

開削トンネルの耐震設計

目 次

1. 総 論	1
1.1 はじめに.....	3
1.2 耐震設計の基本方針.....	4
1.2.1 耐震設計の目標.....	4
1.2.2 設計で想定する地震動.....	4
1.2.3 構造物の耐震性能.....	4
1.2.4 耐震設計の手順.....	5
1.3 耐震を考慮した構造計画.....	7
1.3.1 基本的な考え方.....	7
1.3.2 横断方向の構造計画.....	7
1.3.3 縦断方向の構造計画.....	9
1.4 地盤調査.....	12
1.4.1 一 般.....	12
1.4.2 ボーリングおよびサウンディング（標準貫入試験など）.....	13
1.4.3 試料採取と室内土質試験.....	13
1.4.4 速度検層.....	13
1.4.5 密度検層.....	13
1.4.6 常時微動測定.....	14
2. 地震荷重	15
2.1 地震の影響	17
2.1.1 地下構造物の地震時挙動の特徴.....	17
2.1.2 考慮すべき荷重.....	20
2.2 設計地震動.....	22
2.2.1 一 般.....	22
2.2.2 設計地震動の与え方.....	22
2.2.3 設計震度.....	23
2.2.4 基盤面での応答スペクトル.....	24
2.2.5 基盤での加速度の時刻歴波形.....	27

3.	解析手法	35
3.1	耐震解析手法の体系	37
3.1.1	耐震解析の手順	37
3.1.2	解析手法の種類と体系	38
3.1.3	設計地震動の表現形式の種類	40
3.1.4	地盤の地震応答解析手法の種類	41
3.1.5	地震荷重の種類	42
3.1.6	構造物・地盤系の構造解析モデルの種類	43
3.1.7	各種解析手法の概要と特徴	44
3.1.8	解析手法の選定に際しての要点	46
3.2	力学特性モデル	50
3.2.1	地盤の力学特性モデル	50
3.2.2	構造物の力学特性モデル	61
3.3	地盤応答解析	70
3.3.1	地盤応答解析の基本事項	70
3.3.2	代表的な応答解析法	74
3.3.3	地盤応答解析における基盤と位相差	84
3.4	骨組モデルによる応答変位法	87
3.4.1	概 説	87
3.4.2	横断方向の検討	88
3.4.3	縦断方向の検討	92
3.5	FEM系静的解析手法	95
3.5.1	概 説	95
3.5.2	FEM系静的解析手法の種類	98
3.5.3	耐震検討を行う時刻の選択	101
	参考 3.5 構造物に生じる断面力に関する動的解析と FEM 応答変位法解析結果の比較	101
3.6	動的解析法	106
3.6.1	トンネル横断方向の解析	106
3.6.2	トンネル縦断方向の解析	110
4.	安全性の照査	115
4.1	周辺地盤の安定性の評価	117
4.1.1	一 般	117
4.1.2	地盤の液状化の判定	117
4.1.3	過剰間隙水圧が上昇する場合の構造解析	117
4.1.4	液状化と地盤沈下の関係	122
4.1.5	液状化と浮き上がりの関係	123
		124

4.1.6	流動化の判定と外力の評価	124
4.2	構造物の安全性の照査	126
4.2.1	安全性の照査の基本	126
4.2.2	部材の破壊モードの判定	126
4.2.3	部材の損傷レベル	126
4.2.4	地震動、耐震性能と部材損傷レベルとの関係	127
4.2.5	レベル1地震動に対する照査	128
4.2.6	レベル2地震動に対する照査	128
5.	構造細目	131
5.1.1	一般	133
5.1.2	主鉄筋	133
5.1.3	拘束鉄筋（スターラップ等）	135
5.1.4	鋼管柱	136
5.1.5	構造細目の事例	137
6.	設計計算例	143
6.1	模擬地震波の作成と1次元状態の地盤応答解析	146
6.1.1	模擬地震波の作成	146
6.1.2	多質点系モデルによる地盤応答解析（応答スペクトルと時刻歴応答解析法）	151
6.1.3	連続体モデルによる地盤応答解析（全応力解析）	162
6.1.4	連続体モデルによる地盤応答解析（有効応力法）	170
6.2	1層2径間箱型断面トンネルの設計例	188
6.2.1	骨組モデルによる応答変位法	188
6.2.2	FEMモデルによる応答変位法	209
6.2.3	2次元FEM動的応答解析（等価線形化法）	214
6.2.4	2次元FEM動的応答解析（逐次積分法）	221
6.2.5	ばね・質点モデルによるトンネル縦断方向の動的解析	235
6.3	多層多径間箱型断面トンネルの設計例	247
6.3.1	骨組モデルによる応答変位法	247
6.3.2	2次元FEM動的解析（逐次積分法）	279