

大阪大学工学部 正 員 西村宣男 (株)酒井鉄工所 正 員 竹内修治  
(株)酒井鉄工所 正 員 田淵教彦 大阪大学大学院 学生員〇二神 崇

### 1. はじめに

鋼管は断面係数が多いこと、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、水圧鉄管、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材料的・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、破壊靱性、疲労強度などの評価に関して重要な問題となる。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1/4モデルとし、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<sup>1)</sup>。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全体座屈の考慮外最大値のアスペクト比3.0<sup>2)</sup>を採用した。解析ケースとしては、円形断面のR/tを30,50,70,100の4種類、載荷状態については圧縮曲げ比cにより場合分けをし、5個の一定値0.0(純曲げ)、0.5、1.0、2.0、 $\infty$ (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、載荷は図-2のような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、幾何学的初期不整、計3シリーズ①縦継手による角折れ(int1シリーズ、図-7)・②円周継手によるへこみ(int2シリーズ、図-11)・③鋼管の初期曲がり(int3シリーズ、図-18)、を単独で導入し、初期不整を導入しない場合のモデル(int0)と比較し、それぞれの影響を確認した。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については突出型・陥没型それぞれ最大たわみ1mm<sup>3)</sup>、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1mm<sup>4)</sup>を許容値とし、板厚の0.5倍<sup>5)</sup>までたわみを増やして解析を行った。③については、許容値を道示に準拠して、最大たわみを6mm<sup>2)</sup>(=管軸方向長さ/1000)とし、Line型では1.2mm、0.6mmのモデルについても解析を行った。また、表-1に解析モデル名の一覧を示す。

### 3. 解析結果及び考察

図-4～6に縦継手による角折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)<sup>6)</sup>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。このモデルについては、大きな強度低下は見られていないのがわかる。図-8～10に円周継手によるへこみを導入した場合の解析結果を示す。比較的薄肉のR/t=100とR/t=70の場合、int2-1については曲げが卓越してくると最大で3%ほどの強度低下がみられる。int2-2については、int2-1(モデル名は表-1参照)に比べて同様の曲線形状で、さらにR/t=100の場合は2～4%、R/t=70の場合は0.7～1.4%程度強度低下する。R/t=50になると強度低下はみられない。図-12～14の横軸には、半径で除して無次元化した初期たわみ $w/R$ をとる。全体の傾向として $w/R$ 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-15～17に鋼管の初期曲がりを導入した場合の解析結果を示す。int3-Line1.2及びint3-Line0.6では大きな強度低下は見られない。int3-Line6及びint3-Sin6では $c=2.0$ 以下で最大3.8%程度の強度低下が起こる。ただし、R/t=50ではint3-Sin6でのみ強度低下がある。図-3にR/t=30の場合の、圧縮曲げ比別の強度-ひずみ関係を示す。R/t=30については極限強度がでなかったため扱いを別とした。 $c=0.0\sim\infty$ までのすべての載荷パターンについて同じ傾向を示しており、int2-0.5t以外では強度低下が起きない。

### 4. 結論

解析結果をまとめると以下ようになる。①縦継手による角折れ(int1シリーズ)の許容値が、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円周継手によるへこみ(int2シリーズ)の許容値については、R/tが50以下になると強度に与える影響は無視できる。③鋼管の初期曲がり(int3シリーズ)の許容値については、sine波で初期不整をモデル化した場合、R/t=50でもその影響は無視できない。しかし現実には、Line型で初期たわみが入ることが一般的であることから、R/t=50以上ではint3シリーズの影響は、小さいと評価できる。④円周継手によるへこみを導入した場合、 $w/R$ が増加するに従い極限強度 $K_u$ が比例的に低下する。

Nobuo NISHIMURA, Syuuzi TAKEUCHI, Atsuhiko TABUCHI, Takashi FUTAGAMI

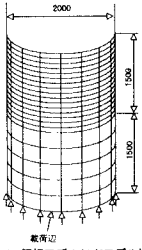


図-1 解析モデル(1/4モデル)

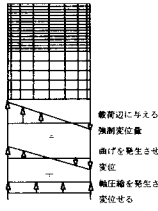


図-2 解析モデルに与える強制変位位置

| モデル名         | 説明                                           |
|--------------|----------------------------------------------|
| int0         | 初期不変なし                                       |
| int1-out     | 縦継手による角折れ(突出型)                               |
| int1-in      | $\pi$ (陥没型)                                  |
| int2-1       | 円周継手によるへこみ( $W_{max}=1mm$ )                  |
| int2-X       | $\pi$ ( $W_{max}=Xmm$ )                      |
| int2-0.5t    | $\pi$ ( $W_{max}=0.5 \times$ 板厚)             |
| int3-Line6   | 鋼管の初期曲がり(直線変化, $W_{max}=管軸長さ/1000=6mm$ )     |
| int3-Line1.2 | $\pi$ ( $\pi$ , $W_{max}=管軸長さ/5000=1.2mm$ )  |
| int3-Line0.6 | $\pi$ ( $\pi$ , $W_{max}=管軸長さ/10000=0.6mm$ ) |
| int3-Sin6    | $\pi$ (sine変化, $W_{max}=管軸長さ/1000=6mm$ )     |

表-1 解析モデル名一覧

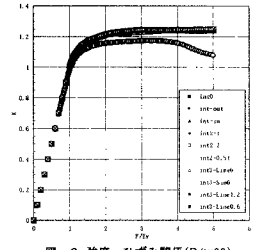


図-3 強度-ひずみ関係( $R/t=30$ )

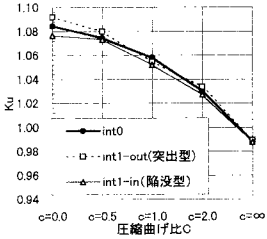


図-4 極限強度(縦継手による角折れ,  $R/t=100$ )

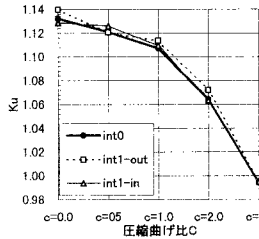


図-5 極限強度(縦継手による角折れ,  $R/t=70$ )

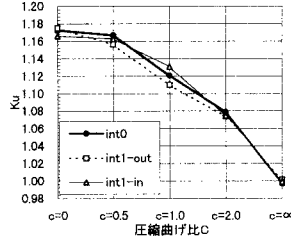


図-6 極限強度(縦継手による角折れ,  $R/t=50$ )

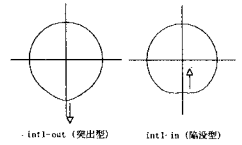


図-7 縦継手による角折れ(int1シリーズ)

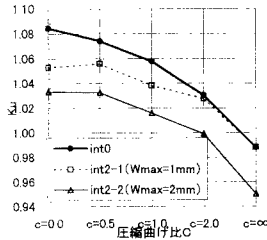


図-8 極限強度(円周継手によるへこみ,  $R/t=100$ )

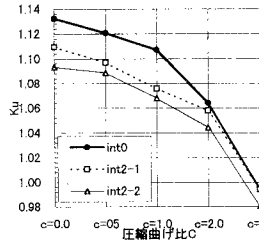


図-9 極限強度(円周継手によるへこみ,  $R/t=70$ )

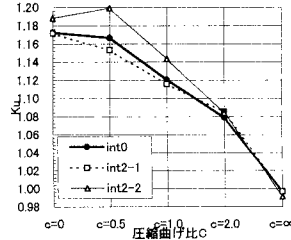


図-10 極限強度(円周継手によるへこみ,  $R/t=50$ )

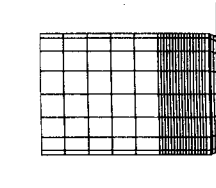


図-11 円周継手によるへこみ(int2シリーズ)

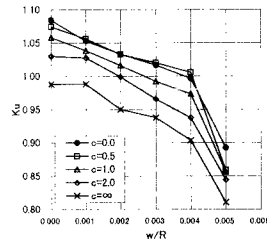


図-12 極限強度(円周継手によるへこみ,  $R/t=100$ )

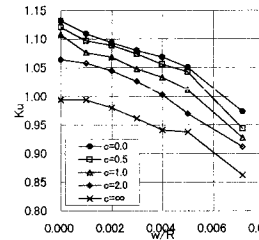


図-13 極限強度(円周継手によるへこみ,  $R/t=70$ )

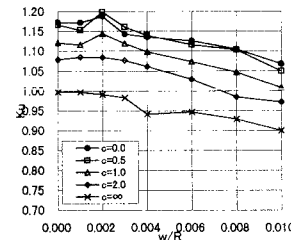


図-14 極限強度(円周継手によるへこみ,  $R/t=50$ )

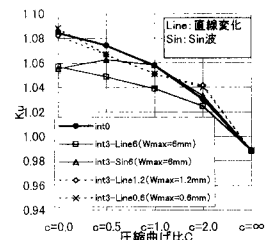


図-15 極限強度(鋼管の初期曲がり,  $R/t=100$ )

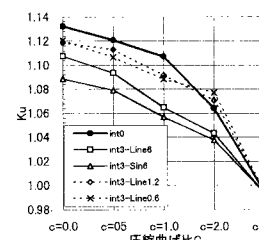


図-16 極限強度(鋼管の初期曲がり,  $R/t=70$ )

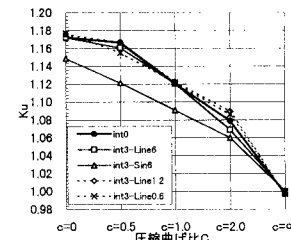


図-17 極限強度(鋼管の初期曲がり,  $R/t=50$ )

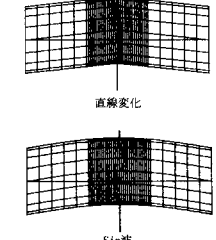


図-18 鋼管の初期曲がり(int3シリーズ)

【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, 大吞智正: 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.