

論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	㊶／乙第 号	氏 名	廣部 紗也子
論文審査担当者：			
	主査	慶應義塾大学教授	Ph. D. 小國 健二
	副査	慶應義塾大学教授	博士(情報学) 小檜山 雅之
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 高橋 正樹
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 柿沼 康弘
(論文審査の要旨)			
<p>学士(工学)、修士(工学) 廣部紗也子君の学位請求論文は「乾燥亀裂のパターン形成に関する数理モデルと数値解析手法の開発」と題し、全7章から構成される。</p> <p>乾燥破壊現象は、乾燥に伴う材料の不均一な体積収縮によって応力が発生し、亀裂が形成される現象である。乾燥亀裂は網目状構造をもち、材料表面を特徴的な長さスケールをもった多角形セルに分割する。乾燥亀裂のセルのサイズや形状は材料や条件によって大きく異なるが、「階層的に形成される網目状の亀裂パターン構造が、特徴的な長さスケールをもった多角形セルを自発的に形成する」という基本的性質は保たれている。この現象はありふれた現象であり、実験、理論、数値解析など様々なアプローチによる研究が行われてきているが、乾燥亀裂のセルのサイズがどのように決まるのかを説明することもセルの形成過程を再現することもできていない、未解明の問題である。この問題に対して、廣部君の博士論文では、乾燥破壊現象の数理モデルを提案し、数値解析によって亀裂パターンの特徴的な長さスケールとその形成過程を再現することに成功している。</p> <p>第1章では研究の背景と目的を述べている。現在までの実験的研究および数値解析的研究における問題点を明らかにした上で、「乾燥亀裂パターンの特徴的な長さスケールは、複数の物理現象の連成によって決定される」という仮説を提示している。</p> <p>第2章では、水分拡散・材料の変形・破壊の3つの物理過程の連成からなる乾燥破壊現象の数理モデルを提案し、拡散に関する初期値境界値問題と変形に関する境界値問題の連成による解析的な定式化を示している。さらに粒子離散化有限要素法 (PDS-FEM: Particle Discretization Scheme Finite Element Method) の乾燥収縮による非弾性ひずみを伴う場への拡張と、水分拡散の場と材料の変形の場、それぞれにおける亀裂面モデルの導入を行い、乾燥破壊現象の数理モデルの離散的な定式化を示している。</p> <p>第3章では、第2章で提案された乾燥破壊現象の連成モデルの構造を分析し、その分析に基づいて、「拡散と変形」および「拡散と破壊」の弱連成解析と、「変形と破壊」の強連成解析を組み合わせた数値解析手法を提案し、その詳細を述べている。</p> <p>第4章では、数値解析による一次元的な平行亀裂パターンとその形成過程を再現する数値解析について述べている。</p> <p>第5章では、二次元的な網目状亀裂パターンとその形成過程を再現する数値解析について述べている。この章では、炭酸カルシウム懸濁液を用いた乾燥破壊実験についても述べられており、この実験結果と数値解析結果との比較に基づき、数値解析結果の妥当性の検証が行われている。</p> <p>第6章では、水分拡散と材料の変形との連成にのみ着目した数値解析結果の分析により、乾燥に伴う応力発現のメカニズムとセルの分割に伴う応力減少のメカニズムを明らかにしている。さらに、第5章の二次元的な網目状亀裂パターンとその形成過程を再現する数値解析における、亀裂面からの水分蒸発の影響を詳細に分析することにより、セル分割の際に見られる、セルの周縁部から中心部に向かっての亀裂成長の理由を明らかにしている。</p> <p>第7章では、本論文全体をまとめ、乾燥亀裂のパターン形成においては「スケール不変性をもつ支配方程式の相互作用によって、均質な場から特徴的な長さスケールが創発する」という結論とともに、本論文で行なった PDS-FEM の乾燥収縮を伴う場への拡張の意義と、乾燥亀裂以外のマルチフィジックスにおけるパターン形成の問題への提案手法の適用の可能性について言及している。</p> <p>以上、要するに、廣部君の博士論文は、乾燥亀裂のパターン形成に対する有効な数理モデルとともにその数値解析手法を提示したものであり、当該分野への貢献は少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			
学識確認結果	<p>学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査会委員で試問を行い、当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。</p> <p>また、語学(英語)についても十分な学力を有することを確認した。</p>		