

スカート・サクシヨン基礎の貫入抵抗および貫入後の 沈下予測手法に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、海洋構造物の建設においては、構造物の大型化、建設地点の大水深化、構造物の高耐震化など、これまで以上の苛酷な条件下でのインフラ整備を余儀なくされている。その一方で、建設コストの縮減や自然生態系への配慮などの社会的要求は従来にも増して高まっており、これらの要請に応えるため各機関では、海洋構造物基礎の技術開発が盛んに行われている。その一つとして現在注目されているのが、サクシヨンを用いた新しい基礎形式「スカート・サクシヨン基礎」である。

スカート・サクシヨン基礎は、下部が開口した中空円筒形構造で、この円筒部（スカートと呼ぶ）を海底面に貫入させることにより安定を保つ基礎構造である。スカート・サクシヨン基礎の最大の特徴は、振動や打撃などの押込み力を用いずに、スカート内部の圧力を静水圧以下に低下させ、これによって発生する基礎内外の水圧差（ここでは静水圧からの水圧低下量をサクシヨンと呼ぶ）を利用して海底地盤にスカートを貫入させることである。このスカート・サクシヨン基礎は、重力式ケーソンなどの海洋構造物基礎に必要な基礎マウンドや地盤改良が不要となるという利点を持ち、海上作業が低減することにより、工期の短縮、コストの縮減に寄与できるとともに、海洋環境に与える影響も最小限にすることができる。

本論文では、このスカート・サクシヨン基礎に関する研究項目のうち、①基礎沈設時のスカート貫入抵抗、②基礎貫入後の沈下予測手法、の2つの項目を研究対象としている。

基礎沈設時のスカート貫入抵抗に関する研究では、スカート貫入抵抗予測式の提案とその検証を行った。スカート貫入抵抗予測式には、これまでサクシヨンによる有効応力の減少を貫入抵抗の低減に定量的に反映させた支持力公式を用いた手法が提案されている。このサクシヨンによって生ずる地盤内の有効応力の減少は、地盤の透水性や層序の違いによってそのメカニズムは異なってくるが、これまでのこうした地盤種別の違いによる有効応力の減少メカニズムを反映した貫入抵抗式は必ずしも明らかにされてはいなかった。そこで本研究では、スカートが貫入する地盤種別毎にサクシヨンによる地盤内の有効応力の変化を明らかにし、多様な地盤構成に適応したスカートの貫入抵抗予測式を提案した。さらにこれら新しく提案した予測式を、屋外模型実験および実海域における実証工事における実測値と比較することによりその妥当性を検証した。

基礎完成後を対象とした研究では、基礎の沈下・支持力問題に着目した研究を行った。スカート・サクシヨン基礎は、海洋構造物の基礎として用いられる基礎構造であるが、この基礎を海峡横断道路や海上橋梁などの基礎に用いることを想定した場合、これまで用いられてきた油田採取プラットフォームなどの単独構造物や護岸あるいは防波堤などに適用した場合に比べ、長期的な沈下量に対する要求性能は厳しくなると考えられる。近年各機関において整備が進められている性能照査型設計法では、

使用限界状態においては支持力ではなく沈下量で照査することが求められ、長期鉛直荷重によって生じる沈下を精度よく予測する手法を確立することが非常に重要となってくる。そこで、本研究では、スカート・サクシヨン基礎の貫入時に作用させるサクシヨン力は、貫入終了とともに除荷されるため完成後の荷重載荷時にはプレロードとなっていることに着目し、この「プレロード効果」を加味した貫入後沈下量の予測手法に関する研究を行った。また、粘土地盤においてスカートを貫入した際には、スカート貫入時の乱れによって原地盤のせん断強度よりも低減したスカート周面抵抗が、貫入後には時間とともに回復する現象に着目し、スカート周面抵抗の増加程度と経過時間の関係に関する研究を行った。

本論文の構成と内容を以下に示す。

第1章では、研究の背景とスカート・サクシヨン基礎に関する既往研究について述べるとともに、本研究の目的を明らかにした。

第2章では、スカート貫入抵抗の予測式をスカートが貫入する地盤種別毎（1）砂地盤、2）粘土地盤、3）上部粘土層・下部砂層の二層地盤）に提案し、それぞれの地盤種別において地盤破壊から決まる限界サクシヨンの算定式について明らかにした。また、サクシヨンによってスカート先端の有効応力がアンバランスとなった際の貫入抵抗に関して、支持力係数を補正して算定する新たな方法を提案した。

第3章では、屋外模型実験および実海域で行われた実証工事におけるスカート貫入抵抗の実測値と提案した予測式による計算値の比較を行った。屋外模型実験との比較では、局所せん断破壊を考慮した ϕ の低減や平均粒径 D_{50} /スカート幅による補正など、砂地盤において貫入抵抗予測式を実務に適用する上での留意点について明らかにした。実海域の実証工事との比較では、上部粘土層・下部砂層の二層地盤における貫入抵抗に及ぼすサクシヨン効果を明らかにするとともに、提案したスカート貫入抵抗予測式の妥当性を明らかにした。

第4章では、サクシヨンによる「プレロード効果」を加味した貫入後沈下量の予測手法に関する研究について述べた。貫入から貫入後の沈下挙動までの一連の施工過程を模擬した遠心模型実験により、サクシヨン力で貫入した場合においても貫入荷重以内での沈下量が小さくなる「プレロード効果」を検証した。さらにこの遠心模型実験結果を、地盤の応力-ひずみ関係に弾塑性モデルを適用したFEM解析によりシミュレーションすることにより、貫入時の荷重履歴を考慮することで「プレロード効果」が表現可能であることを明らかにした。さらにこの研究適用例として、橋梁基礎にスカート・サクシヨン基礎を用いた場合の長期沈下予測解析事例を示した。

第5章では、粘土地盤にスカートを貫入した際のスカート周面抵抗の増加程度と経過時間の関係に関する研究について述べた。3種類の模型実験（小型模型実験、遠心模型実験、屋外大型模型実験）を行って、粘土地盤に沈設されたスカート・サクシヨン基礎の周面抵抗の増加程度と貫入からの経過時間の関係を明らかにした。さらにこの研究適用例として、基礎貫入後に作用する上部構造荷重によって基礎が過大な沈下を起こさないための適切な上部工架設時期の検討事例について示した。

第6章は、本研究の結論であり、得られた知見と今後の展望と課題について述べた。

学位論文審査の要旨

主査	教授	三田地利之
副査	教授	石島洋二
副査	教授	三浦清一
副査	特任教授	赤川敏
副査	助教授	田中洋行

学位論文題名

スカート・サクシヨン基礎の貫入抵抗および貫入後の 沈下予測手法に関する研究

近年の構造物の大型化，建設地点の大水深化，さらに高耐震化などの要求の高まりにより，これまで以上に苛酷な条件下での海洋基盤施設の整備を余儀なくされている．その一方で，建設コストの縮減や自然生態系への配慮などの社会的要求は従来にも増して高まっており，これらの要請に応えるための海洋構造物基礎技術の一つとして「スカート・サクシヨン基礎」と呼ばれる新しい基礎形式が注目されている．

スカート・サクシヨン基礎は，下部が開口した中空円筒形構造で，スカートと呼ばれる円筒の内空部の圧力を静水圧以下に低下させ，基礎内外の水圧差（静水圧からの水圧低下量をサクシヨンと呼んでいる）を利用して海底地盤にスカートを貫入させることによって安定を保つところに特徴がある．この基礎形式の場合，重力式ケーソンなどの海洋構造物基礎に必要な基礎マウンドや地盤改良が不要であり，工期の短縮，コストの縮減に寄与できるとともに，海洋環境に与える影響も最小限に抑えることができる．

スカート貫入抵抗の予測方法としては，これまでサクシヨンによる地盤内有効応力の減少を反映させた支持力公式を用いる手法が提案されている．しかし，地盤の透水性や層序の違いによる有効応力の減少メカニズムの違いを反映したものとはなっていない．また，この基礎を海峡横断道路や海上橋梁などの基礎に用いることを想定した場合，これまで用いられてきた油田採取プラットフォームなどの単独構造物や護岸あるいは防波堤などに適用した場合に比べ，長期鉛直荷重によって生じる沈下を精度よく予測する手法の確立がきわめて重要になる．

以上のような背景から，本論文では，このスカート・サクシヨン基礎に関する研究課題のうち，①基礎沈設時のスカート貫入抵抗の算定法，②基礎貫入後の沈下予測手法，の2つの課題を研究対象としている．

すなわち、本論文ではスカートが貫入する地盤種別毎にサクシヨンによる地盤内有効応力の変化を明らかにするとともに、多様な地盤構成に適應したスカートの貫入抵抗予測式を提案し、屋外模型実験および実海域での実証工事における実測値と比較することによりその妥当性を検証している。また、貫入時に作用させるサクシヨン力は、貫入終了とともに除荷されるため完成後の荷重載荷時にはプレロードとなっていることに着目し、この「プレロード効果」を加味した貫入後沈下量の予測手法を提案している。さらに、粘土地盤にスカートを貫入した場合、貫入時の乱れによって低減したスカート周面抵抗が、貫入後には時間とともに回復する現象に着目し、スカート周面抵抗の増加程度と経過時間の関係を見出しており、6章から構成されている。

第1章では、研究の背景と既往研究について述べ、本研究の目的を明らかにしている。

第2章では、対象地盤種別毎にスカート貫入抵抗の予測式を提案するとともに、サクシヨンによってスカート先端の有効応力がアンバランスとなった際の貫入抵抗に関して、支持力係数を補正して算定する新たな方法を提案した。

第3章では、屋外模型実験および実海域での実証工事におけるスカート貫入抵抗の実測値と提案式による計算値の比較を行った。屋外模型実験との比較では、貫入抵抗予測式を砂地盤に適用する際の実務上の留意点について明らかにした。実証工事との比較では、上部粘土層・下部砂層の二層地盤における貫入抵抗に及ぼすサクシヨン効果を明らかにするとともに、提案したスカート貫入抵抗予測式の妥当性を明らかにした。

第4章では、「プレロード効果」を加味した貫入後沈下量の予測手法に関する研究について述べている。すなわち、スカート貫入から貫入後の沈下挙動までの一連の施工過程を模擬した遠心模型実験により、貫入荷重以内での載荷重による沈下量が小さくなる「プレロード効果」を検証した。さらにこの実験結果を、地盤の弾塑性モデルに基づくFEM解析に反映させ、貫入時の荷重履歴を考慮することで「プレロード効果」が表現可能であることを明らかにするとともに、橋梁基礎にスカート・サクシヨン基礎を用いた場合の長期沈下予測解析事例を示した。

第5章では、3種類の模型実験（小型模型、遠心模型、屋外大型模型実験）を行って、粘土地盤に沈設されたスカート・サクシヨン基礎の周面抵抗の増加程度と貫入からの経過時間の関係を明らかにした。さらに貫入後に作用する上部構造荷重によって基礎が過大な沈下を起こさないための適切な上部工架設時期の検討事例について示した。

第6章は本研究の結論であり、得られた知見を要約し今後の展望と課題を述べている。

これを要するに著者は、多様な地盤構成に適應したスカートの貫入抵抗予測式および貫入後の沈下量の予測手法を提案し、各種模型実験および実海域での実証工事における実測値と比較することによりその妥当性を検証しており、地盤工学の発展に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。