

大型LNGタンクの 需要を支える鉄鋼材料



仙台火力発電所(東北電力(株))に建設された地上式PC-LNGタンク(容量:16万 m³) (左)、覆土式LNG地下タンク(東京ガス(株)、容量:25万 m³)の内部(右)。(資料提供:(株)IHI)

CO₂の排出量が少ないクリーンなエネルギーであるLNGは、日本のエネルギー需要を支える重要な役割を担っている。海外からLNGを輸入する日本では、貯蔵用の大型LNGタンクは不可欠な設備である。代表的なLNGタンクの工法や、そこで使用される鉄鋼材料について紹介する。



日本のLNG需要の高まりとLNGタンクの建設

2016年の伊勢志摩サミットの関係閣僚会合のひとつであるG7北九州エネルギー大臣会合において、経済産業省は「LNG (Liquid Natural Gas:液化天然ガス) 市場戦略」を発表し、LNG安定供給のためにLNG関連インフラ整備をサポートしていくと表明した。最近の日本のエネルギー需要を考えると、LNGの重要性はますます高まっていることだろう。

日本では1990年代から工業用途を中心としてLNGの消費量が増加したが、2011年の東日本大震災以降は、火力発電所の燃料としての需要が増加し、現在発電用が70%を占めているといわれる。2014年の日本のLNGの消費量は1,125億 m³で、その調達先はオーストラリア、カタール、マレーシアなどであった。

世界の天然ガス消費量は増加傾向にあり(図1)、世界全体のLNG輸入量の36.2%、3分の1以上を日本が占めている(2014年)(図2)。LNGの安定供給のためには、調達先の確保が重要である。日本へのLNG調達を取り巻く最近のトピックスとして、米国からのシェールガスによるLNG輸入量の増大が挙げられる。現在、米国で日本企業が関わっている主

なプロジェクトは4件で、日本の年間LNG輸入量の約20%に相当する輸出承認を米国政府から獲得している。また2016年6月、パナマ運河の拡張工事が完了し、これを契機に米国からの大型LNGタンカーによる航行が増えることが予想される。

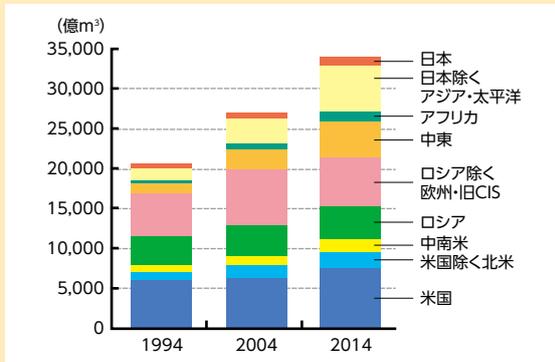
一方、現在オーストラリア北西部で、日本企業が初めてオペレーターを務めるオールジャパンの大型LNGプロジェクト「イクシスLNGプロジェクト」の建設が進められている(事業主体:国際石油開発帝石(株)、2017年生産開始予定)。沿岸のガス田で採掘された天然ガスをLNG化して、日本、韓国、台湾などに輸送する計画であり、日本への供給量が増大することが期待されている。

このようなLNGを取り巻く状況の変化に伴い、LNGの生産国、消費国の双方で、LNG貯蔵タンクの大型化が進んでいる。日本においても、世界最大級の大型LNGタンクが建設されている。

日本がLNGを輸入する場合、LNGはタンカーで海上輸送され、沿岸の受入基地の貯蔵タンクに貯蔵される。そこから需要地までは、2つの方法がある(図3)。受入基地で気化して都市ガスの状態で供給するか、パイプラインやタンクローリーで、より需要地に近いLNGサテライト基地まで輸送してそこで気化するか、どちらかである。サテライト基地にもLNG貯蔵タン

■天然ガス消費量の推移 (図1)

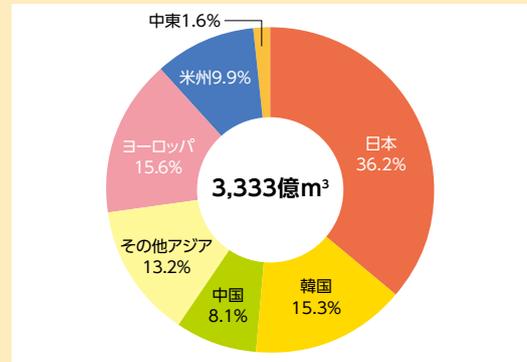
世界の天然ガスの消費量は増加しており、1994年の約20,000億m³から、2014年には約35,000億m³まで増加している。アジア・太平洋エリアと中東エリアでの消費量が大きく伸びている。



(出典 : BP Statistical of World Energy 2015)

■世界のLNG輸入 (2014年) (図2)

世界のLNG貿易はアジア向け輸出を中心に拡大しており、そのうち日本向けは36.2%を占めている。



(出典 : BP Statistical of World Energy 2015)

クが設置されているが、本稿では主に受入基地に建設される大型LNGタンクに絞って、紹介する。

タンクの安全性と大型化に寄与する鉄鋼材料

-162℃の低温液体であるLNGを安全に貯蔵するため、LNGタンクの最適な構造と材料が検討されてきた。

LNG貯蔵タンクには地上式タンクと地下式タンクがあり、代表的なものとして地上式タンクでは金属二重殻タンク、PC (Prestressed Concrete:プレストレスト・コンクリート)-LNGタンクなどがある。

金属二重殻タンク (図4) では、内槽に9%Ni鋼やアルミニウムなどの材料が用いられ、外槽には一般に炭素鋼が用いられる。内槽と外槽の間には、保冷材として粒状パーライトなどが充填され、防湿のため窒素ガスが封入されている。金属二

重殻タンクには、万一の漏液に対応するためコンクリート製の防液堤が周囲に設けられている。

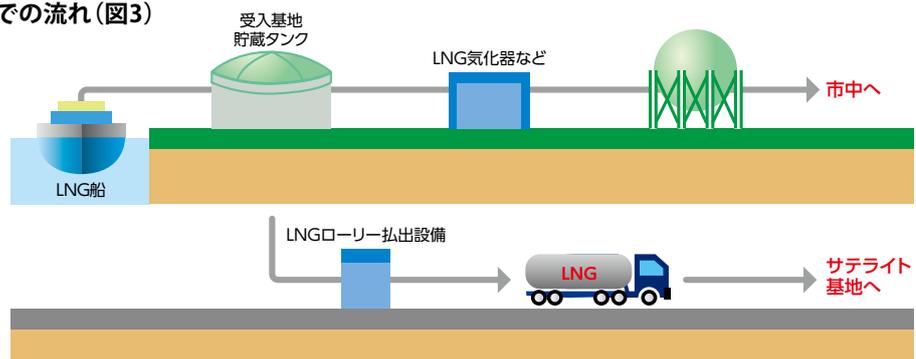
この防液堤をタンク本体 (外槽) と一体化させたのがPC-LNGタンクである (図5)。外槽と一体化したPC壁の鉄筋には、保冷材による断熱により、常温仕様の鉄筋が使用されている。また、防液堤コンクリートに圧縮力を加えることで、万一の漏液時の液圧により発生する引張力に抵抗することができる。なお、PC-LNGタンクであっても、タンク内槽は自立した構造物になっており、外槽には炭素鋼の薄板が使用され、PC防液堤の内壁に密着したライナー構造になっている。

金属二重殻タンクとPC-LNGタンクのいずれの形式でも、LNGに直接接触する内槽には低温下での強度と靱性の両立が求められ、フェライト系の低温用材料である9%Ni鋼が多く用いられている。

強度に加え、LNG温度 (-162℃) における母材および溶接継手の脆性破壊特性も重要であり、脆性き裂の伝播を途中

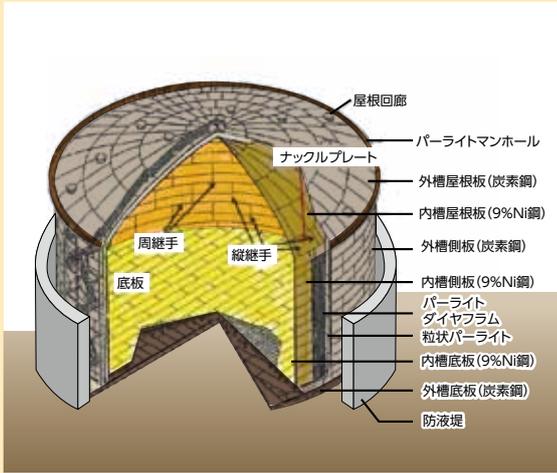
■LNGの生産から消費までの流れ (図3)

生産地のガス田で採掘され、液化された天然ガスはタンカーで輸送され、受入基地の貯蔵タンクに貯蔵される。受入基地からは、パイプラインを経て消費地に送られたり、タンクローリーなどによりサテライト基地まで輸送され、そこから消費地へ運ばれる。



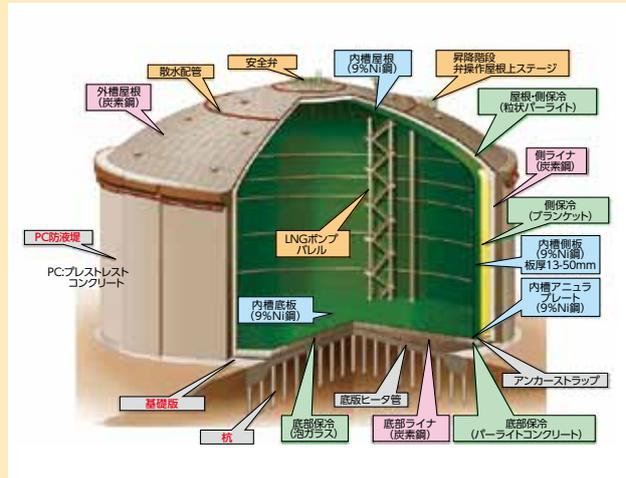
■金属二重殻タンクの構造(図4)

金属二重殻LNGタンクは、内槽と外槽の間に保冷材を詰めた構造である。外槽には貯液機能がないため、防液堤がLNGタンクと離れた位置に設置されている。



■PC-LNGタンクの構造(図5)

PC-LNGタンクは、9%Ni鋼の内槽、保冷材、外槽の炭素鋼ライナーで構成され、ライナーと密着してPC防液堤が設置されている。地上に近い部分からタンク上部にかけて徐々に板厚を薄くすることで、重量を軽減するように工夫されている。



(資料提供:(株)IHI)

で停止させるような「脆性き裂伝播停止特性(アレスト特性)」を有する材料が重要部に用いられている。

従来、内槽用材料として用いられてきた9%Ni鋼は、P、Sなどの不純物低減、Cの低減に加えて、焼入・焼戻

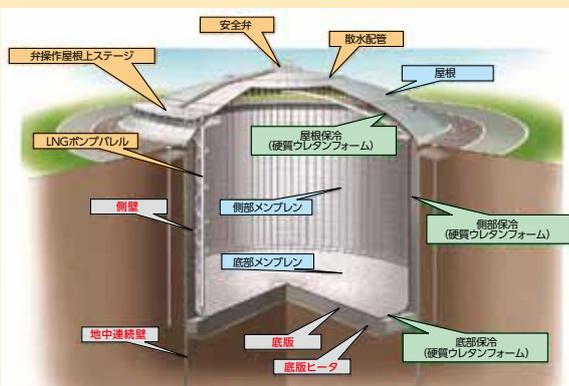
(Quench-Temper) 処理を施したQT材が用いられてきた。これに替わり現在は、さらに焼入(Q)、2相域焼入(Lamellarizing:ラメラ化)、焼戻(T)と3段階の熱処理を施したQLT材が標準的に用いられるようになった。

さらに、高価なNiの使用量を低減したいというニーズに応えるため、近年は、TMCP技術を活用した7%Ni改良鋼が開発された(開発会社である新日鐵住金(株)は日本エネルギー学会進歩賞を受賞)。この7%Ni改良鋼は、2015年に大阪ガス(株) 泉北製造所第一工場に建設された日本最大級のPC-LNGタンクの内槽に、世界で初めて適用された。

このタンクの容量は約23万m³で、内槽内径は約87mにも及ぶ。使用されている7%Ni鋼の板厚は、最厚部で約50mmである。

■地下式LNGタンクの構造(図6)

コンクリート製の躯体が構造材の役割を果し、タンク本体は厚さ2mmのステンレス鋼薄膜(メンブレン)で構成されている。メンブレンには常温～-162℃の温度変化の際に生じる約3mm/mの熱収縮・熱膨張を吸収するために、「コルゲーション」と呼ばれる波状のひだが付けられている。



■メンブレンのコルゲーションの例(図7)

コルゲーション(ひだ)はタンク内側が山折りになるように、格子状に配置されている。設置される場所に合わせて、さまざまな形状のパーツが使用される。図はコルゲーションが交わる部分のパーツの例。

(資料提供:(株)IHI)



景観に配慮した地下式LNGタンク

LNGタンクには、地上式だけでなく地下式もある。LNGタンクは港湾施設の近隣に建設されることが多いが、都市部では景観上の課題が指摘されていた。また、空港などの周辺では、建築物の高さが制限される場合もある。そこで開発されたのが地下式のLNG貯蔵タンクである(図6)。土圧はコンクリート製の躯体で支えられる。地下式のため、耐震設計などの点でも有利である。タンクは、波状のコルゲーション(ひだ)が付いた、メンブレンと呼ばれるステンレス鋼薄膜(材質はSUS304など。厚さ約2mm)をつなぎ合わせて構成されてい

工期短縮を図る新工法の開発

LNG受入基地の建設において、最も工期が長いのはLNGタンクの建設だ。従って、LNGタンクの工期短縮は、工事全体の工期短縮に大きく寄与することになる。

PC-LNGタンクを建設する場合、従来は、防液堤となるPC壁の工事が終わり、その後に、地上で組み立てた屋根を吊り上げ、タンク上部に固定していた。その後、タンク床面、壁面を構築していくことになる。この方法では屋根があるため、気象条件に左右されずに工事を進めることができる。

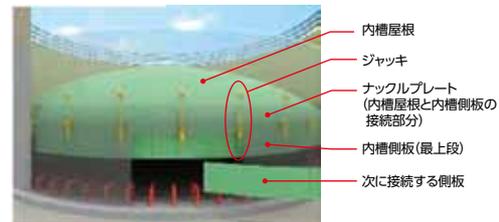
この時、屋根を持ち上げるために空気圧を利用する工法が「エアレージング」工法であり、現在、広く利用されている。屋根にはポンプにつながる配管などが付いていて、質量が均一でないため、必要な箇所にカウンターウェイトを設置するなどの工夫がされている。屋根を持ち上げるための空気圧は250～300 mmAqと比較的低圧であるものの、屋根と壁面とのシール構造もポイントになる。

近年、PC壁の構築とタンク内槽工事を平行して行うことができる「J. C. (Jack Climbing) Method」が開発され、実用化されている。これはPC壁を構築しながら、そ

の高さに合わせて徐々に屋根を持ち上げ、内槽工事を行うという方法である。

通常、内槽の側部は地上に近い部分から上へ向かって構築されるが、J.C.Methodでは、内槽は上から下に向かって順に構築されながら、屋根とともに持ち上げられていく。溶接などの作業は常に地上で行うため、高所作業を大幅に減らし、作業の効率性と安全性を同時に向上できた。

■ J. C. Method®



内槽屋根、屋根と側板を接続するナックルプレート、内槽側板(最上段)が一体になった時点で、側板1段分の高さまでジャッキアップし、次の段の側板を接続していく。

「J. C. Method」は(株)IHI/(株)IHIプラント建設の登録商標です。

る(図7)。

地下式タンクには、タンク上部が地上に出ているタイプと、完全に地中に埋設されるタイプ(完全埋設式)がある。また、地上に出ている天井部分に土盛り・植栽を施して景観に配慮した設計(覆土式)になっているものもある。

LNGの消費量の拡大とともに、LNG貯蔵タンクの大型化は、今後ますます進むと思われる。大型化を実現するためには、低温でも安全性を確保できる低温用材料が不可欠である。今回紹介した7%Ni鋼はすでに実機に適用され、国内外の規格化(JIS、ASTM、ASME、API)も進んでいる。このような材料開発に貢献してきたのが、日本の高度な鉄鋼技術だ。信頼性が何よりも求められる大型LNGタンク分野を、日本の優れた品質と高い技術が支えている。

●取材協力 (株)IHI
●文 石田 亮一

安全性と効率性が求められる溶接技術

PC-LNGタンクの内槽工事で使用される主な溶接法には被覆アーク溶接、サブマージアーク溶接、TIG溶接などがある。1970年代以降、工期短縮のため自動溶接が検討されるようになった。

1970年代後半、まず周方向(横向き)のサブマージアーク溶接の自動溶接が実用化された。その後自動TIG溶接の実用化が進み、タンクの信頼性向上に貢献している。タンク内槽は長方形の厚板をリング上に積み上げた構造になっているが、周方向の自動溶接には溶接速度の速いサブマージアーク溶接が用いられ、縦方向にはTIG溶接がそれぞれ用いられてきた。近年は、電極を工夫することで施工速度を改善した自動TIG溶接が実用化され、周方向の自動溶接にも用いられている。

溶接後は、PT(Penetrant Testing:浸透探傷検査)のほか、RT(Radiographic Testing:放射線透過検査)などにより、健全性が確認されている。