

ステンレスクラッド鋼板の座屈耐荷力解析

広島大学 学生員○藤井 崇文

広島大学 正会員 藤井 堅

1. 研究の目的

鋼橋の塗装メンテナンスフリー対策の一つとして、ステンレスクラッド鋼の適用が考えられる。この場合、座屈耐荷力及び終局挙動を説明する必要がある。またクラッド鋼は製造過程で板厚方向の大きな残留応力が生じる。そこで本研究では初期不整合が座屈耐荷力に及ぼす影響を説明する。

2. 方法

有限要素プログラムでは、Mises の降伏条件とプラントルルイスの流れ則により材料非線形性を、また幾何学的非線形性は増分法と更新ラグランジェ法によって考慮している。要素は4節点6自由度のアイソパラメトリックシェル要素を用い、多層複合材料の表現は、要素を板厚方向に層分割し、層ごとに材料特性を与える方法を採用した。その結果、単一材料だけでなく、複合材料についても解析が可能となった。

ステンレスクラッド鋼板の解析モデルは正方形板とし、周辺単純支持板の一辺に等変位軸圧縮を与えている(図-1, 2)。Steel(SS400)とSUS316Lの材料特性を表1に示す。また、解析では、板厚方向の層分割は20分割とし、初期たわみは $W=W_0 \sin(\pi x_1/a) \sin(\pi x_2/a)$ 、ここに、 $W_0=a/150$ a ; 辺長、で与えた。

なお解析パラメータは、クラッド比とし、初期たわみの方向(Steel側が凸の初期たわみと、SUS側が凸の初期たわみの2種類)と、残留応力等を考慮する。解析に用いた残留応力分布を図-3に示す。

3. 結果

3-1 荷重-たわみ曲線

図-4に荷重-たわみ曲線の一例を示す。図中 $\bar{\sigma}=P/at$ (t : 板厚, P : 圧縮力)で、 W はたわみを示す。またクラッドの降伏応力および弾性係数は次式によって求めている。

$$\sigma_y = \frac{I_b \cdot \sigma_{yb} + I_c \cdot \sigma_{yc}}{I_b + I_c} \quad (1)$$

$$E = \frac{I_b \cdot E_b + I_c \cdot E_c}{I_b + I_c} \quad (2)$$

ここに $t=t_b+t_c$ で添え字の b, c はそれぞれ Steel, SUS を示す。

図-4はクラッド比 0.1 の場合で、板厚 10mm~46mm に対するたわみを示す。また、SUS側に凸などは初期たわみの方向を表す。図からわかるように、板パネル中央のたわみは初期たわみを与えた方向に増加する。また板厚が厚い場合は弾性座屈が起きないが、薄板の場合には弾性座屈が生じている。なお板の終局耐荷力 σ_u/σ_y は、荷重-たわみ曲線における最高荷重とした。

3-2 耐荷力曲線

周辺単純支持されたステンレスクラッド鋼の耐荷力曲線を描けば、図

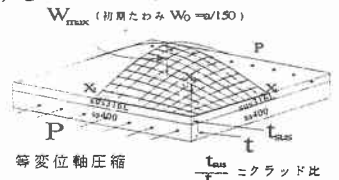


図-1 解析モデル

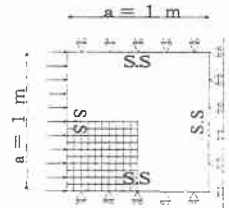


図-2 境界条件

表1 材料特性

	弾性係数	降伏応力	ポアソン比
ss400	206GPa	275MPa	0.28
SUS316L	186GPa	402MPa	0.28

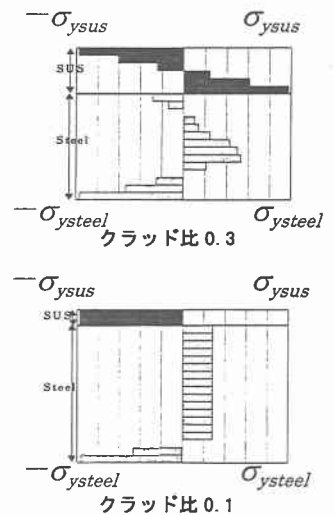


図-3 残留応力分布

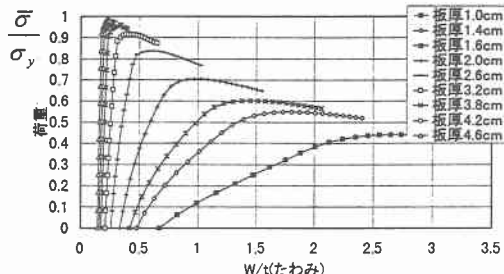
－5～7のようになる。また同図には、今までに提案されているいくつかの耐荷力評価式もあわせて示す。図－5は残留応力がない場合の初期たわみだけの影響を表している。図から初期たわみが SUS 側に凸の場合、クラッド比が大きいほど耐荷力が低く、逆に初期たわみが Steel 側に凸の場合は、クラッド比の大きいものほど耐荷力が大きい。SUS 側に凸の初期たわみを与えたクラッド鋼は、たわみに伴う曲げの圧縮応力と、軸力による圧縮応力が加算される側に降伏応力の低い Steel 層が存在するため、この部分がまず降伏する。すると板の中立軸はステンレス側へ移動し、偏心により、さらに大きな面外たわみが生じることになる。結果として、耐荷力は低下する。逆に Steel 側凸のクラッドでは、この部分には降伏応力の高い SUS 層が存在するため、降伏が遅れ、耐荷力が高く現れる。また、図－6、7は板厚方向の残留応力がクラッド鋼の耐荷力に及ぼす影響を示す。図より、どのクラッド鋼においても、残留応力があると、残留応力がない場合よりも、耐荷力が大きく低下している事がわかる。これは、残留応力を考慮しないクラッドに対して、残留応力があると、圧縮残留応力を有する層が早期に降伏することに起因する。また図－6と図－7を比較した場合、クラッド比の大きいものほど、耐荷力の低下が著しい事がわかる。

4. 結論

- 1) 残留応力を考慮しないクラッド鋼の耐荷力は、クラッド比の増大に伴い、SUS 側に凸の初期たわみのものは低く、これに対して Steel 側凸の初期たわみを与えたものは高くなる。
- 2) 残留応力がある場合には、残留応力がない場合に比べ、クラッド比 0.1 のものでは約 10% 程度、クラッド比 0.3 のものでは約 20% 程度圧縮耐荷力が低下する。
- 3) 残留応力を考慮した結果、クラッド鋼の耐荷力は Steel 単一材のそれよりも低下した。よってステンレスクラッド鋼では、鋼単一材の圧縮耐荷力評価式を用いると危険側となる。

参考文献

- 1) 土木学会：座屈設計ガイドライン，pp161-191，1987。
- 2) 藤井ら：構造工学論文集，Vol143A，pp. 1041 - 1050，1997。
- 3) 藤井ら：構造工学論文集，Vol144A，1998。3 (掲載予定)。
- 4) 足立：第 48 回土木学会中国支部研究発表会発表概要集，pp27 - 28，1996。
- 5) 中元：第 48 回土木学会中国支部研究発表会発表概要集，pp35 - 36，1996。
- 6) 西川：第 51 回年次学術講演会講演概要集 第 1 部，pp84 - 85，1996。
- 7) 福増：第 52 回年次学術講演会講演概要集 第 1 部，pp190 - 191，1997。



図－4 荷重－たわみ曲線(クラッド比0.1, SUS側凸)



図－5 耐荷力曲線(残留応力なし)



図－6 耐荷力曲線(残留応力あり)



図－7 耐荷力曲線(残留応力あり)