

## Expandable Tubular用油井管の使用性能評価・予測技術の開発

Development of Evaluation and Prediction Technology for the Performances  
of Solid Expandable Tubular Pipe阿 形 淳\*  
Jun AGATA津 留 英 司  
Eiji TSURU澤 村 充  
Mitsuru SAWAMURA中 村 英 幸  
Hideyuki NAKAMURA尾 崎 雅 和  
Masakazu OZAKI岩 本 修 治  
Shuji IWAMOTO本 吉 卓  
Takashi MOTOYOSHI次 原 英 文  
Hidefumi TSUGIHARA

## 抄 録

Expandable tubular 用油井管は、地中に降下後、拡管されることで油井掘削コストの削減を可能とする。この油井管には致命的な破断が発生しない拡管性が要求されるほか、拡管による機械的特性の変化を考慮した材料開発を行う必要がある。Expandable tubular 用油井管の高周波電気抵抗溶接鋼管の開発にあたり、その使用性能である拡管性と圧潰強度の実験、数値解析による評価、予測技術を検討した。その結果、要求拡管率に応じて必要な鋼管諸特性の制御範囲を明らかにしたほか、拡管後の圧潰強度の高精度な予測技術を開発し、信頼性の高い Expandable tubular 用材料の開発に大きく貢献した。

## Abstract

Oil well construction utilizing tubular expansion technology is a revolutionary technology that allows for dramatic reductions in the cost of drilling. The major problem with expandable tubular pipe is its tendency to readily experience expansion fractures. In addition, development of expandable tubular material should be carried out by considering the difference in mechanical properties before and after expansion. In this study, evaluation and prediction technologies of expandability and collapse resistance were investigated by using the experiments and numerical simulations for high frequency electric resistance welding pipe. The results reveal the relevant combination of the pipe geometries and the material properties for preventing the expansion failure. Furthermore, collapse prediction technology which is capable of evaluating the post-expanded collapse was developed. This research work contributed to development of expandable tubular material with high reliability.

## 1. 緒 言

Expandable tubular (EXP) 油井管は近年油井の掘削に使用され始めた油井管の1つであり、地中に降下された後、その直径を広げる塑性加工(拡管)を受けることが最大の特徴である。従来の油井と EXP 油井管を使用した油井の概念図を図1に示す。

従来の油井の構造は図1(a)に示すように、地下深くの油井管の直径に対し、地表近くの管径が非常に大きい。EXP 油井管は図1(b)に示すように、摩耗や腐食等で損傷した部分に、内面から鋼管を拡管してあてがうことで補修することができる。また、図1(c)に示すように油井全体をスリム化することで掘削コストの削減をすることがで

きる。例えば、油井では地中に降下した油井管の下端から別の油井管を吊下げるライナーハンガーが使用されるが、通常は機械的な吊下げ機構が必要となる。しかし、EXP 油井管を拡管することで鋼管どうしを密着させ、粘着剤等で支持力を確保することで吊下げ機構を省略し、油井のスリム化を可能とする。また、将来的には図1(d)に示すように、拡管により地表から地中まで同じ直径とする油井の構想も存在する。

従来、油井管には強度、靱性などの他、地中での高圧に対する圧潰強度や耐サワー性などが要求される。これに対して EXP 油井管には従来の性能に加え、拡管に際して破断や過大なくびれを起こさない変形能(拡管性)が必要となる。また拡管によって鋼管製造時の機械的特性や鋼管の

\* 鉄鋼研究所 研究企画室 主査 兵庫県尼崎市扶桑町1-8 〒660-0891

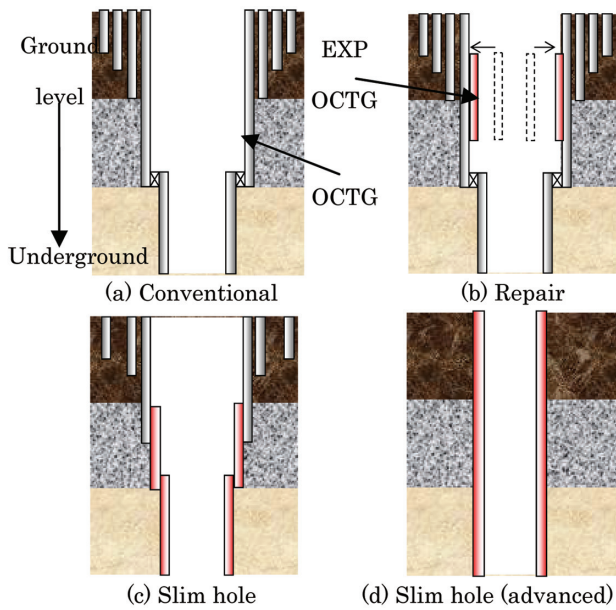


図1 EXP 油井管の使用例  
Examples of EXP OCTG use

形状が大幅に変化するため、拡管後の使用性能を正確に予測する必要がある。

以上のような EXP 油井管の特徴を踏まえ、新日鐵住金(株)では同油井管に対する市場ニーズに応えるべく、EXP 油井管用の材料開発を行うとともに、製品の信頼性向上を目的として使用性能の評価、予測技術の確立に取り組んできた<sup>2)</sup>。本研究では拡管性および拡管後の圧潰強度に着目し、実管を使用した性能評価試験により拡管がそれらの使用性能に及ぼす影響を明らかにした。さらに数値解析技術を用いて拡管後の圧潰強度を高精度に予測可能とした。

## 2. 実験方法

EXP 油井管は出荷後に油井掘削現場で拡管されるため、その変形に耐えるよう材料設計および製造条件の決定を行う必要がある。また、拡管による材料特性の変化、およびその結果としての使用性能を精度よく予測することが油井の安全性を確保するために必要となる。そこで、油井での拡管を再現した拡管試験機を開発し、実製品の拡管性を精度よく評価するとともに、拡管後の鋼管を用いて使用性能である圧潰強度の測定を行った。

### 2.1 実験に使用した鋼管

本研究では拡管性および拡管後の圧潰強度を評価する実管試験の材料として、鋼板をロール成形により円形にした後、鋼板端部を溶接した高周波電気抵抗溶接鋼管 (ERW 鋼管) を使用した。鋼管のサイズは外径 (D) 193.7 mm、肉厚 (t) 9.53 mm である。ERW 鋼管は通常、ロール成形に起因して鋼管円周方向に強度分布が存在するが、これを解消するため、鋼管全体に焼き入れ・焼き戻し熱処理を施した。鋼管の円周方向から直径 6 mm の丸棒引張試験片を採取し、

引張試験により測定された応力ひずみ曲線を図2に、その機械的特性を表1に示す。

### 2.2 拡管試験

図3に EXP 油井管の拡管方法について概要図を示す。一般的に EXP 油井管はその片端に管よりも直径の大きい拡管用プラグを装着した状態で油井内に降下される。そして水圧や機械動力等でプラグを押し進めることで、鋼管の内径がプラグの外径まで拡大される。通常は鋼管の直径が拡大することで管全体の長さはやや縮むが、周囲の地層から変形が拘束されると管軸方向に引張応力が発生するケースもあり、拡管性を評価する際はこの2通りを考える必要がある。

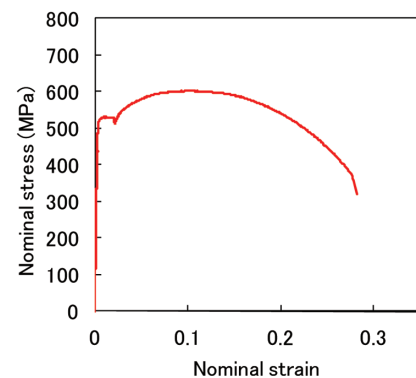


図2 使用材料の応力ひずみ曲線  
Stress-strain curve of tested material

表1 使用材料の機械的特性  
Mechanical properties of tested material

Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Uniform elongation (%)	Total elongation (%)
522	602	10.1	28.9

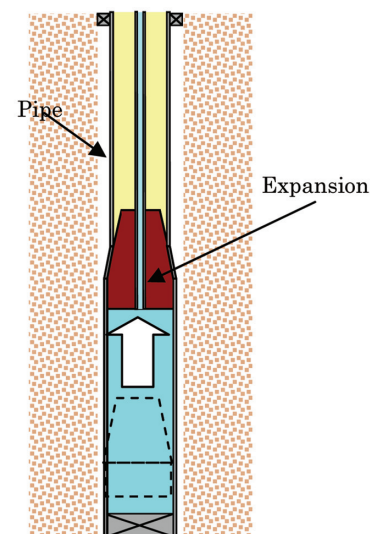


図3 EXP 油井管の拡管方法例  
Example of expansion method of EXP OCTG

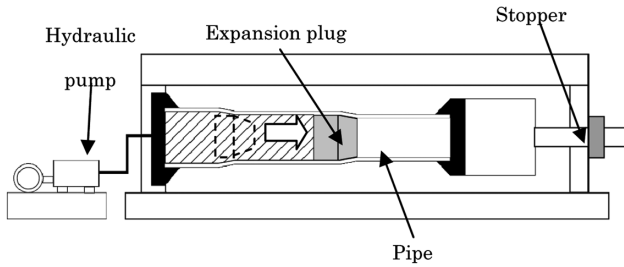


図4 拡管試験機概要図  
Schematic drawings of expansion tester

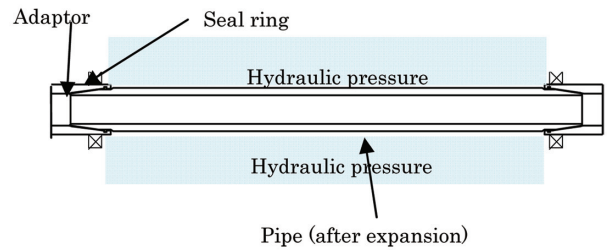


図5 圧潰試験概要図  
Schematic drawings of collapse test

表2 実管試験条件一覧  
Full-scale test conditions

Expansion ratio (%)	Fixed/Free	Collapse test
17	Free	○
	Fixed	
23	Free	○
	Fixed	
28	Free	
	Fixed	

図4に開発した拡管試験機および拡管試験に用いた試験体の概要図を示す。プラグの背面から高压水を注入することでプラグを押し進め、拡管を行う。実油井で発生する軸方向収縮を拘束させる手段として試験機にはストッパーを設け、これを試験機のフレームに接触させることで管軸方向の軸力を発生させることを可能にした。

表2に拡管試験の条件を示す。拡管率は(拡管後の内径-拡管前の内径)/(拡管前の内径)×100(%)で定義し、17、23、28%の3種類とした。さらに、それぞれの拡管率についてストッパーを用いて軸方向収縮を拘束するケース(Fixed)と、ストッパーを使用せず鋼管の軸方向収縮が発生するケース(Free)の2種類の試験を実施し、試験中の変位拘束が拡管性に及ぼす影響を評価することとした。

### 2.3 圧潰試験

図5に圧潰試験方法の概要を示す。試験体の両端部に水圧シール用のリングを取り付け、拡管後の鋼管に外から水圧をかけることで鋼管を圧潰させる構造である。鋼管の長さは、管端の拘束の影響を考慮し、外径の10倍以上とした。圧潰試験は表2に示すように、変位拘束なしで17%、23%拡管後の鋼管各3本について実施し、拡管前の圧潰強度と比較を行った。

### 2.4 機械的特性、鋼管形状の測定方法

EXP油井管の拡管性は、拡管前の材料強度や変形能、肉厚分布に大きな影響を受ける。また、鋼管の圧潰強度は、従来の研究<sup>3,4)</sup>から外径/肉厚比(D/t)、円周方向の圧縮降

伏応力(C-YS)、真円度、偏肉度、残留応力などに支配されることが明らかとなっている。そのため、拡管性や圧潰強度などの使用性能を正確に評価するためには、材料の機械的特性や鋼管の形状を適切に測定する必要があり、本研究では以下のような方法で測定を行った。

- 真円度、偏肉度

鋼管の外径、内径の形状を3次元非接触式の形状測定装置で測定し、そのデータをもとに算出した。真円度、偏肉度は以下の式で計算した。

$$\text{真円度}(\%) = (\text{最大外径} - \text{最小外径}) / (\text{平均外径}) \times 100$$

$$\text{偏肉度}(\%) = (\text{最大肉厚} - \text{最小肉厚}) / (\text{平均肉厚}) \times 100$$

偏肉度は溶接部の左右5度の範囲は除外して算出

- C-YS

鋼管の円周方向から直径6mm、高さ12mmの円柱圧縮試験片を採取し、その圧縮試験から得られた応力ひずみ曲線より求めた。試験片の採取位置は溶接位置を0°として90°おきに4か所、肉厚中心とし、C-YSは4点の0.2%オフセット耐力の平均値とした。

- 残留応力

鋼管の軸方向にスリットを加工し、加工前後の外径差から残留応力を算出するクランプトン法を用いた。

## 3. 数値解析シミュレーション

EXP油井管の拡管性や圧潰強度といった性能評価には、実製品を使用した試験を行う必要がある。一方で、鋼管の性能に及ぼす鋼管特性の影響を定量化し、製品設計に援用するには数値解析シミュレーションによる感受性評価が有効となる。本研究では拡管・圧潰試験結果をもとに鋼管の機械的特性や形状を適切にモデリングし、拡管性、圧潰強度を評価する数値解析シミュレーションを実施した。

### 3.1 拡管シミュレーション

拡管性に及ぼす材料の機械的特性や変位拘束の影響を調べるため、有限要素法(FEM)シミュレーションモデルを構築した。概要を図6に示す。鋼管を3次元ソリッド要素、拡管用プラグを剛体とし、解析は静的陰解法で実施した。また、モデル上の鋼管には実管試験に用いた鋼管の形状測定結果を基にした肉厚分布を持たせた。図7に詳細を示す。



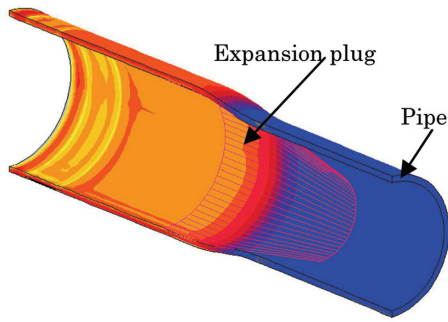


図6 拡管 FEM モデル概要図  
FEM simulation of pipe expansion

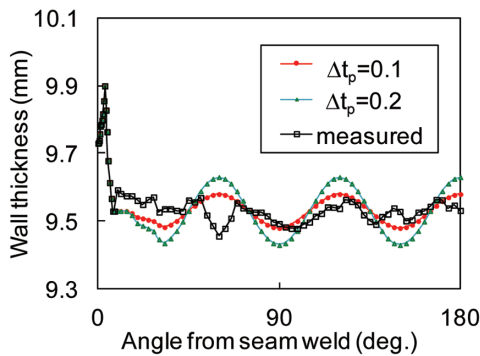


図7 拡管モデル肉厚分布  
Wall thickness distributions of expansion model

表3 拡管シミュレーション条件一覧  
Numerical conditions of expansion simulation

	Expansion ratio(%)	n-value	$\Delta t_p$ (mm)	Fixed / Free
Case1	23	0.21	0	Free
Case2				Fixed
Case3	17	0.11	0.2	Fixed
Case4		0.13		
Case5		0.21		
Case6	23	0.11	0.2	
Case7		0.13		
Case8		0.21		
Case9	28	0.11	0.05	
Case10		0.13	0.1	
Case11		0.21	0.2	
Case12		0.17	0.17	0.3
Case13	0.2			
Case14	0.3			
Case15	0.4			
Case16				

黒線が実際の鋼管が持つ肉厚分布を示すが、これをサインカーブで模擬し、その振幅の大きさ  $\Delta t_p$  を変化させた。

表3に計算条件の一覧を示す。材料の変形能を表す指標として加工硬化係数 (n 値) を使用し、これを 0.11 ~ 0.21 まで変化させた応力ひずみ曲線を機械的特性として入力した。また、 $\Delta t_p$  は 0 ~ 0.4mm とした。これらのパラメータと拡管中の拘束条件を変化させ、鋼管の変形状態や塑性ひ

ずみの集中および拡管前後の肉厚分布を検証し、材料の変形能と鋼管の偏肉度が拡管性に与える影響を評価した。

### 3.2 圧潰シミュレーション

拡管後の圧潰強度の予測を目的に、FEM シミュレーションモデルを作成した。概要図を図8に示す。鋼管は3次元ソリッド要素で作成し、材料の機械的特性として鋼管円周方向の圧縮応力ひずみ曲線を入力した。鋼管の形状は3次元測定した拡管後の鋼管の1断面を軸方向に拡張し、軸方向の断面形状は同一と仮定した。また、測定された残留応力を肉厚方向に線形近似した内面引張、外面圧縮の応力分布 (分布 A) を入力した。解析は静的陰解法で行い、外表面の圧力を徐々に増加させ、計算が収束しなくなった圧力を圧潰強度とした。表2で圧潰試験を実施した鋼管1本ずつに、それぞれ対応したモデルを作成し、圧潰強度の実験値とモデルによる予測値を比較することで、拡管後圧潰強度の予測精度を検証した。

さらに、残留応力なし (分布 B)、実測した残留応力と同じ絶対値で内面圧縮、外面引張の応力分布 (分布 C) を持つモデルをそれぞれ作成し、残留応力が圧潰強度に与える影響を検討した。残留応力分布 A ~ C の概念図を図9に示す。

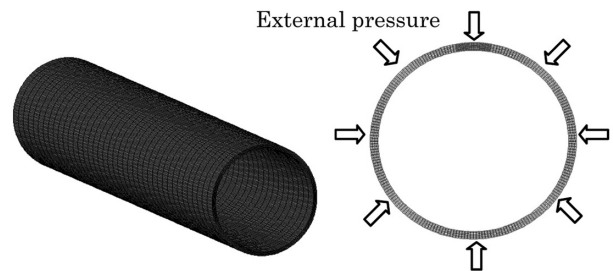


図8 圧潰 FEM モデル概要図  
Schematic drawings of collapse simulation

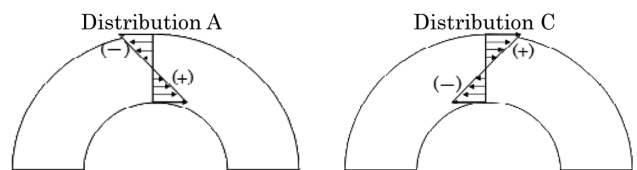
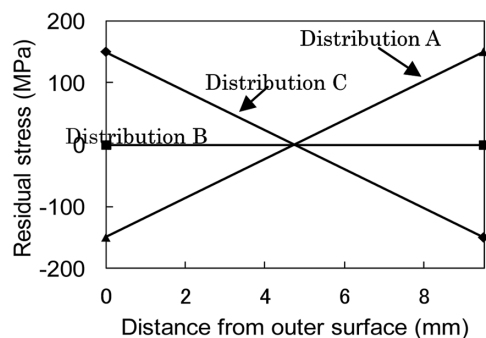


図9 圧潰 FEM モデルにおける残留応力分布  
Distributions of residual stress in collapse simulation

## 4. 拡管性に関する検討結果

### 4.1 拡管試験結果

表4に拡管試験結果の一覧を示す。拘束なしの条件では、使用した鋼管は破断せず、最後まで拡管を実施できた。一方、拘束をかけた条件では拡管率17%の条件では拡管できたが、23%以上では鋼管が破断する結果となった。図10に拡管率17%、23%で拘束をかけた条件での、拡管プラグの進んだ距離とプラグ背面にかかる水圧、および鋼管に発生した引張軸力の関係を示す。どちらの条件もプラグを進行させる水圧は試験中ほぼ一定値を示した。引張軸力は、拡管率17%では拘束が始まると直後に急激に上昇し、その後ほぼ900kNの一定値を示した。拡管率23%では、軸力が上昇する過程で鋼管が破断する結果となり、拘束が拡管性を悪化させることが示された。鋼管の破断部の写真を図11に示す。

図12には拡管前後の円周方向肉厚分布の一例を平均肉厚に対する比率で示す。このグラフの最大値と最小値の差が偏肉度に相当する。横軸の0度位置を溶接位置とした。

表4 拡管試験結果  
Results of full-scale expansion test

Expansion ratio (%)	Fixed / Free	Result
17	Free	Not failed
	Fixed	Not failed
23	Free	Not failed
	Fixed	Failed
28	Free	Not failed
	Fixed	Failed

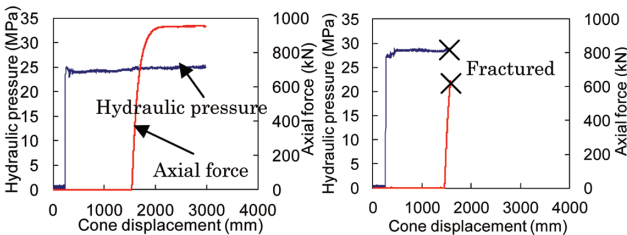


図10 拡管試験時の水圧と軸力の時刻歴  
Time histories of hydraulic pressure and axial force during expansion test

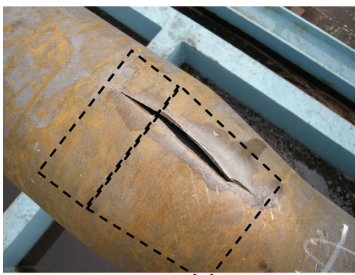


図11 鋼管破断部の写真（破線は拡管プラグ位置）  
Picture of expansion fracture

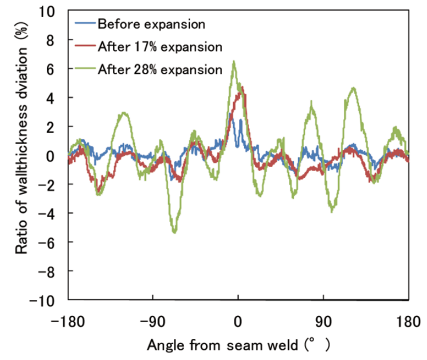


図12 拡管試験前後の肉厚分布  
Wall thickness distributions before and after expansion

拡管前の肉厚分布は0度を中心に左右対称に近く、溶接位置の増肉部を除けば偏肉度は2%前後となった。一方、拡管後は偏肉度が増加し、28%拡管後では10%を超えるケースもあった。拡管前後の肉厚分布を比較すると、拡管前に相対的に減肉している箇所は、拡管後も減肉しておりその差が拡大する。以上のことから、拡管前の減肉部は構造的に弱いため拡管による塑性ひずみが集中し、偏肉度が悪化すると推定される。

### 4.2 拡管シミュレーション結果

図13に表3のCase12～16における拡管後の円周方向ひずみ分布を示す。拡管によるひずみは拡管前の減肉部である90度、150度位置などに集中し、拡管前の偏肉度が大きいほどひずみは大きくなる。以上の結果から拡管前の母材部偏肉度が大きいほど、拡管時に鋼管が破断しやすいと推定される。

図14は表3のCase1, 2において鋼管の円周方向（C方向）、軸方向（L方向）、半径方向（R方向）に発生するひずみを拘束の有無により比較したものである。拘束がない場合、拡管によって鋼管の直径が拡大し、それに伴い鋼管の長さや肉厚が減少するため、C方向のひずみは拡管率に等しく、L方向とR方向のひずみ量の合計はC方向のひず

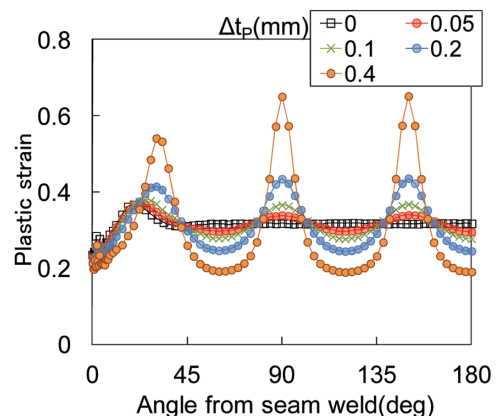


図13 FEMにおける拡管後のひずみ集中  
Strain concentration after expansion on FEM simulations

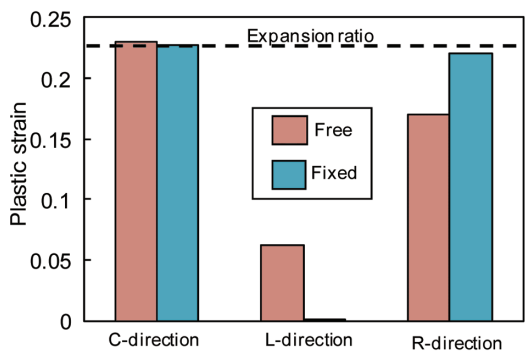


図 14 拡管により各方向に発生するひずみ量  
Plastic strain in L, C, and R direction after expansion

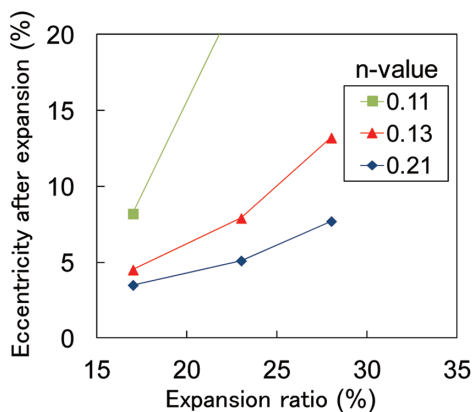


図 15 材料の n 値と拡管率、拡管後偏肉度の関係  
Relationship between n-value, eccentricity and expansion ratio

みとほぼ等しくなる。また、L 方向と R 方向のひずみ量の比は約 7:3 となった。一方、L 方向の鋼管の収縮が拘束されていると L 方向ひずみはほとんど発生せず、R 方向ひずみが増加する。R 方向ひずみは減肉量と相関があるため、拘束があると拡管による減肉が促進され、より鋼管が破断しやすくなると考えられる。

図 15 には表 3 の Case3 ~ 11 の解析結果より、拡管率と拡管後の偏肉度に及ぼす n 値の影響を示す。拡管率の増加に伴い、拡管後の偏肉度は増加するが、n 値が大きいほど偏肉度の増加量は小さい。すなわち、材料の有する n 値を大きくするほど、偏肉度の許容値が大きくなり、高い拡管率に対しても破断しにくいことがわかる。

これらの解析結果から、ユーザーからの拡管率の要求に対して最適な材質設計を行うために必要なデザインマップを作成した。熱処理により鋼管の円周方向強度が均一とし、拡管後の偏肉度許容値を 12.5% に設定した場合、必要な拡管前の偏肉度および材料の n 値を図 16 に示す。この手法により、Expandable tubular 用 ERW 鋼管の使用性能に対して、より信頼性の高い材料設計の方向性を示すことができた。

以上の結果をもとに、多くのユーザーがターゲットとする拡管率 15 ~ 20% まで拘束も考慮して拡管可能な製品の

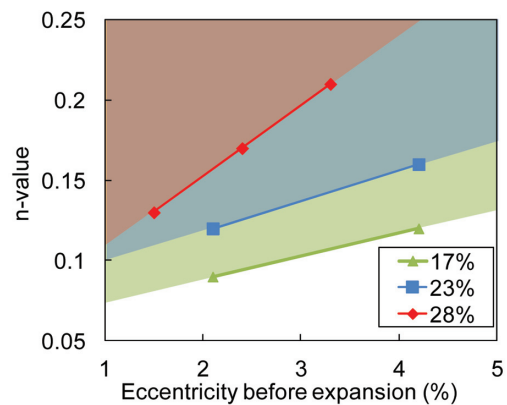


図 16 拡管性確保に必要な偏肉度と n 値  
Required eccentricity and n-value for pipe expansion

開発を行った。目標となる拡管率に対して最適な n 値を確保するため、材料の化学成分、ERW 鋼管の素材である熱延鋼板の製造条件、造管後の熱処理条件の制御範囲を的確に選定することで、EXP 油井管の安定製造が可能となった。

## 5. 圧潰強度に関する検討結果

### 5.1 圧潰試験結果

表 5 に圧潰試験結果の一覧と、各試験条件での C-YS、真円度、偏肉度、残留応力の値を示す。拡管前後の圧潰強度を比較すると、23% 拡管後の圧潰強度は拡管前の 3 割程度まで減少した。これは主に 2 つの原因による。

#### ① D/t の増加（外径の拡大と肉厚の減少）

拡管により鋼管の外径は拡大し、肉厚は減少する。外径が拡大したことで外圧を受ける表面積が増加するため、鋼管に作用する外力は増加するのに対し、外力に耐えるために必要な肉厚が減少するため、圧潰強度が低下する。

#### ② C-YS の低下

図 17 に拡管前と 23% 拡管後の圧縮応力ひずみ曲線を示す。拡管前の応力ひずみ曲線は降伏伸びが観察されるが、拡管後の曲線はラウンド形状となり、降伏強度が低下した。これは拡管により円周方向に引張応力が作用した後、周方向に圧縮されるため、バウシinger 効果によるものと推定

表 5 圧潰試験結果および拡管後の測定結果  
Collapse test results and properties after expansion

Expansion ratio (%)	D/t	Collapse (experiment) (MPa)	C-YS (MPa)	Ovality (%)	Eccentricity (%)	Residual stress (MPa)
Before expansion	20.3	51.7	627	0.31	1.8	0
17	26.1	19.5	521	0.36	5.7	206
	26.1	19.7	524	0.36	5.6	200
	26.2	19.3	520	0.22	6.6	196
23	28.6	16.1	528	0.47	6.0	110
	28.7	16.2	527	0.39	8.8	108
	28.7	15.5	522	0.51	8.2	102



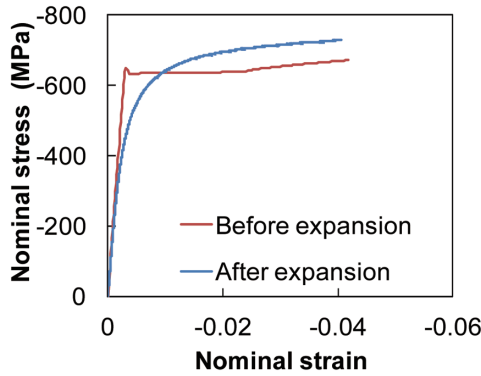


図 17 拡管前後の圧縮応力ひずみ曲線  
Compressive stress-strain curve before and after expansion

される。

圧潰強度に影響を与える因子のうち、真円度は拡管による大きな変化は見られなかった。また製造時の残留応力が熱処理により除去されるため、拡管前の残留応力は無視できるほど小さいが、拡管による塑性変形により拡管後は残留応力が発生した。表5には絶対値を示しており、その分布は鋼管内面側が引張、外面側が圧縮となった。

### 5.2 圧潰シミュレーション結果

表6に拡管後の圧潰試験結果、およびそれに対応したFEMモデルによる予測圧潰強度と実験値との誤差を示す。鋼管の形状や機械的特性をFEMモデルに反映させた他、実管と同じ内面引張、外面圧縮の残留応力分布（分布A）を与えたシミュレーションでは、拡管後の圧潰強度を5%以内の精度で予測可能なことが示された。これにより、拡管後の圧潰強度の支配因子定量化が可能となった。

本研究では、残留応力分布が圧潰強度に及ぼす影響を検証した。通常、ERW鋼管には内面が圧縮、外面が引張の残留応力が存在し、これが圧潰強度を低下させることは従来知られている<sup>3)</sup>。しかし、拡管後の鋼管で発生する内面引張、外面圧縮の残留応力が圧潰強度に与える影響は明らかにされていない。そこで、本研究で作成したFEMモデルによりその効果を明らかにした。

表6 圧潰シミュレーションの予測精度  
Accuracy of collapse simulation model

Expansion ratio (%)	Collapse resistance						
	Experiment (MPa)	FEM					
		Distribution A		Distribution B		Distribution C	
	Prediction (MPa)	Error (%)	Prediction (MPa)	Error (%)	Prediction (MPa)	Error (%)	
17	19.5	20.0	2.6	20.8	6.7	20.9	5.6
	19.7	20.5	4.1	21.2	7.6	20.4	3.6
	19.3	20.0	3.6	20.5	6.2	19.9	3.1
23	16.1	16.1	0.0	16.2	0.6	16.1	0.0
	16.2	16.5	1.9	16.8	3.7	16.6	2.5
	15.5	15.6	0.6	15.9	2.6	15.8	1.9

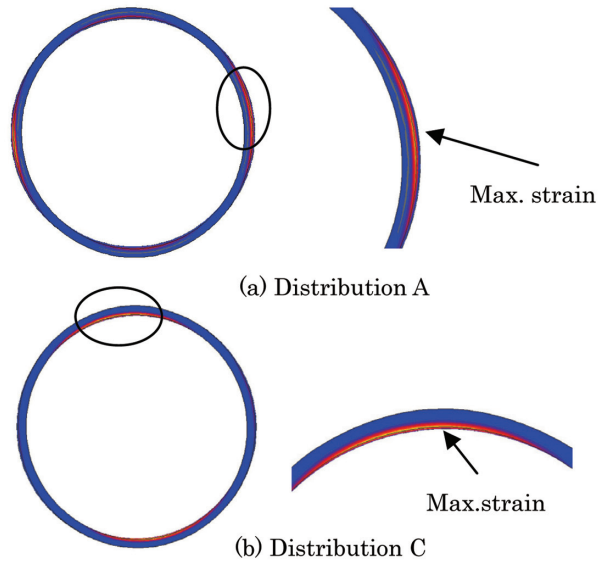


図 18 残留応力分布と最大ひずみ発生位置  
Relationship between residual stress distribution and the location with max. strain in collapse simulation

図9に示すA～Cの残留応力分布を与えると、分布A・Cを適用した時の圧潰強度は分布Bに対して低いが、AとCを比較するとその差は小さい。すなわち、本研究での解析条件においては、その分布によらず残留応力は鋼管の圧潰強度を同程度に低下させることがわかる。図18にはFEMモデルにおける圧潰直前のひずみ分布を示す。残留応力分布A・Cは圧潰強度に与える影響の大きさはほぼ等しいが、圧潰時の最大ひずみ発生は異なり、分布Aでは鋼管外面側、分布Cでは鋼管内面側となる。すなわち残留応力分布の違いに起因して圧潰の起点は異なるが、結果として圧潰強度には差が生じないと考えられる。

## 6. 結 言

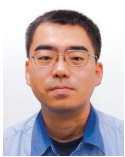
EXP油井管には従来の油井管には要求されなかった高い変形能が必要となるほか、その使用性能は拡管による材料の機械的特性や鋼管形状などの変化に影響される。そのため、EXP油井管の開発にあたっては高精度な性能評価技術を開発し、感受性評価を活用して製品の信頼性向上を目指すとともに、性能評価結果を踏まえた適切な材料設計を行った。その結果、実油井における新日鐵住金EXP油井管の採用につなげることができた。本研究の主な成果を以下に示す。

- (1) 実際の使用方法を踏まえ、拡管時の拘束有無を選択可能な拡管試験方法、および拡管後の圧潰試験方法を確立した。
- (2) 鋼管の拡管性を偏肉度と材料のn値で整理し、要求される拡管率に応じた必要特性のデザインマップを確立した。
- (3) 拡管後の鋼管圧潰強度を高精度に予測可能な数値解析シミュレーションモデルを開発した。

- (4) 数値解析による感受性評価を行い、拡管後の鋼管の残留応力分布が圧潰強度に及ぼす影響を定量化した。
- (5) 実験および数値解析技術の組み合わせにより、製品の信頼性向上につながる使用性能評価、予測技術を開発した。

#### 参考文献

- 1) Filippov, A., Mack, R., Cook, L., York, P., Ring, L., McCoy, T.: Expandable Tubular Solutions. Proceedings - SPE Annual Technical Conference and Exhibition. 1999, p. 169-184
- 2) Agata, J., Tsuru, E., Sawamura, M., Asahi, H., Tsugihara, H.: An Experimental and Numerical Approaches to the Prediction of Expandability and Collapse resistance for Solid Expandable Tubulars. SPE Journal. 18 (3), (2013)
- 3) Tamano, T., Inoue, Y., Mimaki, T.: Collapse Strength of Commercial Casing under Combined External Pressure and Axial Load. Journal of the JSTP. 30 (33), 385-390 (1989)
- 4) Tsuru, E., Asahi, H.: Improved Collapse Resistance of UOE Line Pipe with Thermal Aging for Deepwater Applications. International Journal of Offshore and Polar Engineering. 17 (4), (2007)



阿形 淳 Jun AGATA  
鉄鋼研究所 研究企画室 主査  
兵庫県尼崎市扶桑町1-8 〒660-0891



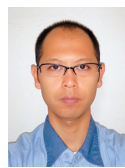
津留英司 Eiji TSURU  
鉄鋼研究所 鋼管研究部  
主幹研究員 博士(工学)



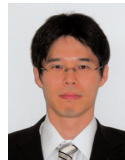
澤村 充 Mitsuru SAWAMURA  
名古屋技術研究部 主幹研究員



中村英幸 Hideyuki NAKAMURA  
名古屋製鉄所 品質管理部 鋼管管理室  
主幹



尾崎雅和 Masakazu OZAKI  
名古屋製鉄所 品質管理部 鋼管管理室  
主査



岩本修治 Shuji IWAMOTO  
大分製鉄所 品質管理部 電縫鋼管管理室  
主幹



本吉 卓 Takashi MOTOYOSHI  
大分製鉄所 光鋼管部 鋼管技術室長



次原英文 Hidefumi TSUGIHARA  
鋼管技術部 油井管・ラインパイプ技術室  
主幹