

令和 2 年 9 月 8 日現在

機関番号：52201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00994

研究課題名(和文)力学用総合教材と評価システム開発による教育効果の見える化

研究課題名(英文) Visualization of Educational Effects by Development of Teaching Material for Mechanics and Evaluation System

研究代表者

伊澤 悟 (Izawa, Satoru)

小山工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号：00232223

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、力学教育における力と変形の理解向上を目的として新しい教材開発を行った。ここでは「見える化」実験教材を独自に開発し、座学科目の中に実験教材を組み入れた教授法を用いて、学習者の理解やモチベーション向上と工学的センスの養成を目指した。また、演習力養成を図るための記述式演習ノート、自学が可能となるオンライン用教材の開発も行った。この教材学習を通じて、学習者が教科書で学ぶ概念の理解および力学に対する興味向上の面で大きな教育効果が見られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

機械工学の中で重要な力学科目において、理論中心の講義が進み数学化した力学教育になる傾向が進むと、学習者のモチベーションや工学的なセンスの低下に対する懸念がある。本研究では、理論中心の座学と実験とを補完するような「見える化」教材、演習力養成を前提とした演習ノート、自学を可能とするオンライン教材の3要素を組み込んだ総合的な教材開発を行った。本研究を通じた、座学科目への効果的な教材を組んだ総合力養成のための教育システムの構築は、工学教育のモデルとして学術的にも意義が深い。

研究成果の概要(英文)： In this study, we developed new teaching materials for the purpose of improving the understanding of load and deformation in mechanics education. We developed our own teaching materials for "visualization" and aimed at teaching methods that incorporate experimental teaching materials into lectures. Through teaching materials education, we aimed to improve the understanding and motivation of learners and to develop engineering sense. We also developed descriptive notes for training exercise skills and online teaching materials that enable self-study. Through the study of teaching materials, learners have improved their understanding of the concept of textbooks. Furthermore, a big educational effect was seen in terms of the improvement of the interest in mechanics.

研究分野：実験力学

キーワード：工学教育 教材開発 材料力学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高専や大学工学部の機械系科目において力学科目は重要な科目であるが、試験中心の科目達成評価が進んだ結果、数学化した力学教育になる傾向がある。背景に、大学はアカデミックに工学教育を行う場所として座学教育をしっかりと行い筆記試験がベースとなっている理由である。しかし、学習者のモチベーションや工学的なセンスの向上が必ずしも十分に図られていない。また、座学、実験はそれぞれ別途に実施されて、座学科目の中に実験等の教材を組み入れた教授法と独自の教材開発に関する研究ほとんど行われていない。

本研究が目指す理論中心の座学と実験とを補完するような教材を利用した、総合力養成のための教育システムの構築は、学習者のモチベーションを上げるばかりでなく、工学的センスや応用力を養うことが可能となる。

2. 研究の目的

本研究では、工学系科目の中で力学教育に着目し、実験や設計科目との連動を前提とした実験教材、演習力養成を前提とした演習ノート、予習を前提としたオンライン教材の3要素を組み込んだ教材開発を行う。

本研究を通じて、座学科目への効果的な実験教材の組み込みと演習用やオンライン教材の利用による演習力、応用力養成を考慮した新しい教育システムについて提案することの学術的意義は非常に大きい。現状の教育システムの長所、短所を顕在化するこのアプローチ手法は、他の工学教育の教育スタイルの模範としても、発展性が広い。

3. 研究の方法

学習者が工学的センスや応用力を養うことを念頭に、座学科目の中に実験等の教材を組み入れた独自の教授法と教材開発を行った。対象科目の材料力学では、引張、曲げ、ねじりの様々な荷重形態で応力と変形の関係について学ぶが、それぞれの応力の概念が異なるため、理解を困難にしている。ここでは、実験力学手法を用いて、樹脂系材料について応力や変位の「見える化」を実現する教材開発を通じて、材料力学で学ぶ様々な概念理解の促進を目指した。

4. 研究成果

4.1 学習項目と実験用教材

表1に、材料力学の学習項目と教材例を一覧で示す。ここでは、複雑で大きかりな実験装置を使用せずに、簡便な実験を通じて引張、曲げ、ねじりなどの様々な荷重形態で静荷重状態での材料の負荷と変形との関係について、教科書に連動して学ぶことが出来る。

4.2 「見える化」教材の特徴

例として、図1に示す簡易荷重負荷装置による「集中荷重を受ける両端支持はり」の実験概要について示す。荷重負荷はおもりの個数で実現、ひずみゲージを利用して曲げ応力の計測、変位計を用いてはりのたわみを計測できる。ここでは、はりの材質をウレタン樹脂として低荷重で変形を評価、図2に示すような様々な断面形状でたわみを比較することで、断面二次モーメントの概念理解の促進を目指した。また、エポキシ樹脂による光弾性効果によるひずみの「見える化」を通じて、断面部位による応力の違いを視覚的に表現した。

表1 実験用教材

単元	学習項目	概要	ねらい
引張	フックの法則	ばねばかり	荷重と伸びの関係
曲げ	曲げ応力	光弾性法・ひずみゲージ	曲げ応力の考え方
	断面二次モーメント	樹脂製はり 三点曲げ試験	断面二次モーメントの理解
ねじり	ねじれ角	樹脂製丸棒のねじり	ねじれ角と比ねじれ角
平面応力	モール円	曲げねじり試験とロゼット ゲージ	モール円の描き方

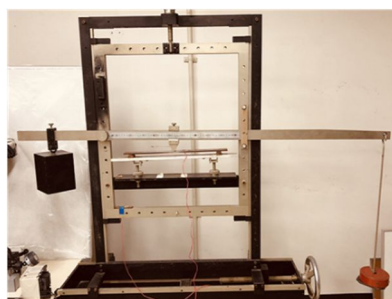


図1 曲げとねじり実験装置

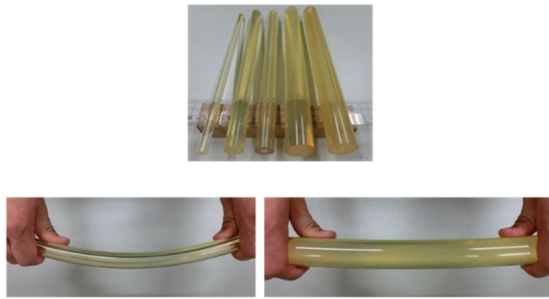


図2 樹脂はりの曲げ

4.3 記述ノートおよびオンライン教材

学習者の自学自習を促すことを目的に、図3に示すような記述ノート形式演習用教材を作成した。これは、材料力学を学ぶ上で重要な項目をまとめたもので、ノート中に適宜穴埋め箇所を設けて、学習者が教科書と平行して記述式ノートを進めることで、重要な事項や考えるヒントを与えるものである。

合わせて、予習復習が可能となるように、図4に示すような音声を含めたオンライン教材を開発し、学習者がいつでも自学出来るようなコンテンツを開発した。

講義や実験に平行してオンライン学習を提供することで、講義、実験、自学自習を通じた複合的な教育効果を目指した。

3年機械工学科「材料力学」プリント3 2020/5/25 伊澤

【先週の補足=せん断破壊】
穴あけパンチで打ち抜く際に必要な荷重と打ち抜き枚数。



紙のせん断強度 $\tau = 30\text{MPa}$ 、コピー用紙厚さ 0.07mm 、
パンチの穴径 $d = 6\text{mm}$ 、穴あけ (2か所) に必要な荷重は?
せん断面 (2か所) $A = 2 \times \pi d h = 2 \times \pi \times 6 \times 0.07 = 0.84 \pi \text{ [mm}^2\text{]}$
せん断応力 $\tau = 30\text{MPa}$ で破壊 (穴あけ) $\Rightarrow \tau = Q/A$
必要な荷重 $Q = \tau \cdot A = 30[\text{MPa}] \times A = 30[\text{N/mm}^2] \times 0.84 \pi \text{ [mm}^2\text{]}$
 $= 78\text{N}$ (1枚穴あけするのに必要な力)

【ひずみ(Strain)】
引張荷重を加えた材料が変形する際、元の長さが長い材料ほど同じ荷重で伸びる量は大きいので、材料の変形は単純に何 mm 伸びるかという比較ではなく、(元の長さに対して) どれくらい伸びているかで表す。この指標は、(ひずみ) と言って、伸びをもとの長さで除した値として与えられる。

ひずみの定義

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad [-] \quad \text{変形量} \quad \text{元の長さ} \quad \text{単位はない}$$

縦方向のひずみ \Rightarrow 縦ひずみ ϵ 引張ひずみ (正)・圧縮ひずみ (負)
横方向のひずみ \Rightarrow 横ひずみ ϵ' 縦に伸びると横に縮む

縦に縮むと横に伸びる $\Rightarrow \epsilon'$ と ϵ は符号が逆

縦ひずみと横ひずみの割合のことをポアソン比 ν という。

$$\nu = -\frac{\epsilon'}{\epsilon} \quad \text{単位はない}$$


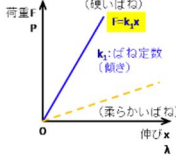
この値は材料によって固有の値を持つ!!
低炭素鋼=0.30 高炭素鋼=0.24 アルミニウム=0.28 など。

せん断ひずみ $\Rightarrow \gamma = \frac{\Delta l}{l} = \tan \phi \cong \phi \quad \text{単位はない}$

体積ひずみ $\Rightarrow \epsilon_v = \frac{\Delta V}{V} \quad \text{単位はない}$

図3 記述ノート形式教材

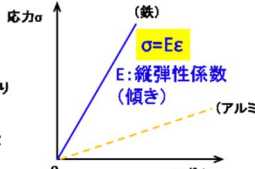
フックの法則(ばねと機械材料)

荷重P、伸びlambda

 $P = k_1 \lambda \quad \sigma = P/A, \quad \epsilon = \lambda/L \text{ より}$
 $\sigma A = k_1 \epsilon L \Rightarrow \sigma = k_1 \epsilon L/A = (k_1 L/A) \epsilon$

$\sigma = E \epsilon$



E : 縦弾性係数 (傾き)

図4 オンライン教材

4.4 教材の効果

これらの教材は、材料力学で学ぶ様々な概念についての理解を促進するために開発している。ここでは、応力や断面二次モーメントのような、目で見ることの出来ない概念を教科書で学ぶ際に、合わせてひずみ、たわみやねじり角などの様々な負荷形態での変形現象を視覚化することで、教科書によって与えられたそれぞれの概念や評価式を理解する上で有効であった。

また、開発した総合的な教材を学習者が学習することは、教科書で学ぶ概念や式の確認が出来るばかりでなく、材料力学の本質である材料の負荷と変形に対する興味や学習モチベーションの向上、更に学習時間と演習力の向上に大きな効果があった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0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 IZAWA Satoru	4. 巻 2019
2. 論文標題 Development of Teaching Materials to Visualize Force and Deformation for Understanding Stress	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Proceedings of Mechanical Engineering Congress, Japan	6. 最初と最後の頁 S20208 ~ S20208
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1299/jsmemecj.2019.S20208	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 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 伊澤 悟
2. 発表標題 材料力学の学習項目と試験内容に関する考察
3. 学会等名 第22回高専シンポジウム
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