

第Ⅲ部門 控え杭の傾斜角が水平耐荷性能に及ぼす影響

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○亀田 翔

神戸大学大学院工学研究科 正会員 長尾 毅
神戸大学大学院工学研究科 学生員 小田 隼也

1. 背景及び目的

岸壁とは船舶を係留し人や貨物の積み卸しが可能とする沿岸構造物である。矢板式岸壁において矢板の背後に設置される杭を控え杭と呼ぶ(図-1)。控え杭の存在により矢板壁が負担する土圧が低減される。控え杭は水平荷重に対する抵抗性能を期待されている。水平荷重に抵抗する際に直杭では地盤反力と曲げ剛性によって抵抗するのに対して斜杭では水平荷重の一部を軸力が受け持つことで地盤反力、軸力と曲げ剛性によって抵抗することができる。故に斜杭は直杭に比べ水平耐力を向上させることが期待されている。

直杭、斜杭いずれの場合も杭の耐震設計において、水平地盤反力を正確に評価することが必要である。地盤反力と杭の変位量の比は地盤反力係数(subgrade reaction modulus: 以下 SRM)と定義される。小田ら¹⁾の検討により斜杭では直杭に比べ SRM 値が小さくなることが確認されたが、杭の傾斜角による SRM 値の違いに主眼を置いた研究は皆無であり、SRM 深度分布は杭の種類(直杭、斜杭)によって変化しないと考えられている。本研究では水平荷重に対する抵抗を主目的とした控え杭に着目し、直杭や斜杭への水平載荷試験を行った。そして、各杭の SRM 深度分布を求めるとともに杭の初期傾斜角と SRM の関係の深度方向への変化度を評価した。

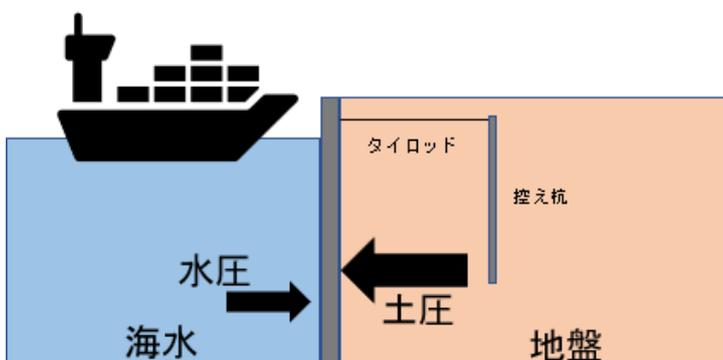


図-1 控え杭の役割

2. 実験概要

実験では幅 500mm, 奥行き 600mm, 高さ 600mm とする土槽を使用した。地盤には、乾燥した東北珪砂 6号を使用し、密な砂地盤中の杭の水平荷重に対する挙動を評価するために、相対密度 D_r が約 75%となるように空中落下法により作成した。杭頭にワイヤーを接続し、目がトルクモーターにより水平載荷を行った。検討 case は表-1 のように杭の傾斜角を $0^\circ \sim 30^\circ$ まで 10° 刻みに変化させた。それぞれの case で使用する杭の断面形状は杭径 10mm, 板厚 1.0mm で同一となっており 0.5mm/s の速度で水平変位を与える。なお、杭の挙動に関して様々な観点から考察を行うべく杭の所定の位置に変位計、土圧計、ひずみゲージを取り付けた。

表-1 杭諸元

外径	10mm
内径	2.0mm
曲げ剛性	$2.03 \times 10^{-2} (\text{kN} \cdot \text{m}^2)$
軸剛性	$3.52 \times 10^3 \text{kN}$

表-2 検討 case

検討 case	Case1	Case2	Case3	Case4
初期傾斜角	0°	10°	20°	30°

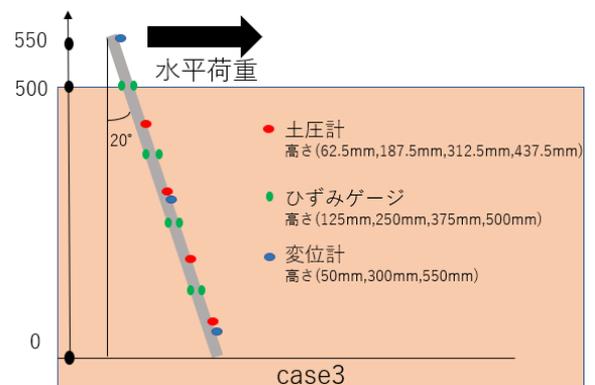


図-2 実験の模式図(case3)

3. 実験結果及び考察

ひずみゲージ計測値から杭に載荷された地盤反力の算出を行いひずみゲージ、変位計の計測値から杭の変位分布の算出を行った。そして地盤反力と変位の比をとることで SRM 深度分布の算出を行った。なお、地表面からの深度 100mm~500mm 地点では変位、土圧ともに非常に小さな値をとることで計測及び解析処理による誤差の影響を大きく受けてしまい、正確な SRM 値を算出することができなかつたため今回は十分大きな変位及び土圧値が得られた地表面からの深度 100mm までの範囲のみで SRM の大小評価を行う。

(1) 初期傾斜角と SRM の関係性

(図-3)より、深度が大きくなるにつれて SRM 値が大きくなるとともに、同深度で比較した場合には杭の初期傾斜角が大きくなると SRM 値が小さくなっていることが分かる。直杭の場合には杭頭変位に伴って地盤が圧縮され地盤反力が得られるが、斜杭の場合には杭頭変位に伴って地盤が圧縮されず地表に盛り上がってしまう。そのため case1 で SRM 値が最も大きく case4 で SRM 値が最も小さくなると思われる。

また、以下(2)(3)では case1(杭の初期傾斜角 0°) の場合の SRM 値に対する斜杭の SRM 値の比を SRM 比と定義し、直杭から斜杭にすることでの SRM 値の減少度合いを評価した

(2) 深度と SRM 比の関係

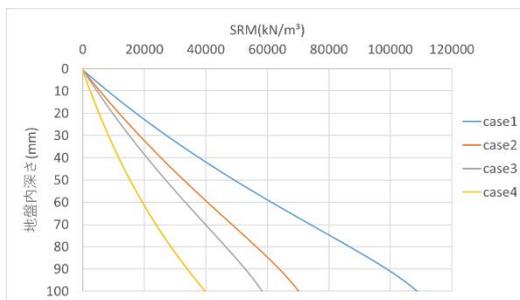


図-3 SRM 深度分布

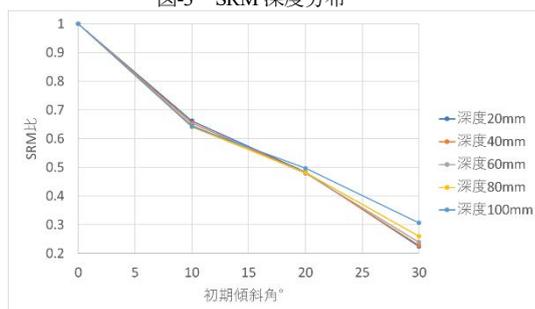


図-4 初期傾斜角と SRM 比の関係(杭頭変位 9.0mm)

杭頭変位 9.0mm 時点での深度 20,40,60,80,100mm での初期傾斜角と SRM 比の関係を(図-4)に示す。同図より深度が大きい部分であるほど杭の傾斜角の変化による SRM 減少割合が大きくなる。

(3) 杭の変位量と SRM 比の関係

地表面からの深度 100mm 地点での杭頭の変位 3,5,7,9mm 時点の初期傾斜角と SRM 比の関係を(図-5)に示す。杭頭変位 3, 5mm と変位量が小さい場合、初期傾斜角 $0^\circ \sim 20^\circ$ の範囲で case1 と比較して SRM が大幅に減少し $20^\circ \sim 30^\circ$ では SRM 減少が抑えられる。対して杭頭変位 7, 9mm と変位量が大きい場合、初期傾斜角 $0^\circ \sim 30^\circ$ の範囲で SRM 比が線形に減少していることが確認された。

4. まとめ

本論文では、直杭と初期傾斜角の異なる斜杭の計 4 ケースを対象に、杭剛性に対して根入れ長の小さい長杭条件下における水平載荷模型実験を行った。そして、SRM 深度方向への変化及び大小関係についての評価を行った。本研究から導き出された結論は以下の通りである。

- 同深度での SRM 値の比較を行ったところ初期傾斜角が大きくなるにつれて値が減少する。
- 浅い位置である方が杭の傾斜角の変化による SRM 減少率が大きくなる
- 杭の傾斜角 $0^\circ \sim 20^\circ$ では杭頭変位が小さい場合に SRM 減少率が大きくなるのに対して、 30° の場合には変位が大きい場合に SRM 減少率が大きくなる。

参考文献

- 1) 小田隼也、長尾毅：様々な傾斜角の控え杭に対する地盤反力係数分布に関する実験的研究、2022 年度地震工学研究発表会、2022

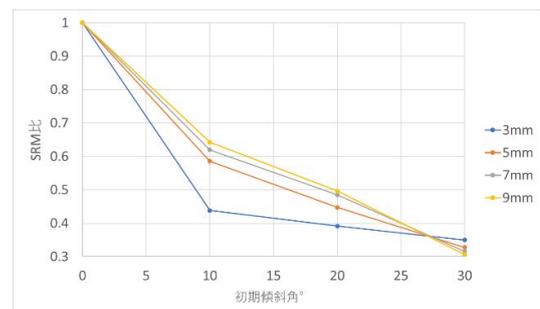


図-5 杭頭変位別の SRM の関係(深度 100mm 地点)