X 線 CT を用いた水平荷重下における斜杭の支持力特性に関する研究

熊本大学大学院　学生会員　○熊谷　信二郎　　熊本大学大学院　正会員　大谷　順

１．はじめに

近年、杭構造の形態の中で斜杭構造が見直されつつある。斜杭では杭の軸心が斜角を有することから、水平力に対して杭体の軸剛性も抵抗要素として加わることになる。このため、斜杭は鉛直杭に比べて水平力作用時の水平変位量を抑制することが可能[1)]となり、水平力が作用する基礎においては鉛直杭に比べて杭本数を低減できるため、より経済的な基礎形式として期待されている。しかし、斜杭の支持力特性に関する研究例はいまだ少なく、斜杭適用時の水平地盤反力係数の設定法は確立されていない。本研究では、斜杭の水平載荷試験を行うとともに X 線 CT を用いて地盤内部の密度変化から三次元下での地盤挙動を把握し、斜杭の基本的な水平支持力特性の解明を試みるものである。

２．実験概要

本実験で用いた実験装置概要を図 1 に示す。模型地盤内の杭底部はあらかじめモールド内に固定し、空中落下法によってモールド内に地盤高 200mm まで砂を敷き詰め、模型地盤の相対密度は 90%程度の密な地盤とした。杭はプラスチック製であり、周辺地盤との摩擦を発揮させるために杭の前面と後面に両面テープを貼り、砂を塗布している。載荷方法は、杭頭に取り付けたワイヤーをスチール製載荷枠上の滑車に通し、そのワイヤーを引き上げることで、杭頭に水平荷重を与えた。載荷は変位制御で行い、載荷速度を 1mm/min とした。実験は杭の傾斜角 θ を載荷方向側に+15°(In batter 杭)、0°(鉛直)、-15°(Out batter 杭)と変化させて行い、それぞれ initial 及び 15mm 変位時に CT 撮影を行った。

３．実験結果

図 2 に各傾斜角における荷重―変位曲線を示す。載荷方向に傾斜させた杭(In batter 杭)は鉛直杭よりも荷重が大きくなっている。また、載荷方向と反対方向に傾斜させた杭(Out batter 杭)は鉛直杭よりも荷重が小さくなっている。これは In batter 杭では地盤反力と軸剛性で荷重を受け持っているのに対し、Out batter 杭では地盤反力と曲げ剛性で荷重を受け持つためだと考えられ、杭の軸剛性が曲げ剛性よりも大きいために In batter 杭の荷重が大きくなっていると言える。図 3 に各傾斜角における initial 及び 15mm 変位時の深さ方向の縦断面 CT 画像を示す。画像は赤から青のグラデーションで示されており、赤を低密度、青を高密度としている。また、画像上の黒い線は杭を示している。画像から杭が変位したことにより周辺地盤が低密度になっていることが分かる。15ｍｍ変位後画像を見ると In batter 杭の場合は他の傾斜角と比べるとより密度低下した領域が杭の上部に広がっている。Out batter 杭の場合は他の傾斜角と比べると密度低下領域が杭の下部から広がっているが、密度低下の程度は小さいと言える。鉛直杭の場合は杭の中心付近から密度低下領域が広がっている。これらから、杭の傾角の違いは低密度領域の広がり方に影響を与えると考えられる。図 4 に杭の 15mm 変位後の杭周辺地盤の低密度領域を抽出した三次元可視化モデルを示す。受働側の地盤について全てのケースに共通して地表面付近で急激に低密度領域が大きくなる。これは地表面付近では周囲の地盤からの拘束力が小さいために地盤が移動しやすく低密度になりやすいためだと考えられる。θ= +15°の場合は杭の中ほどより上部から低密度領域が広がっているが、θ= -15°の場合は杭の中ほどより下部から低密度領域が広がっているため、θ= -15°の場合の低密度領域の範囲が大きい。これは、θ= +15°の場合は載荷により杭が地盤を押し込むと考えられ、θ= -15°の場合は載荷により杭が地盤を持ち上げるためだと考えられる。低密度領域全体の大きさは θ= -15°の場合が最も大きく、θ= +15°の場合が最も小さい。このことから In batter 杭は周囲の地盤への影響領域が小さく、Out batter 杭は周囲の地盤への影響領域が大きいと考えられる。

４．まとめ

斜杭の水平載荷試験により In batter 杭は鉛直杭よりも大きい水平抵抗力を示し、逆に Out batter 杭は鉛直杭よりも小さい水平抵抗力を示した。これにより、傾斜角に応じて杭の水平抵抗力が変化すると言える。CT 画像からは載荷後の地表面付近の地盤が低密度になることが確認でき、杭の傾角の違いが載荷によって密度低下する領域の大きさや、低密度領域の広がり方に影響を与えることがわかった。今後は地盤の作成方法を改善した上で段階載荷を可能とする実験装置を用いて CT 撮影を行うことで、載荷に伴うより詳細な地盤破壊挙動を把握する所存である。

【参考文献】

１） 松尾春雄：杭の横支持力試験（第１報）、（第２報）内務省土木試験所報告，N0.46，1936.

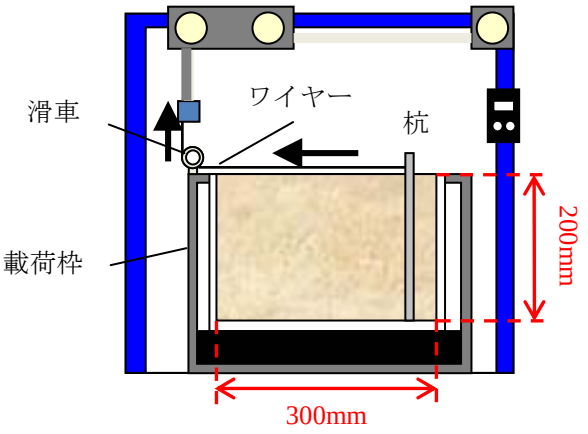

図 1.　実験装置概要

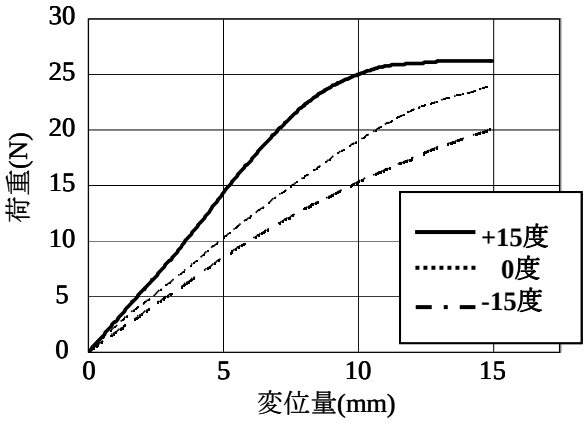

図 2.　各傾斜角における荷重－変位曲線

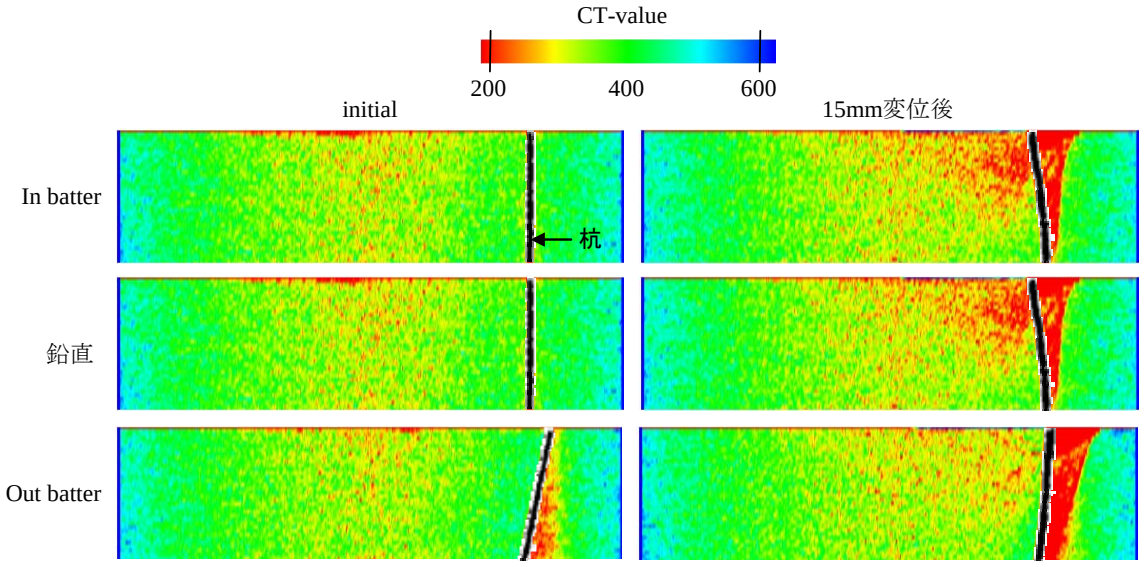

図 3.　各傾斜角における縦断面 CT 画像

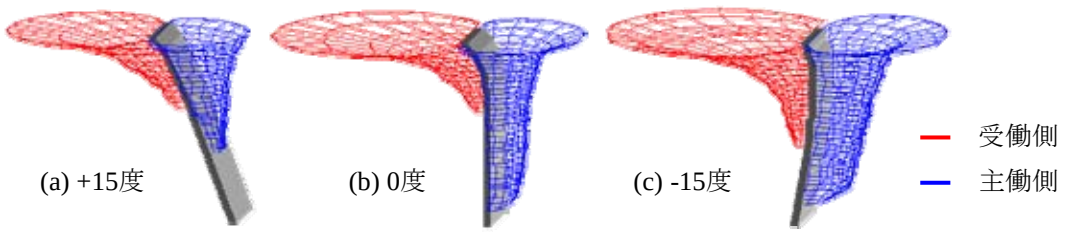

図４．　低密度領域の三次元可視化モデル