

トンネル耐震設計の方向と基本課題

トンネル耐震性研究小委員会報告

登録	平成10年10月1日
番号	第 46253 号
社団法人	土木学会
附属	土木図書館

平成10年3月

土木学会 地震工学委員会
トンネル耐震性研究小委員会

はしがき

我が国の地震工学は、濃尾地震を契機に関東地震の災害を始め多くの大災害の経験を踏まえて発展してきた長い歴史があります。この地震工学の発展によって、世界有数の地震国である我が国においても、大規模でかつ複雑な社会基盤が整備されてまいりました。土木学会耐震工学委員会は昭和30年10月に組織されましたが、以来、その活動が我が国の地震工学の発展に大きく貢献してきたことは高く評価されるべきものと考えております。

しかしながら1995年兵庫県南部地震は、震源域およびその周辺に位置する神戸市、淡路島を始め、兵庫県南部の諸都市の近代社会施設にも甚大な被害を与えました。この厳しい震災の経験と近年の耐震工学が包含する分野の拡大を踏まえ、平成9年、「耐震工学委員会」は「地震工学委員会」に改組され、社会基盤施設の耐震性の向上に向けた研究活動、情報収集活動を活発に進めております。

「トンネル耐震性研究小委員会」は平成4年に発足いたしました。その当初の目的は昭和50年に作成された沈埋トンネル耐震設計指針(案)に盛り込まれた設計思想を、その後の調査研究の大きな進展と、地下空間の将来の活用の動向を見据えて再構築することでありましたが、阪神・淡路大震災での地下構造物の被害はこの小委員会の使命をより一層重くしたと捉えております。このような状況の中、小委員会はトンネルの合理的な耐震設計に関わる様々な複雑なテーマの研究に尽力し、未解決な問題についても敢えてそれを避けることなく記述した報告書をまとめられました。この報告書は、この小委員会でこれまで交わされた熱心な議論を窺い知ることができるものであり、講習会を通してこれらの成果が広く会員に還元され、今後より質の高い地下構造物や地下施設の構築に寄与することを期待しております。

最後に、この報告書を上梓するにあたり、5年半の間、幾多の困難を克服して目的を達成された田村重四郎委員長はじめ小委員会委員各位、オブザーバーとして貴重な意見を頂いた方々、貴重な資料を提供いただいた各位に対し敬意を表します。

土木学会地震工学委員会
委員長 土岐 憲三

トンネル耐震性研究小委員会委員経験者名簿（順不同、下線は平成10年3月31日委員会終了時点の委員）

委員長 田村 重四郎 日本大学生産工学部

機能検討グループ（Aグループ）

飯田 裕	建設省土木研究所地震防災部（当時）
植木 博	首都高速道路公団 工務部（当時）
<u>上部 達生</u>	運輸省港湾技術研究所構造部
<u>太田 義和</u>	（株）千代田コンサルタント 事業本部
小笠原 政文	首都高速道路公団 工務部（当時）
<u>川村 祥二</u>	東京電力（株）送変電建設本部
工藤 泉	東京湾横断道路（株）技術部（当時）
<u>古賀 泰之</u>	（財）先端建設技術センター 研究第三部
<u>堤 一</u>	北九州職業能力開発短期大学校
富所 達哉	東京電力（株）送変電建設本部（当時）
<u>中野 雅弘</u>	日本電信電話関西支社地域開発推進部
中島 豊	東京湾横断道路（株）技術部（当時）
<u>福地 合一</u>	トンネル技術協会
<u>松岡 廣志</u>	東京湾横断道路（株）技術部（当時）
松本 吉雄	（財）鉄道総合技術研究所 企画室
八木 高司	NTTフィールドシステム研究開発センター（当時）
吉川 博	首都高速道路公団 工務部（当時）

設計条件検討グループ（Bグループ）

<u>井合 進</u>	運輸省港湾技術研究所
一場 誠一	東京都港湾局（当時）
<u>大保 直人</u>	鹿島建設技術研究所第1研究部
金子 利輔	東京都水道局建設部
<u>亀田 弘行</u>	京都大学防災研究所
<u>後藤 洋三</u>	大林組技術研究所土木第5研究室
<u>小坂 彰洋</u>	帝都高速度交通営団建設本部
<u>寺山 勇夫</u>	東京港建設事務所
<u>当麻 純一</u>	電力中央研究所我孫子研究所地盤耐震部
<u>福田 勝年</u>	東京都水道局建設部
藤木 育雄	帝都高速度交通営団建設本部
中島 信	帝都高速度交通営団建設本部（当時）
<u>宮島 信雄</u>	日本シビックコンサルタント（株）
<u>柳沢 栄司</u>	東北大学工学部土木工学科
横田 一郎	東京都水道局建設部
横田 三則	帝都高速度交通営団建設本部

設計法検討グループ（Cグループ）

<u>泉 博允</u>	篠塚研究所
<u>梅崎 邦男</u>	東京電力（株）送変電建設本部
<u>大角 恒雄</u>	日本工営（株）
<u>大塚 久哲</u>	建設省土木研究所（当時）
<u>大塚 正博</u>	東京電力（株）送変電建設本部（当時）
<u>梶原 雄三</u>	日本鉄道建設公団
<u>清宮 理</u>	早稲田大学工学部
<u>小長井 一男</u>	東京大学生産技術研究所
<u>高田 至郎</u>	神戸大学工学部建設学科
<u>竹内 信次</u>	東京電力（株）送変電建設本部（当時）
<u>田中 努</u>	オリエンタルコンサルタンツ（株）
<u>田中 弘</u>	日本工営（株）
<u>西尾 宣明</u>	東京ガス（株）
<u>西村 昭彦</u>	鉄道総合技術研究所

連絡会議メンバー

Aグループ：	<u>上部 達生、太田 義和、</u>
Bグループ：	<u>大保 直人、後藤 洋三、宮島 信雄、小坂 彰洋</u>
Cグループ：	<u>小長井 一男、梶原 雄三、大角 恒雄、田中 努</u>

オブザーバー：

<u>運上 茂樹</u>	建設省土木研究所耐震技術研究センター
--------------	--------------------

執筆協力者

<u>朝倉 俊弘</u>	鉄道総合技術研究所 トンネル研究室
--------------	-------------------

目 次

第Ⅰ編 総説	1
1.1 緒言	2
1.2 重要な物理量及び機能水準に関する指標について	5
第Ⅱ編 震災時における地下施設の機能確保	7
1. 適用範囲	9
2. 機能確保のための基本条件	9
3. 各種地下施設の地震時の機能確保の考え方	
3.1 機能確保の考え方	10
3.2 構造体の耐震設計の考え方	11
3.3 付属施設の耐震設計の考え方	11
3.4 震前対策	12
3.5 震後対策	12
4. 関連法規	13
第Ⅲ編 耐震設計で考慮すべき設計条件	15
1. 総説	17
2. 調査	
2.1 地震活動度の調査	18
2.2 地質・地盤の調査	
2.2.1 地質・地盤調査	21
2.2.2 予備調査	22
2.2.3 本調査	22
2.2.4 地盤調査上の留意事項	23
2.2.5 地動の測定による地盤調査	25
2.2.6 地盤震害	27
2.3 地盤の安定の調査	28

3. 耐震設計において考慮すべき荷重要素	
3.1 一般	30
3.2 耐震設計法と荷重条件	31
3.2.1 地震時の地盤の変位	31
3.2.2 慣性力	31
3.2.3 地震時土圧	32
3.2.4 地震時動水圧	32
3.2.5 砂地盤の液状化による永久変形	33
3.2.6 砂地盤の液状化による揚圧力	33
4. 設計地震動	
4.1 設計地震動の設計方針	34
4.2 レベル1地震動の算定	37
4.3 レベル2地震動の算定	38
4.4 動的解析に用いる設計スペクトルの減衰補正	41
5. 耐震設計上の地盤面と基盤面	
5.1 耐震設計上の地盤面	43
5.2 耐震設計上の基盤面	43
6. 構造物の安全性	
6.1 鉄筋コンクリート構造物の安全性の評価	
6.1.1 安全性の照査の基本	45
6.1.2 機能水準と耐震性能との関係	45
6.1.3 部材の破壊モードの判定	46
6.1.4 部材の損傷レベル	47
6.1.5 耐震性能と部材損傷レベルとの関係	47
6.1.6 レベル1地震動に対する照査	48
6.1.7 レベル2地震動に対する照査－耐震性能2の場合	49
6.1.8 レベル2地震動に対する照査－耐震性能3の場合	51
6.2 その他の構造物の安全性の評価	52
6.3 材料および構造の選定	54
 第IV編 耐震設計法	 57
1. 総説	59
2. 耐震設計の基本方針(基本的な考え方と設計法の組み立て)	61
3. 周辺地盤の安定検討	
3.1 一般	62
4. トンネル横断方向の耐震設計	
4.1 一般	66

4.2	地盤状態1の耐震設計法	66
4.3	地盤状態2の耐震設計法	70
4.4	地盤ばねの算定	72
4.5	地盤変位の算定	76
4.6	トンネル覆工のモデル化	79
5.	トンネル縦断方向への耐震設計法	
5.1	一般	81
5.2	地盤状態1の耐震設計法	83
5.3	地盤状態2の耐震設計法	86
5.4	地盤ばねの算定	88
5.5	トンネル覆工のモデル化	90
6.	動的解析	92
7.	立坑の設計	98
8.	継手構造	101
第IV編 6.「動的解析」付属資料 トンネル構造の非線型性の解析詳細		107
付章 各種トンネル別の耐震設計上の要求機能		119
1.	道路トンネル	120
1.1	想定される道路トンネルの被害	
1.2	耐震設計上の留意点	
1.3	事前対策	
1.4	発災後の対策	
2.	鉄道トンネル	122
2.1	鉄道システムの種類と使用条件	
2.2	関連法規	
2.3	地震時における鉄道トンネルとしての機能の安定性確保のための具体的措置	
2.3.1	想定される構造体の被害	
2.3.2	耐震設計上の留意点	
2.3.3	鉄道トンネルにおける地震に対する事前対策	
2.3.4	発災後の対策	
3.	地下街	125
3.1	機能確保のための基本条件	
3.2	機能水準の設定	
3.3	関連法規	
3.4	地震時における地下街としての機能安定確保のための具体的措置	
3.4.1	機能確保のための考え方	
3.4.2	耐震設計上の留意点	

3.5	地震に対する事前対策	
3.6	発災後の対策	
4.	通信用とう道	129
4.1	機能確保のための基本条件	
4.1.1	使用条件	
4.1.2	供用期間	
4.1.3	設置環境	
4.2	地震時における機能の安定性確保のための具体的措置	
4.2.1	想定される地震被害とその機能水準	
4.2.2	耐震設計上の留意点	
4.2.3	機能確保のための付属設備	
4.2.4	通信用とう道の保守の基本的考え方及びその実施方法	
4.2.5	機能的被害の特徴と災害に対する安全性確保の考え方	
5.	電力用洞道	133
5.1	機能確保のための基本条件	
5.2	機能水準の設定	
5.3	関連法規	
5.4	地震時における電力用洞道としての機能の安定性確保のための具体的措置	
5.4.1	機能確保のための考え方	
5.4.2	耐震設計上の留意点	
5.4.3	地震に対する事前対策	
5.4.4	発災後の対策	
6.	共同溝	135
6.1	機能確保のための基本条件	
6.2	関連法規	
6.3	想定される構造体の被害	
6.4	耐震設計上の留意点	
6.5	事前対策	
6.6	発災後の対策	
7.	上水道	140
7.1	機能確保のための基本条件	
7.2	機能水準の設定	
7.3	関連法規	
7.4	地震時における機能の安定確保のための具体的措置	
7.4.1	機能確保のための考え方	
7.4.2	耐震設計上の留意点	
7.5	地震に対する事前対策	
7.6	発災後の対策	
8.	下水道	142
8.1	機能確保のための基本条件	

- 8.2 機能水準の設定
- 8.3 関連法規
- 8.4 地震時における機能の安定確保のための具体的措置
 - 8.4.1 機能確保のための考え方
 - 8.4.2 耐震設計上の留意点
- 8.5 地震に対する事前対策
- 8.6 発災後の対策