

杭頭周辺の地盤改良による組杭の横抵抗の向上

海上・港湾・航空技術研究所	正会員	○森川嘉之	松村 聡
海上・港湾・航空技術研究所		水谷崇亮	
四国地方整備局		松原宗伸	
東北地方整備局		及川 隆	馬場大地

1. はじめに

近年、既存の港湾構造物に対する耐震補強や前面水深の増深などの機能強化に関する要望が高まっている。控え式矢板壁については、これらの要望への対応の一つとして、控え杭の杭頭周辺の地盤改良による横抵抗向上が考えられる。一方、控え杭には組杭がよく用いられるが、組杭の横抵抗メカニズムやその設計上の取り扱いが明確になっていない。そこで、杭頭周辺を固化改良した組杭の横抵抗メカニズムを実験的に検討¹⁾するとともに地盤改良による組杭の横抵抗向上効果の検証を行った。本報では、このうち改良体の効果的な配置や改良深さを検討した結果を報告する。

2. 模型実験

実験は遠心载荷装置を用いて 50g の遠心力場で実施した。模型地盤は、幅 75 cm×高さ 50 cm×奥行 20 cm (内寸) の土槽内に傾斜角 15 度の組杭模型および改良体を設置した後、空中落下法により乾燥した相馬珪砂 5 号を用いて作製した。模型地盤の相対密度は 80% (79.6~84.4%) とした。模型杭には厚さ 2mm, 奥行き 197mm のステンレス板を用い、各杭の両面奥行中央に 12 枚のひずみゲージを貼付した。また、杭頭をピン接合、载荷点とした。改良体には目標強度を 1 MN/m^2 ($1.1 \sim 1.3 \text{ MN/m}^2$) としたセメント改良土のほか、塩ビ模型を用いた。図 1 に模型地盤断面の例を示す。载荷方法の都合上、载荷点 (杭頭) を 3 cm 模型地盤表面から突出させ、改良体天端を模型地盤地表面とした。表 1 に各実験ケースの条件を示す。ケース 2~4 は改良位置、ケース 5~6 は改良深さ、ケース 7~8 は改良体の剛性、ケース 9 は杭接合部を地表面上突出させたことの影響の検討を目的としたケースである。

3. 模型実験

図2にケース1~4の杭頭水平荷重-変位関係を示す(実物スケール, 以下同様). 改良位置によらず同程度の横抵抗向上効果が得られている. 図は省略するが, 改良位置によって最大曲げモーメントの大きさが異なり, 前面改良のみのケース4に比べて杭間を改良したケース2, 3の方が小さくなっていた. このことから杭間のみの改良が合理的であると考えられる.

図3は改良深さを検討した結果である。図3を見ると今回実施した改良深さの範囲では横抵抗向上効果に差がみられない。図4は水平荷重3MNの段階の曲げモーメント分布で、実験値を3次の平滑化スプライン関数²⁾で補完したものである。改良深さを変えても、横抵抗向上効果および曲

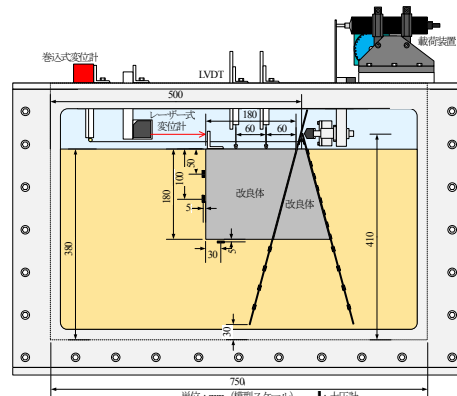


図1 模型地盤の断面図 (例: ケース3)

表1 実験ケース

ケース	改良位置	改良深さ*	改良体
1	無改良	—	—
2	杭間	9m	セメント改良土
3	杭間＋前面	9m	セメント改良土
4	前面	9m	セメント改良土
5	杭間	4.5m	セメント改良土
6	杭間	2.25m	セメント改良土
7	杭間	4.5m	塩ビ模型
8	杭間	2.25m	塩ビ模型
9	杭間＋ 突出部杭間	2.25m＋ 1.5m	塩ビ模型

*改良深さは実物スケール

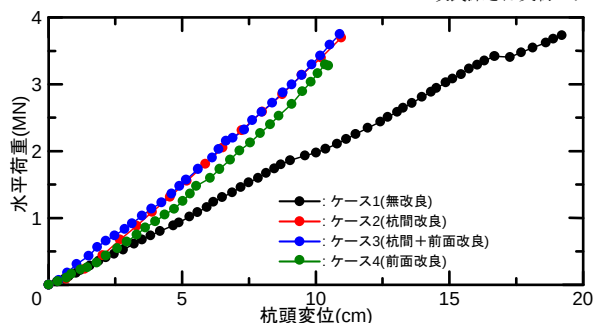


図2 杭頭水平荷重-変位関係 (改良位置の影響)

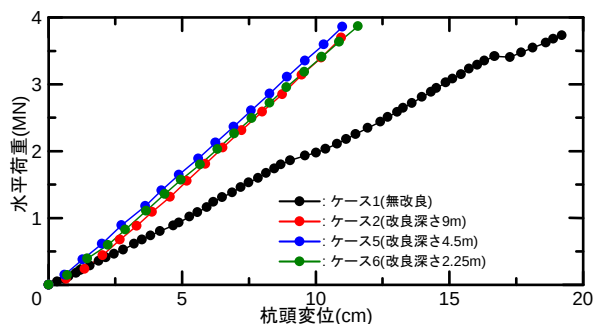


図3 杭頭水平荷重-変位関係 (改良深さの影響)

地盤改良，組杭，橫抵抗

連絡先：〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 港湾空港技術研究所 地盤改良研究チーム TEL: 046-844-5055

げモーメントの分布形状や最大値にもほとんど差がなかったことから、ケース6よりも改良深さを大きくしてもさほど改良効果が向上しないことがわかる。引抜き杭の最大曲げモーメントが無改良のケースに比べて大きくなっているが、これは後述するように改良体の肩の部分で杭に局所的な曲げが生じているためと考えられる。

図5は改良体の剛性が横抵抗向上効果に及ぼす影響を検討した結果である。直接比較できないが、セメント改良土と塩ビの変形係数はそれぞれ、約 $280 \text{ MN/m}^2 (E_{50})$ 、 $2460 \sim 4220 \text{ MN/m}^2$ (引張弾性係数)³⁾である。改良体を塩ビ模型としたケース5、6が若干大きいですが、セメント改良土の横抵抗もほとんど遜色がない。図3に示した結果と同様、曲げモーメントの分布形状や最大値にもほとんど差は見られなかった。このことから、杭の横抵抗向上を目的とした固化改良の場合、特別に大きな目標強度、セメント量を設定する必要はなく、通常的地盤改良で設定される範囲で横抵抗向上効果が得られると考えられる。

前述したように、今回の実験では杭頭を模型地盤表面から突出させ、改良体天端も模型地盤地表面としていた。これが図4で示した引抜き杭の最大曲げモーメントが大きくなった要因と考えられる。また、杭頭の変位のうち突出部分の変位が卓越していることが想定される。そこで、突出部分の杭間も改良したケース9を実施した。図6、7はそれぞれ杭頭水平荷重－変位関係、曲げモーメント分布（水平荷重 3 MN）の結果である。杭頭の剛性が向上することで、さらに横抵抗が向上していることがわかる。ケース9の曲げモーメント分布をみると、最大曲げモーメントがケース8に比べて全体的に小さくなり、最大曲げモーメントの発生位置も改良体下端に変化している。通常、控え杭の杭頭は地中にあり、杭頭直下も改良することが考えられるため、図4で示した引抜き杭の大きな曲げモーメントは生じないと考えられる。また、横抵抗が向上することで、ケース9の押し込み杭の曲げモーメントもケース8に比べて全体的に小さくなっていることがわかる。

地表面付近の地盤は杭の横抵抗への寄与が小さいことから、杭頭まで地盤が存在したと仮定する。この場合、無改良のケース1の l_{m1} は 8.3m、これに対するケース9の改良深さの比は約 0.45 となった。ただし、杭の横抵抗へ直接寄与しなくても浅部地盤の土被りは深部地盤の横抵抗を向上させる。このため、実際には上記よりも l_{m1} が若干小さく、それに対する改良深さの比が若干大きくなる。この点については精査が必要であるが、ケース9の横抵抗がケース8に比べて大きく向上していることから、改良深さを l_{m1} の 0.45 倍としてもケース8程度の改良効果は得られると考えられる。

4. おわりに

地盤改良による組杭の横抵抗向上効果の検証を目的として、改良体の効果的な配置や改良深さを検討した。その結果、通常目標強度の固化改良工法で杭間のみを改良することで組杭の横抵抗向上が可能であることが分かった。また、その改良効果は、改良深さを無改良の場合の l_{m1} の約 0.45 倍とすることで得られることが分かった。

参考文献：1)松村ら：杭間地盤を改良した控え組杭の横抵抗メカニズム，第71回土木学会年次学術講演会，2016（投稿中）。2)吉村・高山：パソコンによるスプライン関数，東京電機大学出版局，1988。3)塩ビ工業・環境協会：塩ビ樹脂の基礎物性，http://www.vec.gr.jp/enbi/enbi2_2.html。

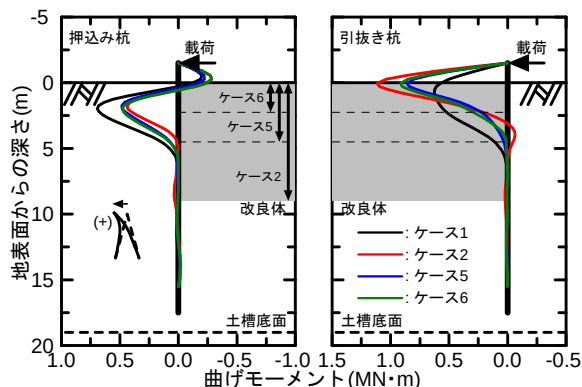


図4 曲げモーメント分布（改良深さの影響）

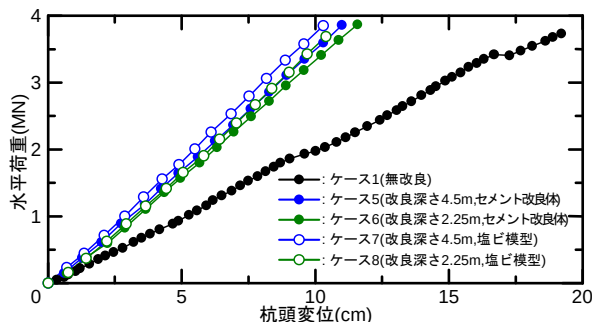


図5 杭頭水平荷重－変位関係（改良体の剛性の影響）

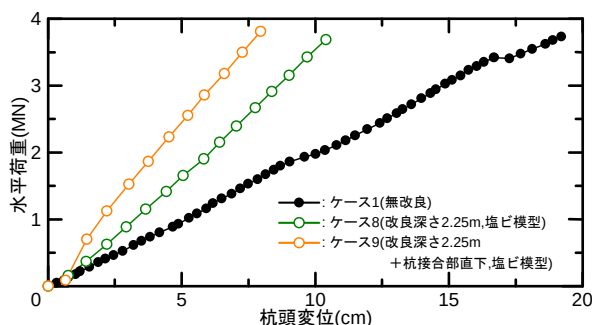


図6 杭頭水平荷重－変位関係（突出部改良の影響）

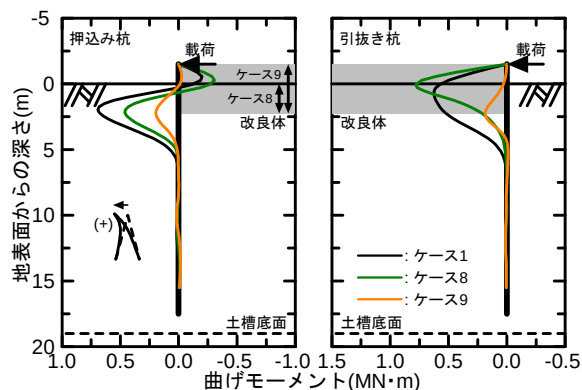


図7 曲げモーメント分布（突出部改良の影響）