

250,000 kL LNG 地下タンク建設に向けた取り組み

平賀 宙・石ヶ谷 幸 暁

天然ガスの需要拡大に対する供給安定性の確保のため、都市ガスの原料となる LNG (Liquefied Natural Gas) を貯蔵する地下タンクを横浜市に建設中である。貯蔵容量は25万 kL であり世界最大となる。本報では、同工事にて取り組んでいるコストダウンと工期短縮に関する技術的検討について紹介する。
 キーワード：天然ガス、LNG 地下タンク、エアレイジング

1. プロジェクト概要

現在、横浜市鶴見区扇島に貯蔵能力が世界最大となる25万 kL の LNG 地下タンクを1基建設中である。これは地球温暖化対策などへの対応としての環境性と原油と比した供給安定性、熱や電力などの様々な需要形態に対応できる利便性を持つ天然ガスの需要拡大に対応し、より信頼性の高い安定供給を実現するために建設するものである。これまでの20万 kL タンクの建設、運転の実績を踏まえ、さらなる大容量化、経済性を追求し25万 kL の地下タンクを建設することとした。

建設現場が立地する横浜市は、港湾都市として知られ、その景観は都市計画により美しく整備されてきた。また、南側の約100m先には高速道路が通っている(写真-1)。

このような立地条件と周囲環境の特徴からタンク建設にあたっては安全・景観の面で十分な配慮が必要である。そこで建設する LNG タンクは、安全性に優れ、土地の有効利用が図られ、周囲環境との調和を保つことが出来る覆土式の地下タンクを採用し、2012年7



写真-1 建設現場全景

月現在、順調に工事は進行している。

本報では高品質かつ低コストの世界最大容量地下タンク建設にあたり、取り組んでいるチャレンジについて紹介する。

2. 地下タンク概要

(1) 構造

LNG 地下タンクの基本形状は、外圧が支配的となる地下構造物に最適な円筒形であり、内径、液深、屋根のライズ等の基本寸法は、基地のレイアウト、地盤条件および経済性を考慮した上で決定している(図-1)。

LNG 地下タンクは、鉄筋コンクリート製躯体(側壁、底版)、鉄筋コンクリート製屋根、金属製薄膜メンブレン、保冷材等により構成される。躯体は土水圧等の

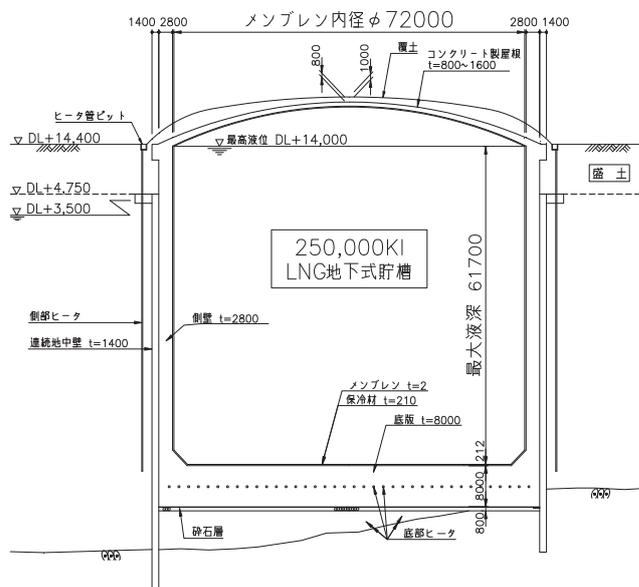


図-1 地下タンク概要図

外力を保持している。躯体内面に取り付けられるメンブレンはLNGの液密・気密を保つ機能を持ち、保冷材はメンブレンと躯体の間に設置され、LNGの蒸発を抑制するとともに、液圧ガス圧を躯体に伝達する機能を持っている。

今回建設する地下タンクはこれまで最大であった20万kL地下タンクと比較し、内径は同じで液深さが12.5m深くなっている。表-1に地下タンクの主な仕様を示す。

(2) 建設の流れ

可能な限り短工期でかつ低コストのタンクを建設すべく、2008年4月に検討を開始した。2009年11月に連続地中壁の工事を開始し、2012年3月に仮設鋼製屋根が完成、2013年7月にマンホール閉の計画である。図-2に建設フローの概要を示す。

表-1 地下タンクの主な仕様

貯蔵容量	250,000 kL	
貯蔵液	・ 液化天然ガス (LNG)	
	・ 設計温度: -162°C	
	・ 設計圧力: 23.5 kPa	
主要寸法	・ 液密度 : 475 kg/m ³	
	・ 貯槽内径: 72,000 mm (メンブレン内径)	
基本形式	・ 最高液深: 61,700 mm	
	部 位	材 料
	①屋根	鉄筋コンクリート製 t = 0.8 ~ 1.6 m
	②メンブレン	SUS304 t = 2 mm
	③側壁	鉄筋コンクリート製 t = 2.8 m
	④底版	鉄筋コンクリート製 t = 8.0 m
	⑤連続地中壁	鉄筋コンクリート製 t = 1.4 m
	⑥側部ヒータ	STPG370
⑦底部ヒータ	STPG370, SUS304	

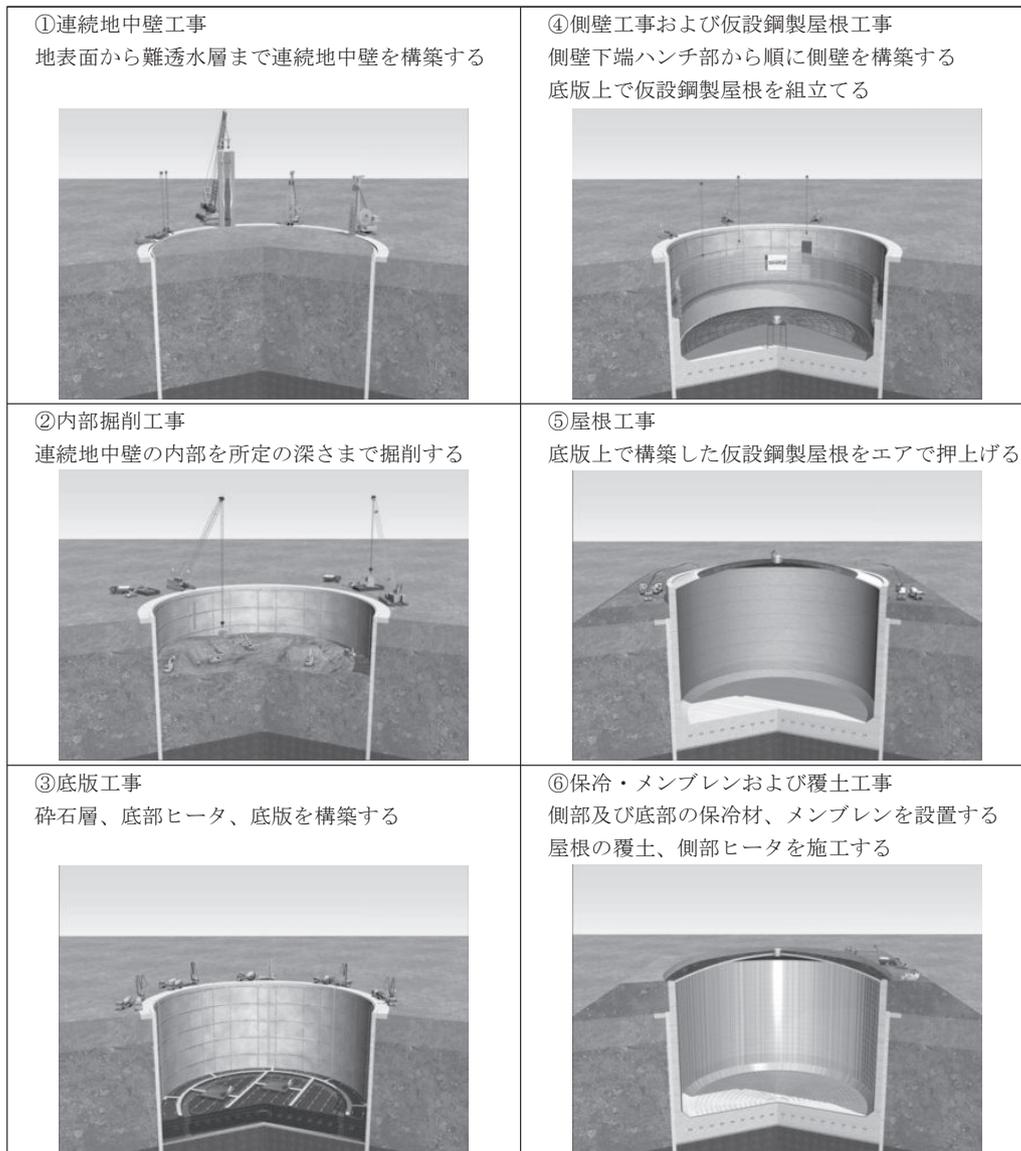


図-2 地下タンク建設の流れ

3. 25万kLタンク建設におけるチャレンジ

(1) 覆土式の採用

LNG 地下タンクの容量を増加するためには内径を拡大することがコスト抑制には効果的であるが、用地の制約もあり既設地下タンクと同じ内径にする必要があった。そこで、容量を20万kLから25万kLに増加させるために液深を1.25倍とすることとした。液深の増加は掘削深さの増加につながるため、コスト増加要因となる。そこで、鉄筋コンクリート製ドーム屋根を地表面より上に出し、最高液位レベルを地表面と同じとし、既設地下タンクとほぼ同じ掘削深さにするによりコスト増加を抑制した。

覆土表面には緑化を行い、想定降雨強度および滴養のための散水で覆土が流出しない構造とした。覆土形状は、周辺環境との調和を保つとともに、近傍を走る高速道路からの景観にも配慮して決定した(写真—2)。

(2) 仮設鋼製屋根構造

仮設鋼製屋根は、鉄筋コンクリート製屋根の内面にあって、屋根板と屋根骨で構成されている。仮設鋼製屋根の役割は、①鉄筋コンクリート屋根建設時の型枠支保、②鉄筋運用開始後、コンクリート屋根内部で凍結止水が完成するまでの止水機能を受け持つことである。したがって、屋根板には低温強度、低温靱性が要求される。

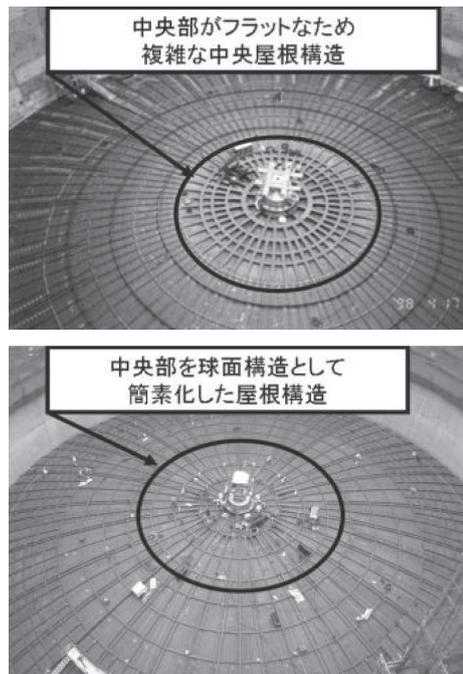
運用開始後は、鉄筋コンクリート製屋根が強度部材として働くため、屋根板は鉄筋コンクリート製屋根にその荷重を預けている。従来は、屋根板の脱落防止のため、低温用鋼材の屋根骨と一体構造としていたが、今回はその機能をメンブレンアンカー等に負担させることにより、屋根骨の材質を低温用鋼材から常温用鋼材へと変更しコストダウンを図った。

また、従来の屋根構造は中心から半径9m以内をフラット構造にして、屋根中央部メンブレンを底部メンブレンと同一モジュールにすることにより製作、据付けを容易にしていた反面、中央部の屋根骨が複雑で重いというデメリットがあった(写真—3)。

今回は球面に対応するメンブレンモジュールを新た



写真—2 完成予想パース

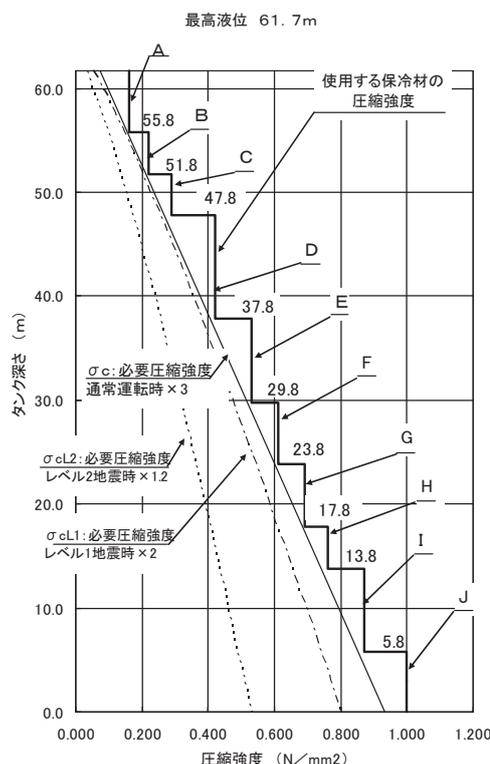


写真—3 屋根骨構造比較

に製作し、据付け施工性はそのままに、球面屋根とすることで屋根骨構造を単純化し、仮設鋼製屋根中央部の軽量化とコストダウンが図られた。

(3) 保冷材

LNG 地下タンクでは、深さ方向に作用する圧力を考慮して必要に応じた強度(グレード)の保冷材を配置している(図—3)。



図—3 タンク深さと保冷材グレードの関係

表一 2 LNG 地下タンク用保冷材の規格値と開発品（韓国製）の試験結果一例（Gr.J）

試験項目	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	せん断強度 (N/mm ²)	熱伝導率 (W/mK)	吸水量 (g/100 cm ²)	燃焼性 (秒/mm)
規格値	1.00 以上	1.06 以上	1.66 以上	0.77 以上	0.030 以下	3.0 以下	≤ 120/ ≤ 60
開発品	1.63	1.46	2.96	1.28	0.0278	1.01	62/22

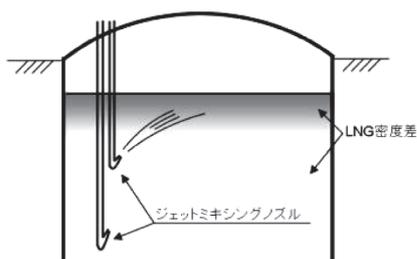
日本国内の LNG 地下タンクの保冷材は、これまで日本国内製品が採用されてきたが、調達先の拡大およびコストダウンを目的として LNG 船用保冷材で多数の実績のある韓国保冷ベンダーに対して、LNG 地下タンク仕様の保冷材の開発を行った。

LNG タンク用保冷材は LNG 船用保冷材と異なり図一 3 に示すような多様なグレード分けが必要となる。そのため、各グレード（Gr.A～J）に対して圧縮強度、引張強度、曲げ強度、せん断強度、熱伝導率、吸水性、燃焼性、圧縮クリープの各種試験を行った。

試験の結果、従来の日本製品と同等の性能を有する保冷材を製作することに成功した（表一 2）。

(4) LNG 層状化防止対策（ジェットミキシング）

タンク内 LNG と比して密度差の大きな LNG を受入れる際に、攪拌が不十分であると、タンク内部で層状化するリスクがある。対策として、従来タンクではジェットミキシングラインを設け、タンク内 LNG を攪拌できるようにしていた。今回は液深が増加し、従来の 1 段ミキシングノズルでは層状化の解消に時間を要するシミュレーション結果を得たため、効果的な攪拌が行われるようミキシングノズルを 2 段設けた（図一 4）。



図一 4 ジェットミキシング概念図

この構造により層状化解消時間は 25% 以上の短縮が可能となる解析結果を得た。

また、上部ノズルには液面計からインターロックを設定し、LNG 突き抜けによる屋根メンブレン損傷を防止する。

(5) 工程短縮

既設 20 万 kL LNG 地下タンクと比して本 25 万 kL LNG 地下タンクでは、さまざまな工程短縮の試みが

なされており、既設 20 万 kL LNG 地下タンクの工事期間 56 ヶ月に対し、本 25 万 kL LNG 地下タンクの工事期間は 45 ヶ月である。この工程短縮の例は下記の通りである。

①連続地中壁工事

(5.5 ヶ月⇒3.5 ヶ月：-2 ヶ月)

- ・地盤形状に応じた連続地中壁の採用により工事数量を低減
- ・連続地中壁製作時のパネルの大型化によりパネル数を削減

②底版・側壁工事

(機械工事引き渡しまで 13.5 ヶ月⇒10 ヶ月：-3.5 ヶ月)

- ・側壁-底版一体構造の採用により目地工事なし
- ・高強度鉄筋の採用により鉄筋量を低減

③機械工事（23 ヶ月⇒17.5 ヶ月：-5.5 ヶ月）

- ・躯体、保冷、メンブレンの施工に対する信頼性向上により水張り試験省略
- ・実績の十分なメンブレンモジュールを採用しておりプレカールテスト不要

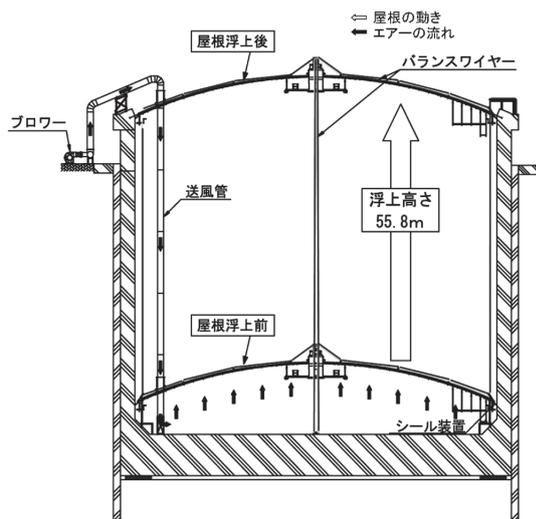
4. 屋根工事詳細（エアレイジング）

工事の安全確保および工期の短縮のため、鋼製屋根はタンク底部で組み立てた後、所定の位置までエアレイジング工法により浮上させた。2012 年 3 月 26 日、タンク底部で組み立てた仮設鋼製屋根をエアの圧力で浮上させ、所定の位置へ固定が完了した。緒言は下記の通り。

鋼製屋根重量	950 t
浮上圧力	2.4 kPa
浮上速度	250 mm/min
所要風量	1,400 m ³ /min

地上のプロワを使用して仮設鋼製屋根下部へエアを供給し、ドーム形状の仮設鋼製屋根はバランスワイヤーで均衡を保ちながら浮上させる。図一 5 にエアレイジングの概要図を示す。

浮上中は屋根の傾斜、バランスワイヤーの張力、タンク内圧、浮上スピードが管理値を超えないように送風量を調整して浮上速度の制御を行い、所定の高さである 55.8 m の浮上を完了させた。



図一5 エアレイジング概要図



写真一4 エアレイジング状況

写真一4 にエアレイジング時の状況を示す。

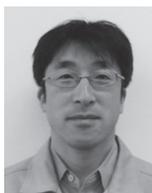
その後、コンクリート打設を2回に分けて実施する。1回目の打設は仮設鋼製屋根を型枠とし、タンク内圧により鉄筋およびコンクリート打設時荷重を支える。2回目の打設は自立したコンクリート屋根を型枠支保として鉄筋コンクリート工事を行う。

5. おわりに

2012年7月現在、計画通り屋根鉄筋コンクリートの工事が進捗している。25万kLのLNG地下タンクは、これまで長年に渡って蓄積してきたノウハウを活かして、技術開発を進めてきた結果、建設されるものである。今後もさらなる新技術を取り入れて、LNG地下タンクの有する高い安全性、信頼性および経済性の向上を図っていきたい。

JCMA

【筆者紹介】



平賀 宙 (ひらが ひろし)
東京ガス(株)
生産エンジニアリング部 扇島プロジェクトグループ
担当課長



石ヶ谷 幸曉 (いしがや ゆきとし)
東京ガス(株)
生産エンジニアリング部 扇島プロジェクトグループ