

目 次

1 章 流体力学の基礎	1
1.1 流体とは	1
1.1.1 流体の定義	1
1.1.2 流体の分類	3
1.2 単位と次元	4
1.2.1 国際単位系 (SI)	4
1.2.2 次 元	5
1.3 流体の基本的性質	6
1.3.1 密 度	6
1.3.2 応力と圧力	7
1.3.3 粘性とせん断応力	8
1.3.4 表面張力	10
1.3.5 気体の状態方程式	13
1.3.6 圧縮性と体積弾性係数	14
演習問題 1	15
2 章 流体の静力学	17
2.1 静止流体の力学	17
2.1.1 圧力と投影面積	17
2.1.2 静止液体中の圧力	20
2.1.3 圧力の表し方と単位	22
2.1.4 気体の断熱変化とポリトロプ変化	22
2.1.5 大気中の鉛直圧力分布	23
2.1.6 圧力の測定	25
2.2 静止流体にはたらく力	27
2.2.1 平面壁にはたらく流体力と作用線	27
2.2.2 浮 力	30
2.2.3 パスカルの原理	32
演習問題 2	33
3 章 流れの工学的取り扱い	35
3.1 流れの分類	35
3.1.1 定常流と非定常流	35
3.1.2 層流と乱流	36
3.1.3 非圧縮性流れと圧縮性流れ	37
3.2 流れの表現	37
3.2.1 流れの記述	37
3.2.2 流線・流管・流跡線・流脈線	38
3.3 連続の式	40
3.4 ベルヌーイの定理	42
3.5 流速と流量の測定	49
3.5.1 ピトー管	49
3.5.2 ベンチュリ管	51
3.5.3 オリフィス板	54
3.5.4 水槽オリフィス	55
3.5.5 セ き	57

3.6 流体の運動量および角運動量の保存則と流体力	59
3.6.1 流体の運動量の保存則と流体力	59
3.6.2 流体の角運動量の保存則とトルク	62
演習問題 3	66

4章 流れの基礎方程式 67

4.1 ラグランジュ的記述とオイラー的記述	67
4.2 連続の式	71
4.2.1 質量の保存	72
4.2.2 ガウスの発散定理	73
4.2.3 連続の式	74
4.3 流体にはたらく力	77
4.3.1 変形速度テンソルとせん断速度テンソル	77
4.3.2 粘性と応力テンソル	81
4.4 ナビエ・ストークス方程式	82
4.5 ベルヌーイの式	87
4.6 レイノルズの相似則と方程式の無次元化	89
演習問題 4	91

5章 管路流れ 92

5.1 2 平板間流れ	92
5.1.1 2 平板間流れの流速分布	92
5.1.2 2 平板間流れにおける力のつり合い	94
5.1.3 2 平板間流れにおける圧力損失	95
5.1.4 2 平板間流れの初期値問題	96
5.1.5 平面ポアズイユ流の不安定性と遷移	98
5.2 円管内流れ	99
5.2.1 円管内流れにおける力のつり合い	102
5.2.2 円管内流れの初期値問題	104
5.2.3 円管内流れの不安定性と遷移	106
5.2.4 円管内乱流の流速分布	108
5.2.5 円管流入部における圧力減少	110
5.2.6 急拡大部における圧力損失	114
演習問題 5	116

6章 非粘性流れ 118

6.1 速度ポテンシャルと流れ関数	118
6.1.1 速度ポテンシャル	118
6.1.2 流れ関数	119
6.1.3 複素速度ポテンシャル	121
6.2 簡単な 2 次元ポテンシャル流れ	123
6.2.1 一様流	123
6.2.2 角を回る流れ	124
6.2.3 わき出しと吸い込み	125
6.2.4 渦 糸	127

6.2.5 2 重わき出し	128
6.3 円柱まわりの流れと翼まわりの流れ	130
6.3.1 円柱まわりの流れ	130
6.3.2 循環がある円柱まわりの流れ	132
6.3.3 等角写像	134
6.3.4 ジューコフスキー変換	137
6.3.5 平板を過ぎる流れ	138
6.3.6 ジューコフスキー翼	140
演習問題 6	141

7章 渦と渦度 143

7.1 渦度と循環	143
7.1.1 渦と渦度	143
7.1.2 循環と渦度の関係	146
7.1.3 循環の保存則とケルビンの循環定理	147
7.2 渦が誘導する速度場	151
7.2.1 ビオ・サバールの式	151
7.2.2 直線渦フィラメントが誘導する速度場	153
7.2.3 渦輪フィラメントのつくる速度場	154
7.3 2 次元渦糸の運動	155
7.4 自由せん断層・境界層と渦層	157
7.5 ランキン渦	159
7.6 カルマン渦列	161
演習問題 7	162

8章 境界層 163

8.1 境界層の発生	163
8.2 平板境界層	165
8.3 物体まわりの境界層	175
演習問題 8	178

9章 遅い粘性流れ 180

9.1 ストークス近似とオセーン近似	180
9.2 2 次元の遅い流れ	181
9.2.1 円柱を過ぎる遅い流れ	181
9.2.2 角をまわる遅い流れ	186
9.3 トロイダル・ポロイダル分解	188
9.4 遅い 3 次元流れ	191
9.4.1 球を過ぎる遅い流れ	191
9.4.2 気泡を過ぎる遅い流れ	197
演習問題 9	199

10章 物体を過ぎる流れ 200

10.1 物体にはたらく流体力	200
-----------------------	-----

10.1.1 抗力と揚力	200	10.1.2 圧力と粘性摩擦力	201
10.2 運動量の保存則と物体にはたらく力	203		
10.3 物体を過ぎる流れの例	208		
10.3.1 円柱を過ぎる流れ	208	10.3.2 球を過ぎる流れ	212
演習問題 10	213		
付録 ベクトル解析の公式	214		
A.1 ベクトル演算子の定義	214		
A.2 ベクトル解析の公式	215		
A.3 デカルト座標系	216		
A.4 円柱座標系	218		
A.5 球座標系 (極座標系)	220		
問・演習問題の略解	223		
参考文献	229		
索 引	230		

記 号 表

c	流量係数 (3 章), 音速 (1 章, 3 章)	Kn	クヌーセン数	W	複素速度ポテンシャル
c_c	収縮係数	L	角運動量 (3 章), 揚力 (10 章)	γ	比熱比
c_f	壁面摩擦係数	Ma	マッハ数	Γ	循環, 渦糸の強さ
c_p	定圧比熱	M	運動量	δ	境界層厚さ
c_v	定積比熱 (1 章, 3 章), 速度係数 (3 章)	p	圧力	δ^*	排除厚さ
C_D	抗力係数	p_0	大気圧	δ_M	運動量厚さ
C_L	揚力係数	$\mathbf{n}$	単位法線ベクトル	λ	管摩擦係数
D	変形速度テンソル (4 章), 抗力 (10 章)	q	質量流量 (4 章), 速度の大きさ (6 章)	μ	粘性係数 (粘度)
D_E	ひずみ速度テンソル	Q, q_V	体積流量	ν	動粘性係数 (動粘度)
D_O	回転速度テンソル	R	気体定数	ρ	密度
g	重力加速度	Re	レイノルズ数	τ	接線応力, セン断応力
h, h_s, h_τ	損失ヘッド	Re_c	臨界レイノルズ数	τ	応力ベクトル
I	単位テンソル	St	ストローハル数	ϕ	速度ポテンシャル
I_{xx}, I_{xy}	断面 2 次モーメント	$\mathbf{t}$	単位接線ベクトル	Φ	トロイダル関数
K	体積弾性係数	T	温度, 表面張力	ϕ	流れ関数
		$\mathbf{u}$	速度ベクトル	Ψ	ポロイダル関数
				ω	渦度
				Ω	角速度