デザインパターンを用いた FEM プログラムの設計

Design of FEM program by using Design Pattern

関東 康祐・茨城大学工学部

Yasuhiro KANTO, Dept. Mechanical Engineering, Ibaraki University

Key Words: FEM, Design Pattern,

1. 序論

CAE ソフトウェアの発展は計算力学研究の進歩に伴い、その高機能化が日々進んでいる。したがって、その開発および保守に関わるコストは増大する一方である。これは、市販汎用ソフトにおいては、研究の最新知見が機能に反映されるまでの期間の増大を意味している。一方、研究機関では、開発中の新しい機能をテストするため、独自ソフトを使用していることも多いが、他のソフトとの比較のため、市販ソフトで一般に利用可能な基本的機能を準備しておく必要がある。

上記の状況は、いずれもコストや時間がかかることであり、これを解決するためには、必ずしもソフトウェア開発に堪能ではない研究者自身が自分の必要としている機能をもつ CAE ソフトウェアにカスタマイズできることが重要である。このためには、

- (1) 新機能の追加を容易にする
- (2) 機能を分離・独立した部品にする
- (3) 新機能と既存機能を組み合わせて使用できる

などの条件を満たす必要があると考えられる。

本研究では、(1), (2)の条件を満たすためにオブジェクト指向デザインを、(3)の条件を満たすためにデザインパターン[1]を利用することを考え、これを FEM に適用してきた[2-6]。

ここでは、上記の研究で提案された Option パターンにアスペクト指向プログラミング(AOP)[7]の要素を加え、FEM に適用した例について述べる。

2. 設計

2-1 基本設計 基礎となる FEM プログラムとして、線形弾性解析プログラムを考え、クラス設計を行った。結果を Fig.1 に示す。図中の矢印はすべて参照関係を表している。

Fig.1 Class diagram in elasticity FEM

FEM クラスは連立一次方程式を解くためのクラス(Equation)と FEM モデルからなり、全体マトリクス方程式を作るために必要な情報はすべて FEM モデルが提供する。

2-2 Option パターン Gamma ら[1]が提案したデザインパターンは 23 あり、このうち、動的に付加機能を追加するための Decorator パターンと、データ構造とそれに対する処理を分離するための Visitor パターンとを組み合わせたものを、新たに Option パターンとして提案した[3]。FEM クラスは FEM 計算に必要なデータ構造(と最低限の計算処理機能)を有し、これに付加する追加機能は Option クラスとして実装する。Fig.2 に動的問題、有限変形、弾塑性解析等の機能を追加した例を示す。Option クラスでは、Decorator パターンを用いることにより、複数の機能を組み合わせて適用することができる。この場合では、動的弾塑性解析などの解析が可能となる。ここで、動的機能と弾塑性解析機能はまったく独立に開発することが可能で、組み合わせてもそれぞれのプログラムに修正を加える必要が無いことが特徴である[4]。付加機能は、例えば要素などの FEM クラス内のデータ構造に対して処理を追加するが、これには Visitor パターンを用いる。FEM クラス内のすべてのクラス群は Option クラスを受け入れる必要がある。これはその機能を有する Acceptor クラスを継承することによって実現する。

Fig. 2 Application of Option Pattern to FEM Program

```

1. void main() {
2.     Option option = new FiniteDeformation(
3.         new Plastic (
4.             new Dynamic (
5.                 new NonOption()
6.             )
7.         )
8.     );
9.     FEM fem = new FEM(option);
10.    fem.start();
11. }
12. }
```

Fig. 3 Example of multiple Options

Fig. 3に有限変形動的弾塑性解析を行うメインプログラムの例を示す。2行目から8行目までがオプションの定義であり、動的解析機能、弾塑性解析機能、有限変形解析機能を重ねて指定し、これを一つのオプションとしてFEMクラスに引き渡す(9行目)ことですべての機能を同時に処理することが可能となる。Visitorパターンを用いることにより、追加された付加機能は適切な場所(例えば、要素クラス)で適切な機能を果たすことが可能となる。

2-3 アスペクト指向プログラミング(AOP) オブジェクト指向プログラミングでは、オブジェクトとしてうまく分離することができず、複数のオブジェクトにまたがるような操作を扱うことが難しい。これを様相(Aspect)として分離する手法が提案された[7]。FEM プログラムにおいても、例えば動的解析機能は時間ループを加えたり、質量マトリクスを作成したり、あるいは動的解析機能に必要な入力、出力を加えるなど、複数のオブジェクトへの操作が必要となる。上記の直交的機能を Aspect としてとらえ、AOP の要素を取り入れた改善を行った。AOP では操作を付加する処理をアドバイスと呼び、代表的なものに以下の3つがある。

- ・ before advice: 元の処理の直前に挿入されるアドバイス
 - ・ after advice: 元の処理の直後に挿入されるアドバイス
 - ・ around advice: 元の処理の代わりに実行されるアドバイス
- FEM プログラムにおいてもこの3つの処理が実装されれば、ほぼすべての機能追加が可能であると考えられる。ここでは、Visitor パターンにおける実行処理において、この3つのアドバイスを実装し、擬似的にAOP的要素を加えることとした。

3. 適用例

3-1 ソルバーの交換 ここでは、基本機能としてフルマトリクス直接法ソルバーのみを有しているプログラムにスカイライン法ソルバーを加える修正を行った。Fig. 4にその結果を示す。言語として C++と Java を用い、実行時間を計測することで本プログラムの性能の評価も行った。図中 C(Non-Sky)などの記述があるが、これは使用言語 (Option パターンの使用/不使用 - スカイライン法使用/不使用)を表している。スカイライン法を用いた C および C++の結果は最も右側のほぼ重なっている線であり、Option パターンを使用したことによる速度低下はほとんどないことを示している。Java を用いたフルマトリクスによる結果は最も時間がかかっており、こちらほとんど重なっている。スカイライン法を用いた Java プログラムの結果は自由度が小さい場合は、他の Java プログラムの結果とほぼ同じであるが、自由度が大きくなると他のスカイライン法より少し遅い程度である。

Fig.4 Comparison of execution performance

3-2 弾塑性解析機能の追加 弾塑性解析の適用例として円孔付きの平板の引張りの解析を行った。x 軸における y 方向垂直応力分布を Fig. 5 に示す。円孔から約 10mm まで塑性域があり、その境界で最大応力となっている。要素分割を変え、最大応力がどのように変化するかを ANSYS の結果を参照値として示したのが Fig. 6 である。要素分割を細かくすれば、2~3%程度の誤差で一致した。

Fig. 5 Stress distribution beside a circle hole

Fig. 6 Error of maximum stress comparing to ANSYS

4. 結論

FEM プログラムへの機能追加方法として Option パターンを提案し、さらに AOP の要素を取り入れた改善を行った。ソルバーの変更や弾塑性解析機能の追加を例題として行い、提案手法の有効性を示した。

参考文献

- [1] Erich Gamma;Richard Helm;Ralph Johnson;John Vlissides:オブジェクト指向における再利用のためのデザインパターン,ソフトバンククリエイティブ(1999).
- [2] Y. Kanto, N. Tanabe, Application of Design Patterns to CAE Software Development, Computational Mechanics - New Frontiers for new Millennium, 2, 1743 - 1748, 2001.
- [3] 関東, 川澄, FEM プログラム拡張のための Option デザインパターン, 日本機械学会関東支部講演論文集, No.90-1, (2009), 55-56.
- [4] 川澄, 関東, デザインパターンによる FEM への直交的機能追加法の検討, 日本機械学会第 18 回茨城講演会講演論文集, No.100-2, 23-24, 2010.
- [5] Y. Kanto and T. Kawasumi, Option Design Pattern for CAE Software Development and its Application to Extension of Nonlinear Functions, WCCM/APCOM2010, Sydney, Australia, 2010.
- [6] 菅原, 川澄, 関東, オプションデザインパターンを用いた CAE システムの構築, 日本機械学会 第 24 回計算力学講演会講演論文集, 2011.
- [7] 千葉, アスペクト指向ソフトウェア開発とそのツール, 情報処理 45(1), 68-75, 2004-01-15.