

数値解析による既存杭の残置条件が新設杭基礎の基 礎入力動に及ぼす影響の検討

メタデータ	言語: jpn	
	出版者: 室蘭工業大学	
	公開日: 2017-03-23	
	キーワード (Ja):	
	キーワード (En): Existing pile, Pile foundation,	
	Foundation input motion, Numerical analysis, Thin	
	layered element method	
	作成者: 永井, 宏	
	メールアドレス:	
	所属:	
URL	http://hdl.handle.net/10258/00009171	

数値解析による既存杭の残置条件が新設杭基礎の

基礎入力動に及ぼす影響の検討

永井 宏*1

Numerical Analysis of Effects of Configuration of Old Piles Left Underground on Foundation Input Motion of Pile Foundation

Hiroshi NAGAI

(原稿受付日 平成 28 年 11 月 10 日

論文受理日 平成 29 年 2 月 10 日)

Abstract

In this study, a numerical analysis is performed to determine the foundation input motion during an earthquake for new pile foundations in the case where old piles have been left underground. The analysis is carried out with the aim of revealing the influences of the diameter, number, layout and depth of pile head of the unused old piles on the foundation input motion. The results indicate that when the diameter of the existing piles is large, and the new pile foundation is constructed in close proximity to them, the foundation input motion is larger than in the case where there are no existing piles by frequency. Furthermore, when the existing piles have a non-uniform layout, twisting of the new foundation can occur.

Keywords: Existing pile, Pile foundation, Foundation input motion, Numerical analysis, Thin layered element method

1 はじめに

地球温暖化や産業廃棄物の削減といった環境問題に対して、建設ストックの再生利用・再資源化が 求められ、基礎構造の分野では既存基礎・既存杭の利活用が注目されている⁽¹⁾⁻⁽²⁾。通常、基礎は地中に 埋設されているため、特殊な条件下以外では上部構造物に使用されている部材よりもコンクリートの中 性化など材料の劣化は遅いと報告されている。そのため、既存基礎の利用は、工期短縮、コスト削減、

^{*1} 室蘭工業大学 くらし環境系領域

建設廃棄物や施工に伴う CO₂の排出など環境負荷の低減など経済面・環境面において有効性が高い。2000 年以降には既存杭の再利用に関する手引きやマニュアル等⁽³⁾⁻⁽⁵⁾が出版され、現在では超高層建物への利 用事例^{例えば(6)-(8)}も報告されている。既存杭の健全性・耐久性に関する調査・診断技術の開発も進展して おり、建設時の設計資料や施工記録の保管、施工時の品質管理が確保されていれば、杭の再利用化を図 ることが可能となろう。老朽化した建物、オフィスビルの機能性の追加等による建替工事が増加すると 予測されていることから、再利用の有用性は今後より一層高まると考えられる。

しかし、新設建物を設計する上で平面プラン上の柱位置関係や既存杭の水平耐力不足等の問題により 再利用ができず、また杭解体・撤去に伴う近隣構造物や周辺地盤への影響防止等の観点から、地中にそ のまま残置されるケースも想定される。

このような既存杭の残置(残置杭)に対して、既往の研究では残置杭が新規杭の鉛直支持力や水平抵 抗に及ぼす影響を数値解析⁽⁹⁾⁻⁽¹¹⁾および模型実験⁽¹²⁾⁻⁽¹³⁾にて検討されている。また、残置杭が存在する地盤 上に建てられた直接基礎の実建物に対する沈下計測⁽¹⁴⁾も行われている。しかし、地震時における地盤震 動によって基礎に入力する地震動(基礎入力動)に対する検討は行われていない。周らの研究⁽¹⁵⁾による と、ソイルセメントコラムによる地盤改良は基礎入力動に影響を与え、直接基礎において入力損失効果 が増大することが示されている。軟弱な地盤中に既存杭が引き抜かれず存置されれば地盤改良を施した 状態に近く、地盤を締固める状況となるので基礎周辺地盤の変動が抑制され、基礎入力動が低減する効 果があるとも考えられる。一方で、隣接する杭との間隔や配置によっては、地盤を介した波動の伝播に より入力動が増大することも懸念される。

また、地盤震動による杭の変形は地震時杭応力の評価に重要である。杭基礎に対する既往の研究としては、建物-杭-地盤系の動的弾性解析より杭の地震時応力を建物の慣性力と地盤震動による応力に分けて検討した長谷川らの研究⁽¹⁶⁾、また遠心模型実験および数値解析にて液状化地盤における杭応力を検討した宮本らの研究⁽¹⁷⁾がある。しかし、これらは残置杭を有しない杭基礎での検討である。

そこで、本論文では地中に残置杭が存在した場合、新設建物における杭基礎の基礎入力動に及ぼす影響を解析的に検討する。解析法は、隣接杭間の動的相互作用を考慮するため既往の静的解析プログラム (¹⁸⁾に薄層法⁽¹⁹⁾⁻⁽²⁰⁾を導入して動的解析へと拡張を図った。3D-FEM との比較から本解析法との対応を確認した後、残置杭の直径や本数・配置が基礎入力動に及ぼす影響を検討する。なお、地盤震動は成層地盤において基盤面から垂直上方に伝わる SH 波の調和地動、また基礎はスラブの根入れがない杭基礎を対象とし、周波数応答解析にて基礎入力動を検討する。杭体および地盤は弾性を示す範囲とする。

2 解析方法

- 図1は本論文で用いた解析法の概念図であり、基礎-地盤系の運動方程式は次式で表される。
- $[M] \cdot \{u''\} + [C] \cdot \{u'\} + [K] \cdot \{u\} = \{F\}$ (1)
- [M]、 [C]、 [K] : 基礎・地盤の質量、減衰、剛性マトリックス
- {*u*''}、{*u*'}、{*u*} : 基礎・地盤に生じる加速度、速度、変位ベクトル
- {*F*} : 基礎に作用する外力ベクトル

いま、基盤層に単位の調和地震動 ($u_{g0}=1 \cdot e^{i\omega t}$)が入力されたとき、自由地盤での地盤震動 u_g を次式で表す調和関数とすると、

 $u_g(t) = U_g(\omega) \cdot e^{i\omega t} \tag{2}$

- Ug : 地盤震動の複素振幅
- *ω* : 円振動数
- *t* :時間
- *i* : 虚数



このとき、基礎への作用外力はこの地盤震動に伴って杭に作用する地盤の強制変位外力であり次式で 表される。なお、成層自由地盤での地盤震動は1次元の重複反射理論より求められる。

 $\{F\} = [K_s] \cdot \{u_g\} \qquad (3)$

[K_s] : 地盤の剛性マトリックス

基礎や地盤の材料構成モデルは、バネとダッシュポットを並列に繋いだ線形粘弾性モデル(Viogt モデル)を考えると、剛性は内部粘性減衰として履歴減衰を考慮した複素剛性にて表される。

 $K^* = i\omega C + K$ = (1 + 2hi)K (4)

- *K*^{*} : 複素剛性(複素数)
- *K* : 剛性 (実数)
- *h* : 減衰定数

また、基礎の応答も調和振動となるので、式(3)~式(4)より、式(1)は次式のようになる。

 $\left(\left[K^*\right] - \omega^2[M]\right) \cdot \left\{U(\omega)\right\} = \left[K_s\right] \cdot \left\{U_g(\omega)\right\}$ (5)

ここで、質量マトリックス[M]は式(6)で表され、剛性マトリックス[K*]は式(7)のようにラフト、杭、ラフトー杭頭部間および地盤を構成する減衰を考慮した剛性マトリックスを結合することで最終的なラフト/杭/地盤を連成した複素剛性マトリックスが得られる。

 $[M] = [M_r] + [M_p] - [M_s^{ep}] \qquad (6)$

[M_r] : ラフトの質量マトリックス(本論文では無質量)

- [*M*_p] : 杭の質量マトリックス
- [Ms^{ep]}: 杭体積分に相当する地盤の質量マトリックス

$$\left[K^{*}\right] = [K_{r}] + [K_{p}] + [K_{s}] - [K_{s}^{ep}] \qquad (7)$$

[K_r] : ラフトの剛性マトリックス

[K_p] : 杭の剛性マトリックス

- [Km] : ラフトー杭頭部間の剛性マトリックス
- [Ks] : 地盤の剛性マトリックス
- [Ks^{ep]} : 杭体積分に相当する地盤の剛性マトリックス

[*K*_r]および[*K*_p]には、それぞれ有限要素法による薄板要素および梁要素を用いる。[*K*_{rp}]は、ラフトと杭 頭部間の接合条件に応じて軸力・せん断力・曲げモーメントを伝達する Winkler 型バネにより考慮する。 また、[*K*_s] は薄層法の加振解⁽¹⁵⁾⁻⁽¹⁶⁾による変位影響マトリックスの逆マトリックスである。これにより地 盤を介した動的相互作用を考慮する。なお、[*K*_s] は加力点と受振点の鉛直軸が一致する場合はリング加 振解、それ以外の場合は点加振解を用いた。

本論文では式(5)を周波数応答解析して基礎入力動を算出する。また、基礎入力動は振動数領域での自 由地盤面動(杭の振動の影響を受けず一次元で挙動する自由地盤面での動き)Ugに対する杭基礎面動 Upの比Up/Ugとして示す。なお、以降の図中に示されるAbs、Real およびImagは、それぞれUgに対す るUpの絶対値(振幅比)、実部および虚部を表すものとする。

3 本解析法と 3D-FEM との比較

3.1 検討モデル

図2に検討モデルの条件、図3に杭の配置図を示す。検討モデルは新設建物が杭基礎で支持されると し、杭の先端が基盤層まで到達する支持杭形式を設定した。杭配置の条件は、残置杭または新設杭がそ れぞれ1本単独で単杭として存在するケース(残置杭、新設杭)、また残置杭を有しないケースとして 4x4本の群杭(4x4)、残置杭を有する4x4本の群杭を2ケース(4x4-u9、4x4-u25)の計5ケースである。 杭頭部の接合条件として、新設杭は基礎スラブに連結された剛接合(回転拘束)、残置杭は地中での埋設 を想定して自由(非接続)とした。なお、基礎スラブは無質量の剛床と仮定し、残置杭の杭頭レベルは 新設杭と同様に地表面とした。また、残置杭は施工時期が古いため一般に新設の基礎杭と材料の剛性や 強度が異なることが予想されるが、ここでは残置杭の有無による影響が表現可能であるかに着目するこ ととし、杭は全て同一の物性値を有する直径1mのストレートな場所打ちコンクリート杭を想定した。



3.2 3D-FEM モデル

FEM には汎用解析コード Soil Plus Dynamic を用いた。図4に FEM 要素メッシュの例(4x4-u25 モデル) を示す。FEM では ZX 平面を対称面として全体の 1/2 の領域をモデル化している。地盤はソリッド要素、 基礎スラブはシェル要素を用いた。杭は体積分のソリッド要素を排除し、杭材芯位置に軸方向・曲げ・ せん断変形を考慮したビーム要素を配置して、杭節点と同一深度の杭外周に相当する地盤要素の節点と を多点拘束で連結した。基礎スラブは水平変位と鉛直変位(ロッキング変形角)を考慮した。また、解 析対象領域である表層地盤からの逸散減衰に対して、側方の自由地盤および下方の基盤層下端との境界 にそれぞれ粘性ダンパーを考慮した。なお、基礎入力動は、基盤層下端の X 方向に単位の調和地震動 (ugo=1・e^{iωl})を作用させ、その振動数を f=0~15Hz の範囲にて △f=2.5Hz の刻みで変化させ、周波数応答 解析を行って計算した。

3.3 基礎入力動の比較

図 5 は FEM 解析値(FEM)と本解析値(Cal)との基礎入力動の比較である。ここで、新設杭と残置 杭のケースは 1 本単独で単杭として存在する場合であるため、基礎入力動には杭頭の位置での結果を示 す。残置杭の有無に関わらず、本計算法の結果(Abs、Imag)は 3D-FEM の結果と今回検討した振動数 の範囲まで概ね対応している。なお、残置杭のケースは杭頭自由の条件であるため、f=12Hz 程度まで基 礎入力動が $U_p/U_g \ge 1.0$ となっている。本解析法では隣接の新設杭間だけでなく、残置杭から新設杭への

波動伝播の影響を考慮した基礎入力動を表 現可能であることが分かる。また、残置杭を 有する場合(4x4-u9、4x4-u25)には新設杭の みの場合(4x4)と異なっており、基礎入力 動に影響を及ぼすことが分かる。なお、基礎 の水平変位のみを考慮した場合には基礎入 力動の最大振幅が変動するが、1%以下であっ たことを確認している。これは本検討モデル が支持杭形式を想定しており、基礎の回転に よる影響が小さかったことに起因している。



4 残置杭と新設杭間の動的相互作用

4.1 検討モデル

次に、1本の残置杭からの波動の伝播によって1本の新設杭に及 ぼす影響について基本的な特性(残置杭と新設杭間の動的相互作 用)を明らかにするため、残置杭と新設杭を各1本、計2本の杭 で検討した。検討因子は、表1に示す残置杭の直径(D_o)、残置杭 と新設杭との杭中心間隔(S_x , S_y)、入力加振X軸方向に対する新 設杭と残置杭とのなす角(θ)および残置杭の地表面からの杭頭深 度(L_{ph})である。ここで、 $D_o=3.0m$ の残置杭は場所打ちコンクリ ート杭の変遷⁽¹⁾を踏まえると現状では存在しないと考えられるが、 現在は施工可能な杭径であり残置した場合にどの程度影響が生じ るのか把握することを目的としている。なお、地盤や杭の物性は 第3章と同一条件とし、新設杭は直径 $D_n=1m$ の場所打ちコンクリ ート杭とした。また、杭頭部の接合条件は第3章と同様に、新設 杭は剛接合(回転拘束)、残置杭は自由(非接続)である。

度置杭の直径 D_o (m) 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 杭中心間隔 S_x , S_y (m) 2.5, 5, 7.5, 10 X 軸とのなす角 θ (rad.) 0, $\pi/2$ 杭頭深度 L_{ph} (m) 0, 3, 5, 10	表1 残置杭の配置条件		
杭中心間隔 S_x , S_y (m) 2.5, 5, 7.5, 10 X 軸 とのなす角 θ (rad.) 0, π/2 杭頭深度 L_{ph} (m) 0, 3, 5, 10	残置杭の直径 D _o (m)	0.5, 1.0, 2.0, 3.0	
X軸とのなす角 θ (rad.) 0, $\pi/2$ 杭頭深度 L_{ph} (m) 0, 3, 5, 10 $\downarrow \qquad \qquad$	杭中心間隔 S _x , S _y (m)	2.5, 5, 7.5, 10	
杭頭深度 L_{ph} (m) 0, 3, 5, 10 \downarrow S_x \to X \Box \Box \Box D_0 $D_n=1.0m$ 残置杭 新設杭 S_y O $T=1.0m$ D_0 $D_n=1.0m$	X 軸とのなす角 θ (rad.)	0, π/2	
S_x $-\bigcirc -\cdots \\ D_o$ B_o B_c B_c $D_n=1.0m$ B_c $D_n=1.0m$ B_c $D_n=1.0m$ S_y O $D_n=1.0m$ 新設杭	杭頭深度 L _{ph} (m)	0, 3, 5, 10	
$(\theta=0,0$ 場合) D_{o} 残置杭 $(\theta=\pi/2,0$ 場合)		Y θ $D_n=1.0m$ F $D_n=1.0m$ T D_0 R D_0 R C D_0 R C R R R R R R R R	

4.2 隣接杭間の影響

まず、*L*_{ph}=0m として残置杭の直径、杭中心間隔および新設杭とのなす角の影響を検討する。図 6 は入 力動 *U*_{g0}に対する基礎面 *U*_pの伝達関数、新設杭の基礎入力動であり残置杭の直径ごとに整理した。また、 図 6(1)には自由地盤面 U_g 、図 6(2)には新設杭、残置杭それぞれ 1 本単独で存在した場合の杭頭の位置での結果も併記した。 $D_o=0.5m$ のモデルは残置杭による影響がほぼ見られない。 $D_o=1.0m$ のモデルでは $f \ge 10$ Hz にて残置杭との隣接杭間隔が狭い場合ほど新設杭の基礎入力動に与える影響が大きくなっている。これに対して、新設杭よりも大口径の場合 ($D_o=2.0m$ 、 3.0m)では特定の振動数の範囲で新設杭のみの場合よりも基礎入力動が大きい ($|U_p/U_g|\ge 1.0$)。これは、以下に述べる残置杭と自由地盤との動きの差異が影響している。振動数 $f=0\sim5$ Hz では、新設杭の最大振幅比 $|U_p/U_g|$ max ($f=0\sim5$ Hz、 $S_x=S_y=20m$ のプ



- 88 -

ロットは新設杭のみの値)が図7のように $\theta=\pi/2$ (加振直交方向)より も $\theta=0$ (加振方向)、また杭中心間隔が狭い方が増大している。加振方 向の方が波動伝播速度は大きく、残置杭からの位相の変化が小さいた め伝播波動が入力動の加算に寄与することを示唆する。一方、それ以 降の振動数 $f=7.5\sim10$ Hzでは $\theta=\pi/2$ で杭中心間隔が大きい場合に基礎入 力動が $U_p/U_g \ge 1.0$ となっている。これは残置杭の存在によって基礎面 U_p の伝達関数のピークが自由地盤の地表面 U_g よりも僅かに高振動数と なり、 U_p がピークの谷間で U_g よりも大きな振幅となったためと言える。



4.3 残置杭の杭頭深度による影響

前節より、新設杭よりも大口径の残置杭が配置される場合では、新設杭のみの場合より特定の振動数で基礎入力動が増大し、かつ|U_p/U_g|≧1.0となるケースが見られた。そこで、次に残置杭の杭頭深度を地表面から下げたときの効果について検討する。

図8に基礎入力動への影響が大きかった $D_0=2.0m$ 、杭間隔7.5mにて L_{ph} を0m、3m、5m、10m(杭長の0、1/5、1/3、2/3倍)としたときの伝達関数 U_p/U_{g0} 、基礎入力動 U_p/U_g を示す。 L_{ph} が大きくなる、すなわち杭頭深度が深くなるに伴い、残置杭から新設杭に伝播する波動の影響が小さくなるため、 U_p/U_{g0} は増大し新設杭のみのケースに近づく。このとき、残置杭の影響がほぼ0となるのは $L_{ph}=10m$ (杭長の2/3倍)であり、撤去する深度としては相当深いと言える。一方、 $L_{ph}=3m$ 、5mのときには $f=7.5\sim11$ Hzで $|U_p/U_g|$ が増大している。これは U_p/U_{g0} のピークが高振動数側にシフトすると共に入力損失が減少するためであり、既存杭を残置する際にはその杭頭深度に注意を要すると考える。



5 残置杭が新設杭基礎の基礎入力動へ及ぼす影響

5.1 検討モデル

新設杭は 4x4 本杭を対象とし、残置杭の直径が D_o=1.0m、2.0m のケースにて残置杭の本数や配置が新設杭基礎の基礎入力動に及ぼす影響を検討する。地盤は第3章と同一条件とする。

図9に杭の配置図を示す。新設基礎の隣接杭間隔は $5D_n$ であり、 $D_o=2.0m$ のケースである。(1)は残置 杭が均等配置、(2)は残置杭が不均等配置である。なお、基礎スラブは水平変位と鉛直変位(ロッキング 変形角)を考慮する。



図10 伝達関数,基礎入力動(本数の影響)

5.2 残置杭の本数・配置の影響

5.2.1 杭本数の影響

図 10 に残置杭が均等配置されたケース(4x4-u4a、4x4-u9a、4x4-u16a、 4x4-u25) での入力動 Ug0 に対する基礎面 Upの伝達関数、基礎入力動 を示す。ここで、図 10(1)には自由地盤面 Ug、図 10(2)には残置杭は 1本単独で存在した場合の杭頭の位置での結果を併記した。また、fi、 f2 およびf3 は表層地盤の 1 次、2 次および 3 次の固有振動数を表す。

残置杭の本数が多いほど伝達関数 U_p/U_{g0} 、基礎入力動 $U_p/U_g \sim 0$ 影響が大きく現れており、 $D_o=2.0m$ でその傾向が顕著に見られる。地盤の1 次固有振動数である $f=f_1=2.5$ Hz では残置杭からの位相の変化が小さいため伝播波動が入力動の加算に寄与するため新設杭のみの場合(4x4)よりも基礎入力動が大きくなるのに対して、振動数 f_2 以降では伝達関数 U_p/U_{g0} のピークを示す振動数が高振動数へとシフトしたことで4x4よりも大きくなっている。ゆえに、振動数によっては新設杭のみの場合(4x4)よりも基礎入力動が大きくなる振動数の範囲が存在することが分かる。 $D_o=2.0m$ における新設杭と残置杭が同数のケース(4x4-ul6a)では、 $|U_p/U_g|$ は f=2.5Hz、f=9.5Hz にて4x4よりもそれぞれ約2%、約32%大きい。なお、振動数 $f=7.5\sim10$ Hz では U_{g0} に対する U_p の伝達関数自体は小さいが、入力地震動がこの辺りの振動数成分を多く含む場合には注意を要する。



図 11 基礎入力動の増幅

図 11 に全てのケースにおける f=0~15Hz での新設杭の最大振幅比 $|U_p/U_g|_{max}$ を示す。 $|U_p/U_g|_{max}$ は 4x4-u25 よりも 4x4-u16a の方が大きい。これは、残置杭からの波動伝播に よって 4.1 節で示した波動が重なり合い、4x4-u25 では振動数 f_2 以降の伝達関数 U_p/U_{g0} の増幅が抑制され たことを反映している。残置杭の本数だけでなく、その配置に依存すると言える。

5.2.2 杭配置の影響

図 12 に残置杭が同数で杭配置が異なるケースでの入力動 Ug0 に対する基礎面 Upの伝達関数、基礎入 力動の比較を示す。ここで、図 12(1)には自由地盤面 Ug、図 12(2)には新設杭のみのケース(4x4) も併 記した。均等配置の場合では、残置杭が外側に配置されたケース(u4b、u16b)の方が内側に配置された ケース(u4a、u16a)よりも図 12(1)に示す f=5Hz以降の伝達関数|Up/Ug0|のピーク振動数が新設杭のみ(4x4) よりも高振動数へシフトし、|Up/Ug0|の値も大きいため、図 12(2)に示す|Up/Ug|の最大値が大きくなってい る。これは、残置杭が内側よりも外側に配置されている方が基礎中央部との距離があるため新設杭の動 きが拘束されないためである。また、不均等配置の場合でも基礎入力動は若干異なるが、基礎全体の平 均水平変位への影響は小さい。この理由は杭頭が剛基礎スラブに連結されており、杭の変位が基礎全体 で平均化されるためと考える。

不均等配置の場合、基礎の回転動は図 13 のように残置杭の配置によって大きく異なった。図 14 に基礎のロッキング動として、 P_i 、 P_j 位置(図 9)の基礎のZ方向変位を示す。4x4-nu5cでは位置による相違はほぼないが、4x4-nu5aや4x4-nu5bでは異なっており、ロッキング動の回転軸が基礎中心を通るY軸からずれることになる。また、変位量は小さいが、残置杭がないケースよりもロッキング動が増大することが分かる。一方、4x4-nu5cではZ軸回りのねじれが励起される。図 15 に式(8)で計算したZ軸回りの回転角を示した。特に、 $D_0=2.0m$ では加振方向の基礎入力動が増大するf=10.5Hzで大きくねじれが生じており、このとき加振直交方向の振動 V/U_g は加振方向の水平動($|U_i/U_g|=|U_j/U_g|=0.90$)に対して0.20倍程度に相当する。ゆえに、新設杭基礎の片側に大口径の既存杭を残置する場合には注意を要する。

 $\left|\theta_{z}\right| = \left|\frac{V_{i} - V_{j}}{3S}\right| \tag{8}$

ここで、*V*_i、*V*_iは*P*_i、*P*_iの加振直交方向の変位、3S は基礎の幅(=15m)



図12 伝達関数,基礎入力動(配置の影響)

5.2.3 杭頭深度の影響

次に残置杭の杭頭深度を $L_{ph}=0m$ 、3m、5m、10m で変化させ、その影響を検討する。図 16 は均等配置 である 4x4-u16a において L_{ph} を変化させた時の基礎入力動の比較である。 $L_{ph}=10m$ では 4x4 とほぼ等し く残置杭の影響を無視できると言えるが、 $L_{ph}=3m$ 、5m では $|U_p/U_g|$ が振動数 $f=8\sim10$ Hz にて $L_{ph}=0m$ (4x4-u16a)のケースを上回る。ゆえに、残置杭の杭頭深度が浅いと、特定の振動数領域では基礎入力 動が増大することが示唆された。次に、不均等配置となる 4x4-nu5c にて基礎の Z 軸回りのねじれに着目 した。 θ_z を示した図 17 をみると、残置杭の杭頭深度が下がるにつれて基礎のねじれは減少するが、杭長 の 1/3 程度を下げた ($L_{ph}=5m$)としても減少量は小さい。





本論文では地中の残置杭が新設杭基礎の基礎入力動に及ぼす影響を数値解析的に検討した。以下に得られた知見をまとめる。

①隣接杭間の影響は、残置杭が新設杭に近接する場合や大口径の場合の方が基礎入力動に及ぼす影響が 大きい。 ②残置杭を有する場合の基礎入力動への影響は、残置杭の本数が多いほど大きく現れる。また、特定の 振動数領域では新設杭のみの場合よりも大きくなる場合がある。

③残置杭の配置が均等の場合、配置パターンが基礎入力動に及ぼす影響は新設杭の基礎スラブでの連結 により基礎全体で振動が平均化されるため振動数が低い範囲では小さいが、振動数が高くなると残置 杭が新設杭基礎の内側よりも外側に配置された方が大きい。

④残置杭の配置が不均等の場合、加振直交方向の基礎入力動も生じ、新設杭基礎にねじれが励起される。

⑤残置杭の杭頭深度が深くなるのに伴って新設杭の基礎入力動に及ぼす影響は小さくなる。しかし、残 置杭の本数が多い場合、杭頭深度を十分に深くしないと特定の振動数で基礎入力動が増大することが ある。

本論文で検討した解析は限られたケーススタディーであり、杭の諸条件(剛性、基礎の根入れ)や上 下動入力による影響、地盤の層構成・不陸や非線形性に対する検討は今後の課題である。

謝辞

本論文を作成するにあたり、元室蘭工業大学大学院生の葛西勇紀氏には多くの解析的検討を行って頂きました。ここに記して謝意を表する。

文献

- (1) 総合土木研究所, 基礎工 特集 既存基礎の再利用技術, 2005, vol. 33, no. 4.
- (2) 総合土木研究所, 基礎工 特集 既存基礎の利活用, 2011, vol. 39, no. 2.
- (3) 建築業協会地盤基礎専門部会,既存杭利用の手引き,2003.
- (4) 構造法令研究会,既存杭等再使用の設計マニュアル(案),2008.
- (5) A.P. Butcher, J.J.M. Powell and H.D. Skinner, Reuse of Foundations for Urban Sites: A Best Practice Handbook, 2006.
- (6) Dinesh Patel, Sarah Glover, Jonathan Chew, Jenny Austin, The Pinnacle Tower Geotechnical Challenges, International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, vol. 4, issue 1, 2010, p. 9-24.
- (7) 辻泰一,角田光正,宮田章,超高層建築物における既存杭利用(その1)既存杭利用の概要と構造設計,日本建築学会大会学術講演梗概集,2007, p. 565-566.
- (8) 河本慎一郎, 富田菜都美, 石崎定幸, 辰濃達, 渡邊徹, 長尾俊昌, 超高層建物における既存場所打ち杭再使用の 事例 その1 設計概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2014, p. 429-430.
- (9) 宮田章, 地中に残置された既存杭が新設杭の鉛直支持力に及ぼす影響, 第 39 回地盤工学研究発表会講演集, 2004, p. 1501-1502.
- (10) 宮田章, 地中に残置された既存杭が新設杭の水平抵抗力に及ぼす影響, 第40回地盤工学研究発表会講演集, 2005, p. 1569-1570.
- (11) 田村修次, 足立圭佑, 肥田剛典, 林康裕, FEM 解析による残置杭が新規杭の水平抵抗に及ぼす影響の検討, 第45 回地盤工学研究発表会講演集, 2010, p. 1445-1446.
- (12) 田村修次, 樋口康仁, 足立圭佑, 林康裕, 山崎雅弘, 遠心載荷実験における残置杭が新規杭の鉛直支持力に及ぼ す影響-新規杭の表面が滑らかなケースと粗いケースの比較-, 日本建築学会構造系論文集, vol. 74, no. 645, 2009, p. 2039-2044.
- (13) 勝二理智,柏尚稔,井上和歌子,吹田啓一郎,林康裕,既存・新設複合杭基礎の水平抵抗機構に関する実験的研究,日本建築学会構造系論文集,vol. 74, no. 644, 2009, p. 1751-1758.
- (14) 梅本浩一, 森高英夫, 石川明, 桂豊, 浅香美治, 福武毅芳, 既存杭が残存した地盤上に建てられた直接基礎建物 の沈下挙動, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1, 2008, p. 679-680.
- (15)周方圓,護雅史,福和伸夫,改良地盤上に立地した免震建物の地震時応答性状に関する考察,日本建築学会技術報告集,vol. 17, no. 36, 2011, p. 473-478.
- (16) 長谷川正幸, 中井正一, 杭の地震時応力とその評価法に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, no. 432, 1992, p. 105-118.
- (17) 宮本裕司, 福岡篤信, 安達直人, 酒向裕司, 液状化地盤における杭基礎の地震時杭応力に関する研究 杭基礎の 遠心模型実験と解析的検討, 日本建築学会構造系論文集, no. 482, 1996, p. 53-62.
- (18) 永井宏, 地震時の建物慣性力を受けるパイルド・ラフト基礎の非線形挙動に関する解析的研究, 舞鶴工業高等専 門学校紀要, no. 44, 2009, p. 45-52.
- (19)日本建築学会,建築構造力学の最近の発展 -応力解析の考え方-,1987, p. 850-876.
- (20)日本建築学会,建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計,2006, p. 311-326.
- (21) 福井次郎, 総説 場所打ちコンクリート杭の変遷と今後の課題, 基礎工, vol. 33, no. 2, 2005, p. 6-10.