

PCLNG 地上式貯槽の開発・設計～“F.T.Pile 構法”の採用～

四国ガス(株) 西原 一成
 新日鉄エンジニアリング(株) 溝口 慎哉
 ○大成建設(株) 正会員 今村 厚

1. はじめに

四国ガス(株)が2008年に運転を開始した松山工場(愛媛県松山市大可賀)の液化天然ガス(LNG)用の容量10,000klの貯槽は、PCLNG 地上式貯槽と呼ばれる形式である。PCLNG 地上式貯槽は、RC造の基礎版およびPC造の防液堤と、LNGを貯留する金属製タンクとが一体となった円筒形構造物である。

本貯槽の基礎構造形式は、構造物の重要度から耐震性を含む安全性が要求されることから杭基礎形式を採用し、杭頭部の構造には、過去の実績、安全性、経済性を総合的に考慮し、杭頭半剛接合構造(F.T.Pile 構法)を採用した。本稿では、杭頭半剛接合構造の設計概要について報告する。

2. 基礎杭および杭頭接合部の仕様

(1) 杭の仕様(工法)

- ・プレボーリング拡大根固め杭工法
- ・杭仕様: SC杭(t=6mm(SKK490)) + PHC杭, φ500, L=41m

(2) 杭頭接合部の仕様(工法)

- ・F.T.Pile 構法(BCJ 認定-FD0141-02)

3. F.T.Pile 構法の概要

(1) 杭頭部の概要と杭頭固定度の考え方

F.T.Pile 構法は、図2に示すように、杭頭部にテーパ型枠を設置し、基礎版パイルキャップに杭頭部を50mm~100mm根入れする。

このとき、杭外周部と基礎の境界面にはテーパ状のクリアランスを設ける構造としており、このクリアランスが根入れ部の回転抵抗をなくし、パイルキャップの損傷を防止する役割を果たす。

F.T.Pile 構法評定式では、杭体に作用する曲げモーメントの算出において、Chang 式に杭頭固定度 α を考慮することで杭の回転剛性を適切に評価する。図3に示すように、杭頭固定度 α は杭頭剛接合の場合1.0、杭頭ピン接合の場合は0.0となる。任意の固定度 α のときの曲げモーメント M_α は、杭頭剛接合の場合の曲げモーメント M_0 から以下の式にて算出している。

$$M_\alpha = \alpha M_0$$

また、杭頭固定度 α は杭頭接合部の回転剛性 K_θ および地盤と杭の緒元から以下の式にて算出される。

$$\alpha = K_\theta / (EI\beta + K_\theta)$$

このとき、杭頭の回転剛性 K_θ は一般に $K_\theta = M_0 / \theta_0$ で定義されるが、F.T.Pile 構法を用いた杭頭部では曲げモーメント M と回転角 θ の関係(以後 $M-\theta$ 関係と略す)を図4に示す双曲線でモデル化している。

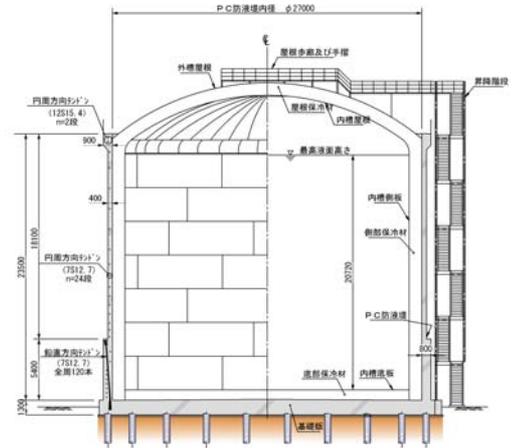


図1 10000kl 貯槽構造図

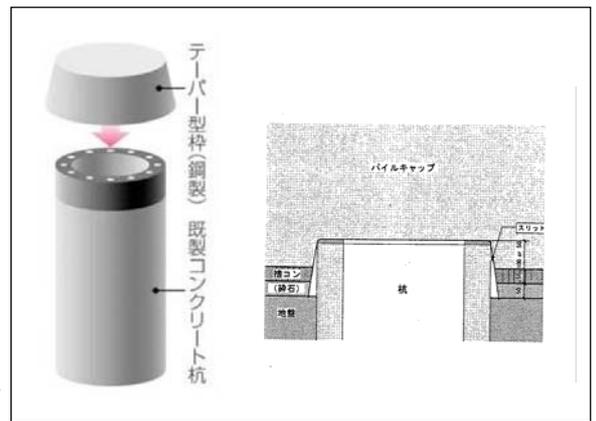


図2 F.T.Pile 杭頭概要図

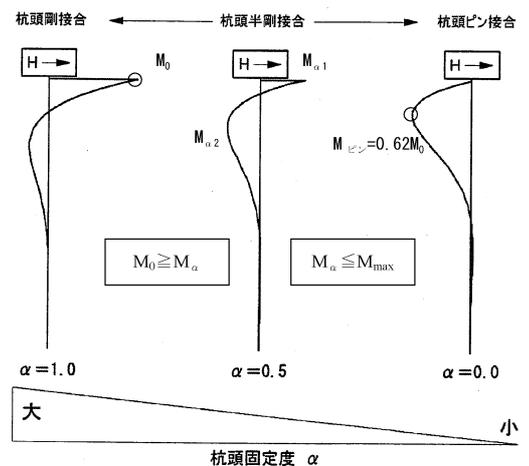


図3 頭固定度による曲げモーメント分布

キーワード PCLNG 地上式貯槽, PC 防液堤, 杭頭半剛接合, 杭頭固定度
 連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 新宿センタービル TEL 03-5381-5292 FAX 03-3342-2084

(2) 杭頭回転剛性の評価方法

図4に示す双曲線モデルは、実験結果および解析結果を基に、以下の式にて算定される。

$$M = \frac{\theta}{\frac{1}{K_0} + \frac{1}{M_{max}} \theta}$$

ここに、M：杭頭の曲げモーメント (kN・m)

θ：杭頭の回転角 (rad)

K₀：杭頭結合部の初期回転剛性 (kN・m/rad)

$$K_0 = \frac{\pi E}{32(1-\nu^2)}(D_1^3 - D_2^3) \times 10^3 \quad (\text{図5参照})$$

M_{max}：杭頭結合部の最大抵抗モーメント (kN・m)

$$M_{max} = ND_1/2 \quad (\text{軸力による最大偏心モーメント})$$

E：パイルキャップコンクリートの弾性係数 (kN/m²)

ν：パイルキャップコンクリートのポアソン比

図4に示すように、杭頭接合部のM-θ関係は非線形性状を示し、回転角θの増加に伴い回転剛性K_θが低下し、収束計算を行い外力レベルに応じた回転剛性K_θを得ることができる。また、杭頭結合部の初期回転剛性K₀及び最大抵抗モーメントM_{max}は、杭の仕様や作用軸力をパラメータとする関数になっており、これらの影響を考慮することが可能である。

4. 杭体に作用する曲げモーメントの算出

杭体に作用する断面力の算出は以下の手順にて行った。

- ①杭の断面諸元から杭頭結合部の初期回転剛性K₀を算出し、杭頭固定度αを算定する。
- ②上記αから、Chang式によりM_αおよびθを算出する。
- ③各杭に作用する軸力を、基礎版を剛体版として算定する。
- ④各杭に作用する軸力から杭頭結合部の最大抵抗モーメントM_{max}を算出し、これとθにより、各杭に作用する曲げモーメントMを算出する。
- ⑤M_αとMの誤差が大きい場合には、Mおよびθから図7に示す双曲線モデルを用いK_θを算定し、αを再計算し、②から④を繰り返し収束計算を行う。

一連の収束計算により算出された杭頭に作用する曲げモーメントは、杭頭を剛結合として算出した曲げモーメントのおよそ85%程度であった。

5. まとめ

杭頭半剛接合構造は、従来一般的に行われている杭頭剛および杭頭ピンの結合状態をそれぞれ担保する設計に対して、耐震性能と経済性それぞれの観点から合理的な構造である。

本稿が、今後ますます社会的要請が高まるであろうLNG関連設備はもとより、土木構造物全般への適用の一助となれば幸いである。

【参考文献】

- (1)青島一樹他：SC杭の杭頭接合部に関する研究(その1~4)，日本建築学会学術講演概要集，2001，9月
- (2)安田聡他：杭頭半剛接合構法の開発，日本建築学会技術報告集，第23号，131-136，Jun，2006

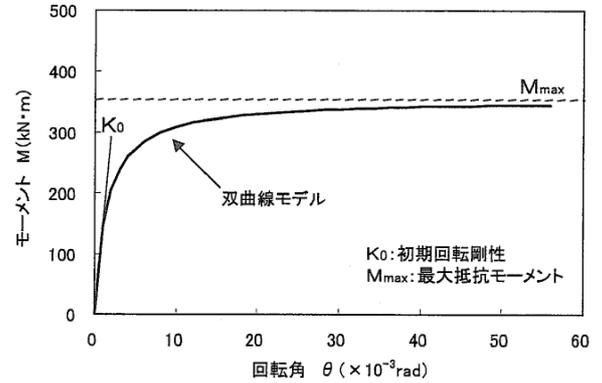


図4 双曲線モデルの概要

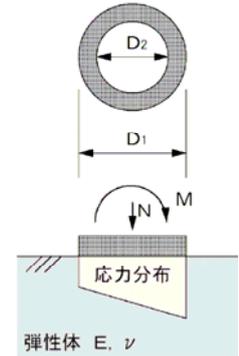


図5 初期回転剛性を求める際の仮定

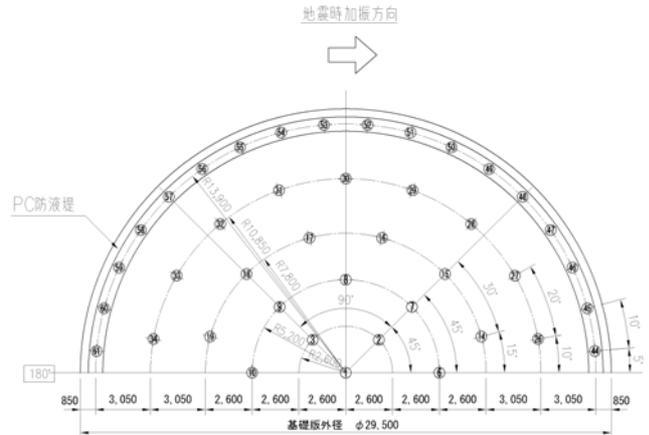


図6 基礎杭伏図

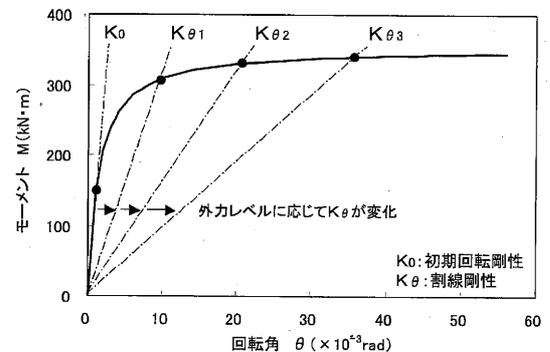


図7 M-θ関係とK_θの関係