

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K17627

研究課題名（和文）材料強度発現のメカニズム解明のための金属組織を考慮したマルチスケールき裂進展解析

研究課題名（英文）A multiscale analysis for crack propagation in metallographic structure to realize mechanism of material strength

研究代表者

新宅 勇一（Shintaku, Yuichi）

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号：80780064

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、金属の結晶組織の不均一性に起因する材料強度発現のメカニズムを解明するために、ミクロ構造を考慮可能なマルチスケールき裂進展解析手法を構築した。具体的には、従来のマルチスケール解析の欠点である周期境界による実現象とのかい離を解消し、ミクロ構造におけるき裂進展を微視的メカニズムに基づいてシミュレートすることで、無用な近似を使うことなく忠実にマクロ構造へ接続し、材料強度の予測可能とした。これにより、金属の結晶組織の不均一性に起因する材料強度およびバラツキの評価を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

材料の破壊現象における長年の課題として、同一の材料でも部材ごとに異なる強度を示すバラツキの問題が知られている。しかしながら、既存の理論体系では金属をマクロ的に均一な材料とみなすために材料強度のバラツキの問題を理論的に解決できず、材料組織設計に耐えうるものとはなっていない。そこで本研究では、ミクロ構造におけるき裂進展を微視的メカニズムに基づいてシミュレートし、無用な近似を使うことなく忠実にマクロ構造へ接続する新たなマルチスケール解析手法を構築する。これにより、ミクロ構造の不均一性に起因する脆性破壊における強度発現のメカニズムを再現し、そのバラツキを予測可能とする。

研究成果の概要（英文）：In this study, a multiscale analysis for crack propagation in metallographic structure is developed by combination between the proposed anisotropic damage constitutive law and new homogenization method to realize mechanism of material strength. The proposed anisotropic damage constitutive law enables us to represent crystallographic slip and cleavage fracture in brittle fracture. Also, we propose the new homogenization method that does not explicitly assume boundary conditions for microstructures with random or localized inhomogeneities. Specifically, instead of the periodic constraint condition on the fluctuation displacement, a condition is imposed such that the domain integral of the gradient is zero, which preserves the definition of macroscopic strain in the homogenization theory. The capability of our developed multiscale analysis is demonstrated throughout prediction of material strength of the polycrystalline aggregate and its dispersion.

研究分野：計算力学

キーワード：マルチスケール解析 破壊力学 損傷力学 結晶塑性 異方性損傷モデル 脆性破壊 き裂進展 計算力学

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

材料の破壊現象における長年の課題として、構造物の大きさによって材料強度が変化する寸法効果と、同一の材料でも部材ごとに異なる強度を示すバラツキの問題が知られている。特に金属の脆性破壊でこれらの問題が顕在化し、材料強度が最大で 150% も異なることが報告されている。脆性破壊の進行過程は、(i) 介在物における結晶すべりの蓄積による微小き裂の発生、(ii) 結晶粒内における微小き裂の進展、(iii) 微小き裂が結晶粒界に達した際には結晶粒の方位差によって一時的に停止し、伝播となる。すなわち、巨視的(マクロ的)な材料強度の違いは、結晶粒の形状や結晶方位および介在物などの微視的(ミクロ、もしくはメゾ的)構造の不均一性に起因する微小き裂の発生と進展によって生じる。また、近年の材料組織設計ではこのようなミクロ構造における微小き裂の進展メカニズムを巧みに利用して、結晶粒を繊維状に微細化することで材料強度を向上させた IF 鋼などが開発されている。しかしながら、既存の理論体系では金属をマクロ的に均一な材料とみなすために材料強度の寸法効果とバラツキの問題を理論的に解決できず、材料組織設計に耐えうるものとはなっていない。具体的には、現在の破壊に関する理論体系は、き裂先端の応力状態に着目した破壊力学^[1]とみかけ上の材料剛性や降伏応力の変化を表現した損傷力学^[2]に大別される。しかし、前者は応力関数論に基づくために結晶すべりなどの結晶粒の変形挙動を表現できず、後者は連続体力学に基づき材料の変形挙動を無限小の点と仮定するために実寸法に起因した不均一性の問題を表現することが困難となる。すなわち、従来の理論体系では材料のミクロ構造によってもたらされるマクロ的な強度の変化を評価することは根本的に不可能である。これらの問題を解決するためには、材料強度が発現するメカニズムをミクロ構造の数値解析で再現し、それに基づきマクロ強度を評価するマルチスケール解析が不可欠となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ミクロ構造におけるき裂進展を微視的メカニズムに基づいてシミュレートし、無用な近似を使うことなく忠実にマクロ構造へ接続する新たなマルチスケール解析手法を構築する。これにより、ミクロ構造の不均一性に起因する脆性破壊の材料強度の破壊メカニズムを再現し、そのバラツキを予測可能とする。

3. 研究の方法

まず、採択者が提案している結合埋込型構成則を応用し、金属材料のミクロ・スケールにおける結晶格子の異方性弾性変形・結晶すべりによる異方性塑性変形・へき開面の破壊を表現した微視的メカニズムに基づく材料構成則の開発を行った。これにより、結晶方位毎に異なる変形プロセスを弾性から塑性、そして最終的な破断に至るまでの過程を、微視的メカニズムに着目することで無用な近似を行うことなく、網羅的にシミュレート可能とした。

次に、従来のマルチスケール解析の基礎理論である均質化法は周期的なミクロ構造を前提して、周期的な数値解析モデルを用いる必要がある。そのため、当初は非周期的な数値解析モデルに周期境界を付加する手法を開発した。しかし、根本的に非周期的な構造に対して周期境界を強制的に付与すると、境界面において不自然な応力集中が生じていた。これにより、境界上から破壊が生じ、結果として数値解析が不安定になる問題が生じていた。そのため、均質化法の理論を一から見直し、ミクロとマクロの2つの空間スケールにおいてエネルギー保存則が成り立つ「非周期性を許容するマルチスケール解析手法」の開発に成功した。

最終的に、提案手法によって周期境界が不要となり、ミクロ構造の微視的なメカニズムに基づいて忠実にマクロ構造へ接続可能となったことで、金属の結晶組織の不均一性に起因する材料強度および、そのバラツキ評価が可能となった。

4. 研究成果

(1) へき開面における原子間分離に基づく異方性損傷構成則

提案する異方性損傷構成則では、変形勾配は従来の結晶塑性構成則と同様の弾・塑性成分に加えて、次式のようにき裂開口成分の乗算分解で与えられると仮定する。

$$F = F^e F^p F^w$$

ここで、 F^e は弾性変形勾配、 F^p は塑性変形勾配、 F^w はき裂開口変形勾配である。弾性成分は結晶格子の回転と歪み、塑性成分は結晶の純粋なすべり、き裂開口成分はき裂が開くことによる見かけの変形を表す。このとき、速度勾配は、弾性変形による速度勾配 I^e 、塑性変形による速度勾配 I^p およびき裂開口による速度勾配 I^w の加算分解で次式のようになる。

$$\begin{aligned} L &:= \dot{F} F^{-1} \\ &= \dot{F}^e F^{e-1} + F^e \dot{F}^p F^{p-1} F^{e-1} + F^e \dot{F}^w F^{w-1} F^{p-1} F^{e-1} \\ &= I^e + I^p + I^w \end{aligned}$$

さらに、二階のテンソル \bullet の対称・反対称成分をそれぞれ $\text{sym}[\bullet]$ と $\text{skw}[\bullet]$ で表すと、ストレッチテンソル d とスピテンソル ω はその弾・塑性成分 $d^e, d^p, d^w, \omega^e, \omega^p$ および ω^w でそれぞれ与えられる。弾性挙動を表すための構成式として、回転に対して客観性のある応力速度を用いた亜弾性構成則は、

$$\dot{\sigma}^* + \sigma \text{tr}[d^e] = \mathbb{L} : d^e$$

となる。ここで、 \mathbb{L} は弾性テンソル、 σ^* は次式で定義される中間配置を参照する客観応力速度である。また、塑性速度勾配の発展方程式は、

$$l^p = \sum_{\alpha=1}^n (s^{p(\alpha)} \otimes m^{p(\alpha)}) \dot{\gamma}^{(\alpha)}$$

と規定される。本研究では結晶すべりの構成モデルの発展方程式に次式で表される Asaro ら^[3]の指数形の粘塑性モデルを用いる。

一方、本研究においてき裂開口速度勾配は、

$$l^w = \sum_{\alpha=1}^{N^w} (s^{w(\alpha)} \otimes m^{w(\alpha)}) \frac{\dot{w}^{(\alpha)}}{h^{(\alpha)}}$$

で定義する。ここで、任意のへき開面 α に対する単位法線ベクトル $s^{w(\alpha)}$ とへき開面内における単位ベクトル $m^{w(\alpha)}$ 、 $w^{(\alpha)}$ はへき開面上に想定するき裂の開口変位、 $h^{(\alpha)}$ は物質点における代表長さ、 N^w はき裂が生じるへき開面の数である。脆性破壊は応力に起因して緻密度が最低のへき開面において生じるため、体心立方構造を仮定した場合にはへき開面は{100}面となる。そして、つり合い状態では結合力と応力は等しくなるので、へき開面と垂直な方向および平行な方向に対して次の条件式が得られる。

$$\begin{cases} g_n^{w(\alpha)}(w_n^{(\alpha)}, w_s^{(\alpha)}) := \sigma : (m^{w(\alpha)} \otimes m^{w(\alpha)}) - t_n^{(\alpha)} = 0 \\ g_s^{w(\alpha)}(w_n^{(\alpha)}, w_s^{(\alpha)}) := \sigma : (m^{w(\alpha)} \otimes s^{w(\alpha)}) - t_s^{(\alpha)} = 0 \end{cases}$$

ここで、へき開面と垂直な方向および平行な方向に対する結合力 $t_n^{(\alpha)}$ および $t_s^{(\alpha)}$ には原子間ポテンシャルに基づいて Rice と Wang^[4]が提案した結合力モデルを採用する。

(2) 非周期性を許容した均質化法

本節では、ランダムあるいは局所的な非周期性を有する非均質なミクロ構造を対象として、均質化法において境界条件を陽に仮定しない数値材料試験の方法を提案する。具体的には、代表体積要素 (Representative Volume Element: RVE) における擾乱変位の周期拘束条件の代わりに、その勾配の領域積分がゼロになる次式のような条件を課すことで、剛体回転も抑えながら均質化法におけるマクロひずみの定義を保持する。

$$\langle \nabla_y u^1 \rangle = 0$$

ここで、 $\langle \bullet \rangle$ はミクロ領域における体積平均を変数 \bullet のミクロ領域における体積平均を表す。これを制約条件として導入したスケール分離された変分問題を定義する。そしてこの変分問題に対して Lagrange の未定乗数法 λ を適用して導出される2変数境界値問題の支配方程式は次式のように得られる。

$$\begin{aligned} \int_{\Omega} \Sigma : \delta E d\Omega - \int_{\partial\Omega_r} \bar{t} \cdot \delta u^0 d\Omega - \int_{\Omega} \rho^H g \cdot \delta u^0 d\Omega &= 0, \quad \forall \delta u^0 \in \mathcal{V}_0^0 \\ \int_{\Omega} (\sigma : \nabla_y^{(s)} \delta u^1) d\Omega + \int_{\Omega} \lambda : \langle \nabla_y \delta u^1 \rangle d\Omega &= 0, \quad \forall \delta u^1 \in \{L^2(\Omega; \mathcal{V}^1 / \mathbb{R}^{N^{\dim}})\}^{N^{\dim}} \\ \int_{\Omega} \delta \lambda : \langle \nabla_y u^1 \rangle d\Omega &= 0, \quad \forall \delta \lambda \in \{L_2(\Omega)\}^{N^{\dim} \times N^{\dim}} \end{aligned}$$

ここで、第1式および第2式がマクロおよびミクロ領域における支配方程式、第3式が制約条件である。さらに、マクロ構造は単位長さの立方体で一様な変形のみを許容されるものと仮定することで、マクロ境界値問題を物質点に退化させて、ミクロ境界値問題を数値材料試験に特化し

た形式に変換したうえで有限要素離散化する。この際、マクロ応力とマクロひずみに対応する自由度を追加して離散化方程式を拡張する。以上により、有限要素法によって離散化されたマクロとミクロスケールにおける支配方程式は次式のように与えられる。

$$\begin{aligned} \delta W^T (B_W^T \Sigma - \bar{T}) &= 0 \\ \delta U_e^T \left\{ \frac{1}{|Y|} \left[\left(\bigcup_{e=1}^{N^{el}} \int_{Y^e} B_e^T \sigma dY \right) + \left(\bigcup_{e=1}^{N^{el}} \int_{Y^e} H_e^T dY \right) \Lambda \right] \right\} &= 0 \\ \delta \Lambda^T \left[\frac{1}{|Y|} \left(\bigcup_{e=1}^{N^{el}} \int_{Y^e} H_e U_e dY \right) \right] &= 0 \end{aligned}$$

提案手法では、ミクロ構造の外形の制限や外部境界の抽出を行う必要がないため、比較的簡単に通常の有限要素法に導入可能となる。

(3) 数値解析例

低温における純鉄に対する異方性損傷構成則の再現性能

提案した異方性損傷構成則から得られる結晶方位ごとの応力ひずみ線図を図1に示す。ここで、比較として用いる実験結果は、-196°Cにおいて(011)方向および(111)方向に引張荷重を加えた鉄単結晶に対して、坂木と中村^[5]によって計測された応力ひずみ線図である。図1より、数値解析の結果が実験で得られた結晶方位に依存した硬化および軟化挙動の違いを適切に再現できていることがわかる。

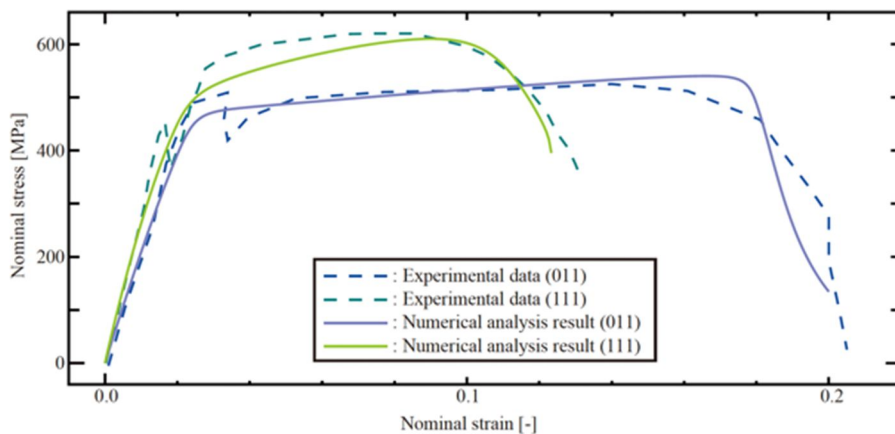


図1 結晶方位ごとの応力ひずみ線図

非周期性を許容する均質化法

本項では、空孔によって変位場に局所的な不均一性が生じる構造物に対して、その一部を RVE として均質体としての等価物性を評価する。提案手法と周期境界を用いる従来法により得られる結果との比較に加えて、構造物全体の解析から得られる結果とも比較して提案手法の有効性について検証する。

参照解として直接数値解析から得られた応力分布を図2(a)に、周期境界条件を用いる従来法と提案手法から得られた各成分の応力分布をそれぞれ図2(b)および(c)に示す。図2(a)のように、参照解では空孔付近のみの右下部分のみに応力が集中しているのに対して、図2(b)のように周期境界条件を適用する従来法で得られた結果では左上の青枠部分のように不自然な応力集中が発生していることが確かめられる。この不自然な応力集中は、RVE に対して周期境界を強要したため、存在しないはずの空孔の影響が反映されて局所的に不均一な変位場が左上に伝播したことによる。一方、提案手法から得られた結果には図2(c)のように不自然な応力集中は見られず、図2(a)の参照解に近い応力分布となっていることが確認できる。

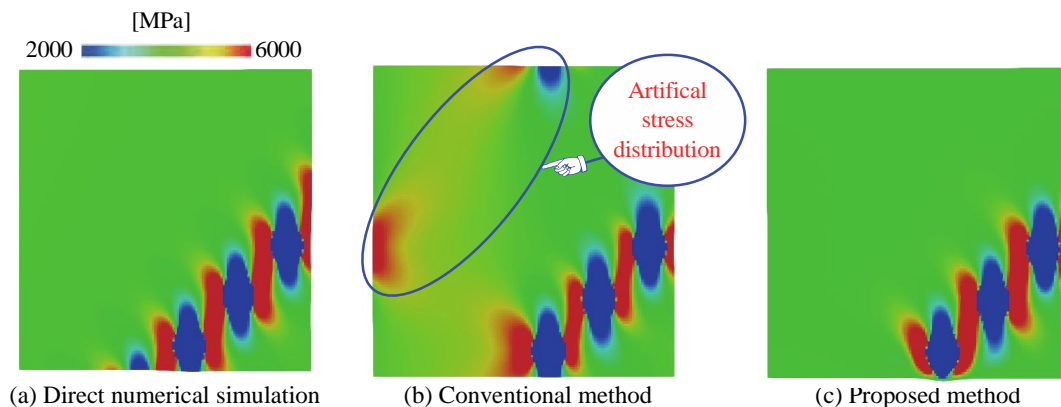


図2 直接数値解析・従来法・提案手法の比較

フェライトパーライト鋼の脆性破壊に対する強度のバラつき評価
 提案した異方性損傷構成則および非周期性を許容した均質化法を組み合わせたマルチスケール解析を実施する。ここで、解析対象はフェライトパーライト鋼とし、そのRVEには図3のような種類別の有限要素モデルを用いる。さらに、各RVEの結晶方位をランダムに変更し、計100ケースの解析を実施することで、脆性破壊に対する引張強度のバラつきを評価する。
 解析より得られたフェライトパーライト鋼の脆性破壊に対する引張強度を図4に示す。ここで、図4(a)は各解析より得られた応力ひずみ線図、および図4(b)はそれから算出した引張強度のバラつきを示す。以上より、ミクロスケールにおける異方性弾塑性損傷挙動および結晶粒の分布のバラつきを考慮したフェライトパーライト鋼の脆性破壊に対する強度のバラつきが算出された。

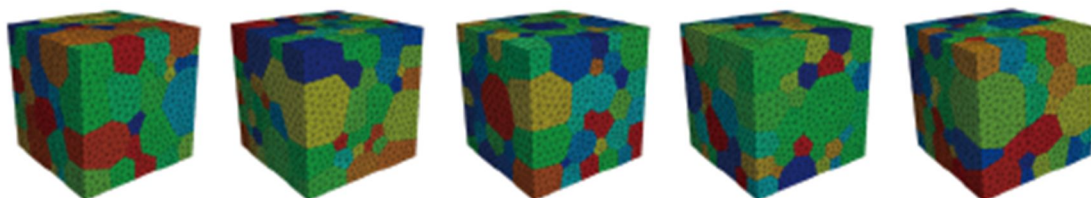
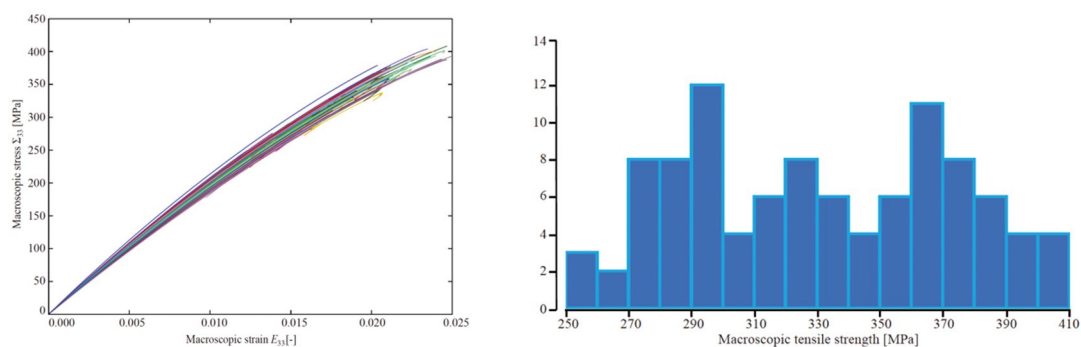


図3 フェライトパーライト鋼のRVEの例



(a) 応力ひずみ線図 (b) 引張強度のバラつき
 図4 フェライトパーライト鋼の脆性破壊に対する引張強度

(4) まとめ

本研究では、金属の結晶組織の不均一性に起因する材料強度発現のメカニズムを解明するために、ミクロ構造を考慮可能なマルチスケールき裂進展解析手法を構築した。具体的には、従来のマルチスケール解析の欠点である周期境界による実現象とのかい離を解消し、ミクロ構造におけるき裂進展を微視的メカニズムに基づいてシミュレートすることで、無用な近似を使うことなく忠実にマクロ構造へ接続可能とし、材料強度およびそのバラつきを予測した。

<参考文献>

[1] T.L. Anderson, Fracture mechanics: fundamentals and applications, CRC press, 2017.
 [2] J. Lemaitre, A course on damage mechanics, Springer Science & Business Media, 2012.
 [3] R.J. Asaro, Crystal plasticity, J. Appl. Mech., 1983.
 [4] J. Rice and J. Wang, Embrittlement of interfaces by solute segregation, Mater. Sci. Eng., 107(A), 1989, 23-40.
 [5] 坂木庸晃, 中村正久, 鉄単結晶の劈開破壊, 鉄と鋼, 59巻, 7号, 1973, 955-966.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Shintaku Yuichi, Soejima Katsuya, Tsutsumi Seiichiro, Terada Kenjiro	4. 巻 106
2. 論文標題 An Elastic-plastic Constitutive Law Embedding Cohesive Cracks with Plasticity-induced Damage to Realize Degradation of Strength and Toughness under Cyclic Loading	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tetsu-to-Hagane	6. 最初と最後の頁 662 ~ 671
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2019-121	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 KAGIMURA Takuya, SHINTAKU Yuichi, TSUTSUMI Seiichiro, TERADA Kenjiro	4. 巻 38
2. 論文標題 A Gurson Model Improved by Cohesive Traction-Separation Law to Realize Transition from Ductile to Brittle Fracture	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 QUARTERLY JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY	6. 最初と最後の頁 126s ~ 130s
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2207/qjws.38.126s	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 新宅 勇一、藤原 宇希、高橋 昭如	4. 巻 2019
2. 論文標題 Paris則に基づく損傷変数の発展則を導入した結合力モデルの提案とその材料定数の設定方法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本計算工学会論文集	6. 最初と最後の頁 20190013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11421/jsces.2019.20190013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 SHINTAKU Yuichi, SHINOZAKI Yuto, FUJIWARA Takaki, TAKAHASHI Akiyuki, KIKUCHI Masanori	4. 巻 85
2. 論文標題 Numerical simulation of fatigue crack propagation with plasticity-induced crack closure under different loading conditions (Development of direct numerical simulation using S-version FEM and simplified method)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Transactions of the JSME (in Japanese)	6. 最初と最後の頁 19-00141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.19-00141	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shintaku Yuichi, Terada Kenjiro, Tsutsumi Seiichiro	4. 巻 35
2. 論文標題 Anisotropic Damage Constitutive Law for Cleavage Failure in Crystalline Grain by Cohesive Zone Model	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 QUARTERLY JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY	6. 最初と最後の頁 165s ~ 168s
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2207/qjws.35.165s	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 金澤 凌平、新宅 勇一、寺田 賢二郎	4. 巻 2021
2. 論文標題 非局所アプローチに基づく結合力埋込型損傷構成則および Petrov-Galerkin 法の適用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本計算工学会論文集	6. 最初と最後の頁 20210008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11421/jsces.2021.20210008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 新宅 勇一、中村 文俊、堤 成一郎、寺田 賢二郎	4. 巻 2022
2. 論文標題 塑性ひずみ範囲の依存性を考慮した硬化則を用いた弾塑性モデルのための主双対内点法による陰的解法	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本計算工学会論文集	6. 最初と最後の頁 20220001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11421/jsces.2022.20220001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shintaku Yuichi, Tsutsumi Seiichiro, Terada Kenjiro	4. 巻 153
2. 論文標題 A CDM-like constitutive law for predicting degradation of strength and ductility of steel subjected to cyclic loading	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Plasticity	6. 最初と最後の頁 103237 ~ 103237
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijplas.2022.103237	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 SHINTAKU Yuichi、IMAI Daiki、TERADA Kenjiro	4. 巻 88
2. 論文標題 Numerical material testing based on homogenization method for non-periodic media (Formulation using microscopic fluctuation displacement and macroscopic strain)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Transactions of the JSME (in Japanese)	6. 最初と最後の頁 22-00049
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.22-00049	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計58件(うち招待講演 3件/うち国際学会 15件)

1. 発表者名 中村文俊、新宅勇一
2. 発表標題 Memory surfaceによる硬化の影響を考慮した材料モデルに対する主双対内点法の適用
3. 学会等名 第25回計算工学講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今井大貴、新宅勇一
2. 発表標題 数値材料試験を用いたへき開破壊に起因する材料強度のばらつき評価
3. 学会等名 第25回計算工学講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 F. Nakamura, Y. Shintaku, S. Tsutsumi and K. Terada
2. 発表標題 Assessment of residual strength and toughness of steel bridge by a cohesive-force embedding constitutive law combined with plasticity-induced damage and memory surface
3. 学会等名 COMPSAFE2020
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 D. Imai, Y. Shintaku, K. Terada
2 . 発表標題 Multiscale prediction of macroscopic material strength dispersion on ferrite - pearlite steel by numerical material testing
3 . 学会等名 COMPSAFE2020
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 K. Soejima, Y. Shintaku, S. Tsutsumi and K. Terada
2 . 発表標題 A numerical study on discontinuous displacement for crack nucleation and propagation
3 . 学会等名 The 7th Asian-Pacific Congress on Computational Mechanics (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 R. Kanezawa, Y. Shintaku, and K. Terada
2 . 発表標題 A cohesive-traction embedded model with fatigue-induced damage for prediction of crack nucleation and propagation in a metal
3 . 学会等名 The 7th Asian-Pacific Congress on Computational Mechanics (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Ishibashi, Y. Shintaku, S. Tsutsumi and K. Terada
2 . 発表標題 Multiscale simulation of crack propagation due to hydrogen embrittlement with anisotropic behavior of cleavage fracture
3 . 学会等名 The 7th Asian-Pacific Congress on Computational Mechanics (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Fujiwara, A. Takahashi and Y. Shintaku
2. 発表標題 Fatigue crack growth simulation system using Paris' law based cohesive zone model
3. 学会等名 The 7th Asian-Pacific Congress on Computational Mechanics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石橋奏, 新宅勇一, 堤成一郎, 寺田賢二郎
2. 発表標題 水素濃度に対する破壊靱性値の依存性およびへき開破壊を考慮したき裂進展解析
3. 学会等名 溶接構造シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Kagimura, Y. Shintaku, K. Terada and S. Tsutsumi
2. 発表標題 An enhanced Gurson model with cohesive traction-separation law to realize transition from ductile to brittle fracture
3. 学会等名 The International Symposium on Visualization in Joining & Welding Science through Advanced Measurements and Simulation (Visual-JW 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神田寛明, 新宅勇一
2. 発表標題 勾配法を用いた弾塑性損傷モデルのパラメータ同定
3. 学会等名 日本機械学会第32回計算力学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金澤凌平, 新宅勇一, 寺田賢二郎
2. 発表標題 シームレスき裂進展解析による不連続な変位場の表現に関する数値解析的検討
3. 学会等名 JSCES夏季学生講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神田寛明, 新宅勇一
2. 発表標題 勾配法による丸棒試験片に対する材料パラメータ最適化
3. 学会等名 JSCES夏季学生講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鍵村拓也, 新宅勇一
2. 発表標題 延性脆性遷移におけるボイドが破壊靱性値に及ぼす影響評価
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第178回秋季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Shintaku, K. Terada and S. Tsutsumi
2. 発表標題 A seamless transition method from continuity to discontinuity for crack in an elasto-plastic material
3. 学会等名 XV International Conference on Computational Plasticity (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 副島克哉, 新宅勇一, 堤成一郎, 寺田賢二郎
2. 発表標題 結合力埋込型複合硬化弾塑性損傷モデルによる繰返し載荷後の残存耐力評価
3. 学会等名 第27回茨城講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金澤凌平, 新宅勇一, 寺田賢二郎
2. 発表標題 不連続な変位場に対するシームレスき裂進展解析の優位性
3. 学会等名 第27回茨城講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石橋奏, 新宅勇一, 堤成一郎, 寺田賢二郎
2. 発表標題 へき開破壊の異方性挙動を考慮した水素脆性き裂の進展解析
3. 学会等名 第24回計算工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鍵村拓也, 新宅勇一
2. 発表標題 結合力埋込型損傷構成則を用いた破壊靱性値に対するポイドの影響評価
3. 学会等名 第24回計算工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 副島克哉, 新宅勇一, 堤成一郎, 寺田賢二郎
2. 発表標題 疲労損傷を考慮した結合力を埋め込んだ複合硬化弾塑性構成則の提案
3. 学会等名 第24回計算工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金澤凌平, 新宅勇一, 寺田賢二郎
2. 発表標題 変位の不連続性の近似が異なるき裂進展解析手法の比較検討
3. 学会等名 第24回計算工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神田寛明, 新宅勇一
2. 発表標題 非線形材料モデルのパラメータ同定における各種勾配法の適用性に関する検討
3. 学会等名 第24回計算工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原宇希, 高橋昭如, 新宅勇一
2. 発表標題 Paris則に基づく結合力モデルを用いた疲労き裂進展解析手法の提案
3. 学会等名 第24回計算工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鍵村拓也, 新宅勇一
2. 発表標題 温度依存性を考慮した結合力モデルおよび Gurson モデルによる延性・脆性破壊シミュレーション
3. 学会等名 日本機械学会第31回計算力学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 副島克哉, 新宅勇一, 堤成一郎, 寺田賢二郎
2. 発表標題 移動硬化を考慮した結合力埋込型弾塑性損傷モデルによる構造用鋼材の耐久性評価
3. 学会等名 日本機械学会第31回計算力学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新宅勇一, 寺田賢二郎, 堤成一郎
2. 発表標題 繰り返し応力に伴う弾塑性挙動と疲労き裂発生寿命評価
3. 学会等名 大阪大学接合科学研究所 平成30年度 共同研究成果発表会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石橋奏, 新宅勇一, 寺田賢二郎, 堤成一郎
2. 発表標題 水素の非定常拡散を考慮した水素助長疲労き裂の進展解析
3. 学会等名 平成30年度 秋季全国大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Shinozaki, A. Takahashi, Y. Shintaku, M. Kikuchi
2. 発表標題 Fatigue Crack Growth Simulation Considering Crack Closure Effect
3. 学会等名 The 11th International Conference on Fracture and Strength of Solid (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鍵村拓也, 新宅勇一
2. 発表標題 Gursonモデルによる延性き裂進展解析のための非線形計画法の検討
3. 学会等名 第26回茨城講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Shintaku, S. Tsutsumi and K. Terada
2. 発表標題 A method for seamless transition from degradation of material stiffness to formation of strong discontinuity
3. 学会等名 13th World Congress on Computational Mechanics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石橋奏, 新宅勇一
2. 発表標題 多結晶体金属における水素拡散と水素脆化によるき裂進展の双方向弱連成解析
3. 学会等名 第23回計算工学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 副島克哉, 新宅勇一, 堤成一郎, 寺田賢二郎
2. 発表標題 複合硬化弾塑性モデルを用いた構造用鋼材の損傷評価と載荷パターン・応力三軸度が及ぼす影響
3. 学会等名 第23回計算工学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 篠崎勇人, 高橋昭如, 新宅勇一
2. 発表標題 き裂閉開口挙動を考慮した疲労き裂進展解析システムの構築
3. 学会等名 第23回計算工学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤原宇希, 高橋昭如, 新宅勇一
2. 発表標題 Paris則に基づく結合力モデルを用いた2次元疲労き裂進展解析システムの構築
3. 学会等名 第23回計算工学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新宅勇一
2. 発表標題 計算材料力学によるマルチフィジックスき裂解析手法の開発
3. 学会等名 第13回産学連携シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新宅勇一, 寺田賢二郎, 堤成一郎
2. 発表標題 結合力埋込型損傷構成則と有限被覆法を用いた不連続面進展解析の基礎的検討
3. 学会等名 日本機械学会第30回計算力学講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Shintaku, K. Terada and S. Tsutsumi
2. 発表標題 An adaptive traction approach from weak- to strong-discontinuity by cohesive traction embedded damage-like constitutive law and finite cover method
3. 学会等名 XIV International Conference on Computational Plasticity (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 新宅勇一, 堤成一郎, 寺田賢二郎
2. 発表標題 結合力埋込型損傷構成則の疲労問題への適用
3. 学会等名 第22回計算工学講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 新宅勇一, 番場良平, 渡部慎也, 堤成一郎, 寺田賢二郎
2. 発表標題 繰り返し載荷を経験した鋼構造物の残存耐力評価のための基礎的検討
3. 学会等名 第22回計算工学講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 篠崎勇人, 高橋昭如, 新宅勇一, 菊池正紀
2. 発表標題 き裂開閉口挙動を考慮した2次元疲労き裂進展解析システムの構築
3. 学会等名 第22回計算工学講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Shinozaki, A. Takahashi, Y. Shintaku
2. 発表標題 Fatigue Crack Growth Simulation with Crack Closure Effect Using S-Version FEM
3. 学会等名 14th US National Congress on Computational Mechanics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 A. Takahashi, Y. Shinozaki, Y. Shintaku, A. Suzuki, M. Kikuchi
2. 発表標題 Fatigue Crack Growth Simulation with Plasticity Induced Crack Closure Effect Using S-version FEM
3. 学会等名 The 10th International Conference on Numerical Analysis in Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村文俊, 新宅 勇一
2. 発表標題 Memory surfaceを考慮した弾塑性モデルによる地震時の鋼橋の数値解析
3. 学会等名 第28回茨城講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今井大貴, 新宅勇一
2. 発表標題 フェライト - パーライト鋼における結晶すべりおよびへき開破壊を考慮した数値材料試験
3. 学会等名 第28回茨城講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金澤凌平, 新宅勇一
2. 発表標題 き裂進展解析に対する損傷の非局所性の影響に関する数値解析的検討
3. 学会等名 第28回茨城講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 F. Nakamura ¹ , Y. Shintaku, S. Tsutsumi, K. Terada
2. 発表標題 Assessment of residual strength and toughness of steel bridge by a cohesive-force embedding constitutive law combined with plasticity-induced damage and memory surface
3. 学会等名 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 D. Imai, Y. Shintaku
2. 発表標題 Multiscale prediction of macroscopic material strength dispersion on ferrite-pearlite steel by numerical material testing
3. 学会等名 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problem (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北嶋魁斗, 新宅勇一, 高橋昭如
2. 発表標題 繰返し軟化挙動を再現するための移動硬化則の拡張
3. 学会等名 第26回計算工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 榎本亘, 新宅勇一
2. 発表標題 弾塑性解析における計算時間の短縮を目的とした有限要素法の検討
3. 学会等名 第26回計算工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲岡龍彦, 新宅勇一
2. 発表標題 確率論的選点法を用いた延性脆性遷移領域における破壊靱性値のばらつき評価
3. 学会等名 第26回計算工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 角間雄二, 新宅勇一, 高橋昭如
2. 発表標題 疲労き裂進展解析におけるサイクルジャンプ法導入のための外挿法の検討
3. 学会等名 第26回計算工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村文俊, 新宅 勇一
2. 発表標題 塑性誘起損傷および塑性ひずみ振幅依存性を考慮した 結合力埋込型弾塑性モデルによる地震動を受けた鋼橋の残存耐荷力評価
3. 学会等名 第29回茨城講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今井大貴, 新宅勇一
2. 発表標題 金属材料の脆性破壊に対する強度のばらつき評価に向けた非周期性を許容する均質化法の提案
3. 学会等名 第29回茨城講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 F. Nakamura, Y. Shintaku, K. Terada
2. 発表標題 Prediction of fracture toughness at steel bridge after cyclic loading by a CDM-like constitutive law combined with cohesive zone model and memory surface
3. 学会等名 XVI International Conference on Computational Plasticity (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 D. Imai, Y. Shintaku, K. Terada
2. 発表標題 new homogenization scheme based on energy and kinematic preservation: application for predicting dispersion of macroscopic material strength on ferrite-perlite steel
3. 学会等名 XVI International Conference on Computational Plasticity (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 角間雄二, 新宅勇一, 高橋昭如
2. 発表標題 結合カモデルを用いた疲労き裂進展解析のためのサイクルジャンプ法の検討
3. 学会等名 第34回計算力学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 榎本亘, 新宅勇一
2. 発表標題 き裂面の連続性を考慮した結合カ埋込型損傷構成則を用いた非局所アプローチ
3. 学会等名 第34回計算力学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲岡龍彦, 新宅勇一
2. 発表標題 超弾性モデルに基づく結合カ埋込型弾塑性損傷構成則によるボイドおよび破壊靱性値に関する不確実性評価
3. 学会等名 第34回計算力学講演会
4. 発表年 2021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

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
---------	---------