

### 3. 性能設計

#### 3.1 性能設計の目的

性能設計とは、「構造物に要求する性能を明示し、その性能を設計供用期間に構造物が保持することを客観的に確認する」設計法である。性能設計が定着しつつある現在、用語も性能設計だけでなく、性能規定型設計、性能照査型設計など複数の用語が用いられ、その定義も個人によって必ずしも厳密に同じではないが、おおむねこのような定義であることに間違いはない。設計法がこの性能設計に変わりつつある事実およびその背景は、前章で述べたとおりである。

土木構造物（建築物も同様であるが）の設計基準は、本来の構造物の目的に応じた機能を手戻りなく達成するための必要最小限の約束事を規定するものであるが、近年この本来の役割に加えて、種々の社会的な役割が期待されている。これらの事例には、たとえば次のようなものがある<sup>1)</sup>。

- ・ 構造物が保有する性能を社会的に説明・表示し、信頼感を与える役割
- ・ 使用材料や構造方法の選択等の自由度を提供し、構造物の生産性向上に貢献する役割
- ・ これまでと異なる革新的な技術を性能確保のために活用できるようにする役割
- ・ 建設資材の流通の国際化等技術のグローバル化に対応する役割

これらの役割は、説明責任を遂行し、多様な新しい技術を受け入れる柔軟性・自由度の確保に強く関係し、公共事業等におけるコスト構造改革といった課題にも大きな貢献が期待できる。ひいては、建設関連産業の活性化を促し、国際的競争力を高めるための基盤を提供することにもつながる。性能設計の目的は、まさに上記の役割・責務を果たす手段として必要なものであると言える。

性能設計の導入は、1995年1月に発足したWTO（世界貿易機関）の協定の一つであるTBT協定（貿易の技術的障害に関する協定）が契機となっている。そこでは、設計法に関する規格および規格の適合性評価の手続きが国際貿易に不必要な障害をもたらすことのないよう、国際規格を基礎とした国内規格を策定する原則が定められている。この国際規格の代表が1998年に制定されたISO 2394である。そこでは、施設の設計は性能規定化を原則とすることとされ、施設（構造物）全体や構造部材の設計に適用できる一般原則が規定されている。性能設計の原則とは、すなわち設計のプラットフォームであると言える。設計基準で示すべき項目と、示すべきでない項目を明確に区別することで、国家や地域に適用範囲が制限されることなく、全地球的規模で、どのような構造物に対しても適用可能な設計基準となることになる。まさに、技術的障害が払拭されることになる。

#### 3.2 要求性能

設計基準が性能規定化されれば、保有すべき施設の性能が明確になるとともに、それを定量的に満足させることにより、設計者の創意工夫を活かしたより低コストで高品質な施設や構造物が提案される可能性が高まる。このメリットを最大限に生かすために、構造物の性能の概念を、「目的（構造物の設置目的）」、「要求性能（目的を達成するために構造物が保有すべき性能）」、性能規定「（要求性能が満たされるために必要な具体的規定）」、および「性能照査（要求性能が満足されることを照査する行為）」の4つの階層に分類・整理されることが一般的である。このうち、目的、要求性能、および性能規定については遵守すべき事項として定め、性能照査の方法は任意事項とされることが一般的である（図-3.1.1参照）。

要求性能とは、構造物の目的を達成するために、当該構造物（構造物全体）が保有すべき必要な性能のことである。通常、構造物の要求性能は多岐に亘るが、土木構造物では、公共の福祉の観点から、当該構造物が保有すべき最低限の性能を基準類に定めることとなる。ここで、要求性能とは、当然ながら一般ユーザあるいは納税者に理解できるものではない。なぜなら、要求性能は構造物の設置目的とともに、ユーザがその構造物の必要性を理解し、適正な水準（すなわち建設投資額）

で建造されているかどうかを判断するための指標となるべきものであるからである。たとえば、「この構造物は、〇〇〇のような力が作用したときに、〇〇〇のような状態になります。」といったような表現になることになる。

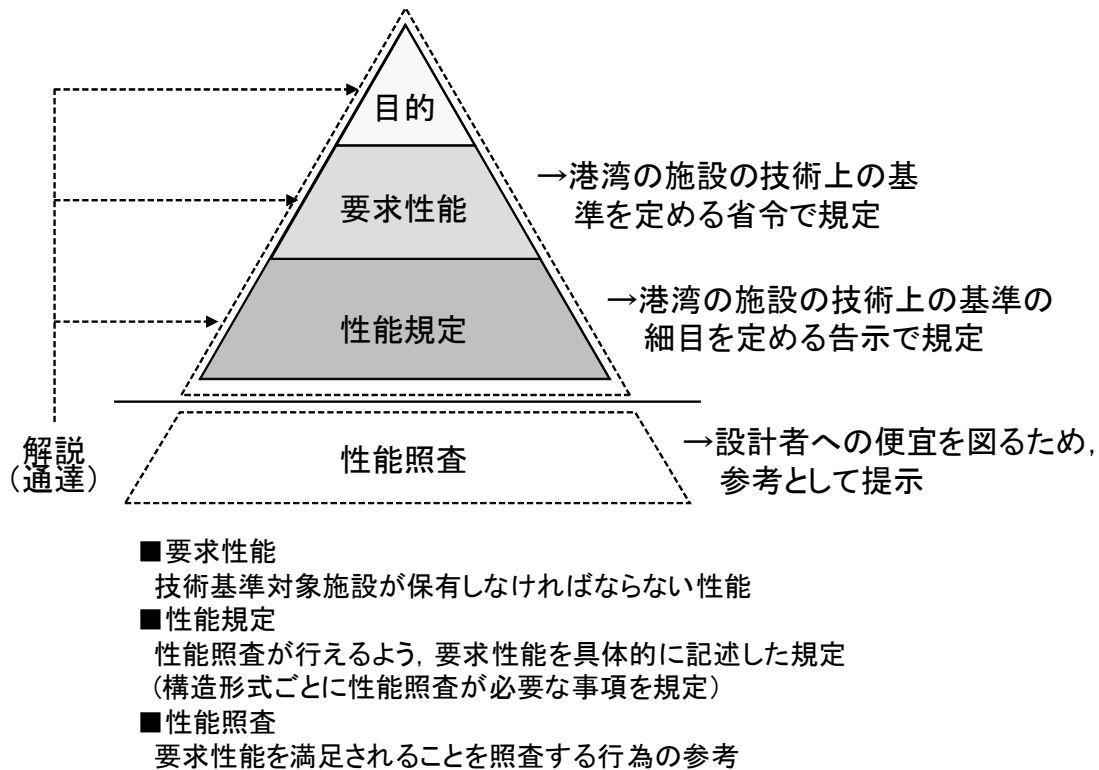


図-3.1.1 港湾の施設の技術上の基準に見る要求性能の階層化

要求性能には、(1) 構造物の構造的な応答に関するもの、(2) 構造物に原則的に付与されなければならないものに大別できる。(1)については、作用に対して許容し得る損傷のレベルに応じて、安全性、修復性(復旧性)、使用性に分類される。安全性とは、人命の安全等を確保できる性能のことであり、想定される作用に対してある程度の損傷が発生するものの、損傷の程度が構造物にとって致命的とならず、人命の安全確保に重大な影響が生じない範囲に留まる性能である。安全性の概念は、平易に言えば、構造物が壊れるかどうかということに関連するものであり、理解が容易である。一方、使用性は、使用上の不都合を生じずに使用できる性能のことであり、想定される作用に対して損傷が生じないか、あるいは損傷の程度がわずかな修復により速やかに所要の機能が発揮できる範囲に留まる性能である。構造物の機能、あるいはそもそもの設置目的に直接的に関係する性能であると言える。この中間にあるのが、修復性である。修復性とは、技術的に可能で経済的に妥当な範囲の修繕で継続的に使用できる性能のことであり、想定される作用に対して損傷の程度が、軽微な修復により短期間のうちに所要の機能が発揮できる範囲に留まる性能を言う。力学的な性能と結びつけるのが困難な場合もあることは、短期間のうちに回復できるのは力学性能のみならず、日頃の復旧工事の準備状況や資材のストックなどに関係することになり、若干わかりにくい性能である。

(2)の原則的に付与される性能として、妥当な工期で工事の安全を確保しながら施工できる性能である施工性、維持管理のし易さや技術的に可能な範囲で経済的に補修・補強等の対策が取り得る性

能である維持管理性、景観や社会・環境との調和を示す社会・環境適合性等がある。これらのうちから、当該構造物に必要な性能のみを明示することとなる。

これらの性能のうち第一義的な性能は、構造物の損傷の程度に関連する使用性、修復性、安全性である。これらの性能は、通常、作用とのペアで考えられることとなる。一般に、作用（荷重）は永続作用を除いて、年超過確率に応じてその特性値の大きさが異なり、作用の大きさが異なると、構造物に生じる損傷の程度が異なる。年超過確率のある程度大きな変動作用や永続作用によって構造物に大きな損傷が生じることは許容されないが、年超過確率の小さな偶発作用に対しても施設に一切損傷が生じないようにすることは経済的観点等から合理的ではない。そのため、許容される損傷の程度との関係は、安全性>修復性>使用性となるように作用の年超過確率に応じて、損傷の程度、すなわち性能を設定することとなる（図-3.1.2 参照）。

構造物を構成する部材や材料等の性質は、長期間の使用過程で受ける周辺環境からの作用等によって次第に変化（劣化）する。これに伴って、構造物そのものの性能も変化（低下）し、供用開始直後には要求レベルを上回っていた性能が、ある時点で下回ることも考えられる。これは、一般には耐久性といわれているものであるが、耐久性を要求性能の一つとして考えるかどうかは、設計基準によって異なっている。つまり、耐久性を安全性や使用性等の性能低下に関わる要因として捉え、性能の経時変化として考える方法と、耐久性を直接照査し、十分な耐久性が確保されていることを前提に設計供用期間内に劣化等によって性能が低下することはない（つまり性能の経時変化は生じない）と考える方法である。土木学会の複合構造物の性能照査指針（案）は前者の考え方が、コンクリート標準示方書は後者の考え方が採られている。前者は技術的にも難しいが、直接的に性能と関係づけられる点が利点である。

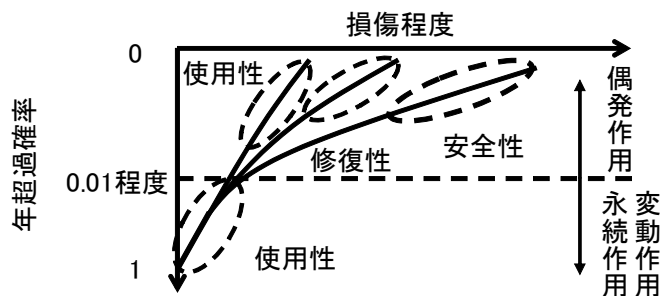
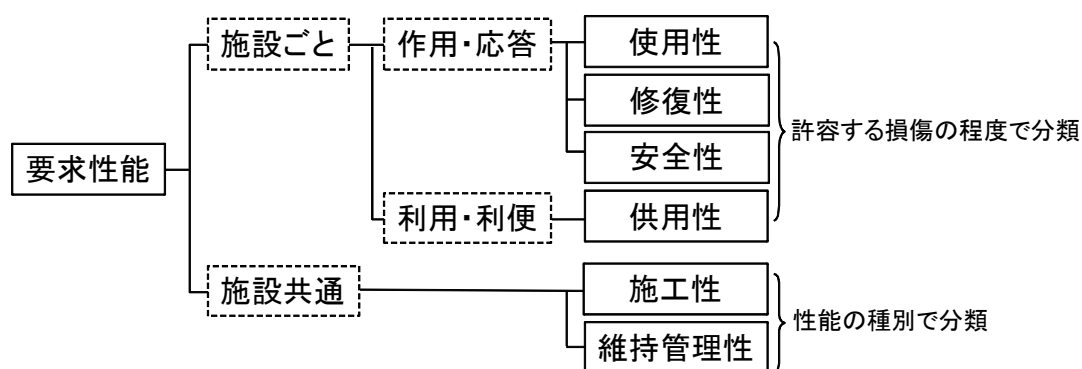


図-3.1.2 要求性能と作用の年超過確率との関係例（港湾基準）

前述のように、要求性能は平易な用語で説明されるのが基本であるが、そうした場合に設計者の立場からは設計目標の具体性が示されないこととなる。そのため、要求性能をさらにブレイクダウン

ンして、性能を定量的に示す必要が実際には生じる。これが性能規定に相当するものである。照査の際の限界値を規定したり、損傷の形態（場所や範囲）を具体的に規定したりすることが該当する。

### 3.3 限界状態と性能照査

要求性能が満足されることを客観的に何らかの数値指標をもって確認することが照査行為である。要求性能から定まる性能規定を基に照査することとなるが、一般にはこの性能規定を照査すべき限界状態に置き換えることが多い。つまり、構造物の挙動やその結果として生じる損傷等が、構造物の要求を下回るとみる限界状態を設定し、構造物の設計供用期間中に想定される作用に対して、構造物の挙動や損傷状態がその限界状態を超えないことを確認することになる。その際、安全性は終局限界状態、使用性は使用限界状態、修復性は修復限界状態として置き換えられることが多い。構造物の形態によっては、使用性が終局限界状態に対応する場合もあれば、安全性が使用限界状態に対応する場合もあり、どの限界状態に設定するかは、構造物や構造部材の役割、冗長性、破壊過程の状況などを勘案して行う必要がある。

2003年3月に制定された土木学会包括設計コード（案）（code PLATFORM ver.1）<sup>2)</sup>においては、「個々の性能規定は、構造物の限界状態、作用・環境的影響の程度とそれらの組み合わせ、時間の、3つの要素の組み合わせで、規定される。ただし、性能規定の中には、ある指標の最大化や最小化で表現されるなど必ずしも限界状態で構造物の性能を記述できない場合もある。その場合は限界状態をそのような適当な指標に基づくある状態で置き換えることもできる。」とされている。つまり、それぞれの要求性能に対して、性能規定として何らかの限界状態に結び付けることがなされる。そのためには、限界状態は構造物の性能を定量的に記述することにより与えられることが望ましいが、性能規定の中には限界状態で記述することが適当でないものもある（たとえば、経済性や環境適合性などがあげられる）。

限界状態による照査においては、構造物の破壊といった終局限界状態までの作用と応答の関係を明確にすることが必要となり、設計者はもとより、ユーザもより直接的に構造物の状態を知ることが可能となる。

### 3.4 性能設計に関して今後期待すること

性能設計については、その導入が図られてから間もなく、システムの向上に向けた検討が続けられる必要がある。現時点で考えられる課題と要望について次のとおりまとめてみる。

- ・性能規定の指標というべき限界値を設定することが必要である。本当に必要な性能を保証できる数字であるのかどうかを検証することが求められる。また、限界値を正しく照査するに必要な解析技術が備わっているのかどうかにも注意が必要である。現在の技術レベルで不可能な照査を求めても、実行が伴わないことになる。
- ・性能を求め、照査を厳格にすればするほど、構造物が本来有しているべき冗長性が見失われる危険性がある。必要な冗長性を確保できるよう、設計者は留意する必要がある。
- ・構造物への作用とそれによって生じる応答ですべての現象を忠実にモデル化することは困難である。信頼性設計の考え方を導入するというように、不確実性への対応をどのように行うかが、性能確保の信頼性につながる。
- ・性能設計の導入に伴い、技術の多様化や高度化が進む。そのため、発注者側と受注者側の技術力の向上が必要である。特に、設計結果の審査に必要な能力の向上が不可欠となる。
- ・万一照査に過誤があり、供用後のある一定期間の間に不具合が生じた場合の責任が受注者に生じる可能性がある。これらに対する保険制度等の責任システムの整備が求められる。
- ・性能設計の成果に対する品質保証・認証システムの確立が必要である。特に、第三者認証機関の

ような仕組みがわが国にも根付くことが必要である。

- ・既存構造物の維持管理における性能評価の方法を確立する必要がある。

また、すべての構造物に性能規定の仕組みを設けることは必ずしも適切ではない。すでに使用されている手法を「適合みなし規定」として位置づけ、簡便な方法で検討すれば自動的に性能規定が満足されているようなプロセスを構築しておくことも効率的な設計のために必要である。

#### 参考文献

- 1) 土木・建築における技術基準の動向と展望

[www.nilim.go.jp/lab/bbg/kouenkai/kouenkai2002/kouenkai/kijun09.pdf](http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/kouenkai/kouenkai2002/kouenkai/kijun09.pdf)

- 2) <http://www.jsce.or.jp/opcet/standard/code%20ver.1.pdf>

(横田 弘)