

ひびきLNG基地180,000kLPCLNG貯槽の設計・施工

大成建設(株)	正会員	○小林 祐樹
大成建設(株)		梅本 正樹
ひびきエル・エヌ・ジー(株)		溝口 敬義
ひびきエル・エヌ・ジー(株)		齊藤 健治

1. はじめに

ひびき LNG 基地は、西部ガス(株)の子会社であるひびきエル・エヌ・ジー(株)が北九州市響灘地区に建設する大型 LNG 船の受入れが可能な LNG 基地である。主要設備としては、PCLNG タンク(18万kl×2基)、LNG 気化器、ローリー出荷設備、外航 LNG 船受入れバース等がある。図-1に完成予想図を示す。



図-1 ひびき LNG 基地完成予想図

本稿では、PCLNG タンク工事のうちの土木工事である基礎版および PC 防液堤の設計と施工の概要について報告する。

図-2にPCLNG タンクの一般構造図、表-1にPCLNG タンク概要を示す。

2. PCLNGタンクの設計

2.1 PC防液堤の設計

基礎版・PC防液堤の設計は「LNG地上式貯槽指針」の要求性能を満足するように仕様を決定した。各部の応答値(断面力)は、基礎版とPC防液堤をシェル要素、基礎杭と地盤をバネ要素でモデル化した3次元FEM解析により、自重、液圧、温度荷重、地震荷重およびプレストレス力等を組み合わせて算定した。PC防液堤の円周方向PC鋼材は、内槽からLNGが万一漏洩した際に、液密性を確保(部材断面

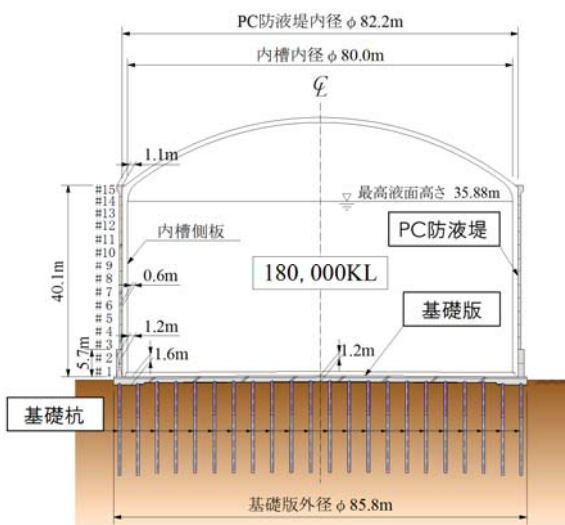


図-2 一般構造図

表-1 PCLNG タンク概要

工事名	ひびきLNG基地建設工事 PCLNGタンク土木工事
発注者	ひびきエル・エヌ・ジー(株)
請負者	大成建設(株)
構造形式	PC防液堤・外槽一体型平底球面屋根付円筒形貯槽
貯槽容量	18万kl×2基(内槽内径φ80.0m, 最高液面高さ35.88m)
基礎杭	杭径: φ700(SC杭, 節付きPHC杭)×404本 杭長: L17.0~21.0m, 施工方法: プレボーリング工法
基礎版	外径: φ85.8m, 版厚: t=1.2~1.6m 円周方向PC鋼材: 27S15.2(PC鋼より線)
防液堤	内径: φ82.2m, 高さ: h=40.1m 壁厚: 下端部1.20m, 一般部0.6m, 頂部1.1m 円周方向PC鋼材: 19S15.2(PC鋼より線) 鉛直方向PC鋼材(#1~2): φ36C種1号(PC鋼棒) 鉛直方向PC鋼材(#3~15): φ32C種1号(PC鋼棒)

内に10cm以上の残留圧縮領域を確保) するため、LNG液圧を打ち消すように、配置と鋼材量を決定した(図-3(a))。鉛直方向PC鋼材は、通常運転時の円周方向PC鋼材のプレストレス力による鉛直曲げモーメントによりひび割れを発生させないように配置と鋼材量を決定した(図-3(b))。また円周方向鉄筋量は、照査荷重(漏洩時の液圧の2倍の荷重)に対し、断面破壊の照査(降伏以下)を満足するように決定した。

2.2 PC鋼棒を採用した“新型DUALPC防液堤”

(1) PC防液堤における鉛直方向PC鋼材の役割

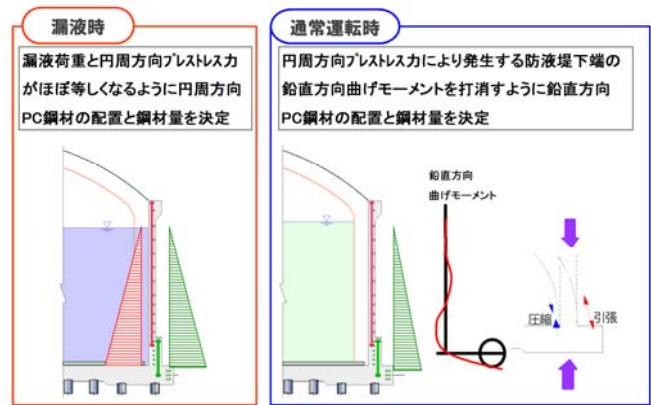
PC防液堤はLNGが内外槽間へ漏洩した場合を想定して、LNGの液圧を打ち消すように円周方向PC鋼材を配置している。しかし、通常運転時にはLNG液圧は作用せず円周方向PC鋼材による荷重のみが作用するため、基礎版に拘束されたPC防液堤下端部で鉛直方向に大きな曲げモーメントが発生し、防液堤外面にひび割れが生じる可能性がある。また、曲げモーメントは防液堤下端より5m程度のところで内側に反転するため、防液堤内面にもひび割れが生じる可能性がある。これらのひび割れを抑制するために鉛直方向PC鋼材を配置する必要がある。

(2) 従来型等断面PC防液堤と従来型DUALPC防液堤における鉛直方向PC鋼材の配置

従来型等断面PC防液堤は、壁厚が等厚で、下端部で必要となる鉛直方向PC鋼材(PC鋼より線)を防液堤全高にわたり配置する構造となっていた。そのため過大なPC鋼材量となっていた(図-4①)。これに対し、「必要な場所に必要なプレストレス」というコンセプトのもと開発した従来型のDUALPC防液堤は、①応力の大きい下端部の壁厚を大きくした変断面構造とし、②2列の鉛直方向PC鋼材(長尺PC鋼材・短尺PC鋼材)(PC鋼より線)を配置することで、下端部に効率的にプレストレスを導入することが可能となり、従来の防液堤に比べ、鉛直方向PC鋼材量50%、コンクリート量7%の低減が可能となった(図-4②)。

(3) 従来型DUALPC防液堤の課題

従来型DUALPC防液堤では、鉛直方向PC鋼材にPC鋼より線を使用していたため、基礎版内にU字シースを埋め込み、防液堤下端から天端までPC鋼材を配置していた(図-5 a))。そのため、基礎版外周部の過密鉄筋部に2列のU字シースを設置する必要があり、鉄筋組立やコンクリート打設の施工性が悪かった。また、緊張作業も①約100mのPC鋼より線挿入→②緊張→③グラウトのステップを踏まなければならない、工程や品質管理を困難なものにしていた。



(a) 漏液時 (b) 通常運転時

図-3 漏液時と通常運転時の荷重状態

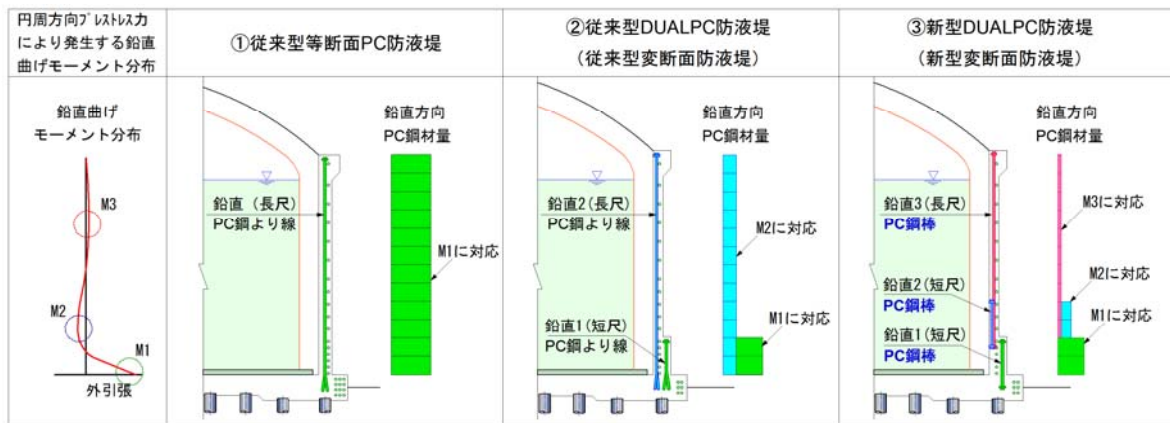


図-4 PC防液堤におけるPC鋼材配置の変遷

(4) PC鋼棒の採用による鉛直方向PC鋼材配置の合理化

この課題を解決するため、新型DUALPC防液堤には鉛直方向PC鋼材にPC鋼棒（アンボンドタイプ）を採用した（図-5 b）。従来型のように大規模なU字定着が不要で、防液堤内での定着が可能となった。また、図-4③の鉛直2および鉛直3（長尺）の定着位置を防液堤下端から約4.5m上方とすることで、鉛直2（長尺）の緊張により防液堤下端に発生する外側が引張領域となる曲げモーメントをなくした（図-6）。また、防液堤内での定着が可能となったことで、図-4③に示すように発生する断面力に応じて3段階に鉛直方向PC鋼材量を変化させることが可能となった。これにより、鉛直方向PC鋼材量を従来型DUALPC防液堤からさらに33%低減することが可能となった。

施工上もPC鋼棒の緊張ジャッキは手で持ち運ぶことができ、緊張作業も容易であり、さらにアンボンドタイプを使用することでグラウト作業も不要となり、緊張作業の大幅工程短縮が可能となった（写真-1）。

3. PCLNGタンクの施工

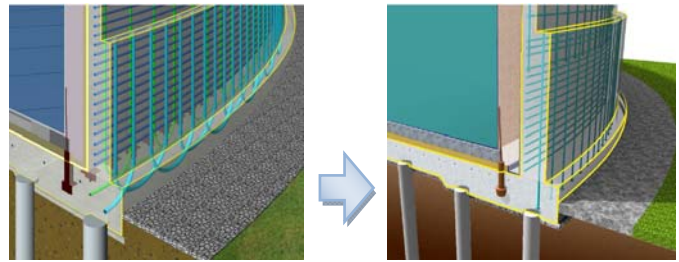
3.1 基礎版コンクリート工

基礎版コンクリートは、約7600m³であり、これを一括で打設することにより打継目の無いコンクリートとする計画とした。コンクリート供給プラントは、①JISマーク認定工場、②同一種類のセメントおよび混和剤を使用可能、③現場近郊（現場まで約35分圏内）の条件を満たす8プラントを選定した。打設日は、他の工事が少なく、作業員、応援要員を集めやすく、また、プラントの調整がしやすい日曜日を選定した。打設は総勢約400人、10班体制の2交代で、朝の5時に打設を開始し、約22時間かけて行った。打設順序は、タンク中央部から外周部へ行き、打ち重ね時間が1.5時間以内となるように管理した（写真-2）。

3.2 PC防液堤工

(1) 型枠一体型クライミング足場の採用

PC防液堤の構築足場には、型枠一体型クライミング足場（PERI社、CBクライミング作業足場システム）を採用した（図-7）。本足場は型枠と足場が一体となっており、埋込金物設置や型枠清掃のために型枠を揚げ降ろす必要がない。そのため、仮設ヤードの大幅縮減、風による工程遅延リスクの低減が可能である。



a) 従来型 (PC 鋼より線) b) 新型 (PC 鋼棒)

図-5 従来型と新型 DUALPC 防液堤

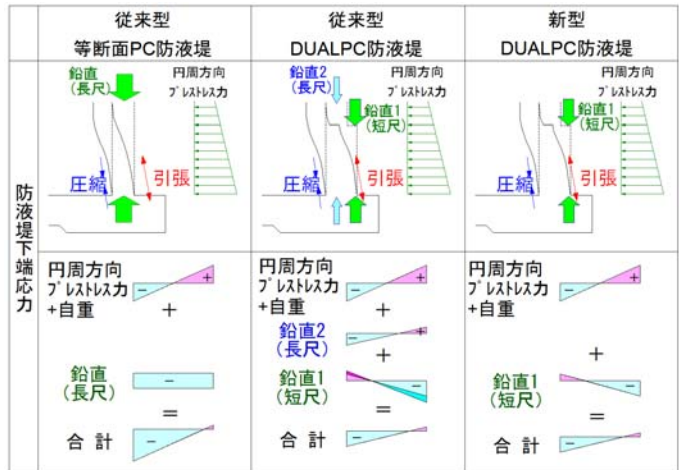


図-6 防液堤下端応力の違い



a) PC 鋼より線 b) PC 鋼棒

写真-1 鉛直方向 PC 鋼材の緊張状況



写真-2 基礎版コンクリート打設状況

型枠サイズは高さ3m・幅6.5mとし、内側・外側合わせて80パネルとした。足場のスライドは写真-3に示すように、1ユニットずつクレーンにてせり上げ、円周方向を連結固定した。

(2) コンクリート打設工

PC防液堤は、#1~15ロットに分割して施工した(図-2)。

#1~4ロットまでは6台のポンプ車のブームによりコンクリートを打設した。#5~8ロットは4台のポンプ車のブームに配管を接続して打設した(写真-5)。また、#1~2ロットは、壁厚が1.2mと大きく、基礎版に拘束されるため温度ひび割れが生じやすい。そこで、温度ひび割れ対策として、低熱ポルトランドセメントを使用するとともに、パイプクーリングを実施した。

3.3 緊張工

PC鋼材の緊張順序は、事前に3次元シェルFEMモデルによる解析を行い、発生応力度が出来る限り小さくなるように表-2のように緊張順序を決定した。緊張により有害なひび割れは発生しなかった。

4. おわりに

今回18万klのPCLNGタンクにPC鋼棒を採用し、構造の合理化を行った。我が国のエネルギー事情からLNGの家庭用・産業用燃料として需要が今後も拡大すると考えられ、建設コストの増大を抑えるために今回開発した新型DUALPC防液堤のような合理的な構造がますます求められるであろう。

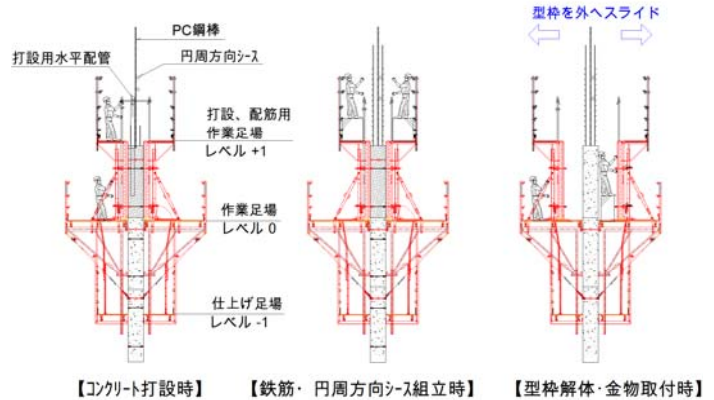


図-7 型枠一体型クライミング足場



写真-3 クライミング状況 写真-4 型枠を後方シフト

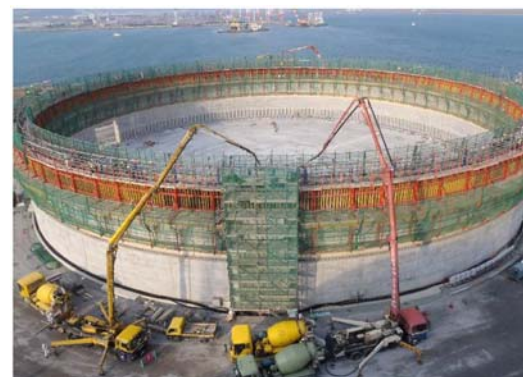


写真-5 コンクリート打設

表-2 各施工段階における PC 鋼材の緊張順序

施工段階	#4ロット完了後	PC防液堤構築後	開口部閉鎖後
制約	#5ロット施工前に緊張	屋根浮上 (AR) 前に緊張	開口部閉鎖～水張・耐圧試験までの間に緊張
緊張順序	①#3-4鉛直方向PC鋼材 ②#1-2鉛直方向PC鋼材	③#3-15鉛直方向PC鋼材 ④#15円周方向PC鋼材	⑤開口部#3-15ロット鉛直方向PC鋼材 ⑥開口部#1-2ロット鉛直方向PC鋼材 ⑦#1→#10ロット円周方向PC鋼材を1段おき ⑧#11→#14ロット円周方向PC鋼材のすべて ⑨#10→#7ロット円周方向PC鋼材の残り ⑩基礎版円周方向PC鋼材すべて ⑪#1→#6ロット円周方向PC鋼材の残り