

PCLNG地上式貯槽の施工－米国最大級受入基地 “GULF LNG” －

(株) IHIインフラ建設 正会員 ○友成 弘樹
 (株) IHIインフラ建設 正会員 工修 池上 浩太郎
 (株) IHI 工修 栗山 和秀

1. はじめに

近年の原油価格の高騰および原子力エネルギーの継続使用への不安から、全世界において代替エネルギーとなる天然ガスの需要が急速に高まっている。

米国は世界でもトップクラスのエネルギー消費国家であり、全世界の天然ガス消費量の約25%を占めている。天然ガス需要の増加に伴い、これまでのパイプラインによる輸入に加え、液化天然ガス(Liquefied Natural Gas, 以下LNGとする)受入基地による輸入も行われ、多くの基地が建設されてきた。現在はシェールガス採掘技術の確立によって自給自足が可能となる見通しで、余剰分を輸出するために既存の受入基地を輸出基地に転用する計画を立案している。

米国ミシシッピ州(図-1)に建設されたLNG受入基地”GULF (ガルフ) LNG”は、容量16万m³のPCLNG地上式貯槽2基を有し、年間約1,200万トンの供給能力を持った米国でも最大級規模のものである。本稿ではPCLNG地上式貯槽の施工を土木工事と機械工事の両観点から報告する。

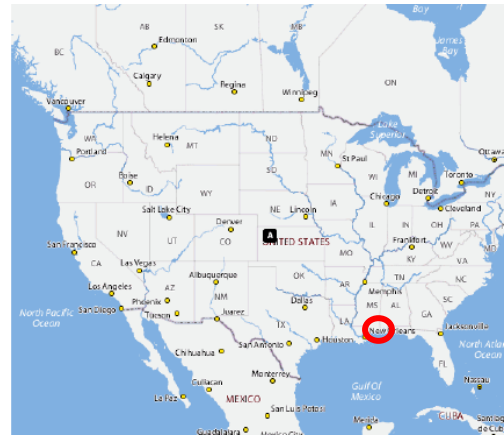


図-1 GULF LNG 建設位置図

2. 構造概要

本稿のPCLNG地上式貯槽は、-165℃の極低温であるLNGを直接的に保持するための気密性を有する金属製の“内槽”，内槽を保護するとともに内槽からLNGが漏れた場合に外部への流出を防ぐための液密性を有するコンクリート製の防液堤“外槽”と内・外槽間に存在する保冷層の計3層構造である。外槽は鋼管杭で支持し、底版と屋根ドームはRC構造である。側壁はPC鋼材を円周方向に86段、鉛直方向に48本(U字形定着)配置したPRC構造である。内槽工事で用いられる重機搬入口として2箇所(幅6500mm、高さ3800mm)を側壁に設けた。外気に面するコンクリートには密実性を向上するためフライアッシュ(20%)に加え、シリカフェーム(5%)を混入し、要求された共用年数を耐久性の観点から満足している。外槽の諸元および構造一般図を表-1および図-2にそれぞれ示す。

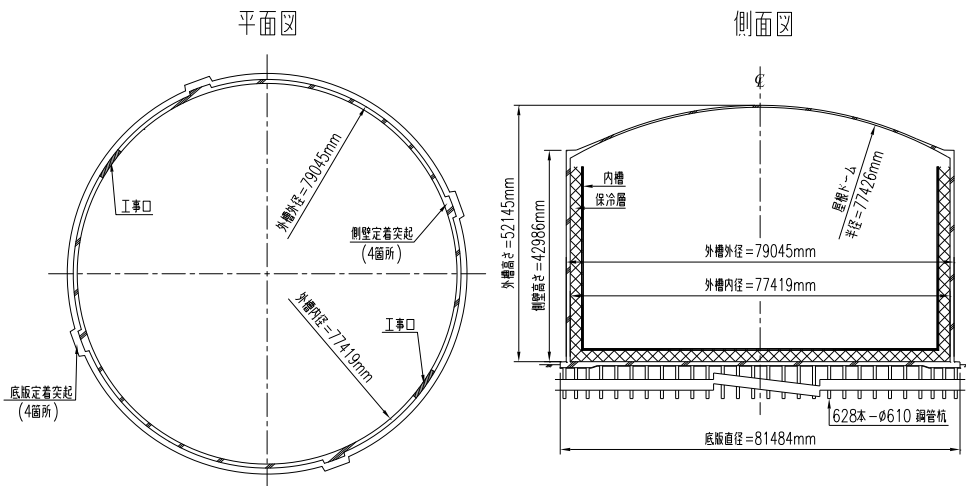


図-2 構造一般図

表-1 外槽諸元

| | | |
|------|----------------------|--|
| 容量 | 16,000m ³ | |
| 基数 | 2基 | |
| 型式 | 屋根ドーム | RC構造 R=77,426mm |
| | 側壁 | PRC構造 h=42,986mm, R=80,710mm |
| | 底版 | RC構造(一部PRC) R=40,742mm |
| 使用材料 | コンクリート | f _c =94.5N/mm ² (6,000 psi) フライアッシュ:20% シリカフェーム:5% |
| | 鉄筋 | f _t =420N/mm ² (保冷材:保冷材内側以外) f _t =500N/mm ² (保冷材:保冷材内側) |
| PC鋼材 | 10016.7 (7本より構成) | |

3. 工事概要

3.1 基礎工事

外槽は直径610mm, 長さ40.3m~43.2mの鋼管杭628本に支持される。各杭は2分割して打込まれ, 下杭はバイプロハンマー (写真-1) を用い, 上杭は下杭と溶接 (写真-2) ののち, ディーゼルハンマーを用いて打込んだ。鋼管杭は打込み回数20回で沈下量が1インチ (=25.4mm) 以下になることを確認して打止めた。鋼管杭内部は杭頭から深さ600mmまでは締固めた砂を詰め, 杭頭頂部は底版コンクリート打込み時にコンクリートで満たされるようにした。鋼管杭と杭頭間詰めコンクリートの一体化を図るために, 杭頭に2段のせん断プレート (写真-3) を溶接している。鋼管杭の腐食防止策として電気防食 (写真-4) を施した。鋼管杭打込み開始から電気防食の施工完了まで約3ヵ月を要した。

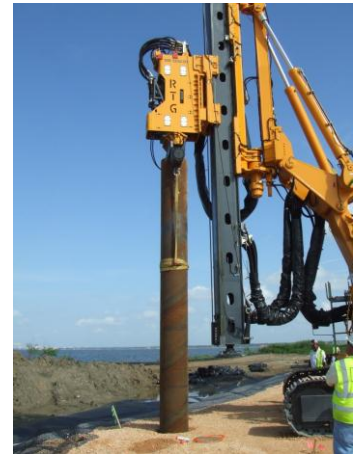


写真-1 下杭打込み状況



写真-2 杭接合部溶接状況



写真-3 杭頭せん断プレート



写真-4 電気防食施工状況

3.2 底版の施工

底版のコンクリート打込みは5分割にて行った。図-3に底版施工分割図を示す。側壁直下の底版 (第1, 第2施工) を先行して施工することで, 側壁と底版の施工を並行して行うことが可能となり (写真-5および写真-6), 工期短縮につながった。コンクリートの供給は建設現場から車で10分程の距離にあるプラントから購入した。底版コンクリートの打込み量は各施工段階でそれぞれ1,000m³となり, プラントの供給能力の理由から12時間連続施工となった。底版には沈下量および傾斜を測定する目的で底版外周部にプレートを, 底版内部には傾斜計用のチューブを設置した。底版の施工には鉄筋配置からコンクリート打込み完了まで2ヵ月を要した。底版の施工完了後, 外部では土木施工である側壁施工を継続し, 内部では機械施工である鋼板敷設作業を開始した (写真-7)。

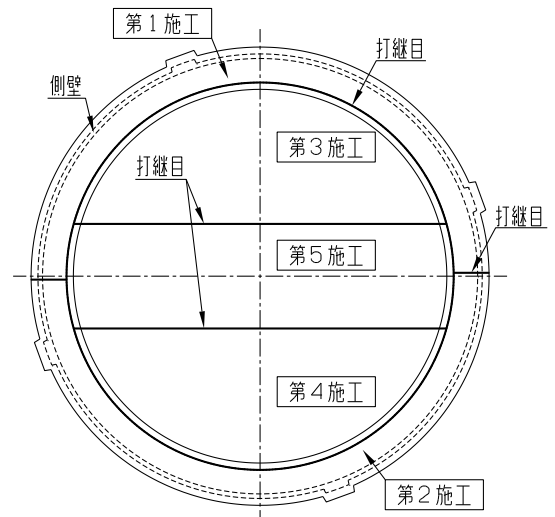


図-3 底版施工分割図



写真-5 底版鉄筋配置状況

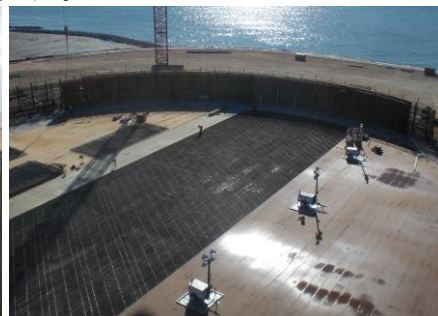


写真-6 第5施工前状況



写真-7 鋼板敷設状況

3.3 側壁および貯槽内部の施工

(1) 側壁の施工

側壁の施工分割図を図-4に示す。側壁は10段 (9段+屋根ドームリング) に分割してコンクリートを打ち込んだ。また、コンクリートの供給能力と工期短縮の理由から鉛直目地を設け、各段を2回に分けて施工した。型枠はPERI社製のクライミングフォーム (写真-8) を使用した。側壁の主鉄筋およびシースは地上にて組み立て、タワークレーンを用いて吊り込んだ (写真-9)。コンクリートの打込みは高さ50mまで使用可能なポンプ車にて行い、故障に対応出来るように予備に1台、計3台を各打込み日に準備した。コンクリート打込み中はポンプ筒先の動きに合わせて型枠の位置を計測し (写真-10)、打込みによって型枠がはらんだ場合には即座に型枠を締めこんだ。この作業によって、後述する屋根板浮上時に必要な側壁内側の出来形を精度よく施工することができた。側壁の施工には5ヵ月を要した。

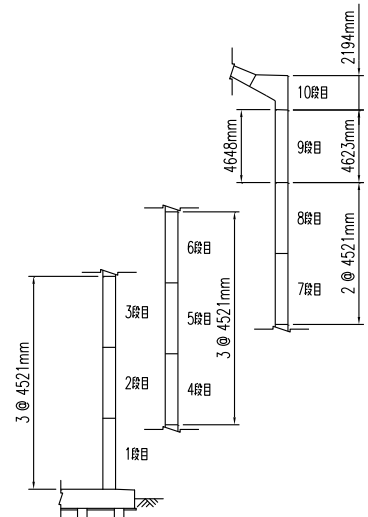


図-4 側壁施工分割図



写真-8 型枠設置状況



写真-9 側壁シース吊込み状況



写真-10 型枠位置計測状況

(2) 屋根鋼板浮上作業

側壁3段目の施工完了後、ブロック割された屋根鋼板は側壁内側に吊込まれる (写真-11)。側壁9段目の施工完了後、9段目の頂部には屋根板を溶接するための円周状鋼板が溶接される。屋根鋼板浮上作業に際して、2ヵ所の工事口は密閉され片側に空気圧縮装置、もう片側には人入口が設けられた。屋根鋼板の最外周部には内部で圧縮された空気を密閉するため、シール材が設置される。前述した側壁の施工精度が低いと、浮上時にシール材と側壁が接触しシール材を破損し、屋根鋼板浮上作業自体が困難となる。屋根鋼板の浮上は1分間におよそ30cmの浮上速度で行われた (写真-12)。所定位置まで浮上した後は内部圧力を保持したまま溶接作業が行われ、屋根鋼板浮上作業は完了した。溶接作業完了後、屋根ドームリング部の施工を行い、屋根ドームのコンクリート打込み時に発生する水平方向スラスト力を打ち消すために10段目の円周方向の緊張・グラウト工事 (写真-13) を完了させた。

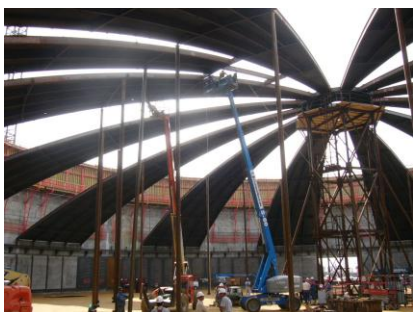


写真-11 屋根鋼板搭載状況

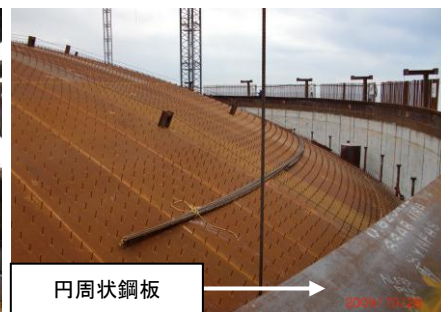


写真-12 浮上作業状況

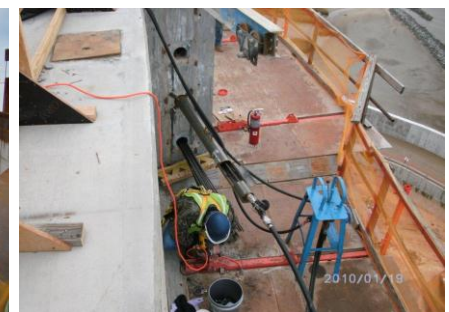


写真-13 鋼材挿入状況

(3) 貯槽内部の施工および雨水侵入対策

屋根鋼板浮上後は、貯槽内部で保冷材の設置作業が始まった。保冷材の保冷性能を発揮させるには、乾燥状態を維持して設置しなければならない。そのため、設置作業中における雨水の貯槽内部への侵

入はLNG貯槽の性能を確保するうえで大きな弊害となる。ミシシッピ州は2005年に米国南東部を襲ったカトリナで大きな被害を被った州であり、施工中はハリケーンの来襲こそなかったが、風雨の強さ・突発性は凄まじいものがあった。そこで雨水侵入対策として、工事口にはひさしと鋼製ドアを設置し、側壁頂部コンクリートと円周状鋼板の継目にはポリウレタン系の目地材を施した。

3.4 屋根ドームの施工

屋根ドームの施工は7分割にて行った。図-5に屋根ドームの施工分割図を示す。コンクリートの打込みはすべての鉄筋を配置してから開始となる。屋根ドームの最大勾配は45%であるため、固練りのコンクリートを使用する必要がある。そこで、実物大試験（写真-14）を行い充填性と施工性の面からコンクリートのスランプを3.5インチ（≒9cm）と決定した。コンクリート打込み時に内型枠の役目も担う屋根鋼板がコンクリート自重により座屈するのを防ぐため、内部から圧縮空気によって屋根鋼板を支持した。内槽工事はその間停止してしまうので、屋根ドームの施工を迅速に終わらせる必要があった。昼夜2班に分け、昼はバケットによるコンクリート打込み（写真-15）、夜は養生と次施工の準備として打継目処理および清掃作業（写真-16）を毎日行った。雨天の影響もあり計画7日間に対して1号は9日間、2号は8日間で屋根施工を終了した（写真-17）。

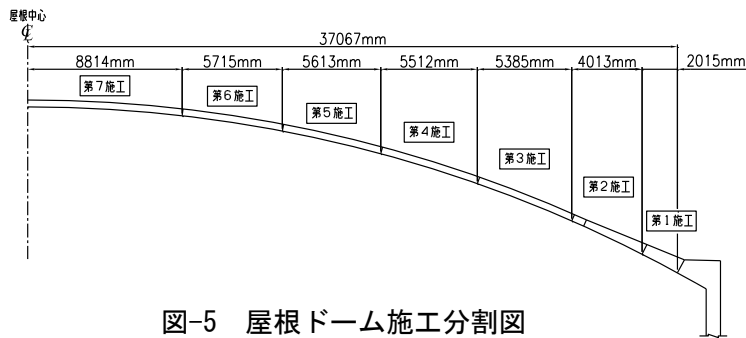


図-5 屋根ドーム施工分割図



写真-14 実物大試験状況

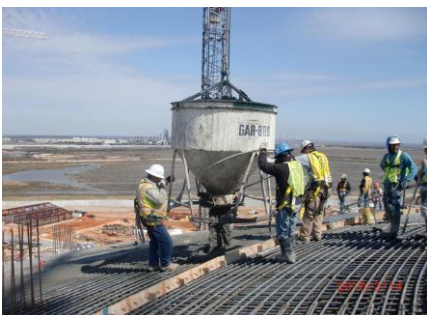


写真-15 昼作業状況



写真-16 夜作業状況



写真-17 屋根ドーム完成状況

3.5 緊張工事

緊張工事は鉛直方向→円周方向の順に行った。円周方向の緊張の際には定着突起の側面にゴンドラを設けたので、緊張ジャッキを移動させることが容易だった。円周方向の両引はPC業者の安全ルールに抵触するとのことだったので、各円周鋼材を片引したのち反対側に移動し緊張した。緊張管理は伸び管理で行い、鋼材単体では±10%、各段組では±5%とした。緊張・グラウト工には3ヵ月を要した。

4. おわりに

本LNG受入基地”GULF LNG”は機械工事、試運転も無事終了し2011年6月にLNGコンテナ船を受け入れた（写真-18）。現在米国ではシェールガスの採掘技術の確立によってLNGの輸入ではなく輸出に方向転換している。PCLNG地上式貯槽の需要は今後も大いに見込まれると予想されるので、本稿が参考になれば幸いである。



写真-18 LNG船受入状況