

目 次

5. 形状関数と写像関数	157
5.1 1次元の形状関数	157
5.1.1 要素が1個の場合...158	5.1.2 要素が2個の場合...159
5.1.3 要素が n 個の場合...161	5.1.4 写像と規格化...161
5.1.5 写像空間における微積分...163	
5.2 2次元の形状関数	164
5.2.1 3角形要素の場合...164	5.2.2 4角形要素の場合...167
5.2.3 写像空間における微積分...170	
5.3 3次元の形状関数	171
5.3.1 4面体要素の場合...171	5.3.2 6面体要素の場合...174
5.3.3 写像空間における微積分...175	
第5章のまとめ	176
6. 上流化法	179
6.1 粒子法	179
6.1.1 上流化の概念...179	6.1.2 流線座標...181
6.1.3 対流形と保存形...183	6.1.4 補間法...184
6.2 バブノフ-ガレルキン法	187
6.2.1 1次風上差分法...187	6.2.2 最適重み...188
6.2.3 バブノフ-ガレルキン法...189	6.2.4 3次精度の上流化...190
6.3 ペトロフ-ガレルキン法	194
6.3.1 積分点の移動による上流化...197	6.3.2 上流化項が移流項の

みに作用する条件…198	
6.4 BTD 法	200
6.4.1 BTD 法…200	
6.4.2 エネルギー方程式とテンソル粘性…202	
6.4.3 テンソル粘性…203	
6.4.4 BTD と SUPG の関係…206	
6.5 SUPG 法	208
6.5.1 対流項の支配的な流れ…208	
6.5.2 ナビエ-ストークス方程式への適用…210	
6.5.3 SUPG 法と数値粘性…211	
6.5.4 2次元 SUPG について…213	
第6章のまとめ	218
7. 上流化形状関数	220
7.1 ハイブリッド上流化法	220
7.1.1 相対空間と最適重み…220	
7.1.2 上流化形状関数…225	
7.1.3 随伴形状関数…230	
7.1.4 双対空間有限要素法…234	
7.2 上流化形状関数	235
7.2.1 1次元の上流化形状関数…235	
7.2.2 2次元の上流化形状関数…237	
7.2.3 3次元の上流化形状関数…239	
7.2.4 一般座標系におけるセルベクレ数…243	
7.3 基本形状関数の要素積分	249
7.3.1 1次元の場合…249	
7.3.2 2次元の場合…249	
7.3.3 3次元の場合…251	
第7章のまとめ	253
8. 3次補間の形状関数	254
8.1 1次元の3次補間形状関数	256
8.1.1 1次元の場合…256	
8.1.2 新しい方法…257	
8.1.3 形状関数 $G_a(\xi)$ の決定方法…257	
8.2 多次元の3次補間形状関数	259
8.2.1 2次元の3次補間形状関数…259	
8.2.2 3次元の3次補間形状関数…260	
8.2.3 一様性の条件…263	
第8章のまとめ	266

9. 離散化ナブラ演算子	268
9.1 離散化ナブラ演算子の定義式	269
9.1.1 要素平均と節点平均…269	
9.1.2 離散化ナブラ演算子…270	
9.1.3 ヤコビアン…270	
9.2 離散化ナブラ演算子の表示式	272
9.2.1 3次元の離散化ナブラ演算子…272	
9.2.2 2次元の離散化ナブラ演算子…275	
9.3 離散化ナブラ演算子の性質	279
9.3.1 直交性…279	
9.3.2 恒等性…280	
9.3.3 対称性…282	
9.4 離散化ナブラ演算子による定式化	282
9.4.1 こう配・発散・回転…282	
9.4.2 ラプラスの演算子…284	
9.4.3 移流拡散方程式への応用…284	
第9章のまとめ	285
10. 線形補間の離散化ナブラ演算子	287
10.1 離散化ナブラ演算子	288
10.1.1 定義式…288	
10.1.2 余因子行列とヤコビアン…289	
10.1.3 3次元の一般公式…290	
10.1.4 2次元の一般公式…290	
10.2 4面体/5面体/6面体要素	292
10.2.1 4面体要素…292	
10.2.2 5面体要素…293	
10.2.3 6面体要素…296	
10.3 3角形/4角形要素	298
10.3.1 3角形要素…298	
10.3.2 4角形要素…299	
10.4 離散化ナブラ演算子と不安定モード	300
10.4.1 3次元の場合…300	
10.4.2 2次元の場合…301	
第10章のまとめ	302
11. 上流化離散化ナブラ演算子	303
11.1 計算空間における基準要素	303
11.1.1 余因子行列…304	
11.1.2 離散化…304	
11.1.3 2次元の場合…305	
11.2 計算空間における定常移流拡散方程式	305
11.2.1 変数変換…305	
11.2.2 近似式…306	

11.2.3 2次元の場合…306	
11.3 上流化形状関数 ……307	307
11.3.1 4面体要素…307	11.3.2 5面体要素…308
11.3.3 6面体要素…309	11.3.4 3角形要素…309
11.3.5 4角形要素…309	
11.4 上流化離散化ナブラ演算子 ……309	309
11.4.1 定義式…309	11.4.2 3次元の一般公式…310
11.4.3 2次元の一般公式…310	
11.5 形状関数の要素平均値 ……310	310
11.5.1 3次元要素…311	11.5.2 2次元要素…313
11.5.3 近似式…315	11.5.4 セルレイノルズ数…315
第11章のまとめ ……316	316
参考文献 ……1	1
索引 ……3	3

I 巻 目 次

1. 有限要素法への入門	1
1.1 重みつき残差法	1
1.2 有限要素法による定式化	16
1.3 要素方程式と節点方程式	33
1.4 ナビエ-ストークス方程式の解法	40
2. 流れの有限要素法の概要	51
2.1 基礎方程式	53
2.2 GSMAC 有限要素法のアルゴリズム	56
2.3 ポアソン方程式の解法	62
2.4 離散化ナブラ演算子	69
2.5 有限要素法による定式化	73
2.6 GSMAC 法	75
2.7 上流化形状関数の性質	81
2.8 ハイブリッド GSMAC 法の検証	84
3. 物理空間と計算空間	92
3.1 一般曲線座標	92
3.2 一般曲線座標と微分	100
3.3 物理空間と計算空間	115
4. 係数行列の解析的表示と不安定モード	129
4.1 離散化ナブラ演算子	129
4.2 係数行列の解析的表示 (3D)	136
4.3 係数行列の解析的表示 (2D)	143
4.4 アワーグラスモード	146
付 録	
A. GSMAC 法のデータ構造	1
B. GSMAC-FEM クラス・ライブラリ	5
C. 主なモジュールの詳細	7