

鋼帯補強凍結防止管の開発

Development of Steel Tape-Reinforced Antifreeze Pipe

籠浦 徹* 石井 健一* 向山 晋一* 井上 哲夫*² 今井 浩三*²
Toru Kagoura Kenichi Ishii Shinichi Mukoyama Tetsuo Inoue Kozo Imai

概要 日本各地の寒冷地や山間部、橋梁添架部に施工される暴露配管には凍結防止対策が必要なものが多く、また、山間部や橋梁添架部においては軽量で高い可撓性を有していることが望まれる。我々は長尺かつ高圧仕様で軽量の凍結防止管の開発を進め、この開発品が、凍結防止が必要な地域に十分適用できる性能を有していることを実証した。

1. はじめに

これまで当社は海底送水管を始めとして深層水取水管¹、送油・送ガス管^{2, 3}の技術開発を行ってきた。これらはポリエチレンやナイロンなどのプラスチック管に金属補強層や外装を設けた複合フレキシブル管であり、主に海洋分野向けとして既に多くの実績を重ねてきている。現在、これまでに培われた設計・製造・施工技術を陸上の送水管分野に展開して、高機能でコストメリットを有する陸上用送水管を開発している。

日本各地の寒冷地や山間部あるいは橋梁添架部に施工される送配水管(特に暴露配管)には凍結防止対策が必要なものが多く、また、山間部や橋梁添架部においては、施工性や工期短縮の観点から長尺・軽量で高い可撓性を有していることが望ましい。我々は長尺製造が可能で高い耐圧性能を有する鋼帯補強管に、優れた断熱特性を有する断熱層を設け、最外層に軽量かつ高強度で可撓性に優れた波付き外管を採用した凍結防止管の開発を進め、凍結防止が必要な地域に適用できる性能を有していることを実証した。本報ではその基本構造や設計・試作、試作品の性能検証結果について報告する。

2. パイプ基本構造の検討

2.1 内管

パイプ構造のうち内管についてはISO規格に準拠し、材質は高密度ポリエチレンの中で長期耐久性や耐衝撃性に優れたPE-100を採用した。仕様圧力(使用時最高圧力)は、1.0 MPaと0.75 MPaの2グレードとし、1.0 MPa仕様品では内圧補強層と保護層を設け、0.75 MPa仕様品は内圧補強層を設けない構造とした。

図1に基本構造を、表1にパイプ主要構成層の機能を示す。

2.2 断熱層の構造

断熱層には高い断熱特性(低熱伝導率)が必要であるが、同

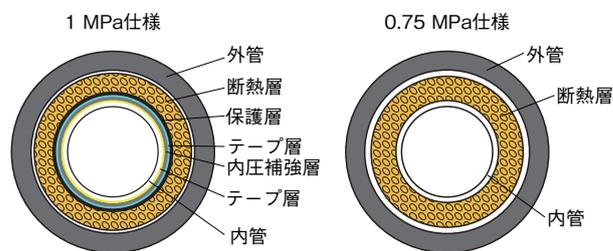


図1 凍結防止管の構造(断面図)
Cross section drawing of antifreeze pipe.

表1 パイプ主要構成層の機能
Function of principal structure parts of antifreeze pipe.

主要層	材質	機能
内管	高密度ポリエチレン (PE-100)	内部流体の漏洩防止 (内圧補強層がないタイプでは耐圧機能)
内圧補強層	ステンレス鋼帯	内圧に対する周方向補強
保護層	低密度ポリエチレン (LDPE)	内圧補強層の防食 外傷保護
断熱層	発泡ポリエチレン	凍結防止
波付き外管	高密度ポリエチレン (HDPE)	防水及び外傷保護

時に可撓性やコストについても考慮する必要がある。高い断熱性を有する材料の主なものとして、発泡ポリウレタンや発泡ポリエチレンが挙げられる。

発泡ポリウレタンは1液或いは2液を混合して注入発泡させるタイプで、注入圧力に耐えるパイプ構造や注入設備が必要となる。また、発泡後は固まって硬質となるため出荷時や敷設施工時の曲げなどで割れが発生する可能性がある。

一方、発泡ポリエチレンについては既に当社で種々の発泡ポリエチレンフォームを製品化しており、シートタイプであれば既存製造設備にてパイプに縦添えて熱融着が可能となる。また、発泡ポリエチレンは柔軟であることから曲げに対して十分な可撓性を持ち、更に独立気泡構造であることから吸水性や吸

* 研究開発本部 環境・エネルギー研究所

*² エネルギー・産業機械カンパニー エネルギー事業部

湿性が極めて低く、断熱特性の安定化を図ることができる。

また、シート厚さや積層数を選択することで断熱性能を要求仕様に合わせることができる。以上の点から高い断熱特性と可撓性及び低コストを考慮し、発泡ポリエチレンシートを断熱構造に採用した。

2.3 外管

外管に要求される機能は防水性と外傷に対する保護であるが、軽量で可撓性に優れた構造であることが求められる。当社では電線ケーブル保護管(埋設管)として、圧縮扁平強度に優れ軽量かつ高い可撓性を備えた波付き硬質ポリエチレン管(エフレックス®)を製品化しており、機能上十分な性能を保持している。そこで外管には波付き硬質ポリエチレン管を採用した。

3. 設計及び試作

3.1 試作品の断熱設計

凍結防止管として要求される断熱性能については地域や敷設環境で異なるため明確な規格はないが、断熱設計では、最も断熱性能が厳しいφ50サイズに対し、外気温が-20℃の環境下で24時間以内に完全凍結しないことを断熱性能の目安として断熱層の厚さを設計した。表2に試作品の設計構造を示す。いずれの構造も極めて軽量な構造となっている。

表2 試作品設計構造
Design specifications of trial products.

呼び	φ 50		φ 75		φ 100	
仕様圧力 (MPa)	0.75	1.0	1.0	0.75		
内管内径(参考) (mm)	53.1		76.0	105.8		
内管外径 (mm)	63.0		90.0	125.0		
内圧補強層厚さ (テープ類含む) (mm)	なし	1.0	1.0	なし		
保護層外径 (約mm)	なし	69.2	96.8	なし		
断熱層厚さ (約mm)	27.5		25	30		
外管外径 (約mm)	160		189	253		
質量(空) (約kg/m)	2.6	3.4	5.2	7.4		

3.2 工場試作

図2に製造工程のフローを示す。特にドラム巻きパイプを供給しながら断熱層を形成する工程、外管挿入工程、巻き取り工程が製造のポイントとなるが、いずれの工程でも大きな問題がなく製造できることを確認した。

3.3 工場試作品

工場試作品の構造を図3及び表3に示す。断熱層の融着については図4に示すとおり問題なく融着されている。

4. 工場試作品の性能検証

工場試作品の性能検証と断熱設計の妥当性を検証するため以下に示す性能検証試験を実施した。

4.1 機械的特性

4.1.1 断熱層の扁平特性

(1) 評価方法

パイプ重量(自重)による断熱層の扁平(厚さ減少)特性を確認するため、図5に示すようにパイプ内に水を充填した状態で

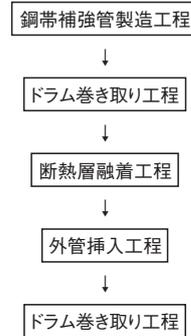


図2 凍結防止管の製造工程
Manufacturing process.



図3 φ50-1.0 MPa 試作品
Appearance of φ50-1.0 MPa trial product.

表3 φ50 試作品の構造
Structure of trial products (φ50).

	設計	試作品	設計	試作品
仕様圧力 (MPa)	0.75		1.0	
内管外径 (mm)	63.0	63.3	63.0	63.3
保護層外径(約mm)			69.2	69.2
断熱層厚さ(約mm)	27.5	27.7	27.5	26.7
断熱層外径(約mm)	118.3	118.6	124.2	122.5



図4 断熱層の熱融着状態
Appearance of heat sealing line of thermal insulation sheet.



図5 断熱層扁平評価
Measurement of decrease in thickness of thermal insulation layer.

恒温槽内に設置し、断熱層の厚さ減少量を変位センサにて測定した。

・試験条件

- 供試試料：φ50-1.0 MPa
- 温度条件：常温と40℃の2条件
- 履歴時間：24 h

(2) 評価結果

いずれの温度条件においても断熱層の厚さの減少はほとんどなく、パイプ自重が断熱層の偏平に与える影響が無視できるレベルであることを確認した。

4.1.2 曲げ特性

(1) 評価方法

図6に示すように許容曲げ径での繰り返し曲げ試験を行い、構造上問題がないか解体調査により確認した。

・試験条件

- 供試試料： φ50, φ75, φ100
- 曲げ径： 17.5 D (D = 内管外径)
- 繰り返し回数： 3往復 (正逆3回)



図6 曲げ評価 (φ50)
Bending test.

(2) 評価結果

解体調査結果を表4及び図7に示す。いずれの試料も断熱層融着部の切れや剥離などの異常はなく、断熱層表面に僅かに外管による凹み跡がある程度で、曲げ履歴が構造に与える影響は実用上問題ないレベルであった。

表4 曲げ試験後構造 (φ50-1.0 MPa)
Structure of bending test sample.

	設計	試作品
断熱層厚さ (約 mm)	27.5	26.5
断熱層外径 (約 mm)	124.2	122.2



図7 曲げ試験後の断熱層
Appearance of thermal insulation layer after bending test.

4.2.3 曲げ剛性

(1) 評価方法

図8に示すように水平両端支持にて試料に荷重 (曲げモーメント) を与え、たわみを測定して曲げ剛性EIを求めた。

・試験条件

- 供試試料：φ50, φ75, φ100



図8 曲げ剛性測定 (φ50)
Measurement of flexural rigidity.

(2) 評価結果

φ50-1.0 MPa仕様の曲げ剛性の曲率依存データ例を図9に示す。数m程度の曲げ半径領域での曲げ剛性実測値はφ50サイズで $1 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ 程度、外管のみでは $1 \times 10^2 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ 程度となり、外管の曲げ剛性は全体の10%程度と小さい。

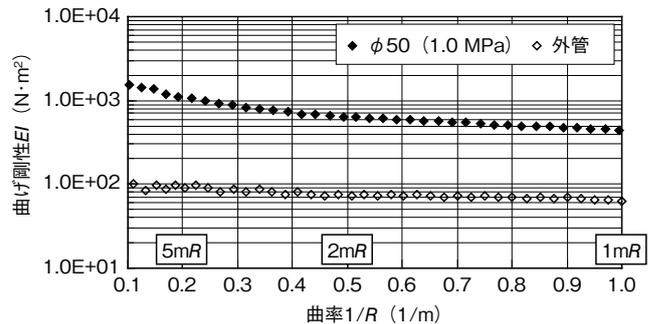


図9 曲げ剛性データ (φ50-1.0 MPa)
Relationship between curvature and flexural rigidity.

4.2 断熱特性

(1) 評価方法

図10に断熱特性の評価方法を示す。凍結防止管の断熱性能を確認するため、試料内に熱電対を挿入して水を充填し、所定の温度環境下の低温槽に設置して0℃到達時間及び完全凍結に至る時間を評価した。

・試験条件

- 供試試料：φ50-1.0 MPaパイプ試料と中間継手試料
- ※中間継手試料は5章記載の構造
- 環境温度：約-18℃
- 初期水温：常温

(2) 評価結果

0℃到達時間及び完全凍結時間をまとめて表5に、温度測定データ例を図11に示す。



図10 断熱特性評価 (φ50) Freezing test.

表5 断熱特性 Properties of thermal insulation.

供試試料	φ50 パイプ部		φ50 中間継手部
	仕様圧力 (MPa)	0.75	1.0
初期水温 (°C)	24.2	22.9	26.6
環境温度 (°C)	-17.9	-17.5	-18.2
凍結時間 (h)	設計	40.7	38.1
	実験値	41.0	38.0

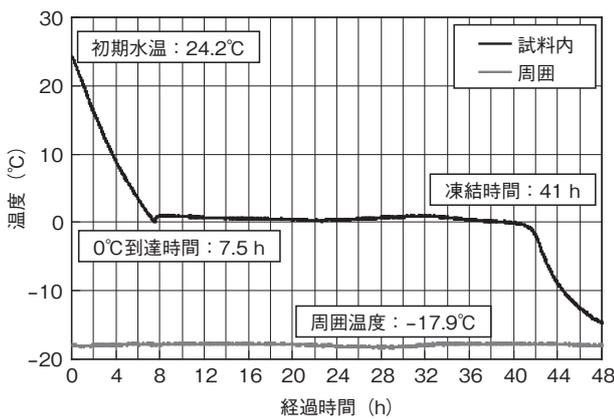


図11 温度測定データ (φ50-0.75 MPa) Changes in water temperature in the pipe during the freezing test.

表5より、試作品の断熱性能は設計値とはほぼ同等であり、断熱設計上の目安とした断熱性能(最も断熱性能が厳しいφ50サイズに対して24時間以内に完全凍結しない性能)を十分確保できていることが確認された。

従って例えば外気温-20°C、初期水温2°Cで停水した場合、完全凍結するまでの所要時間はφ50(0.75 MPa)で約29時間、φ75(0.75 MPa)で約44時間、φ100(0.75 MPa)で約78時間となり、断熱特性としては十分な性能を有している。なお、φ50及びφ75のタイプについては外管をサイズアップすることができるため、将来はより高断熱仕様の構造に対しても対応可能である。

4.3 繰り返し凍結特性

(1) 評価方法

完全凍結時の体積膨張がパイプ構造に与える影響を確認するため、断熱層を取り除いた鋼帯補強管試料にて繰り返し完全凍

結試験を実施した。

- ・ 供試試料 φ50鋼帯補強管(断熱層と外管なし)
- ・ 環境温度 -20°C迄の完全凍結
- ・ 凍結回数 20回

(2) 評価結果

20サイクルの繰り返し凍結後のパイプ構造を調査した結果、内圧補強層に皺やギャップ乱れ、クラック、切れなどの異常はなく、パイプ構造に問題がないことを確認した。仮に設計で想定した範囲を超える温度条件によって凍結した場合でも、パイプ破裂による漏水などの事故に至らないレベルの耐久性を有していることが確認された。

5. 継手の検討及び評価

5.1 構造の検討

凍結防止管の継手は、内管の接続と外管の接続が必要となる。内管の接続については市販のEF接続(電熱線が埋め込まれた継手に内管を挿入し、電熱線に通電して継手内面と内管外面の樹脂を加熱溶融させて融着する接続方法:エレクトロフュージョン接続)を標準とし、1.0 MPa仕様パイプについては内圧補強層や保護層の端部処理長を施工可能な最短長さとして継手部のコンパクト化を図った。(後述の施工性評価を参照)なお、0.75 MPa仕様のパイプについては保護層、内圧補強層の端部処理は不要となる。

継手部の断熱層については、パイプ本体と同等の断熱特性を持たせるためパイプ本体と同じ厚さとし、両面防水テープにて断熱シートを縦添え固定とする構造とした。外管の接続については外管接続スリーブのロングタイプ(既に製品化されているアクアフィット®の約2倍の長さ)を新たに用意し、採用することとした。上記の構造によって軽量で施工性に優れ、パイプとほぼ同径のコンパクトな継手構造となる。図12に1.0 MPa仕様の継手構造を示す。

5.2 施工性の評価

1.0 MPa仕様のパイプにて継手の施工性を評価した。図13に継手施工写真を示す。継手部の保護層及び内圧補強層の端末

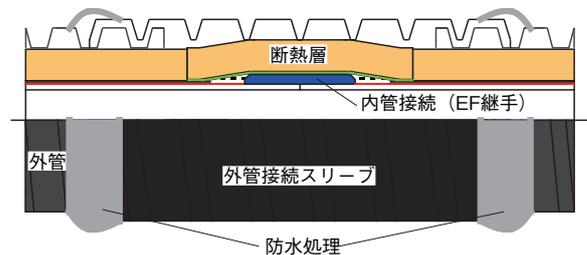


図12 継手の構造 Structure of pipe fitting.



図13 継手の施工 Installation of pipe fitting.

処理長を最短とすることで、問題なく施工できることを確認した。また、断熱層についてもパイプ部と同じ厚さで縦添えすることで極めて簡易に施工できる。

5.3 継手の評価

5.3.1 水密性の評価

(1) 評価方法

図14に示すように、中間継手部に所定の曲げ条件にて曲げ履歴を与えた後、水槽内に浸漬させ水密性を評価した。



図14 水密試験(φ50)
Waterproof test.

・試験条件

- 供試試料： 中間継手(φ50, φ75, φ100)
- 曲げ条件： 曲げ半径5 mR × 3往復
- 浸漬時曲げ条件： 5 mR
- 浸漬時間： 72 h

(2) 評価結果

内部調査の結果、継手内部に水の侵入はなく、継手部の水密特性に問題がないことを確認した。

5.3.2 引張特性の評価

(1) 評価方法

外管継手部の抜け強度を確認するため、外管のみの接続試料にて引張試験を行った。試験状況を図15に示す。



図15 継手部の引張試験
Tensile test of pipe fitting.

- ・供試試料 φ50外管及び外管継手
φ75外管及び外管継手

(2) 評価結果

外管継手部だけに張力が作用した場合でも、φ50では約3.6 kN、φ75では約7.8 kNまでは継手部が抜けなかったことを確認した。実際の敷設工事では継手施工後に継手部だけに張力がかかることはほとんど無いため、強度的には問題ないと言える。

6. まとめ

凍結防止管の性能検証結果をまとめて以下に示す。いずれの結果も性能上問題となるものはなく、軽量で可撓性に優れた凍結防止管として十分適用できる性能を有していることを実証した。

①製造及び構造評価

製造工程に問題はなく、構造面でも極めて軽量の凍結防止管となっている。

②機械的特性

パイプ重量による断熱層の偏平(厚さ減少)や曲げ特性に問題ない。

③断熱特性

設計と同等の断熱性能を有しており、凍結防止管として十分な性能を持っている。また、繰り返し凍結に対する耐久性についても問題はない。

④継手構造及び施工性

軽量でコンパクトな構造であり、施工性も極めて簡易である。

⑤継手性能

中間継手部の水密性や引張強度に問題はない。

7. おわりに

軽量で可撓性に優れ、長尺及び高圧仕様に対応できる凍結防止管の開発を進め、本開発品が優れた断熱特性を持ち、実用上十分な性能を持っていることを実証した。今後、本開発品が凍結防止の必要な地域における送配水事業に貢献できると期待される。

参考文献

- 1) 山口, 他:「深層水取水事業の展開」古河電工時報, 112 (2003), 70.
- 2) 牧野, 他:「大水深用フレキシブルパイプの開発」古河電工時報, 93 (1993), 102.
- 3) 籠浦, 他:「パイプインパイプ用フレキシブルパイプの開発」古河電工時報, 112 (2003), 64.