十字溶接継手止端部から発生する疲労き裂のき裂進展解析

1. 目的

溶接継手部の疲労強度評価や発生する疲労亀裂の挙動の推定を目的とした解析的な手法としてき裂進展解析がある.近年では、解析技術やコンピュータ技術の進歩により、溶接継手部から発生し、三次元的に進展展していくようなき裂に対するき裂進展解析も可能となっている.一方、これまで、例えばJSSCの疲労設計指針等にも紹介されるように、き裂進展経路を簡易に仮定し(図-1)、重ね合わせの原理により応力拡大係数(以後K値)を求める簡便な手法が多く用いられてきた、そこで、本研究では、十字溶接継手止端部から発生する疲労き裂を対象として、き裂進展方向として止端部を含む断面内に仮定して重ね合わせの原理を用いて求めたK値と、き裂進展解析ソフト

(Franc2D および Franc3D)を用いてき裂を進展させた場合の K 値を比較し、これまで用いられてきた簡便な手法の適用性につ いて再検証を行うことを目的とする.

2. 二次元き裂(板幅方向貫通き裂)

図-1 に示すような板幅方向貫通き裂を対象に検討を行った. 解析対象および解析手法をまとめて表-1 に示す.図-1 に示すような進展経路-(a)については、表-1 中に示す式により K 値の計算を行っており、応力集中に関する補正係数 Fg は、応力解析

(FEM コード MRAC)より得た応力分布を用い,重ね合わせ の原理に基づいた JSSC 疲労設計指針(P.258)¹⁾に示される手法に より計算を行った.また有限板厚に関する補正係数 Ft は,同指 針に示される平板中の一様引張載荷時の板幅方向貫通表面き 裂に関する補正係数である(以後,この手法を JSSC の手法と 称す).なお,幾つかの進展方向(a)に関しては,併せて Franc2D による解析およびエネルギー法より K値を求めて比較を行って いる.載荷は主板の一様引張および面外曲げ(リブを上方に引 張る)の2 ケースとした.

図-2 に引張載荷時の K 値の比較を示す. 図中 a₀は初期き裂 長さを表す. 最大周応力説に従った進展経路-(b)では, 主板へ の進展開始後溶接部側に若干曲がった経路を進展し, この解析 ケースでは, 進展経路-(a)との長手方向の差異は 0.55mm 程度で あったが, 両進展経路, また今回算定に用いたいずれの手法で も K 値がほぼ一致していることが分かる.

次に面外曲げを受ける場合を検討する.ここでは、図-1に示

キーワード き裂進展解析,応力拡大係数,進展経路,十字溶接継手

芝浦工業大学 学生会員 〇新井 貴之 芝浦工業大学 正会員 穴見 健吾



表-1 解析対象および解析手法





連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学土木工学科 TEL03-5859-8352 E-mail: anami@sic. shibaura-it. ac. jp

す主板長さ(曲げのスパン)が十分長く,主板で面外曲げ応力 分布が再現できているケースについて例を示す.面外曲げを受 ける場合,重ね合わせの原理に基づいたJSSCの手法に関して, き裂進展に伴う中立軸の移動による応力再分配を考慮する手 法は未だ明確になっていない.そこで,表-1に示す引張載荷時 のK値算定式 $K = \sigma \cdot (\pi a)^{1/2} \cdot Fg \cdot Ft$ を用い,Ftとして,参考 文献(2)に示される「片側にクラックのある帯板の単純曲げ」の 補正係数を用い,Fg は主板表面の長手方向応力分布より求めた 止端部での公称応力値を参考にして求めた止端部を含む断面 での曲げ応力分布で,実際の応力分布を除した値を用いて求め た.進展経路-(a)(b)で比較すると,K値は進展経路に依らず良 く一致していることが分かる.JSSCの手法で求めたK値は, き裂が大きく4mm程度以上では,他の手法で求めたK値より



も若干小さくなっているが、き裂が短い領域では非常に良く一致していることが分かる.本報告では、引張および曲げの両ケースにおいてき裂進展の経路(a)からのズレの量が 0.55mm, 0.33mm 程度と非常に小さい領域で検討を行ったケースを提示している.面外曲げ載荷の場合で、図-1に示す曲げのスパンを非常に短くすると、き裂の進展経路および K 値が進展経路(a)と(b)で大きく異なる結果を得ており、今後、進展経路(a)で検討できる範囲についてより詳細に検討していく.

3. 三次元き裂(半楕円表面き裂)

次に、止端部から発生する表面き裂に対して解析を行った. 図-1に示す経路(a)及び(b)について FRANC3D を用いて求めた K 値と、重ね合わせの原理を用いた JSSC の手法により求めた K 値を比較した.初期き裂を半径 1mm の半円形とし、数ステップ のき裂の進展を行った.モデルの一例を図-4 に示す.図-5 に解 析結果を示す.ここでは進展①~③ステップ(き裂深さ、表面 長さ/2=①(1.45,2.12)②(1.88,3.25)③(2.62,4.46)(mm))で の解析結果を示す.ただし、この程度の1ステップの進展長さ を設定すると、図-6 に示すように止端部方向の進展が卓越して 図-6 波線のような進展形状が見られたため、ここではき裂先端 の表面位置および最深部の座標を用いてき裂形状を半楕円形と して再設定し、経路(a),(b)のモデル化を行っている.

初期き裂最深部においては, FRANC3D および JSSC の手法で 求めた K 値はよく一致している.しかし,止端部(表面)では JSSC の値が FRANC3D よりも大きくなっている.これは,両手 法における計算モデルの止端部での要素分割数に依存した応力 集中の差異が原因と考えられ,今後修正していく予定である. き裂を経路(a)と経路(b)で進展させた場合の K 値は,表面から深 い位置では良く一致しており,二次元き裂の場合同様,経路に



よる差異は殆ど見られない.しかし、ステップ①と③では表面に近付くほど経路による差異がみられている. これは経路(b)ではき裂が若干ではあるが止端部を沿わないで進展してしまったためであると考えられる. 【謝辞】本研究は、JSSC疲労強度研究部会(名古屋大学舘石部会長)の一環で行ったものであり、貴重なご意見を頂いた. 参考文献(1) 日本鋼構造協会:鋼構造物の疲労設計指針・同解説、1995 (2) 岡村弘之著:線形破壊力学入門・培風館、1976