

機関番号：17301

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560433

研究課題名 (和文)

光学的全視野計測法と粒子法による複合材料のき裂発生・進展メカニズムの解明

研究課題名 (英文)

Clarification of the mechanism of crack initiation and propagation in composite materials by non-contact optical full-field measurement and smoothed particle applied mechanics

研究代表者

才本 明秀 (AKIHIDE SAIMOTO)

長崎大学・工学部・教授

研究者番号：00253633

研究成果の概要 (和文)：光学的全視野計測を用いた実験力学的手法と、粒子法に基づく力学シミュレーションから得られる知見を総合して、種々の複合材料におけるき裂の発生と、その進展や合体のメカニズムを明らかにした。破壊試験には内部にわたって破壊の進行の様相が観察できる円柱状の透明試験片を用いた。また、数値解析では SPH 法を改良して複合材料問題にも適用可能な独自の破壊シミュレーションシステムを開発した。

研究成果の概要 (英文)：Based on an experimental observation using the optical full-field strain measurement and numerical simulation based on smoothed particle applied mechanics, the mechanics of crack initial and propagation in composite materials was investigated. In the experiment, in order to observe the failure phenomena at the inside of the material directly, a transparent material was employed. In the numerical analysis, a failure simulation system applicable to composite materials was developed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
2010 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：土木工学

科研費の分科・細目：土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：粒子法、光学的全視野計測法、EPSI、DIC

1. 研究開始当初の背景

鋳鉄やコンクリートなどのぜい性固体が圧縮力を受けると、圧縮方向といくらか角をなす方向に帯状の損傷領域が発生し、それが起点となってせん断型の破壊挙動を示すことがある。本研究では、モルタルやコンクリ

ートなどの複合材料を用いて試験片を製作して圧縮試験を行い、光学的手法により試験片表面全体における変位・ひずみ・応力を全視野計測するとともに、き裂の発生と発生したき裂によるひずみの局所化問題に有効な粒子法による破壊解析を実施し、ぜい性材料や

複合材料におけるき裂の発生・進展メカニズムを解明することを目指した。

2. 研究の目的

圧縮力作用下でどのようにせん断破壊が生じるのかを明らかにすることは、コンクリートなど主として基盤材に用いられる物体の破壊メカニズムを解明する上で重要である。脆性固体の破壊挙動は一般に破壊力学で予測できると考えられているが、圧縮場に理想的な二次元き裂が存在する場合はモード I (開口型) の応力特異性が消失し、純粋モード II の状態になる。破壊力学では、純粋モード II 状態のき裂はその面内で伝ば・拡大することなく屈曲や湾曲を伴って成長すると考えられている。すなわち、連続体力学に立脚した破壊力学では、圧縮力のもとで、圧縮軸と角をなす方向に破壊が生じる圧縮せん断破壊のメカニズムを説明することが困難である。そこで本研究では、実験 (圧縮試験) と計測 (EPSI による全視野計測と DIC と呼ばれる画像関連技術)、および数値解析 (粒子法) を総合して圧縮せん断破壊現象の解明を試みる。また、解明された知見をもとに一般の複合材料が圧縮応力場に置かれた際のき裂の発生と伝ばのメカニズムを明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

20 年度はコンクリート材に対して、次の 2 つの準備的な研究を並行して進めた。

(1) 電子スペckルパターン干渉 (ESPI) 計測による全視野変位・ひずみ計測

中央部に孔を持つ長さ 100mm、幅 100mm、厚さ 2mm の試験片を作成し、万能型引張圧縮試験機により圧縮試験を実施した。ESPI で変位分布やひずみ分布の変化に注意し、試験片材料のパラメータおよび孔の大きさ、き裂の発生条件に及ぼす影響を調査した。

(2) SPH 粒子法を用いて、上記 (1) の実験のシミュレーション解析

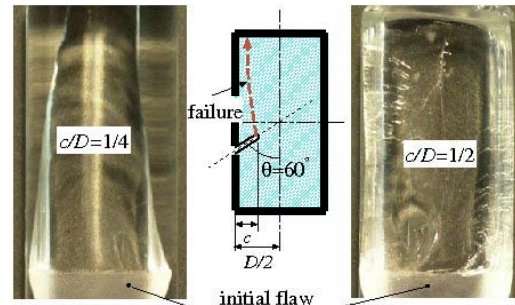
開発された SPH 粒子法の精度や問題点を明らかにするために、まず、2 次元非定常熱伝導問題に対する解析プログラムを開発した。次に、小変形小ひずみ 2 次元弾性解析の適用性を確認したうえで、大回転大変形に適用するプログラムを開発した。

21 年度は透明度の高いパイレックスガラス (PMMA) を試験片材料に採用し、試験片内部における破壊の状況を詳細に観察した。また、PMMA の圧縮破壊挙動を再現できる粒子法解析システムを開発した。

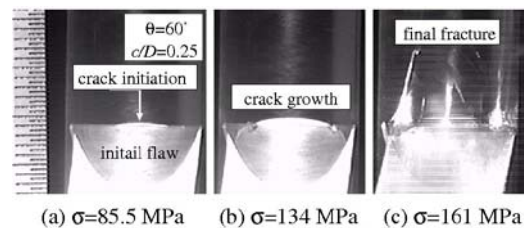
22 年度は主として解析システムを高速化するための並列化プログラミングに取り組んだ。その結果、3 次元固体の圧縮破壊問題に対しても許容できる時間内にシミュレーション

結果を得ることができ粒子法解析システムが開発された。

4. 研究成果

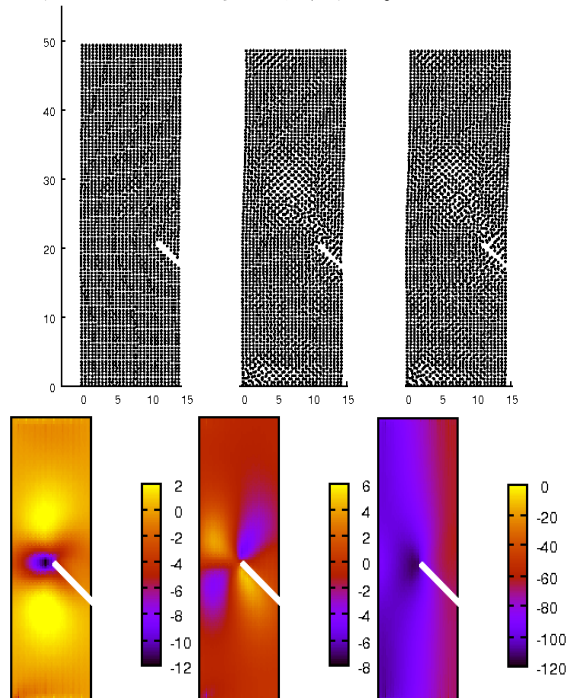


ガラス円柱試験片の圧縮破壊の様子



ガラス内き裂進展の連続観察

上図は軸方向に対して傾斜した切欠を導入した円柱状のパイレックスガラスを試験片として、切欠先端から生じたき裂が徐々に伝ば拡大する様子を連続観察したものである。切欠き中央部から生じたき裂は、暫く安定成長した後、前縁の一部が試験片の表面に到達すると同時に不安定破壊する。



粒子法による破壊シミュレーション例

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 23 件)

- 1 Akihide Saimoto, Akira Toyota, Yasufumi Imai, Compression induced shear damage in brittle solids by scattered microcracking, International Journal of Fracture, 査読有, Vol.157, p. 101-108 (2009)
- 2 F. MOTOMURA, Y. IMAI, A. SAIMOTO, Effects of Support and Heat Dissipation in Thermal Stress Cleaving of Thin Glass Plates, Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering, 査読有, Vol. 3, No. 3, p. 529-540 (2009)
- 3 C. Makabe, A. Murdani, K. Kuniyoshi, Y. Irei, A. Saimoto, Crack-growth arrest by redirecting crack growth by drilling stop holes and inserting pins into them, Engineering Failure Analysis, 査読有, Vol.16, p. 475-483 (2009)
- 4 本村文孝・今井康文・才本明秀, 薄板ガラスの熱応力割断における進展中き裂先端形状のその場観察, 日本機械学会論文集 (A 編), 査読有, 75 巻 755 号, p. 925-932 (2009)
- 5 藤川正毅・才本明秀・山中大輔・真壁朝敏, 有限板の円孔から発生いた非対称き裂および有限板に発生した非対称き裂の引張りにおける応力拡大係数について, 日本機械学会論文集 (A編), 査読有, 75 巻 756 号, p. 1007-1014 (2009)
- 6 才本明秀・今井康文・本村文孝, 熱応力割断問題における熱的境界の影響, 日本機械学会論文集 (A編), 査読有, 75 巻 757 号, p. 1201-1208 (2009)
- 7 安東祐樹, 山本健太, 佐野正, 松田浩, 鋼板接着された RC 部材の引張破壊挙動解析, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 31, p. 1417-1422 (2009)
- 8 山本健太, 安東祐樹, 西尾友希, 松田浩, 全視野ひずみ計測を用いた鋼板接着端部の破壊挙動に関する検討, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 31, p. 1453-1458 (2009)
- 9 Timothy NYOMBOI, Hiroshi MATSUDA, Yukihiro ITO, Effects of steel fibers on Shear Strength and Deformation Behavior in short SFRC beams without stirrups by Full field optical ESPI and FEM methods, Proceedings of the Japan Concrete Institute, 査読有, Vol. 31-No. 2, p. 1303-1308 (2009)
- 10 Timothy NYOMBOI, Hiroshi MATSUDA, Shear strength and deformation prediction in steel fiber reinforced concrete beams without stirrups, The Fifth International Structural Engineering and Construction Conference, 査読有, p. 119-126 (2009)
- 11 Timothy NYOMBOI, Hiroshi MATSUDA, Shear Design Performance of Beams Reinforced with Steel Fibers and Stirrups, Proceedings of International Association for Bridge and structural engineering (IABSE), 査読有, Vol. 96, p. 192-194 (2009)
- 12 Cheng Zhao, Hiroshi Matsuda, Chihiro Morita and Mei Huang, Buckling of thin-walled cylinder shell specimens with cut-out imperfections, Proc. of the 33rd IABSE symposium, 査読有, Vol. 96, p. 376-377 (2009)
- 13 A. Saimoto, T. Ino, Y. Imai, Delaunay-Tessellation based Elastic-Plastic Analysis by Body Force Method, Key Engineering Materials, 査読有, Vol. 417-418, p. 245-248 (2010)
- 14 J.M. Bromley, A. Saimoto, H. Alizadeh, D.J. Smith, E Truman, An eigenstrain-based model for residual stress arising from transient local surface heating, Proc. of the Royal Society, 査読有, Vol. 466, p. 1093-1116 (2010)
- 15 A. Saimoto, Y. Imai, Versatile analysis of limited plasticity by body force method, Acta Mechanica, 査読有, Vol. 214, p. 185-194 (2010)
- 16 S. Kubota, A. Saimoto, Y. Imai, High-speed thermal stress cleaving by moving heat with mist cooling, Acta Mechanica, 査読有, Vol. 214, p. 159-167 (2010)
- 17 Timothy NYOMBOI, Hiroshi MATSUDA, Experimental and Analytical Study on Shear Capacity in Steel Fiber and Stirrup RC Beam, JSCE, Journal of Structural Engineering, 査読有, Vol. 56A, p. 13-22 (2010)
- 18 牧野高平, 西田博詞, 板井達志, 松田浩, デジタル画像相関法による鋼繊維補強RC はりのひび割れ計測とせん断補強効果, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 32, p. 1279-1284 (2010)
- 19 H. Goda, M. Hibino, M. Uchino, K. Yamaguchi, H. Matsuda, Base study on measure of transformation of concrete

- structures used by digital image correlation method, 5th IABMAS symposium, Bridge Maintenance, Safety, Management and Life-Cycle Optimization, 査読有, p. 2518-2524 (2010)
- 20 K. Hida, Y. Ito, M. Uchino, T. Okamoto, P. Sumitomo, H. Matsuda, Development of approximation process of existing action stress of pre-stressed concrete by stress relief technique, 5th IABMAS symposium, Bridge Maintenance, Safety, Management and Life-Cycle Optimization, 査読有, p. 2525-2532 (2010)
- 21 C. Morita, C. Zhao, A. Demizu, K. Makino, H. Matsuda, K. Ichimiya, 3D profile measurement and buckling simulation on thin-walled cylindrical shells under compression by utilizing 3D-digital image correlation method, 5th IABMAS symposium, Bridge Maintenance, Safety, Management and Life-Cycle Optimization, 査読有, p. 2550-2556 (2010)
- 22 M. Uchino, T. Okamoto, K. Hida, Y. Ito, P. Sumitomo, H. Matsuda, Strain analysis method using multi-rosette analysis by digital image correlation method, Proc. of the 5th IABMAS symposium, Bridge Maintenance, Safety, Management and Life-Cycle Optimization, 査読有, p. 2557-2562 (2010)
- 23 出水亨, 松田浩, 伊藤幸広, 森田千尋, 藤野義裕, 光学的手法による鋼部材の加熱・冷却過程におけるひずみ分布計, 構造工学論文集, 査読有, Vol. 57A, p. 86-93 (2010)
- [学会発表] (計 27 件)
- 1 Cheng Zhao, Experimental Investigation on Buckling Strength of Thin-walled Cylindrical Shell with Geometric Imperfection under Compression, The 10th Japan-Korea Joint Symposium on Steel Bridges, 長崎市 (2009)
- 2 西田博詞, 鋼繊維補強RCはりのせん断補強効果に関する実験および解析的研究, 土木学会年次学術講演会, 福岡市 (2009)
- 3 魚住正春, 耐候性鋼橋梁の腐食環境およびさび外観評価に関する研究, 土木学会年次学術講演会, 福岡 (2009)
- 4 宮崎翼, LDVを用いた長距離固有振動数計測による構造健全度評価に関する基礎的研究, 土木学会年次学術講演会, 福岡市 (2009)
- 5 Cheng Zhao, Buckling Analysis of Thin-walled Cylindrical Shell with Random Geometric Imperfection under Compression, 土木学会年次学術講演会 (JSCE Annual Conference), 福岡市 (2009)
- 6 Timothy NYOMBO, EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY ON SHEAR DEFORMATION BEHAVIOR IN STEEL FIBER AND STIRRUPS RC BEAMS, 土木学会年次学術講演会 (JSCE Annual Conference), 福岡市 (2009)
- 7 伊野拓一郎, 体積法による二次元弾塑性問題の汎用解析, 日本機械学会長崎講演会, 長崎市 (2009)
- 8 上田勇樹, 体積法に基づく傾斜材の応力解析法の提案, 日本機械学会長崎講演会, 長崎市 (2009)
- 9 久保田慎一, 予加熱幅による熱応力割断速度の向上, 日本機械学会長崎講演会, 長崎市 (2009)
- 10 鷺崎和彦, 人工欠陥を有するガラスの圧縮破壊挙動, 日本機械学会長崎講演会, 長崎市 (2009)
- 11 宮崎翼, LDVを用いた長距離固有振動数計測による構造健全度評価に関する基礎的研究, 平成21年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 熊本市 (2010)
- 12 上里尚也, CFRP薄肉円筒シェル座屈挙動の評価方法に関する研究, 平成21年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 熊本市 (2010)
- 13 藤野義裕, 接着幅に着目したCFRP接着補強コンクリート部材のはく離・破壊挙動に関する研究, 平成21年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 熊本市 (2010)
- 14 板井達志, 鋼繊維補強RCはりの曲げせん断破壊挙動特性に関する実験的研究, 平成21年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 熊本市 (2010)
- 15 宮崎久佳, 熱応力によるき裂の初生 (熱物性値の温度依存性の影響), 日本機械学会九州支部講演会, 熊本市 (2010)
- 16 片山陽介, PCの静的破壊挙動に及ぼす円周切欠の影響, 日本機械学会九州支部講演会, 熊本市 (2010)
- 17 伊野拓一郎, 体積法による切欠底の完全弾塑性解析, 日本機械学会九州支部講演会, 熊本市 (2010)
- 18 田中瞬, ワンラップシーブにおけるワイ

- ヤロープの保持機構, 日本機械学会九州支部講演会, 熊本市 (2010)
- 19 久保田慎一, 帯状予加熱による熱応力割断の高速化, 日本機械学会九州支部講演会, 熊本市 (2010)
 - 20 Kohei MAKINO, デジタル画像相関法を利用した新しい応力集中評価法の検討, 構造工学シンポジウム, 東京都 (2010)
 - 21 牧野高平, デジタル画像相関法による鋼繊維補強RCはりのひび割れ計測とせん断補強効果, コンクリート工学年次大会, 大宮市 (2010)
 - 22 出水亨, 光学的手法による溶接変形・ひずみ計測に関する基礎的研究, 土木学会年次学術講演会, 北海道 (2010)
 - 23 上里尚也, 光学的全視野ひずみ計測装置を用いた薄肉円筒シェルの座屈挙動の評価法に関する研究, 土木学会年次学術講演会, 北海道 (2010)
 - 24 藤野義裕, 鋼板接着補強コンクリート部材のはく離・破壊挙動に関する研究, 土木学会年次学術講演会, 北海道 (2010)
 - 25 上田勇樹, 体積法法に基づく傾斜無限板中の円孔の二次元応力解析, 日本機械学会九州支部第64期総会講演会, 福岡市 (2011)
 - 26 鷲崎和彦, SPH法を用いたぜい性円柱の圧縮破壊シミュレーション, 日本機械学会九州支部第64期総会講演会, 福岡市 (2011)
 - 27 濱口修一, 熱応力解析と観察に基づくき裂蛇行現象の研究, 日本機械学会九州支部第64期総会講演会, 福岡市 (2011)

[図書] (計 2 件)

- 1 Akihide Saimoto, Springer Wien New York, Mechanics and Model-Based Control of Smart Materials and Structures, Eds. Hans Irschik, Michael Krommer, Kazumi Watanabe, Toshio Furukawa, p.153-161 (2009)
- 2 Advances in Fracture and Damage Mechanics IX, Eds. A. Saimoto and M. H. Aliabadi, Trans Tech Publications, 894 pages (2010)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

才本 明秀 (SAIMOTO AKIHIDE)
長崎大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 00253633

(2) 研究分担者

森田 千尋 (MORITA CHIHIRO)
長崎大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 60230124
松田 浩 (MATSUDA HIROSHI)
長崎大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 20157324