

目 次

まえがき

第1章 乱流現象 —————1

- 1.1 乱流の物理的性質1
 - 1.1.1 基礎方程式——1
 - 1.1.2 粘性作用——2
- 1.2 乱流の定式化3
 - 1.2.1 平均と揺らぎ——4
 - 1.2.2 コルモゴロフの慣性領域仮説——7
 - 1.2.3 乱流の統計理論的研究——9
 - 1.2.4 渦粘性——10
 - 1.2.5 せん断乱流の統計理論——12
- 1.3 乱流モデルとその枠組み12
 - 1.3.1 渦粘性型モデリングと2次モデリング——13
 - 1.3.2 渦粘性型高次表現——15
 - 1.3.3 渦粘性型モデリングと2次モデリングの関係——17

第2章 乱流モデル(I)レイノルズ平均モデル

(その1)渦粘性型モデル —————21

- 2.1 レイノルズ平均モデルの歴史21
- 2.2 レイノルズ平均とクロージャ問題22
- 2.3 勾配拡散近似と渦粘性モデル24
- 2.4 混合距離理論25
- 2.5 1方程式モデル26
- 2.6 標準型の k - ϵ 型2方程式モデル27
 - 2.6.1 渦粘性表現と基礎方程式——27
 - 2.6.2 構成方程式と $\overline{u_i u_j}$ の非線形表現——28

2.6.3	ϵ 方程式のモデリング	30
2.6.4	各種 2 方程式モデル	33
2.7	渦粘性型モデルの欠点とその改良	35
2.7.1	渦粘性モデルの欠陥	35
2.7.2	渦粘性表現の高次モデル(非線形 $k-\epsilon$ モデル)	37
2.8	低レイノルズ数補正	38
2.8.1	補正の必要性和各種モデル	38
2.8.2	補正項の起源	42
2.8.3	各種低レイノルズ数型 $k-\epsilon$ モデルの吟味	45
2.8.4	2-Layer モデル	47
第 3 章	乱流モデル(II) レイノルズ平均モデル	
	(その 2) 応力方程式モデル	53
3.1	レイノルズ応力の輸送方程式と標準型の応力方程式モデル	53
3.2	圧力-歪相関項 Φ_{ij} のモデリング	55
3.2.1	圧力の変動成分に関するポアソン方程式	55
3.2.2	Slow term $\Phi_{ij(1)}$ のモデル	57
3.2.3	Rapid term $\Phi_{ij(2)}$ の線形モデル	58
3.2.4	Wall reflection term Φ_{ij}^w のモデリング	59
3.3	乱流拡散項 D_{ij} のモデリング	61
3.3.1	等方的渦粘性モデル	61
3.3.2	Daly-Harlow モデル(GGDH)	61
3.3.3	Mellor-Herring モデル	62
3.3.4	Hanjalic-Launder モデル	62
3.4	ϵ 方程式のモデリング	62
3.5	代数応力方程式モデル	63
第 4 章	乱流モデル(III) Large Eddy Simulation	67
4.1	LES の理論的背景	67
4.1.1	NS 方程式と LES 乱流解析	67

4.1.2	乱流の相似法則(コルモゴロフ則)——	68
4.1.3	NS 方程式の粗視化——	74
4.2	LES 乱流モデルの基礎	76
4.2.1	空間フィルター ——	76
4.2.2	LES 基礎 SGS モデル(スマゴリンスキーモデル)——	79
4.2.3	スマゴリンスキー定数 C_s の代数式モデル——	84
4.2.4	Back scatter 効果のモデル化——	86
4.2.5	ダイナミック SGS 応力モデル——	88
4.2.6	スマゴリンスキー応力の再分割とモデル化——	90
4.2.7	ま と め——	96
4.3	LES 乱流解析の実際と応用	96
4.3.1	LES の数値計算法——	96
4.3.2	LES における流出境界条件——	99
4.3.3	LES における壁面境界条件——	106
4.3.4	バックステップ乱流の数値予測——	110
第 5 章 直接数値シミュレーション		119
5.1	乱流の直接数値シミュレーション	119
5.1.1	境界条件——	122
5.2	スペクトル法	123
5.2.1	重み付き残差法による関数の近似——	124
5.2.2	スペクトル法による微分方程式の離散化——	125
5.2.3	スペクトル法の精度——	128
5.2.4	非線形項の取り扱いとエイリアシング誤差——	129
5.3	チャンネル乱流の DNS——	132
第 6 章 乱流の渦法解析		137
6.1	渦法の基礎	137
6.2	渦法の計算手法	141
6.2.1	渦度分布の離散化——	141

6.2.2	ポテンシャル流れ成分の重ね合わせ	144
6.2.3	渦度方程式の計算と渦要素の移流	144
6.2.4	境界層近似による過去の簡略化	147
6.3	剥離乱流および乱流混合層の解析	150
6.3.1	渦法における3つの適用レベル	150
6.3.2	渦法における圧力計算法	156
第7章	乱流解析の適用 複雑乱流	161
7.1	はじめに	161
7.2	バックステップ流れ	164
7.2.1	k - ϵ モデルによる計算結果	166
7.2.2	レイノルズ応力モデルによる計算結果	169
7.2.3	LES による計算結果と課題	173
7.3	角柱まわりの流れ	176
7.3.1	LES における2次元解析と3次元解析	178
7.3.2	LES における流入風の乱れの影響	181
7.3.3	振動角柱まわりの LES	183
7.3.4	修正 k - ϵ モデル, RSM による解析	186
7.3.5	ダイナミックプロセス LES による解析	187
7.4	3次元物体まわりの流れ	188
7.4.1	各種乱流モデルの比較検討	190
7.4.2	複合建物まわりの乱流解析	193
7.4.3	自動車まわりの流れ	194
7.5	閉鎖空間内の流れ	195
7.5.1	2次元室内気流	197
7.5.2	3次元室内気流	201
7.5.3	微小障害物の寄与	205
7.5.4	低レイノルズ数流れ	206
7.5.5	対流・放射連成解析	208
7.6	圧縮性乱流	209

第 8 章 熱移動を伴う乱流解析	223
8.1 はじめに	223
8.2 乱流熱移動現象	225
8.3 流動と伝熱の支配方程式とモデリング	226
8.4 速度場の乱流モデル	228
8.5 温度場 0 方程式モデル	231
8.5.1 乱流プラントル数	231
8.5.2 Pr_t = 一定の仮定	232
8.5.3 Pr_t 分布の仮定	236
8.6 温度場 2 方程式モデル	239
8.6.1 基礎方程式	239
8.6.2 モデリング	240
8.6.3 強制対流乱流伝熱の数値解析	245
8.6.4 モデルの改良とプログラム例	248
8.6.5 剥離・再付着流の伝熱解析	255
8.7 応力・熱流束方程式モデルとその代数方程式近似	259
8.7.1 基礎方程式	260
8.7.2 モデリング	261
8.7.3 代数方程式近似	268
8.8 浮力流の解析	270
8.8.1 浮力乱流場の基本特性	270
8.8.2 浮力流の支配方程式	272
8.8.3 浮力流に対する乱流モデル	273
8.8.4 浮力流の解析例と実験結果との比較	280
8.9 おわりに	287
付 録：温度場 2 方程式モデルによる乱流伝熱解析プログラム	288
索 引	309