

## 要 旨

機械設計製図の定番課題「天井クレーン」において、有限要素法 (FEM) をブラックボックスとして使用している。さらにグループで FEM を利用し、紙で橋梁構造を製作して載荷重量を競うコンテストを実施している。このように FEM を利用し具体的に強度計算を行い、共同で橋梁を製作することを通して、FEM の入出力データの理解を促し、その後の FEM 教育を具体的なイメージの中で行い、教育効果を高め、強度設計における実務能力向上に努めている。

## 1. はじめに

苫小牧工業高等専門学校機械工学科においては 1964 年の開校以来機械設計製図として 1,2 学年には機械製図, 3,4,5 学年には手巻ウインチ, 天井クレーン, 渦巻ポンプなどの課題を課してきた。その中で第 4 学年については、1967 年から 2004 年までの間、前中期は天井クレーン、後期はハンドロボットの設計製図を行ってきた。2005 年度から第 4 学年の機械設計製図を担当するにあたり、社会全体が大きく変化する中で、課題の設定に腐心してから、実施 3 年目となった現在、さらに設計製図をとおしたより良い技術者教育のために、これまで概要をまとめてみた。

## 2. 第 4 学年機械設計製図の概要

## 2.1 課題の決定

現在、設計業務において、3次元 CAD の普及がめざましく、さらには FEM などの解析手法によるシミュレーションとの融合が進み設計開発期間の短縮、コストの低減が求められている状況<sup>1)</sup>にある。そのような中で、科目担当を引き継ぐにあたって、制約的な面では、担当者が材料力学実験室を経営していること、前後学年で手巻ウインチ全体のトレース的設計と、羽根車や軸など渦巻ポンプ部品にポイントをおいた設計が行われていること、現状では 2次元 CAD20 台という貧困な設計製図教育環境しか望めないこと、などが挙げられた。一方で、安価で、GUI に基づいた手頃なプリ・プロセッサが提供されており、学生が簡単に利用できる FEM プログラム<sup>2)</sup>が入手できること、クレーン・コンテスト<sup>3)</sup>などトラス構造による教育の取り組みが盛んに行われていることなどを受けて、課題を天井クレーンに設定して、設計能力の向上を期して組み直した。

## 2.2 年間予定

表 1 第 4 学年機械設計製図の年間予定

	時期	週	事項
1	6 月中	6	有限要素法 (データ理解, 計算演習)
2	7 月初	3	有限要素法による設計演習
3	12 月中	10	天井クレーンの設計製図
4	2 月下	7	橋梁コンテスト

## 3. FEM による設計演習

FEM のデータ、操作を学び、工業力学、材料力学で扱っ

た問題を解いた後、例えば、図 1 に示した演習問題的なトラス<sup>4)</sup>を設計演習用として提示し、次に示す条件、流れ、確認事項を指示して 3 週の演習を行う。

## (1) 条件

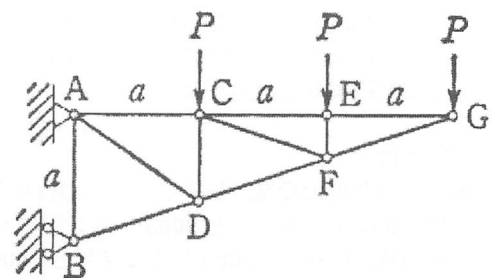
- ・平面トラスとして考える。
- ・部材長さ  $a=1,2,3m$ , 荷重  $P=5,10,15kN$ .  $a \times P$  の組合せて、各班に割り振る。
- ・各部材は塑性変形を生じない。(許容応力=降伏点)
- ・一般構造用圧延鋼材 SS400 の等辺山形鋼を使用。

## (2) 流れ

- ①データの入力 (部材断面積を仮定. 荷重  $P$  のみ.)
- ②FEM 計算
- ③出力データの確認 (部材力, 部材応力の状況を把握.)
- ④部材寸法の仮決定.
- ⑤部材自重を考慮して, FEM 再計算.
- ⑥部材応力の確認.
- ⑦節点変位の確認.
- ⑧必要があれば設計変更.

## (3) 確認事項

- ・各部材の部材力, 部材応力の特徴. (最大, 傾向)
- ・各節点変位の特徴. (最大, 傾向)
- ・材料力学で学んだ梁との類似性の確認
- ・部材の総重量から算出した予算規模の確認

図 1 設計演習用トラス<sup>4)</sup>

## (4) 効果

FEM による設計演習を終えた時点で、材料力学との対比により材料力学の理解が深まったと考える。加えて FEM により変形の確認が容易となることは驚きをもって受け入れられている。また、部材面積の仮定 → 計算 → 応力変形の確認 → 再計算という設計の流れが容易に把握できていると考えられる。

#### 4. 天井クレーンの設計製図の概要と課題

天井クレーンは機械設計製図の定番課題の一つであり、従来は、動力を考慮に加え、設計範囲の拡がりを与えた上で、仕様に合わせて教科書の設計手順と図面をトレースすることで行われてきた。また、部材力の計算については、クレモナの方法など図式解法を用いてきた。現在は、設計能力を実質的に高める必要性と、図式解法の実務での位置づけの変化と FEM 骨組構造解析が容易に利用できる環境になったことにより、FEM 骨組構造解析による天井クレーン鋼構造部の設計製図とした。

年間全体の内容と時間的な面から、設計指針、関連法規などの説明の後、具体的には鋼構造部に限定した設計製図として集中させ、他の動力および動力伝達機構などについては割愛している。一方でそのことが、全体を見通す能力の涵養に対する不安ともなっている。

また、従来教科書として用いられてきた書籍の参考部分のプリントを配布して、内容により取捨選択して利用していることが、一部の学生に正確に伝わらず混乱を招いている。

#### 4. 橋梁コンテスト

概要としては、1グループ4名で役割分担を行い、FEMにより構造部材に加わる部材力を計算し、載荷能力の高い橋梁構造を構想し、30cmの間隔に渡す橋梁をA4用紙20枚と接着剤のみで作成し、載荷重量を競う。さらに話し合いのもとで橋梁の欠点、弱点を発見し、改良することで課題を見出し、解決する能力を身に付ける。使用材料はA4コピー用紙20枚。接着剤として、それ以外の材料は認めないなど、他の実施例<sup>5)</sup>にならっている。

INPUT PROCESSOR FINITE ELEMENT PERSONAL COMPUTER 7-28-106 15:45:28  
TITLE:

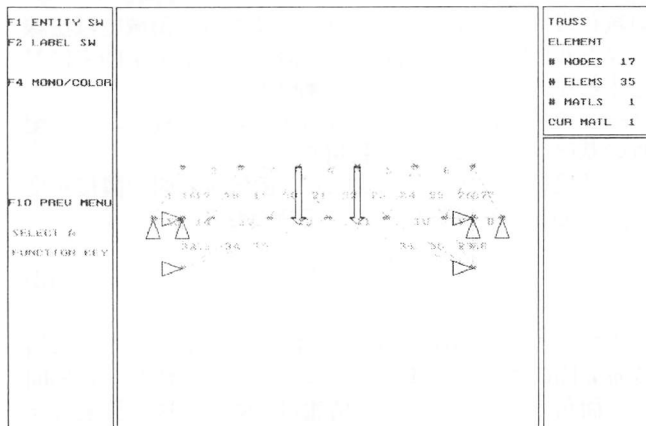


図2 FEMモデル図例

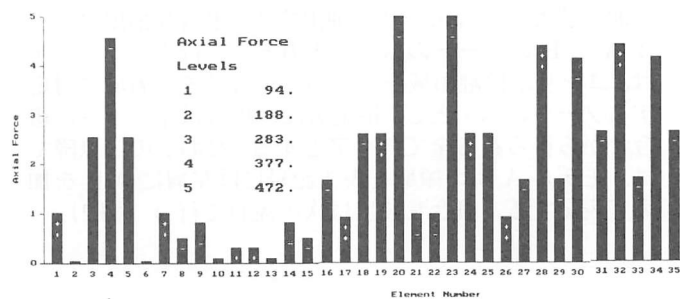


図3 FEMによる部材力例

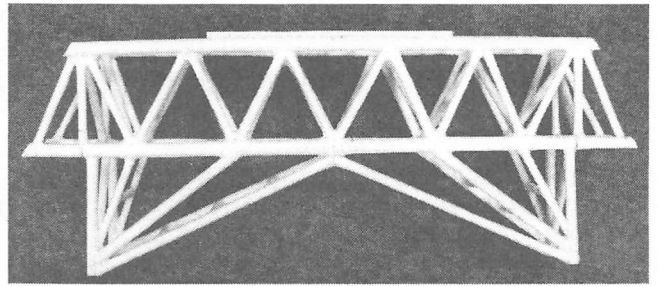


図4 橋梁例 正面写真

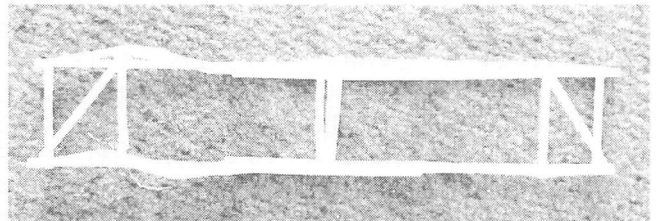


図5 破損例 平面写真

図2から図4には、613Nの載荷重量を記録したグループのFEMモデル、部材力図、作成した橋梁の写真を示してある。30回以上のFEM計算を行い作成したものである。

また、図5には、両端に補強はしているものの、二次元トラスで計算を行った考えのままに作成したため、早い段階での破損例を示してある。

以下に、橋梁コンテストの日程を示してあるが、2回のコンテストの間に、問題点や改善策の話し合いの場を1週設けている。この点が重要であることを学生自身が認識しているようである。

- 第1週： 橋梁コンテストの説明、FEM解析と構造検討。
- 第2週： 構造の決定、橋梁製作。
- 第3週： 橋梁コンテストI（載荷順は抽選）
- 第4週： 改良点に関する話し合い、再計算と製作。
- 第5週： 橋梁コンテストII（コンテストI順に載荷）
- 第6週： 報告書作成
- 第7週： 報告書提出

#### 6. まとめとして

貧困な設計製図教育環境の中で、3D-CADによるモデリングとFEMによるシミュレーションを行っている実務への対応策として取り組んできた。年度当初からのFEMの入出力データの理解、トラスの計算を数多く行い、FEMによる設計演習までの間に、引き続く天井クレーンの設計、橋梁コンテストのFEM利用が容易に行える基礎ができたと感じる。特に橋梁コンテストでは数10回の計算を行い取り組んでいたグループもあった。また、学生はグループ内での役割分担のもとで、問題点や改善策を話し合い、互いに協力して実施する貴重な経験と認識していた。

文献

- 1) 乾正知, デジタル製造技術の現状と展望, 設計工学 Vol36, 187p, 2001
- 2) チャールズ E. ナイト (酒井伸介訳), 機械設計における有限要素法の活用, 森北出版株式会社
- 3) 斉藤勝男, 中西康彦, 群馬大学工学部機械システム工学科における創成型科目の実施例, 日本機械学会 2002年度年度次大会資料集, 2002【(再掲) JABEE Symposium ワークショップの進行予定 Group A (機械) 資料, 11p, 2004
- 4) 入江敏博, 詳解工業力学, 理工学社, 33p, 1983
- 5) フレッシュマンセミナー, 室蘭工業大学機械システム工学科 HP, <http://kiriki.mech.muroran-it.ac.jp/>