

## 最小重量設計法による鋼構造部材の耐荷力関連規定の比較研究

A COMPARATIVE STUDY ON SPECIFICATIONS FOR DESIGN OF STEEL STRUCTURAL MEMBERS  
BY MINIMUM WEIGHT DESIGN METHOD

杉本 博之\*、野上 邦栄\*\*

By Hiroyuki SUGIMOTO and Kuniei NOGAMI

A comparative study on the specifications for the design of steel structural members is presented. Four specifications are taken into consideration. They are Specifications for Highway Bridges of Japan Road Association (JSHB), Specifications for Design of Steel Railway Bridges of Japanese National Railways (JR), Guideline for the Design of Main Towers of Honshu-Shikoku Bridge Authority (HSBA) and AISC/ASD. The steel members with square box section subjected to the compressive forces are designed by the minimum weight design method. 136 cases for equal bending moments and 112 cases for unequal bending moments are calculated. The results are arranged and compared each other. The specifications are tried to be ranked according to the severities of their provisions. The dominant constraints those control the design are also tried to be clarified from the results.

## 1. まえがき

軸圧縮力と曲げモーメントを受ける鋼構造部材の設計は、最小板厚制限、最大細長比制限、最大幅厚比制限、安定照査式制限、および強度照査式制限を満足しなければならない。これらの規定は、それぞれの国において、対象とする構造物に応じ、それぞれの示方書の安全性に対する考え方に基づいて作成されている。従来、これらの規定の比較は、公式自身の比較、あるいは同一断面に対する各耐荷力関連規定の評価により行っていた。一方、上記の諸規定が総合されて鋼構造部材の設計に用いられるとき、実際にどのような断面が設計され、また、それらの間にどのような差があるかについての比較研究も、今後、より合理的な規定を作成する上で、あるいは新旧の示方書を比較する上で重要ではないかと考えられる。

ただ、上記の諸規定を満足する断面寸法の組み合わせは無数にあり、それらの内どの組み合わせを用いるかについては、何らかの論理がなければならない。その時、最適設計法を用いて設計すると、同一の設計条件下で、種々の制約条件を満足する設計の内、あらかじめ定めた価値基準（目的関数、本研究では部材断面積）を最小にする断面を得ることができ、客観的な評価が可能になると考えられる。

そこで本研究においては、許容応力度設計法を採用している、我国の道路橋示方書（JSHB）<sup>1)</sup>、国鉄建造物設計標準（JR）<sup>2)</sup>、吊橋主塔設計要領（HSBA）<sup>3)</sup>、および米国のAISC/ASD<sup>4)</sup>の耐荷力関連規定をそれぞれ用い、作用軸圧縮力、作用曲げモーメント、有効座屈長、および降伏応力度の種々の組み合わせの下で、正

\* 工博 室蘭工業大学助教授 工学部建設システム工学科 (〒050 室蘭市水元町27-1)

\*\* 工博 東京都立大学助手 工学部土木工学科 (〒192-03 東京都八王子市南大沢1-1)

方形箱形断面梁-柱の断面寸法を最小重量設計法で求め、得られた結果を整理して比較した。

さらに、各示方書の条件を満足する最適設計を、他の示方書の耐荷力関連規定に代入し、上記の5種類の条件の内、どの条件を満足し、どの条件を満足しないかについて整理し、各規定間の関係についても検討を加えた。

## 2. 基本仮定

本論文の、梁-柱部材の基本仮定は以下の通りである。

- a) 薄肉2軸対称正方形箱形断面
- b) 無補剛支持板による構成断面
- c) 部材は、一様断面、一様圧縮
- d) わじり座屈は無視する
- e) 単純支持された面内問題

梁-柱部材を図-1に、断面を図-2に示した。

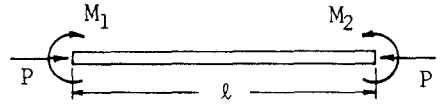


図-1 梁-柱部材

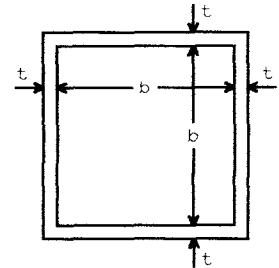


図-2 正方形箱形断面

## 3. 正方形箱形断面を有する梁-柱の最小重量設計

本論文の最小重量設計問題は、以下のように定義される。

目的関数 :  $A = 4bt + 4t^2 \rightarrow \min$  (1)

制約条件 :

- ・最小板厚制限 ;  $g_1 \leq 0$
- ・最大細長比制限 ;  $g_2 \leq 0$
- ・最大幅厚比制限 ;  $g_3 \leq 0$
- ・安定照査式制限 ;  $g_4 \leq 0$
- ・強度照査式制限 ;  $g_5 \leq 0$

設計変数 :  $b, t$

これらの内、各制約条件の詳細については、次章で説明する。

## 4. 各示方書の耐荷力関連規定の詳細

本論文で用いられた、各示方書における耐荷力関連規定を示すと、以下のようになる。

### (1) JSHB

最小板厚制限 ;  $g_1 = -\frac{t}{0.8} + 1 \leq 0$  (3. a)

最大細長比制限 ;  $g_2 = \frac{\ell}{r} \cdot \frac{1}{120} - 1 \leq 0$  (3. b)

最大幅厚比制限 ;  $g_3 = \frac{b}{t} \cdot \frac{\sqrt{\sigma_Y}}{2754} - 1 \leq 0$  (3. c)

安定照査式制限 ;  $g_4 = \frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} + \frac{C_m \sigma_b}{\sigma_{ba} (1 - \sigma_c / \sigma_{ea})} - 1 \leq 0$  (3. d)

$\sigma_{ca} = \sigma_{cag} \frac{\sigma_{cal}}{\sigma_{ca0}}$  (4)

$$\text{強度照査式制限； } g_5 = \frac{\sigma_c}{\sigma_{ca1}} + \frac{\sigma_b}{\sigma_{ca1} (1 - \sigma_c / \sigma_{ea})} - 1 \leq 0 \quad (3. e)$$

(2) JR

$$\text{最小板厚制限； } g_1 = -\frac{t}{0.9} + 1 \leq 0 \quad (5. a)$$

$$\text{最大細長比制限； } g_2 = \frac{\ell}{r} \cdot \frac{1}{100} - 1 \leq 0 \quad (5. b)$$

$$\text{最大幅厚比制限； } g_3 = \frac{b}{t} \cdot \frac{\sqrt{\sigma_Y}}{1929} - 1 \leq 0 \quad (5. c)$$

$$\text{安定照査式制限； } g_4 = \frac{\sigma_c}{\sigma_{cag}} + \frac{C_m \sigma_b}{\sigma_{ba}} - 1 \leq 0 \quad (5. d)$$

$$\text{強度照査式制限； } g_5 = \frac{\sigma_c}{\sigma_Y / S} + \frac{\sigma_b}{\sigma_Y / S} - 1 \leq 0 \quad (5. e)$$

(3) HSBA

$$\text{最小板厚制限； } g_1 = -\frac{t}{0.8} + 1 \leq 0 \quad (6. a)$$

$$\text{最大細長比制限； } g_2 = \frac{\ell}{r} \cdot \frac{1}{120} - 1 \leq 0 \quad (6. b)$$

$$\text{最大幅厚比制限； } g_3 = \frac{b}{t} \cdot \frac{\sqrt{\sigma_Y}}{2754} - 1 \leq 0 \quad (6. c)$$

$$\text{安定照査式制限； } g_4 = \frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} + \frac{C_m \sigma_b}{\sigma_{ba} (1 - \sigma_c / \sigma_{ea})} - 1 \leq 0 \quad (6. d)$$

$$\sigma_{ca} = \sigma_{cag} \frac{\sigma_{ca1}}{\sigma_{ca0}} \quad (4)$$

$$\text{強度照査式制限； } g_5 = \frac{\sigma_c}{\sigma_{ca1}} + \frac{\sigma_b}{\sigma_{ca1}} - 1 \leq 0 \quad (6. e)$$

(4) AISC/ASD

$$\text{最小板厚制限； } g_1 = -\frac{t}{0.8} + 1 \leq 0 \quad (7. a)$$

$$\text{最大細長比制限； } g_2 = \frac{\ell}{r} \cdot \frac{1}{200} - 1 \leq 0 \quad (7. b)$$

$$\text{最大幅厚比制限； } g_3 = \frac{b}{t} \cdot \frac{\sqrt{\sigma_Y}}{2121} - 1 \leq 0 \quad (7. c)$$

$$\text{安定照査式制限； } \left. \begin{aligned} g_4 &= \frac{\sigma_c}{\sigma_{cag}} + \frac{C_m \sigma_b}{\sigma_{ba} (1 - \sigma_c / \sigma_{ea})} - 1 \leq 0 & ; \frac{\sigma_c}{\sigma_{cag}} \geq 0.15 \\ g_4 &= \frac{\sigma_c}{\sigma_{cag}} + \frac{\sigma_b}{\sigma_{ba}} - 1 \leq 0 & ; \frac{\sigma_c}{\sigma_{cag}} < 0.15 \end{aligned} \right\} \quad (7. d)$$

$$\text{強度照査式制限； } \left. \begin{aligned} g_5 &= \frac{\sigma_c}{0.6 \sigma_Y} + \frac{\sigma_b}{\sigma_{ba}} - 1 \leq 0 & ; \frac{\sigma_c}{\sigma_{cag}} \geq 0.15 \\ g_5 &= \frac{\sigma_c}{\sigma_{cag}} + \frac{\sigma_b}{\sigma_{ba}} - 1 \leq 0 & ; \frac{\sigma_c}{\sigma_{cag}} < 0.15 \end{aligned} \right\} \quad (7. e)$$

表-1 各示方書における記号の定義

	JSHB, HSBA	JR	AISC/ASD
$\sigma_{cag}$	$1.0 \frac{\sigma_Y}{S} : \lambda \leq 0.2$ $(1.109 - 0.545\lambda) \frac{\sigma_Y}{S} : 0.2 < \lambda \leq 1.0$ $\frac{1.0}{0.773 + \lambda^2} \cdot \frac{\sigma_Y}{S} : 1.0 < \lambda$	$1.0 \frac{\sigma_Y}{S} : \lambda \leq 0.1$ $(1.053 - 0.530\lambda) \frac{\sigma_Y}{S} : 0.1 < \lambda \leq \sqrt{2}$ $\frac{1.0}{\lambda^2} \cdot \frac{\sigma_Y}{S_s} : \sqrt{2} < \lambda$	$(1.0 - 0.25\lambda^2) \frac{\sigma_Y}{S_a} : \lambda \leq \sqrt{2}$ $\frac{1.0}{\lambda^2} \cdot \frac{\sigma_Y}{S_{aa}} : \sqrt{2} < \lambda$
$\lambda$		$\frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_Y}{E}} \cdot \frac{\ell}{r}$	
安全率	$s = 1.7$	$s = 1.7$ $s_s = 2.8$	$S_a = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{\lambda}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{8} \left(\frac{\lambda}{\sqrt{2}}\right)^3$ $S_{aa} = \frac{23}{12}$
$\sigma_{ea}$	$\frac{1.0}{\lambda^2} \cdot \frac{\sigma_Y}{S}$	—————	$\frac{1.0}{\lambda^2} \cdot \frac{\sigma_Y}{S_{aa}}$
$\sigma_{ba}$	$1.0 \frac{\sigma_Y}{S} : \alpha \leq 0.2$ $(1.0824 - 0.412\alpha) \frac{\sigma_Y}{S} : \alpha > 0.2$	$1.0 \frac{\sigma_Y}{S} : \alpha \leq 0.1$ $(1.053 - 0.530\alpha) \frac{\sigma_Y}{S} : 0.1 < \alpha \leq \sqrt{2}$ $\frac{1.0}{\alpha^2} \cdot \frac{\sigma_Y}{S_s} : \sqrt{2} < \alpha$	$0.66\sigma_Y$
	$\alpha = \frac{2}{\pi} \cdot K \cdot \sqrt{\frac{\sigma_Y}{E}} \cdot \frac{\ell}{b}$ $K = 2$ (正方形箱形断面)	$\alpha = \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_Y}{E}} \cdot F \cdot \frac{\ell}{b}$ , $F = 2.093 \sqrt{\frac{b}{\ell}}$	
$\sigma_{cal}$	$1.0 \frac{\sigma_Y}{S} : R \leq 0.7$ $\frac{0.5}{R^2} \cdot \frac{\sigma_Y}{S} : R > 0.7$ $R = \frac{b}{t} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_Y}{E} \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}}$ , $k = 4$	—————	—————
$C_m$		$0.6 + 0.4 \frac{M_2}{M_1} \geq 0.4$ , $M_1 \geq M_2$	

ここで、 $t$ は板厚 (cm)、 $b$ は板幅 (cm)、 $\sigma_Y$ は降伏応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)、 $r$ は断面2次半径 (cm)、 $\sigma_c$ は作用軸圧縮応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)、 $\sigma_b$ は作用曲げ圧縮応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)である。また、 $\sigma_{cag}$ は局部座屈を考慮しない許容軸圧縮応力度、 $\sigma_{ea}$ は許容オイラー応力度、 $\sigma_{ba}$ は許容曲げ圧縮応力度、 $\sigma_{cal}$ は局部座屈に対する許容応力度、 $C_m$ は換算モーメント係数であり、それぞれ表-1に示されている。また、 $\sigma_{cao}$ は局部座屈を考慮しない許容軸圧縮応力度の上限値である。

### 5. 計算結果および考察

式(2)の制約条件に、4章で説明した各示方書毎の条件を代入し、それぞれの最適化問題を解いて各断面寸法を計算した。以下に、設計条件、および得られた結果について説明し考察を加える。

#### (1) 設計条件

図-1に示す梁-柱の最小重量設計問題は、部材長 $\ell$ 、作用曲げモーメント $M_1$ 、 $M_2$ 、および軸圧縮力 $P$ の種々の組合せの下で設定され解かれることになる。

それらの各パラメータの値を表-2に示した。

表-2 設計条件

作用曲げモーメントは、 $M_1 = M_2$  の等曲げの場合と、 $M_2 = 0$  の不等曲げの場合を計算した。等曲げの場合は、 $M$ と $P$ が共に0の組合せを除く136ケース、不等曲げの場合は、112ケースの計算を行ったことになる。

なお、降伏応力度 $\sigma_y$ の値は、SM50を想定して、表に示すように3200kgf/cm<sup>2</sup>とした。

$l$ (cm)	$M$ (tf·m)		$P$ (tf)	$\sigma_y$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
	等	不等		
250	0	50	0	3200
500	50	100	50	
	100		100	
750	200	200	200	
			300	
1000	400	400	400	
			500	

(2) 部材断面積の比較

まず最初に、各示方書に従って設計した場合の部材断面積について比較する。

図-3、図-4は、それらの結果の一部である。部材長は、両方とも10mの場合であり、図-3は等曲げ( $M_1 = M_2 = 400$ tfm)、図-4は不等曲げ( $M_1 = 400$ tfm、 $M_2 = 0$ tfm)の結果である。縦軸が式(1)の目的関数(部材断面積)であり、横軸が軸圧縮力である。

図より、JSHBとHSBAによる結果はほとんど同じで1番大きく、JRがその次、AISC/ASDによる結果が1番小さいという傾向が見られる。しかし、このような図は、本論文の設計条件から、等曲げで20、不等曲げで16あることになり、それらより各示方書間の関係を考察するのは困難であるので、部材断面積の結果を表-3のようにまとめた。

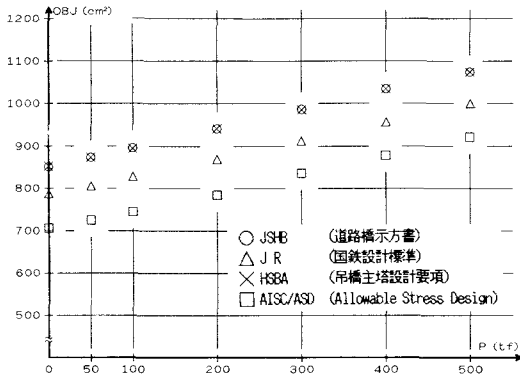


図-3 等曲げ ( $l=10m, M=400$ tfm) の結果

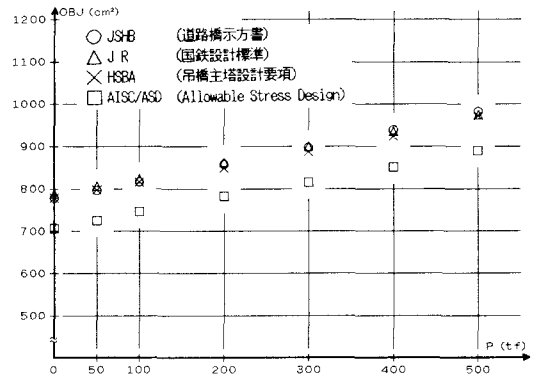


図-4 不等曲げ ( $l=10m, M=400$ tfm) の結果

表-3は、各設計条件の組合せにおいて、表の上欄の示方書によって設計された部材断面積を、左欄の示方書によって設計された部材断面積で除し、等曲げの場合は136ケース、不等曲げの場合は112ケースの平均値と変動係数を計算しまとめたものである。等曲げと不等曲げを合わせた248ケースの結果も示してある。この表より、JSHBに対するHSBAの平均値は1.000(等曲げ)、0.991(不等曲げ)であり、変動係数も小さいので、JSHBとHSBAは、部材断面積に関してはほ

表-3 部材断面積の各示方書間の比較

基準とした示方書	モーメント	比較された示方書			
		JSHB	JR	HSBA	AISC
JSHB	等		0.972 (0.069)	1.000 (0.003)	0.883 (0.062)
	不等	1.000 (0.000)	0.999 (0.019)	0.991 (0.010)	0.911 (0.018)
	計		0.984 (0.054)	0.996 (0.008)	0.896 (0.049)
JR	等	1.034 (0.068)		1.034 (0.068)	0.910 (0.034)
	不等	1.001 (0.020)	1.000 (0.000)	0.993 (0.019)	0.912 (0.014)
	計	1.019 (0.055)		1.015 (0.056)	0.911 (0.027)
HSBA	等	1.000 (0.003)	0.972 (0.069)		0.884 (0.062)
	不等	1.009 (0.010)	1.008 (0.018)	1.000 (0.000)	0.919 (0.020)
	計	1.004 (0.009)	0.988 (0.055)		0.900 (0.051)
AISC	等	1.136 (0.063)	1.100 (0.036)	1.136 (0.063)	
	不等	1.098 (0.018)	1.096 (0.014)	1.088 (0.020)	1.000 (0.000)
	計	1.119 (0.052)	1.098 (0.028)	1.115 (0.053)	

とんど同じ結果を与えていることがわかる。また、JRによる結果をJSHBあるいはHSBAと比べてみると、不等曲げの場合はほとんど同じであるが、等曲げの場合はこれらより3%程度少なくなっている。また、AISC/ASDによる結果は、JSHBあるいはHSBAより10%程度、JRより9%程度少ない結果が得られていることがわかった。

(3) 支配的な条件に関する検討

本論文の最小重量設計の問題は、式(2)に示すように5つの制約条件がある。それぞれの設計条件下において、そのすべての制約条件がアクティブになるわけではなく、1~2の制約条件がアクティブになり設計が決まることになる。そのアクティブな制約条件をここでは、支配的な条件と考える。

ここで、アクティブな制約条件とは、最適解におけるその値が、次式の範囲の値を取るものと定義する。

$$-0.05 \leq g_j < 0.01 \quad (j = 1 \sim 5) \quad (8)$$

つまり、 $g_j$  ( $j = 1 \sim 5$ ) の値がおおよそ0であれば、その条件は支配的であり、0よりもかなり小さければ、それは支配的な条件とは考えられないことになる。この場合は、制約条件の値は0.01より大きくはならない。

そこで、全体の傾向をグローバルに把握するために、次に示す値を計算し、支配的な条件に関する検討を行った。

$$\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K g_{jk}^* \quad (j = 1 \sim 5) \quad (9)$$

ここで、Kは設計条件の組合せの数で、等曲げの場合は136、不等曲げの場合は112となる。 $g_{jk}^*$ は、制約条件jの、設計条件の組合せkの下での最適解における値である。

結果を図-5(等曲げ)、図-6(不等曲げ)に示した。4章に示したように、制約条件式はすべて正規化されており、最小板厚制限の場合は、その値が-1より若干小さいこともあるが、それ以外は値が-1より小さくなることはないので、式(9)の値が-1に近い制約条件は、ほとんど効かない条件。0あるいは0に近い制約条件は、支配的な制約条件と考えることができる。

図より、最小板厚制限と最大細長比制限は、示方書に関係なくほとんど効かない条件であるといえることができる。残りの3つの条件は、支配的な条件であるといえることができるが、中でも、等曲げの場合の安定照査式制限、不等曲げの場合の強度照査式制限は、すべての示方書においてほとんど0の値を示しており、かなり強い支配的な条件と考えることができる。また、JRとAISC/ASDにおいては、最大幅厚比制限も、同様にかなり強い支配的な条件となっていることがわかる。

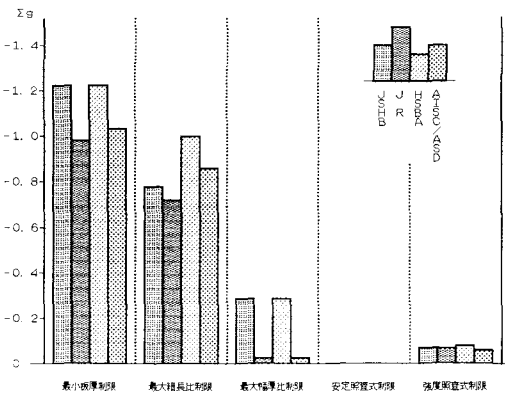


図-5 制約条件の和と示方書の関係(等曲げ)

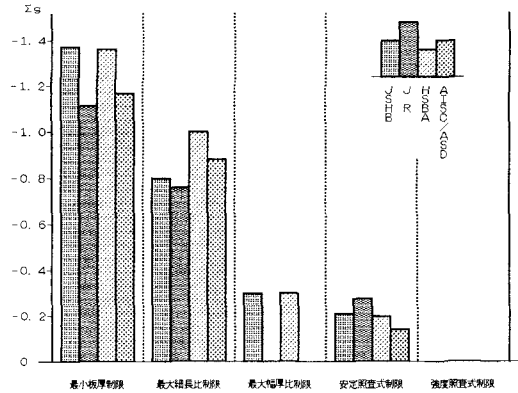
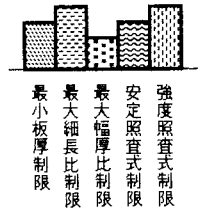


図-6 制約条件の和と示方書の関係(不等曲げ)

#### (4) 最適解の相互検討による示方書間の比較

前章では、設計を支配する条件の種類について、各示方書毎に検討を加えたが、ここでは、ある示方書による最適解を、他の示方書のすべての条件に代入し、その結果より各示方書間の比較をすることを試みる。

検討は、各示方書に従って得られた最適解（断面寸法）を、自身を含む4種類の示方書の制約条件に代入し、その結果アクティブと非許容になったケースの数を集計することによって行った。図-8~11は等曲げの場合、図-12~15は不等曲げの場合の結果を棒グラフ（図-7）により示したものである。水平軸より上側がアクティブになったケースの数であり、下側が非許容になったケースの数を表す。例えば、図-8は、等曲げを受ける136ケースについて、JSHBの制約条件を満足する最適解（断面寸法）を、自身を含む4種類の示方書の各制約条件に 図-7 制約条件の別代入し、各制約条件毎にアクティブになったケースの数と、非許容になったケースの数を示している。アクティブとは、式（8）で定義されるが、非許容とは、本論文では、その値が0.01より大きい値を取る制約条件と定義する。さらに、同じ非許容といってもそこには程度の差があるので、非許容の程度を、



$$0.01 \leq g_j < 0.05 \quad 0.05 \leq g_j < 0.10 \quad 0.10 \leq g_j \quad ; \quad (j = 1 \sim 5) \quad (10)$$

の3段階に分け、それぞれ集計した結果を表-4~7に示した。自身に代入した場合は、式（10）に該当するケースはないので、表には示していない。これらの図表より、以下のようなことが考察される。

JSHBとHSBAは、4章の式（3. a~e）と式（6. a~e）を比べてもわかるように、強度照査式制限における曲げ項以外ほとんど同じ内容の規定と考えられる。数値計算によっても、本章の（2）のようにほとんど同じ部材断面積を与える結果になっているし、また、図-8と図-10、および図-12と図-14との相似性を示している。ただ、JSHBの最適解は、HSBAの条件を完全に満足するが、HSBAの最適解は、等曲げで10ケース、不等曲げで56ケースにおいて、JSHBの強度照査式制限を満足しない。これは、JSHBが微小変形理論による構造解析に基づいた照査法であるのに対し、HSBAは、有限変形理論による構造解析法により、非線形性を考慮した断面力を算出することを前提にしているため、照査式がJSHBの式から付加曲げモーメント項を削除した形（式（6. e））になっている。そのため同じ断面力（ここでは設計条件としての外力そのもの）に対して、HSBAの照査式の方が緩和されていることによると考えられる。表-6に示すように、非許容の程度は少ない。また、JSHBとHSBAによる最適解は、等曲げの場合にJRの最大幅厚比制限と安定照査式制限を、不等曲げの場合に強度照査式制限を満足しないが、最大幅厚比制限以外は、非許容の程度は少ない。等曲げの場合に安定照査式制限を満足しない26ケースは、そのほとんどが曲げモーメントが0のケースであり、表-1に示されたJRとの許容軸圧縮応力度（ $\sigma_{ca}$ ）の差が理由であった。

JRによる最適解は、等曲げの場合に、JSHBとHSBAの安定照査式制限を、不等曲げの場合に、同じく強度照査式制限を満足しないが、特に等曲げの場合の安定照査式制限に対して、非許容の程度が大きい。これは、式（3. d）と式（5. d）を比較すると明らかなように、局部座屈および付加曲げモーメントの影響を考慮していないため、設計条件によっては大きく影響したためと考えられる。

JSHB、HSBAおよびJRによる最適解は、AISC/ASDのすべての条件をほとんど満足するのに対し、AISC/ASDの最適解は等曲げの場合に安定照査式制限と強度照査式制限を、不等曲げの場合に強度照査式制限をすべて満足しない。しかも、表-7に示すように、非許容の程度はかなり大きい。これは、局部座屈を考慮していないこと、 $\sigma_{ba} = 0.66\sigma_y$ を用いていること、および $\sigma_c / \sigma_{ca} < 0.15$ となる条件では、付加曲げモーメントの影響を無視していることに起因しているものと考えられ、その結果AISC/ASDの照査式は、緩和された式になっているようである。また、AISC/ASDの最適解は、JRの最大幅厚比制限をほとんど満足しない。

以上より、各示方書における安定照査式制限と強度照査式制限の拘束の強さを強い順に並べると、おおよそ次のようになると考えられる。

$$\text{安定照査式制限} : \text{JSHB} \approx \text{HSBA} > \text{JR} > \text{AISC/ASD} \quad , \quad \text{強度照査式制限} : \text{JSHB} \approx \text{HSBA} \approx \text{JR} > \text{AISC/ASD}$$

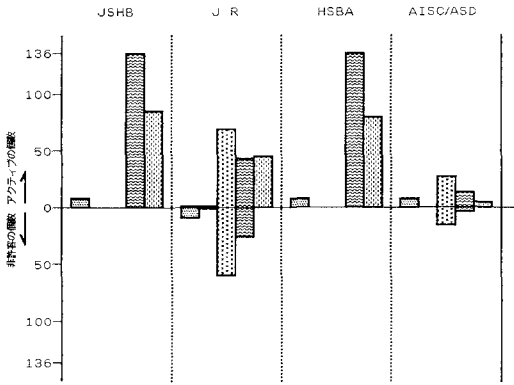


図-8 JSHBによる最適解の照査(等曲げ)

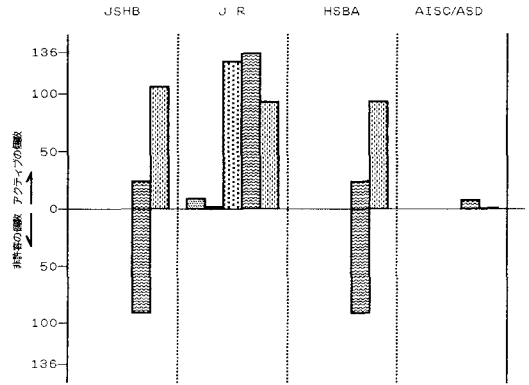


図-9 JRによる最適解の照査(等曲げ)

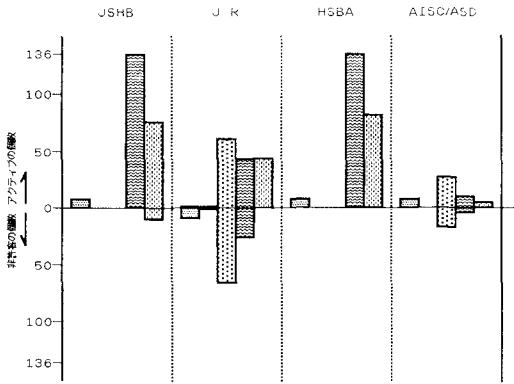


図-10 HSBAによる最適解の照査(等曲げ)

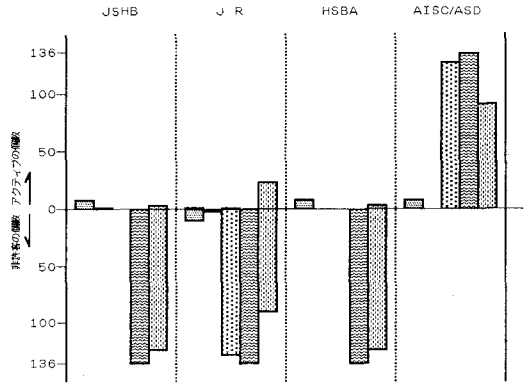


図-11 AISC/ASDによる最適解の照査(等曲げ)

表-4 JSHBによる最適解の非許容の内訳

条件	示方書	JSHB									
		JR			HSBA			AISC			
		等	不等	計	等	不等	計	等	不等	計	
最小板厚	0.01~0.05	1		1							
	0.05~0.10	1		1							
	0.10~	7		7							
	計	9		9							
最大短長比	0.01~0.05										
	0.05~0.10										
	0.10~	1		1							
	計	1		1							
最大幅厚比	0.01~0.05	20	4	24			8		8		
	0.05~0.10	24		24			5		5		
	0.10~	16		16			3		3		
	計	60	4	64			16		16		
安定照査式	0.01~0.05	4		4			4		4		
	0.05~0.10	21		21							
	0.10~	1		1							
	計	26		26			4		4		
強度照査式	0.01~0.05		46	46							
	0.05~0.10										
	0.10~										
	計		46	46							

表-5 JRによる最適解の非許容の内訳

条件	示方書	JR								
		JSHB			HSBA			AISC		
		等	不等	計	等	不等	計	等	不等	計
最小板厚	0.01~0.05									
	0.05~0.10									
	0.10~									
	計									
最大短長比	0.01~0.05									
	0.05~0.10									
	0.10~									
	計									
最大幅厚比	0.01~0.05									
	0.05~0.10									
	0.10~									
	計									
安定照査式	0.01~0.05	22	2	24	22	2	24			
	0.05~0.10	16	1	17	16	1	17			
	0.10~	53	5	58	53	5	58			
	計	91	8	99	91	8	99			
強度照査式	0.01~0.05		26	26						
	0.05~0.10		5	5						
	0.10~		1	1						
	計		32	32						



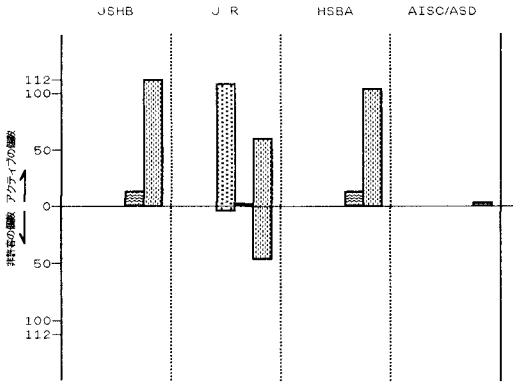


図-12 JSHBによる最適解の照査（不等曲げ）

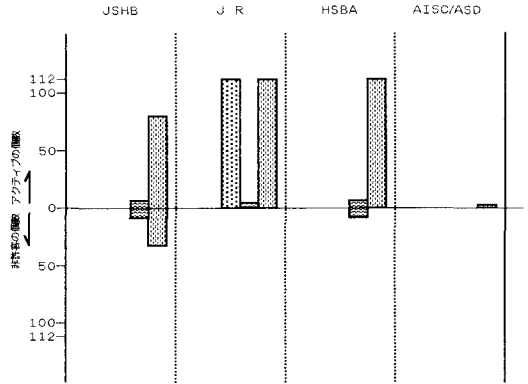


図-13 JRによる最適解の照査（不等曲げ）

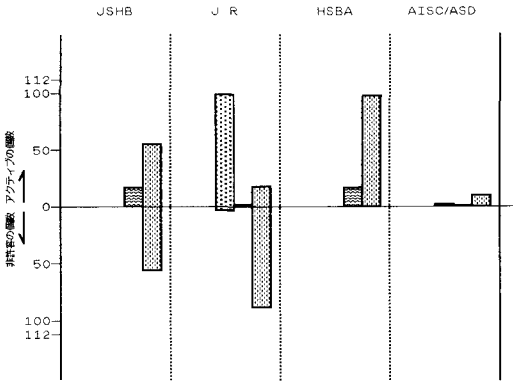


図-14 HSBAによる最適解の照査（不等曲げ）

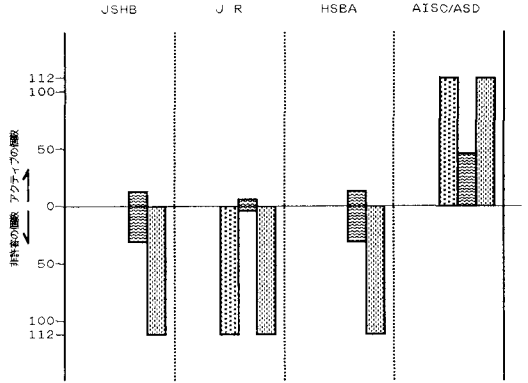


図-15 AISC/ASDによる最適解の照査（不等曲げ）

表-6 HSBAによる最適解の非許容の内訳

条件	示方書	HSBA									
		JSHB			JR			AISC			
		等	不等	計	等	不等	計	等	不等	計	
最小板厚	0.01~0.05			1		1					
	0.05~0.10			7		7					
	0.10~										
	計			9		9					
最大細長比	0.01~0.05										
	0.05~0.10					1					
	0.10~										
	計					1					
最大輪厚比	0.01~0.05			26	1	27	8		8	6	
	0.05~0.10			22	2	24	6		6	3	
	0.10~			18		18	3				
	計			66	3	69	17		17		
安定照査式	0.01~0.05			4		4	4		4		
	0.05~0.10			21		21					
	0.10~			1		1					
	計			26		26	4		4		
強度照査式	0.01~0.05	10	49	59		88					
	0.05~0.10		7	7		88					
	0.10~										
	計	10	56	66		88					

表-7 AISC/ASDによる最適解の非許容の内訳

条件	示方書	AISC								
		JSHB			JR			HSBA		
		等	不等	計	等	不等	計	等	不等	計
最小板厚	0.01~0.05				1		1			
	0.05~0.10				8		8			
	0.10~									
	計				10		10			
最大細長比	0.01~0.05									
	0.05~0.10					1		1		
	0.10~					1		1		
	計					2		2		
最大輪厚比	0.01~0.05					1		1		
	0.05~0.10				89	70	159			
	0.10~				38	42	80			
	計				128	112	240			
安定照査式	0.01~0.05	1	7	8	6	2	8	1	7	8
	0.05~0.10		8	8	69	2	71	8	8	8
	0.10~	135	16	151	61	61	135	16	151	
	計	136	31	167	136	4	140	136	31	167
強度照査式	0.01~0.05	2		2	17	1	18	2		2
	0.05~0.10	3		3	35	60	95	8		8
	0.10~	119	112	231	38	51	89	114	112	226
	計	124	112	236	90	112	202	124	112	236

また、(3)と同じ結論であるが、4種類の示方書の共通の特徴としては、等曲げの場合は安定照査式制限が、不等曲げの場合は強度照査式制限が、それぞれ支配的な条件となっている。

## 6. 結論およびあとがき

軸圧縮力と曲げモーメントを受ける鋼構造部材の設計に係わる、耐荷力関連規定の比較研究を行った。

検討した示方書類は、道路橋示方書、国鉄建造物設計標準、吊橋主塔設計要領、および米国のAISC/ASDの4種類であり、それらの最小板厚制限、最大細長比制限、最大幅厚比制限、安定照査式制限、および強度照査式制限を制約条件として最小重量設計を行い、それらの結果を整理して比較を行った。

部材は正方形箱形梁一柱とし、有効座屈長、作用軸圧縮力、作用曲げモーメントの種々の組合せ(等曲げ136ケース、不等曲げ112ケース)の下に計算を行った。

本研究より得られた主な事項を箇条書にすると、以下のようになる。

- (1) JSHBによる結果を基準として、部材断面積の平均値を見ると、HSBAによる結果はほとんど同じ、JRによる結果は、不等曲げの場合はほとんど同じであるが、等曲げの場合は3%程度少ない、また、AISC/ASDによる結果は10%程度少ないという結果になった。
- (2) 各示方書における支配的な条件としては、JSHBとHSBAにおいては安定照査式制限と強度照査式制限、JRとAISC/ASDにおいては、それらの2つの条件にさらに最大幅厚比制限を加えたものになった。
- (3) 得られた最適解を相互に代入し検討した結果、JSHBとHSBAによる最適解は、他の示方書の条件をほとんど満足するが、JRによる最適解は、等曲げの場合はJSHBとHSBAの安定照査式制限を満足しなく、また、AISC/ASDによる最適解は、等曲げの場合に他の示方書の安定照査式制限と強度照査式制限を、不等曲げに場合は強度照査式制限を満足しない。
- (4) 以上より、本論文の範囲内でのグローバルな傾向としては、安定照査式制限と強度照査式制限が支配的な条件であり、AISC/ASDにおいては、これらが他の示方書より若干緩和されており、また、JRにおいては、安定照査式制限がJSHBおよびHSBAよりも若干緩和されているということが得られた。
- (5) 上記の(1)～(3)に見られるように、等曲げと不等曲げで、かなりの傾向の差があった。

以上の結果は、本文の2章に説明した条件下での結論である。今回は、単純支持された等断面梁一柱を対象にしたわけであるが、実際には同じ梁一柱でも、境界条件、有効座屈長、断面形状、変断面等の影響により各規定間の差異については異なる結果になることも考えられることから、今後それらの条件について同様な計算を行い、示方書類も、本研究の4種類の他に、AASHTO/ASD、AREAも考慮していく予定である。

各設計示方書においては、荷重、安全率等は、それぞれ異なる設計思想のもとに設定されている。そのような観点からは、本研究の成果は、それらの1面を検討したものではあるが、今後の鋼構造部材の設計のための耐荷力関連規定の研究、検討の参考になれば幸いである。

本研究に際し、池田準君(現北海道開発庁)の協力を得た。末筆ではあるが、謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編、1990年。
- 2) 土木学会：国鉄建造物設計標準解説、1893年。
- 3) 本州四国連絡橋公団：吊橋主塔設計要領・同解説、1989年。
- 4) AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION : Specification for the Design, Fabrication and Erection of Structural Steel for Buildings、1978。

(1991年9月30日受付)