

〈解説〉

PC構造の防液堤を有したLNGタンク [PCLNGタンク]の保冷構造と施工

基幹産業事業本部 工事業業部 工事技術部 塚本 徹

1. はじめに

天然ガスはメタンを主成分とし、化石燃料の中で最もCO₂の排出量が少ないエネルギー源として知られる。また、近年の技術革新によって非在来型天然ガスの採掘が可能になったことにより推定埋蔵量が増え、今後も安定した供給が期待されている。国内では、1990年代から石油からの代替が進み、工業用途を中心に天然ガスの需要が拡大してきたが、2011年の大震災以降は電力不足に対応する火力発電所の燃料としての重要性が増している。

こうした状況を背景に、現在国内ではLNG (Liquefied Natural Gas: 液化天然ガス) の受け入れ、貯蔵設備の増設、新設が相次いでいる。LNGは、天然ガスを効率良く運搬、貯蔵を行うために液化したものであるが、流体温度は-162℃と極低温であり、LNG設備においてはこの極低温を保つために高度な保冷技術が用いられている。特にLNG貯槽（以降、LNGタンクと言う）では、大容量のLNGを効率良く安全に保管するため、特殊な保冷構造が要求される。

本稿では各種あるLNGタンクのうち、近年の新規建設におけるLNG地上式タンクの主流であるPC (Prestressed Concrete) LNGタンクの保冷構造について解説する。

2. PCLNGタンクの特徴

図1に示すように、従来の金属二重殻LNGタンクは、災害時に漏洩したLNGの拡散防止を目

的とした防液堤が、LNGタンクと独立して設置されていた。これに対しPCLNGタンクでは、従来の金属二重殻LNGタンクとPC (Prestressed Concrete) 構造の防液堤を一体化している点が大きな特徴である。

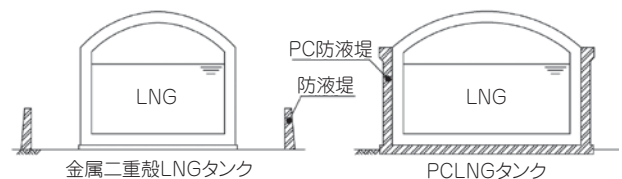


図1 金属二重殻LNGタンクとPCLNGタンク

PCLNGタンクでは、防液堤スペースを削減できることから、従来の金属二重殻LNGタンクと同じ敷地面積でタンクの大型化が可能とされている。このためPCLNGタンクの容量は、従来の金属二重殻LNGタンクから倍増して14万~18万kLのものが一般的となり、今後20万kL級のものも計画されている。18万kLクラスのPCLNGタンクでは、PC防液堤の直径が80mを超える巨大な構造物である（図2参照）。



図2 最新のPCLNGタンク（180,000kL）
（中部電力㈱殿川越火力発電所）

3. PCLNG タンクの保冷構造

PCLNGタンクの基本構造を図3に、タンク底部および側部の保冷構造概略を図4に示す。PCLNGタンクは、円筒形のPC防液堤内面に設置される外槽側部ライナと外槽底部ライナ、およびドーム形状の外槽屋根板から成る金属製の外槽と、その内部にLNGを直接貯蔵する内槽側

板と内槽底板、および内槽屋根板から成る金属製の内槽を持ち、内槽と外槽による二重殻構造を形成している。

内槽と外槽の間にはLNGを -162°C に保ち、BOG (Boil Of Gas : 気化ガス) 発生量を低減させるための保冷層と、LNG漏洩時に基礎版およびPC防液堤を保護するための冷熱抵抗緩和部を有している。以下に各部保冷構造の詳細を述べる。

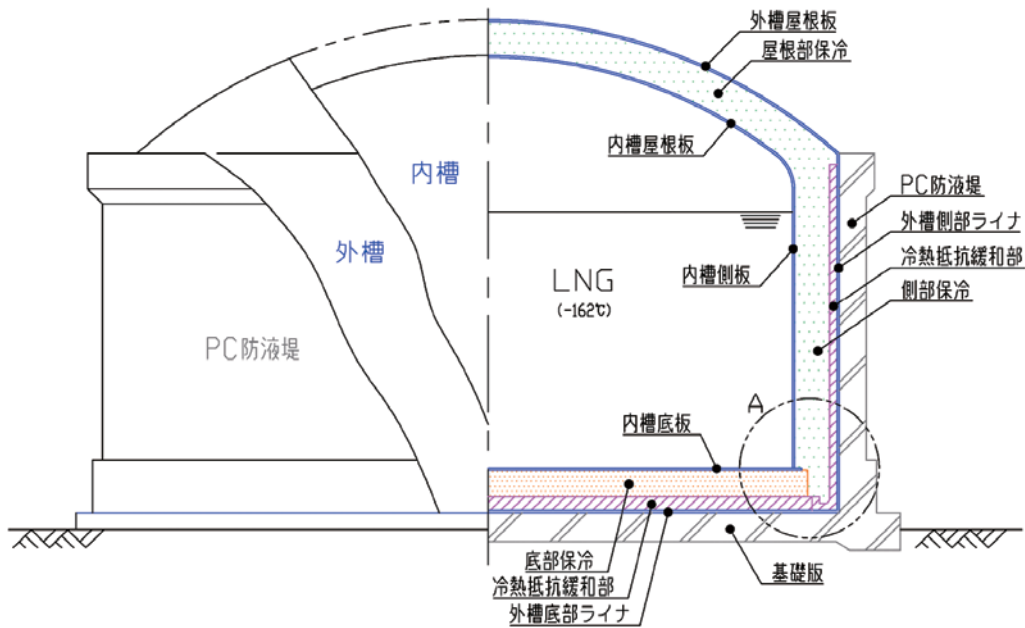


図3 PCLNGタンクの基本構造

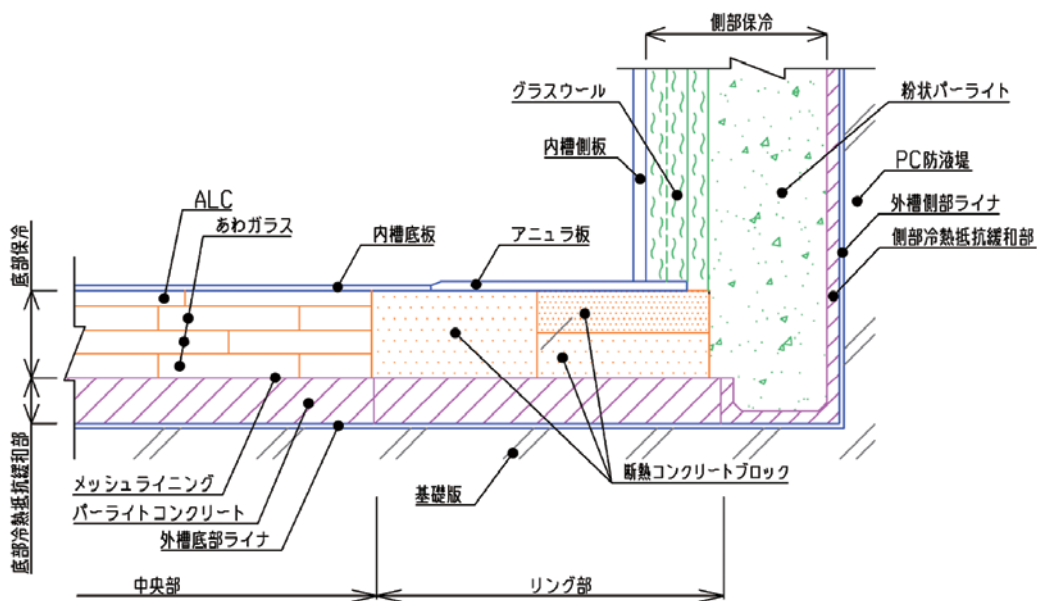


図4 底部・側部保冷構造概略 (図3 A部)

3.1 冷熱抵抗緩和部

冷熱抵抗緩和部は、外槽底部ライナと外槽側部ライナ表面に施工されるもので、内槽からLNGが漏液した場合に、基礎版およびPC防液堤をサーマルショックから保護することを目的とする。冷熱抵抗緩和部は、施工部位により以下の二種類に大別される。

1) 底部冷熱抵抗緩和部

外槽底部ライナ表面に施工される範囲を底部冷熱抵抗緩和部と言う。従来の金属二重殻LNGタンクでは、当該箇所には底部保冷施工に先立ちレベルリング材として「パーライトコンクリート」が施工されていた。パーライトコンクリートとは、真珠岩を粉碎・焼成して製造される「粉状パーライト」を骨材とした断熱コンクリートである。

PCLNGタンクでは、LNG漏えい時のサーマルショックに対するひび割れ防止を目的として、パーライトコンクリート表面をガラスメッシュとウレタン樹脂接着剤から成る「メッシュライニング」にてライニングする。このパーライトコンクリートとメッシュライニングを合わせて底部冷熱抵抗緩和部と称している。また底部保冷の区分に合わせ、内槽底板のアンジュラ板下の範囲をリング部、それより内側の範囲を中央部と区分する。

パーライトコンクリートとメッシュライニングから成る底部冷熱抵抗緩和部の厚さは一般的に300mm程度である。底部冷熱抵抗緩和部に用いられるパーライトコンクリートの代表特性を表1に示す。パーライトコンクリートは、現地に専用ミキサープラントを設置し、セメント、粒状パーライト、混和材、水を混練し、打設される。

表1 パーライトコンクリート代表特性

施工部位	リング部	中央部
乾燥密度	900kg/m ³	800kg/m ³
圧縮強度	4MPa	3MPa
熱伝導率	0.23W/(m・K)	0.19W/(m・K)

注) 数値は、タンクメーカー、タンク容量によって異なる。

2) 側部冷熱抵抗緩和部

外槽側部ライナ表面に施工されるもので、従

来の金属二重殻LNGタンクでは施工されない。一般にポリウレタンフォーム吹付または現地注入発泡によって施工される。また採用実績は少ないがポリウレタンフォームのパネル工法も存在する。厚さは一般に50mm程度である。

側部冷熱抵抗緩和部に用いられるポリウレタンフォームの代表特性を表2に示す。

表2 ポリウレタンフォーム代表特性

圧縮強度	0.29MPa
熱伝導率	0.023W/(m・K)

注) 数値は、タンクメーカー、タンク容量によって異なる。

3.2 底部保冷

底部冷熱抵抗緩和部の上部に施工される保冷層であり、厚さは一般に400~600mmである。底部保冷は施工部位によって二種類に区分される。

1) 底部リング部

底部リング部とは、内槽側板直下、内槽底板のアンジュラ板下の範囲を言う。内槽の重量と地震荷重を支持する必要があるため、断熱性能をある程度犠牲にして強度を高めた「断熱コンクリートブロック」が施工される。図5に示すように、断熱コンクリートブロックは一般にアンジュラ板に沿って同心円状に2列配置される。円周方向のブロック配置ピッチは1m程度であり、18万kLクラスで各列240個前後配置される。

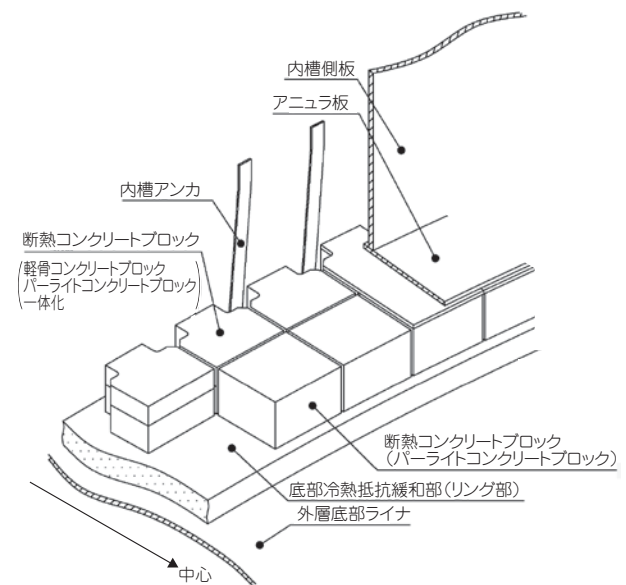


図5 底部リング部概略

各列の断熱コンクリートブロックの構造はそれぞれ異なり、大きな荷重を受けない内周側列には、粉状パーライトを骨材とした「パーライトコンクリートブロック」が用いられる。

一方、内槽側板直下の外周側列には、パーライトコンクリートブロックと、より強度を高めるため人工軽量骨材を骨材とした「軽骨コンクリートブロック」を一体化したものが用いられる。

断熱コンクリートブロックは工場製造品であり、現地施工開始前の半年～1年前から製造が開始される。荷重を支える重要な部材であるため、製造ラインから抜き取られた製品を用いて実体破壊試験を行い、耐荷重性能を確認した後に施工される。

表3に断熱コンクリートブロックの代表特性を示す。

表3 断熱コンクリートブロック代表特性

種 類	内周側列		外周側列	
	パーライト コンクリート	パーライト コンクリート	軽骨 コンクリート	軽骨 コンクリート
乾燥密度	800kg/m ³	1000kg/m ³	1600kg/m ³	1600kg/m ³
圧縮強度	3MPa	6MPa	40MPa	40MPa
熱伝導率	0.19W/(m・K)	0.26W/(m・K)	0.52W/(m・K)	0.52W/(m・K)

注) 数値は、タンクメーカー、タンク容量によって異なる。

2) 底部中央部

底部中央部とは、内槽底板のアンジュラ板より内側の範囲を言い、主に液圧のみを受けるためリング部ほどの強度は要求されず、底部冷熱抵抗緩和部の上に断熱性能を優先した保冷材が施工される。PCLNGタンク導入初期は、円筒形のパーライトコンクリートブロックを配列し、空間に粉状パーライトを充填する構造が採用されたが、近年では、図6に示すような「あわガラス」

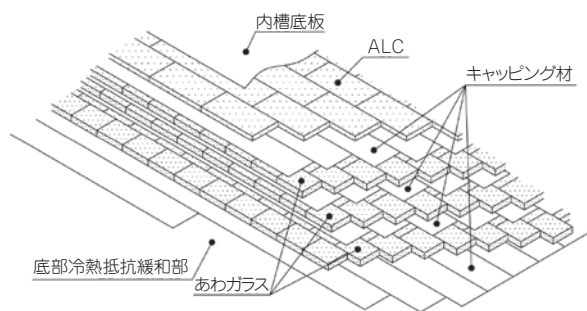


図6 底部中央部概略

を積層する構造が一般的となっている。

あわガラスは、溶融させたガラスを発泡剤によって発泡させた無機質のブロック状の断熱材である。欧米では住宅用断熱材として広く普及しているが、国内では製造されていないため輸入品に頼っている。

あわガラスの上にはALC（軽量気泡コンクリート）の板材が敷設される。あわガラスを保護し底部保冷上での作業を可能とする目的として敷設されるもので、国産の一般的な建築用として供されている板厚100mmのものが用いられている。

表4にあわガラスおよびALCの代表特性を示す。

表4 あわガラスおよびALC代表特性

種類	あわガラス	ALC
標準密度	160kg/m ³	500kg/m ³
圧縮強度	1.6MPa	3.9MPa
熱伝導率	0.047W/(m・K)	0.17W/(m・K)

注) 数値は、タンクメーカー、タンク容量によって異なる。

あわガラスの層間、あわガラスとALCの層間には、不陸調整のためのキャッピング材が敷設される。国内では一般にセラミックフェルトをペーパー状に加工したものが用いられ、当社製品では、TOMBO No.5130「ファインフレックス® 1300ペーパー」が多く採用されている。

3.3 側部保冷

外槽側ライナと内槽側板との間には約1100mmの空間があり、この空間全てが保冷層となる。外槽側部ライナには、前述の側部冷熱抵抗緩和部としてポリウレタンフォームが施工される。対面する内槽側板には、グラスウールが300～400mm程度取り付けられる。このグラスウールは、タンク稼動時の内槽の膨張収縮に伴う粉状パーライト（後述）の沈降と、粒状パーライトによる内槽への側圧を軽減することを主な目的として設置され、一般的なグラスウールよりも弾性の高い特殊品が使用される。

側部冷熱抵抗緩和部とグラスウール間の空間には粒状パーライトが充填され、側部の主たる保冷層を形成する。粉状パーライトは、前述の通り真珠岩を粉砕、焼成して製造されるもので、側部に充填されるものは、パーライトコンクリー

トに用いられるものと比較して軽量で断熱性能が高いものが用いられる。粒状パーライトの代表特性を表5に示す。

表5 粒状パーライト代表特性

圧密密度	48~80kg/m ³
熱伝導率	0.044W/(m・K)

注) 数値は、タンクメーカーによって異なる。

粉状パーライトは他の保冷材と比較して圧倒的に使用量が多く、18万kLクラスで屋根部を含め15,000m³におよぶ。大型のLNGタンクでは輸送コストを削減するため、粉状パーライト製造用の焼成機を現地に設置して、現地にて粒状パーライトを製造する場合が多い(図7)。この場合、焼成機はタンクの側近に設置される。粒状パーライトは、製造後直ちにタンク屋根部まで輸送管を通して空気圧送され、屋根部に配置されたマンホールから連続的に充填される。この作業は24時間体制で行われる。従来の金属二重殻LNGタンクでは、粉状パーライト充填中にタンク側板にバイブレータを設置し加振していたが、PCLNGタンクではこれを行わず、運転開始から約一年後に粉状パーライトの沈降点検を行うのが一般的である。

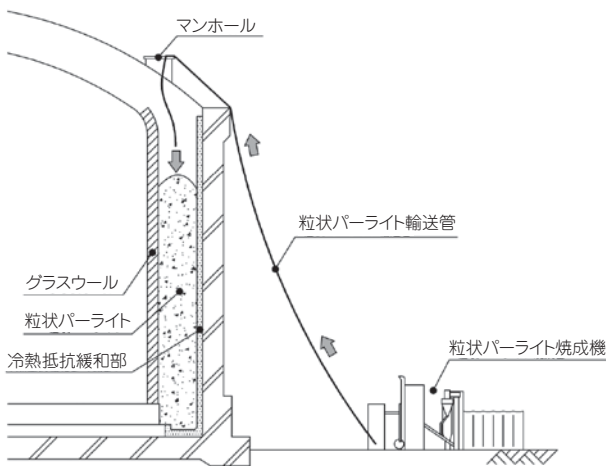


図7 側部粒状パーライト充填要領概略

3.4 屋根部保冷

外槽屋根板に設置されたノズル、マンホール類のタンク内部の保冷は、側部保冷の粒状パーライトの充填に先立ち実施される。併せてタンク外部のノズル類の保冷が行われる。

外槽屋根板と内槽屋根板との間には約900mmの空間があり、図8に示すように側部保冷と同様に粉状パーライトの充填を行う。

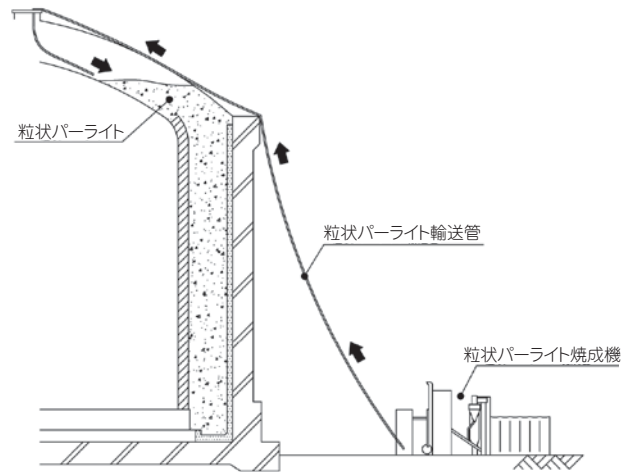


図8 屋根部粒状パーライト充填要領概略

屋根部保冷の完了を持って、PCLNGタンク全体の保冷工事が完了となる。上記に解説した各部位の施工は連続的に行われるのではなく、PCLNGタンク本体の建設期間中に断続的に行われ、現地保冷工事開始から完了まで一般的には2年前後、断熱コンクリートブロック製造を加えると3年前後を要するスパンの長い工事案件である。

4. おわりに

当社は、LNG設備の配管や機器の保冷工事に、その主要材料である硬質ウレタンフォーム保冷材メーカーとしてだけでなく、保冷施工業者として古くから密接に関わってきた。LNGタンクに関しても、大型の地下式LNGタンクの施工実績を多く残しているが、近年では表6に示すように、本稿で紹介した地上式のPCLNGタンクに関しても施工実績を伸ばしており、現在も二つのサイトで建設工事に携わっている。

表6 当社のPCLNGタンク保冷施工実績

設備名称	運転開始	貯槽容量
岡山ガス(株)殿 築港工場	2003年	7,000KL×1基
北海道ガス(株)殿 函館みなと工場*	2006年	5,000KL×1基
台湾中油社殿 Northern LNG Receiving Terminal	2009年	160,000KL×3基
沖縄電力(株)殿 吉の浦火力発電所	2012年	140,000KL×2基
中部電力(株)殿 川越火力発電所	2013年	180,000KL×2基
JX日鉱日石エネルギー(株)殿 釧路LNG基地	建設中	10,000KL×1基
東北電力(株)殿 新仙台火力発電所	建設中	160,000KL×2基

*側部冷熱抵抗緩和部（ポリウレタンフォームパネル工法）のみ

今後、シェールガス革命によって世界のエネルギー事情は大きく変わると言われており、国内も天然ガスへのシフトがさらに進んで行くと考えられる。当社は、今後も極低温保冷に関する高い技術力を持ってLNG事業に関わり、国内のエネルギー産業への貢献を果たして行く所存である。

* TOMBOはニチアス(株)の登録商標または商標です。

* ファインフレックスはニチアス(株)の登録商標です。

筆者紹介



塚本 徹

基幹産業事業本部 工事業業部
工事技術部 断熱技術課