

SHEAR PANEL の弾塑性解析

東北大学工学部 学生員 ○ 荻原 充信
東北大学工学部 正員 倉西 茂

1. まえがき

プレートガーダーのせん断耐力は、材料の塑性化と腹板の面外変形という非線形性が存在する複雑な問題である。せん断耐力理論は数多く発表されているが、Basler理論は実験値と比較的良好な精度で一致するという評価を受けている。著者はBasler理論と比較しながら、幾何学的非線形性と材料非線形性の両非線形性を同時に取り扱う板の有限要素法を用いて、純せん断を受けるウェブパネルを解析し、プレートガーダーの終局耐力に関する一考察を得たのでここに報告する。

2. 解析方法

初期たわみを有するウェブパネルを平面三角形の集合体として離散化を行い、荷重増分法とNewton-Raphson法を併用して、幾何学的非線形性と材料非線形性を考慮した有限要素解析を行った。材料は完全弾塑性体とし、Von Misesの降伏条件を用い、塑性歪増分はPrandtl-Reußの式に従うものとした。塑性域での歪増分と応力増分の関係式は、得られた歪増分を十分な大きさに分割して、山田¹⁾が誘導した増分形の方程式に逐次代入して応力増分を計算した。その結果、応力は比較的スムーズにMisesの降伏曲面を流れる事が可能になった。また、板厚方向への塑性域の広がりが考慮できるように8層に分割して解析を行った。図1に任意の応力経路を示す。

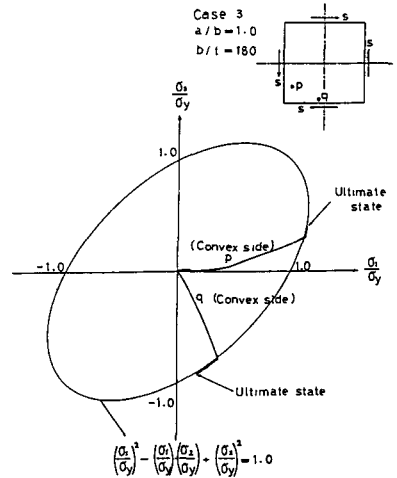


図-1 主応力度経路

3. 解析モデル

Baslerはプレートガーダーの腹板座屈後のせん断耐力を求める際にフランジ剛性を無視している。解析においては図2に示すように補剛材に囲まれたウェブパネルだけを取り出して、境界条件はBaslerの仮定に従い補剛材をアンカーとしてその水平変位を拘束した。なおパネル4辺は単純支持とした。パラメータとして、aspect ratioと幅厚比を並び(表1参照)、この際腹板厚 $t=1\text{cm}$ 、降伏応力 $\sigma_y=2400\text{kg/cm}^2$ 、ヤング率 $E=2.1 \times 10^6\text{kg/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ は固定し、5ケースについて有限要素解析を行った。

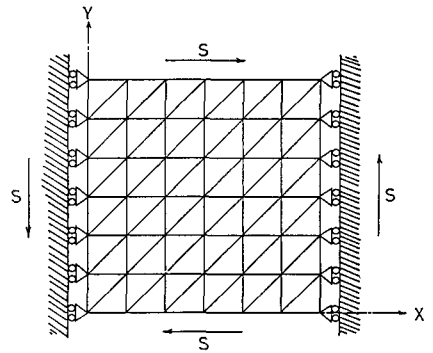


図-2 拘束条件

4. 結果および考察

有限要素法による終局耐力の計算値 S_u とBasler理論値 S_u^{th} の関係を表1に、終局状態における塑性化領域を図3に掲載する。表1より、 S_u はかなり良い精度で S_u^{th} と一致している。差は10%以内で解析値 S_u は全て理論値 S_u^{th} を下回り、その安全側にある。Baslerは腹板が座屈した後の作用せん断力は梁作用と張力場作用の両者によって伝達されると

Case	a/b	b/t	S_u	S_u^{th}	S_u/S_u^{th}
1	0.667	180	222 ^(t)	240 ^(t)	92.5 ^(%)
2	1.333	180	176	183	96.2
3	1.0	180	198	207	95.7
4	1.0	152	174	189	92.1
5	1.0	210	222	226	98.2

表-1

しているが、表1より、梁作用よりも張力場作用が卓越するパラメータを用いた解析ケースほど、Basler理論値に近づいている。また図4に示すように張力場作用より梁作用が卓越するパラメータを用いた解析ケースほど終局状態での塑性化領域が増大する傾向にある。Baslerは後座屈強度を求める際に斜張力場内の全領域が塑性化する事を仮定しているが、その仮定を満たす解析ケースほど理論値との差が増大するという逆説的結果を得ている。図5に塑性域の進展状況を示す。

塑性化は全解析ケースで、対角線上の要素から始まり、対角線上の要素全体が全断面降伏する前後で終局状態に至る。Baslerが終局状態に仮定した斜張力場内の全要素が降伏する状態には至っていない。また、梁作用が卓越するパラメータの解析ケースでは対角線上の全要素が全断面降伏しても、若干のせん断力の増加に抵抗できるが、張力場作用が卓越するケースでは抵抗できない。図6と図7に解析ケース5と1の主応力度の挙動を示す。着目点はパネル中央の中立軸である。

図6(ケース5)はかなり明瞭な張力場挙動を示している。せん断外力がある大きさを越え、圧縮主応力 σ_2 も増加する傾向が図6に現れているが、これはパネルの一部が塑性化した事に起因していると思われる。本研究では、全解析ケースで一般に、パネルの塑性化が始まると着目点が弾性域にあっても圧縮主応力が增大する傾向を示した。図7(ケース1)では

σ_2 は最初の傾きそのまま増加して張力場挙動を示す領域が存在していないが、ケース1では弾性理論による座屈荷重より低い荷重でパネルの塑性化が始まる結果を得ている。

以上結論として、 S_u と S_u^{th} は良い精度で一致したが理論座屈荷重とパネルの塑性化が始まる荷重との差が減少するに伴い、解析モデルは S_u^{th} より低い荷重で剪断崩壊する傾向がある。

文献 1) マトリックス法材料力学
山田 嘉昭 著

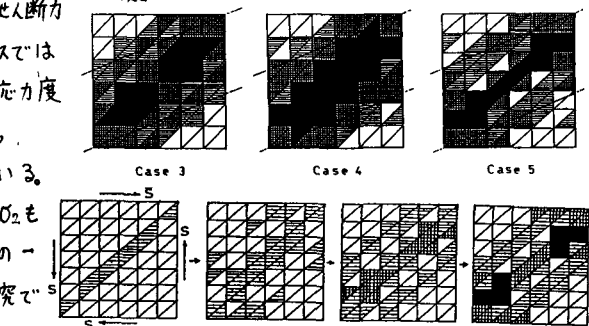
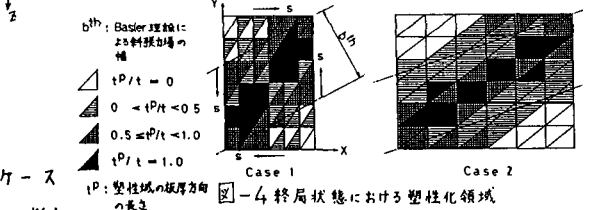
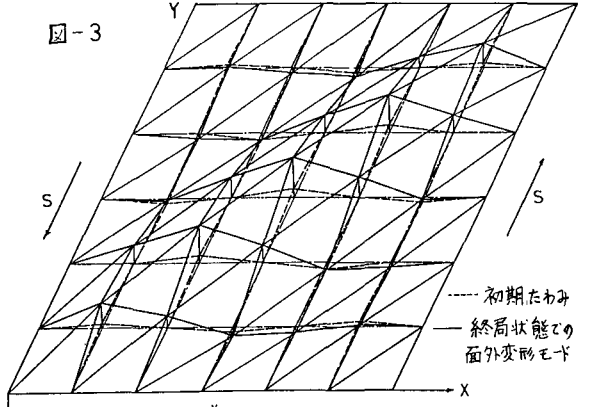


図-5 塑性域の進展状況
a/b = 1.0
b/l = 210

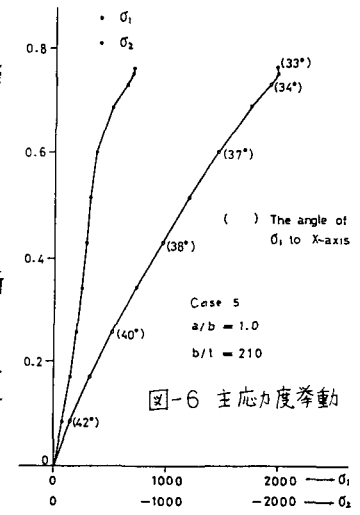


図-6 主応力度挙動

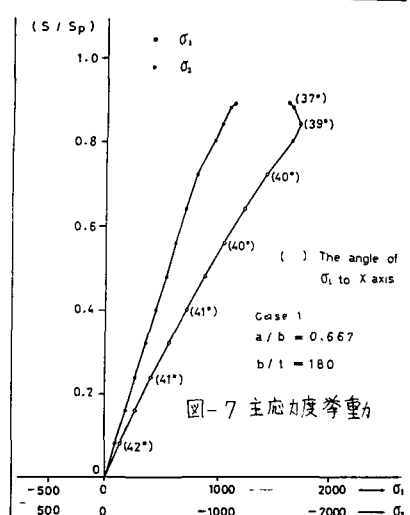


図-7 主応力度挙動