

新技術 複雑形状部品の疲労き裂進展解析を可能にするXFEM

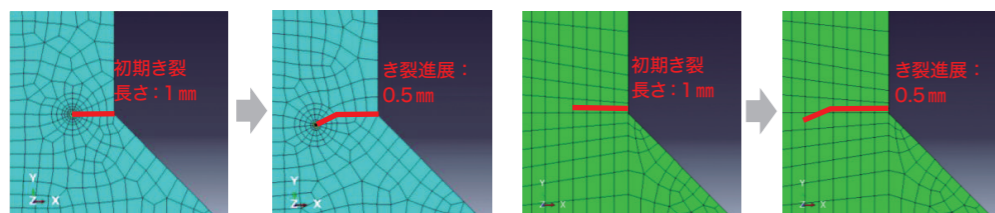
①概要

一般的な有限要素法(FEM)で、“き裂”を解析するには、そのき裂形状に応じたメッシュ分割が必要でした。さらに局所のき裂の進展を再現するには、進展方向の評価とメッシュの再分割を、適切なき裂増分ごとに繰り返す必要があり、著しく非効率でした。

今回紹介する拡張有限要素法(eXtended Finite Element Method:

以下XFEMと記す)は、き裂挙動を再現できる特別な要素を対象部位に適用することで、メッシュ形状を変更したり、再分割することなしに、き裂進展を忠実に表現できます(図1)。これにより、このような解析作業が大幅に効率化でき、従来困難であった複雑形状の実用部品に対しても、自在に、疲労き裂進展解析が可能になりました。

■図1 通常FEMとXFEMによるき裂進展解析のプロセス



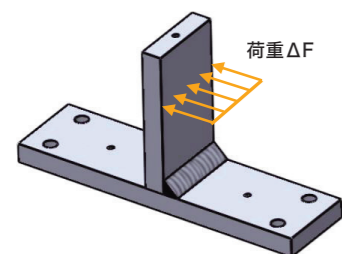
(a)FEM: き裂進展にともなう再メッシュ分割

(b)XFEM: メッシュと無関係にき裂進展を表現

②計算事例

板厚20mm、板幅80mmの普通鋼板からなる溶接T字継手を作製し、この水平板から150mm上方の縦リブ上に集中水平荷重 ΔF を繰り返し付加する疲労試験を実施しました(図2)。そこに、1mm長さの初期き裂を

■図2 溶接T字継手の疲労試験方法



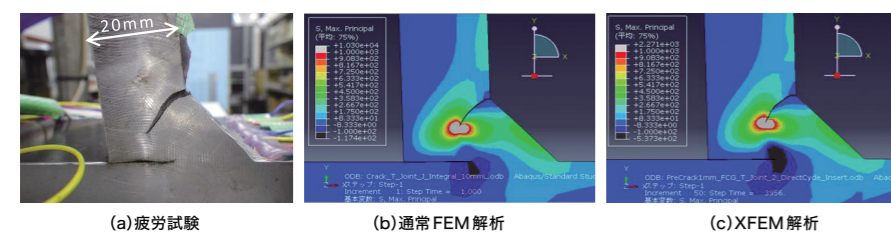
仮定した同T字継手について、一般のFEM解析とXFEM解析による疲労き裂進展シミュレーションを実施してみました。両シミュレーションとも、実験結果と同様の湾曲した疲労き裂進展経路をえることができます(図3)が、一般のFEM解析では、微小き裂進展

とにJ積分値と、き裂先端を中心とする周方向応力が最大となる角度(=き裂進展角)を求め、その方向に微小量(本解析例では $\Delta a=0.5\text{mm}$)ずつき裂を増大させる必要があります。例えば、き裂進展繰り返し数 ΔN を、材料の疲労き裂進展特性(Paris則)である次式:

$da/dN=C\Delta J^m$ (a:き裂長さ、N:繰り返し数、 ΔJ :J積分、C、m:材料定数)をもちい、 $\Delta N=\Delta a/[C\Delta J^m]$ という条件をもちいることで、正確な結果がえられます。

一方、XFEM解析では、これらの作業がソフト内部で自動的に処理され、1回の解析実行で繰り返しにともなう、き裂進展経路とエネルギー解放率G値(J積分と等価なパラメータ)がえられます。ただし、現状は面同士を接触を考慮できない制限もあるものの、図1に示すようなかなり粗大な要素をもちいても、従来のFEM解析法と遜色のない疲労き裂進展曲線がえられ(図4)、計算時間の大幅な短縮を実現しました。

■図3 疲労き裂進展経路の比較

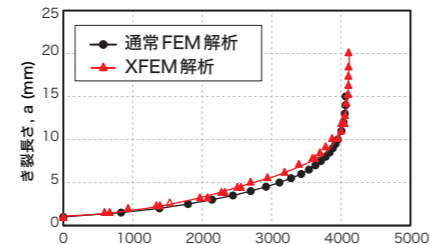


(a)疲労試験

(b)通常FEM解析

(c)XFEM解析

■図4 通常FEM解析とXFEM解析による疲労き裂進展曲線の比較



③おわりに

現在ますます強度安全性が要求される輸送機やエネルギー・エンジンアリング分野では、その設計や工法の検討段階で、事前に構造部品接合部などのき裂進展解析の需要が高まっていますが、今回紹介した解析法(仕様を末尾に示す)がその要求に応えます。当社は標準試験片を用いた疲労き裂進展特性の取得に加え、XFEM解析による製品の疲労寿命推定まで、トータルにお客さまのご要求に応じていきます。

- ・解析対象: 貫通き裂を含むT字溶接継手、等方弾性体
- ・使用FEM解析ソフト: Abaqus/Standard
- ・解析手法: 直接周期解析(Direct Cyclic)
- ・解析内容: ①疲労き裂進展経路の評価
②き裂進展にともなうJ積分値(またはエネルギー解放率G)の算定
③疲労き裂進展特性(Paris則)による疲労き裂進展予測

新技術

道路附属物などの鋼製支柱埋設部腐食の迅速点検技術(i-PECT™)

①概要

主に、土砂/アスファルト/コンクリート等に埋設された道路附属物(照明柱や標識柱など)や形鋼(鉄塔や柱など)の鋼製支柱埋設部の地際部腐食を、掘削することなく迅速に測定できる技術です。



③特徴

腐食減肉が起きやすい地際から深さ40mmまでの減肉状況を掘削することなく評価することができます。掘削や埋め戻しの必要がないため、短時間で点検ができ、廃棄物の発生もありません。計測器は軽量、小型で、最小1名の作業員が立ち入るスペースがあれば作業できます。そのため、掘削する方法に比べて作業スペースも大幅に少なくて済みます。以上特徴により道路附属物他の鋼製支柱埋設部腐食の点検コストの低減が期待できます。

■現地計測状況



②主な仕様

- ・測定対象: 直径60mm以上の円柱、多角形柱、形鋼
- ・板厚: 1.0~6.0mm
- ・測定方式(原理): パルス渦流法
- ・測定数: 4~8点/本(全周を45~90°ピッチで測定)
- ・測定時間: 約8分/本
- ・地際状況: 土砂、アスファルト、インターロッキングまたはコンクリート
- ・作業スペース: 約1m×1m

■結果イメージ

路線名	距離標	上下	支柱No.	健全部板厚(mm)	調査結果				
					方位	0°	90°	180°	270°
○号	△	上り	1	4.2	減肉率	15%	18%	35%	30%
					判定	25%未満	25%未満	25%以上50%未満	25%以上50%未満
		下り	2	4.2	減肉率	2%	5%	3%	2%
					判定	25%未満	25%未満	25%未満	25%未満

新技術

レーザ加工装置をもちいた半導体パッケージ用モールド樹脂の密着性評価技術

①概要

半導体パッケージに使用されるモールド樹脂は、外部環境(熱、湿度)あるいは振動や衝撃から半導体素子を保護し、特性劣化を防止する役割があります。そのため、使用環境や用途に合わせてモールド樹脂の選定やリードフレームあるいは半導体素子との密着性に関する研究開発がなされています。樹脂密着性の評価方法としては、SEMI G69-0996準拠のプリンカップ試験体によるせん断強度試験が一般的ですが、製品状態では、製品内にプリンカップを成型することができないため、この試験そのままの適用は困難でした。

本評価技術は、レーザ加工装置と精密研磨技術を駆使して、モールド樹脂をプリンカップ形状に成形加工し、せん断強度試験を可能にしたものです。製品状態での評価が行えるため、製造過程の要因(アウトガス、ハンドリングによる汚染等)によるモールド樹脂の密着強度の低下、あるいは、信頼性試験前後における密着性の変化を捉えることができます。従来のプリンカップ試験体と異なり、製品そのものの密着強度が得られるため、実態に即した精度の高い密着性評価に資する技術です。

②主な仕様

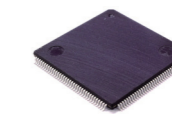
- (1) シェア強度: 最大約40MPa迄測定可能
- (2) サンプルサイズ: 最大50mm×120mm
- (3) シェアツールサイズ: 4mm幅、6mm幅、12mm幅 計3種
- (4) 測定温度: 常温~250°C(加熱ステージ使用)

③特徴

- (1) 半導体パッケージ内のリードフレーム以外に半導体素子あるいはセラミック基板とモールド樹脂界面の加工および評価が可能。
- (2) 加熱ステージを使用することにより、半導体パッケージ等の使用環境温度でのせん断強度計測が可能。

④解析事例

■半導体パッケージ



■レーザ加工前(断面模式図)



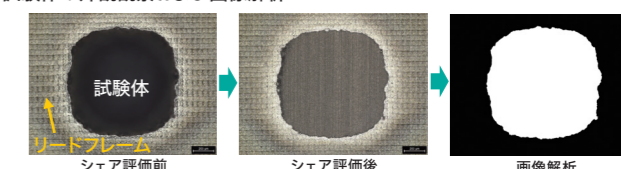
■レーザ加工による試験体の成形



■シェア強度評価



■試験体の外観観察および画像解析



■シェア強度評価結果

面積(mm ²)	測定値(N)	せん断力(N/mm ²)	試験体について画像解析を実施し、モールド樹脂の面積から単位面積あたりのせん断力を算出。
2.58	78.06	30.26	