

I - 6

使用板厚を離散値にした場合の鋼構造部材の耐荷力関連規程の比較・検討

室蘭工業大学 学生員 杉本治暁、正員 杉本博之、東京都立大学 野上邦栄

1. はじめに

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。これらの耐荷力関連規程は、対象となる構造物に応じ、それぞれの示方書の設計思想に基づいて作成されている。これらの諸規程がどのように働いて設計がなされるか、また、実際にどのような断面が設計されるかについての比較・検討は、今後、より合理的な規程を作成する上で、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。

ただし、上記の諸規定を満足する設計変数の組み合わせは多数あり、それらの内どの組み合わせを用いるかについて、なんらかの論理がなければ客観的な評価は不可能である。そこで、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、断面積が最小となるような設計を求めることにより、客観的な評価が可能になると考えた。従来の研究¹⁾では、この最小断面を、設計変数を連続量として最適設計法により求めた。しかし、実際の設計で扱われる設計変数は離散値であるため、本研究では、設計変数を離散量として、この最小断面決定問題を離散的最適化問題と考えた。そのため、従来の、最適設計法の適用は困難に思われた。そこで、すべての設計変数の組み合わせについて検討を行う列挙法により解を求めた。

本研究においては、我国で許容応力度設計法を採用している、道路橋示方書(JSHB)²⁾、国鉄建造物設計標準(JR)³⁾、および吊橋主塔設計要領(HSBA)⁴⁾の各耐荷力関連規程を用いて、さまざまな設計条件の下で設計を行い、その結果を整理して比較・検討を行った。さらに、それぞれの示方書における最適解を、他の示方書の規程に代入し、示方書間における各耐荷力関連規程の関係についても比較・検討を行った。なお、本研究では、正方形箱型断面、長方形箱型断面、およびH型断面についてそれぞれ比較・検討を行った。

2. 本研究における最適化の定義

本研究の最適化問題は、表-1のように定義される。

表-1 各断面における最適化の定義

	目的関数	制約条件	設計変数
正方形箱型断面	$A = (b+2t)^2 - b^2 \rightarrow \min$	・ 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; $g_5 \leq 0$	b, t
長方形箱型断面	$A = (b+2t_w)(h+2t_f) - bh \rightarrow \min$		b, t _f , t _w
H 型 断 面	$A = 2bt_f + ht_w \rightarrow \min$		b, t _f , h, t _w

ここで、各制約条件はすべて、道路橋示方書(JSHB)²⁾、国鉄建造物設計標準(JR)³⁾、または吊橋主塔設計要領(HSBA)⁴⁾に従っている。また、各断面の設計変数は、図-1に示す通りである。bとhは2(cm)刻みの値とし、板厚には、以下に示した望ましいとされている値を用いて設計を行った。また、長方形箱型断面の設計変数については、 $h=1.5b$ 、または $h=2.0b$ とし、3変数の最適化問題として設計を行った。

*望ましい板厚(cm) : 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.6, 1.9, 2.2, 2.5, 2.8, 3.2, 3.4, 3.6, 3.8

3. 設計条件

本研究における設計条件は、図-2に示す部材長 l 、作用曲げモーメント M_1 、 M_2 、および作用軸圧縮

A Comparative Study on Specifications for Design of Steel Structural Members with Discrete Plate Thickness. by Haruaki SUGIMOTO, Hiroyuki SUGIMOTO and Kuniei NOGAMI

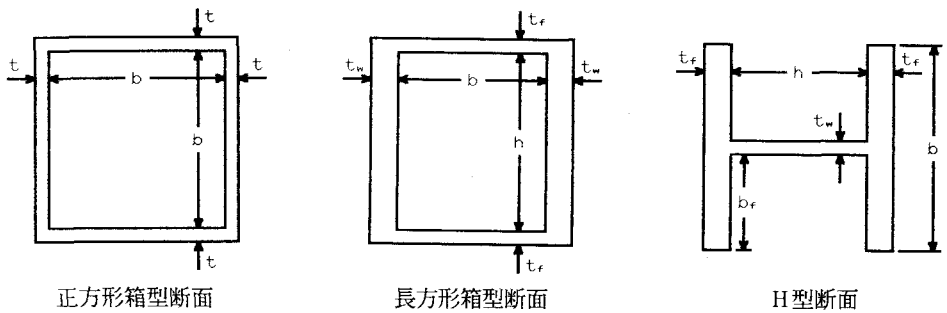


図-1 正方形箱型、長方形箱型、H型の断面形状

力Pをそれぞれパラメータとして、表-2のように設定した。部材の両端に作用する曲げモーメントが等しい場合 ($M_1 = M_2$) は、作用曲げモーメントと作用軸圧縮力が共に0の場合を除く108ケースについて、また、部材の両端に作用する曲げモーメントが等しくない場合 (M_1 は表中の値、 $M_2 = 0$) は、84ケースについて設計を行った。なお、降伏応力度 σ_y の値は、SM50を想定して3200 (kgf/cm²)とした。

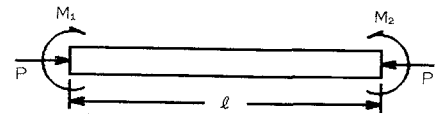


図-2 梁-柱部材

表-2 設計条件

l (cm)	M (tf·m)		P (tf)	σ_y (kgf/cm ²)
	等	不等		
250	0	50	0 50 100 200 300 400 500	3200
500	50			
750	100	100		
1000	200	200		

表-3 部材断面積の比較 (正方形)

基準 示方書	モ ー ン ト	比較された示方書		
		JSHB	JR	HSBA
JSHB	等	1.000 (0.000)	1.020 (0.044) 0.993 (0.024)	1.000 (0.000) 0.985 (0.028)
	計		1.088 (0.039)	0.994 (0.020)
JR	等	0.982 (0.041) 1.007 (0.024)	1.000 (0.000)	0.982 (0.041) 0.992 (0.018)
	計	0.993 (0.037)		0.987 (0.033)
HSBA	等	1.000 (0.000) 1.016 (0.030)	1.020 (0.044) 1.008 (0.018)	1.000 (0.000)
	計	1.007 (0.021)	1.015 (0.036)	

4. 計算結果の考察

本研究では、計算結果を整理した図表を用いて検討を行う。まず、正方形箱型断面の場合を例に挙げ、計算結果における図表を説明し、考察を加える。さらに、長方形箱型断面、およびH型断面の場合についても計算結果における図表を示し、考察する。ただし、長方形箱型断面については、 $h=2.0b$ の場合についてのみ考察する。

(1) 正方形箱型断面における計算結果および考察

①部材断面積の比較

表-3は、各設計条件の組み合わせにおいて、比較される示方書によって設計された部材断面積を、比較の基準となる示方書によって設計された部材断面積で除し、等曲げ、不等曲げ、さらにそれらの合計について、それぞれの平均値、および変動係数 (括弧内の値) を計算し、まとめたものである。図-3は、表-3におけるJRを基準とした場合の、平均値と変動係数を図示したもので、等曲げ、不等曲げの合計 (192ケース) について示したものである。縦軸に各示方書を図のようにとり、横軸に192ケースにおける平均値をとったものである。また、棒グラフの幅の大小が変動係数の大小を示している。ここで、JRについて見てみると、JRは基準となる示方書なので、平均値は1.000、変動係数は0.000であり、図に示されるような直線となる。この図から示方書による部材断面積の大小関係を比較できる。表-3、および図-3より、JRによる結果が一番大きく、次にJSHB、そして、HSBAによる結果が一番小さいという傾向が見られる

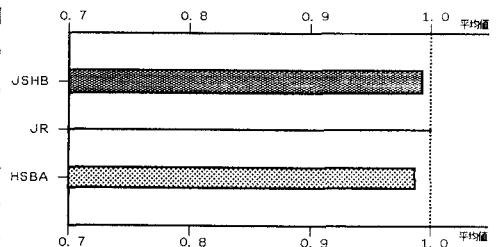


図-3 JRを基準とした場合の部材断面積の比較 (正方形)

が、JSHBとHSBAについては、ほとんど差のない結果となっている。特に、等曲げの場合には、平均値、および変動係数が共に等しく、ほとんど同じ断面積を与えていることがわかる。全体的に見ると、部材断面積については、示方書間にそれほど大きな差はないといえる。

②設計を支配する制約条件の検討

図－４、５は、各制約条件の値の平均値を示したもので、各制約条件の設計への影響度を表すものである。縦軸に Σg として、すべての設計条件（等曲げは１０８ケース、不等曲げは８４ケース）における制約条件の平均値をとっている。ここで、ある制約条件の値がほぼ０に等しい場合、その制約条件はアクティブであり、設計を支配しているということを示す。また、ある制約条件がまったく効いていなければその値は、最小板厚制限以外は－１となる。つまり、制約条件の値がマイナス側に大きいほどその制約条件が効いていないことを示している。図－４より、等曲げの場合は、全ての示方書に共通して安定照査式制限が非常に支配的な条件となっており、また、強度照査式制限も支配的な条件となって設計がなされている。さらに、JRについては、最大幅厚比制限も支配的な条件となっている。図－５より、不等曲げの場合は、全ての示方書に共通して、強度照査式制限が非常に支配的な条件となって設計がなされている。JRについては、等曲げの場合同様、最大幅厚比制限も支配的な条件となっている。

③各示方書間における制約条件の相互比較

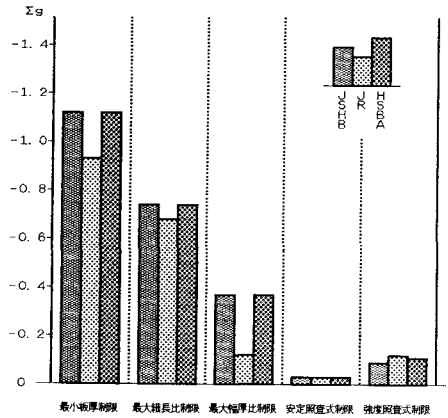
図－６～８は、等曲げ、不等曲げを含む１９２ケースの設計条件において、各示方書に従って得られた最適解を他の示方書の条件に代入し、各制約条件がアクティブとなるケースと、非許容となるケースを集計して図示したものである。ここで、アクティブとは、制約条件の値が $-0.05 \leq g_i \leq 0.0$ の範囲にある場合をいう。この図により、示方書間の制約条件の関係について検討を行った。図－６、７、８は、それぞれJSHB、JR、HSBAの最適解を他の示方書の条件に代入したものである（図中の白めきの部分は、不等曲げを示している）。また、図－９は、各制約条件の模様を示したものである。図－６、８より、JSHBとHSBAについては、ほとんど同じ内容となっているが、HSBAの最適解の内、JSHBの強度照査式制限を満足しないものが、不等曲げで２３ケースあった。また、図－７では、JRの最適解がJSHBとHSBAの安定照査式制限を等曲げで１０ケース、さらに、JSHBの強度照査式制限を不等曲げで２３ケース満足していないことを示している。図－６～８を総合的に見ると、JSHBの強度照査式制限とJRの最大幅厚比制限が他の示方書の条件より比較的厳しいといえる。

（２）長方形箱型断面（ $h=2.0b$ ）における計算結果および考察

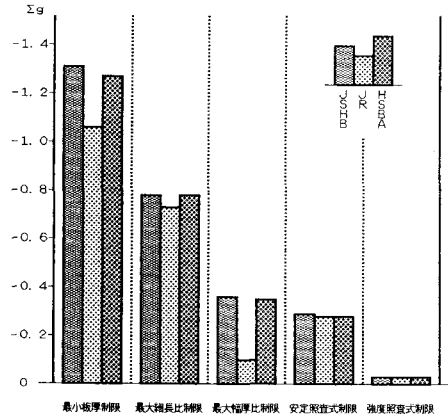
以下に、長方形箱型断面における計算結果について表、図を示し、考察を加える。

①部材断面積の比較

図－１０、表－４より、JRが最も大きく、次に、JSHBとHSBAがほぼ等しい値となっている。具体的には、等曲げで６％、不等曲げで３％程度JRが大きい断面積を与えている。また、JSHBとHSBAの等曲げの場合の平均値および変動係数の値が共に等しいことから、等曲げに関して、ほとんど同じ断面積を与えているといえ



図－４ 制約条件と示方書の関係
(正方形・等曲げ)



図－５ 制約条件と示方書の関係
(正方形・不等曲げ)

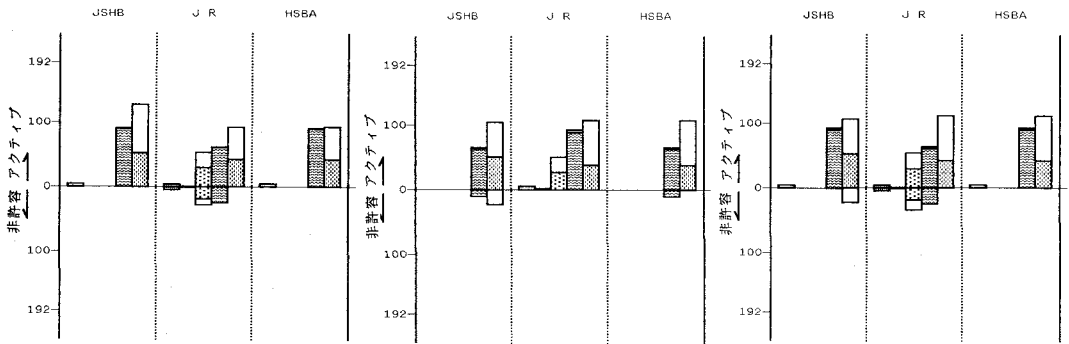


図-6 JSHBによる最適解の照査 (正方形)

図-7 JRによる最適解の照査 (正方形)

図-8 HSBAによる最適解の照査 (正方形)

る。総合的には、正方形箱型断面の場合と同様の傾向が見られるが、JSHBまたはHSBAとJRとの断面積の差が正方形箱型断面の場合より大きくなる傾向がある。

②設計を支配する制約条件の検討

図-11、12より、等曲げでは安定照査式制限が、不等曲げでは強度照査式制限が、全ての示方書に共通して支配的な条件となっている。また、JRに関しては、最大幅厚比制限も支配的な条件となっている。

③各示方書間における制約条件の相互比較

図-13～15より、JSHBとHSBAの最適解が、JRの最大幅厚比制限を、等曲げ、不等曲

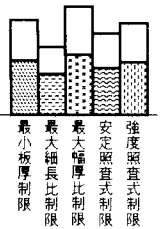


図-9

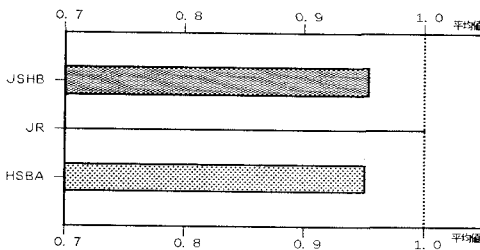


図-10 JRを基準とした場合の部材断面積の比較 (長方形)

表-4 部材断面積の比較 (長方形)

基準となる示方書	モメント	比較された示方書		
		JSHB	JR	HSBA
JSHB	等	1.000 (0.000)	1.067 (0.063)	1.000 (0.000)
	不等		1.029 (0.030)	0.993 (0.012)
計			1.051 (0.055)	0.997 (0.009)
JR	等	0.940 (0.049)	1.000 (0.000)	0.940 (0.049)
	不等	0.972 (0.030)		0.965 (0.027)
計		0.954 (0.045)		0.951 (0.043)
HSBA	等	1.000 (0.000)	1.067 (0.063)	1.000 (0.000)
	不等	1.008 (0.012)	1.037 (0.028)	
計		1.003 (0.009)	1.054 (0.053)	

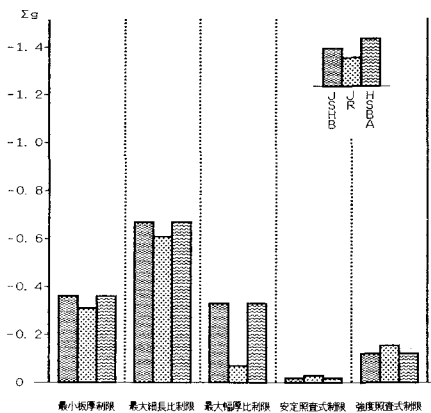


図-11 制約条件と示方書の関係 (長方形・等曲げ)

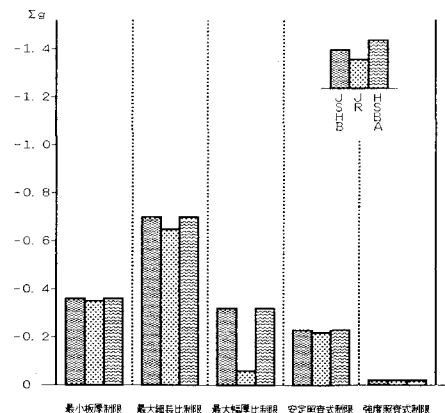


図-12 制約条件と示方書の関係 (長方形・不等曲げ)

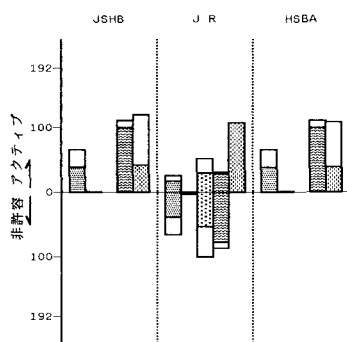


図-1 3 JSHBによる最適解の照査（長方形）

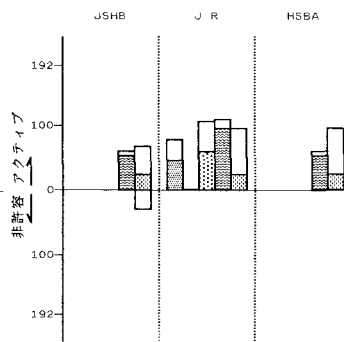


図-1 4 JRによる最適解の照査（長方形）

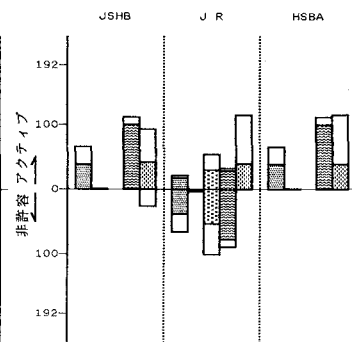


図-1 5 HSBAによる最適解の照査（長方形）

げの合計で、100ケース満足せず、さらに、JRの安定照査式制限を、等曲げで、77ケース満足していない。逆に、JRの最適解は、JSHBの強度照査式制限を、不等曲げで、29ケース満足していない以外は、すべての制約条件を満足している。これにより、JRの規程は、比較的厳しい傾向があるといえる。

(3) H型断面における計算結果および考察

以下に、H型断面における計算結果について表、図を示し、考察を加える。

①部材断面積の比較

図-1 6、表-5より、JRが最も大きく、次にJSHBとHSBAがほぼ等しい値となっている。具体的には、等曲げで10%、不等曲げで7%程度JRが大きい断面積を与えている。また、JSHBとHSBAの等曲げの場合の平

表-5 部材断面積の比較（H型）

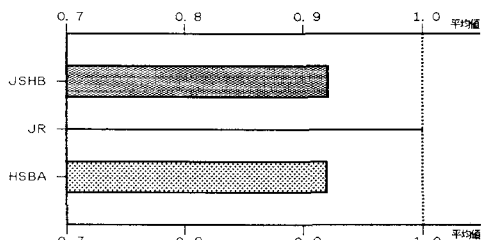


図-1 6 JRを基準とした場合の部材断面積の比較（H型）

基準とした示方書	モニ	比較された示方書		
		JSHB	JR	HSBA
JSHB	不等	1.000(0.000)	1.104(0.063)	0.999(0.000)
	計		1.089(0.060)	1.000(0.002)
JR	不等	0.908(0.052)	1.000(0.000)	0.908(0.052)
	計	0.921(0.052)		0.920(0.052)
HSBA	不等	1.000(0.000)	1.104(0.063)	1.000(0.000)
	計	1.000(0.002)	1.090(0.060)	

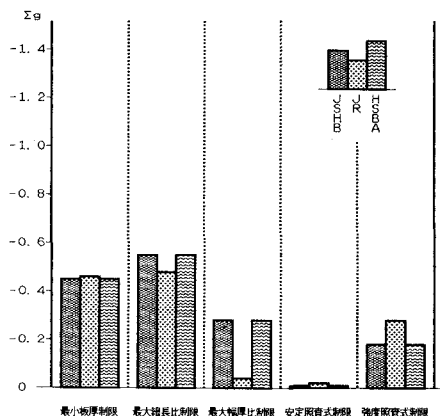


図-1 7 制約条件と示方書の関係（H型・等曲げ）

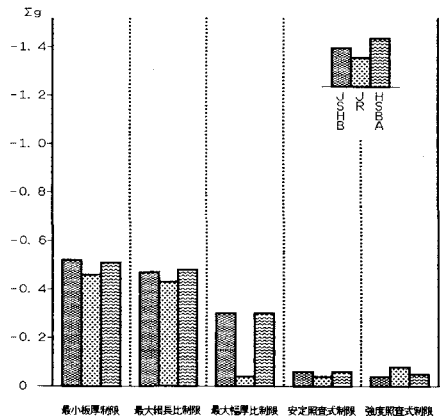


図-1 8 制約条件と示方書の関係（H型・不等曲げ）

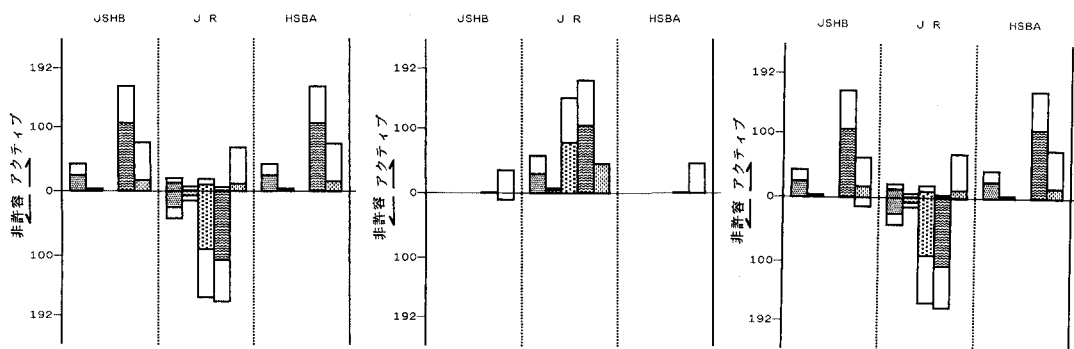


図-19 JSHBによる最適解の照査 (H型)

図-20 JRによる最適解の照査 (H型)

図-21 HSBAによる最適解の照査 (H型)

均値、および変動係数が共に等しいことから、等曲げに関してほとんど同じ断面積を与えているといえる。

②設計を支配する制約条件の検討

図-17、18より、すべての示方書に共通して、等曲げでは、安定照査式制限が、不等曲げでは、安定照査式制限と強度照査式制限が非常に支配的な条件となっている。また、JRに関しては、等曲げ、不等曲げにかかわらず、最大幅厚比制限も非常に支配的な条件となっている。

③各示方書間における制約条件の相互比較

図-19～21より、JSHBとHSBAの最適解が、JRの最大幅厚比制限と安定照査式制限を、全設計条件の大半が満足していない。逆に、JRの最適解は、JSHBの強度照査式制限を、不等曲げで10ケース満足していない以外は、すべての制約条件を満足している。これより、JRの規程は、比較的厳しい傾向があるといえる。

5. 結論

すべての断面形状に共通して、①部材断面積の大小関係については、 $JR > JSHB \approx HSBA$ の関係が成立している。また、JSHBとHSBAは、等曲げに関してほとんど同じ断面積を与えている。②各示方書における支配的な条件は、すべての示方書に共通して、等曲げでは安定照査式制限が、不等曲げでは強度照査式制限が、それぞれ非常に支配的な条件となっている。JRに関しては、等曲げ、不等曲げにかかわらず最大幅厚比制限も支配的な条件となっている。③各示方書間の制約条件を相互比較した結果、JSHBとHSBAについては、ほとんど同じ傾向を示しているが、HSBAの最適解は、JSHBの強度照査式制限を数ケースにおいて満足しない。また、JSHBとHSBAの最適解が、JRの最大幅厚比制限と安定照査式制限を満足しないケースが多い。

以上の結果から、総合的な傾向としては、安定照査式制限と強度照査式制限が設計を支配する傾向が強いこと。JSHBとHSBAの規程が非常に似かよっていること。また、JSHBとHSBAの最大幅厚比制限が、JRよりも緩和されていること。さらには、JRとHSBAの強度照査式制限が、JSHBよりも若干緩和されていることなどが挙げられる。これらの傾向は、本研究で扱ったすべての断面形状に共通していえることである。断面形状の違いによる、傾向の違いはあまり見られないが、JSHB、またはHSBAによって得られた断面積とJRによって得られた断面積との差が、正方形箱型断面、長方形箱型断面、H型断面の順に大きくなる傾向が見られた。

参考文献

- 1) 杉本博之、野上邦栄：最小重量設計法による鋼構造部材の耐荷力関連規程の比較研究、構造工学論文集 Vol.38A、1992。
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編、1990。
- 3) 土木学会：国鉄建造物設計標準解説、1983。
- 4) 本州四国連絡橋公団：吊橋主塔設計要領・同解説、1989。