

I-122 消音鋼板を用いた桁に関する研究

—— 腹板の座屈解析 ——

(株) 神戸製鋼所 構造研究所 正員 ○ 滝 本 哲四郎

同上 正員 三 村 裕 一

同上 正員 森 脇 良 一

1. まえがき 2枚の鋼板の間に特殊樹脂をはさむ構造により高い制振性を有する消音鋼板は、そのままでは重ね板として挙動するため、同等板厚の普通鋼板に比べ、座屈強度上劣ることが難点であった。この難点を克服するために、スポット溶接を施し2枚の鋼板の一体化を計る方法が考案され、これまでに、このような消音鋼板を腹板に有する桁の座屈ならびに耐荷力実験^(1,4)をおこなって普通鋼板による桁と比較し、多点数のスポット溶接を施した場合、十分に代替しうることを明らかにした。いっぽう、スポット溶接点数と座屈強度との関係については、境界条件が周辺単純支持で、一様な圧縮軸力をうけるものについて先に報告した⁽²⁾。本報告は、桁の腹板としてより一般的、曲げモーメントおよびせん断力が作用する場合の座屈について、スポット溶接点数、2枚の鋼板の板厚比、幾何学的境界条件などの座屈強度へ与える影響を解析的に検討したものである。

2. 座屈解析 先の研究⁽²⁾で解析の前提とした仮定を本研究でも用いた。すなわち、①スポット溶接位置では2枚の鋼板は相対的なずれを生じない。②2枚の鋼板は同じ面外微小変位を生じる。このような仮定を設けるとき、消音鋼板の面外微小変形に伴うひずみエネルギー U は、 $U = U_B + U_T + T_x + T_y + T_{xy}$ で与えられる。ここに、 U_B は曲げ成分の、 U_T は捩ね成分のひずみエネルギーを、 T_x, T_y, T_{xy} は、各隣接スポット溶接点間に生じるX方向、Y方向の軸力およびせん断力のなす仕事をそれぞれ示す。

本解析では、エネルギー法に上記のひずみエネルギー U を使って解析した。対象とした消音鋼板は図. 1にみるように、2枚の鋼板の板厚がそれぞれ t_u, t_l 、板の縦横の長さがそれぞれ b, a 、スポット溶接の間隔は縦方向について l_y 、横方向について l_x とし、応力こう配の軸応力、およびせん断応力を考えたものである。

座屈により生じるたわみを $w(x, y)$ とすると、上記の $U_B, U_T, T_x, T_y, T_{xy}$ はそれぞれ以下のようなになる。

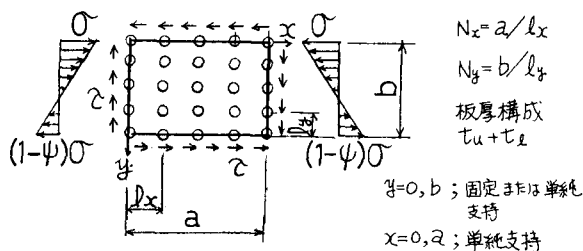


図. 1 解析対象とした消音鋼板と境界条件

$$U_B = \frac{1}{2} (D_u + D_l) \int_0^a \int_0^b \left\{ \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 + 2\mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right\} dx dy \quad (1)$$

$$U_T = (D_u + D_l)(1-\mu) \int_0^a \int_0^b \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 dx dy \quad (2)$$

$$T_x = \frac{6D_u}{t_u^3} l_x l_y \sum_{i=1}^{J_y} \sum_{j=2}^{J_y} (\varepsilon_{xu_{ij}}^2 + \mu \varepsilon_{xu_{ij}} \varepsilon_{yl_{ij}}) + \frac{6D_l}{t_l^3} l_x l_y \sum_{i=1}^{J_y} \sum_{j=2}^{J_y} (\varepsilon_{xl_{ij}}^2 + \mu \varepsilon_{xl_{ij}} \varepsilon_{yl_{ij}}) \quad (3)$$

$$T_y = \frac{6D_u}{t_u^3} l_x l_y \sum_{i=2}^{J_x} \sum_{j=1}^{J_y} (\varepsilon_{yu_{ij}}^2 + \mu \varepsilon_{yu_{ij}} \varepsilon_{xu_{ij}}) + \frac{6D_l}{t_l^3} l_x l_y \sum_{i=2}^{J_x} \sum_{j=1}^{J_y} (\varepsilon_{yl_{ij}}^2 + \mu \varepsilon_{yl_{ij}} \varepsilon_{xl_{ij}}) \quad (4)$$

$$T_{xy} = \frac{3}{2} \frac{D_u(1-\mu)}{t_u^2} l_x l_y \left\{ \sum_{i=1}^{J_y} \sum_{j=2}^{J_y} (\gamma_{yxu_{ij}}^2) + \sum_{i=2}^{J_y} \sum_{j=1}^{J_y} (\gamma_{xyu_{ij}}^2) \right\} + \frac{3}{2} \frac{D_l(1-\mu)}{t_l^2} l_x l_y \left\{ \sum_{i=1}^{J_y} \sum_{j=2}^{J_y} (\gamma_{yx l_{ij}}^2) + \sum_{i=2}^{J_y} \sum_{j=1}^{J_y} (\gamma_{xy l_{ij}}^2) \right\} \quad (5)$$

ここに、 $D_u = Et_u^3/12(1-\mu^2)$ 、 $D_l = Et_l^3/12(1-\mu^2)$ 、 E は弾性定数、 μ はポアソン比、 ε, γ はスポット

溶接点位置での条件仮定①を満足するために付加的に生じる軸ひずみおよびせん断ひずみを示す。ΣΣは各隣接スポット溶接点間領域の総和を示すものである。

いっぽう、外力のなす仕事 T は次式で与えられる。

$$T = \frac{t_u + t_l}{2} \int_0^a \int_0^b \left\{ \sigma \left(1 - \psi \frac{y}{b}\right) \left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2 + 2\tau \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y} \right\} dx dy$$

$w(x, y)$ を幾何学的境界条件を満足すべく具体的に (6)

$$w(x, y) = \sum_{m=1}^{M_0} \sum_{n=1}^{N_0} a_{mn} \cdot f_{mn}(x, y) \quad (7)$$

で与えると、座屈応力度 σ_{cr} , τ_{cr} は

$$\frac{\partial U}{\partial a_{mn}} - \frac{\partial T}{\partial a_{mn}} = 0, \quad (m=1, 2, \dots, M_0, n=1, 2, \dots, N_0)$$

の $M_0 \times N_0$ 個の方程式の a_{mn} に関する係数行列の値を零とあ

くことにより計算される。

本解析においては、周辺単純支持条件の場合 $f_{mn}(x, y) = \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}$, 上下辺固定左右辺単純支持の場合 $f_{mn}(x, y) = \sin \frac{m\pi x}{a} \left(\cos \frac{n-1}{b} \pi y - \cos \frac{n+1}{b} \pi y \right)$ とした。

3. 解析結果および実験値との比較 解析結果の代表例として、 $t_u = t_l$ かつ周辺単純支持条件下における曲げ座屈係数、せん断座屈係数、曲げとせん断の座屈相関曲線を図.2～図.4にそれぞれ示す。これらの図から、スポット溶接点数が多い程一般的に座屈強度は上昇し、アスペクト比が1前後の場合 $N_x = N_y = 5$ すなわち16点のスポット溶接を施工することにより、普通鋼板の約80%の座屈強度が期待しうるものと考えられる。その他の境界条件、2枚の鋼板の板厚の異なるものについての解析結果は講演当日発表の予定である。つぎに、曲げ座屈実験値⁴⁾と本解析結果との比較について述べる。比較を容易にするために、消音鋼板の板厚を、等しい座屈応力度を有する普通鋼板の板厚へ換算する。すなわち t_e を換算板厚としたときの換算式を次式で与える。

$$\sigma_{bcr} = k_b^c \frac{E \pi^2}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_u + t_l}{b} \right)^2 = k_b \frac{E \pi^2}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_e}{b} \right)^2 \quad \text{から}$$

$$t_e = (t_u + t_l) \sqrt{k_b^c / k_b} \quad (8)$$

ここに、 k_b^c は試験体諸条件を本解析に代入することにより求められる座屈係数計算値、 k_b は25.6 (アスペクト比1の曲げ座屈係数)。

図.5は、曲げ座屈実験値を上記換算板厚による、換算座屈パラメータとの関係において示したものである。通常の鋼桁腹板においては、 σ_{cr} / σ_y が0.8以上になると周辺単純支持の弾性座屈曲線からの離反を生じることが報告されているが、実験点はほぼその辺りに分布している。

本図より、解析結果が実験における座屈応力度をかなり良くい表わしていることがわかる。

<参考文献>

- 1) 阿部, 森脇, 藤野; 消音鋼桁の座屈強度に関する研究, 第31回年次大会, 1976
- 2) 阿部, 森脇, 滝本; 消音鋼板の圧縮座屈強度, 第33回年次大会, 1978
- 3) 森脇, 藤野, 滝本; 板の座屈後挙動に関する研究, 第31回年次大会, 1976
- 4) 森脇, 三村, 滝本; 消音鋼板を用いた桁に関する研究

— 腹板の曲げ座屈および耐荷力に関する実験 —, 第34回年次大会, 1979

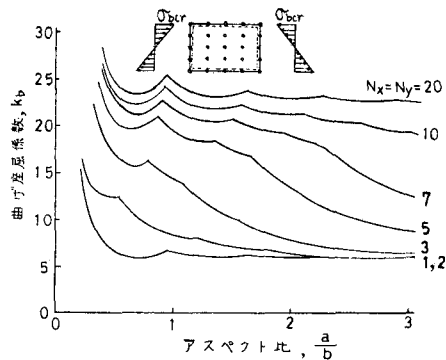


図.2 曲げ座屈係数

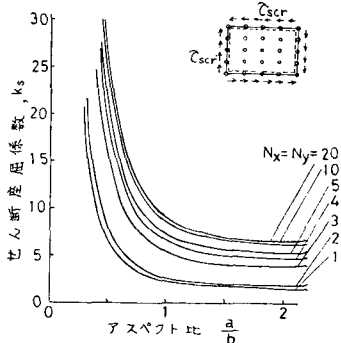


図.3 せん断座屈係数

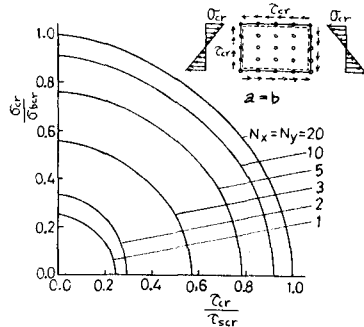


図.4 曲げとせん断の座屈相関曲線

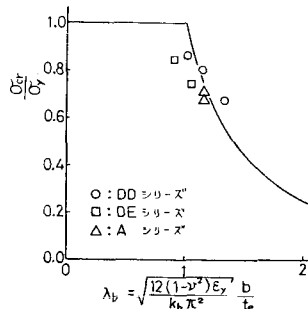


図.5 解析値と実験値との比較