

第Ⅱ編

震災時における地下施設の機能確保

第Ⅱ編 震災時における地下施設の機能確保

本編は、トンネル耐震性研究小委員会（平成4年度設置）内に儲けられた3つのワーキンググループ（A：機能，B：調査，C：設計）のうち，Aグループの検討結果を取りまとめたものである。

Aグループでは，これまでに16回におよぶ検討会を実施してきた。第1～3回（平成5年2月～5月）では，各委員が資料を収集し，Aグループで対象とする構造物，トンネルの機能の内容等について検討した。第4，5回（平成5年9，10月）では，講師を招き，大深度地下利用構造物等について勉強会を実施した。第6，7回（平成6年2，7月）では，執筆方針について議論し，目次案を作成した。第8回（平成6年10月）以降，原稿の執筆，内容の検討，枠書きによる体裁の変更，本編と付章の分離，内容の再検討，意見照会等を経て，本編をとりまとめた。

本編は，地震が発生した時のトンネルの機能の確保に関して各種検討した結果を記述している。一概にトンネルといっても，道路トンネル，鉄道トンネル，とう道等の様々の施設があり，それぞれ必要とされる機能に差があるが，ここでは特に施設を一つに限定せずに，各種トンネル施設を対象とし，各施設の地震時の機能確保について比較検討し，その全体を把握することに重点を置いた。ここで対象とした各種トンネルは，道路トンネル，鉄道トンネル，地下街，通信用とう道，電力用洞道，共同溝，上下水道であり，これらについて地震が発生したときの機能の確保について検討し，この結果を踏まえ，全体を網羅する方向でこの編を取りまとめている。この編で対象とした全てのトンネル施設について設計法等を検討するのは非常に困難であり，又本編以降のⅢ，Ⅳ編の記述では本編で対象とした全てのトンネル施設についての記述とはなっていない。この点を事前にここで述べて，読者に混乱がないことを願っている。

地震が発生し，それがまれに発生する大きな強度の地震動であっても，ある程度の機能は確保されるべきである。特に，人が日常的に利用する施設，あるいは二次災害を引き起こす恐れのある施設等についてそうであるとの観点からの審議をこの小委員会では実施してきた。こうした検討を踏まえ，さらに阪神・淡路大震災後の土木学会の提言についても考慮し，2段階の地震動レベルに対応した機能の確保について記述している。このⅡ編はまず，1章で本編の適用範囲を記述し，2章では機能確保の基本条件を記述している。更に2章では地震動レベルと機能水準，関連法規について触れている。3章では地震時における各種地下施設の機能確保のための考え方として，構造体および付属施設の耐震設計の考え方，震前対策，震後対策に関して記述している。4章では準拠すべき関連法規について記述している。

既に述べたように，本編は地震が発生したときの各施設の機能をどう維持するかについて，対象とした各種施設の全体を網羅する形で取りまとめており，ここでの記述が各施設の管理者が基準等を作成するときの参考となればと考える。

付章ではここで対象とした各種トンネル施設毎に機能の確保に関して記述してある。この章の目的は各施設毎に確保される機能の内容を示すことにより，それぞれの違い，特徴等を把握し易くし，その評価を容易にすることにある。また，非常用施設の地震時における機能の安定性確保のための検討例を各種トンネル施設毎に付表として示している。

1. 適用範囲

本章は、地震時において各種地下施設に必要とされる機能を適切に確保するための基本的な考え方について記述したものである。

【解説】

本編は、地震時における地下施設の機能確保を図るための考え方や設計方法を中心に記述している。本編においては、道路トンネル、鉄道トンネル、地下街、通信用とう道、電力用とう道、共同溝、上下水道などの地下施設を想定しているが、各地下施設ごとにその機能や役割、設置条件や構造条件などが大きく異なるので、ここではそれ等に共通な基本となる考え方を示している。従って本編を参考とする際には、各地下施設に関する法令、基準等との関連について十分に検討して参考にすることが望ましい。

2. 機能確保のための基本条件

各種地下施設は、地形条件や地盤条件などの設計条件とともに、施設としての重要度、地震時に必要とされる機能を十分に勘案して適切な耐震性を有する構造物とするものとする。

各種地下施設に地震時に必要とされる機能としては、下記の2段階の機能水準を考慮するものとする。

①機能水準A

機能水準Aの耐震性能を有する地下施設とは、レベル2地震動に対しては、構造物あるいは付属施設が損傷しても当該地下施設が必要とする機能に重大な支障が発生せず、短期間での復旧が可能な範囲内の損傷に留まる水準の地下施設とする。

②機能水準B

機能水準Bの耐震性能を有する地下施設とは、レベル2地震動に対しては、構造物あるいは付属施設に当該地下施設の機能に影響を及ぼす被害が発生し、機能回復のための復旧工事を必要とする機能水準の地下施設とする。このため、機能水準Bの地下施設は、地震時の機能面から見て機能水準Aに比べて低い水準を有する。

【解説】

土木学会による土木構造物の耐震基準等に関する提言（1995年5月23日）によれば、構造物が保有すべき耐震性能、すなわち想定された地震動強さの下での被害状態は、その構造物の重要度を考慮して設定すべきであること、重要度は、1) 構造物が損傷を受けた場合に人命・生存に与える影響の度合、2) 発災後の避難・救援・救急活動と二次災害防止に影響を与える度合、3) 地域の生活機能と国際的視野も含めた経済活動に与える影響の度合、及び4) 都市機能の早期復旧に与える影響の度合、及び復旧の難易度等をもとに決定することが示されている。このため、各種地下施設に地震時に必要とされる機能水準については、こうした構造物の重要度とともに、地下施設の設置される地域の地理的、社会的条件や地形、地盤条件などの工学的設置条件などについて十分に検討を加えることが重要である。また、地下施設は構造体及び付属施設から構成されることが多いので、各種地下施設の地震時の機能水準を検討する際には、構造体のみならず、

各種地下施設の付属施設や収容施設なども考慮することが重要である。

震災発生直後に避難・救援・救急活動のための機能確保が必要とされる地下施設については、新設時の機能水準の一部が被害により低下したとしても、震災直後の避難・救援・救急活動のためのある一定レベル以上の機能を要求される場合がある。また、地下施設の中には、震災直後に機能の一部を喪失し、復旧工事にある程度の時間を要したとしても、これが及ぼす影響の度合が必ずしも大きくない場合もあると考えられる。このため、本章では、地下施設の機能水準を大きく2段階に設定したものである。

前者のような地下施設の水準をここでは機能水準Aとし、機能水準Aに該当する地下施設は、レベル1地震動に対しては地震後に補修を必要とせず当初の機能を確保するものとし、レベル2地震動に対しては、震災直後においては機能の一部を喪失しても機能に重大な支障が発生せず当該地下施設に必要とされる機能を確保する地下施設の水準とした。

一方、後者のような地下施設の水準を機能水準Bとし、機能水準Bに該当する地下施設は、レベル1地震動に対しては、機能水準Aと同様に地震後に補修を必要とせず当初の機能を確保するものとするが、レベル2地震動に対しては、何らかの被害が発生し、機能回復のための復旧工事を必要とする地下施設の水準とした。

地震時に地下施設に必要とされる機能を適切に発揮するためには、構造物及び付属施設の長期にわたる適切な維持管理も重要となる。

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

(1) 各種地下施設は、地震時に必要とされる機能の確保を図ることを目標として、構造物及び付属施設等の耐震設計を行うものとする。

(2) 地震時において各種地下施設の確保すべき機能の設定にあたり、以下の事項を考慮するものとする。

- ①各種地下施設に対し地震時に必要とされる機能の設定
- ②地震時に必要とされる機能に応じた構造物及び付属施設の耐震性能の設定
- ③地盤条件、構造形式、構造規模、耐震性能に応じた耐震設計法の採用
- ④被災時の復旧方法及び復旧過程

【解説】

(1) 各種地下施設が、それぞれ地震時に必要とされる機能を発揮するためには、構造物及び付属施設、また、内部に収容される施設のそれぞれが有機的にその機能を発揮することが求められる。このため、各地下施設毎に地震時に必要とされる機能に応じて地下施設を構成する構造物や付属施設の耐震設計を行うことが重要である。

(2) 地震時に必要とされる機能は、各地下施設の実態によって異なる。このため、地震時に各種地下施設に必要とされる機能の確保を確実なものとすることを目標に、各地下施設毎に地震時に必要とされる機能を明確にするとともに、これに応じて構造物や付属施設の耐震性能と耐震設計法を適切に適用することが重要である。また、仮に被災したとしてもその機能回復を早期に図るための復旧方法などについても検討しておくことが重要である。

3.2 構造体の耐震設計の考え方

地下施設の構造体は、地震時に必要とされる機能を確保するために必要な耐震性能を有するように設計するものとする。

【解説】

地中構造物は、地震時には地盤の変形と一緒に振動する特性を有するため、地上構造物に比較して一般に地震の影響を受けにくい構造物であり、従来の被害地震でも地下施設が大きな被害を受けた事例は少ない。しかしながら、地盤が軟弱な場合や地盤条件などが局所的に大きく変化する箇所、地下施設の構造条件の変化部などには、地震時には地盤ひずみが集中したり、構造物相互の振動特性が異なることにより変形や断面力が集中するなど、地震の影響が大きくなる場合もあることが知られている。このため、このような地中構造物の特性を十分に把握した上で、地震時に必要とされる機能の確実な確保を目標に耐震設計を行うことが重要である。

3.3 付属施設の耐震設計の考え方

地下施設の付属施設は、地震時に必要とされる機能を確保するために必要な耐震性を有するように設計するものとする。

【解説】

付属施設の中には、照明施設、換気施設、電源施設、非常施設など各種の施設があり、地震時に必要とされる機能もそれぞれが設置される地下施設に求められる機能に応じて異なってくると考えられる。このため、付属施設は、地震時に必要とされる機能に対して、これを確保できるように耐震設計を行うことが重要である。

例えば、機器、配管、ダクト等の付属施設に対して耐震性を向上させるための1つの方法としては、これらの施設を構造体に固定し、地震時に構造体と一体となって振動するように剛性と強度を高めたり、或いは構造体に大きな変形が生ずることが予想される場合には、構造体との相対変位を許容するなどの対応が考えられる。

付属施設のうち、以下のような施設について地震による被害の影響を検討するのがよい。

- ① 移動、転倒、落下等により、人命あるいは他の施設に影響を与えるおそれのある施設
- ② 重大な二次災害を引き起こす可能性のある施設
- ③ 火災の検知、消火及び避難のために必要な施設
- ④ 損傷した場合、復旧に時間と費用を必要とする施設

また、耐震設計にあたっては、各種付属施設の特性に応じて以下の点を考慮するのがよい。

- ① 防震装置の必要性の有無を検討する。
- ② 機器類を集約して設置する。
- ③ 機器の設置は床置き形とし、点吊形を避ける。
- ④ 機器類と接続されるダクト、配管等には、たわみ継手、フレキシブル継手等を用いる。
- ⑤ ダクト、配管等の吊り支持金物は極力短くする。

3.4 震前対策

地震時においては、災害の拡大を防止するとともに、地下施設の機能の確保を図ることを目的として、災害時に適切に対応するための事前対策を講じる。

【解説】

各種地下施設の地震時の機能確保を図ることを目的とし、災害規模を想定した上で各種の事前対策を講じておくことが重要である。事前対策の内容は各種地下施設に応じて個別に検討する必要があるが、一般に以下に示す事項などが考えられる。

- ① 各種地下施設情報（台帳）の整備
- ② 整備、点検等維持管理マニュアルと記録簿の作成
- ③ 救命・救急体制の整備と定期訓練等の実施
- ④ 非常時の指揮命令系統、広報活動等を含めた総合的組織・体制の整備
- ⑤ 緊急時に対する準備資材と復旧マニュアル等の用意

3.5 震後対策

地震発生時には、各種地下施設の使用用途及び必要とされる機能に応じて、震災後の被害状況、時間経過等の段階ごとに適切な調査、対策を行う。

【解説】

各種地下施設における発災後の対策は、以下に示す3段階に大別される。

1) 緊急調査

地震発災直後には、人命の確保を図るとともに、できるだけ短時間での被害状況の概略把握、2次災害の防止、応急復旧計画の策定等を主目的とした被害状況の調査が行われる。さらに必要に応じて緊急的な措置が行われる。緊急調査における主要な調査項目は以下の通りである。

- ① 残留者の有無の確認と救命・救助活動への対応
- ② 構造体の異常の有無
- ③ 電気、機械等の機能状況と異常の有無
- ④ 周辺施設への影響

2) 応急復旧

本復旧に至るまでの間に応急的な復旧を行う必要があるかどうかを検討し、合わせて本復旧の参考にするものとする。応急調査では、緊急調査により異常の発見された地下施設を中心に、損傷の内容、程度、損傷の進行を把握するための調査を行うとともに、本復旧までの間に応急復旧を必要とするかどうかを判断し、必要な手段を講じる。

3) 本復旧

本復旧は、当該地下施設の損傷の内容と程度、将来の地下施設の使用計画や復旧工事の制約条件などを考慮して実施する。

4. 関連法規

各種地下施設の震災時の機能確保の検討は、本報告書を参考にするほか、準拠すべき関係法令、関係基準・指針などを事前に十分調査し把握した上で行う必要がある。

【解説】

地震時の各種地下施設の機能確保については、各施設単独の機能確保のみならず、各種施設相互が有機的に機能することが必要とされる場合もある。また、地下施設は構造体のみならず各種の付属施設や収容施設から構成されるものもある。このため、各種地下施設の地震時の機能確保の検討に際しては、本報告書を参考にするほか、準拠すべき関係法令や各地下施設を管理する機関による関係基準・指針などを十分理解しておくことが重要である。

耐震設計等に係る法令・基準としては、以下のものなどがある。

1) 建築基準関係

- ・ 建築基準法（建設省）
- ・ 建築基準法施行令（建設省）
- ・ 建設省告示（建設省）
- ・ 建築設備耐震設計・施工指針（建設省）
- ・ 機械設備工事共通仕様書（建設省）

2) 消防関係

- ・ 消防法（自治省）

3) 道路トンネル関係

- ・ 道路法，同施行法，同施行令，同施行規則
- ・ 道路構造令，同施工規則
- ・ 道路トンネル技術基準（建設省）
- ・ 道路トンネル非常用施設設置基準（建設省）
- ・ トンネル標準示方書（（社）土木学会）
- ・ 道路トンネル維持管理便覧（（社）日本道路協会）
- ・ 沈埋トンネル技術マニュアル（運輸省港湾局監修，（財）沿岸開発技術研究センター）

4) 鉄道関係

- ・ 鉄道営業法
- ・ 運輸省令
- ・ 運輸省告示
- ・ 鉄道構造物等設計標準・同解説（運輸省鉄道局監修，（財）鉄道総合技術研究所）

5) 共同溝関係

- ・ 共同溝の整備等に関する特別措置法，同施行令，同施工規則
- ・ 共同溝設計指針（（社）日本道路協会）

6) 上下水道関係

- ・ 水道施設耐震工法指針・解説（（社）日本水道協会）
- ・ 水道維持管理指針・解説（（社）日本水道協会）
- ・ 下水道施設の耐震対策指針と解説（（社）日本下水道協会）

- ・下水道の地震対策マニュアル（(社)日本下水道協会）

7) 設備関係

- ・設備耐震設計委員会報告建築設備耐震設計指針(案)（(社)空気調和・衛生工学会）
- ・建築電気設備の耐震設計・施工マニュアル（(社)日本電設工業会）
- ・配電盤，制御盤の耐震設計指針（(社)日本電気工業会）
- ・自家用発電設備耐震設計のガイドライン（(社)日本内燃力発電設備協会）
- ・昇降機の技術基準の解説（付エレベータ耐震・設計施工指針）（(社)日本エレベータ協会）
- ・ガス配管耐震設計マニュアル（一般用）（(社)日本ガス協会）
- ・建築設備耐震対策設計資料（日本電信電話公社建築局）