面外曲げを受ける鋼板の疲労き裂進展挙動に関する研究

名古屋大学　学生会員　○堀尾健太郎　　名古屋大学　フェロー会員　舘石和雄
名古屋大学　　正会員　　判治　剛　　名古屋大学　　正会員　清水　優

１．はじめに

面外曲げが繰り返されることにより発生する疲労き裂には，き裂の起点側から背面へとき裂が貫通する場合，き裂が停留する場合，背面から新たにき裂が発生する場合と様々な進展経路が見られる．応力状態や構造形式からこれらのき裂の進展挙動を把握できれば，補修優先度の高い疲労き裂の判別につながると考えられる．本研究では，繰返し面外曲げを受ける鋼板に発生する疲労き裂に対し，表面き裂の最深部に発生する断面力に着目し，進展経路を比較的容易に把握する方法を検討した．

２．半円形ノッチを有する鋼板の疲労試験

本研究では白井[1]によって行われた疲労試験に加え，新たに同様の疲労試験を異なる条件で実施し，得られたき裂の進展形状をシミュレーションすることとした．疲労試験に用いた試験体の形状と寸法を図-1 に示す．鋼板(鋼種：SM490A)の幅方向中央に V 字の開先を切削し，その開先を埋めるように溶接を行った．溶接後，余盛を切削し，き裂の起点として幅方向中央に半円型の人工ノッチを設置した．試験は，板曲げ振動疲労試験機を用いて面外曲げ荷重下で行った．おもて面(ノッチのある面)の応力比は-∞，0 とし，背面き裂が発生またはおもて面のき裂が背面側に貫通するまで試験を行った．破面から各進展段階におけるき裂形状を確認できるように，定期的にビーチマークを付与した．

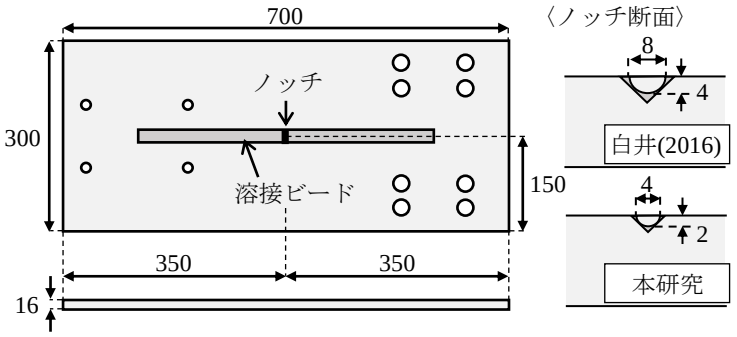

図-1　試験体（単位：mm）

３．疲労試験結果

図-2 に破面とビーチマークの模式図を示す．ビーチマークにより，き裂幅およびき裂深さを画像計測した．おもて面が応力比-∞となるように載荷したケースを C，おもて面が応力比 0 となるように載荷したケースを T としてそれぞれの載荷ケースを定義している．

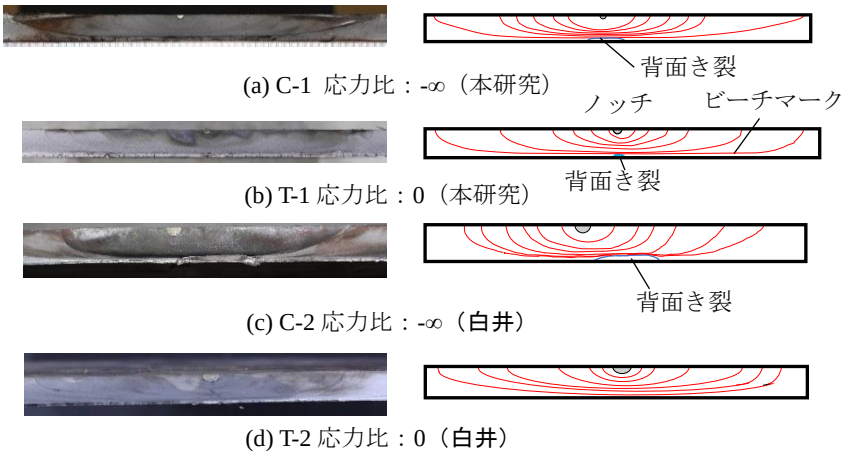

図-2　破面形状

水平方向の寸法(以下，潜り込み量とする)については，破面の形状をシリコン印象材で型取りし，そのスライス片を画像計測することで計測した．計測結果は解析結果とともに図-5 に示す．

４．き裂進展解析

ここではおもて面から発生したき裂の最深部のみに着目し，２次元解析を用いてその進展経路を比較的簡易な方法で把握することを試みる．

キーワード　き裂進展経路，疲労，面外曲げ
連絡先　　〒464-8603　愛知県名古屋市千種区不老町　名古屋大学大学院　工学研究科　TEL:052-789-4620

試験により得られた各段階におけるき裂幅とき裂深さをもとに 3 次元解析モデル(図-3)を作成し，有限要素解析を行った．その結果から，き裂最深部である幅方向中央の単位幅辺りに作用するせん断力と曲げモーメントを求めた．続いて，得られたせん断力と曲げモーメントの比(Q/M)を用いて 2 次元のき裂進展解析を行うことで，幅方向中央のき裂進展経路を推定した．進展解析には無償で提供されている 2 次元き裂進展解析ソフト FRANC2D を用いた．き裂が 0.1mm 進展する毎に，曲げモーメントとせん断力の比 Q/M が一致するように鉛直荷重の載荷位置および水平荷重の大きさを随時変更した．

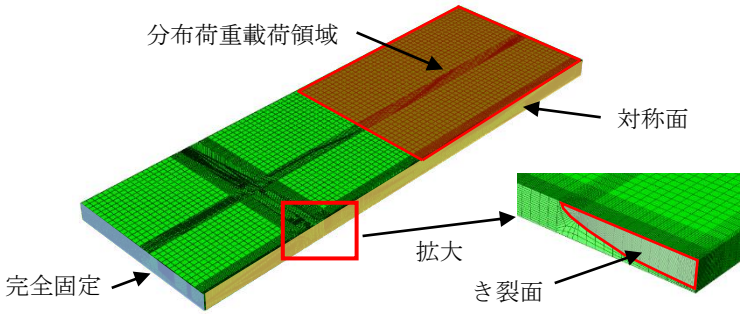

図-3　ABAQUS モデルの例（引張載荷）

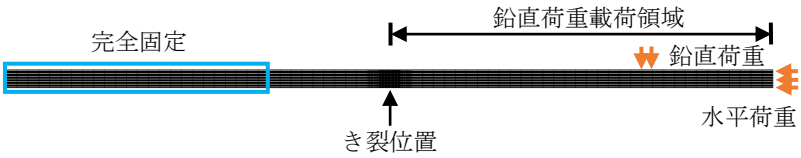

図-4　FRANC2D モデルの例

５．解析結果

解析により得られた，き裂最深部直下に作用するせん断力と曲げモーメントの比(Q/M)とき裂深さの関係を図-5 に示す．これらの図から，き裂が深くなるほど，曲げモーメントに対するせん断力の比が増加していることがわかる．

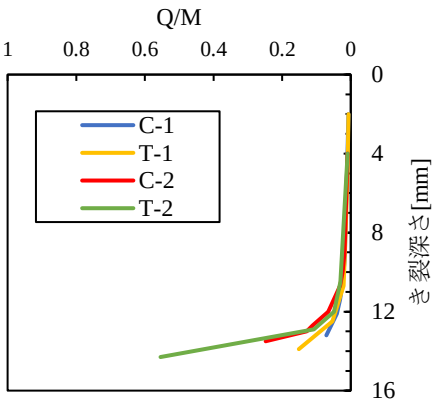

図-5　Q/M とき裂深さの関係

き裂進展解析の結果を図-6 に示す．点が試験で得られた結果を，線が解析で得られた結果を示している．すべてのケースにおいてき裂進展経路および最終的な潜り込み量とき裂深さを概ね再現できている．図-5 に示す Q/M の分布とき裂進展経路を比較すると，Q/M が傾きを大きく変化させるき裂深さ 12mm 付近において，き裂は進展方向を水平方向に変化させていることがわかる．そのため，この指標が大きくなるほど，き裂進展方向が水平方向に近くなることとなり，き裂進展経路に大きく関わっているといえる．き裂進展解析の結果より，3 次元解析より求められる断面力を用いた Q/M の指標を算出することができれば，2 次元解析においてもき裂進展経路を再現できるといえる．

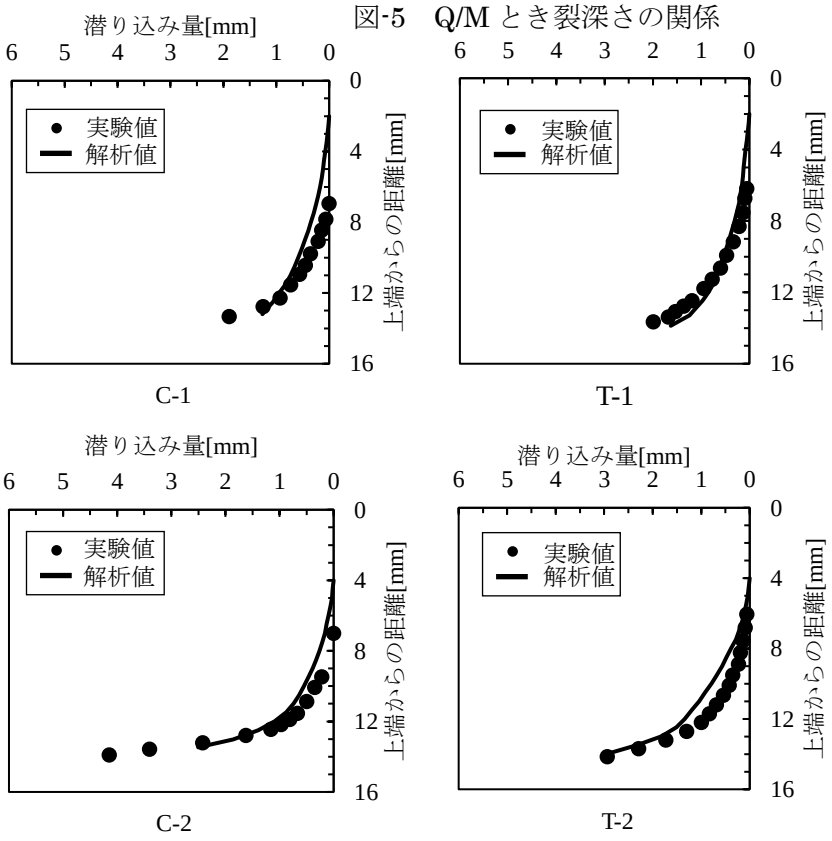

図-6　き裂進展解析結果

参考文献　1) 白井ら：土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集，部門 I，pp.735-736，2016