

中圧活管分岐工法用 ANHT[®] II型継手の開発

Development of Hot Tapping Fitting“ANHT[®]II- type”
for Medium-Pressure (less than 1 MPa) Gas Pipelines

藤井 伸孝 Nobutaka FUJII
日鉄住金パイプライン&エンジニアリング(株)
技術・品質本部 技術開発部長

青柳 成彰 Shigeaki AOYAGI
日鉄住金パイプライン&エンジニアリング(株)
技術・品質本部 技術開発部 技術開発室長

佐々木 和寿 Kazutoshi SASAKI
日鉄住金パイプライン&エンジニアリング(株)
技術・品質本部 技術開発部
技術開発室 マネージャー

池田 里恵 Rie IKEDA
日鉄住金パイプライン&エンジニアリング(株)
技術・品質本部 技術開発部
技術開発室 マネージャー

久保 幸範 Yukinori KUBO
日鉄住金パイプライン&エンジニアリング(株)
技術・品質本部 技術部
大阪技術室 マネージャー

赤坂 政芳 Masayoshi AKASAKA
新日鉄住金エンジニアリング(株) 技術本部
技術開発第一研究所
溶接・防食・材料評価技術室 シニアマネージャー

抄 録

中圧活管工法用継手である ANHT[®] (ANshin Hot Tapping) 型継手は既に実用化され数多くの施工実績を有している。今回、小型で溶接線の少ない ANHT[®] II 型継手を新たに自社開発し、商品ラインアップを充実させた。本稿では、ANHT[®] 型と ANHT[®] II 型継手の構造的な違い、ANHT[®] II 型継手の各種性能試験結果、実用化状況について紹介する。

Abstract

The original hot tapping fittings (ANHT[®]-type) have many business records applied for the medium-pressure natural gas pipeline (less than 1 MPa). NIPPON STEEL & SUMIKIN Pipeline & Engineering Co. Ltd., as a reputable onshore pipeline construction company, has just developed new fittings (ANHT[®] II - type), which are more compact in size and have less welded parts than before, thus we increase the variety of fitting. This paper presents the summary of new fittings including the manufacturing process, the mechanical properties and the limit deformations by the full scale tests and FEM.

1 緒言

都市ガスの供給を中断することなく、既設の中圧都市ガス導管(表1)からの分岐管取出しや本管部の閉塞を行う活管分岐工法の継手として自社開発した ANHT[®] 型継手は2010年1月の初採用後これまで、国内のガス事業者向けに数多く採用され施工実績を重ねてきた。

当社は、圧力損失の少ない従来仕様の ANHT[®] 型継手に加えあらたに本管部、分岐管部いずれも熱間

表1 都市ガスの仕様

Table 1 Specification of City Gas

流体	天然ガス 精製都市ガス (常温)
最高使用圧力	1 MPa 未満(中圧 A,B)

表2 継手の種類

Table 2 Size Assortment

型名	継手の種類	口径
ANHT [®] 型	同径分岐	150A, 200A, 300A
	異径分岐	150A, 200A
ANHT [®] II 型	同径分岐	100A, 150A, 200A, 300A, 400A

枝出し加工により成形した小型で溶接線の少ない ANHT[®] II 型継手を自社開発し、商品ラインアップを充実させた(表2)。

本稿では、ANHT[®]型継手と同様に材料の製造から加工および組立てまでの全てを国内で実行・管理可能な純国産 ANHT[®] II 型継手の開発と実用化状況について報告する。

2 ANHT[®] II 型継手の開発経緯と構造

2.1 ANHT[®] II 型継手の開発経緯

数多くの現場で施工実績を有する ANHT[®]型継手は、図1に示す通り、胴体となる鋼管に熱間枝出し加工を施し分岐部を成形後、鋼板から曲げ加工により製造したサドル板を溶接により胴体サドル部に取付けられ、その後、本管の管芯位置で水平に切断し、上部フィッティングと下部フィッティングに分割する構造である。このような溶接組立のため、ANHT[®]型継手は構成する部品の組み合わせ方を変更することにより分岐部位置を変えるなど多様な継手構造が可能である。一方で、サドル部の溶接接合と分岐部との干渉を避けるために継手本体の高さ方向がやや長く、現地での作業性の観点で改善の余地があったことから、継手のコンパクト化を目指し ANHT[®] II 型継手の開発に着手した。

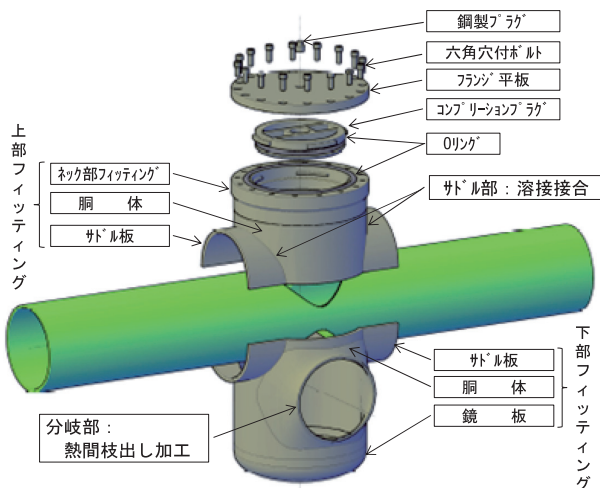


図1 ANHT[®] II 型継手部品構成図(同径分岐継手)
Fig. 1 ANHT[®] Typical Side-Out Fitting

2.2 ANHT[®] II 型継手の構造

(1) 継手本体

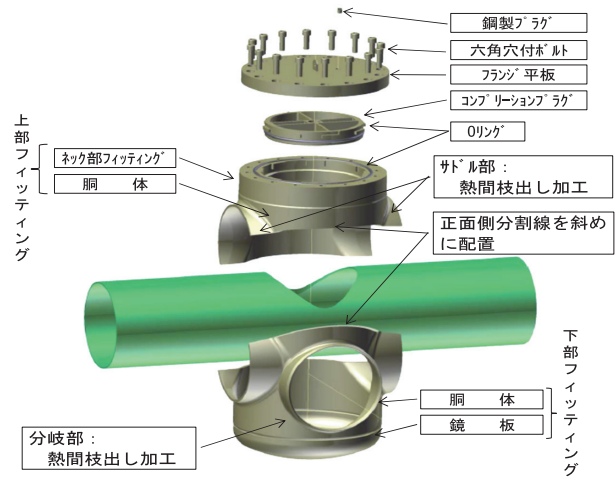


図2 ANHT[®] II 型継手部品構成図(同径分岐継手)
Fig. 2 ANHT[®] II Typical Side-Out Fitting

ANHT[®] II 型継手は、図2に示す通り、サドル部の溶接接合を排して分岐部の上方配置を可能とした構造である。胴体の径を見直し、サドル部、分岐部いずれも熱間枝出し加工による成形としたことに伴い、分岐部側の分割線を本管の管芯位置より上から斜め方向に配置することで継手本体の高さ方向のコンパクト化を果たした(図3)。

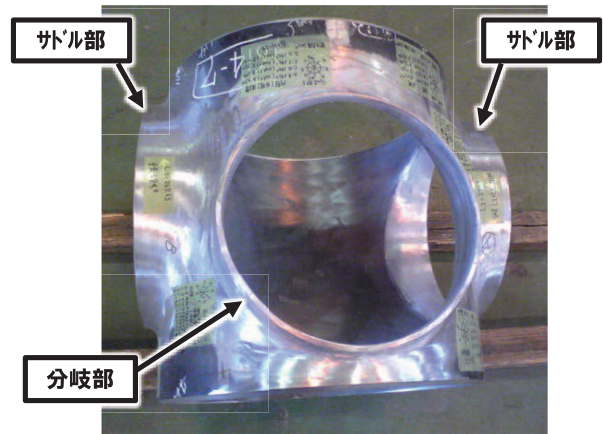


図3 熱間枝出し加工による成形
Fig. 3 Branch Connection

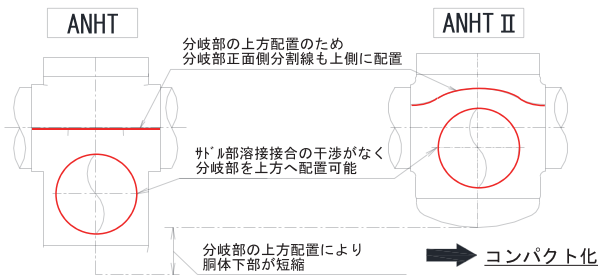


図4 ANHT[®]型と ANHT[®] II 型の継手形状
Fig. 4 Comparison of ANHT[®] and ANHT[®] II

(2) ネック部

ネック部は ANHT[®] 型継手での多数の施工実績により高い安全性と優れた作業性が実証された嵌合構造(図5)を採用した。ネック部に嵌合する ANHT[®] 型コンプレッションプラグは「止まるまで」の操作で取付けを完了するため作業性に優れている。

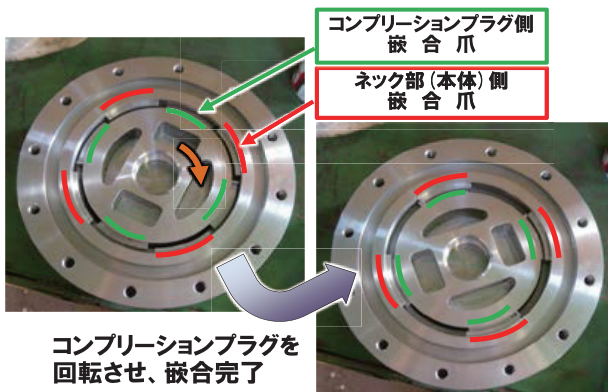


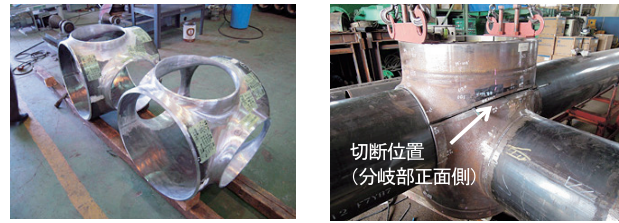
図5 コンプレッションプラグの嵌合構造
Fig. 5 Completion Plug

3 ANHT[®] II 型継手の開発

3.1 継手製造方法

ANHT[®] II 型継手の製造方法を以下に示す。

- ① 胴体となる鋼管に熱間枝出し成形を施し、分岐部、サドル部を成形した後、胴体としての所定長さに切断し開先加工する(図6(a))。
- ② 鋼板(SS400(JIS G 3101))から機械切削で製造したネック部フィッティングと鋼板(SS400)をプレス加工した鏡板を胴体へ溶接により取り付ける。
- ③ 胴体となる鋼管を斜めに切断・分割する(図6(b))。分岐部正面側の切り込みは分岐部の上側、分岐部背面側は分割線を水平とすることで現地作業性を確保した。



(a) 熱間枝出し成形後 (b) 胴体切断後
図6 継手製造工程
Fig. 6 Manufacturing Process of Fittings

3.2 継手製造の技術的課題と対応方法

(1) 熱間枝出し成形

ANHT[®] II 型継手の胴体は、金型を使用せずに分岐部およびサドル部の三方を熱間枝出し加工成形により製造することを特徴としている。熱間枝出し加工成形では枝出し部の真円度、枝出し高さおよび板厚が連動して変動するため開先寸法精度の確保が難しい加工法である。さらに、サドル部においては両端サドル部の通り芯を合わせなければならず、枝出し部の相互位置も高い寸法精度が要求される。そこで、t/D を考慮した素材選定、成形手順の最適化に併せて、加工治具の改良を図ることで、寸法精度の確保を可能とした。

(2) 十字継手の回避

ANHT[®] II 型継手100A 用、150A 用ならびに200A 用の胴体には ANHT[®] 型継手と同様に継目無鋼管(STPT370-S)を用いることとした。一般に入手可能な継目無鋼管の上限は呼び径400A である。ANHT[®] II 型継手300A 用ならびに400A 用の胴体には呼び径500A 以上の鋼管が必要であったことから、配管用アーク溶接炭素鋼鋼管(STPY400)を用いることとした。STPY400は製造方法上、管軸方向に長手継手(以下、縦シーム)を有しており、この縦シームを胴体に不適切に配置すると、現地溶接線となる上・下部フィッティングの分割線とが交差する十字継手が生じる。隣接する縦シーム間の距離については、「ガス工作物技術基準・同解釈例の解説(日本ガス協会)」第64条の規定に「JIS B 8265(2003)「圧力容器の構造—一般事項」の「6.1.5隣接する長手継手間の距離」によらなければならない」と示されており、縦シームと周継手とが交差する十字継手は避けなければならない。そこで、ANHT[®] II 型継手では胴体の縦シームをサドル部枝出し成形で分断される位置に適切に配置することで十字継手を避

け、かつ離隔距離を確保することを可能とした。

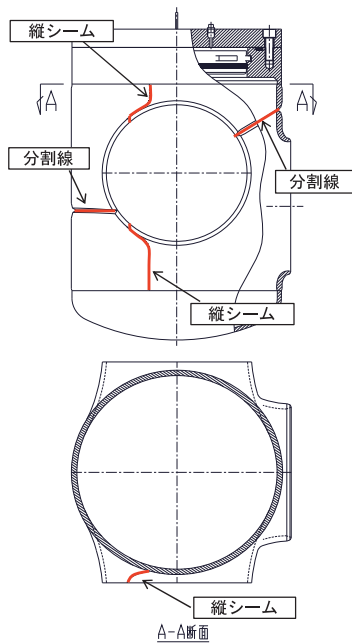


図7 ANHT® II型継手胴体の縦シーム位置
Fig. 7 Longitudinal Seam Welded Joint of ANHT® II

4 ANHT® II型継手の性能評価

4.1 継手材料の健全性確認

本管にANHT® II型継手を溶接して取付けた試験体から試験片を取り出し、主要材料の機械的性質を確認した。継手を構成する主要材料は胴体のSTPT 370-SとSTPY400であり、継手を取付ける本管材料は鋼管SGPである。これら材料の機械的性質の一例を表3に示す。

継手溶接部の健全性については複数個所でマクロ断面を観察し、何れの断面もビード形状がよく、良好な継手であることを確認した。また、母材、熱間

表3 継手材料特性

Table 3 Tensile Properties of Tested Fittings and Pipes

Part and Grade	Specimen No.	YS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	EI (%)
Fitting body Spec. STPT370-S (JIS G 3456)	Grade requirements	≥215	≥370	≥30
	No. 1	288	462	39
	No. 2	294	462	39
Fitting body Spec. STPY400 (JIS G 3457)	Grade requirements	≥225	≥400	≥18
	No. 1	255	449	36
	No. 2	262	452	36
Pipe Spec. SGP (JIS G 3452)	Grade requirements	—	≥290	≥30
	No. 1	384	476	39
	No. 2	393	478	39

YS : Yield Strength TS : Tensile Strength EI : Elongation

塑性加工部および溶接熱影響部等のマイクロ組織を観察し、この材料強度クラスとして一般的なフェライトパーライト組織であることを確認した。マクロ断面とマイクロ組織の観察例を図8、図9に示す。

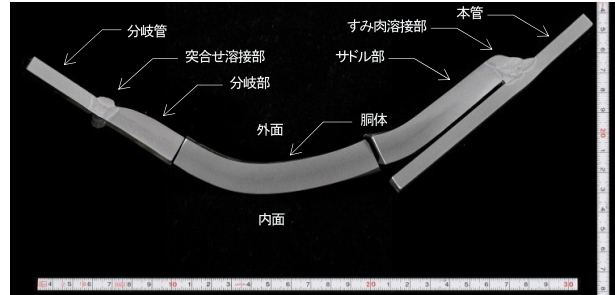


図8 マクロ断面写真(分岐部孔芯断面)
Fig. 8 Example of Macrostructure

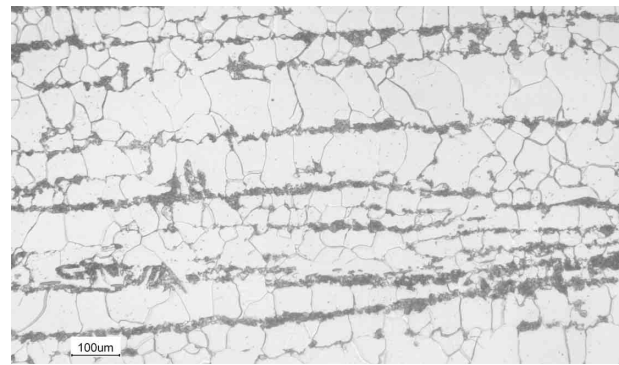


図9 ミクロ組織(熱間塑性加工部)
Fig. 9 Example of Microstructure

4.2 载荷試験

(1) 試験体

実施工手順に準じ、本管を模した鋼管に継手を溶接して取付けたものを試験体とした。鋼管には予め実機穿孔機による穿孔を模した加工を施した。試験体は継手サイズが100A用と400A用の2タイプ、鋼管は呼び径(公称外径(OD))で100A(114.3mm)と400A(406.4mm)である。引張载荷にはNo. 1、曲げ载荷にはNo. 2とNo. 3を供し、試験体数を合計3体とした。表4に試験条件を示す。

表4 試験条件

Table 4 Loading Test Condition

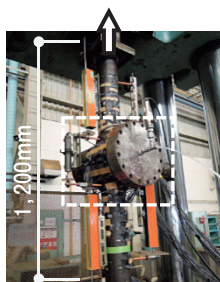
Test No.	Fitting Size	Loading	Pipe Grade	Pipe dimensions		Span Length (mm)
				OD (mm)	WT (mm)	
No. 1	100A	Tension	SGP	114.3	4.5	1,200
No. 2	400A	Bending	SGP	406.4	7.9	10,700
No. 3						

OD : Outside Diameter WT : Wall Thickness

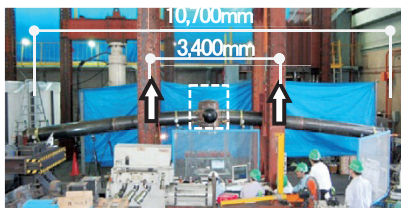
(2) 試験方法

引張载荷では、スパン1,200mmの両端に载荷用治具を取り付け、スパン中央に継手をセットした。漏洩検知用空気圧(0.1MPaゲージ圧)を負荷した後、引張载荷は試験体両端の治具を試験機チャックでつかみ、変形の進行を考慮しつつ荷重を与え、荷重が低下する変位まで载荷した。引張载荷には最大荷重4MN、ストローク340mmの万能試験機を使用した。

曲げ载荷の全長は支持点長さ10,700mm、等モーメント区間長さ3,400mmとし、両端支持スパンの中央に継手をセットした。漏洩検知用空気圧(0.1MPaゲージ圧)を負荷した後、4点曲げ取付け治具を試験機チャックでつかみ、変形の進行を考慮しつつ試験体に荷重を与え、荷重が低下する変位まで载荷した。曲げ载荷には押し引き500kN、ストローク1,050mmの油圧ジャッキを2台使用した。载荷装置への試験体セット状況を図10に示す。



(a) 100A 引張試験 (No. 1)



(b) 400A 曲げ試験 (No. 2)

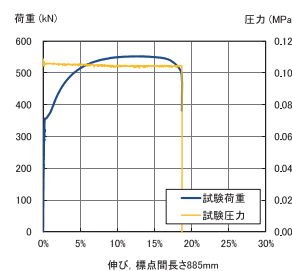
図10 引張および曲げ試験(試験体セット状況)
Fig. 10 Test Set-Up of Tension Test and Bending Test

(3) 試験結果

引張では载荷により降伏が生じた後、引張変形が進行し荷重が低下したところで本管が破断して試験を終了した。荷重と伸び(標点間長さ886mm)の関係を図11(a)に、試験体の変形状況(終局状態)を図11(b)に示す。試験では試験体に引張荷重を作用させ最大荷重を記録した後、継手と上部载荷用治具の

ほぼ中央位置で本管が破断したが、この破断に至るまで漏洩は生じないことを確認した。

曲げでは载荷により降伏が生じた後、一様曲げ変形が進行し荷重が低下したところで試験を終了した。No.2は最大曲げモーメントを記録した後、継手と本管の隅肉溶接部から約50mmはなれた本管の曲げ圧縮側が凸状に局部座屈した。No.2の曲げモーメントと曲げ角度(継手から1.5D位置)の関係を図12(a)に、試験体の変形状況を図12(b)に示す。継手天地をセット変えたNo.3は最大曲げモーメントを確認したのち取付け治具わきの本管溶接部近傍で座屈が生じ、载荷を終了した。No.2、No.3とも载荷終了後も試験荷重を除荷するまで圧力変化が大きく変動することはなく継手構造の内圧漏洩は生じないことを確認した。また、継手自体に外観上大きな変形、損傷は見られなかった。

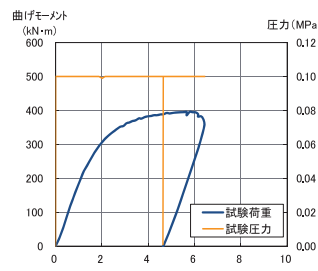


(a) 荷重と変位の関係

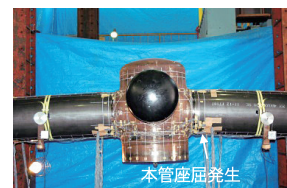


(b) 終局状態

図11 引張試験結果 (No. 1)
Fig. 11 Experimental Result for Tension Test



(a) 曲げモーメントと曲げ角度の関係



(b) 終局状態

図12 曲げ試験結果 (No. 2)
Fig. 12 Experimental Result for Bending Test

4.3 数値解析

(1) 解析ケース

表5に解析ケースを示す。前述の実物大载荷試験を実施した継手サイズ100A用引張(No.1)および400A用曲げ(No.2)については、解析を行い試験結果と比較・検証することで解析モデルの妥当性を確

認した。100A用と400A用で構築した数値解析手法を用いて、全継手サイズについて数値実験により曲げ載荷と引張載荷の継手変形性能を確認し、耐震性の評価を行った。解析条件を表6に示す。使用要素はシェル要素を基本とし、ネック部およびすみ肉溶接部はソリッド要素とした。図13に解析モデルを例示する。

表5 解析ケース
Table 5 Load Cases in FEA

口径	モデル評価 (妥当性確認)	変形性能評価 (数値解析)	耐震性評価 (数値解析)
100A	○(引張)	○(引張・曲げ)	○
150A	—	○(引張・曲げ)	○
200A	—	○(引張・曲げ)	○
300A	—	○(引張・曲げ)	○
400A	○(曲げ)	○(引張・曲げ)	○

表6 解析条件
Table 6 Condition of FEA

解析コード	汎用有限要素解析ソフト MSC_Marc2012Ver. 1.0
使用要素	継手本体：シェル要素 ネック部およびすみ肉溶接部：ソリッド要素
材料特性	管材の材料特性を折れ線で近似 ポアソン比： 0.3 弾性定数： $E=2.058 \times 10^5$ MPa
負荷条件	内面への圧力0.1MPa (ゲージ圧)

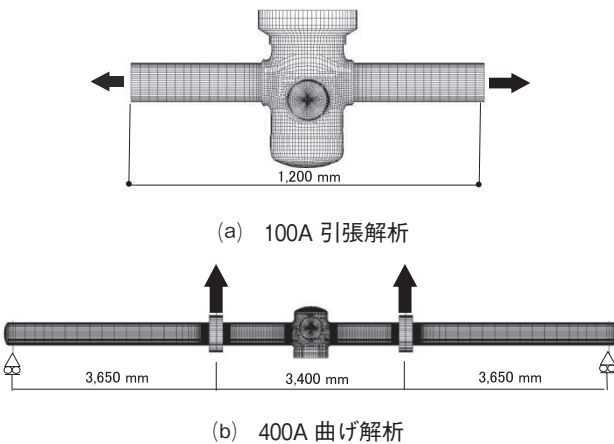


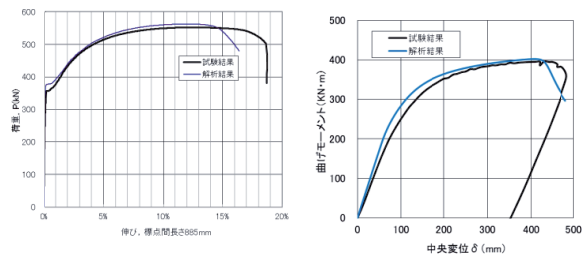
図13 解析モデル
Fig. 13 Finite Element Models

(2) モデル評価

載荷試験を実施した継手サイズ100A用引張および400A用曲げの解析結果と試験結果を比較して図14に示す。また、最大荷重時または最大曲げモーメント時の変形状況と外表面相当ひずみコンターを図15に示す。

引張では、試験荷重より解析の方が最大荷重はわずかに大きく、解析の方がより早く荷重の低下が見

られたが全体的に大きな差はなく、引張試験荷重と変位の関係はほぼ有限要素法で解析可能である。曲げでは、試験より解析の方が最大曲げモーメントはわずかに大きく、試験より早く曲げモーメントが低下したが曲げモーメントの増加から降伏、さらに局部座屈による最大曲げモーメントの発生の傾向は解析と試験でほぼ対応が取れており、曲げモーメントと変位の関係は試験と比較的良好一致を示すことが確認できた。以上より、本管に継手が取り付けられた状態の解析モデルについて妥当性を確認した。



(a) 荷重と伸びの関係 (100A 引張) (b) 曲げモーメントと変位の関係 (400A 曲げ)

図14 試験結果と解析結果の比較
Fig. 14 Comparison of Experiment and FEA

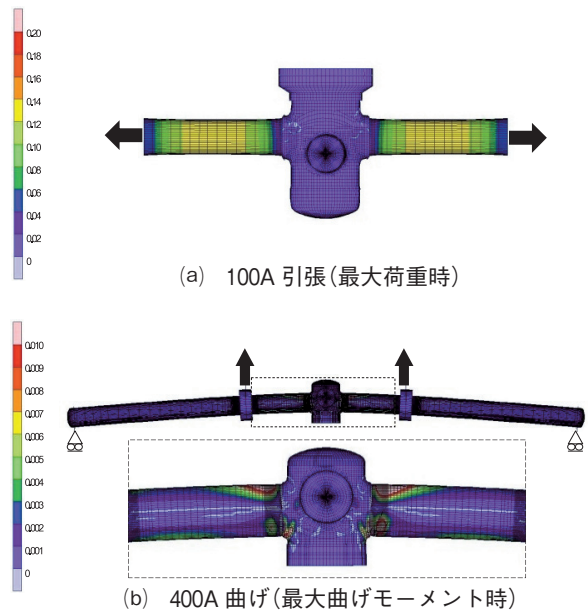


図15 解析結果(外面の相当塑性ひずみ分布)
Fig. 15 Equivalent Plastic Strain Contour

(3) 変形性能評価

継手の全サイズ(100A, 150A, 200A, 300A, 400A)について、前述の解析モデルを用いて数値実験により4点曲げ載荷と引張載荷の変形性能を確認した。150Aを例に、最大引張試験荷重時と最大曲げモー

メント時の変形状況を図16に示す。各サイズについて、引張と曲げいずれも継手部より先に本管が終局状態に達することを確認した。

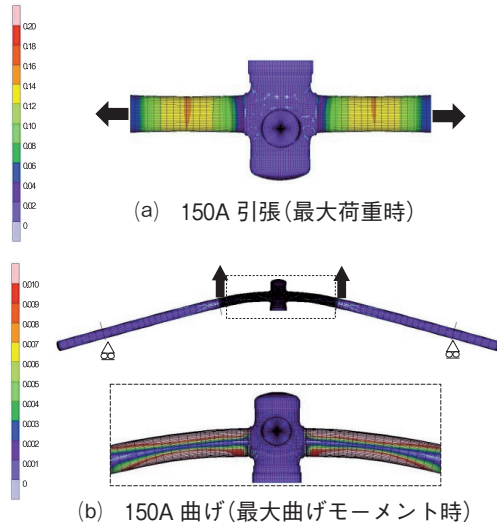


図16 解析結果(外面の相当塑性ひずみ分布)
Fig. 16 Equivalent Plastic Strain Contour

(4) 耐震性評価

本継手構造を有する中圧ガス導管は「中低圧ガス導管耐震設計指針(日本ガス協会)」により耐震的配管系であると判別できることを確認した。ここでは「高圧ガス導管耐震設計指針(日本ガス協会)(以下、「高圧ガス耐震」という。)」に定められた方法を参照し、継手構造としての耐震性について検討を行った。

地震動により本管に発生する軸ひずみの振幅を0.2%と想定し、軸ひずみ0.4%相当荷重の載荷、除荷を2サイクル以上、本管に与えたときの継手の局部ひずみへの影響について、0.4%相当荷重の繰り返しと1%荷重載荷後の0.4%相当荷重の繰り返しの2通りのケースを確認した。継手サイズ100A用を例に、解析結果を図17に示す。

解析結果より、本管の管体ひずみ $\pm 0.2\%$ に対応する継手の局部最大ひずみ振幅は $\pm 0.2\%$ 未満であり、載荷・除荷のサイクルを繰り返しても継手の局部最大ひずみが増加する傾向にはなく、これと同様の結果が全継手サイズで確認できた。したがって、地震動による繰り返し負荷に対して、継手の局部最大ひずみは本管よりも小さく、継手部には高圧ガス耐震で想定されているひずみ集中係数を想定すれば十分と考えられる。

高圧ガス耐震によれば、レベル1地震動ではひずみ振幅1%を直管の許容ひずみとしている。これに

対し、本継手構造を有する導管のレベル1地震動に対する許容ひずみは、前述のひずみ集中係数を考慮したものに相当し、地震動による管路の発生ひずみがこの許容ひずみ以下であれば耐震設計上安全であるといえる。

地震時の管路の発生ひずみは地盤表層の繰り返し変位を5cm、波長を200mと仮定した場合、0.16%程度で、これは前述の許容ひずみ以下となるため、低サイクル疲労によるき裂進展の懸念はなく、耐震設計上安全であるといえる。

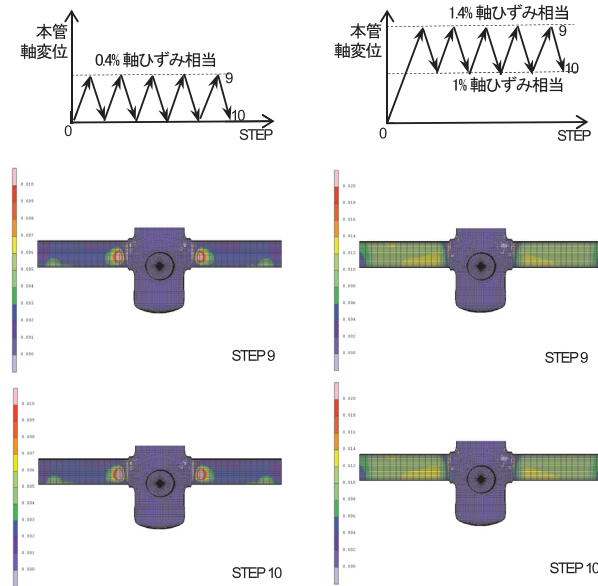


図17 解析結果(外面の相当塑性ひずみ分布(100A用))
Fig. 17 Equivalent Plastic Strain Contour

4.4 圧力損失

本管から継手部に流入したガスは継手内で複雑な流路を經由して分岐管側へ流出するため、大きな圧力損失の発生が懸念される。そこで、圧力損失量の定量的な評価が可能な数値解析モデル(図18)を構築し、数値解析によるシミュレーションを行った。この結果(図19)、国内のガス事業者殿に採用されている他社製の活管分岐継手同等以上の圧力損失レベルであり、実用上問題ないことを確認した。

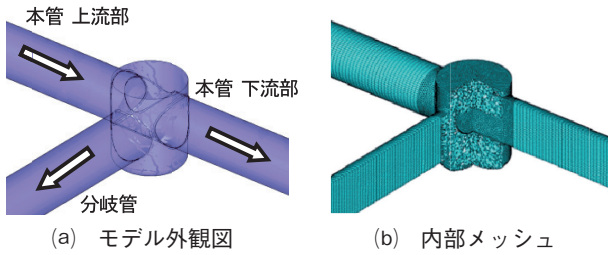


図18 解析モデル
Fig. 18 Models of Fluid Flow

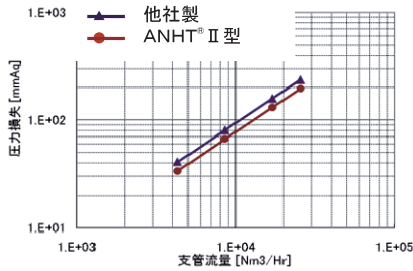


図19 分岐管と本管上流部の圧力差(圧力損失)
Fig. 19 Analytical Result of Pressure Loss

5 実用化状況

5.1 ANHT[®]型継手の施工実績

表7に示す通り、2010年1月の初採用後、これまで数多くの実績を積み重ねている。

表7 施工実績一覧表
Table 7 Installation Records of ANHT[®]Type

年度	施工実績(継手数)		
	150A	200A	300A
2009	1	—	—
2010	8	3	—
2011	7	7	1
2012	7	5	3
2013	6	1	—
2014(8/未現在)	—	2	4

5.2 ANHT[®] II型継手の実用化状況

ANHT[®] II型継手(100A用, 150A用, 200A用, 300A用, 400A用)については、2014年4月に東京ガス(株)の製品仕様書に掲載いただいた。他ガス事業者も含め、今年度中に現場導入予定である。

6 結言

ANHT[®] II型継手の材料健全性確認、実物大の継手を使用した載荷試験、シミュレーション解析を実

施し、変形状況と終局状態を確認し、本管が破断又は座屈するまで継手に破壊が生じないことを確認した。また、耐震性について安全性も確認した。これにより、ANHT[®] II型継手が中圧用活管分岐工継手として安全に使用可能であることが証明されたと言え、従来仕様のANHT[®]型継手に加え商品ラインアップが充実した。

また、穿孔機器に関しても自社開発を完了し現場導入も数件進めており、継手同様、国内のガス事業者殿に向けて施工実績を積み重ねていきたい。

最後に、本継手の開発にあたり、東京ガス(株)には長きにわたり多くの助言を頂いた。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 青柳ら：国産活管分岐工法用継手の開発 ～新型式継手(ANHT[®]型継手)の実用化～, 新日鉄エンジニアリング技報 Vol. 3(2012)
- 2) 日本ガス協会：ガス工作物技術基準・同解釈例の解説(4次改訂版)
- 3) 日本ガス協会：高圧ガス導管耐震設計指針(2013)
- 4) 日本ガス協会：中低圧ガス導管耐震設計指針(2013)