

送ガス用鋼帯補強ポリエチレン管 (2)

－継手の開発－

Steel Tape Armored Polyethylene Pipe for Gas Transmission (2)

－ Development of Mechanical Fitting －

竹内友章*
Tomoaki Takeuchi

高橋 晃*
Akira Takahashi

中井秀信*
Hidenobu Nakai

石井健一*²
Kenichi Ishii

牧野良之*²
Yoshiyuki Makino

今井浩三*³
Kozo Imai

井上哲夫*³
Tetsuo Inoue

概要 可撓性、耐震性に優れ、長距離布設に適した送ガス用鋼帯補強ポリエチレン管の開発を進め、これに適用する端末部の接続用継手を開発した。継手の基本構造は従来から送ガス用鋼管や低圧用ポリエチレン管に適用されているシール方式を採用したが、特に鋼帯補強層を端末部で確実に固定し、短時間で簡易に組立て可能な構造の開発に重点を置いた。本報告では接続継手の設計と、継手の各種性能評価試験結果について述べる。

1. はじめに

曲り部の多い開削ルートや地中管路内に無接続で長距離布設することが可能な複合構造の可撓性送ガス管の開発内容について別報(1)にて紹介した。可撓性送ガス管の端末部では既設ガス導管や送ガス用の各種配管との接続が必要となるため、接続用継手の開発を並行して進めた。ここでは、鋼帯補強ポリエチレン管用機械接合継手の設計とその性能について述べる。

2. 鋼帯補強ポリエチレン管用継手の設計

2.1 設計の考え方

現行の低圧0.1 MPa以下の送ガス用ポリエチレン管の接合には機械接合継手が多くの実績を有している。現在、送ガス用ポリエチレンは0.3 MPa以下(中圧B)への適用拡大が図られており²⁾、継手も低圧用送ガス管と同様な機械接合継手が開発されている。

ここでは、更に送ガス圧1 MPa以上にも適用出来るように、設計を見直し高圧化を図った。設計改良の第1点はシール部の面圧の向上である。第2点は補強鋼帯端部の固定構造である。管の耐圧性能は鋼帯に大きく依存するので、鋼帯補強層が端末部で緩まないように簡易で堅牢な固定機構を新規に開発し継手構造に組み込んだ。

2.2 シール構造

ガスシール部を模式的に図1に示す。ガスシール部は、保護リング、先方を丸形、後方に角形の2つのゴム輪およびリテーナーで構成されており、ボルトにより、リテーナーを押し込むことで、継手本体と、ポリエチレン内管とのテーパ部にセットしたゴム輪が矢印の様な面圧を受け、ガスをシールする機構としている。ゴム輪の手前にある保護リングはゴム輪のコールドフローを防止する役割をしている。

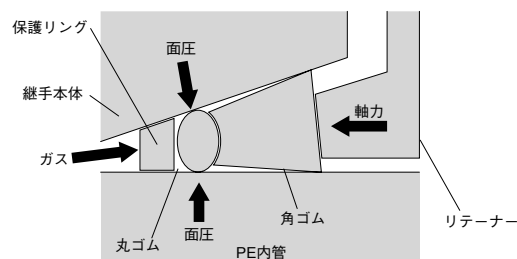


図1 ガスシール部の構造
Structure of gas seal

シール部の機能を長期にわたって維持するため必要があるため送ガス圧の高圧化にあつては初期面圧を高めるものとし、50年の設計寿命を確保できるよう面圧を設定した。

鋼帯補強ポリエチレン管用機械接合継手の基本構造を図2に、構成要素の機能と材質を表1に示す。

* 東京電力(株)建設部 土木・建築技術センター

*² 研究開発本部 環境・エネルギー研究所

*³ エネルギー・産業機材カンパニー 電力事業部 電力エンジニアリング部

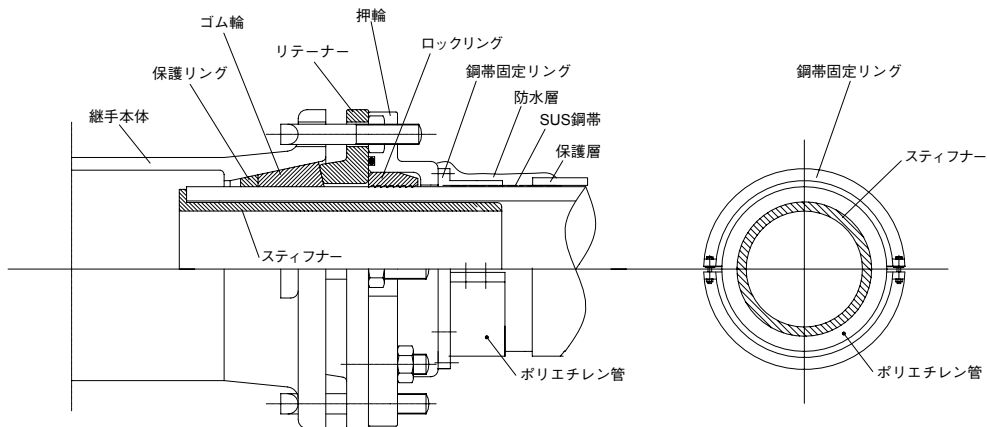


図2 鋼帯補強ポリエチレン管用機械接合継手の構造
Construction of mechanical fitting for steel tape armored PE pipe

表1 鋼帯補強ポリエチレン管用機械接合継手の各部の機能と材質
Function and material for the parts of mechanical fitting

部 品	機 能	材 質
継手本体	管同士を接続する本体であり、内圧に対応し管同士を固定する	鋳鉄
リテーナー	ボルト・ナットを締付け、直接ゴム輪に面圧を与えると共に締める時、ロックリングの食込みを助ける	鋼またはポリオキシメチレン
押し輪	管の抜け出し防止用ロックリングを固定する	鋼
ロックリング	管表面をかみ、管抜け出しを防止する	ポリオキシメチレン
スティフナー	ゴム輪、ロックリングおよび鋼帯固定リングからの管外圧に対して内面から支える	鋼
ゴム輪	気密保持	NBR (アクリロニトリルブタジエンゴム)
保護リング	ゴム輪のコールドフローを防止	綿布＋NBR
鋼帯固定リング	鋼帯端末部における鋼帯の円周・軸方向の固定	鋼
保護層	継手端部と成管端部とを保護し、継手部の防食を図る	アクリル樹脂

図3にガスシール用ゴム輪の面圧保持特性を評価した結果を示す。

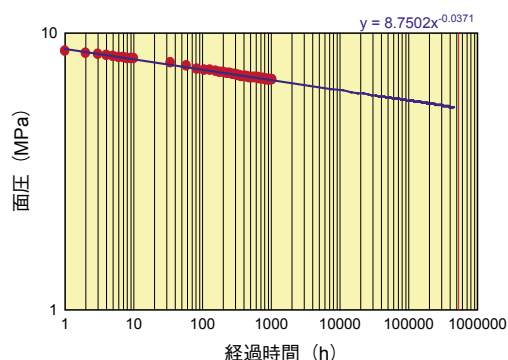


図3 ゴム輪の面圧保持特性
Relaxation curve for sealing pressure

これより50年後に保持される面圧は、5.4 MPaとなり、長期設計面圧(=必要面圧×安全率=1.0×4=4.0 MPa)以上を保持することができる。

2.3 鋼帯固定部

鋼帯補強ポリエチレン管に内圧を与えると、鋼帯に応力が発生するため、継手部では鋼帯端末に発生する引張応力に耐え得

るよう鋼帯を固定する必要がある。

鋼帯固定部は、鋼帯端末の円周・軸方向の固定を目的として、図4に示す鋼帯止め輪(写真1)と鋼帯固定リング(写真2)を設けた。鋼帯止め輪は、鋼帯用のスリット穴を設けた半割れ金具であり、鋼帯固定リングは、フランジを有する2つ割のリング金具である。

ここで、鋼帯の固定方法は、鋼帯を鋼帯止め輪のスリット穴に通し折り返し、2つ割の鋼帯固定リングをその外周にセットして固定ボルトによる円周方向に締め付け、鋼帯止め輪と鋼帯を摩擦固定することとした。

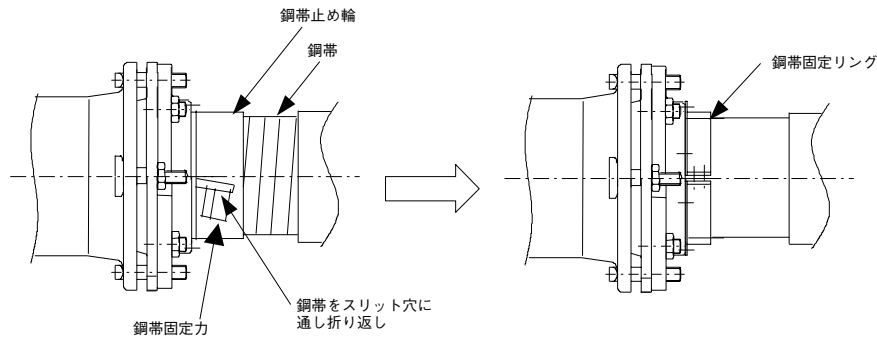


図4 鋼帯固定方法
Fixing method for steel tape

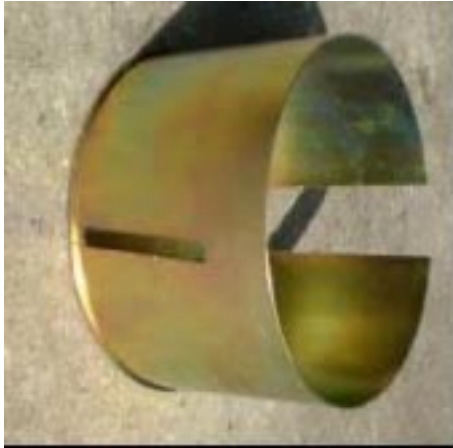


写真1 鋼帯止め輪
Locking ring for steel tape



写真2 鋼帯固定リング
Fixing ring for steel tape

鋼帯固定部の設計は図5に示す手順で行った。

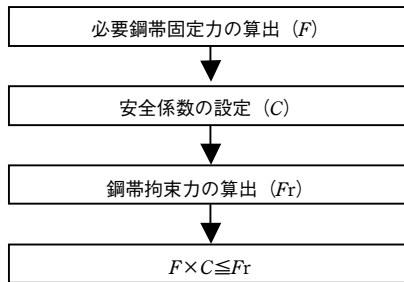


図5 鋼帯固定部の設計の進め方
Design steps for steel tape fixing

2.3.1 鋼帯端部固定力

鋼帯端部に必要な固定力 F は、(1)式で表される。

$$F = \left(\frac{P(D-t)}{2t \cdot F_t \cdot \sin^2 \phi} \right) \times w \times t \quad (1)$$

ここで、

- P : 最高使用内圧
- D : 鋼帯補強層外径
- t : 鋼帯厚さ、
- F_t : 鋼帯補強効率
- ϕ : 鋼帯巻きつけ角度
- w : 鋼帯幅

2.3.2 安全係数

安全係数は、鋼帯の引張強さまでの安全性を確保するものとし、鋼帯と同様に破断荷重に対し4とした。

2.3.3 鋼帯拘束力

鋼帯拘束力 F_r は、固定リングを固定ボルトにより円周方向に締め付け、鋼帯止め輪と鋼帯を摩擦固定する力であり、(2)式により算出する。

$$F_r = \frac{\mu \cdot N \cdot P}{2} \left(\frac{\phi + \sin \phi}{\sin(\phi/2)} \right) \quad (2)$$

ここで、

- μ : SUS鋼帯と鋼帯止め輪間の摩擦係数
- N : ボルト本数
- P : ボルト締め付け力 (N)
- ϕ : 鋼帯固定リングとスリット金具との接触角 (rad)

3. 端部鋼帯応力の検証

鋼帯補強管継手設計において、鋼帯固定は最も重要である。そこで、鋼帯端部に発生する応力を実測した。

3.1 実験方法

約1.2 m長の鋼帯補強ポリエチレン管の端部約150 mmにわたり保護層を除去してステンレス鋼帯端部を露出させる。このとき、鋼帯端部は金属製のバンドで固定しておく。鋼帯には図6および写真3のように、フープストレスを測定できるように

鋼帯に歪みゲージ平行に貼り付けた。保護層下の鋼帯には保護層に窓を明けて、鋼帯上層中央部に歪みゲージを張り付けた。したがって、鋼帯端部(保護層なし)に1箇所、保護層下鋼帯に20箇所歪み測定点を設けた。

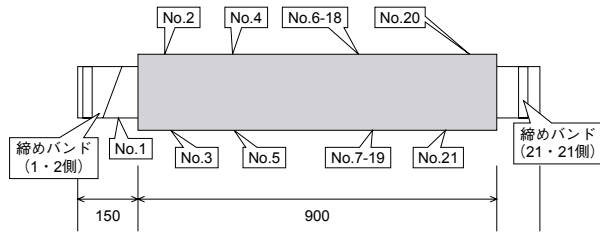


図6 鋼帯端部応力測定試料
Test sample for measuring the stress at the end of steel tape

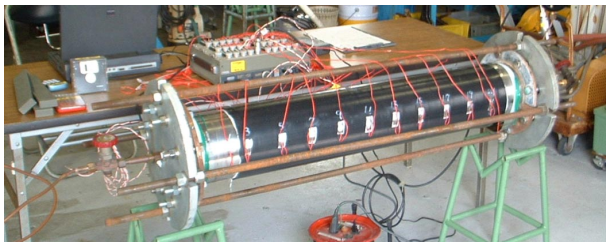


写真3 鋼帯端部の応力測定
Appearance of test sample for measuring the stress at the end of steel tape

この試料に内圧力2 MPaを加えた状態で鋼帯両端を固定するバンドを除去し、歪みの経時変化測定を行った。

3.2 実験結果

鋼帯端部を開放した後の鋼帯応力を図7に示す。

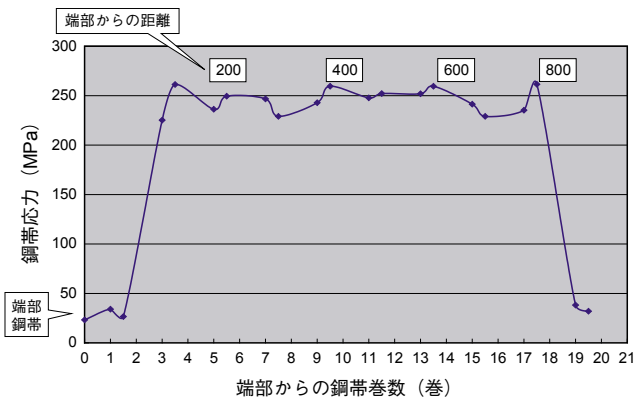


図7 鋼帯端部解放時の鋼帯応力
Stress on the steel tape after releasing the tape end

鋼帯端部を解放すると、端部鋼帯応力と端部保護層下鋼帯の応力が低下するが、鋼帯端部解放の影響は保護層端部1ターン程度まで止まり、それ以上では保護層との摩擦によって鋼帯の緩みは阻止されることが確認された。

3.3 FEM解析による検証

有限要素法(FEM)により鋼帯端部に発生する応力を求めた。鋼帯を螺旋巻きシェル要素にモデル化し、最初に鋼帯端部が拘束された状態(1)を求め、次に鋼帯端部が緩んだ状態(2)の鋼帯応力分布を求めた。

(1) 鋼帯拘束

解析結果を図8に示す。鋼帯応力は120 MPaで様な分布を示し、実測結果と良く一致した。

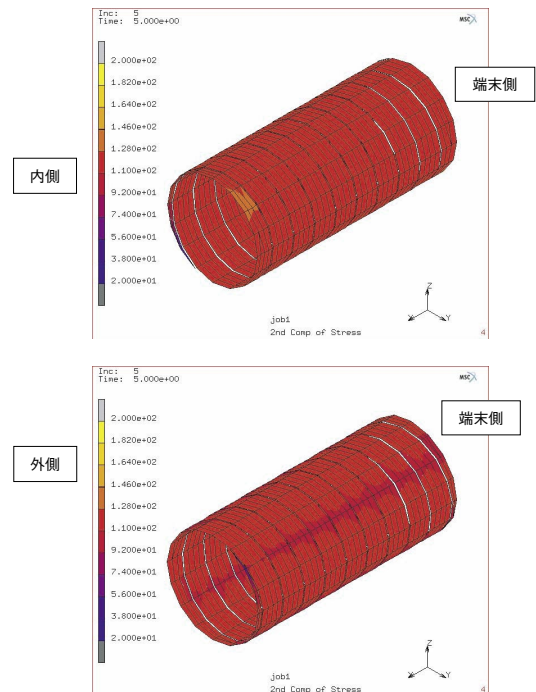


図8 鋼帯端部拘束時の鋼帯の応力分布
Stress distribution on the steel tape when the tape end is fixed

(2) 鋼帯端部開放

鋼帯端部を拘束状態から開放した場合の応力解析結果を図9に示す。鋼帯応力が低減する範囲は端部から約1ターンの螺旋巻き区間となり、実測結果と良く一致した。

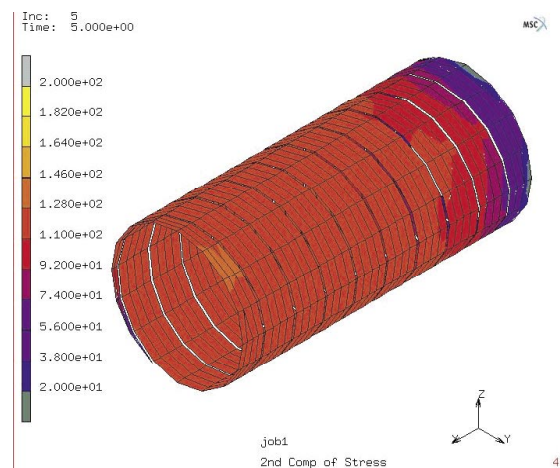


図9 鋼帯端部開放時の鋼帯の応力分布
Stress distribution on the steel tape when the tape end is released

鋼帯に発生する応力は、簡易的には(1)式の右辺のWとtを除くことにより求められる。簡易計算結果は実験結果およびFEM解析結果と約15%程度の誤差が生じた。簡易計算では、内圧力がすべて鋼帯に加わると仮定したため、実際にはポリエチレン管が一部応力負担することを考慮すれば妥当な数値と言える。

したがって、(1) 式を適用して鋼帯応力を設計すれば実用上は問題無いものと言える。

4. 継手の性能

鋼帯補強ポリエチレン管用継手は、機械継手に対して規定している ISO 10838 (Mechanical fittings for polyethylene piping systems for the supply of gaseous fuels) およびガス用ポリエチレン管技術資料³⁾に示されている試験に基き実施した。ここで内圧力は1 MPaに対応するように試験圧力を設定した。

1 MPa仕様の鋼帯補強ポリエチレン管用継手について実施した一連の試験の概要をまとめて表2に示す。いずれの試験結果についても特に問題はなく、今回開発した継手は1 MPa用として実用に供することが十分可能であるものと考えられる。

表2 継手試験概要

Summary of test results for the fitting

試験項目	概要	結果
外観, 形状	実用上有害な傷等欠陥の有無の確認	異常なし
耐圧	耐圧性能の確認	9.6 MPa以上 漏れなし
気密	漏れや変形のないことの確認	1.5 MPa, 24 h 異常なし
熱間内圧クリープ	所定条件で漏れや変形のないことの確認	円周応力5 MPa, 1000 h, 80℃ 異常なし
曲げ疲労	50年相当の耐振動疲労性の確認	± 2.6 cm, 2.3 × 10 ⁶ 回, 異常なし
23℃引張	所定条件で漏れや変形のないことの確認 (写真4)	12 MPa, 1 h 異常なし
80℃引張	所定条件で漏れや変形のないことの確認	3.54 MPa, 500 h 異常なし
曲げ	所定条件で漏れや変形のないことの確認 (写真5)	片持ち梁35 cm 異常なし
ヒートサイクル	50年相当の季節変動に耐えることの確認	−5℃ / 40℃, 50回 異常なし
シール部面圧	50年後も所定面圧を保持していることの確認 (写真6)	50年後推定面圧 5.4 MPa (図3)

5. 施工性

今回開発した継手は、各パーツをボルトで締め上げていくだけで組み立てが可能であり、現場施工性に優れることが確認された。ちなみに継手の組み立ては作業員1名により1時間程度で終了できる。

6. おわりに

以上報告したように常時使用圧1 MPa以上に適用可能な鋼帯補強ポリエチレン管の端末継手を開発し、その設計方法の改良と性能評価を実施した。今後、可撓性、耐震性に優れ、長尺布設に適したガス輸送管路の継手として広く普及されることを期待する。



写真4 引張試験
Tensile test



写真5 曲げ試験
Bending test



写真6 面圧劣化試験
Sealing pressure relaxation test

参考文献

- 1) 竹内, 他:「送ガス用鋼帯補強ポリエチレン管の開発(1)」古河電工時報, 114号, (2004), 15
- 2) 資源エネルギー庁:「ガス工作物技術基準の解釈例・1次改訂版」, (2003)
- 3) 日本ガス協会:「ガス用ポリエチレン管技術資料」, (2001)