

大阪大学大学院 フェロー 西村宣男

(株)酒井鉄工所 正員 竹内修治

大阪大学大学院 学生員〇二神 崇

1. はじめに

鋼管は断面係数が大きいこと、軸圧縮を受ける場合や、一様な内外圧を受ける場合に効率的な断面形状であることから、土木分野に限っても、鉄塔、橋脚、杭、など多様な使われ方をしてきた。しかし、鋼管の成形途中で発生する幾何学的初期不整は極限強度に大きな影響を与え、また鋼管部材の設計や維持管理においても、耐荷力の評価に関して重要な問題となる可能性がある。以上のことから、本研究の目的は、平板状の鋼板を冷間塑性曲げ加工し、両端突き合わせ部をアーク溶接することにより成形される構造用鋼管である製作鋼管を対象として、その製作工程において不可避免的に発生する幾何学的初期不整が、局部座屈強度に及ぼす影響を数値解析により明らかにすることによって、鋼管の品質保証に関する基礎データを提供することである。

2. 解析モデル

解析には著者らの研究室で開発された弾塑性有限変位解析プログラムを用いた。図-1に解析モデルを示す。解析モデルは構造の対称性より1/2モデル(円周方向1/2)とし、要素には製作鋼管の曲面を正確に表現するため8節点アイソパラメトリックシェル要素を用いた。解析に用いた鋼材の応力-ひずみ関係は、SS400材の実測データに基づいている¹⁾。アスペクト比は、局部座屈強度に及ぼす幾何学的初期不整の影響を検討するため、道示の規定に準拠してアスペクト比3.0²⁾を採用したが、アスペクト比による強度低下の影響を探るため、一部、アスペクト比を変化させた解析も行った。解析ケースとしては、円形断面のR/tを10、20、30、50、の4種類、載荷状態については圧縮曲げ β により場合分けをし、3個の一定値0.0(純曲げ)、1.0、 ∞ (純圧縮)とした。境界条件としては、鋼管端部で管軸方向変位以外を拘束し、載荷は変位制御の手法で行った。また、幾何学的初期不整の導入については、以下のような幾何学的初期不整、計5シリーズを導入し、初期不整を導入しない場合のモデル(int0シリーズ)と比較し、それぞれの影響を確認した。

- ①：縦継手における角折れ(int1シリーズ、図-2) ②：円周継手におけるへこみ(int2シリーズ、図-3)
 ③：鋼管の初期曲がり(int3シリーズ、図-4) ④：円周継手における目違い(int4シリーズ、図-5)
 ⑤：①～④の全幾何学的初期不整を導入したモデル(int5シリーズ)

たわみ等の具体的な値としては許容値を用いて解析を行っている。

①については、縦継手が圧縮側に存在すると仮定した場合と、引張側に存在すると仮定した場合の2ケースについて、突出型・陥没型それぞれ最大たわみ1mm³⁾、②については、許容値は規定されていないので、実際の製作現場で品質管理に用いられている最大たわみ1mm⁴⁾を許容値としながらも、広域なデータ提供という意味から、最大たわみを1mmから8mmまで変化させて解析を行った。また、ECCS Shellの規定の許容値 $0.5 \times t^{1/2}$ についても解析を行った。③については、最大たわみを6mm⁵⁾(=管軸方向長さ/1000)とした。④については、目違い量を $0.1 \times t^{1/2}$ とした。⑤については、①～④の幾何学的初期不整の許容値を用いている。また、表-1に解析モデル名の一覧を示す。

3. 解析結果

図-6～12に本研究での解析モデルのうち、幾何学的初期不整の影響が最も大きかったR/t=50についてのみの解析結果を示す。(他の径厚比の解析結果については大会当日に示す。)図-6、7、8に縦継手における角折れ、鋼管の初期曲がり、円周継手における目違いを導入した場合の解析結果を示す。縦軸に強度を相対的に評価するため、無次元表示した作用軸力と作用曲げモーメントを用いて、 $K=N/N_y+M/M_y$ (N:軸力、M:曲げモーメント)⁶⁾と表現する強度パラメータの極限強度 K_u をとり、横軸に圧縮曲げ比 $C=(N/N_y)/(M/M_y)$ をとる。これらモデルについては大きな強度低下は見られない。また、R/t=50以下でも同様の結果であった。図-9に円周継手におけるへこみを導入した場合の解析結果を示す。許容値であるint2-1の場合については、曲げが卓越してくるとR/t=50で最大で約7%の強度低下、またR/t=30、20で最大で約5%の強度低下がみられた。図-10の横軸には、半径で除して無次元化した円周継手におけるへこみ Δ/R をとる。全体の傾向として Δ/R が増加するに従って比例的に極限強度が低下している。図-11に全幾何学的初期不整を導入した場合の解析結果を示す。傾向としては円周継手におけるへこみを導入したモデルと酷似しているが、極限強度は円周継手におけるへこみを導入したモデルよりさらに1%ほど強度が低下する。図-12は全幾何学的初期不整を導入した場合のアスペクト比-極限強度関係であるが、アスペクト比の違いによる大きな差は見られない。

4. まとめ

解析結果をまとめると以下ようになる。①縦継手における角折れ、鋼管の初期曲がり、円周継手における目違いの許

表-1 解析モデル名一覧

解析モデル名	説明
int0	初期不整なし
int1-out-top	縦継手における角折れ(引張側、突出型)
int1-in-top	縦継手における角折れ(引張側、陥没型)
int1-out	縦継手における角折れ(圧縮側、突出型)
int1-in	縦継手における角折れ(圧縮側、陥没型)
int2-1	円周継手におけるへこみ($\Delta=1\text{mm}$, 許容値)
int2-x	円周継手におけるへこみ($\Delta=X\text{mm}$)
int2-0.5t	円周継手におけるへこみ($\Delta=0.5 \times$ 板厚, ECCS Shellの規定)
int3-Line6	鋼管の初期曲がり(直線変化, $\Delta_{\text{max}}=\text{管軸長さ}/1000=6\text{mm}$)
int3-Line1.2	鋼管の初期曲がり(直線変化, $\Delta_{\text{max}}=\text{管軸長さ}/5000=1.2\text{mm}$)
int3-Line0.6	鋼管の初期曲がり(直線変化, $\Delta_{\text{max}}=\text{管軸長さ}/10000=0.6\text{mm}$)
int3-Sin6	鋼管の初期曲がり(sine変化, $\Delta_{\text{max}}=\text{管軸長さ}/1000=6\text{mm}$)
int4-x	円周継手における目違い($\Delta=0.1 \times$ 板厚 $\times x\text{mm}$)
int5	全初期不整を導入

容値が製作鋼管の局部座屈強度に与える影響は、鋼管の強度評価を行う場合の検討項目としては重要ではない。②円周継手におけるへこみの許容値については、本研究で導入した幾何学的初期不整の中で局部座屈強度に与える影響が最も大きかった。③円周継手におけるへこみを導入した場合、 $\angle/R$ が増加するに従い極限強度 K_u が比例的に低下する。④全幾何学的初期不整を導入したモデルの解析結果が、円周継手におけるへこみを導入したモデルの解析結果と酷似していることから、幾何学的初期不整が製作鋼管の局部座屈強度に与える影響は、円周継手におけるへこみによって支配されるといえる。⑤幾何学的初期不整について、アスペクト比の違いによる影響は見られない。

<参考文献>

- 1) 西村宣男、小野潔、池内智行：単調載荷曲線を基にした繰り返し塑性履歴を受ける鋼材の構成式、土木学会論文集 No.513/I-31、27-38、1995.4
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書 I 共通編 II 鋼橋編。
- 3) 水門鉄管協会：水門鉄管技術基準 溶接・接合編 27 条
- 4) (株)酒井鉄工所：製作円形鋼管の幾何学的初期不整、橋脚柱の初期不整測定結果。
- 5) ECCS: European Recommendations for Steel Construction: Buckling of Shells C 4.6.1.3.
- 6) 西村宣男、間瀬利明、大谷智正：軸力と曲げを受ける鋼部材の断面区分、構造工学論文集 Vol.41A、pp.207-214.1995.3.

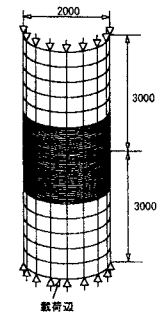


図-1 解析モデル

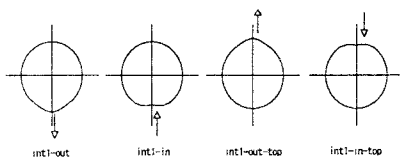


図-2 縦継手における角折れ

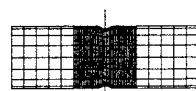


図-3 円周継手におけるへこみ

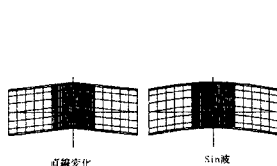


図-4 鋼管の初期曲がり

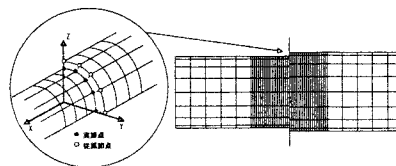


図-5 円周継手における目違

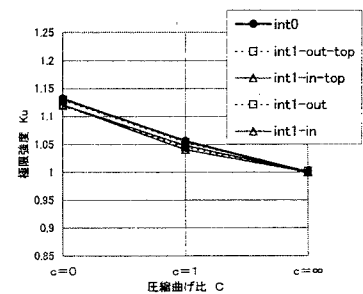


図-6 極限強度(縦継手における角折れ、 $R/t=50$)

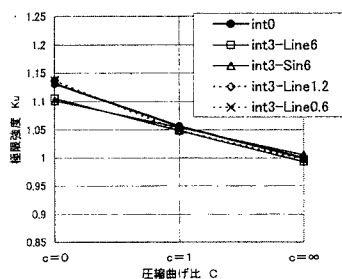


図-7 極限強度(鋼管の初期曲がり、 $R/t=50$)

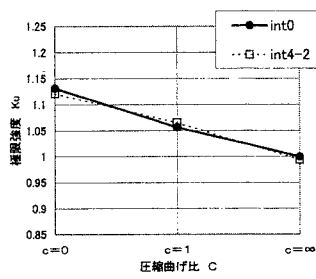


図-8 極限強度(円周継手における目違い、 $R/t=50$)

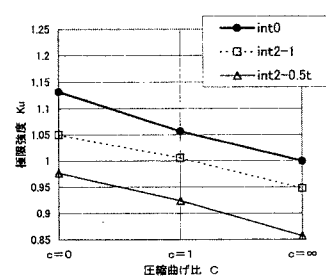


図-9 極限強度(円周継手におけるへこみ、 $R/t=50$)

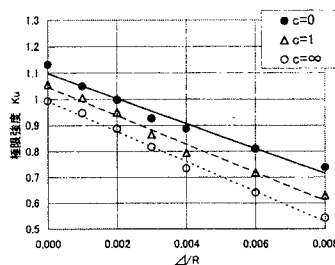


図-10 $\angle/R$ -極限強度 K_u 関係
(円周継手におけるへこみ、 $R/t=50$)

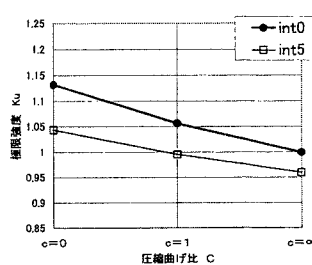


図-11 極限強度(全初期不整を導入、 $R/t=50$)

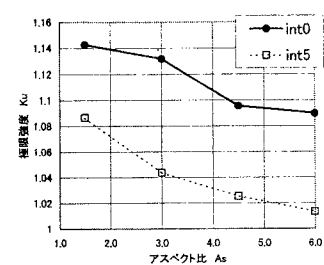


図-12 アスペクト比-極限強度 K_u 関係
(全初期不整を導入、 $R/t=50$)