

スリップフォーム工法による世界最大級 PCLNG 貯槽の急速化施工

(株)大林組 正会員 ○稲葉 淳
大阪ガス(株) 正会員 大西 俊輔
(株)大林組 正会員 大野 鷹久

1. まえがき

本事業は、大阪ガス(株)がクリーンで供給安定性に優れたエネルギーである液化天然ガス(LNG)の需要拡大と、LNG 調達環境の変化への対応、泉北製造所(大阪府堺市)の供給信頼性向上を目的に、第一工場内に貯蔵容量 23 万 m³ の世界最大級のプレストレストコンクリート造 PCLNG 地上式貯槽（以下、PCLNG 貯槽と称す）を建設するものである。PCLNG 貯槽は従来の金属二重殻構造の地上式貯槽と PC 防液堤を一体化した LNG 貯槽で、安全性・信頼性の向上が図れ、経済的で敷地の利用効率の向上も図ることができるという特徴を有する。

本工事では PCLNG 貯槽の防液堤の構築に工期短縮を目的として、スリップフォーム工法を国内で初めて適用した。スリップフォーム工法とは、型枠・足場が一体となった装置を防液堤側面に配し、ジャッキにより装置全体がコンクリート面を滑りながら上昇し、鉄筋組立、PC シースの組立、埋込み金物設置、コンクリート打設を連続で行うものである。本稿ではスリップフォーム工法による防液堤の構築概要、ならびに現場で実施した技術開発等について報告する。

本工事の施工位置図および 5 号 LNG タンクの完成イメージを図-1 に示す。



図-1. 施工位置図・完成イメージ

2. 工事概要

本工事の概要を表-1 に、5 号 LNG タンクの断面図を図-2 に示す。PCLNG 貯槽は、金属製の内槽と PC 防液堤とが一体となった形式で、万一、内槽から LNG が漏液した際も防液堤が貯液できる仕組みとなっている。この形式は LNG 地上式貯槽の標準的な形式として、数多くの施工実績がある。

表-1. 工事概要

項目	内 容
工事名称	大阪ガス(株)泉北製造所第一工場 5 号 LNG タンク設置(土木)工事
施工場所	大阪府堺市西区築港浜寺町 4 番地 大阪ガス(株)泉北製造所第一工場
工期	平成 24 年 8 月 31 日～平成 27 年 11 月 30 日
工事内容	PCLNG 地上式貯槽設置工事
主要工種	基礎版構築工，防液堤構築工
数量	防液堤内径 89.2m，防液堤高約 43.6m，壁厚 0.8m，防液堤コンクリート約 9800 m ³
防液堤設計基準強度	(下部より) 60N/mm ² ，40N/mm ² ，30N/mm ²
その他	防液堤の構築にスリップフォーム工法を採用

キーワード PCLNG 貯槽，PC 防液堤，スリップフォーム工法

連絡先 (株)大林組 〒108-8502 東京都港区江南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 TEL 03-5769-1307

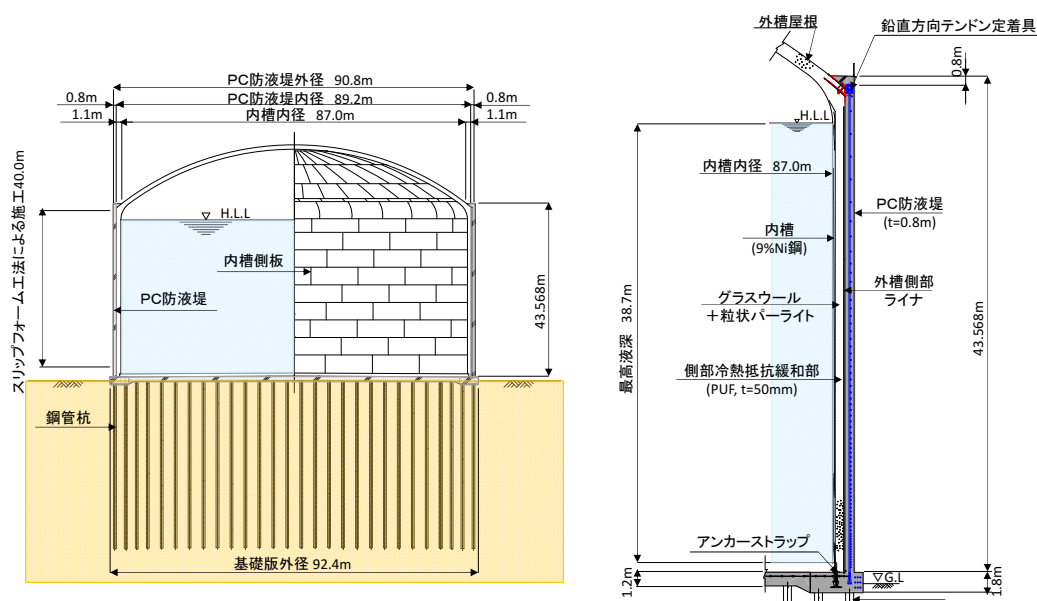


図-2. 5号 LNG タンク断面図

3. 本工事の特徴と技術的課題

PC 防液堤構築に適用したスリップフォーム工法は、型枠(Form)をジャッキで引き上げ、コンクリート表面を滑らせながら(Slip)上昇させることで、連続的にコンクリートを打設するもので、工期の短縮を目的として開発された。これまで、サイロ・煙突・橋脚・高架水槽・展望塔などの塔状構造物の施工に数多く採用されている。

これまでの PCLNG 貯槽の防液堤構築は、防液堤を 3～4m のリフトに分割し、1 リフトを構築するたびに型枠・足場を大型クレーンにより上昇させる方法(ジャンピングフォーム工法)が用いられていた。本工事規模の防液堤の場合、防液堤 1 リフト分の構築に約 1 ヶ月を要し、防液堤全体では 10 ヶ月程度の工期が必要であった。これに対し、スリップフォーム工法では同規模の防液堤を約 20 日間で構築でき、工期を大幅に短縮できる。

スリップフォーム装置及び工法の概要を図-3 に示す。スリップフォーム装置は、コンクリートを打設するために不可欠な型枠、これを支持する門型架構のヨーク、これらの装置を上昇させるための上昇ジャッキ、ジャッキの反力支持材となるクライミングロッド等から成り立っている。スリップフォーム工法では、これらの装置を上昇させながら、連続的に薄層でコンクリートを打設して躯体を構築する。本工事では防液堤の周長(約 280m) が長く、施工エリアが広域となるため、鋼材組立にかかる人員配置やコスト面を考慮し、構築上昇速度を 2m/day に設定した。防液堤の全高は約 40m であるため、この上昇速度により約 20 日間で防液堤が構築できる。

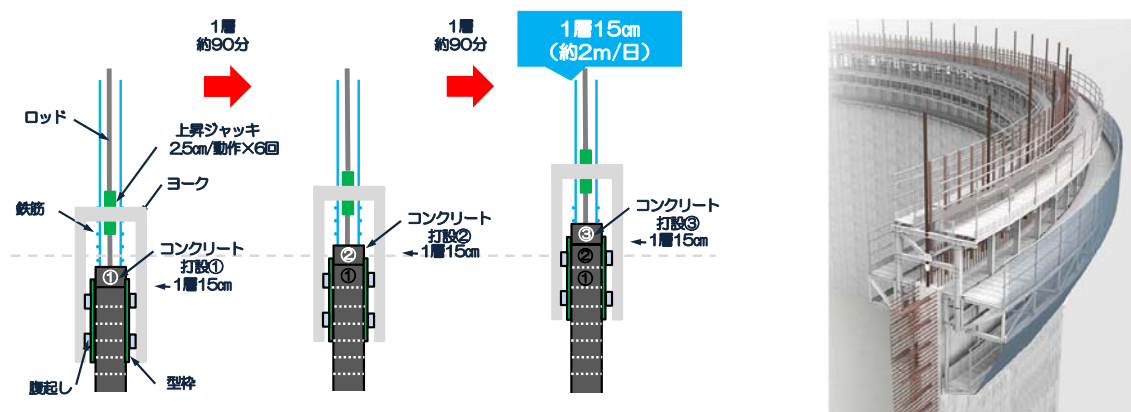


図-3. スリップフォーム装置及び工法概要

本工法の長所である工程短縮を実現するためには、鉄筋組立・PC シース組立・コンクリート打設の一連の作業を遅延なく行い、所定の精度・品質を確保する必要がある。多工種を同時施工するスリップフォーム工法では、1 工種の遅延が工期の遅延に直結する。また施工開始後の施工方法の大幅な見直しや設備の追加等を行うことは困難であり、事前に詳細な施工計画を立案する必要がある。以下に解決すべき課題を挙げる。

(1)コンクリート打設の施工方法

コンクリートの打設は 2m/day の上昇速度に合わせて、周長 280m の防液堤に 1 層 15 cm を 90 分で構築する。連続的、安定的にコンクリートを打設する方法・設備、1 層 15 cm の薄層に打ち込むためのコンクリート材料の選定、24 時間連続して安定した品質のコンクリートを供給する方法の確立が必要であった。

(2)鉄筋・PC シース・埋込金物の組立方法

防液堤構築速度に合わせて、鉄筋・PC シースおよび、PCLNG 貯槽特有の埋込金物(外槽ライナーアンカー)を設置する方法の確立が必要であった。

(3)早期脱型におけるコンクリートの若材齢強度の管理

本工事の場合、コンクリートを打設してから 12 時間後にはコンクリートが型枠の下端から外れ、外気にさらされる。脱型時に躯体を自立させるために十分な圧縮強度の発現が求められる。そのため早期脱型におけるコンクリートの初期強度を精度よく管理する必要があった。

(4)構築精度の確保

常に足場が上昇しているため、在来工法のレベル・トランシット測量では構築した構造物の出来形を管理できない。連続施工の中で防液堤に求められる高い要求精度を確保するため、リアルタイムに構築精度を管理できるシステムの確立が必要であった。

4. 解決策とその技術的根拠

3.で示した課題に対し、本工事では以下の解決策を講じた。

(1)コンクリート打設の施工方法

一定の上昇速度に合わせてコンクリートの打込み・締固めを行うためには、効率的な施工方法を採用する必要がある。また、20 日間昼夜連続施工という過酷な作業サイクルのため、施工の容易さも重要なポイントとなる。そこで、計画時にポンプ圧送による配管打設とホッパー揚重による施工方法について比較検討した。検討結果を表-2 に示す。ポンプ圧送はタンク高さ方向への縦配管が必須なため、施工時に順次、圧送管を継ぎ足していく必要がある。また、円周方向へコンクリートを送るための水平配管・ゲートバルブが必要となり、設置コストが大幅に増加する。また、24 時間連続施工では、配管やポンプ車の洗浄ができないため、圧送管閉塞のリスクも伴う。このため、本現場ではクレーンとホッパーにより打設高さまでコンクリートを揚重し、水平搬送レールで打設位置まで搬送し、バケットでコンクリートを打設する方法を採用した。コンクリートの打設設備を図-4、施工状況を

表-2. コンクリート打設方法検討

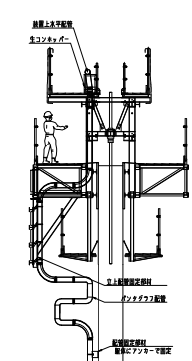
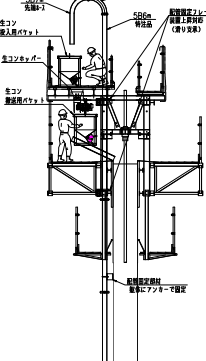
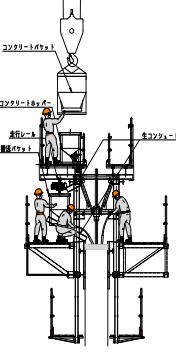
	①バンタグラフ管+ゲートバルブ	②立上管滑り支承+搬送バケット	③ホッパー+搬送バケット
打設設備			
作業性	○ 投入1箇所/ヨークスパン	◎ 任意の位置で打設可能 (打設中に搬送バケット移動)	◎ 任意の位置で打設可能 (打設中に搬送バケット移動)
信頼性	△ 配管、縦シュート閉塞 (打設速度が遅い場合不利)	○ 搬送バケット故障 (復旧は比較的容易)	○ 搬送バケット故障 (復旧は比較的容易)
保守性	△ バルブ開閉毎にグリス給油、 立上配管延長時は水押洗浄	○ 立上配管延長時は ポンプ車の逆転運転のみ	◎ 昼-夜引継ぎ時の洗浄作業のみ
総合判定	△ サイロ、LNGタンクの実績多数だが、 少量ずつ長時間打設するスリップ フォーム工法では配管閉塞 リスク大。コスト・保守面でも不利	○ ①案同様ポンプ車のリスク大。	◎ 作業性、保守性、コスト良好。た だし、強風時は作業を中止しな ければならない。(平均風速10m/s 以上)

写真-1 に示す．まず，クレーンで地上からコンクリートバケットを揚重し，上段作業床の貯留ホッパーにてコンクリートを荷卸しする．次に，中段作業床の搬送バケットにコンクリートを荷受けし，中段作業床に設置した搬送レールを用いて搬送バケットを打込み箇所まで横移動する．本工事では図-5 に示すように，クレーン・揚重バケットを 4 ヶ所に設置し，合計 8 ヶ所でコンクリート打設が行える施工体制を構築した．

一方で，コンクリートを全周均等に打ち上げるには薄層(15 cm)で打ち重ねる必要があった．また各種埋込み金物や PC シース周辺において，確実にコンクリートが充填できるように，中流動コンクリートを使用した．

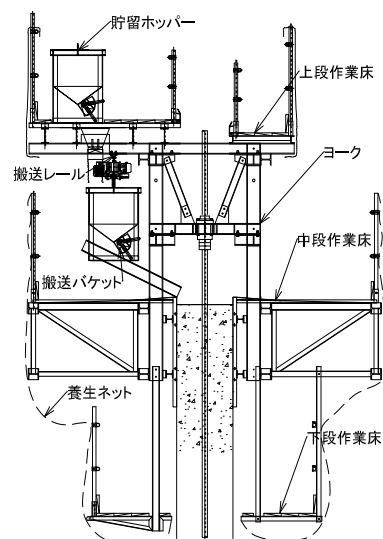


図-4. 打設設備



写真-1. コンクリート打設状況

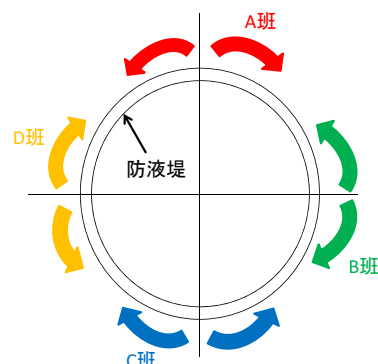


図-5. 打設平面イメージ図

(2)鉄筋・PC シース・埋込金物の組立方法

装置の上昇に合わせて鉄筋・PC シースおよび埋込金物を効率良く組み立てるために，以下の対策を講じた．

まず，スリップフォーム装置における門型架構のヨークは防液堤を跨ぐ形で配置されているため，鉄筋等の組立作業に支障を生じる可能性が考えられた．通常，スリップフォーム装置のヨークスパン長は足場に積載する荷重，コンクリート側圧等を考慮して 2m 程度に設定するが，当現場では計画段階で装置鋼材の剛性を高めることで，設置間隔を 4m に拡大した．これにより，写真-2 に示すように円周鉄筋は 8m，PC シースは 4m の長尺物を用いて施工することが可能となり，作業効率が高まると共に，継手部が減少することで材料ロスの低減にも繋がった．

鉛直鉄筋については，継手位置をヨークの設置間隔ごとで，鉛直鉄筋 20 本を一括架設できる専用吊り治具にて設置する方法を採用した．写真-3 に示すように，あらかじめ地上にて鉛直鉄筋を吊り治具に設置して，クレーンにて吊り上げるものである．

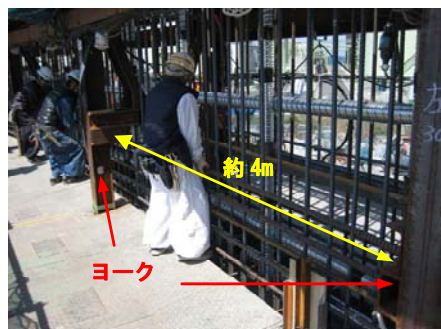


写真-2. ヨーク配置状況



写真-3. 鉛直鉄筋組立状況



これにより、クレーンによる荷揚げ回数を低減できると共に、装置上での組立作業の簡素化を図ることができ、作業効率が向上できた。埋込金物は、外槽と防液堤を固定するために埋設するプレート状の金物であり、金物表面が躯体表面と平滑に取り付けられることが求められる。また、同一高さに 144 個のアンカーを同時に設置する必要があるため、当現場では写真-4 に示す「埋込金物付き差し込み型枠ユニット」(置き型枠)を開発し採用した。木製型枠に埋込金物をあらかじめ設置しておき、スリップフォーム装置に設けたガイド材に差し込む。スリップフォーム装置が時間の経過とともに上昇しても木製型枠はガイド材をスライドし下部に残置される。このユニットを採用することで、埋込金物の設置時間が大幅に短縮された。



写真-4. 置き型枠

(3)早期脱型におけるコンクリートの若材齢強度の管理

従来工法では、コンクリートは7日間程度の養生を行った後に型枠を取り外すが、スリップフォーム工法では、型枠が連続的に上昇するため、打込みから 12 時間後にコンクリートが脱型される。そのため、本工事に用いるコンクリートには、材齢 12 時間で、自立に必要な強度(0.1N/mm^2 以上)を発現することが求められた。¹⁾ 一方で、強度発現が早すぎると、型枠と硬化したコンクリートが付着しスリップフォーム装置の上昇に支障をきたす懸念があった。

そこで、安定的に所要の強度が確保できるように、打設時の温度条件に応じて凝結遅延剤の添加量を調整することで、初期強度発現性を制御できるシステムを確立した。躯体に埋め込んだ熱電対の計測データと打設温度から積算温度を推定し、12 時間後のコンクリートが所要の強度を発現していることを確認しながら装置を上昇させた。

また対象とする PCLNG 貯槽の建設場所が海岸に隣接しているため、早期脱型による塩化物イオンの浸透に対する影響を事前に検証した。早期型枠を取り外したモデル試験体を制作し、コンクリートの強度発現特性、中性化の進行や塩化物イオンの浸透など耐久性に関わる影響について検証し、鋼材腐食が生じる可能性が小さいことを確認した。

(4)構築精度の確保

従来工法では、レベル・トランシットを用いて防液堤の出来形、真円度の測定を行うが、常に足場の上昇するスリップフォーム工法ではこの測定方法を用いることができない。連続施工であっても十分な構築精度を確保するため、本工事では図-6 に示すようなレーザー鉛直器およびレーザー距離計により中心偏位、水平性、真円度、回転等をリアルタイムに計測するシステムを採用した。また、これらの計測データを指令室にて一括集中管理することで、油圧ジャッキ・スポークワイヤー(写真-5)等の調整



写真-5. スポークワイヤー

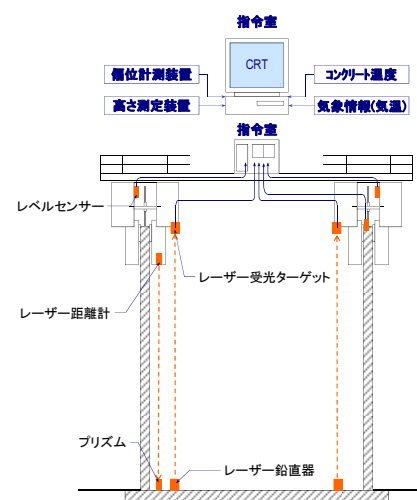


図-6. 精度測定システム概要

機構に反映させ、高い構築精度を確保した。

5. まとめ

図-7 に防液堤構築の進捗実績を示す。スリップフォーム工法を用いることで 40m の防液堤を平成 25 年 4 月 11 日～平成 25 年 4 月 30 日の 20 日間で計画通り完了し、従来の防液堤構築から約 8 ヶ月程度工期短縮することができた。さらに従来工法では工程上必要であった機械工事とのラップ作業がなくなり大幅に安全性が向上した。

本工事はスリップフォーム工法の防液堤構築国内初施工例となったが、今後スリップフォーム工法が PCLNG 地上式貯槽の防液堤構築の標準になることも十分に考えられる。

今後は品質向上の面からスリップフォーム工法によるコンクリート表面の影響調査等を行っていききたい。

またスリップフォーム工法のみならず、新技術の開発・実用化を目指していくことでさらなる貢献をしていきたいと考えている。

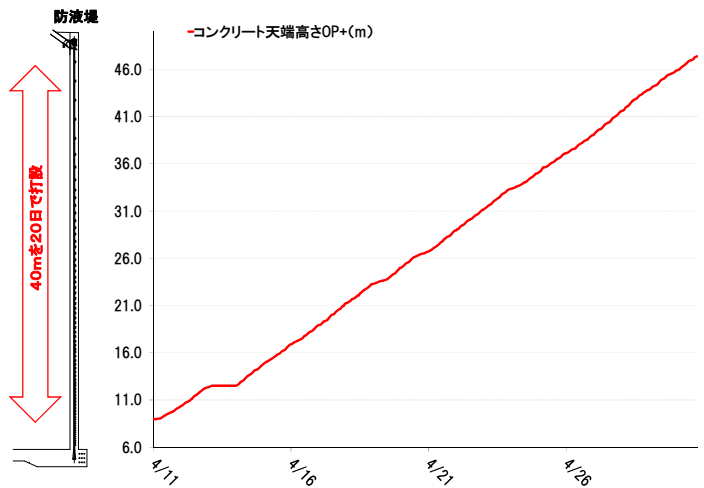


図-7. 防液堤構築進捗実績



平成 25 年 4 月 12 日



平成 25 年 4 月 19 日



平成 25 年 4 月 29 日（夜間）



平成 25 年 5 月 2 日

写真-6 防液堤構築状況

参考文献

- 1) 日本建築学会：コンクリートの調合設計・調合管理・品質検査指針案・同解説