

性能創造型設計法の概念とその背景について

池田 尚治*

プレストレストコンクリート技術協会では今年3月に性能創造型設計によるコンクリート構造設計施工規準を完成させた。その概要については会誌53巻2011年3号に委員会報告として発表した¹⁾が、性能創造型設計法は著者の提案による新しい設計概念であることから本文においてその意義と背景についてより詳細に述べた。まず構造設計法の変遷に関し「仕様準拠から性能準拠へ」の流れと「性能」に関しこれらを概念的に明確化し性能照査と性能創造との違いを示した。また、要求性能なる用語に代えて機能とする意義も述べた。もともと設計行為は能動的なものである²⁾ので日本語の主観が英語の Subjective であることの論理的矛盾を明らかにしサブジェクトとオブジェクトの関係を設計行為と関連付けた。性能創造型設計法によって性能照査による受動的な閉塞感の払拭を図ることが期待できる。

キーワード：仕様準拠，性能準拠，性能創造，性能照査，設計法，サブジェクト，オブジェクト

1. はじめに

プレストレストコンクリート技術協会（以下、PC技術協会）では今年（2011年）3月に性能創造型設計によるコンクリート構造設計施工規準を完成させた。その概要については会誌53巻3号に委員会報告として発表した¹⁾が、2009年および2010年のPCシンポジウムの際のワークショップなどでもすでにその骨子を紹介して世に問うてきた^{2)~7)}。実際にこの規準が刊行されるのは、今年9月27日に東京で開催される講習会の頃からであるが、これまでにない斬新な規準であると思われるので、ここでは性能創造型設計法の本質的な概念とその背景について述べる⁸⁾こととする。

2. 構造設計法の変遷

近代の力学が芽生えたガリレオの時代では、構造物の設計は部材や材料の強さを定量的に把握した破壊を基本とする考え方に基づいていたが、材料の弾性的性質を見出した後は平面保持の仮定を取り入れた弾性理論による許容応力度設計法が永らく用いられてきた。しかしながら許容応力度設計法では構造物の破壊耐力や破壊モードを求めることが困難な場合があることなどから現在では材料や部材の性能を基本とする限界状態設計法へと進化してきた。また、材料強度や作用荷重のばらつきと不確実性を考慮した確率論的設計法の導入が限界状態設計法の中に取り入れられた。

ISO（国際標準化機構）では1973年に国際基準“International Standard 2394-1973”である“General principles for the verification of the safety of structures”（構造物の安全性照査に関する一般原理）をISO/TC98により制定した。ここでは Verification，すなわち、照査の基本原則が規定さ

れており、構造設計の中心が確率論に立脚した限界状態設計法へ移行するにあたってのベースが示されたのであった。限界状態設計法は、本来、構造物の性能に基づいた合理的構造設計法を目指している⁹⁾ので必然的に確率論や性能準拠に基づいた設計法が強調されることとなったのである。このような流れを受けて土木学会のコンクリート委員会では、1986年にわが国で初めての限界状態設計法に基づくコンクリート標準示方書設計編を規定化した。

一方、近年では「仕様規定から性能規定へ」といわれる流れとなって構造の性能をベースとした設計法が主流となってきた。許容応力度設計法は正に仕様規定であるが破壊耐力を基本とした終局強度設計法も規準の思想と書式によっては仕様規定となり得ることにも留意しなければならない。ここでは、「仕様規定」は英語の“Prescription Base”に対応し、「性能規定」の英語は“Performance Base”の対応語としてこれまで用いられている。しかしながら、よく考えてみるとこれらの日本語は必ずしも正しくないものと考えられる。なぜなら“Performance Base”の真の意味するところは「性能に基づくこと」あるいは「性能準拠」であって性能に基づいて仕様あるいは規定が定められることなのである。すなわち、正確な日本語を用いるとすれば、「仕様規定」と「性能規定」はそれぞれ「仕様準拠」、「性能準拠」とすべきであろう。性能創造型設計法について議論をするとき、性能などの基本的用語のしっかりとした定義や妥当な論理が必要なのである。とくに後者の「性能規定」は性能を規定するかのような誤解を招きかねない。従来からの仕様準拠に比べ、性能準拠は相当に奥が深い設計概念であり、構造特性を考慮した本来の合理的な設計概念であることを理解しなければならない。なお、「性能規定」の用語を「性能に準拠した規定」の略語であるとの主張もあり得るが、用語的には「性能そのものの規定」と認識され易い

*Shoji IKEDA：(株)複合研究機構 代表取締役，横浜国立大学 名誉教授

ので「性能準拠規定」と論理的に正確な表現とすべきであろう。

ところで「性能」とは何であろうか？性能とは、英語では“Performance”であり、性能は「作用（Action）に対する応答（Response）の性質と能力」と定義できると思われる。

これまでの許容応力度設計法に比べ、終局強度設計法、限界状態設計法、あるいは性能準拠設計法は、構造物の耐力や挙動を的確に評価し、その性能を照査することに重点が置かれているものと思われる。すなわち、構造物としての抵抗の性能に関する評価が設計の中心であるかのような誤解も受けやすいものと思われる。しかしながら、設計という行為は、本来、能動的なものであるから「抵抗の照査」以前に望ましい性能をもつ構造を構築することが第一義的に重要なはずである。

ところが土木学会のコンクリート標準示方書の2002年改訂版では何の説明も無くそれまでの「設計編」がコンクリート標準示方書「構造性能照査編」へと名称変更されたのである。このことは設計を創造的な行為として認識している者にとっては受け入れがたいことであることから、PC技術協会のPC技術規準委員会において著者の提案によって設計の創造性についての議論が始まったのである。そこでは「性能創造型」（Performance-Creative）なる設計概念の必要性が新しく認識されるに至ったのである。その後この委員会の幹事会において性能創造型設計法の骨子が固められ、その素案をもとによりやく2010年度より性能創造型によるコンクリート構造物の設計施工規準の作成が開始され、1年間の集中的な活動によって性能創造型設計によるコンクリート構造設計施工規準がまとめられた。この規準はPC技術協会ですべて定めてきた各種の規準や指針および今後定める規準類のベースとして今後位置付けられることが意図されている。また、ここでは同協会が1996年に定めたPPC構造設計規準（案）が規準作成のベースとされた。なお、幸いにして土木学会のコンクリート標準示方書は2007年の改訂版でPC技術協会での議論が反映されたためか「構造性能照査編」の名称が従来の「設計編」に戻されたがその理由の説明は示されていない。

fib（国際構造コンクリート連合）では2010年に「コンクリート構造モデルコード原案」を「Model Code 2010 - First complete draft, fib Bulletin 55, 56」として刊行した。従来のCEB-FIP Model Codeの改訂版を意図したものであり、性能準拠型による限界状態設計法の書式である。ここでは性能に関し、“Performance Requirements”として性能照査の対象としている。わが国ではこれに対応する用語として、これまで「要求性能」なる用語が用いられてきたがこの用語は必ずしも“Performance Requirements”と合致した概念ではないと考えられ、正しくは「性能に関する要求事項」と表現されるべき概念であると思われる。なぜなら性能準拠型設計法は、必ずしも性能そのものを要求するのではなく、性能に準拠して好ましい性能を発揮させるように要求事項を定めることを意図しているからである。そこで性能創造型設計法では「要求性能」なる用語は用いず、こ

れまでにない「機能」（Function）なる新しい用語を用いることとした。今後はfibのモデルコード原案を精査し、わが国独自に起草した性能創造型設計法概念をモデルコードの中に反映させる努力が必要であろう。

3. サブジェクトとオブジェクト

著者は、1974年に出版された土木学会の土木工学ハンドブックの分担執筆や、当時の構造物の安全性と信頼性の議論の過程で設計に対し、学界が確率論に立脚した客観的（所謂、普遍的なものを求めていることに疑問を感じ、設計とは、本来、設計者の主観（所謂）が反映された行為であり、確定論をも重視するべきではないかと主張した。ところが、その後開催された国際会議において、確率論の大家である米国のA.H.S.Ang教授との個人的な会話のなかで同教授が「確率論はSubjectiveなものである」と何の疑問も無く話したことに大いに驚いたことがある。つまり、日本語で言えば「確率論は主観的なものである」という日本語になるのである。この会話での疑問はその後悶々と長く続いたが、あるとき、英語の“Subjective”を日本語の「主観」と訳されていることは本質的な誤りであって、英語としての概念と合致しないのではないかと思いつくに至った。何故なら、個々の漢字はそれぞれ固有の意味を持ち、英語の“Sub”は、日本語の「従」に対応するにもかかわらず、“Subjective”を「主観」と訳すと“Sub”を「主」と表現するために両方で語彙的に重大な矛盾をもつことに気がついたのである。“Subjective”は、英英辞典を見ても「個人的に感じる事」ではあっても「個人的な判断を主張するもの」ではないのである。“Subjective”を「主観」、 “Objective”を「客観」とする造語を行ったのは明治時代の哲学者である西 周であり、“Science”を「科学」と妥当に造語した学者でもある。それ以来、現在までわが国では誰もこの矛盾に気が付かなかつたら将に驚きである。ただし、西 周本人は晩年この矛盾に気がついたためか日本語の漢字表現を廃止することを主張したようである。もともと“Subjective”と“Objective”は哲学用語であるが日常語としても広く使われており、そのためか、われわれにとって日本語で主観、客観なる用語で書かれている哲学を学ぶときわめて哲学が理解困難となるのである。実際、主観確率（Subjective Probability）についての日本語の解説文を読んでもまったく意味不明であっておそらく書いた本人も理解していないのではないかと想像される。同様に、日本語の「主語」、「主題」は英語の“Subject”の日本語であるが、これも“Sub”（従）が「主」となって語彙的に一致していない。英語に於ける“Subject”は語彙としては受身や受動あるいは従属の意味をもつのでこれを考慮した日本語としては“Subjective”は「主観」でなく「受観」あるいは「受感」とし、“Subject”に関しては「主語」を「首語」、「主題」を「課題」と改めることが妥当と思われる。

以上のように論理を展開すると、A.H.S.Ang教授が述べた「確率論はSubjectiveである」との主張は至極当然のこととして解釈できる。すなわち、確率論は受感的、受動的

なこととしての普遍性があるのである。

同様に、「Objective」は「客観」とされているが、もともとの意味は、「目標」、「意図」、「反対」といった意味であるので、これまでの日本語の「主観」に近い概念が含まれていると思われる。このように考えてみると日本語の「主観」と「客観」の対の概念は英語の場合の逆になっているように考えられ、国際的な整合性に著しく欠けていると思われる。この観点からこの種の日本語の哲学的思考を見直してみると哲学が日本人にとってこれまで難解で理解不能であったことの原因が明らかになるのである。

さて、性能創造型設計法の思考を進めるにあたりまず設計の「課題」が与えられ、これを創造的に「設計成果物」として具現化する行為を洞察することとした。ここでは、「課題」は「Subject」であり、「設計成果物」は「Object」である。これをサブジェクトとオブジェクトの対の概念として捉え、設計行為とは設定されたサブジェクトをオブジェクトに創造的に変換する行為であると考えたのである。

さて、アナロジーとして「Subjective」と「Objective」とを人間の眼をレンズとして表現したのが図 - 1 である。ここでは外部の事象から受動的に映像が形成されてこれが課題 (Subject) となって受感され、これを創造的な思考によって目的物 (Object) を創り上げる行為が示されている。

以上に詳述したように、この章の冒頭に述べた著者の40年ほど前の「設計行為は、客観的 (所謂) なことのみでなく、主観的 (所謂) なことが重要である」との想いと主張が哲学用語の語彙的矛盾を解明することによって国際的整合性に耐える「性能創造型設計法」を具現化させるに至ったといえよう。

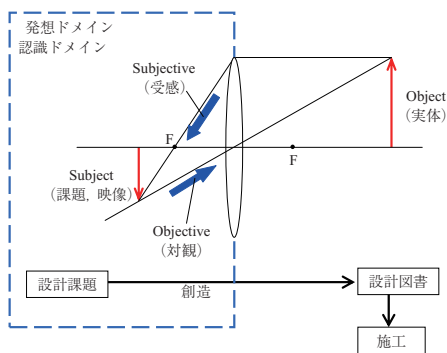


図 - 1 Subjective と Objective のアナロジー

ついでながら、図 - 2 は物体がレンズに近過ぎて実像を作らない場合であって実体のない虚像が現れるアナロジーである。この虚像は妄想に類似し、幻想に基づいた自己陶酔を生ずるモデルになり得ると思われる。ただし、アナロジーとは理解を容易にするための便宜的な事象の類似化であるので事象そのものの真実を示すものではない。

4. 性能創造型設計法の概念

性能創造型設計法 (Performance-Creative Design Method) はこれまでにない斬新なものと考えられているが設計行為の本質を考えれば当然至極の本来の設計法であって、ある

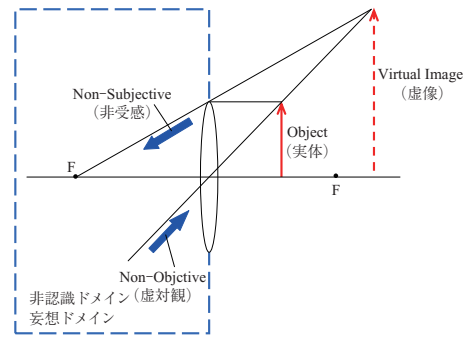


図 - 2 受感のない妄想のアナロジー

意味ではルネッサンス的発想に繋がるものであろう。なぜなら、近年、解析技術が発展し、構造の抵抗としての性能の精緻な追求を基とした性能照査のみに設計の力点が置かれている現状から、設計行為の創造性を基本とする設計本来の姿に規準の書式を改めた設計法が意図されているからである。したがってここでは設計者の能動的な行為と判断が重視される。

このたび起草された性能創造型設計によるコンクリート構造設計施工規準の基本的概念は次のとおりである。

(1) 機能と性能

機能 (Function) と性能 (Performance) とを明確にする。本来、設計時に構造物に要求されるのは機能であり構造物の性能がその機能をもっているかを照査する。

Performance は、外乱などのシナリオに対してその作用にどのように振舞うかである。構造物は外乱などのシナリオに対して設計図書にしたがって Subjective に対応する。パフォーマンスは、音楽家や俳優が演奏や芸をする場合にも用いられる言葉であって、彼らは筋書きにしたがって自分自身に作用させて行為を行うのである。この場合、楽譜や筋書きは設計図書に対応する。

設計は当然 Objective であり、望ましい性能を構造に付与させる役割をもつ。

(2) コンクリート構造の統一化

コンクリート構造には、鉄筋コンクリート、プレストレストコンクリート、複合構造などの分類があり、それぞれに独自の設計方法があって統一的な取り扱いがこれまで困難であった。性能創造型の設計施工規準を起草するにあたり、これらを統一的に取り扱うことで構造の創造性が大きく高められるように設計計算の取り扱いに配慮がなされた。

(3) 性能照査と安全度

性能照査の過程で安全係数の決定に創造性を導入する。単なる与えられた安全係数を用いるのではなく設計者の判断が重要となる。本体構造物の安全度のことは勿論、架設時や仮設構造物の安全度は単に与条件であると絶対に考えてはならない。

(4) 人工環境の構築

土木構造物を設計する場合、従来は環境に適合することのみに主眼が置かれていたが、性能創造型の思考の観点からは、設計・施工する構造物が今後の環境を人工的に構築するという能動性が強調された。地球環境への配慮、社会

の持続的発展性に関する創造性も重要である。構造の優美性に関する認識は創造的な人工環境にとって重要な項目である。

(5) 国民の富の形成

構造物を建設することは国民および社会の富を造ることを目指すことであって、これが資本となって国民の富を蓄積する機能をもつのである。したがって採算性が重要であり、これが創造性の基本的な条件である。

コスト縮減、長寿命化の命題は用語が不適切と思われるので、経済合理化、高耐久化のように論理的に表現することとする。性能創造により経済合理性が創造されるように設計で考えなければならない。コスト縮減は安物造りと同義語である。入札によって安値契約をし、これを以って経済性の追求がなされてはならないよう設計・施工における創造性の評価の認識に努める。

(6) 施工および維持管理における創造性

設計の過程で施工法および竣工後の維持管理への規定が重要である。設計時に想定する設計耐用年数は維持管理との関連無しには定められない。施工に関しては、仮設構造物の安全性の検討に創造性が強く求められる。

(7) 防災と構造残存性

火災、地震、津波、火山の噴火などの自然および人工の災害に対し創造性を発揮して対処しなければならない。これには、過去のこれら災害に対する検証が重要である。2011年3月11日の東日本大震災のときのような大津波に対しては大規模な人工大地を海岸近傍に建設し、常時の避難訓練との組み合わせで人命の安全を創造的に図ることが求められる⁸⁾。

構造残存性の追求には最悪のシナリオを設定して人命を守る必要がある。

5. 性能創造型設計法の必要性

現在の設計法は、性能に準拠した限界状態設計法が主流になりつつあり、解析技術を始めとして構造物の性能評価の精度が大いに向上したために抵抗側のばらつきを考慮した確率論的評価と照査が重視されるようになった。構造物の安全性を検証する場合、評価精度の向上した抵抗側は、荷重のような外乱による作用側との比較によって照査されなければならないが、作用側の設計上の精度は当然のことながら本質的に高いものではない。たとえば自動車などの活荷重は法律で規制されているが法律が無視されれば精度の枠に無関係となる。また、地震時の作用状態は設計値を桁違いに大幅に超えることもある。したがって抵抗側と作用側とで精度のうえで大きなアンバランスがあることを認識する必要がある。一方、施工時の仮設構造物の場合には、抵抗側の精度も必ずしも高くはないことがあり得る。性能準拠に基づく限界状態設計法を機械的に適用すればここで述べたような安全度に対する懸念が無視されることとなりきわめて危険である。このような事態を避けるためには、設計の態度を性能創造型とすることが必要なのである。

なお、塩害や疲労などの耐久性に関する作用も荷重などの外乱と同様にその作用側としての定量的評価の精度は決して高いものではない。

限界状態設計法は抵抗側に関して華麗な照査方法を採用しているが抵抗側はあくまで受動的な役割であるから設計者は構造設計に対して未来を切り開くような態度を取りがたく、むしろ閉塞感すら感じるのではないかと危惧される。これを打破し、設計を本来の能動的な行為と位置付けることによって閉塞感を払拭できると考えられる。これも性能創造型設計の必要な理由である。

6. おわりに

設計行為が能動的なものであると著者が多年考え主張してきたことが嚆矢となってPC技術協会から性能創造型のコンクリート構造設計施工規準が世に出ることとなった。これは限界状態設計法の流れの中で性能照査を中心とした現状においては斬新なものであるが、考えてみれば従前から行われてきた本来の設計法への回帰であるともいうことができよう。3月11日の大津波で福島第一原子力発電所が被災し世界を恐怖に陥れたが、想定された津波の高さに対して単に照査が行われていただけであったことが被災の主因であったと思われる。原子力発電所の安全性を含め、今後はコンクリート構造物のみならず社会基盤構造物全体に関して性能創造型設計の思考の必要性が認識されることを強く望みたい。

参考文献

- 1) 池田尚治, 上杉泰右, 性能創造型設計によるコンクリート構造設計施工規準の作成について, プレストレストコンクリート Vol.53, No.3, May 2011, pp.70-75
- 2) 池田尚治, コンクリート構造設計施工規準 (性能創造型設計法に基づく), プレストレストコンクリート規準委員会報告, 第18回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム ワークショップ (米子) 冊子, 2009.10
- 3) IKEDA, Shoji, Akio KASUGA, Basic concept of the Performance-Creative Design Method for Concrete Structures, Proc.4th International Conference on Concrete Future, 17-19 June, 2009, Coimbra, Portugal
- 4) IKEDA, Shoji, Akio KASUGA, Performance-Creative Design Concept for Concrete Infrastructure, Proc.35th OWICS, August 2010, Singapore
- 5) KASUGA, IKEDA, MAEDA, The Concept of Performance-Creative Design for High Performance Structural Concrete, Proc.8th International Conference on Utilization of High-Strength and High-Performance Concrete, October 27-29, Tokyo
- 6) 前田晴人, 春日昭夫, 池田尚治: 構造コンクリートにおける性能創造型設計法の提案, 第17回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2008.11
- 7) 上杉泰右, コンクリート構造設計施工規準作成委員会報告, 第19回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム ワークショップ (鹿児島) 冊子, 2010.10
- 8) 池田尚治, 人工物の時代, コンクリート工学 Vol.37, No.3, 1999.3, pp.1-2

【2011年7月4日受付】