

相対的要求性能設定による性能設計の考察

フェロー会員 吉田 修

1. はじめに

性能設計は構造物の機能を目標性能としてこれを実現することを目指すものであり、仕様設計では達成できない多様な要求を満たすことを可能とする点に違いがある。そのために荷重や強度を確率密度分布として指標化する等の違いが現れる。

性能設計においては、構造物の条件によって荷重作用や材料強度の設定が定められる。これは要求性能を構成する要素となるものであり、性能設計であっても仕様型設計であっても現実に存在する荷重データや材料特性値をもとに設定される点は同じであろう。

公称荷重や許容応力という指標は仕様型設計において使用される要素であるが、性能設計の場合にこれらとの関連付けを把握することが性能評価を理解しやすいものにする。具体的設計作業において使用される個々の特性値は同じ物の特性を違う角度から指標化されていると見ることもできる。このような視点から、性能設計を実務的に適用するために、社会的要請のレベルを数値的に表す手法として要求性能を仕様設計からの相対的位置付けに設定することで可能とすることを提案するものである。

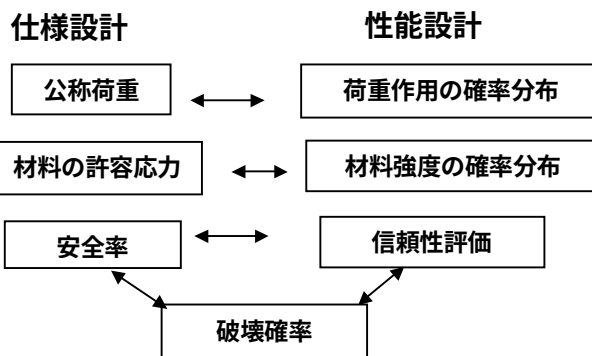


図-1 仕様設計と性能設計

2. 許容応力度法から信頼性理論へのコンバージョン

許容応力設計の場合の設計理念を信頼性理論の考え方に置き換えてみるとどのようなことになるかを示して見る。

図-2 は SM400 で構成される鋼主桁に公称荷重によって作用する応力が許容応力度と一致している状態を示し、また公称降伏点と鋼材が持っている降伏点のバラツキの関係と併せて表示している。

許容応力は公称降伏点の 1/1.7、公称降伏点は JIS 規格値であり、分布は文献 1) に記述されている実測の平均と標準偏差から正規分布型に図化したものである。

荷重作用の分布は[死荷重+活荷重]の状態、分布活荷重は正規分布型であって変動係数が 40%とした時に、公称荷重値が 90%の信頼期待値と一致すると設定したものである²⁾。これは活荷重変動が構造物のライフ期間中 90%の範囲が公称許容応力内にあり、残り 10%は許容応力を超過する可能性があることを想定している。この想定では許容応力を超過する若干の可能性を包含し、全体としての信頼性については信頼性指標に基づいて降伏点を超過する確率を一定値以下とすれば、通常の使用期間内において鋼材は弾性域内であって（降伏せずに）健全度を保持することができるものである、これが一つの要求性能の照査とするものである。

このように設定された場合に 2 次モーメント法を適用して計算される信頼性指標 β は

$$\beta = \frac{\mu_R - (\mu_D + \mu_L)}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_L^2}} = 6.1$$

となる。

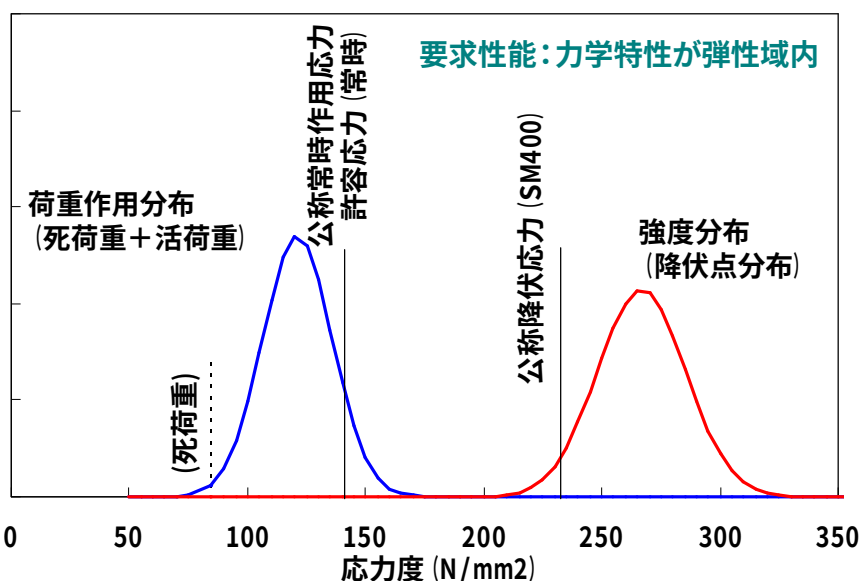


図-2 SM400 の許容応力と降伏点の位置関係

Key words : Performance-based Design, Probability density distribution, Reliability Index

〒262-0019 千葉市花見川区朝日ヶ丘 1 丁目 5-6 Phone & Fax : 043-275-6452

信頼性指標の数値がやや高いようにも見えるが、仕様設計の背景にある健全度の照査基準としては構造物が使用状態において受ける作用とそれに抗して健全度を保ち続けるに必要な抵抗力を算定する場合の設定として、経験的な意味において不自然ではないと考える。

このような設定の妥当性を定量的に論証するについてはまだ議論の余地があろうが、ここではこのような設定が一つの媒介ツールとして実用的な意味を持つことに着目する。

3. 要求性能の相対的格付け

仕様設計（許容応力設計）による場合を現にある標準であるとするならば、要求性能を標準をベースにした比較に基づいて設定することは「性能」を具体的にイメージすることを可能とし、社会的要求との整合性や経済性の判断をする上でも理解されやすいものになると考える。表-1 は、標準をベースにして使用目的や活荷重条件等を要求サイドから変化させる場合の想定される設定の例として挙げて見たものである。

表-1 要求性能の区分(格付け)例

区分	使用目的	使用期間	活荷重	耐震性	耐久性
並	標準	100 年	B 荷重	耐震性能 2	標準
上	重交通	200 年	B 荷重×120%	耐震性能 2+ α	重防食
特上	特殊目的	300 年	B 荷重×150%	耐震性能 2+ β	多重防食
徳用	限定目的	50 年	A 荷重× 90%	耐震性能 3	標準
アラカルト	←		任意に選択		→

標準以上の性能を要求する場合とともに標準以下の性能であっても使用目的から見て妥当な場合も考えられる等、多様な要求性能を満足させることを目指すことがこの性能区分を設定する主旨である。これらの要求性能の違いは社会的な要求の事例であり、それに応える合理的な根拠が必要である。その一つが一貫した理念に基づいて同じ安全度を持つことを示す事といえよう。安全度（信頼性）が要求される性能に整合していることであり、具体的には信頼性を示す指標が同じ水準にあることを定量的に証明することである。

前項に示したように、これらについて荷重作用の確率密度分布と限界状態発生の確率密度分布から得られる信頼性指標によって安全度を算出し、それらが同一水準にあれば統一された理念によって安全度が照査されていると言えよう。

上記のような仕様設計との対比によって性能照査を行おうとする主旨は性能設計の実務的な適用を推進することを狙いとして、以下のような論点を基本においている。

- ①仕様設計において公称荷重や許容応力等が定められた背景は信頼性理論の理念と相反するものではないはずである。
- ②信頼性理論が仕様設計を超越する普遍性を持つならば、仕様設計の背景にある経験的判断を説明できるはずである。
- ③性能設計の結果は安全性、経済性について定量的に評価される必要があり、比較標準が必要である。
- ④現状では材料強度や荷重作用の確率分布特性に関する情報は十分とは言えないが、仕様設計の許容応力度法との相対的位置関係を経験的合理性にもとづいて想定することは可能である。

4. まとめ

性能設計はコスト縮減や多様な社会的要求に応えるべきものとして期待されているが、信頼性理論の適用等についてその理念については先進的な研究事例が見られるものの、実務的な適用については作用や強度の確率分布等、多くの問題を抱えているようにも見られる³⁾⁴⁾。それらの体系的な研究データの積重ねが必要なことは言うまでもないが、抽象的な理念から出発して性能評価の導出を目指すよりも具体的な比較対象を想定することが実務的進展を促す一助になると考える。論点をまとめると下記の如し。

- ①現行の仕様設計の背景を信頼性理論の枠組みに置き換えてみると、問題の過程は理解されやすくなる。
- ②要求性能を仕様設計との相対的設定にすることで、異なる使用条件（要求水準）の構造物を同じ破壊確率を持つように設計することが比較的容易に可能となる。

【参考文献】

- 1) 南邦明、三木千壽：橋梁で使用される鋼材の機械的性質の現状、鋼構造論文集 Vol.11, No.42, 2004.6
- 2) 吉田修：シミュレーションによる活荷重確率分布に関する検討(第 58 回土木学会年次講演会 2003.9)
- 3) 性能設計体系における合意形成・評価手法に関する研究小委員会報告 (Dec. 2003 土木学会)
- 4) ISO2394 構造物の信頼性に関する一般原則 (1998.6)