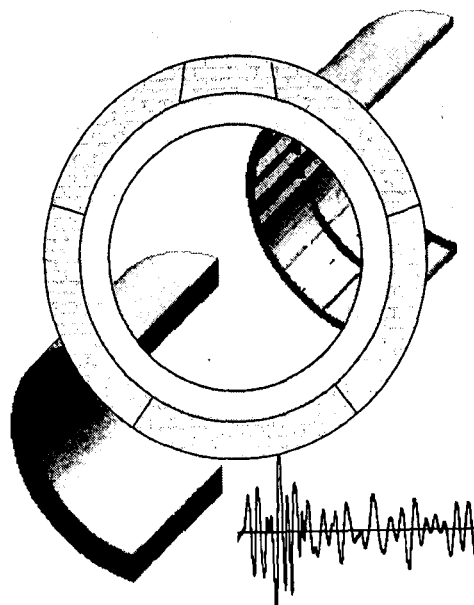


平成13年度講習会テキスト

# シールドトンネルの合理的耐震設計法 ガイドライン（案）



平成13年9月



社団  
法人

土木学会関西支部

## あいさつ

(社)土木学会関西支部では、支部活動の一環として調査研究委員会を設置し、学会メンバーのみならず会員外からもそれぞれの専門分野の人材を集めて、調査研究に取り組んでいます。

「シールドトンネルの合理的耐震設計法に関する調査研究」は、平成11年度・12年度の2年間にわたり活動し、このほどその成果がまとまりましたので、この機会に講習会を企画いたしました。

1995年兵庫県南部地震による阪神淡路大震災では、未曾有の都市直下型震災を経験し、シールドトンネルを含む、近代都市の社会基盤を構成する地下構造物にも少なからざる被害が生じました。都市地下空間の施工法として近年目覚ましい発展を遂げてきたシールドトンネルの耐震上の問題点については、これまでも、ケーススタディを通じた具体的な検討が実施されてきました。その成果は、ご存じのように、土木学会関西支部(1994):「関西における地下空間の活用と技術」において他の研究成果とともにまとめられ、シールドトンネルの地震時挙動や耐震計算のためのモデル化、計算手法等に関する有益な知見が得られています。

しかし、上記震災を契機として、きわめて強い地震動をもたらすような地震に対し、構造物の損傷過程にまで踏み込んで変形性能等の耐震性を照査することが必要であるとの考えが支配的となり、さらにまた、構造物の機能に応じた性能設計にむけて、その合理的な耐震設計法への要望が高まってきました。

このような状況を踏まえて、シールドトンネルに対する合理的な耐震設計法のガイドラインを作成すべく、この調査研究委員会が発足いたしました。

研究委員会では、シールドトンネルのような地下構造物の設計の基本となっている応答変位法の適用範囲を検討しながら、レベル2地震動と称される強い地震動に対する設計法への拡張を図るとともに、用途別の耐震性能の設定・照査法の考え方、構造物への入力地震動の規定の仕方等、耐震設計を合理的に展開するための設計体系をガイドライン(案)として、とりまとめられました。また、具体的な設計計算例も示されています。

今後、本ガイドライン(案)がより質の高いシールドトンネルの耐震設計を行うことのできる合理的指針へのさきがけとなることを願っています。

本日の講習会が、シールドトンネルの耐震設計に携わっておられる実務者、研究者ならびにこれから携わろうとされる方にとって、良き手引きとなることを期待いたします。

平成13年9月

登録 番号	平成14年5月30日
	第 49197 号
社団法人 土木学会	
附属 土木図書館	

(社)土木学会関西支部  
支部長 松井 保

# シールドトンネルの合理的耐震設計法 ガイドライン (案)

## 目次

### 序文

第1章 総則	1
1.1 適用範囲	2
1.2 用語の定義	3
第2章 耐震性能	5
2.1 一般	6
2.2 想定地震と性能規定	7
2.3 シールドトンネルおよび立坑の要求性能と照査	11
第3章 地震動および地盤条件	18
3.1 一般	19
3.2 設計地震動	19
3.3 地盤の応答変位	24
3.4 地盤の液状化	26
3.5 構造物への入力地盤変位・ひずみ	27
3.6 地盤ばね	31
第4章 トンネル軸方向に対する耐震計算および照査	36
4.1 一般	37
4.2 応答変位法による地震時断面力および変形の計算	39
4.3 弾性床上の梁理論解	41
4.3.1 地震時ひずみの計算	41
4.3.2 地震時断面力の計算	45
4.3.3 トンネル覆工と周辺地盤間のすべりを考慮した計算	46
4.3.4 リング継手部の塑性変形を考慮した計算	49
4.3.5 軸力によるリング継手部の目開き量	51
4.3.6 曲げモーメントによるリング継手部の目開き量	52
4.3.7 リング継手部の目開き限界変位量	54
4.4 トンネル覆工軸方向の剛性	55
4.4.1 二次覆工がない場合のシールドトンネルの等価軸剛性	55
4.4.2 二次覆工を有する場合のシールドトンネルの等価軸剛性	60
4.5 耐震性の照査	67
4.6 動的解析による照査	70

第5章 トンネル横断方向に対する耐震計算および照査	72
5.1 一般	73
5.2 応答変位法による地震時断面力および変形の計算	75
5.3 弾性床上の梁理論解	77
5.4 FEMを用いた応答変位法による解析	82
5.5 トンネル覆工横断方向の剛性	87
5.6 耐震性の照査	92
5.7 動的解析による照査	95
第6章 立坑に対する耐震計算および照査	97
6.1 一般	98
6.2 応答変位法による地震時断面力および変形の計算	100
6.2.1 立坑本体	100
6.2.2 シールドトンネルとの接合部	103
6.3 耐震性の照査	107
6.4 動的解析による照査	108
第7章 必要に応じて検討すべき事項	111
7.1 一般	112
7.2 地盤条件の変化による影響	112
7.2.1 不整形地盤による地震動の増幅の影響	112
7.2.2 地盤剛性急変部による影響	115
7.3 地盤変状の影響	116
7.3.1 液状化の影響	116
7.3.2 地表断層変位による影響	121
7.4 特殊な構造条件による影響	125
第8章 地震の影響を低減させる構造	129
8.1 一般	130
8.2 可とう性継手を配置する構造	132
8.3 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	133
8.4 免震材を用いる構造	136
8.5 二次覆工として管を内挿させる構造	137

## 付録 設計計算例

1. 概要	[1]
2. 地盤条件と入力地震動	[2]
3. モデルケースの設定	[25]
4. トンネル軸方向の設計計算例	[27]
5. トンネル横断方向の設計計算例	[98]
6. 立坑の設計計算例	[113]
7. その他の検討例	[140]
(a) 不整形地盤の検討例	[140]
(b) 断層横断の検討例	[148]

## 付録 技術資料

資料1 ライフライン事業者における耐震設計の現状	(1)
資料2 費用便益法による分析の基本的な考え方と算出方法の例	(3)
資料3 シールドトンネルの用途別の要求性能と照査	(5)
資料4 入力地震動の算定に用いる係数 $C_N$ について	(14)
資料5 地盤固有周期の近似式	(17)
資料6 シールドトンネルの免震効果とすべり挙動について	(21)
資料7 セグメントリングが降伏した後のリング断面の応力分布と釣り合い式	(26)
資料8 立坑・トンネル接合部の耐震計算法	(28)
資料9 基盤の設定法および等価設計法の適用性に対する検討 基盤の設定法および等価設計法の適用性に対する検討	(50)
資料10 表面波分散曲線計算プログラム	(73)
資料11 深層地盤による地震動増幅特性についての解析例	(101)

## 序 文

地価高騰が進む中、都市機能・施設の過密化および都市再開発から、大都市の新しい利用空間として、地下開発プロジェクトの構想が次々と打ち出されたのは1980年代の後半でした。プロジェクトの追求ばかりでなく、地下空間の利用技術についてその問題点を明らかにし、かつ地域に根ざして解決していこうとする「地に足の着いた研究」が関西に於いて熱望され、地下空間研究協議会や土木学会関西支部：関西における地下空間の活用と技術に関する研究委員会として活発に活動したのは1990年代前半でした。

上記委員会による「関西における地下空間の活用と技術」（1994）は、成果のひとつとして、近年目覚ましい発展を遂げてきたシールドトンネルの耐震上の問題点に触れ、ケーススタディを通じて、地震時挙動や耐震計算のためのモデル化計算手法等に関する有益な知見を提供しました。

この流れは、シールドトンネルの「合理的な耐震設計法」、特にその機能に応じた設計法への要望となって現れました。このような状況から、合理的な耐震設計法ガイドラインを作成しようと、任意の研究会まで発足しました（1994年）。しかし、ガイドラインの目次（案）が作成されるのと時を同じくして、1995年1月17日、兵庫県南部地震が発生したのです。阪神淡路大震災という未曾有の都市直下型震災を経験しました。シールドトンネルを含む、近代都市の社会基盤を構成する地下構造物にも少なからざる被害が生じました。震災を契機として、発生はきわめてまれであるが、しかし、非常に強い地震動をもたらす地震に対し、構造物の損傷過程にまで踏み込んで「耐震性能の照査」が必要であるとの認識が急速に広まりました。

私どもは、委員会に先行して、任意の研究会として、阪神・淡路の地震で被害の生じたシールドトンネルを調査し、現在の耐震解析技術を駆使して損傷過程の力学的な分析を行いました。また、シールドトンネルを管理運営する事業者へのアンケートやヒアリングによって地震時に確保すべき機能の調査を実施しました。さらに、シールドトンネルのような地下構造物の設計の基本となっている応答変位法の適用範囲を検討しながら、レベル2地震動と称される強い地震動に対する耐震設計を合理的に展開するための設計体系を検討してきました。

委員会は、これらの成果を踏まえて、今後、シールドトンネルの耐震性能の照査のために必要となる性能設計法の体系となるべきガイドライン（案）と具体的な設計計算例作りに努めました。その成果が、本テキストであります。

委員会として、検討の余地はまだあろうかとは思いますが、これからの性能設計に向けて、本ガイドライン（案）がより質の高いシールドトンネルの耐震設計を行うことのできる合理的指針となるものと確信致します。

最後に、本委員会に対し多大なご尽力を賜りました（社）土木学会関西支部ならびに本テキストの作成に関して多くの時間と労力を割いて頂きました委員ならびに研究会メンバーの皆様に、深くお礼申し上げます。

平成13年3月

シールドトンネルの合理的耐震設計法に関する調査研究委員会  
委員長 京都大学大学院 土岐憲三

土木学会関西支部 シールドトンネルの合理的耐震設計法に関する調査研究委員会  
委員およびWGメンバー

	氏名	所属(敬称略)	役割
委員長	土岐 憲三	京都大学大学院工学研究科	委員長
幹事代表	高田 至郎	神戸大学工学部	委員・幹事
幹事	柴垣 雄一	関西電力(株)	委員・幹事
	大石 富彦	関西電力(株)	(前委員・幹事)
幹事	山本 泰生	大阪ガス(株)	委員・幹事
幹事	広瀬 孝司	NTTインフラネット(株)	委員・幹事
1WG (入力地震動 と地盤応答)	澤田 純男	京都大学防災研究所	委員・1WG主査
	福田 裕繁	神戸市水道局	委員
	吉田 望	佐藤工業(株)	委員
	佐藤 清	(株)大林組	委員
	山田 雅行	(株)ニュージェック	WGメンバー
	盛川 仁	東京工業大学大学院総合理工学研究科	WGメンバー
2WG (機能と照査)	嶋村 貞夫	鳳コンサルタント(株)	委員・2WG主査
	田村 武	京都大学大学院工学研究科	委員
	畑 恵介	神戸市建設局	委員
	奥村 春男	神戸市建設局	(前委員)
	水口 和彦	神戸市交通局	委員
	吉本 幸宏	神戸市交通局	(前委員)
	井田 隆久	(株)銭高組	委員
	山見 晴三	清水建設(株)	委員
	露口 伸二	神戸市交通局	WGメンバー
	相原 敬	大阪ガス(株)	WGメンバー
	清水 謙司	大阪ガス(株)	WGメンバー
	渡邊 邦男	関西電力(株)	WGメンバー
	佐野 祐一	(株)鴻池組	WGメンバー
	中筋 智之	(株)銭高組	WGメンバー
3WG (耐震計算法)	高田 至郎	前掲	委員・3WG主査
	尾儀 一郎	日本技術開発(株)	委員
	小池 武	川鉄エンジニアリング(株)	委員
	角南 進	(株)日建設計	委員
	中田 恒和	八千代エンジニアリング(株)	委員
	中山 学	(株)奥村組	委員
	東 俊司	セキスイ管材テクニクス(株)	委員
	竹澤 請一郎	(株)ニュージェック	委員
	李 騰雁	日本技術開発(株)	WGメンバー
	岡村 正典	(株)奥村組	WGメンバー
事務局	竹澤 請一郎	前掲	委員・事務
	山田 雅行	前掲	WGメンバー・事務
	越智 三保子	(株)ニュージェック	事務

## 執筆者一覧

### ガイドライン (案)

第1章：高田・澤田・嶋村・竹澤

第2章：嶋村 (主査)

2. 1：嶋村, 2. 2：嶋村・佐野, 2. 3：嶋村・佐野

第3章：澤田 (主査)

3. 1～3. 5：澤田, 3. 6：小池

第4章：高田 (主査)

4. 1～4. 3：小池, 4. 4：東, 4. 5：嶋村, 4. 6：小池

第5章：高田 (主査)

5. 1～5. 5：尾儀・李, 5. 6：嶋村, 5. 7：尾儀・李

第6章：高田 (主査)

6. 1：中田, 6. 2：中田・竹澤, 6. 3～6. 4：中田

第7章：高田 (主査)

7. 1：角南, 7. 2：角南・中山, 7. 3～7. 4：角南

第8章：嶋村 (主査)

8. 1～8. 4：嶋村, 8. 5：東

### 付録 設計計算例

1.：竹澤

2. 1～2. 3：吉田, 2. 4：山田

3.：竹澤,

4. 1～4. 4：小池, 4. 5～4. 6：東

5.：李

6. 1：中田, 6. 2：竹澤

7 (a)：中山・岡村, 7 (b)：角南

### 付録 技術資料

資料1：嶋村・佐野, 資料2：佐野, 資料3：嶋村・山見・佐野・中筋,

資料4：澤田・盛川, 資料5：澤田, 資料6：小池, 資料7：小池,

資料8：竹澤, 資料9：吉田, 資料10：(斉藤), 資料11：中山