大型土槽における開端杭の先端閉塞に関する鉛直貫入実験

（独）港湾空港技術研究所 正会員 菊池 喜昭
東亜建設工業㈱ 正会員 ○佐藤 宇紘
（独）港湾空港技術研究所 正会員 森川 嘉之

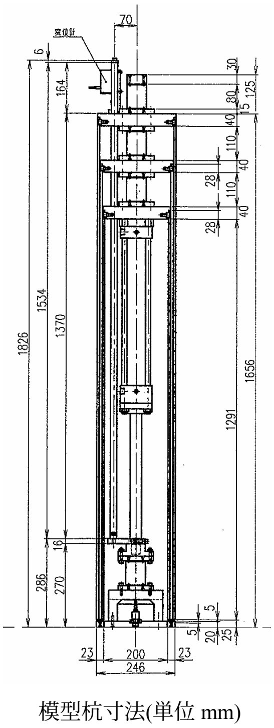
1.はじめに

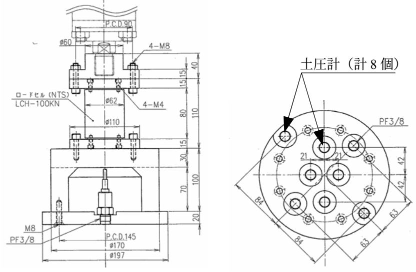
近年の港湾施設における上部構造物の大型化に伴い，従来よりも大支持力の基礎が求められている．そのため基礎工として多用される鋼杭においては長尺化，大径化が顕著となっている．この鋼杭の大径化によって特に問題となっているのが杭先端支持力の推定に大きな影響を与える開端杭の先端閉塞現象の評価である．しかし，現行の設計基準においては実証データの不足等により明確な支持力評価法が確立されていない．そこで，大径杭の支持力評価に先立って先端閉塞現象の基礎的な把握が重要であると考え，小型模型土槽における開端模型杭の静的貫入実験を行い，X 線 CT スキャナを用いた地盤内挙動の観察，評価を行ってきた[1]．閉塞現象の把握にあわせて，内周面にどのような抵抗が生じるかを調べることが先端閉塞の評価に不可欠であるが，CT スキャナ装置内で実験可能な土槽の大きさに制約があるため小型模型の杭体に生じる貫入抵抗力を計測することは困難であった．そこで，先端閉塞を生じた開端杭の杭体各部（内，外周面及び先端）に生じる貫入抵抗を分離して計測することを目的とした三重管模型杭を作製し，大型土槽における鉛直貫入実験を実施した．杭内部には土圧計が付いた可動式の剛な盤が設置されており，任意の位置に固定できるように設計されている．杭内盤を杭先端から一定距離ずつ杭内に下げて数ケースの実験を実施し，杭体各部で分担される貫入抵抗力の割合を比較することで閉塞時の内周面摩擦の分布を推測して閉塞現象についての考察を行った．

2.実験概要

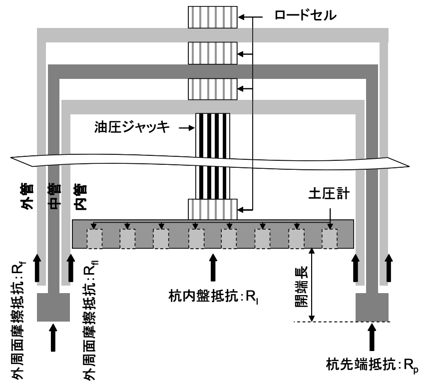
2.1 実験装置

模型杭の概要について**図-1** に示す．実験には三重管構造の模型杭を用いた．この杭は外径(D)246mm，内径(d)200mm で D/t は 10.7 となっている．三重管はそれぞれ接触しておらず，各管上端がロードセルで結合された構造となっているため,内外周面摩擦抵抗力と先端抵抗力は各ロードセルで測定した荷重の差分から分離計測できる．外管は外周面摩擦(R_f)，中管は先端抵抗(R_p)，内管が内周面摩擦(R_{fI})を測定する．また，杭内部には油圧ジャッキに結合された可動式の剛な杭内盤を内蔵している．杭内盤の直径は 197mm で油圧ジャッキとの結合部にはロードセル，地盤との接触面には計 8 個の土圧計が中心から一定間隔で設置されており，杭内盤にかかる抵抗力(R_I)と接地圧分布が測定できる．杭内盤は杭先端 0d から最大 2.0d（400mm）まで変位させることができ，杭内盤の位置は付属の計測棒から測定できる．なお，模型地盤材料には相馬硅砂 4 号を用いた．また，土槽は横 200cm×縦 200cm×深さ 150cm のコンクリート製である．載荷装置は容量 130kN，ストローク 2m のものを使用した．模型地盤の物理特性については**表-1** に示す．


模型杭寸法(単位 mm)



杭内盤寸法(単位 mm)



抵抗計測のイメージ図

図-1 模型杭概要

表-1 模型地盤（相馬硅砂 4 号）の物理特性

土粒子密度（ρ_s）	2.644 g/cm^3
最大乾燥密度（ρ_{dmax}）	1.618 g/cm^3
最小乾燥密度（ρ_{dmin}）	1.342 g/cm^3
平均粒径 D_{50}	0.7 mm
均等係数 Uc	1.6

キーワード 開端杭，先端閉塞，鉛直載荷実験，三重管模型杭
連絡先 〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1 (独)港湾空港技術研究所 地盤構造部 基礎工研究チーム TEL046-844-5057

2.2 実験方法

図-2 に貫入実験概要を示す．模型地盤は気乾状態の硅砂 4 号を空中落下法で地盤厚さ 150cm(目標相対密度 Dr50%)となるように降らせて作製した．実測では各実験ケースの相対密度は 46%～53%の範囲であった．実験は計 6 ケース行った.Case1(0d)は杭先端と杭内盤が同位置にあり閉端杭の状態である．(括弧内は杭内盤の杭先端からの距離を杭内径で除したもの．) Case2～5 は杭先端から 0.5d(100mm)ずつ杭内盤の固定位置を杭内側に下げている．Case6 は杭内盤をジャッキごと取外して杭内を完全中空にした三重管だけの貫入実験である．実験は模型地盤表面から変位制御で連続的に行い，貫入速度は 1mm/min とした．貫入は最大杭頭荷重 50kN（Case6 は 70kN）までとした．

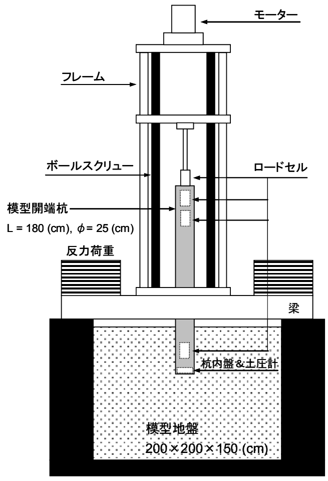


図-2 貫入実験概要

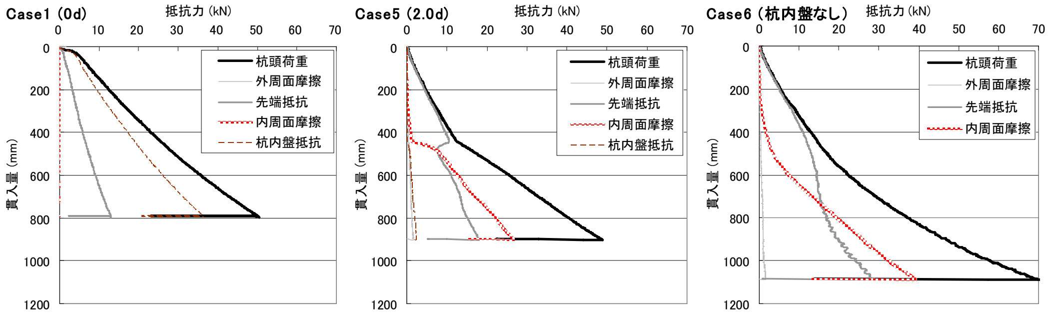


図-3 貫入抵抗-貫入量関係（全抵抗及び各分担抵抗：Case1,5,6）

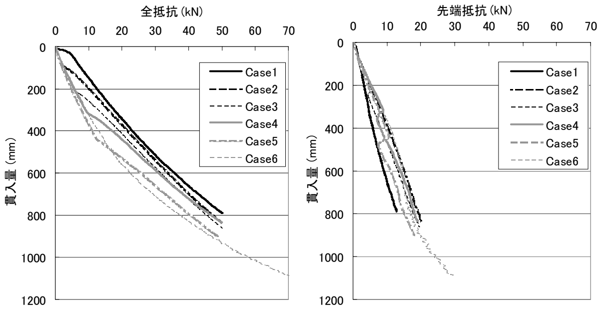


図-4 全ケースの全抵抗及び先端抵抗

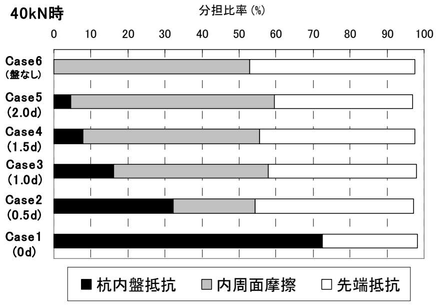


図-5 杭体各部の分担抵抗比(全抵抗 40kN 時)

3.実験結果及び考察

図-3 に Case1(0d：閉端杭)，Case5(2.0d：開端杭)及び Case6(杭内盤なし：開端杭)の全抵抗及び杭各部の分担抵抗と貫入量の関係を示す．これらの結果から，開端杭条件の Case5,6 においてそれぞれ貫入量 450mm，500mm 付近で全貫入抵抗の増加率の変化が生じており,先端と内周面摩擦と杭内盤それぞれが分担する抵抗力も変化していることがわかる．特に Case5 でははっきりと一点で大きく変化している．逆に Case1 の閉端杭条件では貫入抵抗増加率の明確な変曲点は観察されない．これらの結果から，Case5,6 では全抵抗の増加率の変化点及びその付近で先端閉塞が発達したと予想される．特に Case5 では杭内に侵入した地盤が杭内盤に接触した点で急激に閉塞状態に移行したと推測されるが，この時に杭内盤が受け持つ抵抗をみると全抵抗の 3%程度であることから,杭先端 2.0d の範囲では閉塞が発達する条件がほぼ整っており，杭内盤の接触がきっかけとなって急激に閉塞が発達したと考えられる．閉塞が生じると内周面摩擦が急増すると同時に先端抵抗が一旦減少するが貫入が進むとそれぞれの抵抗力の増加率は一定値に落ち着く．Case5，6 の分担抵抗力の変化の比較から，杭内盤によって強制的に閉塞を生じさせた Case2～5 は，杭内に開端部分の体積以上は杭下地盤が侵入できないという問題はあるが，閉塞現象をある程度模擬できていると考えられる.**図-4** には全ケースの全貫入抵抗を示す．全抵抗の結果から，杭内盤の位置が異なると貫入抵抗の増加率が急変する地盤深さが異なり，どのケースも閉塞前と閉塞後のそれぞれの抵抗増加率はほぼ等しいことがわかる．先端抵抗力を比較するとどのケースも増加率はほぼ等しいが，Case1(0d)が若干小さいことが特徴である．ここで杭内盤の位置を変えた全ケースについて杭各部の貫入抵抗力分担比率を**図-5** に示す．各ケースの全抵抗が 40kN 時の結果を整理比較した．杭内盤を 2.0d まで杭内に段階的に下げた Case1~5 の間に杭内盤抵抗は急減し，内周面摩擦は急増した．Case5(2.0d)までにほとんどの杭内盤抵抗は内周面摩擦抵抗に置き換わった．また，杭内盤抵抗から内周面摩擦への抵抗力の置換は杭先端ほど顕著である．これらの比較から，先端閉塞を生じた杭の杭内先端抵抗は杭先端から 2.0d の範囲の内周面摩擦により分担され，特に先端部分ほどその分担抵抗力が大きいことが分かった．

参考文献 1)菊池ら：鋼管杭の先端閉塞効果と支持メカニズムに関する模型実験と地盤内可視化，第 42 回地盤工学研究発表会講演集，pp.1165-1166, 2007.