

長尺 SL 鋼管杭の設計・施工と鉛直載荷試験

Design and Construction of Long Steel Pipe Piles with Betumen Coating

小島 久史 (こじま ひさし)

鋼構設計 構造設計室 主任

山口 真克 (やまぐち まさかつ)

鋼間組 東京支店羽田センタービル作業所 所長

佐藤 紀 (さとう おさむ)

鋼間組 東京支店羽田センタービル作業所 次長

三反畑 勇 (さんだんばた いさむ)

鋼間組 技術研究所研究第一部

1. ま え が き

現在進められている東京国際空港（羽田空港）の沖合展開事業は、現空港前面の海面を埋め立てて造成した軟弱な地盤上の工事であるため、地盤沈下の発生が予測されており、その対策が大きな技術的課題とされている¹⁾。

空港の整備地区に建設される空港施設ユーティリティセンタービルの現場（図-1参照）においても、埋立地の下に軟弱な沖積粘土層が厚く存在し、良好な支持層は60m以深とかなり深い位置にある。そこで、基礎には、杭径800mm、杭長約75mの打込み鋼管杭が選定され、ネガティブフリクション対策として杭表面にアスファルトを塗布したSL杭(Slip Layer 杭)が使用された。

本報告では空港施設ユーティリティセンタービル建設工事における長尺SL鋼管杭の設計・施工および杭の支持力確認のために実施した鉛直載荷試験について紹介する。

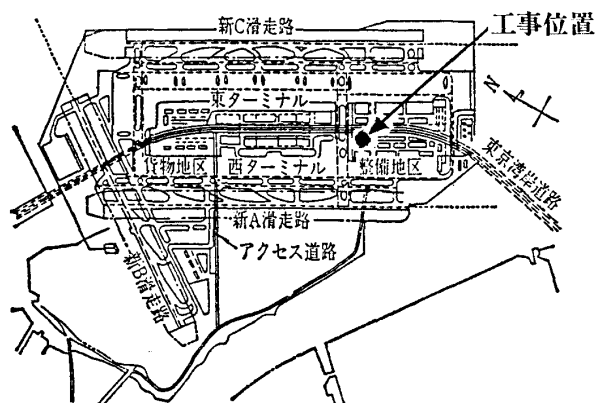


図-1 工事位置図

2. 工 事 概 要

空港施設ユーティリティセンタービルは、図-2、



図-2 空港施設ユーティリティセンタービルの外観

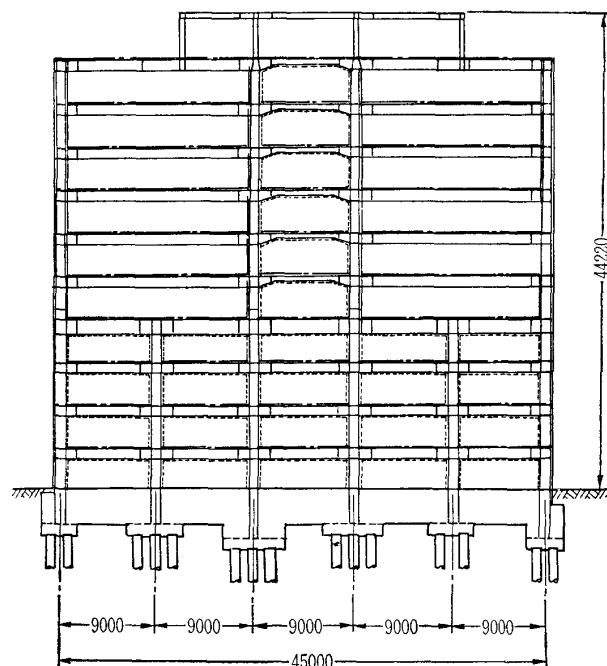


図-3 空港施設ユーティリティセンタービルの断面図

工事報告

図一 3 に示すような整備地区に建設されるシンボルの的なオフィスビル（建築面積 2 873 m²，高さ 44.22 m，11 階建）の空港内の最高層ビルとなる。

基礎形式としては，244 本の鋼管杭が用いられた。

3. 地盤概要

図一 4 に現場の代表的な地盤概要を示す。図には基礎杭（本杭と載荷試験杭）の根入れ状態も示した。

図に示すように羽田地区は次のような土層によって構成されている¹⁾。

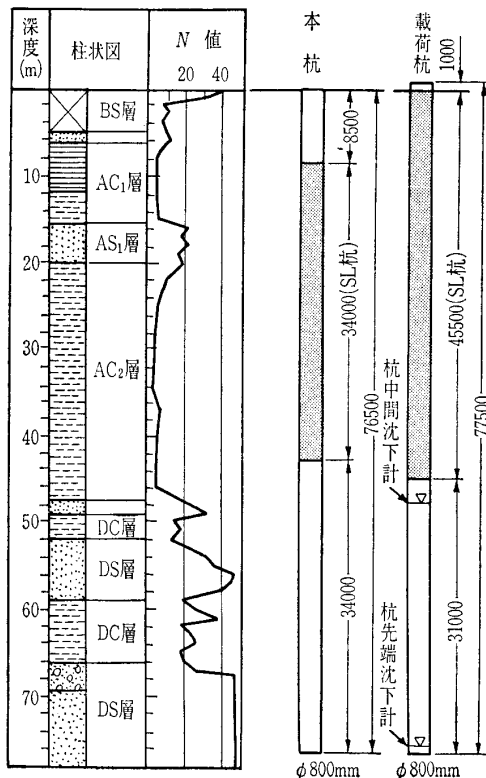
BS 層：東京湾周辺の建設現場で発生した残土などによる埋立地盤で非常に不均質である。

AC₁層：東京湾内で浚渫されたへどろの堆積した，部分的に未圧密の超軟弱地盤であったため，バーチカルドレーンによる地盤改良を実施してある。

AC₂層：自然堆積による沖積粘性土で，一軸圧縮強度 q_u は 1.0～2.0 kgf/cm² である。

DC 層：洪積粘性土で， q_u が 1.5～2.5 kgf/cm² の過圧密粘土地盤。

これらの地盤のうち AC₁ 層の沈下は地盤改良後すでにほぼ終了しており，今後の地盤沈下は主に AC₂ 層によるものである。



図一 4 土質柱状図と杭の根入れ図

4. 杭の設計概要

基礎杭には直径 800 mm，長さ 72～80 m の鋼管杭を用い，設計では地盤の沈下を考慮した。

杭は地盤構成が GL-50 m 付近より洪積砂層，粘土層の互層で層厚も不均一であり，長尺杭で地盤沈下によるネガティブフリクションが作用するなどの不確定要素も多く，また杭径が 800 mm と比較的大径の開端杭であるので，先端支持力が十分確保できるように N 値 50 以上の洪積砂層へ杭径の 5 倍以上根入れすることとした。

杭の鉛直支持力に関しては地表面から沖積粘性土層までのネガティブフリクション²⁾について検討し，杭の中間部にアスファルトを塗布した SL 杭を使用し負の摩擦力を低減するものとした。SL 杭に作用するネガティブフリクションは 0.2 tf/m² とした。杭の鉛直設計支持力は，沖積粘性土層より下の部分で 290 tf とし，その値を確認するために鉛直載荷試験を行うこととした。

なお，水平方向に関しては杭頭が 50 cm 突出した杭として設計した。

5. 杭の施工

鋼管杭は，はじめハンマー重量が 8 tf のディーゼルハンマーで施工したが，周辺工事への油煙の飛散が問題となり油圧ハンマーによる施工に変更した（口絵写真一 10 参照）。

今回使用した油圧ハンマーは表一 1 に示すようにハンマー重量が 10 tf であるが，最大打撃エネルギーは 14.4 tf・m とディーゼルハンマーの約 60% で，毎分の打撃回数もディーゼルハンマーに比べ少ないため，ディーゼルハンマーに比べ施工能率が低かった。杭の打込みに要した打撃回数はディーゼルハンマーで 2 000～2 500 回程度であるのに対し，油圧ハンマーでは 3 500～4 500 回程度とかなり多くなった。しかし大きなトラブルもなくすべての杭を所定の深

表一 1 杭打ちハンマーの主な仕様

ハンマーの種類	型式	ハンマー重量 (tf)	最大ハンマー落下高さ (m)	最大打撃エネルギー (tf・m)	毎分打撃回数 (回/分)
ディーゼルハンマー	KB 80	8	3	24	35～60
油圧ハンマー	NH100	10	1.44	14.4	20

度まで打ち込めた。

杭長は本杭を用いた試験打ちを18本行い決定した。杭の打止め管理は、打止め時の杭貫入量、リバウンド量を測定し下記の Hiley の式³⁾を用いて支持力を確認することにより行った。

$$R_a = \frac{1}{3} \cdot \frac{2 e_f F}{S + \frac{K}{2}} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

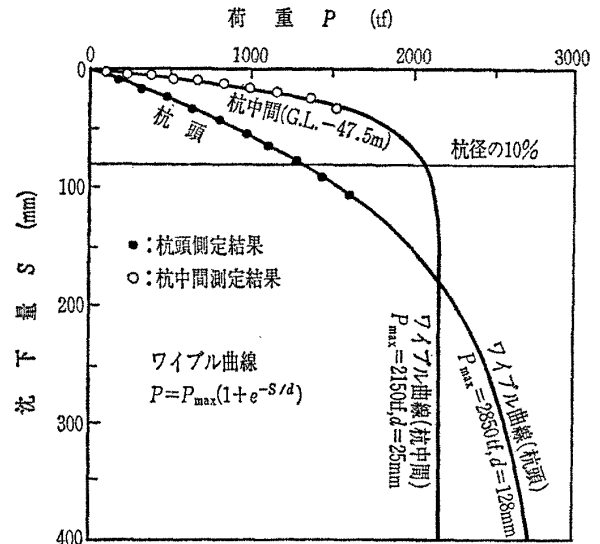
- R_a : 杭の許容支持力 (tf)
- e_f : ハンマーの効率 (=0.5)
- S : 杭の貫入量 (cm)
- K : 杭のリバウンド量 (cm)
- F : 打撃エネルギー (=2 WH)
- W : ハンマーの重量 (tf)
- H : ハンマーの落下高さ (cm)

杭の平均的な打止め貫入量は 0.5~2 mm 程度、リバウンド量は 30 mm 程度であり、Hiley 式による許容支持力は 300~350 tf 程度であった。

6. 杭の鉛直載荷試験

鉛直載荷試験は土質工学会の試験基準⁴⁾の多サイクルA載荷方法に準じたが、載荷時にはアスファルトを塗布した SL 部分にも正の摩擦力が作用するので、その分も考慮して、載荷重は最大 1 600 tf とした。また荷重ができるだけ SL 部分よりも下に伝わるように、処女荷重の保持時間を 5 時間と通常より長めに計画した。載荷装置を口絵写真一11, 12に示す。

測定は杭頭と杭先端（杭先端より 1 m 上）の沈下量のほかに、杭体軸力の深度分布および杭中間点



図一6 荷重-沈下量曲線とWeibull 曲線

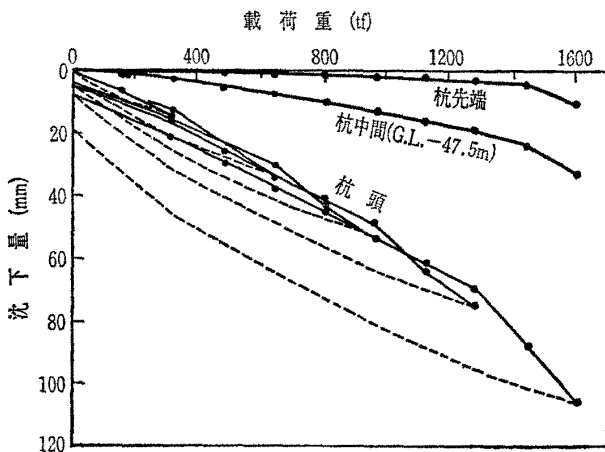
(SL の下端 : GL-47.5 m) の沈下量を測定し、杭の支持力を総合的に判断した⁵⁾。

図一5に荷重-沈下量曲線を示す。図のように載荷重 1 600 tf では極限荷重には至らなかった。

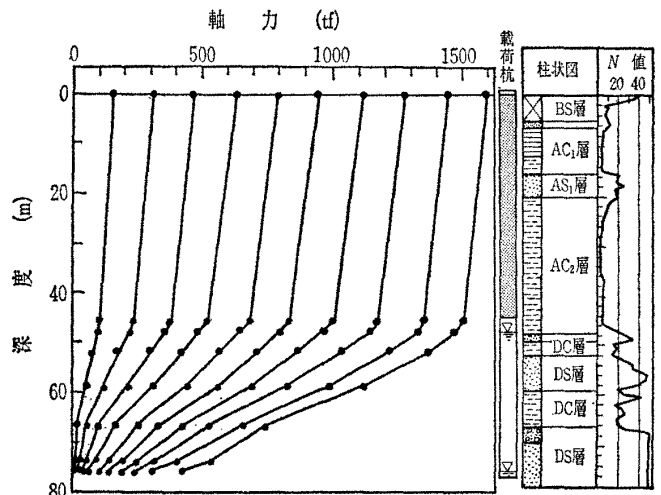
そこで、宇都らによる Weibull (ワイブル) 曲線による推定法⁶⁾を適用すると、杭の極限荷重は図一6に示すように杭頭で 2 850 tf、杭中間点で 2 150 tf となった。また、杭径の10%の沈下量で規定する方法⁷⁾によると極限荷重は杭頭で 1 360 tf、杭中間点で 1 500 tf 以上となった。なお図一6の杭中間点の荷重はひずみゲージの測定値より求めた。

図一7は各載荷重を 5 時間保持した時の杭の軸力分布である。杭頭に 1 600 tf 載荷したときの杭中間点の軸力は約 1 510 tf であった。

図一8はアスファルトを塗布した部分の平均的な周面摩擦力の経時変化を示したものであるが、1 600 tf 載荷直後は 2 tf/m² 程度であったが 5 時間後には



図一5 荷重-沈下量曲線



図一7 杭の軸力分布

工事報告

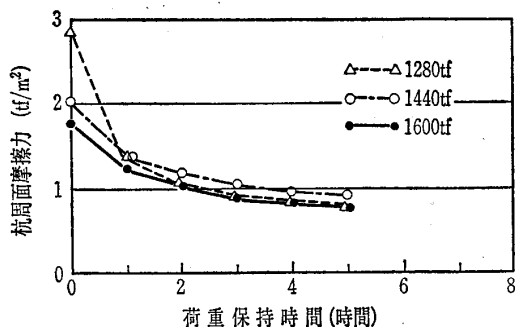


図-8 SL 杭の周面摩擦力の経時変化

1 tf/m² 程度に減少している。

以上のように、杭は設計支持力（杭中間点で許容支持力 290 tf）を十分に満足する事を確認した。

7. おわりに

空港施設ユーティリティセンタービルは平成2年11月に着工し、順調に基礎工事を終え、平成3年末現在11階部分まで鉄骨も立ち上がりその概容を現している。今後、ビル内には空港全域の電力を供給する東電の変電施設も入り、工事は平成5年3月末に竣工予定で、新空港の開港時（平成5年夏）には羽田整備地区に快適なオフィス空間をつくり出すであ

ろう。

最後に、本工事の杭の設計においては東京工業大学の岸田英明教授より適切なお助言をいただいた。また、載荷試験の実施に際しては㈱クボタにご協力いただいた。なお、工事の設計施工では空港施設㈱に大変お世話になっている。末筆ながら関係者の方々に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 森 好生・早田修一・土田 孝：羽田空港沖合展開事業における沈下観測と将来不同沈下の予測，土と基礎，Vol. 37, No. 8, pp. 45～50, 1989.
- 2) 高橋邦夫・竜崎幸史・鈴木光雄：羽田におけるネガティブフリクションの現地計測，土質工学研究発表会，pp. 1321～1322, 1989
- 3) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，pp. 356～360, 1989.
- 4) 土質工学会：クイの鉛直載荷試験基準・同解説，1972.
- 5) 三反畑勇・山口靖紀・内田 昭：長尺 SL 鋼管杭の鉛直載荷試験と打撃応力波解析，杭の鉛直載荷試験方法および支持力判定法に関するシンポジウム，土質工学会，pp. 95～98, 1991.
- 6) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，pp. 215～225, 1988.
- 7) 宇都一馬・冬木 衛・桜井 学：杭の載荷試験結果の整理方法，基礎工，pp. 21～29, 1982.

(原稿受理 1991.12.12)