

液状化地盤における改良体を併用した鋼管杭の 水平抵抗に関する研究

— 模型土槽実験を用いた地盤改良体の補強効果に関する基礎検討 —

日大生産工(院) ○上田 恭平
日大生産工 下村 修一

1. はじめに

杭基礎の水平抵抗性能を向上させる目的で杭周囲に地盤改良体を設ける手法がある¹⁾。液状化地盤を対象に鋼管杭を採用する場合には、杭周改良体により座屈防止効果も得られると考えられる。しかしながら、杭周改良体による杭の曲げモーメントや水平変位の低減機構について、十分な知見が得られておらず、特に杭体と改良体の付着性状は、水平抵抗機構に大きく影響すると考えられるが付着性状に注目した研究は見当たらない。

そこで本研究では液状化地盤において杭と改良体間の付着性状が水平抵抗機構に及ぼす影響を検討する前段階として、杭体と改良体を密着させた実験を行った。

2. 実験条件及び実験方法

2-1 実験条件

表1に実験ケースの一覧、図1に模型杭概要を示す。本実験では杭径 800mm、肉厚 12mm、曲げ剛性は $4.73 \times 10^{14} \text{Nmm}^2$ 、根入れ長 26m の鋼管杭を想定し、長さの縮尺を 1/40 として、模型杭には杭径 20mm、杭長 670mm(根入れ長 650mm)の密実なアクリル棒を使用した。なお、模型杭の曲げ剛性は $2.90 \times 10^7 \text{Nmm}^2$ で、実物換算では $4.70 \times 10^{14} \text{Nmm}^2$ となる。杭頭には幅 80mm×奥行 80mm×高さ 10mm のアクリル製の基礎を設けた。本実験では、改良体による水平抵抗増大効果に関する基本性状を確認することを目的としたため、改良体を破壊・変形させないこととし、塩化ビニル製の直方体を用いた。また、改良体底面と根入れ部側面には砂の吹き付けを行い境界面の摩擦を再現した。

実験は全て杭頭回転自由条件の単杭の実験とし、改良体の有無、改良体の寸法、杭頭突出長をパラメータとして合計 4 ケースとした。改良体は幅が細く根入れが深いケースと幅が広く根入れが浅いケースを行い、改良体の幅と根入れ深さの影響の違いを見た。模型杭

表1 実験ケース一覧

ケース名	改良体有無	液状化層	杭頭突出長さ(mm)
N1	無	無	20
N2	無	有	120
I50B	有	有	20(120)
I100B	有	有	20(120)

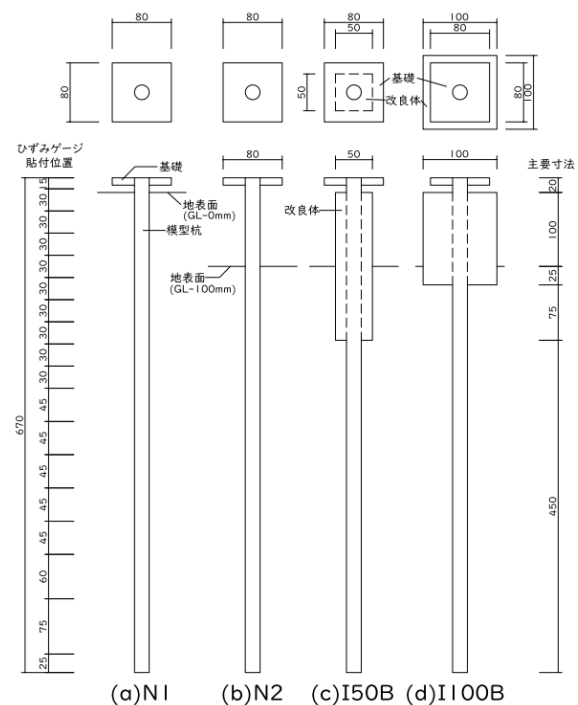


図1 模型杭概要

に発生するひずみはひずみゲージを杭外周面の荷重方向両面に貼付し、17深度で計測した。

実験に際し、液状化地盤は地盤剛性をゼロと仮定し、杭頭突出長を変更することで液状化地盤の再現とした。

Study on horizontal resistance of steel pipe piles with improved body
in liquefied ground

— Fundamental study on the reinforcement effect of improved body using the model
soil tank experiment —

Kyohei UEDA and Shuichi SHIMOMURA

2-2 実験方法

図2に実験装置、写真1に実験状況を示す。実験に用いた土槽は縦1000mm、横800mm、高さ700mmの角型土槽である。模型地盤は空中落下法により、乾燥状態の東北珪砂6号を用いて相対密度90%程度になるように作製した。杭の設置は杭の底面部まで砂を降らした後に杭を垂直に固定し、再び砂を降らすことで地中に設置した。改良体の設置は改良体底面の深度まで砂を降らせた段階で、改良体の中央の孔を杭に通して設置した。杭と改良体の隙間は接着剤を充填して密着させた。

図3に変位計設置位置を示す。基礎及び改良体には変位計を設置するためのアクリル板を設置した。変位計は、基礎、改良体ともに鉛直方向に4点、水平方向に1点設置した。また、試験に先立ち行った杭の曲げ試験の結果から各深度で評価した曲げ剛性を用いて、杭に設置したひずみゲージの計測値から曲げモーメントを算出した。実験は杭の弾性範囲内で行った。

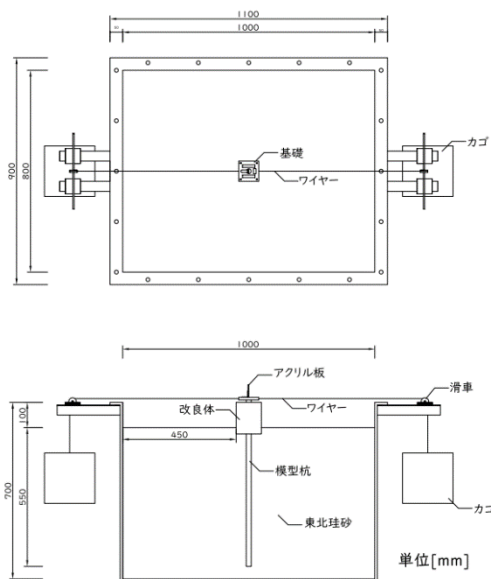


図2 実験装置の一例(ケース I100B)

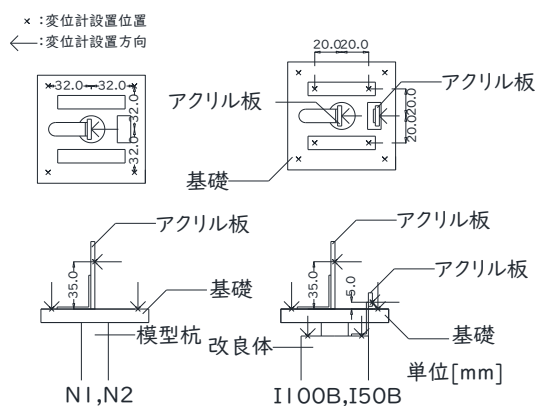


図3 杭および改良体の変位計測位置

図4に荷重ステップを示す。加力は、籠に入れた錘(鉛玉)の重量で制御し、荷重を滑車とワイヤーを介し基礎に伝えた。実験では、各荷重ステップの最大荷重を $\pm 4.9\text{N}$ 、 9.8N 、 14.7N 、 19.6N 、 29.4N 、 39.2N 、 49N とし、二回ずつ正負交番载荷を行った。なお計測は 4.9N 毎に行った。各段階の荷重保持時間は1分とし、各計測値を取り込んだ。なお、ケース N2 のみ 29.4N で载荷を終了した。

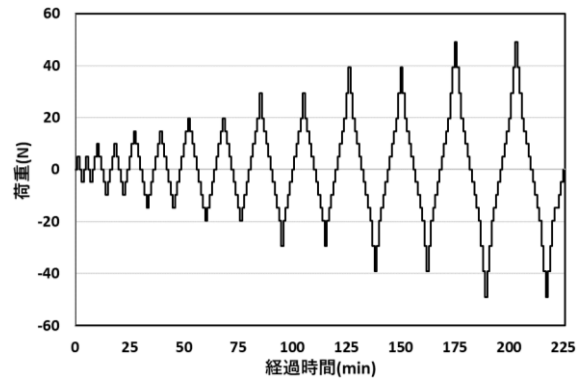


図4 荷重ステップ

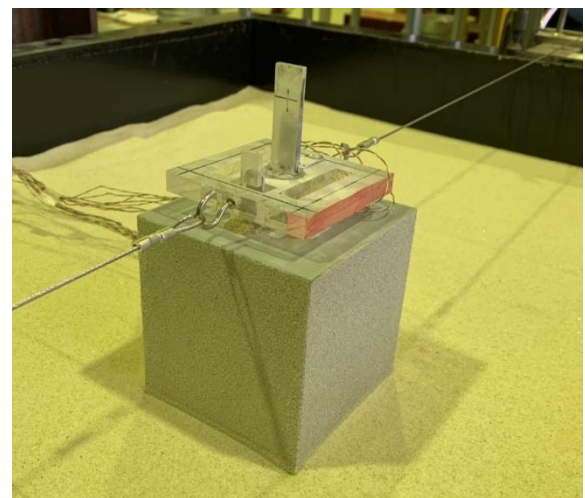


写真1 実験状況

3. 実験結果

実験結果について、模型スケールで検討する。

図5に杭頭荷重—水平変位関係を示す。水平変位は基礎の回転角から評価した $GL-0\text{mm}$ での値である。最大水平変位は正側と負側で近い値を示している。また各荷重ステップでは、第一サイクル、第二サイクルの違いは小さい。

図6に杭頭荷重—基礎回転角関係を示す。基礎回転角は基礎の鉛直変位計から求めた、载荷方向の基礎の傾きの平均である。図5の最大水平変位と同様に最大回転角も正側と負側で近い値を示し各荷重ステップでのサイクルの差は小さい。

図7に図5における各荷重ステップの第一サイクル時における正側最大荷重時の杭頭荷重—水平変位関係を示す。N1とN2を比較した場合、同一杭頭荷重時のN2の水平変位が大きい。これは突出長さが長いためである。N2とI50Bを比較した場合、I50Bの方が同一荷重時の水平変位が小さい。また改良体の幅を広げたI100Bはさらに水平変位が小さく、いずれも改良体設置による水平抵抗増大効果が表れている。一方、液状化地盤を想定していないN1とI50B、I100Bを比較した場合、I50Bは同程度の水平抵抗、I100BはN1よりも大きい水平抵抗を示している。なお、本実験では改良体を破壊、変形させないため、改良体の剛性を非常に大きく、改良体設置範囲では杭と改良体の合成構造となっており、曲げ剛性が大きい。変位については改良体を設けたことによる地盤反力の増大よりも、この曲げ剛性の増大の影響が顕著に表れた可能性がある。

図8に図7と同じ計測時点の杭頭荷重—最大基礎回転角関係を示す。基礎回転角も水平変位と同様の傾向が認められる。

図9、10にケース毎および荷重段階毎の曲げモーメント深度分布を示す。N1とN2を比較した場合、最大曲げモーメントはN2が大きく、その発生深度が深くなっている。また、深さ60mm程度までは両者の曲げモーメントに違いはない。これはN1のように液状化地盤を想定していなくても、地表面付近は低拘束圧で地盤反力が非常に小さく杭を突出させたN2と同程度の曲げモーメントになったと考えられる。

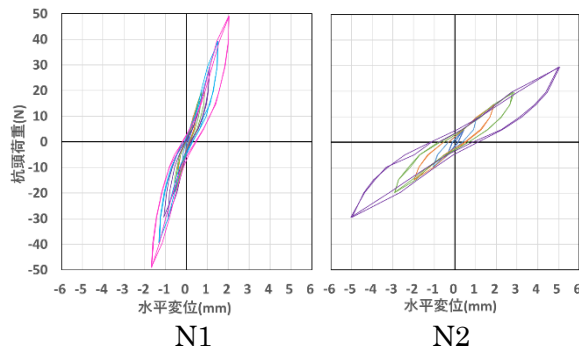


図5 杭頭荷重—水平変位関係

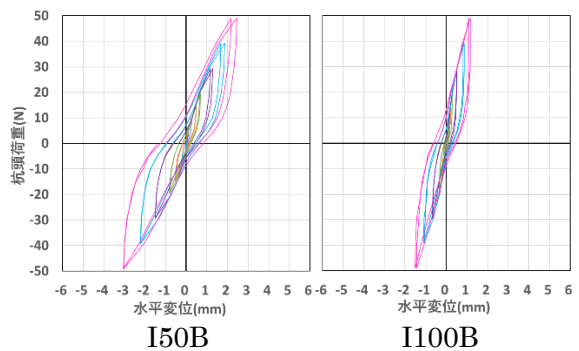


図6 杭頭荷重—最大水平変位関係

N1、N2と改良体を設置したI50B、I100Bを比較した場合、I50B、I100Bは改良体の底面の深度から曲げモーメントが急激に大きくなっている。前述の様に、これは改良体を設置している深度では杭体と改良体の合成構造になっており、改良体設置深度の杭の曲げモーメントが生じにくくなっているためである。改良体を設置したケースについて、本実験では改良体の剛性が非常に大きく、杭と改良体の合成範囲での杭体の曲げモーメントは実物との相似が成立していない。そこで、改良体の水平抵抗が改良体底面以深の杭の曲げモーメントに及ぼす影響に着目する。

N2とI50Bを比較した場合、改良体底面の深度以深ではほとんど同じ曲げモーメントを示しており、改良体を設置したことによる曲げモーメントの低減は確認できない。さらに、深度400mm程度の深い位置の曲げモーメントにも差は認められない。N2とI100Bを比較した場合、改良体底面の深度以深ではI100Bの曲げモーメントは小さくなっており、改良体による杭体の曲げモーメント低減効果が確認できる。また深い位置での曲げ

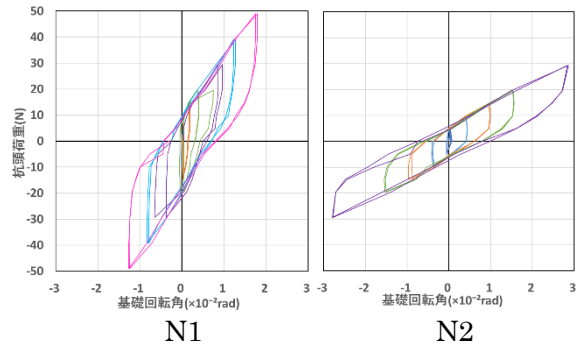


図7 杭頭変位—基礎回転角関係

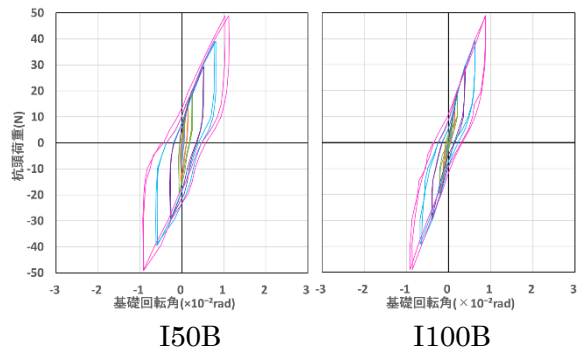


図8 杭頭荷重—最大基礎回転角関係

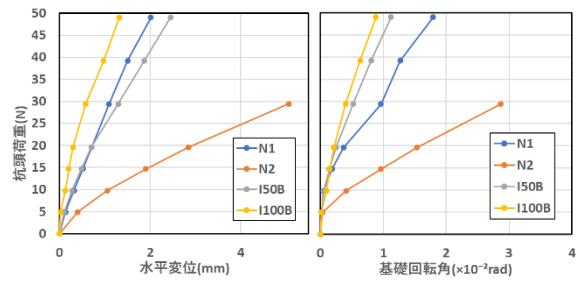


図9 杭頭荷重—最大水平変位関係

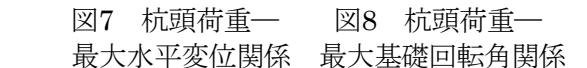


図10 杭頭荷重—最大基礎回転角関係

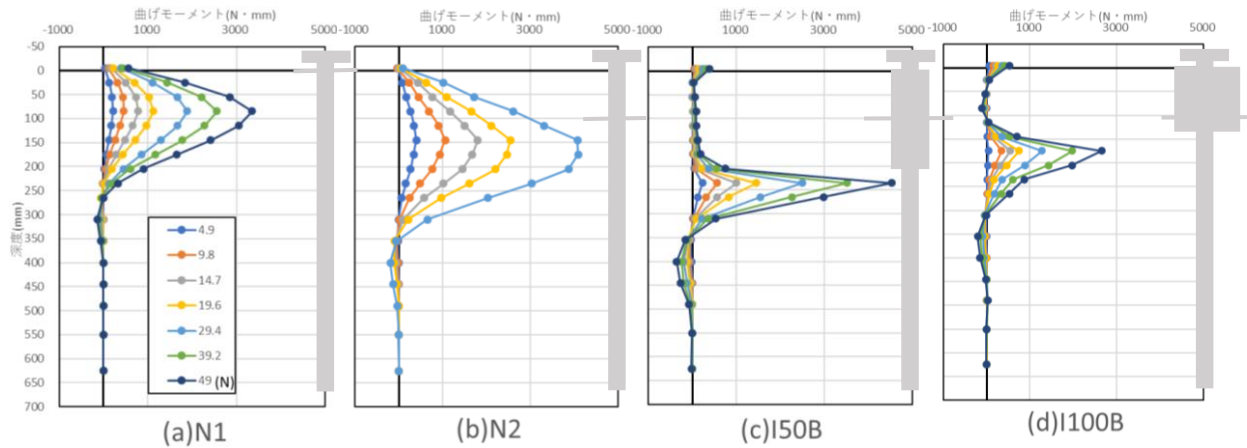


図9 曲げモーメント深度分布(ケース別)

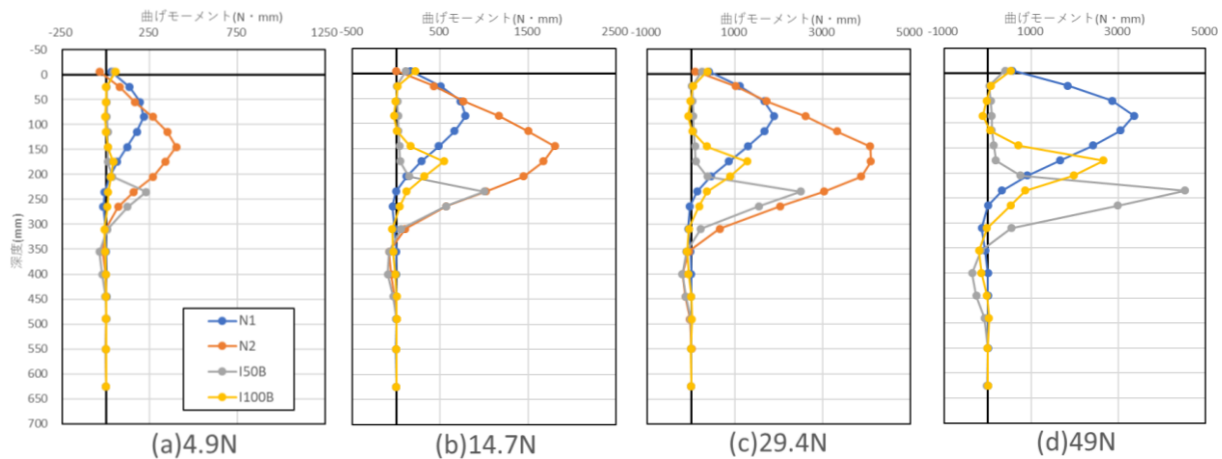


図10 曲げモーメント深度分布(荷重段階別)

モーメントの発生深度はI100Bの方が浅い。このことは、I50BとI100Bの比較では改良体の形状は、根入りを深くするよりも幅を広げることが効果的であることを示唆している。本実験では杭と改良体を密着させていることから、改良体は杭と同様に図6、8の様に回転している。すなわち、改良体による水平抵抗の増大には改良体の回転により改良体底面が底部地盤を支圧する効果が大きいと考えられる。

4. まとめ

本研究では液状化地盤を想定して地盤改良を併用した鋼管杭の水平抵抗機構に関する知見を得ることを目的としている。本報告ではその基本検討として、杭と改良体間の付着切れを生じさせない条件における水平抵抗機構を模型実験により検討した。その結果、改良体による水平抵抗の増大効果は改良体の側面及び前面の抵抗よりも、改良体底面で地盤を支圧することによる抵抗が大きく寄与することを確認した。

本実験は杭頭回転自由条件で行っているが、一般的に杭頭は回転拘束条件が多い。今後は改良体と杭体の

付着性状をパラメータとした検討とともに、杭頭の回転拘束条件の影響も検討する予定である。

参考文献

- 1) 高田光真, 柏尚稔, 小林俊夫, 小田達也, 宮本裕司: 杭周囲に地盤改良を施した鋼管杭の静的水平載荷実験その1, その2, 第48回地盤工学研究発表会, pp.1329-1332, 2013.7