

## 建物供用中の杭体調査

## Investigations on Pile Performances in Buildings

宮田 章 磯部 隆 寿

## 要 約

一般的に杭体の調査は、建物解体後の露出した杭頭で行っている。建替え後に杭を再利用する場合、建物解体前に設計を終えることが多いため、杭体不良の場合に備えて代替案を検討しておくなど設計時の負担が大きい。本論では解体前の建物供用中に杭体を調査する方法を提案し、その実現性を確認した。この杭体調査法は、杭頭付近の地盤を掘削して地下調査空間を構築した後、杭体を調査する。地下調査空間は、地下ピット内の耐圧盤に空けた小径孔を通して、下端にウォータージェットノズルの付いたロッドを地中に降ろし、ウォータージェットを利用して杭近傍の地盤を掘削することによって構築する。粘性土地盤における試行実験と砂質土土槽を使った実験によって構築方法の実現性を確認した。杭体調査は、耐圧盤の小径孔からカメラを挿入して杭体表面形状を観察する目視調査と、レーザー変位計を利用して杭形状を測定する形状調査である。某ビルの解体前にこの杭体調査法を適用した。目視調査結果では、豆板やひび割れなど表面劣化状態の有無を鮮明に確認できた。形状調査では3深度で杭形状を測定し、非線形回帰を利用して杭径及び中心座標を推定した。設計図書と比較した結果、杭中心は設計図書とほぼ同じ位置にあり、また杭径は設計杭径より若干大きかった。以上から、提案した杭体調査法が建物解体前に実施可能な調査法であることが確認できた。

## 目 次

- I. はじめに
- II. 杭体調査法
- III. 地下調査空間の構築
- IV. 調査事例
- V. おわりに

## I. はじめに

建物の建替え計画時に杭の再利用を検討する事例が増えてきた。既存杭利用は、コスト縮減や工期短縮だけでなく、解体撤去時に発生する騒音・振動の軽減や廃棄物減量など環境面での利点が少なくないが、再利用検討には、地中にある杭の状態を調査する必要がある。

杭体調査は建物解体後に露出した杭頭で行うことが一般的であるが<sup>1)</sup>、建替えにおいては解体前に設計を終えることが多いため、余裕を見込んでおくことや、調査結果が不良の場合に適用する代替案の事前検討が必要であるなど設計時の負担が大きい<sup>2)</sup>。したがって、建物解体前、特に建物を利用している時期に実施できる杭体調査法は設計時の負担軽減可能な技術として期待されている。建物解体前に杭体調査を行うとすれば、例えば Photo 1 に示すように建物周辺地盤を掘削して杭頭を露出させる方法がある。この方法には建物周



Photo 1 杭頭調査事例  
(Example of Pile Investigation)

囲に掘削可能な空地が必要であり、また建物中央部の杭体を調査する場合は建物下にトンネル掘削を行わねばならず、時間・コスト・安全性など実施には多くの課題を解決する必要がある。

本論では、建物の供用中に行う新たな杭体調査法について示し、その実現性を検証した実験と実建物で実施した調査事例を示す。

## II. 杭体調査法

本論で述べる杭体調査法は、建物の地下ピット内において耐圧盤に空けた小径孔を使って杭周地盤をウォータージェット（以下、WJ）

キーワード：杭基礎、杭、調査、健全性、形状、建替え

Keywords: pile foundation, pile, investigation, soundness, configuration, rebuild

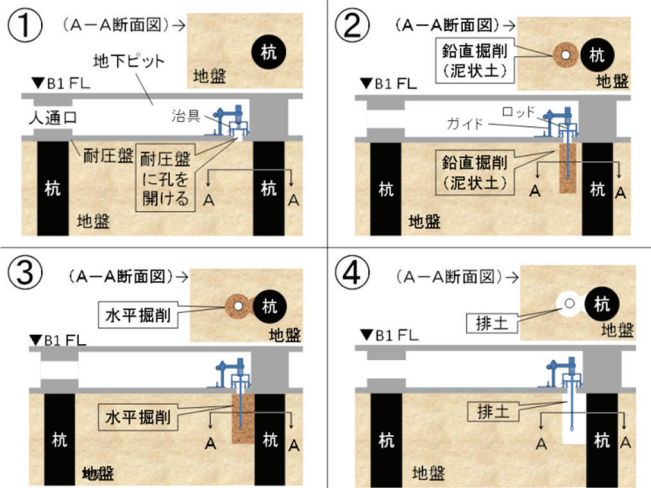


Fig. 1 地下調査空間の構築ステップ  
(Underground Space Formation Steps for Investigation)

Table 1 カメラの必要性能

(Performances of Camera Used in Investigation)

項目	性能
大きさ	φ 90内通過
焦点距離	~800mm
リモートコントロール	可能
フォーカス方式	自動
ズーム	光学10倍以上
出力	静止画, 動画

で掘削して構築した地下調査空間の中で調査を行うものである。この杭体調査法のポイントは地下調査空間の構築と小径孔を通過する調査機器を用いた調査内容である。

地下調査空間の構築ステップを Fig.1 に示す。最初に、調査対象の杭近くの耐圧盤に径 100mm 程度の孔をコア抜きし、治具を孔上にセットする (Fig.1①)。地下調査空間の安定のため、孔は杭体表面に近い場所が好ましい。治具には WJ 掘削に伴う水が地下ピット内に入らないように逆流防止機能が付いている。次に、WJ ノズルを付けたホースを固定したロッドをガイドで支持しながら治具内に入れ、地盤を鉛直下方に掘削していく (Fig.1②)。次に、WJ ノズルを 90 度回転させ水平にして杭体に向け噴出し、地盤を掘削する (Fig.1③)。掘削で発生する泥状土はバキュームで排土し、地下調査空間を構築する (Fig.1④)。杭周辺地盤が砂質土の場合は WJ 掘削時に崩壊する可能性があるため、WJ ノズル近くに設けた噴出口からセメントスラリーを噴射して地盤改良する。詳細はⅢで述べる。

杭体調査は、地下調査空間構築後、耐圧盤の孔から調査機器を下ろし、耐圧盤上で調査機器をコントロールして行う。種々の調査が可能であるが、本論では目視調査と形状調査について述べる。

目視調査は、ロッド下端の WJ ノズルをカメラに付け替えて孔内に下げて杭体を観察する。カメラの昇降、水平回転は地下ピット内でリモート操作する。カメラは Table 1 に示す性能を設定した。耐圧盤の孔を通る大きさであり、杭体表面を自動でフォーカスできなければならない。有効画素数は杭体表面のひび割れ観察が可能であればよい。

形状調査は、ロッド下端にレーザー変位計を取り付けて孔内に下げ、水平面内で等速回転させて杭体表面までの距離を計測する。深

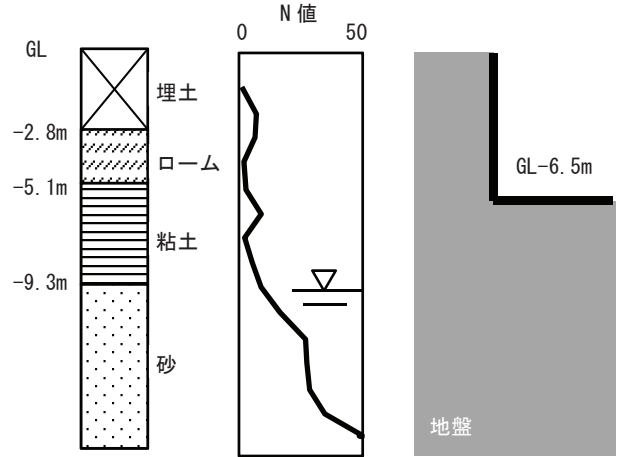


Fig. 2 地盤概要  
(Soil Profile)



Photo 2 実験場所  
(General View of Test Site)

度を変えて複数回計測すれば、杭体表面形状を把握することができる。レーザー変位計は孔を通る大きさで 800mm 程度の広い範囲を計測できる性能を有する必要がある。

### Ⅲ. 地下調査空間の構築

地下調査空間の構築実現性を実地盤及び土槽を使って確認した。最初に、Fig. 2 に示す粘性土地盤で実施した結果について述べる。試験場所は、Photo 2 に示すように既存建物体後の状態で GL-6.5m まで掘削されており、杭頭で切断された既製コンクリート杭 (径 300mm) が林立している。地下水位は GL-10m と低いので GL-6.5m の掘削面に水がなく、試験に適している。

耐圧盤が解体されているため、Fig.3 に示す鋼板を掘削面に敷いて耐圧盤の代用とした。鋼板は既製コンクリート杭に接触する部分をあらかじめ欠いておいた。また、耐圧盤の小径孔を模擬した径 102mm の孔を空け、この孔から地下調査空間を構築した。掘削に使用した WJ ノズルは、Fig.4 に示すように卵形内に回転する噴出口があるスピンノズルである。この噴出口が回転しながら放水するので、円錐形に地盤を掘削できる。この WJ ノズルをロッド先端に取り付けて、Photo 3(a)に示すように鉛直方向に掘削する。その後、WJ ノズルを 90 度回転させて杭体に向けて水平方向に掘削する。ロッドの上下運動に加えて水平に回転させることにより杭体表面の広



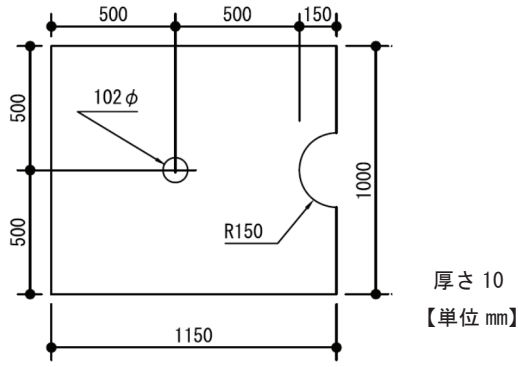


Fig. 3 耐圧盤模擬鋼板  
(Steel Plate for Mat Foundation)



Photo 4 掘削結果  
(Excavation Results)

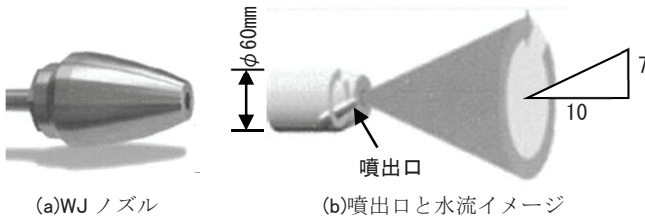


Fig. 4 WJ ノズルと水流  
(WJ Nozzle and Current Image)

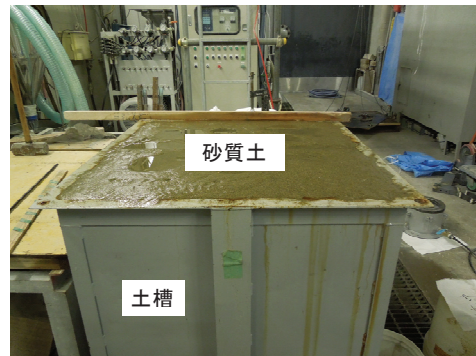


Photo 5 鋼製土槽  
(Steel Box)

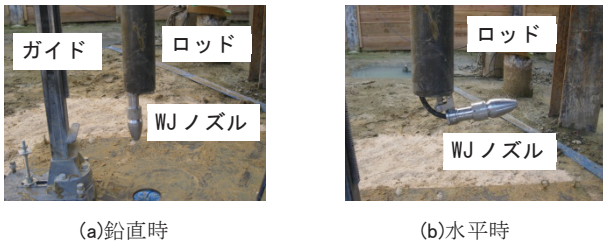


Photo 3 WJ ノズルの回転  
(WJ Nozzle Rotation)

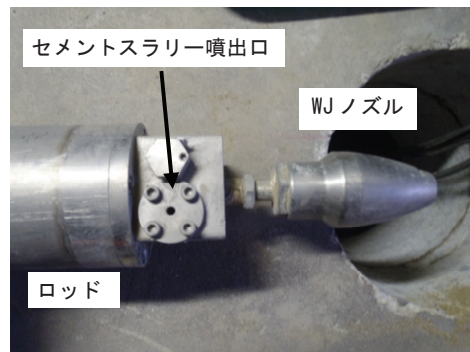


Photo 6 セメントスラリーの噴射口  
(Jet Holes for Cement Slurry)

い範囲を掘削できる。

鉛直・水平掘削後、泥状土を排土した。地下調査空間の構築状況を観察するため、掘削部分上部の土をスコップで少しずつ除去した。Photo 4 に示すように、ロッド位置から杭体表面に向かって WJ を噴出した範囲が放射状に掘削され、境界面が良好に形成されていることから、地下調査空間の構築方法が妥当であると確認できた。

次に、崩壊しやすい砂質地盤における地下調査空間構築実験について述べる。WJ 掘削によって多量の水が地盤内に送り込まれると粘着性のない砂質地盤は崩壊しやすいので、掘削前に地盤を固化しておく方法を土槽実験で確認した。実験に用いた土槽は 800mm×800 mm×1000 mm の鋼製で、砂質土には珪砂 5 号を用いた。珪砂を土槽に入れ、土槽上部から水道水を流して飽和させた後、土槽下部から排水して Photo 5 に示すように均一地盤を作製した。

地盤固化には、速硬性、低強度と環境汚染を生じないことが必要である。速硬性は固化作業後に待たずに掘削できるための必要性能、低強度は固化後の地盤掘削・泥状土排出における WJ 圧力を必要以上に高めないための必要性能である。また、環境汚染については、杭体調査後固化部分を除去できないことから、汚染源となる材料を使用しない。これらの条件を満足する材料・方法を試行錯誤し、最終的に杭周固定液として使われる増粘剤を添加したセメントスラリ



Photo 7 固化後の掘削  
(Excavation after Solidification)

ーを使用することにした。セメント量は 50kg/m<sup>3</sup> である。セメントスラリーは Photo 6 に示す WJ ノズルとロッドの間に付けた噴射口

から側面へ噴出する。ロッドを回転させながら噴出することでロッドを中心に固化した後、WJで水平方向に掘削した。掘削後に泥状土をシャベルで除去した状況をPhoto 7に示す。WJ掘削範囲以外の固化部分が残る、地下調査空間構築を確認できた。

のマンホールから地下ピットへ降り、径600mmの人通りを通して調査杭近くの地下ピットに至る。

IV. 調査事例

(1) 概要

実際の建物の地下で杭体調査を実施した。建物概要をTable 2に示す。既存建物は1989年に竣工した築23年の事務所ビルである。杭伏せをFig.5に示す。既存建物と新築建物はほぼ同じ位置であり、ほとんどの既存杭を利用する計画である。調査した杭は、地震時応力が高くなる建物隅角部に近い杭である。地盤概要をFig.6に示す。杭頭付近はローム層であり、支持層はN値が50を超えるGL-17m以深の砂礫層である。

(2) 地下調査空間の構築<sup>3)</sup>

調査杭に近い地下ピットへのアクセスをFig.7に示す。地下1階

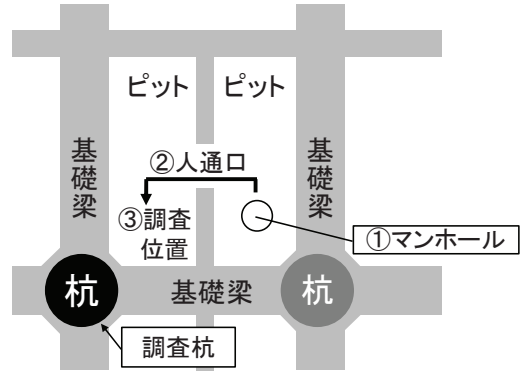


Fig.7 調査杭へのアクセス (Access for Pile)

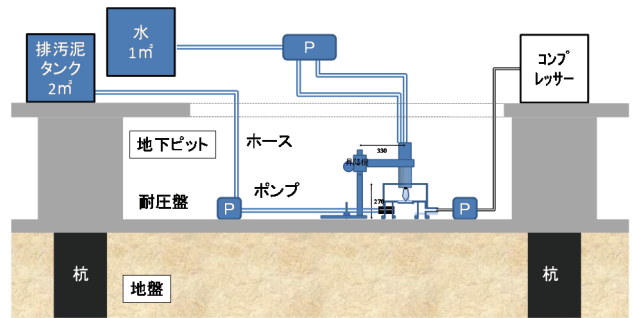


Fig.8 調査機器レイアウト (Investigation Equipment Layout)

Table 2 建物概要 (Building Summary)

	既存建物	建替え
竣工年	1989年	2016年予定
構造種別	地上SRC造, 地下RC造	地上S造, 地下RC造
規模	地上10階, 地下1階	地上12階, 地下1階
杭	場所打ち杭 (径1.7m)	場所打ち杭 (径2.2m)

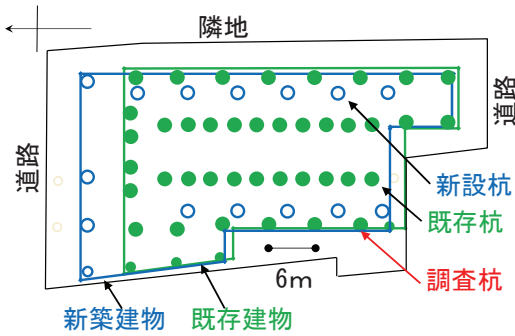


Fig.5 杭伏せ (Pile Layout)

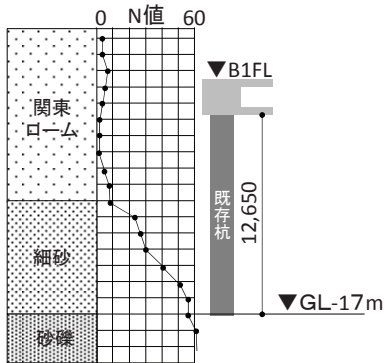


Fig.6 地盤概要 (Soil Profile)

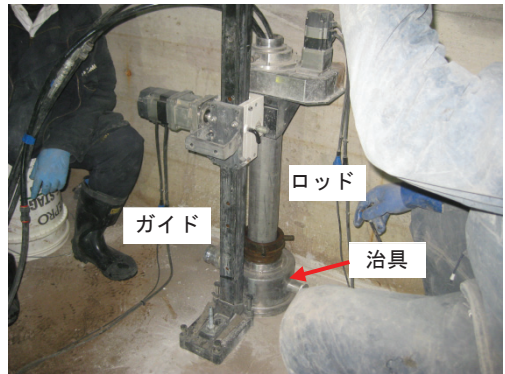
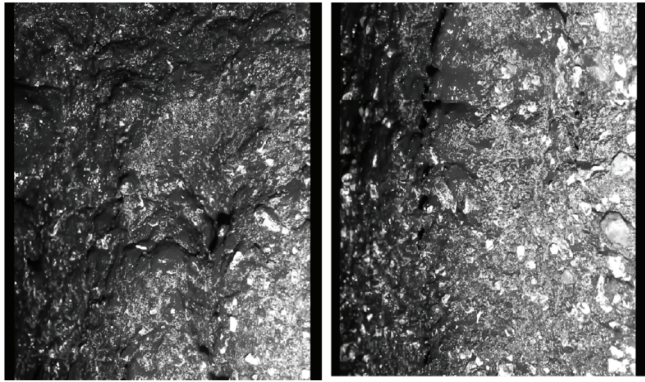


Photo 8 孔上の機器 (Equipments on the Hole)



Photo 9 ピット内作業 (Work in Basement Pit)





(a)杭頭～50cm 下 (b)50～100cm 下

Photo 10 杭体表面画像  
(Pile Surface Pictures)

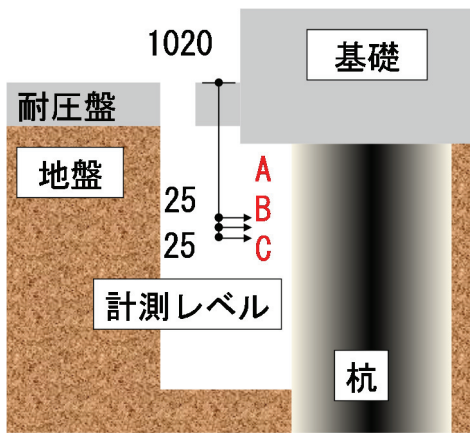


Fig.9 形状計測レベル  
(Shape Measure Levels)

調査機器の配置を Fig.9 に示す。地下ピット内には、掘削孔を塞ぐ治具やロッドなどを置いた。WJ ノズルへ供給する水はタンクからホースを使って地下ピット内へ送る。また、排出する泥状土を地下ピットから排汚泥タンクへ送るためのポンプも地下ピット内に置いた。大きなタンクや、騒音を発生するコンプレッサは敷地内に空地がないので建物内の駐車路上に置いた。

地下調査空間構築のために耐圧盤に空けた孔（径 125mm）に治具をセットした状況を Photo 8 に示す。治具横にはロッドを把持するガイドが設置されている。治具にロッドを通して WJ により地盤掘削した後、バキュームで排土した。なお、杭周辺地盤が関東ロームなので、地盤改良していない。杭体調査は、耐圧盤上の孔から実施した。地下ピット内の作業状況を Photo 9 に示す。

(3) 調査項目

カメラを使った杭頭目視観察とレーザー変位計を使った形状計測を行った。

(4) 目視調査結果<sup>3)</sup>

地下調査空間内にカメラを降ろして、深さ方向に 1m 程度の杭体表面を観察した。杭体撮影画像を Photo 10 に示す。地下調査空間構築時に利用した WJ によって杭体表面には土砂が付着していない。骨材が分散しており豆板のように施工不良と考えられる部分は見られず、また線状の溝がないことからひび割れもない。これらの結果

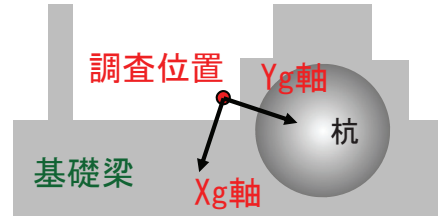
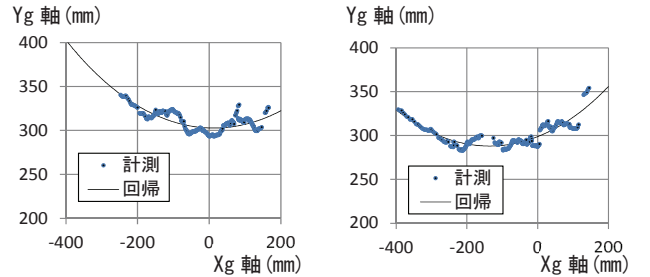
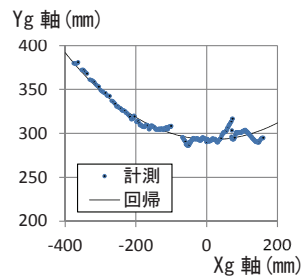


Fig.10 座標  
(Coordinates)



(a)A レベル

(b)B レベル



(c)C レベル

レベル	説明変数	説明変数 推定値	標準偏差 推定値
A	$x_o$ (mm)	12.8	3.96
	$y_o$ (mm)	1204.0	47.90
	$r_o$ (mm)	901.3	47.62
B	$x_o$ (mm)	-136.1	2.13
	$y_o$ (mm)	1153.5	24.40
	$r_o$ (mm)	865.5	24.08
C	$x_o$ (mm)	14.3	2.86
	$y_o$ (mm)	1209.4	20.30
	$r_o$ (mm)	916.5	20.17

(d)非線形回帰結果

Fig.11 計測結果と推定杭周

(Measurements and Estimated Pile Perimeter)

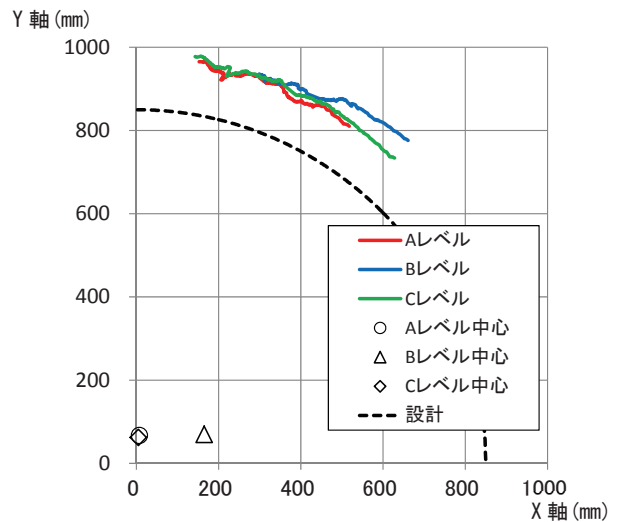


Fig.12 計測結果と設計との比較

(Measurements and Design of Pile)

から、杭体表面が健全なコンクリート表面であることを確認できた。

(5) 形状調査結果<sup>4)</sup>

形状計測は、Fig.9 に示すように耐圧盤上における A レベル、B レベル、C レベルの 3 レベルで実施した。Fig.10 に示すように、調査位置を原点とし、設計図上で杭体中心に向かう方向を  $Y_g$  軸、直交方向を  $X_g$  軸と定義した。ただし、地下ピット内では設計図上の杭体

中心に向かう方向を決められなかったため、最短距離を計測した方向が  $Y_g$  軸であると仮定した。計測結果を Fig.11 (a) ~ (c) に示す。図中には (1) 式に示す円の式で非線形回帰した結果を併記した。

$$y = y_0 - \sqrt{r_0^2 - (x - x_0)^2} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $(x_0, y_0)$  は  $(X_g, Y_g)$  座標を基準にした杭中心座標、 $r_0$  は杭半径を表す。計測値はばらついてみえるが、Fig.11(d) に示す回帰結果をみると、標準偏差推定値は小さく精度よく回帰できている。

次に、設計図との比較を行うため、 $(X_g, Y_g)$  座標から杭中心を原点とする  $(X, Y)$  座標への変換を (2) 式で行う。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_b & \sin \theta_b & x_b \\ -\sin \theta_b & \cos \theta_b & y_b \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_g \\ y_g \\ 1 \end{pmatrix} \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 $(x_b, y_b)$  は  $(X_g, Y_g)$  座標の原点から  $(X, Y)$  座標の原点までの移動量、 $\theta_b$  は  $(X_g, Y_g)$  座標と  $(X, Y)$  座標の回転角を表す。今回の調査杭においては、 $x_b = 385\text{mm}$ 、 $y_b = 1210\text{mm}$ 、 $\theta_b = 3.45\text{rad}$  になる。

(2) 式による座標変換の結果を Fig.12 に示す。B レベルでは  $X = 500 \sim 700\text{mm}$  で直線状の計測結果であったため、 $X$  軸方向の杭中心座標が  $165\text{mm}$  と大きくずれている。しかし、杭周の一部を測定した結果であることと、他レベルでは推定杭心ずれは約  $60\text{mm}$  であったことから、複数レベルの計測を行えば十分な推定が可能であるといえる。なお、推定杭径は  $1731 \sim 1833\text{mm}$  で平均  $1789\text{mm}$  であり、設計杭径  $1700\text{mm}$  より約  $90\text{mm}$  大きい、外形は設計杭周に沿っている。

## V. おわりに

一般に杭体調査は建物解体後に行われているが、建替え等の検討では建物利用中に杭体調査を行い、利用可能な既存杭を設計前に明確にしておきたい。本論では、建物を解体する前に、地下ピットで耐圧盤に小径孔を空けて杭頭周辺地盤を掘削して地下調査空間を構築する方法を提案し、最初に原位置試験及び土槽実験でその実現性を確認した。次に、実際の建物内で地下調査空間を作り、杭体の目視調査及び形状調査を行った。その結果、地下調査空間は実際の地下ピット内でも構築可能であることを示した。また、目視調査では、杭体表面が鮮明に確認でき、豆板等の施工不良やひび割れ等の損傷確認に有効であることを示した。さらに、複数深度で形状計測を行い、非線形回帰することによって、杭中心位置や杭径を十分な精度で推測できることを確認した。なお、この杭体調査法は建物解体を必要としないので、耐震診断時の杭体調査にも利用可能である。

## 参考文献

- 1) 角田光正ほか；超高層建築物における既存杭利用（その2）既存杭調査の項目と調査結果概要，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造 I，2007.8，pp.567-568.
- 2) 建築業協会；既存杭利用の手引き，2003.2.
- 3) 掛谷誠，宮田章；ウォータージェットを利用した杭頭目視調査，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造 I，2014.9，pp.453-454.
- 4) 宮田章，掛谷誠；既存杭の杭径及び杭心の推定，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造 I，2014.9，pp.455-456.

## Investigations on Pile Performances in Buildings

*Akira Miyata and Takahisa Isobe*

Piles need to be investigated its soundness and deterioration when existing piles will be reused for rebuilding. Piles below ground can be investigated at the exposed pilehead after demolishing the building. Rebuild design must assume the case when piles are not in satisfactory conditions. Therefore, investigating method on existing piles that shall be performed before demolishing building has been studied. First, investigation space is built underground to bore about 100mm diameter holes in a basement mat, and to excavate soil to pile surface using waterjet in clay. In sandy soil, it needs to solidify with cement slurry before excavation. Underground investigation space could be made appropriately with this way according to experimental results in laboratory and site. Pile investigations are performed from the hole on basement mat. Investigation methods are to monitor pile surface and to measure the distance to pile surface. This investigation method was applied in a building before demolishing. The underground investigation space could be made effectual in the way. Pile surface looked clear and had no cracks that monitored the pile surface. Using nonlinear regression analysis, the pile centers and radii were presumed from measurement results at three levels. Estimated pile centers were at the same locations mostly as shown in drawings and specifications. Estimated pile diameters were slightly larger than the design value. The applicability of the proposed pile investigation method was verified from the above.