

## 既設LNGタンク基礎を利用した単杭および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  
 京都大学大学院 学生会員 寺本俊太郎  
 株式会社大林組 正会員○阿久津富弘  
 株式会社大林組 正会員 久保田修一

### 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、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タンク基礎を用いた杭基礎の水平載荷試験のうち、単杭、2本杭および3本杭の試験体が降伏・終局に至るまでの水平挙動を確認したものである。

### 2. 試験概要

試験を実施したLNG タンク(容量45,000m<sup>3</sup>)は、鉄筋コンクリート製スラブ(厚さ0.8m、直径48.0m)、及び496本の鋼管杭(上杭:長さ12.0m、杭径406.4mm、板厚12.7mm、材質SKK400、下杭:11.5m、杭径406.4mm、板厚9.6mm、材質SKK400)で構成されている。杭頭構造の詳細を図1に示す。杭頭から6.0mの位置まで中詰めコンクリートが設置されている。本構造物が設置されている地点は埋立地であり、地盤面から約5mまで埋土層、約10mまでN値が10以下の地盤である。図2に単杭および2本杭、図3に3本杭の試験装置概要を示す。単杭の加力方式は押す方式でなく、単杭と反力杭(2本)を引張材でつなぎ、引っ張る方式とした。押す方式の場合、荷重の増加に対し単杭の変形が大きくなるにつれジャッキの球座では対応できなくなり、所定の荷重が載荷できなくなる可能性が高いと判断したことによる。単杭は引っ張り材に固定した反力梁と反力体背面との間に1,000kNジャッキ2台を直列につないだものを1組設置し加力した。3本杭はジャッキによる加力(押す)方式とした。ジャッキは大変形に対応させるためストローク20cmの1,500kNジャッキ2台を直列につないだものを1組設置して加力した。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)に準拠して実施しており、降伏荷重を上回る試験最大荷重を設定した。図4および図5に荷重サイクルを示す。

### 3. 実験結果と考察

#### 3. 1 単杭および2本杭の荷重-変位関係

単杭の地盤面における水平変位とジャッキ荷重の関係を図6にキーワード 杭の水平載荷試験, LNG タンク基礎, 荷重分担率

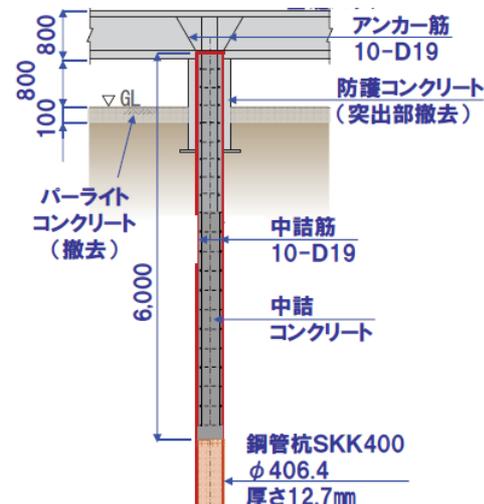


図1 杭頭構造詳細図

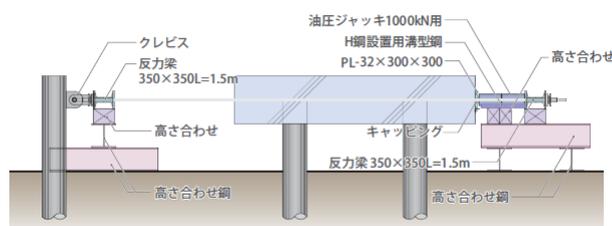


図2 単杭~2本杭試験装置

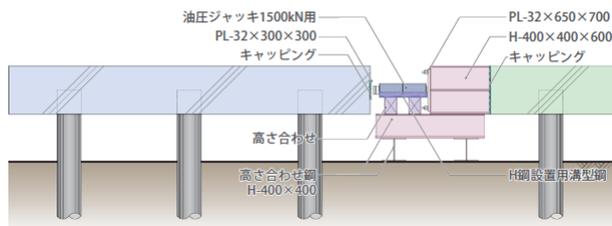


図3 3本杭試験装置

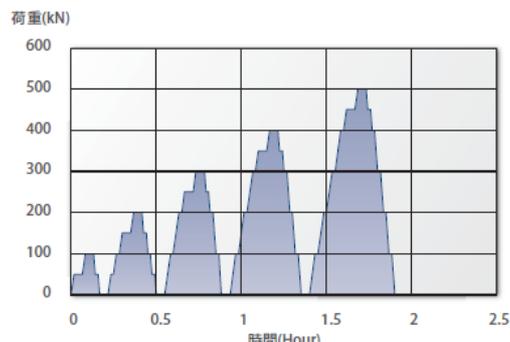


図4 単杭~2本杭荷重サイクル

示す。杭の最大変位は約 65mm、除荷後の残留変位は 25mm 程度であり、単杭の降伏荷重は 386kN 程度と判断された。LNG タンク の原設計における単杭の降伏荷重は 232kN (杭頭自由条件で Chang の式により算定) であり、試験で確認された降伏荷重は設計上の降伏荷重の約 1.66 倍であることが確認できた。

2 本杭の地盤面から地盤面における水平変位とジャッキ荷重の関係を図 7 に示す。杭の最大変位は約 10mm で、除荷後の残留変位は 2.5mm 程度であり、2 本杭の降伏荷重は 263kN 程度と判断された。原設計における単杭の降伏荷重は 247kN であり、試験で確認された降伏荷重は設計上の降伏荷重の約 1.06 倍であることが確認できた。

3. 2 3 本杭の荷重-変位関係

基礎スラブとジャッキ荷重の関係を図 8 に示す。杭の最大変位は約 90mm で、除荷後の残留変位は 50mm 程度であり、3 本杭の降伏荷重は 642kN 程度と判断された。原設計における単杭の降伏荷重 247kN に対して、試験で確認された降伏荷重は 220kN であり設計上の降伏荷重をやや下回る結果となった。ただし、降伏後も 1,200kN まで荷重を保持でき、終局耐力は原設計における降伏荷重の約 1.6 倍以上であることを確認できた。

3. 3 群杭の荷重分担率

群杭の各杭における荷重分担率を図 9、図 10 に示す。各杭に作用する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を深度の差分から算定)で除すことで荷重分担率を算定した。荷重の増加に伴い、最前列の杭が最も大きな荷重を負担し、後列杭ほど小さくなる傾向を確認できた。

4. まとめ

単杭から 3 本杭までの水平載荷試験を実施し、LNG タンク の建設時に想定した降伏荷重と同等以上の耐力を有することを確認できた。また、2, 3 本の群杭の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に特有の挙動を確認できた。

謝辞：本試験の実施にあたり(株)エスコ、(株)地盤試験所の関係各位に多大なご協力を頂きました。厚くお礼申し上げます。

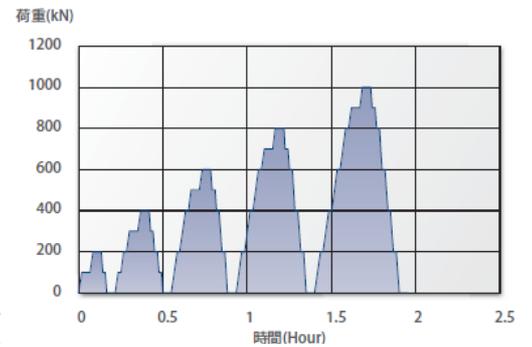


図 5 3 本杭荷重サイクル

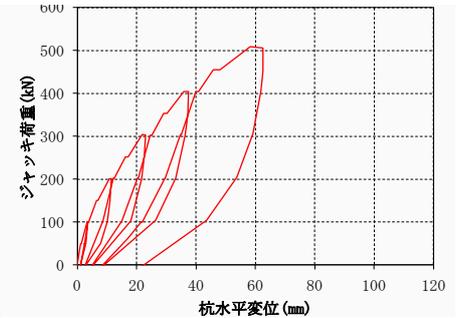


図 6 単杭の水平変位と荷重の関係

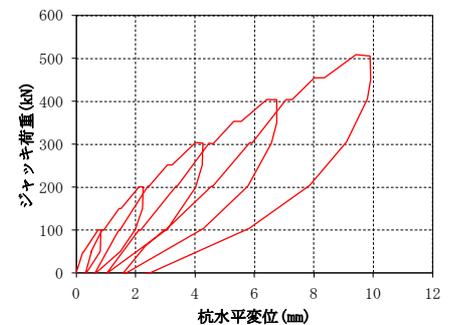


図 7 2 本杭の水平変位と荷重の関係

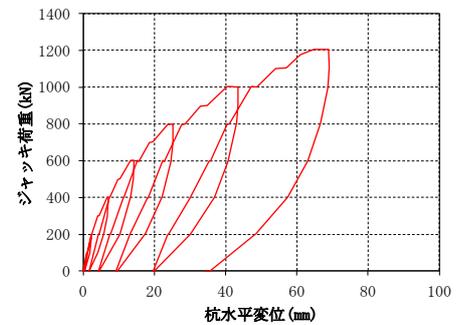


図 8 3 本杭の水平変位と荷重の関係

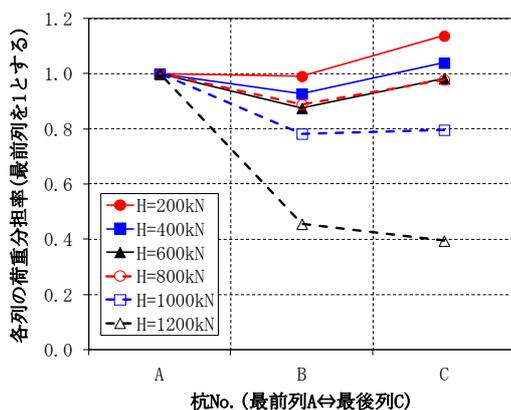


図 9 3 本杭の荷重分担率

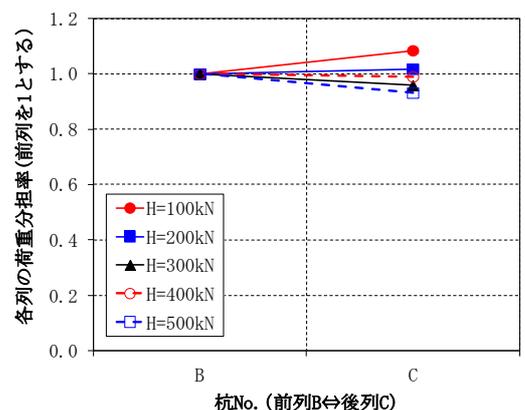


図 10 2 本杭の荷重分担率