

I-62

曲げとせん断を受けるプレートガーダー端部パネルの強度特性

東北大学工学部 ○正員 中沢 正利
東北大学工学部 正員 倉西 茂

1. まえがき

直線プレートガーダーの端部パネルは主にせん断強度が支配的であるが、このパネルはせん断力のほかに端部支承上で 0 から線形増加する曲げモーメントをも受け、曲げとせん断の連成荷重状態となっている。このパネルの縦横比が比較的大きい場合あるいは圧縮フランジの断面積が小さい場合にはこの曲げモーメントによる崩壊がせん断崩壊に先立って生ずる可能性がある。この様に、曲げモーメントの影響に着目して端部パネルの強度を論じた研究はあまり見受けられない^{1,2)}。本研究では、この曲げとせん断の連成荷重を受けるプレートガーダーの端部パネルに着目し、曲げとせん断の比は縦横比によって決定される比例荷重により、パネルの縦横比、幅厚比、フランジ断面積が変化する時のパネルの強度特性を調べ、せん断強度に及ぼす曲げの影響について検討したので報告する。

2. 解析モデル

プレートガーダーの端部パネルを想定して、上下フランジとウェブプレートから成る、垂直補剛材で区切られた 1 パネルを取り出し、有限要素法によって弾塑性有限変形問題を解いている。応力-歪関係は歪硬化（歪硬化係数=弾性係数/1000）を考慮したバイリニア型を採用した。本研究で用いた解析モデルを図-1 に示す。ウェブプレートには、最大で $b/250$ の二重正弦級数により初期たわみを与えた。上下対称なフランジ断面（板幅 b_f 、板厚 t_f ）は、フランジとウェブプレートの断面積比 $A_f/A_w=0.5$ 、フランジ突出端幅厚比 $(b_f-t_f)/2t_f=13.0$ より基準フランジ断面 b_{fo} 、 t_{fo} を設定した。フランジをはりとみなした時の、基準断面からのねじり剛度の低減率 $\gamma_t=b_f t_f^3/b_{fo} t_{fo}^3$ 、水平方向曲げ剛度の低減率 $\gamma_l=b_f^3 t_f/b_{fo}^3 t_{fo}$ 、フランジ断面積の低減率 $\gamma_A=b_f t_f/b_{fo} t_{fo}$ のパラメータにより、曲げとせん断の連成強度に及ぼすフランジ剛度の影響を評価した。パネルの面外方向へは単純支持境界条件とし、左右垂直補剛材辺に一樣せん断力 S を載荷した。両垂直補剛材辺の水平方向変位を拘束してせん断強度が支配的な状態を作り出し、また右辺上の水平変位を自由

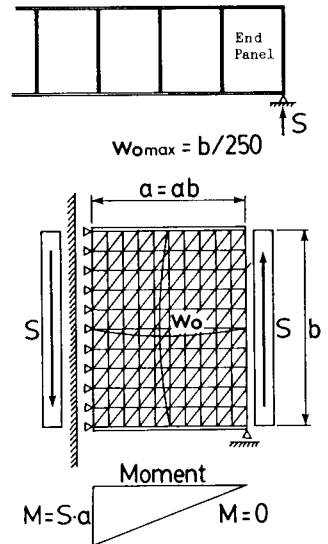


図-1 解析モデル

表-1 解析パラメータおよび連成強度

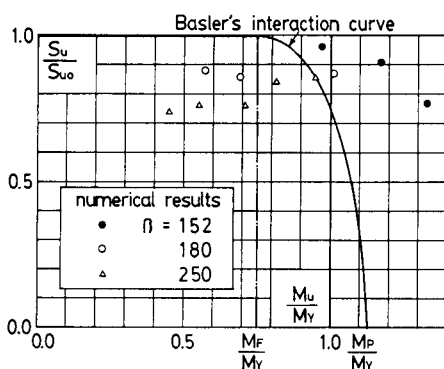
β	α	S_{uo}/S_p	S_u/S_p	M_u/M_y	γ_t	γ_l	γ_A
152	0.75	1.00	0.96	0.97	0.737	0.104	0.526
	1.00	0.96	0.87	1.17	0.737	0.104	0.526
	1.50	0.88	0.68	1.37	0.737	0.104	0.526
180	0.75	0.99	0.87	0.57	1.000	1.000	1.000
	1.00	0.93	0.80	0.69	1.000	1.000	1.000
	1.50	0.90	0.78	1.01	1.000	1.000	1.000
250	0.75	0.95	0.70	0.45	1.000	1.000	1.000
	1.00	0.84	0.64	0.55	1.000	1.000	1.000
	1.00	0.77	0.64	0.81	0.333	0.333	0.577
	1.00	0.74	0.64	0.95	0.200	0.200	0.447
	1.50	0.72	0.55	0.71	1.000	1.000	1.000

S_{uo} --- strength of primary shear.
 S_u --- shear strength.
 S_p --- shear yield strength.
 M_y --- $\sigma_y b(A_w/6 + A_f)$.
 M_u --- bending strength.

3. 解析結果および考察

各パネルの終局状態はウェブプレートの面外たわみおよび左垂直補剛材辺の鉛直方向変位を調べ、それらの変位が急激に増加し始める点として決定した。図-2 に数値解析の結果として得られた、曲げとせん断の連成強度を Basler³⁾ の連成強度曲線と共に示している。横軸の曲げ強度につい

てはRockeyら¹⁾の考え方に基づき、パネル左端の最大曲げモーメント $\alpha x S_u$ を M_u として無次元化して示している。パネルの縦横比 α が小さい場合には生じる曲げモーメントも小さいため、せん断強度がパネルの強度を支配する。しかし、このせん断強度は曲げの影響を受けてせん断パネルの強度 S_{uo} よりも低下する。幅厚比 β が大きくなるにつれてせん断強度の低下率も大きくなる。しかし、 $\beta=180, 250$ では、縦横比によらず、すなわち作用する曲げモーメントの大きさによらずせん断強度はほぼ一定値を示す。また、このせん断強度はBaslerの連成強度曲線よりも低下し、さらに曲げの影響が殆ど生じないと考えられる M_F 以下でもせん断強度の低下が見られる。 $\beta=152$ の場合には、せん断強度はあまり低下せず、Baslerの連成強度曲線よりも大きな強度を有しているが、縦横比が大きくなるにつれてせん断強度は低下してゆく。この様に連成強度の中のせん断強度はパネルの幅厚比によって異なる傾向を示し、また縦横比の影響が現れる場合と現れない場合が存在する。 $\beta=250, \alpha=1.0$ の場合にフランジ断面積を基準断面から0.58, 0.45倍に低下させてもやはり曲げモーメントの影響は現れず、せん断強度に差はなかった。図-3は最も曲げの影響の大きい $\beta=152, \alpha=1.5$ の場合について、終局状態直前での降伏域の分布を示している。図中の数字は、板厚を8層に分割した時の各層の境界9面のうち、降伏した面の数を示している。パネル対角線方向の張力場と圧縮フランジ近傍で応力が卓越し、降伏域もこの領域に発生している。最大曲げモーメントは $M_u/M_F=1.37$ ($M_u/M_p=1.15$) にもなるが、圧縮フランジ全体に降伏域が拡がることはなく、張力場内の対角線方向に降伏域が形成されて、最終的にはせん断崩壊によってパネルは終局状態に至っている。以上より、プレートガーダーの端部パネルの場合にはBaslerあるいはRockeyらの連成強度曲線でパネルの強度を評価するには適切でない点があることが分かる。



$$M_F = \sigma_y b A_F,$$

Basler's interaction curve;

$$\left(\frac{S_u}{S_{uo}}\right)^2 + \left(\frac{M_u - M_F}{M_p - M_F}\right)^2 = 1.0$$

図-2 曲げとせん断の連成強度

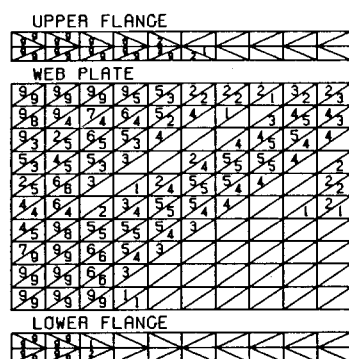


図-3 降伏域の形成

4. まとめ

プレートガーダーの端部パネルは曲げとせん断の連成荷重を受けていることに着目し、せん断強度に対する曲げモーメントの影響を数値解析により検討した。曲げモーメントの影響によってせん断強度は低下するが、最終的な崩壊はせん断に支配されているため $\beta=180, 250$ ではその低下率は縦横比によらずほぼ一定値となり、また M_F 以下でもせん断強度は低下する。幅厚比の小さい $\beta=152$ では、縦横比が変化した場合に曲げモーメントの影響が見られるが M_u/M_p は1.0より大きくなり、プレートガーダーの端部パネルに対しては別の連成強度評価法を考える必要があると思われる。

5. 参考文献

1. Rockey, K.C., Evans, H.R. and Porter, D.M. : A design method for predicting the collapse behaviour of plate girders, Proc. Instn Civ. Engrs, Part 2, Vol.65, pp.85-112, Mar., 1978.
2. 中沢・倉西・岩熊: 曲げを考慮したプレートガーダー端部のせん断パネルの強度について、東北支部技術研究発表会講演概要、pp.3-4、昭和61年3月。
3. Basler, K. : Strength of plate girders under combined bending and shear, Proc. ASCE, J. Struct. Div., Vol.87, No.ST7, pp.181-197, Oct., 1961.