

○ 名大正 福本 晴士
名工大 正 長谷川 彰 夫
名城大 正 久保 全 弘

しはじめに 構造物の崩壊に対して所定の安全率を確保するように設計するには、予想される荷重に対する構造物の抵抗強度を正しく評価する必要がある。鋼構造物は横断面の炭肉化ヒスレンダーな構造形式の採用から、断面を構成する板要素、構造部材、構造物の部分をば全体は座屈崩壊によって抵抗強度としての耐荷力が決まる場合が多い。このため多様な崩壊メカニズムに対応した座屈強度の評価と安定照査の検討の設計時にあらかじめ必要とされる。耐荷力を基本強度にして設計する限界状態設計では、構造物のより実際の抵抗強度の評価が必要であるが、より実際問題に近づくほど、用いる部材、断面形状、製作工程の違いなどにより生ずる初期不整量は多種多様であり、その値を代表値として耐荷力を算定するものが困難な問題となってくる。信頼性解析にもとづく構造設計法の各種提案が比較的早い時期に行われ、これらに比べて、その実用化への道が手間とっている背景には、このような変動量に対する既往の統計的情報量の不足が指摘されてきている。東海鋼構造研究グループ(略SGST, 代表 福本晴士)では構造物の抵抗強度の評価と信頼性設計への適用について共同研究を進めてきた。本報告は同研究グループによる研究成果をまとめたものである。

2. SGST Format の提案

1) 実験データと抵抗強度の評価 構造物の耐荷力は理論にもとく計算あるいは実験データの蓄積等をもとに評価される。理論耐荷力の評価では解析上の仮定、初期不整量の変動量の影響し、理論解はもつ精度に一定の限界がある。さらに理論解あるいは理論耐荷力評価式が得られなくても、一般にその表現は精度が高められ複雑となり、実用設計公式としては不適の場合が多い。一方、実験データでは理論的設計と異なり、その蓄積は技術的、経済的理由により困難な場合が多い。しかし、ある程度実験データの蓄積が可能、あるいは現在利用できるとすれば、ばらつきを含む耐荷力の実験データは実用構造部材の耐荷力を推定するのみに、最も信頼しうる情報を与えているといえる。

抵抗強度曲線は無次元表示では、一般に、

$$R/R_g = \bar{R}(\lambda) \quad (1)$$

で表わされる。ここに、 R は抵抗強度、 R_g は降伏強度、 $\bar{R}$ は無次元抵抗強度曲線であり細長比あるいは座屈パラメータ等の材料特性、幾何学的特性を示す無次元量(λ)の関数となる。降伏強度 R_g の評価には、

$$R_g = (R_g)_n : \text{公称降伏強度}, \quad R_g = (R_g)_m : \text{実測降伏強度(平均値)}$$

の2通りが考えられる。また、 $\bar{R}(\lambda)$ も実験データ等の上界、平均、下界の3通りが考えられる。

$$\bar{R} = \bar{R}_u = m_R (1 + k_R V_R), \quad \bar{R} = \bar{R}_m = m_R, \quad \bar{R} = \bar{R}_l = m_R (1 - k_R V_R) \quad (2)$$

ここに、 m_R は実験データ等の平均値、 V_R は変動係数、 k_R は上下界の程度を示す任意の定数である。 k_R が2、実験データ等にもとく抵抗強度曲線としては、 R_g と $\bar{R}$ の評価の組合わせにより、次の6通りが基本的に考えられる。

i)

公称降伏強度で
無次元化した場合

$$\frac{R}{(R_g)_n} = \begin{cases} \frac{\bar{R}_u}{(R_g)_n} \\ \frac{\bar{R}_m}{(R_g)_n} \\ \frac{\bar{R}_l}{(R_g)_n} \end{cases} \quad (3)$$

ii)

実測降伏強度
(平均値)で無
次元化した場合

$$\frac{R}{(R_g)_m} = \begin{cases} \frac{\bar{R}_u}{(R_g)_m} \\ \frac{\bar{R}_m}{(R_g)_m} \\ \frac{\bar{R}_l}{(R_g)_m} \end{cases} \quad (4)$$

2) S GST Format

一般に、荷重係数設計、限界状態設計では、その設計 Format は

$$\phi R_n \geq (\text{荷重項})$$

で与えられる。ここに、 R_n は公称抵抗強度、 ϕ は抵抗係数である。 R_n は公称降伏応力、公称寸法等を用いた設計基準で定める設計式により計算される値である。したがって、 R_n が与えられたとき、 ϕ を如何に合理的に求め得るかが課題となる。S GST Format では、 ϕR_n を次のように定義する。

$$\phi R_n \equiv \phi \times R_m \quad (5)$$

ここに、 ϕ は設計、施工時の二次的要因あるいは重要度等を考慮する係数(修正係数)であり、実験データと実際の対象となる部材のギャップを埋めるべく設定された係数である。標準状態を想定し、 $\phi = 1$ とし、この値からの変動は力学的根拠のみでなく、設計基準作成母体が定めるべきものである。又部材強度の信頼度およびその変動性を表わす係数(下界係数 $= 1 - k_n V_R$)、 R_m は実測強度(の平均値)であり、 $\times R_m$ は実測強度の下界値を表わすものとみなせる。

式(5)の中、抵抗係数 ϕ の値は

$$\phi = \phi \times R_m / R_n = \phi \times \psi \quad (6)$$

となる。 ψ は設計式の信頼係数であり、 $\psi = R_m / R_n$ (7)

すなわち、既存の実験データと規定された設計式から、数値的に設計式の信頼係数 ψ を評価することににより、式(6)から ϕ 値が決定される。 ψ の具体的な評価は次のようである。

$$\psi = \frac{R_m}{R_n} = \frac{(R_y)_m \bar{R}_m}{(R_y)_n \bar{R}_n} = \frac{\sigma_y}{F_y} \frac{S_m}{S_n} \frac{\bar{R}_m}{\bar{R}_n} \quad (8)$$

ここに、 σ_y (F_y) は実測(公称)降伏応力、 S_m (S_n) は実測(公称)断面定数、 $\bar{R}_m = R_m / (R_y)_m$ 、 $\bar{R}_n = R_n / (R_y)_n$ 。

式(8)の右辺の比をそれぞれ、

$$M = \sigma_y / F_y: \text{材料係数}, \quad F = S_m / S_n: \text{製作係数}, \quad P = \bar{R}_m / \bar{R}_n: \text{設計係数} \quad (9)$$

と定義すれば、各係数は確率量となり、その平均値 M_m , F_m , P_m を用いて、設計式の信頼係数 ψ は、

$$\psi = M_m F_m P_m \quad (10)$$

で与えられる。一方、 M , F , P の変動係数を V_M , V_F , V_P とすれば、式(2)および式(6)中の $\times$ に表われる全体的変動係数 V_R は

$$V_R = \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + V_P^2} \quad (11)$$

となる。すなわち、式(6)の抵抗係数 ϕ は公称抵抗強度 R_n に対し、一定の信頼度を保証するための係数であり、材料データ、製作誤差データ、初荷力実験データと R_m をもって確率論的に決定される。

この S GST Format による抵抗強度の評価法をもとに、曲げ部材の横剛比座屈強度の評価については、等価当日を行う。

以上、本報告では鋼構造物の抵抗強度項として簡潔な式によって記述されている ϕR_n をより具体的に評価するための Format を提案した。なお、東海鋼構造研究グループのメンバーは次のようである。福本 啓士(名大、代表)、長谷川 勲夫(名工大、幹事)、山田 健太郎(名大、幹事)、青木 徹彦(豊工大)、宇佐美 勉(名大)、久保金弘(名城大)、黒口 寿男(大同工大)、塩見 弘幸(中印工大)、西田 進(金沢工大)。

引用文献

東海鋼構造研究グループ: 鋼構造部材の抵抗強度の評価と信頼性設計への適用、橋梁と基礎、1980年7月号、8月号