

鋼構造物の定量的な維持管理規定に関する検討

広島大学大学院 フェロー会員 中村 秀治
広島大学大学院 正会員 藤井 堅
(財)電力中央研究所 正会員 塩竈 裕三

1. はじめに

国ごとに、分野ごとに異なる歴史を有する設計基準類を統一化する方向の中で性能照査型設計が生まれ、今後強制力を有するであろう ISO の基本的考え方が性能照査型設計であることは周知の通りである。底流にあるのは技術者の説明責任であり、構造設計の基本は「信頼性理論に基づく部分安全係数を用いた限界状態設計 (ISO2394) であることなども知られている。個別に見れば、「作用」と「荷重」の考え方、「断面の種類」(ISO10721, Eurocode3)などは、わが国の基準類で従来聞きなれない用語と言える。また、ライフサイクル・コストまで考慮した設計や維持管理に関わるものとして、ISO13822があげられる。

数十年を要して整備してきた社会基盤施設は経年劣化しており、鋼構造物は腐食により設置当初より、確実に応力が増加している。必然的に、

- ①設計基準と維持管理基準の照査方法が同一であることに合理性はあるか。
- ②合理的でないとすれば、望ましい維持管理基準はどのようなべきか。

という課題に直面し、解決を迫られることになる。

ここでは、従来の維持管理基準類が精神規定に留まり、現場の実務者にとって拠り所となる維持管理基準が少ない実態に鑑み、定量的な維持管理規定を目指すための取り組みについて考えることにする。

2. ISOの規定について

今後作られる各国の基準類は、ISOの定める方向に従う義務がある以上、鋼構造に関わる次の規定は重要である。

(1) ISO2394 (構造物の信頼性に関する一般原則)

ISO2394は国際規格であり、あらゆる種類の材料およびそれらの組合せによる広範囲な建築物と土木構造物の建設と使用に関する設計の原則を定めている。この国際規格は、各国において定まった使用条件下における設計供用期間中の材料の特性、構造物の性質と種類を考慮した技術的および経済的条件に従って、特定の国の規準や実務規準を作成する責任のある委員会の共通原則として利用されることを意図している。

本規定の基本は、「信頼性理論に基づく部分安全係数を用いた限界状態設計」である。

(2) ISO10721 (鋼構造—第1部：材料と設計)

ISO10721 は、各種鋼構造物の安全性と使用性に関して適切で統一のとれた方法を確立する目的で、鋼構造物に用いる材料とそれらの設計方法に関する各国の国内規準を起草するための基本事項を定めたものである。国際規格と自国の規格の適合性を調査・研究するために有用である。

(3) ISO13822 (構造物の設計の基本—既存構造物の性能評価)

ISO13822 は、ISO2394 に基づいて作成されたものである。既存構造物の性能評価を今日的な課題として取り上げ、厳しいコスト制約の中で寿命を延ばす必要があること、新規設計とは大きく異なる方法を用いること、設計基準の範囲を越えた知識が必要であることなどが書かれている。この国際規格は既存構造物の性能評価に関わる原理と手順を示した規格として、また、設計者や発注者の手引書として作られている。信頼性評価の基本原理は、ISO2394 の安全性および使用性の要求性能に含まれているが、経済性・社会性・持続可能性を考慮に入れるところに特徴が見られる。

3. 既存の維持管理基準或いは維持管理規定について

(1) 火力・原子力発電分野

- ・この分野では、明確に維持管理を対象とした数値的(定量的)な基準の導入が進められつつある。
- ・機械学会の規格などを参照する形態が取られている。
- ・配管肉厚の限界値(最小厚)は設計時と維持管理時で同一としている。

(2) 道路・港湾関係

- ・道路・港湾関係の維持管理については、橋梁点検要領が従来からあり、新たな取り組みもなされているが、道路の性質上、火力・原子力のような定量性のある規定は見られない。
- ・新たな取り組みとしては、5年に1回の点検義務づけ、点検結果を橋梁カルテに記録・保存、補修履歴の記録・保存、等。

(3) 鉄道関係

- ・「鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）鋼・合成構造物」の耐荷性に関する照査式で部分安全係数が用いられている。 γ_a （構造解析係数）、 γ_b （部材係数）、 γ_i （構造物係数）である。

(4) 水門・鉄管関係

- ・「水門扉管理要領」（昭和 52 年）、「水門鉄管技術基準」，「ダム・堰施設技術基準（案）」（平成 11 年）等に準拠して維持管理がなされている。
- ・定量性のある規定は“鉄管の管胴局部最大応力 $\leq 0.9\sigma_y$ ，平均応力 $\leq 0.65\sigma_y$ ”に留まっている。

4. 信頼性手法による評価法

許容応力度法では、必ずしも限界状態に対する評価になっていない。

荷重、強度に関する確率分布モデルを設定し、破壊確率 P_f の算出を試みるとしても一般には難しい（レベル 3）。そこで種々の近似が行われ、安全性指標 β などに基づく方法（ $\beta \geq \beta_a$ ；レベル 2）（図-1）、確率変数に対する部分安全係数を定めた評価式による方法（レベル 1）が考えられている。ISO2394 はレベル 1 を想定しているものと思われる。

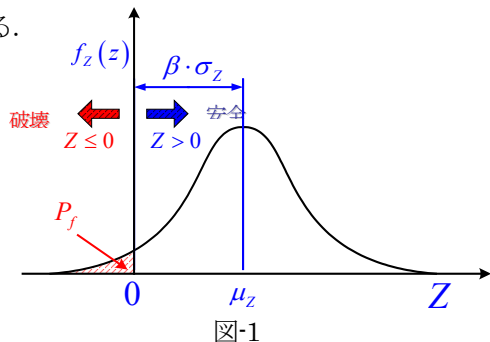


図-1

5. 部分安全係数について

構造物が安全であるための条件は、

$$R \geq S \quad (1)$$

ここで、R：強度（降伏応力）、S：荷重（荷重による応力）

$$\frac{R}{S} \geq \gamma \Rightarrow (\sigma_a =) \frac{R}{\gamma} \geq S(=\sigma)$$

ここで、 γ ：安全率

より、許容応力度法では各種の不確定要因を一つの安全率で考慮し、その設定は経験に基づくことになる。

部分安全係数に分解（部材係数、材料係数、構造物係数、構造物解析係数、作用係数など）すれば確率変数ごとの不確定性は考慮できるが、実際的に部分安全係数の決定は難しい。

では、定量的な維持管理規定に関わる部分安全係数は何であろうか？ 設計時と維持管理時の違いは何である

うか？ 一般的に考えれば、

- a) 維持管理時は実際に構造物がそこにあり、長年にわたり使用されてきた実績があること。
- b) 経年劣化した状態を計測できること。

であろう。これに関わる部分安全係数は構造解析係数のみと思われる。

6. 定量的維持管理規定策定の基本的考え

定量的維持管理規定策定の基本的考えは次の通りである。設計計算式で応力値 σ が得られたとき、実際に構造物で発生している応力の推定値はばらつきをもって分布する。一方、構造物に使われている材料の強度もばらつきをもって分布する。これらのばらつきの重なる部分が小さいほど構造物の安全性は高いことになる。

FEM 解析で σ_a が得られた時の安全性は設計計算で σ_a が得られたときよりも高いと考えられる。したがって、FEM 解析を実施する場合、緩和された許容応力 σ_a' を用いても、設計計算応力で σ_a を用いる場合と同じ安全性が確保できる。さらに実測値であれば、ほとんど実態把握が可能で、推定誤差は小さく、 σ_a の割増を許し得るものと考えられる（図-2）。

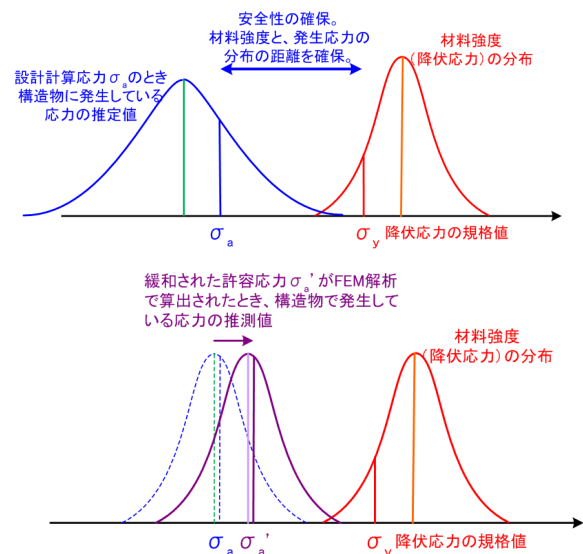


図-2

7. むすび

以上述べたような維持管理規定の定量化の試みにおいては、構造物力学の共通点の多い構造物ごとに設計計算値、FEM 解析値、実測値の一式揃うことが必要条件になるが、定量化を実現可能にする一つの考え方と思われる。本検討内容の一部は、水門鉄管協会「水門扉等鉄鋼構造物の維持管理基準に関する検討会」（平成 18-19 年度）の成果であることを付記し、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 星谷勝・石井清：構造物の信頼性設計法，鹿島出版会，1986
- 2) 日本建築学会：建築物の限界状態設計指針，2002