

工法紹介

プラント稼動時に保冷機能を回復させる工法

「保冷材リニューアル工法」

工事業本部 工事技術部 断熱チーム

1. はじめに

LNG・LPGなど低温流体配管の保冷材に硬質ウレタンフォームが使用され始めてから、約30年が経過した。硬質ウレタンフォームが長年にわたる使用により経年劣化し、本来の断熱機能が発揮できなくなったエリアについてのメンテナンス工事が十数年前より行われている。ニチアスも多くのメンテナンス工事を受注し、実績を上げてきた。ここでは、メンテナンス工事からの数々の経験を生かし、特に極低温のLNG基地における生きた（配管が冷却されたままの）配管保冷材のリニューアル工法について紹介する。

2. 既設配管保冷構造

2.1 保冷構造

硬質ウレタンフォームを用いた初期のLNG配管の保冷構造を図1に示す。この構造は、保冷材の外表面に防水性を有したアスファルトルーフィングを硬質ウレタンフォームの自己接着性を利用して一体成型した硬質ウレタンフォームカバー（T/#5001-Sフォームナートカバー-S）を多層構造として使用していた。最外層のフォームナートカバーの表面には、防湿材としてアスファルト系マスチック（F/#60-25 C.I.マスチックまたはF/#65-07 Safetee C.I.マスチック）と補強クロス（T/#9832-B ラギングクロスB）を併用した工法が採用されていた。

しかし、この防湿工法の場合、アスファルト系マスチックの塗布作業による作業量の増加やマス

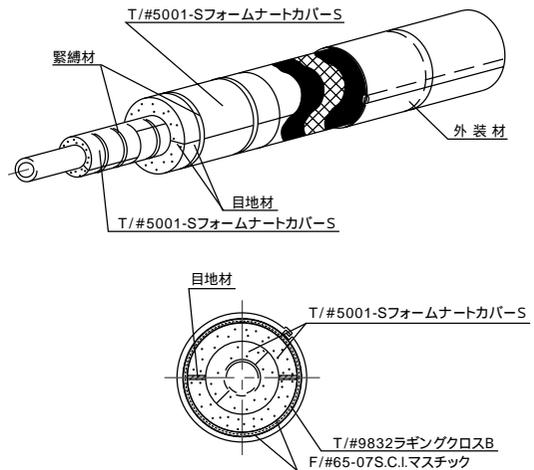


図1 初期LNG配管保冷構造図

チックの乾燥に時間がかかることによる外装材取付け工程の遅延などの問題が生じた。

そこで、これらの問題を解消するための省力化工法として現在では、図2に示した最外層の防湿材として、アルミ箔とポリエステルシートを積層させた防湿シート（ニチアスVシート）を硬質ウレタンフォームの自己接着性を利用して一体化させた硬質ウレタンフォームカバー（T/#5001-Vフォームナートカバー-V）と目地の防湿材にブチルゴム粘着剤を基材とし、この表面にアルミ箔を蒸着後、ポリエステルコーティングさせた防湿テープ（エラスチックテープA-0.5）を用いた保冷構造が採用されている。

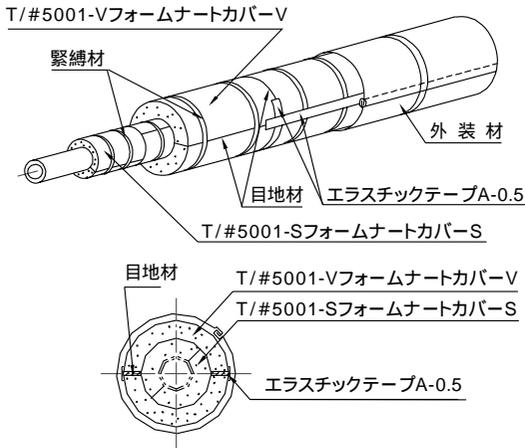


図2 現在のLNG配管保冷構造図

2.2 冷間時施工における既設配管保冷構造の問題点

既設配管保冷材のうち常に配管内部が極低温の雰囲気となっている配管について、建設時と同

様の保冷構造で施工した場合に以下の問題が生じる。

①冷間時の保冷材の収縮（表1①参照）

冷間時に内層保冷材の目地がウレタンフォームの収縮により隙間が生じ、目地で対流が発生し、断熱性能が低下する。

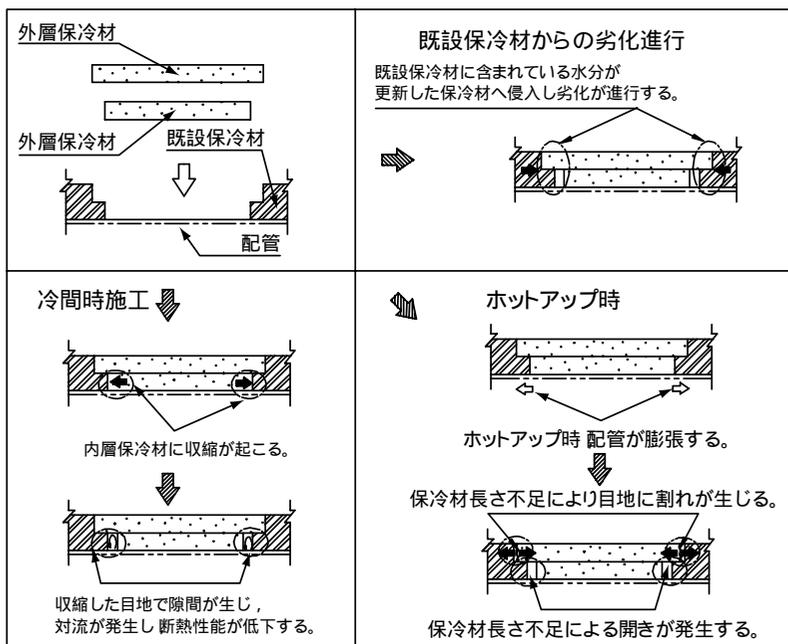
②ホットアップ時（表1②参照）

配管のホットアップ時には配管の膨張（配管敷設時の長さに戻る）に伴い、新規保冷材も同様に膨張するものの、配管の膨張には追従できず、保冷材の長さが不足し、目地の開きや注入したウレタン発泡フォームに割れが発生する。

③既設保冷材からの劣化進行（表1③参照）

メンテナンス工事では、配管1系統すべてを一度に交換することは入熱の一時的な増大を招き、設備運転上困難であるため、部分的に保冷材を更新する方法を取らざるを得ない。この際、既設保冷材が劣化している場合、新規保冷材との間に境界を作る処置を行なう

表1 冷間時施工における問題



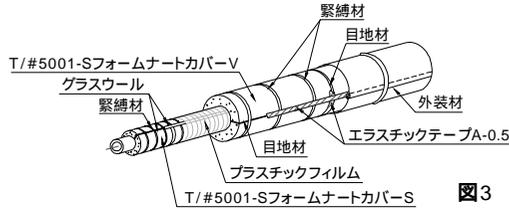


図3 リニューアル工法概略図

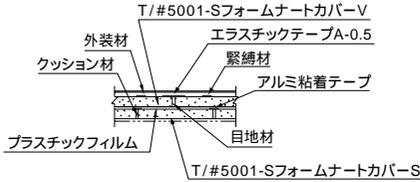


図4 円周方向目地部詳細図

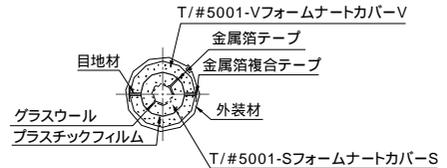


図5 長手方向目地詳細図

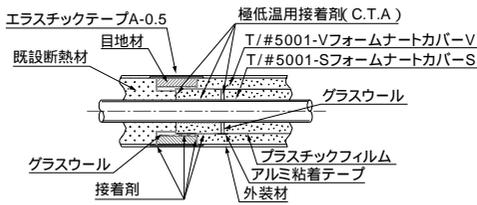


図6 既設保冷材取合部長手方向目地詳細図

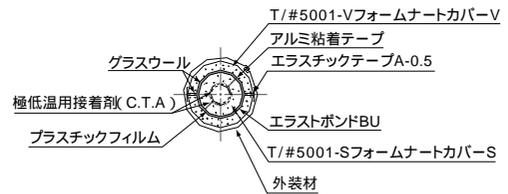


図7 既設保冷材取合部円周方向目地詳細図

必要がある。この処理を行わないと、新規に交換した保冷材が劣化した保冷材からの影響を受け易くなる。

3. リニューアル工法の特長

2.2で述べた問題点について解消する工法として、図3～7に示す構造を開発した。

この構造の特長を以下に示す。

- ①内層保冷材の円周目地・長手目地にグラスウールを圧縮充填することにより、冷間時の新規保冷材の収縮により生じる隙間をグラスウールが復元する性質を生かし、この隙間を埋め、断熱効果の低下を防ぐ。
- ②また、目地からの対流防止を目的として耐低温性を有したプラスチックフィルムを巻くことによって、その効果が発揮される。
- ③既設保冷材と新規保冷材との境界を設ける構造として、内層保冷材の内面及び目地に極低温用の接着剤を塗布し、更に外層保冷材の円周目地部はT/#5003フォームナート原液に

よる注入発泡施工を施すが、既設保冷材が吸水している場合、注入発泡施工の際、水の介在により健全なフォームとならない。これを防止するため、施工前にウレタン系接着剤を目地部分に塗布し、更に注入発泡フォームのクラック防止目的としてガラスクロスを施工する処置を施した構造である。

3. リニューアル工法の性能

建設後約10年以上経過したLNG基地内の他社施工分において防湿材の施工不良や切り出しカバーによる適切な保冷工法を採用しなかったために短期間で保冷材表面及び内部が氷結しているエリアがあった。このエリアについて、図3に示すリニューアル工法により、保冷材の交換を実施した。交換実施例を写真1～3に示す。大口径配管及び小口径配管各1系統について既設保冷材を解体する前の断熱性能及びリニューアル工法を施工した後の断熱性能を測定した。測定フローを図8に示す。

4.1 測定方法

4.1.1 侵入熱量の測定²⁾

侵入熱量の測定は、放散熱量計を用いて測定し、センサーが熱量と接する部分の温度を t_1 ()、その反対側の温度を t_2 () とするとき、センサーを通じて放散される熱量 Q' (W/m²) は、次式で求めることができる。

$$Q' = (t_1 - t_2) / R \dots\dots\dots(1)$$

R : センサーの熱抵抗

センサーから測定された侵入熱量は1m²当たりの熱量 (単位 : W/m²) である。配管の場合は1m当たりの熱量 (単位 : W/m) という表現であ

るので、次式にて換算する。

$$Q'p = Q(d_0 + 2t) \times \dots\dots\dots(2)$$

$Q'p$: 換算された侵入熱量 (W/m)

Q' : 測定侵入熱量 (W/m²)

d_0 : 配管径 (m)

t : 保冷厚さ (m)

4.1.2 侵入熱量の補正

測定時の条件は、設計条件と異なるため、測定時の数値のまま設計値と評価することができない。そのため、以下のような補正式を用いて設計値と同一条件の侵入熱量及び表面温度を算出した。

設計侵入熱量を Q 、測定侵入熱量を Q' とすると



写真1 既設保冷材解体後の配管に付着した霜の除去



写真2 既設保冷材との境界部分の内層保冷材の施工後外観



写真3 内層保冷材の取付け及びプラスチックフィルム施工後の外観

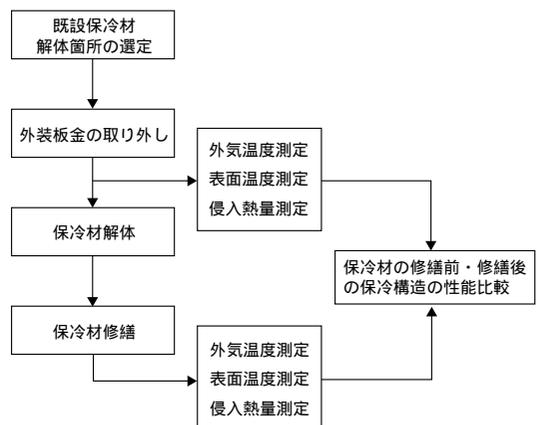


図8 測定フロー¹⁾

$$Q/(t_0 - t_r) = Q'/(t'_0 - t'_r) \dots\dots\dots (3)$$

Q : 設計侵入熱量 (W/m²)

Q' : 測定侵入熱量 (W/m²)

t₀ : 設計内部温度 ()

t_r : 設計外気温度 ()

t'₀ : 測定内部温度 ()

t'_r : 測定外気温度 ()

という関係式で表され、これをQを求める式に変形すると

$$Q = Q' \times \left\{ \frac{t'_0 - t'_r}{t_0 - t_r} \right\} \dots\dots(4)$$

となる。

ここで、 $m = (t'_0 - t'_r)/(t_0 - t_r)$ 、補正侵入熱量をQ''p (W/m²) とすると式(3)から

$$Q''p = m \times Q'p \dots\dots\dots(5)$$

と表される。

4.1.3 表面温度の測定・補正

表面温度は接触型表面温度計を用いて測定した。測定した表面温度Q''sの補正は次式を用いて行った。

$$Q''s = \{Q''p / (d_1 \times d_2) + r \dots\dots(6)$$

表3 侵入熱量・表面温度測定結果及び補正結果

配管サイズ	測定部位	測定時期	測定位置	侵入熱量 (W/m)					判定	外気温度 ()		内部温度		表面温度			
				測定値	平均値 Q _p	補正值 Q _p	設計値 Q	倍率		設計値 t _r	測定値 t _r	設計値 t ₀	測定値 t ₀	補正係数 m	設計値 t _s	補正值 t _s	
100A (4B)	直管部	修繕前	上	24.1	51.4	58.4	22.2	2.6	C	30	8.5	-164	-162	1.14	27.2	22.6	
			中	25.2													
			下	105.0													
		修繕後	上	15.6	18.6	20.7	22.2	0.9		A	30	10.9	-164	-163	1.11	27.2	27.4
			中	19.4													
			下	20.7													
100A (4B)	エルボ部	修繕前	上	34.7	41.7	47.6	22.2	2.1	B		30	9	-164	-161	1.14	27.2	24.0
			中	37.7													
			下	52.9													
		修繕後	上	19.0	19.4	21.9	22.2	1.0		A	30	8.8	-164	-163	1.13	27.2	27.2
			中	18.8													
			下	20.3													
700A (28B)	直管部	修繕前	上	120.6	202.5	210.6	67.6	3.1	C		30	26.1	-164	-161	1.04	27.2	21.5
			中	76.4													
			下	410.6													
		修繕後	上	54.7	63.7	69.3	67.6	1.0		A	30	16.3	-164	-162	1.09	27.2	27.2
			中	64.3													
			下	72.1													
700A (28B)	エルボ部	修繕前	上	201.6	206.7	232.1	67.6	3.4	C		30	11.1	-164	-162	1.12	27.2	20.7
			中	173.8													
			下	244.8													
		修繕後	上	50.0	61.7	67.7	67.6	1.0		A	30	14.2	-164	-163	1.10	27.2	27.3
			中	60.1													
			下	75.0													

4.1.4 補正值の評価

補正した侵入熱量の評価は、設計侵入熱量との倍率で表2に示す3ランクに基づき評価した。

また、表面温度の評価は設計露点温度27.2 を超えると合格とした。

表2 侵入熱量評価基準

ランク	倍率	評価
A	2.0倍以下	問題なし。
B	2.1～3.5倍	劣化が進行し始めている。
C	3.5倍を超える	劣化が激しい。交換要。

4.2 測定結果

今回、配管サイズ100A(4B)及び700A(28B)のLNG配管において直管部及びエルボ部について測定を行なった。測定結果及び補正值を表3に示す。

侵入熱量について、修繕前の補正值は設計値に対して2.1～3.4倍の数値となり、保冷材の劣化が進行していることがわかる。また、それに伴い、表面温度の補正值も設計露点温度27.2 を大きく

下回る結果となった。

修繕後の侵入熱量の補正值は、設計値に対して0.9～1.0倍となった。また、表面温度の補正值も設計露点温度以上となり、保冷性能上問題ないことが判る。

以上のことから、リニューアル工法により冷間時において保冷材を交換しても保冷性能を確保することができることが確認された。

5. おわりに

今回、冷間時における保冷材リニューアル工法について述べたが、今後、この工法によるメンテナンス工事をご検討されるユーザ殿の御参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 川井：「フォームナートによるパイプインスレーションの紹介」ニチアス技術時報，No. 213 第4号，1981年
- 2) 菊池：「硬質ウレタンフォームによる低温配管保冷システムとその効果」ニチアス技術時報，No. 257 第1号，1989年
- 3) 嶋野，加藤：「配管の保冷メンテナンスについて(1)」ニチアス技術時報，No. 263 第2号，1990年
- 4) 嶋野，加藤：「配管の保冷メンテナンスについて(2)」ニチアス技術時報，No. 264 第3号，1990年

