

大阪大学工学部 正 員 西村 宣男 大阪大学大学院 学生員○村上 茂之
大日本コンサルタント 正 員 堀田 毅

1. はじめに 欧州で初めて開発された変厚鋼板¹⁾は、圧延方向に板厚が連続的に変化する鋼板であり、桁の圧縮フランジとして使用した場合、曲げモーメントの変化に応じて板厚を変化させることが可能である。欧州では、既に40橋程度の適用例²⁾が報告されている。近年、我が国でも変厚鋼板の開発が可能になり、数橋に使用した実績³⁾がある。しかし、変厚鋼板の座屈問題に関して行われた研究⁴⁾はほとんど無く、その極限強度特性は明らかではない。変厚鋼板を桁の圧縮フランジとして用いるための設計法の確立のためには、変厚圧縮板の極限強度特性を明らかにする必要がある。本研究では、圧縮フランジとして用いられた場合の局部座屈に着目し、変厚自由突出板の圧縮強度を解析し、その特性について検討した。

2. 一定応力状態の変厚鋼板の解析手法 圧縮フランジとして変厚鋼板を用いた場合、フランジの応力が一定となるような使用方法が最も合理的であると言える。この時、変厚鋼板は一定応力状態であるといえる。一定応力状態の変厚鋼板では、板厚が異なるために軸応力だけでは力の釣り合い条件が満足されず、軸応力に応じたせん断応力が作用する。このため、一定応力状態の変厚鋼板を解析する場合、作用応力状態に応じて、付加的なせん断流（応力）およびせん断変形を考慮する必要がある。図-1に付加せん断流の概念図を示す。この付加せん断流および付加せん断変形は、鋼板の作用応力を用いて図-2に示す手順で考慮できる。そこで、付加せん断応力を考慮し、一定応力状態の変厚板の耐荷力解析が可能となるように、アイソパラメトリックシェル要素を用いた弾塑性有限変位解析プログラム⁵⁾を改良した。

3. 解析モデル 解析モデルの構造諸元を表-1に示す。解析モデルとして、鋼種がSS400、板幅 $b=20.0\text{cm}$ 、板長 $L=100.0\text{cm}$ 、最小板厚を 1.0cm とし、板厚比に応じて最大板厚を変化させた自由突出板を用いた。また、応力比は 1.0 で一定とした。

変厚鋼板の座屈強度に影響する要因として、初期たわみ、残留応力、降伏応力の板厚依存性がある。今回の解析では、初期たわみは圧延方向に sine 半波、板幅方向に直線となる波形を与え、最大値は $b/100$ とした。板厚が異なることによって降伏応力が変化することは知られている⁶⁾が、今回は考慮していない。変厚鋼板を用いた桁の残留応力測定⁷⁾では、残留応力の軸方向成分は板厚に関わらず圧延方向に一樣な分布となる結果が得られている。ところが軸応力成分だけでは力の釣り合いが満足されず、せん断応力成分を考慮する必要がある。今回の解析では、実験により得られた残留応力の軸方向成分から、せん断応力成分を計算し、両者を用いて変厚鋼板の残留応力としてモデル化した。図-3に残留応力モデルを示す。

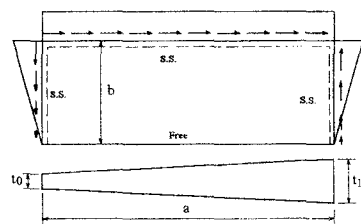


図-1 付加せん断流概念図

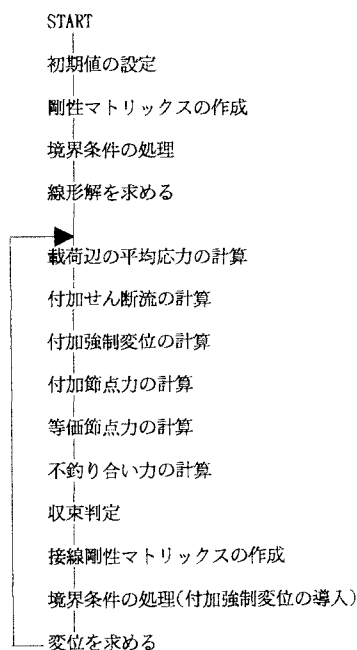


図-2 計算アルゴリズム

表一 解析モデルの構造諸元

鋼種	SS400		
降伏応力	2400kgf/cm ²		
弾性係数	2.1 × 10 ⁶ kgf/cm ²		
板幅	20.0 cm		
板長	100.0 cm		
最小板厚	1.0 cm		
最大板厚	1.1 cm	1.2 cm	1.3 cm
シリーズ名	TP110	TP120	TP130
応力比	1.0		

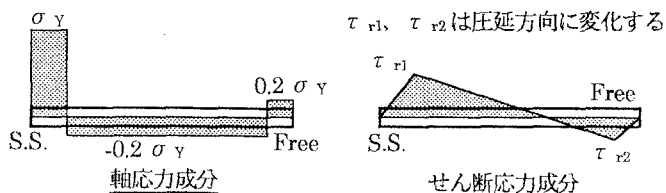


図-3 残留応力モデル

4. 変厚自由突出板の圧縮強度特性

図-4に板厚比と極限強度の関係を示す。図中の●印、■印が残留応力を考慮しない場合の一樣圧縮状態および一定応力状態の解析結果であり、○印、□印が残留応力を考慮した場合の解析結果である。また実線は、等厚板の圧縮強度であり、その板厚は変厚板の最大板厚に等しい。図の縦軸は、最小板厚断面での全強を用いて無次元化してある。変厚板の圧縮強度は、板厚比が大きくなるに従って上昇するが、一定応力状態では一樣圧縮状態の場合に比べて上昇量が小さくなる。これは、厚部での応力の余裕量がなくなるためであり、付加せん断変形およびせん断応力の影響であるといえる。また、最大板厚断面の板厚を用いた等厚板の圧縮強度との比較から、一樣圧縮状態の変厚板では板厚変化の影響が大きく、最大板厚断面の圧縮強度と同程度の圧縮強度を有しているが、一定応力状態の場合は板厚変化の影響が小さく、最小板厚断面の圧縮強度の影響が大きいことか見える。

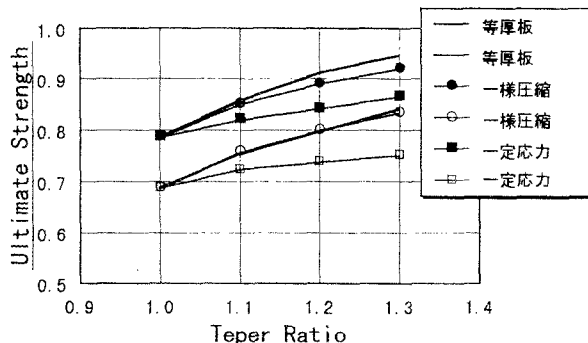


図-4 板厚比と圧縮強度の関係

5. まとめ 本報告で得られる結論をまとめると以下の通りである。(1) 付加せん断応力および付加せん断変形を考慮することによって、一定応力状態の変厚鋼板の圧縮強度解析を行った。(2) 軸応力に応じたせん断応力を考慮することにより、変厚鋼板の残留応力分布を推定し、残留応力を考慮した変厚鋼板の圧縮強度の解析を行った。(3) 一定応力状態の変厚鋼板では、最小板厚が圧縮強度に大きく影響し、逆に一樣圧縮状態では、最大板厚が圧縮強度に大きく影響する。

【参考文献】
1) GARRIGUES, G., GRANBOULAN, J. and MAZOU, J. : Un Product Nouveau Pour La Construction Metallique : Les Toles A Epaisseur Variable, Symp. de L'association Internationale des Ponts et Charpentes, Association Francaise Pour la Construction, Leingard, URSS, 11-14 Sep., 1991..
2) 緒方辰男, 林辰一, 上高原正弘, 板橋壮吉 : テーパープレートの橋梁への適用—上信越道 深沢川橋—, 第50回年次学術講演会講演概要集, I-306, pp.612-613, 平成7年9月。
3) Wittrick, W.H. and Ellen, C.H. : Buckling of Tapered Rectangular Plates in Compression, Aero. Quart., Vol.13, No.4, pp.308-326, 1962.
4) NISHIMURA, N., MURAKAMI, S. and TAKEUCHI, S. : Elasto-Plastic Finite Displacement Analysis of Thin-Walled Shells., Tech. Rep. of the Osaka Univ., Vol. 45, No. 2231, pp.213-220, Oct., 1995.
5) 鈴木博之 : 構造用鋼材の一樣伸びを表わすパラメータの鋼種依存性, 鋼構造年次論文報告集, Vol.2, pp.438-478, Nov., 1994.
6) 西村宣男, 堀田毅, 滝英明 : テーパープレートをを用いた I 断面桁の耐荷力実験(今回投稿論文)。