

Effective Notch Stress 法を用いた疲労き裂進展方向評価

芝浦工業大学 学生会員 ○志田 悠歩

芝浦工業大学 金井 雅樹

芝浦工業大学 正会員 穴見 健吾

(株TTES 正会員 菅沼 久忠

1. 目的

近年, 局部応力を用いた疲労強度評価法である Effective Notch Stress (ENS) 法に関する研究が多く行われている. そこで, 本研究では ENS 法で用いる仮想円孔上での ENS 発生位置に着目して, その位置と破壊力学的アプローチより求めた亀裂進展方向との比較を行い, ENS 発生位置を把握することにより, どの程度疲労き裂進展方向を予測するための目安にできるかについて検討を行った. なお, 本報告においては全て円孔半径が 1mm の場合について報告している.

2. ENS 法によるき裂進展方向評価の可能性

(1) 主応力方向との比較

一般的に, 疲労き裂はマクロ的に見ると, 作用主応力に直角方向に進展すると言われている. そこで, 図-1 に示すようなモデルに対して外力の組合せ (V/P) を変化させることで作用主応力の角度を変化させ, ENS 発生点の変化を調べた. 本研究では ENS を仮想円孔周上の最大の最大主応力と定義している. ENS の発生方向 θ_1 は良い一致を示していることが分かる. 最大主応力に直角方向の角度 θ_2 が大きくなると, $\theta_1 < \theta_2$ の関係が顕著に見られるが, 実際のき裂の進展挙動を考えると妥当な解析結果と言える.

(2) 最大周応力説より求めたき裂進展方向との比較

ENS 法により疲労亀裂の進展方向を評価できるかをより詳細に検討することを目的として図-2 に示すような梁モデルに対して, 亀裂進展をシミュレーションした. ここでは, 同図に示すように ENS 発生方向に亀裂を 5mm 進展させ, 要素を再分割して ENS 発生方向を求める作業を繰り返してき裂の進展をシミュレートした. 比較対象として, 進展解析ソフト Frank2D を用い, 最大周応力説を適用して同一のモデルに対して亀裂進展解析を行った. 結果を図-2 にあわせて示す. ENS 発生方向にき裂を進展させた場合, 最大周応力説で求めたき裂進展方向と良く一致していることが分かる.

同様に, 図-3 は, 荷重伝達十字継手の溶接ルート部から発生・進展する疲労き裂に対して, 面内引張応力面外曲げ応力を同時に作用させた場合の Frank2D (最大周応力説を適用) で求めたき裂進展方向と不溶着部先端での ENS 発生方向を比較したものである. 図中曲げ混入率とは, 面内応力に対する主板表面での面外曲げ応力の割合を示している. 引張のみを作用させた場合には ENS 発生点は円孔頂部より主板側に若干ずれた位置にあるのに対して, 面外曲げを作用させた場合

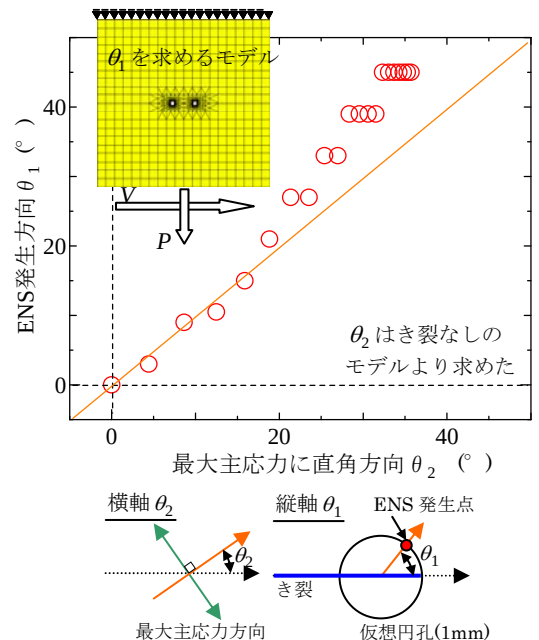


図-1 作用主応力方向と ENS 発生点の比較

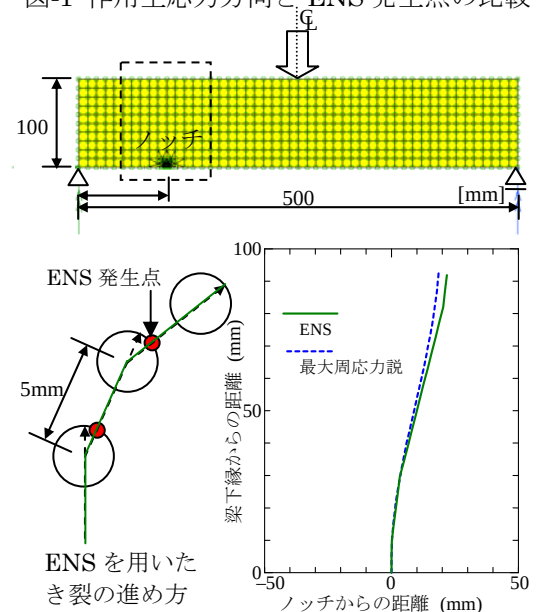


図-2 最大周応力説との比較

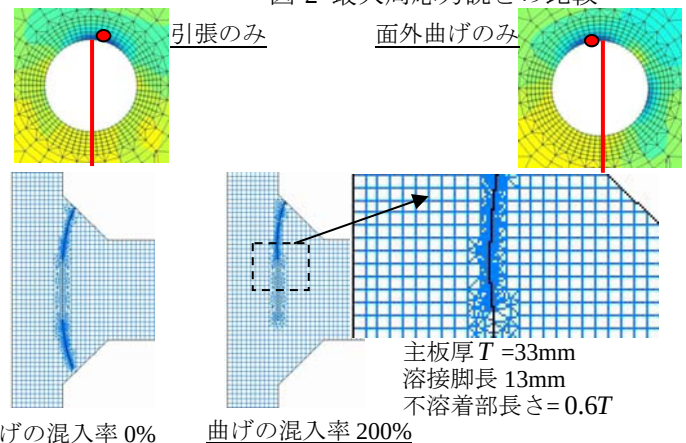


図-3 荷重伝達型十字溶接継手を用いた検討

キーワード: き裂進展方向・ENS・疲労

連絡先: 芝浦工業大学 穴見健吾

東京都江東区豊洲 3-7-5 anami@sic.shibaura-it.ac.jp)

には中板側に若干ずれた位置に発生している。き裂進展解析結果でも面外曲げの混入率が大きい場合にはき裂が中板側に一旦進入していることが分かる。以上より、ENS の発生位置を用いて、き裂の進展方向を概ね評価できる可能性があることが分かった。今後はよりき裂進展方向が変化するモデルについて検討を行っていく必要がある。

3. 鋼床版デッキプレート-トラフリブ間の疲労き裂への適用

鋼床版のデッキプレートとトラフリブの溶接部に発生するき裂（溶接ビード貫通型）は、図-4 に示すようにある程度進展した後トラフリブ方向に進展するケースがあることが報告されている。そこで、本研究では ENS 法を用いて、その理由を検討する。図-5 には解析モデルおよび荷重ケースを示す。要素にはシェル要素を用いた。き裂長さは横リブとの溶接位置を中心として 100, 200, 800mm として、疲労き裂をデッキプレート・トラフリブ接合部から 2mm 離れた位置に設定した。ここでは、図中のシングルイン・シングルアウトのケースについてモデル上を移動載荷させて、ENS 及び ENS の発生位置の影響線を求めることにより検討を行った。

図-6 に解析例としてトラフリブ外面に着目し、き裂長さ 200, 800mm のときの、仮想円孔周上の最大の最大主応力および最小の最小主応力の大きさの影響線及び、図中（き裂長さ 800mm の場合）の点 A での最小主応力の最小値の発生位置を最小主応力分布中に示している。対象としたき裂の進展方向には、最小の最小主応力が発生しており、その応力値はき裂の進展に伴い大きくなっていることが分かる。従って、対象とするき裂の進展方向が変化する挙動には、溶接部の残留応力なども大きく影響しているものと考えられる。一方、き裂長さが 200mm と 800mm の場合の最小の最小主応力の発生位置 θ_1 (図-1 参照) は、若干の差異は見られるもののその差異はそれほど大きくない。

対象とするき裂のように進展方向を変化させるかどうかは、本解析で考慮している挙動と、溶接ルート部に残る不溶着部に沿った亀裂の進展挙動との競争であり、その不溶着部の影響についても同時に検討する必要がある。そのため、現在、3 次元要素を用い、不溶着部を考慮した解析的な検討を行っている。

本研究は科学研究費補助金（S：研究代表者：東京工業大学 三木千寿教授）の研究の一環として行われたことをここに付記する。

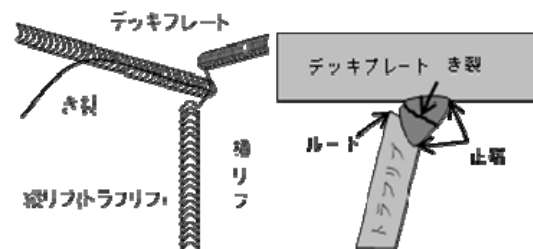


図-4 鋼床版の対象亀裂

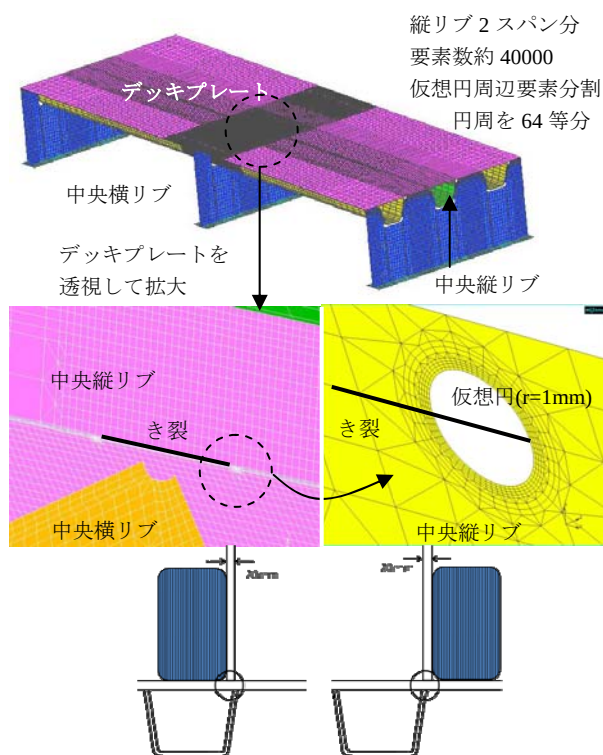


図-5 鋼床版の解析モデル

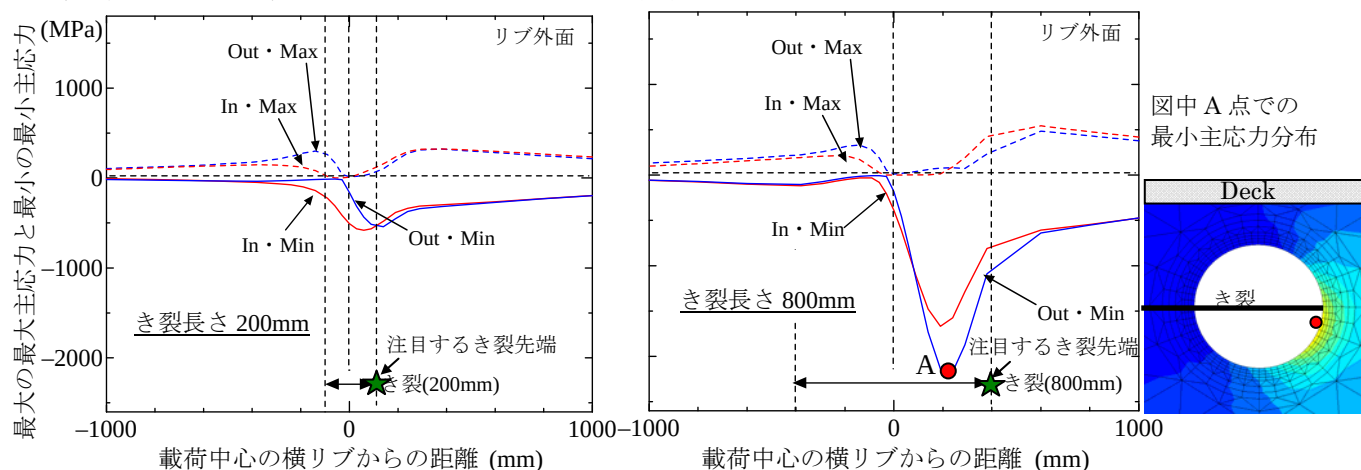


図-6 トラフリブ外面の最大及び最小主応力の影響線（実線：シングルイン、破線：シングルアウト）