

## 回転トルクと鉛直荷重を受ける鋼管杭の閉塞挙動に関する一考察

日本製鉄㈱ 正会員 ○鈴木健吾  
 日本製鉄㈱ 正会員 戸田和秀  
 日本製鉄㈱ 正会員 妙中真治

### 1. はじめに

鋼管杭には多様な工法があるが、その中でも回転圧入工法は低振動・低騒音かつ狭隘な場所でも施工ができるという利点を有する環境負荷が低い優れた工法の一つである。しかし本工法で施工された基礎杭の支持力実証データも多くはなく、その支持力特性には不明点が残る。特に回転圧入により施工された鋼管杭における先端閉塞挙動についての研究は非常に少ない。本稿では、数値解析を用いて先端に管内土を有する鋼管杭に回転トルクと鉛直荷重を作用させ、先端閉塞における挙動を検討する。

### 2. 解析手法

図-1 に回転トルクと鉛直荷重を受ける鋼管先端における管内土の模式図を示す。数値解析は ABAQUS を用いて、図左に示すように鋼管とその先端に位置する管内土のみをモデル化する。鋼管はシェル要素でモデル化し、完全弾性体とする。管内土(砂)は弾塑性体でモデル化し、Mohr-Coulomb の破壊基準を適用した。解析諸元は表-1 に整理する。

解析としては、まず管内土底面を支持したうえで自重解析を実施する。その上で所定の鉛直荷重(管内土底面への鉛直上向きの地盤反力)を作用させた後、鉛直荷重を一定に保持した状態で鋼管に回転トルクを与えることとした(図-2 参照)。初期に導入する鉛直荷重に応じ、表-2 に示すように合計 9 ケースの数値実験を実施した。Case1 は鉛直荷重のみを作用させたケースであり、最終的には管内土は鉛直方向にずれることとなり、本ケースの抵抗値を  $Q_0$  (基準となる最大鉛直抵抗力)として設定した。各ケースに作用させた鉛直力比を  $Q/Q_0$  で同じく表-2 に示す。Case9 は自重解析後に鉛直荷重を作用させずに回転トルクを与えたものとなる。

### 3. 解析結果

図-3 に回転トルクと回転変位を示す。本解析では一定鉛直力下で回転トルクを増加させているため、概ね荷重の増加に伴って回転変位が増大していくこととなる。また各ケースにおける回転トルクは作用させた鉛直力比が大きくなるほど、増大する傾向が観察される。ただし、Case2 ( $Q/Q_0=0.96$ ) は、最大回転トルクが  $Q/Q_0=0.19$  と  $Q/Q_0=0.38$  の間に位置しており、鉛直力比との関係性が確認できない結果となった。

図-4 は鉛直荷重と鉛直変位の結果を示す。Case1 ( $Q/Q_0=1.00$ ) は鉛直荷重のみを与えているため、鉛直変位が生じたのちも緩やかな抵抗上昇がみられ、最終的には全てのケースの中で最も大きな鉛直抵抗を生じる。Case1 以外は一定の鉛直荷重下で回転トルクを与えた解析のため、鉛直変位は回転トルクによって生じることとなる。このため殆どのケースでは鉛直変位は大きく生じてはいないが、Case2 ( $Q/Q_0=0.96$ ) は回転トルク作用下で鉛直変位が増加傾向にあることが確認される。

Case2 の特徴的な挙動を分析するために、鉛直変位と回転変位の関係を図-5 に示す。鉛直荷重による鉛直変位が生じたのち、回転トルクが作用するに従い、回転変位の増大が生じる。ただし、Case2 ( $Q/Q_0=0.96$ ) においては、回転トルク下では回転変位が初期に支配的であるものの、その後、急激に鉛直変位が急増する傾向がみられ、回転トルクを作用することにより鉛直方向の変位が増大することで破壊に至っていると想定される。その他のケースでは、回転トルク下において初期に鉛直変位が多少生じるものの、回転変位が大きく発生して破壊に至っていると考えられる。

### 4. 組み合わせ荷重における破壊モードの変化

図-1 に示すように回転トルクと鉛直荷重を受ける管内土は、管内底面において鉛直地盤反力を受けながら回転トルクによるせん断応力が作用することになる。一方、管内土側面は鋼管内面との接触界面となっており、鉛直方向のせん断応力とともに回転方向のせん断応力が作用する。つまり、回

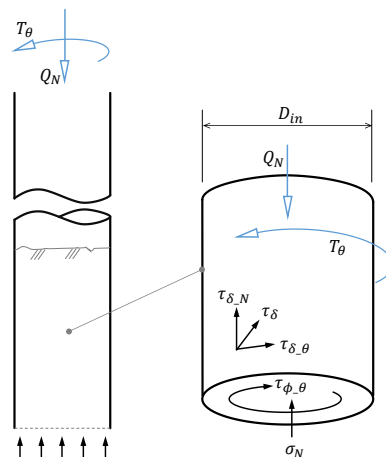


図-1 回転トルク・鉛直力作用下の管内土挙動

表-1 解析に用いたパラメータ

鋼管杭	鋼管径	D	800	(mm)
	板厚	t	20	(mm)
	鋼管長	L	5000	(mm)
	管内土高	h	2400	(mm)
	ヤング率	$E_p$	205000	(N/mm <sup>2</sup> )
	ポアソン比	$\nu$	0.3	(n.d.)
管内土	密度	$\rho$	$8.0 \times 10^{-10}$	(ton/mm <sup>3</sup> )
	ヤング率	$E_s$	20	(N/mm <sup>2</sup> )
	ポアソン比	$\nu$	0.3	(n.d.)
	粘着力	c	0.001	(N/mm <sup>2</sup> )
	摩擦角	$\varphi$	31	(deg.)
	膨張角	$\psi$	0.1	(deg.)
	壁面摩擦角	$\delta$	23	(deg.)
	初期静止土圧係数	$K_0$	0.43	(n.d.)

表-2 解析ケース

	$Q/Q_0$	$Q_{max}$	$T_{max}$
	[n.d.]	[kN]	[kNm]
Case1	1.00	24.55	0.00
Case2	0.96	23.59	2.29
Case3	0.92	22.65	4.40
Case4	0.88	21.70	4.20
Case5	0.77	18.88	4.08
Case6	0.58	14.16	3.44
Case7	0.38	9.44	2.60
Case8	0.19	4.72	2.14
Case9	0.00	0.01	1.48

キーワード: 回転圧入, 先端閉塞, 鋼管杭

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

回転トルクと鉛直荷重を受ける管内土は「管内土底面におけるせん断破壊」と「管内土側面におけるせん断破壊」の二つのモードにより破壊現象が決定されると考えられる。

この二つの破壊モードと回転トルクおよび鉛直荷重の荷重組み合わせを理解するために、既往の検討<sup>1)</sup>を参照して図-6を作成した。縦軸は作用させた鉛直荷重を無次元化した鉛直荷重(=鉛直力比  $Q/Q_0$ )である。横軸は作用させた最大回転トルクを、Case1の最大荷重( $Q_0$ )と回転半径( $0.5D$ )の積で無次元化した回転トルクとなる。

領域(oabc)の内部は非破壊領域である。管内土底面のすべり破壊は(a-b)線で表現され、Case4( $Q/Q_0=0.88$ )からCase9( $Q/Q_0=0.00$ )は、この破壊モードが支配的となるため、回転トルク作用下において回転変位が急増することとなる。この破壊モードは破壊面に作用する法線方向応力(=地盤反力)に応じて回転方向のせん断応力が決定されるため、概ね土の内部摩擦角におけるCoulomb摩擦による破壊基準に従うと考えられる。このとき管内土側面では、多少の変位の増加は見られるものの破壊が生じていないため、管内土は鋼管とほぼ一体となって挙動しており、管内土は閉塞状態を維持していると考えられる。

一方、管内土の側面での破壊は(b-c)線で表現され、Case1( $Q/Q_0=1.00$ )からCase2( $Q/Q_0=0.96$ )は、この線上に配置される。管内土側面の破壊は、鋼管内面と閉塞土との壁面摩擦角による界面破壊となるが、Case2では鉛直方向のせん断応力のみならず回転方向のせん断応力も作用するため、本破壊荷重は回転トルクと鉛直荷重の組み合わせ荷重によって決定される。このためCase2では、回転を作用させることで摩擦破壊に到達した結果、荷重として支配的な鉛直方向への変位が卓越したといえる。

5. まとめ

管内土を要素モデルとした扱った数値解析を実施し、回転トルクと鉛直荷重を受ける鋼管杭の閉塞挙動を検討した結果は以下のとおりである。今後さらに検討を深めていく必要がある。

- 鉛直力比が高くない場合は、回転トルクを作用させても管内土底面でのすべり破壊が発生し、閉塞状態に影響は殆どない。
- 鉛直力比の高い範囲では、回転トルクの作用により閉塞土が鉛直方向に大きく変位する(=閉塞が抜ける)ことがある。但し、本現象が発生する範囲は非常に狭く、影響も小さい。

参考文献

1) Deeks, A. D.: An investigation into the strength and stiffness of jacked piles in sand, A dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy at the University of Cambridge. 2008.

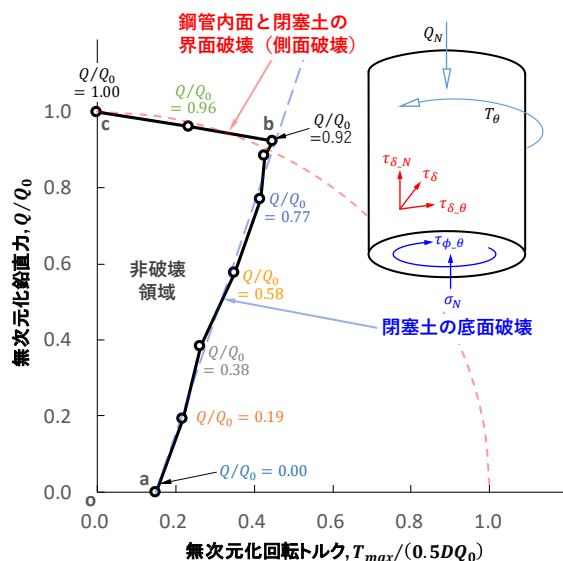


図-6 回転トルク・鉛直荷重下での破壊曲面

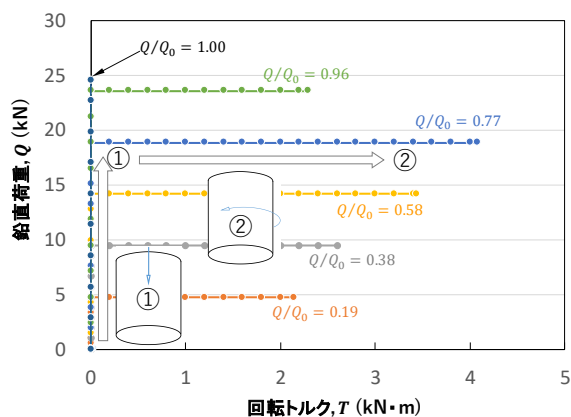


図-2 载荷パターン

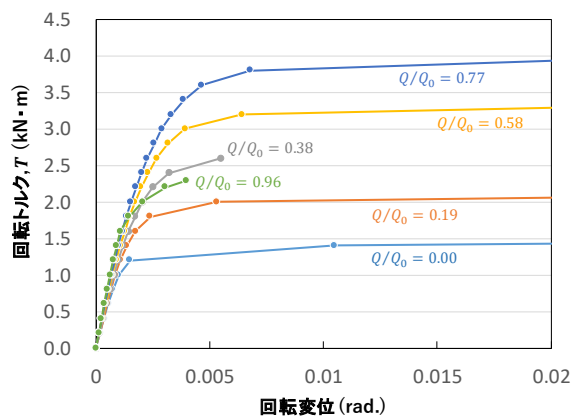


図-3 回転トルク-変位関係

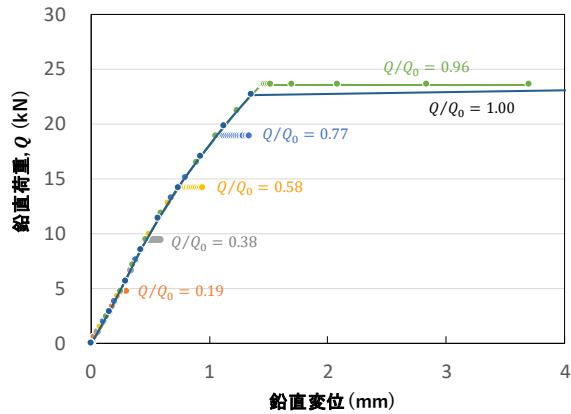


図-4 鉛直荷重-変位関係

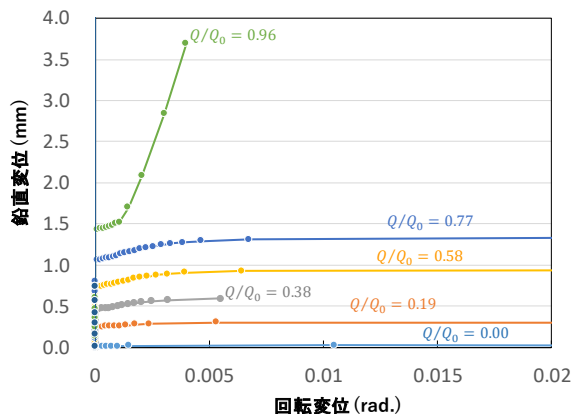


図-5 鉛直変位と回転変位における挙動