

Br. 72-02

土木研究所費による研究

橋梁の荷重係数設計法に関する研究



土木研究所資料

第 773 号

AASHOの荷重係数設計指針訳

昭和47年9月

建設省土木研究所

構造橋梁部橋梁研究室

要 旨

本資料はAASHO (The American Association State Highway Officials) が1971年に出したStandard Specifications for Highway Bridges の “ Interim Specifications ” の Interim 7, Load Factor Designの章を全文邦訳したものである。

これは実際に用いられている各国の道路橋の基準の中ではじめて荷重係数設計を取り入れたものとして注目されている。

荷重の組合せは, Group I, Group I A, Group II および Group III の4つを考えている。

断面の設計では, 合成げた, 非合成げた, ハイブリッドげたをコンパクトな断面, ノンコンパクトな断面, 及びこれらの中間領域の3つの領域に分け, それぞれについて, フランジ, ウェブなどの設計法を与えている。

また, 圧縮材, シベル, 継手, 構造細目についても規定されている。

(キイワード) 荷重係数設計法, 示方書, AASHO, 道路橋。

序

本資料は、AASHO (The American Association State Highway Officials)
が1971年に出した。Standard Specifications for Highway Bridges の
“ Interim Specifications ” の Interim 7 Load Factor Design の章を全文邦
訳したものである。

これは、実際に用いられている各国の道路橋の基準の中ではじめて荷重係数設計を
とり入れたものとして注目されている。今後、日本の示方書においても、将来、荷重
係数設計法がとり入れられることは十分うかがわれるところであり、省内の業務資料
として利用するために、上記の邦訳を土木研究所資料として印刷することにした。

語学力の不足から、誤り、読みづらい点があると思う。もしお気付の点があったら
橋梁研究室へ御一報願えれば幸いである。

昭和47年9月

橋 梁 研 究 室

国 広 哲 男

井 上 啓 一

目 次

1. 7. 118	適用の範囲	1
1. 7. 119	記 号	1
1. 7. 20	荷 重	2
1. 7. 121	設計理論	2
1. 7. 122	仮 定	2
1. 7. 123	鋼の設計強度	3
1. 7. 124	最大設計荷重	3
1. 7. 125	対称なけた	3
1. 7. 126	非対称なけた	8
1. 7. 127	合成げた	9
1. 7. 128	合成げたの正のモーメントに対する断面	9
1. 7. 129	合成げたの、負のモーメントに対する断面	11
1. 7. 130	合成箱げた	11
1. 7. 131	ジベル	13
1. 7. 132	ハイブリッドげた	13
1. 7. 133	非合成ハイブリッドげた	14
1. 7. 134	合成ハイブリッドげた	15
1. 7. 135	圧縮部材	15
1. 7. 136	添接、継手および構造細目	16
1. 7. 137	過載荷重、非合成断面	19
1. 7. 138	疲 勞	20
1. 7. 139	たわみ	20

INTERIM 7

1.7.118 適用の範囲

荷重係数設計は、普通の支間内の単純げた及び連続げたの設計に対して適用できる。これは、設計荷重を荷重係数倍したものの組合せに対して、構造部材を設計する方法である。その他に使用限界及び耐久性を保障するため、過載荷重での永久変形通行荷重下での疲労、通行荷重による変形に対しても検討しなければならない。

1.7.119 記 号

- A = 断面積 (in²)
 A_f = けたまたははりのフランジ断面積 (in²)
 A_s = カバープレートを含む鋼部の全断面積 (in²)
 A_s = 柱横断面の全有郊面積 (in²)
 A_w = けたのウェブ面積 (in²)
 b' = フランジ自由突出幅 (in)
 b' = 補剛材 " (in)
 D = 死荷重
 D = 箱げたフランジの中心間距離 (in)
 d = 部材高 (in)
 d_b = けた高 (in)
 d_c = 柱高 (in)
 d_o = 垂直補剛材間隔 (in)
 d_w = 合成断面の鋼げたウェブ高 (in)
 E = 弾性係数 (29,000,000 psi)
 F = 応 力 (psi)
 F_{cr} = 座屈応力 (psi)
 F_y = 用いられた鋼種の公称最小降伏点又は、降伏強度 (psi)
 f_c' = コンクリートの公称 28 日強度 (psi)
 I = 衝 撃
 I = 慣性モーメント (in⁴)
 L_c = 圧縮部材長 (in)
 L_b = 圧縮フランジの固定点間距離 (in)
 L = 活荷重
 M, M_1, M_2 = 断面モーメント (in - lb)
 M_u = 最大モーメント耐力 (in - lb)

- P = 部材軸圧縮力 (lb)
 P_u = 最大軸圧縮耐力 (lb)
 r = 回転半径 (in)
 r_y = Y-Y 軸に関する回転半径 (in)
 S = 断面係数 (in³)
 t = フランジ厚 (in)
 t = ボルト接合部の最小純断面積部分の厚さ (in)
 t_w = ウェブ厚 (in)
 V = 断面上のせん断力 (lb)
 V_u = 最大せん断容量 (lb)
 Z = 塑性断面係数 (in³)
 ϕ = 減少係数

1.7.20 荷 重

通行荷重とは、国道を自由に通行することができる法規内の車両であつて特認車を含まない。設計の便宜上、常時荷重としては 1.2 節 (1.2.4 項は除く) に示した死荷重、活荷重、衝撃荷重、過載荷重とは、載荷頻度が少なく、その載荷により構造物に永久的な、損傷を与えないような活荷重のことである。この過載荷重は道路上の通行を認められている活荷重である。設計の便宜上、最大過載荷重は、 $\frac{5}{3}(L+I)$ にとるものとする。最大荷重は 1.7.124 項に規定された荷重である。

1.7.121 設計理論

モーメント、せん断力その他の外力は、1.7.125 (A)(3) 項の外は、構造物の弾性挙動を仮定して求めるものとする。部材は、1.7.125 項から 1.7.136 項に規定された方法により設計するものとする。即ち部材の最大強度が、1.7.124 項の Group I, II, III で規定された設計荷重による断面力より大きくなるようにしなければならない。常時の使用状態における挙動は、1.7.137 項から 1.7.139 項の規定にもとづいて検討するものとする。

1.7.122 仮 定

- (1) 曲げ部材のひずみは、中立軸からの距離に比例するものとする。
- (2) 鋼については、降伏強度、 F_y 、以下の応力についてはそのひずみを 29,000,000 (2,038,700) 倍することにより得られる。降伏応力、 F_y に対応するひずみより大きなひずみに対しては、応力はひずみに関係なく降伏応力、 F_y に等しいと考える。これらの仮定は、負のモーメントをうける合成げたのコンクリート床版の橋軸方向の鉄筋にも適用する。
- (3) 合成げたの最大強度を計算するときはコンクリート床版の圧縮応力は、ひずみに無関係に、 $0.85 f_{c'}$ に等しいと考える。
- (4) 曲げの計算では、コンクリートの引張強度は無視する。

1.7.123 鋼の設計強度

鋼の設計強度は、使用する鋼種により 1.7.1 項で定めた公称最小降伏点または、降伏強度 F_y とする。

1.7.124 最大設計荷重

鋼材に作用する最大モーメント、せん断力、軸力は以下にあげた式で計算するものとする。

$$\text{Group I} = 1.30 \left[D + \frac{5}{3} (L + I) \right]$$

H 20 以下のすべての荷重については 1 車線にのみ Group I A 荷重が載ったと仮定し、他の車線には同時に載らないとして適用して設計する。

$$\text{Group I A} = 1.30 \left[D + 2.2 (L + I) \right]$$

$$\text{Group II} = 1.30 \left[D + W + F + SF + B + S + T \right]$$

地震荷重を考慮する場合、Group II 荷重は W に EQ を置替えて用いる。

$$\text{Group III} = 1.30 \left[D + L + I + CF + 0.3 W + WL + F + LF \right]$$

上記の式の記号は、1.2.22 項に述べられた荷重、等によるモーメント、せん断力、軸力を表わしている。

1.7.125 対称なけた

(A) コンパクト断面

局部座屈に対する高い抵抗をもち、横倒れ座屈に対し抵抗できる適当な横構を配置した対称な I 形断面ばりをコンパクト断面と見なす。コンパクト断面は塑性ヒンジをつくることができる。以下の(1)項に合致する圧延 I 形断面けた又は溶接 I 形断面けたは、コンパクト断面と考え、最大強度は

$$M_u = F_y \cdot Z$$

で計算できる。ここで F_y は、用いられた鋼種の公称降伏点

Z は、塑性断面係数である。

- (1) コンパクト断面として設計されるけたは、以下の規定に合致するものとする。(よく使用される鋼種について、この規定の数値は表-1 に与えてある。)

(a) 自由突出フランジ断面

$$b'/t \leq \frac{1.600}{\sqrt{F_y}} \quad \left(b'/t \leq 424/\sqrt{F_y} \right)$$

ここで b' は 自由突出フランジ断面の巾

t は フランジ厚

(b) ウェブ厚

$$d/t_w \leq \frac{13.300}{\sqrt{F_y}} \quad \left(d/t_w \leq \frac{3527}{\sqrt{F_y}} \right)$$

ここで d は、けた高

t_w は、ウェブ厚

(c) 横構，対傾構

$M_2 > 0.7 M_1$ のとき

$$L_b/r \leq \frac{7,000}{\sqrt{F_y}} \quad (L/r \leq \frac{1856}{\sqrt{F_y}})$$

又は， $M_2 < 0.7 M_1$ のとき

$$L_b/r_y \leq \frac{12,000}{\sqrt{F_y}} \quad (L_b/r_y \leq \frac{3183}{\sqrt{F_y}})$$

ここで L_b は，圧縮フランジの間隔， r_y は， $Y-Y$ 軸に関する断面二次半径

M_1 と M_2 は，隣り合う対傾構取り付け点のモーメントである。いかなる場合も L_b は，1.7.125 (B)(1)項の値をこえてはならない。横倒れ座屈を防ぐためには主構の横方向の変位およびねじれを防ぐことができる対傾材をつけるか圧縮フランジの上面又は，側面をコンクリート中に埋め込まなければならない。

(d) 最大軸圧縮力

$$P \leq 0.15 F_y \cdot A$$

(e) 最大せん断力

$$V \leq 0.55 F_y \cdot d \cdot t_w$$

(2) 1.7.125 (A)項は，応力ひずみ曲線で，ひずみ硬化をおこす前に，降伏点でおどり場のある鋼に適用できる。

ASTM A36，A242，A440，A441，A572 と A588 のような鋼は，この条件に合致する。1.7.125 (A)で定められた規定は，表-1 に与えられている。

表-1

F_y , psi (kg/cm ²)	3 6,000 (2,531)	4 2,000 (2,953)	4 6,000 (3,234)	5 0,000 (3,515)	5 5,000 (3,867)
b'/t	8.4	7.8	7.5	7.2	6.8
d/t	70	65	62	59	57
$L_b/r_y (M_2 \leq 0.7 M_1)$	37	34	33	31	30
$L_b/r_y (M_2 < 0.7 M_1)$	63	59	56	54	51

(3) 1.7.125 (A) (1)項の規定に従う，コンパクト断面の連続げたの設計では，弾性解析で求められる支承上の負のモーメントを，最大10%だけ減じることができる。このように負のモーメントを減少させたことは，その支間での負のモーメントの平均的な減少量に等しい分だけ，支間での正の最大モーメントを増加させることになる。この負のモーメントを減少させることは，片持ばりの負のモーメントには適用されない。

(B) 横構つき ノンコンパクト断面

1.7.125 (A)(1)項の規定に従わないが以下の，パラグラフ(1)の規定に合致する圧延 I 形断面けた又は，溶接 I 形断面けたの最大強度は以下のように計算される。

$$M_u = F_y \cdot S$$

ここで S は断面係数である。

(1) 上記の方程式は、以下の規定に合うけたに適用できる。

(a) フランジ自由突出巾 $b'/t \leq 2200/F_y$ ($b'/t \leq \frac{583}{\sqrt{F_y}}$)

$M < M_u$ のとき b'/t は $\sqrt{\frac{M_u}{M}}$ 倍して良い。

(b) ウェブ厚

$$D/tw \leq 150$$

ここで D は、フランジではさまれた純ウェブ高である。

(c) 圧縮フランジの拘束点間距離

$$L_b \leq \frac{20,000,000 A_f}{F_y \cdot d} \quad (L_b \leq \frac{1,406,134 A_f}{F_y \cdot d})$$

ここで d は、はり又はけたの高さ

A_f はフランジ断面積

(d) 最大軸圧縮力

軸圧縮力は、1.7.125(A)(1)d項に与えられた値をこえてはならない。

(e) 最大せん断力

$$V \leq \frac{3.5 E \cdot tw^3}{D}$$

しかし、 $0.58 F_y \cdot D \cdot tw$ 以上になってはならない。

(2) 上記(1)項で定められた制限は表-2で与えられる。

表-2

F_y , psi (kg/cm ²)	36,000 (2,531)	42,000 (2,953)	46,000 (3,234)	50,000 (3,515)	55,000 (3,867)	90,000 (6,328)	100,000 (7,031)
b'/t	11.6	10.7	10.3	9.8	9.4	7.3	7.0
$\frac{L_b \cdot d}{A_f}$	556	476	435	400	364	222	200

(C) 中間領域

1.7.125(A)と(B)制限の中間に入る形状の部材の最大強度は、直線的に内挿して計算する、ただし、ウェブ厚は常に、1.7.125(A)(1)(b)項を満足しなければならない。

(D) 横方向に拘束のない断面

(1) 1.7.125(B)(1)(c)項の横構、対傾構の規定に合わない部材について最大強度は、次のように計算する。

$$M_u = F_y \left[1 - \frac{3 F_y}{4 \pi^2 E} \left(\frac{L_b}{b'} \right)^2 \right]$$

圧縮フランジの拘束点間距離 L_b の両端での応力の比が 0.7 より小さいとき上記の式で計算される最大強度 M_u は 20 % 増加できるが $F_y S$ をこえてはならない。

(2) 1.7.125 (B)(1)(e) の規定に合致しない部材ではウェブに 1.7.125 (B) で規定した垂直剛材をつけるものとする。

(3) $0.15 F_y A$ より大きな軸力をうける部材は、1.7.135 項で規定される beam - column で設計するものとする。

(E) 垂直補剛材をもつた

(1) 1.7.125 (A)(1)(e) と 1.7.125 (B)(1)(e) 項のせん断の規定に合致しないけたには、ウェブに垂直補剛材をつける必要がある。垂直補剛材だけで水平補剛材のついてないけたでは、ウェブの厚さは、次の規定に合致しなければならない。

$$D/tw \leq \frac{36,500}{\sqrt{F_y}}$$

鋼種により D/tw は下記の値となる。

D/tw	F_y (psi)	(kg/m ²)
192	36,000	(2531)
178	42,000	(2953)
170	46,000	(3234)
163	50,000	(3515)
156	55,000	(3867)
122	90,000	(6328)
115	100,000	(7031)

(2) 1.7.125 (B)(1) の規定を満足する垂直補剛材を有するけたの最大曲げ強度は、1.7.125 (B)(4) の規定に従う場合には、1.7.125 (B) 又は、1.7.125 D(1) により計算できる。

(3) 1.7.125 (B)(1) 項の規定を満たすウェブを有するはり又はけたのせん断力は、次式のように計算できる。

$$V_u = V_p \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{1+(d_o/D)^2}} \right]$$

ここで

$$V_p = 0.58 F_y \cdot D \cdot tw$$

$$C = 18,000 (tw/D) \sqrt{\frac{1+(D/d_o)^2}{F_y}} - 0.3 \leq 1.0$$

$$(C = 4,772 (tw/D) \sqrt{\frac{1+(D/d_o)^2}{F_y}} - 0.3 \leq 1.0)$$

D = フランジ部分にはさまれた、支持されない、純間隔

d_o = 垂直補剛材間隔

- (4) もし、はりパネルが、せん断と曲げモーメントを同時にうけせん断力が $0.6 V_u$ より大きい場合には、モーメントは、次式より小さくしなければならない。

$$M/M_u = 1.375 - 0.625 V/V_u$$

(5) 垂直補剛材間隔

1.7.125 (E)(3)項に規定されたせん断耐力を持つには、以下の式の d_o でなければならない。ただし $1.5 D$ をこえてはならない。

垂直補剛材は、最大せん断力が 1.7.125 (B)(1)(e)項で与えられた値より小さい部分では、省略することができる。

単純げたの、けた端の補剛材間隔は、 D より大きくてもまた以下の式の値以上であつてもならない。

$$d_o = 1,450 \sqrt{D \cdot t w^3 / V} \quad (d_o = 3,845 \sqrt{D \cdot t w^3 / V})$$

垂直補剛材の幅厚比は、以下の式に示す。

$$b'/t \leq \frac{2,600}{\sqrt{F_y}} \quad (b'/t \leq \frac{689}{\sqrt{F_y}})$$

ここで b' は補剛材の自由突出幅である。

中間補剛材の全断面積は以下の値以上でなければならない。

$$A = [0.15 B D t w (1 - C) (V/V_u) - 18 t w^2] Y$$

ここで Y は、補剛材の降伏強度である。

補剛材が両側につけられている場合 $B = 1.0$

// 1 本のアングルの場合 $B = 1.8$

// 片側だけの場合 $B = 2.4$

C は 1.7.125 (E)(3)項で計算する。

ウェブの中心に関する垂直補剛材の慣性モーメントは次の値以下であつてはならない。

$$I = d_o t w^3 J$$

ここで

$$J = 2.5 (D/d_o)^2 - 2 \quad \text{ただし } 0.5 \text{ 以上}$$

垂直補剛材は、引張フランジに接触させる必要はない。補剛材とウェブの接合端と引張フランジ面との、最大間隔は、 $4 t w$ をこえてはならない。ウェブの片側にのみとりつけられる補剛材は圧縮フランジを支えなければならないが、溶接する必要はない。

(F) 水平補剛材

- (1) 水平補剛材は、ウェブ厚が 1.7.125 (E)(1) 項で規定されるよりうすい時に必要とし、圧縮フランジ下面より $D/5$ の位置にとるものとする。

垂直補剛材と一本の水平補剛材をもつプレートガーダーのウェブ厚は、次の規定を満足しなければならない。

$$D/t w \leq \frac{73,000}{\sqrt{F_y}} \quad (D/t w \leq \frac{19,356}{\sqrt{F_y}})$$

これは鋼種により、下記の値となる。

D/tw	F_y (psi)	(kg/cm ²)
3 8 5	3 6,0 0 0	(2 5 3 1)
3 5 6	4 2,0 0 0	(2 9 5 3)
3 4 0	4 6,0 0 0	(3 2 3 4)
3 2 6	5 0,0 0 0	(3 5 1 5)
3 1 1	5 5,0 0 0	(3 8 6 7)
2 4 3	9 0,0 0 0	(6 3 2 8)
2 3 1	1 0 0,0 0 0	(7 0 3 1)

(2) 1. 7. 125 (F) (1)項の規定を満たす水平補剛材を有するけたの最大曲げモーメントは、1. 7. 125

(E) (4)項の規定に従っていれば1. 7. 125 (E)又は、1. 7. 125 (D) (1)項により計算できる。

(3) 水平補剛材を1本有するけたのせん断耐力は、1. 7. 125 (E) (3)項で計算できる。

水平補剛材の寸法は以下の規定によらなければならない。

(a) 幅厚比は、1. 7. 125 (E) (5)項により与えられたものより大きくてはならない。

(b) 補剛材の剛性は、次式の値以下であってはならない。

$$I \leq Dtw^3 \left[2.4 \left(\frac{do}{D} \right)^2 - 0.13 \right]$$

(c) 補剛材の回転半径は、次式の値以下であってはならない。

$$r = \frac{do\sqrt{F_y}}{23,000} \quad \left(r = \frac{do\sqrt{F_y}}{6,099} \right)$$

上記 I と r の値を計算するに当り、幅 $18\ tw$ をこえない範囲のウェブを水平補剛材の一部と考えることができる。水平補剛材を有するけたのパネルの垂直補剛材は1. 7. 125 (E) (5)項に従い設計する。ただしパネル高 D は全パネル高のかわりにサブパネルのパネル高を用いる。さらに、垂直補剛材の断面係数は以下の値より、少なくてはならない。

$$S_t = \frac{1}{3} \left(D/do \right) S_e$$

ここで D は、パネルの全高 (フランジ間の純間隔) で S_e は $D/5$ のところの水平補剛材の断面係数を示す。

1. 7. 126 非対称なけた

(A) 一般

横断面の鉛直軸に関し対称だが、水平軸に関し、非対称なけたについては、1. 7. 125 (D) (1)項により最大強度を計算するときに、 b' 項を $0.9\ b'$ におきかえる以外は1. 7. 125 (A)から1. 7. 125 (D)項の規定をそのまま使える。

(B) 垂直補剛材をもつ非対称けた

垂直補剛材をもつけたは、1. 7. 125 (E)項の規定により設計、計算するものとする。ただし中立軸

から圧縮フランジの純間隔 D_c が $D/2$ をこえたときはウェブ厚 tw が次の規定を満足する必要がある。

$$\frac{D_c}{tw} \leq \frac{18,250}{F_y} \quad \left(\frac{D_c}{tw} \leq \frac{4839}{F_y} \right)$$

(C) 水平補剛材を有する非対称断面

非対称断面における水平補剛材は、ウェブ厚が、1.7.125 (E) (1) 又は 1.7.126 (E) 項より薄い場合に配置しなければならない。1本の水平補剛材と垂直補剛材を必要とする場合は、以下の条件にあえば、対称断面についての 1.7.125 (F) 項の規定が適用できる。

(a) 水平補剛材が、圧縮フランジ内面から $2D_c/5$ の位置につけられている。

(b) D_c が $D/2$ をこえるとき、ウェブ厚 tw は、次の規定を満足しなければならない。

$$\frac{D_c}{tw} \leq \frac{36,500}{F_y} \quad \left(\frac{D_c}{tw} \leq \frac{9678}{F_y} \right)$$

1.7.127 合成げた

合成げたは、以下の規定が満足するように断面をきめなければならない。

(a) いかなる断面でも、最大強度は、その断面での荷重係数を掛けたモーメントの合計より小さくてはならない。

(b) 鋼げたのウェブは、全外力によるせん断力に抵抗でき、1.7.125 項および 1.7.126 項の規定を満足しなければならない。この項を適用する場合 D_c の値は、活荷重に対する合成断面の中立軸と、圧縮フランジの間の純間隔をとる。

1.7.128 合成げたの正のモーメントに対する断面

(A) コンパクトな断面

鋼の部分に、1.7.128 (A) (2) 項のコンパクトであるための条件を満足しているとき、最大強度は、

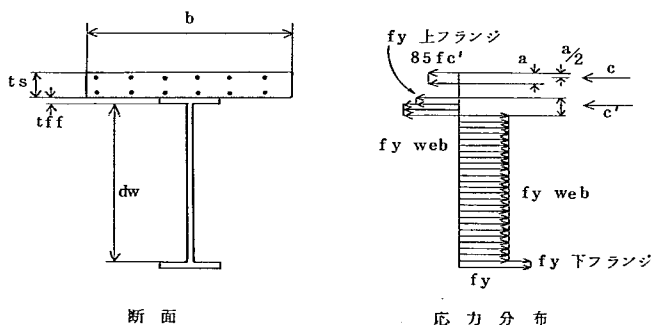


図 1.7.128

断面上で、完全塑性応力分布により生じるモーメントとして計算しなければならない。

(図 1.7.128)

(1) 完全塑性応力分布により生じるモーメントは以下のようにして計算される。

(a) 床版の圧縮力、 C は以下の方程式により与えられる値のうちの最小値に等しい。

$$(1) \quad C = 0.85 f_c' b t_s + (AF_y)_c$$

ここで b は床版の有効幅

t_s は床版厚

$(AF_y)_c$ は、床版の圧縮領域での鉄筋断面積と降伏点との積である。

$$(2) \quad C = (AF_y)_{bf} + (AF_y)_{tf} + (AF_y)_w$$

ここで、 $(AF_y)_{bf}$ は鋼断面下フランジの断面積と降伏点の積である。(もしカパープレートがある場合それも含む。)

$(AF_y)_{tf}$ は鋼断面上フランジの断面積と降伏点の積である。

$(AF_y)_w$ は、鋼断面ウェブの断面積と降伏点の積である。

$$(3) \quad C = \sum Q_u$$

ここで $\sum Q_u$ は、考慮している断面とモーメントゼロの断面の間のジベルの終局強度の合計。

(b) a は図 1.7.128 に示す床版の圧縮力から次式により計算される。

$$a = \frac{C - (AF_y)_c}{0.85 f_c \cdot b}$$

(c) 床版中の圧縮力が上記式(2)より小さいとき、鋼断面の上の部分には、以下の圧縮力をうける。

$$C' = \frac{\sum (AF_y)_c - C}{2}$$

(d) 鋼断面の一番上面からはかった中立軸の距離は次式のように求められる。

$C' < (AF_y)_{tf}$ のとき

$$\bar{y} = \frac{C'}{(AF_y)_{tf}} t_{tf}$$

$C' \geq (AF_y)_{tf}$

$$\bar{y} = t_{tf} + \frac{C' - (AF_y)_{tf}}{(AF_y)_w} d_w$$

(e) 曲げでの断面の最大強度は、中立軸に関するすべての力の一次モーメントであり、すべての力とそのモーメントの腕の長さは正とする。

(2) 合成げたは、その鋼断面が 1.7.125 (A)(1)(b)項と 1.7.125 (A)(1)(e)項の規定を満足し、鋼の応力-歪曲線が歪硬化前に降伏の、おどり場を示すときにコンパクトと見なす。

(B) コンパクトでない断面

鋼断面部が、1.7.128 (A)(2)項のコンパクトであるための条件を満たさない時、断面の最大強度は、

最初に降伏するモーメントをとる。

(C) 一般

死荷重をささえる、仮支柱がないけたの、最大圧縮応力度及び引張応力度は、合成前に $1.30 D_s$ により生ずる応力度と合成後に $1.30 [D_c + \frac{5}{3} (L+I)]$ により生ずる応力度との和となる。ここで D_s と D_c は、それぞれ合成前および合成後に作用する、死荷重によるモーメントである。

コンクリートが 28 日強度の 75 % になるまで、けたの中間に有効な支点が設置される場合には、応力は合成けたに作用する $1.30 [D + \frac{5}{3} (L+I)]$ の荷重により生ずるとしてよい。

1.7.129 合成けたの、負のモーメントに対する断面

負のモーメント領域のけたの最大強度は、1.7.125 及び 1.7.126 により計算するものとする。

コンクリートは、引張応力をもたないと仮定する。床版の鉄筋が、中間支点上で連続な場合には、鉄筋は、鋼断面と共同して働くと考えてよい。

1.7.130 合成箱げた

この節では、単純または連続のシングルセルのボックスガダーが二本以上並列された合成箱げたを扱う。一つの箱げたの上フランジの中心間距離は隣接する箱げたの隣り合うフランジの中心間距離に等しい箱げたに対して適用される。地覆、高欄を含む床版のはり出し部分は、隣接の箱げたの隣り合う上フランジの中心間隔の 60 % に限る。ただし 6 feet をこえてはならない。

(A) 最大強度

箱げたの最大強度は、1.7.127 項 1.7.128 項および 1.7.129 項規定に従って求めるものとする。さらに、負のモーメントに対する断面の最大強度は以下の値以下でなければならない。

$$M_u = F_{cr} S$$

ここで F_{cr} は、1.7.130 (B) 項に与えられた下フランジの板の座屈応力である。

(B) 荷重分配

各箱げたの活荷重曲げモーメントは、1.7.104 項により求めなければならない。

(C) ウェブ

ウェブの設計剪断力は、以下の式を用いて計算しなければならない。

$$V_w = V / \cos \theta$$

ここで V は一つの箱げたの全垂直せん断力の半分。

θ はウェブプレート鉛直からの傾き。鉛直線に対するウェブプレートの傾きは 1 : 4 をこえてはならない。

(D) 引張フランジ

単純げたの場合、下フランジはその幅が支間の $1/5$ をこえない限り、曲げに対し全幅有効と考えてよい。もしフランジ幅が支間の $1/5$ を越える場合、支間の $1/5$ に等しい分だけが有効と考える。懸連続げたについては、上記の規定の支間を反曲点間距離に適用する。

(E) 圧縮フランジ

- (1) 降伏応力 F_y に対して設計される補剛されない圧縮フランジは以下の式から得られた値以下の幅厚比をもたなければならない。

$$b/t = \frac{6,140}{\sqrt{F_y}} \quad \left(b/t = \frac{1,628}{\sqrt{F_y}} \right)$$

ここで b = ウェブ間のフランジ幅 (in)

t = フランジ厚 (in)

- (2) b/t がこれより大きく、 $13,300/\sqrt{F_y}$ ($3,527/\sqrt{F_y}$) をこえない場合には、補剛されない下フランジの座屈応力は以下の式で与えられる。

$$F_{cr} = 0.592 F_y \left(1 + 0.687 \sin \frac{C\pi}{2} \right)$$

ここで C は以下の値とする。

$$C = \frac{13,300 - \frac{b}{t}\sqrt{F_y}}{7,160} \quad \left(C = \frac{3,527 - (\frac{b}{t})\sqrt{F_y}}{1,899} \right)$$

- (3) b/t が $13,300/\sqrt{F_y}$ ($3,527/\sqrt{F_y}$) をこえる場合には、フランジの座屈応力は以下の式で与えられる。

$$F_{cr} = 105 \left(\frac{t}{b} \right)^2 \times 10^6 \quad \left(F_{cr} = 7.38 \left(\frac{t}{b} \right)^2 \times 10^6 \right)$$

- (4) 縦リブをつける場合には、フランジ幅方向に等間隔につけ、フランジと平衡でリブのつけ根のところに位置する軸に関し、各リブの慣性モーメントが以下に示す値以上でなければならない。

$$I_s = \phi t^3 w$$

ここで $\phi = 0.07 k^3 n^4$ n は 2, 3, 4 又は 5

$\phi = 0.125 k^3$ $n = 1$ のとき

w = 縦リブ間のフランジ幅、またはウェブから隣接する縦リブまでの距離

n = 縦リブ数

$R = 4$ 以下の値をとる座屈係数

降伏応力 F_y で設計した縦リブつきフランジでは、 w/t は、次式で与えられた値を越えてはならない。

$$w/t = \frac{3,070\sqrt{k}}{\sqrt{F_y}} \quad \left(w/t = \frac{814\sqrt{k}}{\sqrt{F_y}} \right)$$

これより大きく、 $6,650\sqrt{k}/\sqrt{F_y}$ ($1,763\sqrt{k}/\sqrt{F_y}$) をこえない w/t の値の場合には、リブを有するフランジの座屈応力は 1.7.130(図)(2)項により与えられる。ただし、この場合 C は次式の値を用いるものとする。

$$C = \frac{6,650\sqrt{k} - (w/t)\sqrt{F_y}}{3,580\sqrt{k}} \quad \left(C = \frac{1,763\sqrt{k} - (w/t)\sqrt{F_y}}{949\sqrt{k}} \right)$$

$6,650\sqrt{k/F_y}$ ($1,763\sqrt{k/F_y}$ をこえる w/t の値) に対しリブを有するフランジの座屈応力は、次式により与えられる。

$$F_{cr} = 26.2 k (t/w)^2 \times 10^6 \quad (F_{cr} = 1.84 k (t/w)^2 \times 10^6)$$

縦リブが用いられた場合に死荷重反曲点附近に横リブを少なくとも一本とりつけるのが望ましい。このリブの大きさは、縦リブと同じとする。

- (5) フランジにとりつけるリブの自由突出部の幅厚比は、次式で得られる値をこえてはならない。

$$b'/t' = \frac{2,600}{\sqrt{F_y}} \quad (b'/t' = \frac{68.9}{\sqrt{F_y}})$$

ここで b' = リブの自由突出幅

t' = リブの厚さ

(F) ダイアフラム

横方向の回転、変位、ねじれに抵抗するために各支点上で箱げたの中にダイアフラム、クロスフレームその他を配置しておかなければならない。中間ダイアフラム又はクロスフレームは、この示方書により設計された箱げたでは必要ない。

1. 7. 131 ジベル

(A) 一般

コンクリート床版と鋼げたにはさまれた面での水平せん断力は単純支間および連続げたの正のモーメント領域ではジベルにより受けもたなければならない。負のモーメント領域ではコンクリート中に埋めこまれた鉄筋を合成断面の一部と考える場合にはジベルをつける必要がある。コンクリート中につめこまれた鉄筋を負のモーメント領域で合成断面と見なさない場合には、この部分ではジベルをつける必要はない。しかし死荷重の反曲点附近の領域で 1. 7. 101 (A) (3) 項で規定される、補強ジベルをとりつける必要はある。

(B) ジベルの設計

ジベルの数は 1. 7. 101 (A) (2) 項により設計するものとする。また 1. 7. 101 (A) (1) 項および 1. 7. 101 (A) (3) 項により疲労をチェックしなければならない。

(C) 最大間隔

最大間隔は引張フランジの高応力の位置でジベルを入れるのをさけるため、ジベル間隔を広くした連続げたの中間支点上のほかは 24 インチをこえてはならない。

1. 7. 132 ハイブリッドげた

この節では(1)上下フランジに同じ公称最小降伏強度の鋼材を用い、ウェブはそれより低い公称最小降伏強度の鋼でできた非合成げた(2)、引張フランジはウェブや圧縮フランジより高い公称最小降伏強度の鋼で圧縮フランジはウェブと同じか又は、それ以上の公称最小降伏強度の鋼でできている合成げたの設計について取扱う。これは、単純げたおよび連続げたに適用できる。非合成げたや運

続けたの負のモーメント領域では圧縮フランジの、断面は引張フランジの断面と等しいか25%をこえない範囲で引張フランジより大きくしなければならない。連続げたで負のモーメントの領域を含む合成げたでは、圧縮フランジの断面は引張フランジの断面と等しいか小さくする。ウェブの公称最小降伏強度は引張フランジの公称最小引張強度の35%より小さくしてはならない。

1.7.125 から 1.7.131 項の規定は以下の修正を行なう以外はハイブリッドげたに適用できる。これらの項のすべての式では F_y は今考えている部分の鋼の公称最小降伏強度をとる。

1.7.133 非合成ハイブリッドげた

(A) コンパクトな断面

コンパクト断面の最大強度についての 1.7.125 (A) 項の方程式は、次式でおきかえなければならない。

$$M_u = F_{yf} Z$$

ここで F_{yf} はフランジの公称最小降伏強度であり、 Z は塑性断面係数である。ウェブ厚にはフランジの公称最小降伏強度 F_{yf} とウェブの公称最小降伏強度 F_{yw} との比をかけて Z を計算する。

(B) 横方向を拘束されたコンパクトでない断面

コンパクトな断面の最大強度についての 1.7.125 (B) 項の方程式は次式でおきかえられる。

$$M_u = F_{yf} S R$$

対称断面では

$$R = \frac{12 + \beta(3\rho - \rho^3)}{12 + \beta}$$

ここで

$$\rho = F_{yw} / F_{yf}$$

$$\beta = A_w / A_f$$

非対称断面では

$$R = 1 - \frac{\beta\phi(1-\rho)^2(3-\phi+\rho\phi)}{6+\beta\phi(3-\phi)}$$

ここで ϕ は、引張フランジの最外縁から中立軸までの距離を鋼断面の高さで割った値である。

(C) 横方向を拘束されないコンパクトでない断面

横方向に拘束されないコンパクトでない断面の最大強度については、1.7.125 (D)(1) 項の方程式は次式でおきかえられる。

$$M_u = F_{yf} S \left[1 - \frac{3F_{yf}}{4\pi^2 E} \left(\frac{L}{b'} \right)^2 \right] R$$

ここで R は上記 (B) より決定される。

(D) 垂直補剛材をもつけたのせん断耐力について

1.7.125 (E) (3) 項の方程式は、次式におきかえられる。

$$V_u = V_p C$$

1.7.125 ④(5)項のAについての式はハイブリッドげたには適用できない。

1.7.134 合成ハイブリッドげた

合成断面の最大強度はフランジの最初の降伏でのモーメントに1.7.133 ④項の(非対称断面についての) R を掛けるものとする。ここで ϕ は鋼げた部の高さに対する引張フランジの最外縁から合成後の中立軸までの距離の比である。

1.7.135 圧縮部材

(A) 軸圧縮力

(1) 最大耐力

中心軸圧縮柱の最大強度は次式で計算するものとする。

$$P_u = 0.85 A_s F_{cr}$$

ここで A_s は、柱の全有効断面積で F_{cr} は以下の二つの方程式のいずれか1つにより決定される。

$$\frac{KL_c}{r} \text{ が } \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \text{ より小さいか等しいとき}$$

$$F_{cr} = F_y \left[1 - \frac{F_y}{4\pi^2 E} \left(\frac{KL_c}{r} \right)^2 \right]$$

$$\frac{KL_c}{r} \text{ が } \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \text{ より大きいとき}$$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL_c}{r} \right)^2}$$

ここで K は座屈面での有効座屈長に関する係数

L_c は支点間の部材の長さ (インチ)

r は座屈面での回転半径 (インチ)

F_y は鋼の降伏応力 (psi)

E は 29,000,000 psi (2,038,700 kg/cm²)

F_{cr} は座屈応力 psi

(2) 有効長

有効座屈長係数 K は以下のように決定しなければならない。

(a) その端路で両方向に拘束されている部材について

K = リベット, ボルト, 溶接端継手では 0.75

K = ピン端では 0.875

(b) 対傾構横構又は、近接構造物へと取り付けられるなどして横方向に完全に支えられている構造になっていない部材での有効座屈長係数は、合理的な方法により決められなければならない。

* B.G. Johnston "Guide to Design Criteria for Metal Compression Members,
John Wiley and Sons Inc. New York, 1966

(B) 軸力と曲げのかかる部材

(1) 長大耐力

偏心荷重をうける beam-column に作用する最大軸力 P と最大曲げモーメント M は以下の方程式を満足しなければならない。

$$\frac{P}{0.85 A_s F_{cr}} + \frac{M_c}{M_u \left(1 - \frac{P}{A_s F_e}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{P}{0.85 A_s F_y} + \frac{M}{M_p} \leq 1.0$$

ここで

F_{cr} は, 1.7.135(A)(1) 項の方程式により決定される座屈応力

M_u は, 1.7.125(A)(B)又は(D)により求められる最大強度

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL_c}{r}\right)^2} \quad \text{曲げの面内における Euler の座屈応力}$$

C は, 等価モーメント係数

$M_p = F_y Z$ その断面の完全塑性モーメント

Z は, 塑性断面係数

$\frac{KL_c}{r}$ は, 曲げの面での有効細長比

(2) 等価モーメント係数

beam-column 端部は, 対傾構または近接の横方向に拘束する構造物へとつりつけることにより曲げの面横方向には拘束されているとすると, 等価モーメント係数 C , の値は次式で計算できる。

$$C = 0.6 + 0.4 a \text{ ただし } 0.4 \text{ より小さくはならない。}$$

ここで a は端モーメントの大きい方に対する小さい方の比である。端モーメントがそれぞれ逆方向に作用するとき, たとえば一端で時計まわりに, 他端で反時計まわりにモーメントが作用するとき, この比 a を正の値とし, 同方向に作用するときを負にする。すべての場合に係数 C を 1 とすると安全側になる。

1.7.136 添接, 継手および構造細目

(A) 連結部

(1) 一般

連結部は, 減少係数 ϕ を倍した最大強度が, 1.7.124 項で定められた荷重係数倍した設計荷重による断面力以上に設計しなければならない。減少係数倍した最大強度は, 表-3 に示してある。

(2) 溶接

グループ溶接での溶接金属の極限強度は, 母材の強度に等しいかそれより大きくしなければならぬ。隅肉溶接の溶接金属の極限強度は母材の強度にあわせる必要はない。

しかし、溶接法及び溶接金属は、健全な溶接を保障するものを選ばなければならない。有効溶接断面積は 1.7.129 項により定義されたようにする。

(3) ボルトとリベット

添接部の設計でボルトのせん断抵抗面積を計算する以外に呼び径を用いる。引張又はせん断と引張とを同時にうける継手では、高張力ボルトを用いるのが望ましい。

支圧型継手で、引張とせん断を同時にうける場合には、ボルトとリベットはせん断応力が次式の値をこえないように設計する。

$$F_{vc} \leq \sqrt{F_t^2 - (0.6 f_t)^2}$$

ここで F_u = 継手のせん断強度、表—3 に与えられている ϕF

f_t = 作用荷重による引張応力

(4) 摩擦接合

摩擦接合では、1.7.137 項による過載荷重での迂りを防ぐように設計しなければならない。ボルトの最大強度はこのような継手の設計では考えなくてよい。

(B) 継 手

(1) 添 接

添接はリベット高張力ボルト又は溶接を用いて作る。添接は引張、圧縮、曲げ又はせん断のいずれの場合でも添接個所での計算応力とその点の部材の強度の平均より小さくてはならない。

表—3

継手形式	強 度 (ϕF)
グループ溶接 ⁽¹⁾	$1.00 F_y$
すみ肉溶接 ⁽²⁾	$0.45 f_u$
低炭素鋼ボルト ASTM A307	
引 張	27 ksi (1898.1 kg/cm ²)
せん断 ⁽³⁾	25 ksi (1757.5 kg/cm ²)
力をうけもつリベット ASTA A502	
せん断—1	25 ksi (1757.5 kg/cm ²)
せん断—2	30 ksi (2109.0 kg/cm ²)
高張力ボルト ASTM A325	
引 張 ⁽⁵⁾	76 ksi (5342.8 kg/cm ²)
せん断 (支圧型) ⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾	54 ksi (3796.2 kg/cm ²)

注 (1) $-F_y$ = 部材の降伏点

(2) $-F_u$ = 溶接棒の最小強度ただし連結部の引張強度より大きくてはならない。

(3) ボルトのせん断面積では、つねの面積が用いられる。

(4) 支圧型継手の支圧応力は、被連結材の降伏応力をこえてはならない。

(5) A325 のボルトでは $\frac{3}{8}$ in より大きい直径ものについては、引張強度を減じる。表の値は $\frac{3}{8}$ in までの直径のボルトについてである。 $\frac{3}{8}$ in より大きい直径のものについては設計値は引張について $0.56 F_u$ せん断について $0.45 F_u$ 、但し F_u は ASTM で のボルトの最小引張強度で計算する。

ただしいかなる場合も、その部材の最大強度の 75 % より小さくてはならない。

添接の位置で、断面が変化するときには、添接板の最大強度は少くとも、添接される小さい方の断面の 75 % なければならない。

部材の最大強度は圧縮部材については、全断面有効と考える。

主に曲げの支配的な部材では、各フランジ断面の 15 % 以上が除かれた場合以外は、全断面を考える。15 % 以上除かれた場合には 15 % をこえる分について、差引く。引張部材と添接板については純断明が対応する全断面の 85 % より大きい場合には全断面を用い、85 % より小さい場合には、15 % をこえた分を差引く。

(2) 接合部材で、てこ作用をうけるボルト

直接引張荷重をうけるボルトは外力と継手部の変形によるてこ作用による引張も考慮して設計しなければならない。全引張力は、1.7.136 項の表 - 3 に与えられる値をこえてはならない。

てこ作用による引張力は次式で計算される。

$$Q = \left[\frac{3b}{8a} - \frac{t^3}{20} \right] T$$

ここで Q = ボルト 1 本当りのてこ力 (負の場合は 0)

T = 外力によるボルト 1 本当りの直接の引張力

a = ボルトの中心から板端までの距離

b = ボルトの中心から接合部のすみ肉溶接までの距離

t = 接合される部材の最小厚 (in)

(3) 剛接合

ラーメン隅角部におけるような剛結合部では、その剛性が設計の基本として仮定されている連続性に重要な意味をもつから最大荷重によりうけるモーメント、せん断力、軸力に対し、抵抗できるような設計しなければならない。

はりのウェブは、次式で与えられる厚さ以上でなければならない。

$$tw \geq \sqrt{3} \left(\frac{M_c}{F_y d_b d_c} \right)$$

ここで M_c は柱モーメント

d_b ははりの高さ

d_c は柱の高さ

接合ウェブの厚さが上式で与えられたより小さいときには対角線方向の補剛材か、接合部分のウェブにつけた補強板によりウェブの強度をあげなければならない。

一つの部材のフランジが他の部材のフランジ中に剛結されている継手では後者のフランジをささえるウェブの厚さ (t_w) と後者のフランジの厚さ (t_c) を次式でチェックしなければならない。
 $t_w < \frac{A_f}{t_b + 5k}$ のようなときには、第1の部材の圧縮フランジの反対側の第2の部材のウェブにまた $t_c < 0.4\sqrt{A_f}$ のようなときには第1の部材の引張フランジの反対側に補剛材をつける必要がある。

ここで t_w = 補剛されたウェブの厚さ

k = 補剛される部材のフランジ外縁からすみ内溶接の趾端までの距離

t_b = 集中荷重を分散するフランジの厚さ

t_c = 補剛される部材のフランジの厚さ

A_f = 集中荷重を分散するフランジ面積

1.7.137 過載荷重

(A) 非合成断面

非合成げたでは、 $D + \frac{5}{3}(L + I)$ によりもたらされるモーメントは $0.8 F_y S$ をこえてはならない。1A 荷重で設計されたけたでは、 $D + 2.2(L + I)$ によりもたらされるモーメントが $0.8 F_y S$ をこえてはならない。1.7.125(A) (3)項の規定でのモーメントの再分配のあらゆる場合には、上記の制限は、もとのモーメントでなく修正モーメントに適用する。

(B) 合成げた

合成げたでは、 $D + \frac{5}{3}(L + I)$ によるモーメントはその断面で最初に降伏するモーメントの95%をこえてはならない。1A 荷重により設計されるけたでは、 $D + 2.2(L + I)$ によるモーメントは、その断面で最初に降伏するモーメントの95%をこえてはならない。死荷重応力を計算する際、架設中の、仮支柱の有無を考慮しなければならない。

(C) 摩擦接合

荷重 $D + \frac{5}{3}(L + I)$ により生じる高力ボルト摩擦接合でのせん断力は ASTM 325 のボルトに対し 21,000 psi (1476 kg/cm²) をこえてはならない。作用荷重がせん断面での全締めつけ力を減じるような摩擦型のつぎ手でのせん断力と引張の合成力について、最大せん断応力は、以下の式から得られる値をこえてはならない。

A 325 のボルトに対して

$$f_v = 21,000 [1 - f_t / 0.53 F_u] \quad (f_v = 1,476 [1 - f_t / 0.53 F_u])$$

ここで F_u はボルトの引張強度

f_t は作用引張応力

1.7.138 疲 勞

(A) 一 般

作用荷重下、および許容疲労応力 F_r 下での鋼部材または、継手の疲労の可能性の解析は、1.7.3 項に従う。ただし1.7.1項および1.7.2項に与えられる基本設計に含まれる制限は適用しない。

(B) 合成げたの施工

(1) 床版鉄筋

合成作用を、負のモーメント領域まで考えるとき、床版鉄筋の応力範囲は、20,000 psi (1406 kg/cm²) に制限しなければならない。

(2) シベル

シベルは、1.7.10(A) 項により疲労に対し設計しなければならない。

(C) ハイブリッドげた

ハイブリッドげたは、1.7.112(C)項により、疲労に対し設計しなければならない。

1.7.139 た わ み

鋼または合成げたのたわみ制限は1.7.13項の規定に従わなければならない。