

き裂進展解析を用いた荷重伝達型十字溶接継手に対する面外曲げの影響評価

○芝浦工業大学 正会員 穴見 健吾
 芝浦工業大学 松岡 慧

1. 目的

荷重伝達型十字溶接継手の溶接ルート部から発生する疲労き裂に対する面外曲げの影響については、未だ明らかにされていない。著者らは Effective Notch Stress(ENS)法を用いてその影響を検討し、継手形状をパラメータとしてその面外曲げの影響度の推定式を提案している¹⁾が、面外曲げの影響を検討するための実験データが少ないこと、また ENS 法自体が未だ検討段階であることなどから、その妥当性について検討する必要がある。ここでは疲労き裂進展解析を用いて、引張と面外曲げを同時に受ける場合の面外曲げの影響度について検討し、ENS 法とき裂進展解析から得られた結果の差異について考察した結果を報告する。

2. き裂進展解析と対象モデル

き裂進展解析には、解析 Code である Franc2D を用いた。き裂の進展速度の計算には Paris 則を用い、JSSC の平均設計曲線の値を使用した(但し、 $\Delta K_{th} = 0$ とした)。図-1 に対象としたモデル、要素分割図例および解析パラメータ(主板厚・溶接脚長・不溶着部長さ・面外曲げ応力の混入率 λ)を示す。なお、面外曲げ応力の混入率 λ は、面外曲げの引張側主板表面における(面外曲げ応力/面内引張応力)と定義している。疲労寿命は面外曲げの引張側の溶接部表面に疲労き裂が進展した時の繰り返し回数と定義した。

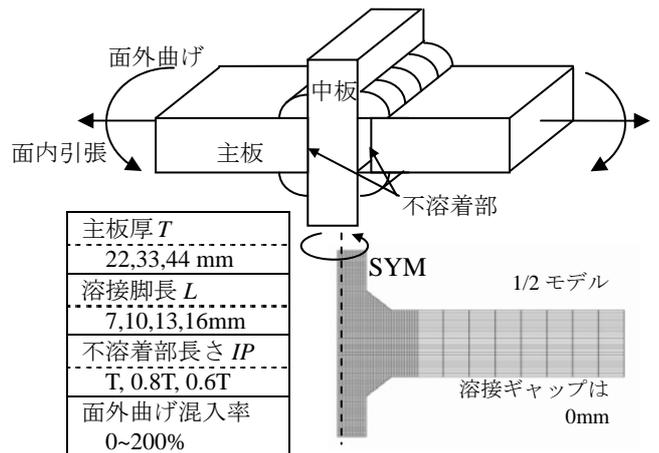


図-1 対象モデルと解析パラメータ

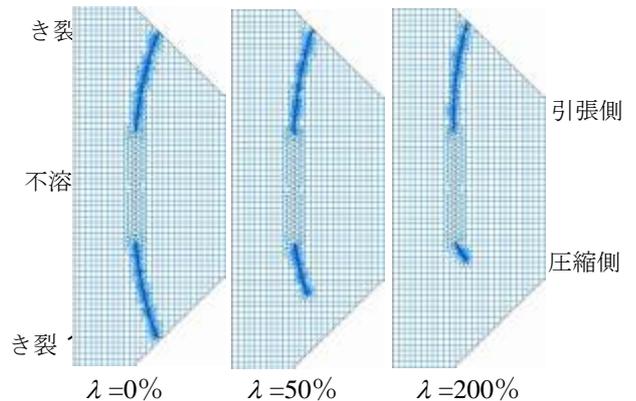


図-2 疲労き裂の進展挙動例

3. き裂進展解析結果

図-2 には面外曲げ応力混入率の異なるケースのき裂進展挙動を示す。面外曲げの混入が大きくなるに伴い、面外曲げの引張側に先行してき裂が進展する様子が分かる。

本研究では、面外曲げの影響度を応力ベースで評価し、面外曲げ混入時の 200 万回疲労強度で引張のみの時の 200 万回疲労強度を除し、1 を引いた値と定義した。図-3 に面外曲げ応力の混入率が 100% の時の解析結果を示す。主板厚が大きいほど、溶接脚長が小さいほど、また不溶着部長さが大きいほど、面外曲げの影響度が大きくなる傾向が見られるが、その影響度自体は非常に小さく、本研究で検討したパラメータの範囲では $\lambda = 100\%$ の場合、20%弱という結果となっている。

4. ENS 法で求めた面外曲げ影響度との比較

文献 1)では ENS 法を用いた検討から、面外曲げの影響度を、

$$\begin{aligned} \text{曲げの影響度} &= \sigma_{MB} / \sigma_{MT} \quad \dots (1) \\ \sigma_{MT} &= A_T T (\sqrt{2(L+(T-IP)/2)}) \\ \sigma_{MB} &= A_B T^3 / ((\sqrt{2(L+(T-IP)/2)})^3 - IP^3) \times (IP/T) \\ A_B / A_T &= 1.2 \end{aligned}$$

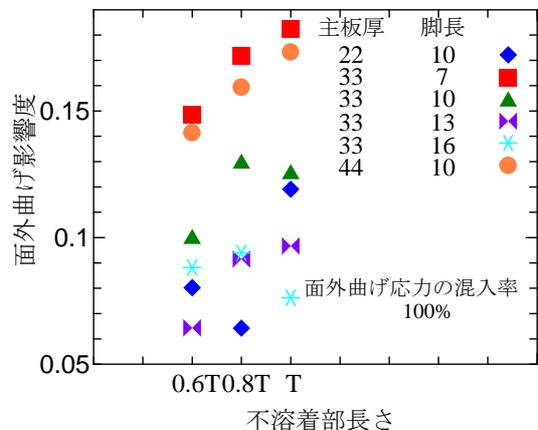


図-3 面外曲げの影響度 (進展解析結果)

キーワード：疲労・面外曲げ・進展解析・荷重伝達型十字継手

連絡先：穴見健吾 芝浦工業大学 東京都江東区豊洲 3-7-5 TEL:03-5859-8352 anami@sic.shibaura-it.ac.jp

と推定することができるとしている。進展解析同様、ENS法で求めた面外曲げの影響度は、主板厚が大きいほど、溶接脚長が小さいほど、また不溶着部長さが大きいほど、面外曲げの影響度が大きくなる。そこで、図-3に示す進展解析結果と式(1)の結果を比較した結果を図-4に示す。なお、全ての解析ケースについて、得られた面外曲げの影響度を面外曲げ応力の混入率が100%となるように換算(×100/λ)してプロットしている。ばらつきはあるものの、き裂進展解析より求めた面外曲げの影響度は、ENS法(1)で求めた影響度よりも非常に小さな値になっていることが分かる。また、式(1)は面外曲げの混入率λが100%の時の解析結果から導かれたものであるが、進展解析結果では、面外曲げ応力の混入率により面外曲げの影響度が顕著に現れ、面外曲げの混入率が大きいほど面外曲げの影響度が大きくなる傾向が見られる。

この面外曲げの影響度に差異が見られる原因を検討することを目的として、引張側のき裂長さが1mm進展するごとの疲労寿命を調べ、そのステップごとの面外曲げの強度ベースの影響度の推移を調査した結果を図-5に示す。

図(a)には、1mmステップ毎(例えば、0mmから1mmに進展する場合の調査結果は1mmの位置にプロットしている)の進展寿命を面外曲げ応力の混入率が0%と100%で比較したものであり、図(b)はそのモデルについて各ステップでの面外曲げの影響度の推移を示したものである。図(c)は図(a),(b)とは主板厚の異なるモデルについて、各ステップごとの面外曲げの影響度を示したものである。

進展解析結果では、き裂の進展に伴い面外曲げの影響度が小さくなっていることが分かる。これには図-2に示すように、引張のみが作用した時と面外曲げが同時に作用した時の、面外曲げの圧縮側のき裂長さが(つまり全き裂長が)異なり、その差異はき裂進展に伴い大きくなることも影響していると考えられる。図-3,4に示す進展解析より求めた面外曲げの影響度は、各ステップの影響度の平均的な値となっている。一方、各ステップでの影響度とENS法により求めた影響度を比較してみると、き裂長さが小さい領域では、よりENS法より求めた影響度に、進展解析より求めた影響度が近くなる傾向が見られる。

5. まとめ

継手形状の面外曲げの影響度に対する影響については進展解析、ENS法と同様の傾向が見られるが、その影響度の絶対値はENS法と比較して進展解析結果は小さく、ENS法の適用性も含めて、より実験的に検討する必要がある。一方、ENS法はENSを用いて疲労強度(または発生と進展の和である疲労寿命)の相対的な評価(設計線を比較に用いる場合には絶対的な評価)を行えるとされる手法であるが、本研究で対象としたようなき裂進展挙動に差異があるような場合の相対的な疲労強度の評価については、その適用性について更に検討する必要がある。

本研究は科研費若手(B)(課題番号:20760308)の一環として行ったことをここに付記する。

【参考文献】穴見健吾, 横田博之: 引張と曲げを受ける荷重伝達型十字継手の疲労挙動 構造工学論文集 (2008年3月)

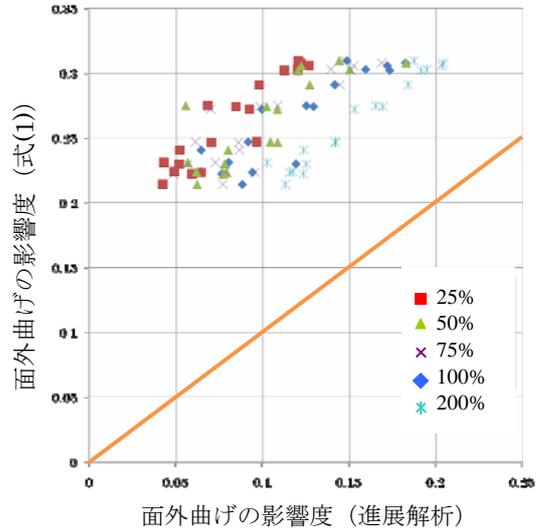


図-4 面外曲げの影響度の比較

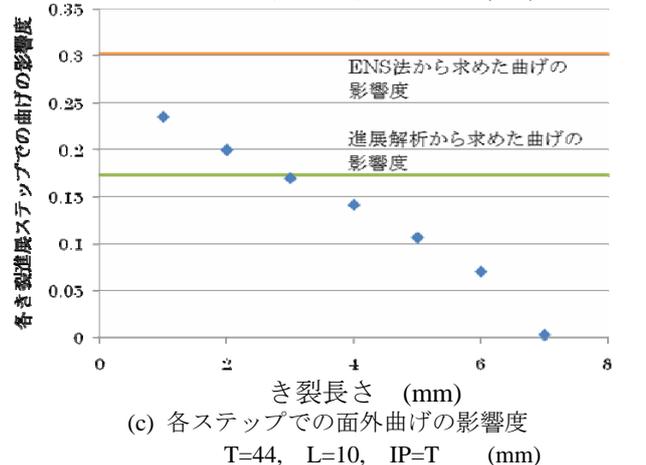
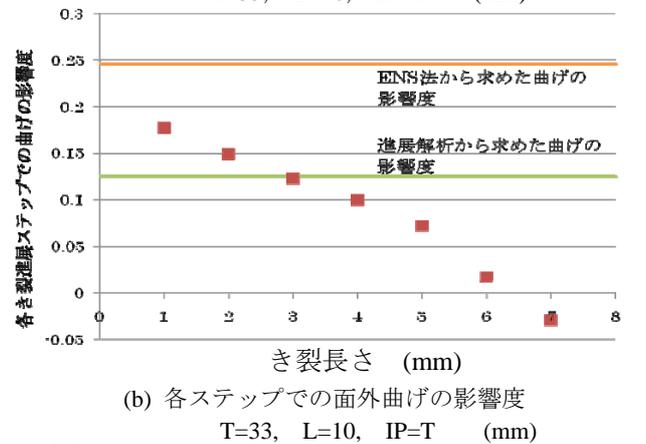
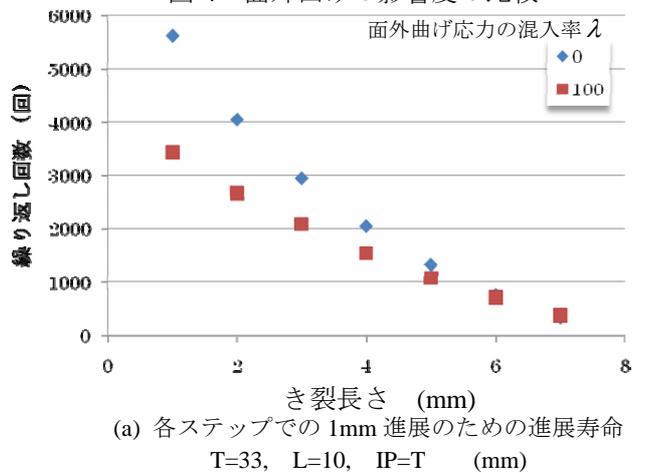


図-5 各ステップでの進展解析とENS法の比較