

サクシヨン基礎構造物の技術開発に関する取り組み

Approach to the technical development for the suction foundation

後藤克史*・善功企**・山崎浩之***・白石修章****

GOTO, Katsushi, ZEN, Kouki, YAMAZAKI, Hiroyuki and SHIRAISHI, Nobuaki

* (財) 沿岸開発技術研究センター 調査部 主任研究員

** 九州大学 大学院 工学研究院 建設デザイン部門 教授

*** (独) 港湾空港技術研究所 地盤・構造部 動土質研究室 室長

**** (財) 沿岸開発技術研究センター 調査部 第二調査部長

Design considerations and model tests were carried out in order to systemize the basic philosophy for design and construction of structures using suction foundation. The aims of model tests were as follows:

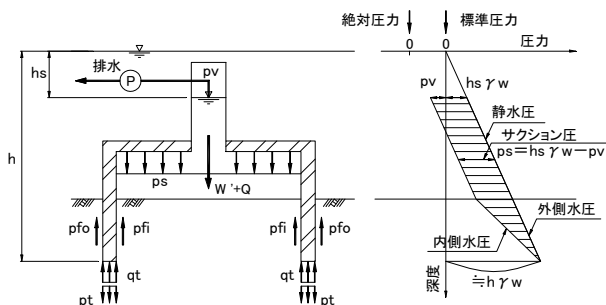
- 1) To research influences on installation of suction foundations due to differences in its shape and soil conditions
- 2) To research the stability of suction foundations after completion
- 3) To research the stability of suction foundations against earthquake and wave force

This report presents the results concerning the model tests to research influences on installation of suction foundations.

Key Words : suction foundation, drainage, harbor structure

1. はじめに

サクシヨン基礎は、図-1 に示すような底部が開口している茶筒状の基礎を海底面に着底させ、基礎内の水を強制排水することによって発生する基礎内外の水圧差を押し込み力として利用し、基礎本体を海底地盤中に根入れ(沈設)させる基礎である。この場合、基礎本体が海底地盤に根入れされることから、外力に対する抵抗力が大きくなり、軟弱な海底地盤においても地盤改良の省略が期待され、工期短縮が図られるなど優れた特徴を有しており、今後の港湾整備事業に活用が期待される技術の一つである。



ここに、
 ps : サクシヨン圧
 hs : 基礎内外の水位差
 γ_w : 水の単位体積重量
 pv : 負の大気圧
 pfi, pfo : 基礎内外の周面抵抗
 pt : 側壁先端のサクシヨン圧
 qt : 側壁の先端抵抗
 W' : 基礎の有効重量
 Q : 上載荷重

図-1 サクシヨン基礎に作用する力

サクシヨン基礎を活用した構造物としては、1960年に

神戸港の防波堤に適用された事例が報告され、その後、北海における石油掘削用プラットフォームの基礎として海外での適用例は報告されているが、国内での適用はしばらくなかった。そのような中、平成9年度より国土交通省北陸地方整備局(当時:運輸省第一港湾建設局)では、「大型港湾施設の建設費縮減」を図るべく新たな技術開発としてサクシヨン基礎構造物の開発に取り組み、現地実証試験を踏まえ、この度、「サクシヨン基礎構造物設計・施工マニュアル(案)¹⁾」をまとめるに至った。サクシヨン基礎の設計面・施工面について初めて体系的にとりまとめられた技術指導書として、その意義は大きい。一方、平成12年度に(財)沿岸開発技術研究センターを事務局とした「サクシヨン基礎を活用した構造物に関する共同研究」を立ち上げ、防波堤や岸壁・護岸などの港湾構造物に限らず、橋梁基礎などへの適用性を検討すると共に、技術的課題の解決に向けて実験的検討を行った²⁾。

本稿では、はじめにサクシヨン基礎を考える際に必要な基本事項を紹介し、今回の実験的検討により得られた成果の一部(沈設に関する事項)を報告する。

2. サクシヨン基礎における基本事項

前述のとおり、強制排水によってサクシヨン基礎内では負圧が生ずる。当然ながら、基礎内の地盤にも負圧が作用し、結果として上向き浸透流が発生する。この時、過剰に負圧をかけると基礎内地盤がボイリングやヒーピングなどを起こすおそれがあり、結果として基礎を地盤

内に根入れすることができなくなる場合もある。すなわち、基礎を根入れさせるためには、基礎の先端抵抗および周面抵抗より大きな押込力を確保しつつ基礎内の地盤が破壊しないようにサクシヨン圧を管理する必要がある。

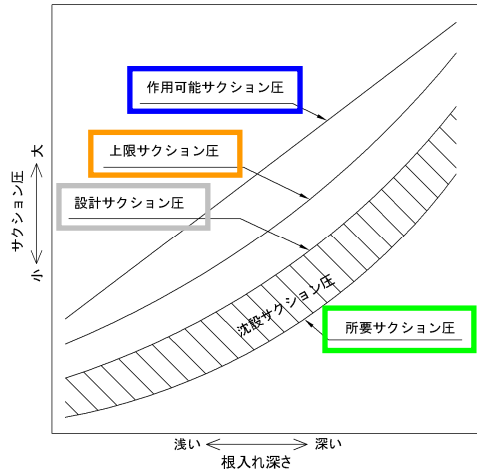


図-2 各サクシヨン圧の関係¹⁾

図-2は、検討に際して必要となる各サクシヨン圧の関係を概念的に示したものである。図中、所要サクシヨン圧は、地盤の抵抗に対して押込みに必要なサクシヨン圧である。設計サクシヨン圧は、所要サクシヨン圧に沈設時の不確実性を考慮して余裕を見込んだサクシヨン圧である。上限サクシヨン圧は、基礎内の地盤が盤膨れ、ヒービングおよびボイリング等による破壊を起こさない最大のサクシヨン圧である。作用可能サクシヨン圧は、施工上作用させ得る最大のサクシヨン圧で、海水面から基礎床版までの水頭差に相当するサクシヨン圧である。したがって、実際に基礎内で発生するサクシヨン圧（沈設サクシヨン圧）は、所要サクシヨン圧から設計サクシヨン圧までの範囲にて管理することとなる。なお、地盤条件によっては上限サクシヨン圧が作用可能サクシヨン圧を上回ることもあるが、その場合はブロックなど上載荷重を負荷することによって必要な押込力を確保することができる。

3. 共同研究における沈設実験の概要

沈設実験においては主に以下の点に着目した。

- ①円形基礎と矩形基礎の違いによる影響
- ②基礎先端の刃先形状による影響
- ③隣接函がある場合の影響
- ④サクシヨン基礎内に隔壁を設けた場合の影響
- ⑤地盤条件の違いによる影響

これらの実験は、(独)港湾空港技術研究所における小型土槽(1m×1m)および大規模波動地盤水路(水路幅3.5m)を用いて実施した。以下、前者を小型模型実験、後者を大型模型実験とする。実験ケースの概要を表-1に示す。

表-1 実験ケース

種別	サクシヨン基礎				地盤	
	形状	刃先	隣接函	隔壁		
小型模型実験	A	円形	あり なし	単独函	なし	砂地盤
	B	矩形	なし	単独函	なし	砂地盤
	C	円形	なし	単独函 壁面近傍	なし	砂地盤
	D	円形	なし	単独函	あり	砂地盤
	E	円形	なし	単独函	なし	粘土地盤 互層地盤
大型模型実験		円形	あり なし	単独函 隣接函	なし	砂地盤

小型模型実験および大型模型実験の概念図をそれぞれ図-3および図-4に示す。

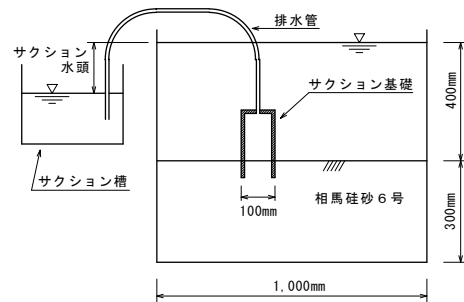


図-3 小型模型実験の概念図

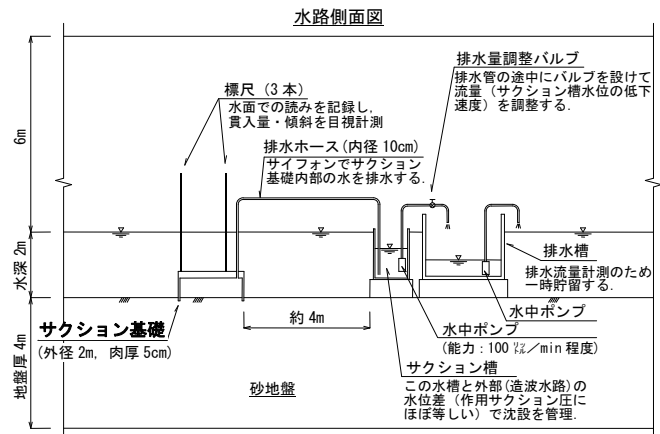


図-4 大型模型実験の概念図

これらの実験ならびに解析検討によって得られた主な成果を以下に示す。なお、紙面の都合によりここではサクシヨン基礎形状の違いによる沈設への影響、基礎先端部における刃先形状の違いによる沈設への影響ならびに隣接函がある場合における沈設への影響について報告する。

(1) 円形基礎と矩形基礎の違いによる影響

小型模型実験により、円形基礎(外径10cm, 肉厚5mm)と矩形基礎(10cm×10cm, 肉厚5mm)について基礎沈設時のサクシヨン圧を計測したところ、基礎重量が軽い場合($W'=9N$)、同じ地盤条件(砂地盤, 相対密度84%, 内部摩擦角約 38°)下で矩形基礎の方が円形基礎より大きなサクシヨン圧を要する傾向が認められた(図-5(1)参

照).

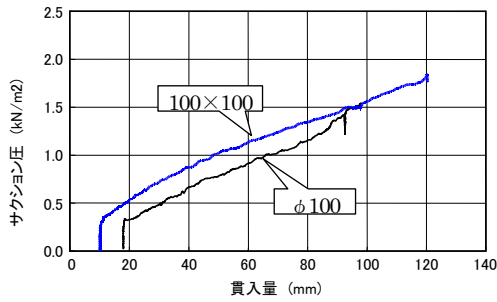


図-5(1) 貫入量とサクシヨン圧の関係 ($W'=9N$)

一方、基礎重量を約3倍とした場合、円形基礎と矩形基礎では前記に見られるサクシヨン圧の差はなかった(図-5(2)参照)。

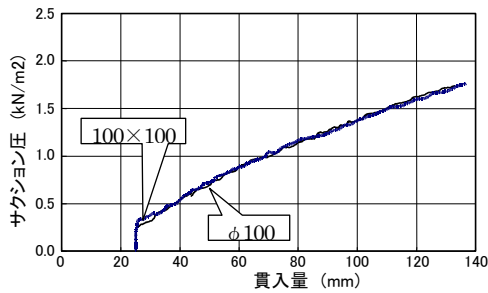


図-5(2) 貫入量とサクシヨン圧の関係 ($W'=28N$)

上記のことから、矩形基礎の場合は円形基礎に比して基礎重量の影響を受けやすいことが推察される。

また、円形基礎に対して矩形基礎の場合は、水ミチが発生し易いという傾向が認められた³⁾。図-6に発生箇所の模式図を示す。

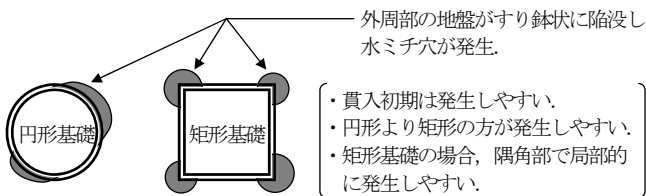


図-6 水ミチ穴発生箇所の模式図

この水ミチ穴発生に関連して行った3次元浸透流解析の結果を図-7(1)~図-7(3)に示す。

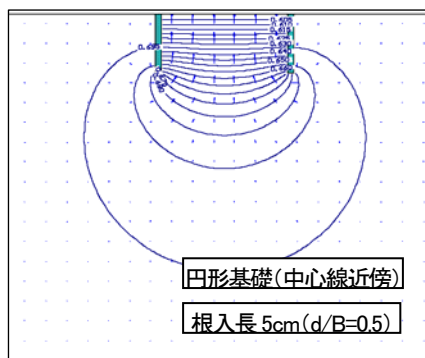


図-7(1) 円形基礎の等ポテンシャル線

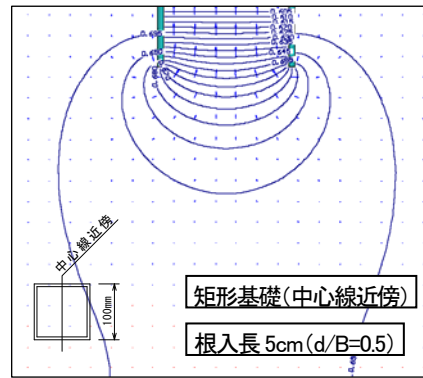


図-7(2) 矩形基礎中心線近傍の等ポテンシャル線

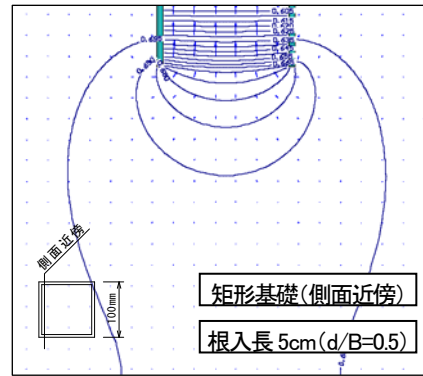


図-7(3) 矩形基礎側面近傍の等ポテンシャル線

上図より、矩形基礎内部の隅角部においては等ポテンシャル線が密になっており、動水勾配が中心線近傍より大きく水ミチの発生しやすい状態になっていることが分かる。したがって、矩形基礎の沈設にあたっては、上載荷重をかけるなど、押込力に要するサクシヨン圧の負担を軽減する配慮が必要と考えられる。

(2) 基礎先端の刃先形状による影響

小型模型実験により、円形基礎(外径10cm, 肉厚10mm)を用いて、刃先がない場合と刃先が内向きと外向きのそれぞれの場合について、沈設実験を行った。

刃先が内向きの場合および外向きの場合のサクシヨン圧と貫入量の関係の比較を図-8(1)および図-8(2)に示す。

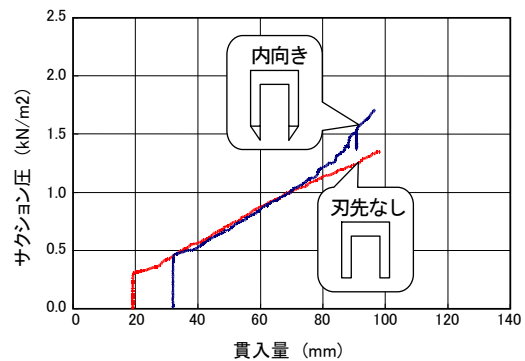


図-8(1) 内向き刃先と刃先なしの比較

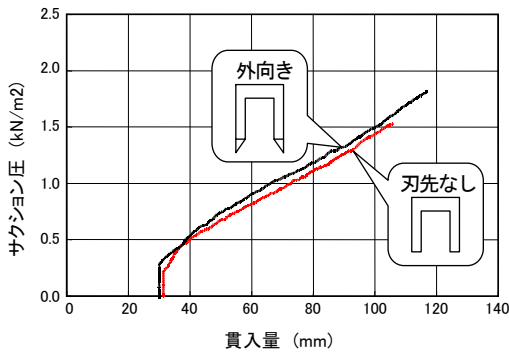


図-8(2) 外向き刃先と刃先なしの比較

刃先が内向きの場合、自沈量は大きいものの水ミチが発生しやすいという傾向が認められた。また、根入れ比(=貫入量/基礎径)で0.5~0.6程度から貫入に要するサクシヨン圧が急増しており、沈設時における浸透流の向きと刃先形状ともなう排土方向が逆になっていることが要因の一つとして考えられる。なお、小型模型実験においては基礎側壁が厚く、刃先を設けることによる沈設のしやすさを評価するには至らなかったが、大型模型実験においては刃先を設けることによって沈設がスムーズになったことを確認している⁴⁾。

(3) 隣接函がある場合の影響⁴⁾

図-9に隣接函を配置した平面図を示す。

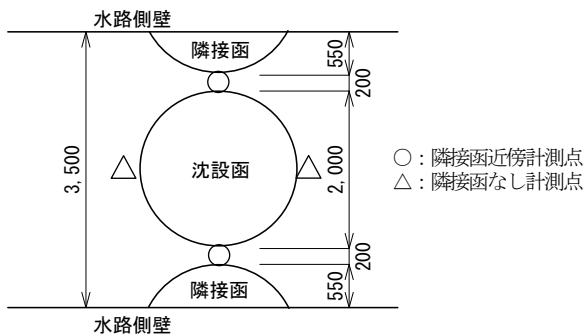


図-9 実験平面図

大型模型実験において、貫入量50cm付近の基礎外部側面土圧を計測したところ、隣接函近傍では隣接函から離れた部位よりも大きな側面土圧が作用していた。

測定結果を図-10に示す。なお、図中の破線は、浸透流の影響を考慮して算定した側面土圧である。

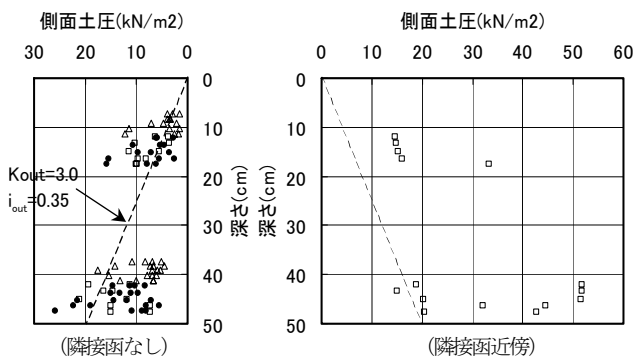


図-10 貫入量約50cm時の基礎側面の土圧(有効応力)

また、基礎先端の地盤支持力も同様に隣接函近傍で大きくなる傾向が認められたが、現象としては隣接函近傍に限られ、基礎全体としての影響は小さいと考える。

4. 今後の課題

今回の沈設実験において残された主な課題としては以下の事項が挙げられる。

- ① 矩形基礎における隣接函の影響
- ② 矩形基礎における粘土地盤への沈設実験

これらの他、実際の施工時にあたっては様々な課題が発生することも予想され、今後の実績・知見の蓄積が重要であるとする。

5. おわりに

今回の共同研究によって基礎形状や刃先の有無等が沈設時に与える影響についていくつかの知見を得ることができた。その他、完成時の安定性、耐波安定性ならびに耐震安定性についても貴重なデータが得られている。なお、今年度、サクシヨン基礎について技術マニュアルの作成を予定しており、共同研究で得られた知見を適宜盛り込む所存である。

本共同研究は、(独)港湾空港技術研究所、九州大学、(財)沿岸開発技術研究センターおよび民間企業20社にて構成し、平成12年度より2年間にわたって実施した。

最後に、本共同研究の実施にあたり貴重な資料をご提供いただいた国土交通省北陸地方整備局新潟港湾技術調査事務所のご厚意に心より感謝申し上げます。また、模型実験・解析検討など本研究の活動に当たってご尽力いただいた関係各位に末筆ながら謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省北陸地方整備局：サクシヨン基礎構造物設計・施工マニュアル(案)、国土交通省北陸地方整備局新潟港湾空港技術調査事務所、223p.、2001.
- 2) 山崎浩之・善功企・後藤克史：サクシヨン基礎を活用した構造物に関する共同研究、土と基礎、Vol. 50, No. 4, pp. 28~30, 2002.
- 3) 矢澤岳・山崎浩之・森川嘉之、小池二三勝：サクシヨン基礎の沈設に関する断面形状の影響、土木学会第56回年次学術講演会概要集、第III部門(A)、pp. 442~443, 2001.
- 4) 矢澤岳・山崎浩之・森川嘉之、小池二三勝：サクシヨン基礎の沈設に関する大型模型実験、第37回地盤工学研究発表会平成14年度発表講演集、pp. 1347~1348, 2002.