

降伏応力の板厚依存性を考慮した圧延変厚鋼板の弾塑性挙動

岐阜大学工学部 正員 ○ 村上 茂之 岐阜大学工学部 正員 奈良 敬
大阪大学工学部 正員 西村 寛男

1. はじめに 圧延変厚鋼板の使用は、鋼桁架設の合理化・省力化に対して有効な手段として考えられ、実際、圧延変厚鋼板を採用した鋼桁橋の建設例も報告されている¹⁾。従来から使用されている等厚鋼板と異なり、圧延変厚鋼板では降伏応力が同一鋼板要素内で変化する²⁾という材料学的特徴と板厚自体が板要素内で変化しているという幾何学的特徴がある。本研究では、圧延変厚鋼板要素の座屈設計法を確立するための基礎資料の提供を目的とし、特に材料学的特徴の弾塑性挙動に対する影響について検討した。

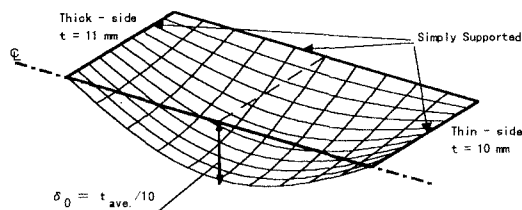
2. 解析モデル 板厚を軸方向に 10mm~11mm の範囲で連続的かつ直線的に変化させた周辺単純支持鋼板を解析モデルの基本とし、最小板厚断面における幅厚比は 30, 40, 50, 60, 70, 80 の 6 種類を与える。また鋼板要素の応力状態として、最小板厚断面および最大板厚断面における作用軸力を一定としたモデルと作用平均応力が一定になるように制御したモデルの 2 種類を考える。表—1 に解析モデルの構造諸元を示す。解析モデルは鋼種 SM400 とし、最大板厚断面における降伏応力を 235MPa で与える。降伏応力の板厚依存性を考慮するモデルでは、最小板厚断面側の降伏応力を最大断面側降伏応力の 10%増あるいは 20%増で与える。また、表—1 中の解析モデルの名称は、b??はモデルの幅厚比 (b/t=??) を、s??は降伏応力の変化の割合 (??%) を示し、末尾が N のモデルは作用軸力一定、H のモデルが作用応力一定であることを示している。鋼板要素の初期不平整は、図—1 に示す初期たわみ波形を考慮し、残留応力は考慮していない。

3. 解析手法 解析には、任意応力比状態の圧延変厚鋼板の極限強度解析を行なうために著者が開発した、8 節点 Iso-parametric Shell 要素を用いた弾塑性有限変位解析プログラムを用いる。本プログラムでは、板厚の変化と作用応力に応じた付加的なせん断変形およびせん断応力を制御することにより、任意応力比状態の圧延変厚鋼板の極限強度解析が可能となっている³⁾。降伏応力の板厚依存性を考慮するにあたり、任意積分点での板厚を圧延変厚鋼板の板厚変化形状から求め、さらに降伏応力は板厚に対し線形的に変化すると仮定し、各積分点における板厚を用いて降伏応力を決定するようにプログラムを修正した。なお、材料は von-Mises の降伏条件に従い、完全弾塑性体であると仮定する。

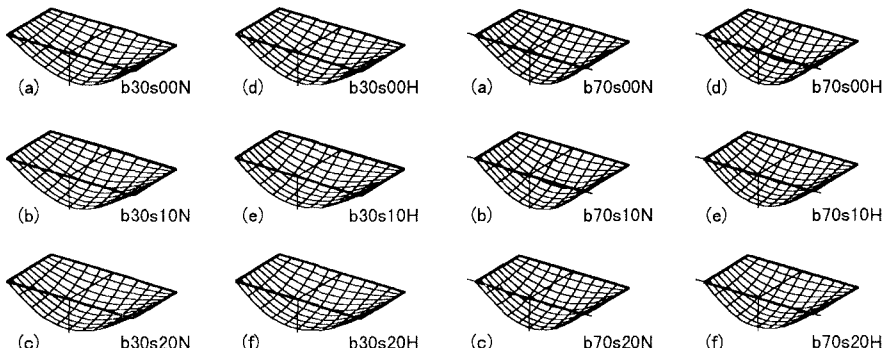
4. 解析結果 図—2, 3 に、幅厚比が 30 および 70 の場合の最大荷重時の変形形状を示す。鋼板の支持条件および板厚は図—1 と同様である。(a) ~ (c) および (d) ~ (f) の各図を比較すると、それぞれにおいて大きな差は認められず、最大荷重時までの変形に対しては、降伏応力の板厚依存性の影響は小さいといえる。また、

表—1 解析モデルの構造諸元

最小板厚	mm	10.0					
最大板厚	mm	11.0					
アスペクト比	--	1.0					
鋼種	--	SM400					
降伏応力	MPa	235.0					
弾性係数	GPa	206.0					
ポアソン比	--	0.3					
板幅	モデル名	b30	b40	b50	b60	b70	b80
	mm	300.0	400.0	500.0	600.0	700.0	800.0
降伏応力の板厚依存性	モデル名	s00		s10		s20	
	$\times \sigma_y / \text{mm}$	0.00		0.10		0.20	
作用応力比	モデル名	N			H		
	--	1.10			1.00		



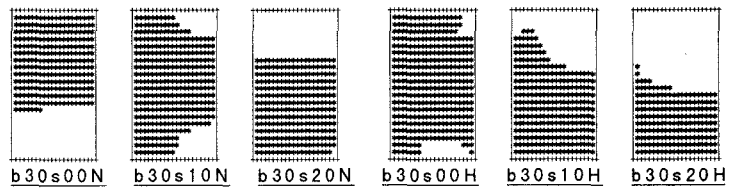
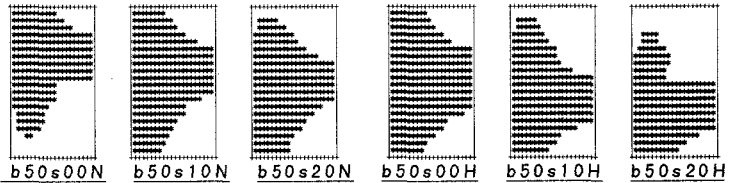
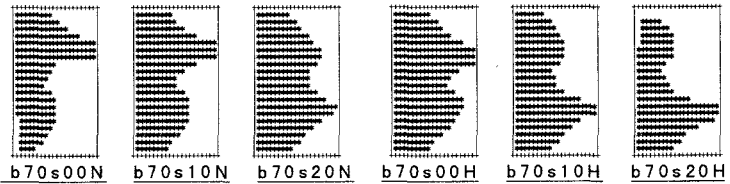
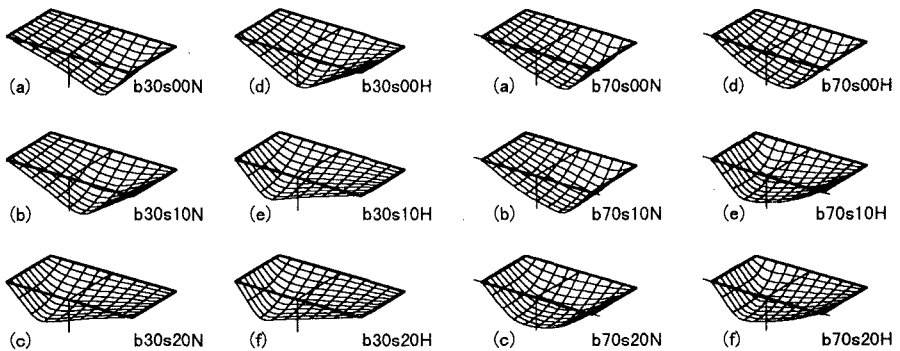
図—1 初期たわみ波形



図—2 最大荷重時の変形形状(b/t=30)

図—3 最大荷重時の変形形状(b/t=70)

(d) における最大たわみの発生位置が (a) の場合に比べて厚部側に移動していることから、たわみ波形に対する応力比の影響が認められる。この傾向は、最小板厚断面と最大板厚断面の板厚差が大きくなるに従って顕著になると推測される。図—4、5、6 は、幅厚比が 30、50、70 の場合の、最大荷重到達後の任意の荷重レベルにおける塑性化の状況であり、図中*印が塑性化した積分点である。どの幅厚比においても、 $b??s10N$ モデルと $b??s00H$ モデルの塑性化状態が類似しており、塑性化に関しては、降伏応力の板厚依存性が作用応力比と同程度の影響を持つことが確認できる。図—7、8 は幅厚比 30 および 70 の場合の、図—4 および 6 を図示した荷重レベルでの変形形状である。塑性化がある程度進行した荷重レベルにおいては、降伏応力の板厚依存性の影響により、塑性化する領域が降伏応力の低い厚部側に移動するため、最大たわみが生じる箇所も厚部側に移動する (a ~ c)。

図—4 弾塑性状態($b/t=30$)図—5 弾塑性状態($b/t=50$)図—6 弾塑性状態($b/t=70$)図—7 塑性化進行後の変形形状($b/t=30$)図—8 塑性化進行後の変形形状($b/t=70$)

(d) において、最大たわみの発生位置が厚部側に移動している原因は、板要素内の応力が一定に制御され、全体的に等厚鋼板に類似した挙動を示すためと考えられる。また、(d) ~ (f) の比較から降伏応力の板厚依存性の影響について考えると、ある程度の大きさ (本解析結果では 10% 増) を超える降伏応力の差は、作用応力比を一定に制御した場合には変形形状に対しては影響が小さくなるといえる。

5. 最後に $b??s10N$ モデルと $b??s00H$ モデルの変形形状、弾塑性状態が類似しているという結果から、圧延変厚鋼板の弾塑性挙動に対して、降伏応力の板厚依存性が作用応力比と同程度の影響を有する可能性が確認された。今後は、降伏応力の板厚依存性を含めたパラメトリック解析を実施し、詳細な検討をする必要がある。このためには、圧延変厚鋼材における降伏応力の板厚依存性に関する実測データを蓄積することも必要である。また、座屈設計法確立のためには、極限強度に対する影響についても検討する必要がある。

【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 Charpents, Association Francaise Pour la Construction, Sep., 1991. 2) 堀田, 西村, 村上: テーパープレートフランジ桁の耐荷力特性と設計法, 鋼構造年次論文報告集, Vol.4, pp.257-264, Nov., 1996. 3) 村上, 西村, 堀田: 自由突出テーパープレートの圧縮強度, 構造工学論文集, Vol.43A, pp.107-116, Mar., 1997.