

(株)神戸製鋼所 正員 ○ 滝本哲四郎

(株)神戸製鋼所 正員 森脇 良一

日本国有鉄道 正員 阿部 英彦

1. はじめに ここていう消音鋼板とは、2枚の鋼板の間に特殊樹脂をはさんだものである。この消音鋼板はそのままでは重ね板として挙動するため、同板厚のソリッド板に較べ座屈強度上劣ることが難免であった。そこで、スポット溶接施工により2枚の鋼板の一体化を行ない座屈強度を上げる工夫が考えられ、これまでにこのような鋼板で腹板を構成したプレートガーダーに対し、せん断荷重下での座屈強度ならびに耐力の実験を行ない、ソリッド板の場合と同等の値を示すことを報告した¹⁾。本研究では、スポット溶接桌数と座屈強度の関係を明らかにすることを目的とし、まずその手始めとして圧縮座屈強度について報告するものである。

2. 面外曲げ実験 図1に示すようにピッチ150mmで12桌のスポット溶接を施した幅235mm、長さ850mm、厚さ6+6mmの消音鋼板を2点荷重により面外に曲げる実験を行なった。材長方向応力の板厚内での分布を調べるため、側面(a)~(f)、(a')~(f')の計8ヶ所²⁾でひずみも測定した。その結果が同図に示す○および●である。この図から次のことが推察される。①特殊な断面を除いて平面保持は成立せず、上下材をひとつの断面として考えることはできない。②上下材は各々の断面内で平面保持がほぼ成立する。③上下材の応力分布はほぼ桌対称である。ただし、スポット溶接近傍におい

ては局所応力の影響をうけ②③は成立しない。また曲げモーメントが大きくなった場合には③が成立しなくなる。ところで、(f)ナゲット部での上下材の位置の相対的なずれは生じない、(a)上下材は同じ微小面外変位を生じる、(e)一断面において幅方向に応力は変化しない、と理論解析上の仮定を設けると、必然的に先の②③が成立する。図2に示す面外たわみを生じた消音鋼板の隣接スポットBC間において、上材下縁の弧の長さ l_1 と下材上縁の弧の長さ l_2 を等しいと置くことにより、次式が導かれる。

$$\int_{x_1}^{x_{i+1}} \frac{M_t(x)}{E I_t} \cdot \frac{t}{2} dx + \frac{P_t}{E t b} (x_{i+1} - x_1) = 0 \quad (1)$$

ここに、

$I_t = b t^3 / 12$ 、 E は弾性定数、 b は板幅、 P_t 、 $M_t(x)$ はそれぞれ上材に作用する軸力および曲げモーメントの成分である。

いっぽう外力によるモーメント $M(x)$ との釣合式から次式がえられる。

$$2 M_t(x) - P_t(t + e) = M(x) \quad (2)$$

ここに、 e は樹脂厚を示す。式(2)を式(1)に代入して、 P_t につい

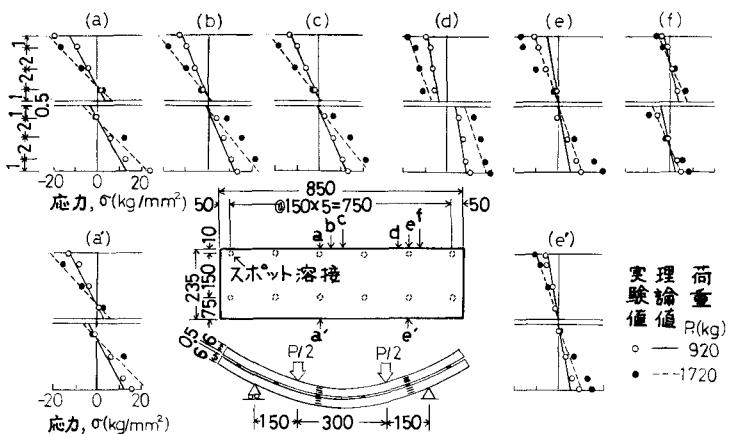


図1 消音鋼板の面外曲げによる板厚内での材長方向応力分布

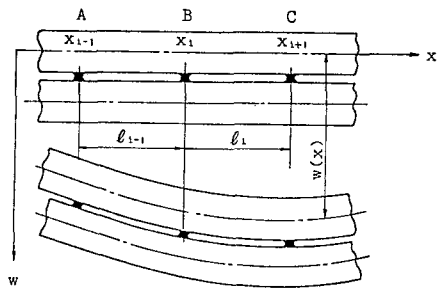


図2 消音鋼板のたわみモデル

て整理すると、次式がえられる。

$$P_1 = \frac{3}{(x_{i+1} - x_i)(4t + 3e)} \int_{x_i}^{x_{i+1}} M(x) dx \quad \text{----- (3)}$$

式(1)と式(3)を使うと、外力モーメントから P および $M(x)$ が求められるが、このようにしてえられた応力を理論値として図1に示す。

式(3)は(4)~(6)の仮定によっており、スポット溶接近傍の局所応力および板幅方向の応力変化を考慮していない。したがって理論値は図にみるように若干の誤差を含むことになるが、全体的には複雑な応力分布をかなりよく表していると考ええる。

3. 面外微小変形におけるひずみエネルギー

式(1)で、隣接スポット間の上材下縁と下材上縁の弧の長さが等しくなるように軸力 P が生起するという考えを応用して、消音鋼板の微小な面外変形におけるひずみエネルギー U を導出する。最終的に $U = U_b + U_T + T_x + T_y + T_{xy}$ ----- (4) で表わされる。ここに、 U_b は曲げ成分による、 U_T は接れ成分による上下材のひずみエネルギーを示し、 T_x , T_y , T_{xy} はそれぞれ各隣接スポット間に生起する X , Y 2 方向の軸力およびせん断力のなす仕事の総和を示す。ここではこれらの詳しい式の記述は割愛する。

4. 圧縮座屈強度 周辺単純支持された消音鋼板の圧縮座屈強度を先に求めたひずみエネルギー式を使って計算する。消音鋼板は図3にみるように、 X , Y 各2方向にそれぞれ等間隔のスポット溶接が施されているものとし、座屈によるたわみ w を $w = A \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}$ ----- (5) とすると、圧縮外力のなす仕事 T は、

$$T = \frac{1}{2} \int_0^a \int_0^b \sigma t \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 dx dy = \frac{\pi^2}{4a} \sigma \cdot t \cdot m^2 \cdot A^2 \quad \text{----- (6) 与えられる。}$$

いっぽう、 w のためみを生じたときのひずみエネルギー U は、式(4)の右辺に式(5)を代入して次式で与えられる。

$$U = \frac{D_r}{4} \pi^4 ab A^2 \left\{ \frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right\}^2 + \frac{48 D_r}{\ell_x \ell_y} A^2 \sin^2 \left(\frac{m\pi}{2I_0} \right) \sin^2 \left(\frac{n\pi}{2J_0} \right) K_{p13} + \frac{48 D_r (1-\nu)}{\ell_x \ell_y} A^2 \sin^2 \left(\frac{m\pi}{2I_0} \right) \sin^2 \left(\frac{n\pi}{2J_0} \right) K_{q13} \quad \text{--- (7)}$$

ここに、 $K_{p13} = \sum_{i=1}^{\frac{I_0}{J_0}} \sum_{j=1}^{\frac{J_0}{I_0}} \left\{ \left[\left(\frac{bm}{an} \right)^2 + \nu \right] \left\{ \sin \frac{m\pi}{I_0} (i-0.5) \sin \frac{n\pi}{J_0} (j-1) \right\}^2 + \left[\left(\frac{an}{bm} \right)^2 + \nu \right] \left\{ \sin \frac{m\pi}{I_0} (i-1) \sin \frac{n\pi}{J_0} (j-0.5) \right\}^2 \right\}$

$$K_{q13} = \sum_{i=1}^{\frac{I_0}{J_0}} \sum_{j=2}^{\frac{J_0}{I_0}} \left\{ \cos \frac{m\pi}{I_0} (i-0.5) \cos \frac{n\pi}{J_0} (j-1) \right\}^2 + \sum_{i=2}^{\frac{I_0}{J_0}} \sum_{j=1}^{\frac{J_0}{I_0}} \left\{ \cos \frac{m\pi}{I_0} (i-1) \cos \frac{n\pi}{J_0} (j-0.5) \right\}^2$$

また、 $I_0 = a/l_x$, $J_0 = b/l_y$, ν はポアソン比である。

$U = T$ とおいて係数 A で微分することにより、座屈応力 σ_{cr} および座屈係数 k_{cr} はそれぞれ

$$\sigma_{cr} = -4aU/\pi^2 b m^2 t \quad \text{--- (8) および} \quad k_{cr} = \left(\frac{mb}{a} + \frac{na}{mb} \right)^2 + \frac{192 I_0 J_0}{\pi^4 m^2} \sin^2 \left(\frac{m\pi}{2I_0} \right) \sin^2 \left(\frac{n\pi}{2J_0} \right) [K_{p13} + (1-\nu) K_{q13}] \quad \text{--- (9)}$$

で与えられる。図3は $I_0 = J_0$, $\nu = 1$ とした場合の座屈係数とアスペクト比の関係を示したものである。

5. 考察とむすび 図3より、スポット溶接の行と列の奥数が等しい場合、アスペクト比が1.2以下では半波型の座屈波形となり、辺長さヒスポットピッチとの比 N の増大に対して座屈係数が単調に増加し、辺長さの1/10のスポットピッチを採用すればほぼソリッド板と同様な値となることが知られる。いっぽうアスペクト比が1.2を超えて大きくなると、ソリッド板での解析でえられる座屈波形より高次の波形が支配的となる場合があり、一般に辺長さヒスポットピッチとの比 N と座屈係数は単調な関係にはならないことが知られる。

今後、消音鋼板の曲げおよびせん断をうける場合の座屈強度を理論的に究明するとともに、スポット溶接部近傍ならびに板幅方向の応力不均一といった問題についても究明したいと考えている。

[参考文献] 1) 阿部, 森脇, 藤野; 「消音鋼板の座屈強度に関する実験的研究」, 第31回年次大会講演概要集, 1976

2) Timoshenko & Gere; Theory of Elastic Stability, McGRAW-HILL, 1961

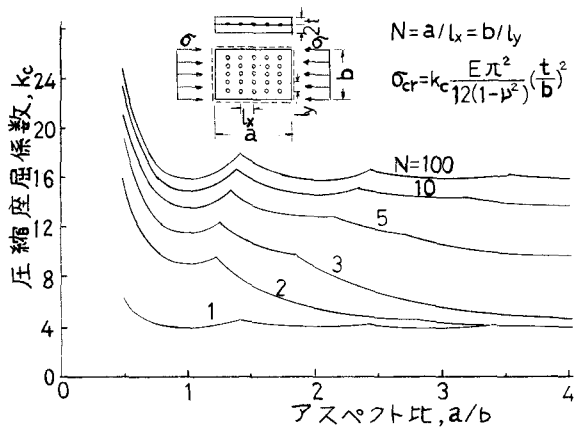


図3 消音鋼板の圧縮座屈係数