

平成 25 年度 TSUBAME 産業利用トライアルユース 成果報告書

利用課題名 脆性破壊の予測を目的とした構造解析  
英文: Structural analysis for brittle fracture prediction

利用課題責任者  
Takumi Ozawa

所属  
National Maritime Research Institute.  
URL <https://www.nmri.go.jp/>

#### 邦文抄録

近年の船舶の厚板、低温での利用の拡大により、脆性破壊の危険性が増している。より精度の高い脆性破壊の予測方法の確立は船舶の安全な航行において必要不可欠である。本課題では亀裂を有したモデルの有限要素解析を行うことにより現行の基準よりも精度、利便性の高い破壊強度評価基準を作成することを目的としている。しかし、亀裂を有した有限要素モデルは亀裂先端での応力、変形挙動が重要となるため、亀裂先端で要素を細かくする必要がある。そのため、亀裂を有していないモデルと比較し、計算コストが極めて高い。そのため、一般の計算機では計算に膨大な時間が必要となるため、TSUBAME を用い、並列計算を行うことにより、効率的な検証を行う。

#### 英文抄録

Recently, the risk of brittle fracture is increasing because of the expansion of use in low temperature and plank for ship. It is necessary for safety navigation to establish accurate prediction method of brittle fracture. The purpose of this project is creating more accurate and more convenient fracture strength assessment than current one with FEA. However, it is necessary for the model with crack to create finer element at crack tip because of importance of stress and deformation behavior at crack tip. So, calculate cost of the model with crack is higher than the model without crack. Because, a lot of time is needed to calculate with general computer, we verify effectively by using TSUBAME and parallel computation.

*Keywords:* Fracture mechanics, CTOD, FAD, FEM

#### 背景と目的

脆性破壊は FEM で予防できる座屈や変形と比べ予測が難しく、疲労亀裂と異なり突発的に発生するため予防が困難である。さらに、頻度は少ないものの、脆性破壊事故の被害は甚大であり、船舶関係者にとって最も不安な要素の一つとしてあげられる。1997 年にコンテナ船 MSC カーラ号が航海中に折損沈没した事故も、溶接部から生じた脆性破壊が原因であり、社会問題となった。特に近年では船舶の大型化に伴い鋼板が厚手化の傾向にあり、また LNG の輸送ニーズの拡大やメタンハイドレートなどの新たな低温物質の輸送、さらには北極海航路や氷海ガス田開発などによる氷海域での船舶や海洋構造物の使用が拡大しているが、脆性破壊が厚板、低温側で発生しやすいことを考慮すれば、近年の動向は脆性破壊のリスクを高めているといえ、今まで確認されていなかった脆性破壊事故が生じる可

能性がある。

本課題は脆性破壊をより正確に予測する破壊強度評価基準の作成を最終目標としている。しかし、亀裂を有した構造の有限要素モデルは亀裂先端での挙動を正確に計算する必要があるため、亀裂先端でメッシュが細くなる。また、多くの構造で有用な破壊強度評価法を作成するには多くの構造、材料に対する有限要素法解析による検討を行う必要がある。以上のことから、本課題の計算コストは極めて高く、一般的な計算機で検討するには膨大な時間を要する。そこで、TSUBAME および並列計算を用いることにより計算時間を大幅に短縮させることにより、結果の検討に多くの時間を用い、効率的に検討を行う。結果、貫通亀裂に対して有用な破壊強度評価手法を提案するに至った。本稿では構造モデルの一例、および計算時間と並列数との相関に関して報告する。

## 概要

本課題では様々な構造体の亀裂先端での変形挙動を有限要素法により解析的に求め、より正確な脆性破壊の予測に資する。

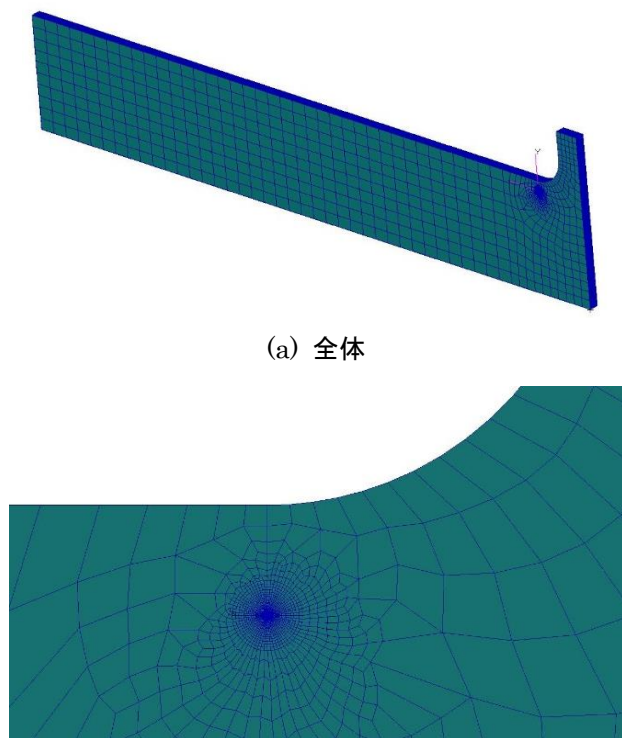
有限要素解析において、プリ・ポストプロセッサに Patran 2012 を、ソルバーに Marc 2013 を用いる。

また、Marc に備わっている並列計算機能を用い、並列数と計算時間の相関を比較することによって、今後の作業効率を向上させる。

## 結果および考察

### 1. 亀裂付構造モデルおよび亀裂先端の変形形状

本課題での破壊モデル試験片の一例を図 1 に示す。このモデルは長手方向中央片側に張出部を設けた試験片の 4 分の 1 対称モデルであり、トウ部の応力集中部に長さ 5 [mm] の亀裂を設けている。両端から引張荷重を負荷することにより、亀裂先端の開口形状および応力を求めることを目的として有限要素解析を行う。このため、亀裂先端でメッシュを細かく切っている。ただし、亀裂の形状が単純な貫通亀裂を設けているため、節点数が 20 万、要素数が 18 万とそれほど多くない。



(b) 亀裂先端周辺

図 1 貫通亀裂付構造モデル

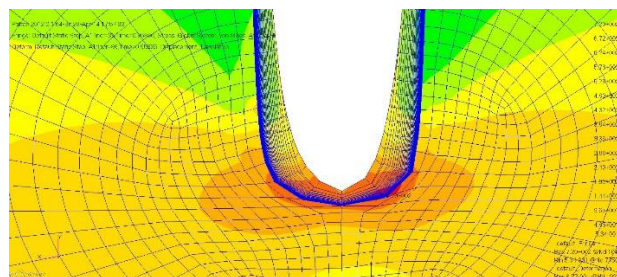


図 2 亀裂先端の開口形状および相当応力

荷重を負荷した際の開口形状および相当応力の一例を図 2 に示す。図 2 は厚さ方向の中立面から表面方向へ向いており、外力によって開いた亀裂から奥の要素が見えるため、表面よりも板厚中央の方が亀裂の口の開き方が大きいといえる。脆性破壊の発生は亀裂先端の口開き量の大きさに依存するため、脆性破壊に対する安全性を評価する上では構造の表面ではなく、板厚方向の中立面の挙動に着目する必要があるといえる。

### 2. 計算時間の比較

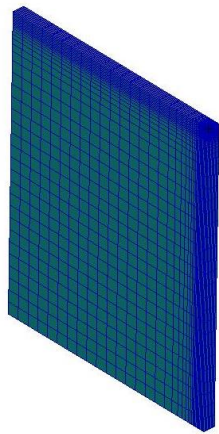
所内の計算サーバーおよび TSUBAME の計算速度の比較を次に示す。

比較に用いた有限要素モデルを図 3 に示す。図 3 は表面亀裂を有した平板の 8 分の 1 対称モデルであり、表面亀裂を有した構造では最も単純な形状である。しかし、表面亀裂は貫通亀裂と比べ、形状が複雑であり、かつ開口量が少ないため、亀裂先端でより細かくメッシュを切る必要がある。そのため、節点数が 58 万、要素数が 38 万と、先ほどのモデルと比べて板自体の形状がシンプルに関わらず、節点数、要素数が多い。

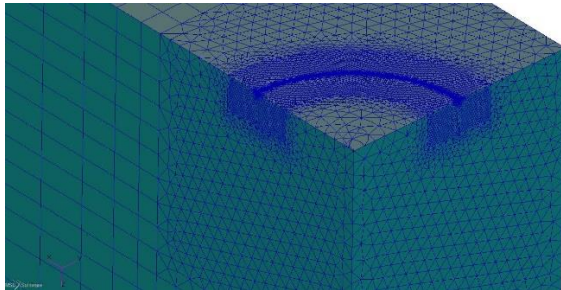
表 1 は所内の計算サーバーと TSUBAME (S96) のスペックを比較したものである。単純にクロック数を比較した場合、弊所のサーバーの処理能力が高い。図 4 はシングルコア、並列演算無しで計算した際の TSUBAME と弊所の計算サーバーの総経過時間および総 CPU 時間である。計算に要した時間がクロック数におおよそ反比例している。この条件で計算を行った場合、弊所のサーバーで計算した方が、TSUBAME を利用するよりも必要な時間が短いという結果となった。しかし、実モデルを検証する上で、要素数、節点数ともに増大することが予測される上、多くの構造で有用な破

壊強度評価法を確立するためには多くの構造モデルで計算を行う必要がある。一つの単純なモデルの計算に二日弱を要するのは計算コストがかかりすぎる。

一方, TSUBAME で並列演算を行った場合の経過時間と並列数との関係を図 5 に示す。並列演算は Marc の領域分割法(DDM: Domain Decomposition Method)を用いて行い, 並列数とノード数を等しくした。図 5 より, 並列演算を行うことにより, 計算時間が飛躍的に短縮されることが判明した。



(a) 全体



(b) 亀裂先端

図 3 表面亀裂付構造モデル

表 1 CPU およびメモリ性能比較

|               | コア数 | クロック数    | MMR  |
|---------------|-----|----------|------|
| TSUBAME (S96) | 12  | 2.93 GHz | 96GB |
| 弊所計算サーバー      | 4   | 3.46GHz  | 48GB |

まとめ、今後の課題

貫通亀裂付構造モデルで FEM 解析を行い, 亀裂先端での開口形状および応力を計算した。また, 表面亀裂付構造モデルにおいて TSUBAME と弊所計算サーバーの計算時間を比較したところ, 並列計算を用いない場合は弊所計算サーバーの計算時間が短い, Marc に備わっている並列演算機能を用いることにより, 計算時間を飛躍的に短縮できることが明らかとなった。

今後はこの結果を参考に表面亀裂を有する構造モデルに対する破壊現象を解明する予定である。

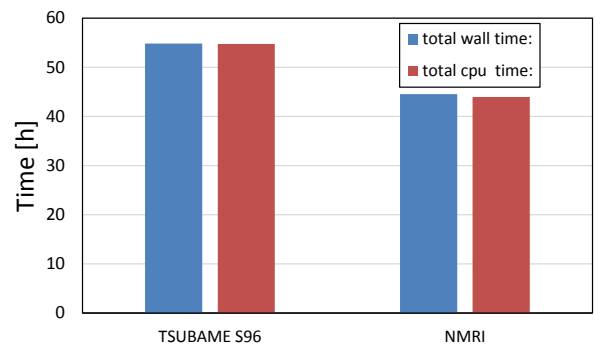


図 4 TSUBAME と弊所サーバーの計算時間比較

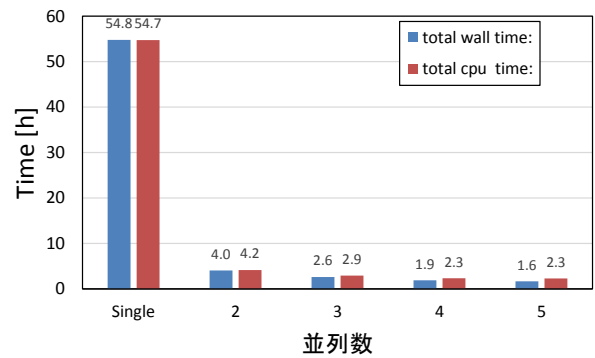


図 5 並列数と TSUBAME の計算時間の比較