

首都高速道路公団 正 員 ○萩原 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荷力は、材料の塑性化とウエブの面外変形等の非線形性が存在する複雑な非線形問題である。本研究では、純せん断を受けるウエブパネルを弾塑性有限変形理論により、材料非線形性と幾何学的非線形性を考慮した解析を行ない、プレートガーダーのせん断耐荷力問題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エブパネルを平面三角形の集合体として離散化を行ない、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の両者を考慮した有限要素解析を行なった。幾何学的非線形性はMurry-Wilsonの移動座標法を用いて剛体変位の除去を図ることによって取り扱った。材料非線形性の取り扱いには平面応力場での塑性変形の場合、少々煩雑で、以下の方法を用いた。仮定として完全弾塑性体であり、Von Misesの降伏条件に従い、塑性域での歪増分は弾性歪増分と塑性歪増分に分離可能で、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は以上の仮定のもとに導出した式を用いたが、この式は降伏曲面上をその接平面方向に応力計算を行うため、厳密には降伏曲面上を流れない。そこで本解析では、最初に得られる歪増分を小さく分割して逐次、応力-歪関係式を求めて行くという繰り返し計算を用いることにより誤差の低減を図るものとした。また板厚方向に8層に分割して塑性域の板厚方向の広がりも考慮した。図1に任意点の応力経路を示す。

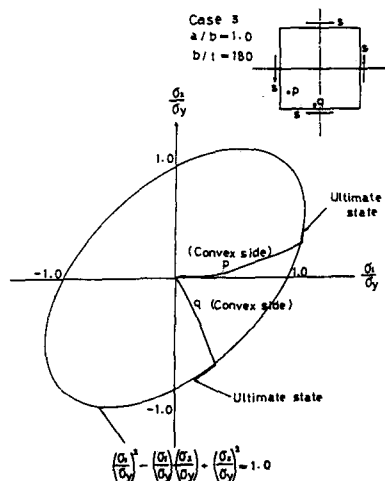


図-1 主応力度経路

3. 解析モデル 本解析においては、対象となるプレートガーダーのせん断変形は比較的小さく、ウエブパネルの塑性化による崩壊機構を考えている。従って解析モデルは図2に示すように補剛材に囲まれたウエブパネルだけを取り出し、境界条件は座屈後に発生する斜張力場のアンカーとして主として補剛材を考えて、補剛材に接するウエブ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。パラメータとして縦横比と幅厚比を選び(表1参照)、腹板厚 $t_w = 1\text{cm}$ 、降伏応力度 $\sigma_y = 2400\text{ kg/cm}^2$ 、ヤング率 $E = 2.1 \times 10^6\text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ は固定した。またフランジ要素を取りつけた解析も合せて行ない、フランジの曲げ剛性の影響もある程度評価した。

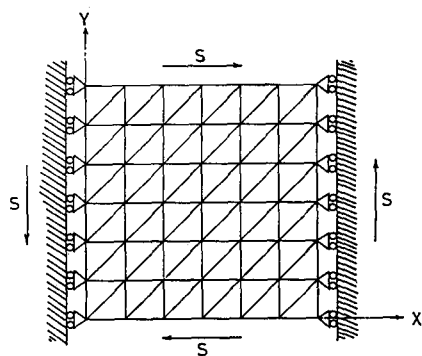


図-2 拘束条件

表-1 解析結果

Case	a/b	b/t	フランジ剛性比 (補剛材/パネル)	S_u	S_u^h	S_u/S_u^h
1	0.667	180	0	22.2 ⁽¹⁾	24.0 ⁽¹⁾	92.5 ⁽¹⁾
2	1.333	180	0	17.6	18.3	96.2
3	1.0	180	0	19.8	20.7	95.7
4	1.0	152	0	17.4	18.9	92.1
5	1.0	210	0	22.2	22.6	98.2
6	1.0	180	7.1 ⁽²⁾	20.3	20.7	98.1
7	1.0	180	38.6	20.7	20.7	100.0

4. 結果および考察 各解析ケースにおける有限要素法による終局耐荷力 S_u とBasler理論値 S_u^h の関係を表1に、終局状態での面外変形モードを図3に、終局状態における塑性化領域を図4に示す。解析値と理論値は全解析ケースとで比較的良好な精度で一致し、

両者の差は10%以内で、解析値はいずれもBasler理論値をやや下回る傾向を示した。 S_u/S_u^{th} の値をパラメータとの対比で調べてみると、幅厚比、縦横比とも大きくなるほどBasler理論値には近づく傾向を示した。すなわち、せん断力の伝達方法として梁作用より張力場作用が卓越してくるに従い、解析値はBasler理論値と良く一致する傾向がある。解析値の方が理論値より低めの値になっているが、その一因は、パネルの一部に塑性化が始まる同一要素の弾性部分も塑性流れの影響によって座屈波に垂直な方向の圧縮主応力が増大し、Basler理論より早く張力場作用が破壊したことが考えられる。この傾向は縦横比、幅厚比が小さくなり、理論的せん断座屈荷重と塑性開始荷重との差が減少するのに伴い顕著に現われる傾向がある。また図5に塑性域の進展状況を示す。パネルの応力状態では斜引張が卓越する対角線近傍の応力度が高く、対角線上の帯部分が座屈後の荷重を担う重要な役割を果たす。ウェブパネルは塑性領域の増大に伴ってせん断に対する強度が低下し、対角線上の全要素の板厚方向の全断面が塑性化すると終局状態に至る。ここで、終局状態での塑性領域の広さは解析パラメータとの間に密接な関係があり梁作用が張力場作用を卓越する解析ケースでは対角線上の全要素の板厚方向の全断面が塑性化してもそれに近接する要素に次々と塑性領域が広がる形で、その後のせん断力に抵抗できる。すなわち終局状態での塑性領域は、幅厚比、縦横比が小さくなるに従い増大する傾向を示した。(図4参照)次にフランジの影響は、本解析のような拘束条件のもとではフランジ曲げ剛性の増加に伴う終局耐荷力の飛躍的増大はなく、フランジの寄与率は5%以下であった。

5. 補足 Baslerがせん断耐荷力実験¹⁾に用いた実験桁から任意に1つを抽出し、パラメータを一致させて数値解析を行った。抽出した実験桁はE1-T2(縦横比1.5、幅厚比131、板厚0.97cm、降伏応力度2930 kg/cm²)である。実験値 S_u^{ex} と解析値 S_u 、および理論値 S_u^{th} の関係を表2に示す。E1-T2の実験値は他の実験桁と比べ、理論値と相当離れているが、これは曲げモーメントその他の影響と思われる。ここで解析値 S_u は理論値 S_u^{th} より10%程度低い値になっているが、Baslerの提案する簡略解とは偶然一致している。

《参考文献》

1) Basler, K.: Strength of plate girders in shear, Proc. ASCE, ST7, Vol. 87, Oct. 1961

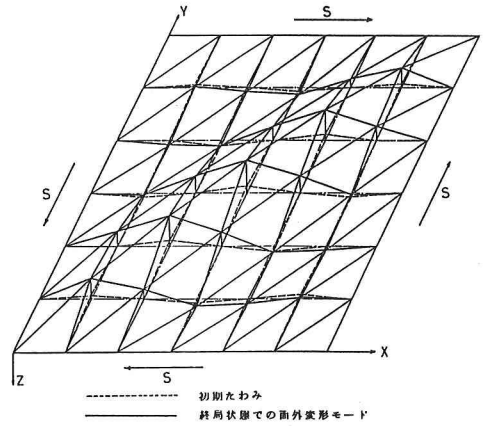


図-3 初期たわみ及び終局変形モード

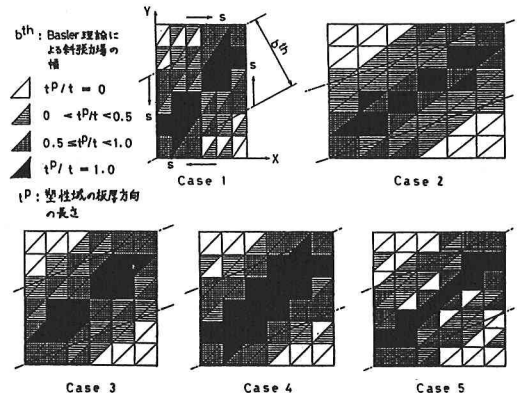


図-4 終局状態における塑性化領域

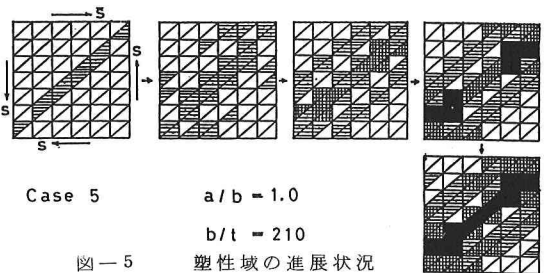


図-5 塑性域の進展状況

表-2 実験値との比較

S_u	S_u^{ex}	S_u^{th}
150 t	132 t	166 t (150 t)

()内は簡略解