

ステンレスクラッド鋼管柱の圧縮・曲げ耐荷力解析

広島大学大学院 正会員 ○中茂泰則

広島大学大学院 正会員 藤井 堅

広島大学大学院 フェロー 中村秀治

JFE 技研（株） 正会員 伊藤壮一

JFE 技研（株） 正会員 市川和臣

1. まえがき

近年、社会資本整備に対して、維持管理費の軽減が強く求められるようになった。鋼構造物における防食は塗装や亜鉛メッキなどに頼っているのが現状であるが、維持管理の面から考えると塗装メンテナンスフリーとなる新しい防食対策が望まれるのは当然である。その解決策の一つとしてステンレスクラッド鋼（以下 SUS クラッド鋼と呼ぶ）の適用が考えられる。SUS クラッド鋼は、ステンレスと鋼を金属組織的に接合した複合材料で、錆びるという鋼の弱点を耐食性に優れるステンレスで補うことが可能である。その優れた防食性から、本研究では SUS クラッド鋼をジャケットの飛沫帯に適用することを想定し、先に行われた SUS クラッド鋼の材料特性実験結果¹⁾を用いて SUS クラッド鋼管の弾塑性有限要素解析を行い、構造物への適用性を検討する。

2. ステンレスクラッド鋼の材料特性

筆者らは、SUS クラッド鋼の材料特性と、残留応力を実験的に調べている¹⁾。ここでは、その概略と結果について述べる。

2.1 引張試験

母材が軟鋼（SS400）、合わせ材がステンレス鋼（SUS316L）、板厚 20mm（合わせ材 2mm、母材 18mm）の 2 層圧延クラッド鋼の引張試験を実施した。試験はクラッド鋼だけでなく、母材と合わせ材各々についてクラッドから削り出して試験片を作成した。表・1 に SUS クラッド鋼の引張試験結果（平均値）を示す。

表から、合わせ材（SUS316L）の、降伏応力と引張強度の公称値³⁾はそれぞれ 265MPa、550MPa であるが、実測値は公称値に比べてかなり大きいのがわかる。一方、母材（SS400）では、降伏応力（公称値 235MPa）、引張強度（公称値 400MPa）ともに公称値に近い。破断伸びについては、単一鋼で得られる一般的値（軟鋼 20～30%、ステンレス 50～

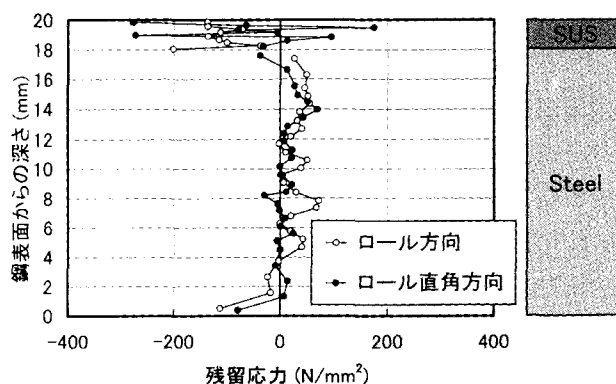
60%）に比べて、両者とも数割低下している。これらは、SUS クラッド鋼が圧延されたままの状態（固溶化熱処理を行わない）で出荷されたことに起因すると思われる。

表・1 SUS クラッド鋼の材料特性（平均値）

	SUS316L	SS400	クラッド鋼
E (kN/mm ²)	212	206	202
σ_Y (N/mm ²)	480	269	292
σ_B (N/mm ²)	724	422	449
ν	0.28	0.28	0.27
破断伸び (%)	20.9	15.9	- - -

2.2 残留応力

板厚方向の残留応力の測定には、逐次除去法を用いた。試験片は幅 15mm の角棒を圧延ロール方向、ロール直角方向それぞれ 2 体ずつ切り出して作成し、切り出した試験片の片側表面から逐次除去を行い、除去側の反対側表面のひずみと各層の除去後の板厚を測定した。除去は、1 つはステンレス側から、もう 1 つは鋼側から除去し、残留応力分布は両者を重ね合わせて求めた。残留応力測定結果を図・1 に示す。残留応力は、ステンレスおよび、鋼の両表面で圧縮応力となっている。板厚中央付近では小さな引張の残留応力である。



図・1 残留応力分布

3. ステンレスクラッド鋼管の FEM 解析

3.1 解析モデル

図-2 に解析モデルおよび要素分割を示す。解析モデルは直径 1740mm, 柱長 4500mm, 板厚 22mm である。要素には 4 節点アイソパラメトリックシェル要素を使用した。また、構成則には二曲面モデルを用いた。境界条件は、鋼管下端で x, y, z 方向変位および x, y, z 軸回りの回転角をすべて拘束し、片持ち柱とした。また鋼管上端に鉛直下向き、水平方向の強制変位を与えることにより圧縮耐力、曲げ耐力を調べた。

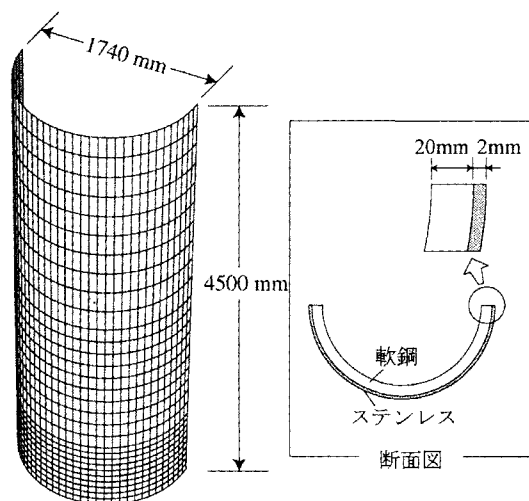


図-2 解析モデル

3.2 解析パラメータ

解析は、単一材の鋼管 (ST1) と SUS クラッド鋼管に対して行った。SUS クラッド鋼管は、残留応力分布を考慮しないもの (CL1) と考慮したもの (CL2) の 2 種類である。鋼とステンレスの材料特性は、引張試験結果を用いた。CL2 の、板厚方向の残留応力分布は実験結果 (図-1) のようである。

3.3 解析結果

圧縮解析と曲げ解析の荷重-たわみ関係をそれぞれ図-3、図-4 に示す。これらの図は降伏の開始点と最高荷重が分かりやすいように、拡大表示している。

図-3、図-4 から、SUS クラッド鋼管 (CL1, CL2) は普通鋼管 (ST1) よりも最高荷重が高いことがわかる。SUS クラッド鋼の種類には「1 種」と「2 種」があり、前者は鋼のみならずステンレスをも強度部材とみなした設計、後者はステンレスを腐食代と考えて強度部材には含めない設計である。実際は「2 種」がほとんどのようであるが、本解析結果より「2 種」で設計することは、SUS クラッド本来の強度を

過小評価することになり、「1 種」で設計の方が合理的であるといえる。なお、CL1 と CL2 の最高荷重がほぼ等しいことから、残留応力が耐力に与える影響は小さいといえる。

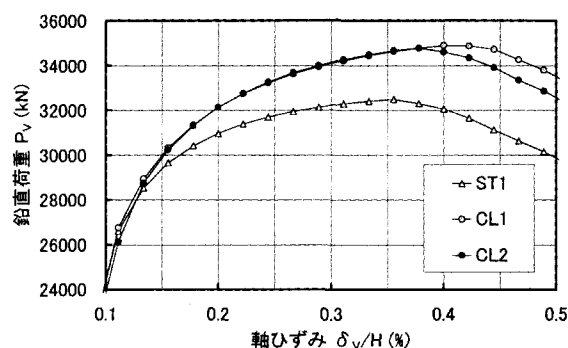


図-3 鉛直荷重単調載荷解析結果

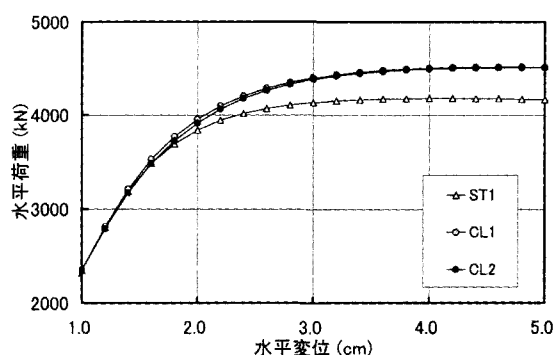


図-4 水平荷重単調載荷解析結果

4. 結論

SUS クラッド鋼のステンレスは単一材のステンレスよりも高強度である。また SUS クラッド鋼管は同じ板厚の鋼単一鋼管より高強度であり、ジャケットの飛沫帯への適用は可能であると思われる。なお、設計はステンレスも強度部材に含める「1 種」による設計が妥当である。

参考文献

- 1) ステンレスクラッド鋼の材料特性および残留応力とその発生メカニズム, 藤井堅ら, 構造工学論文集, Vol.44A, pp.103-114, 1998
- 2) ステンレスクラッド鋼板の圧縮耐力と残留応力, 藤井堅ら, 土木学会論文集, No.633 I-49, pp.181-192, 1999
- 3) JIS ハンドブック 鉄鋼 I JIS Z 2201, 日本規格協会, 1998