

第2章 屋外重要土木構造物の耐震性能

2.1 一般

屋外重要土木構造物の耐震性能照査にあたっては、対象とする構造物について、要求性能および目標性能を設定する。

【解説】 構造物の性能を明確にするため、要求性能および目標性能に区分し記述する。『要求性能』は、内容の周知を意図するため、設定する性能の内容が一般的・社会的に理解しやすいように表現する。『目標性能』は、照査に携わる技術者側の立場で『要求性能』に対する工学的な目標を示すものであり、想定する荷重作用に対して構造物の許容しうる『限界状態』として設定する。また、この『限界状態』の具体的な評価指標が『照査項目』であり、耐力、変形などの計算可能な物理量である。これら各性能の階層関係を解説表 2.1-1 に示す。

解説表 2.1-1 各性能の階層関係

性能種別	各性能の意味	具体的な性能の例
要求性能	社会的に求められる構造物の性能。性能の周知を意図して表現される。	ポンプの揚水機能(取水ビットの場合)や海水管の通水機能(海水管ダクトの場合)等を損なわない。
目標性能	要求性能に対して工学的な目標となる性能。想定する荷重作用と、構造物の許容しうる限界状態にて記述される。	基準地震動 S_2 に対して、 ① 構造物が崩壊しない ② 機器・配管の機能維持のための制約条件
照査項目	限界状態の具体的な評価指標。計算可能な物理量として示される。	上記目標性能に対して、 ① 層間変形角，断面力など ② 上-中床版間相対変位，傾斜角など

2.2 屋外重要土木構造物の要求性能

屋外重要土木構造物の要求性能は、その用途、目的および重要性を勘案して、機器・配管を支持する屋外重要土木構造物および機器・配管を支持しない屋外重要土木構造物に区分し、次のように設定する。

- ① 機器・配管を支持する屋外重要土木構造物：機器・配管の各機能を維持するように支持する。
- ② 機器・配管を支持しない屋外重要土木構造物：冷却用海水を取水・通水する機能を維持する。

【解説】 原子力発電所施設に要求される性能には、設計耐用期間にわたり支障なく発電すること、設計耐用期間中の荷重作用に対して安全性を確保すること等がある。特に、安全性確保の観点については、「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針：平成2年8月 原子力安全委員会」（以下、「安全設計審査指針」という）において、自然現象を含む種々の設計条件を考慮した場合にも、一般公衆および従事者に過度の放射線被曝を与えないように施設を設計するとされており、これが、原子力発電所施設が保持すべき最重要の性能といえる。

設計耐用期間中に考慮すべき重要な荷重作用の一つに、地震の影響がある。これについては、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針：昭和56年7月 原子力安全委員会」（以下「耐震設計審査指針」という）において、原子力発電所施設の耐震設計に関する基本方針として、『発電用原子炉施設は想定されるいかなる

地震力に対してもこれが大きな事故の誘因とならないよう十分な耐震性を有していなければならない。』とされている。これに従い、本指針で対象とする屋外重要土木構造物に対しても、地震時における所要の性能を確保することを最上位の要求性能としている。

屋外重要土木構造物は、たとえ同一の系統(例えば、非常用取水設備)に属する構造物であっても、取水口や取水路のように機器・配管を支持しない構造物と、取水ピットや海水管ダクトのように機器・配管を支持する構造物とでは、要求される性能が異なる。したがって、当該設備の機器・配管を支持する/支持しないという区分により要求性能を設定する。

機器・配管を支持する構造物の場合は、当該設備の各機能を損なわないことを要求性能とする。

機器・配管を支持しない構造物としては、非常用取水設備に属する取水口、取水路等の海からポンプ室に至る区間の設備が該当する。これらの構造物は、その内部を直接、冷却用の海水が流れる構造となっている。非常用取水設備の機能の観点からみれば、海水ポンプや海水管などの機器・配管と同等の要求性能を規定すべきであると考え、冷却用海水を取水・通水する機能を損なわないことを要求性能とする。

2.3 屋外重要土木構造物の目標性能

屋外重要土木構造物の目標性能は、耐震性能と耐久性能として設定する。

【解説】 屋外重要土木構造物は、設計耐用期間を通じて当該設備やその系統の機能/性能を維持することが求められている。ここでは、保証すべき性能として、耐震性能および耐久性能を設定する。耐震性能は、地震時に作用する荷重に対して屋外重要土木構造物に十分な安全性が確保されるように、また、耐久性能は、設計耐用期間を通じて所要の耐震性能が確保されるように、目標性能を設定する。

なお、設計耐用期間とは、構造物の要求性能を保証する期間のことで、社会的要因や経済的要因等に基づいて事業者が決定するものとする。

2.4 耐震性能

(1) 屋外重要土木構造物の耐震性能の照査では、次の2種類の地震動を考慮する。

- ① 基準地震動 S_1 : 設計用最強地震による地震動
- ② 基準地震動 S_2 : 設計用限界地震による地震動

(2) 屋外重要土木構造物の目標性能は、当該設備やその系統の耐震重要度、機器・配管の支持の有無、想定する地震動に対応して、以下のように設定する。

- ① 機器・配管を支持する屋外重要土木構造物：想定する地震動に対して崩壊せず、機器・配管の機能維持のための与条件を満足する。
 - ・ A_s クラスの機器・配管を支持する構造物は、基準地震動 S_2 を考慮する。
 - ・ A クラスの機器・配管を支持する構造物は、基準地震動 S_1 を考慮する。
- ② 機器・配管を支持しないが、 A_s クラスの機器・配管を支持する屋外重要土木構造物と同等の耐震安全性が要求される屋外重要土木構造物：想定する地震動に対して崩壊しない。

【解説】 (1)について 「技術指針 4601-1987」によれば、屋外重要土木構造物は、主に『間接支持構造

物』に分類されており、考慮すべき地震動は、屋外重要土木構造物の破損により影響が波及するおそれのある『主要設備』、『補助設備』、および『直接支持構造物』において設定するものと同一の地震動とする。

なお、基準地震動については、「耐震設計審査指針」の規定に準拠する。

(2)について 対象としている屋外重要土木構造物が属する系統は、大別すると、①原子炉補機冷却系設備、②非常用電源設備、③安全注入系・補助給水系設備および④非常用ガス処理系設備の4種類である(解説表 1.1-4 参照)。「耐震設計審査指針」で規定された耐震重要度では、①～③の系統はAsクラスに、④はAクラスに分類される。また、屋外重要土木構造物の要求性能は、機器・配管の有無に応じて異なっており、これらを勘案して、屋外重要土木構造物の目標性能は、当該設備やその系統の耐震重要度と、機器・配管の有無に応じて設定することとする。各種構造物の要求性能と、それから展開される目標性能を解説表 2.4-1 に示す。

Asクラスの機器・配管を支持する屋外重要土木構造物については、基準地震動 S_2 に対して、機器・配管の機能維持を確認することとする。屋外重要土木構造物としては、機器・配管の設置空間等を確保することが必要であり、その基本的な性能は耐荷性能である。通常、耐荷性能は、構造物が崩壊しないことによりその性能を担保することが可能である。したがって、Asクラスの機器・配管を支持する屋外重要土木構造物については、基準地震動 S_2 に対して、構造物が崩壊しないことを目標性能とする。また、機器側から機器・配管の機能維持に関する制約条件が提示された場合には、あわせて照査することとする。

Aクラスの機器・配管を支持する屋外重要土木構造物については、基準地震動 S_1 に対して、機器・配管の機能維持を確認することとする。Asクラスの機器・配管を支持する構造物と同様に、機器・配管の設置空間等を担保することが必要である。したがって、Aクラスの機器・配管を支持する屋外重要土木構造物については、基準地震動 S_1 に対して、構造物が崩壊しないことを目標性能とする。また、機器側から機器・配管の機能維持に関する制約条件が提示された場合には、あわせて照査することとする。

機器・配管を支持しない屋外重要土木構造物については、その系統がAsクラスに属しており、系統の機能維持のために基準地震動 S_2 に対して、取水性や通水性を確保することが必要であり、その基本的な性能は耐荷性能といえる。したがって、機器・配管を支持しない屋外重要土木構造物については、基準地震動 S_2 に対して、構造物が崩壊しないことを目標性能とする。

なお、機器・配管に関する直接的な照査は、現時点では、屋外重要土木構造物の床応答に基づき機器側で照査を行うことになり、「技術指針 4601-1987」には、『関連設備の耐震重要度に応じて、適用される基準地震動に対しても支障のないことを確認する必要がある。』とされていることから、Asクラスの機器・配管の設計に際し、基準地震動 S_1 による土木構造物側の照査を要請される場合がある。

解説表 2.4-1 原子力発電所の地震時の要求性能から展開される屋外重要土木構築物に必要な性能

原子力発電所の地震時の性能	機器・配管系の性能	構造物の種類	屋外重要土木構築物の性能	目標性能
<p>地震時における原子力発電所の安全確保</p> <p>原子炉を「止める」、「冷やす」放射能を「閉じ込める」</p> <p>耐震設計上の重要度分類 Aクラス</p> <p>自ら放射能物質を内蔵しているか又は内蔵している施設に直接関係しており、その機能喪失により放射性物質を外部に放散する可能性のあるもの、及びこれらにこれらからの事故発生の際に、外部に放散される放射性物質による影響を低減させるために必要不可欠なものであって、その影響、効果の大きいもの (耐震設計審査指針より抜粋)</p>	<p>土木構造物と関連の深い Aクラス機器設備</p> <p>「止める」 ①非常用電源設備 外部電源系の喪失時に、原子炉を安全に停止するために必要な電源を供給するとともに、工学的安全設備を起動させるための電源を供給する。 (PWR, BWR 共通設備)</p> <p>「冷やす」 ②原子炉補機冷却系設備 非常時に、原子炉補機熱(余熱)を除去するとともに、非常用機器の冷却に必要な冷却水の熱量を十分に除去する。 (PWR, BWR 共通設備)</p>	<p>As クラスの機器・配管を支持する屋外重要土木構築物</p> <p>・取水ピット (PWR, BWR 共通設備)</p> <p>・軽油配管ダクト (PWR, BWR 共通設備)</p> <p>・海水管ダクト (PWR, BWR 共通設備)</p> <p>※タンク類の基礎に関しては本指針では取り扱わない。</p>	<p>機器・配管を安全に支持 (支持機能の確保)</p> <p>機器・配管の各機能を損なわない (参考) 土木構築物では、例えば、非常用取水設備(原子炉補機冷却海水系設備等)を支持する構造物(具体的には、海水ポンプ基礎、海水管ダクト等)は間接支持する設備の耐震設計に適用される地震動に対して、当該設備を支持する機能を損なわないことを確認する必要がある。 (技術指針 4601-1987より抜粋)</p>	<p>基準地震動 S_B に対して ①構造物が崩壊しない ②機器・配管の機能維持のために屋外重要土木構築物に求められる条件を満足する (機器側との調整)</p> <p>①層間変形角、せん断耐力などによる照査 ②機器側からの与条件に対する照査</p>
<p>以上の中で特に重要なもの Aクラス</p>	<p>土木構造物と関連の深い Aクラス機器設備</p> <p>「閉じ込める」 ③非常用ガス処理系設備 非常時に、原子炉建屋屋内に発生する気体放射性廃棄物を、原子炉建屋内の負圧を保ちながら安全に処理する。 (BWR 設備)</p>	<p>A クラスの機器・配管を支持する屋外重要土木構築物</p> <p>・非常用ガス処理系配管ダクト (BWR 設備)</p> <p>※排気筒の基礎に関しては本指針では取り扱わない。</p>	<p>機器・配管を安全に支持 (支持機能の確保)</p> <p>機器・配管の各機能を損なわない (参考) 土木構築物では、例えば、非常用取水設備(原子炉補機冷却海水系設備等)を支持する構造物(具体的には、海水ポンプ基礎、海水管ダクト等)は間接支持する設備の耐震設計に適用される地震動に対して、当該設備を支持する機能を損なわないことを確認する必要がある。 (技術指針 4601-1987より抜粋)</p>	<p>基準地震動 S_1 に対して ①構造物が崩壊しない ②機器・配管の機能維持のために屋外重要土木構築物に求められる条件を満足する (機器側との調整)</p> <p>①層間変形角、せん断耐力などによる照査 ②機器側からの与条件に対する照査</p>

2.5 耐久性能

(1) 屋外重要土木構造物の耐久性能の照査では、次の3種類の環境作用を考慮する。

- ① コンクリートの中酸化
- ② 塩化物イオンの侵入
- ③ 凍結融解作用

(2) 屋外重要土木構造物の耐久性能は、設計耐用期間において、環境作用による材料劣化が耐震性能に影響しないこととする。

【解 説】 (1)について 大気に接する屋外重要土木構造物では、空気中に二酸化炭素が存在するため、コンクリートの中酸化を考慮することとする。屋外重要土木構造物は、海水あるいは海水を含む地盤に接する場合があります。また、飛来塩分に曝される場合もあるため、塩化物イオンの侵入を考慮することとする。また、寒冷地などでは、温度変化による凍結融解作用を受ける場合があるため、これを考慮することとする。

(2)について コンクリートが中酸化する、あるいはコンクリート中に塩化物イオンが侵入すると、鉄筋腐食、その進展によるコンクリートのひび割れの発生、鉄筋断面積の減少などの材料劣化が生じる。また、凍結融解作用により、コンクリートの品質低下などの材料劣化が生じる。これらの材料劣化は、進行程度により耐震性能に影響を与える場合があるため、設計耐用期間において、これらの材料劣化の進行が、耐震性能に影響しない程度であることを目標性能とする。