

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03811

研究課題名(和文)大規模構造体の脆性亀裂停止性能評価の一般化：破壊力学モデルと合理的試験体系の確立

研究課題名(英文)Generalization of brittle crack arrest evaluation in large structures:
Development of fracture mechanics model and establishment of effective testing
procedures

研究代表者

柴沼 一樹 (Shibanuma, Kazuki)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授

研究者番号：30611826

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、大型構造物における脆性亀裂伝播停止性能評価の一般化に向けた研究として、(1)継手等の複雑な構造因子が亀裂伝播に与える影響の解明、(2)局所限界破壊応力理論を実装した数値解析手法の開発、を行った。構造不連続を含む継手構造に対し、高速度カメラ計測拡張有限要素法による数値解析を行った結果、構造因子によるアレスト性能向上効果が極めて高いことが明らかとなった。さらに、実用性の高い構造設計手法の確立に向けて重合メッシュに基づく高速亀裂伝播モデルを開発した結果、提案手法は極めて高い精度と計算効率の両立を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果により、大規模構造体における最も危険な損傷形態である「脆性亀裂伝播」に対して、全く新しいアプローチによる制御方法への道が開かれた。それは脆性亀裂アレスト設計の対象をアレスト靱性という単一の材料特性のみから構造体全体のアレスト性能へと拡張し、さらにそのアレスト性能を最大化するための数値シミュレーションによる構造設計によって実現可能できると考えられる。本研究の成果はその新たな設計コンセプトの基盤であり、高い学術的・社会的意義を有する。

研究成果の概要(英文)：In this study, (1) clarification of the effects of structural factors, and (2) development of a numerical simulation model based on local fracture stress criterion, were performed as studies for generalizing the evaluation of the performance in large structures for brittle crack propagation. We clarified that improving the arrest performance by the structural factor was extremely high by the combined analyses based on the high-speed camera measurements and the numerical simulations using the extended finite element method. In addition, we developed a dynamic crack propagation model based on the s-version of the finite element method. The proposed model demonstrated both extremely high accuracy and computational efficiency.

研究分野：破壊力学

キーワード：破壊力学 脆性破壊 高速亀裂伝播 アレスト 有限要素法 重合メッシュ法

1. 研究開始当初の背景

近年、市場の国際化に伴いコンテナ船の大型化が急速に進行している。これらの船体構造では、これまで経験のない 100 mm を超える極厚鋼板が使用されるが、この鋼板の板厚増加に伴い脆性破壊の可能性はより高まることが危惧されている。脆性破壊による大規模損傷を未然に防ぐためには、万が一破壊が発生しても、その後の亀裂の「伝播」を制御し、大規模損傷に至る前に安全に「停止」させる二段階の安全設計を行うことが極めて重要である。

この社会的背景を受けて、日本海事協会と日本溶接協会は、それまで議論が不十分であった船体構造用鋼板の脆性亀裂を停止させる性能(アレスト靱性)に関して、(1) 評価試験方法の確立、および、(2) 設計要件の明確化、のための研究委員会を段階的に発足させた。特に、設計要件の明確化においては、確立した板幅 500 mm の鋼板を用いる評価試験方法により得られたアレスト靱性値を基準として、継手構造を有する板幅 2,400 mm の実船構造モデル試験体を用いた大型試験を実施し、その実験結果に基づいた世界初のアレスト設計に関する指針を策定した。

一方、以上の実験事実として得られた知見はアレスト設計の基盤を成す極めて重要な成果であったものの、その理論的背景の解明は不十分であった。そこで、本研究課題の先行研究として科学研究費補助金による基礎研究(基盤研究(A) (17H01354)、若手研究(A) (15H05561))を実施し、(a) 脆性亀裂伝播・停止現象の最も重要な因子である劈開亀裂伝播の限界条件は亀裂前縁近傍の局所応力に支配されること(局所限界破壊応力理論)、および、(b) 長大亀裂では伝播に伴う塑性域の拡大により塑性拘束の緩和が生じ、その結果として亀裂伝播駆動力が低下すること、を明らかにした。これにより、40 年以上物理的根拠が不明であった長大亀裂問題の解明を含め、脆性破壊の伝播・停止現象を定量的に説明可能なモデル化理論の基礎を確立した。

アレスト性能に優れた構造体を設計する際、優れたアレスト性能を有する材料の開発は必須である。しかしながら、近年の実験的な検討により、このような材料特性だけでなく、継手などの構造因子もアレスト性能に及ぼす影響が少なくないことが明らかとなってきた。これは、継手構造においてより大きな構造不連続部がある場合にアレストが実現とアレスト性能の向上が見込まれるというものである。一方で、このような構造体スケールのアレスト試験には極めて膨大な費用と労力を要することから、取得可能な実験結果は断片的であり、また、このような構造因子によるアレスト性能への影響のメカニズムは未解明であった。したがって、この構造因子によるアレスト性能への寄与を解明し、構造アレスト設計のコンセプトを確立することは、材料開発とは別の次元で構造体としての飛躍的なアレスト性能の向上を実現する可能性を有する重要な課題である。

上述の脆性亀裂伝播停止挙動を再現するモデル化理論は、物理モデルとしての妥当性こそ示されたものの、その適用範囲は均質材を用いた単純な板構造に限定される。一方、上記のように構造因子もアレスト性能に及ぼす影響が少なくないことが見込まれる。このような任意の構造体における脆性亀裂アレスト現象を高精度に再現可能な汎用性の高い手法は未確立であるが、これが実現されれば、最適化手法と組み合わせることで、革新的なアレスト性能を有する構造体を提供できる極めて実用性の高い構造設計手法を構築できると考えられる。

2. 研究の目的

以上に述べた従来の研究における課題に対し、本研究では、

(1) 継手等の複雑な構造因子が亀裂伝播に与える影響の解明

(2) 局所限界破壊応力理論を実装した数値解析手法の開発

を行うことで、大型構造物における脆性亀裂伝播停止性能評価の一般化に向けた研究を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

3. 1. 継手等の複雑な構造因子が亀裂伝播に与える影響の解明

ここでは鉄鋼材料の劈開亀裂伝播と同様に亀裂伝播に伴うエネルギーの散逸が小さく、高速亀裂伝播が実現可能な材料として、透明樹脂材料である PMMA に着目し、構造不連続部を含む継手構造を模擬した小型試験体を用いた高速亀裂アレスト試験を実施した。さらに、高速度カメラによる高速亀裂伝播挙動の詳細計測と拡張有限要素法による応力拡大係数解析を組み合わせることによる実験と数値解析の統合的アプローチによって、継手の構造不連続などの構造因子が構造体のアレスト性能に及ぼす影響を、初めて定量的に評価することを試みた。

構造体の幾何学的因子が高速亀裂伝播挙動に与える影響のみを評価するために、継手部を接着で製作することはせず、1 つの PMMA のブロックからの切り出しによって試験体を製作した。Fig. 1 に用いた試験体の諸元を示す。亀裂を発生・伝播・停止させるための機構として、亀裂伝播に伴いその駆動力を低減させることが可能な DCB 試験を採用した。亀裂伝播挙動を計測す

の際の主要部材である垂直材の板厚は13mmとしたが、一部の試験片には継手部に相当する位置に構造不連続を想定した4mmまたは6mmの孔を加工し、合計で3種類の試験体 (P0: 孔なし、P4: 4mm 孔、P6: 6mm 孔) を製作した。亀裂発生時の荷重を様々に変化させるために、P0、P4、P6に対して亀裂発生部である切欠き底の半径を変化させた複数の試験体を用意した。高速カメラ計測は、Fig. 2 に示すようにナックイメージテクノロジー社の i-SPEED 726 を用い、十字継手を正面から捉える方向に視野を設定し、撮影速度250,000 fps の条件で実施した。さらに、構造不連続を含む継手構造における亀裂停止のメカニズムを解明するために、高速カメラ計測により得られた高速亀裂伝播過程における詳細な亀裂前縁の位置・形状の履歴を合理的に利用し、亀裂と有限要素を独立に定義可能な拡張有限要素法を用いた応力拡大係数解析を行った。

3. 2. 局所破壊応力理論を実装した数値解析手法の開発

広く知られるように有限要素法は構造解析に対する最も強力な数値解析手法である。このため、任意の構造体に適用可能な脆性亀裂アレスト現象のモデル開発は有限要素法の枠組みで進めることが有効であると考えられる。

これまでの研究を参照すると、局所限界破壊応力理論に基づく局所応力評価は亀裂前縁前方の100~300 μm の位置で評価する必要がある。一方、構造設計の対象となる部材の寸法を約2mと仮定すると、そこには約10,000倍のスケールギャップが存在することになる。これまでの予備検討によると、高精度を実現するためには亀裂前縁位置と局所応力の評価点の間に有限要素3~5個を配置する必要があることが明らかとなっている。仮に要素サイズを50 μm と仮定すると、板厚80mmの鋼板における1mの亀裂伝播を再現するためには、亀裂伝播面上だけで3000万個以上の節点を配置する必要がある。構造体全体を考えると、これは少なく見積もっても数億~十数億自由度規模の有限要素モデルに相当する。さらに亀裂の伝播を再現するために2万回もの繰り返し計算が必要となる。これはスーパーコンピュータを使用した超並列計算をもってしても長時間を要する規模の計算であり、とても構造設計のツールとして実用に耐えられるものではない。このため、実用性の高い構造設計手法の確立のために計算コストの削減は極めて重要な必須の課題である。

この課題を解決するために、有限要素法の枠組みにおける数値解析手法の1つである重合メッシュ法に着目した。重合メッシュ法とは、対象領域全体を比較的粗大な要素で構成されたグローバルメッシュにより離散化し、応力集中部などの着目部位に対して、より詳細な要素で構成されるローカルメッシュを重合する手法である。本研究は、この局所的な高精度評価を実現するローカルメッシュを柔軟に定義可能な重合メッシュのコンセプトを、初めて動的亀裂伝播問題へ適用することで新たな破壊力学モデルの構築を試みたものである。

4. 研究成果

4. 1. 構造因子が亀裂伝播に与える影響の解明

試験結果として得られた、亀裂停止長さ l とピン間変位(亀裂伝播駆動力に相当)の関係を図3に示す。この結果より、より大きな構想不連続を有する試験体ほど、より早期に亀裂が停止していることが示唆され、その影響はフランジ部において顕著であった。特に、P0-3、P4-4 および P6-2 の試験結果に着目すると、ピン間距離が低い順に $P0-3 < P4-4 < P6-2$ であるにもかかわらず、亀裂停止長さは $P0-3 > P4-4 > P6-2$ となり、傾向が逆転していることが分かる。すなわち、より大きな構造不連続を継手部に加工することで、大幅にアレスト性能を向上させることが

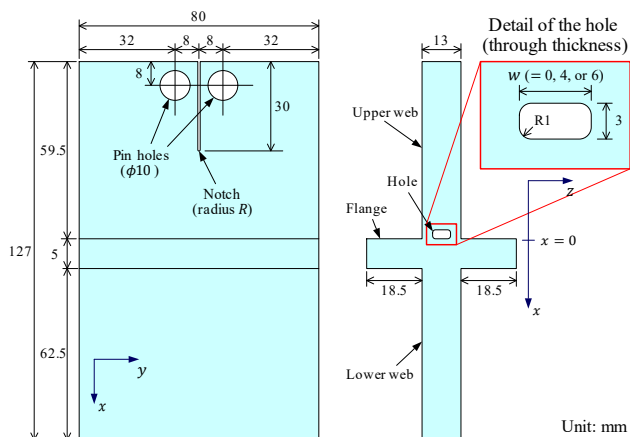


Fig. 1 構造因子のアレスト性能への影響を評価するためのPMMAを用いた継手構造模擬試験体(一部の試験体は継手位置に4mmまたは6mmの孔を加工して構造不連続を再現)

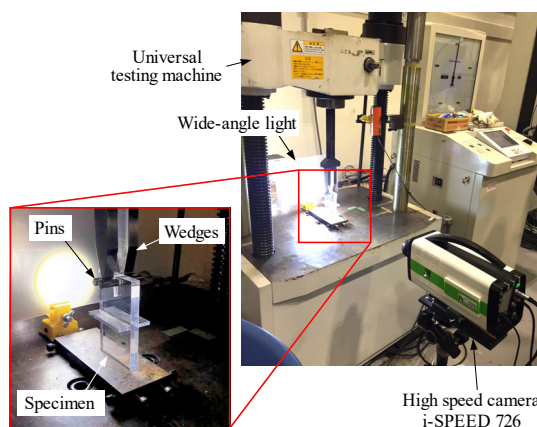


Fig. 2 高速カメラによるPMMAを用いた継手構造アレスト試験における亀裂伝播挙動計測のセットアップ

可能であることが示された。

高速度カメラにより計測された P0-3、P4-4 および P6-2 の亀裂伝播挙動と最終亀裂停止位置を Fig. 4 に示す。構造不連続を有する P4-4 および P6-2 では、亀裂がフランジ部に突入する際にその前縁形状が大きな曲率を伴って湾曲し停止に至っていることなど、精密な高速亀裂伝播挙動の計測に成功した。

Fig. 5 に、拡張有限要素法に基づく応力拡大係数解析により得られた P0-3、P4-4 および P6-2 の亀裂進展に伴う最大主応力分布の推移を示す。さらに、相互積分法に基づき評価した応力拡大係数 K の推移を Fig. 6(a) に示す。この結果より、構造不連続部なしの P0-4 において K は単調に減少しそのまま亀裂停止に至ることが確認された。一方、構造不連続を有する P4-4 および P6-2 では、 K は孔の側部を亀裂が通過する際に一時的に増加するものの、その後急速に低下した。その急速な K の低下傾向は亀裂がフランジに突入後も継続し、最終的には P4-4 および P6-2 共に P0-3 とほぼ等しい K で、P0-3 よりも早期にアレストに至った。構造不連続によるアレスト性能向上の効果をより定量的に評価するために、穴加工ありの試験である P4-4 および P6-2 の結果を構造不連続部なしの P0-3 の結果で正規化した結果を Fig. 6(b) に示す。この結果より、最も大きい構造不連続を有する P6-2 では、構造不連続部なしの P0-3 と比較して、 K は 35% も大幅に低下していることが明らかとなった。この結果は、1.5 倍ものアレスト靱性を有する材料を適用するのと同等の効果であり、実際の材料開発と比較しても、構造因子によるアレスト性能向上効果は極めて高いことが明らかとなった。今後、数値解析手法の開発を進めるとともに、それと構造最適化手法とを組み合わせることで革新的なアレスト性能を有する構造体の実現が期待される。

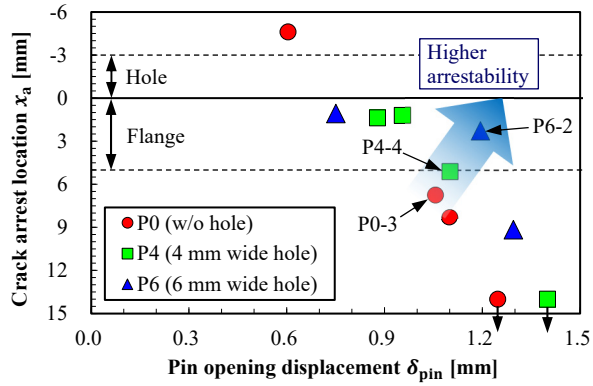


Fig. 3 PMMAを用いた継手構造アレスト試験における亀裂停止長さとのピン間変位の関係

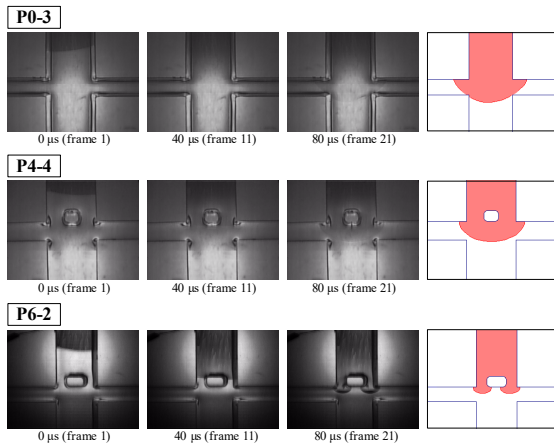


Fig. 4 高速度カメラによるPMMA継手構造アレスト試験における亀裂伝播挙動の計測結果

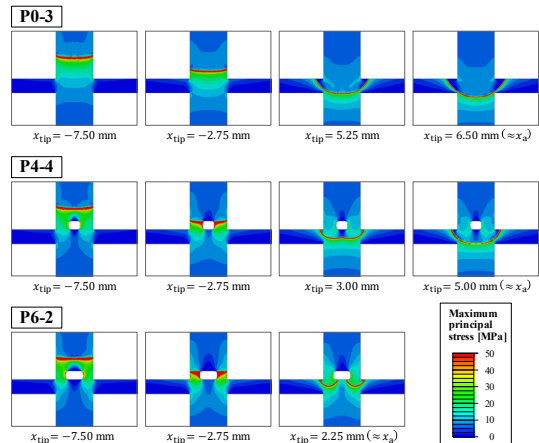


Fig. 5 拡張有限要素法により得られたPMMAを用いた継手構造アレスト試験の最大主応力分布

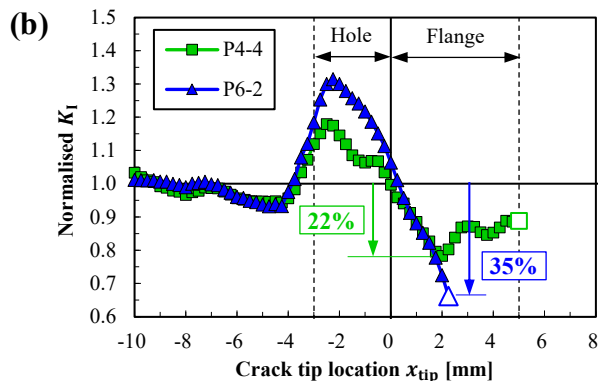
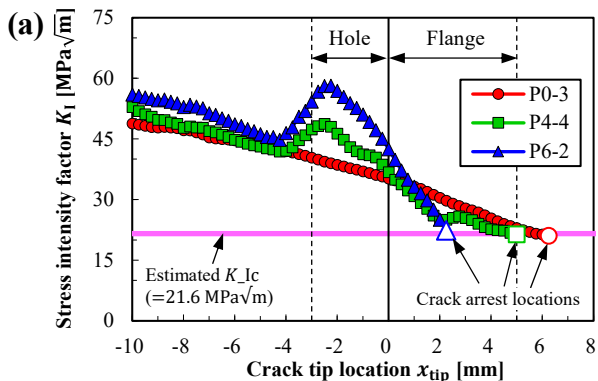


Fig. 6 (a) 拡張有限要素法に基づくPMMAを用いた継手構造アレスト試験における応力拡大係数 K の推移および (b) 孔なし試験体の結果 (P0-3) で正規化した K の推移⁷⁾

4. 2. 局所破壊応力理論を実装した数値解析手法の開発

本研究で提案した重合メッシュ法に基づく高速亀裂伝播モデルの概念図を Fig. 7 に示す。ローカルメッシュは局所限界破壊応力理論を高精度に実装するために必要な最小限の自由度により高速伝播する亀裂前縁近傍のみに定義する。このため、亀裂の伝播と共にローカルメッシュも移動することとなる。

重合メッシュ法に基づく動的構造解析では変位 $\mathbf{u}(\mathbf{x})$ および加速度 $\ddot{\mathbf{u}}(\mathbf{x})$ を次式で近似する。

$$\mathbf{u}(\mathbf{x}) = \begin{cases} \mathbf{u}^G(\mathbf{x}) & \text{in } \Omega^G \setminus \Omega^L \\ \mathbf{u}^G(\mathbf{x}) + \mathbf{u}^L(\mathbf{x}) & \text{in } \Omega^L \end{cases} \quad (1)$$

$$\ddot{\mathbf{u}}(\mathbf{x}) = \begin{cases} \ddot{\mathbf{u}}^G(\mathbf{x}) & \text{in } \Omega^G \setminus \Omega^L \\ \ddot{\mathbf{u}}^G(\mathbf{x}) + \ddot{\mathbf{u}}^L(\mathbf{x}) & \text{in } \Omega^L \end{cases} \quad (2)$$

このように、ローカルメッシュがグローバルメッシュに重合する領域では単純に両者の有限要素近似を重ね合わせることで変位および加速度の近似を得る事ができる。また、ローカルメッシュの境界 Γ^{GL} における変位 $\mathbf{u}(\mathbf{x})$ および加速度 $\ddot{\mathbf{u}}(\mathbf{x})$ の連続性を保障するために、次式の Dirichlet 境界条件を課す必要がある。

$$\mathbf{u}^L(\mathbf{x}) = \mathbf{0} \quad \text{on } \Gamma^{GL} \quad (7)$$

$$\ddot{\mathbf{u}}^L(\mathbf{x}) = \mathbf{0} \quad \text{on } \Gamma^{GL} \quad (8)$$

以上のように定義された重合メッシュ法の定式化に基づきモデル化した亀裂前縁近傍の変形を Fig. 8 に模式的に示す。亀裂の開口を含め亀裂前縁近傍がローカルメッシュとグローバルメッシュの重合によって詳細かつ滑らかに再現されることが分かる。

以上のモデル化に基づき、ローカルメッシュを定義するための設計変数を設定し、通常有限要素解析と同等の局所応力の評価精度を提供可能とする制約条件のもとで、ローカルメッシュ領域の最小化を行った。最小要素サイズを $50 \mu\text{m}$ に設定し、最小化されたローカルメッシュを用いた提案手法と、通常有限要素法を用いた従来手法で、様々な亀裂長さの亀裂伝播解析を実行した際の必要自由度数の比較を行った結果を Fig. 9 に示す。亀裂長さが長いほど重合メッシュ法に基づく提案手法の優位性が顕著になり、検証した範囲の最大の亀裂長さである 500mm (10,000 ステップ) の場合では、提案手法の自由度数は従来手法のわずか7%まで低減できることが示された。計算時間が自由度数のみに依存する仮定し、線形ソルバーによる計算時間がおおよそ自由度数の3乗に比例することを考えると、これは提案手法が従来の0.034%まで計算時間を低減可能であることを示唆しており、極めて大きな計算コストの改善効果を実現した。

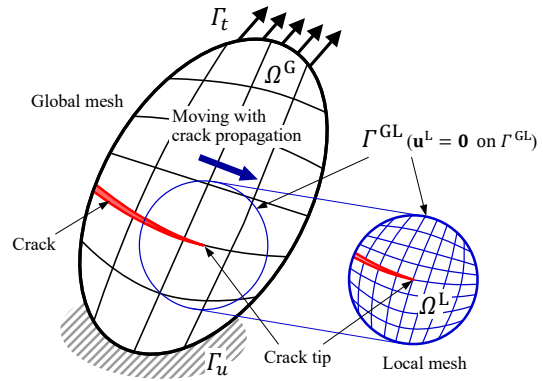


Fig. 7 重合メッシュ法に基づく動的亀裂伝播モデルのコンセプト

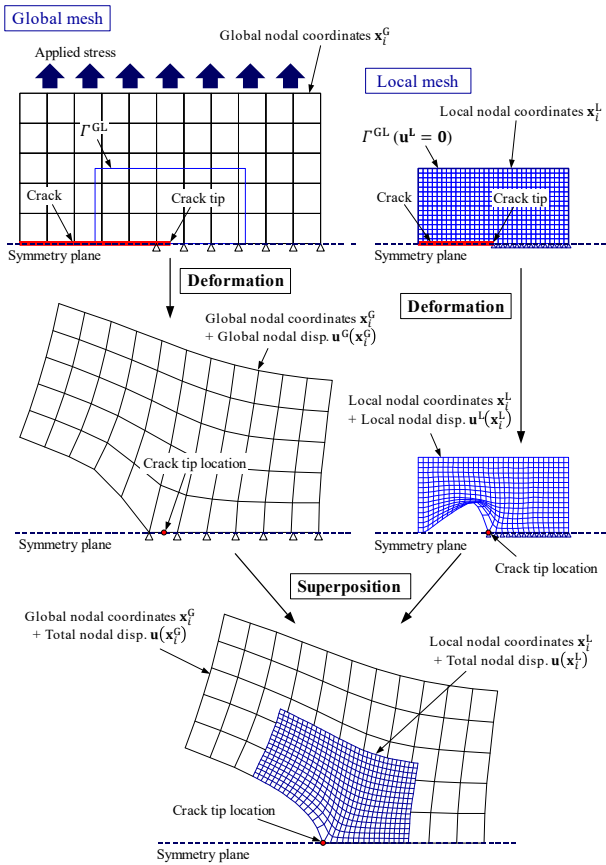


Fig. 8 重合メッシュ法による亀裂前縁近傍変位場の再現

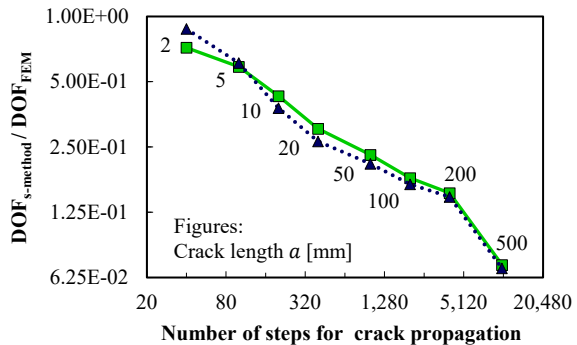


Fig. 9 提案手法の計算コスト改善効果 (提案手法の自由度数を通常有限要素法に基づく従来手法の自由度数で正規化)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kishi Kota, Takeoka Yuuki, Fukui Tsutomu, Matsumoto Toshiyuki, Suzuki Katsuyuki, Shibamura Kazuki	4. 巻 366
2. 論文標題 Dynamic crack propagation analysis based on the s-version of the finite element method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering	6. 最初と最後の頁 113091 ~ 113091
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cma.2020.113091	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yanagimoto Fuminori, Shibamura Kazuki, Matsumoto Toshiyuki, Suzuki Katsuyuki	4. 巻 218
2. 論文標題 Governing factors of the local tensile stress in the vicinity of a rapidly propagating crack tip in elastic-viscoplastic solids	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Engineering Fracture Mechanics	6. 最初と最後の頁 106548 ~ 106548
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.engfracmech.2019.106548	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shibamura Kazuki, Suzuki Yuta, Kiriya Kazuya, Suzuki Katsuyuki, Shirahata Hiroyuki	4. 巻 176
2. 論文標題 A model of cleavage crack propagation in a BCC polycrystalline solid based on the extended finite element method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 232 ~ 241
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2019.07.013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yanagimoto Fuminori, Hemmi Takuhiro, Suzuki Yuta, Takashima Yasuhito, Kawabata Tomoya, Shibamura Kazuki	4. 巻 177
2. 論文標題 Contribution of grain size to resistance against cleavage crack propagation in ferritic steel	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 96 ~ 106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2019.06.038	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yanagimoto Fuminori, Shibamura Kazuki, Suzuki Katsuyuki, Matsumoto Toshiyuki	4. 巻 221
2. 論文標題 A physics based model to simulate brittle crack arrest in steel plates incorporating experimental and numerical evidences	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Engineering Fracture Mechanics	6. 最初と最後の頁 106660 ~ 106660
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.engfracmech.2019.106660	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawabata Tomoya, Inoue Takehiro, Tagawa Tetsuya, Fukui Tsutomu, Takashima Yasuhito, Shibamura Kazuki, Aihara Shuji	4. 巻 71
2. 論文標題 Historical review of research on brittle crack propagation arresting technology for large welded steel structures developed in Japan with the application of Kca parameters	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Marine Structures	6. 最初と最後の頁 102737 ~ 102737
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marstruc.2020.102737	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kishi Kota, Yanagimoto Fuminori, Fukui Tsutomu, Matsumoto Toshiyuki, Shibamura Kazuki	4. 巻 174
2. 論文標題 Analysis of rapid crack arrestability enhancement by structural factors in cross-joint components using a transparent elastic solid	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Mechanical Sciences	6. 最初と最後の頁 105502 ~ 105502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijmecsci.2020.105502	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yanagimoto Fuminori, Shibamura Kazuki, Suzuki Katsuyuki, Matsumoto Toshiyuki, Aihara Shuji	4. 巻 144
2. 論文標題 Local stress in the vicinity of the propagating cleavage crack tip in ferritic steel	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials & Design	6. 最初と最後の頁 361 ~ 373
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matdes.2018.02.037	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yanagimoto Fuminori, Shibamura Kazuki, Nishioka Yo, Shirai Yuya, Suzuki Katsuyuki, Matsumoto Toshiyuki	4. 巻 144-145
2. 論文標題 Local stress evaluation of rapid crack propagation in finite element analyses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Solids and Structures	6. 最初と最後の頁 66 ~ 77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijsoistr.2018.04.014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yanagimoto Fuminori, Shibamura Kazuki, Suzuki Katsuyuki	4. 巻 13
2. 論文標題 High speed observation of fast crack propagation and arrest behaviour in 3D transparent structures	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Procedia Structural Integrity	6. 最初と最後の頁 2095 ~ 2100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.prostr.2018.12.202	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kishi Kota, Shibamura Kazuki, Yanagimoto Fuminori, Suzuki Katsuyuki, Matsumoto Toshiyuki	4. 巻 13
2. 論文標題 Development of dynamic mesh superposition method for local tensile stress evaluation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Procedia Structural Integrity	6. 最初と最後の頁 1111 ~ 1116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.prostr.2018.12.233	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yanagimoto Fuminori, Shibamura Kazuki, Okawa Teppei, Suzuki Katsuyuki, Aihara Shuji	4. 巻 13
2. 論文標題 Investigation on brittle crack propagation and arrest behaviour under high crack driving force in steel	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Procedia Structural Integrity	6. 最初と最後の頁 116 ~ 122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.prostr.2018.12.020	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nishizono Yuki, Kawabata Tomoya, Aihara Shuji, Okawa Teppei	4. 巻 accepted
2. 論文標題 A simplified method for evaluation of brittle crack arrest toughness of steels in scaled-down bending tests	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Engineering Fracture Mechanics	6. 最初と最後の頁 accepted
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.engfracmech.2019.03.047	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 柴沼一樹、岸康太、柳本史教、福井努、松本俊之
2. 発表標題 構造因子による亀裂アレスト性能の向上効果の定量評価 - 透明樹脂を対象とした実験と数値解析 -
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会東部構造研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柴沼一樹
2. 発表標題 鉄鋼材料の劈開亀裂伝播抵抗に対する結晶粒径の意義
3. 学会等名 日本金属学会研究会No.82 "微小領域の力学特性評価とマルチスケールモデリング" 2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Suzuki Yuta, Yanagimoto Fuminori, Hemmi Takuhiro, Takashima Yasuhito, Kawabata Tomoya, Shibamura Kazuki
2. 発表標題 Relationship between grain size and cleavage crack propagation resistance in ferrite pearlite steels
3. 学会等名 ICM13 (13th International Conference on Mechanical Behaviour of Materials) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kishi Kota、Yanagimoto Fuminori、Shibanuma Kazuki
2. 発表標題 3D effect of rapid crack propagation in T joint components made of the transparent elastic material
3. 学会等名 ICM13 (13th International Conference on Mechanical Behaviour of Materials) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yanagimoto Fuminori、Shibanuma Kazuki、Suzuki Katsuyuki
2. 発表標題 Investigation on shear lip formation of brittle crack propagation in steels
3. 学会等名 ISOPE 2018 (The 28th International Ocean and Polar Engineering Conference) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柳本 史教, 柴沼 一樹, 鈴木 克幸
2. 発表標題 透明材料を用いた継手構造中の3次元高速亀裂伝播挙動観察
3. 学会等名 日本機械学会 M&M2018材料力学カンファレンス
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柳本 史教, 岸 康太, 柴沼 一樹
2. 発表標題 局所破壊応力理論に基づく脆性亀裂伝播・停止挙動研究の試み
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会 秋季講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柳本 史教, 柴沼 一樹, 鈴木 克幸
2. 発表標題 高速亀裂先端近傍応力場の支配因子に関するパラメトリックスタディ
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会 春季講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yanagimoto Fuminori, Shibamura Kazuki, Suzuki Katsuyuki
2. 発表標題 High speed observation of fast crack propagation and arrest behaviour in 3D transparent structures
3. 学会等名 ECF22 (The 22nd European Conference on Fracture)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kishi Kota, Shibamura Kazuki, Yanagimoto Fuminori, Suzuki Katsuyuki, Matsumoto Toshiyuki
2. 発表標題 Development of dynamic mesh superposition method for local tensile stress evaluation
3. 学会等名 ECF22 (The 22nd European Conference on Fracture)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yanagimoto Fuminori, Shibamura Kazuki, Okawa Teppei, Suzuki Katsuyuki, Aihara Shuji
2. 発表標題 Investigation on brittle crack propagation and arrest behaviour under high crack driving force in steel
3. 学会等名 ECF22 (The 22nd European Conference on Fracture)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	鈴木 克幸 (Suzuki Katsuyuki) (10235939)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授 (12601)	
研究分担者	川畑 友弥 (Kawabata Tomoya) (50746815)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授 (12601)	
研究分担者	三目 直登 (Naoto Mitsume) (10808083)	筑波大学・システム情報系・助教 (12102)	
研究分担者	森田 直樹 (Morita Naoki) (20789010)	筑波大学・システム情報系・助教 (12102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------