

単一パネルの曲げ・せん断連成強度解析

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
 東北大学工学部 正員 岩熊 哲夫

1. まえがき

プレートガーダーを構成するパネルの中で、主にせん断を受けるパネルあるいは主に曲げを受ける場合に対しては、実験的・解析的手法によって多くの研究がなされ、成果が蓄積されている。これに対し、せん断と曲げの両者を受けるパネルの強度については、Basler¹⁾、Evans et al.²⁾らの研究以後、小松ら³⁾の実験および解析に基づく連成強度曲線が示された程度であり、以外と少ない。プレートガーダーの各パネルの大部分の強度が、実際にはせん断と曲げの連成によって決定されることを考えると、この連成強度を早急に明らかにする必要がある。塩見・伊藤・福本⁴⁾らの実験データベースの統計的解析によっても、既存の連成強度評価式に対する信頼性はさほど高いことが指摘されている。よって本研究では、総合的なプレートガーダーの強度特性を明らかにするための基礎的な研究として、数値解析によってせん断と曲げの連成強度を調べたので報告する。

2. 解析手法とモデルの概要

プレートガーダーの垂直補剛材間パネル（上下対称フランジを有する）を板要素で離散化した。図-1に示す様に左右垂直補剛材を剛棒要素⁵⁾でモデル化し、平面保持の状態での載荷辺に曲げ荷重を作用させる。剛棒の変形は橋軸方向変位 U_r と回転変位 θ_r で表わされ、橋軸方向軸力 F_r を拘束しない様に U_r を自由にしながら、曲げモーメント M_r と一様分布せん断力 S を比率を変えて比例載荷した。なお剛棒自体の伸び剛性は考えていない。また、右端で橋軸方向変位を拘束しているため、左端から右端へと線形増加するモーメント分布が実際のプレートガーダー構造に即して再現される。ウェブパネルの面外方向には単純支持とし、初期面外たわみは道示より桁高/250 の二重正弦波を仮定し、残留応力は考慮しない⁶⁾ものとした。曲げによるフランジの不安定挙動（ねじれ座屈、横倒れ座屈等）を避けるために、フランジの自由突出端幅厚比を 13.0、フランジとウェブの断面積比 A_f/A_w を 0.5 とし、不安定現象の起こらないことが確認されている。

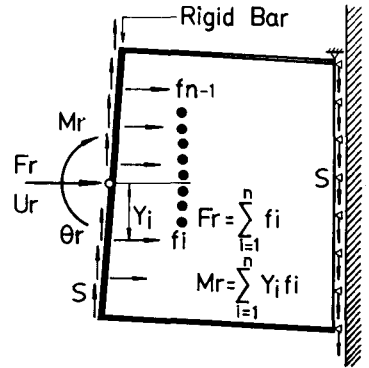


図-1 剛棒要素を用いた解析モデル

3. 連成荷重を受けるパネルの挙動

図-2は縦横比 $\alpha = 1.00$ 、幅厚比 $\beta = 250$ の場合で、無次元化せん断力 S/S_p と無次元化曲げモーメント M/M_p (S_p , M_p は各々、全塑性せん断力、全塑性モーメント) の比率を 2:1, 1:1, 1:2 とした場合の終局時のウェブ面外たわみの変形モードを等高線で表示したものである。曲げモーメントの影響により、対角線方向の波状の面外たわみの幅が狭くなり、かつ波の大きさが小さくなって平坦化されるのが解る。

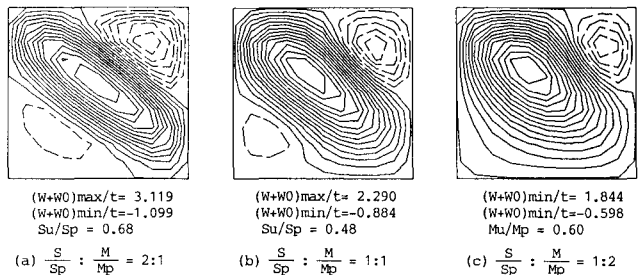


図-2 等高線で表わしたウェブの面外たわみモード
 (破線：負の面外たわみを示す)

崩壊要因は2つに大別できる。崩壊がせん断によって支配される場合には、対角線方向に形成される張力場の斜張力に対する、曲げ引張応力の協力作用によって張力場の早期降伏が生じている。曲げ強度が支配的な場合には、純曲げでのフランジ内等応力状態とは異なり、せん断の影響によってモーメント勾配が生じ、曲げモーメントの値の大きい端部のフランジで応力集中が起り、強度低下の原因となっている。また、せん断と曲げの比率が等しい場合にも、その縦横比によって崩壊要因は変化してゆく。

4. せん断と曲げの連成強度特性

図-3は縦軸に $M=0$ の場合のせん断強度で無次元化したせん断強度 S_u/S_u^0 、横軸に同じく $S=0$ の場合の曲げ強度で無次元化した曲げ強度 M_u/M_u^0 を用い、縦横比 α を変化させてせん断と曲げの連成強度を示したものである。せん断強度は、例えば Basler の理論とは異なり、小さな曲げモーメントから影響を受けて強度はほぼ直線的に低下している。曲げ強度の面からみても、せん断力の影響が大きくなるとともにやはり直線的な強度低下が生じるという特性が得られた。よってせん断と曲げの連成強度は、2本の直線で表わすことができると考えられる。また $\alpha=1.0$ の場合の連成強度が最も小さくなる。図-4は $S/S_p : M/M_p = 1:1$ の場合の縦横比と連成強度の関係を示している。せん断のみの場合には $\alpha=1.0$ の強度が $\alpha=1.5$ の場合の強度よりも大きくなるが、曲げモーメントによって面外変形が平坦化し、張力場の発達が不完全なうちにフランジへの応力集中によって曲げ崩壊を起こし、連成強度の低下が生じている。

5. まとめ

剛棒要素を用いて断面の平面保持を満足させるという仮定のもとに、実プレートガーダーと同様に橋軸方向に線形変化する曲げモーメントを導入してせん断と曲げの連成強度解析を行ない、その強度特性を調べた。この結果、連成強度は各々の荷重単独での強度から直線的に低下し、結局2本の直線で近似できるという方向性を示した。

6. 参考文献

- 1) Basler, K. : Strength of plate girders under combined bending and shearing, Proc. ASCE, J. Struct. Div., Vol. 87, No. ST7., pp.181-197, 1961.
- 2) Evans, H.R., Porter, D.M. and Rockey, K.C. : The collapse behaviour of plate girders subjected to shear and bending, IABSE Proceedings, P-18/78, pp.1-20, 1978.
- 3) 小松・森脇・藤野・滝本：組み合せ荷重を受けるプレートガーダーの極限強度、土木学会論文報告集、第321号、pp.1-14, 1982年 5月。
- 4) 塩見・伊藤・福本：プレートガーダーの耐荷力実験データの調査、構造工学論文集、Vol.33A, pp.127-139, 1987.
- 5) 小松・北田：初期不整を含む自由突出圧縮鋼板の極限強度特性について、土木学会論文報告集、第314号、pp.15-27, 1981年10月。
- 6) 坂口・中井・北田・大南：初期不整を有するプレートガーダーの純曲げ耐荷力特性について、第27回構造工学シンポジウム、pp.119-127, 1981.

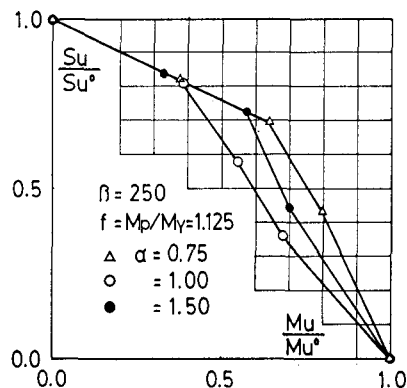


図-3 せん断と曲げの連成強度

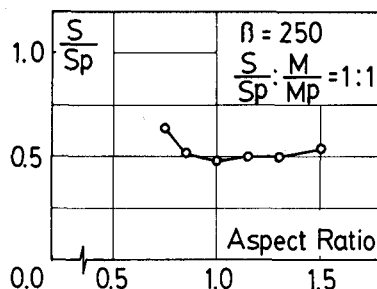


図-4 縦横比と連成強度の関係