

コンクリート構造物の設計と照査

1章 はじめに

本稿は、「コンクリート構造物設計の設計と照査」と題して、よいコンクリート構造物を設計するために必要と考えられる事項をまとめようとするものである。

具体的には、コンクリート構造物として、鉄道構造物を対象とした場合の設計に対する私見や、技術基準や教科書には記載されていないが、照査を行うときに必要とされる情報や留意すべき事項の私見をまとめる予定である。

なお、鉄筋コンクリート構造の基本的事項などに関する詳細は、関連する教科書などの書籍や文献に譲ることとしている。

本稿は、極めて独善的な内容や、鉄道構造物に携わる技術者と考えの相異を招く内容も多々あると思うが、その良否あるいは適否は、あくまでも読者に委ねることとさせていたきたい。

2 章 設計、照査と設計作業

2.1 設計と照査

近年，土木学会を始めとして種々の事業体で性能照査型設計体系への移行が進んでいる．鉄道構造物では，平成 16 年の鉄道構造物等設計標準（コンクリート構造物）¹⁾ で性能照査型設計体系が取り入れられている．

性能照査型設計体系は，要求性能を明確にして，その要求性能が満足されることを照査する体系であり，仕様規定型設計体系に比べて，要求性能の規定による構造物の性能の情報開示や，設計の自由度の増加などの特徴を有しているとされている．

性能照査型設計体系における設計作業の役割や特徴に関しては，種々の議論が行われてきている^{2), 3), 4)}．

それらの議論を通じて，著者は，性能照査型設計体系の中で設計作業を，その主旨に鑑みて，以下のように設計と照査に区分して考えている（図 2.1 参照）．

設計：構造物の形式や形状を具現化する行為

照査：説明責任を果たすために，設計の妥当性を示す行為

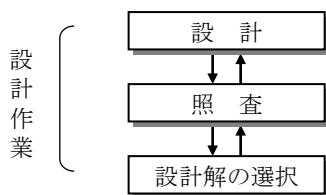


図 2.1 設計作業とその流れ

一般に，設計とは，技術基準に従って計算作業を行うことを指すが，この作業は，ここで言う設計とは本質的に異なることに留意する必要がある．技術基準に従って計算作業を行うことは，ここでは照査と呼んでいる．なお，現状で，設計と照査が混同されているのは，設計の目標が照査を満足させることだけになっている場合に，両者の区別がつかなくなるためと考えられる．

照査の作業は，現状では，技術基準に従って作成されたコンピューターソフトにより実施されており，多くの場合，技術者の判断の入る余地は無く，技術者の技術力は，設計した構造物の照査手法の適用の妥当性の判断のみと言っても過言ではない．その結果，技術者の技術力は，技術基準の理解度として考えられる場合が多いことになる．

一方，設計は，設計対象の要求性能，機能，環境，施工，維持管理などの制約条件を考慮した上で，白紙の状態から合理的と考えられる構造形態を具現化する行為であり，創造

性が必要とされる。もちろん、その創造性は、設計対象の機能や振る舞いに対する知識と、設計対象の照査技術に対する知識の両方に基づいたものでなければならない。

単に技術者の思いを形に表しても、設計対象に対する知識と照査技術に対する知識に基づいて表したものでなければ、照査を満足出来なくて実現不可能となったり、実現が困難となり、多大なる労苦が発生するだけになることに留意すべきである。

このように、「設計」と「照査」に区分して考えると、両者の行為では、技術者に要求される知識が必ずしも一致しないことが分かる。したがって、よい構造物を設計するためには、照査に対する技術はもとより、設計に対する技術も重要であり、ある意味で、設計行為は、照査行為よりも広範囲な技術力と資質を要する作業として位置付けられる。

また、照査は、構造物の振る舞いを精度良く予測する技術が必要とされることになるが、近年のコンピューターの進化を勘案すると、照査を全てコンピューターにより実施できる段階が近未来に訪れるものと想定される。現状でも、照査技術の精度によらなければ、照査行為がコンピューターで実施されている現状を考えると、その状況は容易に想像できる。

そのように考えると、技術者は、創造性のある行為を行う「設計」に、その存在を見いださざるをえないことになると思える。もちろん、照査の技術を向上させるための技術者の存在も、合わせて必要かつ重要であることは言うまでもない。

近年、土木学会示方書^{5),6),7)}などで「構造計画」に関する記載の充実が図られているが、これは「設計」の重要性を示唆したものと考えることができる。

なお、本稿では、設計の重要性を示すために、設計と照査を前述のように定義し、明確に分離して取り扱うこととする。本章で示す内容は、あくまでも著者の私見であり、その良否については、読者に委ねるものである。

2.2 設計

2.2.1 設計の基本

設計の基本は、古くから「用・強・美」を満足することとされている。

「用・強」は、現状の性能照査型設計体系に置き換えれば、使用性、安全性などの構造性能に相当し、「美」とは環境（景観）に対する性能に相当することになる。

社会の要求が多様化し、この他にも要求される事項は増加しつつあるが、「用・強・美」は、時代を超えた普遍の真理とも言える基本事項と考える。

地域・環境による入手可能な材料条件、用・強に関わる主要な作用条件、風土・文化による美しさの価値観条件、時代による経済的条件や概念的条件等は、それぞれ異なる。

たとえば、橋を作るのに、その地域で入手可能で、最も適した材料が石や木であれば、木で支保工を製作し、石で橋本体を作る（写真 2.1）。また、鋼材が入手しやすければ鋼橋を作ることになる（写真 2.2）。これは時代とともに変化していくものでもあり、現在では、土木構造物を構築する上で、コンクリートと鉄が最も安定的に入手可能な材料となっている（写真 2.3）。

主要な作用も地域・環境により異なり、風が主な地域もあり、地震が主な地域もあり、雪が主な地域もある。

北海道、本州、四国、九州、沖縄で、住居の形態などは異なることから容易に想像できることである。住居以外にも、地域によって形態の異なる物が意外と多いことに気づくはずである。また、国内の構造物の形状寸法と、欧州など国外の構造物の形状寸法（写真 2.4）を比較すると、明らかにそのスケールが異なる。これらは主たる作用の影響と考えることもできる。



写真 2.1 通潤橋



写真 2.2 餘部橋梁



写真 2.3 餘部橋梁



写真 2.4 ミヨ一高架橋

このように、「用・強・美」の基本を遵守しても、設計対象構造物の地域・環境、風土・文化、時代により、構造物は異なる形態となりうると考えるのが自然である。

したがって、地域・環境などの客観的条件、風土・文化などの概念的条件、そして時代などの時間的条件に適合した上で、「用・強・美」の基本を遵守した設計が、設計対象構造物に対して如何に行われるかということが重要になる（図 2.2 参照）。

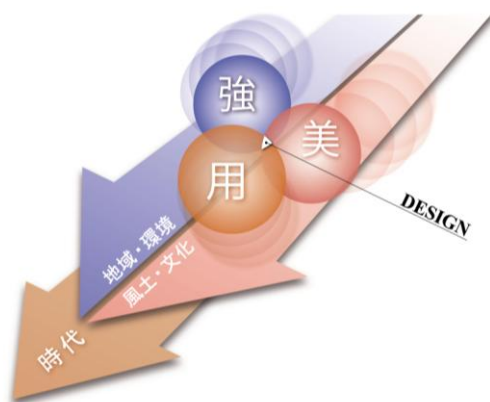


図 2.2 設計の基本原則

「用・強」に関しては、土木構造物は多くの場合、技術基準があり、これらの事項は全て網羅され、その合理性が担保されているものと考えたい。

「美」に関しては、技術基準で触れられることは少ない。橋など土木構造物は、建築構造物に比べて構造自体は複雑であるが、機能や目的は明確である。そのため、設計では、構造上の材料の特性の効率的活用や経済合理性が重要視され、建築のような美しさという概念的検討が行われ難いことになる。

しかし、土木構造物は、そのスケールから、いやがおうにも環境の中に存在し、かつ普遍的に存在するものであり、景観に与える影響は極めて大きい。

したがって、土木構造物は、常に、景観を損なうことがなく、土木構造物によって良い景観を創造することが責務であると考ええる。ただし、公共施設である以上は、いかなる場合においても、経済合理性に基づくことが原則と考える。

なお、技術基準は、構造物の「用・強」を満たすために、土木構造物としての説明責任を果たすための客観的根拠を示したものであり、「用・強・美」を満たすための構造物の形態の創造や選定という創造的作業は、技術者に委ねられている。

2.2.2 設計姿勢

設計は、構造物の形式や形状を具現化する行為である。

現状における設計の手法を区分すると以下ようになる（図 2.3 参照）。

① 過去の類似事例を用いる設計

過去の類似事例を用いる設計で、設計対象構造物の設計条件や制約条件が類似する事例に基づき、微修正を行う設計。現状では最も多く適用されているが、その設計条件、制約条件、およびその背景などを十分に分析して適用する必要がある。

設計対象構造物の選定にあたって、過去の類似事例が工学的に適合しているものとみなすこと自体は、設計作業の合理化という観点で否定されるべきものではない。しかし、この方法に依存しすぎることは、新しい技術の導入や新しい構造形式の選定には障害となる場合が多い。

② 過去の類似事例の改善を図る設計

過去の類似事例をある程度参考とするが、常にその改善を図る設計。現状では、設計対象構造物の立地条件、施工条件および工期などの制約条件が、その事例に比べて厳しい条件が付与された場合や、景観を重視した条件が付与された場合などに用いられることが多い。なお、ここで言う改善とは、制約条件の差異によって新たな技術の導入や挑戦により構造形態を改善することで、それ以外の改善は①に含まれる行為としている。

③ 過去に例の無い設計

過去の類似事例にとらわれない設計。現状では、設計条件や制約条件が厳しく、過去の類似事例を参考にすることができない場合などに用いられる。

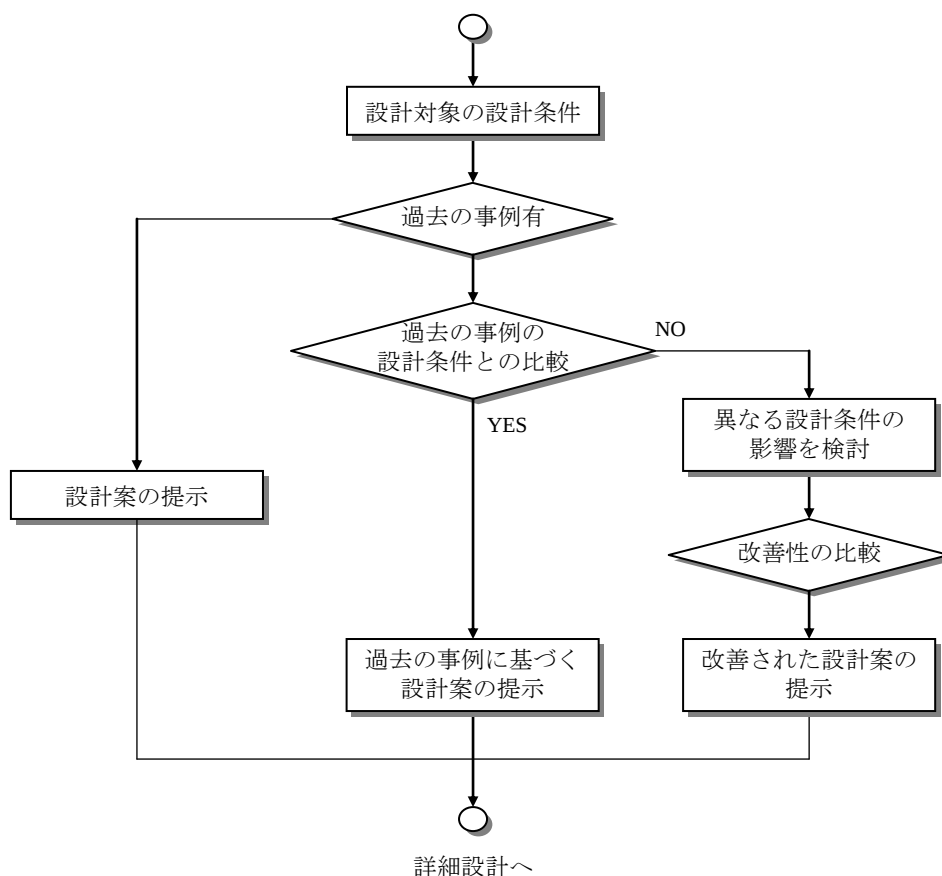


図 2.3 現状の設計手法の区分

このような実態に基づくと、設計の手法を、設計姿勢のレベルとして区分して考えることもできる。

設計姿勢のレベルと、自由度、技術の種類、技術の進歩、技術基準の形態の関係のイメージを表 2.1 に示す。

レベル 1 は、過去の実績にとらわれずに構造形式等を自由に創造するレベルであり、技術者には想像性が求められ、かつ、照査を行う際に技術基準の適用範囲外となることも考えられるため、その説明責任を果たすための、照査技術に関する高い技術力も求められる。ここで言う技術力とは、単に構造性能を照査する技術のみではなく、施工や維持管理などに対する総合的な技術力のことであるのは言うまでもない。

レベル 2 は、過去の実績を尊重しつつも設計の自由度が与えられるレベルであり、技術者には創造性が求められ、かつ、その説明責任に対する相応の技術力が求められる。

レベル 3 は、過去の実績を尊重して設計するレベルであり、設計における自由度は殆ど無い。したがって、技術者には創造性を求められることは無く、その説明責任は、技術基準に従うことで果たすことができる。また、レベル 1 とは異なり、その実績があるため施工や維持管理に対しても、これまでの手法や経験を前提することができる。

表 2.1 設計姿勢と関連事項の関係のイメージ

レベル	設計姿勢	設計自由度	設計技術	照査技術	技術の進歩	技術基準	設計の例
1	創造					性能照査型	創造的構造形態
2	改善・創造					性能規定型	改善的構造形態
3	踏襲					仕様規定型	既存構造形態

設計姿勢のレベルと技術力の関係のイメージを図 2.4 に示す。これは、技術力を設計に対する技術と照査に対する技術に区分して表したものである。前述のように、設計姿勢のレベルに応じて、必要とされる技術力の種類と程度が異なることになる。

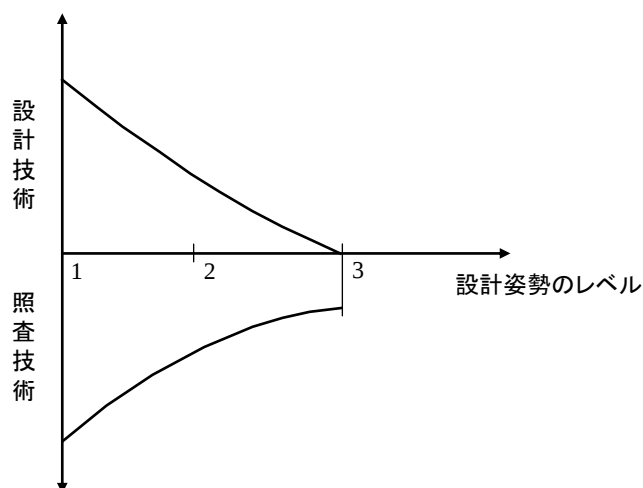


図 2.4 設計姿勢のレベルと技術力の関係

設計姿勢と技術の進歩へ与える影響の関係を考えると、レベル 3 の設計のみでは過去の類似事例の微修正のみであるため、技術の向上や進歩は無いことになる。

これまで構造物が進化してきた経緯を考えると、先人たちが常にレベル 2 もしくはレベル 1 の設計を実現して来た結果として、構造物の照査や施工に関する技術が向上してきたと言い換えることもできる。なお、その結果として、それらが現在の標準的構造形式となりレベル 3 の設計に位置づけられたことになる。

以上のことから、技術者は、常に、設計レベル 2 または設計レベル 1 に取り組む姿勢を持ち挑戦することが、構造物の照査や施工に関する技術の向上の必要条件にもなると考えられる。

また、同時に、設計姿勢と技術基準の関係を考えると、レベル 3 では、極論すると設計の自由度は無いことから、仕様規定型の照査方法を用いることに大きな弊害はない。しかし、レベル 1 やレベル 2 においては、技術基準に記載された照査技術が、設計姿勢を妨げ

ることがないように規定されている必要がある。したがって、設計姿勢のレベルに応じた照査技術が技術基準に記載されることも必要である。

設計の手法を、設計姿勢のレベルに区分して表した。設計姿勢のレベルを区分することに必ずしも合理性は無いが、このような設計姿勢のレベルを明確にして設計に取り組むと、設計の自由度、必要とされる技術の種類と技術力のレベル等も明確になり、設計の重要性の認識に繋がり、よい設計を行う方向へ誘導され则认为る。

いずれにしても、設計を行うためには、技術者は、設計に要する費用の如何に関わらず過去の類似事例にとらわれず、まず、感性や経験に基づいた創造性と意思を持って、取り組む姿勢を持つことが重要であるとする。その上で、結果として、過去の類似事例等とほぼ同様の構造形態となってもよい。それは、過去の事例の合理性を示すことにも通じ、かつ、技術者としての「設計」の知識の蓄積、そして経験にもなるからである。

なお、一般に、技術基準は、説明責任として、要求性能の満足度を証明するための方法を記載しているものであり、よい構造物を設計する行為と必ずしも直接繋がっていないことを認識しておくことも必要である。



写真 2.5 小本川橋梁



写真 2.6 大沢橋梁



写真 2.7 安家川橋梁

2.2.3 設計の段階

構造物の設計には、いくつかの段階がある。地震作用に対する設計上の流れを例に、以下に説明する。

構造物は、地震時および地震後において、人命の損失を生じさせるような壊滅的な損傷の発生を防ぐこと、安全を確保すること、および、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などを目標としなければならない。

この要求を達成するために、設計対象構造物の機能が、社会活動に与える影響範囲を設定し、想定した地震作用に対して、地震時および地震後の設計対象構造物の機能保持の程度を定めて、それを満足するように構造物の性能を照査することになる。

鉄道構造物を例にとると、交通手段として設計対象構造物が存在する路線全体に対する要求があり、その結果として、設計対象構造物に対する要求性能が規定されるということになる。

そして、設計対象構造物全体としての要求が規定された結果、構造物の構造要素に対する要求が限界状態として規定されることになる。

すなわち、地震作用に対する要求性能は、交通ネットワーク要素の一要素としての要求が規定された結果として、構造物に対して規定されたものである。

このような流れに対応して、鉄道事業では、一般に、構造物の設計の段階が、路線計画、概略設計、詳細設計に区分されて実施される（図 2.5）。

それぞれの段階で、必要とされる情報、技術および精度等が異なるが、よい構造物を設計するためには、これらの流れを理解しておく必要がある。

路線計画段階では、構造形式などを想定して事業規模や事業費を決定する。

概略設計段階では、路線計画で想定した構造形式の妥当性の検証を目的として構造検討を行い、構造形式を決定する。

詳細設計段階では、その構造形式に対して、断面寸法、配筋照査などの構造詳細を決定する。

この流れにおいては、設計対象構造物の、要求性能、経済性等を含む制約条件は、詳細設計以前の段階でほぼ確定されている。したがって、ときに概略設計段階においても、路線計画段階と大きく異なる構造形式に変更することは困難であり、ましてや詳細設計段階では、主要な構造形式の変更は不可能となる。

その結果として、技術者は、多くの場合、断面形状や配筋詳細などの行為にのみその技術力を発揮することになり、前述の「設計」という行為は、実質的に行う余地がないことになる。

したがって、よい構造物を設計するためには、路線計画段階から構造形態の検討に取り

組んで、その結果を路線計画に反映させる必要があり、「設計」は、本来、路線計画段階で取り組まれる行為として位置付けることが重要であると考え、技術者もそれを認識し、路線計画段階で、その創造性を発揮するように努力する必要がある。

なお、これらの概念をより一般化して、設計の段階を、シビルデザイン、ストラクチャルデザイン、ディテールデザインと区分することで、「設計」の重要性も含めて示唆的な考え方が示されたものもある⁸⁾ので参考にするのがよい。

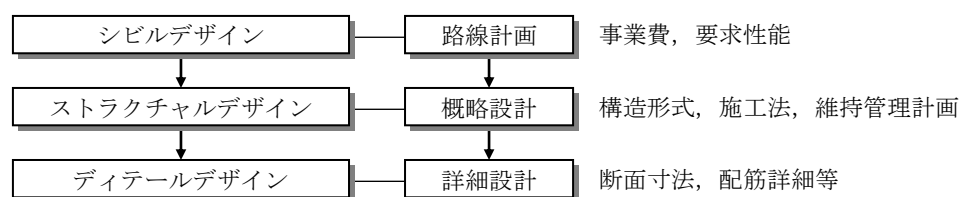


図 2.5 設計の段階

2.2.4 設計手法

現状の設計手法を、過去の類似例の適用の観点から、図 2.3 に示すように分類できることを示した。その上で、実際の設計手法自体を区分すると以下ようになる。

図 2.3 で示したように、過去の類似事例や実績のみに依存して設計を行う手法がある。言わば、類似例実績利用型である。

現実の設計を行う上では、いくつかの知っておかなければならない情報、知っておくと便利な情報がある。

この情報は、多くの場合、現状で標準的に使用されている構造物を設計する場合の留意点や検討を行うべき事項を示したものであり、適切に利用すれば、概ね妥当な設計を行うことが可能となる。その結果、設計作業はスムーズに進むことになり、技術基準で規定された照査を満足させるための設計解を得るための作業のテクニックとして、極めて合理的である。しかし、設計は、常に過去の類似例や実績の範囲内で行われ、設計の改善や新たな技術の導入などは、困難となる。

照査方法に依存して、とにかく計算で満足させる設計を行う手法がある。言わば、計算依存型である。

設計は、照査を満足させることを目的とすると、近年のコンピューターによる計算行為の簡便化も影響して、照査規定を駆使して設計という名の計算を行うことになる。その結果、照査規定を守ることを駆使した計算により得られることになり、設計の行為自体は、必ず照査規定を満足するため合理的である。なお、その設計解は、あたかも合理的で高度な設計として、提示され、かつ評されることがある。

しかし、照査規定には、殆どの場合、記述されていない前提条件や適用範囲がある。時として、この設計は、陰なる前提条件を逸脱していることが多く、照査技術を熟知するコードライター等にとっては、時として、照査規定の悪用にさえ映ることもある。これは、設計を、照査規定を駆使した計算行為として考えることの弊害である。

このように、現状で用いられている設計手法は、一定の利便性はあるが、同時に弊害もある。これらの設計手法は、設計対象構造物や設計条件によっては、全てが否定されるものではない。しかし、過去の類似例の利用や、技術基準の規定を満足することなどに依存しすぎることは、よい構造物の設計と必ずしも繋がっていないことがあることを認識しておく必要がある。

「まず、計算する前に絵を描け。その絵に不安感や不快感を感じれば、絵に描いた構造物は、もたない。」これは、著者が初めて設計に携わったときに、教えられたことである。

設計の手法としては、まず白紙の状態から、自らの感性に基づき構造形態を具現化し、

それに対して技術的論理とは異なる直観などの感性によって、その妥当性を検証することが何よりも重要であると考えている。

2.3 照査

照査は，説明責任を果たすために，設計の妥当性を示す行為である．

性能照査型設計体系では，設計で仮定した構造物が，要求性能に応じて設定された限界状態に至らないことを確認するという照査が行われる．その場合，照査方法としては，実物実験，模型実験あるいは精度が検証された数値計算法などが用いられる（図 2.6 参照）．

数値計算法によって照査する手法に，「許容応力度設計法」や「限界状態設計法」等がある．

わが国では，昭和 61 年に土木学会コンクリート標準示方書⁹⁾に取り入れられ，鉄道コンクリート構造物では，平成 4 年度制定の鉄道構造物等設計標準（コンクリート構造物編）¹⁰⁾から限界状態設計法が導入され，約 20 年が経過しつつあり，十分に実績のある照査方法である．この詳細は，今後，説明する予定である．

限界状態設計法は，構造物の使用性・安全性・復旧性などの様々な状態に着目した各限界状態を設定し，その限界状態ごとに設定された制限値を満足することを照査する照査方法である．

一般に，荷重・材料・解析手法などに関する個々の安全係数を，荷重（作用）側と制限値側のそれぞれに持つため，最新の技術を反映しやすい．また，構造物の限界状態が構造物の実際の載荷状態や物理的状态との関係で設定されるので，設計者が要求した性能に対する構造物の状態を，照査結果から明確に理解することが比較的容易である．

「性能を明示しその性能を照査」し，かつ「新技術の開発・発展を柔軟に反映」するためには，その目的に合った照査手法を採用するのが望ましく，限界状態設計法はその照査方法として適している．

しかし，構造物を照査しようとする場合には，要求性能だけで決定できない，または直接照査できないものがあるため，仕様规定的なものとの組合せにならざるを得ないのが現状である．その場合，構造細目などの仕様規定は，ある意味で照査の前提条件として規定されているものもあるため，単なる仕様規定ではないことを認識しておく必要がある．

また，構造物の維持管理においても構造性能を評価することが求められているが，限界状態設計法は，構造物の限界状態が構造物の実際の載荷状態や物理的状态との関係で設定されるため，維持管理における性能評価においても適している．

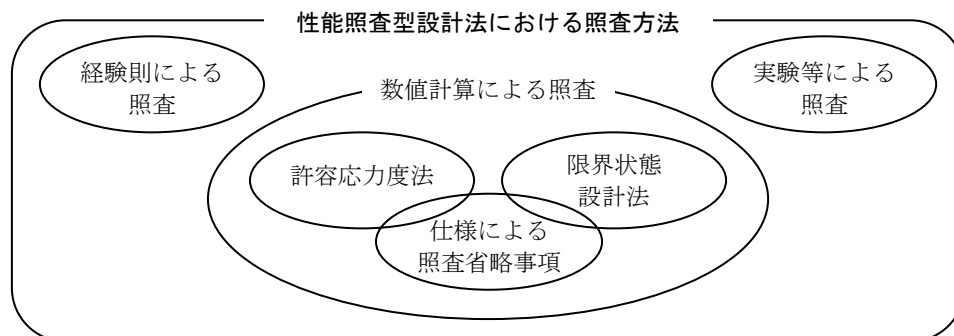


図 2.6 照査方法の種類

2.4 設計解の選択

設定された設計空間の中で、制約条件を満足する設計解は無数に存在する。その無数の設計解の中から設計解の選択を行うことになる。

これは、ある設計解が技術基準に従った照査を満足しても、それ自体が必ずしもよい設計解ではないということを意味しており、単に照査を満足するだけではなく、設計解の妥当性の説明責任を果たす必要があることに繋がる。

これを最適設計問題として説明する。最適化問題は、一般に目的関数、制約条件および設計変数から構成され、以下のように定式化される¹¹⁾。

最適設計問題は、一般に目的関数、制約条件式および設計変数から構成され、以下のよう定式化される。

$$\text{目的関数：} f(x) \rightarrow \min \quad (2.1)$$

$$\text{制約条件：} g_j(x) \leq 0 \quad (j = 1 \sim m) \quad (2.2)$$

$$h_k(x) = 0 \quad (k = 1 \sim m') \quad (2.3)$$

$$x^L \leq x \leq x^U \quad (2.4)$$

$$\text{設計変数：} x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}^T \quad (2.5)$$

このとき、問題は制約条件式 (2.2) ～ (2.4) を満足し、式 (2.1) の目的関数を最小にするような式 (2.3) の設計変数の決定と定義される。 n は設計変数の数、 m は不等号制約条件式の数、 m' は等号制約条件式の数である。式 (2.4) は各設計変数の上下限に関する制約条件式であり、設計空間を限定する働きがあることから設計制約条件ともいわれる。

この場合、制約条件を満足する設計解の中から、目的関数が最小となる設計解を探索し、設計解を選択することになる。

一般には、設計解の選択において、要求される事項を制約条件と目的関数に区分する必要がある。ここで言う目的関数は、設計を評価するための工学的価値基準となる。

工学的価値基準は、設計解の妥当性のみならず説明責任を果たすための客観的指標とも言える。

現在の設計体系は、性能照査型設計法が主流であり、鉄道構造物にも適用されている。性能照査型設計法によれば、要求性能として、一般に、安全性、使用性、復旧性、維持管理性、施工性、経済性、環境性（含む景観）などがあるが、これらを例にして、設計解の選択を説明する。

規定された要求性能が、全て同一の工学的価値基準で表されることが望ましいが、現状では困難である。そのため、一般には、安全性、使用性、復旧性、維持管理性、施工性を制約条件として、経済性を工学的価値基準（目的関数）として設計の意思決定を行う場合が多い。

経済性には、建設に要する初期費用のみではなく、将来の維持管理に要する費用や、地震などの損傷に伴う修復費用などの損失も考慮した、いわゆるライフサイクルコストなどを用いることが最近多くなっている。とくに、鋼構造などのコンクリート構造以外の構造

材料を用いた構造物や、塩害における対策工の影響、地震作用に対する修復性の影響など、時間軸によって損失が生じるような場合は、ライフサイクルコストを経済性の指標とすることにより、時間軸による費用と損失の影響を考慮した合理的な設計解の選択が可能となる。

なお、制約条件として目的関数化することが困難な景観、環境性等の性能は、制約条件となる要求性能の目的関数である経済性を含めて意思決定要因と考えることができる。

この意思決定要因こそが、技術者の意思を客観的に表現できる手段となるため、設計に先立ち意思決定要因を明確にしておく必要がある。また、技術者は、意思決定要因を持って設計解の妥当性に対する説明責任を果たす必要があるため、事前に意思決定要因に対して十分な議論や検討をし、合意形成をしておく必要がある。

なお、標準的構造形式の選定後の、目的関数を経済性とした照査から設計解を選択する一連の行為が一般に設計と呼ばれているが、これらの作業は、既に最適化手法などを用いて実用化されている¹²⁾。先に記載したように、今後、これらの行為は、コンピュータによりさらに平易に実施することが可能となる。

このような状況は、技術者が、「設計」に対する技術力をより高めることの必要性を示唆しているものとする。

参考文献

- 1) 丸善：鉄道総合技術研究所編 鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物），平成 16 年 4 月
- 2) 土木学会：コンクリート技術シリーズ 20 コンクリート構造物の耐震技術-現状と将来展望-，平成 9 年 7 月
- 3) 土木学会：コンクリート技術シリーズ 48 コンクリート構造物の耐震性能照査技術-現状と将来展望-，平成 14 年 12 月
- 4) 土木学会：コンクリート技術シリーズ 67 地震作用に対するコンクリート構造物の性能照査型設計-設計と照査の現状と将来展望-，平成 17 年 9 月
- 5) 土木学会：2007 年制定 コンクリート標準示方書，2008.3
- 6) 土木学会：2009 年制定 複合構造標準示方書，2009.12
- 7) 土木学会：2007 年制定 鋼・合成構造標準示方書，2007.3
- 8) 土木学会：コンクリート技術シリーズ 81 コンクリート構造物の耐震設計-時空間における設計の課題と近未来像-，平成 20 年 7 月
- 9) 土木学会：昭和 61 年制定 コンクリート標準示方書，昭和 61 年 10 月
- 10) 丸善：鉄道総合技術研究所編 鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物），平成 4 年 10 月
- 11) 朝倉書店：最適設計ハンドブック -基礎・戦略・応用- 山川宏，2003.2
- 12) たとえば渡邊忠朋，杉本博之，朝日啓太：補修費用を考慮した耐震設計に関する一考察，土木学会論文集，No.718/V-57，2002.11