

氏名	いしの たかゆき 石野 貴之
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	博甲第883号
学位授与の日付	平成30年3月26日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 先端ファイブ科学専攻
学位論文題目	柔軟体の貫入による破壊の物理学的因子分析と圧子形状への依存性評価
審査委員	(主査)教授 佐久間 淳 教授 鋤柄佐千子 教授 横山敦士

論文内容の要旨

本論文は、小さな力でも大きな変形が起りやすい性質を持つ物体である柔軟体について、適切な取り扱いのための物理学的分析、特に貫入に伴う破壊に関する因子の分析を数値シミュレーションによって行い、その破壊現象を評価する次に挙げる研究を実施した。

第1章において、研究背景と本論文の目的および構成について記述した。

第2章において、貫入による破壊を確認するため、圧子押し込みによる柔軟体の変形について理論を調べ、低密度の発泡体に対して押し込み試験を行った。押し込み試験においては2種類のポリスチレン発泡体(JIS A9521 XPS3bAII、XPS1bB)に対して、直径の異なる球圧子により押し込みを行い、その貫入量と圧子に加わる荷重を計測した。押し込み試験結果より、柔軟体の押し込みに対する様相をその貫入量と荷重の関係に対して弾性、圧壊、過渡、破断の4つの領域に分類した。

第3章において、一般に貫入後の破面観察により多くの情報が得られることから、貫入による破断形態を確認した。押し込み試験後の試験片を切断しその断面を観察することにより、発泡体XPS3bAIIで円錐台形状の破断が確認できた。また、発泡体XPS1bBにおいては、円錐台形状の破断と円柱状の破断の2種類の破断の混在が観測できた。この2種類の破断における貫入量と荷重の関係の対応を調べた結果、破断領域において円錐台形状の破断に対しては荷重の増加、円柱状の破断に対しては概ね一定の荷重という対応が確認でき、この対応関係を基に円錐破断モデルを作成した。この円錐破断モデルは、発泡体のプラトー応力などにより荷重の増加率が決まるため、試験結果に対して逆解析を行うことで発泡体のプラトー応力を求めることができる。この手法により、発泡体XPS3bAIIについては安定した値が得られたのに対して、発泡体XPS1bBについては不安定な値となったことから、この手法は発泡体内部で円錐台形状の破断のみが発生している場合に有効と考え、円錐破断モデルによるプラトー応力の計算手法とその適用範囲を提案した。

第4章において、発泡体XPS1bBに発生する破断領域における一定荷重について有限要素解析による数値シミュレーションから、その破壊に関する因子の分析を行った。発泡体の貫入においては、引張とせん断による破壊が含まれていると考え、主ひずみとせん断ひずみを破壊条件とした解析を行うことで、低密度の発泡体に対する押し込みによる貫入破断の分析を行った。その結果、

せん断ひずみのみを基準とした条件により貫入破断を表現することができ、さらにせん断ひずみにより発泡体の見かけ上の強化や脆化が起こることを示した。これにより、せん断ひずみを低密度発泡体の破壊因子とすることの妥当性を示した。

第5章において、より基本的な物性を持つ弾性体への圧子貫入について、せん断ひずみによる破断を考慮した有限要素解析による数値シミュレーションを行うことで、柔軟体の破壊現象に対する圧子形状の依存性を確認した。圧子モデルの形状として針状のものを想定し、その先端について円錐形状と刃物のように先端が線状に広がった形状を作成し、せん断ひずみを破壊条件とした弾性体モデルへ貫入させた。その結果、円錐形状では表面から円状の破壊が発生しそれを押し広げる形の破壊が発生し、先端が線状に広がった形状の圧子では表面に線状のき裂が発生しそれを切り広げる形の破壊が発生し、破壊現象に対する明確な依存性が見られた。これにより、表面の破壊形態を基準として針形状の評価が可能になることを示した。

以上の研究により、柔軟体に関わる構造物（モノ）の設計手法において、特に破壊現象をせん断ひずみを破断基準として評価する一体系を確立した。

論文審査の結果の要旨

本博士論文は、柔軟体に対する貫入による破壊について、破壊が発生する物理学的因子の分析を行い、さらにその分析結果の応用により圧子形状ごとの破壊へ依存性の評価を行い、その成果について報告したものである。

柔軟体とは、ゴムやスポンジといった小さな力でも大きな変形が起こりやすい性質を持つ物体の総称であり、その分析においては複雑な非線形挙動の検討を行う必要がある。さらに変形が限界に到達すると破壊が発生するが、柔軟体の破壊についてはその様相が一様ではなく破壊についての明確な分類が難しく、破壊の表現が可能となる破壊因子の分析と評価の方法が求められている。本論文においては、それらの検討のために有限要素解析による数値シミュレーションを利用することで破壊因子の分析を行うことを目指している。

破壊因子の分析においては、柔軟体の中でも低密度の発泡体への貫入破壊を対象としており、ここで発泡体の貫入においては様々な破壊が含まれていると考え、複数の要因を破壊条件とした有限要素解析による数値シミュレーションを行うことで検討を行っている。その結果、せん断ひずみを基準とした破壊条件により貫入による破断を表現できることを示している。また、その応用としてより基本的な物性を持つ弾性体への圧子貫入について、破壊現象に対する圧子形状の依存性を確認している。その結果、現れる弾性体の破壊様相を複数のパターンに分類し、さらに表面の破壊面積を基準とした圧子形状の評価手法を示している。

本論文の基礎となっている学術論文は、レフェリー制度の確立した雑誌に掲載および掲載が決定された、申請者を筆頭著者とする次の2編である。

1. Takayuki Ishino Atsushi Sakuma, FRACTURE EVALUATION OF LOW-DENSITY POROUS MATERIALS BY REACTION FORCE ANALYSIS IN BALL INDENTATION TEST, Proceedings of the ASME 2017 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE2017-70526, Tampa, USA, 2017, DOI:10.1115/IMECE2017-70526

2. ISHINO Takayuki, SAKUMA Atsushi, Fracture analysis of low-density porous material by shear mechanics on ball indentation test, Journal of Textile Engineering, 印刷中

以上の結果より、本論文の内容は十分な新規性と独創性、さらに学術的な意義があり、博士論文として優秀であると審査員全員が認めた。