

## 中国上海市におけるLNGタンクの群杭基礎の沈下性能評価

東京ガス・エンジニアリング 広谷亮

大林組 正会員 ○永井秀樹 正会員 阿久津富弘 正会員 伊藤政人

### 1. はじめに

中国上海市の長江河口域に位置するLNGタンク建設プロジェクトにおいて、群杭基礎の設計を行う中で沈下性能の評価が課題となったため、水張試験での沈下量を2種類の解析方法にて予測し、計測値と比較することで、その予測手法の検証を行った。また、プラント施設内には、LNGタンクの大規模な群杭基礎から配管基礎のような小規模な直接基礎まで様々な基礎形式が存在するため、近接する構造物との相対沈下量についても検討を行った。

### 2. 上海市長江流域の地盤及び杭基礎の支持層

上海市の地盤は、上海規格(地盤基礎設計基準 DG J 08-11-1999)により決められた番号(図-1)が付記されている。上層①~⑤は、長江河口域にて細かい粒子が堆積した約70mの軟弱な沖積粘土層である。②、③層は、N値10程度の砂質シルトを中心とした層であり、小規模な杭基礎に対して摩擦杭としての設計が行われている。④、⑤層は、 $V_s$  200~280m/sの粘土層であり、杭長30m以上で、杭周面摩擦力が十分に得られるため、一般構造物の支持層として適用されている。洪積層の⑥~⑨層は、緻密な粘土層~粗砂の $V_s$  350m/sを超える基盤にあたる層であり、超高層ビル等の重要構造物の支持層として適用されている。本タンクエリアは、埋立完了後5年程度が経過し、上層部の土層の圧密沈下がほぼ収束した状態であるため、⑤層を支持層として選定し、沈下を許容する群杭基礎とした。

地層年代	土層名称	土層番号
完新世	埋土	①
	褐黄色粘性土、灰色砂質シルト	②
	灰色沈泥質、シルト質粘土	③
	灰色沈泥質粘土	④
	灰色砂質シルト、灰色シルト細砂	⑤
上更新世	暗緑色粘性土、褐黄色粘性土	⑥
	黄緑色砂質シルト、灰色シルト細砂	⑦
	シルト質粘土とシルト細砂と互層	⑧
	灰色細砂、中砂、粗砂	⑨
中更新世	灰黒色粘性土	⑩
	灰色シルト質細砂	⑪
	緑灰色粘性土	⑫

図-1 上海市の地盤構成

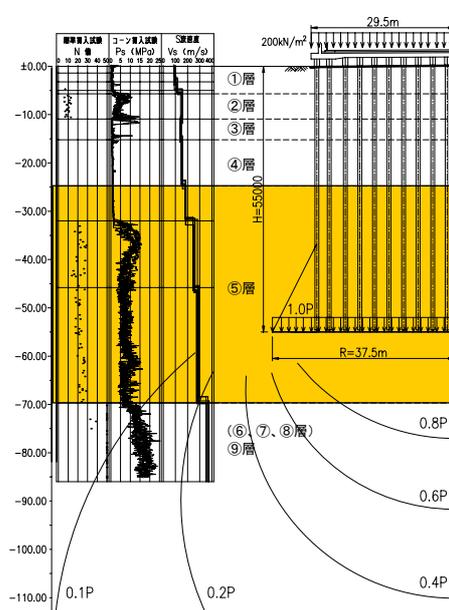


図-2 LNGタンクの地盤内応力

築地盤基礎設計基準GB50007-2002)およびLNGタンク本体の準拠基準である英国規格(BS7777<sup>1)</sup>)に従った。

⑤層は、約35mの非常に厚い中塑性の粘性土層(平均 $p_c=85kN/m^2$ )であり、タンク満液時の約 $200kN/m^2$ が荷重された場合、杭先端の下層は、図-2に示すように地盤内応力の分散が起こるものの、長期に渡る圧密沈下が発生すると考えられた。全体沈下量は、⑤層に対する埋込長さの違いにより大きく変化すると予測されたため、この沈下量の推定が、杭長を決定するための要求事項となった。

### 4. 沈下解析による比較検討

沈下量の推定は、施工~水張試験~圧密沈下完了の経時変化を含めて、2種類の解析手法にて検討を行った。

① FEM解析：土/水連成解析ソフトである「DACSAR」<sup>2)</sup>によりステップ解析を行った。粘土は、関口・大田モデルとし、その入力定数は、圧密試験および物理試験結果より決定した。砂質土は、Drucker-Pragerモデルとし、変形係数は $V_s$ より求めた動的変形係数(初期剛性)の0.5倍とした。(図-3)

② 実用的解析法<sup>3)</sup>：弾性的な沈下量を、杭下端より1/3

### 3. 杭基礎の設計

杭基礎の設計は、上海規格(上記基準)、中国規格(建

キーワード 大型構造物、杭基礎、沈下、数値解析

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 ㈱大林組東京本社 生産技術本部生産施設技術部 TEL 03-5769-1307

上部からのブシネスク式に基づく地中応力の分散と各深度におけるひずみレベルに応じて地盤の初期剛性を低減し、その低減した変形係数によるひずみを深さ方向に積分することより求めた。圧密沈下量は、e-log 法により算定し、全体沈下量を弾性的な沈下量との足し合わせとした。

水張試験の計測結果は、図-4 に示すように全体沈下量がタンク中央部で24mmとなり、タンク外周部で12mmとなった。これは、最大沈下量において①、②の結果と概ね同等となり、良好な推定結果であった。一方、圧密進行の速度は、解析値よりも遅くなる結果となり、透水係数の設定等に原因があったと考えられる。

5. 基礎の沈下性能の評価

FEM解析の結果より、圧密沈下後の最終沈下量は、図-5 に示すようにタンク中央部において約115mmであるが、基礎版の外周と中心との相対沈下量は 15mm となり、英国規格の中で規定されるタンク半径の 1/300 以下の許容不同沈下量 100mm を満足した。

またタンク外面から約 8m 離れた配管基礎との圧密沈下後の相対沈下量は、約 25mm となった。これは、地盤内応力の分散により周辺地盤も沈下したことで、近接の構造物との相対沈下量が軽減されたためであり、配管設備の設計においてタンクと接続配管との許容相対変位を満足する結果となった。

6. おわりに

群杭基礎における沈下性能の評価結果は、詳細な地盤調査データの収集だけでなく、近隣構造物の基礎の状況、沈下解析手法の選定、施工中の沈下量測定データとの比較など、予測精度の向上のために総合的な検討が必要となる。

今回のように施工過程で実施される水張試験によって沈下解析の結果を評価し、長期沈下量及び近隣構造物の相対沈下量の予測精度を2手法により確認したことで、群杭基礎の沈下性能に対する信頼性を高めることができたと思う。

今後、実稼動中に沈下計測を定期的実施し、解析より推定された沈下量に問題がないか、実際にタンク構造物やそれに接続された配管設備に問題がないかを調査していくことが求められる。本プロジェクトでは、施設内の定期点検の検査項目にタンク構造物の沈下計測を盛り込み、長期沈下量を検証する予定である。

1) BS7777 : Flat-bottomed, vertical, cylindrical storage tanks

for low temperature service , part3, 1993

2) Iizuka A. and Ohta H.: A determination procedure of input parameters in elasto-viscoplastic finite element analysis, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol. 27, No. 3, pp. 71-87, 1987

3) 柿沼裕和, 永井秀樹, 鎌田文男: 多数の杭で支持されたタンク基礎の沈下挙動, 第 59 回年次学術講演会, 2004. 9

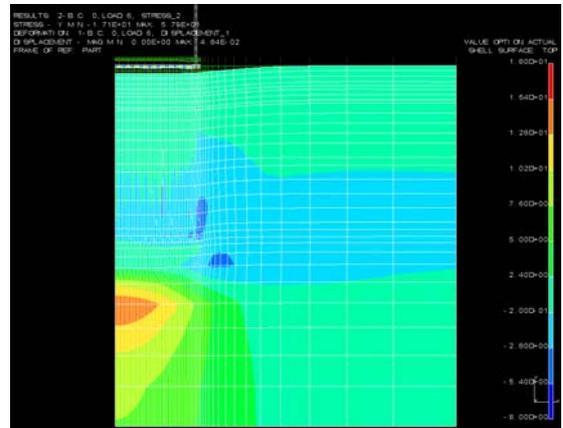


図-3 FEM解析結果(水張試験/地盤内応力)

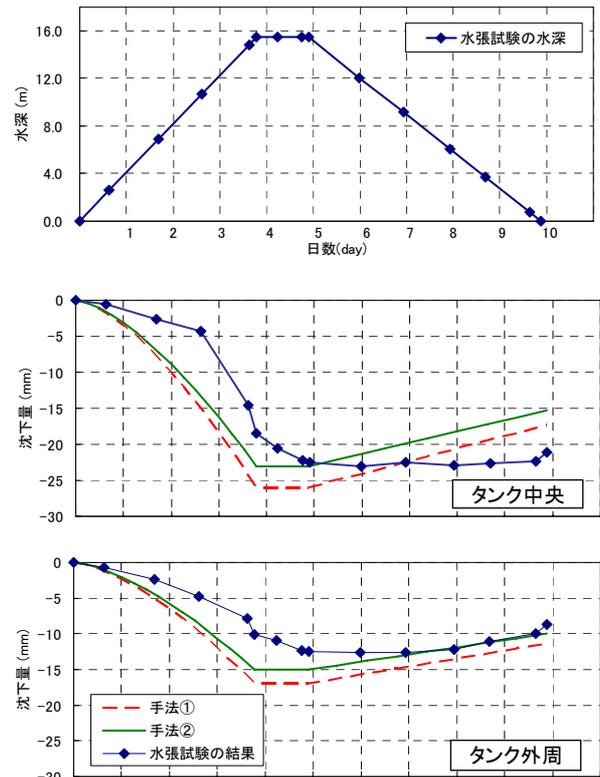


図-4 水張試験の結果

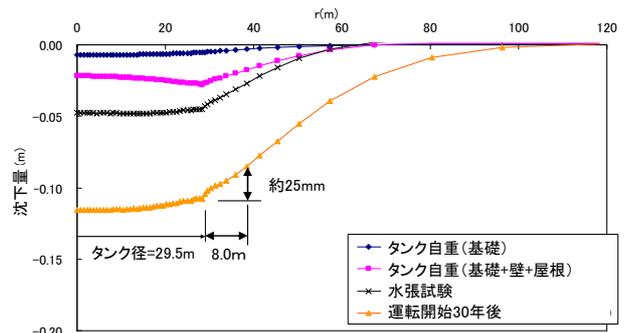


図-5 沈下量の時系列推定値 (手法①)