

# 水理公式集 [2018 年版]

## 目 次

### 第 1 編 水文・水理

<b>第 1 章 流体力学の基礎</b> .....	3	2.4 融雪過程.....	44
1.1 基礎式の構成.....	3	2.4.1 熱収支と融雪モデル.....	44
1.1.1 保存則.....	3	2.4.2 積算温度法.....	44
1.1.2 構成則.....	4	2.5 リモートセンシングによる流域情報・水 量の把握.....	45
1.2 乱流モデル.....	5	2.5.1 宇宙からのリモートセンシング基礎 .....	45
1.2.1 直接数値シミュレーション.....	5	2.5.2 流域情報・水量の把握.....	47
1.2.2 ラージ・エディ・シミュレーション .....	5	<b>第 3 章 流出過程と流出解析</b> .....	53
1.2.3 Reynolds 平均モデル.....	7	3.1 地中流.....	53
<b>第 2 章 気象と大気・陸面水文過程</b> .....	14	3.1.1 不飽和浸透と飽和浸透.....	53
2.1 大気基礎.....	14	3.1.2 雨水浸透.....	55
2.1.1 大気の構造と基礎変量.....	14	3.2 流域における雨水の流れ.....	55
2.1.2 大規模大気の水平流れ.....	17	3.2.1 斜面における流れ.....	56
2.1.3 大気の熱力学と安定・不安定.....	18	3.2.2 河道での集水過程.....	58
2.1.4 大気連続式・運動方程式・熱力学式 .....	26	3.2.3 流量の低減曲線.....	59
2.2 大気・陸面水文過程.....	29	3.3 流域地形.....	59
2.2.1 大気放射とアルベド.....	29	3.3.1 河道網則, 地形則.....	60
2.2.2 地表面における熱収支.....	31	3.3.2 ヒプソメトリック曲線と地形輪廻.....	61
2.2.3 風速・温度・湿度の鉛直プロファイル .....	31	3.3.3 平衡状態の流域地形.....	62
2.2.4 蒸発散モデル.....	32	3.4 水収支.....	63
2.2.5 大気・陸面水文過程モデル.....	34	3.4.1 水収支の基本式.....	63
2.2.6 地表面付近の大気.....	34	3.4.2 グローバルな水収支.....	63
2.2.7 大気・陸面水文過程の基礎観測.....	35	3.5 流出解析と流出モデル.....	65
2.3 降水過程.....	36	3.5.1 流出解析の目的と流出モデルの選択 .....	65
2.3.1 降水過程基礎.....	36	3.5.2 有効降雨と流出率.....	65
2.3.2 降水レーダ.....	39	3.5.3 ピーク流量の推算.....	66
2.3.3 降雨の時空間構造.....	42	3.5.4 集中型流出モデル.....	68
		3.5.5 分布型流出モデル.....	71

3.5.6	流出モデル構成システム	74	5.2	局所流の流れ構造	114
3.5.7	パラメータ同定	74	5.2.1	跳水部の流れ	114
<b>第4章</b>	<b>水文量の確率・統計解析</b>	<b>80</b>	5.2.2	断面急変部の流れ	115
4.1	水文量の頻度解析	80	5.3	開水路流れの解析法	115
4.1.1	確率年と確率水量/異常水文現象の発生頻度評価	80	5.3.1	空間積分モデルの分類	115
4.1.2	プロットイング・ポジション公式	81	5.3.2	定常流の水面形解析法	116
4.1.3	確率分布を表す特性量	81	5.3.3	非定常流の一次元解析	117
4.1.4	定常確率分布モデル (一般的な分布)	83	5.3.4	定常平面2次元流れの解析法	120
4.1.5	定常確率分布モデル (極値によく用いられる分布)	84	5.3.5	非定常平面2次元流れの解析法	123
4.1.6	極値分布	89	5.3.6	高次理論	126
4.1.7	非定常極値確率分布モデル	91	<b>第6章</b>	<b>管路流れ</b>	<b>132</b>
4.1.8	母数推定と適合度	92	6.1	圧力流れの基礎式の分類	132
4.2	多変量水文量の統計解析	93	6.2	定常流	132
4.2.1	水文量の統計解析	93	6.2.1	Bernoulli (ベルヌーイ) の式	132
4.2.2	最小二乗法・回帰分析	96	6.2.2	単一管路の計算	132
4.2.3	主成分分析・因子分析	97	6.3	非定常流	133
4.2.4	主要な二変量確率分布	98	6.3.1	サージング	133
4.3	水文量の時間・空間構造とモデル	99	6.3.2	先端が移動する管路非定常流 (グラウティング)	134
4.3.1	水文量の時系列構造	99	6.3.3	圧力流れの平面2次元解析法 (岩盤フラクチャー内の流れ解析)	135
4.3.2	線形確率過程	102	6.3.4	水撃波	136
4.3.3	降雨場 (時空間構造) の確率過程モデル	103	6.4	自由水面流・圧力流混在流れ	138
4.4	水文量のデータシミュレーション	104	6.4.1	長方形断面管路への空気泡の侵入過程 (Benjamin (ベンジャミン) 流れ)	138
4.4.1	日降水量発生モデル	104	6.4.2	プライスマン (Preissmann) ・スロットモデル	139
4.4.2	月流量発生モデル	105	<b>第7章</b>	<b>噴流・密度流・混相流</b>	<b>141</b>
4.4.3	多地点流量発生モデル	105	7.1	噴流	141
4.4.4	確率台風モデル	106	7.1.1	噴流の分類	141
4.4.5	リサンプリング手法	107	7.1.2	均質な自由噴流	141
<b>第5章</b>	<b>開水路流れ</b>	<b>112</b>	7.1.3	鉛直密度 (重力) 噴流	143
5.1	開水路流れの流速分布と乱流構造	112	7.2	重力密度流	145
5.1.1	等流	112	7.2.1	河口密度流	145
5.1.2	加速・減速流	113	7.2.2	重力密度流	146
5.1.3	浮遊砂流	114	7.3	混相流	147

目	次
7.3.1 混相流の解析法	147
7.3.2 種々の混相流の事例	149
<b>第8章 浸透流・地下水流</b>	<b>154</b>
8.1 地下水・土壌中の物質移動と反応	154
8.1.1 輸送方程式	154
8.1.2 分散係数	154
8.1.3 巨視的分散長	155
8.1.4 反応過程	155
8.2 非混合二液体流れ	156
8.3 エアー・スパージング	157
<b>第9章 流体力と流体振動</b>	<b>161</b>
9.1 開水路流れに置かれた構造物に作用する流体力	161
9.2 流力振動	162
9.2.1 流れに直角方向の流力振動	163
9.2.2 ロックイン現象	163
9.2.3 複数の円柱物体による流力弾性不安定	163
9.2.4 流体構造連成	164
9.3 水槽スロッシング	165
9.3.1 速度ポテンシャルを用いる方法	165
9.3.2 移動座標系を用いる方法	165
9.3.3 固定座標系を用いる方法	166
<b>第10章 水理模型実験と相似則</b>	<b>168</b>
10.1 水理模型実験	168
10.2 Buckingham (バッキンガム) のパイ定理と無次元量	168
10.3 相似則	169
10.4 フルード則を用いた模型実験	169

## 第2編 河川・砂防

<b>第1章 降水流出予測</b>	<b>173</b>	<b>第2章 河道内洪水流の水理と解析</b>	<b>187</b>
1.1 降水流出予測の意義	173	2.1 概説	187
1.1.1 計画予知	173	2.2 洪水流解析の分類・構成と適用性	187
1.1.2 実時間予知	173	2.3 洪水流現象にかかわる基本事項	190
1.1.3 最大クラス予知	173	2.3.1 平均流速公式と粗度	190
1.2 降水観測と予測	174	2.3.2 小規模河床波の消長に伴う粗度の変化	192
1.2.1 降水観測システム	174	2.3.3 植生の水理的作用	192
1.2.2 流出計算のための降雨データ処理	176	2.3.4 粗度や河床高の横断変化に起因する横断方向運動量輸送とその抵抗則への反映	194
1.2.3 降水予測	178	2.3.5 湾曲、蛇行に伴う流れの構造	197
1.2.4 地球温暖化による気候変化予測	180	2.3.6 洪水流の組織乱流構造	199
1.3 流量予測	181	2.4 一次元解析	199
1.3.1 実時間流出予測の手順	181	2.4.1 基礎方程式と解析の基本	200
1.3.2 状態量のフィルタリング手法	182	2.4.2 実河川を対象にした平均流速公式の分類と適用性	201
1.4 水位予測	183		
1.4.1 実時間水位予測手法の分類	183		
1.4.2 実時間水位予測へのフィルタリング手法の応用	184		

2.4.3 各レベルの平均流速公式および $T_r$ , $E_d$ , $\beta$ , $\alpha$ の推定式の説明	202	3.6.1 流下物および土石およびその作用の 取り扱い	245
2.4.4 河道内樹木群の取り扱い	204	3.6.2 建物の破壊の判断基準	246
2.4.5 局所急変流部の取り扱い	205	3.6.3 洗掘・侵食（特に地物周り）	246
2.5 平面二次元解析, 三次元解析	208	3.6.4 人的被害の推定	246
2.5.1 解析の全体フレーム	208	3.6.5 避難行動	247
2.5.2 平面二次元解析	210	3.6.6 重要公共サービス機能への影響	247
2.5.3 静水圧準三次元解析	211	<b>第4章 土砂生産・流出と砂防</b>	251
2.5.4 非静水圧準三次元解析の1つである 一般底面流速解析法	214	4.1 概説	251
2.5.5 三次元解析	214	4.2 土砂生産・流出に関わる基本的現象と解析	251
2.6 洪水波としての解析	215	4.2.1 土砂生産・流出に関わる基本的現象	251
2.6.1 洪水波の水理学的分類	216	4.2.2 地質の影響と摩耗・破砕作用	251
2.6.2 洪水波の伝播特性	216	4.2.3 風化過程	252
2.6.3 洪水追跡	218	4.2.4 流水による侵食—裸地斜面の侵食/ 流路の侵食	253
2.6.4 観測水面形の時間変化を組み込んだ 洪水流解析	220	4.2.5 崩壊の発生	253
2.6.5 急変非定常流の解析	221	4.2.6 土石流・土砂流	255
2.7 洪水流の水理観測と活用	221	4.3 土砂生産・流出の量・粒径の実態把握	260
2.7.1 概説	221	4.3.1 概説	260
2.7.2 主要項目の測定法	221	4.3.2 土砂貯留空間の調査に基づく方法 (手法A))	261
2.7.3 観測結果の活用	224	4.3.3 侵食・堆積状況の調査に基づく方法 (手法B))	262
2.7.4 洪水流観測の計画	227	4.3.4 土砂フラックスの観測による方法 (手法C))	264
<b>第3章 氾濫解析</b>	237	4.4 土砂生産・流出のマクロ推定手法	265
3.1 概説	237	4.4.1 年平均の土砂流出	265
3.2 氾濫解析モデルの分類と適用性	237	4.4.2 一定期間の土砂生産・流出	266
3.3 各種氾濫解析モデル	238	4.4.3 豪雨イベントに伴う土砂生産・流出	267
3.4 氾濫計算条件の設定	240	4.4.4 表層・深層崩壊による土砂生産・流出	267
3.4.1 格子分割と種々の地物の取り込み	240	4.5 砂防	268
3.4.2 氾濫生起条件の設定	242	4.5.1 概説	268
3.4.3 モデル定数の設定	243	4.5.2 土砂災害危険度の検討手法	268
3.5 氾濫観測	244		
3.5.1 概説	244		
3.5.2 氾濫現象の測定法	244		
3.5.3 観測結果の活用	245		
3.6 氾濫流に伴う諸事象の解析	245		

目	次
4.5.3 土砂コントロールの検討手法	272
<b>第5章 流砂</b>	281
5.1 基本事項	281
5.1.1 流砂の形式	281
5.1.2 掃流力	281
5.1.3 砂礫の性質	282
5.1.4 限界掃流力	283
5.1.5 浮遊砂の濃度分布	286
5.1.6 流砂機構の研究の最近の方向	287
5.2 掃流砂量式	287
5.2.1 概説	287
5.2.2 一様粒径河床上の掃流砂	288
5.2.3 混合砂礫河床上の掃流砂	290
5.2.4 河床波上の掃流砂	291
5.2.5 急勾配河床上の掃流砂	291
5.2.6 掃流砂の移動方向	292
5.2.7 非平衡流砂量	292
5.3 浮遊砂量	293
5.3.1 浮遊砂量の決まり方	293
5.3.2 平衡状態の浮遊砂量	293
5.3.3 非平衡状態の浮遊砂量	295
5.4 全流砂量式	295
5.5 Wash load (ウォッシュロード)	296
5.5.1 流送過程・機構	296
5.5.2 流送量の特性および流域状況との関係	297
5.5.3 供給量の推定と予測	298
5.6 様々な条件下での流砂	298
5.6.1 幅広い粒径分布をもつ材料の流砂	298
5.6.2 粘着性材料の侵食限界と侵食速度	299
5.6.3 固定床上の流砂	300
<b>第6章 河床変動と流路変動</b>	304
6.1 河床変動解析	304
6.1.1 解析の基本構成	304
6.1.2 一次元河床変動解析	305
6.1.3 二次元河床変動解析	307
6.1.4 非粘着性材料から成る河岸の侵食の計算	308
6.1.5 植生の水理的作用の河床変動解析への組み込み	309
6.1.6 部分的に存在する固定床の考慮法	309
6.2 河床形態	311
6.2.1 河床形態の分類	311
6.2.2 河床形態の発生水理条件	312
6.2.3 河床形態の形状特性	313
6.2.4 河床形態の伝播特性	315
6.2.5 河床形態の解析	315
6.3 流路形態	316
6.3.1 流路形態の分類	316
6.3.2 流路形態の発生水理条件	317
6.3.3 流路形態の形状特性	317
6.3.4 流路形態の解析	318
6.4 河道の横断形状	320
6.4.1 実河川の横断形状諸元に関する法則性	320
6.4.2 理論的・解析的アプローチによる平衡横断形状	322
6.5 河岸形成と河岸侵食	323
6.5.1 自然堤防帯の河川における河岸形成	323
6.5.2 粘着性材料を持つ河岸の侵食	325
6.6 河道形成システム	327
6.6.1 概説	327
6.6.2 河道セグメント形成と土砂動態の巨視的な捉え方	328
6.6.3 流砂量・小規模河床波・流れの抵抗の決定機構および川幅調整機構	329
6.6.4 流れ・植生・流砂・地形変化の相互作用システム	330
6.6.5 山間地域の河道の形成機構に関わるシステム	332
<b>第7章 河川構造物の水理</b>	340
7.1 概説	340

7.2 河川堤防	341	7.3.5 自然河岸の活用	361
7.2.1 設計に関わる基本事項	341	7.4 河床縦断形を制御する構造物	361
7.2.2 設計と主要な水理現象との関係	344	7.4.1 各種工法の概説	361
7.2.3 河川堤防と洪水流, 流砂, 河床変動	344	7.4.2 落差を伴う床止め工の水理	362
7.2.4 浸透による破壊	344	7.4.3 川底に設置される構造物(帯工, 巨石設置など)	364
7.2.5 侵食による破壊	348	7.5 その他の河川構造物	365
7.2.6 越水による破壊	350	7.5.1 橋脚	365
7.3 侵食・洗掘を防止・制御する構造物	352	7.5.2 堰・水門などの水叩き工	367
7.3.1 各種工法の概説	352	7.6 河川構造物と水理事象との相互作用に関する状態把握	369
7.3.2 護岸の水理	353	7.6.1 概説	369
7.3.3 水制工の水理	356	7.6.2 状態把握の実例	370
7.3.4 川幅スケールの河床変動制御工法の水理	360	7.6.3 今後の展望	371

## 第3編 ダム

<b>第1章 ダムの計画と設計・管理</b>	381	2.2.2 台形越流頂	402
1.1 ダムの計画	381	2.2.3 その他の越流頂	403
1.1.1 洪水調節計画	381	2.3 横越流せきと底部取水工	404
1.1.2 容量配分計画	382	2.3.1 流量が場所的に変化する定常流	404
1.2 ダムの設計	383	2.3.2 横越流せきの越流量	405
1.2.1 コンクリートダムの設計	383	2.3.3 底部取水工の取水量	406
1.2.2 フィルダムの設計	384	<b>第3章 ダム関連構造物の水理</b>	409
1.2.3 ダムに作用する荷重	384	3.1 ゲート・バルブおよび放流管	409
1.2.4 地震時動水圧	386	3.1.1 水平水路床のゲート	409
1.3 ダムの管理	391	3.1.2 越流頂ゲート(クレストゲート)	410
1.3.1 ダム施設及び貯水池の維持管理	391	3.1.3 高圧ゲート	411
1.3.2 流水管理	391	3.1.4 高圧バルブ	412
<b>第2章 せきと越流頂</b>	394	3.1.5 ゲートに働く外力	413
2.1 せき	394	3.1.6 ゲートの強制振動	414
2.1.1 刃形せきの越流量	394	3.1.7 ゲートの自励振動	415
2.1.2 長方形せきの越流量	397	3.1.8 放流管	417
2.1.3 台形せきの越流量	398	3.2 サージタンク	418
2.2 越流頂	400	3.2.1 水撃作用	418
2.2.1 標準越流頂	400	3.2.2 サージタンク	421
		3.3 選択取水	424

3.3.1	密度成層場における取水	424		
3.3.2	ダムを選択取水設備	426		
3.4	発電施設の冷却水取水	427		
3.4.1	冷却水取水設備の形式	427		
3.4.2	カーテンウォール取水	427		
3.4.3	取水管	429		
3.4.4	取水に伴う浮遊体の取り込み	430		
<b>第4章</b>	<b>導流部と減勢工</b>	433		
4.1	急勾配水路および急変流の水利	433		
4.1.1	越流部下流の流れ	433		
4.1.2	急拡・急縮の流れ	435		
4.1.3	湾曲部の流れ	435		
4.1.4	屈折部の射流流れ	436		
4.2	跳水	437		
4.2.1	水平水路の自由跳水	437		
4.2.2	潜り跳水	439		
4.2.3	幅の異なる跳水, 段落水路の跳水	440		
4.3	減勢工	442		
4.3.1	跳水式減勢工	442		
4.3.2	自由落下式減勢工	445		
4.3.3	スキージャンプ式減勢工	447		
4.3.4	側水路式減勢工	447		
4.3.5	小規模減勢工	447		
			<b>第5章</b>	<b>貯水池管理</b>
			5.1	ダム貯水池の水質
			5.2	水質改善対策
			<b>第6章</b>	<b>ダムの堆砂と排砂</b>
			6.1	貯水池の堆砂
			6.1.1	堆砂量の予測
			6.1.2	土砂捕捉率
			6.1.3	堆砂形状の推定
			6.1.4	ダムの堆砂対策
			6.1.5	貯水池土砂管理の観点からの流砂系 総合土砂管理
			6.2	排砂設備と水利
			6.2.1	貯砂ダム
			6.2.2	排砂門・排砂管
			6.2.3	フラッシング排砂
			6.2.4	土砂バイパス (排砂バイパス)
			6.2.5	土砂還元 (置き土)
			6.2.6	流水型ダム
			6.2.7	排砂設備の摩耗・損傷
			6.3	排砂と環境
			6.3.1	貯水池内堆積物の質的特性と変化
			6.3.2	排砂による環境影響

## 第4編 水資源と上下水道

<b>第1章</b>	<b>水資源計画</b>	481		
1.1	水資源計画の策定手順	481		
1.1.1	水資源開発促進法	481		
1.1.2	水の用途別の需要の見通し及び供給 の目標	481		
1.1.3	供給の目標を達成するため必要な施 設の建設に関する基本的な事項	482		
1.1.4	その他水資源の総合的な開発及び利 用の合理化に関する重要事項	482		
1.2	都市 (水道+工業) 用水と需要量の推計			
				483
			1.2.1	水需要の用途別分類
			1.2.2	水需要予測の手順
			1.3	農業用水と需要量の推計
			1.3.1	作物別の需要量
			1.3.2	水田用水量と減水深
			1.3.3	畑地用水量
			1.3.4	水田主体流域の広域水収支と農業需 要量
			1.4	貯水池操作
			1.4.1	長期流出予測

1.4.2	ルールカーブ（確保水位方式）	489	3.4.3	マンホールにおける損失水頭	514
1.4.3	確率 DP による貯水池操作の最適化	489	3.4.4	流下水量計算式	514
<b>第 2 章</b>	<b>市街地雨水流出・汚濁流出</b>	<b>492</b>	3.5	ポンプと流量計	515
2.1	短時間降雨	492	3.5.1	比速度	515
2.1.1	短時間確率降雨強度式	492	3.5.2	口径と全揚程	515
2.1.2	ハイエトグラフ (hyetograph)	492	3.5.3	吸込性能	515
2.2	雨水流出の解析・流出公式	493	3.5.4	軸動力と原動機出力	516
2.2.1	合理式（ラショナル式）	494	3.5.5	開水路と管路の流量測定	516
2.2.2	実験式	494	3.6	汚泥の流動特性と管路輸送	517
2.2.3	合理式合成法	495	3.6.1	汚泥の物性と流動特性	517
2.2.4	タイムエリア法	495	3.6.2	汚泥の管路輸送の損失水頭	517
2.2.5	修正 RRL 法	495	<b>第 4 章</b>	<b>水処理</b>	<b>520</b>
2.2.6	分布型流出解析モデル	496	4.1	反応槽の特性（集中系・分布系/槽列/連続・回分）	520
2.3	浸水・内水氾濫解析	496	4.1.1	反応器モデル	520
2.3.1	内水氾濫解析モデル	496	4.1.2	非理想流のモデル化	521
2.3.2	河川と下水道との一体解析（連成解析）	498	4.2	沈殿	522
2.3.3	雨水貯留型施設の必要調節容量	498	4.2.1	沈殿形態と沈降速度	522
2.3.4	雨水浸透型施設の浸透能力の評価	499	4.2.2	沈殿による水質の変化と沈殿除去率	523
2.4	汚濁負荷の流出解析	500	4.3	凝集	525
2.4.1	発生・排出負荷と原単位	500	4.3.1	フロック形成の基礎式	525
2.4.2	汚濁物質の堆積・蓄積と分解	501	4.3.2	フロック形成の水理特性と最大成長 フロック径の関係	525
2.4.3	河川の汚濁負荷流出解析	502	4.4	担体を用いた汙過	526
2.4.4	受水域への負荷量	502	4.4.1	汙層における浮遊粒子の濃度低下	526
<b>第 3 章</b>	<b>送排水と下水の集水</b>	<b>505</b>	4.4.2	汙層の損失水頭	527
3.1	管水路におけるエネルギー損失	505	4.4.3	汙層の洗浄	528
3.2	単一管水路の水理計算	510	4.4.4	活性炭汙過	530
3.3	管網計算法	511	4.5	膜処理	531
3.3.1	基本計算式	511	4.5.1	水処理における膜処理の種類	531
3.3.2	エネルギー位法	511	4.5.2	逆浸透及びナノろ過のろ過理論	532
3.3.3	流量法	512	4.5.3	限外ろ過膜または精密ろ過膜による 固液分離機構	534
3.3.4	滞留時間の推定・水質解析	512	4.6	吸着	536
3.3.5	逆問題	513	4.6.1	吸着の原理	536
3.4	下水管さよの水理	513	4.6.2	吸着等温式	536
3.4.1	Manning の式と粗度係数	513			
3.4.2	限界掃流流速	514			



4.6.3 吸着速度式	538	4.9.5 生物膜法	550
4.6.4 吸着剤粒子内部の物質収支式	538	4.9.6 膜分離活性汚泥法	553
4.7 酸化処理・消毒	539	<b>第5章 汚泥処理</b>	558
4.7.1 塩素処理	539	5.1 汚泥の濃縮	558
4.7.2 オゾン処理	540	5.1.1 濃縮の単位操作	558
4.7.3 紫外線	541	5.1.2 重力濃縮	558
4.8 酸素供給	542	5.1.3 浮上濃縮	560
4.8.1 再曝気係数	542	5.2 汚泥脱水	560
4.8.2 曝気混合	543	5.2.1 脱水の単位操作	560
4.8.3 酸素移動速度の水温、水質による補正	544	5.2.2 ケーキ汚過	561
4.8.4 酸素消費速度	544	5.2.3 圧搾	562
4.9 生物処理	545	5.2.4 遠心分離	562
4.9.1 物質収支	545	5.3 汚泥消化	563
4.9.2 微生物の増殖と基質除去	545	5.3.1 概説	563
4.9.3 浮遊性生物処理系における諸特性	547	5.3.2 汚泥消化の化学量論式	563
4.9.4 生物学的窒素・リン除去	548	5.3.3 運転管理指標の計算	564

## 第5編 海岸・港湾

<b>第1章 水の波の基礎理論</b>	569	1.6.2 底面摩擦則	585
1.1 水面波の諸元と基礎方程式	569	<b>第2章 波浪</b>	589
1.1.1 水面波の諸元	570	2.1 波浪の統計的特性	589
1.1.2 水面波の基礎方程式	570	2.1.1 波浪のスペクトル	589
1.2 微小振幅波理論	571	2.1.2 波浪の波別解析における特性量とその確率分布	592
1.2.1 水面波の諸特性	571	2.1.3 波浪統計量の変動性	594
1.2.2 水面波に伴う1周期平均の輸送量	574	2.2 長期波浪統計	594
1.3 有限振幅波理論	575	2.2.1 高波の極値モデルと再現期間	595
1.3.1 有限振幅進行波の理論と適用範囲	575	2.2.2 遭遇確率	596
1.3.2 有限振幅重複波の理論	578	2.2.3 外力の極値分布	596
1.3.3 変調波の生成	578	2.2.4 外挿の限界を示す経験度	599
1.4 各種の波動方程式	579	2.2.5 高波の極値解析に関する特記事項	600
1.4.1 波動方程式概説	579	2.3 波浪推算	600
1.4.2 波動方程式の分類と特性	580	2.3.1 海上風の推算	600
1.5 風波の生成と発達	584	2.3.2 有義波法による波浪推算	600
1.6 波動境界層	584	2.3.3 スペクトル法による波浪推算	601
1.6.1 波動境界層理論	584		

<b>第3章 波の変形</b> .....	605	<b>第4章 長周期の波</b> .....	633
3.1 浅水変形.....	605	4.1 潮 汐.....	633
3.1.1 微小振幅波理論による波長・波速・ 波高の変化.....	605	4.1.1 潮汐現象.....	633
3.1.2 有限振幅波の波高の変化.....	605	4.1.2 潮汐の調和解析.....	633
3.2 屈折と回折.....	606	4.1.3 潮位の基準面.....	634
3.2.1 屈 折.....	606	4.2 高 潮.....	635
3.2.2 回 折.....	609	4.2.1 高潮の発生要因.....	635
3.2.3 屈折・回折の重畳.....	611	4.2.2 高潮の動的増幅機構.....	636
3.3 反射と透過.....	613	4.2.3 高潮の数値計算.....	636
3.3.1 反 射.....	613	4.2.4 高潮の観測・調査.....	637
3.3.2 透過・伝達.....	614	4.3 津 波.....	638
3.4 波の遡上.....	614	4.3.1 津波の発生要因.....	638
3.4.1 段波・津波・規則波の遡上.....	614	4.3.2 津波の伝播変形と流体力.....	639
3.4.2 不規則波の遡上.....	615	4.3.3 津波の数値計算.....	640
3.5 砕 波.....	617	4.3.4 津波の観測・調査.....	642
3.5.1 砕波形式.....	617	4.4 長周期重力波.....	642
3.5.2 砕波限界.....	617	4.4.1 湾水振動と副振動.....	642
3.5.3 砕波後の波高変化.....	619	4.4.2 サーフ・ビート.....	643
3.5.4 砕波帯内外の平均水位の変化.....	621	<b>第5章 沿岸の流れ</b> .....	648
3.6 砕波以外の要素による波の減衰.....	622	5.1 海 流.....	648
3.6.1 内部粘性による波のエネルギー散逸率 .....	622	5.2 潮 流.....	649
3.6.2 海底摩擦による波のエネルギー散逸率 .....	622	5.2.1 概 要.....	649
3.6.3 海底の透水性による波のエネルギー 散逸率.....	623	5.2.2 潮流の調和解析.....	649
3.6.4 底泥による波のエネルギー散逸率.....	623	5.2.3 潮流の数値計算.....	650
3.6.5 円柱群による波のエネルギー散逸率 .....	623	5.3 海浜流.....	651
3.6.6 海中の植生による波のエネルギー散 逸率.....	624	5.3.1 沿岸流.....	651
3.6.7 エネルギー散逸を伴う波の減衰.....	624	5.3.2 離岸流.....	652
3.7 波と流れの干渉.....	625	5.3.3 砕波帯の戻り流れ.....	653
3.7.1 流れの場の波の基本式.....	625	5.3.4 平均流の方程式.....	653
3.7.2 流れによる波の変化.....	626	5.4 密度流.....	654
3.7.3 波による流れの変化.....	627	5.5 吹送流.....	655
		5.5.1 海面上の風応力.....	655
		5.5.2 狭い海域の吹送流.....	656
		5.5.3 広い海域の吹送流.....	656
		5.6 湧昇流・沈降流.....	657

第6章 漂砂と海岸過程	661	7.2.5 風の影響	684
6.1 海岸地形と底質特性	661	7.2.6 許容越波量	684
6.1.1 海岸地形	661	7.2.7 越水量	685
6.1.2 海浜の縦断形状	661	7.2.8 ヨーロッパにおける越波流量の推定 方式について	685
6.1.3 海浜の平面形状	663	7.3 波圧と波力	686
6.1.4 底質の特性	664	7.3.1 直立壁に働く波圧	686
6.2 海岸過程	664	7.3.2 小口径部材に働く波力	688
6.2.1 漂砂の種類	664	7.3.3 水平板に働く波力	692
6.2.2 海岸過程の時間スケール	665	7.3.4 大型孤立構造物に働く波力	692
6.2.3 土砂収支	666	7.3.5 浮体に働く波力	693
6.2.4 海岸侵食	667	7.3.6 その他の外力	694
6.3 底質の移動限界と漂砂量	668	7.4 被覆材の安定	695
6.3.1 底質の移動限界	668	7.4.1 傾斜堤被覆材の所要質量	695
6.3.2 沿岸漂砂量	668	7.4.2 消波ブロック被覆堤のブロックの所 要質量	697
6.3.3 局所漂砂量	669	7.4.3 混成堤マウンド被覆材の所要質量	697
6.4 海浜変形の数値モデル	671	7.4.4 離岸堤・人工リーフ被覆材の所要質量	698
6.4.1 汀線変化モデル	672	7.5 海底地盤への波の作用	699
6.4.2 三次元モデル	673	7.5.1 海底地盤内の間隙水圧と有効応力	699
6.5 飛砂	673	7.5.2 波による海底地盤の液状化条件	700
6.5.1 風速の鉛直分布と摩擦速度	673	第8章 海岸環境と流れ	706
6.5.2 飛砂の発生限界	674	8.1 海岸環境とその構造	706
6.5.3 飛砂量	674	8.1.1 水質環境	706
6.6 底泥	674	8.1.2 土砂環境	709
第7章 構造物への波の作用	678	8.1.3 沿岸生態系	710
7.1 波の打上げ高	678	8.1.4 地球環境問題	714
7.1.1 概要	678	8.2 物質輸送に関連する流れ	715
7.1.2 一様勾配のり面上の打上げ高	678	8.2.1 環境問題と物質輸送	715
7.1.3 複合断面の構造物上の打上げ高	679	8.2.2 潮流	715
7.1.4 波向による打上げ高の変化	680	8.2.3 吹送流	716
7.1.5 消波工による打上げ高の変化	680	8.2.4 密度流と内部波	716
7.1.6 不規則波による打上げ高	680	8.2.5 地下水流	725
7.2 越波量	681	8.2.6 海浜流	725
7.2.1 直立護岸の越波量	681	8.3 数値モデル	726
7.2.2 傾斜護岸の越波量	682	8.3.1 流動・輸送モデル	726
7.2.3 消波工の効果	683		
7.2.4 複雑な断面をもつ護岸の越波量	683		

8.3.2	水質生態系モデル	730	9.2.1	VOF 法	746
8.3.3	漂砂・地形変化モデル	732	9.2.2	VOF 法による数値波動水槽	748
8.4	海岸環境の総合管理	734	9.2.3	CIP 法	750
8.4.1	内湾の環境管理	734	9.2.4	CIP 法による数値波動水槽	751
8.4.2	総合土砂管理	735	9.2.5	海岸工学分野への適用	753
<b>第9章</b>	<b>数値波動水槽</b>	<b>744</b>	9.3	粒子法に基づく数値波動水槽	753
9.1	数値波動水槽の構成	744	9.3.1	積分補間	753
9.1.1	支配方程式 (Navier-Stokes 式)	744	9.3.2	微分演算子モデル	755
9.1.2	境界条件	744	9.3.3	計算アルゴリズム	756
9.1.3	自由表面の追跡	745	9.3.4	高精度粒子法	757
9.2	格子法に基づく数値波動水槽	746	9.3.5	海岸・港湾構造物への適用	759

## 第6編 流域圏環境

<b>第1章</b>	<b>流域圏の水・物質循環システム</b>	<b>765</b>	<b>第2章</b>	<b>水環境と生態系</b>	<b>781</b>
1.1	水循環	765	2.1	光	781
1.1.1	地球上と流域の水循環	765	2.1.1	水面・地表面に到達する日射	781
1.1.2	日本における水循環の特徴	766	2.1.2	水中に入射する光の反射・透過	782
1.1.3	物質循環における水循環の役割	767	2.1.3	補償深度と透明度	783
1.2	物質循環	767	2.2	熱	783
1.2.1	炭素・窒素・リン	767	2.2.1	水面における熱収支	783
1.2.2	水域における物質変換と輸送の素過程	768	2.2.2	底面における熱収支	785
1.2.3	外部負荷と内部生産	770	2.2.3	水中における熱輸送	785
1.2.4	出水と物質動態	771	2.3	塩分	786
1.3	流砂系	771	2.3.1	塩分の定義と測定方法	786
1.3.1	土砂生産・流出	771	2.3.2	塩分と密度変化の関係	788
1.3.2	粒径集団と土砂動態	772	2.4	濁度とSS	788
1.3.3	流域における土砂収支	773	2.4.1	定義	788
1.3.4	粒径集団と生態系	773	2.4.2	沈降速度	790
1.4	生態系	774	2.4.3	SSの輸送式	791
1.4.1	生産者・消費者・分解者	774	2.5	溶存酸素	792
1.4.2	捕食・被食	775	2.5.1	溶存酸素の収支式	792
1.4.3	摂食機能群および生活型	775	2.5.2	酸素供給	794
1.4.4	流程に沿った生態系の変化	778	2.5.3	酸素消費	795
			2.6	窒素, リン, 炭素	795
			2.6.1	存在形態	795

2.6.2	窒素, リンの水域での動態	796	3.4.3	分布型水・物質循環モデル	825
2.6.3	リン, 窒素の溶出	798			
2.7	重金属	798	<b>第4章</b>	<b>河川環境</b>	827
2.7.1	存在形態	798	4.1	河川環境の基本事項	827
2.7.2	底泥からの溶出	800	4.1.1	河川環境の概要	827
2.7.3	モデル式	800	4.1.2	河川の自然環境の成り立ち	827
2.8	生物の構成元素と最小養分律	802	4.1.3	河川における生息場の特徴	828
2.8.1	最小養分律	802	4.2	植生の特徴と管理	830
2.8.2	生物の構成元素	802	4.2.1	河川に生育する植物の特徴	830
2.9	水中の生物の生息条件	803	4.2.2	植物群落と群集	831
2.9.1	溶存酸素濃度	804	4.2.3	植生管理	832
2.9.2	水温	804	4.3	河床環境の評価と管理	834
2.9.3	濁り	806	4.3.1	河床環境の機能	834
2.9.4	pH	806	4.3.2	河床環境の形成過程と物理特性	835
2.10	生物の生産と分解	807	4.3.3	河床環境の管理	836
2.10.1	生産・分解・代謝	807	4.4	生息場の評価と管理	838
2.10.2	植物プランクトン	807	4.4.1	生息場の概念	838
2.10.3	微生物	809	4.4.2	生息場の評価	840
2.10.4	付着藻類	810	4.4.3	生息場の管理	843
2.11	水質・生態系モデル	811	4.5	流況と生態系	843
2.11.1	水質・生態系モデルの基本構造	811	4.5.1	流況の定義	843
2.11.2	河川	812	4.5.2	流況の生態学的意味	844
2.11.3	湖沼・ダム貯水池	812	4.5.3	流況の評価・管理	845
2.11.4	沿岸域	812	4.6	魚道	847
<b>第3章</b>	<b>流域環境</b>	818	4.6.1	魚道の種類	847
3.1	汚濁負荷の構成	818	4.6.2	魚道の水理と設計	848
3.2	面源負荷と物質循環	818	4.6.3	魚道の配置	850
3.2.1	大気降下物	818	4.6.4	魚道の管理	851
3.2.2	山林	819	4.7	水質浄化	851
3.2.3	水田・畑	820	4.7.1	水質浄化の原理	851
3.2.4	市街地	820	4.7.2	水質浄化の方法	852
3.2.5	その他の負荷源	821	4.8	河川環境の整備と保全	853
3.2.6	浄化対策	821	4.8.1	河川法の改定について	853
3.3	点源負荷	822	4.8.2	多自然川づくり	853
3.4	汚濁負荷算定方法	823	4.8.3	美しい山河を守る災害復旧基本方針	
3.4.1	原単位法	823			854
3.4.2	統計回帰モデル	823	4.8.4	自然再生事業	854

<b>第5章 地下水環境</b> .....	860	6.2.1 ダム貯水池における水温.....	873
5.1 地下水水質・モニタリング.....	860	6.2.2 ダム貯水池における濁水.....	874
5.2 地下水・土壌汚染.....	862	6.2.3 ダム貯水池における富栄養化.....	876
5.3 地下水の塩水化.....	865	6.3 湖沼の水環境.....	878
<b>第6章 ダム貯水池・湖沼</b> .....	868	6.3.1 湖沼の類型.....	878
6.1 ダム貯水池・湖沼の水理.....	868	6.3.2 湖岸帯.....	879
6.1.1 水温成層.....	868	6.3.3 湖沼の生態系.....	880
6.1.2 風による流れと混合.....	869	6.4 湖沼流動・生態系モデル.....	882
6.1.3 水面熱収支に伴う流れと混合.....	871	6.4.1 湖沼モデルの枠組みと流動モデル.....	882
6.1.4 流入・流出による流れと混合.....	872	6.4.2 生態系モデル.....	884
6.1.5 気泡噴流に伴う流れと混合.....	872	6.5 温・冷排水拡散.....	885
6.1.6 塩水貫入.....	873	6.5.1 温排水放水設備の形式.....	885
6.2 ダム貯水池の水環境.....	873	6.5.2 表層放水された温排水の拡散予測.....	885
		6.5.3 水中放水された温排水の拡散予測.....	888
		6.5.4 冷排水拡散予測.....	891
<b>索引</b> .....	897		
<b>数表</b> .....	917		