

◀ 資 料 ▶

板の座屈について

— DIN 4114 (1952.7) より —

正 員 大 宮 克 己

第 1 部 計 算 規 定

プレートガーダー腹板の座屈

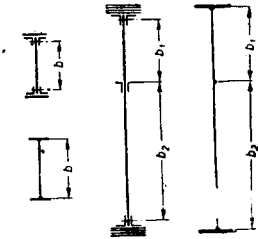
16. 概 説

16.1 腹板は座屈に対し十分安全であることを確認する。

16.2 腹板に座屈が現われる瞬間の平面応力状態は座屈応力により定められる。

16.3 座屈計算に当つては腹板を長さ a 、巾 b の四角な区画 (Feld) に分割する。区画長 a は垂直補剛材の中心間距離に相当し、区画巾 b は図-1 に示すように種々の場合がある。腹板の縁にフランジと腹板を連結するリベットが一行以上ある場合には b として対応するリベット線間の相対距離の算術平均をとる。

図-1



16.4 腹板はその区画の 4 辺がすべて単純支持であると考える。

16.5 座屈の計算に当つては常にリベット孔の控除を行わない総断面を用いる。外的荷重により腹板区画に

生ずる応力 (例えば等分布圧縮応力 σ_1 、あるいはその縁応力が σ_1 で直線的に変化する直応力、あるいはせん断応力 τ) には衝撃係数 ψ の規定 (DIN 1073, DIN 1055 Blatt 3, DIN 120, Deutsche Bundesbahn, Berechnungsgrundlagen für stählerne Eisenbahnbrücken) 及び動荷重係数 (Ausgleichszahl) ψ (DIN 120) を考慮するが、疲労係数 r は考慮しない。せん断応力 τ はせん断力が全巾 b あるいは $(b_1 + b_2)$ に等分布するという仮定で計算する。 σ_1 としてはその腹板区画 (16.3) の縁に生ずる最大圧縮応力の絶対値を用いる。せん断応力と引張応力のみの場合はさらに精密な計算を行わないかぎり引張応力は座屈計算に考慮してはならない。直線的に変化する直応力の状態は ψ の大きさと符号によつて示され、 ψ は表-1 第 1 列欄に両縁応力の商 $\psi = \sigma_2 : \sigma_1$ で与えられている。

16.6 σ_1 及び τ の決定にはその区画 (16.3) 内に生ずる曲げモーメントあるいはせん断力の最大値をもとにする。この最大値がその区画の端に生ずる場合には、区画の中央に生ずる曲げモーメントあるいはせん断力の値が上述の端より $b/2$ の距離にある場所の値以上であれば、この中央の値を σ_1 及び τ の計算に使用してもよい (表-1)。

17. 必要な座屈安全度の計算

17.1 理想座屈応力は板の完全な平面性、正確な中心作用力及び材料の理想的等方性の仮定のみならず、無制限に適応される Hooke の変形法則の仮定により定めるが、この応力は表-1 第 2 列欄の $\sigma_{K1} = k \sigma_e$ あるいは $\tau_{K1} = k \sigma_e$ により与えられる。ここで k は荷重状態、支持条件及び寸法比 $\alpha = a/b$ によつて変化する座屈係数であり、 σ_e は基本座屈応力 (Bezugsspannung)

で、これは座屈長 b の巾の広い板の Euler 座屈応力より導かれる。すなわち

$$\sigma_e = \frac{\pi^2 E t^2}{12 b^2 (1 - \mu^2)}$$

$$= 189.8 \left(\frac{100 t}{b} \right)^2$$

$$= (1378 t/b)^2 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

ここに E : 弾性係数、 $\mu = 0.3$: ポアソン比、 t : 板厚、である。

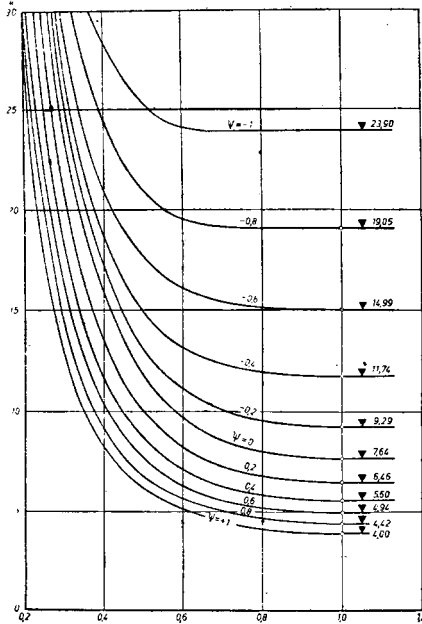
17.2 表-1 第 4 列欄は四辺が単純支持の矩形板の簡単な数種の荷重状態に対する座屈係数である。近似的な略算には $-1 \leq \psi \leq +1$ の直応力に対する k は図-2 より得られる。直応力とせん断応力を同時に受ける場合は両方の個々の座屈応力

表-1

1	荷 重	2	3	4
1		応 力 状 態	適 用 範 疇	座 屈 係 数
2	直線分布の圧縮応力 $0 \leq \psi \leq +1$	$\sigma_{K1} = k \cdot \sigma_e$	$\alpha \geq 1$ $\alpha < 1$	$k = \frac{8.4}{\psi + 1.1}$ $k = \left(\alpha + \frac{1}{\alpha} \right)^2 \frac{2.1}{\psi + 1.1}$
3	直線分布の圧縮応力及び引張応力の圧縮力の大きい場合 $-\psi < 0$	$\sigma_{K1} = k \cdot \sigma_e$		$k = (1 + \psi \cdot k' - \psi \cdot k' + 10 \psi \cdot (1 + \psi))$ ここに k' は $\psi = 0$ の場合の座屈係数 (第 2 行欄) または $\psi = -1$ の場合の座屈係数 (第 4 行欄)
4	直線分布の圧縮応力及び引張応力の大きい場合 $\psi = -1$ 又は引張応力の大きい場合 $\psi < -1$	$\sigma_{K1} = k \cdot \sigma_e$	$\alpha \geq \frac{2}{3}$ $\alpha < \frac{2}{3}$	$k = 23.9$ $k = 15.87 + \frac{1.87}{\alpha^2} + 8.6\alpha^2$
5	等分布せん断応力	$\tau_{K1} = k \cdot \sigma_e$	$\alpha \geq 1$ $\alpha < 1$	$k = 5.34 + \frac{4.00}{\alpha^2}$ $k = 4.00 + \frac{5.34}{\alpha^2}$

* 国鉄鉄道技術研究所

図-2



σ_{1Ki} 及び τ_{Ki} を計算に用いる。

17.3 個々の座屈応力 σ_{1Ki} , τ_{Ki} 及び 16.5, 16.6 より得た応力 σ_1, τ より理想合成応力 (Vergleichsspannung) は次式で計算される。

$$\sigma_{VKi} = \frac{1+\psi}{4} \frac{\sigma_1}{\sigma_{1Ki}} + \sqrt{\left(\frac{3-\psi}{4} \cdot \frac{\sigma_1}{\sigma_{1Ki}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{Ki}}\right)^2}$$

特に $\tau \equiv 0$ の場合は簡単に $\sigma_{VKi} = \sigma_{1Ki}$, また $\sigma \equiv 0$ の場合は $\sigma_{VKi} = \tau_{Ki} \sqrt{3}$ となる。 σ_{VKi} が鋼材の比例限を越える場合には理想座屈応力はすべて割り引きを行わなければならないから、理想合成応力 σ_{VKi} に対し

表-2

σ_{VKi} kg/cm ²	St 37			St 52		
	σ_{VK} kg/cm ²	Belastungsfall 1 σ_{VKi}	Belastungsfall 2 τ_{Ki}	σ_{VK} kg/cm ²	Belastungsfall 1 σ_{VKi}	Belastungsfall 2 τ_{Ki}
1 870	2 000	2 50	2 18	2 800	2 50	2 19
1 920	2 000	2 72	2 38	2 800	2 50	2 19
2 000	1 985	2 75	2 41	2 800	2 50	2 19
2 100	2 038	2 78	2 39	2 800	2 50	2 19
2 200	2 077	2 73	2 39	2 800	2 50	2 19
2 300	2 100	2 71	2 37	2 800	2 50	2 19
2 400	2 130	2 68	2 36	2 800	2 50	2 19
2 500	2 158	2 67	2 35	2 800	2 50	2 19
2 600	2 178	2 63	2 30	2 800	2 50	2 19
2 700	2 198	2 63	2 30	2 800	2 50	2 19
2 800	2 208	2 59	2 28	2 800	2 50	2 19
2 880	—	—	—	2 880	2 62	2 28
2 900	2 221	2 57	2 28	2 899	2 64	2 31
3 000	2 233	2 54	2 22	2 974	2 63	2 31
3 200	2 252	2 49	2 18	3 077	2 62	2 30
3 400	2 257	2 46	2 15	3 149	2 61	2 28
3 600	2 260	2 43	2 12	3 203	2 59	2 27
3 800	2 261	2 39	2 09	3 242	2 57	2 25
4 000	2 300	2 37	2 07	3 284	2 63	2 22
4 200	2 308	2 33	2 04	3 313	2 49	2 18
4 400	2 315	2 32	2 03	3 338	2 48	2 17
4 600	2 321	2 27	1 99	3 359	2 45	2 14
4 800	2 326	2 26	1 98	3 378	2 43	2 13
5 000	2 331	2 23	1 95	3 384	2 39	2 08
5 500	2 340	2 19	1 92	3 428	2 33	2 04
6 000	2 347	2 16	1 89	3 450	2 30	2 01
6 500	2 353	2 12	1 86	3 489	2 25	1 97
7 000	2 359	2 08	1 83	3 484	2 21	1 93
8 000	2 365	2 06	1 80	3 506	2 17	1 89
10 000	2 374	2 00	1 75	3 532	2 09	1 83
20 000	2 389	1 86	1 63	3 574	1 91	1 67
∞	2 402	1 71	1 50	3 600	1 71	1 50

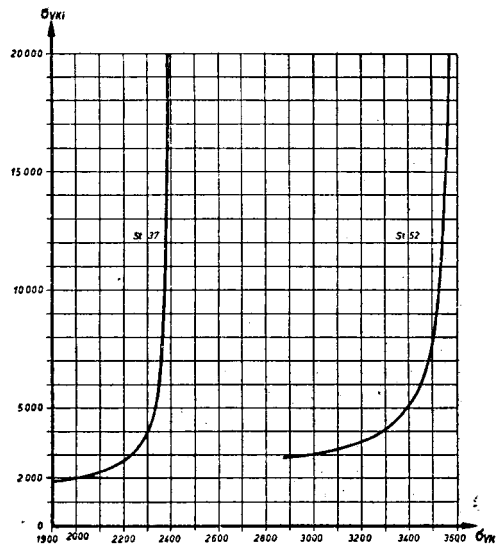
17.7 Im Hochbau darf bei Trägern, deren Stieghöhe nicht größer als 1,00 m und deren Biegedruckhöhe

て割り引いた合成応力 σ_{VK} を決定し、座屈安全率は次式により計算する。

$$\nu_B = \frac{\sigma_{VK}}{\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2}}$$

σ_{VKi} の値に対し所要の割り引きをした値 σ_{VK} は表-2 より得られ、この表の中間値は直線的に挿入する。略算には σ_{VK} は近似的に 図-3 より直接得られる。表-2 及び 図-3 は与えられた応力値 $\sigma_{VK} = \nu_B \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2}$ よりそれに相当する理想合成応力 σ_{VKi} を逆に導いたものである。設計のときこの σ_{VKi} に達することがあり $\sigma_{VK} = \sigma_{VKi}$ の場合には $\nu_B = \nu_{Bi}$ となる。

図-3



17.4 座屈安全率は理想合成応力が $\sigma_{VKi} \leq 3 750 \text{ kg/cm}^2$ の場合、荷重状態 1 (主荷重) では $\nu_B \geq 1.35$, 荷重状態 2 (主荷重及び従荷重) では $\nu_B \geq 1.25$ でなければならない。合成応力が $\sigma_{VKi} > 3 750 \text{ kg/cm}^2$ の場合には座屈安全率は小さくし、荷重状態 1 に対しては

$$\nu_B \geq 1.35 \left[0.9 + 0.1 \left(\frac{3 750}{\sigma_{VKi}} \right)^2 \right]$$

また荷重状態 2 に対しては

$$\nu_B \geq 1.25 \left[0.9 + 0.1 \left(\frac{3 750}{\sigma_{VKi}} \right)^2 \right]$$

とし、安全率は一般にこれら両方の荷重状態の 1 つに対してのみ計算すればよい。

17.5 圧縮材の構造部分を構成している矩形板の座屈計算に当つては、構造部分の板の座屈安全率 ν_B は部材全体の曲げ座屈安全率 ν_K より小さくならないようにし、なお合成応力 $\sigma_{VKi} > 3 750 \text{ kg/cm}^2$ の場合には次式を用いる。

$$\nu_B \geq \left[0.9 + 0.1 \left(\frac{3750}{\sigma_{VKi}} \right)^2 \right] \nu_K$$

座屈安全率 ν_K は鋼材の材質及び座屈計算に用いる細長比 λ により変化し、両種の鋼材に対しては表-2 にその理想座屈応力 σ_{VK} と関連させて示している。座屈安全率は必要に応じ板厚あるいは補剛材の曲げ剛性を大きくすることにより、あるいは補剛材の追加配置によつて必要な最小値まで高める。精密な計算を行わずに補剛材を設けなくてもよい板厚は原文 Tafel 3 より計算される。この場合にも合成応力 $\sigma_{VKi} > 3750 \text{ kg/cm}^2$ なる場合は上に示した軽減を行う。

17.6 圧縮材の構造部分を構成している矩形板の座屈計算に当つて、この圧縮材が横力による曲げによつてさらに応力を受けている場合の必要な板の座屈安全率 ν_B^{NM} は次式により算出する。

$$\nu_B^{NM} = \frac{\nu_K \sigma_N + \nu_B \sigma_M}{\sigma_N + \sigma_M}$$

またここで合成応力 $\sigma_{VKi} > 3750 \text{ kg/cm}^2$ の場合は必要な板の座屈安全率は上に示したように軽減する。

$$\nu_B^{NM} \geq \left[0.9 + 0.1 \left(\frac{3750}{\sigma_{VKi}} \right)^2 \right] \frac{\nu_K \sigma_N + \nu_B \sigma_M}{\sigma_N + \sigma_M}$$

この式で荷重状態 1 の場合には $\nu_B = 1.35$ 、荷重状態 2 の場合には $\nu_B = 1.25$ を用いる。 σ_N 及び σ_M は軸力及び曲げモーメントによる応力で各 10.02 条の式 I) あるいは II) の第 1 項及び第 2 項に相当する。曲げ座屈安全率 ν_K は圧縮材の細長比 λ に関係し、 λ の 10 位の数に対して指針の原文 Tafel 3 よりうることができる。

17.7 建築に使う桁で腹板高さが 1.00 m 以下で、かつその曲げ圧縮縁応力が曲げ引張り縁応力より小なる場合は、荷重状態 1 (主荷重) では最大平均せん断応力の 2.6 倍が σ_{VK} の値を超過しないとき、また荷重状態 2 (主荷重及び従荷重) ではその 2.3 倍が σ_{VK} の値を超過しないときには座屈計算は省略してよい。この σ_{VK} の値は表-2 あるいは図-3 の $\sigma_{VKi} = 1760 (100 \cdot t/b)^2 \text{ kg/cm}^2$ の値と関連するものである。またこの場合には一般に両荷重状態の 1 つに対してのみ計算を行えばよい。

17.8 完全にコンクリートで包まれた桁の腹板の座屈安全率は計算する必要はない。

18. 腹板の補剛

18.1 16.3 に述べた腹板を長さ a 、巾 b の区画に分割することはその腹板の区画の四周を動かさないように支えることが前提である。一般にこの支持は桁のブ

1.0 $\geq \Omega \geq 0.5$ \cdot α のすべてに対し

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha \leq \frac{1}{\sqrt{1-2\Omega}} \text{ に対し} \\ \alpha > \frac{1}{\sqrt{1-2\Omega}} \text{ に対し} \end{array} \right.$$

* ランジ及び横桁と連結されている柱 (半ラーメン柱) によつてなされるが、張板構造の場合には縦横の間仕切りあるいは縦横の連結部材によつてなされる。

18.2 この分割に垂直あるいは水平補剛材を使用する場合には原則的には次の 2 つの方法がある。すなわち垂直及び水平補剛材が相当大きな曲げ剛性 (最小剛度については Ri 18.1 参照) を有し、その区画の座屈応力が少なくとも最大応力を受けている分割区画に対し (周辺単純支承の仮定で) 17.3 により与えられる値まで高めうる場合、または補剛材の曲げ剛性が最小剛度 (Ri 18.2 参照) 以下で、座屈係数 k はその分割区画の有する座屈係数より小さくなるが、しかし必要な安全率をうるにはなお十分な大きさを有する場合とである。この第二の方法は特に合理的である。なぜならば最小剛度より得た区画の座屈応力の増大は、しばしば塑性領域における割引きによつて使用できなくなるからである。

18.3 補剛材が腹板と連結されたため補剛板に座屈荷重が働いたとき比例限 σ_p を越す軸方向圧縮応力が生ずる場合には、補剛材は腹板とともに st 37 でなく st 52 で作つてもよい。すべての構造用鋼材に対し $\sigma_p = 0.8 \sigma_F$ とする。

18.4 腹板の水平補剛材が垂直補剛材、半ラーメン柱、縦間仕切り等と交わる場所でその断面が減少することなく貫通し、あるいは同一強度で接合されている場合には、桁全体の断面積及び断面 2 次モーメントの計算にさいし水平補剛材を一緒に考慮してよい。この場合補剛材が受け持つ軸力の伝達はその連結部で十分確保されているものと仮定する。

18.5 補剛材断面の選定には板の座屈するときの補剛材の状態が重要となり、その曲げ剛性が板の小さな座屈のため局部的変形で低下するような補剛材は避けるべきである。

第 2 部 計算指針

規定 17 条の指針 17

Ri 17.1 四方より圧縮される板の座屈

Ri 17.11 単純支持の矩形板がその一辺 b に沿い等分布圧縮応力 σ_x 、また辺 a に沿い等分布圧縮応力 $\sigma_y = \Omega \sigma_x$ 、ただし $0 \leq \Omega \leq 1$ を受けている場合 (図-4)、その理想座屈限界は $\sigma_{xKi} = k_x \sigma_e$ で得られる。この σ_e は規定 17.1 に与えられており、また座屈係数 k_x には次の式が用いられる²⁹⁾。

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} k_x = \frac{\left(\frac{1}{\alpha} + \alpha \right)^2}{1 + \Omega \alpha^2}$$

$$k_x = 4(1 - \Omega)$$

Ri 17.12 理想合成応力は

$$\sigma_{VKi} = \sigma_{xKi} / \sqrt{1 + \Omega^2 - \Omega}$$

また座屈安全率は次のようになる。

$$\nu_K = \frac{\sigma_{VK}}{\sigma_x / \sqrt{1 + \Omega^2 - \Omega}}$$

ここで σ_{VK} は σ_{VKi} の値に所要の割り引きをした合成応力で規定の表-2より得られる。この中間値は直線的に挿入した近

似的略算には 図-3 を使用してもよい。

Ri 17.13 座屈安全率の必要な最小値は規定 17.4 を用いる。

Ri 17.14 Ri 17.11 に与えられた関係式は横方向にのみ等分布圧縮される矩形板の理想座屈応力の計算にも使用される。この板の理想的支持条件は特に上下縁

表-3

Beiwerte	Bild 26a		26e		26f		26g		26h	
	k	$\frac{t}{a}$	k	$\frac{t}{a}$	k	$\frac{t}{a}$	k	$\frac{t}{a}$	k	$\frac{t}{a}$
Bild 26a	4,00	1,00	5,20	0,79	6,97	0,67	1,28	1,63	0,43	
26e	7,81	0,98	12,10	0,77	13,56	0,65	6,26	1,58	1,71	
26c	7,81	0,98	9,89	0,80	13,56	0,65	1,64	1,67	0,57	

*) C. F. Kollbrunner u. G. Herrmann, Schweiz. Bauzeitung 1948, S. 146.

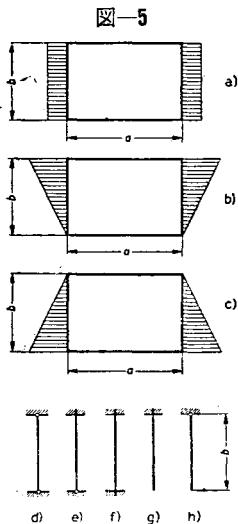


表-3 に示される座屈係数が適応される²⁷⁾。

規定 18 条の指針 18

Ri 18.1 腹板を個々の区画に分割するに必要な垂直

26) K. Klöppel u. K.H. Lie, Z. VDI 1942, S. 71
27) C.F. Kollbrunner u. G. Herrmann, Schweiz. Bauzeitung 1948, S. 146

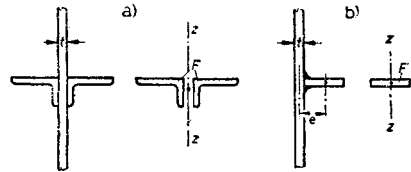
及び水平補剛材の最小剛度

Ri 18.11 理想座屈応力 (規定 17) に対して板が座屈を始めるある決つた理想座屈面がある。補剛材はこれらの変形に抵抗し、それによつて理想座屈応力を高める使命を持つ。補剛してないと仮定した板が座屈するとき全然曲がりが生じないような場所 (補剛してない板の座屈面の節線) に配置された補剛材は何の働きもしない。

Ri 18.12 補剛材には垂直補剛材あるいは水平補剛材、特殊の場合には斜補剛材²⁸⁾がある。大きな腹板区画には垂直及び水平補剛材を一緒にした補剛格子を配置することができる。補剛の効果は垂直及び水平補剛材がその端で剛に連結され、また格子の場合にはその交点で剛に接合されているときには高められる。

Ri 18.13 補剛材は板の片側あるいは両側に配置することができる。補剛材の総断面積 F の重心点が板の中央面内にある場合 (対称配置, 図-6 a) 参照) には、補剛材の曲げ剛性の計算に重心軸 $z-z$ に関する補剛材総断面積の 2 次モーメント $J = J_Z$ を用いる。断面 F の重心点が腹板の中央面より e の距離にある場合 (片側配置, 図-6 b) 参照) には、補剛材の曲げ剛性の計算に 2 次モーメント $J = J_Z + F \left(e - \frac{t}{2} \right)^2$ を用いる。

図-6



Ri 18.14 腹板の理想座屈応力を最大応力を受ける分割区画 (周辺単純支持と考へて) の理想座屈応力まで高め、またそれにより腹板の座屈計算のとき腹板の単純支持の区画に分割するのを可能にするために規定 18.1 及び 18.2 により垂直あるいは水平補剛材が持たねばならない曲げ剛度の最小値の決定に当つて、理想仮定をもとにして計算した断面 2 次モーメントの最小値は次のようになる。

$$J^* = r^* \frac{bt^3}{12(1-\mu^2)} = 0.092 r^* bt^3$$

腹板を上記述べた単純支承の区画に分割する場合には **Ri 18.13** によつて計算した補剛材の 2 次モーメントは常に $J \geq 0.092 r^* bt^3$ の条件を満たさなければならない。ここに

a, b : 補剛材により分割された腹板区画の長さ及び巾 (cm)

28) W. Burchard, Ing. Archiv. 1937, S. 332, A. Kromm, Habilitation, Darmstadt 1951.

t : 腹板厚 (cm)

μ : 構造用鋼のポアソン比, 0.3

r^* : 腹板区画の荷重, 寸法比 $\alpha = a/b$,

補剛材の配置及び(軸方向に)載荷される補剛材の場合には $\delta = \frac{F}{b \cdot t}$

によつて変化する係数²⁹⁾

F: 補剛材の総断面積 (cm²)

Ri 18.15 設計上補剛材に軸応力のかからない場合(表-5 3, 5 及び 8~15 行欄)あるいは軸応力が σ_1 より小さい場合(表-5 1, 6 及び 7 行欄)に補剛材の理想合成応力 σ_{VKi} が比例限 $\sigma_p = 0.8\sigma_F$ を越せば, 一般には考慮しないが, 係数 r^* は理論的に減少する。この場合には安全度は高められる。

Ri 18.16 表-5 に簡単な荷重状態及び数種の補剛材配置に対する r^* の近似式を示す。この r^* を考慮して **Ri 18.13** より **Ri 18.15** によつて計算した補剛材を用いると, 実用上腹板の座屈応力を斜線を施した分割区画の四辺を単純支持としたときの値まで高めることができる。種々の大きさの座屈の危険がある分割区画が存在するときは座屈の危険の最も大きい分割区画に斜線を施した。

Ri 18.17 腹板が直線的に変化する直応力と等分布せん断応力とを同時に受ける場合には, 概算的に次のようにしてよい。

$$r^* = r_1^* \frac{\bar{\nu}_{B1}}{\nu_{B1}} + r_2^* \frac{\bar{\nu}_{B2}}{\nu_{B2}}$$

29) 次の文献を参照, S. Timoschenko, Eisenbau 1921, S. 147, E. Seydel, Ing-Archiv. 1933, S. 169, F. Schleicher, Bauing. 1934, S. 505, 及び 1939, S. 217, E. Chwalla, Vorbericht 2 Int. Kongr. IVBH, Berlin 1936, S. 957, 及び Stahlbau 1936, S. 161, R. Barbré Bauing. 1936, S. 268 及び Ing-Archiv. 1937, S. 117, M. Hampl, Stahlbau 1937, S. 16, H. Fröhlich, Bauing. 1937, S. 673, G. Knipp, Bauing. 1941, S. 257, R. Stiffel, Bauing, 1941, S. 367, A. Kromm, Stahlbau 1944, S. 81, E. Chwalla, Stahlbau 1944, S. 84, F.W. Bornscheuer, Diss. T.H. Darmstadt 1946.

表-4

荷重及び補剛材配置		適用範囲	最小剛比
直線変化の圧縮応力			
1 中央に1本の水平補剛材		$0 \leq \psi \leq 1$	$r^* = (0.33 + 0.47\psi) \left\{ \frac{1}{2}(1 + 2\psi) - \psi - \frac{\alpha^2}{2} + \frac{1 + 2\psi}{2} \right\}$
		$\alpha < \sqrt{8(1 + 2\psi) - 1}$	$r^* = (0.33 + 0.47\psi) \left\{ \frac{1}{2}(1 + 2\psi) - \psi - \frac{1 + 2\psi}{2} \right\}$
2 1/2点に2本の等しい水平補剛材		$\psi = 1$	$r^* = \frac{\alpha^2}{3} [36(1 + 3\psi) - 2] - \frac{\alpha^4}{3} + \frac{1 + 3\psi}{3}$
		$\alpha < \sqrt{18(1 + 3\psi) - 1}$	$r^* = \frac{1}{3} [18(1 + 3\psi) - 1]^2 + \frac{1 + 3\psi}{3}$
3 中央に1本の垂直補剛材		$0 \leq \psi \leq 1$	$r^* = \frac{4 \left(\frac{4}{\alpha^2} - \frac{\alpha^2}{4} \right)}{7\alpha^2 \left(1 - \frac{7\alpha^2}{12\alpha^2 - 48} \right)}$
		$0.4 \leq \alpha \leq 1.4$	垂直補剛材は実用上効果なし
4 中央に各1本の水平及び垂直補剛材		$\alpha > 1.4$	垂直補剛材は実用上効果なし
		$0.9 \leq \alpha \leq 1.1$	$r_c^* = \frac{(1 + \alpha^2)^2 (4(1 + 2\psi) - 1)}{2(1 + \alpha^2)}$ ここに $\rho = \frac{r_c}{r_c} = \frac{J_c}{J_c}$
曲げ応力			
5 中央に1本の水平補剛材			$r^* = 1.3$
6 圧縮側より1/4の点に1本の水平補剛材		$\alpha \leq 0.5$	$r^* = 2.4 + 18.4\delta$
		$\alpha > 0.5$	$r^* = (12 + 92\delta)(\alpha - 0.3)$ 但し $r^* = 16 + 200\delta$ より小
7 圧縮側より1/2の点に1本の水平補剛材		$0.5 \leq \alpha \leq 1.0$	$r^* = (21.3 + 112.6\delta)(\alpha - 0.1)$
		$\alpha > 1.0$	$r^* = (32.0 + 168.9\delta)(\alpha - 0.4)$ 但し $r^* = 50 + 200\delta$ より小
8 中央に1本の垂直補剛材		$0.6 < \alpha < 0.935$	$r^* = 6.2 - 12.7\alpha + 6.5\alpha^2$
		$\alpha > 0.935$	垂直補剛材は実用上効果なし
等分布せん断応力			
9 中央に1本の水平補剛材		$0.5 \leq \alpha \leq 2.0$	$r^* = 5.4\alpha^2 (2\alpha + 2.5\alpha^2 - \alpha^3 - 1)$
10 1/2点に2本の等しい水平補剛材		$0.3 \leq \alpha \leq 1.0$	$r^* = 12.1\alpha^2 (4.4\alpha - 1)$
11 1/4点に1本の水平補剛材		$0.5 \leq \alpha \leq 2.0$	$r^* = 7.2\alpha^2 (1 - 3.3\alpha + 3.9\alpha^2 - 1.1\alpha^3)$
12 中央に1本の垂直補剛材		$0.5 \leq \alpha \leq 2.0$	$r^* = \frac{5.4}{\alpha} \left(\frac{2}{\alpha} + \frac{2.5}{\alpha^2} - \frac{1}{\alpha^3} - 1 \right)$
13 1/2点に2本の等しい垂直補剛材		$1.0 \leq \alpha \leq 3.3$	$r^* = \frac{12.1}{\alpha} \left(\frac{4.4}{\alpha} - 1 \right)$
14 1/4点に1本の垂直補剛材		$0.5 \leq \alpha \leq 2.0$	$r^* = \frac{7.2}{\alpha} \left(1 - \frac{3.3}{\alpha} + \frac{3.9}{\alpha^2} - \frac{1.1}{\alpha^3} \right)$
15 中央に各1本の水平及び垂直補剛材		$0.5 \leq \alpha \leq 2.0$	$r^* = 6.0 \left(\frac{1 + \alpha^2}{\alpha} + \alpha^2 \right)$ ここに $\rho = \frac{r_c}{r_c} = \frac{J_c}{J_c}$

ここに

r_1^* : もつばら直応力を受ける場合の最小剛比

r_2^* : もつばらせん断応力を受ける場合の最小剛比

ν_{B1}, ν_{B2} : 座屈する危険のある分割区画が単に直応力のみあるいはせん断応力のみを受けている場合

に規定 17.3 により計算した座屈安全率

$\bar{\sigma}_{B1}, \bar{\sigma}_{B2}$: その最小剛比が r_1^* または r_2^* のとき, 最大の座屈の危険性のある分割区画に対し直応力とせん断応力が同時に作用した場合の座屈安全率

Ri 18.2 補剛された腹板の座屈応力

Ri 18.21 区画の補剛を Ri 17.1 に与えられた最小剛比 r^* 並びに規定 18.2 の第二の方法で設計するときは, 補剛した区画の座屈係数 k を計算し, そして規定 17.4 に希望する安全率 ν_B を確認する。このとき補剛に用いられる r の値は最小剛比 r^* より小さい。数種のおもな荷重状態と補剛材配置に対する周辺単純支持のときの座屈係数 k は表一5より得られる。寸法比 α による座屈係数 k の変化は 図一7 より 図一9 に数種の剛比 r に対し示されている。特に表一6 第6行欄の座屈係数 k は, $r_L = r_Q$ 及び $r_L = 1/2 r_Q$ の特殊な場合には, 図一9 及び 図一10 から正確に得られる。この場合

$$r = \frac{J}{0.092 bt^3}, \quad \delta = \frac{F}{b \cdot t}$$

とする。ここに

$a = \alpha \cdot b$: 区画の長さ (cm)

b : 区画の巾 (cm)

t : 板厚 (cm)

F : 補剛材の総断面積 (cm^2)

J : Ri 18.13 により計算した補剛材総断面の 2 次モーメント (cm^4)

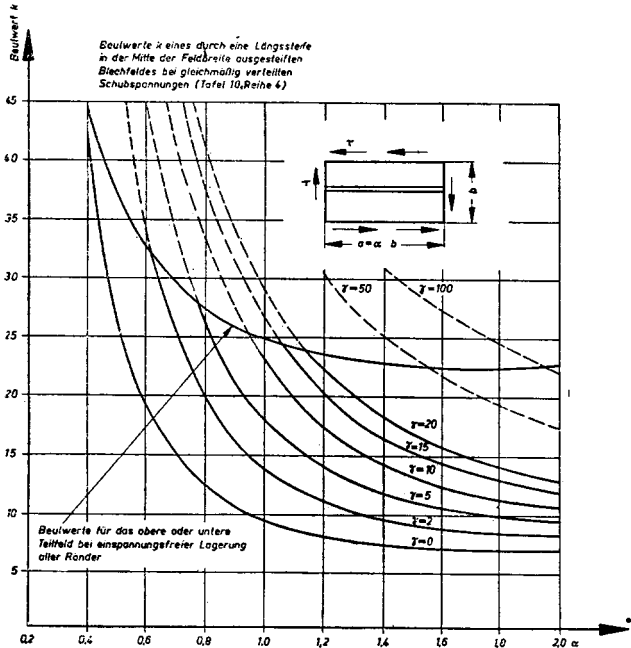
$r \geq r^*$ の場合には座屈係数 k はすべて中間補剛材により形成される斜線を施した座屈の危険のある分割区画に対して規定の表一1 より計算する。

Ri 18.22 弾性的中間補剛材によつて補剛された板に左右の縁 b 上に直線的に変化する圧縮応力 (縁応力 σ_1 及び $\psi \cdot \sigma_1$, ただし $0 \leq \psi \leq 1$) 及び等分布せん断応力 τ が作用している場合には座屈計算は近似的に規定 17.1, 17.3, 17.4 と同様に行う。ここで個々の座屈応力 σ_{Ki} 及び τ_{Ki} は弾性的中間補剛材によつて補剛された板に対し 表一5

表一5

荷重及び補剛材配置	適用範囲	座屈係数 k
1 巾中に直線分布の圧縮応力 σ_1 中央に1本の水平補剛材 $\psi \sigma_1$	$\alpha \leq \sqrt{1+2\tau}$	$k = \frac{2}{0.95(\psi+1)} \cdot \frac{(1+\alpha^2+2\tau)}{\alpha^2(1+2\alpha)}$ 31)
	$\alpha > \sqrt{1+2\tau}$	$k = \frac{4}{0.95(\psi+1)} \cdot \frac{1+\sqrt{1+2\tau}}{1+2\alpha}$ 32)
2 巾中に直線分布の圧縮応力 σ_1 中央に1本の垂直補剛材	$0.4 \leq \alpha \leq 1.0$	$k = \frac{A - \sqrt{A^2 - B}}{1.43 \alpha^2 (\psi + 1)}$ $A = 1.5(1 + \alpha^2 + 0.167(\psi + \alpha^2) + 3.33 \alpha^2 \tau)$ $B = (1 + \alpha^2)(\psi + \alpha^2)^2 + 2 \alpha^2 \tau [(1 + \alpha^2) + (\psi + \alpha^2)]$ 33)
3 巾中に等分布の圧縮応力 σ_1 中央に1本の水平補剛材	$0.9 \leq \alpha \leq 1.1$	$k = \frac{(1 + \alpha^2) + 2(r_L + r_Q \cdot \alpha^2)}{\alpha^2(1 - 2\delta)}$ 34)
4 等分布せん断応力 τ 中央に1本の水平補剛材	$0.5 \leq \alpha \leq 2.0$	$k = \frac{433(1+\alpha^2)}{\alpha^2 \sqrt{\zeta}}$ $\zeta = \frac{10.24(1+\alpha^2+2\tau)+3.16(1+9\alpha^2\tau)+4.05\tau}{(1+\alpha^2)(1+9\alpha^2\tau+2\tau)+162\tau(1+\alpha^2)+9\alpha^2\tau^2} + \frac{10.24(1+\alpha^2+0.41(\psi+2\tau)+13.11\tau)}{(1+\alpha^2)(\psi+\alpha^2+2\tau)+0.9\alpha^2\tau(162(1+\alpha^2))}$ 35)
5 等分布せん断応力 τ 中央に1本の垂直補剛材	$0.5 \leq \alpha \leq 2.0$	$k = \frac{433(1+\alpha^2)}{\alpha^2 \sqrt{\zeta}}$ $\zeta = \frac{10.24(1+\alpha^2+0.41(1+9\alpha^2\tau)+13.11\tau)}{(1+\alpha^2)(1+9\alpha^2\tau+2\tau)+162\tau(1+\alpha^2)+9\alpha^2\tau^2} + \frac{10.24(1+\alpha^2+0.41(\psi+2\tau)+13.11\tau)}{(1+\alpha^2)(\psi+\alpha^2+2\tau)+0.9\alpha^2\tau(162(1+\alpha^2))}$ 36)
6 等分布せん断応力 τ 中央に1本の垂直補剛材	$0.5 \leq \alpha \leq 2.0$	$k = 2.60 \frac{1+\alpha^2}{\alpha^2} \sqrt{(1+\alpha^2+2(r_L+\alpha^2 r_Q))}$ $\frac{r_L}{r_Q} = \frac{r_1}{r_2}$ の時の正確な値は 図 30 図 31 37)

図一7



より計算される。 r が Ri 18.17 によつて概算的に決めた値 r^* に等しいか, あるいはこれより大きければ中間補剛材により形成される周辺支持と仮定した分割区画に対する座屈計算を行う。

