

京都大学工学研究科 フェロー 家村浩和
 京都大学工学研究科 正会員 高橋良和
 日本技術開発(株) 正会員 ○ 藤田亮一

1. 概説

構造解析システムは多機能化・複雑化の一途をたどっており、機能拡張やシステムの保守管理が困難になっている。一方、最近注目を浴びているオブジェクト指向方法論は、前述のような問題点を克服するための有効な手段となりうるということが報告されている。本研究では、オブジェクト指向方法論に基づく構造解析システム構築の一環として、構造解析に必須である基礎方程式のオブジェクト指向分析を行った。以下、この分析結果について紹介していく。なお、本研究における分析は OMT 法に基づいて行っており、モデルの表記法はこれに準じている。

2. 知識整理

まず初めに問題領域に関する知識整理を行う。本研究で対象とするのは、フレーム解析や有限要素法等で基礎となる運動方程式である。基礎方程式は、静的線形・静的非線形・動的線形・動的非線形の 4 種類に分類することができ、これらの方程式を適宜変形することで、

$$(\hat{K}_{NL} + \hat{K}_{DYN}) \Delta U^{(k)} = {}^{t+\Delta t}\hat{R}_{NL} + {}^{t+\Delta t}\hat{R}_{DYN}$$

と統一的な表現をとることができる。ここで $\hat{K}_{NL}$ と ${}^{t+\Delta t}\hat{R}_{NL}$ は方程式の非線形特性に依存する部分であり、 $\hat{K}_{DYN}$ と ${}^{t+\Delta t}\hat{R}_{DYN}$ は方程式の動的特性に依存する部分である。ここで挙げている $\hat{K}_{NL}$ と $\hat{K}_{DYN}$ は運動方程式から変位増分 ΔU に依存する項を抽出してまとめたものであり、 ${}^{t+\Delta t}\hat{R}_{NL}$ と ${}^{t+\Delta t}\hat{R}_{DYN}$ は ΔU に依存しない項をまとめたものである。従って、 $\hat{K}$ や $\hat{R}$ は一般的な剛性行列や外力ベクトルとは本質的に異なる。以上のことから基礎方程式は、線形・非線形と静的・動的の組み合わせにより決定することが明らかになった。

3. オブジェクトモデルの作成

上述した 4 種の基礎方程式の違いはその解法であり、また、非線形と一口に言っても様々なものが存在する。つまり基礎方程式には解法と非線形特性という特徴があるといえる。さらに、基礎方程式は幾つかの行列から構成される釣り合い式であり、その情報を保持することも必要である。このことから基礎方程式は方程式 (Equation)・非線形特性 (Nonlinearity)・解法 (SolutionMethod) の 3 つの部分に分割することができる。かつこ内は、各部分をオブジェクトとして表現するときのクラス名である。それぞれの役割は、

Equation	変位ベクトルや次数等の情報の保持
Nonlinearity	非線形特性に依存する剛性マトリクスと復元力ベクトルの更新
SolutionMethod	実際に方程式を解いて解を得る

となっている。知識整理の結果から、求解に必要なのは $\hat{K}_{NL}$ ・ ${}^{t+\Delta t}\hat{R}_{NL}$ ・ $\hat{K}_{DYN}$ ・ ${}^{t+\Delta t}\hat{R}_{DYN}$ であるから、これらを作成する役割を担うことになる。これをモデル化したのが図-1 である。

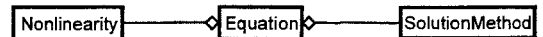


図-1 トップレベルモデル

各部分についてさらに分析を進める。Equation には動的問題に対応するため運動方程式も必要である。そこで、Equation クラスを継承するかたちで、運動方程式を表す EqOfMotion クラスを作成する。Nonlinearity については、最低限の属性と操作だけを保持するようにしておき、必要に応じて利用者がサブクラスを作成することで多様な非線形特性に対応できる。SolutionMethod については、知識整理か

ら解法は線形・非線形と静的・動的の組み合わせからなっている。それぞれのオブジェクトクラスを用意し、適宜組み合わせることで、新しい解法を組み込む際にも他の部分に及ぶ影響が最小限に抑えられる。以上のことを考慮して作成したオブジェクトモデルを図-2に示す。

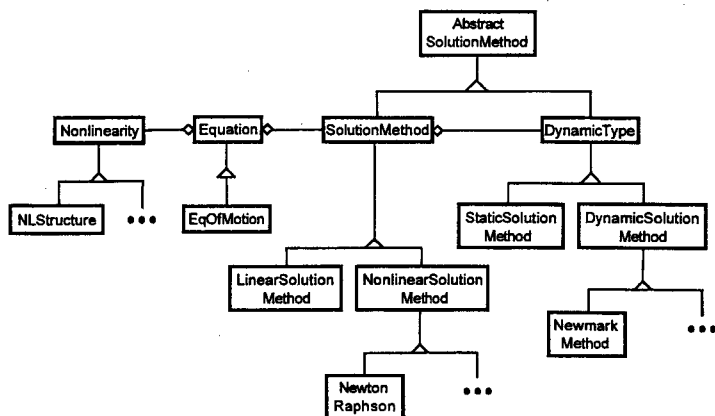


図-2 オブジェクトモデル

4. 実装

作成したモデルをプログラム言語を用いて実装する。実装に際しては、オブジェクト指向言語であるC++言語を用いた。実装したEquationの利用例として、ハイブリッド実験のシミュレーション用に開発したプログラムを図-3に示す。

オブジェクト指向プログラミングでは、プログラム上にオブジェクトを生成し、各オブジェクトにメッセージを送ることで計算を進める。ここでも初めに計算部分(eq_com)と実験部分(eq_exp)のEquationオブジェクトを生成しており、生成の際にNonlinearity・SolutionMethod・DynamicTypeをそれぞれ設定している。方程式を解いて解を得る時は、生成したEquationオブジェクトに対してsolve()というメッセージを送るだけである。

eq_comとeq_expを比べてみれば明かなように、方程式の非線形特性や解法に関わらず、solve()というメッセージをEquationオブジェクトに送ることによって解を得ることが可能である。これは、複雑な求解のアルゴリズムをオブジェクトの内部に隠蔽しているためであり、外部とのインターフェースを統一することでユーザビリティが向上し、再利用の可能性も高まる。構造解析システムの一部として利用する場合にも大変有利であるといえる。

```
void main()
{
    EqOfMotion eq_com(new NL_com, new NewtonRaphson,
                      new NewmarkMethod(0.25));
    EqOfMotion eq_exp(new NL_exp, new NewtonRaphson,
                      new NewmarkMethod(0.25));

    for(int i=1; i<=3000; i++) {
        input >> r0;
        r = 1.0*r0;

        eq_com.setRvector(-1.0*Mc*unite*r*0.01+shear_err);
        eq_com.solve();

        Ac = eq_com.getAvector();

        eq_exp.setRvector(-1.0*M*unite*(Ac[1]+r*0.01));
        eq_exp.solve();
    }
}
```

図-3 Equation の利用例

5. 結論

OMT法を用いて分析から実装までを行い、基礎方程式モジュールを構築した。基礎方程式を複数の部分に分割して相互作用を極力抑制することで、拡張性が向上し、保守管理が容易となった。また、外部とのインターフェースを統一したことで再利用の可能性が高まり、単独での利用にも他システムと組み合わせての利用にも対応できるようになった。

参考文献

- 1) J.ランボー他：オブジェクト指向方法論 OMT, トッパン, 1992
- 2) 高橋良和 他：耐震工学へのオブジェクト指向技術の適用に関する 1、2 の考察, 土木情報システム論文集, Vol.5, pp.123-130, 1996