

既設 LNG タンク基礎を利用した 63 本群杭の水平載荷試験について

大阪ガス株式会社	正会員	西崎 丈能
大阪ガス株式会社	正会員	○新村 知也
京都大学大学院	正会員	木村 亮
株式会社大林組	正会員	阿久津 富弘

1. 序論

液化天然ガス（以下、LNG とする）受入基地における構造物の安全性の確保は、エネルギーの安定供給、保安に対して必要不可欠な事項である。地震発生時においても、とりわけ LNG タンク等の大規模重要構造物を支える「基礎」の支持性能が重要である。筆者らは、大阪ガス株式会社泉北製造所第一工場において 40 年間供用した LNG タンクを撤去する機会を利用して、水平力が作用した際の杭基礎の支持性能を確認するために、群杭基礎の水平載荷試験を実施した。本試験は、総本数 496 本の杭基礎を有する LNG タンク基礎を用いて、既往最大規模となる 63 本（9 列×7 列）の群杭基礎試験体が破壊に至るまでの水平挙動を確認した。この試験においては、大規模群杭基礎が降伏・破壊に至る挙動を確認して LNG タンク基礎の耐力を確認すると共に、群杭基礎特有の杭列ごとの荷重分担の相違を大規模群杭基礎で定量的に確認した。

2. 試験概要

試験を実施した LNG タンク（容量 45,000 m³）を写真 1 に示す。鉄筋コンクリート製スラブ（厚さ 0.8 m、直径 48.0 m）、及び 496 本の鋼管杭（上杭：長さ 12.0 m、杭径 406.4 mm、板厚 12.7 mm、材質 SKK400、下杭：11.5 m、杭径 406.4 mm、板厚 9.6 mm、材質 SKK400）で構成されている。杭頭構造の詳細を図 1 に示す。LNG（-162℃）の冷熱が地盤に直接伝達されないように高床式としており、突出杭となっている。杭頭から 6.0 m の位置まで中詰めコンクリートが設置されている。なお、本構造物が設置されている箇所は埋立地であり、地盤面から約 5 m までは埋土層であり、約 10 m までは N 値が 10 以下の地盤である。

図 2 に 63 本群杭の試験装置概要を示す。試験体は 9 列×7 列（18.0 m × 14.0 m）、杭間隔 2.0 m の群杭で、反力体は同じく LNG タンク基礎を活用した。杭のひずみ、変位、及び傾斜角、スラブ四隅の変位を計測項目とした。計測機器は突出部のみに設置し、地中部の挙動は、数値解析¹⁾により確認することとした。試験方法は、地盤工学会の「杭の水平載荷試験方法・同解説」²⁾に準拠し、事前の数値解析から十分な大変形に至ると想定された 30,000 kN（5,000 kN の油圧ジャッキ 6 列）を試験最大荷重とした一方向、6 サイクルの段階載荷方式により実施した。

3. 実験結果と考察

3.1 荷重-変位関係

スラブ水平変位とジャッキ荷重の関係を図 3 に示す。25,400 kN 載荷



写真 1 LNG タンク全景

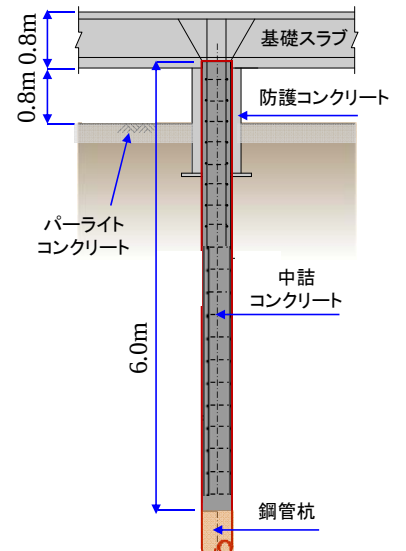


図 1 杭頭構造詳細図

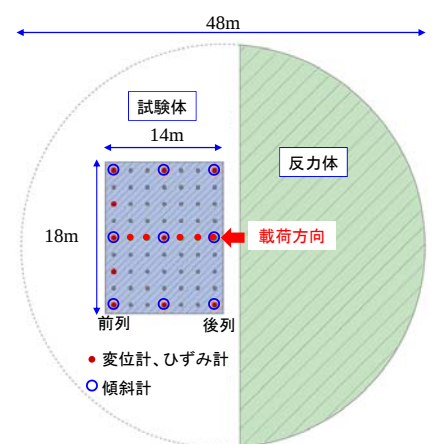


図 2 試験装置概要

キーワード 群杭水平載荷試験, LNG タンク基礎, 荷重分担率

連絡先 〒541-0046 大阪府大阪市中央区平野町 4-1-2 大阪ガス（株）エンジニアリング部 TEL：06-6205-4592

した時点で載荷重を保持できず試験を終了した。スラブ最大変位は約 250 mm（杭径の 61 %）で、除荷後の残留変位は 200 mm（杭径の 49 %）程度であり、基礎全体の降伏荷重は荷重変位関係を両対数で整理し、17,000 kN 程度と判断された。一般に LNG タンクは、基礎全体に作用する水平力を杭本数で割り均等に分担させる設計をしている。原設計における単杭の降伏荷重は 247 kN（杭頭固定条件で Chang の式により算定）であり、杭 63 本の設計上の降伏荷重は 15,500 kN 程度である。すなわち、実験で確認された降伏荷重は設計上の降伏荷重の約 1.1 倍であることが確認できた。また、降伏後も 25,400 kN までは残留変位は増大するものの荷重を保持する傾向が確認されたことから、基礎の終局耐力は降伏荷重の約 1.5 倍であり、また延性的な壊れ方であることを確認した。

3.2 杭頭の破壊状況

最終載荷後の杭頭の破壊状況を写真 2 に示す。杭頭周辺のスラブのコンクリートが剥離し杭頭が抜け落ちるような壊れ方が確認された。杭頭以外の突出部、及び地中部（後述する試験後に引き抜いた杭により確認）では座屈のような破壊状況は確認されず、杭頭破壊の発生が順次進展していき終局状態を迎えたと推察される。原設計では、杭頭固定、すなわち杭頭に最も大きな荷重が作用する条件で設計されていたことから壊れ方の観点で原設計の想定と合致していた。

3.3 群杭基礎としての挙動

中央列の各杭の荷重分担率を図 4 に示す。各杭への作用水平力を最前列杭への作用水平力（計測したひずみより算定した曲げモーメントの深度間の差分から算定）で除すことで荷重分担率を算定した。また、試験後に引き抜いた杭の状況を写真 3 に示す。図 4 より荷重段階により差はあるものの、最前列の杭が最も大きな荷重を負担し、後列杭ほどその負担は小さくなる傾向にあった。また、写真 3 より前列杭は後列杭と比較して浅い位置で変曲点を確認され変位も急激に増大した一方で、後列杭は変曲点が深く、前列杭ほど明確な変位の増大が確認されなかった。杭間隔が杭径の約 5 倍と大きい本試験体においても杭位置の相違による荷重分担率の相違が確認された。

4. まとめ

63 本群杭に対する水平載荷試験を実施し、設計の 1.1 倍以上の降伏荷重を有し終局耐力は降伏荷重の 1.5 倍であったこと、壊れ方が設計の想定通りであったことを確認した。また、荷重分担率について、前列杭が大きな荷重を負担する群杭基礎特有の挙動を確認した。

参考文献

- 1) 寺本俊太郎, 木村亮, 西崎丈能, 新村知也: 有限要素法による大規模群杭基礎の変形挙動の解明, 平成 25 年度全国大会第 68 回年次学術講演会 (投稿中), 2013.
- 2) 地盤工学会: 杭の水平載荷試験方法・同解説[第 1 回改訂版], 2010.

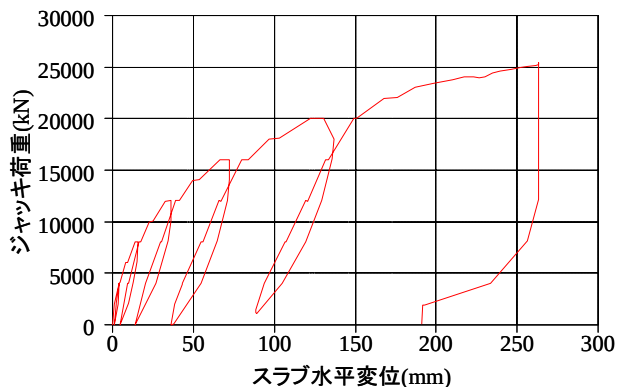


図 3 スラブ水平変位とジャッキ荷重の関係

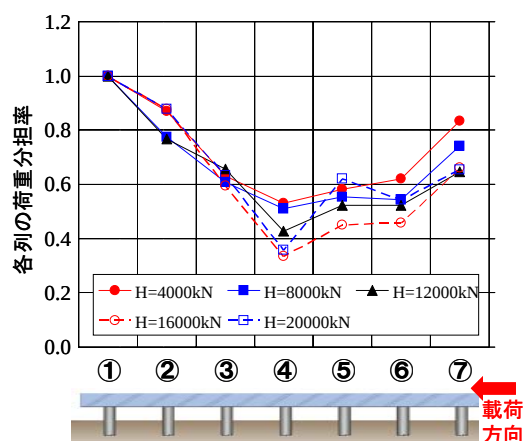


図 4 中央列の各杭の荷重分担率



写真 2 載荷後の杭頭部破壊状況

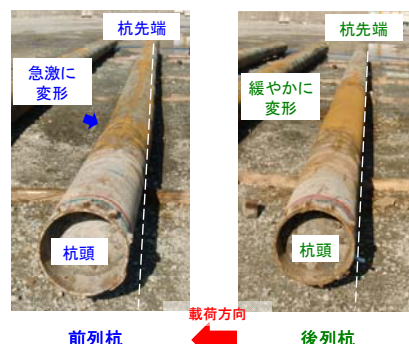


写真 3 杭ごとの変形状況