

# プレキャスト型枠を用いたPCLNG貯槽の工期短縮工法の開発 — Dual PC Speed Erection 工法 —

香山 治彦\*1・西宮 暁\*2・仁井田 将人\*3・小林 祐樹\*4

近年、LNG（液化天然ガス）需要の増加に対応するため、LNG基地の建設工期を大幅に短縮し運転開始を早めることが求められている。一方で、東日本大震災の復興工事、東京オリンピック・パラリンピックの開催などによる建設需要の急激な増加に対し、専門工事業者や熟練作業員の確保が逼迫している。このような状況に対応するため、地上式PCLNG貯槽におけるPC防液堤の新たな構築工法としてプレキャスト型枠を用いた工期短縮工法（Dual PC Speed Erection 工法）を開発した。

本稿では、新工法の開発経緯、概要について報告する。また、本工法の適用事例として北海道ガス（株）が北海道石狩市に建設する石狩 LNG 基地 No.2 PCLNG 貯槽建設工事を紹介する。

キーワード：LNG、防液堤、プレキャスト、工期短縮、PCLNG 貯槽

## 1. はじめに

近年、天然ガスに対する需要および建設工事を取り巻く社会環境から、国内のLNG受入基地建設工事においては、①天然ガス需要の増加に対応するためのLNG受入基地運転開始の前倒し、②建設需要の増加に伴う専門工事業者不足への対応、③運転中のLNG基地内における限定された用地内での増設工事への対応など、が求められるようになっており、今後もこのような状況は続くと思われ。

これに対応するため、LNG受入基地における主要構造物の一つであるPCLNG貯槽の新たな構築工法としてDual PC Speed Erection 工法（以下、「新工法」という）を開発した。本工法は、後述する「プレキャスト型枠」、「多目的ポスト」および「型枠一体型クライミング足場」を用いたPC防液堤の構築方法である。本工法を採用することにより、PCLNG貯槽構築の全体工期の大幅な短縮、土木工事と機械工事双方の施工性・安全性・施工精度の向上などが期待できる。

本稿では、新工法の開発経緯、概要および北海道ガス（株）石狩 LNG 基地 No.2 PCLNG 貯槽建設工事への適用事例について報告する。

## 2. 新工法の開発経緯

### 2.1 PCLNG 貯槽の建設工事の特徴

PCLNG貯槽の建設工事の特徴として、ゼネコンが施工する土木工事と、機械メーカーが施工する機械工事を同時に行うということがあげられる。PCLNG貯槽の構造概要図を図-1に示す。各部位のうち①外槽屋根、②内槽タンク、③保冷材および④外槽ライナは機械工事、⑤PC防液堤、⑥基礎版および⑦基礎杭は土木工事が主に行う

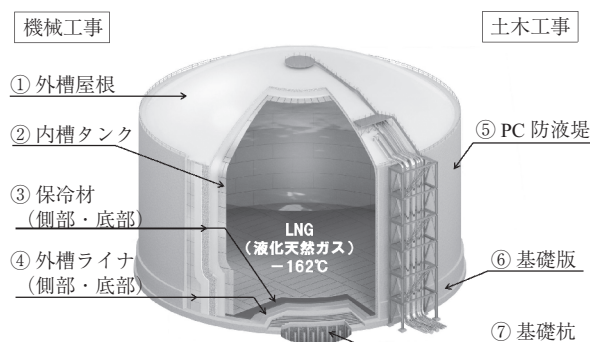


図 - 1 PCLNG 貯槽の構造概要図

というのが一般的である。PCLNG貯槽の構築順序の一例を図-2に示す。土木工事において基礎杭および基礎版の構築を行う（図-2①）。基礎版構築後は、土木工事においてPC防液堤下部（防液堤高さ約10mまでの部分）の構築を行う（図-2②）。構築がPC防液堤の上部（高さ約10mより上方の部分）へ移り内側足場を上方へ盛り替え、基礎版上面の土木資材の撤去が完了すると、機械工事の着手が可能となる。その後は土木工事によるPC防液堤上部構築と機械工事による底部外槽ライナ工事および屋根工事を同時に行うことになる（図-2③）。土木工事の防液堤構築が完了すると、機械工事において屋根浮上工事を行う（図-2④）。屋根浮上後、土木工事はPC鋼材の緊張工事、機械工事は内槽工事などを行い（図-2⑤）、保冷工事を行ったのちに工事完了となる（図-2⑥）。

### 2.2 従来のPC防液堤構築における課題

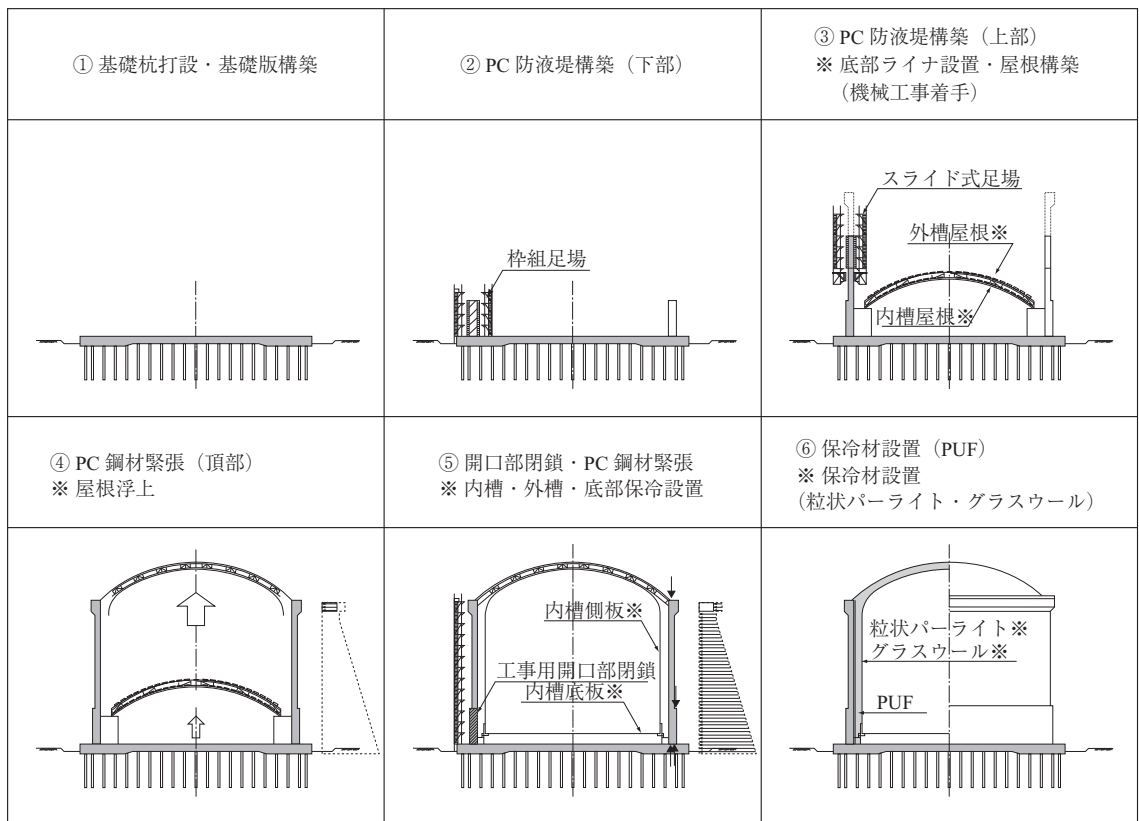
土木工事と機械工事を同時に行うPCLNG貯槽の構築において、従来のPC防液堤構築方法では次のような課題がある。

\*1 Haruhiko KAYAMA：大成建設（株）札幌支店 石狩 LNG 基地建設工事作業所

\*2 Gyo NISHINOMIYA：大成建設（株）札幌支店 石狩 LNG 基地建設工事作業所

\*3 Masato NIIDA：大成建設（株）千葉支店 東電富津 LNG 作業所

\*4 Yuki KOBAYASHI：大成建設（株）土木本部 土木設計部 特殊構造設計室

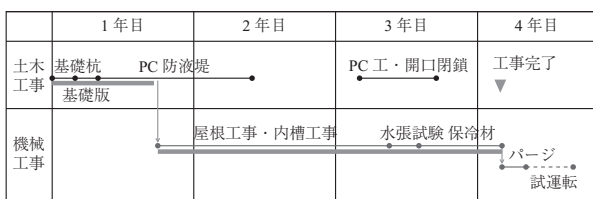


①～⑥：土木工事所掌、※：機械工事所掌

図 - 2 PCLNG 貯槽の構築順序の一例

(1) 全体工期の短縮

PCLNG 貯槽の全体工程の一例を図 - 3 に示す。基礎杭、基礎版および PC 防液堤下部構築までは土木工事がクリティカルパスとなっているが、機械工事着手以降は機械工事がクリティカルパスとなっている。そのため、土木工事の工程の中でもっとも期間を要する PC 防液堤工の工程を短縮しても、全体工期の短縮に直接結びつかないということが課題としてあげられる。



—：クリティカルパス

図 - 3 全体工程の一例 (20 万 kl 級)

(2) 施工性および安全性

PC 防液堤の施工では、これまで鉄筋・PC 鋼材用シースの組立て、型枠の設置、コンクリート打設などを行う際に、一般的な壁状構造物の施工方法である内側と外側に足場を設置する方法を用いている。

PCLNG 貯槽工事では PC 防液堤の構築と同時にその内側で機械工事を行う。そのため、PC 防液堤に設置されている内側足場が機械工事における屋根や側板など、資材搬入に干渉することにより施工効率が低下する。また、機械

工事の資材搬入時に、内側足場の一部を一時撤去したり、上下作業を避けるために内側足場の直下に必要な場合以外に立ち入らないようにするなど、土木と機械の間の作業調整に時間と労力を要するという課題もある。

2.3 新工法開発における着目点

前述の (1)、(2) の課題を同時に解決するために内側足場を省略することに着目した。

(1) について、従来の PC 防液堤の構築方法は、基礎版構築が完了してから、防液堤下部を防液堤内側と外側の足場を利用して構築したのち、基礎版上空の所定高さ (約 10 m) を確保するためのブラケット足場に盛り替えるまでの約 3～5 箇月の間、機械工事に基礎版上面を引き渡すことができなかった。この期間が全体工程においてクリティカルパスとなっている (図 - 4 (a)、図 - 5 (a))。そこで、PC 防液堤下部の構築時において、内側足場を完全に無くすることが可能となれば、機械工事を早期に着手でき、全体工期を大幅に短縮できると考えた (図 - 4 (b)、図 - 5 (b))。

(2) についても、防液堤上部構築時の内側足場を完全に無くすることができれば、土木工事と機械工事を完全に分離することが可能となり、双方の施工性と安全性が向上することになると考えた。

3. 新工法の概要

3.1 新工法の構造概要

新工法の構造概要を図 - 6 に示す。新工法では PC 防液堤の内側足場を完全に不要とするため、構造の合理化を目

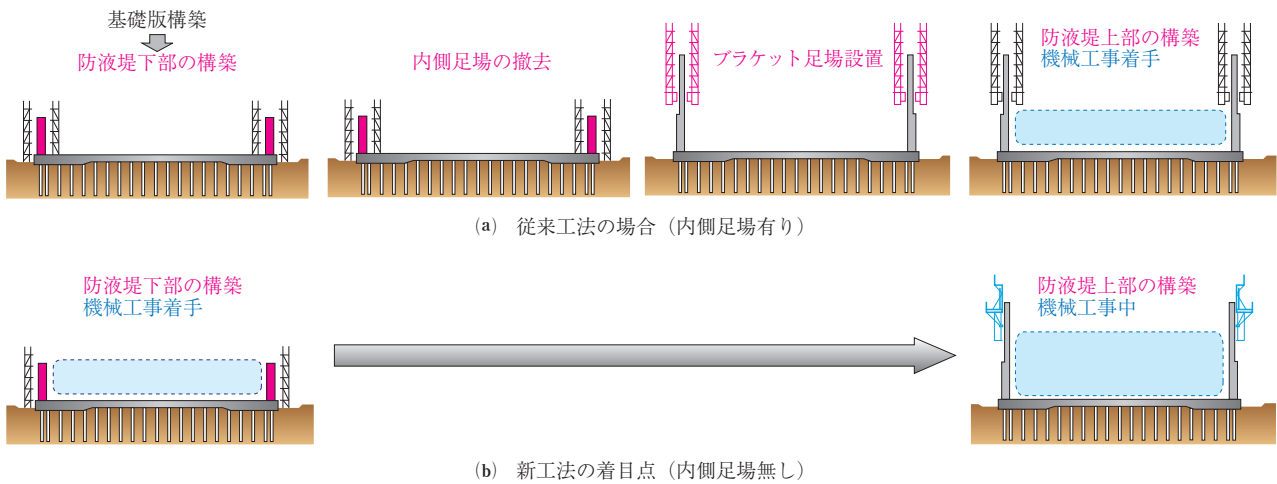


図 - 4 PCLNG 貯槽の構築順序と機械工事の着手時期

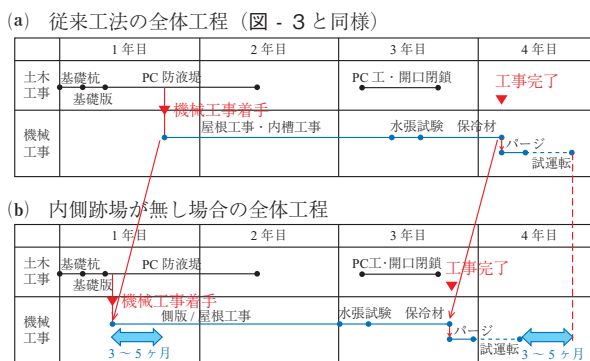


図 - 5 新工法による工程短縮効果

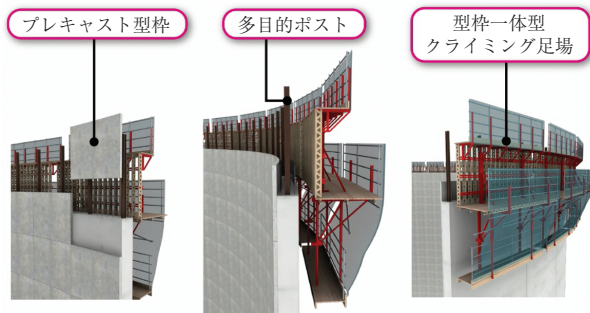


図 - 6 新工法の構造概要

的として以前に開発した「変断面構造を有する PC 防液堤 (Dual PC 防液堤<sup>1)</sup>)」の内側に「プレキャスト型枠」を採用することにした。また、防液堤中央部には本構造を成立させるために必要な「多目的ポスト」を配置した。さらに、防液堤の外側には、型枠工および足場工の施工性向上および省力化が可能で、すでに PCLNG 貯槽において採用実績<sup>2)</sup>もある「型枠一体型クライミング足場」を採用した。

### 3.2 構成部材の詳細

#### (1) プレキャスト型枠

PC 防液堤の内側に設置する「プレキャスト型枠」(図

- 6 左側)は、最終的に躯体内に残置する鉄筋コンクリート製の埋設型枠である。本型枠は、コンクリート打設用型枠としての役割以外に、供用期間中、気密性を確保するための外槽ライナを保持する役割も同時に果たす(図 - 7)。プレキャスト型枠の形状はパネル状となっており防液堤の直径に合わせて曲率をつけている。サイズは幅約 3.3 m、高さ約 3.0 m、厚さは約 140 mm である。

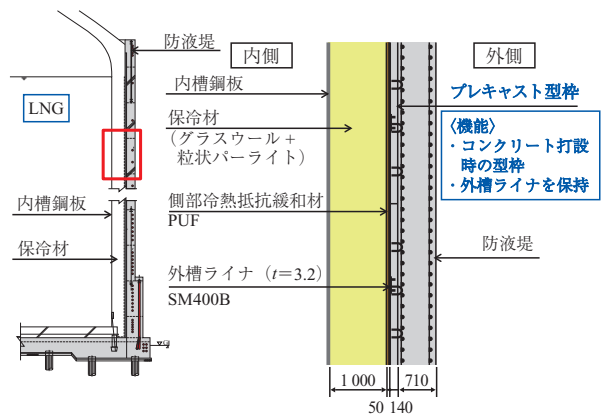


図 - 7 プレキャスト型枠の役割

また、本型枠には型枠同士を互いに結合するための継手用ボルトボックス、外槽ライナーを接合するためのアンカプレート、防液堤コンクリートと結合するためのジベル筋および外側型枠用のセパレータ用のネジ穴も埋め込んでいる(図 - 8)。

プレキャスト型枠は工場にて製作し(写真 - 1)、現地に搬入後、クレーンにて吊り上げ所定の位置にセットする。同型枠は円周方向にボルト結合し、最終的にリングとして閉合すれば構造上安定する(写真 - 2)。

#### (2) 多目的ポスト

「多目的ポスト」(図 - 6 中央)は、防液堤の中央部に設置する仮設の形鋼(H 形鋼等)である。この多目的ポストが PCLNG 貯槽にプレキャスト型枠を採用するうえで重要な役割を担っている。



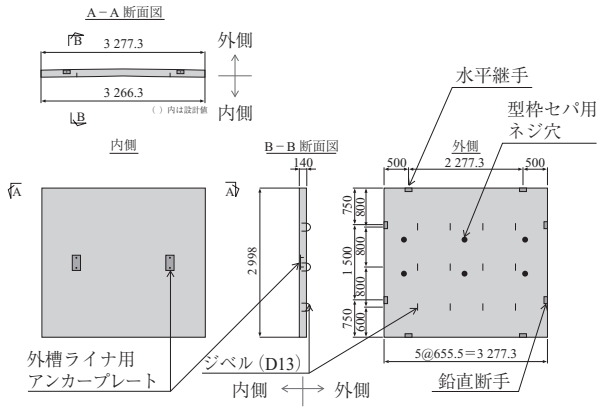


図 - 8 プレキャスト型枠の構造概要

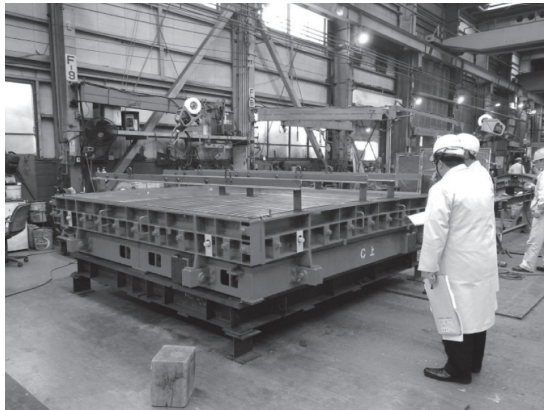


写真 - 1 プレキャスト型枠製作状況

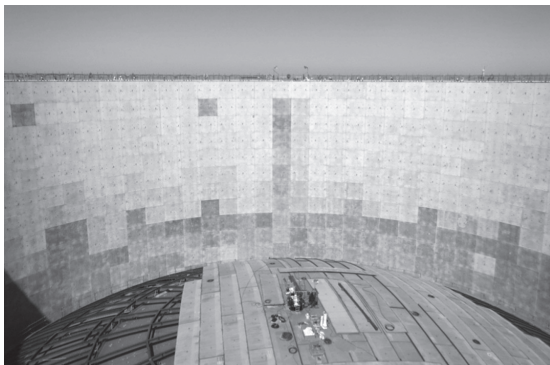


写真 - 2 プレキャスト型枠設置状況

LNG 地下式貯槽（以下、地下タンク）においては、地下空間における側壁の施工性向上、精度向上および安全性向上を目的として、プレキャスト型枠が採用された実績はある。これに対し、PCLNG 貯槽では地上構造物の一般的な施工方法が踏襲されており、プレキャスト型枠が採用された実績はない。その理由の一つとして、PCLNG 貯槽における PC 防液堤の壁厚 ( $t = 0.6 \sim 0.7 \text{ m}$ ) が、地下タンクの側壁厚 ( $t = 2 \sim 3 \text{ m}$ ) に比べて薄く、さらに防液堤外側が剛性の低い仮設足場であるため、プレキャスト型枠設置時の仮固定が困難であったことがあげられる。

この課題を解決するために、新工法では防液堤の中央部

に仮設の形鋼（H 形鋼）を配置する構造としている。本形鋼を配置することで、PCLNG 貯槽の防液堤においてもプレキャスト型枠を容易に仮固定することが可能となる。

本形鋼は、①プレキャスト型枠の仮固定、②プレキャスト型枠設置時の足場、③鉄筋の仮固定、④円周方向 PC 鋼材用シース管の設置架台、⑤鉛直 PC 鋼材および定着具設置用架台、⑥コンクリート打設配管用架台として利用することから「多目的ポスト」と命名した。

### (3) 型枠一体型クライミング足場

PC 防液堤の外側に設置する「型枠一体型クライミング足場」（図 - 6 右側）は、足場と型枠が一体化しており、クレーンを使って型枠と足場を同時に上方へスライドできる構造となっている。

従来型の型枠足場では PC 防液堤各ロットのコンクリート打設ごとに、型枠を一時荷下ろしして、型枠の清掃や埋込み金物を設置、鉄筋などを組み立てたのちに再び荷揚げを行い、所定の位置に設置する必要がある。そのため、①型枠の揚重時に強風による作業中断のリスクが大きく（写真 - 3）、②すべての型枠を一時仮置きするための仮置きスペースが必要となる（写真 - 4）といった課題がある。

これに対し、型枠一体型クライミング足場は、型枠面の清掃や埋込み金物の設置などの作業をすべて足場上で行うことができるため、PC 防液堤構築途中で型枠を地上部へ荷降ろす必要が無い（写真 - 5）。



型枠の揚げ降ろしが必要（強風時、大風状態）

写真 - 3 型枠荷揚げ状況（従来工法）



写真 - 4 型枠仮置き状況（従来工法）



型枠の揚げ降ろし不要（風の制約を受けにくい）

写真 - 5 型枠一体型クライミング足場

### 3.3 施工手順

新工法における標準ロットの施工手順を図 - 9 に示す。前ロットのコンクリート打設完了後、まず多目的ポストを設置する（Step 1）。次にプレキャスト型枠をクレーンにて所定の位置に吊り上げ、隣接する型枠同士をボルトで結合するとともに、多目的ポストに仮固定する（Step 2）。プレキャスト型枠の設置が完了した所から、鉄筋、シース管などを順次組み立てる（Step 3）。組立て完了後、下部ロットの外側型枠を脱型し後方へスライドさせ（Step 4）、型枠

一体型クライミング足場を上方へスライドし（Step 5）、所定の位置に型枠をセットしてコンクリートを打設する（Step 6）という手順で行う。

### 3.4 新工法採用のメリット

#### (1) 機械工事の早期着手による全体工期の短縮

新工法では、防液堤の内側足場が不要となるため、基礎版コンクリート打設完了後、1～2週間の養生が完了してすぐに基礎版上面を機械工事に引き渡すことが可能となる。この結果、基礎版工事完了から機械工事引渡しまでの期間を従来工法よりも3～5箇月短縮することが可能となり、その期間分全体工期を短縮することが可能となる（図 - 10）。

#### (2) 土木工事と機械工事双方の施工性・安全性向上

新工法では内側足場が不要であるため、土木工事と機械工事の作業調整が非常に少なくなり、双方の高速化施工が可能となる。また、上下作業も大幅に減少するため安全性も向上することになる（図 - 11）。

#### (3) 現地作業の効率化、省力化

プレキャスト型枠の採用により、PC防液堤の型枠および足場の組立て作業を半減させることができる。また、型枠一体型クライミング足場は、従来工法よりも足場や型枠の設置、組換えなどの作業が容易であるため、とび工や大工といった専門工事業者でなくても施工が可能となる。これは特定の専門工事業者の確保が難しい状況のなか、非常

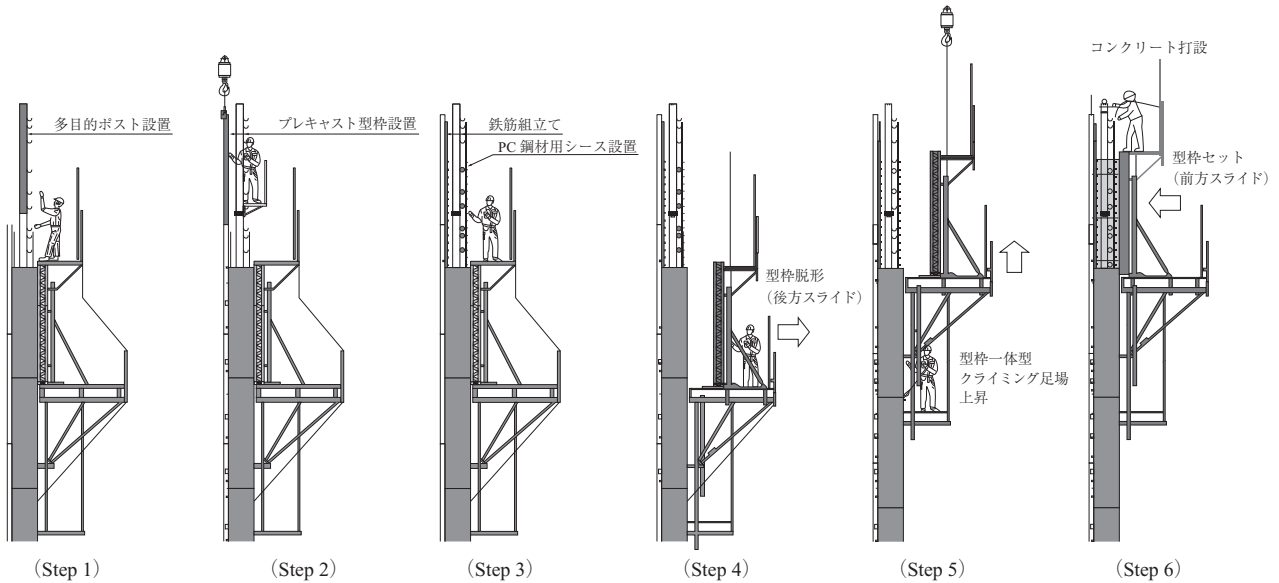


図 - 9 新工法における標準ロット施工手順

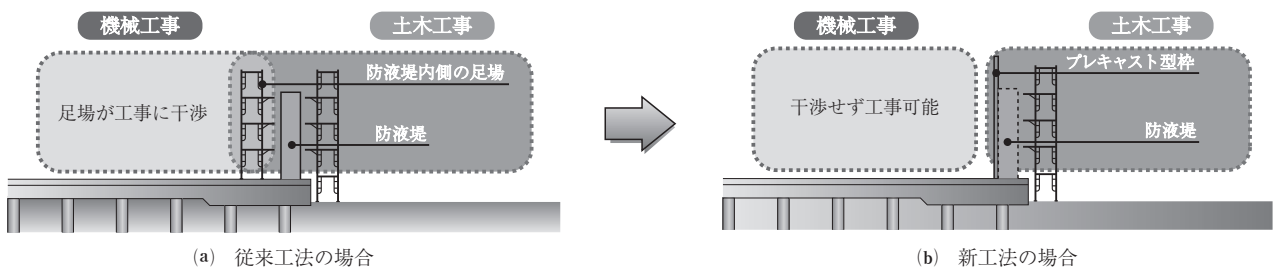


図 - 10 新工法採用のメリット（全体工期短縮）

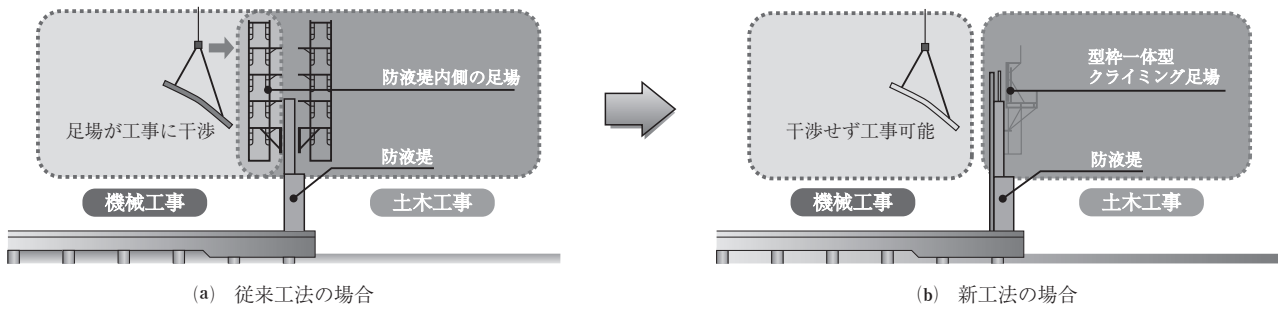


図 - 11 新工法採用のメリット (施工性・安全性向上)

に有効となり得る。

(4) 強風による作業中断リスクの低減

LNG 受入基地は、その特性上海岸付近の埋立地に建設されることが多い。そのため、風を遮るものがほとんどなく、型枠等の資材が荷揚げ時に強風により煽られて、クレーン作業を中断せざるを得ないことがしばしばある。この点について、新工法で採用している型枠一体型クライミング足場は、コンクリート打設ごとに型枠の荷下ろしが必要ないため、強風時に作業を中断するリスクが低減できるというメリットがある (写真 - 3)。

(5) 施工ヤードの有効利用

新工法で採用している型枠一体型クライミング足場は防液堤構築途中に型枠を地上部へ一時仮置きする必要が無い。また、プレキャスト型枠も各打設ロットに必要な分だけ写真 - 6 に示すように立掛けて仮置きしておくことになる。そのため、型枠や足場を仮置きするためのスペースが少なく、施工ヤードを有効活用することが可能となる。

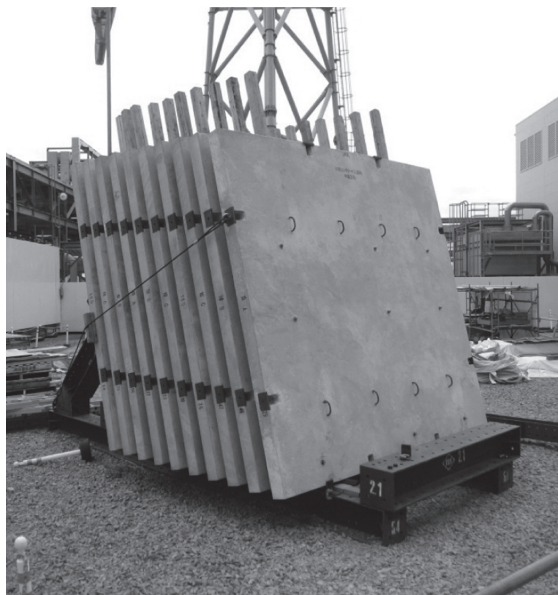


写真 - 6 プレキャスト型枠の仮置き状況

(6) 品質・施工精度向上

新工法で採用しているプレキャスト型枠は工場製品であるため、PC 防液堤内側の真円度および鉛直度の精度向上が可能となる。

4. 石狩 LNG 基地 No.2 PCLNG 貯槽への適用事例

4.1 工事全体概要

石狩 LNG 基地は、北海道ガス (株) が北海道石狩市に建設する大型 LNG 船の受入れが可能な基地である。本基地では、すでに 1 基目の PCLNG 貯槽 (タンク容量 18 万 kl, 以下「No.1 タンク」という) の建設が 2012 年に完了しており、現在は 2 基目となる PCLNG 貯槽 (タンク容量 20 万 kl, 以下「No.2 タンク」という) を建設している。完成イメージ図を図 - 12 に示す。

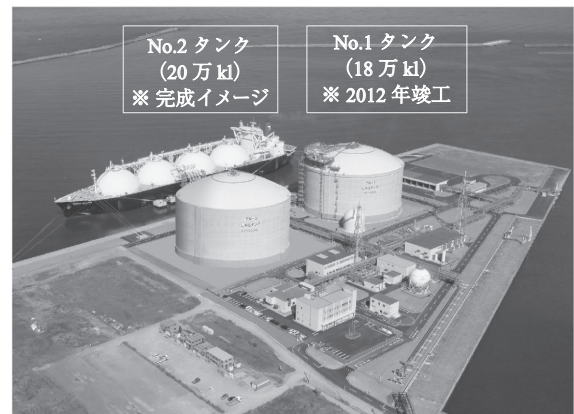


図 - 12 No.2 タンク完成イメージ図

この No.2 タンクの建設工事において新工法を適用した。本工事は 2013 年 5 月に着工し、2016 年秋の完成を目指している。本工事は元請は東京ガスエンジニアリングソリューションズ (株) であり、その下請けとして機械工事は (株) IHI、土木工事は大成・岩田地崎共同企業体が担当している。

4.2 No.2 タンク概要

No.2 タンクの構造概要を図 - 13 に示す。PC 防液堤は内径 83.2 m、高さ 43.1 m、厚さ 1.36 ~ 0.71 m である。PC 防液堤の 1 ロットあたりのコンクリート打設高さは 3 m とし、15 ロットに分割して構築を行った。プレキャスト型枠のサイズは、幅 3.3 m、高さ 3.0 m、厚さ 0.14 m とした。

4.3 新工法採用の理由

No.2 タンクの建設工事は、運転開始時期を早めるために No.1 タンクの工事期間 (43 ヶ月) よりも短い工事期間



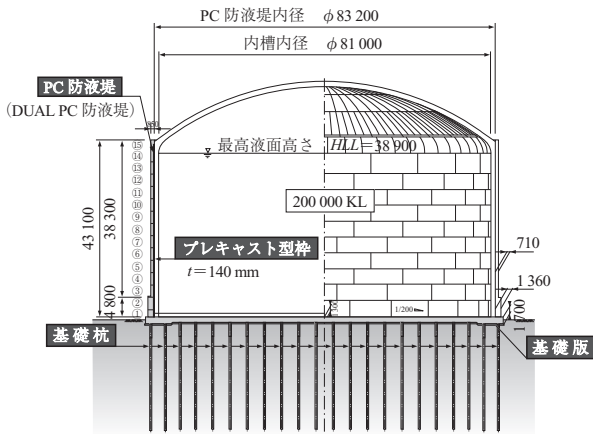


図 - 13 No.2 タンクの構造概要

(38 ヶ月以内) で施工することが求められた。当該地域は 12 月から 3 月までの約 4 ヶ月間は厳冬期となり、溶接などの屋外作業は休止しなければならない。そのため、目標工期を満足するためには、土木工事着手後 2 年目の冬期休工前に機械工事による屋根浮上を実施し、貯槽内槽工事を通年施工とする必要があった。

このような施工条件に対し、No.1 タンクで採用した従来タイプの防液堤構築方法を適用すると、図 - 14 に示すように屋根浮上が土木工事着手後 3 年目となり、目標工期を約 8 ヶ月超過してしまうことがわかった。

そこで、新工法の採用について検討した。新工法を採用することで図 - 15 に示すように機械工事の着手時期が早まり、土木工事着手後 2 年目の冬期休工前に屋根浮上を実施することが可能となった。その結果、全体工期を目標である 38 ヶ月以内とすることができた。

#### 4.4 新工法による施工状況

No.2 タンク建設工事において、2013 年 9 月から 2014 年 11 月に PC 防液堤工事を実施した。その施工状況を以下に示す。なお、従来工法による施工状況との違いを比較するため、No.1 タンクの施工状況も併せて示す。

##### (1) PC 防液堤下部構築時

従来工法 (No.1 タンク) と新工法 (No.2 タンク) の基

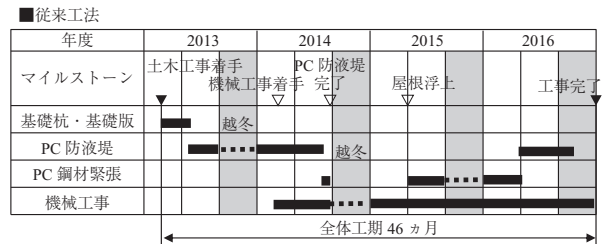


図 - 14 No.2 タンク全体工程 (従来工法)

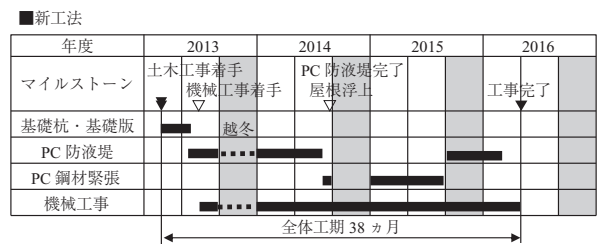


図 - 15 No.2 タンク全体工程 (新工法)

礎版コンクリート打設が完了してから約 4 ヶ月後の状況を写真 - 7 に示す。従来工法ではこの時点ではじめて防液堤内側足場がブラケット足場に盛り替えられ、機械工事へ引き渡し可能な状態になったのに対し、新工法を適用した場合はすでに機械工事による底部ライナーの設置は完了しており、屋根工事に着手していることがわかる。

##### (2) PC 防液堤上部構築時

PC 防液堤上部ロット構築時の状況を写真 - 9 に示す。従来工法では防液堤内側に足場が設置されており、その下側で機械工事の作業が行われていた。これに対し、新工法を採用した場合は内側足場が無く、土木工事と機械工事の施工エリアがプレキャスト型枠により明確に区分できている。これにより、機械工事の資機材搬入時に干渉するのがほとんど無く、土木と機械の上下作業も激減するため、土木工事と機械工事双方の施工性、安全性の向上が可能となった。

##### (3) コンクリート打設時

従来工法と新工法のコンクリート打設時の状況を写真



(a) 従来工法 (機械工事の着手可能)

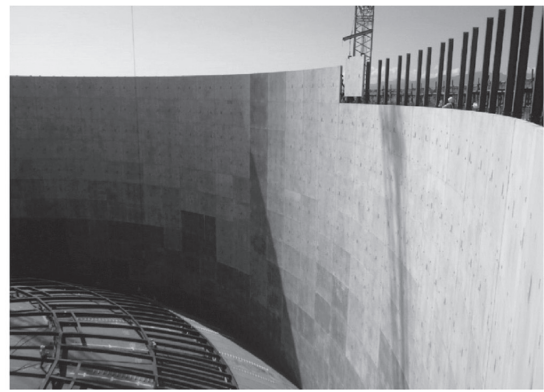


(b) 新工法 (機械工事は施工中)

写真 - 7 基礎版コンクリート打設後約 4 ヶ月後の状況



(a) 従来工法



(b) 新工法

写真 - 9 PC 防液堤上部構築時の状況



(a) 従来工法（単管による配管受け架台）



(b) 新工法（多目的ポストによる配管受け架台）

写真 - 8 コンクリート打設時の状況

- 8 に示す。

従来工法においては、内側と外側の足場を渡すように設置した単管パイプをコンクリート打設用配管の受け架台としていた。そのためコンクリート打設が完了し、型枠を撤去する際には、この受け架台を撤去し、コンクリート打設前に再び設置するということを繰り返していた。また、コンクリート打設中は、この単管パイプが通路上の人の肩の高さ付近にあるため、足場上を移動するには、単管パイプをよけながら移動する必要があり、通行性が悪かった。

これに対し、新工法ではコンクリート打設用配管の受け架台として多目的ポストに簡易な配管受け治具を取り付けたものとする事で、受け架台の設置が簡易となり、架台用資材の揚重が不要（足場内に収納）となった。また、打設通路の通行性が向上した。

## 5. おわりに

今回開発した新工法は、PCLNG 貯槽の全体工程の大幅な短縮を実現できるため、LNG 基地の運転開始時期を早めることが可能となる。また、従来工法と比較して現地作業の省力化や効率化が可能となるため、建設需要の増加に伴う専門工業者や熟練作業員の不足といった問題にも有効である。

さらに、今後増加すると予想される限定された狭い敷地内での増設工事に対しても有効であると考えらえる。

今後の課題としては、従来工法よりもコストが高くなるという点があげられるが、この点に関してはさらなる合理化に向けて現在検討を進めている。

本稿が今後の LNG 基地の建設環境やわが国の社会環境に対し、各種課題解決の一助となれば幸いです。

## 謝 辞

最後に新工法の開発にあたり、多くのご指導とご協力をいただいた北海道ガス(株)、東京ガスエンジニアリングソリューションズ(株)の皆様に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 市波克洋, 岡嶋修一, 西宮 暁, 高木宏彰: 変断面構造を有する防液堤 (DUAL PC) の設計と施工 - 坂出 LNG 基地 180 000 kL PCLNG 地下式貯槽, ナショナルレポート 日本のプレストレストコンクリート構造物 第 3 回 fib コンgress 2010, (社) プレストレストコンクリート技術協会, 2010
- 2) 溝口敬義, 齊藤健治, 梅本正樹, 小林祐樹: ひびき LNG 基地 180 000 kL PCLNG 貯槽の設計・施工, プレストレストコンクリート, Vol56, No.5, pp28-34, 2014

【2015 年 11 月 16 日受付】