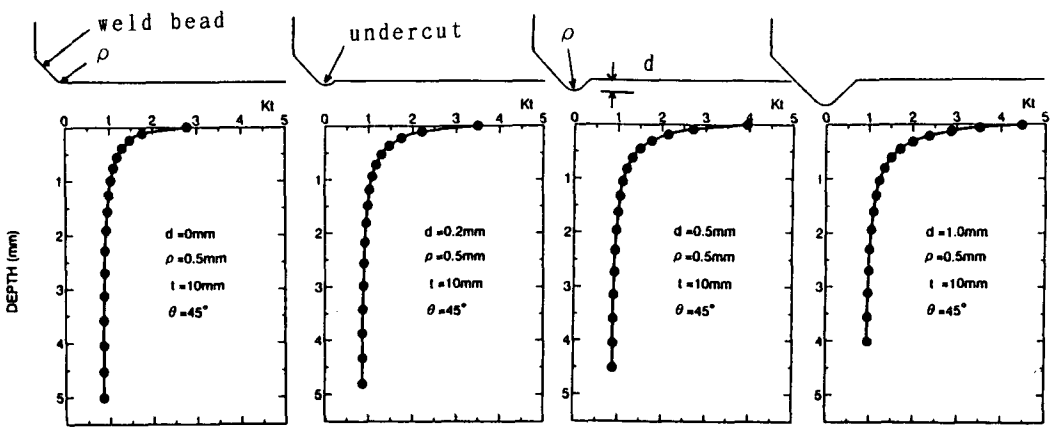
リブ十字溶接継手の疲労寿命は溶接止端部の止端形状、すみ肉溶接の脚長、主板板厚およびリブ板厚の影響を受ける。これらの要因のうち止端半径の影響が最も大きい。また、アンダーカット、オーバーラップ、ビード波形の不整、ブローホール、スラグ巻き込みおよび溶け込み不足等の溶接欠陥も疲労寿命に大きな影響を与える。本研究では、止端半径とアンダーカットに着目し、止端部にアンダーカットがある場合と、止端部をグラインダー仕上げした場合についてＦＥＭ解析と疲労亀裂進展解析を行って疲労寿命の比較検討をしたものである。

2．ＦＥＭ解析

図－1にＦＥＭ解析モデルを示す。リブ十字すみ肉溶接継手試験体の上下、左右の対称性を考慮して試験体全体の1/4区域を対象とした。要素には四辺形平面ひずみ要素を用い最小要素寸法を0.08mmとした。解析はリブ板厚、脚長、止端角を一定にし、母材板厚、止端半径（アンダーカット切欠半径）、アンダーカット深さを変えた場合について行った。**図－2**に、溶接止端（アンダーカット切欠底）を含む、板厚方向のσ_x分布（応力集中係数）を示す。アンダーカットが深くなるほど、切欠底の応力集中係数は高くなり、d=0mmの時 Kt=2.78、d=0.2mmの時 Kt=3.49、d=0.5mmの時 Kt=3.94、d=1.0mmの時 Kt=4.47であった。また、σ_xが1以上となる板厚方向の範囲はアンダーカットがない場合（d=0mm）には板表面より1mm程度の深さであるのに対し、アンダーカットの深さがd=1mmの場合には、切欠底より約2mmの範囲まで応力集中の影響がおよぶ。**図－3**に溶接止端（アンダーカット切欠底）のσ_x（応力集中係数）とアンダーカット深さの関係を示す。止端半径ρ=0.5mmの場合には、0.2mm深さのアンダーカットが存在すると切欠底の応力集中係数はアンダーカットがない場合に比べて急激に増大するが、深さが0.2mmをこえるとKtの増加割合は緩やかになる。止端半径ρ=1.0mmの場合には、0.2mmのアンダーカットがあっても、ρ=0.5mmの時のような急激なKtの増大は見られず、単調に増加している。

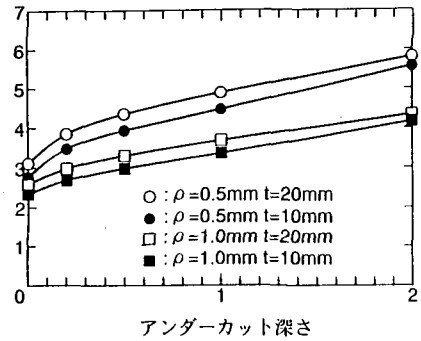


図－1　ＦＥＭ解析モデル



図－2　σ_x分布の比較

また、主板の板厚が20mmの場合には、板厚10mmの応力集中係数より全体的に高くなるが、Ktとアンダーカット深さの関係は、板厚10mmの場合と同様の傾向を示している。



図－3　アンダーカット深さと溶接止端のＫｔの関係

3．疲労亀裂進展解析

ＦＥＭ解析結果を基に、破壊力学の手法を用いて、疲労亀裂進展解析を行い比較検討した。亀裂進展速度式ｄａ／ｄｎ(mm/cycle) として次式を用いた。

$$da/dn = C \cdot (\Delta K^m - \Delta K_{th}^m)$$

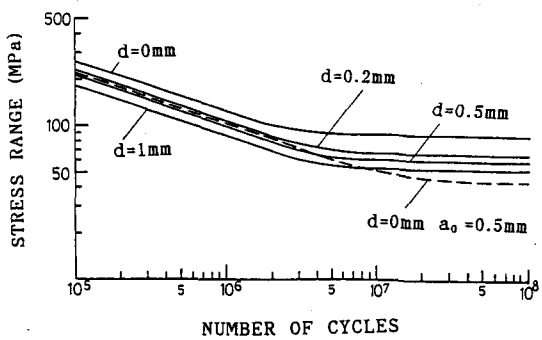
ΔK_{th}：下限界応力拡大係数範囲

材料定数は科学技術庁金属材料技術研究所により求められた値 $C=9.69\times10^{-9}$(mm/(MPa$\sqrt{}$m)^3)、m=2.9、ΔK_{th}=2.5(MPa$\sqrt{}$m)を用いた。一定振幅応力の場合には、疲労亀裂進展寿命は上式を初期亀裂a_0から最終亀裂a_fまでを数値積分して求められる。応力拡大係数範囲⊿Ｋは次式で表される。

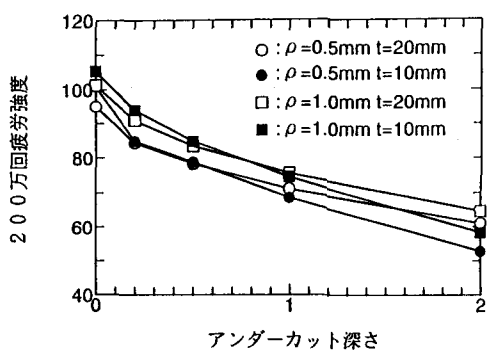
$$\Delta K = \sigma_r \cdot \sqrt{\pi a} \cdot Fs \cdot Fe \cdot Ft \cdot Fg$$

σ_r：応力範囲、ａ：亀裂長さ、Ｆｓ：自由表面補正係数、Ｆｅ：亀裂形状補正係数、Ｆｔ：有限板厚補正係数、Ｆｇ：応力集中補正係数である。初期亀裂深さa_0は0.05mmとし、最終亀裂深さa_fは板厚の８５％と仮定した。また、リブ十字溶接継手の溶接止端部から発生する亀裂の形状比をa/b=1/3一定とした。

図－４に、止端角45°、止端半径0.5mm、板厚10mmの場合においてアンダーカット深さを変えた時の解析結果を示す。アンダーカットが深くなるにつれて疲労寿命、および疲労限とも小さくなる。このことは、図－３でのσ_x分布に対応している。また、アンダーカットを初期亀裂とみなした解析を行い比較した。すなわち、図中の破線は、アンダーカットがない溶接継手に深さa_0=0.5mmの初期亀裂があると仮定して求めた結果である。アンダーカット深さd=0.5mmの結果と比較すると高応力範囲では同等の疲労寿命となるが低応力範囲になると疲労限が大きく低下する。**図－５**に２００万回疲労強度とアンダーカット深さの関係を示す。比較的小さいアンダーカットの存在により２００万回疲労強度は大きく低下する。深さ0.2mmのアンダーカットがあると、10～17%程度の強度低下となり、なかでも止端半径ρ=0.5mm、主板板厚10mmの場合の低下が著しい。アンダーカットが存在しない場合には、主板板厚t=10mmの疲労強度がt=20mmの場合より高いが、アンダーカット深さの増大とともにその差は小さくなり0.5mmのアンダーカットにより両者の疲労強度はほぼ同じとなる。



図－４　疲労亀裂進展解析結果



図－５　アンダーカット深さと２００万回疲労強度の関係

4．まとめ

アンダーカットが深くなるほど溶接止端（アンダーカット切欠底）に高い応力集中をまねき、疲労寿命および疲労限を低下させる。この場合、止端半径（アンダーカット切欠半径）と主板板厚が小さいほど疲労強度低下が著しい。