= 報文-2115 ===

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—

Rotary Penetration Steel Pipe Pile (Drill Pile) Method —---New Low-noise, Low-vibration Piling Method—---

橋本正治(はしもとまさはる) 川崎製鉄㈱エンジニアリング事業部建材技術部部長補

西澤信二(にしざわ しんじ) 川崎製鉄㈱エンジニアリング事業部建材技術部掛長

橋 本 修 身 (はしもと おさみ) 川崎製鉄㈱エンジニアリング事業部研究開発センター 建材研究室主任研究員

豊原陽登志 (とよはらひとし) 川崎製鉄㈱エンジニアリング事業部建材技術部

1. 緒 言

都市部市街地での杭施工の増加に伴い,多種多様 な低騒音・低振動工法が各所で開発され,施工機械 の低公害化も進められてきている^{1),2)}。これらの工 法をみると,非排土杭 (Nondisplacement Pile)工 法が多く,スライム処理や土の乱れ,根入れ長の管 理,排土処理などの問題が生ずる。

回転貫入鋼管杭(以下ドリル杭という)工法はこ れらの問題点を解決し,しかも,鋼管杭のもつ薄肉 かつ高ねじり剛性という特性を生かして,回転貫入 により低騒音・低振動,さらに無排土で施工するも のである。また,杭外周土の乱れを最小限にして周 面摩擦力の低下を防ぎ,杭先端についても同様に原 地盤を乱さず,管内土(せん断抵抗と圧縮性)と原 地盤の強度をバランスさせながら貫入するため,排 土杭(Displacement Pile)としての特性を有してい る。さらに,貫入データ(例えば貫入トルク,貫入 速度)を現場でリアルタイムに計測することにより, 支持層への根入れ長の確認を行うことができる。

本報では,室内模型実験でドリル杭固有の貫入・ 支持力機構を明らかにし,支持地盤の異なる各地区 で実施した現場実験から,貫入による周辺土・管内 土の締固め効果を確認した。さらに鉛直載荷試験の 結果から支持力算定式を提案した。

2. 工法の概要

写真-1に本工法に使用する鋼管杭の構造を示す。 先端部内外周面に丸棒のスパイラルリブを溶接で取



写真一1 回転貫入鋼管杭

り付ける。さらに,貫入時の地盤へのくい込みを容 易にするためバイトを設ける。杭体の回転は杭頭部 または杭胴体部を駆動して行う。

外周面スパイラルリブの高さは、13 mm 程度と低いため杭外周土の攪乱が少ない。また、杭先端周辺部の土はスパイラルリブにより押し上げられ、杭体と原地盤との拘束により締め固められて杭周面摩擦力が発現される機構となっている。さらに、リブ取付けを先端部のみにしているために押し上げられた土砂は地中にとどまり、排土を伴わないクリーンな 貫入を可能にしている。

内周面スパイラルリブは,貫入最終段階の支持層 中において杭先端の管内土の閉塞性を促し,管内壁 摩擦抵抗力を増して杭先端支持力の発現に寄与する。

以上のような構造的特徴を持った鋼管杭を回転貫 入する施工機械は,汎用機である三点支持式杭打ち

33

報文-2115



図-1 施工機械の概要図

機を利用することができる(図一1)。杭頭部とアー スオーガーの装着は特殊回転治具を用い遠隔脱着が 可能であるため、杭建込み時、継ぎ杭時の高所作業 がなく安全性が高い。

3. 模型実験

3.1 実験概要

供試杭として外径 114 mm, 管厚 4.5 mm の鋼管 を用い, リブの有無,および 設 置 方 法(回転貫入 杭: 圧入杭)をパラメーターとして実験を行った。 回転貫入杭については,杭体の内外表面に 3.2 mm ¢ の丸鋼をスパイラル状に 68 mm ピッチでフレア溶 接するとともに, リブと同一板厚のバイトを杭先端 の外周 2 箇所に取り付けた。

模型地盤は鹿島硅砂6号(平均粒径0.16 mm,均 等係数1.5)を熱風乾燥した後,気乾状態(含水比 0.5%以下)で実験に用いた。内径968 mm,高さ 1.8mの円形土槽³⁰内で,一層の厚さ10 cmごとに バイブレーターによる振動締固めを行って相対密度 (*D_r*)90%の模型地盤を成形した。地盤造成にあた り,原地盤中に着色層を約1 mmの厚さで水平に置 き,杭の貫入に伴う周辺地盤の動きを調査した。

本実験では根入れ長をいずれの場合も杭径の5倍 とした。回転貫入杭では油圧モーターを用いて4 rpmの回転を杭に与えつつ油圧ジャッキにより貫入 深さに応じて押込み力(max 2.6 tf)を漸増させる 方法で貫入を行った。また,圧入杭では油圧ジャッ キにより地表面から1 cm/min の速度で静的に貫入 させた。回転貫入・載荷試験を通じて,試験中は32 mm 厚の鋼板を介して空気圧による上載圧 1.0 kgf/ cm²を負荷している。

3.2 貫入・支持力機構

模型杭(内外リブ付)を回転貫入した後,杭周辺 の地盤をていねいに除去して表面観察したところ, 杭の外周には図-2に示すように全長にわたって土 粒子が隙間なく付着し,原地盤中の着色部は上方の 付着層内に分布していた。これより,杭先端近傍の 土粒子は杭の回転貫入に伴い外面リブに沿って上方 へ移送されることがわかる。

図一3は設置後の杭外周地盤の締固め状態を原地 盤との比で示したものである。締固め度の計測は, 杭設置後に地表面から順に所定の深さまで上方の砂







土と基礎, 39-4 (399)



図-4 内面スパイラルリブの有無による管内土の進 入挙動の相違

を除去したのち,先端を平頭(12.8 mm ¢)に改造 したポケットペネトロメーターを用いて5 mm 貫入 させるのに要する荷重を読みとることによって行っ た。したがって,この値には上載土の除去による応 力緩和の影響が含まれる。

同図より回転貫入杭では特に周面において杭全長

にわたって締固めが促進されることがわ かる。すなわち,同杭の場合,回転貫入 に伴っていったん乱された周辺地盤に対 して下方から土粒子が供給され圧縮され ることで,初期の水平圧力以上の側圧が 杭外周に負荷された状態となる。先端地 盤でのコーン指数の上昇は圧入杭ほど著 しいものではないが,回転貫入杭におい ても先端地盤に継続的に先行圧力をかけ つつ貫入することが実験的に確認されて おり³⁰,杭先端に対しても先行圧力効果 に基づく締固めが期待できる。

図-4は回転貫入に伴う管内土の上昇 を内面リブの有無で比較して示したもの である。いずれの場合も貫入が進むにつ れて管内土の増加の割合が低下するが, 上昇鈍化の傾向は特に内面リブを付与し た場合に顕著である。既往の実験結果⁴⁾ にも見られるように内面リブは管内面の せん断抵抗を増して管内に取り込まれた 土の上方へのすべりを拘束することで, 特に杭先端近傍の管内土の締固めを促進 し先端閉塞を助長する効果を有すること がわかる。

4. 現場実験

ドリル杭固有の貫入・支持力特性を実杭により定 量的に評価すべく現場実験を行った。

4.1 周辺土・管内土調査

ドリル杭工法は、先端に取付けた内外面スパイラ ルリブによって杭周辺土の締固め、先端閉塞を同時 に達成しながら回転貫入するという排土杭の基本原 理に類似した工法であると言える⁵⁰。したがって、 貫入による杭周辺土や管内土の変化を見極めておく ことがドリル杭の支持力発現の機構を解明する上で 非常に重要になってくる。そこで、図一5に示すよ うに杭周辺(杭表面より30cm、50cmの位置)に おいて標準貫入試験を実施して原地盤との比較を行 った。この試験は周辺地盤の乱れ、すなわち地盤の 強度(N値)低下の有無を確認するために実施した ものであるが、その結果をみると強度の低下はなく、 逆に上層砂層では原地盤のN値に比べ高い値が得ら



April, 1991

35

報文—2115



写真-2 貫入・引抜き後の杭先端管内土の状況 (*φ* 508 mm)

れた。

次に,管内土の調査を行うために砂礫地盤に回転 貫入した杭を貫入後直ちに引き抜いて半割にして観 察してみると,杭先端部に支持層の砂礫を取り込ん でおり,非常に密な状態で閉塞されていることが確 認された(写真-2)。

4.2 鉛直載荷試験

4.2.1 鉛直支持力特性

鉛直載荷試験を実施した7例の仕様を表一1に、 それらの P_0 (杭頭荷重)- S_0 (杭頭沈下量)曲線を まとめて図ー6に示す。

7 例の内, 杭体にひずみ計を取り付けて試験を行ったものは, T-3, T-4, T-5, T-6の4例である。

(1) 周面摩擦力

周面摩擦力を定量的に評価するために,杭体のひ ずみ測定値をもとに原地盤強度との関係を調べた。 砂質土層と粘性土層における杭と地盤の相対変位量 に対する周面摩擦力度の推移を図一7,8に示す。ま た図一9,10は杭先端沈下量が杭径(d)の10%に達 した時点(10%に達していない杭は最大荷重時)で の砂質土層と粘性土層での杭の周面摩擦力度と原地 盤強度の関係をプロットしたものである。

これらの図より,杭と周辺地盤の相対変位量が10 ~30 mm に達した状態でほとんどの部位に お い て

表-1 鉛直載荷試験杭の仕様

杭 No.	杭 径 (mm)	根入れ長 (m)	先端地盤 種 別	支持層への <u>根入れ長</u> 杭 径
T-1	318.5	22.0	砂	3.5
T-2	318.5	10.0	砂	12.6
T-3	508.0	18.0	砂	5.7
T-4	508.0	40.0	砂	5.9
T-5	508.0	27.8	砂礫	4.5
T-6	400.0	17.1	砂礫	1.7
T-7	318.5	23.0	砂礫	8.2

最大の周面摩擦力度が発揮されていることがわかる。 さらに、0.1 d沈下時の杭周面摩擦力度は一般部、 スパイラルリブ部とともに砂層で $N/5(tf/m^2)$ 以上、 粘性土では $q_u/2(tf/m^2)$ 以上に分布していた。

(2) 先端支持力

開端杭の場合には,載荷時に杭内壁と管内土との







図-7 杭と地盤の相対変位量に対する周面摩擦力度 の推移(砂質土)

土と基礎, 39-4 (399)



図-8 杭と地盤の相対変位量に対する周面摩擦力度 の推移(粘性土)



図一9 杭先端 0.1 *d* 沈下時の周面摩擦力度と地盤*N* 値との関係(砂質土)

間に摩擦を生じるため,杭体に貼り付けられたひず みゲージでは杭外周面の摩擦と分離することが難し い。ドリル杭は先端内外周面にスパイラルリブを取 り付けているため,さらに複雑である。そこで,こ の複雑な軸力,摩擦力が発生する部分も先端支持力 に含め,仮想上の杭先端を設定することとした。

この杭先端を設定するに際し,先端閉塞性に寄与 する内側のスパイラルリブの取付け長(1.5m)が杭 径の3倍~5倍であることから,最小の3dの範囲 の周面摩擦力を杭先端支持力に包含することとし, 杭先端から上方3dの位置を設計杭先端と呼称する。

支持層への根入れ長が3dに満たない場合には, 支持層先端を設計杭先端と考え,整理したのが図一 11の $Q_p - S_p$ 曲線である。ここで,設計杭先端支持 力係数(α)は設計杭先端荷重を先端平均N値と杭先 端の閉塞断面積で除したものである。

同図で設計杭先端沈下量が0.1dに到達した時, α は25以上,荷重の上昇度に比べ沈下量が非常に大 きくなる極限支持力状態では, α は30以上の値とな った。

4.2.2 鉛直支持力算定方法

April, 1991



15

一軸圧縮強度 q_u (tf/m²)

20

25

10

度 r (tf/m²)

擦力

赴

园

मव

図一10 杭先端 0.1 *d* 沈下時の 周面摩擦力度 と *qu* 値 との関係(粘性土)

10



図—11 Q_p (設計杭先端荷重)/(先端閉塞面積× \overline{N})~ S_p (設計杭先端沈下量)/(杭径)曲線

これまでの模型実験と現場実験の研究から貫入特性,支持力特性を考慮して鉛直支持力算定式を(1)式に,その考え方を図-12のように設定した。

ここで,

- $R_u: 極限支持力 (tf)$ $<math>\alpha: 設計杭先端 (先端支持力評価位置) の支持力$ 係数 $<math>L_b/d \ge 3$ のとき $\alpha = 25$ $L_b/d < 3$ のとき $\alpha = \frac{25}{3} \left(\frac{L_b}{d} \right)$ $L_b: 支持層への根入れ長 (m)$ d: 杭径 (m)
- \overline{N} : 杭本体の下端より下方へ1*d*,上方へ4*d*の 間の地盤のN値の平均値。ただし、個々のN 値の最大値を100とし、 $\overline{N} \leq 60$ とする。

報文-2115



図―12 支持力の考え方

Ap: 杭先端の閉塞断面積(m²)

- $\overline{N_s}$:設計杭長部の杭周地盤中,砂質土地盤の平均 N値。ただし, $\overline{N_s} \leq 50$ とする。
- Ls:設計杭長の中で砂質土地盤に接する長さ(m)
- qu:設計杭長部の杭周地盤中,粘性土地盤の平均 一軸圧縮強度 (tf/m²)。
 - ただし、 $\overline{q_u} \leq 10(tf/m^2)$ とする。
- *L*_c:設計杭長の中で粘性地盤に接する長さ(m) φ:杭周長(m)
- なお,設計杭長は以下の長さとする。 $L_b/d \ge 3$ のとき $L_a - 3d$,

$$L_b/d < 3$$
のとき $L_a - L_b$

ここで,

La:杭が地盤と接している長さ(m)。

鉛直載荷試験を行った7例について(1)式を用いて 算定した支持力と実測値との比較を図一13に示した⁶⁾。7例の平均でみると、実測値は算定値のほぼ



図―13 計算値と実測値の比較

1.3倍程度の値となっており,(1)式の妥 当性が確認できた。これらの結果とセメ ント系の材料を用いて補強する従来の埋 込み杭の支持力評価を勘案してみても, これらの杭と同等以上の鉛直支持力が得 られていることがわかった。

5. 結語

最近の市街地での基礎工法の課題とし て,施工面では騒音・振動,泥水・廃土, 作業員・技術者の不足および根入れ長,支 持力の不確実性などが挙げられている。

ドリル杭工法では貫入時に得られたオ ーガー電流値(貫入トルク)と単位長さ

当たりの貫入時間から支持層を確認して根入れ長を 管理することが可能であり⁷⁰,本杭工法は,施工環 境の改善,施工管理の確実性,容易性,支持力の確 保など上記課題の打開のための有力な工法の一つで あると考えている。今後は生活水準が高度化し,市 街地における低騒音・低振動・無排土の鋼管杭の特 性を生かした工法の必要性はますます高まるであろ う。なお,本工法の開発にあたり御指導いただきま した京都大学防災研究所柴田徹教授,ならびに樹大 阪土質試験所平山英喜主任研究員に謝意を表しま す。

参考 文 献

- 土質工学会編:杭基礎の低騒音・低振動工法と支持 力,pp.1~15,1986.
- 2) 斉藤二郎:最近の低振動・低騒音工法の現状と課題, 基礎工, Vol. 16, No. 10, pp. 2~17, 1988.
- 3) 橋本修身・金子忠男・館野次郎・高橋千代丸:回転 貫入式鋼管杭(ドリル杭)の支持力特性に関する模 型実験,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.1299 ~1300,1989.
- 小林洋一・山川純男:鋼管杭の貫入抵抗に及ぼす影響因子,第37回土木学会学術講演概要集,Ⅲ-250, pp.497~498,1982.
- 5) 土質工学会編:杭基礎の調査・設計から施工まで, pp. 78~95, 1983.
- 橋本正治・西澤信二・高橋千代丸・富永眞生・植木 八寿彦:回転貫入鋼管杭(ドリル杭)の鉛直支持力, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1517~1518, 1990.
- 西澤信二・橋本正治・豊原陽登志・高橋千代丸・富 永眞生:回転貫入鋼管杭(ドリル杭)工法の適用に ついて,第25回土質工学研究発表会講演集,pp.1327 ~1328,1990.

土と基礎, 39-4 (399)