

偏心傾斜荷重に対する サクション基礎の支持力実験

THE MODEL TEST OF BEARING CAPACITY

UNDER ECCENTRIC INCLINED LOAD OF THE SUCTION FOUNDATION

小川健太郎¹・善功企²・陳光齊³

笠間清伸⁴・平松浩三⁵

Kentaro OGAWA, Kouki ZEN, Guangqi CHEN

Kiyonobu KASAMA, Kouzou HIRAMATSU

¹学生会員 九州大学大学院 工学府 建設システム工学専攻

²フェロー会員 九州大学大学院工学研究院 教授

³正会員 九州大学大学院工学研究院 助教授

⁴正会員 九州大学大学院工学研究院 助手

⁵正会員 九州大学大学院工学研究院 助手

(〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1工学研究院共同研究棟2階防災地盤工学研究室)

Suction foundation is a new type of foundation for offshore construction. It's shaped like a tea caddy. It is penetrated by difference of water-pressure between inside and outside. Using suction foundation is useful for working term and constructing cost.

Bearing capacity formula of suction foundation has been solved. But currently, it is a formula when the load is put on the center point. This study pays attention to the fact that it's quite probable that during the constructions loads can be put on the eccentric point. This study aims to solve the mechanism of ground movement when the load was put on eccentric point.

Finally, the motion and the generating situation of the slide line on the model ground are observed.

Key Words : Suction, Foundation, Eccentric load, Inclined load, Model test

1. はじめに

サクション基礎¹⁾とは、中空円筒状のケーソンを逆さまにして海底地盤上に設置し、基礎内部からの強制排水によって発生する、基礎内外の圧力差（サクション）を押込力として利用し、ケーソン等を海底地盤中へ根入れするものである。サクション基礎は地盤中に直接根入れされるため、転倒・滑動に対して高い安定性を発揮することから、波力などの大きな水平力が作用する構造物への適用性が高いと考えられ、新型の海洋構造物の基礎として注目されている。しかし、現在まで実際に施工されたサクション基礎の事例は少なく、その支持力特性については解明されていない点が多いのが現状である。

我々の研究グループでは、これまでサクション基礎の

鉛直支持力に関する実験的な研究を行い、基礎の中心位置に鉛直荷重が作用する場合の支持力算定方法については解明されてきている。

サクション基礎を利用した構造物には、基礎の根入れと同時に上部構造物の据付けを行う一体型と、基礎を沈設した後に上部構造物の据付けを行う分離型の2種類が考えられる。分離型の構造物の場合、上部構造物を水平力方向と逆方向に偏心させることにより、水平力に対する抵抗モーメントが大きくなり有効になると考えられる。

そこで本研究では、偏心荷重および偏心傾斜荷重を受けるサクション基礎の支持力特性、および周辺地盤の変形モードを解明することを目的として、アルミ棒積層地盤を模型地盤として用いた偏心載荷実験および偏心傾斜載荷実験を行った。

2. 偏心載荷実験

(1) 実験概要

a) 模型地盤

本実験の模型地盤には、周辺地盤の二次元的な挙動を観察するために、アルミ棒積層地盤²⁾を用いた。アルミ棒は長さ50mmで、直径1.0mmと1.6mmのアルミ棒を重量比で3:2に混合したものを用いた。

b) 模型基礎

本実験で用いた模型基礎は、新潟県直江津港の実証実験で用いられたプロトタイプの外径の1/200モデルとした。結果、模型基礎の基礎幅(B)は100mmとなった。基礎の内径を外径で除した内外径比(r_{in}/r_{out})を二乗した、開口率(r_{in}/r_{out})²と載荷前の根入れ長(D)を基礎幅で除した根入れ幅比(D/B)の影響を調べるため、開口率0の中実基礎と開口率0.25,0.83のサクション基礎で、各々の根入れ幅比0.37の浅い基礎と、1.1の深い基礎である計6体を用いた。上部構造物の偏心量(e)の影響を調べるために、偏心量を基礎幅(B)で除した正規化偏心量(e/B)=0.08,0.42の2ケースについて実験を行った。

c) 実験方法

本実験では、基礎を変位制御(5.0mm/min)で鉛直方向に50mm沈下させ、基礎の全抵抗および上蓋抵抗について測定した。また、アルミ棒積層地盤に15mm間隔のメッシュを書き、載荷時におけるアルミ棒積層地盤の様子をデジタルビデオカメラで撮影し、ひずみ分布図を作成することによって、基礎周辺地盤のすべり挙動について調べた。

(2) 極限支持力

本研究では、各種抵抗を図-1のように定義した。本実験では、全抵抗および上蓋抵抗を測定し、全抵抗と上蓋抵抗の差を下部抵抗として取り扱っている。

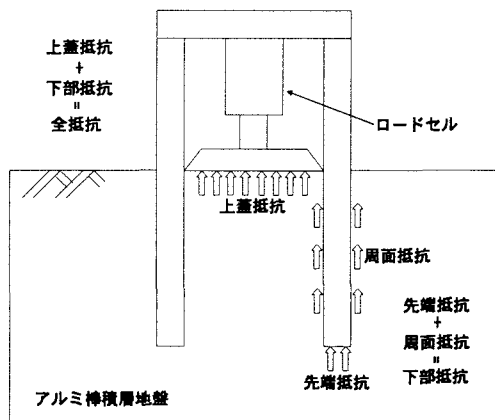


図-1 各種抵抗

図-2は、根入れ幅比0.37,開口率0.25,正規化偏心量0.08の実験ケースより得られた荷重-沈下曲線である。

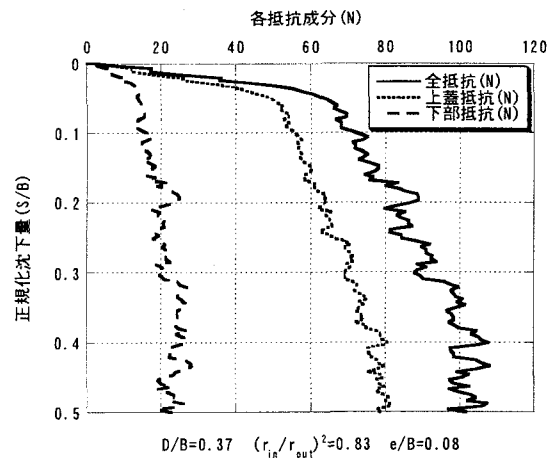


図-2 荷重-沈下曲線

図-2の荷重-沈下曲線より、本実験では沈下量の増加にしたがって、抵抗が徐々に増加していて明確なピーク値が現われていないことが分かる。したがって、本実験では荷重-沈下曲線の荷重の軸を対数表示し、初期の勾配と正規化沈下量が、0.1~0.3部分に沿うような直線の交点における荷重を極限支持力として取り扱っている。

(3) 全抵抗極限支持力

図-3は縦軸に全抵抗極限支持力(Q_u)、横軸にモーメント荷重を基礎幅で除した値(M/B)を取った図である。図-4より、基礎の根入れ幅比、開口率、正規化偏心量の違いによる、全抵抗極限支持力への影響について考察する。

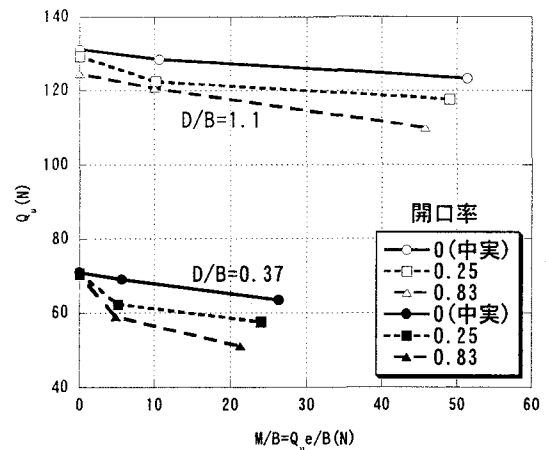


図-3 全抵抗極限支持力

図-3より根入れ幅比1.1の深い基礎では、110~130N程度の極限支持力を発揮している。一方、根入れ幅比0.37の浅い基礎では、50~70N程度と、根入れ幅比1.1のケースと比較して、小さな極限支持力となっている。この結果より、基礎の根入れ効果が確認できた。

次に開口率の違いに着目すると、開口率の減少にともなって極限支持力は増加する。これは、基礎内部空間が小さい基礎ほど、基礎内部地盤の閉塞効果が大きくなるた

めと考えられる。

偏心量の違いに着目すると、正規化偏心量の小さな基礎の方が大きな極限支持力を発揮している。これは、正規化偏心量が大きいほど、沈下とともに基礎が傾くためと考えられる。またサクシオン基礎においては、基礎の傾きにより基礎内部地盤が偏心方向と逆方向に逃げ出すために、十分な閉塞効果を得られないためと考えられる。

(4) 中実基礎に対するサクシオン基礎の全抵抗極限支持力の割合

図-4は、既往の研究である中心軸載荷実験³⁾におけるデータである。縦軸に中実基礎に対するサクシオン基礎の全抵抗極限支持力の割合($Q_{u,suction}/Q_{u,dense}$)を、横軸に開口率をとった図である。

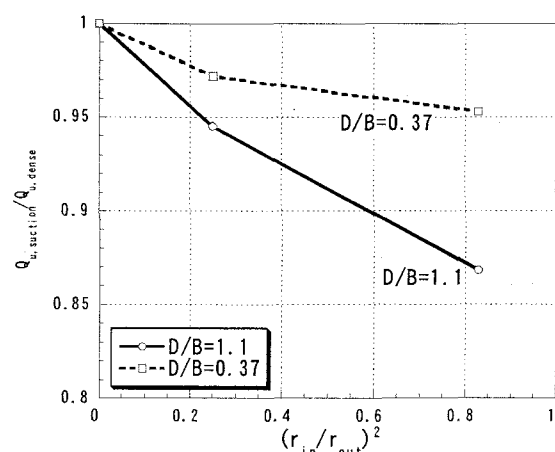


図-4 極限支持力の割合(中心軸載荷)

図-4より、中実基礎に対するサクシオン基礎の全抵抗極限支持力の割合は、開口率の増加にともなって減少していることが分かる。中心軸載荷実験では、根入れ幅比0.37の浅い基礎においては、開口率の影響は小さく、もっとも影響の大きい開口率0.83の基礎でも中実基礎の約95%程度の極限支持力を発揮している。一方、根入れ幅比1.1の深い基礎では開口率の増加にともなって、極限支持力の割合は約85%程度まで減少している。

図-5は、本研究における偏心載荷実験におけるデータであり、縦軸に中実基礎に対するサクシオン基礎の全抵抗極限支持力の割合を、横軸に開口率をとった図である。図-5より、中心軸載荷と同様に、中実基礎に対するサクシオン基礎の全抵抗極限支持力の割合は、開口率の増加にともなって減少していることが分かる。

しかし、中心軸載荷実験では、根入れ幅比1.1の深い基礎の方が、0.37の浅い基礎より開口率の影響が大きかったのに対し、偏心載荷実験では、その傾向が逆転しており、浅い基礎の方が開口率の減少にともなって、大きな減少傾向を示していることが分かる。これは、根入れ幅比0.37の浅い基礎の方が偏心によってモーメント荷重が加わることによって大きく転倒し(図-7参照)、基礎下の地盤が偏心と

逆方向に逃げ出すことから、十分な閉塞効果を得られなかったためと考えられる。

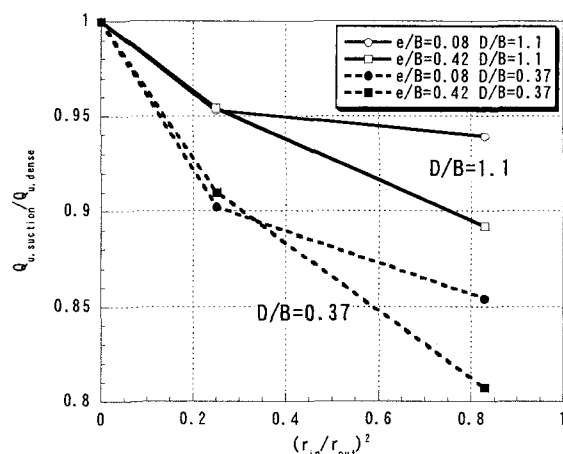
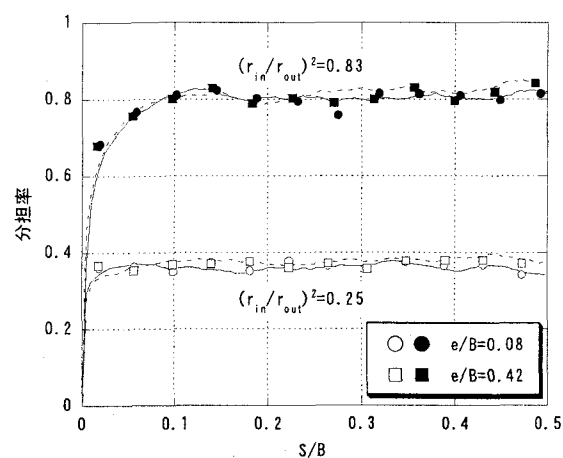


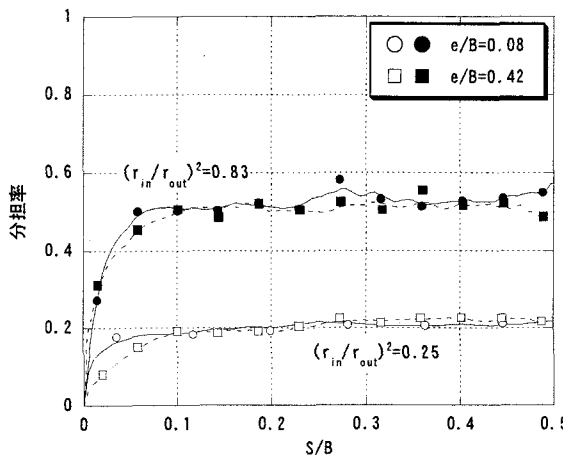
図-5 極限支持力の割合(偏心載荷)

(5) 全抵抗に対する上蓋抵抗の割合(分担率)

図-6(a),(b)は、縦軸に全抵抗に対する上蓋抵抗の割合(分担率)を、横軸に正規化沈下量をとった図である。



(a) (D/B=0.37)



(b) (D/B=1.1)

図-6 分担率

図-6(a)より,根入れ幅比0.37のケースにおいて,全抵抗に対する上蓋抵抗の割合は,開口率0.25で0.34~0.39程度,開口率0.83で0.75~0.85程度に収束している。

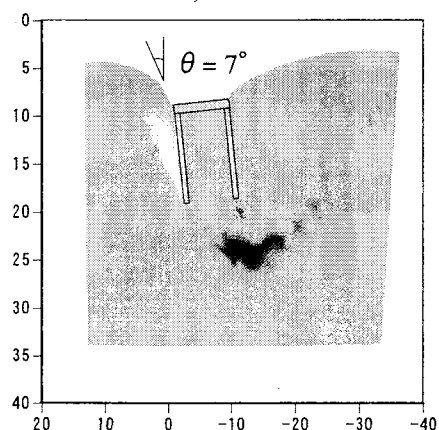
図-6(b)より,根入れ幅比1.1のケースにおいて,全抵抗に対する上蓋抵抗の割合は,開口率0.25で0.18~0.22程度,開口率0.83で0.45~0.55程度に収束している。

沈下直後($S/B=0.1$ 程度まで)は,下部抵抗(先端+周面抵抗)が発揮されていることが分かる。その後,上述した様に,各抵抗成分の分担率はある一定の割合に収束している。その上蓋抵抗の割合は,開口率が大きくなるほど大きくなり,根入れ幅比が大きくなるほど小さくなっている。

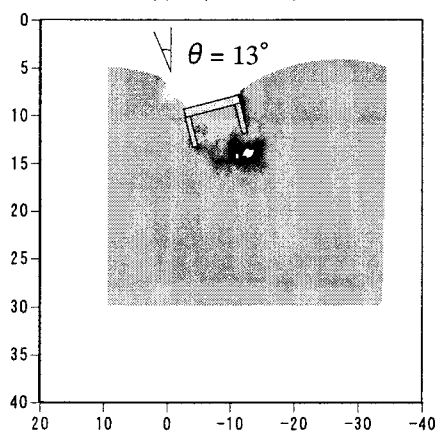
図-6(a),(b)より,偏心量の違いに着目すると,各抵抗成分の分担率の収束値は,偏心量の違いに影響されることなくほぼ一定の値をとっていることが分かる。

(6) 周辺地盤の変形

開口率0.83,正規化偏心量0.42,根入れ幅比1.1,0.37のケースにおけるせん断ひずみ分布図を図-7(a),(b)にそれぞれ示した。(ここでせん断ひずみは,ゆるみ領域を正,圧縮領域を負で示している。)



(a) ($D/B=1.1$)



(b) ($D/B=0.37$)

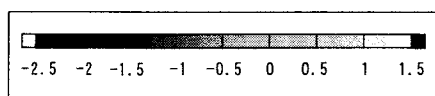


図-7 せん断ひずみ分布図

図-7(a),(b)を比較することによって根入れ幅比の影響について考察すると,図-7(b)の根入れ幅比の小さいケースの方が,偏心によるモーメント荷重の影響によって回転的な挙動を見せ,基礎が大きく傾いていることが分かる。基礎が傾くことにより,基礎内部の地盤が高密度化しにくくなり,十分な閉塞効果が発揮されていないと考えられる。上記の考察と,偏心荷重では,中実基礎に対するサクシヨン基礎の極限支持力の割合が,根入れ幅比0.37の基礎の方が大きく減少していることより,サクシヨン基礎は浅い基礎において,偏心荷重の影響を大きく受けると考えられる。

3. 偏心傾斜載荷実験

(1) 実験概要

a) 模型地盤

偏心載荷実験と同様である。

b) 模型基礎

本実験で用いた模型基礎は,開口率0の中実基礎と開口率0.83のサクシヨン基礎で,各々の根入れ幅比0.37の浅い基礎と,1.1の深い基礎である計4体を用いた。上部構造物の偏心量(e)の影響を調べるために,偏心量を基礎幅(B)で除した正規化偏心量(e/B)=0.08,0.42の2ケースについて実験を行った。

c) 実験方法

実験装置は,図-8に示すように,鉛直方向に一定の死荷重を加えた状態で,水平力を変位制御で載荷する装置を用いた。なお偏心量は水平力を作用させても変化せず,鉛直荷重と基礎との間は,ヒンジで結合している。

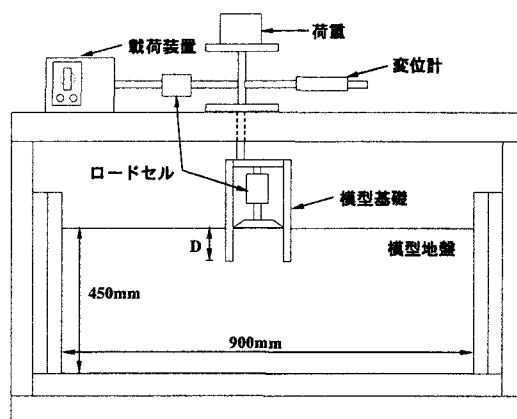


図-8 実験装置概略図(偏心傾斜載荷)

(2) 極限支持力

根入れ幅比1.1,正規化偏心量0.42のケースにおける中実基礎(開口率0)とサクシヨン基礎(開口率0.83)の水平抵抗-変位曲線を図-9に示す。

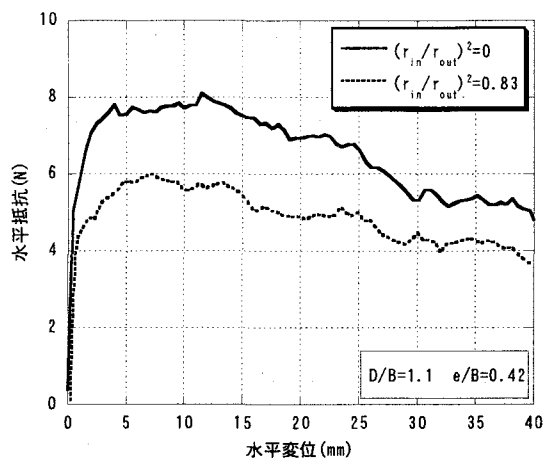


図-9 水平抵抗-変位曲線

図-9より、水平抵抗はある程度まで水平変位にしたがって増加しピーク値を取る。その後、水平抵抗は水平変位にしたがって減少していることが分かる。これは、載荷直後は基礎が滑動し基礎側壁部受働面で水平抵抗を発揮し、その後基礎が転倒することにより基礎側壁部の受働面積が減少し、水平抵抗が徐々に減少していくためと考えられる。他のケースについても同様の傾向が見られた。この傾向は、載荷時における基礎の回転角を比較することからも確認できた。そこで本研究では、水平抵抗軸を片対数表示し、得られたピーク値を極限支持力として取り扱っている。

図-10,11,12は、縦軸に鉛直荷重を、横軸に水平方向の支持力を取ったグラフである。

根入れ幅比1.1、正規化偏心率0.42、開口率0（中実基礎）、0.83（サクシヨン基礎）のケースにおけるグラフを図-10に示した。

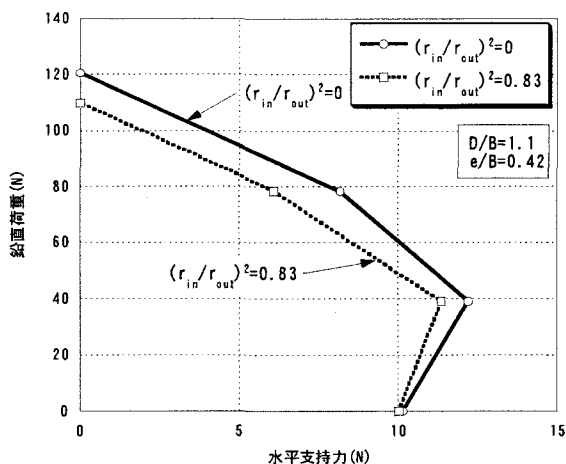


図-10 開口率の影響

図-10より開口率の影響による極限支持力について考察すると、同じ鉛直荷重における水平支持力は、サクシヨン基礎より中実基礎の方が大きくなっていることが分かる。つまり、根入れ幅比1.1の深い基礎のケースにおいては、サクシヨン基礎より中実基礎の方が水平荷重に対して大き

な抵抗力を発揮すると考えられる。また、中実基礎に対するサクシヨン基礎の水平支持力の割合は、鉛直荷重40Nの点で約93%、80Nの点で約75%と、鉛直支持力の増加にしたがって減少する傾向にある。

開口率0.83、正規化偏心率0.42、根入れ幅比1.1、0.37のケースにおけるグラフを図-11に示した。

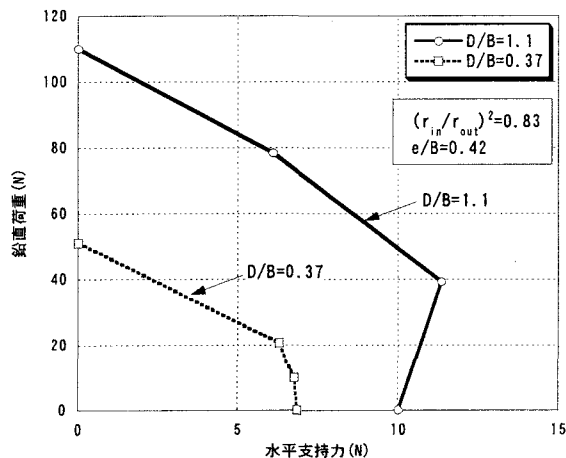


図-11 根入れの影響

図-11より、同じ鉛直荷重における水平支持力は、根入れが大きいほど大きくなっていることが分かる。これより、基礎の根入れ効果が確認できる。

根入れ幅比1.1、開口率0.83、正規化偏心率0,0.08,0.42のケースにおけるグラフを図-12に示した。

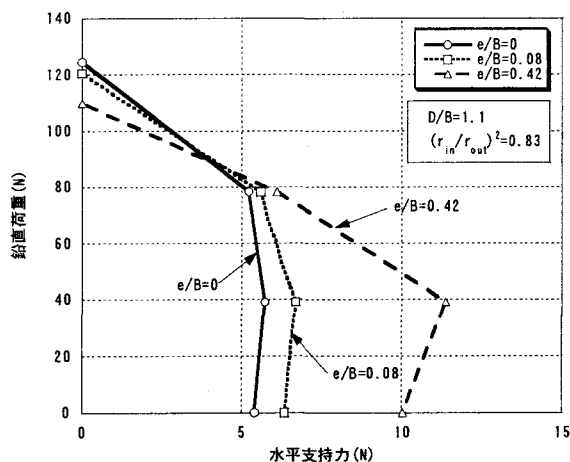


図-12 偏心率の影響

図-12より偏心率の影響による極限支持力について考察すると、同じ鉛直荷重における水平支持力は、鉛直荷重が約90N以下の領域において、偏心率が大きいほど大きくなっていることが分かる。これは、鉛直方向の死荷重を水平力作用方向と逆方向に偏心させることにより、水平力に対する抵抗モーメントが大きくなったためと考えられる。

(3) ひずみ分布図

開口率0.83,正規化偏心量0.42,根入れ幅比1.1,0.37のケースにおけるせん断ひずみ分布図を図-13(a),(b)にそれぞれ示した。(なお,破線で示した基礎は載荷前,実線で示した基礎は載荷後の状態を示している。)

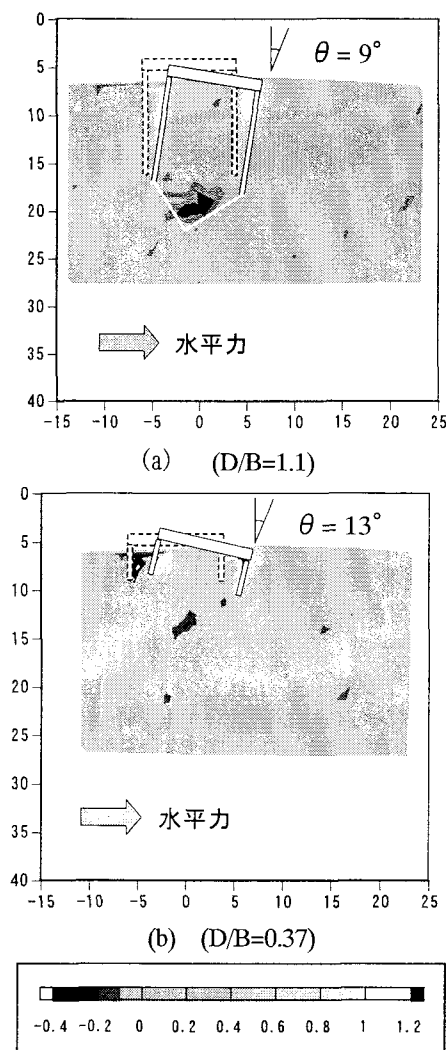


図-13 せん断ひずみ分布図

図-13(a),(b)を比較すると,根入れ幅比の小さいケースの方が,載荷後における基礎の傾きが大きくなっていることが分かる。また,根入れ幅比の小さいケースでは両側の基礎側壁付近の内部地盤にひずみが生じているのに対し,根入れ幅比の大きいケースでは,受働側(図中右側)の基礎内部地盤にのみひずみが生じている。しかし,基礎内部地盤全体としてはほぼひずみは生じていないと言える。基礎直下の周辺地盤に着目すると,根入れ幅比の大きいケースでは主働くさびが現われているが,根入れ幅比の小さいケースでは明確な主働くさびは現われていないことが分かる。

4. 結論

本文では,サクシヨン基礎と中実基礎の偏心載荷実験および偏心傾斜載荷実験を行い,上部構造物の偏心量,基礎の根入れ,開口率の影響について検討を行った。以下に結果をまとめる。

偏心載荷実験

- 1) 鉛直極限支持力は,偏心量が増加するほど小さくなる。
- 2) 各抵抗成分の分担率は,偏心量の違いに影響されることなく,一定の割合に収束する。
- 3) 偏心載荷における,中実基礎に対するサクシヨン基礎の極限支持力の割合は,開口率の増加にしたがって,また,根入れ幅比が小さくなるにつれて大きく減少する。

偏心傾斜載荷実験

- 1) 水平抵抗は水平変位にしたがって増加しピーク値を取り,その後徐々に減少する。
- 2) 根入れ幅比1.1の深い基礎のケースでは,サクシヨン基礎より中実基礎の方が水平荷重に対して大きな抵抗力を発揮する。
- 3) 鉛直方向の死荷重を水平力作用方向と逆方向に作用させることにより,水平支持力が大きくなる。

参考文献

- 1) 善功企：棄却された新形式海洋基礎-サクシヨン基礎-の復活に関する研究,科研費(基盤(B)),研究成果報告書,pp1-41,2002.9
- 2) 松岡他：模型実験による「土のう」補強法とシート補強法の比較,第33回土木学会学術講演会概要集,pp549-595,1995
- 3) 出口信太郎・善功企・陳光斉・笠間清伸：サクシヨン基礎の周辺地盤の密度の違いに着目した支持力特性と破壊モード,第58回土木学会年次学術講演会講演概要集,pp545-546,2003