

厚肉溶接 I 形断面ばりのオートストレス設計

AUTOSTRESS DESIGN OF BEAM BRIDGES USING COMPACT WELDED I-SHAPED SECTION

五十嵐 隆之* 伊藤 満**

Takayuki Igarashi and Mitsuru Ito

*工修 パシフィックコンサルタンツ(株) (〒532 淀川区西中島 4-3-24 新大阪木村第三ビル)

**工博 立命館大学教授 理工学部土木工学科 (〒525 滋賀県草津市野路町1916)

The autostress-design (ASD) method is what is accepted in American Association of State Highway and Transportation (AASHTO) specifications by the American Iron and Steel Institute (AISI) in 1986, to cut back the expenses of construction as the alternate design method of the load-factor design (LFD) method in AASHTO's Standard Specification for Highway Bridges. The ASD method differs from the LFD method in two points : (1) ASD permits a small plastic rotation at interior supports under the design for overload ; and (2) ASD permits the formation of a plastic mechanism in the design for ultimate load. The purpose of this study is to pursue the economics of ASD method by comparing the ASD method with the LFD method and allowable-stress design , designing a symmetrical two-span continuous girders. And , the load for design is L-25 load revised on November 25, 1993.

Key Words: Autostress Design, Compact Section, Composite Beam

1. はじめに

1986年にAASHTOのGuide Spec. [1]に採用されたオートストレス設計法 [Autostress Design Procedure : ASD法] は、AASHTOのStandard Spec. [2]の中の荷重係数設計法 [Load Factor Design : LFD法]の代わりに使用してもよいという新しい設計方法である。この新しい設計法は、アメリカ鉄鋼協会 (AISI) が約13年間に費やして調査研究したものを基に作られたものである。オートストレス設計法は、荷重係数設計法の中で考慮されている3つの荷重レベル、すなわち、使用荷重、超過荷重、最大荷重とそれらに対応する構造応答規範 (Structural Performance Requirements) が全く同じように満足される設計法である。

現在、荷重係数設計法は、応力計算をする前に経験的に連続ばりの中間支点上の負の曲げモーメントを10%低減させ、正の曲げモーメント域に曲げモーメントを再分配するようになっている。一方、オートストレス設計法による曲げモーメントの再分配は次のようにして行われる。すなわち、超過荷重時の設計に対して連続ばりの中間支点上にわずかな局部降伏を生じさせる。次に、この局部降伏に対してどれだけの残留モーメントが生じているかを実際の曲げモーメント-塑性回転角曲線を使って計算で求める。再び載荷荷重時の曲げモーメントに、こ

の残留モーメントを加えることによって、正と負の曲げモーメント領域においてモーメントの再分配が行われる。このようにオートストレス設計法では、実際の曲げモーメント-塑性回転角曲線を用いているのでより現実的である。この超過荷重時の永久変形 (局部降伏) は制作キャンバーの中に含まれることになっている。

また、最大荷重時の設計に対して連続ばりの中間支点断面では、塑性崩壊メカニズムを形成するのに十分な塑性回転容量を有することが要求されている。この塑性回転容量は有効塑性モーメントの概念としてGuide Spec.に規定されている。すなわち、有効塑性モーメントは鋼桁のフランジと腹板の幅厚比制限値がAISC [3]の限界値に等しいとき全塑性モーメントに等しく、もし幅厚比がそれ以上に増加しても実際の塑性モーメントは全塑性モーメント以下であるが、連続ばりの崩壊メカニズムを形成するには十分な塑性回転容量を有しているというものである。言い換えると、AISC [3]に規定されている塑性設計断面より薄肉断面を設計に許していることになる。

このようにオートストレス設計法は、荷重係数設計法や、あるいは塑性設計法とは種々な点で異なっている。本研究は、平成5年11月25日に改正されたL-25荷重 [4]を用いて、連続合成桁の鋼桁に、JIS圧延H形鋼、

溶接 I 形断面、ハイブリッド桁[5] を使用した場合の対称 2 径間連続合成桁のオートストレス設計を行い、荷重係数設計、許容応力度設計と比較設計することによって、オートストレス設計法の経済性及び利点などについて考察を加えるものである。

2. 設計条件

オートストレス設計法、荷重係数設計法、許容応力度設計法の 3 設計法に対して、課した設計条件は次のようである。

1) 設計対象とする桁は、橋軸方向に主鉄筋を配置した(図-1) 対称 2 径間連続合成桁とする。

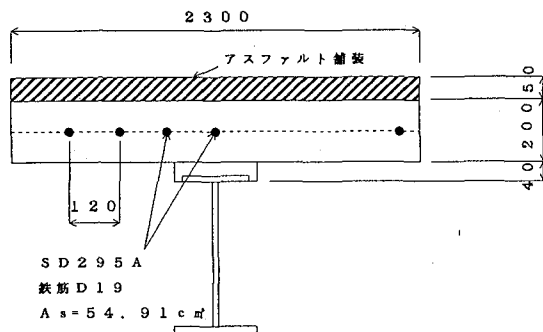


図-1 設計断面

2) 2 径間連続合成桁の設計に用いる断面形状は最大正曲げモーメント断面に対しては、コンクリート床版と鋼桁を合成させた断面とし、最大負曲げモーメント断面に対しては、橋軸方向鉄筋と鋼桁を合成させた断面とする。ただし、最大正モーメント断面におけるヤング係数比は $n = 7.21$ とし設計を行う。

3) 設計示方書に関しては、各設計法ごとに別々の示方書を使用するが、設計荷重に対しては、平成 5 年 11 月 25 日に改正された L-25 B 荷重[4]を用いて設計を行う。

また、荷重係数設計ならびにオートストレス設計における荷重係数、及び構造応答規範は表-1 のようである。表-1 に示すように、2 つの設計法は荷重レベルも構造応答規範も同じである。荷重係数設計法が弾性解析を用いて各荷重レベルにおける構造応答規範をコントロールしているのに対して、オートストレス設計法は、変形硬化 (Shake-down) 解析や、塑性解析の考えを取り入れて超過荷重時や最大荷重時の構造応答規範をコントロールしているのが特徴である。

主桁を設計する場合の L-25 B 活荷重は、車道部分に対しては表-2 に示す 2 種類の等分布荷重 p_1 、 p_2 よりなる L 荷重を載荷するものとし、 p_1 は 1 橋につき 1 組とする(図-2)。L 荷重は着目している点または部材に最も不利な応力が生じるように、橋の幅 5.5 m までは等分布荷重 p_1 および p_2 (主載荷荷重)を、残りの部分にはそれらのおおの 1/2 (従載荷荷重)を載荷するものとする。この荷重を対称 2 径間連続合成桁の

表-1 構造応答規範

荷重レベル	構造応答規範	
	荷重係数設計	オートストレス設計
使用荷重 $D+(L+I)$	疲労寿命の保証 活荷重たわみの制限	疲労寿命の保証 活荷重たわみの制限 コンクリートクラックの制限
超過荷重 $D+\frac{5}{3}(L+I)$	永久変形の制御 $M_{max} < 0.8M_y$ $M_{max} < 0.95M_y$ (10%のモーメントの再配分)	永久変形の制御 Local yielding $M_{max} < 0.95M_y$ (Shake-down analysis)
最大荷重 $1.3\left[D+\frac{5}{3}(L+I)\right]$	最大荷重に等しいかそれ以上の抵抗強度 $M_{max} < M_p$ (10%のモーメントの再配分)	最大荷重に等しいかそれ以上の抵抗強度 $M_{max} > M_{pe}$ $M_{max} < M_p$ (plastic analysis)

ここで、D：死荷重、L：活荷重、I：衝撃係数 ($I = 20 / [50 + 1]$ 、 l = 支間長(m))、 M_p ：塑性モーメント、 M_{pe} ：有効塑性モーメント

表-2 L 荷重 (B 荷重)

主 載 荷 荷 重 (幅 5.5 m)				
等分布荷重 p_1			等分布荷重 p_2	
載荷長 D(m)	荷重 (kgf/m ²)		荷重 (kgf/m ²)	
	曲げモーメント を算出する場合	せん断力を算 出する場合	$L \leq 80$	$80 < L \leq 130$
10	1,000	1,200	350	$430 - L$
				300

ただし、従載荷荷重は主載荷荷重の 50%とする。

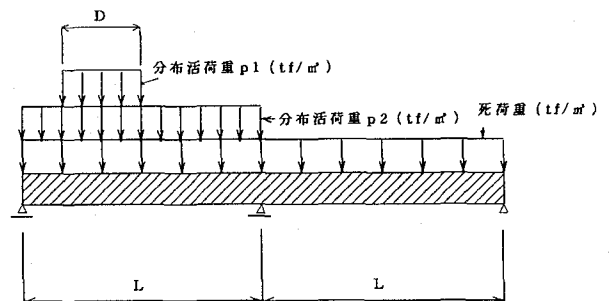


図-2 荷重載荷状態

部材に最も不利な応力が生じるように負載する。

4) 本研究は、合成桁の鋼桁に JIS 圧延 H 形鋼、溶接 I 形断面、ハイブリッド桁の 3 タイプを用いた場合の設計法比較であるので、設計断面に用いるコンクリート床版の有効幅、床版厚、ハンチ厚は以下のように仮定する(図-1)。また、コンクリート床版上にアスファルト舗装をすると仮定し、合成後死荷重として設計に用いる。

アスファルト舗装：5 cm ($W = 2.3 \text{ tf/m}^3$)

コンクリート床版：230 × 20 cm

設計基準強度： $\sigma_{ck} = 30.0 \text{ kgf/cm}^2$

ハンチ厚：4 cm

表－3 J I S 圧延H形鋼

断面寸法 (mm)	tf (mm)	tw (mm)	r (mm)	A (cm ²)	W (kgf/m)	Ix (cm ⁴)	iy (cm)	Zx (cm ³)
900×300	28	16	28	309.8	243	411000	6.39	9140
800×300	26	14	28	267.4	210	292000	6.62	7290
700×300	24	13	28	235.5	185	201000	6.78	5760
588×300	20	12	28	192.5	151	118000	6.85	4020
912×302	34	18	28	364.0	286	498000	6.56	10900

注) 9 1 2 × 3 0 2 はカバープレートの設計に用いる。

5) 橋軸方向鉄筋は降伏強度 $F_y = 3000 \text{ kgf/cm}^2$ の SD 295 A のものを使用し、鉄筋位置は、床版下縁から 10 cm の所に 12 cm 間隔で D 19 を使用する (図－1)。
($A_s = 54.91 \text{ cm}^2$)

その他の設計条件に関しては、そのつど説明を加える。

3. 3 設計法による比較

1) J I S 圧延H形鋼を用いた場合の設計

本設計は、J I S 圧延H形鋼を 2 径間連続合成桁の鋼桁部分に用いた場合の各タイプ別の最大支間長を求める設計を、オートストレス設計法、荷重係数設計法、許容応力度設計法の 3 設計法に基づいて行い、その最大支間長を比較検討する。

次に、オートストレス設計によって求められた最大支間長に対して、荷重係数設計法と許容応力度設計法に基づき、応力負担の大きい連続梁の中間支点部分にカバープレートを設けて設計を行う。そして、この時の 1 径間当りの鋼桁重量 (主桁 1 本当たり) を設計法別に比較検討する。これは、オートストレス法の特徴として、連続ばりの最大正モーメント断面と負モーメント断面の断面変化をなくし、圧延H形鋼からカバープレートを取り除くことができるという利点を他の設計法と比較して、その効果を具体的に実証するものである。

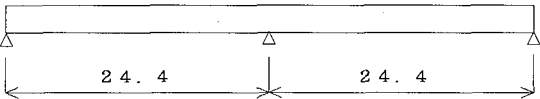
使用した J I S 圧延H形鋼は表－3 に示すタイプを用い、使用鋼材は SM 490 とする。

設計結果

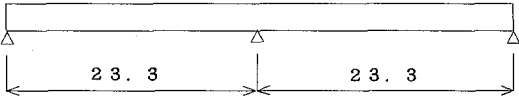
a) 最大支間長比較 (図－3)

この最大支間長を求める設計を行った結果、J I S 圧延H形鋼 900×300 の場合でオートストレス法で設計を行うと、荷重係数法より 1.1 m、許容応力度法より 4.6 m 支間を延ばせることができ、全体で見ても荷重係数法より 0.7 m から 1.1 m、許容応力度法より 2.8 m から 4.6 m 支間を延ばせることが分かった。これは、オートストレス法が J I S 圧延H形鋼を用いた等断面連続合成桁の設計に適していることを示すとともに、許容応力度法と比較した場合に同支間の設計でもオートストレス法では、1 タイプ下げた圧延H形鋼を用いて設計が可能になり、鋼材の節約になるものと思われる。

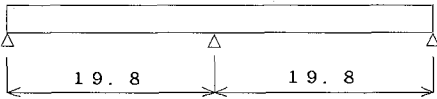
オートストレス設計



荷重係数設計



許容応力度設計



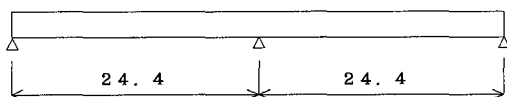
図－3 最大支間長比較

また、ここで求めた最大支間長 24.4 m に対して以下の比較設計を行うものとする。

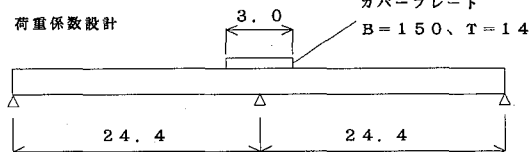
b) カバープレートを用いた場合の 1 径間当たりの重量比較 (図－4)

ここでは、オートストレス法によって求められた最大支間長 24.4 m に対して、荷重係数設計と許容応力度設計で設計を行い、その 1 径間当たりの重量を比較する。その結果、荷重係数法では、J I S 圧延H形鋼 900×300 に 150×10 のカバープレートを 3 m、応力負担の大きい下フランジに用いなければならない。また、許容応力度法では、同タイプの圧延H形鋼に道路橋示方書[6] 規定最大寸法のカバープレートを使用しても、 $L = 24.4 \text{ m}$ に対して設計が満足しないため、1 タイプサイズを上げた 912×302 にカバープレートを取り付けて設計を行った。この場合でも、250×18 のカバープレートを 3 m 必要とした。重量比較で見ると、オートストレス法では、荷重係数法と比較した場合カバープレート分 0.6% 重量を減少でき、許容応力度法と比較した場合、15.8% 重量が減少できることがわかった。このように、オートストレス設計法と他の設計法を比較した場合、オートストレス設計法では、同一スパン

オートストレス設計



荷重係数設計



許容応力度設計

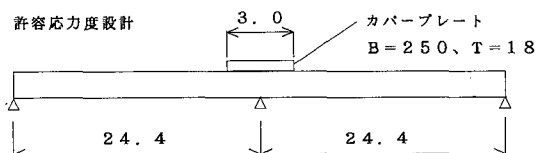


図-4 カバープレート

長に対してカバープレートを必要とせず、カバープレートのすみ肉溶接による疲労問題も解消でき、製作面での省力化にもつながることを示している。

2) 溶接 I 形断面を用いた場合の設計

本設計は、溶接 I 形断面を 2 径間連続合成桁の鋼桁部分に用いた場合、オートストレス設計法、荷重係数設計法、許容応力度設計法の 3 設計法に基づいて、 $L_{max} = 24.4$ m に対して最小重量設計を行い、その 1 径間当たり重量を設計法別に比較検討するものである。

また、オートストレス設計では、断面変化を取り入れない等断面連続合成桁として最小重量設計を行い、荷重係数設計法及び許容応力度設計法では、等断面連続合成桁と断面変化を取り入れた変断面連続合成桁の 2 タイプで最小重量設計を行い比較検討する。また最小上フランジ幅は、ずれ止めの配置上 $b_{min} = 200$ mm として設計を行った[6]。

I. 等断面連続合成桁

①使用鋼材 SM400 で上下対称溶接 I 形断面を用いた場合。

②使用鋼材 SM490 で上下対称溶接 I 形断面を用いた場合。

○③使用鋼材 SM490 で上下非対称溶接 I 形断面を用いた場合。

II. 変断面連続合成桁

①使用鋼材 SM400 で上下対称溶接 I 形断面を用いた場合。

②使用鋼材 SM490 で上下対称溶接 I 形断面を用いた場合。

○③使用鋼材 SM490 で上下非対称溶接 I 形断面を用いた場合。

その他の条件として

a) I. ③及び II. ③の上下非対称断面については、

下フランジ面積が上フランジ面積の 1.25 倍

(25%増)[2] 以下でなければならない。

b) 中間支点上での変断面長は $L/2 = 24.4/2 = 12.2$ m とする。

c) 最小重量設計を行う場合、フランジ及び腹板の幅厚比制限値を各示方書の規定の限界値に定めて計算を行う。

d) その他の設計条件については、各設計法別に示された設計条件と同一とする。

(1) 幅厚比制限値

オートストレス法による最小重量設計を行う場合の幅厚比制限値は、AASHTO の Guide Spec. [1] 中の厚肉断面に対して要求されるフランジと腹板の幅厚比制限値を用いる。また、その値は次式から求められる。

$$\frac{bf'}{tf} \leq \frac{545}{\sqrt{F_{yf}}} \quad (1)$$

$$\frac{2D_{cp}}{tw} \leq \frac{5099}{\sqrt{F_{yf}}} \quad (2)$$

ここで、 bf' : フランジ自由突出幅

D_{cp} : 負モーメント断面における塑性モーメント時の中立軸から圧縮フランジまでの距離

F_{yf} : 圧縮フランジの降伏強度 (kgf/cm^2)

この式 (1)、(2) を用いて幅厚比の制限値を求めた場合、SM400 の場合で $bf'/tf = 11.1$ (8.3)、 $2D_{cp}/tw = 104.1$ となり、SM490 の場合で $bf'/tf = 9.6$ (7.2)、 $2D_{cp}/tw = 90.1$ となる。ここで、フランジ幅厚比制限値の括弧内の値は制限値の 75% を示す。これは、フランジと腹板の両方の幅厚比が許容値の 75% を越えた場合、AASHTO Guide Spec. の提案するフランジと腹板の幅厚比に関する相関式に対しての検討が必要となるからである。

荷重係数法による最小重量設計を行う場合、AASHTO の Standard Spec. [2] に用いられている荷重係数設計法のための厚肉断面に要求される幅厚比制限値を用いる。また、その値は次式から求められる。

$$\frac{bf'}{tf} \leq \frac{424}{\sqrt{F_{yf}}} \quad (3)$$

$$\frac{D}{tw} \leq \frac{3527}{\sqrt{F_{yf}}} \quad (4)$$

ここで、 D : 腹板高

この式 (3)、(4) を用いて幅厚比の制限値を求めた場合、SM400 の場合で $bf'/tf = 8.7$ (6.525)、 $D/tw = 72$ となり、SM490 の場合で $bf'/tf = 7.5$ (5.625)、 $D/tw = 62.3$ となる。ここで、フランジ幅厚比制限値の括弧内の値は制限値の 75% を示す。これは、フランジの幅厚比を制限値のままで最小重量設計を行った場合、フランジ幅が桁高に対して大きくなりすぎてしまい、応力分布の点か

ら好ましくないため、等断面で設計する場合はフランジの幅厚比を制限値の75%とし、変断面で設計する場合は、応力負担の大きい中間支点上のフランジ幅厚比のみを制限値の75%として最小重量設計を行った。

許容応力度法による最小重量設計を行う場合、溶接I形断面のフランジの幅厚比制限値は、道路橋示方書[6]の中の局部座屈を考慮した場合の幅厚比制限値を用い、腹板に対しては、垂直補剛材を用いない場合の上下フランジの最大純間隔を用いて設計を行う。その値は、SM400を用いた場合で $b_f'/t_f=13.1(6.55)$ 、 $D/t_w=70$ であり、SM490を用いた場合では $b_f'/t_f=11.2(5.6)$ 、 $D/t_w=60$ である。ここで、括弧内の値は制限値の50%を示す。これは、荷重係数法の場合と同様、制限値のままで最小重量設計を行うと、桁高に対してフランジ幅が大きくなりすぎるためである。よって、等断面で設計する場合はフランジの幅厚比を制限値の50%とし、変断面で設計する場合は、応力負担の大きい中間支点部のみ50%とし、正モーメント断面に関しては、制限値の75%として最小重量設計を行った。以上、3設計法の幅厚比制限値を表-4に示す。

表-4

幅厚比		オートストレス法	荷重係数法	許容応力度法
b / t f	SM400	11.1	8.7	13.1
	SM490	104.1	72.0	70.0
D / t w	SM400	9.6	7.5	11.2
	SM490	90.0	62.3	60.0

(2) 設計結果

ここでは、以下の比較検討を行う。

- 等断面連続合成桁として3設計法によって設計した最小重量比較。
- 変断面連続合成桁として荷重係数法、許容応力度法によって設計した最小重量と等断面としてオートストレス法で設計した最小重量との比較。
- 変断面連続合成桁として3設計法によって設計した最小重量比較。

最小重量設計を行った結果、等断面連続合成桁としての重量比較(表-5)で見ると、使用鋼材SM490を用いた上下非対称溶接I形断面の場合で、許容応力度法と比較して最大28.7%、また荷重係数法と比較して最大11.0%、オートストレス法で設計した場合、重量が軽減できることがわかった。

また、荷重係数法と許容応力度法で設計する場合、応力負担の大きい中間支点付近の負モーメント断面と同一の断面を全径間に用いると経済的でないため、断面変化点を設けて、正モーメント範囲と負モーメント範囲とで断面形状を変える変断面連続合成桁との比較(表-6)で見ると、同じ使用鋼材SM490を用いた上下非対称溶接I形断面の場合で、許容応力度法と比較して最大16.8%、また荷重係数法と比較して最大5.4%、

表-5 等断面重量比較

	ASD法	LFD法	許容応力度法
W	5012.5	5632.9	7023.6
α	0.713(0.890)	0.802(1.000)	1.000

表-6 等断面と変断面との重量比較

	ASD法	LFD法	許容応力度法
W	5012.5	5301.2	6026.9
α	0.832(0.946)	0.880(1.000)	1.000

表-7 変断面重量比較

	ASD法	LFD法	許容応力度法
W	4908.1	5301.2	6026.9
α	0.814(0.926)	0.880(1.000)	1.000

ASD法：オートストレス法、LFD法：荷重係数法
W：1径間当たり重量(kgf)、 α ：重量減少率

オートストレス法で設計した場合、重量が軽減できることがわかった。

これは、この最小重量設計を行った結果、オートストレス法で設計を行えば溶接断面において断面変化点をなくすだけでなく、設計された断面が最大荷重時において、中間支点上でのヒンジが形成され、尚且つ、超過荷重時に小さな塑性回転を許容でき、最大正モーメント範囲において鋼板応力とその中間支点断面と同一断面で満足できるため、弾性設計法で変断面連続合成桁を設計した場合よりもより経済的な設計となることも実証された。また、参考資料として変断面連続合成桁で設計した場合の最小重量比較も行った(表-7参照)。

3) ハイブリッド桁[5]を用いた場合の設計

一般に、ハイブリッド桁は、曲げ剛性に対して有効に働く上下フランジに高強度鋼を用い、ウェブに低強度鋼を用いることにより材料費の低減を計れ、同一断面においてフランジ、ウェブに高強度鋼を用いた一般のホモジニアスな桁と比べても曲げ耐力の点ではほとんど遜色ないので、経済的になることがわかっている。

そこで今回、連続合成桁の鋼桁部分に、現在わが国で使用されている各種の構造用鋼材SM400、SM490、SM490Y、SM570を用いたハイブリッド桁を使用した場合の最小鋼材費を求める設計を、オートストレス法、荷重係数法、許容応力度法に基づいて行い、その最小鋼材費を比較するとともに、フランジ、腹板に同種鋼材を用いたホモジニアスな桁と比較した場合のハイブリッド桁の効果を設計法別に比較するものである。

この設計に際して、以下の条件を設定する。

- ハイブリッド桁の組み合わせは、腹板に低強度鋼のSM400を使用し、フランジには高強度鋼のSM490、SM490Y、SM570を使用する。これは、腹板にSM400、SM490を用いて比較検討

- した結果、SM400を用いた方が、ハイブリッド桁での効果が高いことが実証されたからである。
- b) ここで使用する溶接I形断面は、上下対称断面とする。
- c) 対象とする梁形式は、変断面連続合成桁とし、変断面長は $l/2$ とする。
- l : 支間長 (m) ($l_{\max} = 24.4$ m)
- d) 最小鋼材費を求める設計を行う場合、フランジ及び腹板の幅厚比制限値は各示方書の規定の限界値に定めた。

e) 使用鋼材単価は、平成5年3月時点の鋼材単価を用いる。(表-8)

表-8 鋼材単価

材 質	降伏点 (kg/cm ²)	単価 (円/t)
SM400	2400(1400)	85500
SM490	3200(1900)	94000
SM490Y	3600(2100)	95000
SM570	4600(2600)	129000

括弧内の値は、許容応力度を示す。

表-9 最小鋼材費比較 (単位: 万円)

鋼 材	材		β	A S D	L F D	弾 性
	ウェブ	フランジ				
① ホモジニアスゲタ	SM400	SM400	1.00	51.4	55.0	62.4
② ハイブリッドゲタ	"	SM490	1.33	46.8	49.2	55.4
	"	SM490Y	1.50	45.1	47.0	53.4
	"	SM570	1.92	46.5	48.1	55.5

表-10 ホモジニアスな桁に対する鋼材費の減少率 (C2/C1)

鋼材			β	A S D	L F D	弾 性
①ホモジニアスケタ	②ハイブリッドケタ					
ウェブ・フランジ	ウェブ	フランジ				
SM400	SM400	SM400	1.00	1.000	1.000	1.000
〃	〃	SM490	1.33	0.910	0.895	0.888
〃	〃	SM490Y	1.50	0.877	0.855	0.856
〃	〃	SM570	1.92	0.905	0.875	0.890

β = フランジ降伏強度 / ウェブ降伏強度、A S D : オートストレス法
L F D : 荷重係数法、弾性 : 許容応力度法

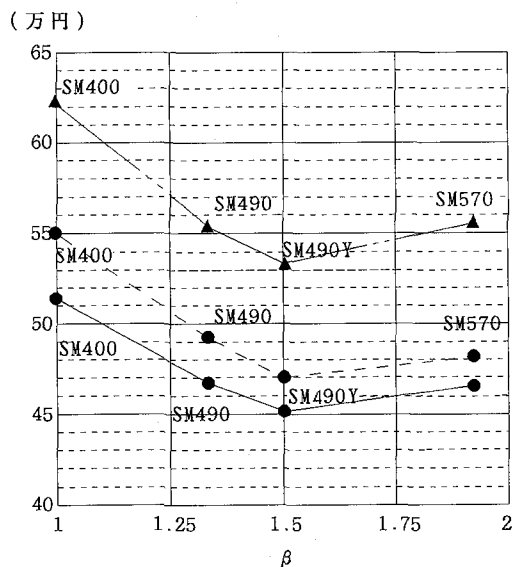


図-5 最小鋼材費比較

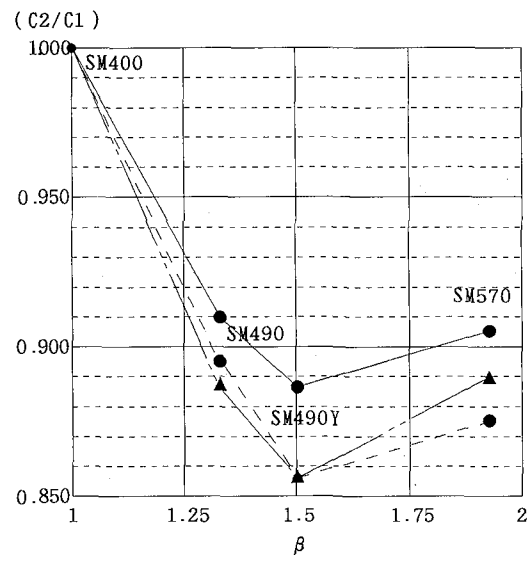


図-6 鋼材費減少率比較

(注)

—●— : オートストレス法 (A S D)

- - -●- - - : 荷重係数法 (L F D)

—▲— : 許容応力度法 (弾性)

(1) ハイブリッド合成桁の設計[5]

ハイブリッド桁の設計では、一般のホモジニアスな桁の設計のように全断面有効として桁各部の応力度を求めたのでは、低強度鋼を用いているウェブの一部が降伏しているので、フランジの応力度を過小評価することになる。そこでハイブリッド桁のフランジが降伏するときの曲げモーメントとホモジニアスな桁のフランジが降伏するときの曲げモーメントの比を求め、その分だけハイブリッド桁の場合の許容応力度を割引けば、応力度の計算にはフランジの鋼材でできたホモジニアスな桁として取り扱うことができ設計上簡便である。AASHTOにおいては、この低減許容応力度として次式を与えている。オートストレス法及び荷重係数法では、超過荷重時の設計で、降伏強度にこの低減係数を乗じて応力照査を行う。

上下非対称な断面の桁(合成桁)

$$\sigma_a = \sigma_{a0} \left[1 - \frac{\nu \xi (1 - \lambda)^2 (3 - \xi - \lambda \xi)}{6 + \nu \xi (3 - \xi)} \right] \quad (5)$$

σ_a : ハイブリッド桁のフランジ許容応力度

σ_{a0} : フランジ鋼材の一般の許容曲げ応力度

λ : $\frac{\text{ウェブ鋼材の降伏応力}}{\text{下フランジ鋼材の降伏応力}}$

ν : $\frac{\text{ウェブの断面積}}{\text{下フランジの断面積}}$

ξ : $\frac{\text{桁下縁から断面中立軸までの距離}}{\text{鋼桁高}}$

(2) 幅厚比制限値

最小鋼材費を求める設計では、2)の変断面連続合成桁を用いた最小重量設計で用いた幅厚比制限値と基本的には同じ条件で設計を行う。ただし、日本道路協会の道路橋示方書にはハイブリッド桁に対する設計の規定が取り入れられていないため、許容応力度法で設計する場合は他の2設計法と同様に、腹板の幅厚比制限値(最大フランジ純間隔)はフランジ使用鋼材の鋼種に依存するものとする。

(3) 比較設計結果

表-9、図-5は3設計法によって求めた各タイプ別の最小鋼材費である。また、表-10ではホモジニアスな桁(SM400)を用いた場合の最小鋼材費に対するハイブリッド桁を用いた場合の鋼材費の減少率を表したものである。

まず鋼材費に関しては、荷重係数法と比較した場合3.3から4.3%、許容応力度法と比較した場合15.5%から16.2%オートストレス法で設計した場合、鋼材費を低減できることが分かったが、これを鋼材費の減少率で見ると、表-10及び図-6から分かるように、オートストレス法で設計した場合がもっともハイブリッド桁を用いた場合の減少効果が低いことがわかった。特に、フランジにSM570を用いた場合で見ると、荷重係数法と比較して、ホモジニアスな桁(SM400)

の場合で6.5%あった差が3.3%まで接近している。この原因について考えてみると、一つは最小重量設計の段階で断面がかなり押さえられていること。もう一つは、フランジの降伏強度を上げていった場合、正モーメント断面において梁の応力に余裕がある段階で限界状態が達成されてしまう点である。しかし、鋼材費節約という点で見るとオートストレス法にハイブリッド桁を適用させれば、より経済的な設計が可能になることは確かである。ただ、今後、正モーメント断面において梁の永久変形が許容されるようになれば、より経済的な設計が可能になり、適用範囲もより広げることができるようになると思われる。

4. おわりに

厚肉I形断面を対象とした2径間連続合成桁のオートストレス設計を行い、荷重係数設計ならびに許容応力度設計された桁断面との比較検討を試みた。試算設計は、AASHTOの荷重係数を用いた設計と、我国の許容応力度を用いた設計の比較となっており、荷重係数ならびに腹板の幅厚比制限値(表-4)の違いが、予想以上にオートストレス設計法を有利にしている点は否めない。本研究で得られた主な結果は次のようである。

- 1) JIS圧延H形鋼(900×300)を用いた設計の場合、a)オートストレス設計は、許容応力度設計より14.6m、荷重係数設計より1.1m径間長を延ばすことができる。b)同一径間長(L=24.4m)の設計に対して許容応力度設計及び荷重係数設計では中間支点上にカバプレートが必要とするが、オートストレス設計では、これを省略することができる。
- 2) 溶接I形断面を用いた設計の場合、オートストレス設計は許容応力度設計より16.8%、荷重係数設計より5.4%の鋼重の軽減が可能である。
- 3) ハイブリッド断面を用いた設計の場合、フランジ断面とウェブ断面に用いる材質に一定の鋼材単価を考慮した比較設計で、オートストレス設計は許容応力度設計より16.2%、荷重係数設計より4.3%の鋼材費の節約が可能である。

近年、鋼橋の建設に際し、主桁製作過程での省力化はもちろんのこと、維持管理も含めたライフサイクルを考えた鋼橋の設計・製作が重要視されている。今後、鋼橋の経済設計を考える場合、例えば、主桁の断面変化位置を現場継手部に限定したり、上、下フランジの幅を一定としたような省力化に必要な条件を設計に取り入れた比較設計を行うことも必要と思われる。

参考文献

- [1] AASHTO Guide Specification : American Association of State Highway and Transportation Officials, Guide Specification for Alternate Load Factor Design Procedures for Steel Beam Bridge Using Based Compact Section, Washing-

ton, D. C., 1986

- [2] Standard Specification for Highway Bridges.
14thEd., American Associate of State Highway
and Transportation Officials, Washington, D. C.
, 1989.
- [3] AISC Specification : American Institute of
Steel Construction , Load and Resistance
Factor Design Spesification for Structural
Steel Building 1st Ed., Chicago, 3, 1986.

- [4] 福井県、道建第 1 1 8 1 号、道路構造令の一部改
正と、橋、高架の道路等の技術基準について、
1 9 9 3 年 1 1 月 2 5 日

- [5] 国広 哲男、古庄 通隆著：ハイブリッドゲタ
(その力学的挙動と経済性)、橋梁と基礎
(1 9 7 4. 1)、p p. 1 - 8

- [6] 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説
I 共通編、II 鋼橋編、1 9 9 0 年

(1 9 9 4 年 9 月 1 4 日受付)