

I - A 232

内圧を受ける鋼管の局部応力に対する幾何学的初期不整の影響

大阪大学大学院 学生員 二神 崇
大阪大学大学院 フェロー 西村宜男
株式会社鉄工所 正 員 竹内修治

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、水圧鉄管一般管胴部のスラストカラーの無い直管部を対象として、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、内圧を受ける鋼管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に代表的な解析モデルを示す。解析モデルの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。水圧鉄管のサイズとしては、表-1に示すとおりである。基本形状の調査を行い決定した。設定外力としては内圧のみを考える。境界条件としては、図-1のように鋼管端部の2節点の計6自由度を拘束し、載荷は荷重制御の手法で行った。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4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)の最終強度で除して、それぞれの影響を確認した。

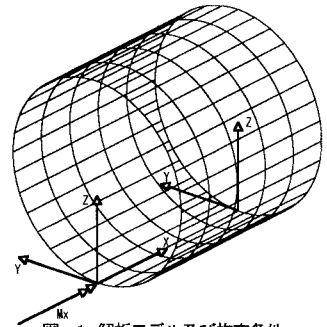


図-1 解析モデル及び拘束条件

- ①：初期不整なし(int0シリーズ、図-1)
- ②：縦継手における角折れ(int1シリーズ、図-2)
- ③：縦継手における目違い(int2シリーズ、図-3)
- ④：円周継手におけるへこみ(int3シリーズ、図-4)
- ⑤：円周継手における目違い(int4シリーズ、図-5)

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。②については、突出型・陥没型それぞれ最大たわみを許容値である11mm⁹⁾及び6mm, 1mmの3パターン、③については、目違い量を0.05

表-1 解析モデル諸元	
外径R	2250mm、1500mm
径厚比R/t	100、70、30
管長L(int1、2シリーズ)	4500mm
管長L(int3、4シリーズ)	9000mm

×10³⁾、目違いのパターンを図-3のような3パターン、影響範囲を図-3の角度 α° を縦継手位置から $\alpha=45^\circ$ まで変化させる。④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1mm⁹⁾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3mmに設定したモデルでの解析も行った。⑤については、目違い量を0.1×10³⁾とした。また表-2に解析モデル名の一覧を示す。

表-2 解析モデル名一覧

解析モデル	説明
int1-out-x	縦継手における角折れ：突出型、 $\angle_{\max}=\alpha$ (mm)
int1-in-x	縦継手における角折れ：陥没型、 $\angle_{\max}=\alpha$ (mm)
int2-Ax	縦継手における目違い：typeA、 $\angle=0.05\%$ 、影響範囲 $=\alpha^\circ$
int2-Bx	縦継手における目違い：typeB、 $\angle=0.05\%$ 、影響範囲 $=\alpha^\circ$
int2-C6-t	縦継手における目違い：typeC、 $\angle=0.05\%$ 、影響範囲 $=5.625^\circ$ 、縦継手中心と目違い部との距離 $=6t$
int2-C45-t	縦継手における目違い：typeC、 $\angle=0.05\%$ 、影響範囲 $=45^\circ$ 、縦継手中心と目違い部との距離 $=6t$
int2-C6-5t	縦継手における目違い：typeC、 $\angle=0.05\%$ 、影響範囲 $=5.625^\circ$ 、縦継手中心と目違い部との距離 $=5t$
int2-C45-5t	縦継手における目違い：typeC、 $\angle=0.05\%$ 、影響範囲 $=45^\circ$ 、縦継手中心と目違い部との距離 $=5t$
int3-1	円周継手におけるへこみ($\angle_{\max}=1\text{mm}$)
int3-3	円周継手におけるへこみ($\angle_{\max}=3\text{mm}$)
int4	円周継手における目違い($\angle_{\max}=0.1\%$)

3. 解析結果

図-6～11に本研究での解析モデルのうち、代表的なモデルについてのみの解析結果を示す。(他のモデルの解析結果については大会当日に示す。)また、本研究では鋼管降伏開始時にかかっている水圧を最終強度とした。図-6、7に縦継手における角折れを導入した場合の解析結果を示す。縦軸にそのモデルの鋼管降伏開始時にかかっている水圧を初期不整がないモデルの鋼管降伏開始時の水圧で除したP/Pint0をとり、横軸に図-6では径厚比、図-7では角変形量をとる。許容値である角変形量 $\angle=11(\text{mm})$ の場合、最大で約50%の強度低下が見られる。図-7の全体の傾向として $\angle$ が増加するに従って比例的に強度が低下している。また、突出型と陥没型に違いは見られない。図-8、9に縦継手における目違いを導入した場合の解析結果を示す。このモデルでは最大で約13%の強度低下が見られる。図-10の横軸には図-3のような影響範囲の角度 α° をとる。縦継手における目違いが最終強度に与える影響は、目違いの影響範囲に大きく左右されている。図-11に円周継手におけるへこみ及び目違いを導入した場合の解析結果を示す。これらモデルについては大きな強度低下は見られていない。

4. まとめ

解析結果をまとめると以下のようになる。①円周継手におけるへこみ及び円周継手における目違いの許容値が水圧鉄管の最終強度に与える影響は、水圧鉄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本研究で導入した幾何学的初期不整の中で強度に与える影響が最も大きかったのは縦継手における角折れであった。③縦継手における角折れを導入した場合、角変形量 $\angle$ が増加するに従い最終強度が比例的に低下する。④縦継手における目違いが最終強度に与える影響は、目違いの影響範囲に大きく左右される。

<参考文献>

- 1) 西村宜男、小野深、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.513/1-31、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

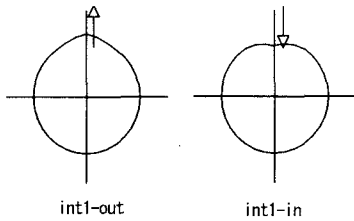


図-2 縦継手における角折れ

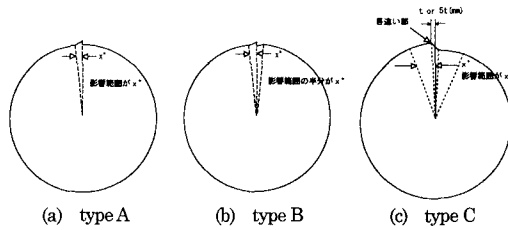


図-3 縦継手における目違い

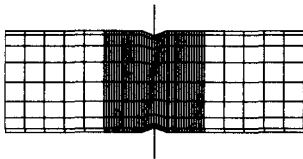


図-4 円周継手におけるへこみ

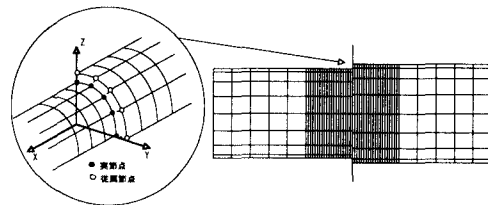


図-5 円周継手における目違い

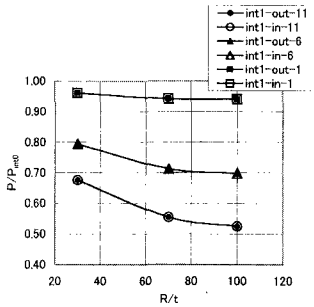


図-6 鋼管降伏時の水圧の比
(縦継手における角折れ)

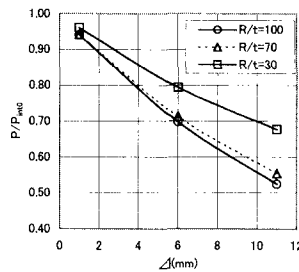


図-7 鋼管降伏時の水圧の比
(縦継手における角折れ)

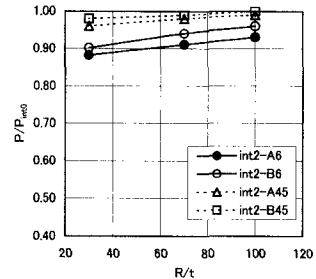


図-8 鋼管降伏時の水圧の比
(縦継手における目違い: type A, B)

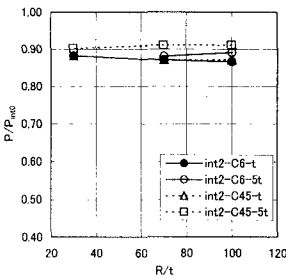


図-9 鋼管降伏時の水圧の比
(縦継手における目違い: type C)

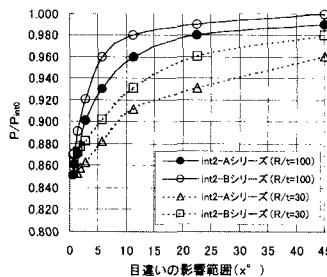


図-10 鋼管降伏時の水圧の比
(縦継手における角折れ)

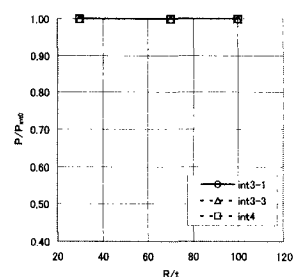


図-11 鋼管降伏時の水圧の比
(円周継手におけるへこみ及び目違い)