

# 目次

執筆者一覧	ii
序文	v
目次	vii
委員会構成	xvii
共同委託企業一覧	xix
<b>第I編 平面波浪場の計算法</b>	<b>1</b>
<b>第1章 問題の設定</b>	<b>4</b>
1.1 平面的波浪変形の諸要素	4
1.1.1 波浪変形の種類	4
1.1.2 波浪の不規則性と有限振幅性	4
1.1.3 平面的波浪変形計算の課題	4
1.1.4 平面的波浪変形計算の具体的諸問題	4
1.2 平面的波浪変形問題のモデルケース	6
1.2.1 構造物の設計波計算	6
1.2.2 港内静穏度計算	6
1.2.3 海域静穏度計算	7
1.2.4 海浜流・3次元海浜変形計算	7
<b>第2章 モデル方程式と適用範囲</b>	<b>8</b>
2.1 モデル方程式の分類	8
2.1.1 問題の定式化	8
2.1.2 モデル方程式の分類	8
2.2 モデル方程式の適用範囲	10
2.2.1 モデル方程式の仮定と理論的適用範囲	10
2.2.2 モデル方程式の適用に際しての留意点	13
<b>第3章 モデル方程式の数値計算法と計算例</b>	<b>15</b>
3.1 屈折方程式	15
3.1.1 波向線法の概要	15
3.1.2 波向線の作図法	15
3.1.3 波向線間隔方程式による屈折係数の計算法	17

3.1.4	波向線法による波高の算定	18
3.2	エネルギー平衡方程式	20
3.2.1	エネルギー平衡方程式の誘導	20
3.2.2	エネルギー平衡方程式の適用性	21
3.3	ヘルムホルツ方程式	27
3.3.1	概説	27
3.3.2	基礎理論	27
3.3.3	数値計算法とその応用	29
3.3.4	数値計算例と計算における留意点	35
3.4	簡便法	38
3.4.1	概説	38
3.4.2	高山法	38
3.4.3	位相折り返し法	42
3.5	緩勾配方程式	46
3.5.1	概説	46
3.5.2	理論	46
3.5.3	数値計算法	48
3.6	非定常緩勾配方程式	51
3.6.1	概要	51
3.6.2	基礎理論	51
3.6.3	理論の応用	53
3.6.4	数値計算法	53
3.6.5	数値計算例	57
3.6.6	おわりに	58
3.7	放物型波動方程式	60
3.7.1	概説	60
3.7.2	放物型波動方程式の基本形	60
3.7.3	放物型波動方程式の拡張形	61
3.7.4	エネルギー減衰, 流れの効果, 有限振幅性を考慮し, 許容入射波向角を上げた放物型波動方程式	62
3.7.5	その他の放物型波動方程式	62
3.7.6	不規則波に対する取り扱い	62
3.7.7	数値計算法	63
3.8	非定常緩勾配不規則波動方程式	66
3.8.1	基礎方程式の誘導	66
3.8.2	数値的検討	69
3.9	ブシネスク方程式による非線形平面波の計算	72
3.9.1	概説	72
3.9.2	浅水理論による計算	72
3.9.3	ブシネスク方程式による計算	72
3.9.4	修正ブシネスク方程式による計算	73
3.9.5	非線形平面波の計算法の拡張	74
3.9.6	今後の研究課題	78
3.10	砕波のモデル化	79
3.10.1	はじめに	79
3.10.2	砕波形態	79
3.10.3	砕波条件	79
3.10.4	砕波帯の力学的モデル	81

3.10.5	不規則波の碎波変形モデル	85
3.10.6	おわりに	86
3.11	モデルケースに対する数値計算例と手法による比較	88
3.11.1	概    要	88
3.11.2	構造物の設計波計算	89
3.11.3	港内静穏度計算	95
3.11.4	海域静穏度計算	98
3.11.5	海浜流・3次元海浜変形計算	106
3.12	実務への適用に際しての留意点	111
3.12.1	構造物の設計波計算／海浜流・3次元海浜変形計算	111
3.12.2	港内静穏度計算	116
<b>第4章</b>	<b>現地・水槽実験データと検証計算例</b>	<b>119</b>
4.1	検証データの収集・整理	119
4.2	現地検証計算例	121
4.2.1	概    要	121
4.2.2	検証データの概要	121
4.2.3	計算手法の概要	121
4.2.4	波高の比較	122
4.2.5	方向スペクトルの比較	122
4.2.6	ま    と    め	124
4.3	水槽実験データによる検証	126
4.3.1	多方向不規則波を用いた水槽実験	126
4.3.2	数値計算結果との比較	129
4.3.3	規則波を用いた水槽実験	131
<b>第5章</b>	<b>まとめと今後の課題</b>	<b>140</b>
5.1	成果の要約	140
5.2	今後の課題	141
<b>第II編</b>	<b>断面2次元波浪変形の計算法</b>	<b>143</b>
<b>第1章</b>	<b>問題の設定</b>	<b>146</b>
1.1	断面2次元場での波浪変形の具体的諸問題	146
1.2	モデルケース	147
1.2.1	構造物と入射波諸元の設定	147
1.2.2	模型実験の概要	147
<b>第2章</b>	<b>数値モデルと適用範囲</b>	<b>149</b>
2.1	流体運動のモデル化	149
2.1.1	ポテンシャル流れの仮定	149
2.1.2	水面境界条件の弱非線形化	149
2.1.3	長波近似	149
2.2	数値モデルの分類と適用範囲	149
2.2.1	数値モデルの分類	149
2.2.2	波浪変形要素に対する適用性と計算効率	151

第3章 各モデルの計算法と計算例	153
3.1 ナビエ・ストークス方程式モデル	153
3.1.1 概説	153
3.1.2 理論	153
3.1.3 基礎方程式の離散化	154
3.1.4 境界条件の取扱い	156
3.1.5 既往の研究と計算例	157
3.1.6 モデルケースの計算例	159
3.2 強非線形ポテンシャルモデル	162
3.2.1 概説	162
3.2.2 基礎方程式と境界条件	162
3.2.3 境界要素法 (BEM)	163
3.2.4 有限要素法 (FEM)	167
3.2.5 スペクトル法	169
3.2.6 モデルケースに対する実験結果との比較	171
3.3 弱非線形ポテンシャルモデル	176
3.3.1 概説	176
3.3.2 弱非線形のシュレーディンガー方程式	176
3.3.3 領域分割法	177
3.3.4 グリーン公式による定常解析法	182
3.3.5 グリーン公式による非定常解析法	185
3.3.6 グリーン関数法	187
3.3.7 モデルケースの計算結果	190
3.4 長波近似モデル	193
3.4.1 概説	193
3.4.2 弱分散性の仮定	193
3.4.3 レイノルズ方程式に対する長波近似	194
3.4.4 碎波帯内の現地波浪への適用	194
3.4.5 ブシネスク方程式を用いたスペクトル法	195
3.4.6 KP 方程式および KdV 方程式を用いたスペクトル法	198
3.4.7 モデルケースの計算結果	199
第4章 岸側および沖側境界条件の設定	201
4.1 概説	201
4.2 岸側境界	201
4.2.1 周期境界条件を用いる方法	201
4.2.2 外部領域での解析解と接続する方法	201
4.2.3 ゾンマーフェルト型の吸収条件を用いる方法	202
4.2.4 スポンジ層を用いる方法	203
4.2.5 その他の方法	204
4.3 沖側境界	204

第5章	まとめと今後の課題	207
5.1	成果の要約	207
5.2	今後の課題	207
5.2.1	ナビエ・ストークス方程式モデル	207
5.2.2	強非線形ポテンシャルモデル	208
5.2.3	弱非線形ポテンシャルモデル	208
5.2.4	長波近似モデル	208
第III編	津波・高潮・湾水振動の計算法	209
第1章	外力特性とそのモデル化	212
1.1	高潮の外力	212
1.1.1	高潮の概要	212
1.1.2	潮汐の機構	213
1.1.3	高潮に含まれる波浪の影響	214
1.1.4	台風モデル	216
1.2	津波の外力	217
1.2.1	地震運動による津波の発生	217
1.2.2	地震運動以外の原因による津波	219
1.3	副振動の外力とモデル化	219
第2章	数理モデル	223
2.1	平面2次元問題	223
2.1.1	長波理論式の誘導	223
2.1.2	線形長波理論	225
2.1.3	非線形長波理論	226
2.1.4	線形分散波理論	226
2.1.5	非線形分散波理論	227
2.1.6	各理論の比較	228
2.1.7	各理論の適用限界	228
2.2	準3次元高潮数値モデル	231
2.3	境界での問題	234
2.3.1	陸上遡上	234
2.3.2	河川遡上	237
第3章	数値モデル	241
3.1	有限差分法	241
3.1.1	リープフロッグ法	241
3.1.2	ADI法	244
3.1.3	その他の解法	246
3.2	有限要素法	252
3.2.1	津波波動シミュレーションの既往の研究	252
3.2.2	津波の方程式	252
3.2.3	初期条件と境界条件	252
3.2.4	有限要素法	253
3.3	数値誤差の検討	261
3.3.1	誤差の分類	261

3.3.2	支配方程式の誤差	261
3.3.3	離散化誤差と打ち切り誤差	263
3.3.4	境界条件の誤差	266
3.3.5	初期波形の誤差	266
3.3.6	その他の誤差	266
<b>第4章</b>	<b>数値シミュレーション</b>	<b>268</b>
4.1	高潮のシミュレーション	268
4.1.1	高潮数値計算の事例	268
4.1.2	瀬戸内海の高潮の数値計算例(台風9119号の場合)	270
4.2	津波のシミュレーション	275
4.2.1	1992年ニカラグア地震による津波の解析	275
4.3	湾水振動のシミュレーション	278
4.3.1	概説	278
4.3.2	計算法とその適用性	278
4.3.3	現地への適用性	282
4.3.4	有限要素法を用いた適用例	283
<b>第IV編</b>	<b>構造物近傍の波動場と波力の計算法</b>	<b>289</b>
<b>第1章</b>	<b>問題の設定</b>	<b>292</b>
1.1	構造物近傍の波浪場と波力の具体的諸問題	292
1.2	モデルケースの設定	293
1.2.1	対象とする構造物	293
1.2.2	外力条件	293
<b>第2章</b>	<b>計算モデルの分類と適用範囲</b>	<b>295</b>
2.1	計算モデルの概要	295
2.2	線形回折波理論に基づく計算法	295
2.3	非線形回折波理論に基づく計算法	296
2.4	抗力を伴う波力の計算法	297
2.5	浮体の動揺計算法	297
2.6	地震時動水圧の計算法	297
2.7	衝撃流体力の算定法	298
<b>第3章</b>	<b>各モデルの計算法と計算例</b>	<b>301</b>
3.1	固有関数展開法	301
3.1.1	概説	301
3.1.2	水面波動現象の境界値問題	301
3.1.3	境界値問題と固有関数	304
3.1.4	円筒の場合 —MacCamy・Fuchsの解—	308
3.1.5	楕円筒の場合 —合田・吉村の解—	309
3.1.6	固有関数展開法の拡張 —境界展開法—	310
3.2	グリーン関数法	313
3.2.1	概説	313
3.2.2	グリーン関数による積分方程式への変換	313
3.2.3	積分方程式の離散化による数値解法	315
3.2.4	グリーン関数の求め方	316

3.2.5	種々の波動境界値問題とグリーン関数法	320
3.2.6	数値計算上の留意点	328
3.3	領域分割法 (ポテンシャル接続法)	331
3.3.1	概 説	331
3.3.2	解析法の基本事項	331
3.3.3	円柱浮体の解析	334
3.4	グリーン公式に基づく解析法	340
3.4.1	概 説	340
3.4.2	2次元グリーン公式に基づく解法	340
3.4.3	3次元グリーン公式に基づく計算法	348
3.5	有限要素法	350
3.5.1	概 説	350
3.5.2	基礎理論	350
3.5.3	数値計算例	355
3.5.4	緩勾配方程式を用いた計算法	358
3.6	弱非線形ポテンシャルモデル	360
3.6.1	概 説	360
3.6.2	基礎方程式の誘導	360
3.6.3	ハスキンドの相反関係を用いた計算法	361
3.6.4	2次のポテンシャルの計算法	362
3.6.5	長周期変動波漂流力とその計算法	364
3.6.6	2次流体力の不規則波計算	365
3.7	長波近似モデル	368
3.7.1	概 説	368
3.7.2	基礎方程式	368
3.7.3	線形解を用いた近似解法	368
3.7.4	ブシネスク方程式を用いた計算法	371
3.7.5	3次元構造物への適用	372
3.8	強非線形ポテンシャルモデル	374
3.8.1	概 説	374
3.8.2	既往の研究	374
3.8.3	境界要素法による定式化	374
3.8.4	計 算 例	376
3.9	抗力を伴う波力の計算法	379
3.9.1	流線の剥離	379
3.9.2	物体後流域の表現と波力	380
3.9.3	波力による柱体の振動	382
3.10	浮体の動揺計算法	385
3.10.1	係留浮体の運動方程式と外力	385
3.10.2	浮体の慣性力と静水力学的復元力	385
3.10.3	係留系からの反力	387
3.10.4	流 体 力	391
3.10.5	運動方程式の線形化と周波数領域での取扱い	393
3.10.6	運動方程式の時間領域での取り扱い	396
3.10.7	浮体の動揺に及ぼす周辺境界の影響	398
3.10.8	浮体の動揺に及ぼす非線形性の影響に関する今後の課題	400
3.11	地震時動水圧の計算法	403

3.11.1	概 説	403
3.11.2	従来の地震時動水圧算定方法	403
3.11.3	固有関数展開法による地震時動水圧算定	404
3.12	衝撃流体力の算定法	408
3.12.1	概 説	408
3.12.2	衝撃流体力の発生機構	408
3.12.3	床版に働く衝撃揚圧力	410
3.12.4	円柱に働く衝撃碎波波力	412
3.12.5	鉛直壁に働く衝撃碎波圧	414
<b>第4章</b>	<b>モデルケースの計算例</b>	<b>418</b>
4.1	比較に用いた計算手法および計算ケース	418
4.2	線形理論による計算結果および実験値との比較	418
4.2.1	波強制力	418
4.2.2	流体力係数	418
4.2.3	浮体動揺	422
4.2.4	実験結果との比較	422
4.3	非線形波力の計算結果	425
<b>第5章</b>	<b>まとめと今後の課題</b>	<b>428</b>
5.1	成果の要約	428
5.2	今後の課題	428
<b>第V編</b>	<b>波浪と海底地盤の相互干渉</b>	<b>431</b>
<b>第1章</b>	<b>波浪による海底地盤の応答と液状化</b>	<b>434</b>
1.1	波浪による海底地盤の液状化現象	434
1.1.1	緒 言	434
1.1.2	波浪による海底地盤の液状化現象の実態	434
1.1.3	波浪によるシルト質土の応答	437
1.2	地盤の液状化のメカニズム	439
1.2.1	地震による液状化のメカニズム	439
1.2.2	波浪による液状化のメカニズム	439
1.3	波浪による海底地盤の破壊および液状化条件	442
1.3.1	浸透力による方法	442
1.3.2	Mohr・Coulombの破壊規準による方法	442
1.3.3	有効鉛直応力による方法	442
1.4	海底地盤の波浪への影響	444
1.4.1	海底地盤を粘性流体として扱う場合	444
1.4.2	海底地盤を多孔質剛体として扱う場合	444
1.4.3	海底地盤を弾性体として扱う場合	444
1.4.4	海底地盤を多孔質弾性体として扱う場合	445
1.4.5	ま と め	445
1.5	海底地すべり	446
1.5.1	外国における事例	446
1.5.2	我国における事例	446
1.6	海底地盤の調査方法	448



403	1.6.1	海底地盤の地質および土質調査法	448
403	1.6.2	軟弱底質の物理化学的性質の分析法	450
404	1.6.3	海底地盤の液状化観測システム	450
408			
408	<b>第2章</b>	<b>波浪による海底地盤の応答解析モデル</b>	<b>453</b>
408	2.1	応答解析に関する既往の研究	453
410	2.1.1	既往の研究の概説	453
412	2.1.2	既往の研究の分類と適用性	454
414	2.2	海底地盤の力学的挙動	457
418	2.2.1	概 説	457
418	2.2.2	2相混合体理論	457
418	2.3	Madsen のモデル	460
418	2.3.1	基礎方程式	460
418	2.3.2	半無限地盤に対する理論解	460
418	2.4	Yamamoto のモデル	462
422	2.4.1	基礎方程式	462
422	2.4.2	半無限地盤に対する理論解	462
425	2.5	Mei・Foda のモデル	464
428	2.5.1	半無限地盤に対する理論解	464
428	2.5.2	加速度項および海底摩擦を考慮した理論解	464
428	2.6	大草のモデル	466
	2.6.1	基礎方程式	466
	2.6.2	半無限地盤に対する理論解	466
131	2.7	善らのモデル	468
134	2.7.1	基礎方程式	468
434	2.7.2	初期条件および境界条件	468
434	2.7.3	基礎方程式の差分分解	468
434	2.8	Finn らのモデル	470
437	2.8.1	解析手法の概要	470
439	2.8.2	モデルの適用性	470
439	2.9	八嶋らのモデル	471
439	2.9.1	基礎理論	471
442	2.9.2	構成関係式	471
442	2.10	三浦らのモデル	473
442	2.11	有限要素法による解法	476
442	2.11.1	支配方程式	476
444	2.11.2	近似式 ( $u-p$ ) 形式	477
444	2.11.3	有限要素法への定式化	477
444	2.12	従来の海岸・海洋構造物の基礎地盤の解析手法	479
444	2.12.1	繰返し荷重に対する安定解析法	479
445	2.12.2	円形すべりに対する安定解析法	480
445			
446	<b>第3章</b>	<b>波浪による海底地盤の応答解析の結果の比較</b>	<b>481</b>
446	3.1	問題の設定	481
446	3.2	海底地盤内の応力と間隙水圧	483
448	3.3	海底地盤の液状化の発生	489

第4章	構造物およびその周辺海底地盤の挙動	491
4.1	構造物周辺の洗掘に関する既往の研究	491
4.1.1	洗掘の事例	491
4.1.2	洗掘現象とそのメカニズム	492
4.1.3	洗掘に関する定量的評価	494
4.1.4	洗掘防止工	496
4.2	構造物の沈下に関する既往の研究	504
4.2.1	沈下の事例	504
4.2.2	構造物の沈下のメカニズム	505
4.2.3	沈下の対策工法	508
第5章	まとめと今後の課題	509
5.1	成果の要約	509
5.2	今後の課題	510
5.2.1	波浪による海底地盤の応答解析の今後の課題	510
5.2.2	洗掘および沈下に関する研究の今後の課題	510
付録	海岸工学文献データベースの作成	513
1.1	はじめに	513
1.2	データベースの特徴	513
1.3	入力データの内容	513
1.4	機能	513
1.5	データベースの配布について	513
索引		515