

# ねじり問題を教育する WBT 開発とその評価

東海女子大学人間関係学部 藤井 康寿 加藤 大典 青木 宏樹  
名城大学理工学部 中川 建治 株式会社セイノー情報サービス 加藤 喜久

( fujii@hm.tokaijoshi-u.ac.jp kato004c@forest.ac.jp nakagawa@ccmfs.meijo-u.ac.jp ykato@sis.seino.co.jp )

## 1. はじめに

本研究はWBT教材開発を研究題目としている。このWBT(Web-based Training)とはWeb上で学習する形態を指す。これは、近年のIT技術の発展、特に扱える情報量の多さ、伝達速度の高速化などにより、従来にない新しい教材の表現手法や学習機能を実現できる可能性を有するため、WBTは将来の教育環境の充実を担えるものとして期待できる。

こうした時代の流れを踏まえ、本研究は「大学で学習する工学的事項」をWBTにより学習できるとともに、学習効果を引き出せるシステムを開発し、システムと効果の検証を行うことでWBTによる工学教育の可能性を展望する。本WBTで学習する工学的事項を「単純ねじり問題」とするのは、当研究室がこれまで複素関数特性の工学的研究に取り組んできたことによる。特に本年度は、複素解析関数を用いた棒部材のSaint-Venantのねじり<sup>[1]</sup>に関する特性を見出す研究に力点を置くため、教材内容はこれを反映する構成とする。また、完成したWBT教材は実際にイントラネットを活用し試験運用に移す。これは、学習する第三者の視点から教材に対する客観的な評価を掴むことにより、WBTシステムによる学習効果と運用の可能性を的確に検証するために重要となると考えるからである。本研究では、運用により得られた評価を基に、本WBT教材による学習効果の利点、あるいは改善すべき点を認識し、本WBT教材の学習効果の検証と、これからのWBTによる工学教育の可能性を検討する。

## 2. 研究概要

本研究のWBT教材開発にあたり、大きく二つのプロセスを経て実施する。

第一に、教材内容ともなるSt.Venantのねじり（長さLの中実断面棒に弾性限度内でねじりモーメントTの作用時に生じる微小ねじり）を受ける棒部材に関するねじり諸特性を検証することである（図-1）。一般に、ある断面形状の棒部材に単純ねじりが作用するときに生じる変形および断面内の応力状態は、断面形状に起因した特性を現すと考えられる。本研究で扱う断面形状を特に円形・楕円形・正三角形断面とするのは、基本的な断面のねじり諸特性を捉えるためである。これを導くため、複素解析関数を誘導して変位・応力式を算定したあと、この算定結果を基に、数値数式プログラミングの一つであるMathematicaを活用して解析し、静的な描画結果を得る。この静的な描画結果に基づき中実断面棒ねじり特性について考察・検証を行う。

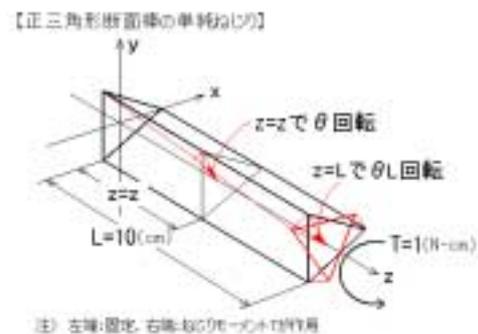


図-1 中実断面棒の単純ねじり（正三角形断面）

第二に、「St.Venantのねじりを受ける棒部材の力学的諸特性を理解できること」を目標としてWBT開発を行う。教材構成は、知識の習得・知識の確認・知識の理解を促すため、図-2に示す【教科書】・【問題演習】・【視覚効果】の3つの学習機能を設ける。【教科書】教材ではSt.Venantのねじり問題に関する知識の獲得ができるよう、単元ごとに「学習事項、学習のねらい、必要となる数学

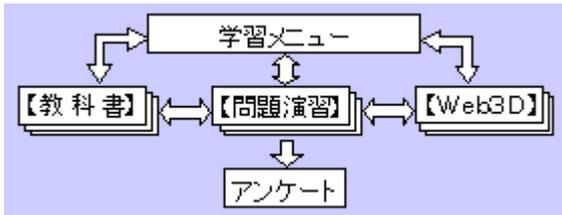


図-2 教材の全体構成模式図

の知識”を明示している。ここでは内容の大筋を掴めるよう配慮し、重要な数式については図を用いた詳細説明を添付してある。【問題演習】教材では、演習問題を通して【教科書】教材で学習した内容の力試しができるよう、教科書の要所を問う設問とした。また、学習者の解答終了と同時に、その單元における正答数および得点を自動的に画面表示する機能（自動採点機能）を与え、学習者が瞬時に学習理解状況を把握できるようにした。

【Web3D】教材では、学習者がイメージしにくいねじり特性を具現的かつ明瞭に捉えられるよう、断面に生じる変形状態、応力状態を3次元CGにより表示するとともに、インタラクティブな操作機能により、一つのCGをあらゆる方向から観察・検討できるように工夫して、ねじり特性の視覚的理解を促す配慮をしてある。なお、本WBT教材は図-2に示すように、教材開始時に学習メニューを設け、教材の学習方法および目次を示した。また、学習終了時には本WBT教材の学習効果を検証するためのアンケートに回答する形式とし、各教材間は矢印で示すように相互に連携できる形態を採用し、好きな箇所から学習できるよう配慮した。

### 3 WBT教材の試験運用

イントラネットを活用し試験運用を行った。今回開発したWBT教材は、機械工学あるいは土木工学の専門知識をある程度修得した学生（被験者）を対象としているため、理系の大学4回生以上、なかでも土木系構造分野の学生25名を対象とした。これは大学で学ぶ工学的学習事項を扱う本WBT教材と学習対象者のマッチングが適切であると判断したことによる。

### 3.1 WBT教材の検証

被験者には、学習終了時のアンケートで「教材に対する評価」および「学習者自身の理解度」を5段階評価で回答してもらう仕組みとした。これは、学習した被験者の観点から、本WBT教材に対する客観的な評価を掴むことにより、WBTシステムによる学習効果を的確に検証できると考えたためである。

アンケート結果は、本研究室内に構築したWebサーバーを介して集められたデータをCSV（Common Separated Values）ファイルに変換するシステムにより集計した。この集計結果の分析調査に基づき、学習効果の検証を行い、WBT教材の有用性ならびに改善点をまとめ、本WBT教材の可能性を展望した。

## 4 WBT及びWeb3D教材開発結果

### 4.1 【教科書】教材の開発結果



図-3 教科書画面例

【教科書】教材は2章で説明した円、楕円および三角形断面を有するSt.Venantのねじり問題に対して、複素解析関数による断面の諸量を学習するシステムを開発したものである。教材開発に際しては、図-3に示すように、單元のはじめに“学習事項、学習のねらい、必要となる数学の知識”を全ての單元で明示し、さらに“指針”と称する箇所ではその單元の大まかな解法の流れも明記して、学習者が自学自習できるよう配慮した。また、語句だけではイメージできないような箇所では図を多く使い、さらに計算過程についても詳細に記

すことで学習者の理解促進につながるような配慮も行った。

#### 4.2 【演習問題】教材の開発結果

【演習問題】では【教科書】で得た知識を確認できるよう、重要な数式や語句をプルダウン形式の選択肢や文字入力といった回答方式で作成した(図-4 参照)。演習問題の解答中に内容が分からない場合、または変形や応力状態を把握できない場合には、教科書に戻って語句や数式を確認したり、Web3D に変換した描画結果を起動して図形を確認しながら回答することができるような相互連携が可能なシステムを構築した。さらに、図-5 に示すように、回答終了後に右上のリターンキーをクリックすると自己採点の行える機能(自動採点機能)を付加した。このような機能を具備することによりその単元での正答数と得点が表示され自学自習の効果を発揮する教材開発を実現した。

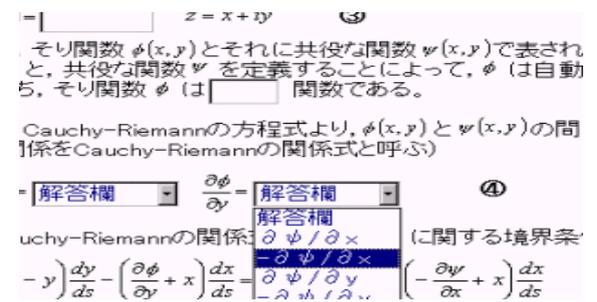


図-4 演習問題表示画面例

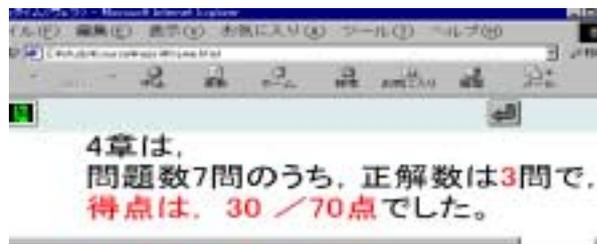


図-5 演習問題の採点画面

#### 4.3 【Web3D】開発結果

【Web3D】では図-1 の正三角形断面棒のねじりアニメーションの他に、図-6 に示すような円・楕円形断面棒のねじりアニメーションも表示できるので、円形断面ではそりが発生せず、楕円や正三

角形断面などの不等断面ではそりが発生することが容易に確認できる。この他にも円形・楕円形・三角形各断面に発生するそり、せん断応力、せん断応力線や、円・楕円の変位ベクトル場も表示可能である。本報告では紙面の都合上一部の描画結果を除いて割愛する。

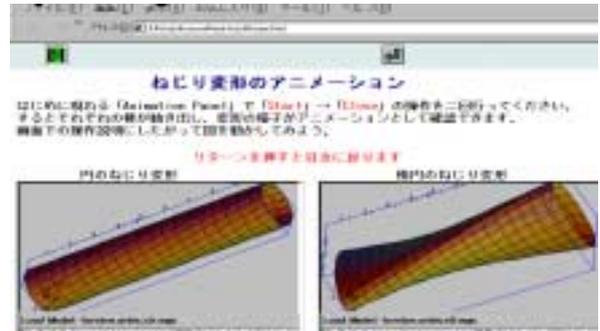


図-6 ねじりアニメーション

#### 5. 試験運用 ~ アンケート結果報告 ~

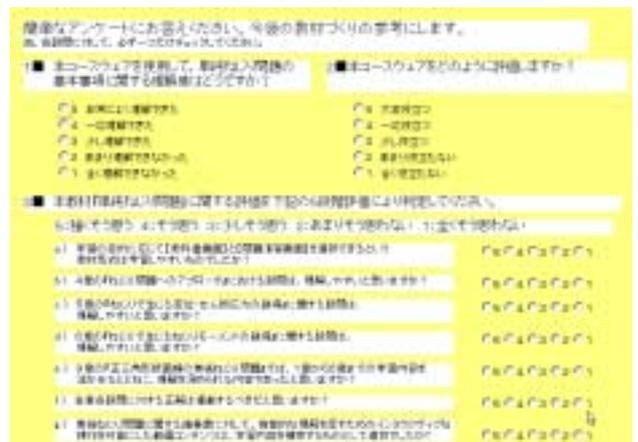


図-7 アンケート画面

本 WBT 教材が我田引水なものとならないよう試験運用を実施し、第三者の観点から教材に対する評価を掴むことは、本 WBT 教材による学習効果を検証し、本教材の利用価値を検討する上で重要である。しかし、学習効果を即座にかつ正確に測ることは困難である。このため簡易な方法で学習効果を測る手立てとして、本 WBT 教材では、学習終了時に「教材に対する評価」および「理解度」に関する複数の項目を、学習者側が 5 段階評価で回答できる様式の「アンケート」を採用した(図-7 参照)。したがって、本研究では集計した

回答結果に基づいた分析調査により、本 WBT 教材の学習効果を間接的に検証し、本教材の利用価値を言及することにした。

### 5.1 アンケート結果の考察

以下に設問項目に対する結果分析および考察を述べる。本報告では紙面の都合上一部のアンケート結果を除いて割愛する。

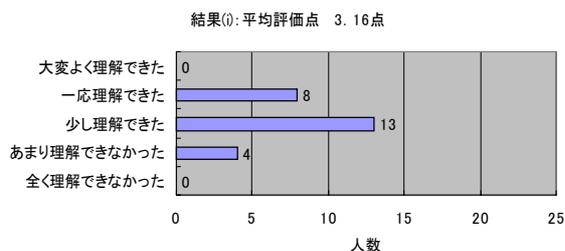


図-8 結果(i)のグラフ

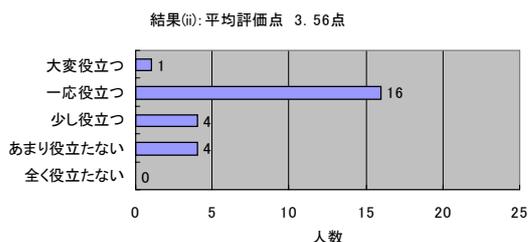


図-9 結果(ii)のグラフ

(i)図-8のように、平均評価点は3.16点を示し、点数別人数分布は80%以上の被験者が、St.Venantのねじり問題における学習内容を「一応」・「少し」の割合で理解できるものと評価した。教材開発の過程では平均評価点は4点弱、理解度は「一応」の評価を多く得ることを期待したが、学習事項が全9章と広範に及んだことや、初めて使用するコースウェアの操作に不慣れであったことも若干期待に反する結果を招いたと考えられる。しかし、被験者が初めて学習する内容であることや、初めて体験する学習形態であること、3点以上の肯定的評価を得ていることを考慮すれば、本 WBT 教材は学習効果を発揮できたものと判定できる。

(ii)図-9に示すように、今回の試験運用を通して、被験者の80%以上から、Webを利用した学習形態

(WBT)が工学教育手法の一手段として役立つという肯定的評価を得た。また、平均評価点が3.56点と高い数値を示していることから、WBTによる学習形態が、工学教育において充分受け入れられる可能性を有していると判定できよう。ただし、(i)で理解できなかったと回答をした人数と同数が、役立たないとする否定的評価をしたため、今後本 WBT 教材の操作性の改善(数学記号などの式入力や、教科書・問題演習・Web 3D 教材間の関連事項にリンクを多用し瞬時に参照事項を表示するなど)、教材内容の吟味など本 WBT 教材の見直しも必要と考える。

### 6. 結論

本研究で開発した教材内容は、円形断面棒以外は大学院相当の学習事項を含んでいて内容に特殊性があるものの、被験者からは本 WBT 教材の試験運用を通して、St.Venantのねじり問題における学習事項は概ね理解できたとの反応が得られた。これは、本 WBT 教材が「内容を理解できること」に力点を置き、形式面・内容面を工夫したことに加えて、今回の被験者を理系の大学4年生以上に限定し、被験者側の適度な専門的予備知識を見込んだ結果、教材の【教科書】部分で“知識の習得”、【問題演習】で“知識の確認”、【Web3D】で“知識の理解”が促されたものと考えられる。勿論、第5章で言及したように、本 WBT 教材を形式面でより扱い易く、内容面でより理解し易い学習内容に見直すなど、一部改善の余地は残すものの、大方期待した完成度に達したものといえよう。すなわち、本研究で取組んだ WBT 教材開発は、St.Venantのねじり問題のような工学的な学習ができるシステムとして実証されたと結論づけられる。

開発した WBT 教材の掲載サイト

<http://www.toukaijoshi-u.ac.jp/~fujii/index.html>

### 参考文献

[1]高岡宣義:「構造部材のねじり解析」,共立出版株式会社,pp.7-19,1974.