

Br. 77-01

土研資料第1277号

土木研究所資料

第1277号

鋼製箱げた橋の設計および架設についての調査報告書

(Report of the Merrison Committee)

第Ⅲ編 翻訳

昭和52年 8 月

建設省土木研究所

構造橋梁部 橋梁研究室

ま え が き

本報告書は、1973年に発表された Merrison Committee の報告書 “ Inquiry into the Basis of Design and Method of Erection of Steel Box Girder Bridges ” の第Ⅲ編を全訳したものである。

Merrison Committee は、1970 年前後に世界各地で発生した鋼製箱げた橋の落橋事故の原因を究明し、鋼製箱げた橋の合理的な設計・施工基準を作成するために、英国政府の委託により設置されたものである。本報告書に収録した Merrison Committee の調査報告書は、鋼製箱げた橋の設計・施工に関してきわめて厳密な照査を義務づけ、また、荷重係数設計法を本格的に導入したこと等の面で世界的に注目されており、我国における道路橋示方書の改訂に際しても参考にすべき点が多いと思われるので、建設省内での業務資料として、ここに全訳を行ったものである。

なお、翻訳文の作成にあたっては、総合技術コンサルタント宮本哲也氏に御協力いただいた。ここに感謝の意を表するしだいである。Merrison Committee 報告書の第Ⅳ編については、すでに昭和 51 年 3 月に土木研究所資料第 1123 号として、また第Ⅰ・Ⅱ編については昭和 52 年 3 月に土木研究所資料第 1226 号として印刷を行ったので、参照されたい。

昭和 52 年 8 月

建設省土木研究所

構造橋梁部橋梁研究室

室 長 佐 伯 彰 一

研究員 金 井 道 夫

大 塚 一 喜

目 次

1. 序 分	1
2. 第Ⅲ章における記号	2

第Ⅲ章 第2章の範囲外の主要（特定）構造物の設計および設計のための基準

15. 一 般	11
16. 応 力 解 析	12
17. 溶接による残留応力	14
18. 初期不整の考慮	15
19. 板パネルの安定性と強度	25
20. 補剛されたパネルの安定性と強度	53
21. 疲 労	78

1. 序 文

1.1. この報告に記載してある諸規定は適当な英国標準実施規格 (British Standard Code of Practice) が公布されるような時機まで、鋼箱げた橋の設計と施工に対する1つの基準として適用するため本委員会が起草したものである。

これらの諸規定は、BS4360の40～55級鋼により製作され、鋼床版もしくはコンクリート床版を有する橋梁の全ての箱げたと箱断面柱に適用するよう意図した。斜張橋と吊橋のけたにも適用してよいが、アンカレッジ、サドルおよびこの種の橋梁に特有なその他の細部構造の設計に対する指針は含まない。

1.2. 諸規定は4章よりなっている。

第I章には英国において供用される道路橋と歩道橋の設計時に想定すべき荷重条件と安定係数に関する一般指針を含み、また応力解析において採用すべき諸原則を定義している。第I章の一般要求事項は第II章および第III章と関連して適用し、また遵守事項として扱うものとする。

第II章には製作に対して適合許容誤差が指定された場合、その構造物に使用されと思われる諸要素の設計に対する簡略化した諸規定を説明してある。

第III章には第II章の簡略化した諸規定の応用に際し使用し、また第II章の範囲外の構造物の要素の設計に際し使用してもよい基準を示している。

第IV章では材料と製作を取扱っている。そしてこの章もまた遵守事項として扱うものとする。

1.3. 諸規定は必ずしも包括的なものでなく、したがって鋼板構造物の設計に適任でかつ経験豊富な設計者の指導下においてのみ使用されねばならないことを理解すべきである。またこの報告で与えた制限範囲外では使用してはならない。

もし供用不適性または強度の評価の下限界が適当な(標準偏差に対し -2σ の範囲で平均値に近似する程度)ことを示す理論的または実験的な根拠に完全に基いているならば、次の2つの強度評価方法のどちらを使用してもよい。理論的方法是実験結果が第II章または第III章に含まれる方法、あるいは適切に実施された実験結果に対して良く用いられる他の方法と包括的に比較することによって確認しなければならない。実験的方法是、縮尺、実際の材料の諸特性および不完全性、または結果のばらつきなどを適切に考慮し、十分な数の適切で解り易い実験結果に基づかなければならない。

どの設計方法を採用するにしても、第IV章に従って規定された材料と製作に考慮を払うべきである。

設計の適性を示すために耐荷荷重を採用してもよい。この場合、作用荷重はその設計において想定した各要素に最も不利な条件を生じるように分布させた崩壊係数倍した荷重に等しいものとする。

2' 第Ⅲ章における記号

A_c : 閉断面補剛材について、補剛材壁面の中央面によつて囲まれた面積	20/2	B_n : ウェブ間の横部材の部分 (portion) の長さ	20/20
A_e : 縁補剛材の横断面積	20/12, 20/14	B_p : ウェブ中心線からのフランジ張出部の幅	20/13, 20/20
$A_{gr} = A_s + \frac{1}{2} (b_1 t_1 + b_2 + t_2)$	20/16, 20/17, 20/23	$B_{p_{eff}}$: ウェブ中心線からのフランジ突出部の有効幅	19/34
A_p : マイナーの合計係数	21/1, 21/2	b : 板パネルの幅	18/1, 18/2, 19/1, 19/10
A_p : 着目している板の面 (plane) にある有効境界部材 (effective boundary member) の面積の部分 (part)	19/10	b : 方向 2 における板パネルの寸法	19/5, 19/12
A_s : 補剛材の横断面積	20/2, 20/18	b : 縦方向補剛材の平均間隔	20/7
$A_{s_{eff}}$: 補剛材の有効横断面積	20/17	b : 補剛材から、その長さの中央における各側の任意の次の隣接平行補剛材までの距離の平均	20/8
A_{sx} : x 方向における補剛材の横断面積	20/2	b_c : バルブプレートのパルプの幅	20/2, 20/19
A_{sy} : y 方向における補剛材の横断面積	20/2	b_c : 補剛材または横フレームの突出脚 (outstanding leg) のフランジの幅	20/2
A_{sz} : z 方向における補剛材の横断面積	20/7	b_n : 補剛材から、その長さ中央における各側の同次またはより高次の最近接平行補剛材 (または箱げた壁面) までの距離の平均	20/7, 20/9
A_{tf} : 単位幅当りの床版の横断面積	20/12	$b_{n_{eff}}$: 板パネル n の有効幅	19/34
a : 板パネルの長さ	19/10	b_s : 補剛されたパネルの幅	20/4
a : 方向 1 における板パネルの寸法	19/2, 19/5, 19/12	b_s : 着目補剛材の長さの中央における各側の、それより高次の補剛材間 (または箱げた壁面と補剛材の間) の距離	20/8
a : 縦方向補剛材の有効支持点間の距離	18/3	b_s : 1次 (primary) 荷重支持ダイヤフラム補剛材の高さ中央における箱げた壁面間の距離	20/9
a : 横方向補剛材または垂直補剛材の間隔	19/16	$\left[\frac{b}{t}\right]_{\max}$: 板パネルの制限細長比	19/15, 19/16
a : 2等辺3角形板の底辺の半長	19/25	C : $= \frac{\sigma_{crit}}{\sigma_{ys}}$	20/13
a_s : 補剛されたパネルの長さ	20/4	C_b : 板パネルに作用する有効面内曲げ応力に対する影響係数	19/5
a_s : 方向 1 における補剛材の長さ	20/7	C_m : 板パネルに作用する有効平均応力に対する影響係数	19/6, 20/11
a_s : 箱げた壁面間またはより高い等級 (higher order) の補剛材間の補剛材の長さ	20/8		
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$: 座屈係数の部分 (part)	19/24		
B : ウェブ中心線間の箱げたフランジの幅	20/13, 20/21		
Bb : ダイヤフラムの底辺 (base) の全幅	19/19		

C_m' : 補剛材における有効平均応力に対する影響係数 …………… 20/9

C_v : 板パネルに作用する有効直線変化平均応力
(effective linearly varying mean stress)
に対する影響係数 …………… 20/11

C_1, C_2 : 係数 (ねじり座屈制限応力) …………… 20/18, 20/19

c : 支点ダイヤフラムにおける支承中心間の距離 …………… 19/20

D : ウェブの垂直投影高 …………… 19/18

D : ダイヤフラムの高さ …………… 19/19

D : 板の単位幅当りの曲げ剛性 (flexural rigidity)
$$= \frac{E t^3}{12 (1 - \nu^2)}$$

D_x : 直交異方性板の x 方向における単位幅当りの曲げ剛性 …………… 20/3

D_y : 直交異方性板の y 方向における単位幅当りの曲げ剛性 …………… 20/3

d : 補剛材の幅 (depth) …………… 20/18, 20/24

d : フランジプレートの内面間, また隅角部が補剛されている場合は補剛材とウェブの補剛材とウェブの接合部の中心線間, のウェブに平行に測ったウェブの高さ …………… 20/2

d_c : 横フレームの断面の高さ …………… 20/23

E : 弾性係数 …………… 19/2, 20/3, 20/18

e : 板に平行な補剛材自身の図心軸から, 板と補剛材の接合部までの距離 …………… 18/3

e : 板の中央面と, 境界部材 (bounding member)
の横断面のせん断中心との間の距離 …………… 19/11

e : 支承の密着不足 (lack of fit) …………… 19/39

e_n : パネル n において調整されるべき支承の最大密着不足 …………… 19/19

e_p : 有効補剛材または有効横部材の図心から板の中央面までの距離 …………… 20/17, 20/24

e_s : 垂直ダイヤフラム補剛材の線上の支承の密着不足 …………… 20/24

e_1, e_2, e_3, e_4 : 箱げたの隅角部における有効境界部材の図心の板に対する偏心 …………… 19/39

F_1, F_2, F_3, F_4 : 板パネルの縁 (edge) に作用する境界せん断力 …………… 19/6, 20/11

f : ウェブからフランジに再分配される縦方向応力の比率 (fraction) …………… 19/15

f : 横方向補剛材 (横フレーム) と共同する板の合計有効幅の横方向補剛材 (横フレーム) の間隔に対する比 …………… 20/3

G : 許容誤差 (tolerance 公差) の照査のためのゲージ長 …………… 18/1

G : せん断弾性係数 …………… 20/3

g : 板パネルの縁に対する断続支持点 (intermittent support) の間隔

g : 箱げた間のフランジ幅の $1/2$ …………… 20/13

H : 直交異方性板の単位幅または単位長さ当りの有効ねじり剛性 …………… 20/3

h : 3 角形板の照査長 (reference length) …………… 19/25

h : ダイヤフラムの水平補剛材の下フランジからの高さ …………… 19/19

h : 横部材との剛な取付点間の垂直ウェブ補剛材の長さ …………… 20/22

I : 横断面の断面 2 次モーメント

I_b : 19.2.3.1 条で定義された有効境界部材の断面 2 次モーメント …………… 19/10

I_{bn} : パネル n の拘束に対する有効境界部材の断面 2 次モーメント …………… 19/34

I_c : 横げたに箱げたの中心におけるフランジの有効幅を加えたものの断面 2 次モーメント …………… 20/13, 20/21

I_e : 縁補剛部材 (edge stiffening member) の断面 2 次モーメント …………… 20/14

I_f : フランジの単位幅当りのその図心軸に関する断面 2 次モーメント …………… 20/13, 20/21

I_{ox} : x 方向 (または方向 1) における直交異方性板の断面 2 次モーメント …………… 20/1, 20/3, 20/8

I_{oy} : y 方向 (または方向 2) における直交異方性板の補剛材の断面 2 次モーメント …………… 20/1

I_{n-n} : 横断面の $n-n$ 軸に関する断面 2 次モーメント	19/34	L_1, L_2 : それぞれ、方向 1 および方向 2 における座屈の半波長	18/ 1, 18/ 2
I_{seff} : 補剛材の有効断面 2 次モーメント	20/ 3, 20/22, 20/24	l : 横げたまたは横フレームの間隔	20/20
$\bar{I}_{seff} : I_{seff}$ の平均値	20/24	l : 横部材間の補剛材の長さ	18/ 3
J : 支承の有効幅	19/20	$M\tau$: 境界部材に作用する張力場の力の作用による曲げモーメント	19/11
J : サンプナンのねじり定数	20/ 2, 20/18	m : 板パネルの寸法 a 内または補剛されたパネルの寸法 a_s 内の座屈の半波の数	19/ 2, 19/12, 20/ 6
J_x, J_y : それぞれ x 軸および y 軸に関するサンプナンのねじり定数	20/ 2	m : ねじり座屈制限応力係数 (coefficient) における因数 (factor)	20/19
j : 箱げた下フランジ直下の支承または支承板 (bering pad) の接触幅に下フランジ板厚の 3 倍を加えたもの	19/20	m_j : 座屈の半波の数	19/32
j : 整数		m_1 : 係数 (補剛された曲りフランジパネルにおける破壊時の許容平均応力)	20/16
K : 弾性限界座屈応力係数	20/ 5	N : 補剛されたパネルにおける縦方向補剛材の数	18/ 1, 20/ 4, 20/ 5
K_{av} : 縦方向に変化する圧縮のもとでの板に対する座屈係数	19/23	N : 任意数	20/12
K_{bs} : 割線有効幅係数 (secant effective width factor)	16/ 1, 18/ 5, 19/11	N : 与えられた応力範囲に対する破壊までの繰返し数	21/ 2
K_{bt} : 接線有効幅係数 (tangent effective width factor)	18/ 5	N_n : 荷重スペクトラム (loading spectrum) の n 番目の部分における与えられた応力範囲に対する破壊までの繰返し数	21/ 1
K_i : 面内曲げと圧縮のもとでの板に対する座屈係数	20/ 5	n : 板パネルの寸法 b 内の座屈の半波の数	19/12
K_{max} : 縦方向に変化する圧縮のもとでの板に対する座屈係数	19/23	n : パネル数 n 個	19/18
K_o : 面内曲げと圧縮のもとでの、ねじり剛性が零の直交異方性パネルに対する座屈係数	20/ 6	n_n : 構造物の設計寿命内に発生すると計算された荷重スペクトラムの n 番目の部分における与えられた応力範囲の繰返し数	21/ 2
K_{ts} : ねじり座屈制限応力係数	20/19	P_{cr} : 限界座屈荷重	19/24
k_s : ねじり座屈制限応力係数	20/19	$P_e = \frac{\pi^2 EI_{ox}}{a_s^2}$	20/ 7
L : 板パネルまたは補剛されたパネルの座屈の半波長	18/ 2, 19/10, 他	P_n : 床版の部分 n に作用する床版単位幅当りの平均面内直力	20/12, 20/20
L : ダイアフラム補剛材に対する有効支持点間の距離	20/23	P_s : 補剛材の 1 つの部分 (segment) における縦方向力	20/11
L_c : 12.1.4 条 (第 II 章) で定義された長さ	20/23	P_{seff} : 補剛材における有効縦方向力	20/ 8, 20/11
L_{cr} : 補剛されたパネルの座屈の最大限界半波長 (most critical half-wave length)	20/ 5	$P'_{\tau_{crit}}$: P_{reff} の限界座屈値	20/ 8
L_t : 有効ねじれ拘束点間の距離	20/19		

P_{eff} : 補剛されたパネルの板における補剛材に平行な有効せん断力	20/ 8, 20/11
P_1 : 補剛されたパネルの板の要素における補剛材に平行な力	20/11
P_1^{crit} : P_1 の限界座屈値	20/ 8
P_{1eff} : 補剛されたパネルの板における補剛材に平行な有効力	20/ 8, 20/11
P_{1effm} , P_{1effv} , R_{1eff} の部分 (part)	20/11
P_2 : 補剛されたパネルの板の要素における補剛材に直角な力	20/11
P_2^{crit} : P_2 の限界座屈値	20/ 8
$(P_2)_{crit}$: 床版力 (deck force) P_2 の限界座屈値	20/13
P_{2eff} : 補剛されたパネルの板における補剛材に直角な有効力	20/ 8, 20/11
P_{2effm} , P_{2effv} , P_{2eff} の部分	20/11
p : 板パネルまたは補剛されたパネルの片側の長さ内の長方形要素の数	19/ 5, 19/ 7
Q'' : 境界部材に作用する張力場の力の作用によるせん断力	19/11
Q_n : パネル n における垂直せん断力	19/18
Q : 板パネルまたは補剛されたパネルの片側の長さ内の長方形要素の数	19/ 5, 19/ 7
R : 曲率半径	18/ 1, 18/ 3
R : 応力比 = $\frac{\text{係数倍した応力}}{\text{限界座屈応力}}$	
$R_{b_1}, R_{b_2}, R_1, R_2, R_s$: 応力比	19/ 2
R_{c_1}, R_{c_2} : 19.1.3.2 条で定義される比	19/ 2, 19/ 3
R' : 修正応力比	
$R'_b, R'_{b_1}, R'_{b_2}, R'_s, R'_1, R'_2$: 修正応力比	19/ 1
R_v : 支承に作用する合計垂直反力	18/ 4, 19/20
r_o : 補剛材のその取付点に関する極回転半径	20/18
r_y : 補剛材の最小回転半径	20/18
S : 横フレームの部分の長さ	20/23
S : 主補剛材間の中間補剛材の長さ	19/16
t : 板厚	18/ 5, 19/ 1 他
t_d : ダイアフラム板の厚さ	19/19
t_{eff} : 有効板厚	20/ 5, 20/ 7
t_f : フランジ板の厚さ	
t_l : 補剛材のリップ (lip) の厚さ	20/ 2
t_s : 補剛材の取付脚部 (ウェブ) の厚さ	20/18, 20/24
t_w : ウェブプレートの厚さ	19/18, 20/21
v : 箱げたの 1 つの支点位置における対 (twin) の支承の整置 (alignment) における横方向誤差	18/ 4
w : 横げたに作用する単位長さ当りの横方向分布荷重	20/20
w_n : 張力場作用によるウェブパネル n における単位長さ当りの境界力	19/18
w_o : w の最大強度	20/20
x : デカルト座標 (Cartesian co - ordinate)	
x : 座屈の半波長の 1 端から任意の横方向補剛材までの補剛材に沿った距離	20/19
y : デカルト座標	
y : 補剛材突出部における有効補剛材の図心からの距離	20/18
y_o : 有効補剛材または横部材の図心から突出部の最後までの距離	20/12, 20/22, 20/24
y_p : 有効補剛材または横部材の図心から板の最後までの距離	20/22
y_s : 補剛されたパネルの中心から縦方向補剛材までの距離	20/ 4
y_s : 箱げたの図心から有効補剛材の図心までの補剛材突出部の面で測った距離	20/17
z : 座屈の半波長の端から着目点までの距離	20/17
z : 横部材の内側部分の 1 端または突出部の付け根から測った着目点までの距離	20/20

α : 座屈係数の部分	19/24
$\alpha = \frac{\sigma_{ey}}{\sigma_{ys}}$	19/13
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: 柔性パラメーター (flexibility parameter)	20/13
β : 1つの縁の部分に荷重された板に対する荷重長の板幅に対する比	19/24
β : 補剛材突出部の面における箱げたの曲げによる σ_a のその部分の σ_a に対する比	20/17
β_E : 板パネルの縁における面内拘束度	16/2, 19/10, 19/11
Γ : そり定数	20/18
γ : 強度に関する修正部分安全係数 (modified partial safety factor)	20/20
γ_m : 強度に関する部分安全係数 (γ_{mc} と γ_{ms} のうち適当な方)	16/2, 19/10, 19/11
γ_{mc} : 強度に関する部分安全係数 (崩壊)	16/2, 19/11, 20/20
γ_{ms} : 強度に関する部分安全係数 (供用不適性)	16/2, 19/11, 20/20
δ : 補剛材の添接における付加有効不整	18/3
δ_{cx} : 横げた, 横フレームまたは垂直1次ウェブ補剛材の相対不整 (relative imperfection)	18/3
(δ_{cx}) : δ_{cx} に関する許容誤差 (forerance)	18/3
δ_o : 補剛材の合計仮定期初たわみ	20/17, 20/22, 20/24
δ_{oc} : 横フレームの仮定相対初期たわみ	18/3, 20/20
δ_{oh} : せん断のみに対して設計したウェブにおける縦方向補剛材の有効支持点間の中央における仮定期初たわみ	18/3, 20/17
δ_{sy} : 補剛材突出部上の板に平行な補剛材不整	20/23
δ_x : 板パネルの板に直角方向の面外不整	
$ \delta_x _{eff}$: 不整 δ_x の有効値	18/1
(δ_x) : 補剛されたパネルにおける平 (flat) 板パネルと曲り (curved) 板パネルに対して δ_x に関する許容誤差	18/1

(δ_x) : 補剛されていないフランジにおける曲り板パネルに対して δ_x に関する許容誤差に $L_1^2/8R$ を加えたもの	18/1
$\delta = \delta_o + \delta_a$	20/14
δ_a : 作用応力による座屈の中心における付加変形	
δ_o : 板パネルの仮定期初面外変形	18/1, 18/2
δ_{oR} : 不整 δ_o の低減値 (reduced value)	18/2
δ_n : 荷重点 n における垂直たわみ	20/12
ε : 隣接フランジパネル幅にわたるダイヤフラムの縁上の平均横方向圧縮ひずみに $\nu \sigma_m/E$ を加えたもの	18/2
η : 最高等価応力決定のための応力に関する係数	19/12
η : 補剛されたフランジの全体座屈に対するパラメーター	20/13, 20/14, 20/21
θ : 直角三角形板の内角	19/25
$\lambda = B_p/B$	20/14
λ_b : 座屈に対する荷重係数	19/1, 19/2, 19/3, 20/1, 20/6, 20/7, 20/17, 20/21, 20/22
$\mu = g/B$	20/14
μ : 表 23.1 c (第 IV 章) に与えられる公差に対する規定した公差の比	20/19
ν : ボアソン比	20/2
ν_x, ν_y : それぞれ x 方向および y 方向における直交異方性板に対するボアソン比の有効値	20/2
ρ : 係数 (ウェブ板パネルに対する極限等価有効応力)	
Σ : 総和の記号	
Σ : 板パネルの合計等価初期面外変形	18/1, 18/2, 19/12, 20/15
$\Sigma \sigma$: 最高組合せ応力 (peak combined stress)	19/12
$\Sigma \sigma$: 単軸縦方向圧縮をうける板の表面に作用する最高等価応力	19/12

$(\sigma_{\sigma})_r, (\sigma_{\sigma})_u$: 面内ねじり変形に対してそれぞれ完全に拘束された境界および拘束されていない境界をもつ板パネルに対する最高組合せ応力	19/13
σ : 直応力 (direct stress)	
σ_a, σ_{a1} : 補剛材に各側の板パネル幅の半分を加えたものの総横断面積に作用する平均軸方向応力	20/ 9, 20/16, 20/23
$\sigma_{a_{eff}}$: 垂直ウェブ補剛材に各側の 16 tw に等しい板幅を加えたものの横断面積に作用する平均軸方向応力	20/22
σ_{a2} : 補剛材の各側の板パネルの共同半幅に作用する補剛材の軸に直角方向の応力の平均	20/ 9
σ_B : 補剛材に隣接する板における最大縦方向境界応力	20/17, 20/24
σ_{BL} : 板の制限境界応力 (limiting plate boundary stress)	20/15
$(\sigma_{BL})_r, (\sigma_{BL})_u$: 面内ねじり変形に対してそれぞれ完全に拘束された境界および拘束されていない境界をもつ板パネルに対する板の制限境界応力	20/15
σ_b : 曲げ応力	19/ 1
$\sigma_{b_{cr}}$: 板パネルに対する面内曲げ応力の限界座屈値	19/ 1
$\sigma'_{b_{cr}}$: 板パネルに対する面内曲げ応力の修正限界座屈値	19/ 1
$\sigma_{b_{cr1}}^*$: 補剛されたパネルに対する方向 1 における面内曲げ応力の限界座屈値	20/ 1
$\sigma_{b_{cr1}}^{'}$: 補剛されたパネルに対する方向 1 における面内曲げ応力の修正限界座屈値	20/ 1
σ_{b1}, σ_{b2} : それぞれ方向 1 および方向 2 における面内曲げ応力 (あるいはそれぞれ方向 x および方向 y における)	19/ 6, 19/12
σ_{b1} : 方向 y における応力 σ_x の有効直線変化 (effective linear variation) (パネル幅の半分をわたっての)	19/ 5
σ_{b2} : 方向 x における応力 σ_y の有効直線変化 (パネル長の半分をわたっての)	19/ 5
σ_{cr} : 弾性限界座屈応力	19/25
$(\sigma_{cr})_{av}$: 縦方向に変化する圧縮を有する板パネルに対する平均応力の限界座屈値	19/23
$(\sigma_{cr})_{max}$: 縦方向に変化する圧縮を有する板パネルに対する最大応力の限界座屈値	19/23
$\sigma_{cre1} = \frac{\pi^2 E I_{ox}}{a^2 b \cdot t_{eff}}$	20/ 6
$\sigma_{cr1}, \sigma_{cr2}$: 板パネルに対するそれぞれ方向 1 および方向 2 における直応力の限界座屈値	19/ 1
$\sigma'_{cr1}, \sigma'_{cr2}$: 板パネルに対するそれぞれ方向 1 および方向 2 における直応力の修正限界座屈値	19/ 1, 20/15
$\sigma_{cr1}^*, \sigma_{cr2}^*$: 補剛されたパネルに対するそれぞれ方向 1 および方向 2 における直応力の限界座屈値	20/ 1, 20/ 4, 20/ 5
$\sigma_{cr1}^{'}, \sigma_{cr2}^{'}$: 補剛されたパネルに対するそれぞれ方向 1 および方向 2 における直応力の修正限界座屈値	20/ 6, 20/ 7
σ_{crit} : 12.1.4 条 (第 II 章) で定義された限界応力	20/23
σ_e : 等価応力 $= \sqrt{(\sigma_1 + \sigma_{b1})^2 + (\sigma_2 + \sigma_{b2})^2} - (\sigma_1 + \sigma_{b1})(\sigma_2 + \sigma_{b2}) + 3\tau^2$	
σ_e : 等価有効応力 (有効応力による等価応力)	18/ 5, 18/ 6, 19/ 1, 19/12
$\sigma_{e_{crit}}$: 等価有効応力の限界座屈値 $= \lambda_b \sigma_e$	18/ 5, 18/ 6, 19/ 1, 19/12, 19/14
$\sigma_{e_{peak}}$: 最高等価応力	19/12, 19/13
$\sigma_{e_{ult}}$: 極限等価有効応力	19/14, 19/15
$(\sigma_{e_{ult}})_r, (\sigma_{e_{ult}})_u$: 面内ねじり変形に対してそれぞれ完全に拘束された境界および拘束されていない境界をもつ板パネルに対する極限等価有効応力	19/14
$\sigma_{e_{ult1}}$: 縦方向応力の如何なる再分配もないウェブ板パネルに対する極限等価有効応力	19/15

$\sigma_{\epsilon_{ult2}}$: 縦方向応力がウェブからフランジに完全に再分配されるウェブ板パネルに対する極限等価有効応力 19/15	σ_{pRS} : 板の中央面における溶接による残留圧縮応力 20/16, 20/20, 20/22, 20/23
$\sigma_{ey} : \sigma_{epack}$ を与える σ_e の値 $= \sigma_{ys}$ σ_m : 板パネルにおける平均縦方向応力 18/ 2, 19/11	σ_{Rb} : パネル接合溶接による一様残留圧縮応力 20/16, 20/23
σ_{m1}, σ_{m2} : それぞれ応力 σ_x および σ_y の有効平均 19/ 4, 19/ 5	σ_{R1}, σ_{R2} : それぞれ方向 1 および方向 2 におけるその方向の溶接による有効残留圧縮応力 18/ 2
$\sigma_o := \frac{\pi^2 E}{12 (1 - \nu^2)} \left(\frac{t}{b} \right)^2$ 19/ 2	σ_r : 応力範囲 (range of stress)
σ_o : 補剛材または横部材の長さ方向に沿う突出部における最大応力 20/21, 20/22, 20/24	σ_s : 補剛材の供用適性限界
σ_{oi} : 補剛材または横部材の仮定初期不整による補剛材または横部材突出部の最縁における縦方向応力 20/16, 20/20, 20/22, 20/23	σ_{uT} : BS 4360 で規定された最小極限引張強度 19/17, 20/15
σ_{oi} : 局所的横方向荷重および (または) 任意の作用端モーメントのもとでの曲げによる補剛材または横部材突出部の最縁における縦方向応力 20/16, 20/20, 20/22, 20/23	σ_{v1} : 方向 x における応力 σ_x の有効直線変化 (パネル長の半分にわたっての) 19/ 5, 19/14
σ_{ORS} : 補剛材または横部材突出部の最縁における溶接による残留圧縮応力 20/20, 20/21, 20/22, 20/23	σ_{v2} : 方向 y における応力 σ_y の有効直線変化 (パネル幅の半分にわたっての) 19/ 5, 19/14
σ_{ORSy} : 有効補剛材の圆心からの距離 y での補剛材突出部における溶接による残留圧縮応力 20/16	σ_x : 方向 x における直応力 19/ 5
σ_{oy} : 有効補剛材の圆心からの距離 y での補剛材突出部における応力 20/18	$(\sigma_x)_1, (\sigma_x)_2$: 台形板のそれぞれ端部 1 および 2 における縦方向の直応力 19/26
σ_p : 板におけるその板の有効幅での最大最縁応力 20/21, 20/22	$(\sigma_x)_{1cr} : (\sigma_x)_1$ の限界座屈値 19/26
σ_{pi} : 補剛材または横部材の仮定初期不整による板の中央面における縦方向応力 20/16, 20/20, 20/23	σ_y : 方向 y (方向 x と直交) における直応力 19/ 5, 19/ 6
σ_{piy} : 補剛材または横部材の仮定初期不整による板の最縁における縦方向応力 20/22	σ_{ys} : BS 4360 による保証最小降伏応力 19/11, 20/15
σ_{pl} : 局所的横方向荷重および (または) 任意の作用端モーメントのもとでの曲げによる板の最縁における縦方向応力 20/16, 20/20, 20/21, 20/23	σ'_{ys} : 有効降伏応力 20/15
	σ_{yT} : ねじり座屈制限応力 20/15, 20/18
	σ_{yTC} : 横フレーム、横げたおよび垂直ウェブ補剛材に対するねじり座屈制限応力 20/22
	$\sigma_{yT1}, \sigma_{yT2}, \sigma_{yT3} : \sigma_{yT}$ の部分 (part) 20/18, 20/19
	σ_1 : 方向 1 における直応力 19/1 ~ 4, 19/12
	σ_1 : フランジに流れないとした場合、縦方向ウェブ補剛材に生じるであろう縦方向応力 18/ 3
	σ_{1eff} : σ_1 の有効値 20/ 7, 20/ 9
	σ_{1m} : 板パネルの適性を照査するために考慮すべき板パネルに作用する縦方向面内境界応力 16/ 1
	σ_{1T}, σ_{2T} : それぞれ方向 1 および方向 2 における横方向荷重のみによる直応力 19/13

$(\sigma_1 + \sigma_{b_1})$: 面内曲げおよび圧縮のもとでの板パネル
または補剛されたパネルに対する最大縦方向応力

..... 20/ 6

$(\sigma_1 + \sigma_{b_1})_{cr}$: 板パネルに対する最大縦方向応力の限
界座屈 19/21

$(\sigma_1 + \sigma_{b_1})^*_{cr}$: 補剛されたパネルに対する最大縦方
向応力の限界座屈値 20/ 5

σ_2 : 方向 2 (方向 1 と直交) における直応力
..... 19/2~4, 19/12

σ_{2eff} : σ_2 の有効値 20/ 7, 20/ 9

τ : せん断応力 19/ 1, 19/13, 20/15

τ_{cr} : 板パネルに対するせん断応力の限界座屈値
..... 19/ 1

τ'_{cr} : 板パネルに対するせん断応力の修正限界座屈値
..... 19/ 1

τ^*_{cr} : 補剛されたパネルに対するせん断応力の限界座屈
値 20/ 1, 20/ 5

$\tau^{*'}_{cr}$: 補剛されたパネルに対するせん断応力の修正限界
座屈値 20/ 7

τ_{eff} : 有効せん断応力 19/ 6, 20/ 7

$(\tau_{ult})_{u_n}$: 拘束されていない境界を仮定して計算した
板パネル n に対する極限せん断応力
..... 19/18

$\tau'_{ys} := \tau \left(\frac{\sigma_{ys}}{\sigma_e} \right)$ 19/14

ϕ : 板パネルの縦横比
 $= \frac{a}{b}$
($= \frac{h}{b}$ 支承上のダイヤフラムパネルに対して)
..... 19/ 2, 19/ 4, 19/19

ϕ : 補剛されたパネルの縦横比
 $= \frac{a_s}{b_s}$ 全体座屈に対して
 $= \frac{a}{b_s}$ 横方向補剛材間の座屈に対して
..... 19/ 2, 19/ 4

ϕ : 補剛されたフランジの全体座屈に対するパラメーター
..... 20/ 6, 20/13, 20/14, 20/21

$\phi := \frac{L}{b_s}$ 20/ 4

$\phi' := \frac{a_s}{b_s} \left(\frac{D_y}{D_x} \right)^{\frac{1}{4}}$ 補剛されたパネルの全体座屈
に対して

$= \frac{a}{b_s} \left(\frac{D_y}{D_x} \right)^{\frac{1}{4}}$ 横方向補剛材間の補剛された
パネルの座屈に対して

..... 20/ 6

(ϕ) : 支承の水平平面度 (horizontal planarity) から
の横方向の離れに関する許容誤差 (tolerance)
..... 18/ 4

Ψ : 面内曲げ及び圧縮のもとでの板パネルまたは補剛さ
れたパネルに対する最小縦方向応力の最大縦方向応
力の比 20/ 6

Ψ : 補剛されたフランジの全体座屈に対するパラメーター
..... 20/13, 20/14, 20/21

第Ⅲ章 第Ⅱ章の範囲外の主要構造物の 設計および設計のための基準

15. 一般

15.1 適用範囲

付録 (Appendix) 1 の第Ⅲ章の以下の各節には、第Ⅱ章では簡略化した諸規定を使用した箱げた橋に対する強度評価方法の基準を記載してある。これらの方法は、第Ⅱ章の適用範囲外の架設の処理方法に使用してもよいし、また製作において規定すべき許容誤差が第Ⅳ章で定義されるものと異なるような設計に応用するために使用してもよい。

15.2 第Ⅲ章の基準に基いた設計と評価は、設計要求事項、荷重および安全係数に関して第Ⅰ章の規定に従わなければならない。橋梁の全体系解析に対する規準は 6.1 条と 6.2 条の要求事項に従わなければならない。しかしながら連続支間の曲げモーメントは、もし強度と供用適性が修正した断面特性に基いているならば、要素の弾性非線形特性を考慮するため修正した断面特性を使用し、弾性理論によって決定してもよい。供用適性限界を考える場合に計算すべき応力は 6.3.1 条で定義されたものである。拘束されたそりやせん断おくれによる応力を計算するための規準は 6.3.2 条から 6.3.6 条で定義されたものとしてよい。第 1 節で定義したように精確に実証されたものであるなら、上記とは別の線形弾性解を採用してもよい。

15.3 材料と製作に対する仕様は第 22 節と第 23 節で与えられるものとする。規定すべき許容誤差が 23.2.2 条で与えられるものと異なる場合は、相応する許容誤差を規定し、かつ製作についての諸条に従って完全に照査しなければならない。

16. 応力解析

16.1 初期不整 (initial imperfection) による板パネルの剛性の損失の考慮

板パネルと縦方向補剛材の供用適性を照査するために、6.3条に従った解析により得られた応力を使用してよい。第18節で定義される、初期面外変形 (initial out-of-plane deformation) による板パネルの面内剛性 (in-plane stiffness) の損失に対しては以下の別法で考慮してもよい。

- a. 縦方向応力とせん断応力は、せん断おくれを考慮し、線形曲げ理論によって計算するものとする。
- b. 箱げたの修正断面特性は、板パネルの実際の厚さの K_{bs} 倍を各板パネルの有効厚とすることにより導くものとする。ここでは18.2.1条で定義される割線有効幅係数 (secant effective width factor) である。箱げた横断面における各板パネルに対する K_{bs} の値は、17.2.1条に従って溶接残留応力を適切に考慮し、上記a項で計算した応力と仮定した不整に対応して18.2条から決定するものとする。
- c. 横断面における任意位置での有効縦方向応力 $\sigma_{1\text{eff}}$ は単純曲げ理論により修正断面特性に基づいて計算するものとする。
- d. 任意板パネルの横断面上の任意位置での面内縦方向境界応力 σ_{1m} は次式から決定してよい。

$$\sigma_{1m} = K_{bs} \sigma_{1\text{eff}}$$

ここで

σ_{1m} = 板パネルの適性を照査するために考慮すべき板パネルに作用する縦方向面内境界応力。

$\sigma_{1\text{eff}}$ = 着目点に対応し、16.1.c条で定義されたもの。

16.2 フランジ内での応力の再分配 (redistribution)

16.2.1 崩壊の基準に対して、係数倍した作用荷重による縦方向応力は、フランジ内の各要素の全耐力 (full capacity) を利用するため、箱げたのフランジ内で再分配してよい。ただしそのように仮定した応力と作用荷重との間に静的に釣合いが保たれていることが必要である。

16.2.2 せん断応力と再分配された直応力との適合性 (compatibility)

縦方向応力が、6.2.1.a条または6.2.1.c条に従ってウェブからフランジに、あるいは6.2条に従ってそのフランジ内で、完全あるいは部分的に再分配される場合は、その横断面におけるせん断応力の再分配はそれらと適合したものを使用しなければならない。

16.3 支点におけるダイヤフラムと箱げた壁面の面内応力の計算

16.3.1 支点における箱げた壁面とダイヤフラムの応力は、その位置、剛性、および支承の密着不足 (lack of fit)、要素間のひずみの適合性 (compatibility)、ウェブにおける張力場作用 (tension-field action) とせん断応力の再分配などを適切に考慮して弾性解析により計算するものとする。

ダイヤフラム面における支承と箱げた間の摩擦力は、死荷重を考慮するときは無視するもの

とする。活荷重を取扱うときは、それらによってより不利な条件が生ずる場合は考慮するものとする。

16.3.2 ダイアフラム板 (plating) と箱げた壁面における局部塑性 (local plasticity) の考慮

ウェブにおける単一板パネルの単一区域 (single area)、あるいはフランジにおける2個の一番外側の板パネルのそれぞれの単一区域、または各支承上の1個のダイアフラム板パネルの単一区域などにおいて解析結果が下記の何れかである場合は、

- (i) 等価応力が $\frac{\sigma_{ys}}{\gamma_m}$ を越えるか、または
- (ii) 板パネルの特性強度または供用適性限界を γ_m で除した値の適当な方を越える。

ここで、 $\gamma_m = \gamma_{mc}$ か γ_{ms} のうち適当なもの。

応力の再分配を考えてよい。ただし、ウェブあるいはダイアフラムにおける塑性域 (zone of plasticity) が全高の $1/3$ を越えず、フランジにおける塑性域が全幅の $1/6$ を越えず、かつ板パネルの形状と境界補剛材 (bounding stiffeners) の特性が 19.2.5.5 条の要求事項を満足するか、またはパネルの位置と形状が 19.2.9 条の要求事項に従うことを条件とする。このような場合、ダイアフラムと隣接箱げたの壁面は、剛性が零と仮定すると過度の応力が予想される区域内で、局部的な降状および (または) 板パネルの崩壊を生じさせる荷重より大きい荷重に対して再解析を行わなければならない。その結果得た応力を、当初の解析時に局部的降状および (または) 板パネルの崩壊を生じさせる荷重の程度に応じて低減して求めた応力に加算しなければならない。

もしこのような再分配が同形状の隣りの板パネルにおいて上記限界を越えて応力を増大させるなら、その隣りへの再分配を考慮するため同じ手順を繰返してよい。ただし、その結果生じるダイアフラムおよび (または) ウェブの変形の影響をフランジ補剛材の解析において考慮することを条件とする。

16.4 パネルにおける面外曲げと膜応力 (membrane stress) の計算

板パネルにおける面外曲げ応力の解析においては、境界応力は 16.1 条に従って求めた応力であると仮定してよい。この場合、最高表面応力 (peak surface stress) の計算には板の大変形理論 (large deflection theory) を使用すべきである。板パネルの縁に作用する面内せん断荷重は作用せん断応力の形で考えるものとする。面内の縦および横方向の荷重は、反対側の縁に作用するひずみと縁応力の分布パターンと同様の分布パターンの形で考えるものとする。またそのひずみの大きさは、その縁に作用する応力を積分したとき、その合力が全体解析から計算した係数倍した作用縁応力の合力に等しいような大きさであるとするものとする。部分的な面内縁拘束を有する板パネルに対する最大等価応力は、無拘束縁に対する値の $\frac{1}{1+\beta_E}$ 倍と完全拘束縁に対する値の $\frac{\beta_E}{1+\beta_E}$ 倍の和をとるものとする。ここに β_E は 19.2.3.1 条で定義されるものである。境界は面外方向の回転に対しては拘束されていないと仮定すべきである。

17. 溶接による残留応力

17.1 設計における残留応力の取扱い

ウェブ、圧縮フランジ、ダイヤフラムおよび横フレームなどの崩壊強度と供用適性限界を計算する場合、溶接による残留応力の影響を考慮しなければならない。残留応力は、採用した溶接細部と溶接順序に対応して7.2条～7.5条に従って計算するものとする。

17.2 溶接残留応力の考慮

17.2.1 補剛されていない板パネル

補剛されていないパネルの崩壊強度と供用適性限界を計算する場合、18.1.2.1 b条で定義されるように、板の付加的な面外変形を仮定するものとする。この場合、残留応力は全ての計算において無視する。これとは別に、両方向の残留圧縮応力を付加的な作用応力として考えてもよい。

17.2.2 補剛されたパネル

補剛材や横フレームの強度または剛性を評価する場合、それらの軸に直角方向における溶接残留応力の影響は無視してよい。

17.2.2.1 板パネルにおける残留応力

共同する板パネルの挙動を考える場合、補剛されたパネルの境界における、また補剛材あるいは横フレームの方向における、溶接による残留圧縮応力は付加的な作用応力と考えるものとする。補剛材と横フレームの溶接による板パネルにおける残留圧縮応力は、板パネルの等価な付加的な面外変形に変換するか、あるいは板パネルに作用する付加的な作用応力として考えるか、どちらをとってもよい。

17.2.2.2 補剛材突出部における残留応力

補剛材突出部における補剛材と横フレームの方向のすべての溶接による全残留応力は付加的な作用応力として考えるものとする。

これとは別に、縦方向補剛材を板に連結している溶接による残留応力を次のように仮定して計算してもよい。

- これらの溶接による収縮力は溶接部の図心を通して、作用する。
- 補剛されたパネルの横断面全体が、この縦方向圧縮力と、補剛されたパネルの横断面の図心に関する偏心による曲げモーメントに抵抗する。

17.2.3 残留応力の分布

7.2.1.c条に従って溶接収縮力が溶接の各側の板の幅（この幅はその板パネルの座屈に相当する半波長より小さい）にわたって分布するとする場合は計算した残留応力は等価な変形を計算するときの半波長にわたって平均されるとしてよい。

18. 初期不整 (initial imperfections) の考慮

18.1 初期不整

18.1.1 板パネルの平坦性の不足 (lack of flatness) および補剛材や横フレームの直線性の不足の影響を、終始初期不整による対象とし、板パネルと補剛材の剛性や強度を評価する際に考慮しなければならない。

計算において採用したこれらの不整の大きさは、ここに述べるように責任技術者によって指示される施工許容誤差と関連しなければならない。

18.1.2 板パネル

18.1.2.1 板パネルの強度および補剛材や横フレームと共同作用する板要素の挙動を考慮する場合、板パネルは、 δ_0 に等しいその面からの最大初期変位に、残留応力や、ダイヤフラムまたは横フレームとの相互作用に対する任意の余裕を加えた座屈の限界モードの波形に相当する正弦波形 (sinusoidal wave-form) の初期ねじり変形をもっと仮定するものとする。

a. (i) 計算においてとるべき初期不整量 δ_0 は次式で与えられる。

$$\delta_0 = \frac{1.2b(\Delta_x)}{G} \sqrt{\frac{1}{N+1}} \quad (\text{mm})$$

ここで

b = 板パネルの短辺寸法 (mm)

(Δ_x) = 補剛されたパネルにおける平板パネルおよび曲り板パネルに対して：規定許容誤差 (第 23 節参照)

補剛されていないフランジにおける曲り板パネルに対して：規定許容誤差に $\frac{L_1^2}{8R}$ を加えたもの。

G = 許容誤差照査に対して採用すべきゲージ長 (表 23.1 (e))

L_1 = 座屈の半波長 (18.1.2.1. b 条参照)

N = 圧縮フランジにおける板パネルに対して、補剛されたパネルの横断面を横切る縦方向補剛材の数。

ただし、ウェブとダイヤフラムにおける板パネルに対しては零。

R = パネル幅の 40 倍より大きい R で、長手に沿って面外に曲っている任意パネルの側面での曲率半径。

(ii) 測定した変形から得られた有効不整に基いて計算する場合は、計算においてとるべき δ_0 は次式で与えられる。

$$\delta_0 = 1.2 \frac{b}{G} |\Delta_x|_{eff}$$

ここで

$$|\Delta_x|_{eff} = 23.2.3.b \text{ 条に従って計算した板パネルの有効不整}$$

b. 残留溶接応力による等価初期面外不整

付加等価面外変形を仮定することによって溶接残留応力を考慮するときは、その板パネルの合計面外変形 $\Delta\delta$ は次式の値をとるものとする。

$$\Delta\delta = \sqrt{\delta_0^2 + \frac{8L_1^2 \sigma_{R1}}{\pi^2 E} + \frac{8L_2^2 \sigma_{R2}}{\pi^2 E}}$$

ここで

$\Delta\delta$ = 板パネルの合計等価初期変形

σ_{R1} = 7.2 条～7.5 条に従って計算した、方向 1 の向きの溶接によるその方向の有効残留圧縮応力

L_1 = 方向 1 における限界モードの座屈半波長

σ_{R2} = 7.2 条～7.5 条に従って計算した、方向 2 の向きの溶接によるその方向の有効残留圧縮応力

L_2 = 方向 2 における限界モードの座屈半波長

c. ダイアフラムとの相互作用による等価初期不整

ダイアフラムの応力解析において、箱げたの圧縮フランジの如何なる部分もダイアフラム板と共同作用をしないと仮定する場合は、次式で与えられる隣接フランジパネルの初期面外変形の割増した値をとることによって、ダイアフラム縁における横方向ひずみを考慮するものとする。

$$\sqrt{(\Delta\delta)^2 + \frac{8b^2 \epsilon}{\pi^2}}$$

ここで、 $\Delta\delta$ は 18.1.2.1.b 条で与えられる。

ϵ = ダイアフラムの縁上のパネル幅にわたる平均横方向圧縮ひずみに $\frac{\nu\sigma_m}{E}$ を加えたものの

b = ダイアフラムに平行なパネル幅

σ_m = フランジパネルにおける共存平均縦方向応力（正号は、圧縮）

この割増した初期変形は、11.2.4 条で与えられるダイアフラムフランジの有効幅に含まれる圧縮フランジの部分に存在すると仮定するものとする。

18.1.2.2 縦方向の補剛材や横方向の横フレームの長さに沿った板パネルの初期面外変形 δ_0 の変動を考慮するために、縦方向補剛材や横フレームの曲げ剛性は、次式で与えられるその板パネルの初期変形の低減した δ_{0R} に対応する相互に共同するその板パネルの有効幅に基づいてよい。

$$\delta_{0R} = \delta_0 \sqrt[3]{\frac{b}{L}}$$

ここで

L = 着目している縦方向補剛材や横フレームの方向における、その方向に作用応力をうけるときに補剛されたパネルの座屈半波長

この低減した値 δ_{0R} は 18.1.2.1.b 条に従って $\Delta\delta$ を計算するときに δ_0 の代りに使用してよ

い。

18.1.3 補剛されたパネル

- 18.1.3.1 表 23.1 (b) と (c) に与えられている許容誤差は、溶接による変形ねじりは考慮すると考えるが、残留応力は解放しないと考える。

補剛されたパネルのねじり変形の形式は、作用応力が影響を与える時の補剛されたパネルの座屈限界モードの波形に対応すると仮定するものとする。あるいはそのような波形がすぐには計算できない場合は、補剛材の方向における圧縮のもとでの座屈に対応する波形を仮定してもよい。ただし支間に直角方向の波形が、圧縮フランジから中立軸と引張フランジの中央にまで達する半波長をもった正弦波と仮定しなければならない場合の、補剛されたウェブパネルについては除外して考えるものとする。

- 18.1.3.2 平らなパネルの平坦性に対する最大初期離れ(量)は、座屈の半波長 L が横部材間の補剛材長 ℓ に等しい場合、許容誤差の 1.2 倍に等しいと仮定するものとする。

$L \neq \ell$ のとき、平坦性からの離れは許容誤差の $\frac{1.2}{1 - \cos \frac{\pi \ell}{2L}}$ 倍をとるものとする。横フレ-

ムに対しては、仮定相対初期たわみ Δ_{oc} は許容誤差 (Δ_{cx}) の 1.2 倍をとるものとする。

座屈半波長 L の 25 倍より大きい曲率半径 R を故意に縦断面内でつけたパネルに対しては、故意の曲率による曲がり初期不整と同じ方向の場合は、 $\frac{L^2}{8R}$ に等しい付加初期たわみを付加するものとする。

- 18.1.3.3 構造物の部材(各部材は直線とする。)を相互に傾角をつけて連続的に連結することによって、床版に縦方向のそりを全体的にまたは部分的につける場合は、その添接位置を含む半波長に対して図 18.1 に示すように最大量がその屈折点の基線からの支距の 0.8 倍に等しい付加有効正弦波不整を仮定し、18.1.3.2 条で規定された初期不整に代数的に加えるものとする。

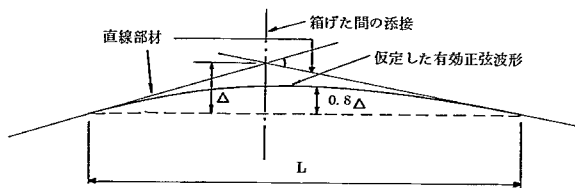


図 18.1

- 18.1.3.4 せん断のみを伝達するよう設計したウェブにおける縦方向補剛材は、有効支持点間の中央に次に与える値の初期たわみを有すると仮定するものとする。

$$\Delta_{oh} = -\frac{4e}{\pi} + \sqrt{\frac{16}{\pi^2}(e)^2 + \frac{4}{\pi^2}\frac{\sigma_1}{E}a^2}$$

ここで

e = 補剛材自身のその板に平行な図心軸から、板と補剛材の接合部までの距離

σ_1 = フランジに流れないとした場合、補剛材に生じるとされる縦方向応力

a = 縦方向補剛材の有効支持点間の距離

18.1.4 箱げたのソールプレート面 (mating surface) と支承との間の密着不足 (lack of fit)

4.7条で規定された不整の他に支承整置 (bearing alignment) における次の誤差を考慮するものとする。

18.1.4.1 水平平面度からの離れ (departure from horizontal planarity)

正確に水平に支持された箱げたでも、その支承には図18.2に示すように、どちらかに1.2(ϕ)に等しい水平平面度からの横方向の離れがあると仮定するものとする。ここで(ϕ)は規定すべき許容誤差である。この誤差は上部工の全体系解析においては無視するものとする。

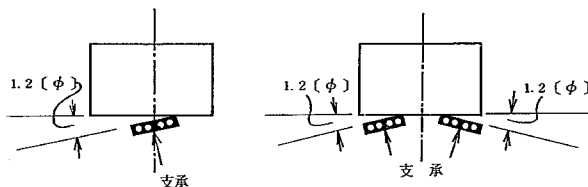


図18.2 支承の水平平面度からの離れを示す箱げたの横方向断面

18.1.4.2 対の支承整置における横方向誤差

a. 着目橋脚上で、また隣接橋脚上で当初は水平面に置かれたと想定される箱げたや支承でも、中央橋脚上の各支承は図18.3に示すように1個は上方に、他の1個は下方に $V/2$ だけ変位すると仮定する。ただし隣接橋脚上の支承は全て当初の平面のままであると仮定する。

b. 橋脚上で各箱げたが対の支承を有する2箱げたまたは多箱げた。

箱げたは、任意の箱げたの2個の支承の平均水平面が前記照査水平面に一致するように据え付けられると仮定すべきであり、これより横方向誤差が着目箱げたの2個の支承に適用される。

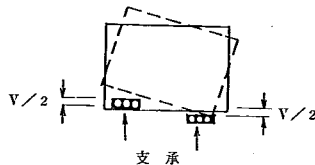


図 18.3 対の支承の横方向誤差を示す箱げた横断面

c. 18.1.4.2.a 条と同 b 条における V の大きさは規定許容誤差の 1.2 倍をとるものとする。
しかしもし責任技術者によって規定された許容誤差が 23.8.5 条で述べる値を越えない場合は、この 2 個の支承の横方向誤差によって生ずるウェブ内の応力は無視してもよい。しかし第 11 節における支承反力 R_v は横方向誤差を適切に考慮して決定するものとする。

d. 架設手順中に機械仕上げをしたライナーの使用や、支承板まで支承を押し上げたり、グラウトする作業が含まれており、その間、箱げたが連動式水圧ジャッキで均等にバランスを保たれているか、単独ジャッキ上に中央で支えられている場合で、架設の進行とともに箱げたの据え付け時の全てのねじり変形が解放され、また並列している箱げたもジャッキ操作によってねじれず、また 2 箱げたや多箱げたの場合は横部材にいかなる初期モーメントも生じないように最終の支承据え付け後に連結横げたを箱げたに取付けるような場合は横方向誤差は零としてよい。

18.1.4.3 キャンバー誤差

箱げたのキャンバーにおける誤差は規定された許容誤差の 1.2 倍に等しい、ある橋脚のその両隣りの橋脚に関する沈下量の差によって表わすものとする。これは、4.9 条で述べた橋脚の短縮と沈下の影響に対しては付加的なものと仮定するものとする。もし責任技術者が規定した許容誤差が 23.8.5. a 条で指示される値を越えないならばキャンバー誤差による応力は無視してよい。

18.2 初期面外変形による板の有効性の損失 (loss of effectiveness)

18.2.1 単軸圧縮をうける板において、縦方向境界付近の縦方向応力は中央では相当の低減を伴ってはいるが、平均応力より高くなっている。この変化は初期不整の大きさに左右され、また作用応力の程度にも左右される。割線有効幅係数 K_{bs} は平均応力の境界応力に対する比として定義され、接線有効幅係数 K_{bt} は平均応力の変化率の境界応力の変化率に対する比として定義される。共に平均ひずみに関するものである。これらの係数は図 18.4 から図 18.9 に (ここで t は板厚である)、面内曲げに対して拘束されていない境界をもつパネルと完全に拘束された境界をもつパネルの両方に対して与えられている (縁は直線を保つものとする)。

18.2.2 引張以外の任意の組合せの作用面内応力をうける板パネルに対しては、板パネルの初期

面外変形および等価有効応力の限界座屈値に対する比 $\frac{\sigma_e}{\sigma_{e \text{ crit}}}$ に対応するものとして図 18.4 ~ 18.9 から係数 K_{bs} と K_{bt} を決定してもよい (19.1.3.1 条参照)。純引張をうける板パネルに対する K_{bs} は図 18.8 と図 18.9 から決定するものとし、この場合 σ_e は負とし、 $\sigma_{e \text{ crit}}$ は純圧縮に対する限界応力である。

18.2.3 縦方向フランジ補剛材または縦方向ウェブ補剛材の各側の板の有効幅は板パネルの半幅の K_{bs} 倍または K_{bt} 倍の適当なものとするものとする。

18.2.4 フランジの横方向補剛材や横げたの各側のフランジ板の有効幅はそれらの部材間隔の半長の K_{bs} 倍か K_{bt} 倍の適当な方と、それらの支持点間の長さの $1/8$ 、または張出部に対しては張出長の $1/4$ のうち何れか小さい方とするものとする。隣接板パネルに対する K_{bt} 係数または K_{bs} 係数は 18.2.2 条に従って補剛材の座屈半波長の中央 $1/3$ 区間について計算した値の平均をとるものとする。

18.2.5 張力場能力をもつように設計したウェブの垂直ウェブ補剛材の各側の板の有効幅はウェブ板厚の 16 倍以上の値をとってはならない。

18.2.6 1 次または 2 次ダイヤフラム補剛材の各側の有効幅は、隣接板パネルの半幅の K_{bt} 倍をとるものとする。

18.3 作用応力による座屈の中心位置における付加変形

作用応力による座屈の中心における付加変形 δ_a は、板パネルの初期面外変形および等価有効応力の限界座屈値に対する比 $(\frac{\sigma_e}{\sigma_{e \text{ crit}}})$ に対応するものを図 18.6 と図 18.7 から決定してよい (19.1 条参照)。

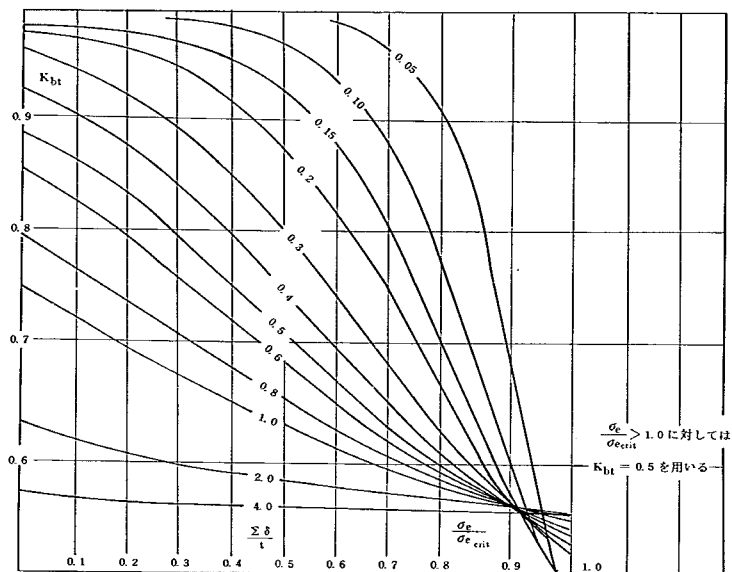


図 18.4 面内において拘束されていない縁端の板の有効幅（接線剛性）

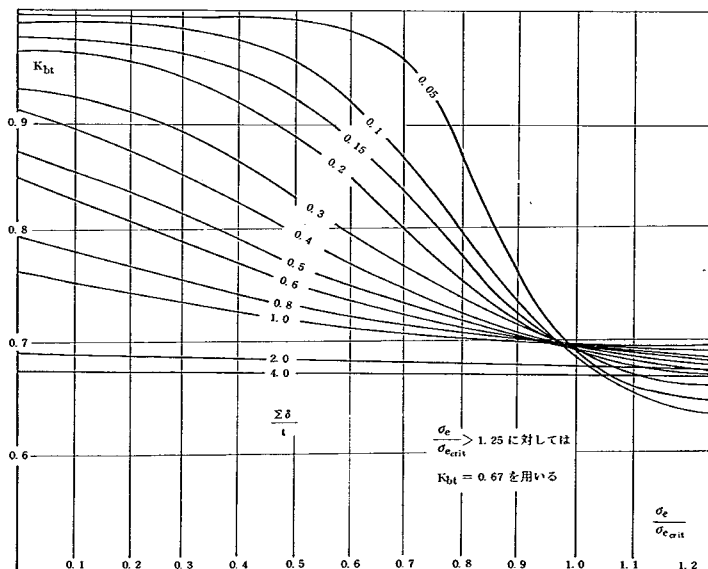


図 18.5 直線を保っている縁端の板の有効幅（接線剛性）

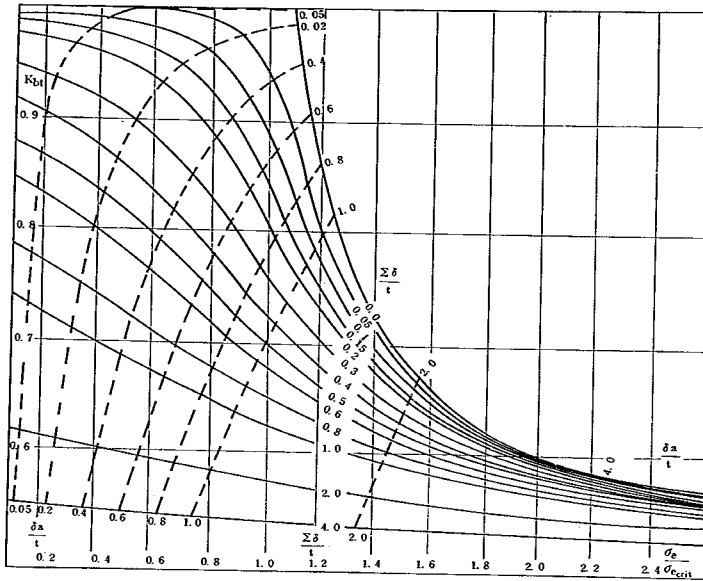


図 18.6 面内において拘束されていない縁端の板の有効幅 (割線剛性)

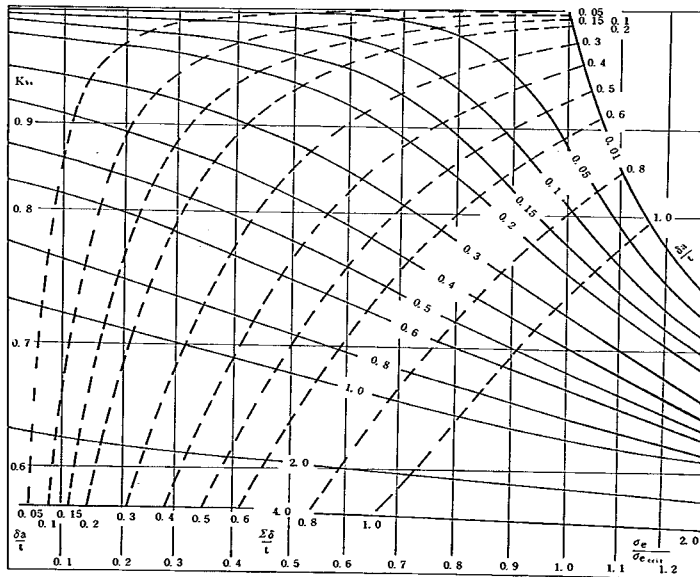


図 18.6 A 面内において拘束されていない縁端の板の有効幅 (割線剛性)

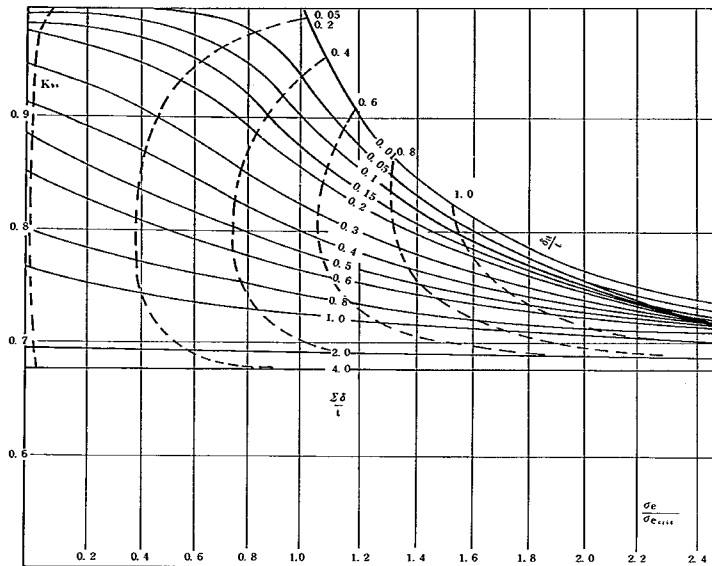


図 18.7 直線を保っている縁端の板の有効幅（割線剛性）

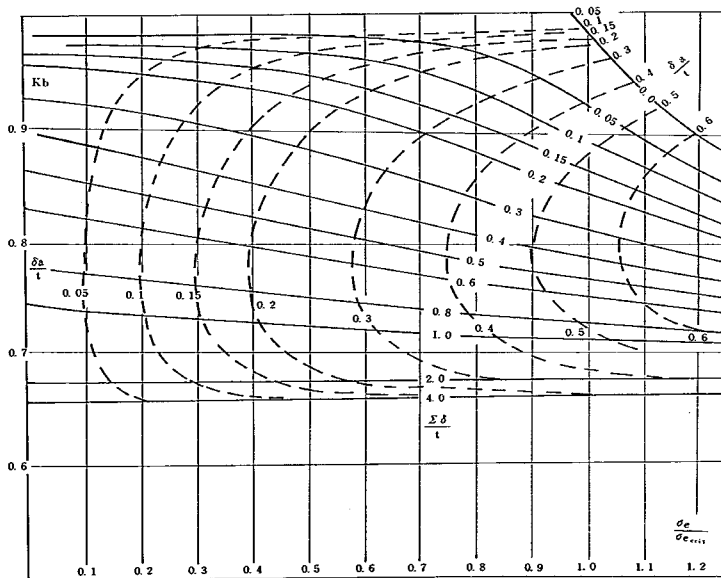


図 18.7 A 直線を保っている縁端の板の有効幅（割線剛性）

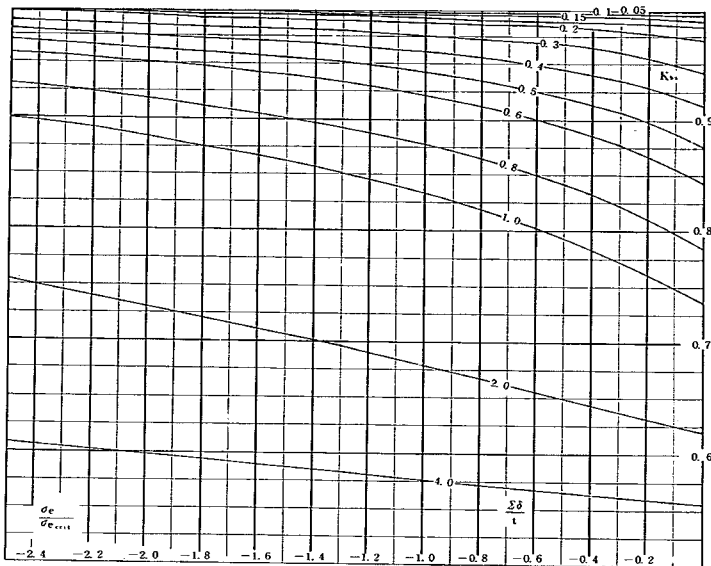


図 18.8 面内において拘束されていない縁端の引張における板の有効幅（割線剛性）

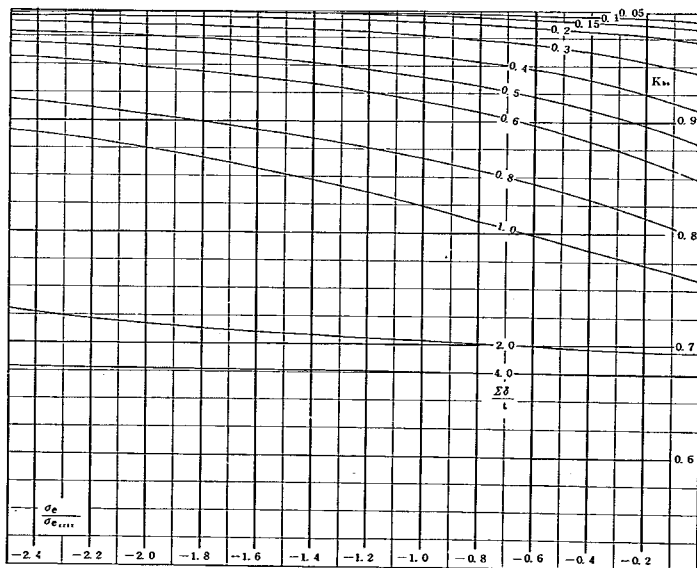


図 18.9 直線を保っている縁端の引張における板の有効幅（割線剛性）

19. 板パネルの安定性 (stability) と強度

この節は、パネル縁の面外動 (out-of-plane movement) を防ぐことができる補剛材または箱げた他の補剛部材 (stiff parts) によって仕切られた任意の板パネルに対して適用する。

19. 1 板パネルの安定性

19. 1. 1 強度評価の最初の段階として、各板パネルに対する限界座屈応力の大きさを評価するものとする。パネル境界は単純支持と仮定するものとするが、補剛材が箱げたに取付けられていない場合は自由と仮定するものとする。デッキプレートの上にずれ止めで連結された鉄筋コンクリートが置かれている場合、その板はずれ止めの横方向間隔に等しい幅を持つ多数の等価なパネルとして扱うものとする。

図 19. 1 から図 19. 2 に与えられた分布では正確に表わすことができないような、任意の境界に沿って変化する境界応力を受けるパネルに対しては、限界応力は 19. 1. 4 条に与えられた手順か、または各境界上の最大値に等しい大きさの一定の境界応力が作用すると仮定することによって算定してよい。図 19. 1 から図 19. 9 で扱われているものと異なる形状の板パネルの場合は、限界応力はこれらの図を使用して評価してもよいが、この場合、板の大きさと形態 (geometry) は最小境界の長方形のものと仮定する。

19. 1. 2 限界座屈応力の決定

単純支持された境界を持つ長方形パネルに対する面内応力の限界座屈値は、図 19. 1 ～図 19. 5 から決定してよい。また、若干の非長方形パネルに対しては図 19. 6 ～図 19. 9 から決定してよい。ここでは板厚であり、他の寸法は図に示す通りである。パネルの幅か長さ内で板厚が変化するパネルに対しては、 t は最小板厚か、または寸法 $\frac{a}{2} \times \frac{b}{2}$ の中央長方形上の平均値の何れかをとってよい。

19. 1. 3 応力間の相関作用 (interaction)

板が 2 形式以上の作用応力を受ける場合は、座屈を生じさせる応力の限界値は相関作用により修正する。限界組合せ応力を決定するには次の手順を使用してよい。

19. 1. 3. 1 単純応力分布間の相関作用

長方形板パネルに対しては、若干の単純応力パターンに対する相関作用の関係を図 19. 10 から図 19. 14 に図示してある。この曲線は、座屈を生じさせるに必要な単独作用時の無修正限界値に対する各合成応力の同時発生比 (coincident ratio) R' を定義している。

従って、各合成応力の限界値は次のように定義される。

$$\begin{aligned}\sigma'_{cr1} &= \sigma_1 \lambda_b = \sigma_{cr1} R_1' \\ \sigma'_{bcr} &= \sigma_b \lambda_b = \sigma_{bcr} R_b' \\ \tau'_{cr} &= \tau \lambda_b = \tau_{cr} R_s' \quad \text{など。}\end{aligned}$$

ここで、 σ_{cr1} 、 τ_{cr} などは無修正の限界値である。

λ_b = 係数

この係数により組合せ作用応力は座屈を生じさせるように増大させなければならない。
等価応力の限界座屈値は、

$$\sigma_{crit} = \sigma_e \lambda_b \quad \text{である。}$$

ここで、 σ_e = 作用応力による等価応力。

19. 1. 3. 2 近似代数相関作用関係 (Approximate Algebraic Interaction Relationship)

作用応力の組合せが図 19. 10 ~ 図 19. 14 に与えられた相関作用曲線の範囲外であるが、作用応力の個々の成分が単純形式である場合は、そのような個々の無修正の限界応力は図 19. 1 ~ 図 19. 14 から計算できるので、以下の相関作用関係を 5 個の応力成分までに対する修正限界応力の計算に対して採用してよい。

以下において、 R_{b1} 、 R_{b2} および R_s は、それぞれ作用合成応力 σ_{b1} 、 σ_{b2} および τ のそれらの無修正限界値に対する比である。

R_{c1} および R_{c2} は次のように定義される。

$$\sigma_0 = \frac{\pi^2 E}{12 (1 - \nu^2)} \left(\frac{t}{b} \right)^2$$

$$R_{c1} = \frac{\sigma_1}{\sigma_0 \left(\frac{\phi}{m} + \frac{m}{\phi} \right)^2} \quad \phi \geq \frac{1}{2} \text{ のとき}$$

$$= \frac{\sigma_1 + (1 - 2\phi) \sigma_{b1}}{\sigma_0 \left(\frac{\phi}{m} + \frac{m}{\phi} \right)^2} \quad \phi < \frac{1}{2} \text{ のとき}$$

$$R_{c2} = \frac{\sigma_2}{\sigma_0 \left(1 + \frac{m^2}{\phi^2} \right)^2} \quad \phi \leq 2 \text{ のとき}$$

$$= \frac{\sigma_2 + \left(\frac{\phi - 2}{\phi} \right) \sigma_{b2}}{\sigma_0 \left(1 + \frac{m^2}{\phi^2} \right)^2} \quad \phi > 2 \text{ のとき}$$

ここで、 m = 寸法 a における半波長の数

σ_1 、 σ_2 は圧縮のときに正とする。

a. 長辺方向に平均引張応力、短辺方向に平均圧縮応力

長辺方向に σ_2 をとる (すなわち $\phi < 1$)。従って σ_1 が正、 σ_2 が負である。

正の ($R_{c1} + R_{c2}$) に対して、

$$\begin{aligned} & \lambda b^2 \{ (\phi^2 R_{b1} + R_{b2})^2 + (2\phi - 1) R_{b2} R_{c1} + R_s^2 \\ & - \left(\frac{1 - \phi}{3} \right) R_s \{ (\phi^2 R_{b1} + R_{b2}) + (R_{c1} + R_{c2}) \} \} \\ & + \lambda b (R_{c1} + R_{c2}) - 1 = 0 \end{aligned}$$

負の ($R_{c1} + R_{c2}$) に対して、

$$\begin{aligned} & \lambda b^2 \{ (\phi^2 R_{b1} + R_{b2})^2 + (2\phi - 1) R_{b2} R_{c1} + R_s^2 \\ & - \left(\frac{1 - \phi}{3} \right) R_s (\phi^2 R_{b1} + R_{b2}) \} \\ & + \lambda b (R_{c1} + R_{c2}) - 1 = 0 \end{aligned}$$

b. 他の全ての応力組合せ

長辺方向に σ_1 をとる(すなわち $\phi > 1$)。

σ_1 が正のときは図 19. 15 から m を得る。

σ_1 と σ_2 がともに負のときは $m = 1$ とする。

Re_1 と Re_2 がともに正に対して、

$$\begin{aligned} & \lambda b^2 \left(\left(Rb_1 + \frac{Rb_2}{\phi^2} \right)^2 + \left(\frac{2 - \phi}{\phi} \right) Rb_1 Re_2 + R_s^2 \right. \\ & \left. - \left(\frac{\phi - 1}{3\phi} \right) R_s \left\{ \left(Rb_1 + \frac{Rb_2}{\phi^2} \right) + (Re_1 + Re_2) \right\} \right) \\ & + \lambda b (Re_1 + Re_2) - 1 = 0 \end{aligned}$$

Re_2 が負で、 $(Re_1 + Re_2)$ が正に対して、

$$\begin{aligned} & \lambda b^2 \left(\left(Rb_1 + \frac{Rb_2}{\phi^2} \right)^2 + R_s^2 - \left(\frac{\phi - 1}{3\phi} \right) R_s \left\{ \left(Rb_1 + \frac{Rb_2}{\phi^2} \right) + (Re_1 + Re_2) \right\} \right) \\ & + \lambda b (Re_1 + Re_2) - 1 = 0 \end{aligned}$$

Re_2 と $(Re_1 + Re_2)$ がともに負に対して、

$$\begin{aligned} & \lambda b^2 \left(\left(Rb_1 + \frac{Rb_2}{\phi^2} \right)^2 + R_s^2 - \left(\frac{\phi - 1}{3\phi} \right) R_s \left(Rb_1 + \frac{Rb_2}{\phi^2} \right) \right) \\ & - \lambda b (Re_1 + Re_2) - 1 = 0 \end{aligned}$$

c. 全てのケースにおいて、係数 λb は相関作用の適当な2次方程式の正根として得ることができる。従って、修正限界応力は $\sigma_1 \lambda b$, $\sigma_2 \lambda b$, $\sigma_{b1} \lambda b$, $\sigma_{b2} \lambda b$ および $\tau \lambda b$ である。

19. 1. 3. 3 パネルの対向縁上の合成応力が図 19. 16 に示すように等しくない場合は、等価な等分布応力 σ_1 および σ_2 を次のように 19. 1. 3. 2 条の相関作用の関係式において使用してよい。

a. $\sigma_{m1} \pm \sigma_{v1}$ を2つの対向短辺縁上の長辺方向の一樣応力とすると、 σ_{m1} が正のとき(すなわち圧縮)。

$$\frac{\sigma_{v1}}{\sigma_{m1}} \geq \frac{3(\phi - 1)}{\phi} \text{ なら,}$$

$$\sigma_1 = \sigma_{m1} \left(1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\sigma_{v1}}{\sigma_{m1}} \right)^2 \right) \text{ または } (\sigma_{m1} + \sigma_{v1}) \text{ の何れか小さい方}$$

$$\frac{\sigma_{v1}}{\sigma_{m1}} < \frac{3(\phi - 1)}{\phi} \text{ なら, } \sigma_1 = \sigma_{m1} \left(1 + \frac{\phi - 1}{\phi} \left(\frac{\sigma_{v1}}{\sigma_{m1}} \right) \right)$$

$$\sigma_{m1} \text{ が負のとき, } \sigma_1 = \sigma_{m1} + \sigma_{v1}$$

b. $\sigma_{m2} \pm \sigma_{v2}$ を2つの対向長辺縁上の短辺方向の一樣応力、 σ_{b2} をこれら2つの縁上の面内共存純曲げ応力とすると、 σ_{m2} が正のとき、

$\phi > 2$ なら、

$$\sigma_2 = \left(1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\sigma_{v2}}{\sigma_{m2}} \right)^2 \right) + \left(\frac{\phi - 2}{\phi} \right) \sigma_{b2} \quad \text{または}$$

$$\left(\sigma_{m2} + \sigma_{v2} + \left(\frac{\phi - 2}{\phi} \right) \sigma_{b2} \right) \quad \text{の何れか小さい方。}$$

$1 \leq \phi \leq 2$ なら,

$$\sigma_2 = \sigma_{m2} \left(1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\sigma_{v2}}{\sigma_{m2}} \right)^2 \right) \quad \text{または} \quad (\sigma_{m2} + \sigma_{v2}) \quad \text{の何れか小さい方。}$$

σ_{m2} が負のとき, $\phi > 2$ なら,

$$\sigma_2 = \sigma_{m2} + \sigma_{v2} + \left(\frac{\phi - 2}{\phi} \right) \sigma_{b2}$$

$1 \leq \phi \leq 2$ なら,

$$\sigma_2 = \sigma_{m2} + \sigma_{v2}$$

19. 1. 4 複合形態 (complex manner) で変化する応力間の相関作用

19. 1. 4. 1 長方形の板パネルが複合系応力 (complex stress system) を受ける場合には, 等価応力とその限界座屈値を決定するのに次の方法を使用してよい。

19. 1. 4. 2 各パネルは図 19. 16 (a) に示すように, 寸法 a 上に p 個, 寸法 b 上に q 個の要素配列を形成する一様な大きさの長方形要素から成り立つと考えるべきである。そのパネル内の $p \times q$ 個の要素の各々における直交応力成分 σ_x と σ_y の各平均値を最初に決定し, 次に図 19. 16 (a) に示す全体パネルにおける全縁応力の 6 個の有効成分に換算する。これらの 6 個の等価成分は次のものから成り立つ。

σ_{m1} = 応力 σ_x の有効平均

σ_{v1} = 方向 x における応力 σ_x の有効直線変化 (パネル長の $1/2$ 上での)

σ_{b1} = 方向 y における応力 σ_x の有効直線変化 (パネル幅の $1/2$ 上での)

σ_{m2} = 応力 σ_y の有効平均

σ_{v2} = 方向 y における応力 σ_y の有効直線変化 (パネル幅の $1/2$ 上での)

σ_{b2} = 方向 x における応力 σ_y の有効直線変化 (パネル長の $1/2$ 上での)

これらの有効応力成分は表 19. 1, 19. 2 および 19. 3 に与えられている係数の配列より, $p \times q$ 要素における応力から計算される。

- σ_{m1} を計算するためには表 19. 1 の p 列, q 行の配列を使用し, 要素応力 σ_x に対応要素係数 C_m を乗じて集計する。
- σ_{b1} を計算するためには表 19. 2 の p 列, q 行の配列を使用し, 要素応力値 ($\sigma_x - \sigma_{m1}$) に適当な係数 C_b を乗じて集計する。その係数は σ_{b1} のより大きな正の値を得るため表 19. 2 に表わされたものか, または上下を逆にしたものを使用するものとする。
- σ_{v1} を計算するためには表 19. 3 の p 列, q 行の配列を使用し, 要素応力値 ($\sigma_x - \sigma_{m1}$) に適当な係数 C_v を乗じて集計する。配列は σ_{v1} のより大きな正の値を得られるような方法で, 左方または右方に対してより大きな係数で使用するべきであることに注意すること。

d. 応力 σ_{m2} , σ_{b2} および σ_{v2} も同様に、応力配列を 90° 回転し、表 19.1 ~ 表 19.3 に示した方向に応力の作用方向を一致させることによって要素応力 σ_y から得られる。全ての係数は、圧縮応力を常に正とみなして代数的に適用すべきであることに注意する。

19.1.4.3 有効等分布せん断応力は次のようにとるものとする。

$$\tau_{eff} = \frac{a (F_1 + F_3) - b (F_2 + F_4)}{4abt}$$

ここで、 F_1 , F_2 , F_3 および F_4 は、パネルの各縁に作用する境界せん断力で、時計廻り方向の場合を正とする。(図 19.16 (a) 参照)

19.1.4.4 応力がパネル境界力によって完全に定義される場合は、各垂直縁上の X 方向の直応力はその特定の縁上の応力分布に対して表 19.1 の単独列配列の 1 つから得られる係数 C_m を適用して得られる。このようにして求めた 2 つの対向縁上の 2 つの平均応力は、($\sigma_{m1} \pm \sigma_{v1}$) に相当する。曲げ応力 σ_{b1} は両方の縁上の対応応力 ($\sigma_x - \sigma_{m1}$) に対して、表 19.2 の 2 列配列の 1 つの係数 C_b を適用することによって得られる。応力 σ_{m2} , σ_{v2} および σ_{b2} は、 90° 回転した配列を用い同様の方法で得られる。

19.1.4.5 19.1.3.1, 19.1.3.2 および 19.1.3.3 条に従って限界座屈値を求めるのに、有効応力成分を用いてよい。

19.2 板パネルの強度

19.2.1 けた断面の特性抵抗モーメントを決定する場合に使用すべき板パネルの強度は、この節で述べるように計算するものとする。さらに、次の板パネルについてもまた 19.2.4 条に従って、供用適性に対して照査しなければならない。

- a. 補剛されていないフランジにおけるフランジ板パネル
- b. ダイアフラム板パネル。ただし、19.2.9 条に従う支承上のものまたは 19.2.5.5 条のウェブに対する規定に従って形成され、補剛されたものは除く。
- c. ウェブにおける板パネル。ただし、ウェブが 6.2.1.b 条に従って得られた作用応力に対して設計された場合、またはウェブパネルが 19.2.5.5 条に従って補剛されている場合は除く。

19.2.2 支点ダイアフラムおよび横フレームのフランジの有効幅内の板パネルの強度評価に対しては、箱げたの全体作用により生ずる応力の他に、ダイアフラム・横フレーム作用により生ずる応力を考慮しなければならない。

19.2.3 縁における面内拘束

19.2.3.1 板パネルの強度と供用適性は面内動に対し板パネル境界に供される拘束の程度に左右される。多重補剛された板の中間パネルは面内動に対して完全に拘束されているものと仮定してよい。箱げた横断面の隅角部のパネルに対する拘束度 β_E は図 19.17 に示す有効境界部材の弾性特性から次のように計算するものとする。

$$\beta_E = \left(\frac{800 I_b}{t b^3} \right) \bigg/ \left(1 + \frac{105 I_b}{A_p b^2} \right)$$

ここで、 t と b は着目した板パネルの厚さと幅である。

表 19.1 要素配列 $p \times q$ の有効平均応力に対する影響係数 C_m

$p = 5, q = 6$ <table><tr><td>.001</td><td>.008</td><td>.012</td><td>.008</td><td>.001</td></tr><tr><td>.008</td><td>.044</td><td>.066</td><td>.044</td><td>.008</td></tr><tr><td>.015</td><td>.080</td><td>.120</td><td>.080</td><td>.015</td></tr><tr><td>.015</td><td>.080</td><td>.120</td><td>.080</td><td>.015</td></tr><tr><td>.008</td><td>.044</td><td>.066</td><td>.044</td><td>.008</td></tr><tr><td>.001</td><td>.008</td><td>.012</td><td>.008</td><td>.001</td></tr></table>	.001	.008	.012	.008	.001	.008	.044	.066	.044	.008	.015	.080	.120	.080	.015	.015	.080	.120	.080	.015	.008	.044	.066	.044	.008	.001	.008	.012	.008	.001	$p = 4, q = 6$ <table><tr><td>.003</td><td>.012</td><td>.012</td><td>.003</td></tr><tr><td>.015</td><td>.070</td><td>.070</td><td>.015</td></tr><tr><td>.028</td><td>.127</td><td>.127</td><td>.028</td></tr><tr><td>.028</td><td>.127</td><td>.127</td><td>.028</td></tr><tr><td>.015</td><td>.070</td><td>.070</td><td>.015</td></tr><tr><td>.003</td><td>.012</td><td>.012</td><td>.003</td></tr></table>	.003	.012	.012	.003	.015	.070	.070	.015	.028	.127	.127	.028	.028	.127	.127	.028	.015	.070	.070	.015	.003	.012	.012	.003	$p = 3, q = 6$ <table><tr><td>.006</td><td>.019</td><td>.006</td></tr><tr><td>.033</td><td>.104</td><td>.033</td></tr><tr><td>.060</td><td>.190</td><td>.060</td></tr><tr><td>.060</td><td>.190</td><td>.060</td></tr><tr><td>.033</td><td>.104</td><td>.033</td></tr><tr><td>.006</td><td>.018</td><td>.006</td></tr></table>	.006	.019	.006	.033	.104	.033	.060	.190	.060	.060	.190	.060	.033	.104	.033	.006	.018	.006	$p = 2, q = 6$ <table><tr><td>.015</td><td>.015</td></tr><tr><td>.085</td><td>.085</td></tr><tr><td>.155</td><td>.155</td></tr><tr><td>.155</td><td>.155</td></tr><tr><td>.085</td><td>.085</td></tr><tr><td>.015</td><td>.015</td></tr></table>	.015	.015	.085	.085	.155	.155	.155	.155	.085	.085	.015	.015	$p = 1, q = 6$ <table><tr><td>.030</td></tr><tr><td>.170</td></tr><tr><td>.310</td></tr><tr><td>.310</td></tr><tr><td>.170</td></tr><tr><td>.030</td></tr></table>	.030	.170	.310	.310	.170	.030
.001	.008	.012	.008	.001																																																																																										
.008	.044	.066	.044	.008																																																																																										
.015	.080	.120	.080	.015																																																																																										
.015	.080	.120	.080	.015																																																																																										
.008	.044	.066	.044	.008																																																																																										
.001	.008	.012	.008	.001																																																																																										
.003	.012	.012	.003																																																																																											
.015	.070	.070	.015																																																																																											
.028	.127	.127	.028																																																																																											
.028	.127	.127	.028																																																																																											
.015	.070	.070	.015																																																																																											
.003	.012	.012	.003																																																																																											
.006	.019	.006																																																																																												
.033	.104	.033																																																																																												
.060	.190	.060																																																																																												
.060	.190	.060																																																																																												
.033	.104	.033																																																																																												
.006	.018	.006																																																																																												
.015	.015																																																																																													
.085	.085																																																																																													
.155	.155																																																																																													
.155	.155																																																																																													
.085	.085																																																																																													
.015	.015																																																																																													
.030																																																																																														
.170																																																																																														
.310																																																																																														
.310																																																																																														
.170																																																																																														
.030																																																																																														
$p = 5, q = 5$ <table><tr><td>.002</td><td>.013</td><td>.020</td><td>.013</td><td>.002</td></tr><tr><td>.012</td><td>.067</td><td>.102</td><td>.067</td><td>.012</td></tr><tr><td>.019</td><td>.103</td><td>.156</td><td>.103</td><td>.013</td></tr><tr><td>.012</td><td>.067</td><td>.102</td><td>.067</td><td>.012</td></tr><tr><td>.002</td><td>.013</td><td>.020</td><td>.013</td><td>.002</td></tr></table>	.002	.013	.020	.013	.002	.012	.067	.102	.067	.012	.019	.103	.156	.103	.013	.012	.067	.102	.067	.012	.002	.013	.020	.013	.002	$p = 4, q = 5$ <table><tr><td>.005</td><td>.020</td><td>.020</td><td>.005</td></tr><tr><td>.024</td><td>.106</td><td>.106</td><td>.024</td></tr><tr><td>.036</td><td>.164</td><td>.164</td><td>.036</td></tr><tr><td>.024</td><td>.106</td><td>.106</td><td>.024</td></tr><tr><td>.005</td><td>.020</td><td>.020</td><td>.005</td></tr></table>	.005	.020	.020	.005	.024	.106	.106	.024	.036	.164	.164	.036	.024	.106	.106	.024	.005	.020	.020	.005	$p = 3, q = 5$ <table><tr><td>.010</td><td>.030</td><td>.010</td></tr><tr><td>.050</td><td>.160</td><td>.050</td></tr><tr><td>.077</td><td>.246</td><td>.077</td></tr><tr><td>.050</td><td>.160</td><td>.050</td></tr><tr><td>.010</td><td>.030</td><td>.010</td></tr></table>	.010	.030	.010	.050	.160	.050	.077	.246	.077	.050	.160	.050	.010	.030	.010	$p = 2, q = 5$ <table><tr><td>.025</td><td>.025</td></tr><tr><td>.130</td><td>.130</td></tr><tr><td>.200</td><td>.200</td></tr><tr><td>.130</td><td>.130</td></tr><tr><td>.025</td><td>.025</td></tr></table>	.025	.025	.130	.130	.200	.200	.130	.130	.025	.025	$p = 1, q = 5$ <table><tr><td>.050</td></tr><tr><td>.260</td></tr><tr><td>.400</td></tr><tr><td>.250</td></tr><tr><td>.050</td></tr></table>	.050	.260	.400	.250	.050															
.002	.013	.020	.013	.002																																																																																										
.012	.067	.102	.067	.012																																																																																										
.019	.103	.156	.103	.013																																																																																										
.012	.067	.102	.067	.012																																																																																										
.002	.013	.020	.013	.002																																																																																										
.005	.020	.020	.005																																																																																											
.024	.106	.106	.024																																																																																											
.036	.164	.164	.036																																																																																											
.024	.106	.106	.024																																																																																											
.005	.020	.020	.005																																																																																											
.010	.030	.010																																																																																												
.050	.160	.050																																																																																												
.077	.246	.077																																																																																												
.050	.160	.050																																																																																												
.010	.030	.010																																																																																												
.025	.025																																																																																													
.130	.130																																																																																													
.200	.200																																																																																													
.130	.130																																																																																													
.025	.025																																																																																													
.050																																																																																														
.260																																																																																														
.400																																																																																														
.250																																																																																														
.050																																																																																														
$p = 5, q = 4$ <table><tr><td>.005</td><td>.026</td><td>.038</td><td>.026</td><td>.005</td></tr><tr><td>.020</td><td>.108</td><td>.164</td><td>.108</td><td>.020</td></tr><tr><td>.020</td><td>.108</td><td>.164</td><td>.108</td><td>.020</td></tr><tr><td>.005</td><td>.026</td><td>.038</td><td>.026</td><td>.005</td></tr></table>	.005	.026	.038	.026	.005	.020	.108	.164	.108	.020	.020	.108	.164	.108	.020	.005	.026	.038	.026	.005	$p = 4, q = 4$ <table><tr><td>.009</td><td>.041</td><td>.041</td><td>.009</td></tr><tr><td>.038</td><td>.172</td><td>.172</td><td>.038</td></tr><tr><td>.038</td><td>.172</td><td>.172</td><td>.038</td></tr><tr><td>.009</td><td>.041</td><td>.041</td><td>.009</td></tr></table>	.009	.041	.041	.009	.038	.172	.172	.038	.038	.172	.172	.038	.009	.041	.041	.009	$p = 3, q = 4$ <table><tr><td>.019</td><td>.062</td><td>.019</td></tr><tr><td>.081</td><td>.258</td><td>.081</td></tr><tr><td>.081</td><td>.258</td><td>.081</td></tr><tr><td>.019</td><td>.062</td><td>.019</td></tr></table>	.019	.062	.019	.081	.258	.081	.081	.258	.081	.019	.062	.019	$p = 2, q = 4$ <table><tr><td>.050</td><td>.050</td></tr><tr><td>.210</td><td>.210</td></tr><tr><td>.210</td><td>.210</td></tr><tr><td>.050</td><td>.050</td></tr></table>	.050	.050	.210	.210	.210	.210	.050	.050	$p = 1, q = 4$ <table><tr><td>.100</td></tr><tr><td>.420</td></tr><tr><td>.420</td></tr><tr><td>.100</td></tr></table>	.100	.420	.420	.100																														
.005	.026	.038	.026	.005																																																																																										
.020	.108	.164	.108	.020																																																																																										
.020	.108	.164	.108	.020																																																																																										
.005	.026	.038	.026	.005																																																																																										
.009	.041	.041	.009																																																																																											
.038	.172	.172	.038																																																																																											
.038	.172	.172	.038																																																																																											
.009	.041	.041	.009																																																																																											
.019	.062	.019																																																																																												
.081	.258	.081																																																																																												
.081	.258	.081																																																																																												
.019	.062	.019																																																																																												
.050	.050																																																																																													
.210	.210																																																																																													
.210	.210																																																																																													
.050	.050																																																																																													
.100																																																																																														
.420																																																																																														
.420																																																																																														
.100																																																																																														
$p = 5, q = 3$ <table><tr><td>.010</td><td>.053</td><td>.080</td><td>.053</td><td>.010</td></tr><tr><td>.031</td><td>.165</td><td>.248</td><td>.165</td><td>.031</td></tr><tr><td>.010</td><td>.053</td><td>.080</td><td>.053</td><td>.010</td></tr></table>	.010	.053	.080	.053	.010	.031	.165	.248	.165	.031	.010	.053	.080	.053	.010	$p = 4, q = 3$ <table><tr><td>.019</td><td>.084</td><td>.084</td><td>.019</td></tr><tr><td>.058</td><td>.262</td><td>.262</td><td>.058</td></tr><tr><td>.019</td><td>.084</td><td>.084</td><td>.019</td></tr></table>	.019	.084	.084	.019	.058	.262	.262	.058	.019	.084	.084	.019	$p = 3, q = 3$ <table><tr><td>.040</td><td>.126</td><td>.040</td></tr><tr><td>.123</td><td>.394</td><td>.123</td></tr><tr><td>.040</td><td>.126</td><td>.040</td></tr></table>	.040	.126	.040	.123	.394	.123	.040	.126	.040	$p = 2, q = 3$ <table><tr><td>.103</td><td>.103</td></tr><tr><td>.320</td><td>.320</td></tr><tr><td>.103</td><td>.103</td></tr></table>	.103	.103	.320	.320	.103	.103	$p = 1, q = 3$ <table><tr><td>.206</td></tr><tr><td>.640</td></tr><tr><td>.106</td></tr></table>	.206	.640	.106																																													
.010	.053	.080	.053	.010																																																																																										
.031	.165	.248	.165	.031																																																																																										
.010	.053	.080	.053	.010																																																																																										
.019	.084	.084	.019																																																																																											
.058	.262	.262	.058																																																																																											
.019	.084	.084	.019																																																																																											
.040	.126	.040																																																																																												
.123	.394	.123																																																																																												
.040	.126	.040																																																																																												
.103	.103																																																																																													
.320	.320																																																																																													
.103	.103																																																																																													
.206																																																																																														
.640																																																																																														
.106																																																																																														
$p = 5, q = 2$ <table><tr><td>.027</td><td>.144</td><td>.218</td><td>.144</td><td>.027</td></tr><tr><td>.027</td><td>.144</td><td>.218</td><td>.144</td><td>.027</td></tr></table>	.027	.144	.218	.144	.027	.027	.144	.218	.144	.027	$p = 4, q = 2$ <table><tr><td>.051</td><td>.229</td><td>.229</td><td>.051</td></tr><tr><td>.051</td><td>.229</td><td>.229</td><td>.051</td></tr></table>	.051	.229	.229	.051	.051	.229	.229	.051	$p = 3, q = 2$ <table><tr><td>.108</td><td>.344</td><td>.108</td></tr><tr><td>.108</td><td>.344</td><td>.108</td></tr></table>	.108	.344	.108	.108	.344	.108	$p = 2, q = 2$ <table><tr><td>.28</td><td>.28</td></tr><tr><td>.28</td><td>.28</td></tr></table>	.28	.28	.28	.28	$p = 1, q = 2$ <table><tr><td>.56</td></tr><tr><td>.56</td></tr></table>	.56	.56																																																												
.027	.144	.218	.144	.027																																																																																										
.027	.144	.218	.144	.027																																																																																										
.051	.229	.229	.051																																																																																											
.051	.229	.229	.051																																																																																											
.108	.344	.108																																																																																												
.108	.344	.108																																																																																												
.28	.28																																																																																													
.28	.28																																																																																													
.56																																																																																														
.56																																																																																														

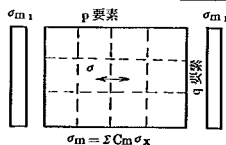


表 19.2 要素配列 $p \times q$ の有効面内曲げ応力に対する影響係数 C_b

$p = 5, q = 6$ <table><tr><td>.022</td><td>.110</td><td>.177</td><td>.110</td><td>.022</td></tr><tr><td>.051</td><td>.274</td><td>.412</td><td>.274</td><td>.051</td></tr><tr><td>.014</td><td>.076</td><td>.115</td><td>.076</td><td>.014</td></tr><tr><td>.005</td><td>.025</td><td>.038</td><td>.025</td><td>.005</td></tr><tr><td>.002</td><td>.011</td><td>.017</td><td>.011</td><td>.002</td></tr><tr><td>0</td><td>00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	.022	.110	.177	.110	.022	.051	.274	.412	.274	.051	.014	.076	.115	.076	.014	.005	.025	.038	.025	.005	.002	.011	.017	.011	.002	0	00	0	0	0	$p = 4, q = 6$ <table><tr><td>.041</td><td>.187</td><td>.187</td><td>.041</td></tr><tr><td>.097</td><td>.434</td><td>.434</td><td>.097</td></tr><tr><td>.027</td><td>.121</td><td>.121</td><td>.027</td></tr><tr><td>.009</td><td>.040</td><td>.040</td><td>.009</td></tr><tr><td>.004</td><td>.018</td><td>.018</td><td>.004</td></tr><tr><td>0</td><td>.003</td><td>.003</td><td>0</td></tr></table>	.041	.187	.187	.041	.097	.434	.434	.097	.027	.121	.121	.027	.009	.040	.040	.009	.004	.018	.018	.004	0	.003	.003	0	$p = 3, q = 6$ <table><tr><td>.087</td><td>.202</td><td>.087</td></tr><tr><td>.204</td><td>.654</td><td>.204</td></tr><tr><td>.057</td><td>.182</td><td>.057</td></tr><tr><td>.019</td><td>.059</td><td>.019</td></tr><tr><td>.008</td><td>.028</td><td>.008</td></tr><tr><td>0</td><td>.005</td><td>0</td></tr></table>	.087	.202	.087	.204	.654	.204	.057	.182	.057	.019	.059	.019	.008	.028	.008	0	.005	0	$p = 2, q = 6$ <table><tr><td>.228</td><td>.228</td></tr><tr><td>.531</td><td>.531</td></tr><tr><td>.148</td><td>.148</td></tr><tr><td>.049</td><td>.049</td></tr><tr><td>.022</td><td>.022</td></tr><tr><td>.003</td><td>.003</td></tr></table>	.228	.228	.531	.531	.148	.148	.049	.049	.022	.022	.003	.003	$p = 1, q = 6$ <table><tr><td>.456</td></tr><tr><td>1.062</td></tr><tr><td>.296</td></tr><tr><td>.098</td></tr><tr><td>.044</td></tr><tr><td>.006</td></tr></table>	.456	1.062	.296	.098	.044	.006
.022	.110	.177	.110	.022																																																																																										
.051	.274	.412	.274	.051																																																																																										
.014	.076	.115	.076	.014																																																																																										
.005	.025	.038	.025	.005																																																																																										
.002	.011	.017	.011	.002																																																																																										
0	00	0	0	0																																																																																										
.041	.187	.187	.041																																																																																											
.097	.434	.434	.097																																																																																											
.027	.121	.121	.027																																																																																											
.009	.040	.040	.009																																																																																											
.004	.018	.018	.004																																																																																											
0	.003	.003	0																																																																																											
.087	.202	.087																																																																																												
.204	.654	.204																																																																																												
.057	.182	.057																																																																																												
.019	.059	.019																																																																																												
.008	.028	.008																																																																																												
0	.005	0																																																																																												
.228	.228																																																																																													
.531	.531																																																																																													
.148	.148																																																																																													
.049	.049																																																																																													
.022	.022																																																																																													
.003	.003																																																																																													
.456																																																																																														
1.062																																																																																														
.296																																																																																														
.098																																																																																														
.044																																																																																														
.006																																																																																														
$p = 5, q = 5$ <table><tr><td>.033</td><td>.175</td><td>.264</td><td>.175</td><td>.033</td></tr><tr><td>.051</td><td>.267</td><td>.402</td><td>.267</td><td>.051</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>.004</td><td>.022</td><td>.033</td><td>.022</td><td>.004</td></tr><tr><td>0</td><td>.003</td><td>.004</td><td>.003</td><td>0</td></tr></table>	.033	.175	.264	.175	.033	.051	.267	.402	.267	.051	0	0	0	0	0	.004	.022	.033	.022	.004	0	.003	.004	.003	0	$p = 4, q = 5$ <table><tr><td>.062</td><td>.278</td><td>.278</td><td>.062</td></tr><tr><td>.094</td><td>.425</td><td>.425</td><td>.094</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>.008</td><td>.034</td><td>.034</td><td>.008</td></tr><tr><td>0</td><td>.005</td><td>.005</td><td>0</td></tr></table>	.062	.278	.278	.062	.094	.425	.425	.094	0	0	0	0	.008	.034	.034	.008	0	.005	.005	0	$p = 3, q = 5$ <table><tr><td>.131</td><td>.419</td><td>.131</td></tr><tr><td>.199</td><td>.640</td><td>.199</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>.016</td><td>.052</td><td>.016</td></tr><tr><td>.002</td><td>.006</td><td>.002</td></tr></table>	.131	.419	.131	.199	.640	.199	0	0	0	.016	.052	.016	.002	.006	.002	$p = 2, q = 5$ <table><tr><td>.340</td><td>.340</td></tr><tr><td>.519</td><td>.519</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>.042</td><td>.042</td></tr><tr><td>.005</td><td>.005</td></tr></table>	.340	.340	.519	.519	0	0	.042	.042	.005	.005	$p = 1, q = 5$ <table><tr><td>.680</td></tr><tr><td>1.038</td></tr><tr><td>0</td></tr><tr><td>.084</td></tr><tr><td>.010</td></tr></table>	.680	1.038	0	.084	.010															
.033	.175	.264	.175	.033																																																																																										
.051	.267	.402	.267	.051																																																																																										
0	0	0	0	0																																																																																										
.004	.022	.033	.022	.004																																																																																										
0	.003	.004	.003	0																																																																																										
.062	.278	.278	.062																																																																																											
.094	.425	.425	.094																																																																																											
0	0	0	0																																																																																											
.008	.034	.034	.008																																																																																											
0	.005	.005	0																																																																																											
.131	.419	.131																																																																																												
.199	.640	.199																																																																																												
0	0	0																																																																																												
.016	.052	.016																																																																																												
.002	.006	.002																																																																																												
.340	.340																																																																																													
.519	.519																																																																																													
0	0																																																																																													
.042	.042																																																																																													
.005	.005																																																																																													
.680																																																																																														
1.038																																																																																														
0																																																																																														
.084																																																																																														
.010																																																																																														
$p = 5, q = 4$ <table><tr><td>.051</td><td>.266</td><td>.402</td><td>.266</td><td>.051</td></tr><tr><td>.033</td><td>.176</td><td>.265</td><td>.176</td><td>.033</td></tr><tr><td>.007</td><td>.038</td><td>.058</td><td>.038</td><td>.007</td></tr><tr><td>.001</td><td>.005</td><td>.008</td><td>.005</td><td>.001</td></tr></table>	.051	.266	.402	.266	.051	.033	.176	.265	.176	.033	.007	.038	.058	.038	.007	.001	.005	.008	.005	.001	$p = 4, q = 4$ <table><tr><td>.094</td><td>.424</td><td>.424</td><td>.094</td></tr><tr><td>.062</td><td>.280</td><td>.280</td><td>.062</td></tr><tr><td>.014</td><td>.060</td><td>.060</td><td>.014</td></tr><tr><td>.002</td><td>.008</td><td>.008</td><td>.002</td></tr></table>	.094	.424	.424	.094	.062	.280	.280	.062	.014	.060	.060	.014	.002	.008	.008	.002	$p = 3, q = 4$ <table><tr><td>.199</td><td>.658</td><td>.199</td></tr><tr><td>.131</td><td>.421</td><td>.131</td></tr><tr><td>.029</td><td>.091</td><td>.029</td></tr><tr><td>.004</td><td>.012</td><td>.004</td></tr></table>	.199	.658	.199	.131	.421	.131	.029	.091	.029	.004	.012	.004	$p = 2, q = 4$ <table><tr><td>.518</td><td>.518</td></tr><tr><td>.342</td><td>.342</td></tr><tr><td>.074</td><td>.074</td></tr><tr><td>.010</td><td>.010</td></tr></table>	.518	.518	.342	.342	.074	.074	.010	.010	$p = 1, q = 4$ <table><tr><td>1.056</td></tr><tr><td>.684</td></tr><tr><td>.148</td></tr><tr><td>.020</td></tr></table>	1.056	.684	.148	.020																														
.051	.266	.402	.266	.051																																																																																										
.033	.176	.265	.176	.033																																																																																										
.007	.038	.058	.038	.007																																																																																										
.001	.005	.008	.005	.001																																																																																										
.094	.424	.424	.094																																																																																											
.062	.280	.280	.062																																																																																											
.014	.060	.060	.014																																																																																											
.002	.008	.008	.002																																																																																											
.199	.658	.199																																																																																												
.131	.421	.131																																																																																												
.029	.091	.029																																																																																												
.004	.012	.004																																																																																												
.518	.518																																																																																													
.342	.342																																																																																													
.074	.074																																																																																													
.010	.010																																																																																													
1.056																																																																																														
.684																																																																																														
.148																																																																																														
.020																																																																																														
$p = 5, q = 3$ <table><tr><td>.070</td><td>.374</td><td>.562</td><td>.374</td><td>.070</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>.002</td><td>.013</td><td>.019</td><td>.013</td><td>.002</td></tr></table>	.070	.374	.562	.374	.070	0	0	0	0	0	.002	.013	.019	.013	.002	$p = 4, q = 3$ <table><tr><td>.132</td><td>.593</td><td>.593</td><td>.132</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>.004</td><td>.021</td><td>.021</td><td>.004</td></tr></table>	.132	.593	.593	.132	0	0	0	0	.004	.021	.021	.004	$p = 3, q = 3$ <table><tr><td>.279</td><td>.892</td><td>.279</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>.010</td><td>.030</td><td>.010</td></tr></table>	.279	.892	.279	0	0	0	.010	.030	.010	$p = 2, q = 3$ <table><tr><td>.725</td><td>.725</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>.025</td><td>.025</td></tr></table>	.725	.725	0	0	.025	.025	$p = 1, q = 3$ <table><tr><td>1.450</td></tr><tr><td>0</td></tr><tr><td>.050</td></tr></table>	1.450	0	.050																																													
.070	.374	.562	.374	.070																																																																																										
0	0	0	0	0																																																																																										
.002	.013	.019	.013	.002																																																																																										
.132	.593	.593	.132																																																																																											
0	0	0	0																																																																																											
.004	.021	.021	.004																																																																																											
.279	.892	.279																																																																																												
0	0	0																																																																																												
.010	.030	.010																																																																																												
.725	.725																																																																																													
0	0																																																																																													
.025	.025																																																																																													
1.450																																																																																														
0																																																																																														
.050																																																																																														
$p = 5, q = 2$ <table><tr><td>.084</td><td>.446</td><td>.673</td><td>.446</td><td>.084</td></tr><tr><td>.013</td><td>.068</td><td>.103</td><td>.068</td><td>.013</td></tr></table>	.084	.446	.673	.446	.084	.013	.068	.103	.068	.013	$p = 4, q = 2$ <table><tr><td>.158</td><td>.710</td><td>.710</td><td>.158</td></tr><tr><td>.024</td><td>.109</td><td>.109</td><td>.024</td></tr></table>	.158	.710	.710	.158	.024	.109	.109	.024	$p = 3, q = 2$ <table><tr><td>.333</td><td>1.069</td><td>.333</td></tr><tr><td>.051</td><td>.163</td><td>.051</td></tr></table>	.333	1.069	.333	.051	.163	.051	$p = 2, q = 2$ <table><tr><td>.868</td><td>.868</td></tr><tr><td>.133</td><td>.133</td></tr></table>	.868	.868	.133	.133	$p = 1, q = 2$ <table><tr><td>1.736</td></tr><tr><td>.266</td></tr></table>	1.736	.266																																																												
.084	.446	.673	.446	.084																																																																																										
.013	.068	.103	.068	.013																																																																																										
.158	.710	.710	.158																																																																																											
.024	.109	.109	.024																																																																																											
.333	1.069	.333																																																																																												
.051	.163	.051																																																																																												
.868	.868																																																																																													
.133	.133																																																																																													
1.736																																																																																														
.266																																																																																														

注：負値の係数は上横線をもって示されている。 例 0.002

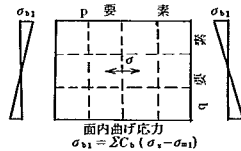
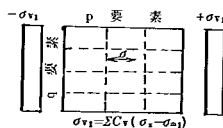


表 19.3 要素配列 $p \times q$ の有効直線変化平均応力に対する影響係数 C_v

$p=5, q=6$					$p=4, q=6$				$p=3, q=6$			$p=2, q=6$		$p=1, q=6$	
0	.002	.004	.032	.021	.001	.003	.024	.032	.001	.008	.047	.003	.056	.075	
.001	.012	.012	.181	.112	.004	.016	.140	.170	.008	.050	.250	.015	.309	.414	
.003	.022	.023	.331	.201	.006	.029	.260	.305	.015	.094	.452	.028	.564	.753	
.003	.022	.023	.331	.201	.006	.029	.260	.305	.015	.094	.452	.028	.564	.753	
.001	.012	.012	.181	.112	.004	.016	.140	.170	.008	.050	.250	.015	.309	.414	
0	.002	.004	.032	.021	.001	.003	.024	.032	.001	.008	.047	.003	.056	.075	
$p=5, q=5$					$p=4, q=5$				$p=3, q=5$			$p=2, q=5$		$p=1, q=5$	
0	.004	0	.051	.033	.001	.007	.033	.051	.002	0	.070	.013	.084	.126	
.003	.022	0	.267	.175	.005	.038	.176	.266	.013	0	.374	.058	.446	.638	
.004	.033	0	.402	.264	.008	.058	.265	.402	.019	0	.562	.103	.673	.954	
.003	.022	0	.267	.175	.005	.038	.176	.266	.013	0	.374	.058	.446	.638	
0	.004	0	.051	.033	.001	.007	.033	.051	.002	0	.070	.013	.084	.126	
$p=5, q=4$					$p=4, q=4$				$p=3, q=4$			$p=2, q=4$		$p=1, q=4$	
0	.008	0	.094	.062	.002	.014	.062	.094	.004	0	.132	.024	.158	.235	
.005	.034	0	.425	.278	.008	.060	.280	.424	.021	0	.593	.109	.710	1.006	
.005	.034	0	.425	.278	.008	.060	.280	.424	.021	0	.593	.109	.710	1.006	
0	.008	0	.094	.062	.002	.014	.062	.094	.004	0	.132	.024	.158	.235	
$p=5, q=3$					$p=4, q=3$				$p=3, q=3$			$p=2, q=3$		$p=1, q=3$	
.002	.016	0	.199	.131	.004	.029	.131	.199	.010	0	.279	.051	.333	.500	
.006	.052	0	.640	.419	.012	.091	.421	.658	.030	0	.892	.163	1.069	1.484	
.002	.016	0	.199	.131	.004	.029	.131	.199	.010	0	.279	.051	.333	.500	
$p=5, q=2$					$p=4, q=2$				$p=3, q=2$			$p=2, q=2$		$p=1, q=2$	
.005	.042	0	.519	.340	.010	.074	.342	.518	.025	0	.725	.133	.868	1.241	
.005	.042	0	.519	.340	.010	.074	.342	.518	.025	0	.725	.133	.868	1.241	

注：係数 C_v の負値は上横線をもって示されている。
例 0.002



I_b = ハッチで示した有効境界部材の断面 2 次モーメントからその境界部材と共同するパネル部分のそれ自身の断面 2 次モーメントを引いたもので、その図で軸に関して計算する (図 19. 17 参照)。

A_p = 着目している板の面にある有効境界部材の面積の部分

フランジがコンクリートと適切に連結されている場合は、ウェブに対する拘束の程度を決定するために I_b を計算する際、合成作用を考慮してよい。この場合、フランジ板に対して K_{bl} の値は 1.0 とする。

$\frac{I_b}{L^3} > 2.5 \times 10^{-3}$ の場合 (L は座屈の半波長で、パネルが面内直応力を伝達するよう設計されている場合は着目縁に平行な方向に一様圧縮を受けている場合のものとし、せん断のみを伝達するよう設計されたウェブにおいては板パネルの長さ a とする)、 β_E は無限大としてよい。また板は完全に拘束されていると考える。

さらに、境界拘束の程度 β_E は図 19. 17 に示す境界部材の最大等価応力が σ_{rs}/γ_m を越えるような値以上であってはならない。

ここで γ_m は次の単独荷重の組合作用のもとでの強度に関する適当な部分係数であり、各式の第 2 項はそれが正号のときのみ考慮するものとする。

a. 着目パネルの面における曲げモーメントについて

$$-\frac{\sigma_m t b^2}{4 \pi^2} \left(\frac{\beta_E}{1 + \beta_E} \right) \left(\frac{1 - K_{bs}}{K_{bs}} \right) + M_\tau$$

b. 着目パネルの面におけるせん断力について

$$\frac{\sigma_m t b^2}{2 \pi} \left(\frac{\beta_E}{1 + \beta_E} \right) \left(\frac{1 - K_{bs}}{K_{bs}} \right) + Q''$$

c. 着目パネルにおける面内力によるねじりについて

$$\left\{ \frac{\sigma_m t b}{2 \pi} \left(\frac{\beta_E}{1 + \beta_E} \right) \left(\frac{1 - K_{bs}}{K_{bs}} \right) + Q'' \right\} e$$

d. けたの全体曲げによる応力

e. 局部輪荷重 (もしあれば)

ここで

K_{bs} = 着目板に対する割線有効幅係数

σ_m = 板パネルにおける平均縦方向圧縮応力

M_τ = 19. 2. 7 条で定義される張力場の力の境界部材に対する作用による曲げモーメント

Q'' = 19. 2. 7 条で定義される張力場の力の境界部材に対する作用による同時発生せん断力

e = 図 19. 17 に示す境界部材の横断面のせん断中心と板の中央面との間の距離、前者は図心と一致するとしてよい。

$\gamma_m = \gamma_{ms}$ 供用不適性条件に対して

$= \gamma_{mc}$ 崩壊条件に対して

19. 2. 3. 2 端支点ダイヤフラムに接しているウェブパネルまたはフランジパネル。

拘束度 β_E はパネルの縦方向縁におけるものと端ダイヤフラムに隣接する縁におけるものについて算定しなければならない。そして β_E の下限値は崩壊と供用適性の限界荷重を計算するための全体パネルに対するものを採用するものとする。垂直方向境界を形成する部材はウェブの張力場の力を伝達するように設計するものとする (19.2.7 条参照)。

19.2.3.3 応力の再分配域におけるフランジとウェブの境界の結合

ウェブが面内曲げ応力あるいは直応力を伝達しないように設計されているか、または応力が 19.2.5.5 条に従って再分配されるよう設計されている支間の全ての部分における任意のフランジとウェブの結合は次のようでなければならない。

- (i) β_E を無限大としたとき補剛材と強度に対して 19.2.3.1 条に与えられた要求事項を満足し、かつ
- (ii) 縦方向圧縮のもとで 19.2.5.6 条から得られる制限値を越えない任意結合に隣接するフランジパネルとウェブパネルの支持されていない幅を有する。ただしこの制限を適用しないコンクリート床版に有効に連結されたフランジパネルに対しては除外する。

19.2.4 供用適性限界

19.2.4.1 板パネルに対する供用適性限界は最高等価応力が σ_{ys} に等しくなることに相当するものとする。応力がパネルによって変化する場合に照査に対して使用すべき応力は板厚の 10 倍の側面の方形の面積によっての最大平均等価応力でなければならない。

19.2.4.2 パネルが単純分布作用応力を受ける場合は、最高応力を算定するのに次の近似法を使用してよい。図 19.18～図 19.21 のグラフは単軸縦方向圧縮をうける板の表面に作用する最高等価応力である $\Sigma\sigma$ を示している。これらは面外回転に対して縁拘束のない長い板に対する弾性解に基いている。図 19.18 と図 19.19 は面内ねじれ変形に対し縁において拘束されていない板に適用し、図 19.20 と図 19.21 は面内ねじれ変形に対し縁において完全に拘束されている板に適用する。これらのグラフは 1 より大きい縦横比をもち一様縦方向圧縮を受ける板に対する供用適性限界を計算するのに使用してよい。

上記以外の分布の作用応力をうけ、また 1 より小さい縦横比の板に対しては最高等価応力 $\sigma_{e_{peak}}$ を決定するのに次の関係式を使用してよい。これらは補剛されていない支点ダイヤフラムには適当でない。

- a. 1 方向にのみ一様圧縮 (または引張) を受けるか、または 2 方向に圧縮 (または引張) をうける板、ただし後者の場合、面内曲げ応力とせん断応力を合わせ、ある方向における応力が他の方向における応力よりも明らかに支配的である場合に限る。

$$\sigma_{e_{peak}} = \sqrt{\sigma_e^2 + \eta (\Sigma\sigma - \sigma_e) \{ \eta (\Sigma\sigma - \sigma_e) + 2(\sigma_1 + \sigma_{b_1}) - (\sigma_2 + \sigma_{b_2}) \}}$$

ここで

σ_e = 理想的平面の板パネルにおける作用面内応力による最大等価応力

$\Sigma\sigma$ = 補剛されていない縁に対しては図 19.18 または図 19.19 から、また拘束された縁に対しては図 19.20 または図 19.21 から導かれる最高組合せ応力で、

σ_e の限界値として $\sigma_{e_{crit}}$ を、合計等価初期面外変形として $\Sigma\sigma$ をとる。

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_{b_1}$ および σ_{b_2} はそれぞれ σ_e の位置における方向 1 および方向 2

における作用応力で、1-方向は支配応力の方向である。

$$\eta = 1.0 \quad \text{i) } \frac{a}{b} > 1 \text{ の場合は全ケースにおいて}$$

$$\text{ii) } \frac{a}{b} < 1 \text{ で } R'_1 + (R'_{b1})^2 \text{ が負の場合のケースにおいて}$$

$$\eta = \frac{\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_e}\right) \left(\frac{mb}{na}\right)^2 \{R'_1 + (R'_{b1})^2\} + (R'_s)^2}{R'_1 + (R'_{b1})^2 + (R'_s)^2} \quad \begin{matrix} \frac{a}{b} < 1 \text{ で} \\ R'_1 + (R'_{b1})^2 \text{ が正} \\ \text{の場合} \end{matrix}$$

m および n はそれぞれ比 a/b と σ_2/σ_1 に対応する寸法 a , b 内での座屈の半波長の数である。

a = 方向 1 におけるパネルの寸法

b = 方向 2 におけるパネルの寸法

パネル内の作用面内応力が複雑な形態で変化する場合は、これらの応力は 19.1.4 条で与えられた方法によって等価な単純なパターンの応力に変換してよい。そしてこの後者の応力を上式から η を計算するための m, n, R'_b, K'_b および R'_s を得るのに使用してよい。

作用応力の作用のもとで σ_{epeak} が板パネルの降伏強度に達したとき、降伏が開始すると考えるものとする。

- b. 2 方向に圧縮をうける板、たゞしどちらの方向の応力も他の方向の応力より支配的であることがない場合である。このパネルについては 1 および 2 の方向を置き換えて考え、また 19.2.4.2.a 条の式を再適用することによって 2 度照査しなければならない。

- c. 面内動に対して縁で部分拘束されている板

σ_{epeak} に対する式において $\Sigma\sigma$ の値は次のように完全拘束と無拘束に対する値の間で内挿により求めるものとする。

$$\Sigma\sigma = \frac{1}{1+\beta_E} (\Sigma\sigma)_u + \frac{\beta_E}{1+\beta_E} (\Sigma\sigma)_r$$

ここで $(\Sigma\sigma)_u$ と $(\Sigma\sigma)_r$ はそれぞれ拘束されていない縁と完全に拘束された縁に対する最高組合せ応力である。

- d. 面内作用応力と横方向荷重の両方を受ける板パネルに対しては横方向荷重のみによる直交 2 方向の応力を先ず計算しなければならない。板パネルにおける最高等価応力 σ_{epeak} は次式から得るものとする。

$$\sigma_{epeak} = \left\{ \left[(\sigma_1 + \sigma_{b1}) + \eta (\Sigma\sigma - \sigma_e) + \frac{\sigma_{1T} \sigma_{ecrit}}{\sigma_{ecrit} - \sigma_e} \right]^2 + \left[(\sigma_2 + \sigma_{b2}) + \frac{\sigma_{2T} \sigma_{ecrit}}{\sigma_{ecrit} - \sigma_e} \right]^2 \right. \\ \left. - \left[(\sigma_1 + \sigma_{b1}) + \eta (\Sigma\sigma - \sigma_e) + \frac{\sigma_{1T} \sigma_{ecrit}}{\sigma_{ecrit} - \sigma_e} \right] \left[(\sigma_2 + \sigma_{b2}) + \frac{\sigma_{2T} \sigma_{ecrit}}{\sigma_{ecrit} - \sigma_e} \right] + 3\tau^2 \right\}$$

ここで

σ_{1T} = 横方向荷重のみによる方向 1 における作用応力

σ_{2T} = 横方向荷重のみによる方向 2 における作用応力

$\tau = \sigma_e$ の位置における作用面内せん断応力

η は 19. 2. 4. 2a 条で規定されたものとするものとする。

19. 2. 5 面内応力を受ける板パネルの強度

19. 2. 5. 1 板パネルの特性強度に対応する極限等価有効応力 σ_{eult} は 19. 2. 5. 2 条の式から計算するものとする。ここで

$$\alpha = \frac{\sigma_{ey}}{\sigma_{ys}}$$

$\sigma_{ey} = \sigma_{e, max}$ を与える σ_e の値 $= \sigma_{ys}$

崩壊係数倍された荷重のもとでパネルの横断面の総断面積に作用する平均等価応力は $\frac{\sigma_{eult}}{\gamma_{mc}}$ を越えてはならない。さらに BS153 Part 4 の 2. 1. 2 条で定義された、圧縮フランジの純断面積に作用する平均等価応力は $\frac{\sigma_{ys}}{\gamma_{mc}}$ を越えてはならない。

パネルの長さに沿って変化する縦方向応力を受けるパネルに対する特性強度は高い応力を受けている端部から距離 $L/2$ における断面に関して照査するものとする。ただし L は縦方向における一様圧縮による座屈の半波長である。さらに、より高い応力を受けている端部において係数倍した荷重による平均等価応力は $\frac{\sigma_{ys}}{\gamma_{mc}}$ を越えてはならない。

19. 2. 5. 2 フランジとダイヤフラムにおける板パネル、および 6. 2. 1. b 条に従って設計されたウェブにおけるパネル、すなわちいかなる応力の再分配もないもの。

a 面内ねじり変形に対して完全に拘束された境界

$$\sigma_{eult} = \sigma_{ys} \left(1 - \frac{\sigma_{ys}}{8 \alpha \sigma_{ecrit}} \right) \text{ ただし } \alpha \sigma_{ys} \text{ 以上とする。}$$

b 面内ねじり変形に対して拘束されていない境界

$$(i) \quad \sigma_{ecrit} \leq \frac{\sigma_{ys}}{2} \text{ のとき}$$

$$\sigma_{eult} = \sqrt{\alpha^2 \sigma_{ys}^2 - 3 \alpha^2 \tau'_{cr}{}^2 \left(2 - \frac{1}{2\alpha} \right)^2}$$

$$(ii) \quad \sigma_{ecrit} > \frac{\sigma_{ys}}{2} \text{ のとき}$$

$$\sigma_{eult} = \sigma_{ys} \left(1 - \frac{\sigma_{ys}}{8 \alpha \sigma_{ecrit}} \right)$$

ただし次の値以上とする

$$\sqrt{\alpha^2 \sigma_{ys}^2 - 3 \alpha^2 \tau'_{ys}{}^2 + 3 \tau'_{ys}{}^2 \left(1 - \frac{\sigma_{ys}}{8 \sigma_{ecrit}} \right)^2}$$

$$\text{ここで } \tau'_{ys} = \tau \left(\frac{\sigma_{ys}}{\sigma_e} \right)$$

c 面内ねじれ変形に対して部分的に拘束された境界

$$\sigma_{eult} = \frac{1}{1 + \beta_E} (\sigma_{eult})_u + \frac{\beta_E}{1 + \beta_E} (\sigma_{eult})_r$$

ここで

$(\sigma_{eult})_u$ と $(\sigma_{eult})_r$ はそれぞれ 19. 2. 5. 2. b 条に従って計算した、無拘束と完全拘束状態に対する極限等価有効応力である。

19.2.5.3 6.2.1.a 条に従って設計された ウェブにおける板パネル。すなわちウェブがせん断応力に横方向内応力を加えたものに対してのみ設計されており、縦方向応力は仮に存在しても完全にフランジに再分配されるとする場合である。

$\frac{b}{t}$ または $\frac{a}{t} \leq (\frac{a}{t})_{max}$ に対して

$$\sigma_{e_{ult}} = \sigma_{ys}$$

$\frac{b}{t}$ または $\frac{a}{t} > (\frac{b}{t})_{max}$ に対して

$\sigma_{e_{ult}}$ = 次のうち何れか大きい方

(i) 19.2.5.2.a 条から得られる値

(iii) $\sigma_{ys} (1 - \rho (\frac{b}{t} - (\frac{b}{t})_{max}))$

ここで

$$(\frac{b}{t})_{max} = 19.2.5.6 \text{ 条で与えられる制限板パネル細長比}$$

$$= 0.005 \quad (\frac{b}{t})_{max} \leq 100 \text{ に対し}$$

$$= 0.005 + 0.035 \left(\frac{(\frac{b}{t})_{max} - 100}{80} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$100 < (\frac{b}{t})_{max} < 180 \text{ に対し}$$

$$= 0.040 \quad (\frac{b}{t})_{max} > 180 \text{ に対し}$$

19.2.5.4 6.2.1.c 条に従って設計されたウェブにおける板パネルすなわち縦方向応力がウェブからフランジに部分的に再分配される場合である。

このようなパネルの強度は縦方向応力の再分配のない場合と縦方向応力が完全に再分配される場合の両方に対して計算するものとし、実際に仮定した再分配の比率に対応するそのパネルの崩壊強度に対する補間値は次に与えられるものをとるものとする。

$$\sigma_{e_{ult}} = \sigma_{e_{ult_1}} + f (\sigma_{e_{ult_2}} - \sigma_{e_{ult_1}})$$

ここで

f = ウェブからフランジに再分配される縦方向応力の比率

$\sigma_{e_{ult_1}}$ = 縦方向応力の再分配のない場合のパネルの強度で、19.2.5.2 条から得られるもの

$\sigma_{e_{ult_2}}$ = ウェブからフランジに縦方向応力が完全に再分配される場合のパネルの強度で、

12.2.5.3 条から得られるもの

係数倍した作用せん断応力、横方向応力、もしある場合は係数倍した作用縦方向応力の $(1-f)$ 倍による最大等価応力は $\frac{\sigma_{e_{ult}}}{\gamma_{mc}}$ を越えてはならない。

19.2.5.5 せん断応力の再分配

ダイヤフラムに隣接するウェブの限定された部分におけるせん断流の集中によって板パネルの計算等価応力が $\frac{\sigma_{e_{ult}}}{\gamma_{mc}}$ を越える場合は 16.3 条に従って限界パネルから隣接パネルへのせん断応力の若干の再分配が可能である。ただし次の条件が必要である。

- (i) パネルの細長比 $\frac{b}{t}$ または $\frac{a}{t}$ が 19.2.5.6 条で与えられる限界値 $(\frac{b}{t})_{max}$ を越えない。
- (ii) フランジ間に張渡され $4 d t^3$ 以上の断面 2 次モーメントをもつ垂直補剛材と、ここで d はウェブの全高である (図 9.1 参照)、 $4 a t^3$ 以上の断面 2 次モーメントをもつ水平補剛材によって (ここで a は垂直補剛材の間隔であり、 t はパネルの板厚である) パネルが仕切られている。

板パネルの寸法は中間垂直補剛材および水平補剛材、各補剛材は $4 s t^3$ 以上の断面 2 次モーメントをもつものを配置することによって 19.2.5.6 条の要求事項を満足するよう更に小さくすることができる。ここで s は主補剛材間のこの種補剛材の長さである。補剛材の断面 2 次モーメントは補剛材自身に対し、板に平行なそれ自身の図心軸に関して計算するものとする。

- (iii) ウェブとフランジの結合は 19.2.3.1 条に与えられた完全拘束状態に対する要求事項に従っている。

上記条件を満足している場合、限界パネルにおける有効せん断応力は次のような値を保っていると考えてよい。すなわちこの有効せん断応力、横方向応力 (もし存在すれば) およびウェブからほかに再分配されない一部の縦方向応力などによる等価応力で $\frac{\sigma_{ult}}{\gamma_{mc}}$ に等しい。限界パネルにおいて有効せん断応力に対応する値を越えるせん断はウェブの残りの部分に一樣に分布するとして作用するものとする。再分配されたせん断が既にその崩壊強度以下の応力が作用しているパネルにおいて過度の応力を生じさせる場合、この条の要求事項は 16.3 条に従う解析をするならばこのようなパネルにまで拡張してよい。

この条の要求事項まで補剛されたパネルに対しては供用適性基準は満足していると考えてよい。

疲労照査の際は応力の再分配を仮定してはならない。

19.2.5.6 せん断応力の再分配に対する板パネルの制限細長比

- a 細長比の制限値は次式で与えられる。

$$(\frac{b}{t})_{max} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{12 (1 - \nu^2) \sigma_0}}$$

ここで σ_0 は次の適当な 2 次方程式を解くことによって得られる。

$\phi \geq 1$ のとき

$$\frac{\sigma_1}{1.64 \sigma_0} + \frac{\sigma_2}{0.25 (1 + \frac{1.56}{\phi^2})^2 \sigma_0} + \frac{\sigma_{ys}^2 - \sigma_1^2 - \sigma_2^2 + \sigma_1 \sigma_2}{(2.31 + \frac{4.31}{\phi^2})^2 \sigma_0^2} = 1$$

$\phi < 1$ のとき

$$\frac{\sigma_1 \phi^2}{0.25 (1 + 1.56 \phi^2)^2 \sigma_0} + \frac{\sigma_2 \phi^2}{1.64 \sigma_0} + \frac{(\sigma_{ys}^2 - \sigma_1^2 - \sigma_2^2 + \sigma_1 \sigma_2) \phi^4}{(2.31 + 4.31 \phi^2)^2 \sigma_0^2} = 1$$

- b 面内曲げ応力 σ_{b1} も存在する場合は上記方程式の σ_1 の代りに $(\sigma_1 + 0.2 \sigma_{b1})$ を使用する。
- c この条の目的のためには σ_1 と σ_{b1} は単純曲げ理論より、すなわち如何なる再分配も考えないで得られる崩壊係数倍した荷重による応力とする。
- d $\sigma_2 = 0$ の場合は制限細長比 $(\frac{b}{t})_{max}$ は図 9.4.a および図 9.4.b から得てよい。

19.2.6 引張フランジにおける板パネル

19.2.6.1 合成応力の組合せを受けて引張状態にあり、 $\lambda_b \leq 2.0$ の板パネルに対して

a 強度および供用適性はそれぞれ 19.2.5 条および 19.2.4 条に従って照査するものとする。

b BS 153 Part 4 の 2.1.3 条で定義されている純横断面積に作用する平均等価応力は

$0.85 \frac{\sigma_{ut}}{\gamma_{mc}}$ を越えてはならない。

ここで $\sigma_{ut} = BS 4360$ で規定された材料に対する最小極限引張強度

19.2.6.2 純 1 軸または 2 軸の引張、あるいは応力組合せのもとにあり、 $\lambda_b > 2.0$ の板パネルに対して

a 総横断面積について計算した崩壊係数倍した荷重による平均等価応力は $\frac{\sigma_{ys}}{\gamma_{mc}}$ を越えてはならない。

b BS 153 Part 4 の 2.1.3 条に従って決定した、純横断面積に作用する崩壊係数倍した荷重による平均等価応力は $0.85 \frac{\sigma_{ut}}{\gamma_{mc}}$ を越えてはならない。

c 供用不適性係数倍した荷重による最大等価応力は $\frac{\sigma_{ys}}{\sigma_{mc}}$ を越えてはならない。

19.2.7 ウェブにおける張力場耐力

斜引張場作用により限界座屈値より大きいせん断力を伝達するためのウェブの耐力は 19.2.5 条で与えられた方法により計算されたそれぞれ全体的にまたは部分的に拘束された境界を有するものと、拘束されていない境界を有するものとのパネルの崩壊強度における差によって表わされる。

拘束されていない境界に基いて計算した極限強度を越える作用せん断力は張力場作用によって伝達され则认为するものとする。

パネル境界部材と支点ダイヤフラムを設計する目的のため、張力場は各パネルに一樣に分布し、垂直に対して 45° 傾斜し、図 19.22 に示す境界力を生ずると仮定するものとする。

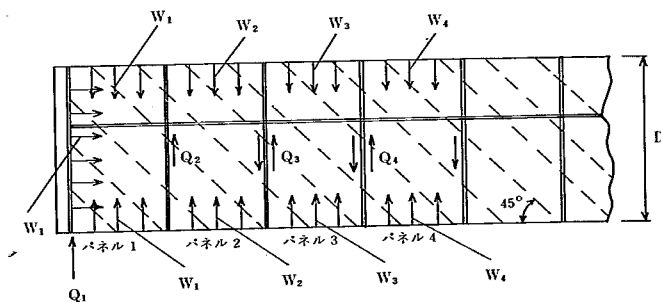


図 19.22

仮定すべき境界力は次の通り。

$$W_1 = \frac{Q_1}{D} - (\tau_{ult})_{u_1} t_w \quad \text{単位長さ当り}$$

$$W_n = \frac{Q_n}{D} - (\tau_{ult})_{u_n} t_w \quad \text{単位長さ当り}$$

ここで

$Q_1, \dots, Q_n$ はパネル 1, $\dots, n$ によって伝達される全垂直せん断力である。

$(\tau_{ult})_{u_1}, \dots, (\tau_{ult})_{u_n}$ は拘束されていない境界を仮定して計算したパネル 1, $\dots, n$ に対する極限せん断応力

D = ウェブの投影垂直高

t_w = ウェブ板厚

19.2.8. 補剛されていないダイアフラム

次の条件の何れかを満足する場合は、補剛されていないダイアフラムに対する強度と供用適性を充分であると考えてよい。

- (i) 第2章の第11節の規定に従う。
- (ii) 16.4条に従って計算した、崩壊係数倍した荷重による最大等価表面応力が $\frac{\sigma_{ys}}{F_{mc}}$ を越えない。
- (iii) 崩壊係数倍した荷重による最大等価応力が $\frac{\sigma_{ys}}{F_{mc}}$ を越えるのが板の縁に隣接する部分においてのみであり、その高さとは幅はダイアフラム厚 t_d の10倍を越えず、ダイアフラムの下縁からその高さの1/5以上に対しては拡大されず、また19.2.9.3条で定義された支承の有効接触幅 j の1/2以上を横切る全ての部分では越えない。この際、解析は16.3.2条に従う。

19.2.9 支承の平滑度における調整誤差に対するダイアフラムパネルの形状

18.1.4.1条で述べた支承の水平方向の平滑度からの離れを含む横方向誤差は、支承直上のダイアフラムの設計が次の要求事項を満足している場合は、局部的変形により調整されると仮定してよい。

19.2.9.1. 補剛されたダイアフラム

図19.23(a)に示すように支承上に水平補剛材がない場合は、支承直上のパネルの比 b/t は次の値以下でなければならない。

$$2.9 \frac{t}{e_n} \text{ かつ } 45 \sqrt{\frac{245}{\sigma_{ys}}}$$

ここで e_n = パネル n において調整されるべき最大密着不足量。

19.2.9.2. 図19.23(b)に示すように下フランジから高さ h のところに b 以下の水平補剛材が1個ある場合は、そのパネルの比 b/t は比 h/t が下記の値を越えないなら、上記19.2.9.1条で与えられた制限値を越えてもよい。

$$(i) \quad 22.5 (\phi^2 + 1) \sqrt{\frac{245}{\sigma_{ys}}}$$

$$(ii) \quad 0.95 (\phi^2 + 1) \sqrt{\frac{h}{e_n}} \quad h \leq b/2 \text{ のとき}$$

$$(iii) \quad (0.5 + 0.35 \phi) \frac{\phi^2 + 1}{\sqrt{\phi}} \sqrt{\frac{h}{e_n}} \quad h > b/2 \text{ のとき}$$

ここで, $\phi = \frac{h}{b}$

共同する板を考えずリブのみに対して計算した板に平行な図心軸に関する水平補剛材の断面 2 次モーメントは下記の値以上でなければならない。

$$0.4 \left(\frac{t}{h} \right) \left(\frac{b}{10} \right)^4 \frac{\sigma_{ys}}{245}$$

19. 2. 9. 3 補剛されていないダイヤフラム

対称に置かれた支承上の補剛されていないダイヤフラムは、ダイヤフラムの全ベース幅 B_B が次の要求事項を満足する場合は、18. 1. 4. 1 条で規定された横方向誤差は塑性変形によって調整できると考えるものとする。

a. $D \leq B_B$ のとき

$$B_B \leq 14 t_D \left(\frac{B_B + D}{D} \right) \sqrt{\frac{J}{B_B} + \frac{B_B t_D \sigma_{ys}}{R_V}}$$

b. $D > B_B$ のとき

$$B_B \leq 28 t_D \sqrt{\frac{J}{B_B} + \frac{B_B t_D \sigma_{ys}}{R_V}}$$

ここで、

D = ダイヤフラム高

t_D = ダイヤフラム板厚

$J = j$ 単独中央支承に対して

$= (c - j) + \frac{R_V}{t_D \sigma_{ys}}$ 対の支承に対して

j = 箱桁フランジ直下の支承板の接触幅に下フランジ板厚の 3 倍を加えたもの

c = 支承中間距離

R_V = 支承に作用する全垂直反力

19. 2. 10. 側面で曲っているフランジにおける板パネル

40b 以下の曲率半径で側面で曲っているフランジにおいては供用適性を適用する必要はない。

強度は 10. 2. 1 d 条に従って照査するものとする。この場合、初期不整と残留応力は無視する。

19. 2. 11. 面外荷重をうけるフランジにおける板パネル

面内荷重と面外荷重の組合せをうける板パネルは供用適性係数倍した荷重のもとで照査するものとし、19. 2. 4. 2 d 条から決定された $\sigma_{e, \dots}$ は $\frac{\sigma_{ys}}{\gamma_{mc}}$ を越えてはならない。このようなパネルは崩壊係数倍した荷重のもとでは照査する必要はない。

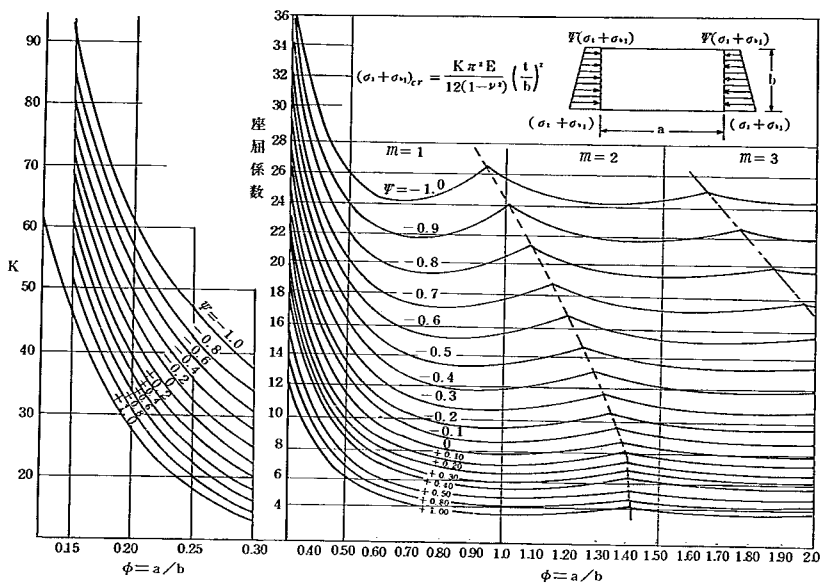


図 19.1 直線変化している縁応力を有する単純支持された長方形板

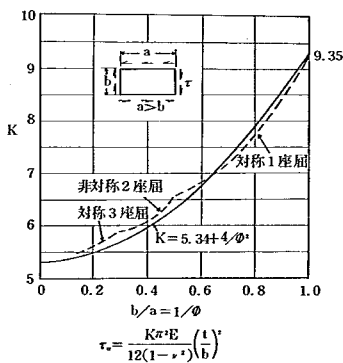


図 19.2 せん断において単純支持された長方形板

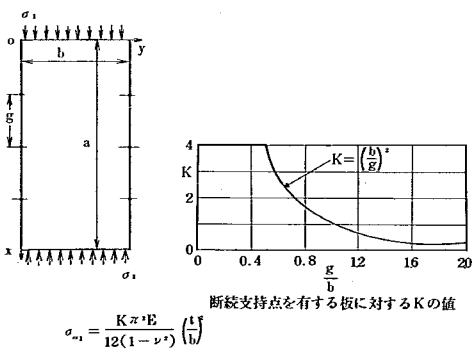
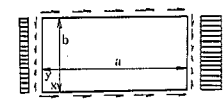


図 19.3 断続支持点を有する長方形板



$$\sigma_{\min} (\sigma_{cr})_{av} = K_{av} \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{b}{a}\right)^3$$

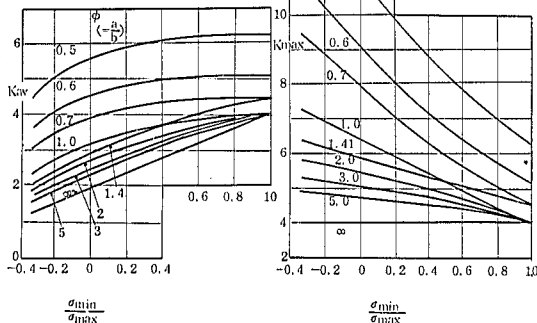
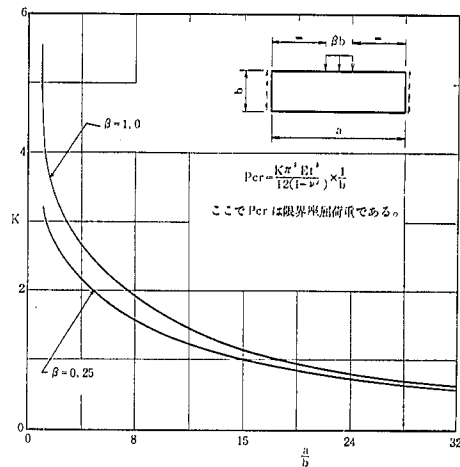


図 19.4 荷重の方向に変化する縁圧縮を有する
単純支持された長方形板



$$K = \frac{\beta \left(\alpha^4 + \frac{5\alpha^2}{4} + \frac{17}{32} \right)}{\alpha^4 \left(\frac{\beta a}{\alpha} + \beta \frac{a}{\alpha^2} + \frac{\beta^2 a^2}{\alpha^2} + \frac{a^2}{\pi} \sin \frac{\beta \pi}{\alpha} \right) - \frac{9 \sin \frac{\beta \pi}{\alpha}}{8\pi \left(\frac{3}{\alpha^2} + \frac{2}{\alpha} + 3 \right)}}$$

ここで α は次の解から得られる。

$$\frac{4\alpha^2 + \frac{5\alpha}{2}}{\alpha^4 + \frac{5\alpha^2}{4} + \frac{17}{32}} - \frac{3\beta a \alpha^2 + 2\beta a \phi \alpha - \beta^2 a^2 + \frac{a^2}{\pi} (\beta \pi \alpha^2 \cos \frac{\beta \pi}{\alpha} + 4\alpha^2 \sin \frac{\beta \pi}{\alpha})}{\alpha^4 \left(\frac{\beta a}{\alpha} + \beta \frac{a}{\alpha^2} + \frac{\beta^2 a^2}{\alpha^2} + \frac{a^2}{\pi} \sin \frac{\beta \pi}{\alpha} \right)} = 0$$

そして、

$$\alpha_1 = \left(\frac{364}{27\pi^2} - \frac{2}{3\pi^2} + \frac{5}{16} \right)$$

$$\alpha_2 = \frac{4}{3\pi^2}$$

$$\alpha_3 = \frac{2}{9\pi^2}$$

$$\alpha_4 = \left(\frac{364}{27\pi^2} + \frac{5}{16} \right)$$

図 19.5 1つの縁に沿って荷重を受け、その隣接側縁上のせん断によって反力を受ける単純支持された板に対する座屈係数

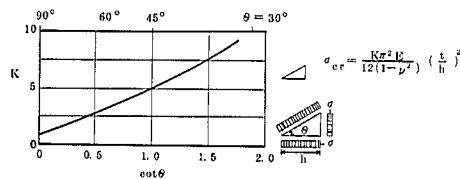
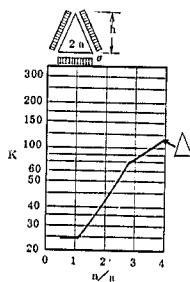
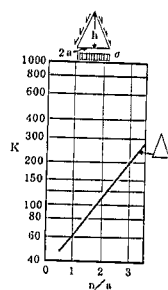


図 19.6 縁圧縮のもとでの種々の内角をもつ単純支持された直角3角形板



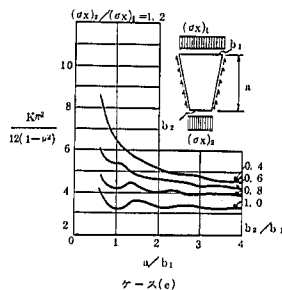
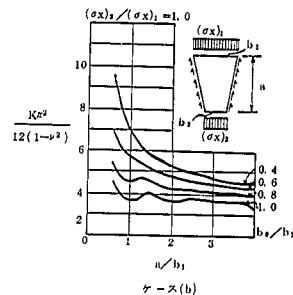
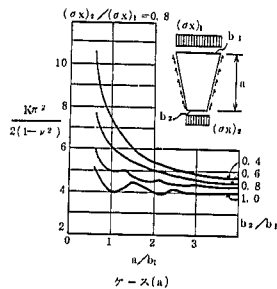
$$\sigma_{cr} = \frac{K\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{1}{h}\right)^2$$

図 19.7 縁圧縮のもとで単純支持された2等辺3角形板



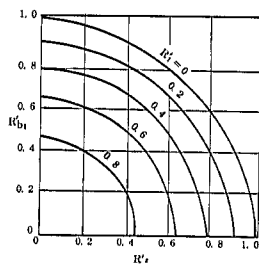
$$\sigma_{cr} = \frac{K\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{1}{h}\right)^2$$

図 19.8 2等辺にせん断、第3辺に圧縮をうけている単純支持された2等辺3角形板

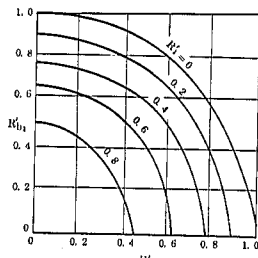


$$(\sigma_{cr})_1 = \frac{K\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{1}{b_1}\right)^2$$

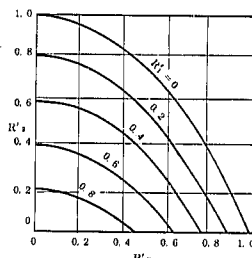
図 19.9 圧縮における単純支持された台形板



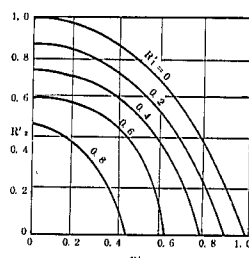
(a) $a/b = 1.0$



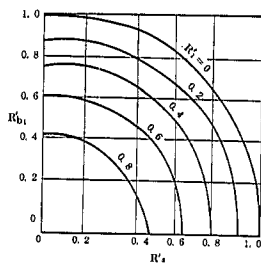
(b) $a/b = 2.0$



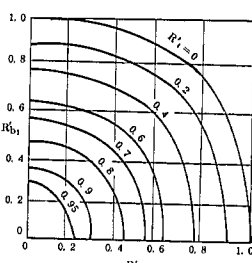
(c) $a/b = 1.0$



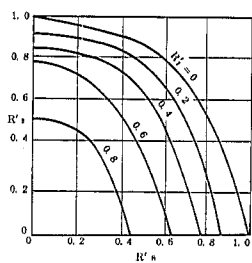
(d) $a/b = 2.0$



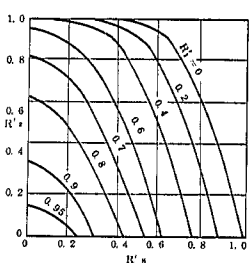
(e) $a/b = 3.0$



(f) $a/b = \infty$



(g) $a/b = 3.0$



(h) $a/b = \infty$

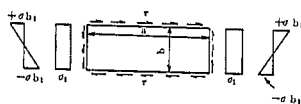


図 19. 10 縦方向圧縮、曲げおよびせん断の組合せのもとでの単純支持された板に対する相関曲線

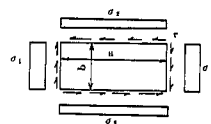


図 19. 11 縦方向圧縮、横方向圧縮およびせん断の組合せのもとでの単純支持された板に対する相関曲線

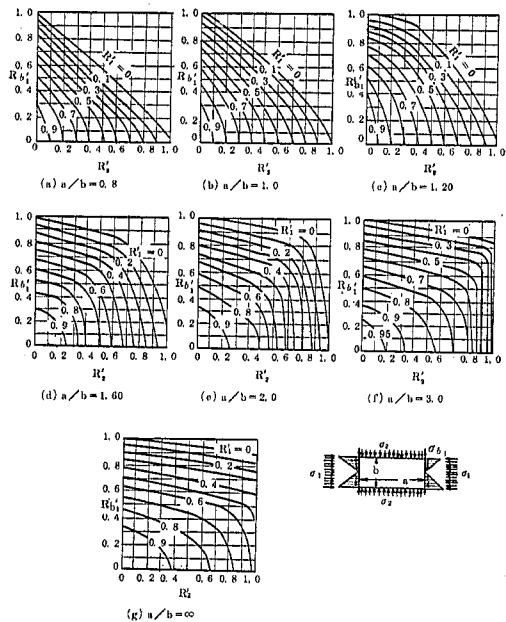


図 19.12 2 軸圧縮と縦方向曲げ荷重の組合せのもとでの単純支持された長方形板に対する相関曲線

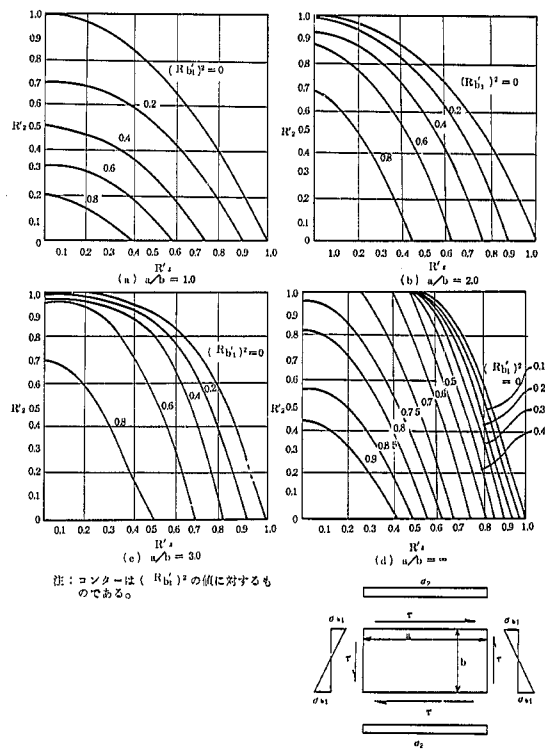


図 19.13 横方向圧縮、曲げおよびせん断の組合せのもとでの単純支持された板に対する相関曲線

975

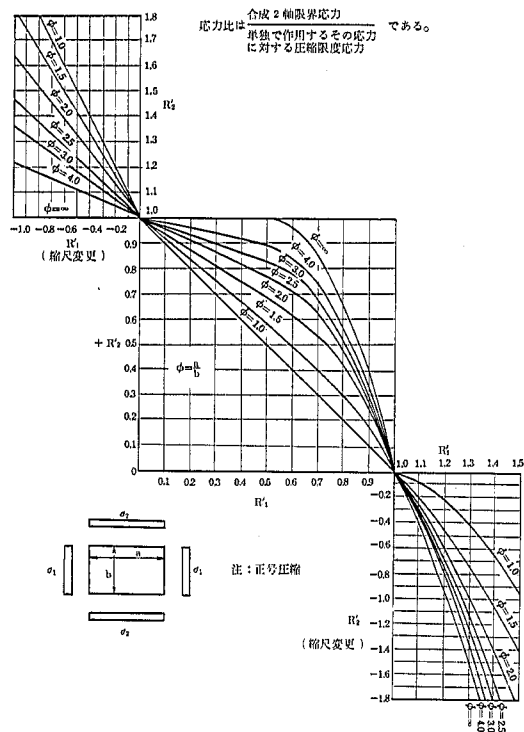
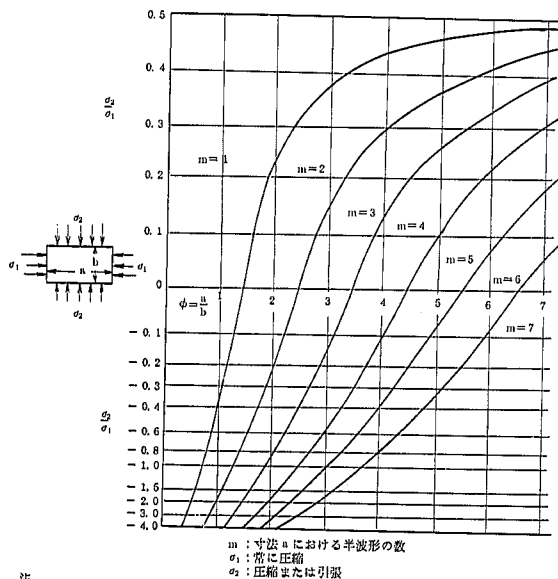


図 19.14 2 軸応力のもとでの単純支持された長方形板に対する相関曲線



- 注
- (i) もし $\sigma_2 > 2$ かつ $\phi < 1$ なら、最長方向には $1/2$ 以上の波があり得る、このような場合長手方向における半波数の数を得るには板を 90° 回転させること。
 - (ii) 板が 1 つの方向に引張、他の方向に圧縮を受ける場合は、引張の方向における半波数の数は常に 1 つである。
 - (iii) グラフは、 ϕ の値の値に対して m_j を 1, 2, 3... と連続してとり、次式から σ_2/σ_1 の値を計算して作成したものである。

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \left[\frac{m_j(m_j+1)}{\phi} \right]^2 \left[\frac{\left(\frac{\phi}{m_j} + \frac{m_j+1}{\phi} \right)^2 - \left(\frac{\phi}{m_j+1} + \frac{m_j+1}{\phi} \right)^2}{(m_j+1)^2 \left(\frac{\phi}{m_j+1} + \frac{m_j+1}{\phi} \right)^2 - m_j^2 \left(\frac{\phi}{m_j} + \frac{m_j+1}{\phi} \right)^2} \right]$$

図 19.15 2 軸応力のもとでの板の半波数の数

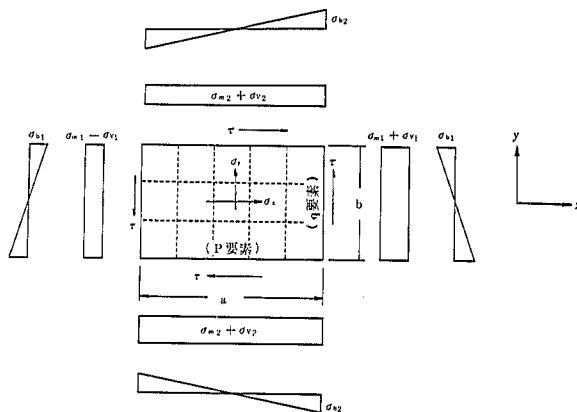


図 19.16 (a)

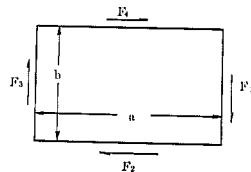
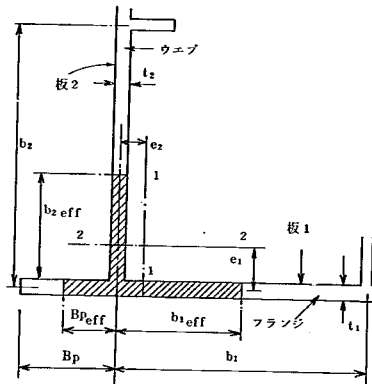
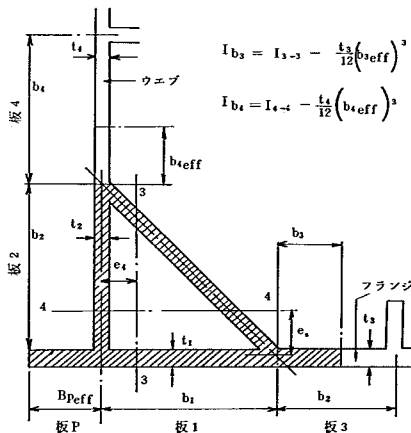


図 19.16 (b)



(a) 隅角部に補剛がない場合

B = ウェブ中心線間の箱幅



(b) 隅角部に斜め補剛をした場合

I_{b0} を板 n の拘束に対する有効境界部材の断面 2 次モーメントとする。

I_{n-n} を n - n 軸まわりのハッチを付した横断面の断面 2 次モーメントとする。

従って、

$$I_{b1} = I_{1-1} - \frac{t_1}{12} (b_{1eff})^3$$

$$I_{b2} = I_{2-2} - \frac{t_2}{12} (b_{2eff})^3$$

板の有効幅

板	圧縮域において $b_{neff} =$ 下記の最小値	引張域において $b_{neff} =$ 下記のうち小さい方の値
1	$\frac{K_b t_1}{2} b_1$ または $\frac{L}{6}$	$\frac{L}{6}$ または $\frac{B}{2}$
2	$\frac{K_b t_2}{2} b_2$	$\frac{b_2}{2}$
3	$\frac{K_b t_3}{2}$ または $\frac{L}{6} - b_1$	$\frac{L}{6} - b_1$ または $\frac{B}{2} - b_1$
4	$\frac{K_b t_4}{2} b_4$	$\frac{b_4}{2}$
P	B_p または $\frac{L}{6}$ または $16 t_1 \sqrt{\frac{245}{\sigma_{ys}}}$	B_p または $\frac{L}{6}$

圧縮域における板の制限幅—せん断のみに対して設計したウェブ

$$b_1 > t_1 \left(\frac{b}{t} \right)_{max1}$$

$$b_2 > t_2 \left(\frac{b}{t} \right)_{max2}$$

ここで $\left(\frac{b}{t} \right)_{max}$ は 19.2.5.6 条から決定される制限比である。

図 19.17 箱げたの隅角部における有効境界部材

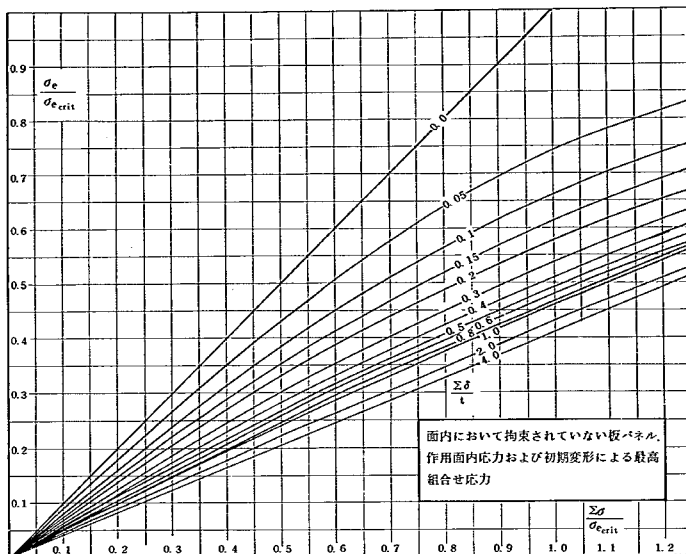


図 19.18 面内において拘束されていない板パネル、作用面内応力および初期変形による最高組合せ応力

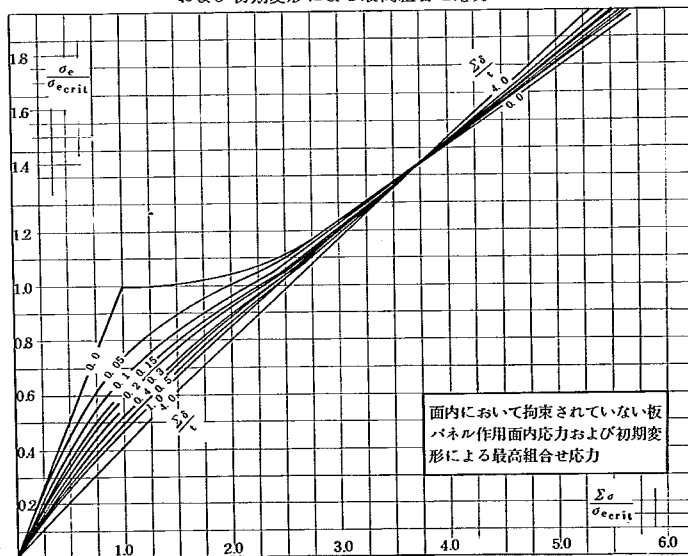


図 19.19 面内において拘束されていない板パネル、作用面内応力および初期変形による最高組合せ応力

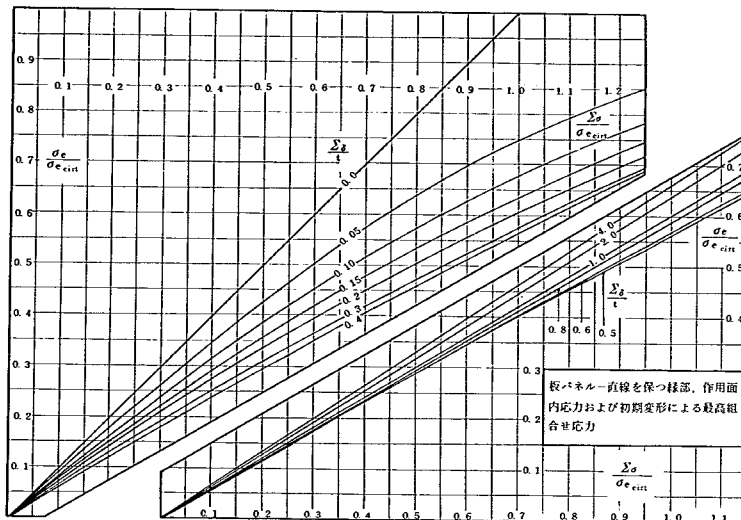


図 19.20 板パネル — 直線を保つ縁部、作用面内応力および初期変形による最高組合せ応力

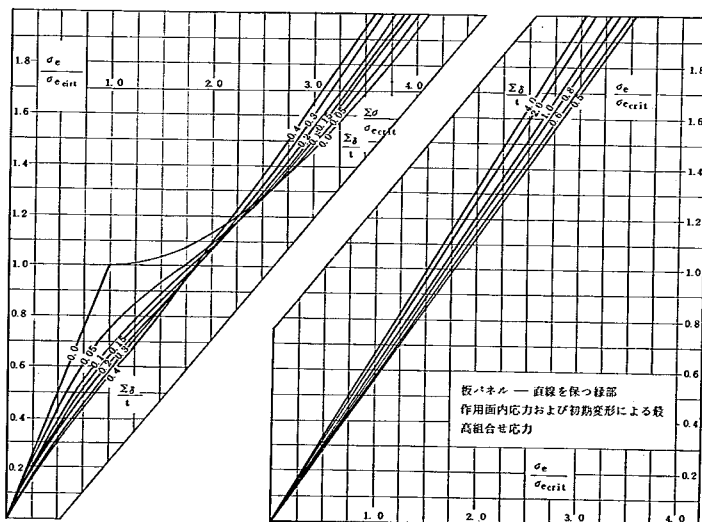
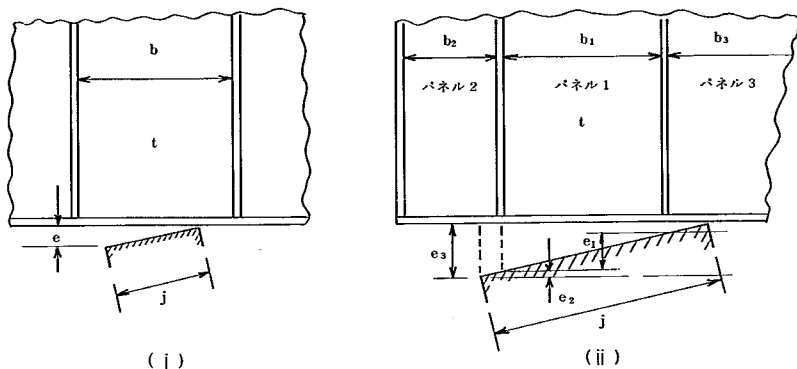
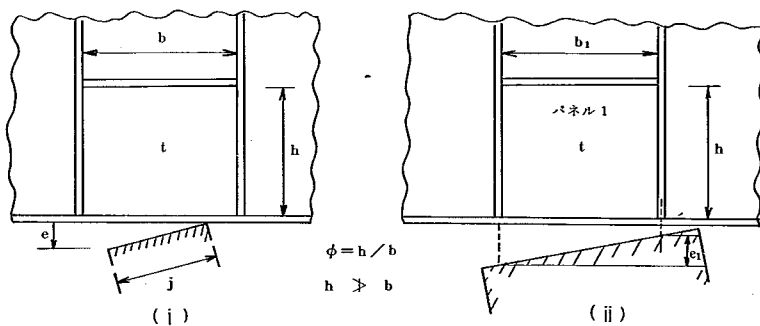


図 19.21 板パネル — 直線を保つ縁部、作用面内応力および初期変形による最高組合せ応力



(a) 水平補剛材のない場合

注) j = 支承の有効接触幅 (19.2.9条)



(b) 水平補剛材のある場合

図 19.23 ダイアフラムによって調整されるべき支承平面度における誤差

20. 補剛されたパネルの安定性と強度

この節はこの報告の他の節で与えられる関連要求事項を満足するダイヤフラムまたは横フレームによって、あるいは箱断面の他の面における隣接板要素によって、それぞれはパネル縁の面外動を防ぐことができるものとするが、仕切られた補剛された板の部分として定義された任意の補剛されたパネルに適用する。

20.1 補剛されたパネルの限界座屈応力

20.1.1 各補剛されたパネルの強度を算定する場合の第1段階として横方向補剛材または横フレーム間の座屈と全体座屈の両方に対して荷重係数 λ_b を決定しなければならない。さらに、単独の補剛材がパネル内で座屈してもよいような補剛材の副パネル (Sub-panel) の座屈に対する荷重係数を、核当する場合は、計算するものとする。

20.1.2 座屈の各モードに対する限界応力 σ_{cr1} , σ_{bcr1} , τ_{cr} などは、最初に計算するものとする。同時に作用している一様な縦方向、横方向、面内曲げおよびせん断の各応力間の相関作用は、20.1.5.4条に定義されている。パネル境界は単純支持されているものとする。

20.1.3 補剛されたフランジパネルとウェブパネルに対する荷重係数 λ_b は、ウェブにおいては平均せん断応力を採用し、フランジにおいては曲げせん断応力は無視するがねじりによるせん断応力は考慮する板の曲げ理論から決定した単純境界応力分布の仮定により 20.1.5条から算定してよい。このようなパネルにおける副パネル補剛材の座屈に対する荷重係数は 20.1.6条から導いてよい。

補剛されたダイヤフラムパネルおよび (または) ダイヤフラムの荷重支持補剛材に対する λ_b は 20.1.2条から導いてよい。

20.1.4 補剛されたパネルに対する限界応力計算のためのパラメーターの算定

パネルの剛性パラメーターの値は、図 20.2 に示される座標軸とパネル寸法を使用し、次のように算定してよい。

I_{ox} , I_{oy} 補剛材の横断面には、補剛されたパネルの面外曲げを適切に考慮し、板要素における有効面内応力に対応する K_{bt} の値を使用して、18.2.3条から 18.2.6条のうち適当なもので定義される各側の板の有効幅を含めるものとする。補剛材の有効横断面がその長さに沿って変化する場合は I の平均値を使用するものとする。完全に拘束された境界をもつとして設計されたパネルにおける垂直ウェブ補剛材に対する各側の有効幅は板厚の 16 倍より大きくってはならない。

応力が 16.3.2条または 19.2.5.5条に従って再分配されることになっている補剛材で仕切られたパネルに対しては K_{bt} の値は零とするものとする。

J_x , J_y 例えば山形鋼、平鋼のような「開いた」形式の横断面を有する補剛材に対しては (図 20.1(a)参照)

$$J = \frac{dt_s^3}{3} + \frac{b_c t_L^3}{3}$$

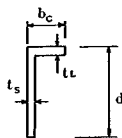


図 20.1 (a)

バルブプレートに対しては (図 20.1(b)参照)

$$J = \frac{dt_s^3}{3} + \frac{(b_c - t_s) t_L^3}{4.8}$$

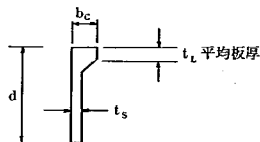


図 20.1 (b)

「閉じた」形式の横断面を有する補剛材に対しては (図 20.1(c)参照)

$$J = \frac{4 A_c^2}{\sum \frac{d}{t}}$$

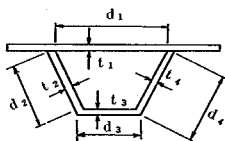


図 20.1 (c)

A_c = 補剛材壁面の中央面によって囲まれた面積

「開いた」形式の横断面を有する補剛材に対して $A_s = dt_s - t_L (b_c - t_s)$ (図 20.1(a) 参照) あるいは鋼断面表に与えられたもの。

バルブプレート補剛材に対して、 A_s は鋼断面表に与えられている。

「閉じた」形式の横断面を有する補剛材に対して $A_s = d_2 t_2 + d_3 t_3 + d_4 t_4$ (図 20.1(c) 参照)

$$\nu = 0.3$$

$$\nu_x, \nu_y, \nu_z = 0.3 \left(\frac{a_t}{A_{sy} + a_t} \right)$$

$$\nu_y = 0.3 \left(\frac{b_t}{A_{sx} + b_t} \right)$$

D_x, D_y, H

- a. 等間隔で配置された同じサイズの補剛材を有する多補剛されたパネル
全体座屈に対して、および横方向補剛材および横フレーム間の座屈に対して、

$$D_x = \frac{EI_{ox}}{b} + (1 - K_{bt}) \frac{Et^3}{12(1 - \nu_x \nu_y)}$$

横方向補剛材間の縦方向補剛材の座屈に対して、

$$D_y = \frac{Et^3}{12(1 - \nu_x \nu_y)}$$

横方向補剛材の間隔より大きい半波長を有する縦方向補剛材の座屈に対して、

$$D_y = \frac{EI_{oy}}{a} + (1 - f) \frac{Et^3}{12(1 - \nu_x \nu_y)}$$

ここで、

$$f = \frac{\text{横方向補剛材および横フレームとともに作用する板の全有効幅}}{\text{横方向補剛材および横フレームの間隔}}$$

横方向補剛材間隔より大きい半波長を有する座屈に対して、2つの方向の補剛材が剛に相互結合されているとき、

$$H = \frac{1}{2}(\nu_x D_y + \nu_y D_x) + \frac{Gt^3}{b} + \frac{G}{2} \left(\frac{J_x}{b} + \frac{J_y}{a} \right)$$

x 方向のみの補剛材に対して、または補剛材が剛に相互結合されていないとき、

$$H = \frac{Gt^3}{b} + \frac{GJ_x}{2b}$$

- b. 縦方向補剛材が等しくないか、あるいは間隔が等しくない場合、限界応力はパネルが、純圧縮および純面内曲げの場合には圧縮域内の平均剛性に、またせん断の場合には完全に補剛されたパネルにおける平均剛性に等しい様な縦方向の剛性を単位幅当りに有するパネルに等価であると仮定することによって得てよい。

平均剛性の算定に際して各補剛材の有効剛性は次のようにパネルにおけるその位置に関係するものとする。

圧縮とせん断に対する任意の縦方向補剛材の有効断面2次モーメントは次のようにとする。

$$I_{seff} = 1.5 I_{ox} \left(1 - \frac{4 y_s^2}{b_s^2} \right) \left(\frac{N+1}{N+2} \right)$$

ここで、

I_{ox} = 補剛材の断面2次モーメント

b_s = 補剛材に対し直角な補剛されたパネルの幅

y_s = 補剛されたパネルの中心から補剛材までの距離

N = 縦方向補剛材の数

面内曲げに対する有効断面2次モーメントは補剛材が境界上または中立軸上にある場合

の零から、境界から中立軸までの距離の 0.2 倍に等しい圧縮境界からの距離に置かれる場合の $2I_{ox}$ まで直線的に変化すると考えるものとする。

横方向補剛材が剛性は等しくないが、等間隔にある場合、 I_{oy} の値は半波長内に含まれる部材に対する平均値をとり、半波長が補剛材間隔の 2 倍に等しい場合は中央の補剛材に対する値をとるものとする。

20.1.5 補剛されたフランジまたはウェブのパネルに対する限界座屈応力の決定

1 形式の一樣分布縁作用力を受ける補剛されたフランジまたは、ウェブのパネルに対する限界座屈応力は次のように決定するものとする。境界応力が変化するこのようなパネルに作用する一樣境界応力の有効値は補剛材の作用力と剛性がそこなわれると仮定することによって、

19.1.4 条で述べたように決定するものとする。

20.1.5.1 一樣圧縮

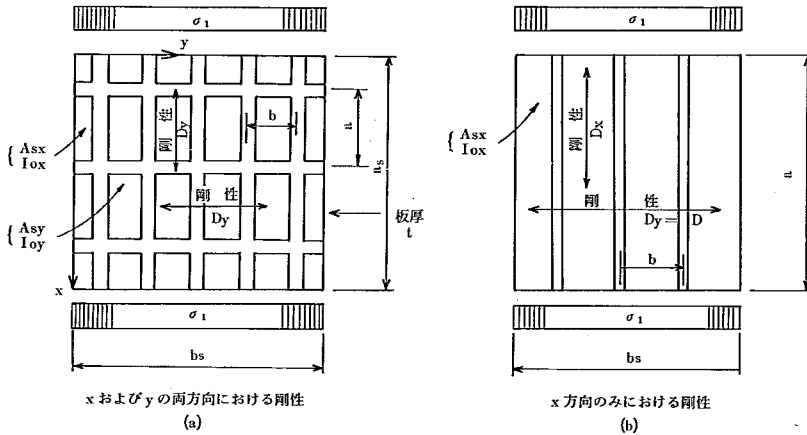


図 20.2

a. 限界座屈応力 σ_{cr1} は次式から最小値が与えられる。

$$\sigma_{cr1}^* = \frac{\pi^2}{b_s^2 t_{eff}} \left\{ \frac{D_x}{\phi^2} + 2H + Dy\phi^2 \right\}$$

ここで、

$$\phi = \frac{L}{b_s} \text{ で } L \text{ は座屈の半波長である。}$$

$$t_{eff} = t \left(1 + \frac{NAs}{b_s t} \right)$$

N = 幅 b_s 内の補剛材の数

- b. 限界応力の最小値は $\phi = \left(\frac{D_x}{D_y}\right)^{\frac{1}{4}}$ のときに生じる，従って正規系の補剛材を有する方向 x における座屈したパネルの最大限界半波長は次の通りである。

$$L_{cr} = b_s \left(\frac{D_x}{D_y}\right)^{\frac{1}{4}}$$

そして， $a \gg L_{cr}$ あるいは a_s が L_{cr} の倍数の場合は，

$$\sigma_{cr1}^* = \frac{2\pi^2}{b_s^2 t_{eff}} \left[\sqrt{D_x D_y} + H \right]$$

- c. しかし，横方向補剛材間の座屈に対する実際の半波長 L は $b_s \left(\frac{D_x}{D_y}\right)^{\frac{1}{4}}$ に最も近い値を有すると思われ，次の条件を満足する。

(i) L は横方向補剛材間隔 a より大きくない。

(ii) $\frac{a}{L}$ は整数である。

上記から L を得れば ϕ は $\frac{L}{b_s}$ として計算でき，またこの値を 20.1.5.1 a 条の式に代入して σ_{cr1}^* を得ることができる。

20.1.5.2 せん断

座屈係数 K は図 20.3 から読み取ってよい。

そして，

$$\tau_{cr}^* = \frac{K\pi^2}{b_s^2 t} (D_x)^{\frac{1}{4}} (D_y)^{\frac{3}{4}}$$

20.1.5.3 面内曲げおよび圧縮

最大縦方向応力の限界座屈値は次式によって与えられる。

$$(\sigma_1 + \sigma_{b1})_{cr}^* = \frac{K\pi^2 \sqrt{D_x D_y}}{b_s^2 t_{eff}}$$

座屈係数 K は近似的に次式によって与えられる。

$$K = K_0 + \frac{(K_i - K_0)H}{\sqrt{D_x D_y}}$$

ここで，

K_i = 板に対する座屈係数， ϕ' として縦横比 ϕ を使用し，面内曲げおよび圧縮のもとで， ϕ の適当な値に対して図 19.1 から得られる。

K_0 = 面内曲げおよび圧縮をうけ，ねじり剛性が零の直交異方性パネルに対する座屈係数， ϕ と ϕ の種々の組合せに対する K_0 の値は図 20.4 に示されている。

$\phi' = \frac{a_s}{b_s} \left(\frac{D_y}{D_x}\right)^{\frac{1}{4}}$ または 1.0 のうち何れか小さい方，補剛されたパネルの全体座屈に対して，

$\phi' = \frac{a}{b_s} \left(\frac{D_y}{D_x}\right)^{\frac{1}{4}}$ ，横方向補剛材間の座屈に対して，

ϕ = 最縁縦方向応力の比

$m =$ 寸法 a_s における半波長の数

20. 1. 5. 4 補剛されたパネルにおける応力間の相関作用

応力の組合せをうける補剛されたパネルに対する修正限界座屈応力 σ_{cr1}^{*} , τ_{cr}^{*} などは板パネルに対し第 19 節で与えられた相関作用曲線を使用することによって算定するものとする。この場合、 $\left(\frac{D_x}{D_y}\right)^{\frac{1}{2}}$ として縦横比 ϕ を使用する。

係数 λ_b は次式で与えられる。

$$\lambda_b = \frac{\sigma_{cr1}^{*}}{\sigma_1} = \frac{(\sigma_1 + \sigma_{b1})_{cr}^{*}}{(\sigma_1 + \sigma_{b1})} = \frac{\tau_{cr}^{*}}{\tau}$$

ここで σ_1 , $(\sigma_1 + \sigma_{b1})$, τ などは係数倍した作用応力であり、複雑な応力系に対してはそれらの有効値である。(図 19. 1. 4 参照)

20. 1. 6 補剛材の副パネルに対する限界応力

面内せん断応力および補剛材に直角な面内直応力をうける補剛されたフランジパネルとウェブパネルは、 $\frac{D_y}{D_x} \leq 16 \left(\frac{b}{a_s}\right)^4$ あるいは $\frac{D_x}{D_y} \leq 16 \left(\frac{a}{b_s}\right)^4$ のとき、交互補剛材が交互方向で座屈する可能性のある副パネル座屈に対してさらに照査しなければならない。なお等しい間隔の等しい補剛材によって補剛されたパネルにおける方向 1 での補剛材の座屈に対する対応係数 λ_b (図 20. 2(a) または (b) のように) は次のように決定してよい。

$$\lambda_b = \frac{\sigma_{cre1} + \frac{0.4a_s^2}{b^2 t_{eff}} \left\{ \sigma_{cr2}^{*} \left\{ 1 + \frac{\Sigma A_{s2}}{a_s t} \right\} + 0.95 \frac{\tau_{cr}^{*}}{\tau} \right\}}{\sigma_{1eff} + \frac{0.4a_s^2}{b^2 t_{eff}} \left\{ \sigma_{2eff} \left\{ 1 + \frac{\Sigma A_{s2}}{a_s t} \right\} + 0.95 \tau_{eff} \right\}}$$

ここで、

$$\sigma_{cre1} = \frac{\pi^2 E I_{ox}}{a_s^2 b t_{eff}}$$

$a_s =$ 方向 1 における補剛材の長さ (1 次垂直ウェブ補剛材に対しては補剛材と横部材との剛結点間距離を、中間垂直ウェブ補剛材に対しては d をとる。(図 9. 1 参照))

σ_{cr2}^{*} , $\tau_{cr}^{*} =$ 応力成分 σ_1 , σ_2 および τ の組合せ作用のもとで、方向 1 における補剛材間の大きさ $a_s \times b$ の補剛されたパネルに対する修正弾性限界応力

σ_{1eff} , $\sigma_{2eff} = 20. 1. 7. 3$ a 条で決定した補剛されたパネルに作用する一様直応力の有効値

$\tau_{eff} =$ 有効せん断応力 (20. 1. 7. 3 a 条参照)

(直交系の補剛材が使用されている場合は、せん断応力には何れか 1 方向は無視し、残りの方向の補剛材が抵抗すると考えてもよいし、あるいは 2 方向間に任意の比率で分けられるとを考えてもよい)

$\Sigma A_{s2} =$ 長さ a_s 内の方向 2 における横方向補剛材の合計横断面積

$\tau_{eff} =$ 方向 1 における有効板厚 (20. 1. 5. 1 条参照)

b = 等間隔に置かれた補剛材の間隔, あるいは間隔が一樣でない場合は補剛材の各側の平均間隔

20. 1. 7 ダイヤフラムパネルおよび荷重支持補剛材に対する限界座屈応力

補剛されたダイヤフラムは箱桁の壁面と各支承上のダイヤフラムの全高に張渡した 1 次荷重支持補剛材 (次数零の) によって仕切られたパネルから成り立っていると考えるものとする。補剛されたパネル内の補剛系はパネルの境界間に張り渡した中間 1 次補剛材 (次数 1 の), 1 次補剛材間またはこのような補剛材とパネル境界 (次数零の) との間の板を安定させている 2 次補剛材 (1 次補剛材より次数の低い), およびより次数の高い補剛材間の 3 次補剛材から成り立っているものとする。

荷重支持補剛材および中間補剛材の座屈に対する係数 λ_b は次のように独立で決定するものとする。

20. 1. 7. 1 中間ダイヤフラム

補剛材を含んでいるパネルにおける中間ダイヤフラム補剛材に対して

$$\lambda_b = \frac{P_E + \frac{(b_n - b)}{b_s} P'_{1\text{crit}} + \frac{0.4 a_s}{b_n} \{P'_{2\text{crit}} + 0.95 P'_{\tau\text{crit}}\}}{P_{s\text{eff}} + P_{1\text{eff}} + \frac{0.4 a_s}{b_n} \{P_{2\text{eff}} + P_{\tau\text{eff}}\}}$$

ここで

$$P_E = \frac{\pi^2 E I_{ox}}{a_s^2}$$

b_n = 補剛材から, 長手方向中央の各側の次数が同じかまたはより高く, 最も近い位置にある平行な補剛材 (または箱げた壁面) までの距離の平均。

b = 補剛材から, 長手方向中央における各側の任意の次数の隣接平行補剛材までの距離の平均。

b_s = 着目補剛材の長手方向中央におけるより高い次数の補剛材間 (または箱げた壁面と補剛材との間) の距離。

$P'_{1\text{crit}}$ = 次の比での有効境界力の組合せ作用のもとで, 着目しているものより低い次数の補剛材によってのみ補剛されていると考えられる大きさ $a_s \times b_s$ の板に対する寸法 b_s の各側の方向 1 における有効力の限界座屈値。

$$\frac{b_s}{b_n} P_{1\text{eff}} : P_{2\text{eff}} : P_{\tau\text{eff}}$$

$P'_{2\text{crit}}$ = $P'_{1\text{crit}}$ に対するのと同様に計算した寸法 a_s の各側の方向 2 における有効力の限界座屈値。

$P'_{\tau\text{crit}}$ = $P'_{1\text{crit}}$ に対するのと同様に計算した寸法 a_s の側の有効せん断力の限界座屈値。

$P_{s\text{eff}}$ = 着目補剛材自身の有効作用縦方向力 (20. 1. 7. 3 b 条参照)

$P_{1\text{eff}}$ = 着目しているものに平行な状数のより低い補剛材と材と板における幅 b_n に亘る有効作用力 (20. 1. 7. 3 b 条参照)

$P_{2\text{eff}}$ = 着目しているものに直角な補剛材と板における幅 a_s に亘って有効作用力
(20.1.7.3 b 条参照)

a_s = 箱げた壁面間または次数のより高い補剛材間の補剛材の長さ (座屈の半波長)

$P_{\tau\text{eff}}$ = 着目補剛材の方向における寸法 $a_s \times b_n$ の板における有効作用せん断力
(20.1.7.3 b 条参照)

2 個以上の 1 次荷重支持補剛材が相対的に接近している場合、もし補剛材群における間隔が、その群の 2 個の外側の補剛材に対して計算した b_n のより大きな値の $\frac{1}{2}$ より大きなところが何処にもないなら、計算の目的に対しては、それらを単独の補剛材として取扱ってよい。このように集まっている補剛材に対しては I_{ox} = 補剛材群の有効断面 2 次モーメントの合計、また $P_{s\text{eff}}$ = 単独の補剛材における有効作用縦方向力の合計。

20.1.7.2 1 次荷重支持補剛材

1 次荷重支持補剛材に対する λb は 20.1.7.1 条で与えられた式から決定するものとする。
ただし寸法は次のものを使用する。

a_s = 荷重支持補剛材の長さ

b_n = 次のうち小さい方

(i) 補剛材から隣接 1 次荷重支持補剛材までの距離と各側の高さ中央における箱げた壁面までの距離の平均

(ii) $\frac{a_s}{2}$

b_s = 高さ中央における箱げた壁面間距離

$b = b_n$

20.1.7.3 作用応力および作用力の有効値

応力が補剛材の長さに沿って変化する場合は、座屈の半波長は少くとも 4 個の等しい部分に分けられるべきであり、また σ_1 、 σ_2 および τ の有効値、あるいはダイヤフラムに対する有効荷重は次のように決定するものとする。

a. フランジ補剛材およびラエブ補剛材

各部分における平均直交応力 σ_{a1} および σ_{a2} は第 16 節に従って得られた応力から計算する。補剛材の方向における応力に対しては σ_{a1} は補剛材の総横断面積 (補剛リブの面積と各側の板パネルの総面積の $1/2$ との出口) に作用する平均応力である。補剛材に直角方向の応力に対しては σ_{a2} は補剛リブの各側の板パネルの共同する半幅に作用する補剛材軸に直角方向の応力の平均である。

ダイヤフラム補剛材以外の補剛材に対して、

$$\sigma_{1\text{eff}} = \Sigma (\sigma_{a1} + C m')$$

および

$$\sigma_{2\text{eff}} = \Sigma (\sigma_{a2} \times C m')$$

ここで $C m'$ は表 20.1 に与えられた影響係数の配列である。

垂直ウェブ補剛材に対する σ_{eff} を計算する場合、横げたを通して1次補剛材に作用する任意の端部荷重は、ウェブパネルにおけるせん断応力が拘束されていない境界に対するパネル強度を越えないときはウェブ高に亘って一様に、あるいは19.2.7条で述べたように下側張力場域に亘って一様に隣接ウェブに拡散すると仮定してよい。さらに、補剛材は19.2.7条で定義したように張力場作用によって伝達されるせん断の部分、もし存在するなら、圧縮において伝達すると仮定してよい。

τ_{eff} の対応値は張力場の力によって伝達されないせん断の部分のみに基いているものとする。

τ_{eff} の値は19.1.4.3条に従って導いた、補剛材の各側の板パネルに対する一様せん断応力の有効値の代数平均をとるものとする。

表 20.1 補剛材における有効平均応力を決定するための影響係数 C_m

補剛材の長さに沿う等セグメントの数								
4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.100	0.050	0.030	0.020	0.013	0.010	0.007	0.005	0.004
0.420	0.260	0.170	0.113	0.078	0.057	0.043	0.033	0.025
0.420	0.400	0.310	0.228	0.171	0.130	0.100	0.078	0.062
0.100	0.260	0.310	0.280	0.236	0.193	0.157	0.128	0.105
	0.050	0.170	0.228	0.236	0.218	0.192	0.166	0.141
		0.030	0.113	0.171	0.193	0.192	0.180	0.162
			0.020	0.078	0.130	0.157	0.166	0.162
				0.013	0.057	0.100	0.128	0.141
					0.010	0.043	0.075	0.105
						0.007	0.033	0.062
							0.005	0.025
								0.004

b ダイヤフラム補剛材

ダイヤフラムパネルに対して補剛材自身における有効力 $P_{s,eff}$ は補剛材を等しい単位に分割し、各単位における力 P_s を得ることによって計算するものとする。

これより

$$P_{s,eff} = \Sigma (C'_n P_s)$$

補剛材に平行な有効力 $P_{1,eff}$ は補剛材を含む大きさ $a_s \times b_n$ のパネルを寸法 a_s に p 要素、寸法 b_n に q 要素を有する長方形要素の配列に分割することによって得るものとする。各要素における補剛材に平行な力 P_1 を決定しなければならない。

これより

$$P_{1,eff} = P_{1,eff_m} + \frac{1}{6} P_{1,eff_v}$$

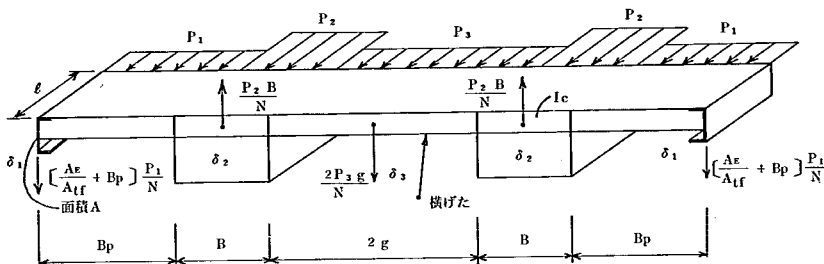


図 20.5

次の柔性パラメーターを決定するものとする。

$$\alpha_1 = \frac{\delta_1 E I_c N}{P_2 B_p^4} \quad \alpha_2 = \frac{\delta_2 E I_c N}{P_2 B^4} \quad \alpha_3 = \frac{\delta_3 E I_c N}{P_2 (2g)^4}$$

ここで、 I_c = 横げたの、箱げたの中心におけるフランジの有効幅を加味したものの有効断面 2 次モーメント。

フランジの座屈の半波長は、次のようにとるものとする。

$$L = \pi B \sqrt{\frac{I_f \ell \Psi}{2 I_c \phi}}$$

従って、座屈に対するフランジ力の限界値は次のようになる。

a. $L > 2 \ell$ のとき

$$(P_2)_{crit} = \frac{2.82 E}{B^2} \sqrt{\frac{I_f I_c \phi \Psi}{\eta^2 \ell}}$$

b. $L < 2 \ell$ のとき

$$(P_2)_{crit} = \frac{4 E I_c \ell}{\pi^2 \eta B^4} \left\{ \phi + \frac{\pi^4 I_f B^4 \Psi}{4 \ell^3 I_c} \right\}$$

あるいは、

$$\frac{4 E I_c \ell}{\pi^2 \eta B^4} \left\{ 2 \phi + \frac{\pi^4 I_f B^4 \Psi}{16 I_c \ell^3} \right\}$$

の何れか小さい方

ここで、 I_f = 単位幅当りのフランジの、その図心軸に関する断面 2 次モーメント。

従って、フランジ座屈に対する荷重係数は、

$$\lambda_b = \frac{(P_2)_{crit}}{P_2}$$

張出部の有無にかかわらず、単一箱げたに対しては、また、下フランジに対しては、

$$\phi = 2 \left(1 + \frac{A_E}{B_p A_{lf}} \right) \frac{P_1}{P_2} \alpha_1 \lambda^3 + \alpha_2$$

$$\Psi = \frac{4}{3} \left(1 + \frac{3 I_E}{B_p I_f} \right) \alpha_1^2 \lambda^3 + \alpha_2^2$$

ここで

$$P_{1effm} = \Sigma (q C_m P_1)$$

$$P_{1effv} = \Sigma ((q P_1 - P_{1effm}) C_r)$$

C_m, C_v = それぞれ表 19.1 と表 19.3 の適当な配列から得られる係数。

有効力 P_{2eff} は補剛材を含む寸法 $a_s \times b_n$ のパネルの面積を寸法 a_s では q 列の要素に、幅 b_n では p 列の要素に分割することによって得るものとする。各要素における補剛材に直角な力 P_2 を決定しなければならない。

これより

$$P_{2eff} = P_{2effm} + \frac{1}{6} P_{2effv}$$

ここで

$$P_{2effm} = \Sigma (q C_m P_2)$$

$$P_{2effv} = \Sigma ((q P_2 - P_{2effm}) C_v)$$

着目補剛材に平行な有効せん断力は次式によって与えられる。

$$P_{\tau eff} = \frac{a_s (F_1 + F_3) - b_n (F_2 + F_4)}{4 b_n}$$

ここで F_1, F_2, F_3 および F_4 は補剛材を含む寸法 $a_s \times b_n$ のパネルの境界に作用するせん断力であり、符号は 19.1.4.3 条で定義した規約を使用し、 F_2 と F_4 は長さ a_s の両側に作用するものである。

20.1.7.4 直交異方性補剛系 (Orthotropic Stiffening System)

直交異方性系の組の補剛材を含むパネルに 20.1.6 条または 20.1.7 条を適用する場合、各組は他のものからは独立して作用し、またその長さ方向に作用する直応力のみを伝達するものと考えてよい。そしてせん断応力は λ_b に対する式の要定項が組の間に同様に配分されているなら、組の間で任意の比率で抵抗されると考えてよい。

このように方向 1 の補剛材に対しては σ_{2eff} と σ_{cr2} あるいは P_{2eff} と P_{crit} の該当するものは零とするものとする。 τ_{eff} と τ_{cr} または $P_{\tau eff}$ と P_{crit} は補剛材によって伝達されると仮定したせん断応力の分数を乗じるものとする。

20.1.8 フランジの全体座屈

対称に配置した箱げたと横げたに対するフランジの全体座屈に対する荷重係数を決定するには次の方法を使用してよい。この方法は断面が長さに沿って可変であるが等間隔 l の横げたに適用する。

荷重載荷点における垂たわみ $\delta_1, \dots, \delta_2$ を決定するには、まず、図 20.5 に示した点荷重系のもとで単一横げたを解析しなければならない。 $P_1, \dots, P_n$ は崩壊係数倍した荷重のもとでウェブから張出した、またはウェブ間にある独立部分に亘っての床版単位幅当りの平均面内直力である。 A_e は任意の縁補剛要素の横断面積である。 A_{ef} = 単位幅当りの床版の横断面積、 N は計算に適す任意の便利な数である。合成鋼コンクリート床版に対しては等価鋼断面積を使用するものとする。たわみは横げた断面における任意の変化を考慮し、かつ 18.2.4 条に従って有効フランジ幅を仮定して計算しなければならない。

$$\eta = \frac{4}{3} \left(1 + \frac{3AE}{B_p A_{tf}} \right) \frac{P_1}{P_2} \alpha_1^2 \lambda^3 + \alpha_2^2$$

B = ウェブ中心線間のフランジ幅 (図 20.5 参照)

B_p = ウェブ中心線からのフランジ張出部の幅 (図 20.5 参照)

$2g$ = 箱げた間のフランジの幅 (図 20.5 参照)

張出部の有無にかかわらず 2 箱げたに対しては

$$\phi = 2 \left(1 + \frac{AE}{B_p A_{tf}} \right) \frac{P_1}{P_2} \alpha_1 \lambda^5 + 2\alpha_2 + (2\mu)^5 \alpha_3 \frac{P_3}{P_2}$$

$$\psi = \frac{4}{3} \left(1 + \frac{3IE}{B_p I_f} \right) \alpha_1^2 \lambda^9 + 2\alpha_2^2 + (2\mu)^9 \alpha_3^2$$

$$\eta = \frac{4}{3} \left(1 + \frac{3AE}{B_p A_{tf}} \right) \alpha_1^2 \frac{P_1}{P_2} \lambda^9 + 2\alpha_2^2 + (2\mu)^9 \alpha_3^2 \frac{P_3}{P_2}$$

ここで

$$\lambda = \frac{B_p}{B}$$

$$\mu = \frac{g}{B}$$

IE = 縁補剛部材の断面 2 次モーメント

AE = 縁補剛部材の横断面積

20.2 補剛されたパネルに対する要求事項

20.2.1 一般

20.2.1.1 補剛材が作用力の如何なる部分も伝達しないような形式で板に取付けられている場合は、もし補剛材が次の特性を有するなら、それらは面外たわみに対して板を支持していると考ええるものとする。

a. 最小 $4Lt^3$ の断面 2 次モーメント

b. 最小下記の断面係数

$$\frac{bt^2}{\pi} \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{ys}} \right) \left(\frac{\delta}{t} \right)$$

ここで

σ_1 = 補剛材方向における面内直応力

$\delta = \delta_o + \delta_a$ (第 18 節参照)

断面 2 次モーメントと断面係数は共同する板は考えず補剛リブ自身に対して計算するものとする。

20.2.1.2 縦方向補剛材は横フレームまたは中間ダイヤフラム間に張り渡し、またそれらと有効に連結しなければならない。

横方向補剛材および 1 次ダイヤフラムと補剛材および (または) 横フレームは箱げたの壁

面間に張り渡し、かつ1次補剛材に有効に取付けなければならない。

20.2.2 強 度

補剛材または横フレームの特性強度は、補剛材の座屈に対する半波長の中央 $\frac{1}{3}$ 内で（またはダイヤフラムの1次荷重支持補剛材における任意点で）、またはその端部で、あるいは横部材の場合はウェブ間の中央点、またはウェブ接合点で下記の一つを生じさせる作用応力の任意の組合せに対応して考えるものとする。

- a. 突出部において σ_{ys} に等しい応力
- b. 突出部において σ_{yt} に等しい有効圧縮応力（20.1.7.3条参照）、ここで σ_{yt} はフランジとウェブの縦方向補剛材に対してまたダイヤフラム補剛材に対して20.3.4条で、あるいは横部材と垂直ウェブ補剛材に対して20.4.3条で定義されるねじり座屈制限応力である。
- c. 19.2.5条で定義される特性強度に等しい補剛材と共同する板の総幅に作用する応力。
- d. 縦方向のウェブ補剛材またはフランジ補剛材に、あるいはダイヤフラム補剛材に隣接する板における縦方向境界応力で、補剛材の座屈半波長の中央 $\frac{1}{3}$ 内で σ_{BL} に等しい。ここで σ_{BL} は、補剛材と共同する板パネルがそれらの縦方向縁の面内ねじれ変形に対し拘束されていない場合と完全に拘束されている場合に対し、それぞれ図20.6と図20.7から導いた制限境界応力である。ここで

$$\sigma'_{ys} = \frac{\sigma_2}{2} + \sqrt{(\sigma_{ys})^2 - \frac{3}{4}\sigma_2^2 - 3\tau^2}$$

ここで

σ_2 = 板における補剛材に直角な、またその線上の同時発生応力

τ = パネルの該当縁におけるせん断応力

σ'_{cr1} = 補剛材の両側の板パネルに対する補剛材に平行な方向の修正限界座屈応力

$\Sigma \delta$ = 18.1.2.16条で定義された板パネルの合計等価初期変形

t = 板パネル厚

19.2.3条で定義された拘束度 β_E をもつ部分拘束されたパネルに対しては、補間値は σ_{BL} に対し下記のようにとるものとする。

$$\sigma_{BL} = \frac{1}{1 + \beta_E} (\sigma_{BL})_u + \frac{\beta_E}{1 + \beta_E} (\sigma_{BL})_r$$

ここで $(\sigma_{BL})_u$ と $(\sigma_{BL})_r$ はそれぞれ拘束されていない境界と完全に拘束された境界に対する制限境界応力である。

- e. 横フレーム、横げた、または垂直ウェブ補剛材と共同する板の有効幅における等価応力で σ_{ys} に等しい。
- f. RS153 Part 4の2.1.3条で定義されているように、横方向ボルト継手における引張フランジの純断面に作用する等価応力で $0.85 \sigma_{ut}$ に等しい。

ここで

σ_{ut} = BS 4360で規定されている材料の最小極限引張強度

- g. 横フレームまたはダイヤフラム間距離の25倍以下の曲率半径を有する側面で曲った補剛

されたフランジの板における最大平均圧縮応力で $m_1 \sigma_{ys}$ に等しい。ここで m_1 は 10. 3. 1c 条で定義されたものである。(上記規準 c および b は無視する)

20. 2. 3 供用適性

補剛材の供用適性限界 σ_s は 20. 2. 2 条の a, b または d で定義された応力を生じさせる任意の組合せの作用応力に対応してとるものとする。ただし d で定義された限界を補剛されたパネルの各端部から $L_1/2$ に等しい距離に作用させる場合は除く。ここで L_1 は板の座屈の半波長である。

20. 3 フランジおよびウェブにおける縦方向補剛材の強度

20. 3. 1 係数倍した作用荷重によって生ずる補剛材の任意横断面における応力は次のように分類するものとする(圧縮応力を正とする)

- 任意補剛材の総横断面積 A_{gr} に作用する平均軸方向応力 σ_a 。この応力はせん断のみを伝達するよう設計したウェブにおける水平ウェブ補剛材においては無視してよい。
- 箱げたの隅角部におけるパネル接合溶接による任意補剛材の総断面積 A_{gr} に作用する等分布残留圧縮応力 σ_{rb} 。
- 縦方向応力 $\sigma_{p\ell}$ と $\sigma_{o\ell}$ 、それぞれ板の最縁におけるものと突出部の最縁におけるものであり、面内力を無視し、補剛材に板の割線有効幅を加えたものの断面係数に基いて計算した、局部的横方向荷重と任意の作用端部モーメントのもとでの補剛材の曲げによる応力である。
- 板の中央面における有効溶接残留応力 σ_{prs} および板と補剛材の溶接およびその他の局部的縦方向溶接による補剛材に板の割線有効幅を加えたものの図心からの距離 y における突出部の残留応力 σ_{orsy} 。
- 補剛材の仮定期初たわみによる。板の中央面における縦方向応力 σ_{pi} と突出部先端における縦方向応力 σ_{oi} で次式が与えられる。

$$\sigma_{pi} = \frac{\pi^2 \Delta_o e_p E}{L^2} \sin \frac{\pi z}{L}$$

$$\sigma_{oi} = \frac{\pi^2 \Delta_o e_p E}{L^2} \sin \frac{\pi z}{L}$$

ここで

z = 座屈の半波長の端部から着目点までの距離

L = 補剛されたパネルの座屈の半波長

Δ_o = 適当な方向における。すなわち、板における圧縮の照査に対しては突出部方向へのたわみ、突出部における圧縮の照査に対しては板方向のたわみ、そして引張に対する照査に対しては逆に、18. 1. 3 条で定義された補剛材の合計仮定期初たわみ、せん断のみに対して設計されたウェブにおける縦方向補剛材に対しては 18. 1. 3. 4 条で定義されたように $\Delta_o = \Delta_{oh}$

$y_o = e_p$ は板の共同割線有効幅をもつ補剛材の図心から、それぞれ突出部の最縁および板の中央面までの距離。

785

f. 上記応力は全てそれらの適当な符号を用いて考慮するものとする。引張応力を負にとる。

20.3.2 板における最大境界応力

補剛材に隣接する板においてその長さ内の任意位置における最大縦方向境界応力は次式によって与えられる。

$$\sigma_B = \frac{A_{gr}}{A_{seff}} (\sigma_a + \sigma_{Rb}) + \left(\frac{\lambda_b}{\lambda_b - 1} \right) \left(\sigma_a \beta \frac{e_p}{y_s} + \sigma_{p\ell} \right) + \left(\frac{1}{\lambda_b - 1} \right) \sigma_{pi} + \sigma_{PRS}$$

ここで

$$A_{gr} = A_s + \frac{1}{2} (b_1 t_1 + b_2 t_2)$$

$$A_{seff} = A_s + \frac{1}{2} (K_{bs1} b_1 t_1 + K_{bs2} b_2 t_2)$$

K_{bs1}, K_{bs2} = 補剛材の各側のパネルに対する割線有効係数。

y_s = 箱げたの図心から補剛材突出部の面で測った板の割線有効幅をもつ補剛材断面の図心までの距離。

λ_b = 補剛材を含む補剛されたパネルの座屈に対する荷重係数。

$\beta = \frac{\text{補剛材突出部の面における箱げたの曲げによる } \sigma_a \text{ のその部分}}{\sigma_a}$

上記中 σ_{PRS} は、もしその板の初期面外変形が K_{bs} および制限境界応力 σ_{BL} の計算に対し、

18.1.2.1 b 条に従って相応じて増加するならば零と考えてよい。

20.3.3 突出部における最大応力

突出部における種々の位置での圧縮応力と引張応力は両方共、応力、補剛材の初期たわみ δ_0 、および補剛材の図心からその位置までの距離 y に対し適当な符号をとり次式から計算するものとする。

$$\sigma_{oy} = \frac{A_{gr}}{A_{seff}} (\sigma_a + \sigma_{Rb}) + \left(\frac{\lambda_b}{\lambda_b - 1} \right) \left(\frac{y}{y_0} \right) \left[\sigma_{o\ell} - \sigma_a \beta \frac{y_0}{y_s} \right] + \left(\frac{y}{y_0} \right) \left(\frac{1}{\lambda_b - 1} \right) \sigma_{oi} + \sigma_{orsy}$$

ここで

σ_{oy} = 補剛材の図心から距離 y における応力

20.3.4 補剛材に対するねじり座屈制限応力

ねじり座屈制限応力 σ_{yT} は次式から得るものとする。

$$\sigma_{yT} = \sigma_{yT1} + \sigma_{yT2} + \sigma_{yT3}$$

ここで平鋼の補剛材に対しては

$$\sigma_{yT1} = \frac{\pi^2 K_{TS} E}{18} \left(\frac{t_s}{L_T} \right)^2$$

$$\sigma_{yT2} = \frac{2 G^2}{3} \left(\frac{t_s}{d} \right)^2$$

バルブプレート、山形鋼およびT形鋼の補剛材に対しては

$$\sigma_{yT_1} = \frac{2\pi^2 K_{TS} E I}{3 A_s r_o^2 L_T^2}$$

これは安全側に次の値をとってもよい。

$$= \frac{2\pi^2 K_{TS} C_1 E}{3} \left(\frac{r_y}{L_T} \right)^2$$

$$\sigma_{yT_2} = \frac{2G}{3} \left(\frac{J}{A_s r_o^2} \right)$$

これは安全側に次の値をとってもよい。

片側の補剛材に対して、

$$\frac{2G}{3} \left(\frac{t_s^3}{A_s d} \right)$$

両側の補剛材に対して、

$$\frac{4G}{3} \left(\frac{t_s^3}{A_s d} \right)$$

ここで

t_s = 補剛リブのウェブ厚

d = 補剛材の幅

A_s = 補剛リブの合計断面積（共同板を除く）

$E I$ = 補剛リブのそり剛性

r_o = 補剛リブのそり取付点に関する極回転半径

r_y = 補剛リブの最小回転半径でバルブプレートとT形鋼に対しては共同板に直角な軸、
山形鋼に対しては小さい方の主軸に関するものとする。

C_1 = 係数で、バルブプレートと、T形鋼に対しては1.1、山形鋼に対しては1.3とする。

J = サンプナンのねじり定数

L_T = 有効ねじれ拘束点間の距離または次式のうち何れか小さい方

$$b \left[1 + C_2 \frac{A_s \left(\frac{d}{b} \right)^2}{b t} \right]$$

ここで

b = 補剛材間隔

t = 補剛材間の板パネル厚

$C_2 = 3.0$ 平鋼補剛材に対して

4.5 バルブプレートに対して

6.0 T形鋼に対して

7.5 山形鋼に対して

$$K_{TS} = \frac{14.1}{(8.7 + m) + \sqrt{1 + 17.4 m + m^2}}$$

m の値は表 23.1.c に示す不整 (imperfection) に対する製作公差 (workmanship tolerance) の程度に左右される。もし規定した公差が表に与えた値の μ 倍であるなら、 m の値は次のようである。

- (i) 平鋼, 山形鋼および T 形鋼に対しては 1 または μ の大きい方
- (ii) バルブプレートに対しては 1, μ または $(\frac{500}{b})^2 (\frac{\mu b c}{33})$ のうち大きいもの, ここで b_c はバルブプレートのバルブ幅であり, b と b_c の単位は mm である。

μ が 1 以下の場合, σ_{yT_1} は図 10.4 から図 10.7 までは直接得てよい。

σ_{yT_3} = 長さ L_T 内の着目片側補剛材の面に反対側のダイヤフラム面に任意の横方向補剛材が存在することによる付加強度

$$= \frac{4 L_T}{3 \pi^2} \Sigma \left(\frac{K_s}{A_s r_o^2} \sin \frac{\pi x}{L_T} \right)$$

ここで

x = 半波長の一端から任意の横方向補剛材までの補剛材に沿った長さ

$$K_s = 0.22 E t_s^3 \left(\frac{t_s^2 + \frac{b t^2}{3 d}}{t_s^2 + \frac{t^2}{2}} \right) \quad (\text{ラジアンにつき})$$

20.3.5 フランジパネルがその幅内に多くの縦方向補剛材を有する場合は、その合計強度は単独補剛材および板の共力幅の強度の合計としてよい。ただしこの場合、強度がねじり座屈によって支配されるとき、このとき崩壊は最高の応力をうけている。補剛材においてねじり座屈制限応力に達したときに起るのであるが、を除いて名板における初期たわみに適切な注意を払う必要がある。

フランジがその幅内の多くの補剛されたパネルから成り立っている場合は、その合計強度は、けたが水平曲げを受けない場合は、上記規定を適用するときねじり座屈が支配的な場合を除いて、単独の補剛されたパネルの強度の合計としてよい。

20.3.6 局部的に作用する横方向荷重をうける床版フランジパネルは 20.2.3 条の規定 b に対しては r_{mc} に、また同条の他の規定に対しては r に等しい限度に関する部分係数を使用して、供用適性に対して照査しなければならない。

ここで

$$r = \frac{\text{横方向荷重のもとでの板パネル合計幅}}{\text{箱げたに対する有効フランジの合計幅}} (\gamma_{mc} - \gamma_{ms}) + \gamma_{ms}$$

強度に対してこのようなパネル照査する場合、軸方向応力は横方向荷重をうける補剛材を解放する (relieve) ように分布するものと仮定してよい。従ってフランジ強度は 20.3.5 条に従う。

20.4 横げた、横フレームおよび垂直ウェブ補剛材の強度

20.4.1 横げたまたは横フレームの任意の横断面に、係数倍した荷重、溶接収縮力および初期

不整によって生ずる応力は次のように分類するものとする。

- a. フランジに作用する局部的横方向荷重のもとでの横部材の曲げ、任意フランジの側面での曲率、またはねじり変形力などによる板および突出部の最縁における縦方向応力 σ_{pl} および σ_{ol} で、補剛材に板の割線有効幅を加えた断面係数に基いて計算したもの。
- b. 横部材とフランジの溶接による溶接残留圧縮応力で、板の中央面において σ_{prs} 、突出部の先端において σ_{ors} 。
- c. 横部材における仮定相対初期不整による縦方向応力で、板の中央面において σ_{pi} 、突出部の先端において σ_{oi} 。これらの応力は、その部材に作用する次の横方向分布荷重を考慮することにより、横部材に 18.2.4 条で定義した板の有効幅を加えたものの断面係数に基いて計算するものとする。

ウェブ間の部分に対して

$$W = W_0 \sin \frac{\pi z}{B_N} \quad (\text{単位長さ当たり})$$

張出部に対して

$$W = W_0 \frac{z}{B_p} \quad (\text{単位長さ当たり})$$

ここで

z = 横部材の内側部分の一端から、または張出部の付根から着目点までの距離。

B_N = ウェブ間の横部材の部分の長さ

B_p = 箱げた壁面の図心から上フランジの外側縁までの距離。

W_0 は適当な最大荷重強度で次のように決定すべきものである。

- (i) 20.1.8 条に従って計算した座屈の半波長 L が横フレーム間隔 l の 2 倍を越えるとき ($L > 2l$)

$$W_0 = \frac{\pi^2}{2} P_n \frac{d_{oc}}{L} \left(1 - \frac{\eta}{2\varphi} \right) \quad (\text{単位長さ当たり})$$

ここで

P_n = 係数倍した荷重のもとでの着目フランジの部分における面内直力 (20.1.8 条参照)

d_{oc} = 横部材の仮定相対初期たわみ (18.1.3.2 条参照)

- (ii) 半波長 L が横フレーム間隔の 2 倍に等しいとき ($L = 2l$)

$$W_0 = \frac{\frac{\pi^2 P_n d_{oc}}{4 \ell}}{1 + \frac{\pi^4 I_f B^4 \psi}{32 I_c \ell^3 \phi}}$$

ここで B , I_f , I_c , η , ψ および ϕ は 20.1.8 条で定義されたもの。

⑩ 半波長 L が横フレーム間隔に等しいとき ($L = \ell$)

$$W_0 = \frac{\frac{\pi^2 P_n \Delta_{oc}}{2 \ell}}{1 + \frac{\pi^2 I_f B^4 \varphi}{16 I_c \ell^3 \phi}}$$

横部材の長さに沿った任意位置における最大応力は次のものとする。

板の中央面において

$$\sigma_p = \left(\frac{\lambda_b}{\lambda_b - 1} \right) (\sigma_{p\ell} + \sigma_{pi}) + \sigma_{prs}$$

突出部において

$$\sigma_o = \left(\frac{\lambda_b}{\lambda_b - 1} \right) (\sigma_{o\ell} + \sigma_{oi}) + \sigma_{ors}$$

ここで

σ_b = 全体フランジ座屈に対する最小荷重係数で 20.1.8 条から得られる。

フランジ板パネルの強度は上記から得られ、けたの全体曲げによる他の縦方向応力とせん断応力とともに作用する σ_p に対して照査しなければならない。

20.4.2 垂直ウェブ補剛材の強度

係数倍した作用荷重、溶接収縮力および初期不整による、垂直ウェブ補剛材の任意横断面における応力は次のように分類するものとする。

- 各側で $16 t_w$ に等しいウェブプレート幅を組合せた補剛材の総横断面積に作用する 20.1.7.3 a 条で述べたように分布させた直応力 σ_a 、ここで t_w はウェブプレート板厚である。
- 補剛材とウェブの溶接による溶接残留圧縮応力で、板の中央面において σ_{prs} 、突出部の先端において σ_{ors} 。
- 補剛材に補剛材の各側の板の有効幅 ($16 t_w$ 以下) を加えたものの断面係数に基いて計算した、ウェブにおける任意の合成張力場の力の作用の偏心によるものを含み、補剛材に作用する任意の端部モーメントによる板の最縁と突出部の最縁における応力で、それぞれ $\sigma_{p\ell}$ および $\sigma_{o\ell}$ である。

補剛材が横げたまは横フレームに剛に取付けられている場合、もし横部材が次のように設計されているなら、端部モーメントは部材間の相関作用を適切に考慮して計算してよい。

- 垂直補剛材における仮定期初不整による板における縦方向応力 σ_{piy} と突出部における縦方向応力 σ_{oi} で次の値に等しい。

$$\sigma_{piy} = \frac{\pi^2}{h^2} \Delta_o y_p E \sin \frac{\pi z}{h}$$

$$\sigma_{oi} = \frac{\pi^2}{h^2} \Delta_o y_o E \sin \frac{\pi z}{h}$$

ここで

$\Delta_o = 20.3.1.e$ で定義されたもの

h = 横部材との剛な取付点間の垂直補剛材の長さ

z = 剛な取付点から着目位置までの距離

y_p および y_o は板の共同割線有効幅を含む補剛材の図心から、それぞれフランジ板および突出部の最縁までの距離

垂直補剛材の長さに沿った任意位置における最大応力は次のようにとるものとする。

$$(i) \text{ 板において } \delta p = \sigma_{eff} + \left(\frac{\lambda_b}{\lambda_b - 1} \right) \sigma_{pl} + \left(\frac{1}{\lambda_b - 1} \right) \sigma_{piy} + \sigma_{prs}$$

$$(ii) \text{ 突出部において } \delta o = \sigma_{eff} + \left(\frac{\lambda_b}{\lambda_b - 1} \right) \sigma_{ol} + \left(\frac{1}{\lambda_b - 1} \right) \sigma_{oi} + \sigma_{ors}$$

ここで

λ_b = 垂直補剛材の座屈に対する荷重係数で、20.1.6条から得る。

- e. 補剛材の各端部と箱げたの壁面間の連結は次の値に等しいせん断力を伝達するよう設計するものとする。

$$\frac{\pi^3}{h^3} A_o E I_{seff} \left(\frac{1}{\lambda_b - 1} \right)$$

ここで

I_{seff} = 補剛材に板の割線有効幅を加えたものの断面2次モーメント。

20.4.3 横フレーム、横げたまたは垂直ウェブ補剛材に対するねじり座屈制限応力

横フレーム、横げたおよび垂直ウェブ補剛材の突出部におけるねじり座屈制限応力 σ_{yrc} は次式から決定するものとする。

$$\sigma_{yrc} = \frac{2 \sigma_{crit}}{\{ (1.28 \mu + C) + \sqrt{(1.28 \mu + C)^2 - 4C} \}}$$

ここで規定すべき初期不整に関する許容誤差 Δsy は表 23.1.c に与えたものの μ 倍である。

横部材の高さが直線的に変化する場合は、 d_c は半波長の最深の端部から半波長の距離 0.4 における (s または L_c の何れか小さい方) 断面の高さにとってよい。

σ_{crit} , C , d_c , S および L_c は 12.1.4 条で定義されたものである。

20.5 ダイアフラムにおける補剛材の強度

- 20.5.1 ダイアフラム補剛材の任意断面において係数倍した作用荷重、溶接收縮力、および初期不整によって生ずる応力は次のように分類するものとする (圧縮応力を正にとる)

- 着目位置における補剛材の総断面積 A_{gr} に作用する軸方向応力 σ_a
- 補剛材に板の割線有効幅を加えたものの断面係数に基いて計算した、作用端部モーメントによる縦方向応力 σ_{pl} と σ_{ol} それぞれ板の最縁と突出部の最縁におけるもの。支承の偏心と、箱げたの下フランジの図心に対して偏心している支承に作用する水平力によるモーメントは 1 次荷重支持補剛材によって完全に伝達されるものと仮定するものとする。
- 補剛材に平行な方向における箱げたとのダイアフラム接合溶接による、縦断面積 A_{gr} に作用する残留圧縮応力 σ_{Rb} 。

d. 補剛材と板との溶接およびその他の縦方向溶接による有効溶接残留圧縮応力で、板の中央面におけるものを σ_{PRS} 、突出部の最縁におけるものを σ_{ORS} と表わす。

e. 補剛材の初期たわみによる縦方向応力 σ_{pi} と σ_{oi} 、それぞれ板の中央面におけるものと突出部の先端におけるもので次式によって与えられる。

$$\sigma_{pi} = \pi^2 \frac{D_0}{L^2} e_p E \left(\frac{\bar{I}_{seff}}{I_{seff}} \right) \sin \frac{\pi z}{L}$$

$$\sigma_{oi} = \pi^2 \frac{D_0}{L^2} y_0 E \left(\frac{\bar{I}_{seff}}{I_{seff}} \right) \sin \frac{\pi z}{L}$$

ここで

z = 有効支持点から着目補剛材に沿う位置までの距離。

L = 有効支持点間の距離で 1 次補剛材に対して箱げた壁面間の距離を、2 次補剛材に対しては隣接 1 次補剛材間またはそのような補剛材と箱げた壁面間の距離をとる。

D_0 = 適当な方向における補剛材の仮定期初たわみで、18.1.3 条で定義されたもの。

y_0 および e_p = 板の共同割線有効幅を含む補剛材の図心から、それぞれ突出部の最縁までと板の中央面までの距離。

I_{seff} = 補剛材に着目位置における板の割線有効幅を加えたものの有効断面 2 次モーメント

$\bar{I}_{seff}$ = 補剛材に板の割線有効幅を加えたものの有効断面 2 次モーメントの平均値。

20.5.2 板における最大境界応力

補剛材に隣接する板においてその長さ内の任意位置での最大縦方向境界応力は次式で与えられる。

$$\sigma_B = \frac{A_{gr}}{A_{seff}} (\sigma_a + \sigma_{Rb}) + \left(\frac{\lambda_b}{\lambda_b - 1} \right) \sigma_{pl} + \left(\frac{1}{\lambda_b - 1} \right) \sigma_{pi} + \sigma_{PRS}$$

ここで、

A_{gr} 、 A_{seff} は 20.3.2 条で定義されたものである。

λ_b = 20.1.7 条から導かれる座屈に対する荷重係数。

20.5.3 突出部における最大応力

任意断面での突出部最縁における最大応力は次式で与えられる。

$$\sigma_o = \frac{A_{gr}}{A_{seff}} (\sigma_a + \sigma_{Rb}) + \left(\frac{\lambda_b}{\lambda_b - 1} \right) \sigma_{ol} + \left(\frac{1}{\lambda_b - 1} \right) \sigma_{oi} + \sigma_{ORS}$$

20.5.4 ダイアフラムにおける垂直補剛材の突出部の最小形状 (minimum proportions)。

18.1.4.1 条で述べた支承の水平方向平面性における横方向誤差は、19.2.9 条に与えられたダイアフラム板パネルに対する要求事項の他に、各荷重支持補剛材の突出部の形状が次の基準を満足する場合は局所的な塑性変形によって調整されるものと仮定してよい。

a. 幅 d 、厚さ t_s の平鋼補剛材の突出部

$$e_s \geq \frac{0.54 t_s^2}{d}$$

ここで

e_s = 補剛材の線上における支承の密着不足 (例えば図 19. 23 (ii) において $e_s = e_1$)

b. 山形鋼, T形鋼, パルププレートの補剛材の突出部

(i) もし下フランジから高さ h の位置に水平補剛材があり, h が下記の値以下なら

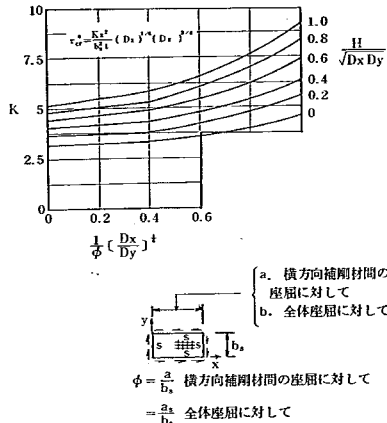
$$2.4 \sqrt{\frac{A_s r_y^2 d^2}{J}}$$

$$e_s \geq \frac{2.3 r_y^2 d^2}{r_o^2 h} + \frac{0.4 J h}{A_s r_o^2}$$

(ii) 水平補剛材がないか, あるいは水平補剛材の位置が 20. 5. 4 b (i) 条で規定したものより大なる高さにある場合は

$$e_s \geq \frac{1.85 r_y d}{r_o^2} \sqrt{\frac{J}{A_s}}$$

ここで, 記号は 20. 3. 4 条で与えられたものである。



$\frac{1}{\phi} \left(\frac{D_x}{D_y} \right)^{\frac{1}{4}}$ が 1.0 未満であるような直交異方性板の方向をとること、 b は y 軸に選んだ方向における直交異方性板の寸法である。

図 20.3 セン断における単純支持された直交異方性板

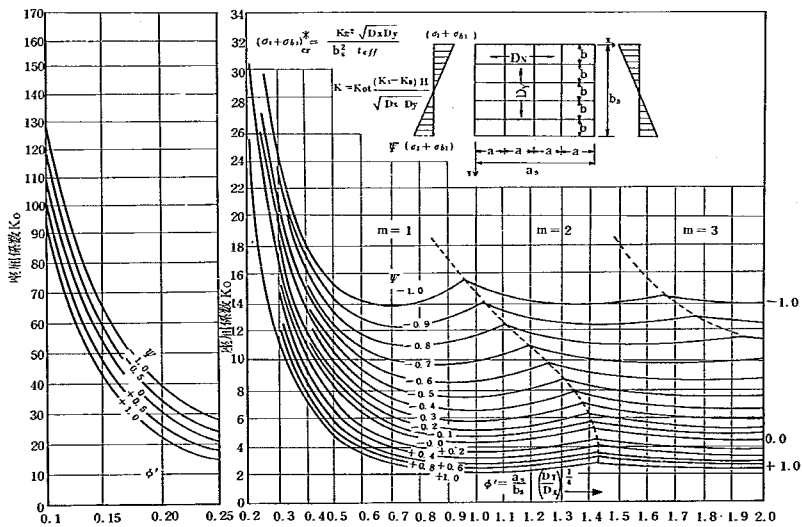
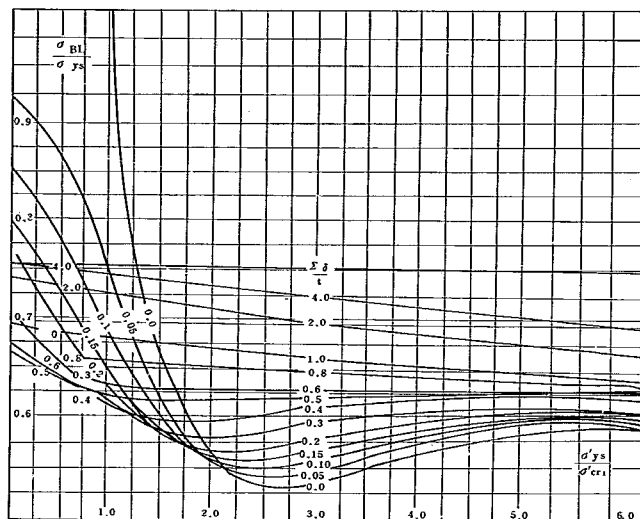
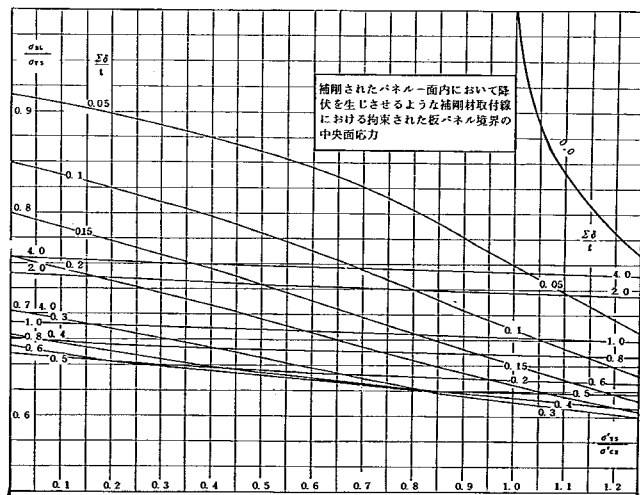


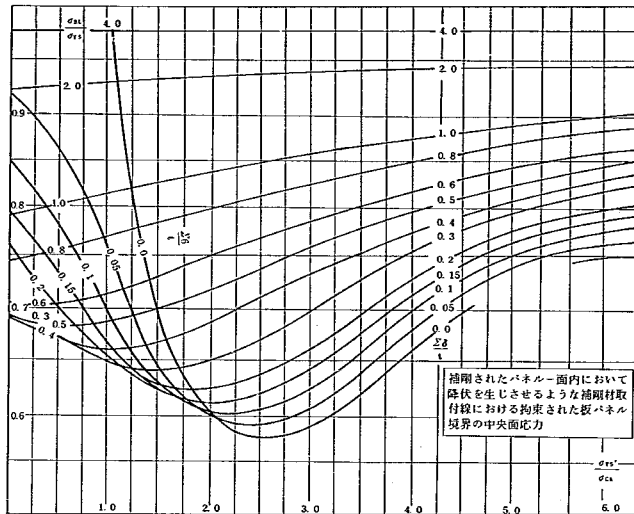
図 20.4 縁曲げにおける単純支持された直交異方性板 — K_0 の値,



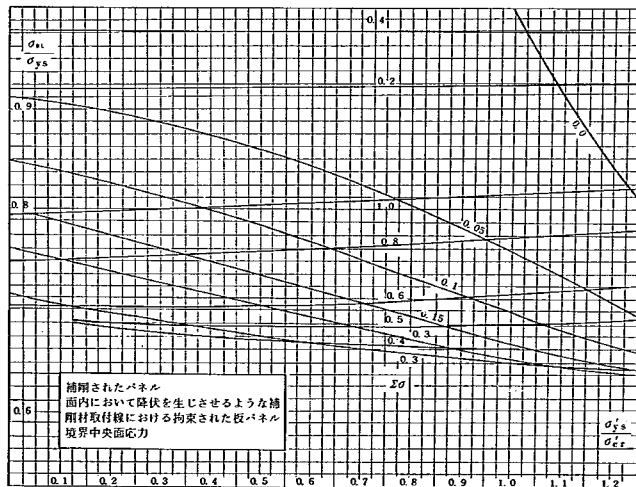
図：20.6 補剛されたパネル — 面内において降伏を生じさせるような補剛材取付線における拘束されていない板パネル境界中央面応力



図：20.6 A 補剛されたパネル — 面内において降伏を生じさせるような補剛材取付線における、拘束されていない板パネル境界中央面応力



図：20.7 補剛されたパネル — 面内において降伏を生じさせるような補剛材取付線における拘束された板パネル境界の中央面応力



図：20.7 A 補剛されたパネル — 面内において降伏を生じさせるような補剛材取付線における拘束された板パネル境界中央面応力

21. 疲 勞

21.1 簡略化された方法によっては疲労照査に対して限定せず、また疲労寿命のより正確な評価に値する応力の変動をうける部分は 21.3 条のマイナー則の方法を適用することによって照査しなければならない。この方法に対し、各部材は 4.10 条の荷重スペクトラム (spectrum) から計算した全て大きさ (magnitude) の荷重のサイクル数に対し設計するものとし、4.11.8 条に従って空気動力学的振動の影響を考慮するものとする。

21.2 定 義

「応力範囲 (range of stress) σ_r 」とは、18.1.1 条で定義されたように任意の一つの荷重の場合の発車および通過中におこる任意点での計算主 (または等価) 応力の最大と最小間の代数差を意味する。

21.3 マイナー則の方法

21.3.1 任意の一つの応力範囲の計算した繰返し数は如何なる場合も NA_p をこえることはない。

ここで A_p は着目溶継手の分類により表 21.1 から選択する。

N = 応力範囲 σ_r に対する破壊までの繰返し数で下記の式の適当なものまたは図 21.1 から得られる。

$$\begin{aligned} \text{等級 } B : \log_{10} N &= 17.21 - 4.76 \log_{10} \sigma_r \\ \text{等級 } C : \log_{10} N &= 14.11 - 3.56 \log_{10} \sigma_r \\ \text{等級 } D : \log_{10} N &= 12.30 - 2.86 \log_{10} \sigma_r \\ \text{等級 } E : \log_{10} N &= 12.10 - 2.86 \log_{10} \sigma_r \\ \text{等級 } F : \log_{10} N &= 11.91 - 2.86 \log_{10} \sigma_r \\ \text{等級 } G : \log_{10} N &= 11.46 - 2.86 \log_{10} \sigma_r \end{aligned}$$

表 21.1

等 級	疲労：マイナーの合計係数	
	A_p	
	疲 勞 強 度	疲労供用適性
G	0.45	0.7
F	0.30	0.6
E	0.45	0.7
D	0.35	0.6
C	0.40	0.7
B	0.65	0.8

21.3.2 構造細部が種々の応力範囲をうける場合、スペクトラムは、表 21.2 に与えられたカットオフ応力程度 (cut-off stress level) 未満の応力範囲は無視して、適当な数の応力間隔に分割するものとする。任意の一つの間隔における応力範囲は全てその間隔における最大応力

範囲として取扱うものとする。

表 21.2

カットオフ応力程度	
横方向溶接	15 N/mm ²
縦方向溶接	32 N/mm ²

21.4 マイナーの合計

構造細部は以下になるように設計しなければならない。

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_n}{N_n} \leq A_p$$

ここで $n_1, n_2, \dots, n_n$ は構造物の設計寿命において起るよう計算したスペクトラムの各部分における応力範囲の繰返し数である。

$N_1, N_2, \dots, N_n$ は 21.3 条に与えられた式または図 21.1 から決定した破壊までの対応繰返し数である。

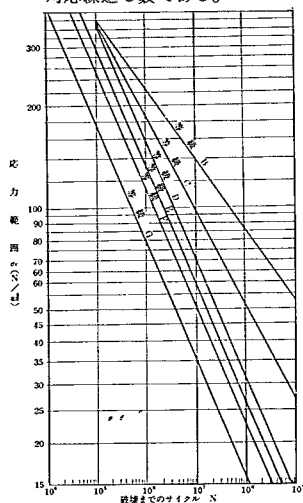


図 21.1 種にの継手等級に対する調整平均 S-N 曲線の一覧

A_p の値は表 21.1 から決定するものとする、そして着目部材が 8.1.3 条の疲労供用適性の要求事項を満足しない場合は「疲労強度」と表題のついた表の列から選択するものとする。この場合における関係部材は疲労供用適性に対してのみ照査するものとする。

21.5 溶接の分類

21.5.1 等級 B ~ G に分類した溶接継手のリストは図 21.2 ~ 21.8 に与えられており、また溶接は次のように分類するものとする。

21.5.2 継手がリストに分類されていない種類のものである場合、疲労挙動を改善するため溶接の抑制した機械仕上げまたはグライNDER仕上げを使用しているものを含む、その継手は、その継手形式に関する十分な数の試験から得られる平均S-N曲線と図21.1に与えられた曲線との比較から分類してよい、その継手はその特性以下の最も近いものとする。

21.5.3 溶接が機械仕上げまたはグライNDER仕上げによって、改善されるべき場合は、検査手順を含み、従うべき手順は（責任）技術者が規定するものとする。

21.6 溶接継手の形式

形式別にリストされ、(T..)の形で示された溶接継手は、21.5.1条で要求されている分類に対する助けものとして、疲労ひび割れの予想モードについて説明と注釈をつけて図21.9～図21.16に与えられている。

細部の疲労分類

マイナー則の方法

図21.2～図21.8は簡易疲労設計に対して用いた表8.1と同じ分類となっている。分類に対するより多い助けとして意図された図21.9～21.16において、細部は疲労破壊のモードについて説明と注釈をつけて形式(T..)によって分類してある。

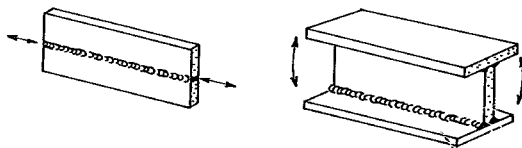
図21.2～図21.8

等級別に配列した構造部材と溶接細部の図と説明

- 作用荷重の方向を示す。
- 作用モーメントの方向を示す。

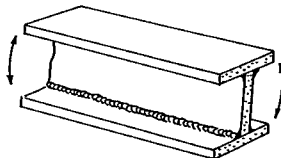
等級 B

溶接長さ内に中間始終端のない連続自動縦方向突合せ溶接 (T.2.1(b))



等級 C

溶接長さ内に中間始終端のない連続自動縦方向隅肉溶接 (T.2.3(a))

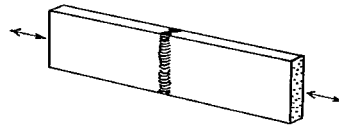


等級 D

溶接長さ内に始終端のある連続縦方向隅肉溶接 (T. 2.1(c))

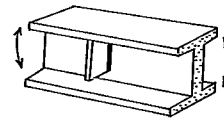
ボルト連結またはリベット連結 (摩擦接合を含む)、孔、および円形の凹んだ角 (T. 2.2)

工場で下向きでなされた完全溶込み横方向突合せ溶接、深い溶込みの溶接棒によってなされた手溶接および溝弧溶接以外の方法による自動溶接 (T. 3.1(b))



等級 E

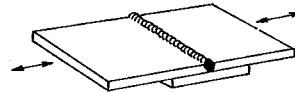
曲げとせん断の組合せ領域における補剛材を有するけたのランプ (T. 4.1)



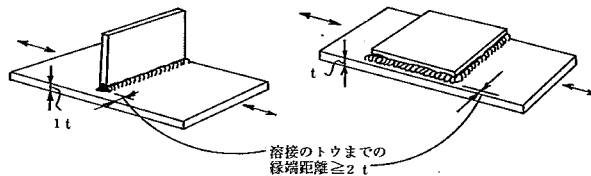
等級 F

恒久的な裏当金上でなされた横方向突合せ溶接を有する部材 (T. 3.3)

溝弧溶接または深い溶け込みの溶接棒を用いた手溶接による横方向突合せ溶接を有する部材 (T. 3.1(d))



横方向の荷重を伝達しない隅肉または突合せ溶接による取付部を有する部材 (T. 5.1(a))



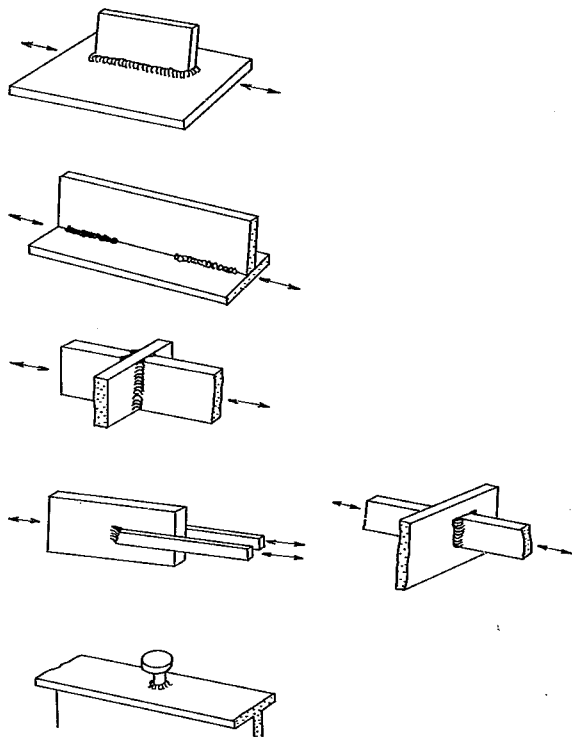
縦方向の荷重を伝達しない隅肉または突合せ溶接による取付部を有する部材 (T. 5.2)

中間縦方向隅肉または突合せ溶接を有する部材 (T. 4.4)

完全溶込み十字形突合せ溶接 (T. 7.1)

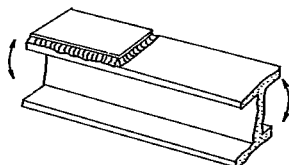
横方向の荷重を伝達する隅肉溶接によって連結された部材 (T. 7.3 または T. 7.5)

スタッドちわ止めを有する部材

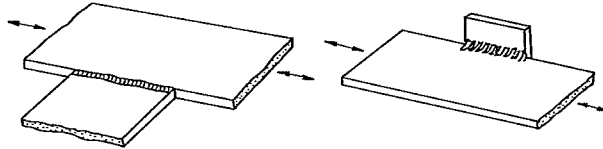


等級 G

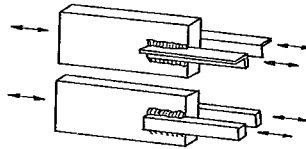
隅肉溶接で取付けられた切り結めたカバープレートに有する部材 (T. 4. 3)



縦方向の突合せまたは隅肉溶接で取付けられた縁端取付部を有する部材 (T. 6. 1)

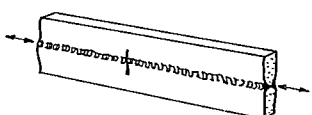
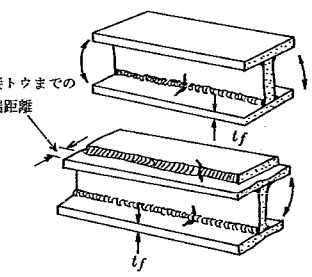
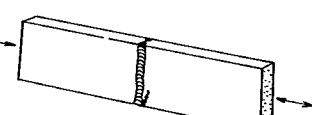
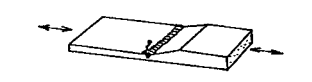


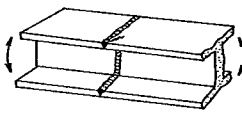
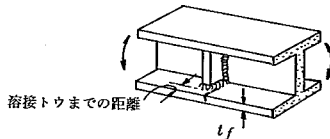
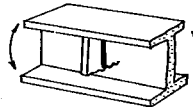
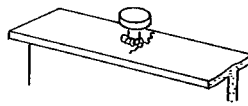
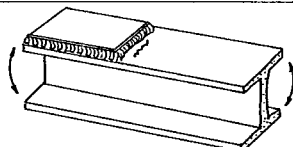
縦方向の荷重を伝達する隅肉溶接により連結した部材 (T. 7. 6)

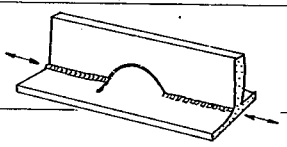
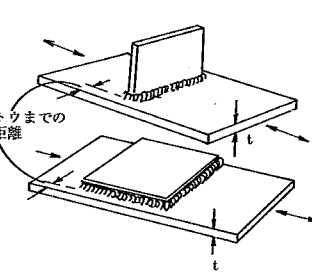
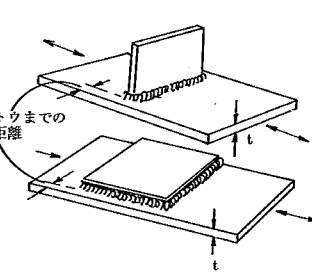
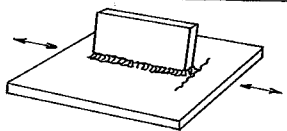


形式番号、証明、破壊モードに関する注釈および等級別に配列した溶接継手の形式

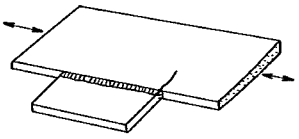
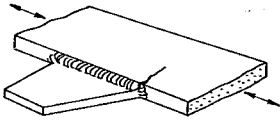
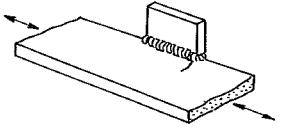
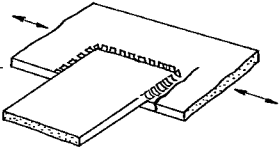
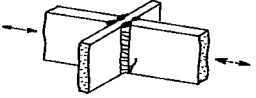
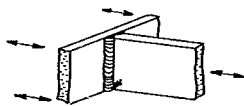
形式別および等級別に説明した溶接継手		図 21. 9 ～ 図 21. 16
形式番号、説明、および破壊モードについての注釈	等級	例、破壊モードの代表的なもの
形式 T. 1 面 材 (plane material) ロールしたまま (as-rolled) の状態または、ガス切断縁のないケレンした表面を有する面鋼 (plane steel) 破壊モードについての注 疲労ひび割れは表面に、通常は凹凸のある表面または横断面の角の何れかに先ず現われる。溶接構造における疲労破壊は、継手の疲労強度が通常もって低いから、面材の領域において発生することはまれである。	A	
形式 T. 2 長手方向に応力をうける連続溶接 破壊モードについての注 平滑に仕上げた (dressed flush) 溶接の場合は、疲労ひび割れは溶接欠陥部にまず発生すると思われる。溶接したままの状態においては、クラックはまず始終端部に現われるかあるいはもし始終端がない場合は溶接表面のリブルに現われるかのどちらかである。全てのクラックは一たん発生すると作用応力直方向に伝せんする。		
T. 2. 1 作用応力方向に平行な連続完全溶込み突合せ溶接によって連結された断面ないしは板からつくられた取付部のない部材における母材と溶接金属。		

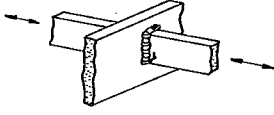
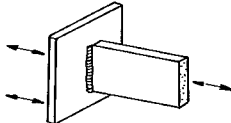
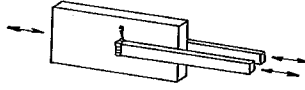
形式別および等級別に説明した溶接継手		図 21. 9～図 21. 16
形式番号, 説明, および破壊モードについての注釈	等級	例, 破壊モードの代表的なもの
(a) 板表面とともに溶接余盛を平滑に機械仕上げしてあり, 部材がガス切断縁をさらしていないなら, 非破壊検査によって欠陥がないと証明された溶接をもつ。 (b) 潜弧または開弧の何れかの方法で行われた溶接をもち, その溶接長内に中間始終位置のないもの。 (c) その溶接長内に始終位置を含む溶接をもつ。	A B D	
T. 2. 2 ボルト連結, 孔, 円形凹角隅角部	D	
T. 2. 3		
取付部がなく, 作用応力の方向に平行な連続隅内溶接によって連結された断面または連続板から形成された縁端距離 $\geq 2t_f$ の部材における母材と溶接金属。 (a) 上記 T. 2. 1(b)に同じ (b) 上記 T. 2. 1(c)に同じ (c) 縁端距離 $< 2t_f$	C D G	
形式 T. 3 横方向突合せ溶接 破壊のモードに関する注釈 溶接したままの状態の横方向突合せ溶接における疲労クラックは通常その溶接トウに発生する。 従ってその疲労強度は溶接余盛の形状に大きく左右される。溶接余盛が平滑に仕上げられる場合はそれによって生ずる応力集中は除去され, 従って破壊は通常, 溶接欠陥から起ることになる。永久的な裏当金上でなされた溶接の場合は, 疲労クラックは溶接金属と裏当金の接合部に発生する。		溶接トウまでの縁端距離 
T. 3. 1 等厚, 等幅の板間の完全溶込み突合せ溶接継手における溶接金属またはそれに隣接する用材 (a) 板表面とともに平滑に仕上げた溶接余盛を有し, また非破壊検査により欠陥がないことが証明された溶接をもつ。ただしその部材がむき出しのガス切断縁をもたないものとする。 (b) 深い溶込みの溶接棒以外の溶接棒を使用した手溶接, または潜弧溶接以外の自動溶接によって工場でなされた溶接をもつ。ただし全てのランが下向きでなされたものとする。 (c) (b)におけるもの以外でなされた溶接, ただし自動潜弧溶接または深溶込み (d, p) 溶接棒を除く。 (d) 自動潜弧溶接または d, p 溶接棒によってなされた溶接	A B E F	  

形式別および等級別に説明した溶接継手		図 21.9～図 21.16
形式番号, 説明, および破壊モードについての注釈	等級	例, 破壊モードの代表的なもの
(e) 平滑に機械仕上げした溶接余盛および 1:5 以下のテーパでなめらかな変化に機械仕上げした任意の不整置, 厚さまたは幅の変化をもち(b), (c)または(d)におけるようになされた溶接 (f) 面外曲げを受けずまた応力の作用線に関して対称に配置された部分溶込み突合せ溶接 (g) 上記以外の溶接	D F G	
T. 3. 2 同様な側面をもつロール断面または溶接断面における完全溶込み突合せ溶接金属またはそれに隣接する母材 (a) 上記 T. 3. 1(a)と同様 (b) 上記 T. 3. 1(b), (c)と同様 (c) 平滑に仕上げた補強盛りをもつ T. 3. 1(b), (c)と同様	A E D	
T. 3. 3 永久的異当金上でなされた完全溶込み突合せ溶接の溶接金属またはそれに隣接する母材	F	
形式 T. 4 溶接げたにおける細部 補剛材をけたのフランジに連結している溶接のトウにおける母材 (a) 溶接のままの縁端距離 $\geq 2 l_f$ (b) 縁端距離 $< 2 l_f$	F G	 溶接トウまでの距離 l_f
T. 4. 1 曲げとせん断が組合される範囲において補剛材をけたのウェブに連結している溶接の端部における母材 上記 T. (a)または(b)と同様	E	
T. 4. 2 スタッτζベルに隣接する母材	F	
T. 4. 3 長手方向に部分的に溶接したカバープレート, そのカバープレートの端部が方形かテーパが付いているかの何れか, また端部を横切る溶接があるかないかについては考慮しない。	G	

形式別および等級別に説明した溶接継手		図 21.9 ～ 図 21.16
形式番号, 証明, および破壊モードについての注釈	等級	例, 破壊モードの代表的なもの
T. 4. 4 不連続溶接 (例, ウェブとフランジ間の断続溶接) の端部に隣接するかまたは鑿形孔 (cope hole) の端部でのウェブとフランジ間の端部に隣接する母材	F	
形式 T. 5 応力をうける部材の表面にある溶接された付属品 (attachment) 破壊のモードに関する注釈 溶接が作用応力の方向に直角の場合は, 疲労クラックは溶接トウに発生し, 応力の作用している板に伝せんする。しかし溶接が応力方向に平行の場合は, クラックは溶接の端部における溶接トウに発生する。	F	
T. 5. 1 溶接が作用応力の方向に直角な場合の突合せまたは隅肉溶接された付属品に隣接する母材 (a) 溶接したままの縁端距離 $\geq 2t$ (b) 縁端距離 $< 2t$	F G	
T. 5. 2 作用応力の方向に平行な付属品の端部に隣接する母材, その付属品のまわりの溶接が連続か否かは問わない。	F	
形式 T. 6 応力をうける板でその板の縁に付属品が溶接されているもの。 破壊のモードに関する注釈 疲労クラックは溶接の端部に発生し, そして応力の作用している部材に伝せんする。この形式の継手の疲労強度は低い, 何故なら板の縁にある付属品によって生ずる応力集中がきびしいからである。		

005

形式別および等級別に説明した溶接継手		図 21.9 ～ 図 21.16
形式番号, 説明, および破壊モードについての注釈	等級	例, 破壊モードの代表的なもの
T. 6. 1 応力の作用している部材の縁に付属品を連結している突合せまたは隅肉溶接の端部における母材 (応力をうけている部材の), 付属品の形状は問わない。	G	  
T. 6. 2 応力の作用している板の縁に隣接している付属品を連結している隅肉溶接のトウにおける母材	G	
形式 T. 7 荷重伝達溶接継手 破壊のモードに関する注釈 完全溶込み溶接の十字形または T 形継手における破壊は通常, 溶接トウにおいて発生する。しかし荷重伝達隅肉溶接を使用した継手においては, クラックは溶接トウに発生し板に伝せんするか, または溶接ルートに発生し, 溶接部に伝せんする可能性もある。しかしながら, 作用応力の方向に平行な溶接の場合は, 溶接破壊はまれであり, クラックは通常, 溶接端部に発生し, そして作用応力の方向に直角な板に伝せんする。		
T. 7. 1 完全溶込み溶接でなされた十字形継手に隣接する母材	F	
T. 7. 2 完全溶込み溶接でなされた T 形継手に隣接する母材	F	

形式別および等級別に説明した溶接継手		図 21. 9～図 21. 16
形式番号, 説明, および破壊モードについての注釈	等級	例, 破壊モードの代表的なもの
T. 7. 3 隅肉溶接十字形継手のトウにおける母材	F	
T. 7. 4 隅肉溶接 T 形継手のトウにおける母材	F	
T. 7. 5 作用応力の方向に直角な荷重伝達隅肉溶接のトウにおける母材	F	
T. 7. 6 作用応力の方向に本質的に平行な荷重伝達隅肉溶接の端部における部材	G	