

耐震工学

東京大学名誉教授・埼玉大学教授
工学博士

岡本舜三 著

オーム社

目 次

第1章 地 震

1・1 地球の構造	1		
〔1〕 構 成	1	〔3〕 地震波の伝播速度	2
〔2〕 地球内の温度および圧力	1	〔4〕 地殻の構造	2
1・2 地球の歴史	2		
〔1〕 地質年代	2	〔2〕 造山運動	2
1・3 地 震	4		
〔1〕 震 源	4	〔3〕 地震帯	7
〔2〕 原 因	6		
1・4 地震現象	7		
〔1〕 序 説	7	〔4〕 断 層	9
〔2〕 地震動	7	〔5〕 津 波	11
〔3〕 地殻変動	8		
1・5 地 震 波	11		
〔1〕 実体波	11	〔3〕 走時曲線	13
〔2〕 表面波	12		
1・6 地震時の振動観測	13		
〔1〕 地震時の振動観測	13	〔2〕 地震計	14

第2章 地震の強さ

2・1 震 度 階	19		
〔1〕 気象庁震度階	19	〔2〕 MM 震度階	19
2・2 工学的震度	21		
〔1〕 加速度による震度	21	〔2〕 速度による震度	22
2・3 地震の規模	24		
〔1〕 マグニチュード	24	〔3〕 最大振幅をもつ波動の周期	26
〔2〕 地震動の最大振幅	25	〔4〕 地震動のエネルギー	27

第3章 本邦の地震事情

3・1 一般	29
3・2 地震帯	38
〔1〕 総説	38
〔2〕 外側地震帯	39
〔3〕 内側地震帯	42
〔4〕 伊勢越前地震帯	43
3・3 地質構造との関係	43
3・4 地震の頻度	45
3・5 地震の危険度	46

第4章 大地震と被害状況

4・1 濃尾地震 (1891年)	49
〔1〕 河川	50
〔2〕 ダム	50
〔3〕 鉄道	50
〔4〕 道路	50
4・2 関東地震 (1923年)	52
〔1〕 河川	54
〔2〕 港湾	54
〔3〕 道路	55
〔4〕 鉄道	55
〔5〕 上水道	56
4・3 北丹後地震 (1927年)	56
4・4 三陸津波 (1933年)	57
4・5 静岡地震 (1935年)	63
4・6 男鹿半島地震 (1939年)	64
4・7 鳥取地震 (1943年)	65
4・8 東南海 (東海道) 地震 (1944年)	65
4・9 三河地震 (1945年)	66
4・10 南海地震 (1946年)	66
〔1〕 河川と海岸	67
〔2〕 港湾	68
〔3〕 道路	68
〔4〕 鉄道	68
4・11 福井地震 (1948年)	69
〔1〕 鉄道	69
〔2〕 道路	70
〔3〕 上水道	71
〔4〕 河川	71
4・12 今市地震 (1949年)	71
〔1〕 河川	72
〔2〕 建築物	72
〔3〕 鉄道	73
〔4〕 道路	73
〔5〕 上水道	73
4・13 十勝沖地震 (1952年)	73

[1] 河川	74	[3] 上水道	74
[2] 橋梁	74	[4] 港湾	74
4・14 チリ地震津波 (1960年)	74		
4・15 北米濃地震 (1961年)	75		
4・16 新潟地震 (1964年)	76		
[1] 河川	77	[5] 上下水道	80
[2] 港湾	78	[6] 電力施設	81
[3] 鉄道	78	[7] 建築	81
[4] 道路	79		
4・17 松代群発地震 (1965~1967年)	81		
4・18 十勝沖地震 (1968年)	83		
[1] 道路	83	[4] アースダムおよび干拓堤防	85
[2] 鉄道	83	[5] 上下水道	86
[3] 港湾	84		
4・19 諸外国における地震	86		
[1] Agadir 地震	87	[5] Varto 地震	89
[2] チリ地震	87	[6] Koyna 地震	90
[3] Skopje 地震	88	[7] Caracas 地震	90
[4] Alaska 地震	88	[8] Peru 地震	90

第5章 地盤の影響

5・1 序 説	93		
5・2 沖積地盤の地震動	94		
[1] 沖積地盤の周波数特性	94	[4] 埋立地の地震動	105
[2] 沖積地盤における地震動の強さ	99	[5] 土質地盤の地下における地震動	106
[3] 地盤別震度図	104		
5・3 岩盤地域の地震動	108		
[1] 岩盤地域における震害の特徴	108	[3] 地震動の波形	110
[2] 硬地盤における地震動の変位 および加速度	108	[4] 岩質地盤の地下における地震動	112
5・4 弾性波の伝播	112		
[1] 地震波の方程式	112	[3] 地表面における波動の反射	114
[2] 波動における粒子の速度と波動の エネルギー	114	[4] 地層境界面における波動の反射と 透過	115
5・5 表面層内における波動の多重反射	118		
[1] 1層の表面層がある場合の多重反射	118	[3] 非弾性的性質をもつ表面層内の 多重反射	123
[2] 多層の表面層がある場合の多重反射	119		

第6章 計画地震動

1 序 説.....125

2 地震動の振幅.....126
 [1] 統計的手段により推定する方法.....126 [2] 構造地震学的考察より推定する方法.....128

3 地震動の波形.....130
 [1] 序 説.....130 [3] モデル地震波の修正.....136
 [2] モデル地震波動.....131

4 震央部の地震動.....140
 [1] 序 説.....140 [3] 震 度.....142
 [2] 地 変.....142

5 計画地震の決定.....146

9・3 の
 []
 9・4 振
 []
 9・5 地
 []
 9・6 地
 []
 []

第7章 耐震設計法概説

1 震 度 法.....149
 [1] 序 説.....149 [3] 水中構造物に対する震力係数.....151
 [2] 震力係数.....149 [4] 震度法の適用例.....151

2 動的解析 (弾性構造).....156
 [1] 序 説.....156 [3] 多自由度系弾性構造物.....167
 [2] 1自由度系弾性構造物.....156

3 動的解析 (非弾性構造).....176
 [1] 1自由度系非弾性構造物.....176 [2] 不完全弾塑性体の応答振動.....179

10・1 〃
 []
 []
 []
 10・2 〃
 []
 []

第8章 耐 震 規 定

1 序 説.....183

2 各種構造物に対する耐震規定.....184
 [1] 橋 梁.....185 [5] 建 築.....190
 [2] 水道施設.....188 [6] 原子力発電所.....191
 [3] ダ ム.....188 [7] SEAOC の規定.....192
 [4] 港 湾.....189

11・1 〃
 11・2 〃
 11・3 〃
 []
 11・4 〃
 []
 11・5 〃
 []
 []

第9章 土構造物の耐震

序 説.....195

土の動的性質.....196
 [1] 土の組成.....196 [2] 土の動的強度.....199

12・1 〃
 []
 []
 []

9・3 のり面の安定	207
〔1〕 常時におけるのり面の安定.....	207
〔2〕 地震時におけるのり面の安定.....	210
9・4 擁壁に及ぼす土圧	212
〔1〕 クーロンの土圧論.....	212
〔2〕 物部博士の地震時土圧論.....	216
9・5 地盤の支持力	220
〔1〕 地盤の常時極限支持力.....	220
〔2〕 地盤の地震時極限支持力.....	222
9・6 地盤の沈下と破壊	226
〔1〕 地盤の沈下.....	226
〔2〕 砂地盤の破壊.....	227
〔3〕 大規模な地すべり.....	230

第10章 道路・鉄道および河川の耐震

10・1 道路および鉄道	233
〔1〕 序 説.....	233
〔2〕 盛 土.....	233
〔3〕 切取り.....	238
〔4〕 トンネルおよびシールド.....	239
〔5〕 暗きよ.....	242
〔6〕 舗 装.....	242
〔7〕 軌道の狂いおよび波状屈曲.....	243
〔8〕 鉄道保安施設.....	245
10・2 河 川	246
〔1〕 山腹崩壊.....	246
〔2〕 築 堤.....	247
〔3〕 護 岸.....	248
〔4〕 井堰水門および樋管.....	248

第11章 港湾施設の耐震

11・1 序 説	251
11・2 埋立地, 防波堤	251
11・3 重力式繫船岸	252
〔1〕 震害一般.....	252
〔2〕 重力式岸壁におよぼす地震時土圧.....	255
11・4 矢板式繫船岸	256
〔1〕 震害一般.....	256
〔2〕 矢板工の地震時安定.....	259
11・5 栈橋式繫船岸	263
〔1〕 震害一般.....	263
〔2〕 くいの水平抵抗.....	264
〔3〕 栈橋の振動.....	267

第12章 橋梁の耐震

12・1 けた橋の震害	269
〔1〕 序 説.....	269
〔2〕 橋台の震害.....	269
〔3〕 橋脚脚柱部の震害.....	270
〔4〕 橋脚基礎工の震害.....	272
〔5〕 けた部の震害.....	274

12・2	けた橋の振動	275			
	〔1〕 序説	275	〔4〕	基礎工の振動(その1)	281
	〔2〕 微分方程式による解法	276	〔5〕	基礎工の振動(その2)	286
	〔3〕 有限要素法による解法	279	〔6〕	けた橋の地震動観測	291
12・3	上部構造の耐震設計	294			
	〔1〕 序説	294	〔4〕	高橋脚けた橋	301
	〔2〕 単げた橋	294	〔5〕	高架橋	307
	〔3〕 連続げた橋	298			
12・4	基礎工の耐震設計	308			
	〔1〕 序説	308	〔3〕	ケーソン基礎	309
	〔2〕 直接基礎	309	〔4〕	くい基礎	312
12・5	アーチ橋	317			
12・6	つり橋	318			
	〔1〕 震害	318	〔3〕	自由振動周期と減衰定数	321
	〔2〕 振動方程式の誘導	319	〔4〕	強制振動	325

第13章 重力ダムの耐震

13・1	序説	329			
	〔1〕 序言	329	〔3〕	貯水による地震の誘発	330
	〔2〕 貯水池内の山の崩壊	329			
13・2	震害	330			
13・3	ダムに働く地震力	332			
	〔1〕 堤体慣性力	332	〔2〕	動水圧	335
13・4	耐震設計	340			
	〔1〕 ダムの高さ	340	〔3〕	堤内の応力と許容応力	341
	〔2〕 滑動に対する安定	341	〔4〕	堤頂における施設の設計	341
13・5	中空重力ダム	342			

第14章 アーチダムの耐震

14・1	序説	343			
14・2	震害	343			
14・3	振動解析法	344			
	〔1〕 数理解析	344	〔2〕	模型試験による解析	346
14・4	堤体の地震時挙動	352			
	〔1〕 概説	352	〔4〕	固有振動周期	356
	〔2〕 ダム兩岸の地震動の相違	354	〔5〕	減衰定数	357
	〔3〕 堤頂における振動増幅	355	〔6〕	上下方向の振動	358

〔7〕 縦継目の影響	359		
14・5 耐震設計法	359		
〔1〕 序説	359	〔3〕 動的設計法	361
〔2〕 震度法による設計法	359	〔4〕 許容応力	362
14・6 基礎岩盤の地震時安定（滑動安定）	362		

第15章 フィルダムの耐震

15・1 震害	365		
〔1〕 震害一般	365	〔2〕 震害詳説	369
15・2 振動解析法	371		
〔1〕 序説	371	〔4〕 有限要素法	375
〔2〕 せん断ばり理論	372	〔5〕 模型実験法	377
〔3〕 階差法	374		
15・3 堤体の地震時挙動	379		
〔1〕 地震観測	379	〔2〕 自由振動	383
15・4 ダムの破壊	402		
〔1〕 アースダムの破壊	402	〔2〕 ロックフィルダムの破壊	403
15・5 耐震設計	408		
〔1〕 序説	408	〔3〕 変位法による斜面安定の検討	413
〔2〕 円形すべり面法による堤体安定の検討	410	〔4〕 応力計算による堤体安定の検討	415

第16章 水道の耐震

16・1 序説	417		
16・2 埋設管路	417		
〔1〕 震害と地盤，埋設深さ，埋設方向の関係	417	〔2〕 管および継手の種類と震害の関係	419
		〔3〕 地震時に埋設管に働く力	420
16・3 池状構造物	425		
16・4 水管橋，伏越	426		
16・5 水そう	427		

第17章 地中構造物の耐震

17・1 序説	429		
17・2 地下空洞周辺の地震時応力	432		
〔1〕 解析的方法	432	〔2〕 光弾性的方法	433

17・3 地中構造物の振動測定	435
17・4 震 害	437
17・5 沈埋函の耐震	439

第18章 建築の耐震

18・1 序 説	447
18・2 動的設計法	448
18・3 各 論	450
〔1〕 木造建築	450
〔2〕 RC造建築	452
〔3〕 鉄骨造建築	454
〔4〕 鉄骨鉄筋コンクリート造建築	455
〔5〕 組積造建築	455
参 考 文 献	457

橋梁の耐震設計と耐震補強

M.J.N.Priestley, F.Seible, G.M.Calvi 著

川島一彦 監訳

技報堂出版

目次

記号の定義 xii

1. 耐震設計のフィロソフィ 1

1.1 はじめに 1

1.2 最近の地震における橋の被害 3

1.2.1 応答変位の問題 4

1.2.2 橋台の沈下 7

1.2.3 橋脚の被害 9

1.2.4 ラーメン橋脚の横梁の被害 16

1.2.5 ラーメン橋脚の柱梁接合部の被害 18

1.2.6 フーチングの被害 20

1.2.7 鋼製部材の被害 21

1.3 耐震設計のフィロソフィ 22

1.3.1 耐力設計と弾性設計 22

1.3.2 じん性とエネルギー吸収 22

1.3.3 キャパシテイデザイン 25

1.3.4 耐力の定義 29

1.3.5 信頼性理論の耐震設計への適用 31

1.3.6 設計と応答の限界状態 32

1.4 耐震補強のフィロソフィ 36

1.4.1 耐震補強の優先度 36

1.4.2 既設橋梁の耐震性評価 37

1.4.3 耐震補強法 37

1.5 設計法 42

1.5.1 サイスマシティの設定 42

1.5.2 基本設計 43

1.5.3 モデル化と解析 43

1.5.4 設計と構造細目 44

1.5.5 設計のチェック (再解析) 44

1.5.6 免震設計 44

1.5.7 既設橋の耐震性評価と耐震補強 44

2. 基本設計 45

2.1 はじめに 45

2.2 制約条件 46

2.2.1 機能的な制約条件 46

2.2.2 地形的な制約条件 49

2.2.3 上部構造形式 52

2.3 各種の耐震構造 57

2.3.1 桁と橋脚の結合 57

2.3.2 桁と橋台の結合 63

2.3.3 橋脚形式 66

2.3.4 橋脚の断面 68

2.3.5 橋脚と基礎の接合部 72

2.3.6 基礎形式 73

2.4 深い渓谷に架ける橋 76

2.5 長大橋 78

3. モデル化と解析 79

3.1 モデル化と解析目的 79

3.2 橋のモデル化 81

3.3 サブスティチュート解析モデル 105

3.4 解析法 106

3.4.1 解析法のタイプ 106

3.4.2 静的および擬静的解析法 108

3.4.3 地震応答スペクトル解析法 119

3.4.4 時刻歴応答解析法 119

3.5 解析例 122

4. 耐震設計 137

4.1 はじめに 137

4.2 耐震設計に用いる材料の特性 138

4.2.1 横拘束されていないコンクリート 138

4.2.2	横拘束されたコンクリート	139
4.2.3	鉄筋	143
4.2.4	構造用鋼材	147
4.2.5	PC鋼材	147
4.2.6	高性能複合材料	148
4.3	キャパシテイデザイン	150
4.3.1	塑性ヒンジに要求される曲げ耐力	150
4.3.2	曲げじん性と塑性回転角	171
4.3.3	設計で想定した位置に塑性ヒンジを生じさせるために 必要な耐力	184
4.3.4	設計で想定した位置に塑性ヒンジを生じさせるために 必要な設計耐力	188
4.4	柱梁接合部の設計	208
4.4.1	柱梁接合部のせん断力	209
4.4.2	平均せん断応力度	213
4.4.3	接合部の主応力度	214
4.4.4	ひび割れが生じた接合部の力の伝達	218
4.5	定着, 定着長, 重ね継手	242
4.5.1	はじめに	242
4.5.2	設計定着長	244
4.5.3	拘束条件下での定着	245
4.5.4	鉄筋の重ね継手	247
4.5.5	曲げによる付着	250
4.6	フーチング	251
4.6.1	はじめに	251
4.6.2	曲げモーメントに対する設計	251
4.6.3	せん断力に関する設計	259
4.6.4	橋脚とフーチングとの接合部の設計	260
4.6.5	杭の設計	266
4.7	橋軸方向の桁の設計	267
4.8	ヒンジ	268
4.8.1	桁かかり長	269
4.8.2	せん断キー	270
4.8.3	桁間連結装置の設計	274

4.9	P- Δ 効果	276
4.10	設計例	279
4.10.1	例 4.1: 箱桁曲線橋の橋脚	279
4.10.2	例 4.2: 変位ベース設計法による 2 柱式橋脚	291
5.	橋梁の免震設計	303
5.1	はじめに	303
5.1.1	免震設計の概念	303
5.1.2	固有周期のシフト	304
5.1.3	減衰	306
5.1.4	地震動の特性	306
5.1.5	上下方向の応答	306
5.1.6	設計理念と構造形式	307
5.1.7	変位に対する配慮	308
5.1.8	既往の適用例と地震時の挙動	308
5.1.9	免震構造を橋梁へ適用する際の留意点	309
5.2	免震とエネルギー吸収装置	310
5.2.1	よく用いられる装置の特性	310
5.2.2	免震装置の要求性能と試験	324
5.3	モデル化, 解析, 設計	328
5.3.1	モデル化	328
5.3.2	解析	330
5.3.3	設計の考え方	341
5.3.4	キャパシテイデザインとプロテクション係数	341
5.3.5	設計方法	342
5.4	フーチングのロッキング	354
5.4.1	はじめに	354
5.4.2	橋のロッキング応答	355
5.4.3	応答スペクトル法による設計	358
5.4.4	時刻歴応答解析	362
6.	既設橋梁の耐震性評価	365
6.1	はじめに	365
6.1.1	優先度の設定	365

6.2	限界状態の評価	367
6.2.1	使用限界状態	367
6.2.2	損傷制御限界状態	368
6.2.3	生存限界状態	368
6.3	耐震性評価に用いる解析法	368
6.3.1	保有耐力/要求耐力の比に基づく解析法	368
6.3.2	プッシュオーバーアナリシス (塑性崩壊解析)	370
6.3.3	非弾性時刻歴応答解析	373
6.4	部材耐力と変形性能の評価	374
6.4.1	材料強度	374
6.4.2	構造部材間の相対耐力に対する配慮	374
6.4.3	弾性剛性	376
6.4.4	曲げ耐力	377
6.4.5	軸方向鉄筋に重ね継手を有する場合の橋脚の曲げ耐力	377
6.4.6	塑性ヒンジ部の変形性能	379
6.4.7	横梁部における曲げ耐力と変形性能	383
6.4.8	せん断耐力	386
6.4.9	柱梁接合部の耐力と変形性能	388
6.4.10	ワーキングの耐力と変形性能	394
6.4.11	上部構造の耐力と変形性能	401
6.4.12	橋台の耐震性評価	401
6.5	その他	402
6.5.1	せん断ギヤ	402
6.5.2	広幅員の橋におけるストラット作用	402
6.5.3	支承	403
6.5.4	桁間連結装置とジョイント構造	404
6.5.5	鋼上部構造の耐震評価	405

7. 耐震補強

7.1	はじめに	407
7.2	RC橋脚の耐震補強	408
7.2.1	耐震補強法	408
7.2.2	橋脚の耐震補強法	412
7.3	横梁の耐震補強	439

7.3.1	横梁に作用する地震力を低減する方法	440
7.3.2	横梁の耐力の向上法	441
7.4	横梁と橋脚との接合部の耐震補強	466
7.4.1	接合部に作用する地震力の低減	466
7.4.2	地震後の補修を前提とした損傷の許容	466
7.4.3	接合部へのプレストレスの導入	447
7.4.4	巻立て補強	448
7.4.5	接合部の取替え	450
7.5	上部構造の耐震補強	452
7.5.1	可動部桁端の耐震補強	452
7.5.2	上部構造の曲げ耐力	456
7.6	ワーキングの耐震補強	460
7.6.1	安定性の向上	460
7.6.2	曲げ耐力の向上	462
7.6.3	せん断耐力の向上	462
7.6.4	ワーキングと橋脚との接合部におけるせん断補強法	463
7.7	免震設計を用いた耐震補強	465

参考文献

索引	479
----	-----

地下構造物

の

耐震設計

川島一彦 編著

鹿島出版会

た。また、地下構造物に対する免震設計や地震対策等最近の新しい研究成果も示している。

なお、地盤の液状化は地下構造物の耐震設計で重要な検討項目の一つであるが、これについては現在各種研究が精力的に進められている現状であることから、本書では割愛することとした。

本書が、応答変位法や地下構造物の耐震設計、地震防災対策に関する理解を深めるために少しでも役立てば、著者らの望外の喜びとするところである。

なお、本書の執筆に際しては、内外の多数の研究成果を利用していただいた。また、編集に当たっては、鹿島出版会の橋口聖一氏の献身的なご協力を得た。ここに記して厚く御礼申し上げる次第である。

1994年4月

編著者 川島一彦

目次

まえがき

第1章 地下構造物の地震被害と振動特性

1.1 地下構造物の地震被害	1
(1) 1923年関東大震災	1
(2) 1964年新潟地震, 1983年日本海中部地震	2
(3) 1978年宮城県沖地震	2
(4) 1978年伊豆大島近海地震	3
(5) 1985年メキシコ地震	3
1.2 地震体験に基づく地下構造物の振動特性	5
1.3 地下構造物の振動特性	6

第2章 地震動および地盤の特性

2.1 地盤の最大加速度, 最大速度, 最大変位	11
2.2 上下方向の最大加速度, 最大速度, 最大変位	15
2.3 地震動の継続時間	17
2.4 加速度応答スペクトル	20
2.5 地盤内の加速度	26
2.6 地盤振動の解析	31
2.7 基盤の選定	33
2.8 地震動の箇所別の変化	36
2.9 地震動による地盤変形と耐震設計上の取扱い	41

5.4	継手を設けた場合の地震時断面力の低減	83
5.5	地盤条件が変化する場合の地震時断面力の割増	84
5.6	地震時断面力の重ね合せ	87

第6章 シールドトンネルの耐震設計

6.1	シールドトンネルの構造	89
(1)	シールド工法	89
(2)	覆工構造	90
6.2	トンネル長手方向の耐震設計法	92
(1)	耐震設計フロー	92
(2)	力学モデル	94
(3)	応答変位法	106
(4)	動的解析法	109
6.3	トンネル横断方向の耐震設計法	111
(1)	耐震設計フロー	111
(2)	応答変位法	113
(3)	動的解析法	119
(4)	地震時増分断面力の特性	122
6.4	耐震計算例	123
(1)	耐震計算の対象	123
(2)	トンネル長手方向の耐震計算	125
(3)	トンネル横断方向の耐震計算	127

第7章 地下駐車場の耐震設計

7.1	地下駐車場と耐震設計	131
7.2	地下駐車場の構造とモデル化	131
(1)	版げた構造	131
(2)	はり柱構造	132
(3)	フラットスラブ構造	132
7.3	応答変位法による耐震設計に考慮する荷重	133
(1)	構造物の重量に起因する慣性力	133
(2)	地震時土圧	134

第3章 応答変位法による耐震計算

3.1	地下構造物の耐震計算法	43
3.2	応答変位法	45
(1)	考え方と荷重の与え方	45
(2)	自然地盤の応答変位を用いるには	49
3.3	矩形断面の地下構造物に対する応答変位法の適用	50
(1)	構造物-地盤全体系のモデル	50
(2)	動的解析法	51
(3)	応答変位法	52
(4)	計算結果の比較	55
3.4	線状地下構造物の長手方向に対する応答変位法の適用	56

第4章 沈埋トンネルの耐震設計

4.1	沈埋トンネルと耐震設計	61
4.2	沈埋トンネルの振動特性	61
4.3	沈埋トンネルの動的解析	63
(1)	解析の基本	63
(2)	表層地盤のモデル化	65
(3)	表層地盤の地震応答計算	67
(4)	地盤の拘束を表すばね K_{sl} の設定	67
4.4	動的解析の適用例	68
(1)	可とう性継手の効果	68
(2)	入力地震動の位相差	69
(3)	地盤剛性のばらつき	71
(4)	可とう性継手の剛性の非線形化モデル	73
(5)	実測記録との比較に基づく動的解析の精度	75

第5章 共同溝の耐震設計

5.1	共同溝と耐震設計	77
5.2	耐震設計上考慮する荷重と設計条件	78
5.3	応答変位法による断面力の計算	81

10.4 新しい地下街で軽減された不安項目171

10.5 不安を抱いていると何が起るか173

10.6 いくつつかの方策176

参考文献179

索引183

(3) 地震時周面せん断力135

7.4 地震時地盤ばね定数135

7.5 応答変位法による耐震計算137

7.6 動的解析による照査139

(1) 解析モデル139

(2) 入力地震動139

耐震

第8章 鉛直地下構造物の耐震設計

8.1 鉛直地下構造物と耐震設計141

8.2 鉛直地下構造物の地震時挙動141

(1) 地震観測に基づく振動特性141

(2) 動的解析による振動特性の検討145

8.3 応答変位法の適用147

(1) 解析対象148

(2) 動的解析法による耐震計算148

(3) 応答変位法による耐震計算151

免震

第9章 地下構造物の免震技術

9.1 免震技術の現状155

9.2 実用化されている免震技術156

(1) 可とう性継手を配置する構造156

(2) シールドトンネルのリング継手の剛性を低減させる構造156

9.3 実用化が期待される新しい免震技術158

(1) シールドトンネルのリング継手にプレストレスを導入する構造158

(2) 免震材を用いる構造160

設

第10章 耐震設計と地震対策

10.1 地下施設での地震167

10.2 どのような不安を抱くのか168

10.3 どのような原因で不安を抱くのか169

下

地盤
構造
設計
照査

地

震
動
観測
動的
解析
耐震
計算
応答
変位
法

免

震
技術
現状
実用
化
期待
される
新しい
免震
技術

設
計
と
地
震
対
策
地下
施設
での
地震
どの
よう
な
不安
を抱
く
の
か
どの
よう
な
原因
で
不安
を抱
く
の
か

構造物と地盤の 動的相互作用解析

時間領域処理法

J.P.ウォルフ=著

動的解析研究会=訳

鹿島出版会

会により行われたことは誠に喜ばしいことである。色部誠博士，日本大学教授の塩尻弘雄博士および同助教授白井伸明博士が，翻訳グループの中心メンバーとして尽力された。また，私と一緒にスイスにおいて一年間の研究生活を行い，時間領域における効率的計算アルゴリズムとして極めて重要である再帰的評価法（本書第4章，原著第6章で述べられている）の基本的考え方を研究してまとめた，東北大学助教授の源栄正人博士（元 鹿島建設小堀研究室）が翻訳作業への協力を含め日本語版刊行に貢献された。私はこれらの方々の多大な仕事に対し感謝の意を表したい。

日本語版が，地震国日本において行われている地震を対象とした構造物と地盤の動的相互作用解析に発展をもたらずと同時に，解析法を改善するために研究者により刺激を与えることになれば幸いである。

スイス連邦工科大学ローザンヌ校

John P. Wolf

John P. Wolf

目次

推薦のことば

日本語版への序

序 文

著者序文

第1章 序 論	1
1.1 取り扱う問題	1
1.2 主な特徴	3
1.3 サブストラクチャー法と直接法	3
1.4 サイトの開放地盤応答	5
1.5 本の構成	6
まとめ	7

第2章 直接法	9
2.1 1次元波動伝播	10
2.1.1 角 棒	10
2.1.2 せん断を受ける円錐	13
2.1.3 球形空洞の対称波応答	15
2.1.4 ねじりを受ける円錐	16
2.2 弾性床上の半無限長の棒	18
2.2.1 波の種類	18
2.2.2 分散と遮断振動数の運動に対する影響	21
2.2.3 狭帯域パルスの伝播	22
2.2.4 振動数領域における動的剛性係数	24
2.2.5 ベンチマーク問題の厳密解	25
2.2.6 境界までの領域の空間的および時間的離散化	26
2.3 重ね合せ境界	27
2.3.1 対称境界条件の解と逆対称境界条件の解の平均	27
2.3.2 現実に近い反射波の消去	29
2.4 仮想材料減衰	34

3.5.2 安定条件 95

3.5.3 数値的証明 96

まとめ 98

第4章 地盤の動的剛性を用いるサブストラクチャー法 101

4.1 基礎運動方程式 101

4.1.1 剛性定式化 101

4.1.2 柔性定式化 104

4.1.3 散乱運動 105

4.2 時間領域における動的剛性係数 105

4.2.1 時間領域における計算 105

4.2.2 振動数領域から時間領域への変換 108

4.3 振動源からの高振動数の波の挙動 112

4.3.1 方向維持性の増大 112

4.3.2 無限大振動数に対する動的剛性係数 114

4.4 時間領域における動的柔性係数 119

4.4.1 時間領域における計算 119

4.4.2 振動数領域から時間領域への変換 121

4.5 履歴減衰 127

4.5.1 非因果挙動 127

4.5.2 対称波の作用を受ける球形空洞 127

4.6 計算法 129

4.6.1 ニューマークの時間積分スキーム 129

4.6.2 陽解法 129

4.6.3 陰解法 131

4.7 免震構造物 133

4.8 振動数領域における畳込み積分の再帰的評価 135

4.8.1 序 135

4.8.2 対称波の作用を受ける質量を有する球形空洞 135

4.8.3 逐次フーリエ変換 138

4.8.4 再帰法 142

4.8.5 演算回数 148

4.9 時間領域における再帰式による畳込み積分の計算 149

4.9.1 留意点 149

4.9.2 インパルス不変法 151

2.5 粘性ダンパー 34

2.6 2重漸近近似 36

2.7 パラキシャル境界 37

2.7.1 概念 37

2.7.2 ベンチマーク問題 40

2.7.3 一般化 44

2.8 外挿法 44

2.8.1 概念 44

2.8.2 拡張 48

2.9 人工境界の位置 49

2.9.1 概説 49

2.9.2 実体波 50

2.9.3 表面波 54

2.10 開放地盤荷重 65

2.11 浮上りおよび滑りが生じる弾塑性免震構造物 66

2.11.1 計算手順 66

2.11.2 浮上りおよび滑りが生じる原子炉建屋 69

2.11.3 弾塑性免震を有する原子炉建屋 71

まとめ 73

第3章 振動数-時間領域ハイブリッド解析法 75

3.1 定式化 76

3.1.1 基本的手順 76

3.1.2 収束条件 77

3.1.3 注釈 78

3.2 弾性床上の半無限棒と非線形パネで結ばれた質量 79

3.3 調和外乱に対する安定条件 82

3.3.1 1自由度系 82

3.3.2 多自由度系 85

3.4 時間区間を分割して実行される繰返し計算スキームの収束特性 86

3.4.1 区間の分割法 86

3.4.2 振動数に独立なパラメータをもつ非線形2自由度系 87

3.4.3 一部に浮上りを生じる半無限地盤上の剛体ブロック 90

3.5 過渡的外乱に対する安定条件 94

3.5.1 初期値定理 94

x	目次	
4.9.3	z 変換による区分法	155
4.9.4	振動数領域の動的剛性係数から再帰式の直接誘導	159
4.9.5	演算回数	164
4.9.6	弾性地盤上の半無限棒	165
	まとめ	170
	第5章 地盤のグリーン関数を用いたサブストラクチャ法	173
5.1	グリーン関数	174
5.1.1	球形空洞の対称波問題	174
5.1.2	無限地盤におけるスカラー波	178
5.1.3	無限地盤における動弾性波	181
5.1.4	特性	183
5.1.5	成層半無限地盤	184
5.2	弾性動力学における時間依存境界積分方程式	190
5.2.1	基本原理	190
5.2.2	マックスウェル-ベッティの相反定理	190
5.2.3	表現定理	192
5.3	境界積分方程式の空間的・時間的離散化	193
5.3.1	基本的な手順	193
5.3.2	重み付き残差法	194
5.3.3	間接 BEM	198
5.3.4	直接 BEM	202
5.3.5	演算回数	204
5.4	対称波を伴う球形空洞	206
5.4.1	解析解	206
5.4.2	離散化	208
5.4.3	解析結果	208
5.5	剛体円盤の柔性	210
5.6	ベースマットの部分的な浮上りを伴う構造物	211
5.7	埋込み基礎剛壁の剝離とベースマットの浮上り	213
5.7.1	計算例	213
5.7.2	計算手順	214
5.7.3	線形解析	215
5.7.4	非線形解析	216
	まとめ	219
	付録	
A 1	無限地盤内の球形空洞の振動数応答	221
A 2	離散化モデル	223
A 2.1	基本的離散化モデル	223
A 2.2	円盤基礎	224
A 2.3	埋込み円筒基礎	226
A 2.4	材料減衰	229
A 3	金床の部分的浮上りが生じるハンマー基礎	230
A 4	振動数領域の構造物-地盤系基礎運動方程式	233
A 5	層状地盤の面外運動	234
A 6	層状地盤の面内運動	235
	問題	
	問題 1~17	237
	参考文献	
	索引	

地震と耐震設計

(改訂版)

工学博士 大屋竹之著

槓書店

目 次

1 章 地 震

1-1 地球の内部構造	1
(1) 地殻	2
(2) 地震波	2
(3) 地震波による地球内部の推定	3
(4) マントル対流	4
1-2 地震の原因	5
(1) 海洋底拡大説	6
(2) 我国における地震の分布	9
(3) 地殻の歪	10
1-3 地震の大きさと強さ	12
(1) 地震の大きさ	12
(2) 地震の強さ	12
(3) マグニチュードと震度	14
1-4 地盤の振動	15
(1) 大森公式	15
(2) 地盤の振動性状	15
(3) 地盤の振動理論	17
(4) 設計用地震動の諸説	22
1-5 地震による被害	23
(1) 地盤変動による被害	23
(2) 構造物の振動による被害	25
(3) 津波による被害	27
(4) 地震後の火災による被害	28
1-6 地震の予測	29
(1) 統計的方法による予測	29
(2) 地殻変動調査による予測	31

2 章 構造物の自由振動

2-1 非減衰性の振動方程式	35
(1) 1質点系の振動方程式	35
(2) 変位連結法による振動方程式	36
(3) 剪断形の振動方程式	37
(4) 加速度連結法による振動方程式	38
(5) 変形法による振動方程式	40
(6) 振れ振動の振動方程式	44
2-2 減衰性の振動方程式	46
(1) 減衰定数	46
(2) 変位連結法による減衰振動方程式	51
(3) 剪断形の減衰振動方程式	51
(4) 加速度連結法による減衰振動方程式	52
(5) 振れ振動の減衰振動方程式	53
(6) ロッキング振動の減衰振動方程式	54
2-3 固有値問題	55
(1) 1質点系の固有値問題	55
(2) 変位連結法における固有値問題	56
(3) 剪断形における固有値問題	57
(4) 加速度連結法における固有値問題	58
(5) 変形法における固有値問題	60
(6) 振れ振動における固有値問題	61
2-4 固有値問題の数値計算	63
(1) ホルツァー法	64
(2) パワー・メソッド	66
(3) 試索法	68
2-5 単純な構造物のパネ定数と固	

有周期.....69 (2) 固有周期.....71
 (1) バネ定数.....70

3章 構造物の強制振動

3-1 加振力による強制振動.....73 (1) 復元力特性.....88
 (2) 非減衰性の強制振動.....73 (2) 1質点系の地震応答.....89
 (3) 減衰性の強制振動.....74 (3) 直列多質点系の地震応答.....92
 (4) レスポンス・スペクトラム.....75 (4) 大張間構造の地震応答.....94
 3-2 (1) 速度スペクトル.....75 3-8 地盤と建物の相互作用.....96
 (2) レスポンス・スペクトラムの数値計算.....76 (1) モデル(A).....97
 (2) モデル(C).....98
 3-3 刺激関数.....78 3-9 地震応答解析上の問題点.....99
 3-4 モーダル・アナリシス.....80 (1) 入力地震波の仮定.....99
 3-5 Root Mean Square法.....82 (2) 復元力特性の仮定.....100
 3-6 直接積分法.....86 (3) 減衰性の仮定.....100
 3-7 構造物の弾塑性振動.....88

4章 耐震設計

4-1 耐震設計基準.....101 (1) 振りモーメントによる柱剪断力の補正.....111
 (1) 地域別 (β).....102 (2) 床変形による柱剪断力の補正.....113
 (2) 地盤種別と構造種別 (α).....103 (3) ラーメンの応力解析.....116
 4-2 新耐震設計基準.....103 4-4 保有水平耐力.....122
 (1) 総説.....104 (1) 保有水平耐力.....122
 (2) 1次設計.....105 (2) ラーメンの保有水平耐力.....124
 (3) 2次設計.....107 (2) 壁の保有水平耐力.....124
 (4) 計算手順.....110 4-5 耐震設計上の注意事項.....126
 4-3 構造解析.....111

5章 構造設計

5-1 鉄筋コンクリート.....130 (2) 曲げ材.....143
 (1) 梁材.....131 (3) 組合せ応力.....148
 (2) 柱材.....132 (4) 仕口.....150
 (3) 剪断補強.....134 (5) 骨組構造の座屈.....151
 (4) 仕口.....139 (6) 鉄骨骨組構造の地震被害の考察.....159
 5-2 鉄骨構造.....141 5-3 基礎地盤.....160
 (1) 圧縮材.....141

5-3-1 土の物理的性質.....161 5-3-3 軟弱な粘性土地盤の不同沈下対策.....178
 (1) 土の分類.....162 (1) 圧密沈下のメカニズム.....178
 (2) 土の基本的性質の試験.....163 (2) 不同沈下の原因.....180
 (3) 粒度試験.....166 (3) 不同沈下の対策.....182
 (4) コンスタレーション試験.....167 5-3-4 軟弱な砂地盤の液状化対策.....184
 (5) 圧縮試験.....168 (1) 液状化のメカニズム.....184
 (6) 圧密試験.....171 (2) 液状化危険度の判定.....185
 (7) S波検層.....174 (3) 液状化対策.....187
 5-3-2 土の動的性質.....175 5-3-5 斜面崩壊とその対策.....187
 (1) 地盤の剪断剛性.....175 (1) 斜面崩壊のメカニズム.....188
 (2) 地盤の減衰性.....176 (2) 斜面の安定計算法.....190
 (3) ポアソン比.....177 (3) 斜面的地盤係数.....192
 (4) 動的地盤係数.....177
 参考文献.....195
 索引.....197