

1 章 概説

1.1 適用範囲

本ガイドラインは土木構造物を耐震設計する場合の一般的な設計の基本を示すものである。ただし、特定の構造、用途種別等を考慮したものではなく耐震設計に際してはこれらを適切に考慮することが必要である。このため設計にあたっては本ガイドラインの適用を強制するものではない。

【解説】

土木学会は、1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震により、多くの土木構造物に多大の被害が発生したことを踏まえ、1995年5月に「土木構造物の耐震基準等に関する提言（第一次提言）」¹⁾を、1996年1月に「土木構造物の耐震基準等に関する第二次提言」²⁾を、2000年6月に「土木構造物の耐震設計法等に関する第3次提言」³⁾を発表した。

本ガイドラインはこれらの「提言」を踏まえ、学会としての耐震設計に関する現時点での知見・見解を指針の形でまとめたものである。従って、設計者の裁量による高度な技術の導入を妨げるものではなく、むしろそれを奨励するものである。

また、各機関が耐震基準を作成、改訂、解釈する際の手引きとなること及び現行国際基準との整合、国際基準の改定への寄与も考慮したものである。

参考文献

- 1) 土木学会：土木構造物の耐震基準等に関する提言（第一次提言），1995.5.
- 2) 土木学会：土木構造物の耐震基準等に関する提言「第二次提言」，1996.5.
- 3) 土木学会土木構造物の耐震設計法に関する特別委員会：土木構造物の耐震設計法等に関する第3次提言と解説，2000.6.

1.2 用語の定義

本ガイドラインで用いる用語の定義は次のとおりとする。

- ・ 地震動 : 地震が発生し、地震波が伝播する際、その経路に当たる地盤に生ずる振動。
- ・ 想定地震 : 構造物の耐震設計に用いる地震。
- ・ 設計耐用期間 : 設計時において、構造物または部材が、その目的とする機能を十分果たさなければならないと規定した期間。
- ・ 限界状態設計法 : 構造物の限界状態を定義し、設計耐用期間中に構造物に作用する荷重などの外的作用に対して、構造物が所用の安全性を有して限界状態に至らないことを照査する設計法。
- ・ 動的解析法 : 地震時における構造物及び地盤の挙動を動学的に解析して応答値を算出する方法で、時刻歴応答解析法、応答スペクトル法等の総称。
- ・ 静的解析法 : 地震による荷重を構造物および地盤に静的に作用させて、応答値を算定する方法。
- ・ 時刻歴応答解析法 : 動的解析法の一つで、逐次積分法により時刻歴の応答値を算出する方法。
- ・ 応答変位法 : 地震時の表層地盤のせん断変形の影響を考慮して、基礎、開削トンネル等の変位量や断面力を算定する方法。
- ・ 基準面 : 設計入力地震動を設定する面
- ・ 工学的基盤面 : 表層地盤の下にあって、表層地盤の地震時の挙動に対して基盤と見なすことができる地盤の上面。
- ・ 設計入力地震動 : 耐震設計において基準面で定義する入力地震動。
- ・ 表層地盤 : 地表面から耐震設計上の基盤面までの地層。
- ・ 活断層 : 断層の内、最近の地質時代（主として第四紀後期）に繰り返し活動し、今後も活動すると考えられる断層。
- ・ 普通地盤 : 液状化地盤、不整形地盤および軟弱粘性土地盤以外の地盤。
- ・ 液状化地盤 : 液状化が生じる可能性のある地盤。
- ・ 不整形地盤 : 地盤構成が水平方向に大きく変化している地盤。
- ・ 非線形性 : 応力とひずみの間に線形関係が成立しない材料非線形性、および大きな変形領域において、変形とひずみの間に線形関係が成立しない幾何学的非線形性の総称。
- ・ 応答塑性率 : 地震時における構造物の応答変位の降伏変位に対する比。
- ・ 減衰定数 : 振動エネルギーが構造物の内部で熱等になって消費されること、構造物系の外部へ逸散してゆくこと等によって起こる振動の減衰効果を現す指標。
- ・ 地盤の液状化 : 飽和した砂質地盤において地震動により間隙水圧が急激に上昇し、地盤がせん断強度を失い土の構造が破壊すること。
- ・ 地盤流動 : 液状化による地盤の流動
- ・ 安全係数 : 構造物の設計における不確実性及び重要性を考慮して、構造物が各限界状態に対して所用の安全性を有していることを保証するための係数。
- ・ 終局限界状態 : 構造物または部材が破壊したり、転倒、座屈、大変形等を起こし、機能や安定を失う状態。
- ・ 使用限界状態 : 構造物または部材が過度のひび割れ、変位、変形、振動等を起こし、正常な使用ができなくなったり、耐久性を損なったりする状態。

1.3 耐震設計の目標

耐震設計は、人命の損失を生じさせるような壊滅的な破壊の発生を防ぐこと、及び、地域住民の生活や生産活動に支障を与えるような機能の低下を極力抑制することを目標として行わなければならない。

【解説】

土木構造物は一般に公共性の高いものであり、それらの円滑な機能の維持・確保が個人の生命や生活、社会・生産活動に大きく影響を与える。このため耐震設計に当たっては、一般的な地震動（後述するレベル1地震動）に対しては、機能に重大な支障が生じず、かつ高レベルの地震動（後述するレベル2地震動）に対しても人命に重大な影響を与えないことを基本的な目標とする。さらに構造物、施設の内、一旦被災した場合に生ずる機能支障が災害応急対策活動にとって著しい妨げとなる恐れがあるものや、地方あるいは国といった広域に於ける経済活動に対し、著しい影響を及ぼす恐れがあるもの等については重要度を考慮し、高レベルの地震動に対しても他の構造物、施設等に比べ耐震性に余裕を持たせることを目標とする。

1.4 対象構造物

原則としてすべての新設の土木構造物を対象とする。

【解説】

本ガイドラインで対象とする構造物は、橋梁等の地上構造物、トンネル、埋設管等の地中構造物、擁壁等の抗土圧構造物、堤防、盛土等の土構造物等すべての土木構造物を対象とする。

ただし、原子力関連の土木構造物については、固有の設計体系^りがあるため本ガイドラインの適用外とする。

また、既存土木構造物については、「第二次提言」において新設構造物と同等の耐震機能を目指していることが示されている。このため耐震補強設計は、本ガイドラインを準用することとする。

参考文献

- 1) 土木学会原子力土木委員会：原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル，1992.9.

1.5 設計耐用期間

設計する構造物に対し、社会的要求、構造的劣化、代替構造物構築の難易度等を考慮し、耐用期間を設定する。

【解説】

耐震設計を行う場合、設計される構造物の設計耐用期間を設定する必要がある。設計耐用期間は以下の事項を考慮して設定する。

- ・社会的要求：その構造物の機能に対する社会的要求から決まる耐用期間。
- ・構造的劣化：経年変化による構造的劣化度から決まる耐用期間。
- ・代替構造物構築の難易度：代替構造物構築の難易度、コスト（LCC）等を考慮して決まる耐用期間。

間。

尚、構造的劣化による耐用期間は、維持管理の方法により大きく左右されるものである。このため、場合によっては、構造物の維持管理の方法まで設計で示すことも必要である。

土木構造物の耐用年数について、設計基準において示されているものは少ない。以下に「鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物 平成 11 年 10 月」¹⁾の例を示す。

設計耐用期間の設定例（「鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物」より抜粋）

2.3 設計耐用期間

構造物の設計耐用期間は、構造物に要求される使用期間及び環境条件等による構造物の耐久性を考慮して定めることを原則とする。

【解説】構造物の設計を行う場合には、設計耐用期間を設定することを原則とした。本標準では、設計想定地震の再現期間等、終局限界状態の検討に用いる荷重の特性値を決定する際の設計耐用期間としては、概ね 100 年を考慮することとする。

また、環境条件等による構造物の耐久性上の設計耐用期間としては、一般に 50 年間メンテナンスフリーを目標とし、適切な維持管理がなされるという前提のもとに、通常環境において 100 年程度の耐用年数が期待できることを想定して、かぶり、水セメント比等を定めることとする。

設計耐用期間が上記と異なる場合には、設計想定地震の規模、かぶり、水セメント比、耐久性上のひび割れ幅の制限値等は、設計耐用期間に応じて別に定めて良い。また、二次部材や付帯構造に対しては、個々に設計耐用期間を設定して良い。

参考文献

- 1) (財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物，pp11-12，1999.10.

1.6 耐震設計の原則

1.6.1 一般

- (1) 耐震設計においては考慮する地震動と構造物の重要度に応じて必要とする耐震性能を定め、それを確保することを基本とする。
- (2) 構造物は「1.8 耐震構造計画」に示す項目を考慮し、建設地点の地形及び地盤条件等に適した構造を計画するものとする。
- (3) 設計入力地震動は、以下に示す 2 つのレベルの地震動とする。
設計する構造物に対し、社会的要求、構造的劣化、代替構造物構築の難易度等を考慮し、耐用期間を設定する。
レベル 1 地震動：当面は許容応力度設計などの従来型設計に用いる地震動
レベル 2 地震動：構造物の損傷過程に立ち入って安全性を照査するための地震動であり、現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さをもつ地震動
- (4) 耐震性能は設計で考慮する地震動に対して構造物の重要度を考慮し、「1.6.3 構造物の耐震性能」により定めるものとする。
- (5) 耐震性能は、構造物の応答値が要求される耐震性能に応じた限界状態を越えないことを照査するものとする。

【解説】

(1)について

耐震設計において考慮する地震動は、レベル1地震動において設計耐用期間と密接な関係にある。このため構造物の設計耐用期間を定め、これに構造物の重要度を考慮して必要とする耐震性能を定めこれを確保することとした。

一方、このことは言い換えれば設計で考慮する地震動を越える地震動に対しては、耐震性能を保証しないことであり、設計に当たってはこのことも念頭に置いておくべきである。

(2)について

構造物の耐震設計に当たっては、構造物の目的、地形・地盤条件、地震動の地域特性等を考慮し、構造的及び代替ルート等のソフト面での配慮を行い計画することが重要である。

(3)について

本来、レベル1（L1地震動とも言う）およびレベル2地震動（L2地震動とも言う）という用語は、構造物の性能設計において、要求される耐震性能と対比して定められる入力地震動のレベルを表すものと考えられるが、「提言」から今日に至るまでの状況を見ると上記の意味で使われていることが多い。これらの用語が本来の意味で使われるまでには、現時点では多くの検討項目が残されていることから、当面、これらの用語を上記のように解釈することとした。詳細は「2章 設計地震動」を参照のこと。

(4)について

土木構造物は、橋梁、ダム等の地上構造物、ライフライン、トンネルなどの地中構造物、堤防、盛土等の土構造物、港湾構造物等構造物の種類が多く、また、構造形式も多様であり建設環境、使用環境も異なる。このため、それぞれ構造物毎に評価し、耐震性能を設定する。

レベル1地震動に対しては原則として、構造物の機能が維持されるものとする。レベル2地震動に対しては許容される損傷並びに機能低下の程度は、各構造物の重要度、機能の早期修復の可能性、経済性の評価により定めるものとし、構造系全体が崩壊するようなことは無いようにする。

(5)について

耐震性能の照査では、考慮する地震動に対し構造物の応答値を算定し、これが要求される耐震性能に応じた限界値を超えないことを確認することとする。

1.6.2 耐震設計の方法

耐震設計では、考慮する地震動及び確保すべき耐震性能に応じた方法により構造物の応答値を算定し、必要とする耐震性能を確保するよう設計する。

【解説】

構造物の耐震設計では、地盤と構造物の動的相互作用を考慮し、地盤と構造物を一体として応答計算を行うことが望ましい。しかし、構造物とこれに比べて著しく大きな広がりを持つ地盤をまとめて1つのモデルで解析を行うことは容易ではない。このため地盤と構造物の動的相互作用による影響がそれほど大きくない構造物の耐震設計は、基盤で設定した地震動を用いて表層地盤の応答計算を行い、その地震動を構造物に入力して応答を求め、その耐震性能を照査することが一般的である。

地盤の地震時応答の算出においては、地形、地質構造、地盤の動的特性、入力地震動に応じた解析手法を用いるものとし、基盤面での設計地震動を用いて表層地盤の特性を考慮した地盤の動的解析を実施するのが望ましい。

構造物の応答値の算定方法は、大きく分けて動的解析法と静的解析法がある。動的解析法は、地震時における構造物の挙動を動力学的に解析して応答値を算出するもので、時刻歴応答解析法や応答スペクトル法がある。静的解析法は、地震時における荷重や変位を構造物に静的に作用させて応答値を算出する方法である。本ガイドラインでは、地震時における構造物の挙動を比較的良好に表現できる動

的解析によることを基本とするが、構造物の種類によっては、それになじまないものもあり、その特性に応じて適切な方法で算定するのがよい。

1.6.3 構造物の耐震性能

構造物の耐震性能は、その施設の重要度及び想定する地震動のレベル等を総合的に考慮して設定する。

【解説】

耐震性能を規定するための構造物の具体的な状態は以下の通りである。

- ①無被害（耐震性能Ⅰ）
- ②構造物としての機能を維持しているが補修が必要な状態（耐震性能Ⅱ）
- ③崩壊又は完全な破壊ではないが構造物の機能が喪失している状態（耐震性能Ⅲ）
- ④崩壊又は完全な破壊

なお、耐震性能Ⅱについては、補修の程度でさらに細分化する場合もある。また、耐震性能Ⅲについては、補強すれば再利用可能な状態と再利用不可能な状態に分ける場合もある。

許容される損傷並びに機能低下の程度は、各施設の重要度、機能の早期の復旧の可能性、経済性の評価より定めるが構造物全体系が崩壊することはないようにする。従って構造物の耐震性能としては、上記①～③の状態とする。

レベル1地震動に対しては、基本的にはいずれの構造物においても「無被害レベル」の耐震性能を要請することは、現時点での技術的および社会経済的条件を前提としたシビルミニマム的要求と見なされることから耐震性能Ⅰを満足するものとする。

レベル2地震動に対する構造物の耐震性能は、損害回避と耐震化費用に基づく費用分析を基礎として決定すべきであり、その施設の重要度に応じて決定する必要がある。重要度の高い施設に対しては耐震性能Ⅱ、その他の施設に対しては耐震性能Ⅲを満足するものとする。

1.6.4 耐震性能の照査

構造物の耐震性能に対する照査は、考慮する地震動のレベルと構造物の種類に応じた耐震性能との組合せに応じて照査する。

レベル2地震動に対しては、構造物が損傷を受けること及び機能が低下することを前提としてその損傷過程に立ち入って照査する。

【解説】

耐震性能の照査は構造物を構成する部材の損傷レベル及び構造物全体系に対して行ない、要求される耐震性能に応じた限界状態を越えないことを確認する。

構造物によっては、構造物を構成する部材の損傷レベルに対する照査を行うことで、全体系に対する照査を満足する場合があります。その場合は、全体系の照査を省略してよい。

構造物の変位の検討は、レベル1及びレベル2地震動に対して構造物全体系で行うものとする。

各種部材の耐震性能の照査については、「6章 部材の評価」に示す。

各種構造物の耐震性能の照査については「8章 構造物の耐震性能の照査」に示す。

1.6.5 施設の重要度

構造物が損傷を受けた場合、人命、生活機能等へ与える影響の度合い等は各々異なる。このためこれらに対する影響の度合い等を踏まえ重要度を設定する。

【解説】

施設の重要度は以下の事項等を考慮して設定する。

- ① 構造物が損傷を受けた場合、人命・生存に与える影響の度合い
- ② 避難・救援・救急活動と2次災害防止活動に与える影響の度合い
- ③ 地域の生活機能と経済活動に与える影響の度合い
- ④ 都市機能の早期復旧に与える影響の度合い及び復旧の難易度

なお、土木構造物は一般に公共性の高いものであり、個人の生命、生活、社会活動等に大きな影響を与える。このため構造物毎に設定した重要度を公表し、積極的に社会的合意形成を図る必要がある。

参考文献

- 1) 土木学会地震工学委員会レベル2地震動研究小委員会：レベル2地震動研究小委員会の活動成果報告書，pp11，2000.3.

1.7 安全係数

安全係数は、材料係数 γ_m 、荷重係数 γ_f 、構造解析係数 γ_a 、部材係数 γ_b および構造物係数 γ_i とする。

【解説】

部材断面の破壊を対象とする終局限界状態における安全性の検討においては、荷重から設計断面力を求める過程で γ_f と γ_a の2つの安全係数を、また、材料強度から設計断面耐力を求める過程で γ_m と γ_b の2つの安全係数を設定し、さらに設計断面力と設計断面耐力を比較する段階で安全係数 γ_i を設定した。

材料係数 γ_m は、材料強度の特性値からの望ましくない方向への変動、構造物中との材料特性の差異、材料特性が限界状態に及ぼす影響、材料特性の経時変化等を考慮して定めるものとする。

荷重係数 γ_f は、荷重の特性値からの望ましくない方向への変動、荷重の算定方法の不確実性、設計耐用期間中の荷重の変化、荷重特性が限界状態に及ぼす影響、環境作用の変動等を考慮して定めるものとする。荷重係数 γ_f は、荷重の種類によって変化するとともに、限界状態の種類及び検討の対象としている断面に生じる断面力への荷重の影響（たとえば、最大値、最小値のいずれか不利な影響を与えるか等）によっても異なる。

構造解析係数 γ_a は、断面力算定時の構造解析の不確実性等を考慮して定めるものとする。断面力を算定する関数は、荷重を実際の値として時に断面力の平均値を求めることを標準としており、この関数の変動を構造解析係数とした。

部材係数 γ_b は、部材耐力の計算上の不確実性、部材寸法のばらつきの影響、部材の重要度、すなわち対象とする部材が限界状態に達したときに構造物全体に与える影響等を考慮して定めるものとする。部材の重要度とは、たとえば主部材が二次部材より重要であるというように、構造物中にしめる対象部材の役割から判断される。曲げ破壊とせん断破壊に対する安全度を意図的に変化させたり特定の部材で破壊を生じさせる必要のある場合には部材係数 γ_b で考慮することができる。

構造物係数 γ_i は、構造物の重要度、限界状態に達したときの社会的影響等を考慮して定めるものと

する。構造物の重要度に関する構造物係数 γ_i の中には、対象とする構造物が限界状態に至った場合の社会的影響や、防災上の重要性、再建あるいは補修に要する費用等の経済的要因も考慮して決定する。

1.8 耐震構造計画

1.8.1 一般

耐震設計に当たっては、構造物の建設地点が地震動に及ぼす影響、構造物の形式による地震応答の差異を総合的に考慮して構造物の位置、形式等を定めるものとする。

【解説】

構造計画に当たっては、一般に次の事項を考慮するのがよい。

①隣接する構造物との連成効果を考慮に入れる。

隣接している構造物の動特性、基礎構造、地盤条件が相違する場合、一方の構造物の応答が他方の構造物のそれに影響を与え、思わぬ被害に結びつくことがある。構造計画に当たってはこのことを考慮に入れていく必要がある。

②構造物の抵抗中心と荷重の作用中心ができるだけ一致するように配置する。

構造物に水平ねじりが生じないように、構造物の抵抗中心と荷重の作用中心ができるだけ一致するように配慮することが必要である。構造物の抵抗中心と荷重の作用中心を一致させることができない場合は、耐震性能を高くする等の対象が必要である。

③構造上塑性ヒンジができる部分には、十分な変形性能を持たせておく。

地震の影響により過大な変形や応力集中が生じないような構造とするとともに、構造物全体の崩壊を防止するため、構造上塑性ヒンジができる部分には十分な変形性能を持たせておくことが大切である。尚、耐震設計上は静定構造物より不静定構造物の方が変形性能に優れ、終局耐力の面からも望ましい。

④構造物の耐震性を向上させるために免震や制震技術についても検討する。

免震構造は比較的短周期構造物の変形性能と減衰性の増大を可能とし、エネルギー吸収機構を含む制震構造は、長周期構造物の減衰性の増大を可能とする。

⑤地盤の液状化に起因する地盤流動が構造物に悪影響を与えないよう配慮する。

地盤の液状化やこれに起因する地盤の側方流動は、地中構造物の耐震性に大きな影響を与えるため、耐震設計に当たっては地盤の安定性を十分検討しなければならない。

⑥地中構造物にあっては、躯体や継ぎ手部分からの浸水などの防止対策や地盤の液状化に起因する浮き上がり等に対しても検討する。周辺地盤の地震時の変位や変形などの挙動と安定性が地中構造物の耐震設計にとって重要である。

⑦構造物の基礎形式は、構造物の種類と構造条件、荷重規模、地盤条件及び施工上検討を考慮して選定する必要がある。特に軟弱地盤では地盤の変形等の生じることを考慮し、それに適した基礎形式及び構造形式の選択が重要である。

⑧土構造物の耐震構造計画に当たっては、土質や地盤のばらつき等に配慮し、相対的な弱点箇所に対して適切な処置を行うことが重要である。

1.8.2 断層直上の対策

活断層の位置が明確であり、それを横切って構造物を作る場合には、構造物自体の耐震性の向上で対処するが、技術的に困難な場合があるので、システムとしての代替性などの対策も考慮するのがよい。

【解説】

活断層の位置が明確にわかっている場合は、地上構造物の場合は、連続桁化、桁座拡幅、構造物の高強度化等が考えられる。また、地中構造物の場合は、大断面化、二重化、可撓化、構造物と内部施設の絶縁化等の対策が考えられる。しかし、これらが技術的に困難な場合は、システムとしての代替性等のソフト面からの対策も考慮する必要がある。