The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	羽付き鋼管杭の水平載荷実験による杭周水平地盤抵抗に関する研究
Author(s)	小林, 俊夫
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/77502
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　小林　俊夫　）	
論文題名	羽根付き鋼管杭の水平載荷実験による杭周水平地盤抵抗に関する研究

論文内容の要旨

近年、耐震設計のレベル2地震動を上回る大振幅地震動により、多くの建築物の杭基礎に甚大な被害が発生した。逼迫する大地震に備えて、杭基礎の高耐震化が急務となっている。このような状況の中、鋼管杭の先端に羽根を取り付けて施工の省力化と環境負荷の低減を目的とした羽根付き鋼管杭が開発され、低層建築物の杭基礎に多く適用されてきている。しかし、羽根付き鋼管杭の耐震設計における水平抵抗のモデル化において、回転貫入によって生じる杭周地盤の緩みの影響、また水平抵抗を補強するために行われる改良地盤の効果に関する研究は限られている。そこで本論文では、粘土質地盤に製作した実大羽根付き鋼管杭（杭直径267.4mm、鋼管厚さ9.3mm）の正負交番繰返し水平載荷実験と解析的検討を行い、実証データに基づいた羽根付き鋼管杭の水平抵抗特性を解明することを目的とした。本論文は以下の6章から構成されている。

第1章「序論」では、羽根付き鋼管杭の回転貫入による杭周地盤の緩みと地盤物性の変化、水平載荷実験による杭の水平地盤抵抗と杭頭を地盤改良した改良効果に関する既往研究を調査し、本論文の位置付けを明確にするとともに、研究目的を示した。

第2章「羽根付き鋼管単杭における杭周水平地盤抵抗」では、羽根の有無、羽根径比（杭直径に対する羽根の等価円直径の比）、施工後約1年経過した経時変化を実験パラメータとして水平載荷実験を行い、杭頭での水平抵抗特性と杭周の水平地盤抵抗の変位依存性および杭の曲げモーメントの発生状況について分析した。その結果、羽根付き鋼管杭の水平抵抗と最大曲げモーメントは羽根なし鋼管杭に比べ小さくなり、杭周地盤の緩みが大きく影響することを示した。杭周地盤抵抗の履歴曲線は載荷初期からスリップ型の特性を示し、羽根なし鋼管杭に比べ割線剛性が大幅に低下し、地盤深さと土質の影響を受けることを明らかにした。また、羽根付き鋼管杭の水平抵抗に及ぼす羽根径比と経時変化の影響は小さいことを示した。

第3章「羽根付き鋼管群杭における杭周水平地盤抵抗」では、杭頭を半固定条件とした単杭および群杭（2本直列配置、杭間距離は杭直径の3.7倍)の水平載荷実験を行い、群杭効果と羽根の影響領域について検討した。その結果、羽根付き鋼管群杭では羽根なし鋼管群杭に比べ水平抵抗の群杭効果が緩和されることを示した。また、大変形時において地表面に出現する地盤のひび割れは、概ね羽根の通過領域内に留まり、羽根付き鋼管群杭の水平抵抗は羽根の通過による杭周地盤の緩み領域の反力が支配的であることを明らかにした。

第4章「羽根付き鋼管単杭の杭頭を地盤改良した水平抵抗の補強効果」では、杭頭周辺地盤を早強コンクリートで置換改良した単杭の水平載荷実験を行い、改良範囲と改良深さが水平抵抗に及ぼす影響を検討した。その結果、改良範囲を羽根の最大回転直径より大きくし、かつ改良深さを少なくとも杭直径程度とすることで、杭頭の水平抵抗は大変位振幅域においても羽根なし鋼管杭と同等かそれ以上にまで増大することを示し、杭頭周辺地盤の改良が有効であることを明らかにした。一方、改良深さが深くなると杭の水平抵抗は大きくなるが、改良体による杭の変形拘束が大きくなり改良体底面付近で局所的に杭の曲げモーメントが大きくなることを示した。

第5章「羽根付き鋼管単杭の緩み領域と杭頭改良のシミュレーション解析」では、三次元非線形有限要素法を用いて杭周地盤の緩みを検討するとともに、杭頭改良体の抵抗機構について分析した。その結果、羽根が通過した杭周の緩み地盤を羽根の最大直径とした領域にモデル化し、その地盤の剛性と強度を深さと土質に応じて低減させることで、羽根付き鋼管杭の水平抵抗特性を良好にシミュレートできることを示した。また、杭頭の改良体をモデル化した解析では、改良体とその周辺地盤の接触条件として底面を密着条件とし、側面に剥離・滑りをモデル化することで改良効果を良好にシミュレートできることを示し、杭頭を改良した羽根付き鋼管杭の水平抵抗特性に改良体前面の受働抵抗と改良体底面での支圧抵抗が大きく影響していることを明らかにした。

第6章「結論」では、本研究で得られた成果を総括するとともに、今後の課題についてまとめた。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　小林　俊夫　）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主査	教授	宮本　裕司
	副査	教授	多田　元英
	副査	教授	眞田　靖士

論文審査の結果の要旨

本論文では、粘土質地盤に製作した実大羽根付き鋼管杭（杭直径267.4㎜、鋼管厚さ9.3㎜）の正負交番繰返し水平載荷実験と解析的検討を行い、羽根付き鋼管杭の水平抵抗特性を実証データに基づき解明することを目的にしている。水平載荷実験から羽根付き鋼管杭の水平抵抗は羽根なし鋼管杭に比べて小さくなることを示し、杭施工時の回転貫入によって生じる羽根の最大回転直径内にある周辺地盤の緩みが水平抵抗に影響を及ぼすことを明らかにしている。また、羽根付き鋼管杭の杭頭周辺地盤を早強コンクリートで置換改良することで、水平抵抗は羽根なし鋼管杭と同等以上に回復することを示している。さらに、三次元非線形有限要素法を用いた解析的検討を行い、杭周地盤の緩み領域のモデル化と水平抵抗に及ぼす影響を分析するとともに、杭頭周辺地盤を改良した羽根付き鋼管杭の水平抵抗機構を明らかにしている。本論文は以下の6章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的について述べ、既往研究に対する本研究の位置付けを明確にしている。

第2章では、羽根の有無、羽根径比（杭直径に対する羽根の等価円直径の比）、施工後約1年経過した経時変化を実験パラメータとした羽根付き鋼管単杭の水平載荷実験を行い、杭頭での水平抵抗特性と杭周の水平地盤抵抗の変位依存性および杭の曲げモーメントの発生状況の分析から、羽根付き鋼管杭の水平抵抗は羽根による杭周地盤の緩みが大きく影響すること、羽根径比と経時変化の影響は小さいことを示している。また、羽根付き鋼管杭の杭周地盤抵抗の履歴曲線は羽根なし鋼管杭に比べ割線剛性が大幅に低下し、地盤深さと土質の影響を受けることを示し、羽根付き鋼管杭の基本的な水平抵抗特性を明らかにしている。

第3章では、杭頭の回転拘束条件を半固定とした単杭および群杭（2本直列配置、杭間距離は杭直径の3.7倍）の水平載荷実験を、羽根の有無の条件で行っている。同一変位振幅における杭頭荷重は羽根付き鋼管杭では単杭と群杭でほぼ同等となり、杭の曲げモーメントも単杭と同様の分布形状になることを示し、羽根付き鋼管杭では群杭効果が緩和されることを示している。また、羽根の有無の違いにより杭周地盤抵抗に違いが生ずることを明らかにしている。大変形時における地表面に出現する地盤のひび割れは概ね羽根の通過領域内に留まっていることからも、羽根付き鋼管群杭の水平抵抗は杭周地盤の緩み領域の反力が支配的であることを明らかにしている。

第4章では、羽根付き鋼管杭の杭頭周辺地盤を早強コンクリートで置換改良した単杭の水平載荷実験を、改良範囲と改良深さを実験パラメータとして行っている。杭頭における水平抵抗は、改良範囲が羽根の緩み領域内にある場合では補強効果が小さいのに対して、改良範囲を羽根の最大回転直径より大きくし、かつ改良深さを少なくとも杭直径程度とした場合には、大変位振幅域においても羽根なし鋼管杭と同等かそれ以上にまで増大することを示している。一方、改良深さが深くなると杭の水平抵抗は大きくなるが、改良体による杭の変形拘束が大きくなることで改良体底面付近で局所的に杭の曲げモーメントが大きくなることを示している。

第5章では、三次元非線形有限要素法を用いて杭周地盤の緩みを検討するとともに、杭頭改良体の抵抗機構について分析している。その結果、杭周の緩み地盤の領域を羽根の最大直径としてモデル化し、その地盤の剛性と強度を深さと土質に応じて低減させることで、羽根付き鋼管杭の水平抵抗特性を良好にシミュレートできることを示している。

また、杭頭の改良体をモデル化した解析では、改良体とその周辺地盤の接触条件として底面に密着条件、側面に剥離・滑り条件をモデル化することで改良効果を良好にシミュレートできることを示し、改良体前面の受働抵抗と改良体底面での支圧抵抗が羽根付き鋼管杭の水平抵抗を増大させることを解析的に明らかにしている。

第 6 章では、本研究で得られた成果を総括するとともに、今後の課題を示し本論文の結論としている。

以上のように、本論文は実大羽根付き鋼管杭の正負交番繰返し水平載荷実験を行い、実証データから羽根付き鋼管杭の水平抵抗特性を明らかにするとともに、解析的にも杭周の緩み領域が水平抵抗に及ぼす影響を明らかにしている。さらに、羽根付き鋼管杭の補強方法として杭頭周辺地盤を置換改良することの有効性を示し、羽根付き鋼管杭を用いた杭基礎の耐震性を高める研究として学術的に新規性があるとともに、社会的にも有用性が高い研究と評価できる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。