

円筒 RC 地中連続壁の設計・施工における課題と対策

清水建設株式会社 正会員 ○田中 亮介

1. はじめに

わが国に最初の LNG 地下式貯槽が建設されてから既に 35 年以上が経過しており、その設計・施工技術はほぼ確立されたものとなっている。近年では、既存の技術に加えて、品質・機能を維持しつつ低コスト・短工期で貯槽を建設する技術が求められている。

地下式貯槽の施工では、山留壁兼止水壁としての役割を担う RC 地中連続壁（以下、連壁）を構築する必要がある。連壁工事において低コスト・短工期を実現するためには、壁厚を薄くして、掘削土量、コンクリート打設量を低減するのが最も効果的である。

本論文では、施工実績のある LNG 地下式貯槽の連壁を例にして、薄肉化における課題と対策について報告する。

2. 対象とする地中連続壁の概要

図 1 に対象とする LNG 地下式貯槽の一般構造図を示す。連壁は、円筒形で、寸法は内径 76.79m、周長 248.5m、壁高 65m、壁厚 0.9m であり、下端部は難透水層に根入れされている。既存の同規模の貯槽の連壁厚は 1.2m～1.5m であり、それと比べて大幅に薄肉化されている。

3. 薄肉化における課題

連壁は、基本的に外圧である土水圧のみを受ける円筒形構造物であり、周方向の軸圧縮力が卓越するのでコンクリートの圧縮強度を高めることにより、薄肉化が可能である。例として、本連壁の床付け付近における土水圧の条件で設計基準強度 $f_{ck}=40\text{N/mm}^2$ 、 $f_{ck}=60\text{N/mm}^2$ のコンクリートを適用すると仮定して算定した必要壁厚を表 1 に示す。

実際には、図 2 に示すように、概ね掘削深度の 1/2 から床付け付近まで $f_{ck}=60\text{N/mm}^2$ の高強度コンクリートを使用し、その他の部分は $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$ のコンクリートを使用した。

一方、連壁には止水性も求められるが、高強度コンクリートを適用することで、セメント量が多くなり、

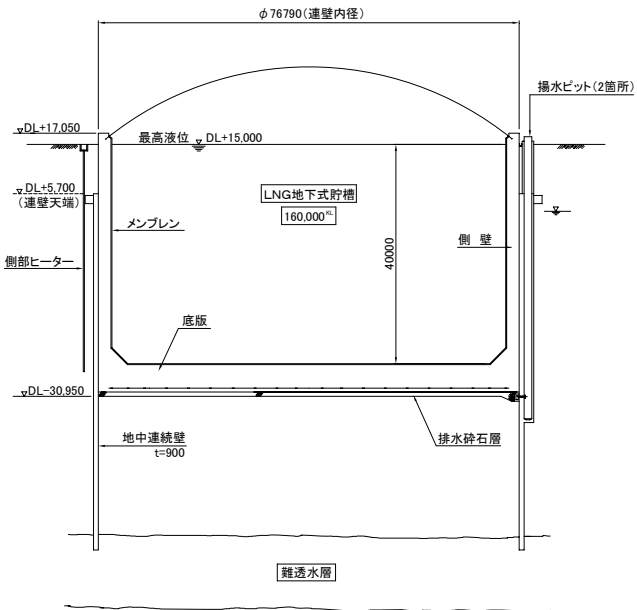


図 1 LNG 地下式貯槽一般構造図

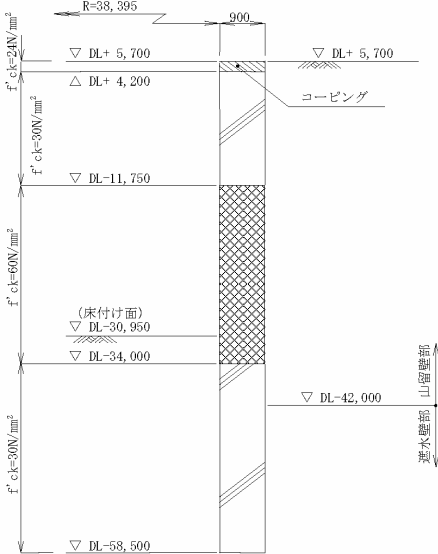


図 2 コンクリート割付図

表 1 本連壁における必要壁厚

設計基準強度	短期許容応力度	必要壁厚
40 (N/mm ²)	21 (N/mm ²)	1050 (mm)
60 (N/mm ²)	26.3 (N/mm ²)	850 (mm)

※いずれも偏荷重による応力増加を考慮して、短期許容応力度に対して約 1 割の余裕を見込んでいる。

水和発熱による温度ひび割れが発生しやすくなることから、止水性の低下が懸念される。

従って、連壁を薄肉化する上では、高強度コンクリ

ートのひび割れ抑制が重要課題の1つであり、これを低コストで実現することが求められる。

4. 課題解決のための対策

①高強度コンクリート部の空気量の低減

連壁は仮設構造物であるが、貯槽完成後も貯槽の浮上りに対する抵抗重量として考慮されている。地下式貯槽が運転を開始すると、LNGの冷熱により貯槽周辺が凍結するため、既往の連壁では耐凍害性を与えるためにJISに既定されている空気量4.5%を用いてきた。

空気量は、ある一定量までは多いほど凍結融解に対する抵抗性が増す一方、逆に少ないほど圧縮強度が大きくなる。コンクリートの配合において、同一の強度レベルを確保する場合、空気量4.5%と2%では水セメント比で概ね5%程度の差が生じるために単位水量が同じであれば、単位セメント量は 80kg/m^3 ($w/c=35\%$ の場合)程度の差が生ずることとなる。このように、空気量の少ないほうがセメント量の低減が可能で、ひび割れ抵抗性を向上する意味では空気量を低減した方が有利になる。

本貯槽の場合、運転開始数年後には図3に示すような凍結領域が形成される。ここで、連壁の高強度コンクリート部分に着目すると、大部分は常時凍結している領域に含まれる。また、凍結域と非凍結域にまたがる部分があるが、既設貯槽の運用状況を検討した結果、供用期間中にその境界の位置はほとんど変化しないことが確認できた。

以上のような判断に基づき、高強度コンクリート部における凍結融解の繰返しによる劣化の可能性は非常に小さいと判断し、空気量2%程度の配合とした。

②セメント種類の最適化

連壁の施工は、エレメントと呼ばれる短冊状の壁体を繰り返し構築して行う。図4に示すようにエレメントは先行と後行を交互に配置し、後行エレメントは両側の先行エレメントを構築した後に施工する。

使用するセメントの種類に関しては、温度ひび割れ抑制の観点から、既設の連壁では先行エレメント、後行エレメントとも低熱セメントを使用してきた。しかし、実績では、温度ひび割れは先行エレメントに拘束される後行エレメントのみに発生していることから、

先行エレメントへ普通セメントを適用できるのではないかと考え、温度ひび割れ解析により検証した。

連壁の出来形が良好であった既設連壁とひび割れ指数を比較した結果を以下に示す。

既設連壁 : 1.06

本連壁の先行エレメント : 1.11

本連壁の後行エレメント : 1.03

以上より、既設連壁と同等のひび割れ指数が得られることから、本連壁でも既設連壁と同等の安全性が確保できると考え、先行エレメントに普通セメント、後行エレメントに低熱セメントを選定した。

5. まとめ

連壁の薄肉化を図るために、高強度コンクリートを使用する一方、ひび割れ制御対策として、空気量の低減、セメントの最適化を実施した。その結果、完成した連壁には懸念していたような漏水は見られず、実施した対策は止水性確保に寄与したものと考えられる。

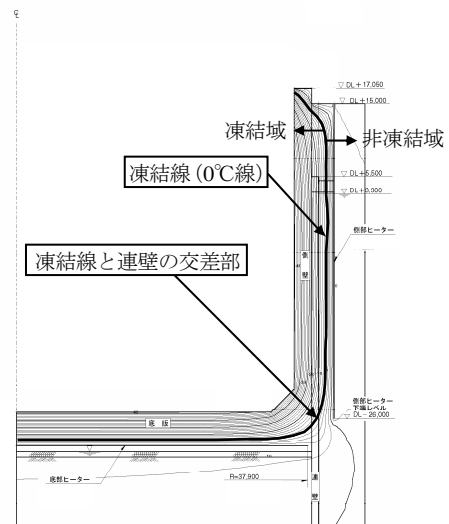


図3 温度分布図

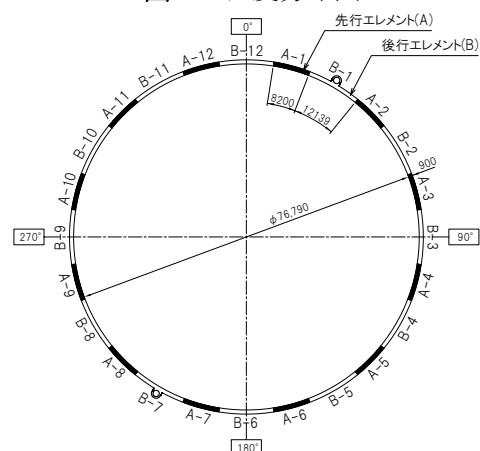


図4 エレメント割付図

キーワード 地中連続壁, コンクリート, ひび割れ

連絡先 〒105-8007 東京都港区芝浦 1-2-3 清水建設株式会社 土木技術本部 社会基盤統括部

TEL : 03-5441-0595 E-mail : r_tanaka@shimz.co.jp