

I-92

はりの設計強度に関する諸外国設計基準の紹介

(株) 駒井鉄工所 正会員 細見 雅生 大阪大学工学部 正会員 福本 嘯士
 大阪大学工学部 正会員 西村 宣男 (株) 駒井鉄工所 正会員 播本 章一
 (株) 駒井鉄工所 正会員 吉村 文達

1. まえがき

近年、諸外国では鋼橋の設計示方書が改訂され、従来の許容応力度設計法から限界状態設計法に移行しているのは、既に、周知の通りである。さらに、欧州(ECCS, CMEA), 北米(SSRC)などの地域では、設計基準の統一化の調査研究がなされてきており、限界状態設計法の導入に際して強度の評価などの合理化が進められている。一方、我が国においては鋼構造物の合理的、経済的設計法の要望、また、極限強度に関する理論的実験的研究は進んでいるものの、具体的に設計基準への反映は遅れていると思われる。

筆者らは、東欧を含む世界の主要国のはりに関する設計基準を入手する機会があり、ここに、これら諸国の基準の紹介を行うものである。本文では各基準の設計思想、表記式、適用範囲、分類法について比較検討を行う。そして、代表的な数種類の断面モデルについて強度比較を行う。

2. 各基準の比較

東欧圏(CMEA); TGL(東独) SNIP(ソ連) PN(ポーランド) CSN(チェコ) MSZ(ハンガリー) ブルガリア
 西欧圏(ECCS); DIN(西独) BS(英国) 北米圏(SSRC); AISC, AASHTO, LRFD, CSA, AISI
 の3地域については統一基準が作成されている。本文では、主に、上記の中からCMEA, TGL, SNIP などの東欧圏について紹介する。(表-1 参照)

a. 概要

一般に、はりの強度式は柱のように細長比によって一義的に関係づけられる簡単な表記ではなく、荷重作用位置、モーメントパターン、断面構成などに関係して多様な細長比パラメータを用いて表している。

各国の基準では①強度式の簡単化と精度との兼合い ②計算法(弾性、塑性理論)、設計法(許容、限界状態)の相違 ③はり、プレートガーダーの適用範囲 などによって種々の表現となつている。すなわち、①理論式(理想弾性座屈モーメント)から照査式、強度式の設定 ②適用範囲拡大、汎用化のための各種パラメータの導入 ③設計計算法の相違による強度式、細長比パラメータの無次元化(M_y, M_p) などに特色がある。

b. 照査式と強度低減式

各基準の照査式、強度低減式、細長比パラメータなどを表-1に示し、耐荷力曲線を図-1、2 に示す。ほとんどの基準で、照査式と強度低減式を別々に与えている。そして、照査式に部分係数、弾性、塑性断面係数を導入し限界状態設計法、弾塑性計算を可能にしている。一方、強度低減式は M_y 、または、 M_p の全強を低減する係数(ψ)として与えられている。

各基準ともこの強度低減式に初期不整(初期たわみ、残留応力)を考慮した座屈強度を実験結果などから定めているものと思われる。そして、各基準の相異は、①この実験結果をもとにした分類法(複数耐荷力曲線)、②各基準の体系にもかかわるが、統計処理による実験結果の平均値、下限値(道示)の採用。などによるものと思われる。(図-1,2 参照)また、この中に断面寸法形状・鋼種・製作方法・荷重作用位置・モーメントパターンなどの各種パラメータが含まれており、各基準の詳細性を表している。

c. 強度の比較

各基準で与えられる強度を比較するため、図-3 に示す2 軸対称 I 形溶接断面(等曲げ、等断面)のコンパクト断面、ノンコンパクト断面について横支持間隔 $L=3m, L=6m, L=9m$ の強度を計算し表-2に示す。

表-1 各国基準の比較表

基準名	照査式・強度低減式	特 徴
CMEA (Council of Mutual Economic Aid)	$\frac{M_x}{\varphi_b \cdot W_x} \leq R$ $\varphi_b \propto \lambda_p$ の関数として表で与えている $\lambda_p = \frac{e_i}{i_y \cdot \sqrt{C_b}}$ (簡接断面) $\lambda_p = 3.9 \sqrt{\frac{e_i \cdot h}{b \cdot E \cdot C_b}}$ (圧延断面)	- 断面形状、鋼種によって9グループに分けられ φ_b が表に与えられている。φ_b は各国の基準や横支持の有無などに対して用意されている。 - 別途散断式も用意されている。
T G L (東独)	$M \leq \frac{M_{kF}}{\gamma_{kF}} = \frac{M_T \cdot \varphi_H}{\gamma_{kF}}$, $M_T = (M_F + M_{F1}) / 2 < 1.2 M_F$ $\varphi_H = \frac{M_{kF}}{M_T} = \frac{1}{2} \left(\frac{1 + \lambda^2}{\lambda^2} + 1 \right) - \frac{1}{2} \sqrt{\left[\frac{1 + \lambda^2}{\lambda^2} + 1 \right]^2 - \frac{1}{\lambda^2}} \leq 1.0$ $\lambda = \frac{Q}{\lambda_i} \cdot \frac{L}{i} \dots \dots$ (簡易式), $\lambda = \sqrt{\frac{E \cdot I}{K \cdot M_T \cdot J E \cdot I_T \cdot G I_b}}$ (散断式)	- 複数の強度低減式を初期不撓パラメータで設定している。λ は、ロール断面、溶接断面に対する係数 C1, C2 と細長比パラメータから設定されている。 - 細長比パラメータの決定に簡易式、散断式を設計、荷重位置、支持条件、断面形状などのパラメータを与えている。
SNIP (ソ連)	$\frac{M}{\varphi_b \cdot W_b} \leq R_f \cdot r_0$ $\varphi_b = \varphi_1$ ($\varphi \leq 0.85$) $\varphi_b = 0.68 + 0.21 \varphi_1 < 1.0$ ($\varphi > 0.85$) $\varphi_1 = \psi \cdot \frac{I_x}{I_y} \left(\frac{L}{i_{yt}} \right)^2 \cdot \frac{E}{K_f}$	- 非弾性域を2本の式から構成している。 - 細長比パラメータを用いていない。
ECCS (欧州鋼構造連合)	① $\frac{\sigma_x}{\sigma_y} \leq \frac{1}{0.85} \chi$, $\chi = \frac{1}{0.85} \frac{\sigma_x}{\sigma_y}$, $\lambda = \sqrt{\sigma_y / r_k}$ $\chi = \frac{1}{\lambda^2} \left[1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2 - \sqrt{\left[1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2 \right]^2 - 4 \lambda^2} \right]$ ② $\frac{M_T}{\chi_{NT} M_H} \leq 1.0$, $\chi_{NT} = \left(\frac{1}{1 + \lambda^2} \right)^{0.4}$, $\lambda = \sqrt{\frac{E \cdot I_T}{\sigma_{kLT} M_H}}$	①, ②式を定義し、ロール断面②とその他の断面を別途に定義 ①式は、柱強度曲線 C ($\alpha = W_{pl}/W_e = 0.40$) をもとに低減している。 ②式は、DIN18800 と同じ。
BS5400 (イギリス)	$M_D = \frac{E \cdot I_x \cdot \sigma_{Dx}}{L^2 \cdot \alpha \cdot \gamma_{Dx}}$ (コンパクト), $M_D = \frac{E \cdot I_x \cdot \sigma_{Dx}}{L^2 \cdot \alpha \cdot \gamma_{Dx}} (1 - \gamma_{Dx})$ $\frac{\sigma_{Dx}}{\gamma_{Dx}} = 0.5 \left[\left(1 + \gamma \right) \frac{E \cdot I_x}{L^2 \cdot \alpha} - \sqrt{\left(1 + \gamma \right) \frac{E \cdot I_x}{L^2 \cdot \alpha}^2 - 2 \frac{E \cdot I_x}{L^2 \cdot \alpha}} \right]$ $\gamma = 0.005 (\rho - 45)$, $\beta = \lambda_{ET} \sqrt{I_y / 355}$, $\lambda_{ET} = \frac{E \cdot I_y}{L^2 \cdot k_f \cdot \gamma \cdot U}$	- コンパクト、ノンコンパクト断面に対して適用 - 細長比パラメータ λ_{ET} に荷重位置、支持条件、モーメントパターン、はりの形状係数などのパラメータを与えている。
C S A (カナダ)	$M_F < M_T$ $M_T = 1.15 \phi \cdot M_F \left[1 - \frac{0.28 M_F}{M_T} \right] \leq \phi \cdot M_F$ (コンパクト) $M_T = 1.15 \phi \cdot M_F \left[1 - \frac{0.28 M_F}{M_T} \right] \leq \phi \cdot M_F$ (ノンコンパクト) $M_U = (C_p / \phi) \cdot \sqrt{[E \cdot I_x \cdot G \cdot J + (\pi^2 E I_y / L^2) \cdot C_w] \cdot r_0}$	- 基準化に当たっての簡易化の加工度を少なくしている。設計者の判断に委ねられる部分が多いと思われる。 - コンパクト、ノンコンパクトに対し M_p, M_y (W_p, W_e) で計算 - 特に細長比パラメータを定義していない。

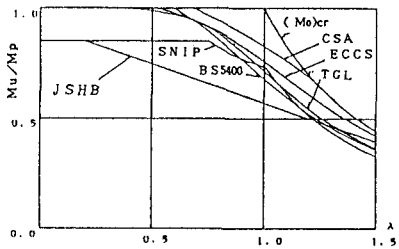


図-1 はりの基本強度の比較 (コンパクト断面)

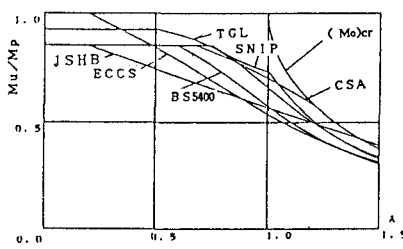


図-2 はりの基本強度の比較 (ノンコンパクト断面)

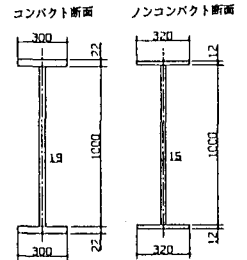


図-3 比較計算モデルの断面寸法

表-2 各国基準によるはりの強度 ($10^6 \text{ N} \cdot \text{m}$)

断面	コンパクト断面			ノンコンパクト断面		
基準	3#	6#	9#	3#	6#	9#
T G L	2.458	1.970	1.008	1.627	1.310	0.721
S N I P	2.268	2.055	1.084	1.479	1.339	0.707
E C C S	2.630	2.200	1.341	1.514	1.043	0.641
B S 5 4 0 0	2.649	2.034	1.141	1.479	1.136	0.637
C S A	2.649	2.354	1.453	1.479	1.315	0.811
A A S H T O	2.268	1.809	1.235	1.404	1.179	0.805
中 国	2.268	1.850	1.244	1.479	1.206	0.811
J S H B	2.034	1.814	1.193	1.326	1.052	0.778

※ : M_p に対して強度低減係数を乗じている基準を示す。

3. あとがき

東欧圏の基準は、概して多くのパラメータを与え詳細性があり (BS5400 以上の) 適用範囲、汎用性があるものと思われる。また、北米圏の基準は、比較的簡潔な表記法となっており、そのため設計者の判断に委ねられるところも多いものと推察される。

今後、各基準間の本質的な差や類似性について考察し、各基準の詳細性のもつ経済性などの検討を行い、我が国の将来の限界状態設計法などの基準化へ資したいと考える。