

論文の内容の要旨

論文題目「埋込み杭根固め部固化体の繊維混入による品質改善と
比抵抗による杭の孔壁調査手法に関する研究」

学位申請者 新名 正英

キーワード：埋込み杭 根固め部 高靱性繊維補強セメントミルク 比抵抗 ソイルセメント

既製コンクリート杭工法は、1960年代後半の騒音規制法の改正により、それまで多く用いられていた打込み杭工法から、杭先端付近に根固め部と呼ばれるセメントミルク固化体を築造する埋込み杭工法へと変遷してきた。近年においては、従来工法よりも杭先端付近の鉛直支持力を飛躍的に増加させた高支持力杭工法が開発され、既製コンクリート杭自体の高強度化も併せて進んでいる。しかしながら、高支持力化が進む一方で、施工機械や使用材料については、従来工法から大きく変化していない。根固め部においても、特別に補強されている訳ではないため、根固め部内の不均一になっている部分から局所的なひび割れが発生した場合、脆性的な破壊モードに直結することが懸念される。また、近年の高支持力化により、杭基礎は、経済性を重視した柱1本に対して杭1本で支持する1柱/1本方式が採用されることが多くなっており、これらのリスクはさらに高まっているといえる。このように、根固め部の材料の均一性や強度的なバラツキを生じさせることなく所定の要求性能を確保することは極めて重要ではあるが、根固め部に用いる材料自体に着目し、材料の均一性や性能を改善するような補強を施すことで支持力向上を図るような研究はほとんどなされていない。

一方、強度および形状管理においても、従来手法が踏襲されることが多く、置き去りにされてきた感は免れない。その理由として、手順通りに築造された埋込み杭の先端部の根固め固化体が、想定通りの均質な状態で築造されているものとして疑いを持たなかったことが考えられる。強度管理にしても、ミキシングプラントで練り混ぜられたセメントミルクを直接プラントから採取し、作製した供試体の強度確認をすることのみに留まっていた。しかし、近年、根固め液への土砂混入が無視できないこともあって、それを配慮した強度の予測法も研究され始めてきた。これは、拡大機構を有する掘削翼が開発され、大きな根固め球根の築造が可能となり、それに伴い、埋込み杭の高支持力化による根固め部の強度管理に対する重要性への認識が高まってきたからである。しかしながら、根固め部の形状管理については、掘削装置の寸法測定や開閉翼状態の確認に留まっている。近年においては、根固め部の形状をある程度把握する技術が提案されつつあるが、いずれも施工終了後にしか実施できないことから採用される事例は少なく、現状では施工時に形状管理を行う術はない。

高支持力杭工法は、根固め部の掘削断面積を2倍程度に拡大することで杭の鉛直支持力を飛躍的に向上させるものであるが、根固め部を構成する材料の不均一性、強度の大幅なバラツキおよび形状の不具合が生じ根固め部の破壊が生じると、従来工法相当まで支持力低下を生じる危険性があり、支持杭を設計する上では、想定した支持地盤が破壊する以前に根固め部の破壊はあってはならない。したがって、高支持力化へ移行した現在の既製コンクリート杭工法においては、根固め部の均一性、強度および形状を設計通りに確保する補強方法や管理手法に関して、根固め部を破壊させることなく支持力を向上させるような、従来手法から脱

却した技術開発が望まれている。

このような背景から、本研究では、コンクリート分野において実績のある繊維混入の手法を根固め部に適用することで、根固め部を材料分離させることなく繊維の分散性を確保した上で靱性を付与し、支持力向上による根固め部の品質改善を行うことを検討した。それに加え、本研究は、物理探査手法の一種である比抵抗探査に着目し、杭の施工中に根固め部の孔壁位置を調査する手法を構築することで、リアルタイムの根固め形状管理を可能とすることを試みるものである。

本論文は全5章で構成されている。

第1章では、本研究の背景、研究の目的および本論文の構成を示した。

第2章では、既製コンクリート杭工法における根固め部の性能や強度および形状管理手法の現状について整理を行った。その結果、現状のセメントミルクにより築造された根固め部は材料分離が懸念されることおよび支持力向上には根固め部の寸法を大きくすることや杭の先端形状を変化させることが用いられており、根固め部の構成材料には改良や補強は行われていないことを示した。また、強度および形状管理手法については、施工後にしか実施できない管理手法が大部分であり、特に形状管理については施工時に管理する手法は全く確立されていないことを示した。これらの既製コンクリート杭工法における課題を抽出することにより、本研究の位置付けを明確にした。

第3章では、根固め部の品質改善のため、従来のセメントミルクを繊維補強した高靱性繊維補強セメントミルクの材料開発に関する検討を行った。セメントミルクに混入する繊維はPVA繊維と鋼繊維の2種類とし、これらの繊維を組み合わせ使用した調合の検討と作業性の検証を行った。試し練り試験およびモルタルフロー試験により、 $W/C=50\sim 70\%$ の範囲内においては、分離低減剤添加率をセメント質量の2~4%の範囲で調整することにより、セメントペーストと繊維の分離が生じない調合が可能となることを見出し、ポンプ圧送試験において、現場適用可能なレベルの調合であることを実証した。また、根固め部に適用した際の補強効果の検証のため、根固め部のモデル試験を行い、従来のセメントミルクにより築造された根固め部に比べ、高靱性繊維補強セメントミルクにより築造された根固め部は、飛躍的な支持力向上および靱性改善効果が得られることを明らかにした。これらにより、現行の設備を用いて十分に施工可能な作業性を有した調合において、現状よりも飛躍的に支持力を向上させることが可能であることおよび現状の支持力を有した根固め部寸法を小型化できることで、杭施工を容易にすることが可能となることを新たに示した。

第4章では、根固め部形状管理手法として、従来の事後確認ではなく、物理探査手法の一種である比抵抗探査法を利用した形状管理手法の構築を行った。3ケースの模型実験にて、電極間隔と測定精度に関連性があること、電極の貫入深さと比抵抗の変化から抵抗値の異なる物同士の境界位置を評価することができること、および電極が孔壁にほぼ接触に近い状態になると比抵抗が大きく変化し、接触すると更に比抵抗が大きく変化することを確認し、杭施工時の掘削孔内において本手法が活用可能であることを実証した。これらの結果をもとに、原位置において、杭施工に用いられる施工機械に比抵抗測定の仕組みを組み込み、掘削孔内の土砂とセメントミルクを混合攪拌する通常施工を行った後に、ソイルセメントと孔壁の境界位置付近においても比抵抗が大きく増加することを明らかにした。これにより、現行の施工設備に本手法の仕組みを組み込むことが可能であることを示したと共に、掘削装置の寸法測定や開閉翼状態の確認や施工終了後の寸法計測に留まっていた根固め部の形状管理が、本手

法を用いることによりリアルタイムで管理可能となる可能性が高いことを新たに実証した。

第5章は結論であり、各章で得られた知見をまとめた。

以上のように、本研究は、従来から改良や補強が施されていなかったセメントミルクに繊維を混入にすることにより、根固め部に材料の均一性、ひび割れ抵抗性および破壊靱性を改善すると共に、リアルタイムで根固め部形状を管理することで想定通りの根固め部形状を確保することを可能とするものであり、今後の高支持力杭工法の安全性向上に大きく貢献できるものである。