

付属資料 1

「土木・建築にかかる設計の基本」

国土交通省

はじめに

我が国においては、種々の構造物の設計に係わる技術標準を、土木構造物・建築構造物あるいは鋼構造物・コンクリート構造物・基礎構造物といった、各構造物の特性に特化させて発達させてきた。

このことは、各構造物の構造設計における最適設計を行うという面からは効果的なものであったが、構造物の特性別の技術標準の存在は、近年において指摘されることが多くなっている説明性の向上といった面からは、阻害要因となることもある点は否めない。

さらに、ISO（国際標準化機構）において策定される国際規格については、WTO（世界貿易機関）の政府調達協定により政府機関においてはその遵守が求められており、ISO規格においては、設計・施工に係わる規格策定も進められている。

また、欧州においては、EU統合後を見据えて、EU域内の統一規格としての設計・施工に係わる規格がCEN（欧州標準化委員会）で策定されてきており、その欧州規格がISO規格案として提案される可能性が高い状況にあるといえる。

国際的に策定が進められているこれらの規格においては、土木・建築といった分野の違い、鋼・コンクリートといった構造種別の違いに関係なく、共通する事項は共通的に扱い、分野および構造種別に依存する部分はそれぞれの中で規定していくといった基本的方向性が見られる。

こうした背景にあって、分野・構造種別を超えた「設計にかかる基本」をとりまとめるために、土木・建築の各分野の学識者等から成る委員会および幹事会を平成10年12月に設立し、以降3年間にわたる議論を進めてきたものである。

ここでとりまとめられる内容は、技術の国際的な標準化への対応も意識したものであることは上述の通りであるが、さらに、我が国の設計にかかわる技術標準の将来的な改訂に際して、様々な分野の枠組みを超えた議論が今後も継続的になされ、国際性を有した技術標準を策定する一助となれば幸いである。

共同委員長　：長瀧　重義
岡田　恒男

土木・建築にかかる設計の基本検討委員会

委員会

	氏名	所属
共同委員長	長瀧 重義	新潟大学工学部建設学科教授
共同委員長	岡田 恒男	芝浦工業大学工学部建築工学科教授
鋼構造	藤野 陽三	東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻教授
	高梨 晃一	千葉大学工学部デザイン工学科建築系教授
コンクリート構造	田邊 忠顯	名古屋大学大学院工学系研究科土木工学専攻教授
	上田 茂	鳥取大学工学部土木工学科教授
	小谷 俊介	東京大学大学院工学系研究科建築学専攻教授
地盤	日下部 治	東京工業大学工学部土木工学科教授
	杉村 義広	東北大学大学院工学研究科都市・建築学専攻教授
地震	大町 達夫	東京工業大学大学院総合理工学研究科人間環境システム専攻教授
	前任者 濱田 政則	早稲田大学理工学部土木工学科教授
	前任者 西川 孝夫	東京都立大学工学研究科建築学専攻教授
前任者	松島 豊	筑波大学機能工学系教授

幹事会

	氏名	所属
鋼構造	佐藤 尚次	中央大学理工学部土木工学科教授
	平原 伸幸	独立行政法人土木研究所構造物研究グループ橋梁構造上席研究員
前任者	西川 和廣	建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室長
	小野 徹郎	名古屋工業大学社会開発工学科建築系教授
前任者	井上 一朗	京都大学大学院工学研究科生活空間学専攻教授
	岡田 恒	独立行政法人建築研究所構造研究グループ長
前任者	山内 泰之	建設省建築研究所基準認証研究センター長
コンクリート構造	上田 多門	北海道大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻助教授
	前任者 六郷 恵哲	岐阜大学工学部土木工学科教授
	河野 広隆	独立行政法人土木研究所技術推進本部構造物マネジメント技術主席研究員
	横田 弘	独立行政法人港湾空港技術研究所地盤・構造部構造強度研究室長
	三橋 博三	東北大学工学研究科都市・建築学専攻教授
前任者	犬飼 瑞郎	国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部主任研究官
	倉本 洋	国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部基準認証システム研究室長
前任者	平石 久廣	建設省建築研究所基準認証研究センター長
地盤	鈴木 誠	清水建設(株)技術研究所構造研究開発部応用解析グループ主任研究員
	前任者 松井 謙二	㈱建設技術研究所技術本部技師長
	恒岡 伸幸	独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループ土質上席研究員
前任者	三木 博史	建設省土木研究所材料施工部土質研究室長
	菊池 喜昭	独立行政法人港湾空港技術研究所地盤・構造部基礎工研究室長
	桑原 文夫	日本工業大学工学部建築学科教授
	二木 幹夫	国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部長
前任者	田村 昌仁	建設省建築研究所第三研究部基礎研究室長
地震	森 伸一郎	愛媛大学工学部環境建設工学科助教授
	前任者 磯山 龍二	日本技術開発(株)環境防災事業部副事業部長
	運上 茂樹	独立行政法人土木研究所耐震研究グループ耐震上席研究員
	井合 進	独立行政法人港湾空港技術研究所特別研究官
	石山 祐二	北海道大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻教授
	大川 出	独立行政法人建築研究所構造研究グループ上席研究員
前任者	飯場 正紀	建設省建築研究所基準認証研究センター認証システム研究室長

※所属・役職は在任期間の最終時点のもの。

目 次

1.総則	1
1.1 適用	1
1.2 設計の基本	2
2.限界状態	3
2.1 一般	3
2.2 終局限界状態	7
2.3 使用限界状態	8
2.4 修復限界状態	8
3.作用	11
3.1 定義	11
3.2 作用の分類	13
3.3 各作用の扱い	14
3.4 荷重の組合せ	15
4.耐震設計	18
4.1 耐震性能	18
4.2 地震動レベルの明示方法	26
5.性能の検証法	27
—附属資料 1 用語集—	28
—附属資料 2 委員会における議論の経緯等—	30

1.総則

1.1 適用

本「土木・建築にかかる設計の基本」は、構造物全般を対象として、構造設計に係わる技術標準の策定・改訂の基本的方向を示すものである。また、本「土木・建築にかかる設計の基本」では、構造物の安全性等の基本的要求性能と構造物の性能に影響を及ぼす要因を明示的に扱うことを基本とし、要求性能を満たすことの検証方法として信頼性設計の考え方を基礎とする。

- ①本「土木・建築にかかる設計の基本」は、分野として、土木分野および建築分野の両分野において設計される構造物全般を対象としている。ここでいう構造物とは、「目的とする機能を持ち、作用に対して抵抗することを意図として人為的に構築されるもの」としている。
- ②本「土木・建築にかかる設計の基本」は、土木・建築の両分野を通じた包括的なフレームであり、各構造物に対応する設計技術標準を策定あるいは改訂するにあたって基本となる事項を示している。言い換えれば、いわゆる「Code for Code Writers」に相当するものであり、個別の構造物の設計技術標準の策定あるいは改訂に際しては、取捨選択される事項を含むものである。個別の構造物に係わる設計技術標準において取捨選択される事項に関して、本「土木・建築にかかる設計の基本」では、選択に係わる方針は個別の構造物の設計技術標準の策定・改訂における議論に任せ、考慮する事項を包括的に示すこととしている。
- ③構造物の設計は、安全性、使用性、修復性といった事項以外に、景観、自然環境に与える影響、経済性等にも配慮した総合的なものであるが、ここでは、以下の設計の基本で規定した安全性、使用性、修復性等を考慮した「構造設計」に限定している。
- ④構造物の基本的要求性能および性能に影響を及ぼす要因を明示的に扱うことを基本としたのは、公共構造物については、意志決定等に関して透明性、説明性が求められようになっており、構造設計における透明性、説明性の確保といった点を考慮したことによるものである。
- ⑤「信頼性設計の考え方を基礎とする」とは、「限界状態を設定して作用および構造物の耐力が有する不確定性を考慮し、設計供用期間内に限界状態を超える状態の発生を許容目標範囲内に収める」ことを意図している。また、本「土木・建築にかかる設計の基本」の考え方の基礎を、信頼性設計に置くことは、我が国の設計標準の国際性を確保することとなる。さらに、各国で実施されている研究成果を我が国の設計標準に反映させることも可能となるといえる。なお、信頼性設計の考え方に基礎を置く過程において、信頼できる基礎データが参照されることが重要である。また、このための基礎データの蓄積とその公開が重要である。

1.2 設計の基本

設計においては、設計対象とする構造物の設計供用期間を定め、設定した期間において以下の(1)～(3)の基本的要求性能を確保することを基本とする。

- (1)想定した作用に対して構造物内外の人命の安全性等を確保する（安全性）。
- (2)想定した作用に対して構造物の機能を適切に確保する（使用性）。
- (3)必要な場合には、想定した作用に対して適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行うことで継続的な使用を可能とする（修復性）。

①設計においては、設計供用期間を設定することを規定した。

②(1),(2)は、それぞれ、安全性および使用性に対する基本的要求性能を示している。

③安全性の概念は「人の安全」を基本とし、ここでは、人為的に建設され、通常は無人の構造物の崩壊を防止することも安全性の概念に含め、「構造物内外の人命の安全性等」としている。

④(3)は、「安全性」、「使用性」という構造物の基本的要求性能と並列して、「修復性」という基本的要求性能を示したものである。

「修復性」は、想定した作用による構造物の損傷に対して、妥当な手法、経費、期間で修復することにより継続使用を可能とすることができるようにする損傷レベルのコントロールを意図している。

地震国である我が国において、地震後に公共施設が早期に機能を回復し、継続的な使用が可能とすることを想定した設計を行うことなどは、ここでいう修復性を考えた設計に相当することとなる。また、地震後に、倒壊は免れたが取り壊して新たに建て替えなければならない建築物が非常に多く発生する状況を回避するといった視点からも、修復性という基本的要求性能をとらえることもできる。

⑤なお、規定としては示していないが、構造物の設計に際して、局所的な破壊が構造システム全体に対して致命的な影響を及ぼすことなど、原因に対して不釣り合いに大きな被害を招くことないようにする（構造ロバスト性の確保：structural integrity requirement）といった概念がある。この概念は、ISO2394においても基本的要求事項(fundamental requirement)で示されているものである。こうした概念も基本的要求性能である安全性および修復性に含めて考慮すべき事項である。

2.限界状態

2.1 一般

検証の対象とする限界状態としては、終局限界状態、使用限界状態、および修復限界状態とする。ただし、設計対象としている構造物の目的等に応じて限界状態を選択するものとする。

- ①土木の技術標準では、疲労限界状態を終局限界状態、使用限界状態と並列的に扱っているものもあるが、ここでは、「限界状態が発生する作用の違い」として、疲労については終局限界状態および使用限界状態の中で扱うこととした。(表 2-1 参照)
- ②設計に際して、ここに示した全ての限界状態を考慮する必要はなく、各構造物の特性に応じて、限界状態を選択するものとしている。

表 2-1 限界状態

①終局限界状態 (安全性)	想定される作用により生ずることが予測される破壊や大変形等に対して、構造物の安定性が損なわれず、その内外の人命に対する安全性等を確保しうる限界の状態	
	状態 特定 作用 限界	疲労限界状態 (変動作用が繰り返し作用することに伴う疲労損傷で発生)
		耐久限界状態 (環境作用の影響に伴う損傷で発生)
		耐火限界状態 (火災に伴う損傷で発生)
②使用限界状態 (使用性)	想定される作用により生ずることが予測される応答に対して、構造物の設置目的を達成するための機能が確保される限界の状態	
	状態 特定 作用 限界	疲労限界状態 (変動作用が繰り返し作用することに伴う疲労損傷で発生)
		耐久限界状態 (環境作用の影響に伴う損傷で発生)
		耐火限界状態 (火災に伴う損傷で発生)
③修復限界状態 (修復性)	想定される作用により生ずることが予測される損傷に対して、適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行えば、構造物の継続使用を可能とすることができる限界の状態	

- ③構造物の目的等に応じて検証する限界状態を選択するとしたのは、表 2-2 のように構造物によって検証する限界状態を変えることができるようにするためである。例えば、一般建築物では制振部材を除き、一般に「疲労限界」は問題とならない場合が多いのに対して、橋梁では支配的条件となる場合がある。

表 2-2 構造物による限界状態の選択イメージ

			一般建築物	橋梁	砂防ダム	盛土	…
終局限界状態	特定作用限界状態	疲労限界状態	○	○	○	○	
		耐久限界状態	△	△	△		
		耐火限界状態	○				
使用限界状態	特定作用限界状態	疲労限界状態	○	○		○	
		耐久限界状態		△			
		耐火限界状態		○			
修復限界状態			○	○	△	○	

注 1) ○：対象となると考えられるもの

△：選択的に対象となると考えられるもの

注 2) 砂防ダムにおいては、ダムの転倒・崩壊といったことが無い限りは、その設置目的である砂防機能を喪失することは無いので、終局限界状態だけを対象とした例示を示している。ただし、スリットダム等で「摩耗」を考慮しなければならない場合もある。

注 3) 上記の砂防ダムの例のように、構造物特性に応じて、ここで挙げている限界状態を選択する。

—参考—

(1) ISO 規格案における限界状態の例

ISO の TC71/SC4 で提案された ISO /DIS19338 Performance and Assessment Requirements for Acceptance of National Standards on Structural Concrete の Draft (2001.10~2002.03 の投票用版)では、終局限界状態 (Structural Safety)、使用限界状態 (Serviceability Limit State)、修復性(Restorability Limit State)、耐久限界状態 (Durability Limit State)、耐火限界状態(Fire Resistance Limit State)、疲労 (Fatigue) が設定されている。

(2) 国内の技術標準等における限界状態の例

次頁以降に、国内の技術標準等における限界状態の設定およびその内容の例を示す。

参考資料：国内の技術標準等における限界状態の設定例（その1）

	土木学会		地盤工学会	日本建築学会	
	コンクリート標準示方書(2002)	鋼構造物設計指針(1997)	基礎構造物の限界状態設計に関する研究委員会資料集(1996)	鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針(案)・同解説(1999)	鋼構造物限界状態設計指針・同解説(1998)
① 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、安定や機能を失う状態	構造物または部材が破壊したり、大変形、大変位等を起こし、機能や安定を失う状態	例：杭体の断面破壊を生じる状態	極大の地震動やその他の不確定要因を考慮して人命に対する安全性を確保しうる限界状態 安全性—終局限界状態	建築物の構造安全性に関連する限界状態であり、鋼構造物の終局耐力限界状態を考える
①' 地震時終局限界状態			構造物の耐用期間中に一回程度発生する規模の地震に対して、上部構造および基礎の部材が断面破壊・安定の喪失・メカニズムなどに至る状態	安全性(safety)は人命保護のための性能評価項目で終局限界状態に対応する。従って、倒壊しないこと、鉛直荷重が保持されることが設計目標となる。構造物の被災度でいえば、大破、P-δ変形限界による倒壊寸前であり、部材ではヒンジ部材の変形限界、柱の脆性破壊等が生じる限界状態である。	
② 設計限界状態				大地震に対して、損傷を制御するために設定する応答の限界状態 復旧(修復,補修)可能性—設計限界状態 復旧(修復,補修)可能性(restorability, reparability)は、損傷レベルを制御するための性能評価項目であり、これに対応する限界状態を設計限界状態または損傷制御限界状態あるいは修復限界状態と呼ぶ。理想的には、地震後に必要となる補修費用を考慮して、すなわち、経済的に許容しうる修復が可能となるように、構造材、および非構造材の損傷レベルを定量化して設定する。	
③ 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	構造物または部材が過度の変形、変位、振動等を起こし、正常な使用ができなくなる状態	例：杭体のひびわれが許容値を越えない状態 上部構造物に有害な変形を生じる状態	中小地震に対して、ほぼ無条件に継続使用可能とするために設定する応答の限界状態 使用性—使用限界状態	建築物の使用性・居住性に関連する限界状態であり、鋼構造物の使用限界耐力、使用限界変形および建物の床の振動、横揺れなどについての限界状態（許容限界）を考える
③' 地震時使用限界状態			構造物の耐用期間中に数回程度発生する規模の地震に対して、上部構造物および基礎の部材の損傷・変位が著しく、地震時における車両の走行安全性を確保できない状態	使用性(serviceability)は継続使用に支障を来さないための性能評価項目であり、これを確保するために構造物に設定される設計クライテリアが使用限界状態である。地震後にほぼ無条件に継続使用可能な程度の被災度、すなわち、無被害、あるいは軽微といわれる損傷の程度の限界である。一般の構造では応答をおおむね弾性限界内にすることが考えられるが、鉄筋コンクリート構造ではひび割れに関する検討も不可欠になる	
④ 疲労限界状態	構造物または部材が変動荷重の繰返し作用により疲労破壊する状態	構造物または部材が荷重の繰返し作用により疲労損傷し、機能を失う状態			
備考			限界状態を地震時とそれ以外に分けて考えることとしているが、各定義は明確に示されていない		

参考資料：国内の技術標準等における限界状態の設定例（その2）

	建設省建築研究所	運輸省鉄道局 (鉄道総合技術研究所編)		運輸省港湾局 (（社）日本港湾協会刊行)
	建設省総合技術開発プロジェクト 「新建築構造体系の開発」総合報告書(1998)	鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物(1999)	鉄道構造物等設計標準・同解説基礎構 造物・抗土圧構造物(2000)	「港湾の施設の技術上の基準・同解説」 (1999)
① 終局限界状態	(1) 安全性 ・性能要求の目的：建築物の内・外の人生命に直接及ぼす危険を回避する。(人命の保護) ・性能評価の内容：構造骨組、建築部材、設備機器、什器、地盤について、破壊を安全性に照らして適切に防止する。	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	設計耐用期間中に地震を除くごくまれに作用する荷重に対して、基礎が安定や機能を失うか、あるいは基礎の変位が降伏点を超える状態	最大荷重により破壊が生ずる状態
①' 地震時終局限界状態			設計耐用期間中に作用する大地震の影響により、基礎が壊滅的な損傷を生じ、安定や機能を失う状態	
② 修復限界状態	(2) 修復性 ・性能要求の目的：建築物が外部からの刺激に対して受ける損傷に対する修復のしやすさを確保する。(財産の保全) ・性能評価の内容：構造骨組、建築部材、設備機器、什器、地盤について、劣化、損傷等を建築物の修復性に照らして適切に(設定範囲に)制御する。			
③ 使用限界状態	(3) 使用性 ・性能要求の目的：建築物の機能、居住性を確保する。(機能および居住性の確保) ・性能評価の内容：構造骨組、建築部材、設備機器、什器、地盤について、機能障害、感覚障害を使用性に照らして適切に排除する。	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	設計耐用期間中にしばしば作用する荷重に対して、基礎が所要の使用性や耐久性を失うか、あるいは基礎の変位が弾性とみなされる限界を超える状態	耐用期間中にしばしば作用する規模の荷重の作用によって過度のひび割れ等の比較的軽微な不都合が生ずる状態
③' 地震時使用限界状態			設計耐用期間中に作用する中地震の影響により、基礎が使用性や耐久性を失うか、あるいは基礎の変位が降伏点を超える状態	
③" 長期使用限界状態			設計耐用期間中に常にまたは長期にわたって作用する荷重に対して、基礎が所要の使用性を失うか、あるいは耐久性を失う状態	
④ 疲労限界状態		構造物または部材が変動荷重の繰返し作用により疲労破壊する状態		耐用期間中に作用する繰返し荷重により終局限界状態と同様な破壊が生ずる状態
備考				

2.2 終局限界状態

終局限界状態とは、想定される作用により生ずることが予測される破壊や大変形等に対して、構造物の安定性が損なわれず、その内外の人命に対する安全性等を確保しうる限界の状態をいう。

なお、以下の損傷により構造物の安定性が損なわれず、構造物の内外の人命に対する安全性を確保しうる限界の状態（特定作用限界状態）を含むものとする。

- ・変動作用が繰り返し作用することに伴う疲労損傷（疲労限界状態）
- ・環境作用の影響に伴う損傷（耐久限界状態）
- ・火災に伴う損傷（耐火限界状態）

- ①特定作用限界状態（疲労限界状態、耐久限界状態、耐火限界状態）として、終局限界状態となる原因別に独立した限界状態として設定することも考えられるが、疲労限界状態等は限界状態が発生する作用の違いであることから、ここでは終局限界状態を構成するものとして扱うこととした。
- ②ただし、特定作用限界状態として疲労限界状態等を明示的に扱うこととしたのは、構造物によっては「疲労破壊」が支配的な条件となるものもあるためである。また、我が国においては、構造物種別によっては特定作用限界状態を独立させて扱っている技術標準もあり、それらの既存の技術標準への整合性といった面も考慮している。
- ③1.2 設計の基本でも述べたように、安全性の概念は「人の安全」を基本とし、ここでは、人為的に建設され、通常は無人の構造物の崩壊を防止することも安全性の概念に含め、終局限界状態として「構造物内外の人命の安全性等を確保しうる限界の状態」としている。

2.3 使用限界状態

使用限界状態とは、想定される作用により生ずることが予測される応答に対して、構造物の設置目的を達成するための機能が確保される限界の状態をいう。なお、以下の損傷により構造物の使用性が損なわれない限界の状態（特定作用限界状態）を含むものとする。

- ・変動作用が繰り返し作用することに伴う疲労損傷（疲労限界状態）
- ・環境作用の影響に伴う損傷（耐久限界状態）
- ・火災に伴う損傷（耐火限界状態）

特定作用限界状態（疲労限界状態、耐久限界状態、耐火限界状態）として、使用限界状態となる原因別に独立した限界状態として設定することも考えられるが、疲労限界状態等は限界状態が発生する作用の違いであることから、ここでは使用限界状態を構成するものとして扱うこととした。

2.4 修復限界状態

修復限界状態とは、想定される作用により生ずることが予測される損傷に対して、適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行えば、構造物の継続使用を可能とすることができる限界の状態をいう。

- ①修復限界状態は、使用限界状態と終局限界状態の間に位置づけられる限界状態である（図 2-1 参照）。
- ②修復限界状態は、土木構造物において着目している機能回復に対応する状態と、建築物において着目している財産性の保全という状態を規定するものとする。なお、「短時間の間に機能を仮回復（応急復旧）し、一時的な施設利用を行うものの、最終的には建設し直す状態」については、構造物の一時的な状態であることから、ここでの修復限界状態には含めないものとする。これは、終局限界状態あるいはそれに近い状態の施設を一時的に活用している状態といえる。

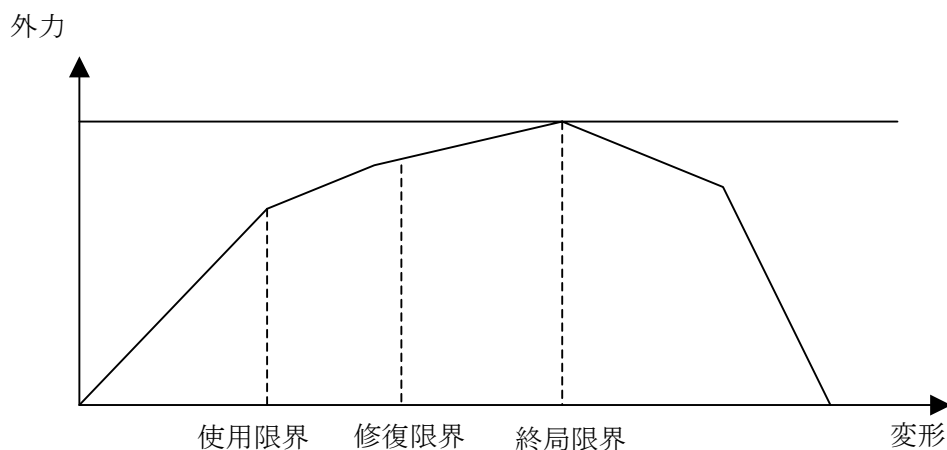


図 2-1 各限界状態のイメージ

- ③「適用可能な技術でかつ妥当な経費」としたのは、新たな技術の開発と無制限の費用・期間とすると、修復できない構造物は無いこととなるため、一定範囲の費用といった点を考慮に入れたものである。
- ④表 2-2 の構造物による限界状態の選択イメージに示したように、各限界状態は構造物特性に応じて取捨選択して設計の対象とすれば良いもので、修復性に関しては、当面は、地震後の構造物の復旧あるいは修復を考える必要のある構造物の設計における検証が中心となると考えられる。
- ⑤現在のところ、土木・建築両分野にわたって、修復限界状態として明示的な扱いの必要性が認められているのは、地震作用に対するものに限定されている。例えば、環境作用に伴う損傷（耐久性）に関して、現在は、構造細目により仕様規定として扱われており、明示的な扱いとはなっていないため、ここでは、修復限界状態の特定限界状態として耐久限界状態を規定しなかった。しかし、今後、分野によっては、現行の細目規定の目的として疲労、耐久性、耐火性に係わる修復限界状態が明示される方向に進む可能性もある。そうした場合には、「特定作用限界状態」の枠組みを修復限界状態に含めて考えることが妥当である。

—参考—

地震作用に対する修復限界状態に関する議論において、土木および建築のそれぞれの分野において以下のようなとらえ方が示された。

土木分野のとらえ方	<ul style="list-style-type: none"> ・土木分野においては、地震発生後に、土木構造物（社会基盤）の持つ機能を短期間に回復でき、継続的な使用ができる状態に着目する。 ・例えばコンクリート標準示方書では「地震後に機能が短時間で回復でき、補強を必要としない」と規定されている。
建築分野のとらえ方	<ul style="list-style-type: none"> ・建築分野においては、地震後に補修した場合に、財産としての価値を失わない経費内で補修ができる状態に着目する。 ・地震後に、「崩壊は免れたが取り壊して新たに建て替えなければならない建築物」が、非常に多く発生する状況を回避する意味がある。 ・機能損傷の修復という点では、非構造部材および仕上げ材を考える必要がある。

ISO2394 における限界状態の定義

限界状態	ISO2394
全般	<p>構造物全体またはその部分の構造性能は、構造物に望まれた状態と望まれない状態とを区別する一連の定められた限界状態に関して記述されなければならない。</p> <p>限界状態は次の2つのカテゴリーに分けられる</p> <p>a)終局限界状態：最大耐荷能力又は最大ひずみや変形に相当する限界状態</p> <p>b)使用限界状態：通常使用に関する限界状態</p> <p>限界状態の超過は、非可逆的な場合と可逆な場合がある。非可逆な場合、超過した限界状態に関連した損傷や機能喪失は構造物が修復されるまで残る。可逆な場合、損傷や機能喪失は超過した限界状態の原因が存在する間は残る。この原因が取り除かれれば、ただちに望まれない状態から望まれた状態へと戻る。</p>
終局限界状態	<p>終局限界状態は次のものを含んでいる</p> <p>a)剛体と考えたときの構造物又は構造部分の釣り合いの喪失</p> <p>b)破壊（ある場合には、疲労や腐食に影響を受けた）による断面や部材、接合部の最大強度への到達や過度の変形。</p> <p>c)構造物またはその部分のメカニズム状態への移行</p> <p>d)構造物またはその部分の安定性の喪失</p> <p>e)仮定した構造システムから新しいシステムへの急激な移行</p> <p>限界状態を超えることは、ほとんどの場合いつも非可逆な状態であり、その状態を最初に超えた場合に破壊が起こる。</p>
使用限界状態	<p>使用限界状態は次のものを含んでいる</p> <p>a)構造物の供用期間を低減させる、もしくは構造又は非構造要素の有効性や外観に影響を与えるかもしれない部分的損傷（クラックを含む）。例えば、疲労による繰り返し荷重は部分的な損傷に影響を与えるかもしれない。</p> <p>b)構造又は、非構造要素の、有効な使用あるいは外観又は設備の機能性に影響を与える許容されない変形</p> <p>c)不快感を生じさせる、もしくは非構造要素又は設備の機能性に影響を与える過度の振動部分的な残留損傷あるいは許容できない残留変形の場合、使用限界状態を超過することは非可逆な状態であり、初めてこの状態に陥った場合に破壊に至る。</p> <p>その他の場合、使用限界の超過は可逆であり、その後、以下の場合に機能喪失が起こる。それは、</p> <p>a)いかなる超過も許容されなかった場合で、使用限界状態を超える最初の時</p> <p>b)超過は許容されたとした場合でも、構造物が望まれない状態となっている時間が規定された条件より長い場合</p> <p>c)超過は許容されるが、使用限界状態を超える回数が規定された条件より多い場合</p> <p>d)上記の規範の組み合わせ、あるいは他の関連した規範の組み合わせが発生した場合</p> <p>これらの場合は一時的で部分的な損傷（例えば、一時的な大きなひび割れ）、一時的でおおきな変形や振動を含んでいる。</p> <p>使用限界状態に対する設計の規範は、一般的に許容される変形や加速度、ひび割れ等で表現される。</p>

3.作用

3.1 定義

作用とは以下のものをいう。

- ・ 構造物に集中あるいは分布して作用する力学的な力の総称（直接作用）
- ・ 構造物に課せられる変形や構造物内の拘束の原因となるもの（間接作用）
- ・ 構造物の材料を劣化させる原因となるもの（環境作用）

また、荷重とは、構造物に働く作用を必要に応じて、構造物の応答特性を評価するモデルを介して、断面力や応力や変位等の算定という設計を意図した静的計算の入力に用いられるために構造物に直接載荷される力学的力の集合体に変換したものをいう。

- ①本「土木・建築にかかる設計の基本」では、分野を通じた共通的な議論を形成するために、「作用」と「荷重」を上記の定義で明確化した。上記で定義した通り、荷重には、作用を変換する際に対象となる構造物の特性に依存する部分があるため、共通的な議論には作用という概念を基盤とすることとしたものである。
- ②荷重の概念についてその歴史的な変遷を見ると、「重さ（荷重）」をどのように支えるかを検討することとして設計の始まりがあり、その後の技術の進歩の過程において、いわゆる重さという概念では収まらないものを扱うこととなったと考えられる。そうした中で、国際標準においては「作用」という用語（概念）が導入され、一方において我が国の多くの設計技術標準では、拡大している概念を含むものとして「荷重」という用語が用いられているのが現状であり、現状において、「作用」と「荷重」の間を区別する一線を、どの分野にも共通するものとして引くことは難しい。反力や反作用などの位置付けも見方の分かれるところである。この3.1 定義では、その線引きについて統一的な指針を与えることは目的とせず、作用として定義する範囲をごく狭いものに留めると共に、3.2 作用の分類では、信頼性設計の考え方を導入する際の基本として、変動性の分類等を提示している。
- ③この定義では、作用は、荷重に変換してから構造物の応答特性を評価するモデルへ入力するものもあれば、直接入力するものもあることとなる。例えば、地震動や風や波の作用を受ける構造物に対して、動的解析においてそれらの作用を直接考慮する場合や、地盤沈下の影響を受ける構造物に対して、変位を作用として直接考慮する場合には、「荷重」の設定は行わないこととなる。

表 3-1 作用と荷重の差違

作用	荷重
・ 構造物の特性とは無関係なもので、土木と建築の差異は無い。（ただし、支配的となる作用は構造物ごとに変わる。）	・ 構造物設計の基となるもので、構造物の特性により異なる ・ モデル化により、また設計計算上の理由から簡便化することがある。等

- ④間接作用としては、温度変化に伴う膨張・収縮、プレストレス、沈下等が挙げられる。
- ⑤環境作用については、ISO2394 では作用 (Action) ではなく環境の影響 (Environmental influences)として扱われているが、ここでは使用性、安全性を検証する上で考慮するものとして作用の中を含めることとした。

—参考—

ここでの「作用」の定義は、ISO2394 の「作用」の定義と異なる。ISO2394 における定義は次の通りとなっているのに対して、本「土木・建築にかかる設計の基本」では、上述の④でも示した環境の影響(Environmental influences)を作用の1つとしている。

作用とは以下のものを言う。

- ・ 構造物に作用する集中あるいは分布した力学的力の集合体 (直接作用)
- ・ 構造物への強制、または内部の拘束による変形の原因となるもの (間接作用)

また、ISO2394 では「作用モデル」として、以下のように、「 F_0 基本作用変数 (Basic action variable) が構造物に依存する変換に必要な変数と関数を介して作用に変換される」という扱いが定義されている。しかし、基本作用変数 (例えば風速) と変換に必要な変数 (例えば風速風圧関係式の変数) から作用 (例えば風圧) が導かれるという解説があるが、「荷重 (例えば風荷重)」と「作用 (例えば風圧)」の関係が不明確であり、定義と使用に混乱が見られる。「作用」の定義に関して ISO2394 の定義よりここでの定義の方が関係が明確になる。ISO2394 の作用と概念が異なるにもかかわらず用語を同じくしたのは、将来の改訂で我が国の意見醸成に役立つようにとの配慮による。

$$F = \phi (F_0, \omega)$$

F : 作用

F_0 : 基本作用変数 (Basic action variable)

ω : 基本作用変数を作用に変換する変数 (風速から圧力への換算のための変数)

3.2 作用の分類

作用は、永続作用、変動作用、偶発作用に区分する。

(1)永続作用

構造物の設計供用期間を通して絶えず作用するであろう作用でその時間的変動が平均値に比較して小さいもの。または、その大きさの変動が、一定の限界値に達するまでは、設計供用期間中に一定傾向で単調に増加もしくは減少する傾向にある作用。

(2)変動作用

その大きさの設計供用期間内の変動が平均値に比べて無視できず、かつ一方向的な変化をしない作用

(3)偶発作用

確率統計的手法による予測は困難であるが、社会的に無視できない作用。

①永続作用と変動作用の違いは設計供用期間内における作用の大きさの変動の度合いであり、偶発作用はその発生について頻度分布の把握が困難であるか、頻度分布としての把握・分析に意味を持たないものであり、代表的事例は以下のようなものが挙げられる。

永続作用：構造物の自重、プレストレス等

変動作用：風、雪、地震動等

偶発作用：落石、衝突、最大級地震動、断層変位等

なお、環境作用については、永続作用に分類されるものが一般的であるが、変動作用として捉えて扱うものもあると考えられる。

②多くの構造物は、時間的変動における発生頻度に着目して作用の規模を設定するが、土石流対応施設、避難所施設等は、「発生頻度が小さな作用に対して安全であるかを検証する」という設計ではなく、「社会的に備えなければならないと考えられている例外的な作用（偶発作用）に対して機能する」設計がなされる。即ち、偶発作用は、社会的に対応するリスクといった概念で考える。

③地震動を変動作用として扱うか、偶発作用として扱うかについては、様々な議論があるが、本「土木・建築にかかる設計の基本」では、信頼性設計の考え方を基礎とすることから、地震動の扱いを作用の分類上の変動作用として位置づけることを基本と考える。

④ただし、我が国や米国などの地震国で地震工学や耐震設計技術が発展している国での設計用地震動の考え方に取り入れられている、最大級の地震動のように、確率論的な扱いが困難な場合には、偶発作用として扱う場合もある。ISO3010（構造物への地震作用）においても地震作用は変動作用または偶発作用として取り扱われることが明記されている。

3.3 各作用の扱い

社会的に対応の必要があると判断される作用および構造物の所有者が必要と判断した作用を対象に設計を行う。

変動作用について、統計的な評価が可能なものは、基準期間を定め再現期間で表す再現期待値として示すか、あるいは非超過確率を明示するよう努めるものとする。

偶発作用については統計的な評価が行えないが、作用として理解が容易な方法で明示するよう努めるものとする。

①各作用は、社会的な対応の必要性と構造物の所有者の判断に基づいて設計の対象とすることを規定した。社会的な必要性および構造物の所有者の判断に基づくこととしたのは、一般住宅等の私的な財産である構造物においても、その安全性には社会的責任を伴うことによる。

②変動作用の特性値についてはいくつかの示し方がある中で、基準期間を定め再現期間で表す期待値として示すか、あるいは非超過確率を示すように努めることとしたものである。

③作用に対する基準期間という概念は、データから得られる確率モデルを利用するための一つの便法であるといえる。終局限界状態に対しては、設計供用期間との対比において、比較的まれに発生する大きな作用を推定するために、長めの基準期間がとられ、使用限界状態に対しては比較的しばしば発生する作用に対応した基準期間がとられることがある。例えば、実績データの蓄積が 40 年程度しか無い場合に、基準期間 50 年間に対する非超過確率で作用の大きさを評価し、代表値を設定するといったことが行われる場合がある。また、使用限界状態に対する作用では、基準期間を 1 年として、非超過確率 95%の変動作用を代表値として、採用する場合がある。設計供用期間と関連概念であるが、合理的な設計を行うためには、適切な関連づけが必要である。

後出の「5.性能の検証法」においては、一定の信頼度の確保を目的として、部分係数法を導入することを推奨しているが、この方法による場合には、ある基準期間に対応する値として定義され、代表値あるいは特性値に、さらに荷重係数（1.0 の場合もある）を乗じたものが設計に用いられることとなる。従って、部分係数法を採用するか否かによって、この基準期間や代表値の持つ意味が異なる可能性がある。

ISO3010 構造物への地震作用では、付属書 A（参考）の中で、地震時の終局限界状態と使用限界状態に対して、それぞれ異なる基準期間を用いて、荷重係数を統一して与える例と、基準期間を統一して荷重係数を分けて与える例とが並列して示されている（表 3-2、表 3-3 参照）。しかしながら、日本や米国の耐震規定には終局限界状態の検証に対応する地震動レベルの設定を、再現期間という表現の可能な変動作用ではなく、最大級の地震動という概念によるものも多いことに注意が必要である。

表 3-2 荷重係数と地震動強度の代表値の例 1

限界状態	重要度	荷重係数	代表値	再現期間
終局限界状態	高	1.5~2.0	0.4	500 年
	中	1.0		
	低	0.4~0.8		
使用限界状態	高	1.5~3.0	0.08	20 年
	中	1.0		
	低	0.4~0.8		

表 3-3 荷重係数と地震動強度の代表値の例 2

限界状態	重要度	荷重係数	代表値	再現期間
終局限界状態	高	3.0~4.0	0.2	100 年
	中	2.0		
	低	0.8~1.6		
使用限界状態	高	0.6~1.2	0.4	0.16~0.32
	中	0.4		
	低	0.16~0.32		

- ④また、後出の「4.耐震設計」においては、耐震性能マトリクスを示し、設定地震動レベルについては確率統計的手法に基づく再現期間の明示を基本としている。ここで、個々の地震動レベルを直接設定する（特性値のみ与える）方法を採用する場合でも、あるいは、共通の基準期間から得られる特性値に対して、レベルに応じて異なった荷重係数を乗じて設定する方法を採用する場合でも、結果的に与えられたレベルに対して、その信頼性水準に関して明示するよう努めることとしている。

3.4 荷重の組合せ

荷重の組合せの基本的原則は以下の通りとする。

永続荷重に加えて、支配的な荷重（変動荷重あるいは偶発荷重）が、極大設計値（フラクタイル値,社会的目標値等）をとるものとして設定し、その他の荷重（変動荷重あるいは偶発荷重）は、支配的な荷重に組み合わせるのに適正なより発生しそうな値とする。

なお、ある荷重が作用することにより別の荷重の影響が喪失するような場合には、荷重の組合せを考えなくて良い。

- ①本章の位置付けから、本節は「作用の組合せ」であるべきであるが、設計の実務上では作用からの変換を経て得られる荷重あるいは荷重効果のレベルにおいて組み合わせが考慮されることが多いので、ここでは「荷重の組合せ」とした。多くの国際標準においても、作用に対する荷重の定義が明確に示されないまま、「荷重の組合せ」について述べられている。

一方、本「土木・建築にかかる設計の基本」では、環境作用を直接・間接作用と並列なものとして位置付けている。劣化環境下での直接・間接作用の影響等、「作用の

組合せ」として捉えることが、構造物の目的、特性、重要度などに応じて必要となる場合もあり、それぞれ適切な方法で検証を実施すべきである。

- ②ここに規定した荷重の組合せは、基本原則であり、全ての構造物に適用する必要はない。土木および建築において設計対象となる構造物は非常に広範なものであり、例えば以下のような設計状態においては必ずしもこの規定に従う必要はない。

表 3-4 荷重の組合せに関して例外的な扱いとなる事例

超過確率が小さな荷重に対して使用 限界状態を考える構造物	・ダム（洪水調節） ・高潮堤防
極めてまれな偶発事象に対して使用 限界状態を考える構造物	・ロックシェッド ・土石流対応施設

- ③「ある荷重が作用することにより別の荷重の影響が喪失するような場合には、荷重の組合せを考えなくて良い。」という規定は、例えば、温度荷重によりコンクリート構造物に生じた応力は地震時に生ずるひび割れや降伏により解放されるような場合、両者を組合せなくて良いことを示したものである。

ISO2394 における作用（荷重）に関連した用語の定義

イ 代表値の構成

作用の代表値(representative value of an action)	作用の特性値(characteristic value of an action)
	組合せ値(combination value)
	頻度値(frequent value)
	準永続値(quasi-permanent value)

ロ 各用語の定義

用語	定義
作用(action)	作用とは以下のものをいう。 1) 構造物に集中あるいは分布して作用する力学的な力の総称（直接的作用） 2) 構造物に課せられる変形や構造物内の拘束の原因（間接的作用）
永続作用(permanent action)	1) 与えられた基準期間を通して絶えず作用するであろう作用でその時間的変動が平均値に比較して小さいもの 2) その変動がわずかであり、かつ限界値をもつ作用
変動作用(variable action)	その大きさの時間的変動が平均値に比べて無視できず、かつ単調変化をしない作用
偶発作用(accidental action)	当該構造物が、その基準期間中に、大きな値はおそらく経験しないであろうと思われる作用
作用の代表値(representative value of an action)	限界状態の照査に用いられる数値 注：代表値とは、特性値、組合せ値、頻度値、準永続値などをいうが、他の値を入れても良い。
作用の特性値(characteristic value of an action)	主要な代表値 注：基準期間中に望ましくない方向への所定の非超過確率をもつように統計的に定められるか、過去の経験、あるいは物理的制限によって選ばれる値
組合せ値(combination value)	統計的に定められる場合には、組合せ荷重(combination)により生じる荷重効果(action effect)の値の超過確率が単一の作用のみとほぼ同程度であるように選ばれる値
頻度値(frequent value)	統計的に定められる場合には、次のようにきめられる： ・ある選ばれた期間内にそれを超過する期間の合計が、全体の極く一部であるもの。 ・その超過頻度が、ある与えられた値を超えない
準永続値(quasi-permanent value)	統計的に定められる場合には、それを超過する期間の合計が全体の半分程度となるように決められた値
基準期間(reference period)	変動作用や時間依存性を持つ材料特性等の値を評価するための基準となるある選ばれた期間
設計供用期間(design working life)	大きな補修を必要としないでも、当初の目的のために構造物や構造要素を使用できると仮定した期間
荷重組合せ(load combination)	異なる作用(action)を同時に考慮するときの限界状態に対する構造信頼性の照査に用いる設計値の組

*：上記の日本語は、全て（財）日本規格協会が発行している英和対訳版に合わせている。

4.耐震設計

4.1 耐震性能

耐震設計では、設定した耐震性能を明示し、それに対する地震動レベルを設定する。

設定する耐震性能は、設計対象とする構造物の目的等に応じて、2章に示す限界状態の内から、適切なものを一つあるいは複数選択するものとする。これに対応させる地震動レベルは、重要度を含む構造物特性を考慮して決定するものとし、表1の標準的な耐震性能マトリクスの何れかに該当するものであることを基本とする。

地震動のレベルは、対象構造物が設計供用期間中に経験する目安の頻度として評価した結果で示すことを基本とする（変動作用としての扱い）が、対象構造物が設計供用期間中に経験する目安の頻度として示すことが不適切な場合はこの限りではない（偶発作用としての扱い）。

表1 標準的な耐震性能マトリクス

耐震性能 地震動レベル		構造物の設置目的を達成するための機能が確保されている (使用限界状態)	適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行えば、構造物の継続使用が可能となる (修復限界状態)	構造物の安定性が損なわれず、その内外の人命に対する安全性等が確保されている (終局限界状態)
変動作用としての扱い	対象構造物がその設計供用期間中に数度は経験すると評価される地震動			
	対象構造物がその設計供用期間中に経験するのはまれであると評価される地震動			
	対象構造物がその設計供用期間中に経験するのはごくまれであると評価される地震動			
偶発作用としての扱い	対象構造物が経験するものとして最大級と評価される地震動			

①耐震設計については、我が国の構造物設計では重要な事項であることと、我が国で蓄積された技術を国際的に普及するという視点から、ここでは、耐震設計を独立した章として扱うこととした。

②表1は、地震動レベルと耐震性能の基本的な枠組みを与えるものであり、設計対象とする構造物の特性に応じて耐震性能マトリクスを選択することを意図している。

(P20,21の参考1参照)

③表1の地震動レベルについては、変動作用として設計対象構造物が供用期間中に経験する頻度により表示することを基本としている。ただ、地震調査研究推進本部による報告「南海トラフの地震の長期評価について」では、当該地域における最大級の地震の発生周期を100年程度と評価しており、この例では、対象構造物が設計供用期間中に経験する頻度としてその地震動レベルを示すことは適当ではないといえる。また、近年、震源の破壊過程を反映した理論地震動と、様々な観測結果を組み合わせて、特に重要構造物に対して、設計上考慮すべき地震動レベルを直接的に評価する試みも行われており、地震動レベルの明示を頻度という概念(変動作用としての扱い)ではなく、最大級の地震動という概念(偶発作用としての扱い)によって明示することが適切である場合においては、表1において「対象構造物が経験するものとして最大級と評価される地震動」の欄を選択すれば良い。

④上述のように、地震動を偶発作用として扱う場合は、構造物の使用目的、設計供用期間および他の作用等の設計条件も含めて、その信頼性水準に関して説明性を有するものとするのが望ましい。

⑤表1に示した「対象構造物がその設計供用期間中に経験するのはごくまれであると評価される地震動」と「対象構造物が経験するものとして最大級と評価される地震動」は、何れも極大地震動レベルとしての意味合いを与えており、混同しやすい概念である。多くの場合、これら二つを同時に考慮する必要はなく、構造物の目的、重要度、設置場所等に応じて択一的に選択してよい。変動作用としての扱いとして3段階挙げた地震動は、下のもの程大きくなる意味を含んでいるが、偶発作用として想定する「最大級地震動」は、確率統計的扱いが困難であるというだけでなく、必ずしも「まれ」とは断定しきれない側面もあり、生起頻度の面で変動作用のいずれかのレベルと対応付けるのは困難である。

ただし、これら二つの概念は異なった算定過程を経るものである。極めて長期の設計供用期間を想定する場合や、慎重を期する必要性が特に認められる場合、P23に示した参考の構造物Bの場合のように、両レベルに対する検証を行うことも考えられる。ただし、一般的にこれを要求するものではない。

⑥表1における地震動レベルの表し方として、「対象構造物がその設計供用期間中に経験する頻度」としていることは、設計対象とする地震動レベルを設定した上で、その地震動の再現期間を推定し、設計供用期間と比較した場合に、「設計供用期間での経験がごくまれ」と評価できることも含めている。言い換えれば、必ずしも、設計供用期間中に経験する頻度により、設計対象とする地震動レベルを設定する必要はない。

(4.2地震動レベルの明示方法参照)

⑦「対象構造物がその設計供用期間中に経験するのはまれ(ごくまれ)であると評価される地震動」として設定する地震動の具体的な規模は、設計対象構造物の設計供用期間や重要度等により変化させることが可能である。言い換えれば、「まれ(ごくまれ)

の定義」は一定ではなく、設定した「まれ（ごくまれ）」の考え方は個別の構造物で説明する必要があると言える。

- ⑧「対象構造物とその設計供用期間中に数度は経験すると評価される地震動」に対して、「構造物の設置目的を達成するための機能が確保されている」とすることが標準的であると考えられるが、対象構造物の経験頻度として評価したこの地震動に対して、地域によっては「予め設定された損傷に留める（修復限界）」または「崩壊を防止する（終局限界）」、「構造物の損傷による人命損失を防止する（終局限界）」とする場合もあり得る。このような場合でも、基本となるマトリクスで該当する地震動レベルと耐震性能を表示することが有用である。
- ⑨地震時の耐震性能については、使用限界、修復限界、終局限界の対応を考え3分類しているが、対象とする構造物により、それぞれの中をさらに細分化した耐震性能を規定しても良い。

参考1 用途の異なる構造物間での地震に対する設計検証対象の差異のイメージ

構造物Aの場合

耐震性能 地震動レベル		構造物の設置目的を達成するための機能が確保されている (使用限界状態)	適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行えば、構造物の継続使用が可能となる (修復限界状態)	構造物の安定性が損なわれず、その内外の人命に対する安全性等が確保されている (終局限界状態)
変動作用としての扱い	対象構造物とその設計供用期間中に数度は経験すると評価される地震動			
	対象構造物とその設計供用期間中に経験するのはまれであると評価される地震動	○		
	対象構造物とその設計供用期間中に経験するのはごくまれであると評価される地震動			
し偶発作用と扱い	対象構造物が経験するものとして最大級と評価される地震動			○

構造物Bの場合

耐震性能 地震動レベル		構造物の設置目的を達成するための機能が確保されている (使用限界状態)	適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行えば、構造物の継続使用が可能となる (修復限界状態)	構造物の安定性が損なわれず、その内外の人命に対する安全性等が確保されている (終局限界状態)
		変動作用としての扱い	対象構造物がその設計供用期間中に数度は経験すると評価される地震動	対象構造物がその設計供用期間中に経験するのはまれであると評価される地震動
偶発作用として扱い	対象構造物が経験するものとして最大級と評価される地震動			

参考2 現行の種々の技術標準における地震動レベルと耐震性能の扱い

(1)地震動レベル

①土木学会 コンクリート標準示方書（耐震設計編）（平成8年制定）

レベル	内容
レベル1 地震動	構造物の耐用期間内に数回発生する大きさの地震動
レベル2 地震動	構造物の耐用期間内に発生する確率の極めて小さい強い地震動

②日本道路協会 道路橋示方書（耐震設計編）（平成14年3月）

レベル	内容
レベル1 地震動	橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動
レベル2 地震動	橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動。
	タイプⅠ：プレート境界型の大規模な地震 タイプⅡ：内陸直下型地震

③建築基準法施行令（平成12年4月）

（許容応力度等計算）

レベル	内容
1次設計レベル	原則、標準せん断力係数 0.2（地域係数 0.7～1.0）
2次設計レベル	原則、標準せん断力係数 1.0（地域係数 0.7～1.0）

(限界耐力計算)

レベル	内容
1次設計レベル	建築物の存在期間中に1回以上遭遇する可能性の高い地震
2次設計レベル	極めてまれに発生する地震

④日本建築学会 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針（平成11年8月）

レベル	内容
レベル1	供用期間において数回程度起こるような中小地震
レベル2	供用期間に一度遭遇する可能性がある大地震
レベル3	起こりうる極大の地震動（兵庫県南部地震や濃尾地震等の内陸活断層によって生ずる地震動レベル）

⑤日本建築学会 建築および都市の防災性向上に関する提言（第三次提言）（平成10年1月）

レベル	内容
D	建物の供用期間中に遭遇する可能性が数回である地震動
C	BとDの間に遭遇する地震動
B	建物の供用期間中に遭遇する可能性が1回程度である地震動
A	建物の供用期間中に遭遇する可能性がまれである地震動
S	建物の供用期間中に遭遇する可能性がきわめてまれである地震動

⑥土木学会 土木構造物の耐震基準等に関する提言「第三次提言」（平成12年6月）

レベル	内容
レベル1 地震動	原則として、それが作用しても構造物が損傷しないことを要求する水準（第二次提言）
レベル2 地震動	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持つ地震動（第三次提言）

⑦中央防災会議 防災基本計画「第2編 震災対策編」（平成7年7月）

レベル	内容
一般的な地震動	供用期間中に1～2度発生する確率を持つ一般的な地震動
更に高いレベルの地震動	発生確率は低いですが直下型地震または海洋型巨大地震に起因する更に高いレベルの地震動

⑧港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示（平成 11 年 4 月）

レベル	内容
レベル 1 地震動	施設の供用期間中に発生する確率が高い地震動
レベル 2 地震動	供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動

(2)耐震性能

①土木学会 コンクリート標準示方書（耐震設計編）（平成 8 年制定）

耐震性能	内容
耐震性能 1	地震後にも機能は健全で、補修をしないで使用可能
耐震性能 2	地震後に機能が短時間で回復でき、補強を必要としない。
耐震性能 3	地震によって構造物全体系が崩壊しない

②日本道路協会 道路橋示方書（耐震設計編）（平成 14 年 3 月）

耐震性能	内容
耐震性能 1	地震によって橋としての健全性を損なわない性能
耐震性能 2	地震による損傷が限定的なものにとどまり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能
耐震性能 3	地震による損傷が橋として致命的とならない性能

③建築基準法施行令（平成 12 年 4 月）

（許容応力度等計算）

耐震性能	内容
1 次設計レベル	構造体を損傷させない（許容応力度以内）
2 次設計レベル	建物の崩壊を防ぎ人命を守る

（限界耐力計算）

耐震性能	内容
1 次設計レベル	建物の地上部を損傷させない（損傷限界変位）
2 次設計レベル	建物の地上部の崩壊を防ぎ人命を守る（安全限界変位）

④日本建築学会 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針（平成 11 年 8 月）

耐震性能	内容
レベル 1	ほぼ無条件に継続使用を可能とする
レベル 2	ある程度の損傷は受けるが、計画した損傷限界に達しないよう制御する
レベル 3	人命に対する安全性を確保する

⑤日本建築学会 建築および都市の防災性向上に関する提言（第三次提言）（平成10年1月）

耐震性能	内容
1	無被害
2	軽損
3	中損
4	大破・崩壊

軽 損：軽い被害が出るが、人身被害と建物の機能障害はない

中 損：建物にかなりの損傷が出るが、人命損傷はほとんどない。建物の機能は停止することがある。

大破・倒壊：復旧不可能なほど大きな被害がでることがある。人身被害が出ることもある。

⑥土木学会 土木構造物の耐震基準等に関する提言「第三次提言」（平成12年6月）

耐震性能	内容
レベル1 地震動	全ての構造物を対象とし、損傷を発生させないことを原則とする（第二次提言）
レベル2 地震動	重要な構造物および早期復旧が必要な構造物は、損傷が発生したり、塑性変形が残留しても、地震後比較的早期に修復可能であることを原則とする。上記以外の構造物は損傷して修復不可能となっても、構造物全体系が崩壊しないことを原則とする。

⑦中央防災会議 防災基本計画「第2編 震災対策編」（平成7年7月）

耐震性能	内容
一般的な地震動	機能に重大な支障が生じないことを基本的な目標とする
更に高いレベルの地震動	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

⑧港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示（平成11年4月）

耐震性能	内容
レベル1	所用の構造の安定を確保し、かつ、施設の健全な機能を損なわない。
レベル2	生じる被害が軽微であり、かつ、地震後の速やかな機能の回復が可能なものとし、当該施設の所期の機能を保持するもの。

参考3 中央防災会議防災基本計画

国家の地震防災の基本方針と計画を決めた中央防災会議防災基本計画（平成7年7月）「第2編 震災対策編」では、「第1章1節 地震に強い国づくり、まちづくり」の第1項「構造物・施設等の耐震性の確保についての基本的な考え方」が示されており、以下にこの全文を示す。

「構造物・施設等の耐震性の確保についての基本的な考え方」

地震に強い国づくり、まちづくりを行うに当たっては、建築物、土木構造物、通信施設、ライフライン施設、防災関連施設など構造物、施設等の耐震性を確保する必要がある。その場合の耐震設計の方法は、それらの種類、目的等により異なるが、基本的な考え方は以下によるものとする。

- ・ 構造物・施設等の耐震設計に当たっては、供用期間中に1～2度程度発生する確率を持つ一般的な地震動、および発生確率は低い直下型地震又は海溝型巨大地震に起因する更に高レベルの地震動をともに考慮の対象とするものとする。
- ・ この場合、構造物・施設等は、一般的な地震動に際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に際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して設計するものとする。
- ・ さらに、構造物・施設等のうち、一旦被災した場合に生じる機能支障が、災害応急対策活動等にとって著しい妨げとなるおそれがあるものや、地方あるいは国といった広域における経済活動等に対し著しい影響を及ぼすおそれがあるもの、また多数の人々を収容する建築物等については、重要度を考慮し、高レベルの地震動に際しても他の構造物・施設等に比べ耐震性能に余裕を持たせることを目標とするものとする。

なお、耐震性の確保には、上述の個々の構造物・施設等の耐震設計のほか、代替性の確保、多重化等により総合的にシステムの機能を確保することによる方策も含まれるものとする。

参考4 耐震性能マトリクスの例

(1)米国の Vision2000 の例

Earthquake Design Level	Earthquake Performance Level			
	Fully Operational	Operational	Life Safe	Near Collapse
Frequent(43year)	●	○	○	○
Occasional(72y)	■	●	○	○
Rare(475y)	★	■	●	○
Very rare(970y)		★	■	●

○ : Unacceptable Performance ● : Basic Objective
 ■ : Essential/Hazardous Objective ★ : Safety Critical Objective
 * Structural Engineers Association of California が策定したガイドライン

(2)Seismic Design Guidelines for Port Structures の例

Performance Grade	Design earthquake	
	Level 1	Level 2
Grade S	Degree I: Serviceable	Degree I: Serviceable
Grade A	Degree I: Serviceable	Degree II: Repairable
Grade B	Degree I: Serviceable	Degree III: Near collapse
Grade C	Degree II: Repairable	Degree IV: Collapse

* Grade S が最も高く、Grade C が最も低い重要度を示す。
 * International Navigation Association が策定したガイドライン

4.2 地震動レベルの明示方法

設定した地震動レベルについては、設計上想定する再現期間あるいは非超過確率により明示することを基本とする。(変動作用としての扱い)

なお、地震動を偶発作用として扱う場合には、最終的に設計で採用した地震動の特性値について、その信頼性水準に関して説明性を有するものとする。

- ① 3章でも述べているように、本「土木・建築にかかる設計の基本」では、信頼性設計の考え方を基礎とすることから、地震動の扱いを作用の分類としては変動作用として位置づけることを基本としており、その明示方法としては、再現期間等を用いた確率的な表現方法を用いることを原則とした。これは、地震以外の作用が、再現期間等を用いた確率的な表現方法を主に用いていることとも整合するものである。
- ② なお、ここで規定しているのは設定した地震動の明示方法であり、地震動の設定方法としては必ずしも確率に基づく必要はない。先にも述べたように、震源の破壊過程を反映した理論地震動と、様々な観測結果を組み合わせて、設計上考慮すべき地震動レベルを直接的に設定する方法もある。
- ③ 地震作用を偶発作用と扱う場合には再現期間あるいは非超過確率として評価することは不可能である。それらのときでも、最終的に設計で採用した地震動の特性値について、その信頼性水準に関して説明性を有するものとするのが望ましい。

5.性能の検証法

性能の検証の手法については様々な手法が提案されており、現段階においては特定の手法を定めるものではない。ただ、将来的に各種の不確定要因に係わるデータの蓄積が進むことを考慮し、設計に係わる技術標準に部分係数法のような信頼性を考慮した検証法を適切な形で取り入れることを推奨する。

- ①ISO2394 をはじめとして、国際的には信頼性設計に基づく方向に向かっており、さらに、公共構造物については、意志決定等に関して透明性、説明性が求められようになっており、構造設計における透明性、説明性の確保といった点を考慮し、ここでは、部分係数法を有力な手法の一つとして推奨することとした。なお、ここでいう部分係数法は、目標とする基本的要求性能を一定の信頼度を保って確保するために、作用の応答値及び耐力・使用性等の限界値の基本要素が持つばらつき（分布）を、各設計変数の部分係数として設定するものであり、信頼性設計法においていわゆるレベルⅠに相当するものであるが、レベルⅡ、Ⅲによることを制限するものではない。
- ②また、変動作用と永続作用のいずれも一律の安全係数を考えるということは、変動作用が大きな影響を持つ構造物と、永続作用が大きな影響を持つ構造物で、必ずしも要求性能水準が同一とならないこととなる。部分係数法の導入はこうした点を明示的に扱えるようにもなる。
- ③部分係数の扱いについては対象とする構造物の特性により種々の扱いが考えられる。ISO2394 では基本的な部分係数として以下のような設定例が考えられている。

ISO2394

荷重側	耐力側
$S_d = S(F_d, a_d, \theta_{sd})$ $F_d = \gamma_f \cdot F_r$ $a_d = a_{norm} \pm \Delta a$ $\theta_{sd} = \gamma_{sd}$	$R_d = R(f_d, a_d, \theta_{rd})$ $f_d = f_k / \gamma_m$ $a_d = a_{norm} \pm \Delta a$ $\theta_{rd} = 1 / \gamma_{rd}$
γ_f : 荷重係数 $\pm \Delta a$: 幾何学的バラツキ γ_{sd} : 荷重効果のモデル係数 (γ_n : 構造物重要度係数)	γ_m : 材料係数 $\pm \Delta a$: 幾何学的バラツキ $1 / \gamma_{sd}$: 耐力のモデル係数

－附属資料 1 用語集－

本「土木・建築にかかる設計の基本」で用いている各用語の定義は以下の通りである。

用語	定義
基本的要求性能 (fundamental performance requirement)	広義には、構造物の使用上不都合を生じないための、構造物上・機能上の要求能力等で、景観・環境等の条件を含む概念であるが、この「土木・建築にかかる設計の基本」においては、構造設計において、対象構造物が具備すべきものとして検証を実施する基本的な能力をいう。
設計供用期間 (design working life)	設計の前提として、構造物が所定の機能を維持することを期待する期間。この点に合わせて、通常の維持補修だけで、大きな修繕を実施しなくても、当初の目的のために構造物を使用できることが要求される。
安全性 (safety)	想定した作用に対して構造物内外の人命の安全等を確保できる能力であり、終局限界状態と関連付けて定義される。
使用性 (serviceability)	想定した作用に対して構造物が使用上の不都合を生ぜず、適切に機能できる能力であり、使用限界状態と関連付けて定義される。
修復性 (restorability)	想定した作用に対して技術的に可能でかつ経済的に妥当な範囲の修繕で継続的な使用を可能とすることができる能力であり、修復限界状態と関連付けて定義される。
限界状態 (limit state)	構造物にとってその状態を超えると性能の要求を満足しない状態となる境界の状態。
終局限界状態 (ultimate limit state)	部材の破壊、大変形や力の釣合いの喪失等により、その安定性が損なわれず構造物内外の人命に対する安全等を確保する限界の状態。
使用限界状態 (serviceability limit state)	構造物に要求される使用性を損なわず、目的とする機能が確保される限界の状態。
修復限界状態 (restorability limit state)	損傷後、適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行えば、継続使用を可能とすることが出来る限界の状態。
特定作用限界状態 (limit state under specific design situation)	使用限界状態、終局限界状態の内、特に、限界状態が生起するプロセスあるいは生起させる作用に着目した限界状態。
疲労限界状態 (fatigue limit state)	変動作用が繰り返し作用することに伴う疲労損傷で発生する限界状態。
耐久限界状態 (durability limit state)	環境作用の影響に伴う損傷で発生する限界状態。
耐火限界状態 (fire resistance limit state)	火災に伴う損傷で発生する限界状態。
作用 (action)	作用とは、「構造物に働く力学的な力の原因となるもの」、「構造物の変形の原因となるもの」および「構造物の材料を劣化させる原因となるもの（環境作用）」の総称。
荷重 (load)	荷重とは、構造物に働く作用を、荷重モデルを介して、断面力や応力や変位等の算定という設計を意図した静的計算の入力に用いるために、直接構造物に載荷される力学的力の集合体に変換したものの。

用語	定義
永続作用(permanent action)	構造物の設計供用期間を通して絶えず作用するであろう作用でその時間的変動が平均値に比較して小さいもの。または、その変動が僅かであり、かつ限界値を持つ作用。あるいは、設計供用期間中に一定傾向で単調に増加もしくは減少する傾向にある作用。
変動作用(variable action)	その大きさの時間的変動が平均値に比べて無視できず、かつ一方向的な変化をしない作用。
偶発作用(accidental action)	当該構造物の設計供用期間中には、大きな値ではごくまれにしか発生しないと考えられる作用。または、確率統計的手法による予測は困難であるが、社会的に無視できない作用。
基準期間(reference period)	変動作用や時間依存性を持つ材料特性等の値を確率的に評価し、代表値を設定するための参照期間。
作用の代表値 (representative values of an action)	限界状態の検証等の特定の目的に使用するために設定した作用値。 注：性能の検証において採用される手法により、このまま検証に用いる場合もあり、さらに荷重係数などを乗じて用いる場合がある。 注：代表値とは、特性値、組合せ値、頻度値、準永続値などを言うが、他の値を入れてもよい。
作用の特性値 (characteristic value of an action)	主要な代表値。 注：基準期間中に望ましくない方向への所定の非超過確率をもつように統計的に定められるか、過去の経験、あるいは物理的制限によって選ばれる値。
荷重組合せ (load combination)	異なる作用を同時に考慮するときの限界状態に対する設計値の組合せ。
フラクタイル値 (fractile value)	累加確率が設定した確率以下となる確率変数の値。 注：「○%フラクタイルは△」といった使い方をする。
耐震性能 (seismic performance)	地震作用に対する変形・損傷等に関する性能。
検証(verification)	構造物が、基本的容共性能を満たしているか否かを確認する行為。作用に対する応答値と耐力・使用性等の限界値を比較して確認するのが一般的であるが、既往の実績・実験結果等から設計者の判断に基づいて確認する場合もある。 注：土木分野では照査と呼ばれることが多い。
部分係数法 (method of partial factors)	代表値、部分係数、および必要な他の付加的な量によって基本変数の有する不確定性と変動性を考慮し、設計結果が所定の信頼性を確保できるようにする手法。

－附属資料2 委員会における議論の経緯等－

委員会および幹事会における議論は、以下の事項を「根幹的事項」として定め、土木・建築といった分野の違い、鋼・コンクリートといった構造種別の違いに関係なく共通する事項を扱うこととした。

根幹的事項	概要
基本的要求性能	設計に際しての基本的な要求性能をどのように設定するか。
限界状態	どのような限界状態を設定するか。
作用（荷重）	基本的な作用（荷重）の取り扱いをどのように規定するか
部分係数法等の検証法	部分係数法等の検証方法に関する基本的な考え方をどのように設定するか
耐震設計	国際的なレベルでの耐震設計に関する基本的な考え方をどのように設定するか。

一方、先にも述べたように、国際的な設計に係わる技術標準の制定動向として、構造物全般に係わる共通事項は、共通的な技術標準を定め、構造物の特性等に依存するものについては構造種別ごとに技術標準を定めるといったことがみられる。

その典型的な例が、CEN（欧州標準化委員会）で策定が進められているユーロ・コードであり、同コードでは共通的なものをコード0,1,8で定めている。

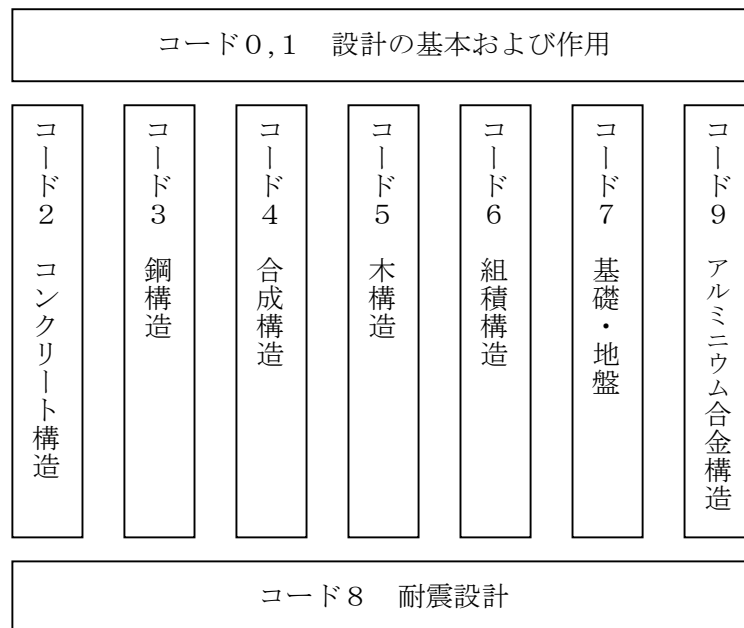


図 ユーロコードの全体体系

このユーロ・コード0に相当するものとして、ISOでは、ISO2394 構造物の信頼性に関する一般原則が策定されている。

そして、ここでの「設計にかかる基本」に関する議論は、現行の我が国の技術標準の体系と上述の設計に関する国際的な技術標準の体系を結ぶものとしても位置付けできるよう配慮したものとなっている。