

有限要素法の解析技術者の育成

1. はじめに

有限要素法は数値解析手法の一つであり、最も広く使われている。その特徴として

- ・適用する対象の形状に制約がない
- ・弾塑性解析、熱伝導解析、振動解析、電磁場解析などの広い分野に適用可能である

などが挙げられる。

しかし有限要素法に限らず、数値解析の良し悪しは解析者の能力に依存する部分が多い。データを入力して答えが得られても、それが適切な答えであるとは限らない。

一方でPCの高性能化、低価格化により有限要素法を中心としたCAEツールの利用は拡大している。ソフトウェアは使いやすくなってきたものの、利用者にとって市販のソフトウェアは入力データと計算結果の間の処理を直接確認することはできず、ブラックボックスであるという点については変わらない、むしろCAEの利用のすそ野が広がった分だけ十分な知識を持たずにソフトウェアの操作のみを行うという状況が発生することが懸念される。

2. 社内的背景

二十年程度前には汎用の有限要素法ソフトウェア（以下、汎用ソフトと略す）を使った解析業務が、特定の分野における装置の開発、製作関係を中心に年に数件のペースで発生していた。しかしその業務が終息した2000年以降では、汎用ソフトを使った解析業務は年に一、二件ほどに減少してきた。現在のエンジニアリング部の配管グループ、機器・架構グループ、エンジニアリンググループで行っている業務では汎用ソフトによる解析が常に必要という訳ではない。使用頻度の低下は汎用ソフトを使うことができる解析技術者の育成を停滞させることにもなった。

しかしながら今後も汎用ソフトによる解析および解析に関する知識が不要かという決してそういうことではない。

また一方で配管設計の場合には配管の熱応力解析や耐震設計のために配管専用の解析ソフトウェアを、構造設計では鉄骨構造などを対象とした構造解析専用ソフトウェアを高い頻度で使用している。これらも有限要素法に基づくソフトウェアである。こうしたソフトウェア（以下、専用ソ

フトと略す）を使用する場合、従来は先輩から使用方法を学ぶことはあっても基となる有限要素法について教えられることはなかった。

専用ソフト、汎用ソフトを問わず、操作方法を習得するのは大事なことであるが、ソフトウェアを操作するだけでは気付かない有限要素法特有の事柄も少なくない。

3. 教育の必要性

以上のようにこれまでも何らかの形で有限要素法の利用は不可欠であったが、技術者の育成は長い間進まなかった。一方で部員は入社以前に有限要素法の経験はほとんどないというのが実情である。

この状態を解消するために当部門では2012年より有限要素法教育を開始した。

4. 教育の目的

教育を行うにあたり、対象者と有限要素法との関わりが今後どのようになるかということを考えると大まかに三つに分類できると考えた。

最初のグループは有限要素法を自分自身では直接使用しない人達である。この人達は部下に有限要素法の解析を指示したり、解析をアウトソーシングし、その結果を照査、承認するといった形で有限要素法と関わる可能性がある。

二番目のグループは専用ソフトを使って有限要素法を利用する人達である。

この二つのグループでは必要となる知識はソフトウェアの操作方法に関する知識を除けばほぼ共通していると思われる。例えば、有限要素法で何ができるのか、有限要素法を使う場合の注意点、有限要素法で得られた結果を用いる場合にどんな点に注意が必要なのか、結果を理解するのに必要な事項などの知識を獲得する必要がある。

三番目のグループは専用ソフトだけではなく汎用ソフトを使う、もしくは今後使う可能性のある人達である。このグループではさらに進んだ知識が必要となってくる。例えば有限要素法の仕組み、線形解析で対応可能な分野、非線形解析の必要な分野などの知識を獲得する必要がある。

5. カリキュラム

このような目的に基づいて現在は主に二つの教育プログラムを実施している。

最初のプログラム（FEM教育Ⅰと呼んでいる）は最初と二番目のグループを対象としたもので、有限要素法に初めて触れることを前提としている。テキストとしては「図解入門よくわかる 最新 有限要素法の基本と仕組み」（岸正彦著、秀和システム）を主に用いて実施している。内容としては、

- ・有限要素法の概要
- ・有限要素法の基礎
- ・解析手順
- ・コーシー応力、ミーゼス相当応力など有限要素法で良く用いる応力
- ・解析例その他

などを学ぶものである。

二番目のプログラム（FEM教育Ⅱと呼んでいる）は最初のプログラムを終えた人達の中から汎用ソフトを使う人を対象としたもので、テキストとしては「理論と実務がつながる 実践有限要素法シミュレーション」（泉聡志、酒井信介共著、森北出版）を主に用いて実施している。内容としては、

- ・有限要素法の構成（剛性マトリックス、剛性方程式）
- ・要素の仕組み（トラス要素、ソリッド要素）
- ・有限要素法による解析の実践的な知識

などを学ぶものとなっている。

いずれも一回2時間の講義を月に二回程度行い4~6ヵ月で終了するものとなっている。

6. 実績

FEM教育Ⅰに関しては2018年8月末時点で延べ19名（転出者を含む）に対して実施した。

FEM教育Ⅱの方は2013年度、2016年度、2017年度に各2名の延べ6名に対して実施した。

7. 問題点

いずれの教育プログラムで使用したテキストも後半は評価版のソフトウェアなどを使用した演習が掲載されている。これを用いて演習を実施したことも過去にはあったが、部門で導入しているソフトウェアとは全く異なるプリポストプロセッサを使用しているため、限られた教育時間では習

得が難しく、有限要素法の演習というよりプログラム操作に慣れる時間が大半を占めてしまい、適切な効果が得られなかった。また仮に操作を習得してもそのソフトウェアを実務では使用できないという問題点がある。このため現在ではこれらのテキストを用いた演習は行っていない。ただし演習自体は今後何らかの形で行う必要はある。

8. 計算力学技術者認定取得にむけて

最初にも述べたように有限要素法のプログラムを使った解析結果の信頼度は解析技術者の能力に依存するところが大きい。この能力を客観的に判断する指標の一つとして日本機械学会の主催する計算力学技術者資格認定事業がある。これは固体力学分野、熱流体力学分野、振動分野においてそれぞれ初級、2級、1級、上級アナリストの認定を行っているものである。上級アナリストはさらに工学設計・解析・シミュレーションコミュニティのための国際団体であるNAFEMSのPSE（Professional Simulation Engineer）資格との国際相互認証も行われている。当部門の場合に最も関連性があると考えられるのが固体力学分野の2級の資格である。この資格取得者の認定レベルとして試験案内では「基本的な固体力学の問題に対して、線形弾性の範囲において正しく解析問題を設定することができ、線形弾性のCAE解析の内容を理解しており、さらに解析結果の信頼性を自分自身で検証することができる。よって、いずれかの信頼のおけるCAEソフトウェアを用いて適切な解析機能を選択しながら、基本的な線形弾性問題を大きく誤ることなく解けるものと期待できる」とされている。試験内容は、

1. 計算力学のための数学の基礎
2. 固体力学の基礎
3. 熱伝導の基礎
4. 有限要素法の定式化
5. 有限要素法の実践
6. 数値計算法の基礎
7. 要素テクノロジーの基礎
8. モデリングの基礎
9. 境界条件の使い方の基礎
10. プリポスト処理の基礎
11. 結果の検証の基礎
12. コンピュータの基礎
13. 計算力学技術者倫理

の全13分野から出題される。固体力学分野2級の受験者数は毎年全分野、各級の中で最も多い。1級以上の資格は下位の資格を取得していなければ受験できないので直接比較

はできないものの、合格率は全分野の1級、2級の試験の中ではほぼ最も低い30%程度となっている。これらのことから想像されるように合格にはかなりの努力を要する試験である。

学習用として日本機械学会から想定問題をまとめた標準問題集が出版されている。問題集の冒頭には参考書が紹介されており、これらで知識を習得して問題集の問題を解き、その後解答・解説を見て知識を確かなものとするといった方法が推奨されている。しかし参考書は全部で三十種類以上紹介されており、一冊で全分野あるいは大半の分野をカバーできるものではない。弊社の場合では受験者が全ての参考書を実際に手に取って自分に合ったものを選択するというのも困難である。

また試験対策として日本機械学会主催で試験の1～2ヵ月前（開催地により異なる）には認定試験対策講習会が開催される。しかし標準問題集には「計算力学技術者倫理」を除いても300問を超える問題が掲載されているのに対し開催期間は1日のみであるので、これらの問題の一部しか解説を聴講することはできない。

このように独学で資格を取得しようとするといくつかの問題がある。これを少しでも小さくするために出題範囲に関する知識や解説を網羅したテキストを作成中である（2018年8月末時点）。

またこの試験を受験するには一定の条件を満たしている必要がある（条件の詳細は日本機械学会のホームページなどを参照してください）。この条件を満たす手段の一つとして公認のCAE技能講習会の受講というものがある。これには弊社も団体会員として参加している九州デジタルエンジニアリング研究会（略称KDK）が開催する「FEM塾」を利用しており、これまで4名がこれを受講している。

9. 今後の課題

今後もFEM教育ⅠとFEM教育Ⅱのプログラムを継続して有限要素法の概略の知識を持つ技術者を増やすとともに、実務で使用しているソフトウェアを用いた演習を行い、有限要素法の実務への浸透を促進したいと考えている。

さらに解析技術者の育成を継続するためには現在のカリキュラムには少なくとも二つのギャップがあると考えている。一つ目はFEM教育Ⅱのレベルと計算力学技術者2級のレベルであり、二つ目は2級のレベルと1級のレベルである。前述の作成中のテキストは、これらのギャップを埋めることも目的として作成している。一つ目のギャップに関してはこのテキストを用いた教育を行い、現在は資格取得者2名のところを将来は4、5名くらいに増やしたいと考えている。またこのテキストは試験の合格のみを目的としたものではなく、より深く理解が進み且つ得た知識が定着できるようにすることも目的としている。今後は非線形分野についても拡充してゆき、これにより二つ目のギャップも埋めてゆきたい。

またこれまでは固体力学分野を主に考えてきたが、部門では耐震性能や回転機器による振動という事項も重要であり、今後は振動分野についても教育を始めることを検討している。

三田 浩昭（技術本部 エンジニアリング部）

日本機械学会認定計算力学技術者1級
（固体力学分野／振動分野／熱流体力学分野（混相流））