

I-68

変断面プレートガーダー腹板パネルのせん断強度の簡易算定法について

舞鶴工業高等専門学校 正会員 武田八郎

1. まえがき 腹板高さが直線的に変化する変断面プレートガーダーが、主としてせん断力を受ける場合の載荷実験結果については先に報告した^{1),2),3)}。この種の問題については、Davis and Mandal⁴⁾が、載荷実験結果といわゆるモデル解析による強度算定法を、また Falby⁵⁾がやはりモデル解析による強度算定法を示している。今回、従来の載荷実験結果を参考にモデルを設定し、簡易なせん断強度算定法を求め、過去の載荷実験結果と比較した。さらに、中間補剛材作用力についても考察を行ったので報告する。

2. 解析モデル 座屈後の腹板のせん断強度が、座屈時の腹板のせん断強度と、張力場によって負担されるせん断強度の和として扱われるものとする。

i) 梯形板の座屈荷重 座屈時の腹板のせん断強度を求めるためには、梯形腹板パネルの座屈荷重の算定が必要であるが、このために、図-1のように各辺に沿う力を受ける平面応力場の梯形板を考える。たわみに関する境界条件は、 $Y=0$ および d で単純支持、他の二辺については単純支持または固定支持とする。応力算定には一定要素を、座屈解析には3頂点のたわみと3辺の回転変位を自由度とした三角形要素を用いた有限要素法⁶⁾により計算を行ったが、収束が遅いため、3種類の分割に対する値を求め、外挿法⁷⁾によって収束値を推定した。傾斜辺の角度 β は、 $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$ の3種類とした。 $a=150\text{ cm}$ 、 $d_m=150\text{ cm}$ (腹板平均幅員比 $d=1$)、板厚 1 cm (腹板平均幅厚比 $=150$)に対する全要素の平均せん断応力を求めたのが、表-1である。さらに、腹板平均幅厚比を使って座屈係数を求めた。この値と、平均腹板高さをもつる長方形板のせん断座屈係数 k とを比較すると、フランジ傾斜角により k の値が変化する事が分る。

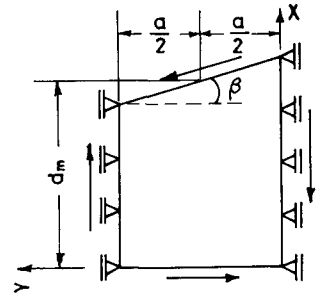


Fig. 1

Table 1 Buckling Loads

β		S.S.	Fixed
5°	τ_{mean}	712.5	951.3
	k	8.45	11.28
10°	τ_{mean}	655.6	888.1
	k	7.77	10.53
15°	τ_{mean}	662.7	812.6
	k	7.86	9.63

S.S. : Simply Supported

 $\tau_{\text{mean}} : \text{kg/cm}^2$

ii) 張力場モデル 過去の載荷実験結果から、梯形パネルの上オの三角形部分では張力場が他の部分に比べて未発達である事を考えて、Batapenko⁸⁾の張力場分布の仮定を図-2のようにパネル下方の長方形部分に準用した。すなわち、張力場分布に関する限り、あたかも傾斜フランジがAA'の位置にあるかのように想定した。図-2のように、破壊パネルの中間補剛材近傍の m - n 断面で切断し、切断後のパネルに釣り合い条件を適用すると、作用せん断力 $P/2$ は次のように求められる。

$$\frac{P}{2} = \frac{\sigma_t \cdot t}{d_m \cos \phi - e \sin \phi} \left\{ S \left(\frac{S}{2} \sin \phi + d_m \cos \phi \sin \phi \right) + P a \sin \phi \left\{ \left(S + \frac{a}{2} \sin \phi \right) \sin \phi + d_m \cos \phi \sin \phi \right\} \right\} \dots (1)$$

ただし、 σ_t は張力場応力、 t は腹板厚、 a はパネル長、 d_m は最大パネル高、 ϕ は張力場の傾斜角、 e は m - n 断面から荷重作用点までの距離、 S は等価張力場の係数、 S は張力場の幅で d_m を最大パネル高とすると $S = d_m \cos \phi - a \sin \phi$ である。

σ_t の算定に当たって、Bastler⁹⁾が示した近似降伏条件条件式と von Mises の微分降伏条件式を使用した両場合を考えると、 ϕ は $P/2$ を最大にする条件より、次のように決定される。

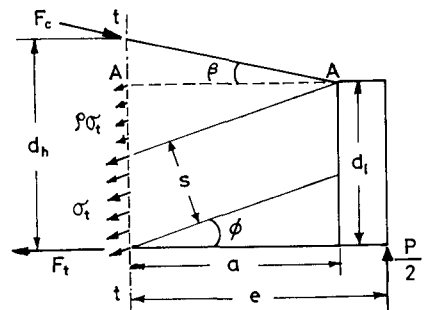


Fig. 2

a) 近似降伏条件使用 $\tan \phi = \frac{2 d_e d_h \cos \beta - 2(1-\rho) a d_e \sin \beta}{d_e^2 \sin \beta - a^2(1-\rho) \sin \beta + 2(1-\rho) a d_h \cos \beta} \dots\dots\dots (2)$

b) 厳密降伏条件使用 $\left\{ (1-\rho) a d_h \cos \beta + \frac{d_e^2}{2} \sin \beta - \frac{a^2}{2} (1-\rho) \sin \beta \right\} \tan \phi = d_e d_h \cos \beta - (1-\rho) a d_e \sin \beta$

$$- \frac{3(T_{cr}/\sigma_Y)}{\sqrt{1+(T_{cr}/\sigma_Y)^2 \{ [1.5 \sin \phi]^2 - 3 \}}} \left[5 \left(\frac{3}{2} \sin \beta + d_h \cos \beta \sin \phi + \rho a \sin \phi \left\{ 5 + \frac{a}{2} \sin \phi \right\} \sin \beta \right. \right.$$

$$\left. \left. + d_h \cos \beta \sin \phi \right\} \right] \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 σ_Y は降伏応力、 T_{cr} はせん断座屈応力である。

3.実験値との比較 2.)から b/d_e の値はフランジ傾斜角により変化するが、ここでは簡単のために、座屈時の梯形腹板パネルのせん断強度を求めるのに、平均パネル高さを有する長方形パネルのせん断座屈強度の値を使用する。ただし、境界条件は全周単純支持とした。これと、式(2)または(3)を式(1)に適用して、せん断強度の予測

Table 2 Comparisons of Tests with Various Theories (tons)

Theory	Girder	TS-1 ¹⁾	TS-2 ²⁾	TS-3 ²⁾	TS-4 ²⁾	10A ⁴⁾	20A ⁴⁾	60A ⁴⁾	70A ⁴⁾	(Theory) Exp. mean	Standard deviation
present	Approx.	19.98	22.63	22.8	20.13	12.84	17.8	16.9	26.01	0.98	0.11
	Exact	20.32	23.12	23.14	20.51	13.32	18.44	17.58	27.42	1.01	0.12
とし、	Davis-Mandel	23.0	25.3	23.6	21.9	12.95	15.7	17.85	23.76	1.00	0.09
過去に	Falby	10.72	9.1	10.4	9.59	3.78	3.96	5.28	7.30	0.36	0.09
行われ	Experiment	20.55	22.5	24.8	24.26	12.75	14.68	19.37	25.70		

た変断面プレートガーターの載荷実験について計算した結果を表-2に示す。なお、 $\rho=1/2$ としている。

この表には併せて、文献(4,5)の方法による計算値も示してある。近似降伏条件式を用いた値は、バラツキがやや大きいものの比較的良く実験値と一致している。厳密降伏条件式を用いた値および Davis & Mandal による値も良好な一致が見られるが、繰返し計算を必要とするのでやや繁雑であり、近似降伏条件式を用いる方法は繰返し計算が不要で、簡便さの点では有利である。Falby による値は実験値とかけ離れている。

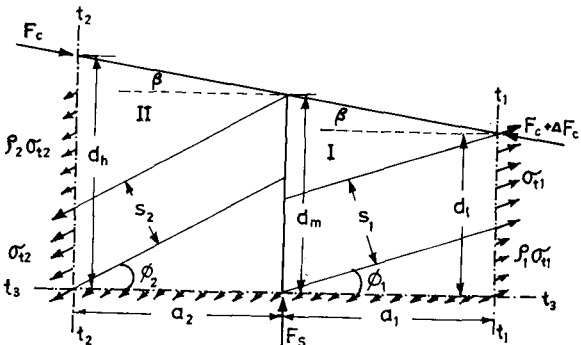


Fig. 3

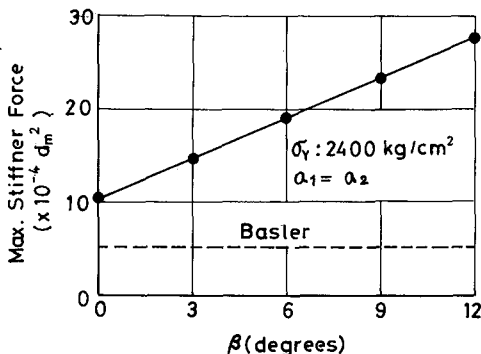


Fig. 4

4.中間補剛材作用力 図-3に示すように、主としてせん断力を受ける隣接2パネルに、独立して張力場が發生するものとなる。図の切断後のパネルにつり合い条件を適用すると、図の位置の中間補剛材作用力 F_s は次のように求められる。

$$F_s = \frac{1}{\cos \beta} [G_2 t \cdot S_2 \cdot \sin(\phi_2 + \beta) - G_1 t \cdot S_1 \sin(\phi_1 + \beta) + 2 \rho_2 G_2 t \cdot a_2 \cdot \sin \phi_2 \cdot \sin(\phi_2 + \beta)] \dots\dots\dots (4)$$

ただし、添字 1, 2 はそれぞれパネル I, II に対応する。式(4)を用いて最大補剛材力と β との関係を求めると、図-4に示すように直線関係にある。図には、文献(9)によって求めた、梯

形腹板パネルを平均腹板高さ t を有する長方形パネルに置換した時の最大補剛材力を破線以示した。

(参考文献) 1) 武田・三上: 変断面プレートガーターのせん断耐力実験, 第45回土木学会年次学術講演会, 1-121, 1980. 2) 武田・三上: 変断面プレートガーターのせん断耐力実験, 第46回土木学会年次学術講演会, 1-189, 1982. 3) 武田・三上: 鉛直補剛材を有する変断面プレートガーターのせん断耐力実験, 土木学会昭和57年度関西支部学術講演会, 1-37, 1983. 4) Davis G. and S.N. Mandal: The Collapse Behaviour of Tapered Plate Girders Loaded within the Top, Proc. Instn. Civ. Engrs, Part 2, Vol. 67, 1979. 5) Falby W.E. and G.C. Lee: Tension-Field Design of Tapered Webs, AISC Engineering Journal, Vol. 13, No. 1, 1976. 6) 谷實信: 板構造の角解析, 技報堂出版. 7) 三上・武田: 外挿法による差角部・有限要素法による精度改良, 第30回土木学会年次学術講演会, 1-14, 1975. 8) Oates J.A. and C. Chern: Ultimate strength of Plate Girders under Shear, Fricty Eng. Laboratory Report No. 32A7, Lehigh Univ., 1969. 9) Basler K.: Strength of Plate Girders in Shear, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 87, ST7, 1961.