

開端杭管内の狭窄形状が閉塞効果の促成に及ぼす影響

熊本大学 正会員○佐藤宇紘 平島祐希 正会員 大谷順
東京理科大学 フェロー会員 菊池喜昭

1. はじめに 大規模土木構造物で使用される大口径鋼管杭の鉛直支持力で特に問題となるのが閉塞率の推定である。閉塞効果は管内周面摩擦で発現するため、開口部断面積と管内周長の関係から、杭径拡大による閉塞率低下は原理的に避けられないが、形状の工夫で閉塞効果を促成した事例はこれまでに多数ある。十字リブ¹⁾は先端実部、管内表面積の増加と有効開口径の縮小で閉塞を促すもので、実大試験での効果が確認された。鋼管杭管内に突起(リブ)を有するスパイラルリブ²⁾はすべり抑制が可能で、簡易加工の溶接成形突起でもその効果がある。模型サイズではあるが、管内テーパ形状や突起物の配置³⁾や開端型回転杭の管内翼の配置⁴⁾も閉塞効果の促成に有効である。一方、閉塞効果の基本機構に関して、開端杭は管内先端部の極めて狭い範囲に水平応力が集中して高い摩擦抵抗を発揮すると報告⁵⁾されており、閉塞効果は先端内周面集中型の支持機構と考えられる。また、十分な閉塞率が発揮されない管内では地盤と杭との相対変位、つまり管内土全体のすべりが生じるとされ、既存研究⁶⁾では閉塞過程の開端杭管内土高さが断続的に変化する現象が確認されている。これらの知見を参考に、本研究では管内構造が閉塞効果の促成に与える影響を検討することを目的とし、小型模型杭の貫入実験を実施した結果を報告する。杭先端地盤の基本挙動調査のために実施したX線CTスキャナによる非破壊検査の結果についても示す。模型杭管内の形状(管内狭窄形状)を変えた比較実験で閉塞効果の発現状況と杭先端地盤挙動の関連性について考察を行った。

2. 実験方法 実験概要を図-1に示す。模型土槽にはセル圧式ゴムスリーブ円筒土槽を用いた。装置詳細と地盤作製方法は文献⁷⁾に詳しい。豊浦砂を用い、土槽直径100mm、高さ188mm、初期地盤相対密度 $D_r \approx 80\%$ 、等方セル圧200kPaで地盤を作製後、下部反力板から軸差応力200kPaを与えて $K_0=0.5$ に設定した。貫入実験は模型杭を万能試験機で地盤上端から貫入速度10mm/minで最大100mmまで貫入した。CT撮影実験では載荷装置に小型ジャッキを用い、試料テーブル上で貫入実験を行った。一定貫入量で杭を保持し、CT撮影と微小貫入を繰り返し実施した。管内狭窄形状の模型杭概観図と代表寸法を図-2に示す。比較実験に同外径の中実杭(外径 $D:32$ mm)と狭窄の無い開端杭(肉厚 $t:1$ mm)を用いた。形状パラメータとしては以下を設定した。狭窄部取付け位置として、先端から狭窄部までの長さを開口長 l_{open} とし、0~51mm($0D \sim 1.6D$)の範囲とした。狭窄型模型杭は名目上2タイプに分け、狭窄部を杭先端に有する「先端狭窄型: $l_{open}=0$ 」と杭先端から離れた位置に有する「管内狭窄型: $l_{open}=11 \sim 51$ 」である。次に、狭窄部長さを狭窄長 l_{cons} とし、5~32mm($0.16D \sim 1D$)の範囲とした。狭窄部の肉厚増分は狭窄厚 t_{cons} とし、0.5~2mmの範囲とした。杭断面に対する開口部、狭窄部の開口率は開口部0.88、狭窄部0.66~0.82である。

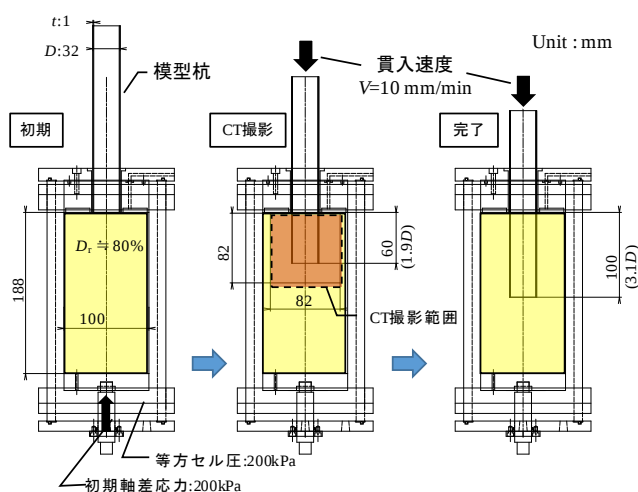


図-1 模型実験概要

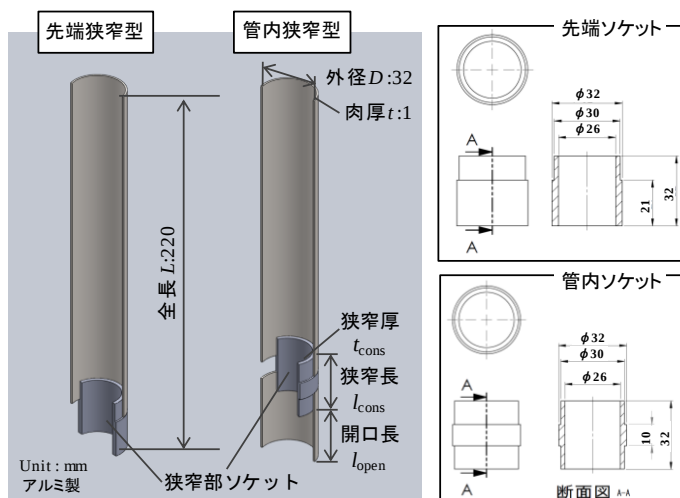


図-2 狭窄型模型開端杭詳細

キーワード 鋼管杭, 閉塞効果, X線CTスキャナ, 管内狭窄

連絡先 〒860-8555 熊本市中央区黒髪2丁目39-1 熊本大学工学部技術部 TEL 096-342-3610

3. 実験結果と考察 図-3 に貫入実験結果を示す。上図が先端狭窄型 ($l_{\text{open}}=0$ mm(0D)), 下図が管内狭窄型 ($l_{\text{open}}=32$ mm(1D)) の結果である。いずれも狭窄長 $l_{\text{cons}}=32$ mm である。比較に開端杭と中実杭の結果を並べる。開端杭と比べ先端狭窄、管内狭窄のいずれも貫入後の杭頭荷重は増加したが、特に管内狭窄型は荷重増加率の向上が顕著で、 $t_{\text{cons}}=2$ mm のケースは貫入量 1.5D 程度で中実杭と同等の杭頭荷重を発揮し、効率的に閉塞効果が促成された。全体をみると荷重増加率は狭窄部の開口率（狭窄部の肉厚増分 t_{cons} ）に比例することが分かる。紙面の都合上示せないが、狭窄部長さ l_{cons} や狭窄部までの開口長 l_{open} の比較実験でも荷重増加率は各パラメータに影響される結果となった。そこで、貫入抵抗が異なるケースの CT 撮影を実施し、杭先端地盤挙動を比較した。図-4 に模型杭先端の鉛直断面画像と画像相関法で解析した変位、ひずみ場を示す。図中白色部は杭体を表す。CT 画像には、開端杭と先端狭窄型には杭先端実部直下から管中心に向かう対数螺旋状の低密度すべり面が観察できる。浅い基礎のすべり面に似ているが、管中心方向にのみ発生しているのが特徴的である。また、管内土は初期地盤より低密度になっている。一方、管内狭窄型では杭先端開口部には周辺より高密度の領域が存在し、その周辺を低密度領域が包む。これは深い基礎で中実杭先端に発生する主働くさびとよく似ている。また、管内狭窄部の入口付近には先端狭窄型の先端部と似た低密度領域が観察できる。変位場解析の結果から、開端杭と先端狭窄型は杭下及び周辺に明確な地盤変位は見られず、管内土は杭貫入方向と逆方向にずれ動いている。一方、管内狭窄型は狭窄部下側の管内土は、完全一体挙動ではないが、杭の貫入方向に移動している。模型杭先端の体積ひずみは開端杭と先端狭窄型は開口部直下で膨張傾向を示し、その直上の開口部内側にはアーチ状の圧縮領域が分布する。一方、管内狭窄型では狭窄部付近で他のモデルと同様の膨張と圧縮が生じているが、狭窄部下側の管内土と杭直下地盤に体積変化は生じておらず、主働くさび周辺をせん断膨張領域が包んでいる。今回の実験条件では先端狭窄よりも管内狭窄のほうが閉塞効果の促成に有効であった。閉塞効果の早期発現には狭窄部配置が重要なファクターであり、狭窄構造で閉塞を促進させる場合、杭先端から一定距離離れた位置に設置するのが有効であろう。これは、杭先端から狭窄部までの周面摩擦と狭窄部実部に先端抵抗を分散支持させる機構と言える。今後はサイズの影響についての検証、打設時貫入抵抗の低減等が課題である。本研究は日本鉄鋼連盟「鋼構造研究・教育助成事業」の助成を受けた。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】 1) 斎藤ら: 東京港臨海道路における先端補強金物を施した鋼管杭の支持力, 第 40 回地盤工学研究発表会, pp.1681-1682, 2005. 2) 橋本ら: 回転貫入鋼管杭 (ドリル杭) 工法 -新しい低騒音・低振動鋼管杭工法-, 土と基礎, 39(4), pp.33-38, 地盤工学会, 1991. 3) 狩山ら: 開端杭の先端閉塞特性に関する研究, 土木学会西部支部, pp.483-484, 2009. 4) 吉津利洋: 内翼を有する先端翼付き回転貫入鋼管杭の開発, 日本建築学会技術報告集, 第 20 巻 第 45 号, pp.467-470, 2014. 5) 神戸ら: 地盤の密度の違いによる開端杭の先端支持力発現機構の変化, 土木学会論文集 B3, Vol.73, No.2, pp.390-395, 2017. 6) 水谷ら: コーン貫入試験による開端杭の先端閉塞状況の評価手法に関する実験, 港空研資料, No.1053, 2003. 7) 佐藤ら: 開端杭の施工方法が先端閉塞効果に与える影響に関する研究, 日本鉄鋼連盟 2018 年度公募研究成果梗概集, pp.121-143, 2019.

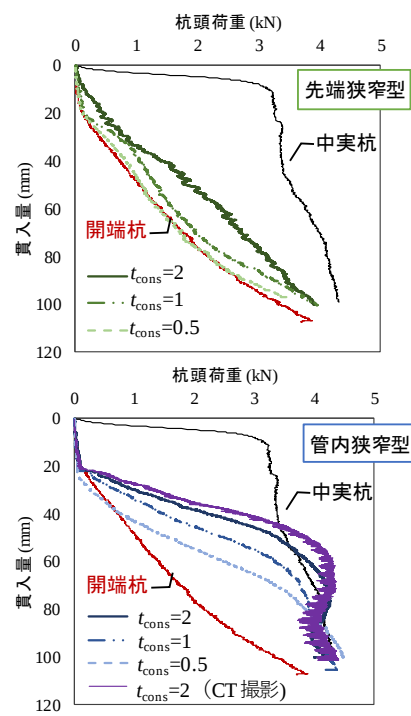


図-3 荷重-貫入量関係

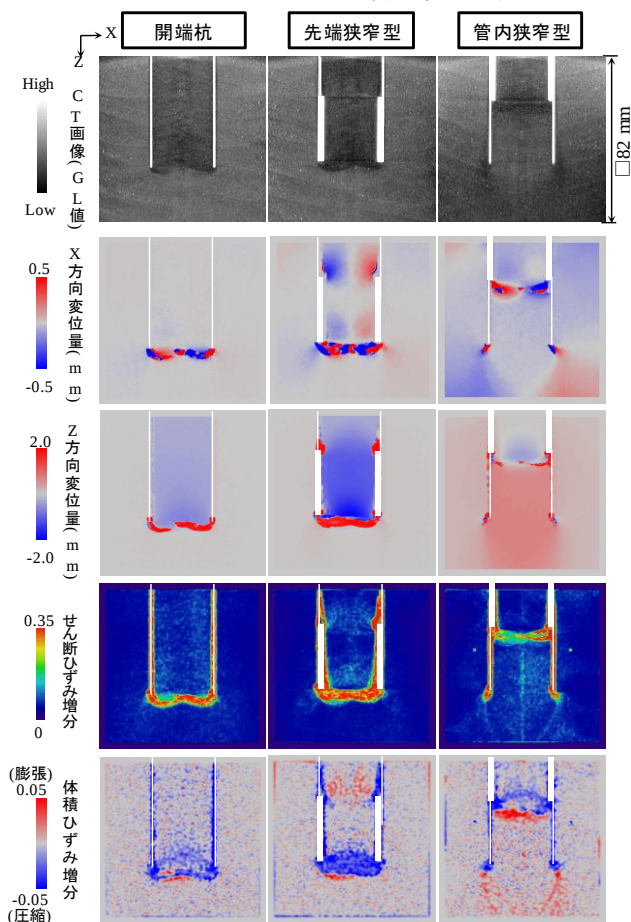


図-4 鉛直断面 CT 画像と変位場、ひずみ場解析結果