

パイルド・ラフト基礎の原位置載荷実験

正会員 ○青木 涼*¹
同 土屋 勉*²
会員外 古畑愛恵*³
同 川口靖加

2.構造-4.基礎構造-g.併用基礎

パイルド・ラフト, H型PCパイル, 原位置試験, 軟弱地盤

1. はじめに

パイルド・ラフト基礎は, 建築学会の基礎指針¹⁾に紹介されたことを契機として次第に建築技術者の関心が高まっている. 中・高層建築物への採用例²⁾も増加しており, 特別な基礎工法ではなくなりつつある. 今後は, 軟弱地盤における戸建て住宅や比較的小規模な構造物に対しても, 同工法の展開が図られるものと思われる.

これらを背景として, 本報告ではパイルド・ラフト基礎の特性を明らかにすることを目的にして, 泥炭層を挟む軟弱地盤に施工された比較的大型の基礎模型に対する鉛直載荷試験を実施した. パイルド・ラフト試験体の他に, 直接基礎と単杭の実験も行っており, これらを相互に比較しながら, 主として沈下と杭体応力について報告する.

2. 地盤概要

実験現場は海岸沿いの湿地帯(北海道勇払郡厚真町浜厚真)である. 図-1に現場で実施したスウェーデン貫入試験結果, 表-1に土質試験結果を示す. 表層(火山灰)の下に泥炭層(GL-0.7m~2.6m)があつて, それ以深も極めて軟らかいシルトや緩い砂が分布する軟弱地盤となっている.

3. 実験方法

H型PCパイル(断面積:0.0308m²)で支えられたパイルド・ラフト基礎の挙動を計測する長期間載荷実験を基本とするが, それと比較するために短期間載荷実験も計画した.

表-1 土質試験結果

土質	土質試験結果
火山灰	$\rho_t=1.594 \text{ g/cm}^3$
泥炭	$\rho_t=1.019 \text{ g/cm}^3$
	$W_n=549.4\%$
	$e=8.707$
	$C_c=5.457$
シルト -1	$\rho_t=1.594 \text{ g/cm}^3$
	$W_n=71.0\%$
	$e=1.885$
	$C_c=0.541$
シルト質細砂	$\rho_t=1.594 \text{ g/cm}^3$
	$\rho_t=1.594 \text{ g/cm}^3$
	$W_n=35.6\%$
	$e=0.971$
シルト・砂互層	$C_c=0.485$
	$P_c=248.6 \text{ kN/m}^2$
	$q_u=43.4 \text{ kN/m}^2$
	$\rho_t=1.594 \text{ g/cm}^3$
シルト -2	$W_n=52.0\%$
	$e=1.399$
	$C_c=0.690$
	$P_c=115.1 \text{ kN/m}^2$
	$q_u=62.7 \text{ kN/m}^2$

ρ_t : 湿潤密度
 W_n : 含水比
 e : 間隙比
 C_c : 圧縮指数
 P_c : 圧密降伏応力
 q_u : 一軸圧縮強さ

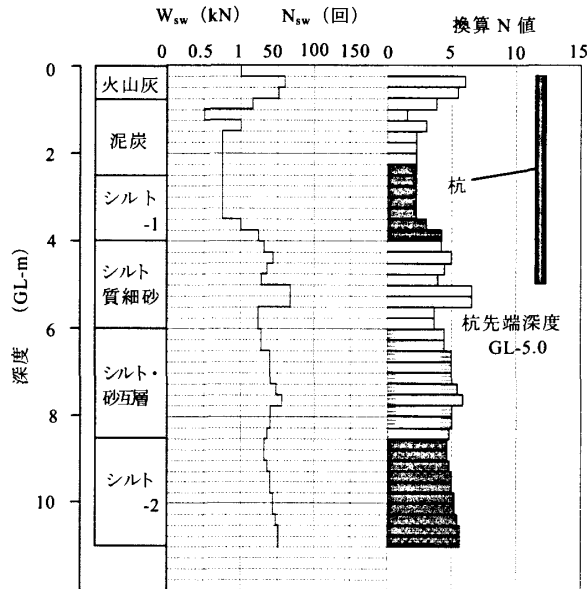


図-1 試験地盤

In-situ loading tests of piled raft foundation.

AOKI Ryo et al.

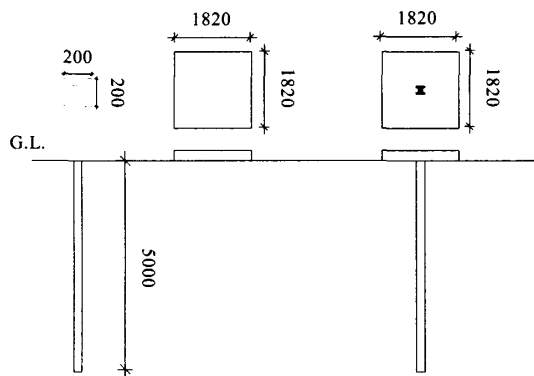


図-2 短期間載荷試験試験体

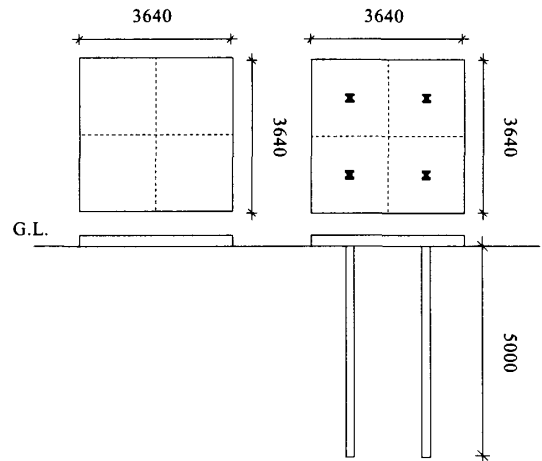


図-3 長期間載荷試験試験体

3. 1 短期間載荷実験

図-2 に示すように、a)単杭（杭先端：GL-5.0m）、b)直接基礎（1.82m×1.82m）、c)ラフト付き単杭（直接基礎の中心部に杭を配置）の3ケースである。直接基礎およびラフト付き単杭では、表層をすきとって、切り込み砕石（50mm）の上に均しコンクリート（50mm）を施工した後、ラフトのコンクリート（150mm）を打設した。ラフト付き単杭の杭頭は、均しコンクリートの下端に接している。載荷試験は、反力杭方式の鉛直載荷実験（写真-1）である。試験方法は、杭の押し込み試験方法（JGS1811-2002）および地盤の平板載荷試験方法（JIS1521-2003）に準じて行った。杭とラフトの基本的な挙動を把握することの他に、これらの実験から地盤定数を逆算することを目的としている。

3. 2 長期間載荷実験

長期間載荷実験は図-3 に示すように、パイルド・ラフト2体と直接基礎である。パイルド・ラフトでは4本の杭を配置したが、杭1本の支配面積を1.82m×1.82mと仮定してラフト面積を3.64m×3.64mとした。この場合の杭間隔 s/d は約8.9となる。杭頭部とラフトの接合部を図-4 に示すが、ラフトのコンクリートと杭頭の縁を切った2種類とした。パイルド・ラフト-1 は、切り込み砕石（50mm）の上に均しコンクリート（50mm）を施工した後、ラフトのコンクリートを打設した。杭頭が均しコンクリートの下端に接している。一方、パイルド・ラフト-2 は、杭頭部の上に切り込み砕石（100mm）が施され、杭とラフトが完全に縁切りされている。

載荷はラフトの上に砕石を2段階に分けて積み上げる実載荷方式（写真-2）によって行った。ラフトのコンクリートを打設して、12日後に1回目

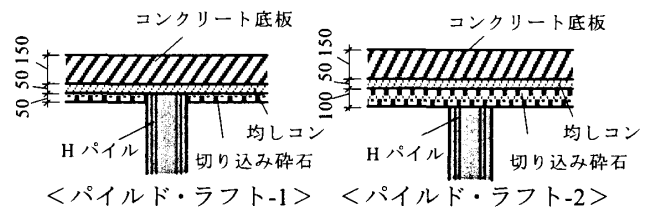


図-4 接合部詳細



写真-1 短期間載荷試験

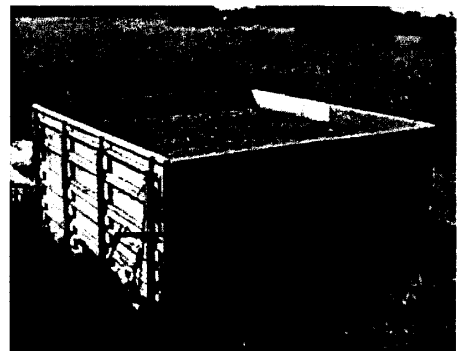


写真-2 長期間載荷試験

の砕石投入（10.5kN/m²）、23日後に2回目の砕石投入（10.5kN/m²）を行った。

主な測定項目は、ラフト平面の沈下分布（4隅と中央部）、杭体の深度方向の軸ひずみ分布（深さ方向に4深度）である。

4. 試験結果および考察

4. 1 短期間載荷実験

各試験体における荷重と沈下量の関係を図-5に示した。ここで、各試験体の荷重を相互に比較するために、単杭については杭頭荷重を直接基礎やラフト付き単杭の平面積 (1.82m×1.82m) で除したものである。

単杭では 10mm 程度の沈下時点で極限状態に達しているが、直接基礎ではそれ以上の沈下進行に伴い荷重が増加している。杭径の 10% である 20mm 沈下時点の荷重に着目すると、a) 単杭：36kN/m²、b) 直接基礎：82kN/m²、c) ラフト付き単杭：103kN/m² となった。図中の破線は d) 単杭と直接基礎を合計したものであるが、20mm 沈下時点では 118kN/m² となった。c) は d) の 87% となったが、地中応力の干渉による相互作用の影響と考えられる。ただし、沈下量 50mm あたりでは c) と d) の荷重が同程度となっていることから、大沈下時ではラフト部と杭部が独立に挙動することを示唆している。

図-6 は杭体の軸力分布である。単杭では荷重の進行に伴う軸力分布形状がほぼ近似している。ラフト付き単杭では、123kN/m² 載荷時点で杭頭部の最大軸力 32kN/m² を示した後、それ以上の載荷時点では杭頭部軸力が減少している。

上記の挙動を考察するために、単杭とラフト付き単杭の杭周面摩擦力を土層区分ごとにプロットしたのが図-7 である。それによると、単杭とラフト付き単杭共に、シルト質細砂である③-④区間で最も大きな摩擦抵抗力を示すものの、両基礎形式で以下に示すような特徴的な摩擦抵抗力を示している。

a) 単杭：杭体深度にかかわらず、沈下増大に伴って杭周面摩擦力が上昇し、最大になった後ほぼ一定の値を維持している。最大に達する時点の沈下量は、深部の③-④区間では 7mm 程度であるが、浅部の①-②区間や②-③区間ではそれよりも大きく 10mm 程度となっている。

b) ラフト付き単杭：②-③区間や③-④区間の杭周面摩擦力は、10mm 程度の沈下量で最大に達してそれ以降はほぼ一定になる。それに対して、①-②区間の杭周面摩擦力は、25mm 沈下時にピークを迎えた後に大きく減少して、100mm を越える大沈下時ではほとんど 0 になっている。

以上のように、GL-2.3m 以浅の①-②区間の杭周面摩擦力が単杭とラフト付き単杭で大きく異なる

ことが明らかになった。ラフト付き単杭では、ラフトから杭へ及ぼす相互作用が顕著であることを反映したものと考えられる。パイルド・ラフトの杭周面摩擦力を評価する場合には、注意が必要と考える。

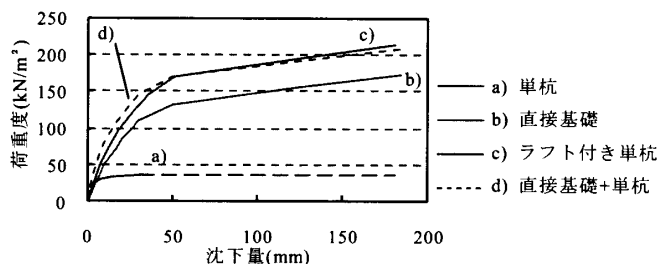


図-5 荷重度-沈下量関係

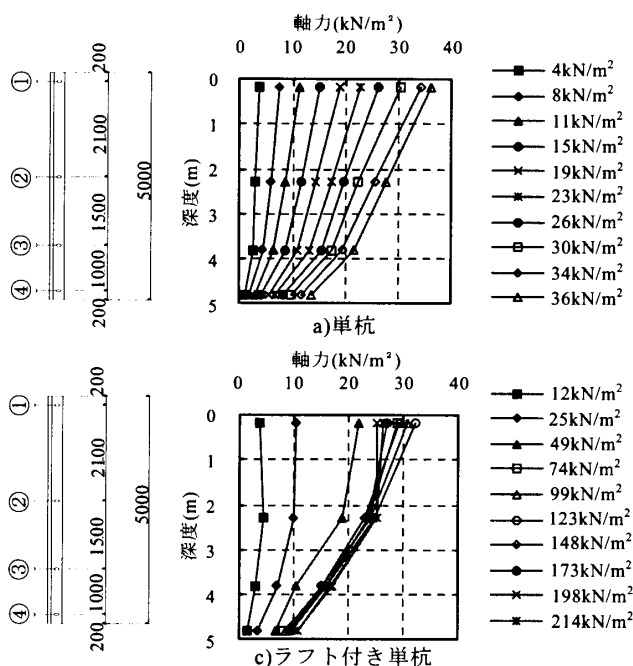


図-6 杭頭軸力分布

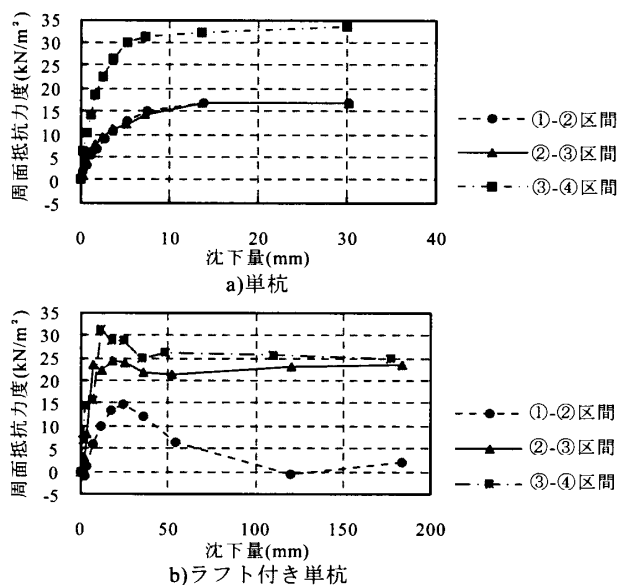


図-7 周面抵抗力度-沈下量関係

4. 2 長期間荷重実験

図-8は直接基礎とパイルド・ラフトの荷重程度～沈下量関係である。同一荷重度においては、パイルド・ラフトが直接基礎よりも明らかに沈下量が小さく、杭による沈下抑制効果が表れている。パイルド・ラフト-1とパイルド・ラフト-2を比較すると、荷重度が小さい段階では両者にあまり差が見られない。しかし、荷重度が大きくなるにつれてパイルド・ラフト-2の沈下量がパイルド・ラフト-1よりも大きくなることから、杭頭に介在した碎石の破壊や側方への移動が生じたものと推察される。

図-9は杭頭部と杭先端部の軸力の推移を、杭1本の支配面積で除してプロットしたものである。基礎底盤打設においては、コンクリート硬化に伴って杭頭部軸力が増加する。一方、碎石投入による荷重段階になると、時間経過に伴って杭頭荷重が逆に減少した。しかし、杭先端部の軸力は増加していることから、ラフトから直接地盤に伝達した荷重が、地盤を介して再び杭体へ伝達されたことを反映したものと考えられる。パイルド・ラフトではラフトから杭へ及ぼす相互作用のために、通常の荷重試験である単杭の軸力分布とは異なることが実証できた。

5. まとめ

本報告では、泥炭層を挟む軟弱地盤に施工された比較的大型の基礎模型に対する鉛直荷重試験を実施した。パイルド・ラフト基礎の普及を図るには、このような原位置荷重実験の蓄積が必要である。本報告で得られた主な知見を以下に示す。

1) 短期間荷重試験

- ①. ラフト付き単杭の基準支持力（杭径の10%沈下時点）は、単杭と直接基礎の合計よりも小さく、ラフトと杭の間で相互作用の影響がある。
- ②. ラフト付き単杭では、大沈下時では表層に近い深度での杭周面摩擦力がほとんど発揮されず、単杭の荷重試験結果とは大きく異なる。

2) 長期間荷重試験

- ①. パイルド・ラフトに荷重されると、時間経過にともなって杭負担が減少してラフトから地盤に直接伝達される割合が増加する。ただし、杭

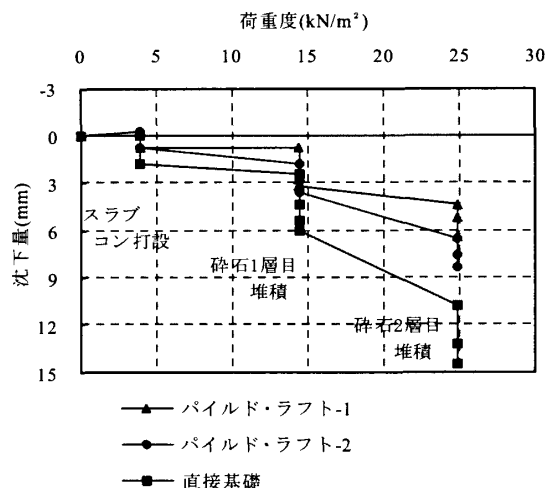


図-8 荷重程度－沈下量関係

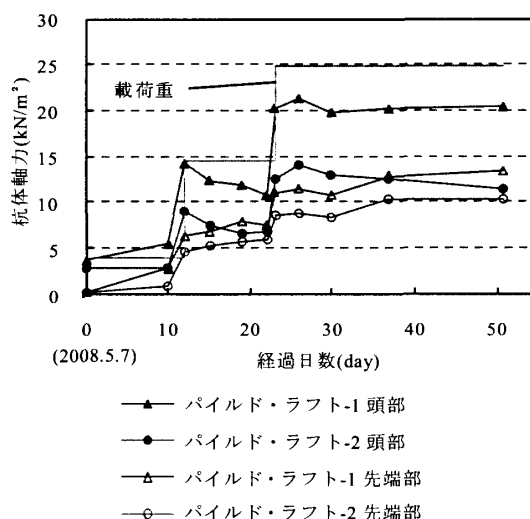


図-9 荷重と杭体軸力の推移

先端部軸力が逆に増大することから、ラフトから地盤そして再び杭へと伝達する荷重を確認した。

- ②. 碎石を介在させて杭頭とラフトの縁を切った場合、荷重度が大きくなるにつれて杭頭軸力負担率の減少と沈下量の増大をもたらした。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2001.10.
- 2) 加倉井正昭：建築分野における併用基礎の利用，基礎工，Vol.37, No.10, pp.2-9, 2009.10.
- 3) 土屋勉：併用（パイルド・ラフト）基礎における相互作用，基礎工，Vol.37, No.10, pp.21-25, 2009.10.

*1 會澤高圧コンクリート(株)

*2 室蘭工業大学大学院 教授・工博

*3 NTT ファシリティーズ

Aizawa Concrete Corp.

Professor, Muroran Inst. of Tech., Dr. Eng.

NTT Facilities