

令和 4 年 5 月 12 日現在

機関番号：10103

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04421

研究課題名（和文）施工履歴を考慮した新設杭の支持性能の評価

研究課題名（英文）Evaluation of Bearing Capacity of New Piles Considering Construction History

研究代表者

永井 宏（NAGAI, Hiroshi）

室蘭工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：70413797

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、埋戻し土に近接・重複する新設杭を想定した押込み載荷実験や水平載荷実験を行い、周辺地盤と密度が異なる埋戻し土が杭の支持性能及ぼす影響を明らかにした。実験後に杭近傍に敷設した色砂層の変状を観察し、杭周面抵抗に寄与する地盤のせん断破壊の位置が埋戻し土の密度に依存することを示した。また、埋戻し土の条件を変化させたFEM解析にて、杭の周面抵抗機構に寄与する土圧変化やせん断破壊面の形状が異なること、杭の水平変位に伴う周辺地盤の塑性化の分布が異なることを明らかにした。分析結果を踏まえ、埋戻し土を考慮した杭の周面抵抗力度や水平地盤ばね剛性の算定法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、建設ストックの循環が行われていく中で、既存杭撤去後の埋戻し土の影響を踏まえて建物を支える基礎構造の性能を適切に評価することに繋がるため、学術的に意義がある。また、今後、超高層建築物の建替工事の増加に伴って本研究で想定している事象が多く発生し、その影響も大きくなると予想されることから、適切な評価・対策を考えていくことは社会的にも重要性が高い。

研究成果の概要（英文）： In this study, the influence of the density of the backfilled soil, which differs from that of the surrounding soil, on the bearing capacity of a pile was clarified through compressive or horizontal loading tests of a newly constructed pile in close to the backfilled soil. The deformation of the colored sand layer near the pile was observed after the tests, and it was shown that the location of shear failure of the soil, which contributes to the shaft resistance of the pile, depends on the density of the backfilled soil. The FEM analysis revealed that the earth pressure changes and the shape of the shear failure related to the shaft resistance mechanism of the pile were different, and that the distribution of plasticization of the surrounding ground with horizontal displacement of the pile was different. Based on the above results, a method for calculating the shaft resistance and horizontal subgrade reaction coefficient of piles considering the backfilled soil is proposed.

研究分野：基礎構造

キーワード：新設杭 既存杭 埋戻し土 単杭 支持力 模型実験 数値解析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

老朽化した建築物の建替工事は今後一層増えると予想されている。既存建物の建替工事における既存基礎・既存杭の取扱いとしては、撤去・再利用・残置の3つの方法が挙げられる。このうち、再利用については工期短縮やコスト低減だけでなく、産業廃棄物や施工に伴う温室効果ガスの削減といった利点がある。そのため、地中に埋設された既存杭の健全性・耐久性・支持力に関する調査・診断技術の開発が進められ、現在、日本や諸外国で超高層建物への再利用事例が報告されると共に、2000年以降には手引きやマニュアル等も出版されている。

一方で従来から地中障害物や既存基礎は解体・撤去する機会が多い。既存杭の再利用を検討した場合でも新設建物の平面プランや杭体の耐力不足等の問題によっては撤去となる。既存杭を撤去した後の孔の埋戻しは原地盤の状態に近づけることを目標としており、流動化処理土などの充填材や充填方法に関する検討が行われているが、埋戻した土の不均一性や原地盤との相違などが指摘されている。また、砂質土と粘性土が互層となっている地盤や中間層を打ち抜いて杭を施工した場合など、地層構成によっては充填土の制御が非常に困難になる。

そのような状況下において、既存杭の撤去・埋戻しと新設杭の施工がほぼ同時期に行われ、また埋戻し土に近接もしくは重複して新設杭が施工されると、新設杭の支持性能に影響を及ぼすと考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、次の通りである。

(1) 既存杭を撤去した後の埋戻し土が新設杭の支持性能に及ぼす影響の解明

(2) 埋戻し土に近接・重複する杭の支持力の評価法の構築

3. 研究の方法

(1) 円筒土槽内に作製した模型砂地盤内にて、既存杭の撤去・埋戻しの過程を実験的に模擬し、新設杭が埋戻し土に近接・重複する場合を想定した模型杭(約1/30スケール)の押し込み载荷実験や、水平载荷実験を行う。

(2) 杭の押し込み载荷実験時に、模型地盤内に着色した砂の層を複数敷設し、载荷実験後、色砂層の動きから杭周面抵抗力に寄与する杭近傍で生じるせん断破壊面の位置(せん断帯厚さ)を計測する。

(3) FEM解析手法を用いて、埋戻し土に重複する杭の押し込み载荷実験のシミュレーションを行う。杭の周面抵抗力に寄与する杭周辺地盤の土圧の変化や杭近傍で生じるせん断破壊の位置や形状を分析する。

(4) FEM解析手法を用いて、埋戻し土に重複する杭の水平载荷実験のシミュレーションを行う。杭の水平地盤ばね特性への影響を分析するとともに、杭の水平変位に伴う杭周辺地盤の塑性化の進展を検討する。

(5) 埋戻し土の諸条件(寸法、杭との重複、変形係数)を種々変化させたFEMによるパラメトリック解析を行い、埋戻し土が新設杭の水平地盤ばね剛性に及ぼす影響を分析する。

4. 研究成果

【杭の鉛直支持力】

(1) 埋戻し土に近接・重複する場合を想定した杭の押し込み载荷実験を行い、以下のことを明らかにした。杭周面抵抗力度の最大値は埋戻し土の密度に依存し、高密度の条件下では埋め戻しがない場合に比べて約1.2倍大きい。周辺地盤側と埋戻し土側の密度の違いによって、杭の押し込みに伴う土圧の変化が異なる。

(2) 杭の押し込み载荷実験のFEMシミュレーションの結果、杭の周面抵抗機構に寄与する杭近傍地盤のせん断応力度は、埋戻し土の領域だけでなくその反対側の地盤でも影響が現れる。ゆえ

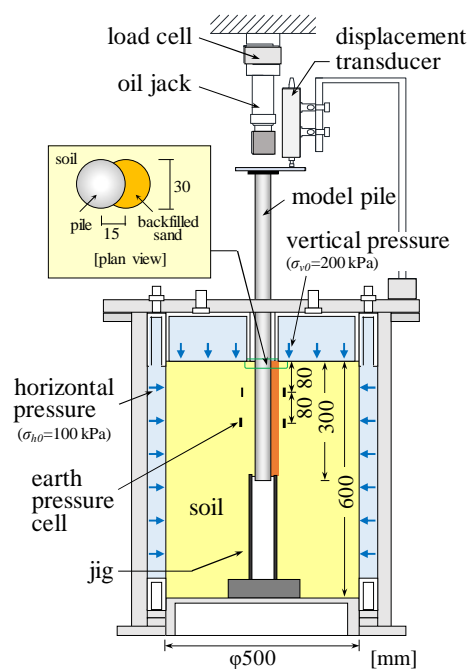
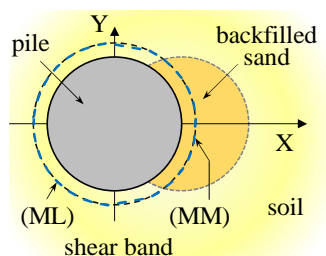
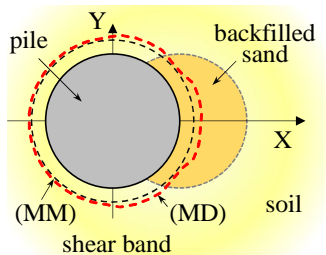


図1 埋戻し土に重複する杭の押し込み载荷実験

に、杭の近傍地盤で生じるせん断帯の厚さが変化し、せん断破壊面形状はいびつになることを明らかにした。また、杭の周面抵抗力の評価のためには、周辺地盤と埋戻し土でのせん断破壊をそれぞれ考慮した算定式を構築することが相応しいことを示した。



(1) 低密度の場合



(2) 高密度の場合

図2 埋め戻し土の条件による杭近傍地盤でのせん断破壊面形状の違い

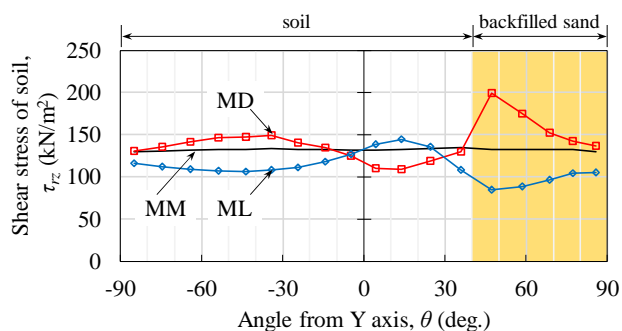
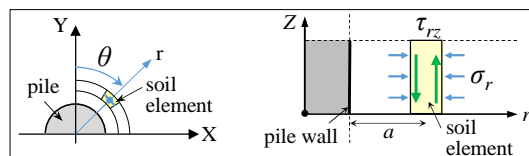


図3 せん断破壊面でのせん断応力度の分布

(3) 杭の押し込み載荷実験の後に、色砂層の動きから杭近傍で生じるせん断破壊面の位置(せん断帯厚さ)を計測した結果、せん断帯厚さは地盤の密度が高いほど厚くなること、密度が異なる埋戻し土が存在することでせん断帯厚さが位置によって異なることを実験的に確認した。

(4) 埋戻し土に重複する新設杭の周面抵抗力度は、杭周面抵抗力に寄与する地盤のせん断破壊の領域を周辺地盤と埋戻し土で分け、杭の押し込みに伴う土圧の変化の分析結果を踏まえ、埋戻し土に重複する新設杭の周面抵抗力の算定の構築を提示した。

【杭の水平抵抗力】

(5) 埋戻し土に半分重複する場合を想定した杭の水平載荷模型実験を行い、以下のことを明らかにした。杭頭での水平荷重 - 変位量関係は、杭近傍に位置する充填砂の密度による影響は小さい。周辺地盤と充填砂を含む1つの等価地盤で考えた場合、任意深度での杭の水平地盤ばねを表現する係数(塑性水平地盤反力、基準水平地盤反力係数、地盤ばねの非線形性を表す係数)は充填砂の密度によって5~10%程度の差異である。

(6) 載荷実験のFEMシミュレーションから、以下のことを明らかにした。埋戻し土の密度が異なる3ケース(ML:低密度 $D_r=30\%$, MM:中密度 $D_r=60\%$, MD:高密度 $D_r=90\%$)で比較すると、埋戻し土の塑性化は高密度の方が他の2ケースよりも進展が遅く、塑性状態となる深度も若干浅い。一方、周辺地盤では充填砂の密度によらず、塑性化の進展と範囲がほぼ変わらない。そのため、高密度では充填砂とこれに接する周辺地盤との境界で塑性化の深度に差が生じる。地盤全体が高密度の条件DDと高密度な埋戻し土を有する地盤MDと比較すると、埋戻し土が塑性化した深度や分布は両者ほぼ等しいが、周辺地盤ではMDの方がDDよりも塑性化の進展が速い。充填砂と周辺地盤の2つの領域での特性が合わさり、埋戻し砂の密度が杭のp-y関係に及ぼす影響は小さくなる。

(7) FEMによるパラメトリック解析を行った結果、埋戻し土の諸条件(直径:杭径の1.0~2.0倍、杭との重複:杭径の0.25~0.75倍、変形係数:周辺地盤の 10^{-3} ~ 10^3 倍)が変化することで、新設杭の水平地盤ばね剛性は最大±35%程度の影響が生じる。

(8) 埋戻し土の諸条件と杭の水平地盤ばね剛性との関係性を分析して、埋戻し土に重複する杭の水平地盤ばねの簡易算定式を構築した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hiroshi Nagai	4. 巻 21(84)
2. 論文標題 Shaft resistance of piles close to backfilled sand columns	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 121-128
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.21660/2021.84.j2170	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 黒川達矢, 永井宏, 工藤大暉
2. 発表標題 埋戻し土に重複する新設杭の周面抵抗に関する研究 - 模型載荷実験とFEM解析による検討 -
3. 学会等名 第94回日本建築学会北海道支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 工藤舜也, 永井宏
2. 発表標題 埋戻し土が重複する新設杭の水平地盤ばね剛性に関する解析的研究
3. 学会等名 第94回日本建築学会北海道支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 工藤舜也, 永井宏
2. 発表標題 埋戻し土が近接する杭の水平抵抗に関する解析的検討
3. 学会等名 第60回地盤工学会北海道支部年次技術報告会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Syunya Kudou, Hiroshi Nagai
2. 発表標題 Experimental study on lateral resistance of pile with backfilled soil -Effect of backfilled soil density-
3. 学会等名 Joint Seminar on Environmental Science and Disaster Mitigation Research 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 工藤舜也, 永井宏, 山黒寛矢, 森田望
2. 発表標題 埋戻し土が近接する杭の水平抵抗に関する実験的研究
3. 学会等名 第59回地盤工学会北海道支部年次技術報告会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------