

面内組み合わせ力を受ける補剛板の弾塑性挙動

(株)熊谷組 正員 森川恭吉
岐阜大学工学部 正員 奈良 敬

1. まえがき 鋼構造部材は溶接集成された補剛板で構成されているが、既に補剛板を構成する板パネルや圧縮補剛板、曲げ圧縮補剛板については、限界状態設計法の適用を目指した研究¹⁾が進められている。実際の橋梁部材に用いられる補剛板は、圧縮や曲げ荷重のみならず、せん断荷重が組み合わさって作用する場合が多い。しかしながら、残留応力と初期たわみを同時に考慮し、せん断力を含めた面内組み合わせ力を受ける補剛板の極限強度に関する研究はあまり見受けられない。そこで本研究では、面内組み合わせ力を受ける補剛板を対象に数値計算を行ったのでここに報告する。

2. 解析モデル Hybrid displacement model を用いた弾塑性有限変位解析法²⁾により数値解析を行う。解析法の詳細については文献2)を参照されたい。

(1) 幅厚比と強度指標: 圧縮とせん断、曲げとせん断、圧縮と曲げとせん断の場合の荷重組み合わせを考える。次式のように、圧縮荷重 N とせん断荷重 S の組合せを λ で、面内曲げモーメント M とせん断荷重の組合せを Ω で表す。

$$\lambda = \frac{N}{N_Y} \frac{S_Y}{S} \quad , \quad \Omega = \frac{M}{M_Y} \frac{S_Y}{S} \quad \text{ただし、} M_Y = \sigma_Y b^2 t / 6, N_Y = \sigma_Y b t, S_Y = \tau_Y a b t \quad (1)$$

次式に示すように、極限強度の指標には V_u を用い、面内組み合わせ荷重の指標には V を用いる。

$$V_u = \sqrt{\left(\frac{N_u}{N_Y} + \frac{M_u}{M_Y}\right)^2 + \left(\frac{S_u}{S_Y}\right)^2} \quad , \quad V = \sqrt{\left(\frac{N}{N_Y} + \frac{M}{M_Y}\right)^2 + \left(\frac{S}{S_Y}\right)^2} \quad (2)$$

ここで、 M_u : 極限面内曲げモーメント、 N_u : 極限圧縮荷重、 S_u : 極限せん断荷重である。また、補剛材間の板パネルの幅厚比パラメータ R_v は、次式で与えられる。

$$R_v = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_Y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k_v}} \quad , \quad k_v = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2}}{\frac{1+\psi}{4} \frac{\sigma_1}{k_1} + \sqrt{\left(\frac{3-\psi}{4}\right)^2 \left(\frac{\sigma_1}{k_1}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{k_\tau}\right)^2}} \quad (3)$$

$$\text{ただし、} k_1 = \begin{cases} 8.4/(\Psi+1.1) & (0 \leq \Psi \leq 1) \\ 10\Psi^2 - 6.27\Psi + 7.63 & (-1 \leq \Psi < 0) \end{cases} \quad (4)$$

(2) 初期たわみおよび残留応力: 残留応力は、実測値³⁾に基づいた実際の値を用いる。すなわち残留圧縮応力度 $\sigma_{rc} = -0.3\sigma_Y$ 、残留引張応力度 $\sigma_{rt} = \sigma_Y$ とする。初期たわみ波形は、純せん断を受ける補剛板の解析結果⁴⁾から、最小剛比を保証してやれば、補剛材の初期たわみ波形は極限強度に対して影響を与えなかったことから、補剛材の初期たわみ波形は圧縮荷重と曲げ荷重に支配的な正弦1半波形とした。さらに、純せん断力に対して支配的な初期たわみ波形は補剛材よりも、補剛材で囲まれた板パネルの初期たわみ波形だったことから補剛材で囲まれた板パネルの初期たわみ波形は、正弦1半波形および、正弦2半波形(以下、それぞれMODE1, MODE2と表記する)を用いて考察を加えた。

(3) 補剛材剛比: 純せん断を受ける補剛板の解析結果⁴⁾からせん断力に対しては、補剛材の剛比が変化することによる極限強度への影響は少ないが、その最小剛比の値は幅厚比によって異なることが分かった。よって、本研究の数値解析においては、せん断を受ける補剛板の最小剛比を最低限保証した。補剛材剛比は、式(5)で定義される。

$$\gamma = \frac{EI}{BD} = \frac{12h_r t_r (1-\nu^2)}{3B t^3} \quad (t: \text{板厚}, h_r: \text{補剛材高さ}, t_r: \text{補剛材板厚}) \quad (5)$$

3. 解析結果と考察 (1) 圧縮とせん断を受ける補剛板: 初期たわみ波形として、MODE1とMODE2を採用し、初期たわみ波形が極限強度に及ぼす影響を検討した。数値計算結果を、極限強度 V_u と λ の関係で表して図-1に示す。MODE1を採用した場合、MODE2を採用した場合に比べて $\lambda \geq 2.0$ で低い極限

強度を与えている。また λ が大きくなるにつれ極限強度は低下した。

（2）曲げとせん断を受ける補剛板：図-2に数値計算結果を示す。初期たわみ波形にMODE2を導入した場合は、MODE1に比べて極限強度は最大で約13%低下したが、曲げ荷重が卓越する $\lambda=0.0$ かつ、 $\Omega=4.0$ では、両者はほとんど変わらず、MODE1の極限強度が約1%低下した。 Ω の変化による極限強度の変動は $\Omega=1\sim3$ の領域において顕著に表れた。また、 Ω が大きくなるにつれて極限強度は上昇した。

（3）面内組み合わせ力を受ける補剛板：応力比 $\lambda=\Omega=0.5, 4.0$ にそれぞれMODE1とMODE2の初期たわみ波形を採用した。数値計算結果を図-3に示す。せん断荷重が卓越しているところ（ $\lambda=\Omega=0.5$ ）ではMODE2が極限強度に対して支配的であり、圧縮荷重と曲げ荷重がせん断荷重より卓越して作用する場合（ $\lambda=\Omega=4.0$ ）は、MODE1が極限強度に対して支配的となった。図-4～図-5にそれぞれ応力比と極限強度の関係を示した。MODE1の初期たわみ波形を採用した。せん断力が大きく圧縮力が小さい $\lambda=0.5$ の領域では曲げ荷重の導入によって、すなわち Ω が大きくなるに従い、極限強度は上昇した。また、せん断力が小さく、圧縮力が大きい $\lambda=4$ の領域では、曲げ荷重の導入による極限強度の上昇はほとんど認められなかった。次に、せん断力が大きく曲げ荷重が小さい $\Omega=0.5$ の場合では、圧縮力が卓越してくるに従い、すなわち λ が大きくなるほど極限強度は減少した。また、せん断力が小さく曲げ荷重が大きい $\Omega=4.0$ の場合でかつ、圧縮力が小さい $\lambda=0.5$ の場合では、 $\Omega=0.5\sim3.0$ の場合の曲げ荷重が小さいモデルに比べて極限強度は大きく

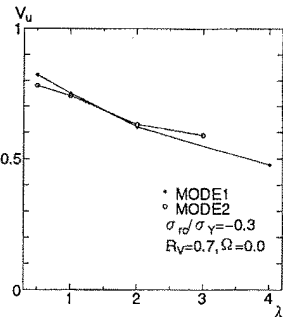


図-1 初期たわみと極限強度

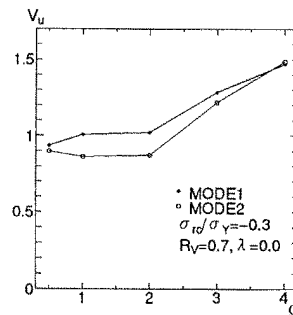


図-2 初期たわみと極限強度

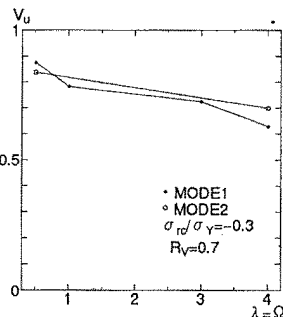


図-3 初期たわみと極限強度

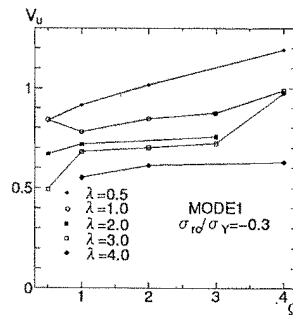


図-4 応力比と極限強度

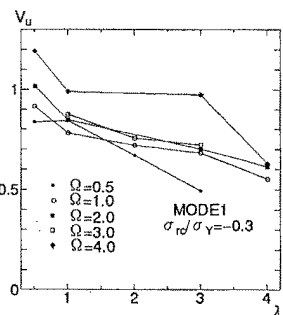


図-5 応力比と極限強度

なったが、圧縮力の比率が高い $\lambda=4$ では極限強度が顕著に減少した。

4. まとめ 今回数値解析を行った範囲で次のことが分かった。①初期たわみ波形として補剛材で囲まれた板パネルに正弦1半波形と正弦2半波形を採用した結果、せん断荷重が卓越する場合には正弦2半波形が極限強度に対して支配的となり、曲げと圧縮が卓越してくると正弦1半波形が極限強度に対して支配的となる。②圧縮せん断を受ける補剛板では圧縮荷重が極限強度に影響を及ぼし、曲げせん断を受ける補剛板ではせん断荷重が極限強度に対して支配的となった。圧縮、曲げ、せん断荷重の面内組み合わせ力を受ける補剛板では圧縮荷重の導入により極限強度は顕著に低下した。

参考文献 1) 倉西茂編：鋼構造の終局強度と設計，土木学会，1994年7月。2) Nara, S. and Yamaguchi, H.: Elasto-Plastic Finite Displacement Analysis of Steel Plates under In-Plane Combined Loading, Research Report of the Faculty of Engineering, Gifu University, No. 44, pp. 25-45, 1994. 3) 小松定夫・牛尾正之・北田俊行：補剛板の溶接残留応力および初期たわみに関する実験的研究，土木学会論文報告集，第265号，pp. 25-35，1977年9月。4) 森川恭吉・奈良良敏：純せん断を受ける補剛板の弾塑性挙動，平成6年度土木学会中部支部年次学術講演会概要集，1-30，1995年3月