

低温 LPG タンクの水張試験における基礎の沈下予測

国際石油開発帝石(株)
(株)大林組

工藤 恭平
正会員 ○ 永井 秀樹 永礼 大 鈴木 直子

1. はじめに

新潟県上越市の直江津 LNG 基地において建設されている容量43000m³の低温LPGタンクの貯槽性能を確認するため、水張試験を実施した。水張試験は、設計液圧に相当する液位の1.5倍の高さまで水を張り、内槽下部および基礎に異常がないことを確認する目的で実施される。試験前に基礎の沈下量を予測計算するとともに、実施にあたって基礎の変形および沈下等を十分に監視した。本報文では、水張試験における基礎の沈下予測とその結果について報告する。

本タンクは、LPG 内容物の液化温度が設計温度-45℃という低温であるため、「LNG 地上式貯槽指針」¹⁾に基づいて設計した。基礎版は、鉄筋コンクリート製($f_{ck}=30\text{N/mm}^2$)で厚さ 0.9m~1.2m とし、基礎杭は、打撃工法により鋼管杭φ700 の220本(杭ピッチP=3.2m)を打設した。平均杭長を46m とし、支持層は平均N値30~50の砂質土層とした。

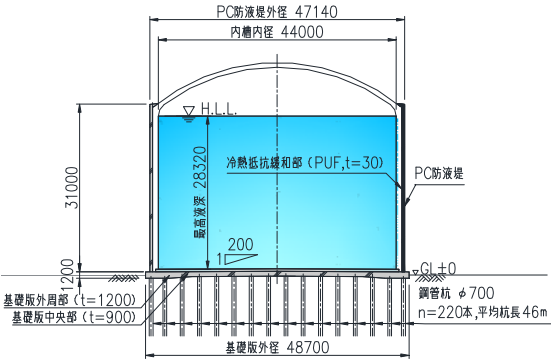


図-1 低温 LPG タンクの構造概要

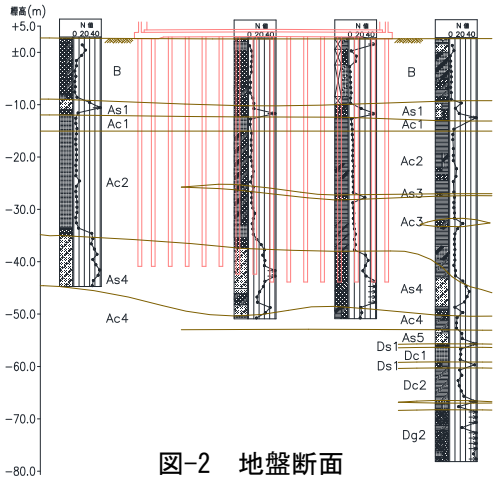


図-2 地盤断面

2. 簡易沈下予測手法

水張試験の沈下予測は、FEM 解析を使用せず、手計算(表計算レベル)で行える簡易沈下予測手法にて行った。作用荷重による地中応力を「基礎版下面」と「支持層」に集中すると考え、そこからブシネスク応力円に基づく地盤内応力を算定した。それぞれの地盤内応力による「基礎版下面の沈下量 S 」=「支持層の沈下量 S' 」が成り立つ荷重分担 ($p : p'$)を計算することで、全体沈下量を算出した。(図-3)

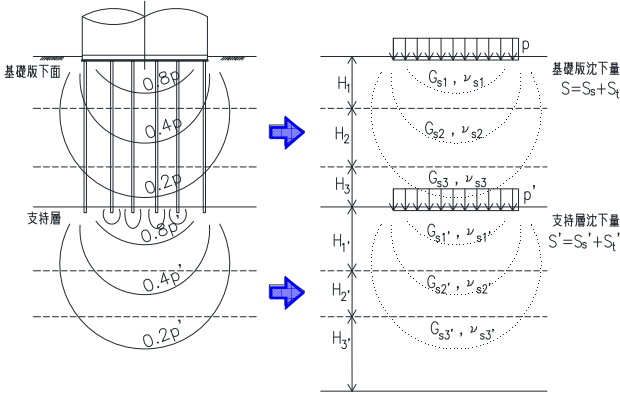


図-3 簡易沈下予測手法

各土層の沈下量は、弾性沈下量(S_s)と塑性(圧密)沈下量(S_t)に区分²⁾し加算した。弾性沈下量は、地盤歪による地盤剛性の低下を考慮し、式(1)とした。

$$S_s = 2(1 + \nu)G \cdot \Delta P \cdot H \quad \dots (1)$$

ここに、 ν : 地盤のポアソン比、 G : 地盤剛性、
 ΔP : 地盤内増加応力、 H : 各土層の層厚

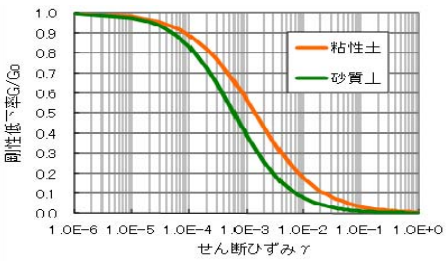


図-4 $G/G_0 \sim \gamma$ の関係図

塑性沈下量は、粘性土層に対し、式(2)とした。

$$S_t = S_\infty \cdot U_t, \quad S_\infty = m_v \cdot \Delta P \cdot H_c \quad \dots (2)$$

ここに、 U_t : 水張試験中における平均圧密度
 m_v : 体積圧縮係数、 H_c : 粘性土層の層厚

3. 水張試験の計測結果

水張試験の沈下量の計測は、基礎版外周に 8 点の標高計測点および 0 度と 90 度の半径方向に傾斜計をそれぞれ 4 点設置して行った。

沈下計測結果を、図-5 に示す。簡易沈下予測手法による予測ラインに対して、実際の沈下量は、約 70% の小さい値を示した。これは、塑性沈下量を大きく予測していたためと考えられる。一方で、塑性沈下量を差し引いた弾性沈下量は、大きな差異なく予測できたと考える。(表-1)

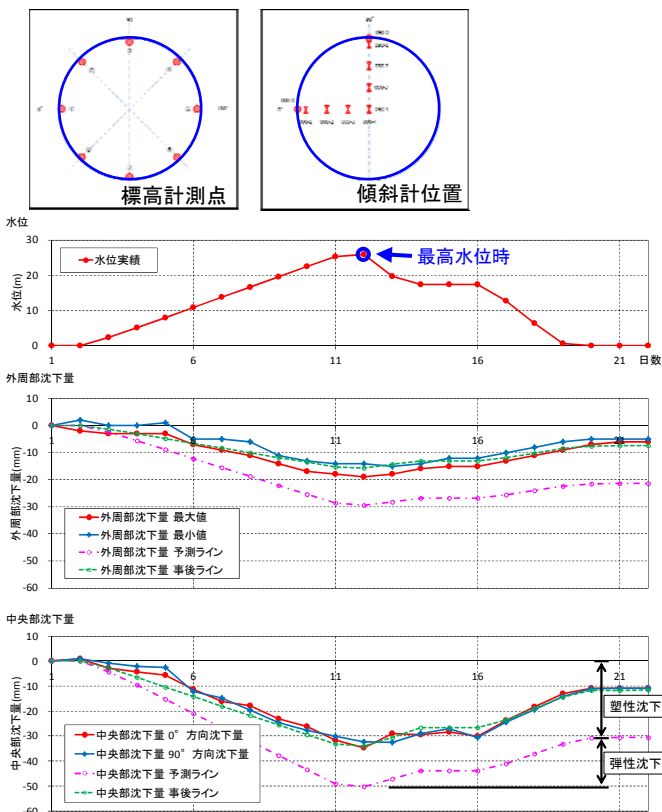


図-5 水張試験の沈下計測結果

4. 杭と基礎版の荷重分担

杭と基礎版の荷重分担を計測するために、杭歪計と土圧計を設置した。(図-6)

鋼管杭の最大軸力値は、N-1 と N-2 の平均最大応力値 $\sigma_s = 71 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ より、杭軸力の計測値 (N_p) / 杭軸力の設計値 (N_d) = 約 83% となった。

土圧の計測値は、D-1 と D-2 の平均応力値より $\sigma_v = 32 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ となり、水張試験における最高水位による全載荷荷重(約 260 kN/m^2) から計算すると、基礎版の荷重分担は、約 12% となった。

これら計測結果より、基礎版の荷重分担は、約 15% (12%~17%) であることが分かった。

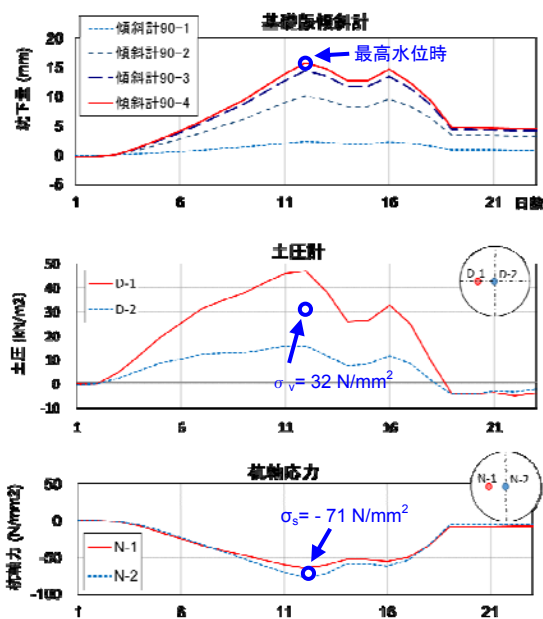


図-6 作用荷重～応答変位の分布

簡易沈下予測手法による基礎版の荷重分担は、事前の予測で 21% であり、塑性沈下量を再計算した事後の計算で 17% になったことより、本手法において概ね荷重分担が推定できることが分かった。

表-1 沈下量と荷重分担率の比較

	弾性沈下量 (最大値)	塑性沈下量 (最大値)	基礎版の 荷重分担
予測計算	20.9mm	29.4mm	21%
事後計算	22.5mm	11.6mm	17%
計測結果	24.1mm	10.7mm	12~17%

5. まとめ

低温 LPG タンクは、無事に水張試験を終了し、その性能確認を行うことができた。水張試験の弾性沈下量は、杭と基礎版の荷重分担を考慮する簡易沈下予測手法により、十分な精度で推定できたと考える。

一方で、塑性沈下量は、杭先端より以深の地盤の塑性(圧密)に対して、土質試験データを元に推定したが、予測値と大きな差異を生じた。塑性沈下量の予測精度を上げるため、多数の水張試験計測データを取集や分析するなど、今後も沈下予測の精度向上に努めたいと考える。

参考文献

- 1) LNG 地上式貯槽指針 JGA 指-108-12, 2012/4, 日本ガス協会
- 2) 柿沼, 永井, 「多数の杭で支持されたタンク基礎の沈下挙動」 2004/9, 土木学会第 59 回年次学術講演会