

内面突起を設けた鋼管杭の先端閉塞状態を保持する効果に関する解析的検討

日本製鉄㈱

正会員　○鈴木　健吾

非会員　大前　憲盛

非会員　戸田　和秀

非会員　長浦　崇晃

1. はじめに

鋼管杭に代表される開端杭が先端支持力を十分に発揮するには、管内の土が閉塞状態となり鋼管内周面での摩擦抵抗が機能することが重要である。このとき閉塞土が抜けださないためには所定量の管内土高さが必要でありその分支持層への根入れを確保することが望ましいが、必要根入れ長が大きい場合は施工時間や高止まりのリスクも増大する。これに対し、鋼管内周面に突起を取り付けてせん断抵抗を高めることで閉塞に必要な管内土高さを低減する工夫を検討している(図-1)。本稿では、数値解析を用いて先端に管内土を有する鋼管に鉛直荷重を作用させ、突起の有無による管内土の押し抜き抵抗力の違いを検討する。

2. 解析手法

図-2 に解析モデルを示す。数値解析は ABAQUS を用いた。鋼管はシェル要素でモデル化し弾性体とした。先端に位置する管内土は弾塑性体でモデル化し Mohr-Coulomb の破壊基準を適用した。管内土は N 値 50 程度の砂質土を想定した。解析に用いた物性値を表-1 に示す。鋼管と管内土の境界では $\mu=0.55$ として摩擦を作用させた。解析手順としては、まず管内土底面を支持したうえで土圧係数は静止土圧を想定し $K=0.43$ として自重解析を実施した。その後、管内土が押し抜けるもしくは管内土が塑性破壊するまで管内土底面に鉛直方向の等分布荷重を漸増させて作用させた。

解析ケースを表-2 に示す。CaseA は突起のない通常の鋼管とし、CaseB は鋼管先端 1D (D は杭径) に高さ 25.5mm 幅 12.75mm の角部を丸めた突起を 2 段取り付けたものとし、それぞれ管内土高さを 1～5D に変化させ抵抗力を調べた。突起による抵抗力増大については、中掘り鋼管杭や鋼管ソイルセメント杭といったセメントミルク等を充てんさせる杭先端構造では実用がなされている。その破壊形式については、突起高さ h に対して突起同士の間隔 s が十分に広い場合は突起下部の支圧破壊であり、突起間隔 s が h に対して相対的に小さい場合は突起の頂部を結ぶ面でせん断破壊される機構だと考えられている¹⁾(図-3)。本解析では、鋼管ソイルセメント杭での検討において内リブがソイルセメントに対して十分に支圧効果を発揮した仕様を参考にして²⁾、 s/h を 20 程度に設定した。

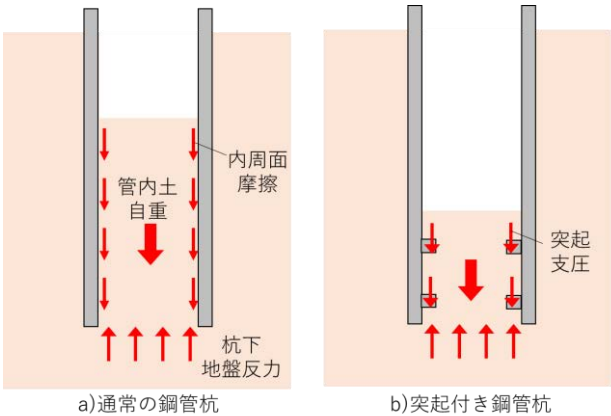


図-1 開端杭の先端閉塞モデル

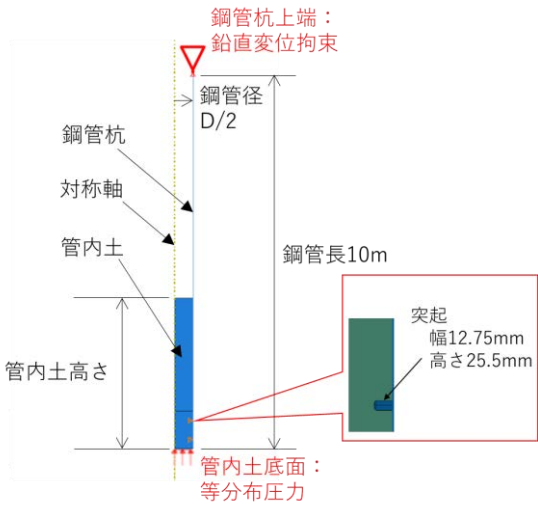


図-2 解析モデル

表-1 解析パラメータ

鋼管杭	材料	普通鋼	
	ヤング率	E_p	205000 (N/mm ²)
	ポアソン比	ν	0.3 (n. d.)
管内土	材料	砂質土	
	密度	ρ	10.0×10^{-10} (ton/mm ³)
	ヤング率	E_s	125 (N/mm ²)
	ポアソン比	ν	0.3 (n. d.)
	摩擦角	φ	42.7 (deg)
	粘着力	c	0.0206 (N/mm ²)
	膨張角	ψ	0.1 (deg)
初期静止土圧係数		K_o	0.43 (n. d.)

キーワード　先端閉塞，鋼管杭，有限要素法

連絡先　〒293-8511　千葉県富津市新富 20-1　日本製鉄株式会社　技術開発本部

表-2 解析ケース

	鋼管径 (mm)	板厚 (mm)	管内土 高さ	突起段数 (段)	突起取付 範囲	突起間隔s (mm)	突起高h (mm)	s/h
CaseA-1	1000	25	1D	0	—	—	—	—
CaseA-2			2D					
CaseA-3			3D					
CaseA-4			4D					
CaseA-5			5D					
CaseB-1			1D	2	1D	500	25.5	19.6
CaseB-2			2D					
CaseB-3			3D					
CaseB-4			4D					
CaseB-5			5D					

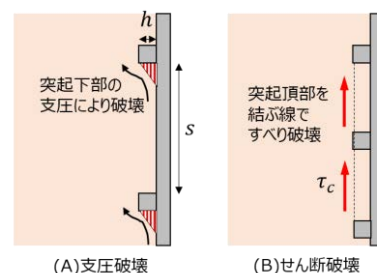


図-3 突起付き鋼管における破壊形式

3. 解析結果

図-4 に鉛直反力と管内土底面中央の鉛直変位の関係を示す。通常の鋼管である CaseA では管内土は塑性化することなく鋼管内壁面での摩擦が切れて押し抜ける挙動を示したのに対し、突起付き鋼管の CaseB では突起頂部から管内土が塑性化した時点で鉛直変位が急増し最終的にせん断破壊に至る挙動を示した。本解析では、CaseB については変曲点の時点で押し抜けたものと判断した。抜け時の鉛直反力や押し抜けに至るまでの鉛直変位に対する鉛直反力の増加量については、どの管内土高さにおいても突起付きの CaseB のほうが大きくなる結果であった。

図-5 に最小主応力ベクトルと塑性ひずみコンタを示す。CaseA では壁面から管内土底面への主応力ベクトルが確認でき鋼管内周面での摩擦により押し抜きに抵抗している。一方、CaseB では特に1段目の突起の頂部からベクトルが発達しており支圧抵抗が支配的であることが確認できる。また、塑性歪みからも突起下部を起点として管内土の塑性破壊が発生していることが確認できる。

図-6 に各シリーズでの管内土高さと押し抜け時もしくは管内土破壊時の鉛直反力の関係性を示す。鉄道構造物等設計標準³⁾において通常の開端杭で大きな支持力が期待できる管内土高さが5DのCaseAに対し、突起付きのCaseBでは管内土高さを1.0D程度小さくした条件で同等の鉛直反力が発揮できることが確認できた。

4. まとめ

鋼管杭先端に突起を取り付けたモデルで管内土を押し抜く数値解析を実施し、突起の有無による押し抜き抵抗力の違いを検討した。その結果、管内土高さ5Dの通常の鋼管に対し先端1Dに突起を2段設けた鋼管では4D程度の管内土高さで同等の閉塞土の押し抜け抵抗力を発揮できており、突起取り付けにより閉塞状態の保持に必要な管内土高さが低減できる効果が確認できた。

参考文献

- 1) 園田恵一郎, 鬼頭宏明, 中島一男, 上中宏二郎: 突起付き鋼板のせん断伝達特性に関する系統的研究, 土木学会論文集, No.598, I-44, p183-202, 1998.7
- 2) 水谷崇亮, 森川嘉之, 菊池喜昭, 森安俊介, 武野正和, 山下久男, 中元靖英: ウォータージェットとセメントミルクジェットを併用したパイプロハンマ工法の大径鋼管杭への適用, 港湾空港技術研究所報告, 第53巻, 第3号, 2014年12月
- 3) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物), 丸善, 2011年12月

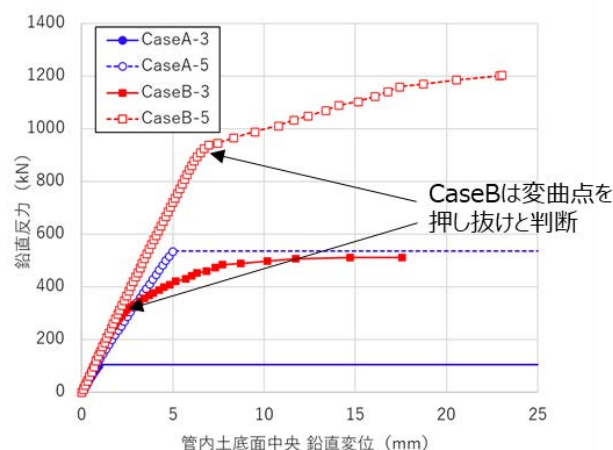


図-4 鉛直変位-鉛直反力関係

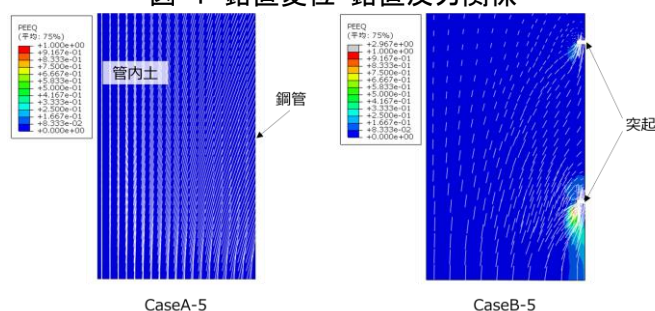


図-5 最小主応力ベクトルと塑性歪みコンタ

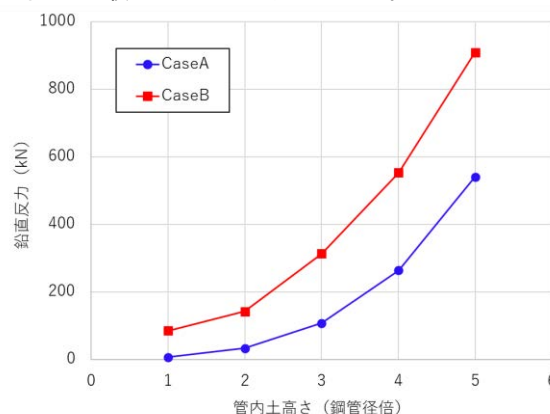


図-6 管内土高さと鉛直反力の関係