数値シミュレーション言語DEQSOLの教育への適用

Application of DEQSOL Program to Education

青 井 秀 樹 趙 悦

Hideki AOI

Yue ZHAO

DEQSOLは偏微分方程式を容易に解くことの出来る数値シミュレーション用言語である。このプログラムを卒業研究に使用して断熱材の熱的效果とその経済性の検討を行った。

DEQSOL is a new programming language for scientific calculation, which can easily solve the partial differential equations. Using this program, effect of insulation material of a house and its economics are obtained by students who write a graduation thesis.

Key Words : partial differential equation, FORTRAN, insulation material, heat conductance equation

1. はじめに

物理現象、工学問題を解くには、多くの場合、偏微分方程式が使われる。大学で数値解析、数値シミュレーション関連の授業を行う際、アルゴリズムを教えプログラムを作ることから入ると、多くの時間がかかり、本来のシミュレーションまで行かないし、プログラム自体さえ完成しないことがある。また始めから熱、流れ、構造解析等の専用プログラムを使用すると中味がブラックボックスになるので数値計算の手法が習得できない。またプログラム自体も高価である。

しかしDEQSOL⁽¹⁾言語を用いると数値計算の専門家でもなくとも偏微分方程式を容易に解くことができる。この言語で書かれたプログラムを使用してかなり高度の工学問題の解析もできる。本言語を使用することは上述した2方法の間にあると思われる。

この言語を卒業研究に使用して数値解析手法の理解、工学現象の理解とその応用を容易に行うことができた⁽⁷⁾ので以下に示す。建物に断熱材を使用することによる熱的性能の向上とその経済性の改善検討を数値シミュレーション⁽²⁾⁽³⁾によって行うことができた。

2. DEQSOL言語とは

DEQSOLは科学技術計算を容易にするための新しいプログラム言語である。偏微分方程式を簡単に記述でき、空間メッシュや条件設定も容易に表現できるという特徴

をもつ。またFORTRANプログラムを自動生成して解析を実行する。DEQSOLではFORTRANでコーディングを行う場合に比べて10分の1程度の行数で問題を記述できるため、プログラム開発の手間を大幅に削減することが可能になる。図1に熱伝導計算を行った場合のプログラム例を示す。わずかに26行で偏微分方程式を記述できる。

prog	ther1;		プログラム名
method	fdm(cv);		離散化法を差分法で指定
domain	x=[0:1],y=[0:1];		
mesh	x=[0:1:20],y=[0:1:20];		
region	top=(*,1),		
	bot=(*,0),		
	left=(0,*),		
	right=(1,*),		空間・メッシュ・領域定義
	r1=(*,[0:0.8]),		
	r2=([0:0.5],[0.8:1.0]),		
	r3=([0.5:1.0],[0.8:1.0]);		
fregion	r1+r2+r3;		解析領域
const	lam=1.68 at r1,		
	lam=0.00024 at r2,		物理定数
	lam=0.35 at r3,		
	q0=40.0;		
var	u;		解析対象変数
bcond	dx(u)=0.0 at left+right,		
	u=0.0 at top,		境界条件
	dy(u)=-q0/lam at bot;		
scheme;			
	solve u of div(lam*grad(u))=0		熱伝導方程式
	by 'gauss';		行列解法指定
	save u;		結果表示指定
end scheme;			
end;			

図1 DEQSOLプログラムの例

3. 解析モデルと解析法

3.1 基礎方程式

非定常熱伝導方程式の一般型は以下の通りである。

$$\rho c \partial U / \partial t = \text{div} (\lambda \text{grad} U)$$

ここでU：温度 (°C)

λ ：熱伝導率 (W/m°C)

ρ ：密度 (kg/m³),

c：比熱 (J/kg°C)

3.2 数値解法

離散化の手法として差分法を使用し、離散化の処理方式としてコントロールボリューム法を使用する。

解析は定常と非定常について行い、さらに非定常計算は比較のため陽解法と陰解法の2つの方法で行った。

(1) 定常計算

$\text{div} (\lambda \text{grad} U) = 0$ をガウス法で解いた。

(2) 非定常計算

① 陽解法の場合 (フォーワードオイラー法)

あるタイムステップ t の温度を u, 次のタイムステップ t + Δt の温度を v で表す。非定常の式を DEQSOL 言語で記述すると $v = u + \text{dlt} * \alpha * \text{lap}(u)$ となる。ここで dlt はタイムステップ, lap はラプラシアンを意味する。

② 陰解法の場合 (バックワードオイラー法)

$$v = u + \text{dlt} * \alpha * \text{lapl}(v)$$

③ 陰解法の場合 (クラックニコルソン法)

$$v = u + \text{dlt} * \alpha * 1/2 (\text{lapl}(v) + \text{lapl}(u))$$

図2に示すように、大きさ6畳の部屋を想定し、部屋の中央に冷暖房装置をおき室内は常に20°Cになるようにした。床、壁、天井には厚さ100mmの断熱材 (グラスウール、ロックウール、ウレタン) を張り、コンクリート造りの建物について室内温度分布、温度の時間変化および断熱材の経済性を調べた⁽⁴⁾。気温は広島市のものを使用した⁽⁵⁾。

4. 解析システム

当大学のワークステーション演習室のサーバー内にインストールしてある DEQSOL プログラムは学生用104台のワークステーションおよびネットワークを通して使用できる。図3にそのシステムを示す。

また研究室からはネットワークを通してサーバーにアクセスでき、サーバーは24時間連続稼働しているワークステーション演習室が閉まっても使うことができる。卒業研究のように夜遅く迄残っている場合や、休日に使う場合、便利である。また真夜中に計算させておいて、翌朝結果を見ることも出来る。

《温度条件》

夏 (6月, 7月, 8月) . . . 25°C

冬 (12月, 1月, 2月) . . . 5°C

(広島市の平均気温)

図2 解析モデルと計算点

図3 解析システム

5. 解析結果

暖房時の壁面付近の温度分布を断熱材の有無の場合について図4に示す。

夏冬とも室温を20°Cに保つのに必要なエネルギーを表1に示す。

図5に断熱材の費用 (施工費と冷暖房のための電気代を合計したもの) を時間の経過とともに示す。熱量から電気代への変換はエアコンのエネルギー効率からkwhを求め、1kwh=25円から電気代を算出した⁽⁶⁾。

非定常2次元計算 (温度の時間変化) を行った場合の計算時間を表2に、そのときの DEQSOL プログラムおよび生成された FORTRAN プログラムの行数を表3に示す。

表3 プログラム行数の比較

言語	コメントを除いた行数
DEQSOL	71 行
FORTRAN	1219 行

図4 コンクリート造りの温度分布

表1 室温が20℃の場合の発熱量と吸熱量

材料	発熱量 (W)	吸熱量 (W)
グラスウール	560	184
ロックウール	495	165
ウレタン	455	153
断熱材なし	3140	1040

図5 施工費と電気代

表2 計算手法と計算時間

解法	定常	非定常 (実現象 2 時間迄の計算)		
	ガウス法	陰解法 バックワード オイラー法	陰解法 クランク ニコルソン 法	陽解法 フォワード オイラー法
2 次元定常	3 秒	—	—	—
2 次元非定常	—	939 秒	707 秒	315 時間
3 次元定常	48 秒	—	—	—

6. 考察

(1)シミュレーション結果の評価

図4により断熱材を使用しないと室温は10℃程度にしかならないが断熱材の効果により20℃程度になる。

図5より断熱材を設置することにより1～2年で費用(施工費と電気代の合計)が断熱材無しの場合より安くなる。また年々費用の差はひらいてゆく。このようにDEQSOLプログラムを使うことで工学問題を解決できる。

(2)計算手法、計算時間の評価

定常計算にはガウス法を使用しているが、時間に関して解かなくてもよいので、非定常計算の10分の1以下の計算時間ですむ。非定常計算に関しては陰解法の約15分に対して、陽解法は315時間であるので、陰解法が有利である。これは陰解法のタイムステップ2.0秒に対して、陽解法は計算安定のためのタイムステップ制限 $(\alpha (\Delta t / (\Delta x)^2 + \Delta t / (\Delta y)^2) \leq 1/2)$ のため 1.0×10^{-4} 秒という小さな Δt をとらなければならないからである。

(3)計算精度の評価

簡単な形状について、解析解とDEQSOLによる計算と比較し、解が一致することを別途確認している。また上記非定常計算において、解が定常に達した時点で、定常計算から得られた解と比較し一致していることを確認した。

(4)プログラミングの容易さ

プログラムの長さはDEQSOLで71行、FORTRANで1219行であった。従って17分の1の長さで偏微分方程式を記述できる。また図1に示しているようにDEQSOLでは偏微分方程式の式の通りにプログラムを記述すればよい。これは慣れが必要であるが、幾つか練習すれば出来るようになる。これは偏微分方程式の解き方の練習になる。

7. 結言

DEQSOLでは偏微分方程式の式のイメージでプログラムを書けばよく直感的に理解し易い。また記述行数は少ないので数値計算に慣れていない人でも使うことが出来る。本研究では陽解法と陰解法および、その計算時間

の違い、さらに偏微分方程式の表している物理現象を卒業研究を通して学生に理解させることが出来た。このように数値計算、数値シミュレーションの講義、数値実験、卒業研究等に使うことができる。さらにこのシミュレーションの対象を拡げることにより、高度な工学問題、工学の設計の教育にも適用できると考えられる。

参考文献

- (1)日立製作所：DEQSOL E2 差分法，1990
- (2)青井秀樹，石田牧，寺西美佳，平山裕之：偏微分方程式用DEQSOLプログラムによる断熱材の効果と経済性の研究，計算工学講演会論文集，Vol.1（1996）pp. 247-250
- (3)青井秀樹，石田牧，寺西美佳，山手晃，鳥越裕稔：DEQSOLプログラムによる断熱材の効果の研究，広島電機大学・広島自動車工業短期大学研究報告第28巻（1995）pp.103-111
- (4)日本建築学会：建築環境工学用教材環境論
- (5)国立天文台編：理科年表，丸善，1994
- (6)東芝エアコンパンフレット，1995
- (7)青井秀樹：数値シミュレーション言語DEQSOLの教育への適用，平成8年度工学・工業教育研究講演会講演論文集，pp.95-96

（平成8年7月31受付）

青井秀樹

1973年パリ大学理学部で理学博士号を取得後，日立製作所日立工場に入社。新型原子力発電所の開発に従事。その後情報システム開発本部においてスーパーコンピュータのソフトウェアの開発に従事。1993年より広島電機大学情報工学科教授。数値シミュレーションの研究を行っている。日本工学教育協会，日本機械学会，日本物理学会，情報処理学会，日本計算工学会会員

趙悦

1982年中国大連理工科大学計算機工学科卒業，1985年東京工業大学大学院情報工学専攻修士課程修了，1988年同博士課程を修了，工学博士学位を取得。1993年広島電機大学講師となり現在に至る。組み合わせ最適化問題の発見的解法の研究に従事。電気学会，電子情報通信学会，情報処理学会会員。