

Value engineering and observation of settlement behavior on piled-raft foundation of Hadron Experimental Hall of J-PARC

Takeshi Yamada^{1,A)}, Toshio Hashiba^{A)}, Hidetoshi Ito^{A)}, Shinji Koguchi^{A)}, Kiyoshi Yamashita^{A)},
Masanobu Miyahara^{B)}

^{A)} Takenaka Corporation

1-1-1 Shinsuna, Koto-ku, Tokyo, 136-0075

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization, KEK

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

Piled raft foundations have been frequently used in many countries because they are recognized to be able to offer a cost-effective alternative to conventional pile foundations. This paper describes an outline of design and performance of piled-raft foundation used for the Hadron Experimental Hall of J-PARC. The contact pressures of the structure in design are 259 kN/m² to 442 kN/m² and its foundation is embedded in medium to dense sand layers at a depth of 7.9 m to 13.3 m from the ground surface. To confirm validity of the foundation design, field measurements were performed on the foundation settlement, axial forces of the piles and contact earth pressures as well as pore-water pressure beneath the raft from the beginning of construction to completion of the structure. Through the measurements it is confirmed that the performance of the piled raft foundation satisfied the design criteria of the superstructure.

J-PARC原子核素粒子物理実験施設のパイルト・ラフト基礎採用と挙動観測

1. はじめに

パイルド・ラフト基礎とは、直接基礎と杭基礎を併用した基礎形式であり、ある程度の沈下を許容することで、直接基礎と杭が複合して荷重に抵抗するものである(図1(a))。パイルド・ラフト基礎は、日本建築学会の建築基礎構造設計指針¹⁾において設計の考え方、適用範囲などが明記され、その合理性から高層建物を含む建物への適用が増加している²⁾。J-PARC原子核素粒子物理実験施設は、基礎スラブ厚1.2m~7m、床上に遮蔽コンクリートなどを有する重量構造物である。この施設の基礎の設計において、比較的良好な地盤条件と地下部を有する建屋条件を活かし、詳細な沈下検討に基づきパイルド・ラフト基礎としての成立性を確認したうえで、原設計の支持杭基礎をパイルド・ラフト基礎に変更するVE提案を行い、実施した(図1(b))。

本文では、当該建屋で採用したパイルド・ラフト基礎の概要、杭の支持性能確認のための急速載荷試験および設計の妥当性を検証するために建設時に実施した基礎の沈下挙動の観測結果を示す。

2. 建屋・地盤条件と基礎形式

図2に示すように、建屋はSRC造およびS造の1階建てで、設計地盤面(SGL)からの高さは19mである。積載荷重(196~294kN/m²)を含む基礎の接地圧は、実験ホール部で259kN/m²(最小値)、ヒームアップ部で442kN/m²(最大値)である。

地盤は、SGLから-16mまではN値7~20の中砂層

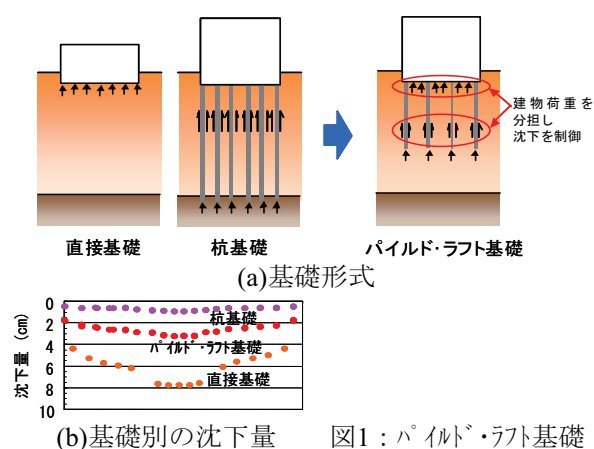


図1: パイルト・ラフト基礎

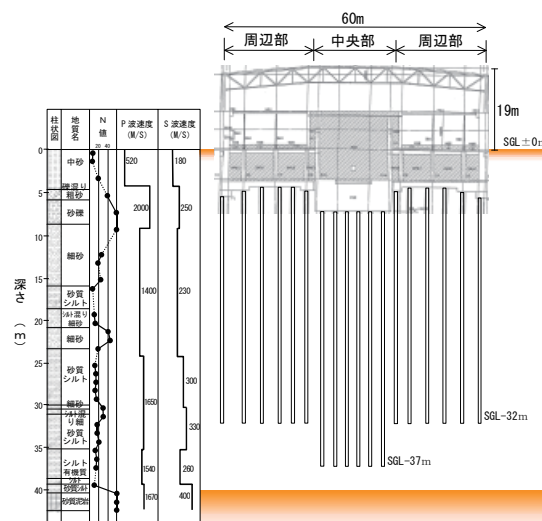


図2: 建屋・基礎と地盤の概要

¹⁾ yamada.takeshi@takenaka.co.jp

とN値20~50の砂礫層と細砂層、SGL-16m~40m程度まではN値5~10の粘性土とN値10~45の細砂との互層、およびN値10~20の粘性土層が堆積する。地下水位はSGL-4m付近にある。SGL-40m程度以深にN値50以上の砂質泥岩が現れ、原設計ではこれを支持層とする杭基礎(直径0.8m, PHC杭)であった。基礎の深さは、中央部でSGL-11.3m~13.3m、周辺部ではSGL-7.9m~10.0mで排土重量が見込めること、基礎底面はN値20~50の砂礫層もしくは細砂層に設置することから、本設計では中央部で杭先端をSGL-37m、周辺部でSGL-32mのN値10~20の粘性土層に定着する直径0.6m(一部0.7mと0.8m)、長さ22.0m~25.7mの摩擦杭(PHC杭)とべた基礎を併用するパイルド・ラフト基礎とした。

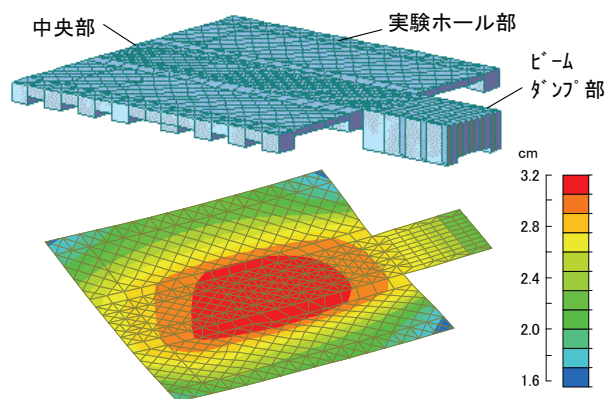


図3：基礎の沈下量の計算値 (単位：cm)

3. 基礎の設計

パイルド・ラフト基礎はある程度の沈下量を許容することで基礎底面の地反力を確保するものであり、この沈下量を許容値以内に収めることが設計上のポイントとなる。沈下量の計算は、積載荷重を含む長期設計荷重を用い、杭とラフトの相互作用および基礎梁・基礎スラブの剛性を考慮した手法³⁾により求めた。計算結果を図3に示す。基礎の沈下量は中央部で3.2cm、周辺部で1.6~2.3cmとなり建屋の要求性能(最大沈下量4.0cm以内)を満足することを確認した。

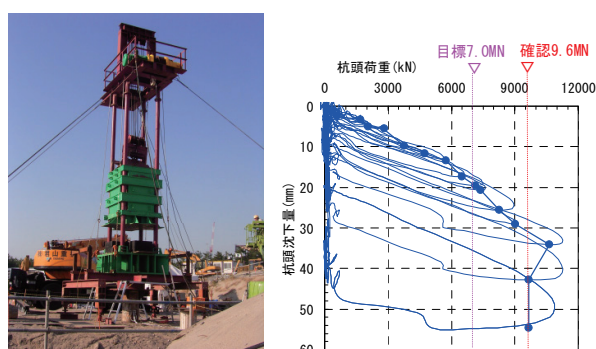


図4：杭の急速載荷試験

4. 杭の載荷試験

基礎の沈下制御に用いる摩擦杭について、設計支持力の確認を目的とし鉛直載荷試験を行った。この試験は、「確認試験」⁴⁾と位置付けられるので、急速載荷試験によることとし、杭頭にクッション材を介して重錘を自由落下させるFM方式⁵⁾を採用した。直径0.6m、先端深さSGL-32mのPHC杭に対し、約350kNの重錘を用い落下高さを0.15mから2.25mまで0.15mずつ増加させ、最大荷重12.6MNまで載荷した。試験の結果、杭の極限支持力は9.6MNと判明し、設計上の目標値7.0MNを十分満足することを確認した(図4)。

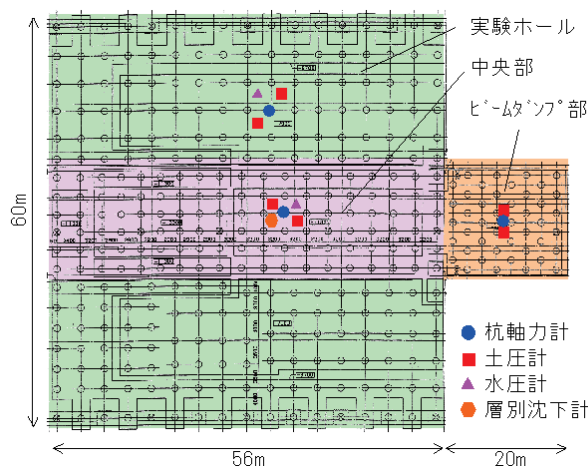


図5：基礎の平面と計測器の配置

5. 計測計画

パイルド・ラフト基礎の沈下および杭とラフトの荷重分担を調べるため、図5のように3箇所に計測器を配置した。地盤の鉛直変位は基礎中央部に設けた層別沈下計(不動点SGL-80m)で測定した。基礎の沈下量は基礎底面直下の地盤の鉛直変位(SGL-12.5m)で代表させた。杭の軸力は、頭部と先端部に取り付けた差動トランス式ひずみ計より求めた。ラフトの分担荷重については、基礎スラブ底面下に2個を一組として土圧計を設置した。さらに中央部には水圧計を設置した。地盤の鉛直変位測定の初期値は掘削前とし、杭の軸力と土圧の初期値は、基礎スラブのコンクリートの打設前とした。

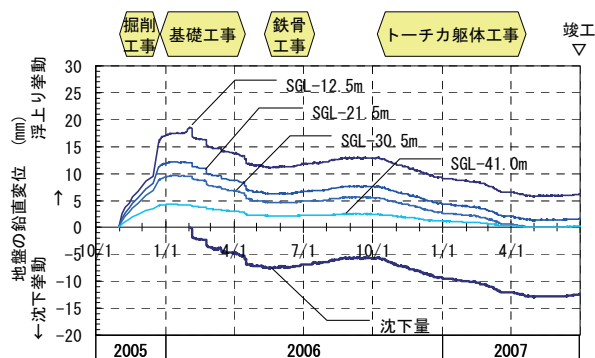


図6：地盤の鉛直変位の経時変化

6. 計測結果

6.1 建物と基礎の沈下

図6に、基礎の中央部における地盤の鉛直変位の経時変化を示す。併せて建屋の構築にともなう基礎の沈下量(SGL-12.5mの地盤の鉛直変位)を示す。掘削による地盤の浮上り量は最大18mmであった。基礎の沈下量は建屋構築とともに増加し、竣工2ヶ月前でほぼ一定値の13mmとなり竣工に至った。竣工時の荷重は長期設計荷重の約60%(中央部)であり、この荷重に対する計算沈下量は19mmで、実測値は計算値の約70%にあたる。

6.2 杭の軸力とラフト底面の土圧

図7に、中央部における杭の軸力、基礎底面下の土圧と水圧の測定値を、図8にはヒームダンプ部における杭の軸力、基礎底面下の土圧の測定値を示す。杭の軸力、土圧とも建屋構築に伴い増加し、基礎の沈下量と同様に竣工前にはほぼ一定値になっている。

6.3 杭とラフトの荷重分担

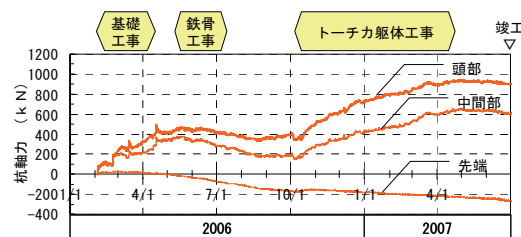
中央部とヒームダンプ部について、計測杭の負担面積における杭の荷重度と基礎底面下の土圧(2個の平均値)、水圧の経時変化を図9に示す。建屋の有効重量(浮力を差引いた重量)に対する杭の荷重分担率は、図9において、杭の荷重度 / {杭の荷重度と有効土圧(土圧-水圧)の和} で表される。竣工時における杭の荷重分担率は、中央部で81%、ヒームダンプ部で56%となり、この値は、設計時に想定した範囲(60~80%)にほぼ収まる。

7. まとめ

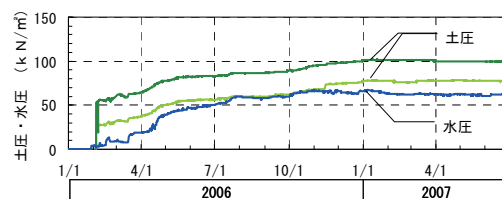
重量構造物である原子核素粒子物理実験施設の基礎の設計に際し、地盤と建屋の条件を活かし、かつ杭の載荷試験を含む詳細な検討に基づき、パイルド・ラフト基礎を採用した。工事期間中に実施した沈下挙動の観測を通じて建屋の要求性能を満足することを確認し、併せて基礎の合理化を図ることができた。

参考文献

- [1] 日本建築学会：建築基礎構造設計指針 第7章, 2001.
- [2] 例えば、柴田崇史, 山下清, 濱田純次, 室屋哲也：逆打ちで構築したパイルド・ラフト基礎を採用した超高層建物の沈下挙動、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp699-700, 2005.
- [3] Yamashita, K., Yamada, T. and Kakurai, M.: Simplified method for analyzing piled raft foundations, Proc. Deep Foundation on Bored and Auger Piles, pp.457-464, 1998.
- [4] 地盤工学会：杭の鉛直載荷試験法・同解説, 2002.
- [5] 阿部秋男, 久保豊, 桑原文夫：重錘落下による急速載荷試験の実施例と解釈の方法, 基礎工, Vol.29, No.8, pp.44-47, 2001.

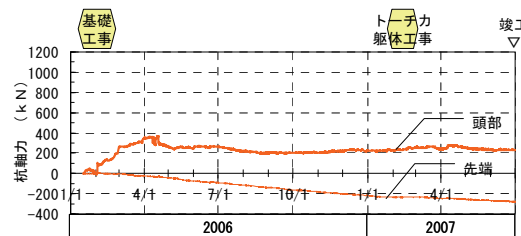


(a) 杭の軸力

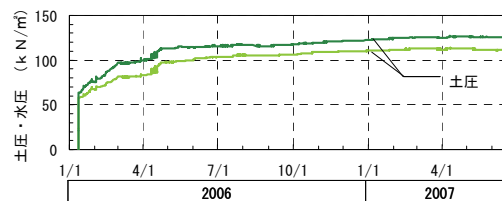


(b) 土圧と水圧

図7：杭軸力と土圧・水圧の経時変化(建屋中央部)

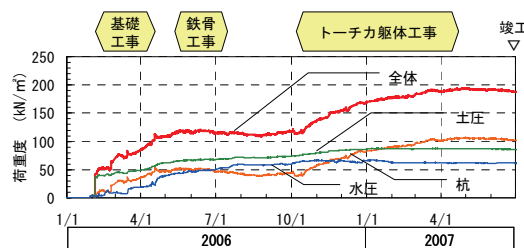


(a) 杭の軸力

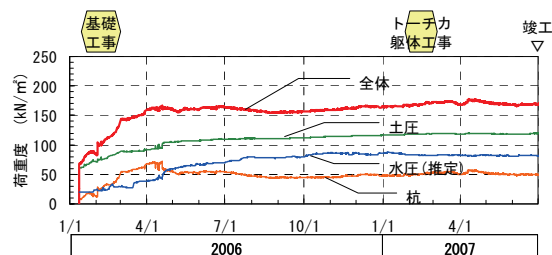


(b) 土圧

図8：杭軸力と土圧の経時変化(ヒームダンプ部)



(a) 建屋中央部



(b) ヒームダンプ部

図9：杭とラフトの荷重分担