

1. 緒 言

疲労破壊は構造に比較的小さな荷重が繰り返し負荷されることによって、亀裂が徐々に進展している現象であることに對し、脆性破壊は比較的大きな荷重が単発で負荷された際に亀裂が一気に進展する現象である。そのため、脆性破壊は疲労破壊と比べて突発的に甚大な被害が生じる傾向にある。特に大型溶接鋼構造物である船舶においては脆性破壊のリスクが比較的高く、安全性の保証は極めて重要である。また、近年の船舶におけるコンテナ船の大型化に伴う極厚板の使用の増加や、LNG の輸送ニーズの増加や北極海航路の開発などによる極低温環境下での使用は脆性破壊のリスクを高くしている。

現行の脆性破壊に対する破壊強度評価法は英国の BS 規格と日本の WES 規格が存在するが、いずれも精度もしくは利便性などに改善の余地がある上に、評価方法が経験則に基づいており、未知の構造形状に対して危険側の評価を与える可能性がある。

そこで、本研究ではこの両者の規格の長所を合わせた合理的かつ実用性に優れた新しい破壊強度評価法を構築した。また、その有用性を数値解析と破壊試験から検証したため、これに関して報告する。

2. 脆性破壊強度評価法の構築

本研究では CTOD (Crack Tip Opening Displacement: 亀裂先端開口変位量 図 1 参照) 支配破壊を仮定している。すなわち、構造形状や亀裂寸法によらず、外力によって生じる駆動力としての CTOD (δ) が材料ごとに決められた限界値 (限界 CTOD, δ_c) に達した際に破壊するということである。 δ_c は CTOD 試験などの材料試験から得られるため、本研究の目的は任意の条件での δ を安全側に高精度かつ簡便に評価する手法を構築するということに置き換えることができる。図 2 に本研究で提案する脆性破壊安全評価法である CTOD-FAD を示す。CTOD-FAD は BS 規格で用いられる FAD (Failure Assessment Diagram: 破壊評価線図) の評価方法を用いるとともに、パラメータに WES 規格で用いられる CTOD や局所ひずみを用いている。

FAD では各パラメータから横軸と縦軸の値を求め、その値が FAC (Failure Assessment Curve: 破壊評価曲線, FAC 上で $\delta = \delta_c$) より内側にプロットされれば非破壊 ($\delta < \delta_c$)、外側にプロットされれば破壊 ($\delta > \delta_c$) と評価する。本研究では横軸に仮想亀裂上 (亀裂がない仮想的なモデルにおける亀裂が本来ある場所) の最大ひずみを用い、FAC に無限平板の構造モデルにおける FAD 上の縦軸および横軸の値の関係を用いる事によって、任意の構造形状において合理的に安全側の評価を与えることが可能となっている。

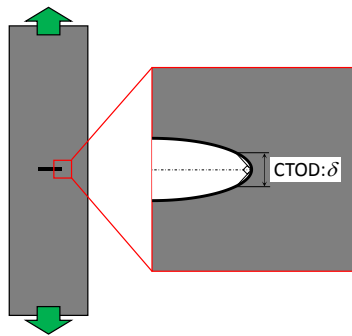


図 1 CTOD 定義

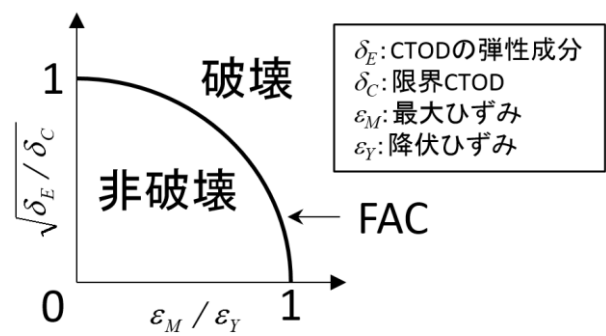


図 2 CTOD-FAD

3. 構築した脆性破壊強度評価法の検証

3.1 数値解析

図3に本研究で数値解析において検証した3種類の構造モデルの形状を示す。この構造モデルに対して材料物性、亀裂寸法、外力、溶接残留応力などを変化させた場合のCTOD-FAD上での破壊点($\delta = \delta_c$)での評価を図4に示す。いずれの構造モデル、条件においても提案したCTOD-FADによってFACの外側にプロットされており、すなわち少なくとも安全側の評価が与えられている。

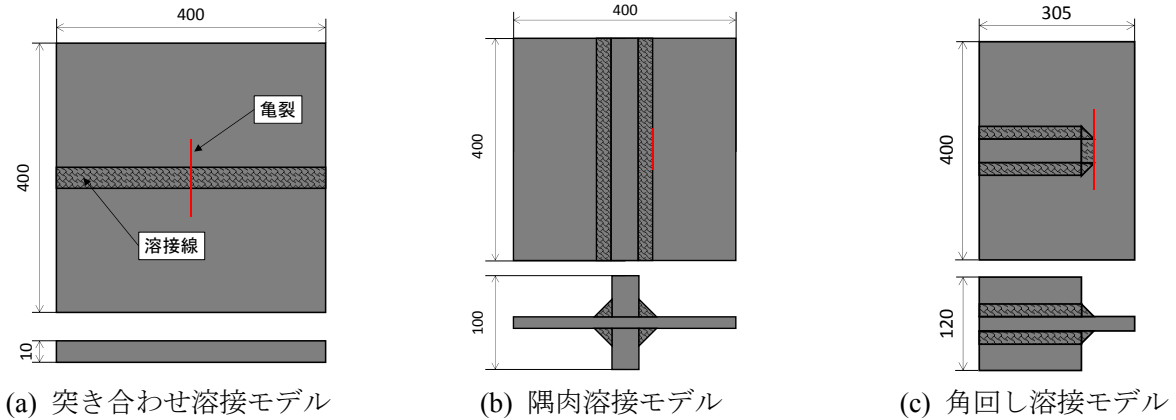


図3 構造モデル形状

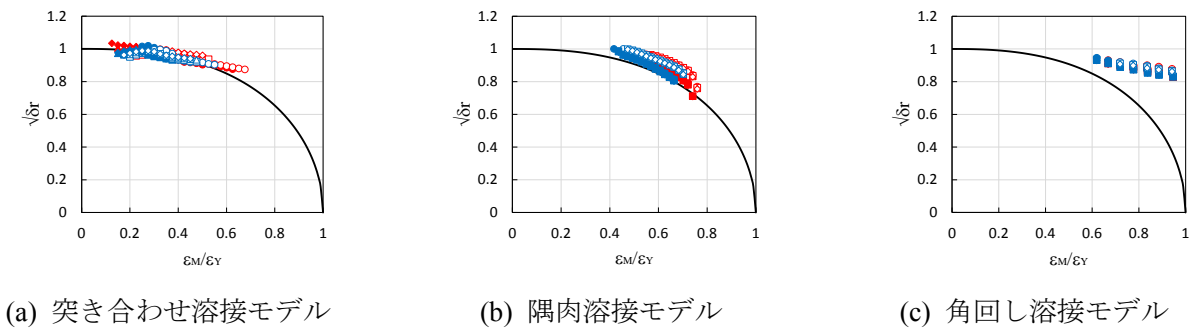


図4 CTOD-FADによる破壊評価

3.2 破壊試験

図5に本研究において試験を行った2種類の破壊試験片の形状を示す。この試験片に対して外力を負荷し、破壊させた結果におけるCTOD-FADの評価を図6に示す。いずれの試験片においても脆性破壊は発生したが、CTOD-FADの評価ではいずれも非破壊という評価を与えた。これは溶接の熱影響による材料の劣化や、亀裂部における非破壊が原因と思われる。

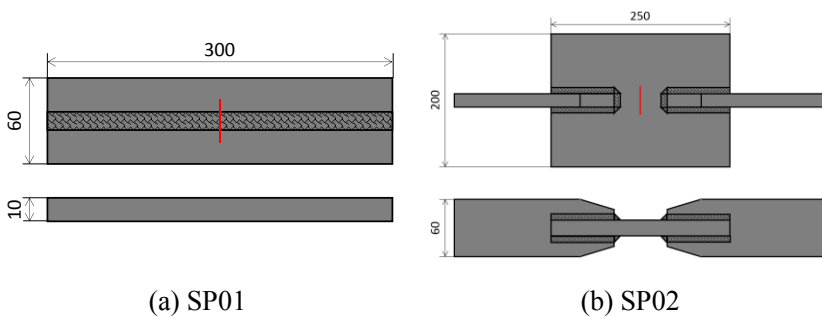


図5 破壊試験片

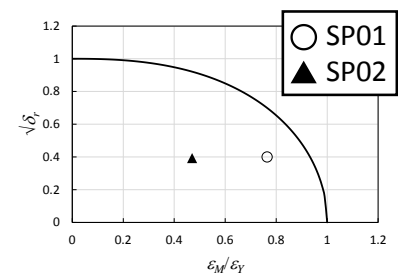


図6 CTOD-FADによる評価