

粘性土に打設された基礎体周辺土の強度・変形特性

防衛大学校 正垣孝晴・斑目育幹

1. はじめに

三重津海軍所は、2015年に「明治日本の産業革命遺産」の構成資産の一つとして、世界遺産に登録された。同船屋地区（SBD：Small Boat Dock）には、大型の木造建築物が建設されていた記録と整合する基礎体（木杭）が発掘調査で確認されている。この木杭周辺の含水比 w_n と非排水強度 c_u の測定値から木杭の設置方法や役割、施工法等が検討されている¹⁾が、十分な解明は進んでいない。

本研究は、この木杭が周辺土に与えた影響を検討したモデル試験²⁾と同じ視点で、同地区の木杭周辺土の強度・変形特性の変化を先のモデル試験²⁾の結果を含めて検討する。

2. 検討方法

図-1は土槽(Tank)と杭(Pillar)の貫入装置を示している。モデル地盤としての土槽は、圧密土槽（内径 $d46.8\text{ cm}$ 、高さ $h70\text{ cm}$ ）から $d25\text{ cm}$ 、 $h33\text{ cm}$ 、肉厚 2 cm の塩ビパイプで採取した粘性土を半割しており、一方に鉛玉で拘束圧 $\Delta\sigma'_v=6.6\text{ kN/m}^2$ を表層に載荷し、他方は無載荷の大気圧下 ($\Delta\sigma'_v=0\text{ kN/m}^2$) のモデル地盤とした。

供試土は横浜港の海底から採取した沖積粘土であり、 2 mm 篩で貝殻等を除去した再構成土の川崎粘土（本牧粘土）である。土粒子密度 $\rho_s=2.613\text{ g/cm}^3$ 、液性限界 $w_L=108\%$ 、塑性指数 $I_p=58$ の高塑性粘土（CH）に分類される。SBDの杭遺構は、 $w_L=115\%$ 、 $I_p=63\%$ の高塑性シルト（MH）の地盤であり、化学組成と粘土鉱物の観点でも同等³⁾であり、本モデル試験の有効性を確認している。土槽の圧密圧力 σ'_v は $30, 68, 107\text{ kN/m}^2$ の3種類とし、圧密後の粘土の強度が貫入体による周辺土に及ぼす影響も検討する。杭貫入による土の変形挙動の測定と整理方法等は、従来^{2),4)}と同じである。

3. 川崎粘土に貫入した杭周辺土の強度・変形特性

$\sigma'_v=107\text{ kN/m}^2$ 地盤の拘束圧 ($\Delta\sigma'_v=6.6\text{ kN/m}^2$) 下で貫入した杭周辺から摂取した供試体の一軸圧縮試験結果を表-1にまとめている。ここに ρ_t 、 S_0 、 q_u 、 ε_f 、 E_{50} は、それぞれ湿潤密度、サクシヨン、一軸圧縮強さ、破壊ひずみ、変形係数である。表-1の供試体位置と番号を図-2に示す。図-2には、各供試体の q_u に加え、杭貫入によるターゲットの移動をベクトル表示し、ターゲットが移動していない境界を青の破線で示している。杭の貫入によってその周辺土は乱れるが、乱れによる q_u の低下は、ターゲットの移動を意味する青の破線の範囲と整合している。

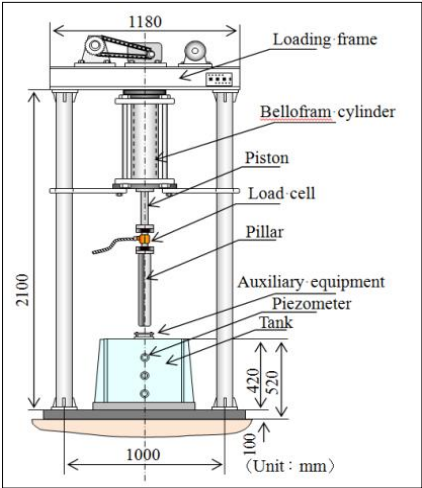


図-1 貫入装置

表-1 供試体の指標的性質

Specimen	w_n (%)	ρ_t (g/cm^3)	S_0 (kPa)	$q_{u(\text{max})}$ (kN/m^2)	ε_f (%)	E_{50} (MN/m^2)
1	76.4	1.55	20.7	69.8	10.6	11.9
2	77.1	1.56	12.0	86.2	12.4	16.8
3	77.1	1.55	18.2	74.7	7.1	21.4
4	78.0	1.56	10.3	61.8	13.6	7.0
5	78.6	1.56	11.3	68.0	12.1	7.5
6	78.9	1.55	13.3	79.0	13.5	11.3
7	76.2	1.57	19.2	59.9	11.7	12.1
8	77.0	1.56	15.2	69.2	11.5	8.6
9	77.2	1.54	14.8	72.1	11.8	11.5
10	78.0	1.55	15.7	73.7	11.9	13.6
11	77.3	1.56	15.7	73.1	12.3	10.5
12	77.1	1.54	16.7	69.0	8.9	14.6
13	77.0	1.55	15.2	74.0	10.2	14.9
14	76.7	1.54	17.1	76.7	8.8	13.0
15	76.6	1.55	19.7	73.9	9.7	17.2
16	77.3	1.55	15.7	75.7	9.8	16.4
17	76.9	1.54	18.7	71.9	9.0	15.4
18	77.7	1.54	18.2	73.6	10.9	15.8

キーワード 三重津海軍所、船屋地区、木杭、一軸圧縮試験、モデル試験
連絡先：〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL 046-841-3810

モデル地盤底部の供試体 15, 16, 17, 18 の S_0 , q_u , E_{50} 等の強度特性は表-1 に示すように同等であり, これらの供試体に杭の貫入の影響は及んでいないことが分かる. これに対して, 杭周辺 (1,4,5) と直下 (7,8) の供試体の q_u と E_{50} は他より小さく, 杭貫入による試料の乱れが明らかである. 図-2 に示した 18 個の供試体の w_n は, 表-1 に示すように, 76.1~78.9% の狭い範囲に納まり, これらの供試体は同等の指標的性質を持つと判断される. したがって, 図-2 に示すターゲットの移動 (青の破線内側) と q_u の変化は, 杭の貫入のみに起因し, その影響範囲は, 杭周辺と底部に対して杭径の 1.6 倍程度であることを示している.

4. 三重津海軍所船屋地区の木杭貫入による周辺土の乱れの解釈

図-3 は船屋地区の杉杭 (20cm 径) 表面からの距離 D_p と w_n の関係を示している. $w_{n(60)}$ は, D_p が 60cm であり, 異なる 3 つの標高下で 8 点の異なる D_p の $w_n/w_{n(60)}$ がプロットされている. これらのプロットを遮るように杭打設による w_n と c_u への影響範囲が, それぞれ青と赤の実線で示されている. また, 黒の破線は, 図-2 の青の破線で示した杭打設の影響範囲である. これらの 3 本で示される線は, ほぼ同等であり, SBD の杉杭は打込み杭であると判断される.

SBD では, 図-3 に示した E2 杭を含む 13 事例で木杭周辺の乱れを同様に検討⁵⁾している. 図-4 はそれらの結果を示している. 図-4 では, 各事例における杭表面からの乱れの最大距離 $D_{p(max)}$ の範囲を青色で包絡しているが, 事例①~③は松杭 (径 10cm), ⑪~⑬は松と杉杭の群杭 (径 40cm), 他は杉杭 (径 20cm) である. E1(⑪), E2(⑫), E3(⑬) に示す D_p の最小値は, それぞれ 5cm, 10cm, 15cm (杭径の 25~75%) である. B3 杭でも②に対しては, 約 60cm (杭径の 67%) 程度まで影響している. 杉杭の A2 は④に関しては $D_p=10$ cm (杭径の 50%) の範囲内で c_u の増加はなく, 杭打設による影響はないと判断される. 同じ杉杭の A7, A8, A11 の $D_{p(max)}$ は, ⑤($D_p=30$ cm), ⑥($D_p=50$ cm), ⑦($D_p=52$ cm), ⑧($D_p=30$ cm), ⑨($D_p=45$ cm), ⑩($D_p=53$ cm) であり, 最大の領域⑩でも 20cm の杭径の 2.5 倍の範囲であることが分かる. 図 3 の結果を踏まえて, SBD の 13 事例の結果から SBD の杉杭も打設杭であると判断される.

5. おわりに

粘性土に杭が貫入された場合, 過剰間隙水圧 u の発生と土の機械的攪乱に起因して強度が低下するが, u の消散によって含水比も低下する. 小型土槽の試験結果と船屋地区の実杭調査結果は整合しており, 杭貫入による杭側面と杭直下の攪乱範囲は, 杭径の 1.15~2.5 倍程度であることが分かった.

参考文献

1) Shogaki, T. and Okuda, D. (2018), Load history of cedar

foundation pile in the Mietsu Naval Facility World Heritage, Proceeding of the 1st International Conference on Press-in Engineering, Kochi, pp.1-8. 2) Shogaki, T., Okuda, D. (2018), Deformation behavior around foundation piles in the

Mietsu Naval Facility World Heritage Site: Model tests on Kawasaki clay, 16th ARC, pp.1-4. 3) 正垣・奥田・小口: 三重津海軍所ドック渠壁と旧佐賀城構口橋台の路床の土工材料の産地同定, 第 45 回土木学会関東支部技術研究発表会, PP.285~288, 2018. 4) Shogaki, T. (2017). Mechanism of sample disturbance caused by tube penetration (Model test on Toyoura sand), *Soils and Foundations*, 57 (3), 527-542. 5) 正垣・斑目: 粘性土に打設された基礎体周辺土の強度・変形特性, ICOFORT 国際会議 2018in 彦根, pp.1-10, 2018.

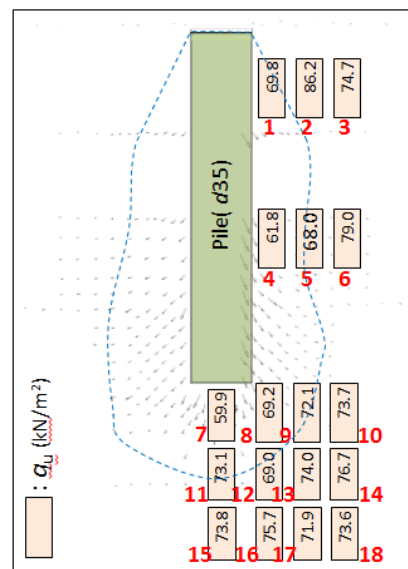


図-2 供試体位置と q_u 値

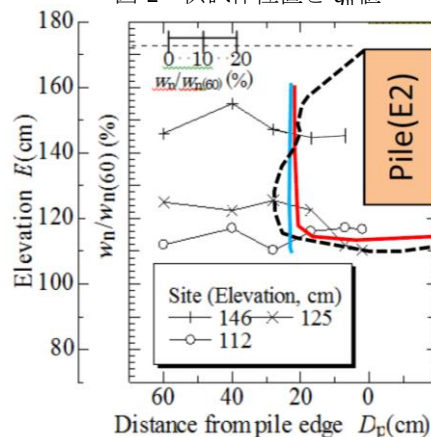


図-3 杭打設による w_n 変化と土要素の移動

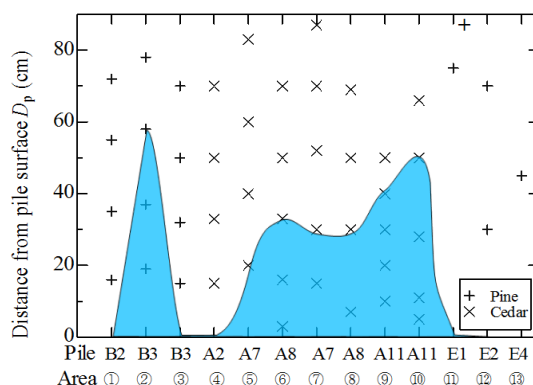


図-4 杭打設による影響範囲