

実務に役立つ耐震設計入門

目 次

第1章 耐震設計の体系および基準変遷

1

1.1 耐震設計とは	1
1.2 耐震基準の変遷	2
1.2.1 1924年市街地建物法から1972年新耐震設計法まで	2
1.2.2 1972年新耐震設計法から1995年兵庫県南部地震まで	4
1.2.3 1995年兵庫県南部地震以降	5
1.3 国際規格における耐震設計とその位置づけ	7
1.3.1 国際規格の位置づけ	7
1.3.2 国際規格における耐震設計の概要 (ISO23469について)	8
1.4 耐震設計の将来	12
1.4.1 土木学会の提言	12
1.4.2 将来に向けて	14
参考文献	15

第2章 ものの揺れ方

17

2.1 はじめに	17
2.2 ものの揺れをどう解析するか	17
2.2.1 振動モデル	17
2.2.2 揺れを起こすもの	19
2.3 1自由度系の線形応答	20
2.3.1 1質点系の振動	20
2.3.2 自由振動と減衰	20
2.3.3 調和入力に対する応答	23
2.3.4 任意の外力に対する応答	26
2.3.5 地震応答スペクトル	28
2.4 多自由度系の線形応答	30
2.4.1 運動方程式	30
2.4.2 多自由度系の非減衰自由振動	32
2.4.3 モード解析法	33
2.4.4 減衰マトリクス	35

2.4.5 例題	37
2.5 構造物の弾塑性応答	38
2.5.1 弾塑性復元力特性	38
2.5.2 地震に対する弾塑性応答	39
2.5.3 弾性応答と弾塑性応答の比較	40
2.5.4 弾塑性応答スペクトル	41
2.6 応答の計算法	43
2.6.1 時間領域での解法	43
2.6.2 周波数領域での解法	44
2.6.3 非線形応答の計算方法	46
2.7 おわりに	48
参考文献	48
付録	49

第3章 土木構造物の耐震設計の基礎知識

57

3.1 地震被害と耐震設計	57
3.2 避けるべき地震被害と構造物の破壊形態	57
3.2.1 避けるべき構造物の地震被害とは	57
3.2.2 既設橋脚の破壊形態	58
3.2.3 隣接桁のインターアクションによる橋梁の損傷	60
3.2.4 基礎～地盤の変状による橋梁の損傷	60
3.2.5 想定外の部位で破壊した事例	61
3.3 橋梁構造物の耐震設計	62
3.3.1 耐震設計の目的と役割	62
3.3.2 耐震設計において確保すべき目標性能	62
3.3.3 耐震設計に用いられる設計法の概念	65
3.3.4 耐震設計の流れ	67
コラム1：RC 構造物の耐震補強工法	69
3.4 設計方法と照査手法	70
3.4.1 耐震設計へのアプローチ	70
3.4.2 耐震設計の方法	71
3.4.3 耐震設計を考える最小単位	73
3.5 静的照査法による耐震設計	73
3.5.1 道路橋示方書における解析方法	74
3.5.2 地震力を静的に置き換える（震度）	74

3.5.3	剛体の設計	74
3.5.4	弾性体の設計	76
3.5.5	弾塑性体（非線形）の設計	77
3.5.6	静的照査法のまとめ	81
	コラム2：RC 構造物の非線形解析	82
3.6	動的照査法による耐震設計	83
3.6.1	静的解析と動的解析の違い	83
3.6.2	動的解析の種類と適応範囲	84
3.6.3	動的解析方法	84
3.6.4	動的解析の地震入力	86
3.6.5	動的解析結果の理解のコツ	86
	コラム3：実大橋梁の振動破壊実験	88
3.6.6	動的照査法のまとめ	89
	参考文献	89

第4章 地盤の動的性質と地盤震動

91

4.1	はじめに	91
4.2	土とは：土粒子と水の二相混合体材料	91
4.3	土の非線形特性	92
4.3.1	有効応力依存非線形とひずみ依存非線形	92
4.3.2	G と h のせん断ひずみ依存性 ($G \sim \gamma$ 、 $h \sim \gamma$ 関係)	95
4.4	繰返しせん断と粒子構造の変化（ダイレイタンスーとその直感的理解法）	100
4.5	土の動的非線形特性のモデル化：土の構成式（復元力特性）	104
4.5.1	構成式の種類と特徴	104
4.5.2	計算例	107
4.6	地盤の応答と解析方法	110
4.6.1	等価線形解析	110
4.6.2	軟弱地盤／液状化地盤の応答：入力レベルと応答倍率（増幅率）	111
4.7	おわりに	114
付録1	：波動（方程式）と振動（方程式）	115
付録2	：履歴関数モデルの定式化の例	116
	参考文献	119

5.1	はじめに	123
5.2	耐震設計で考慮する地盤応答	123
5.3	基盤と地表面の地震動	125
5.3.1	地震基盤	125
5.3.2	地盤内での波の伝播	125
5.3.3	地盤の固有周期と地震動増幅	128
5.4	地盤応答を求めるための土質定数	133
5.4.1	N値	134
5.4.2	せん断弾性波速度	135
5.5	地盤応答を感覚的に理解する	137
5.5.1	基本条件の設定	137
5.5.2	地盤の硬さの影響	139
5.5.3	表層地盤の厚さの影響	147
5.5.4	表層地盤の不整形の影響	152
5.6	1次元等価線形解析の留意点	155
5.6.1	地層分割の違いが応答解析結果に及ぼす影響	155
5.6.2	層厚の薄い層が含まれる場合の影響	157
5.6.3	地表面加速度波形を引き戻す場合の留意事項	160
5.7	おわりに	162
	参考文献	162