



## II. 応用編 目次

### 4. 動的問題

<b>1. 概 説</b>	[3~11]
1.1 運動方程式——非減衰	3
1.2 非減衰自由振動	4
1.3 Ritz 法あるいは Rayleigh-Ritz 法	4
1.4 静的縮小法	5
1.5 部分構造法——変位法	6
1.6 部分構造法——ハイブリッド法	8
1.7 運動方程式——減衰	9
1.8 強制振動	10
<b>2. 質量マトリックスと減衰マトリックス</b>	[12~28]
2.1 動的問題における各種要素マトリックスの定式	12
2.2 質量マトリックス	14
2.3 各種有限要素の質量マトリックス	16
<b>3. 直接積分法</b>	[29~64]
3.1 直接積分法概説	29
3.2 直接積分法の特性と選択基準	44
<b>4. モード解析法</b>	[65~78]
4.1 まえがき	65
4.2 モード解析法の基礎式	65
4.3 調和外力に対する応答	69

4.4	衝撃応答	70
4.5	時刻歴応答	72
4.6	非線形応答	72
4.7	静的に不安定な系の応答	73
4.8	不規則応答	74
4.9	むすび	77
<b>5.</b>	<b>波動問題——地震波, 水面波</b>	<b>[79~97]</b>
5.1	地盤における波動の伝播	79
5.2	粘性境界	80
5.3	伝達境界	83
5.4	地盤における波動伝播解析の応用例	86
5.5	水面波	87
<b>6.</b>	<b>伝達マトリックス法</b>	<b>[98~113]</b>
6.1	概 説	98
6.2	伝達マトリックス法の概念	98
6.3	はりの自由振動の解析	102
6.4	係数が一定でない1階の連立微分方程式の解	108
6.5	集中質量法によるはりの振動解析	109
6.6	桁落ちを防ぐ数値計算法	111
<b>5. 構造物の安定および大変形解析</b>		
<b>1.</b>	<b>概 説</b>	<b>[117~121]</b>
1.1	弾性安定の様式	117
1.2	構造力学における不安定現象	118
1.3	座 屈	120
<b>2.</b>	<b>幾何学的線形と不安定現象</b>	<b>[122~127]</b>
2.1	安 定 理 論	122
2.2	不安定現象の分類	125
<b>3.</b>	<b>各種有限要素の幾何剛性マトリックス</b>	<b>[128~149]</b>
3.1	幾何学的非線形問題における各種要素マトリックスの定式	128
3.2	各種有限要素の幾何剛性マトリックス	137

<b>4. 数値解析法と数値解析例</b>	[150~169]
4.1 序 論	150
4.2 つり合い式とその増分型方程式	152
4.3 局所線形化による増分法	154
4.4 座屈点とその分類	157
4.5 固有ベクトルと座屈モード	160
4.6 座屈点近傍のつり合い径路	161
4.7 弧長増分法	167

## 6. 材料非線形問題の解析

<b>1. 概 説</b>	[173~181]
1.1 単軸応力場の塑性変形	174
1.2 単軸応力場の粘弾性変形	176
1.3 粘弾塑性変形	179
1.4 粘 塑 性 体	179
<b>2. 塑 性 変 形</b>	[182~215]
2.1 弾性構成方程式と応力-ひずみマトリックス	183
2.2 降 伏 条 件	187
2.3 弾塑性問題の構成方程式の誘導	193
2.4 弾塑性応力-ひずみマトリックスの具体的表示	195
2.5 サブレイヤモデル	198
2.6 全ひずみ理論構成方程式の増分形表示	199
2.7 増分解析における積分手法	200
2.8 弾塑性問題の解析例題	205
<b>3. 粘弾性, クリープおよび応力緩和</b>	[216~269]
3.1 力学モデルによる解析	219
3.2 力学モデルによる解析例題	224
3.3 状態方程式によるクリープ解析	229
3.4 状態方程式によるクリープ解析例題	238
3.5 簡易クリープ解析法	256
<b>4. 大変形を含む問題</b>	[270~301]
4.1 ひずみ および ひずみ速度	271
4.2 各種の応力と変化率	275

4.3	有限要素化と幾何剛性マトリックス	280
4.4	荷重補正マトリックス	283
4.5	不安定問題の解析	287
4.6	例 題	289

## 7. 破壊力学への応用

1.	概 説	[305~325]
1.1	緒 言	305
1.2	“有限要素法と破壊力学” 発展の沿革	307
1.3	有限要素法と破壊力学の話題	309
1.4	結 言	324
2.	応力拡大係数の解析	[326~334]
2.1	き裂の変形様式と応力拡大係数	326
2.2	2次元問題における応力拡大係数の解析	328
2.3	3次元問題における応力拡大係数の解析	330
3.	単調荷重に対する弾塑性応答	[335~353]
3.1	き裂先端の塑性域および開口変位の解析	335
3.2	$J$ 積分の解析	338
3.3	$J$ 積分とき裂開口変位の関係	340
3.4	$J$ 積分とストレッチゾーンの関係	343
3.5	き裂伝播の解析	348
4.	繰返し荷重に対する弾塑性応答	[354~367]
4.1	繰返し荷重に対する計算法	354
4.2	停留き裂の解析	356
4.3	疲労き裂伝播の解析	360
4.4	応 用 例	364
5.	多結晶体および複合材料の機械的挙動	[368~397]
5.1	金属結晶体についての基礎	368
5.2	金属結晶の応力-ひずみマトリックス	371
5.3	多結晶体の解析例	376
5.4	複合材料についての基礎	380
5.5	複合材料の応力-ひずみマトリックス	381

5.6	複合材料の解析例	389
-----	----------	-----

## 6. 溶接と熱塑性加工問題への応用 [398~411]

6.1	まえがき	398
6.2	温度に伴う金属材料の組織, 諸性質の変化の特徴	398
6.3	材料特性の理想化	399
6.4	解析理論	400
6.5	解析手順	404
6.6	各種熱加工における力学現象の特徴と解析上の取扱い	406
6.7	解析例	407
6.8	あとがき	411

## 7. 連続分布転位論への応用 [412~422]

7.1	まえがき	412
7.2	連続分布転位論概説	412
7.3	1個の刃状転位のまわりの応力場	414
7.4	弾性き裂モデル	416
7.5	弾塑性解析	418
7.6	あとがき	421

## 8. 構造工学諸分野への応用

### 1. 概 説 [425]

### 2. 代表的例題 [426~477]

2.1	はじめに	426
2.2	線形応力・変形問題	427
2.3	座屈・大変形問題	437
2.4	弾塑性・クリープ問題	441
2.5	動的問題	447
2.6	温度解析	457
2.7	破壊力学の問題	468
2.8	弾塑性大変形問題	470

### 3. 構造工学分野での実際的例題 [478~575]

3.1	土木工学	478
3.1.1	橋梁構造	478
3.1.2	ダムおよび盛土	480

3.1.3	掘削および斜面	484
3.1.4	擁壁	486
3.1.5	トンネルおよび地下空洞	486
3.1.6	地盤と構造物の連成震動	491
3.1.7	圧密	493
<b>3.2</b>	<b>建築工学</b>	<b>499</b>
3.2.1	建築構造工学における有限要素法の応用	499
3.2.2	壁の解析	499
3.2.3	連層耐震壁の解析	501
3.2.4	ケーブルネットの解析	505
3.2.5	HPシェル屋根の解析	510
<b>3.3</b>	<b>機械工学</b>	<b>515</b>
3.3.1	ボイラ炉壁の熱応力解析および 支持鉄骨の地震応答解析	515
3.3.2	ターボ圧縮機羽根車など回転機械部品の 応力解析	522
3.3.3	自動車外板の張り剛性解析	529
<b>3.4</b>	<b>船舶工学</b>	<b>532</b>
3.4.1	概説	532
3.4.2	船舶への実際の応用例	532
<b>3.5</b>	<b>航空宇宙工学</b>	<b>541</b>
3.5.1	概要	541
3.5.2	翼-胴結合構造の応力解析	542
3.5.3	航空機の天蓋構造の解析	544
3.5.4	翼構造の振動解析	546
3.5.5	開口のある補強円筒シェルの座屈解析	548
<b>3.6</b>	<b>原子工学およびプラント工学</b>	<b>551</b>
3.6.1	有限要素法による機器設計	551
3.6.2	配管の応力解析	551
3.6.3	容器の応力解析	553
3.6.4	熱応力解析	556
3.6.5	複雑な構造物の応力解析	566
3.6.6	非弾性解析	569
3.6.7	その他の重要な構造解析	574

## 9. 構造工学以外の分野への応用

<b>1. 概 説</b>	[581~585]
1.1 有限要素法と物理学	581
1.2 物理学の基本法則	582
1.3 微分方程式, 積分方程式および計算機シミュレーション	585
<b>2. 連続体力学の数学的基礎</b>	[586~594]
2.1 離散系と連続体	586
2.2 ひずみ関数	587
2.3 応力関数	587
2.4 構成方程式	587
2.5 Green の積分	587
2.6 自己随伴, 非自己随伴形微分式	588
2.7 変分原理	589
2.8 境界値問題	590
2.9 固有値問題	592
2.10 発展方程式	593
<b>3. 場理論の定式化</b>	[595~607]
3.1 熱伝導	595
3.2 物質移動(拡散)	595
3.3 理想流体のポテンシャル流れ	597
3.4 粘性流体力学	598
3.5 非粘性, 圧縮性流体力学	599
3.6 粘性, 圧縮性流体力学	601
3.7 波 動	602
3.8 油 膜	604
3.9 電 磁 場	605
<b>4. 変分原理あるいは重みつき残差法あるいは選点法による有限要素法の定式化</b>	[608~617]
4.1 概 説	608
4.2 重みつき残差法, Galerkin 法, 変分法などの分類ならびに位置づけ	608
4.3 重みつき残差法	610
4.4 選 点 法	610
4.5 最小二乗法	611
4.6 選点最小二乗法	611



4.7	重みつき残差法	612
4.8	Galerkin 法	613
4.9	変分法	613
4.10	時間依存系	615
4.11	数値計算による諸計算法の比較	616
<b>5.</b>	<b>流体力学への応用 (I)</b>	<b>[618~652]</b>
5.1	理想流体の非回転運動の解析	618
5.2	翼理論における有限要素法 (特異点法)	631
5.3	圧縮性流れ解析	640
5.4	補遺	646
<b>6.</b>	<b>流体力学への応用 (II)</b>	<b>[653~668]</b>
6.1	概説	653
6.2	粘性流体への応用	653
6.3	浅水長波方程式に対する応用	658
<b>7.</b>	<b>空力弾性, 水力弾性への応用</b>	<b>[669~681]</b>
7.1	空力弾性	669
7.2	水力弾性	676
<b>8.</b>	<b>熱伝導および高温強度問題への応用</b>	<b>[682~698]</b>
8.1	熱伝導の方程式	682
8.2	Galerkin 法による有限要素法の定式化	683
8.3	汎関数を用いた有限要素法の定式化	685
8.4	非定常熱伝導問題の時間積分について	686
8.5	高温強度問題の解析と評価の例	686
<b>9.</b>	<b>移動現象, 拡散問題</b>	<b>[699~711]</b>
9.1	移動現象概説	699
9.2	拡散問題の有限要素解析	702
<b>10.</b>	<b>電磁気学の分野への応用</b>	<b>[712~741]</b>
10.1	電磁場の解析	712
10.2	回路網と等価回路	717
10.3	音響問題	724
10.4	その他の応用	731

## 10. 境界要素法

<b>1. 境界要素法の基本概念</b>	[745~751]
1.1 まえがき	745
1.2 研究の展望	745
1.3 BEM の基礎	746
<b>2. 弾性問題 (I)</b>	[752~763]
2.1 3次元弾性問題の解析	752
2.2 平面問題の解析	755
2.3 立体平面問題の解析	756
2.4 軸対称体の解析	757
2.5 物体力場および初期応力場の解析法	759
<b>3. 弾性問題 (II)</b>	[764~770]
3.1 破壊力学問題の解析	764
3.2 接触問題の解析	765
3.3 異方性体の問題	768
3.4 最適設計問題の解析	769
<b>4. 弾性問題 (III)</b>	[771~782]
4.1 Saint-Venant のねじり問題	771
4.2 はりの曲げ問題	772
4.3 平板の曲げ問題	775
<b>5. 材料非線形問題</b>	[783~790]
5.1 弾塑性問題	783
5.2 粘弾性問題	788
<b>6. 熱応力およびクリープ問題</b>	[791~799]
6.1 熱伝導問題	791
6.2 熱弾性問題	794
6.3 熱弾塑性問題	796
6.4 クリープ問題	797
<b>7. 動的問題</b>	[800~804]
7.1 非定常動弾性解析	800
7.2 定常動弾性問題	802

<b>8. 連成問題の解析</b>	[805~807]
8.1 有限要素法と境界要素法の結合解法	805
8.2 構造と流体の連成問題の解析例	806
<b>9. 解析上の諸問題</b>	[808~811]
9.1 角点における表面力不連続問題	808
9.2 表面応力と内部応力の求め方の改良	809
9.3 誤差評価と数値積分の効率化	810
<b>10. 基本解</b>	[812~816]
10.1 1次元問題	812
10.2 2次元問題	813
10.3 3次元問題	815
<b>11. 境界要素法の空気力学への応用</b>	[817~825]
11.1 渦面法	818
11.2 わき出しと二重わき出しを用いる方法	818
11.3 わき出し, 二重わき出し, 渦の面分布	820
11.4 Smith の流れを汲むパネル法	821
11.5 渦格子法	822
11.6 振動する揚力面	823
11.7 Morino の方法への補遺	824
<b>12. 境界要素法の非線形自由表面流問題への応用</b>	[826~831]
付録 第12節, 式(6)の導出	829
<b>13. おわりに</b>	[832]

## 11. コンピュータ・プログラミング

<b>1. 概 説</b>	[835~845]
1.1 序 論	835
1.2 有限要素プログラムの調査	835
1.3 有限要素プログラムと関連技術	840

<b>2.</b>	<b>入力データ作成ルーチン</b>	[846~883]
2.1	半自動分割の入力モジュール概要	846
2.2	プログラムの説明	853
<b>3.</b>	<b>サンプル・プログラム</b>	[884~989]
3.1	概 要	884
3.2	CALLING TREE	885
3.3	使用上の制限	885
3.4	インプット・カードフォーマット	886
3.5	スクラッチ・ファイル一覧	890
3.6	プログラム説明	895
<b>4.</b>	<b>出力データの表示のためのサブプログラム DSPLAY</b>	[991~1024]
4.1	概 要	991
4.2	使 用 法	991
4.3	制限とエラーメッセージ	993
4.4	作図の説明	994
4.5	プログラムのフロー	995
4.6	プログラムの説明	997
<b>5.</b>	<b>固有値解析のためのサブスペース法のプログラム</b>	[1025~1076]
5.1	はじめに	1025
5.2	引数の説明	1026
5.3	出力データ	1028
5.4	アルゴリズム	1029
5.5	プログラムの説明	1031
5.6	数値計算例	1062