

47. ドリル杭(回転貫入鋼管杭)工法の貫入性と支持力

川崎製鉄(株)：高橋千代丸・橋本 正治
西沢 信二・佐藤 清治
豊原陽登志・橋本 修身

1. 概要

市街地で杭打機を使用する作業が、特定建設作業として騒音規制法・振動規制法の対象になって以来、鋼管杭の打撃工法は次第に姿を消しつつある。その後鋼管杭の強度特性を生かすべく現在までに各種の騒音振動対策工法が開発され、施工機械も低公害化が進められている。

本工法は、鋼管杭のもつ薄肉かつ、ねじり剛性が高いという特性を施工に生かして、回転貫入により低騒音、低振動でしかも無排土の低公害型を指向した新しい概念の鋼管杭工法（ドリル杭工法）である。杭体は、開端の先端部内外周面に丸棒のスパイラルリブを取付けた構造としている。施工は、杭外周土の攪乱の少ない回転貫入が可能で、支持層において杭先端を自然閉塞させてそのまま支持杭とし、セメントなどは用いない。本報告は、実杭の貫入中のデータと杭先端N値との相関性を利用して、支持層の確認と支持層への根入長を管理する方法および支持力特性について述べたものである。

2. 貫入試験と施工管理

実験A地区の杭先端地盤は、N値50以上の洪積砂層で地表部から5mはローム層である。実験B地区は、N値50以上の洪積砂レキ層の上層が、軟弱な沖積粘土層と埋め立てにより造成された砂層地盤となっている（土質柱状図は後述の図-2、5参照）。

使用したドリル杭はφ318、φ508 杭長ℓ21m～ℓ27.8mである。

施工機械は図-1に示す通り、通常の三点支持杭打機にアースオーガを装備したものを使用した。

(1)貫入特性

図-2はA地区の貫入試験結果を示す。貫入データは押込荷重および負荷電流を1m毎の平均値としてプロットしたもの、および負荷電流を換算して求めたトルク値 $T(t \cdot m)$ と、1m当りの貫入時間 t (min/m)の積の平方根 $\sqrt{T \cdot t}$ を深度分布として表したものである¹⁾。

本工法の場合、貫入方向の力は外力である押込荷重 $P(t)$ ばかりでなく、回転時に外側スパイラルリブで、杭周辺土を押し上げることによって生ずる貫入推進力 $P_r(t)$ も加わる²⁾。これらの力をデータとして分離することはできないので、負荷電流すなわちトルクに包含された値としている。

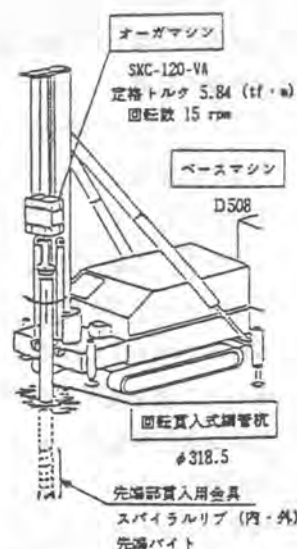


図-1 施工概要図 (A地区の例)

杭の回転時の力の釣合いは、(式1)として表される。

$$T = \tau d \times d / 2 + T_r \text{ (式1)}$$

ここで、 τd ; 動的周面摩擦抵抗力(回転方向) (t)、 d ; 杭径 (m)、 T_r ; 動的杭先端摩擦抵抗力 (t·m) また貫入時の力の釣合いは(式2)が成立している。

$$P_r + P > \tau_p + R_p \text{ (式2)}$$

ここで、 τ_p ; 動的周面摩擦抵抗力(貫入方向) (t)、 R_p ; 先端抵抗力(t)

図-2のN値50以上の地層への貫入では、 $\sqrt{T \cdot t}$ はそれより浅の層に比べ非常に大きな値を示している。これは除々に貫入性が悪くなり、いわゆる杭の打止まりに近いことを表している。このような局面で回転しながら引抜き試験をしてみると容易に杭を引抜くことができる。この施工事実より、 $\tau d \times d / 2 \ll T_r$ 、 $\tau_p \ll R_p$ と推察することが可能である。すなわち定性的にみて、トルク値の大小を決める要因は先端地盤強度と杭先端部の管内土の閉塞性であり、杭の貫入時の抵抗は杭先端部の抵抗による割合が大きいと言える。

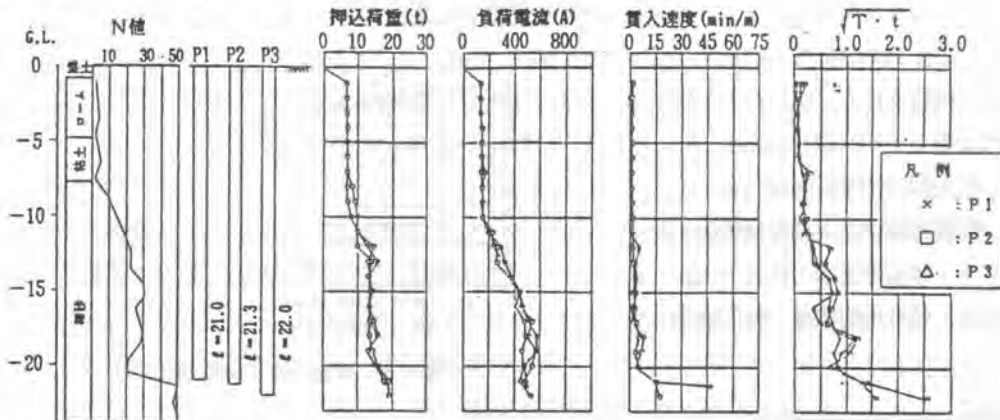


図-2 貫入試験測定値の深度分布 (A地区の例)

(2)施工管理方法³⁾

施工前に入手した土質柱状図のN値と貫入中の $\sqrt{T \cdot t}$ には、図-2に比較されるような深度分布の相関が認められる。これらをN値と $\sqrt{T \cdot t}$ だけの数値の相関関係のみでみると図-3のようになる。この図は $\phi 318$ の杭径で減速 $\sqrt{T \cdot t}$ 機120VAを使用したものについてプロットしたものである。多少のバラツキがあるものの両者の相関関係式として(式3)のように表すことができる。

$$\sqrt{T \cdot t} = a \cdot \phi \cdot N \text{ (式3)}$$

ここで、 $a : 0.069$ 、 ϕ ; 杭径 (m)、 N ; 貫入中の杭先端地盤のN値である。

(式3)は、杭の打撃工法による動的支持力を求める場合のバラツキ、精度の考え方にも類似

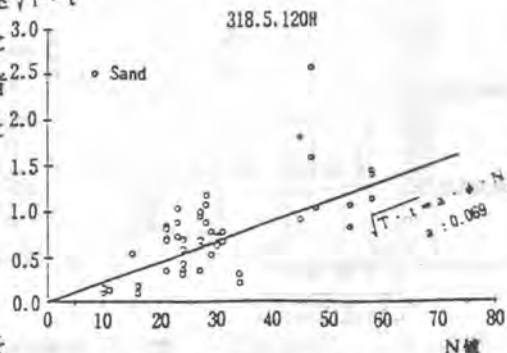


図-3 N値と $\sqrt{T \cdot t}$ の分布 (A地区の例)

するもので、動的支持力が杭の支持力そのものの絶対値を求めるものではないようにこの係数 a は N 値との絶対的相関値を求めるものではない。施工場所における地盤強度分布の中での相対比較値として考えるべきもので、係数 a が施工管理上の確かな目安として利用することが可能なことを示唆するものである。すなわち N 値と $\sqrt{T \cdot t}$ の相関性を利用することによって、所定の地盤に根入れすること、あるいは不均一な地盤でも貫入中に実際の支持層の深度を確実に把握することが可能になると言える。

3. 支持力特性

A、B（後述図-5参照）地区の貫入試験で N 値30~50以上の砂層および砂レキ地盤への貫入が可能であることが把握できた。さらに鉛直支持力を確認するために鉛直載荷試験を実施した。そのB地区の結果を図-4に示す。この図中の破線は平山の提案による推定方法で⁴⁾、実測の P_0 （杭頭荷重）～ S_0 （杭頭沈下量）曲線から、先端支持力と周面摩擦力の各係数を推定し次の支持力算定式を得た。

$$R_u = \alpha N A_p + (N/\beta \times L_1 + q_u/2 \times L_2) \phi \quad \text{----- (式4)}$$

ここで、 $\alpha \geq 30$ 、 $N/\beta \geq N/3$
 R_u ：極限支持力 (tf)、 N ：杭先端地盤の平均 N 値 ($N \leq 60$)、 A_p ：杭先端の閉塞断面積 (m^2)、 N ：砂質地盤中の平均 N 値 ($N \leq 60$)、 L_1 ：砂質地盤中の杭長 (m)、 q_u ：粘性地盤中の一軸圧縮強

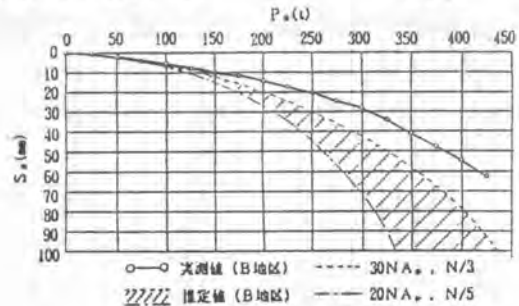


図-4 荷重～沈下曲線（杭頭部）

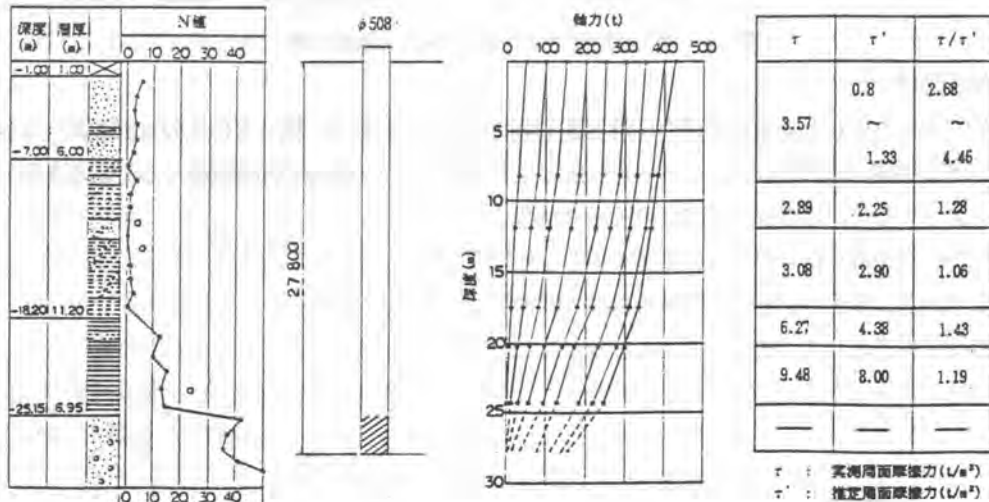


図-5 B地区の軸力分布と周面摩擦力

度 (t/m)、 L : 粘性地盤中の杭長 (m)、 ϕ : 杭周長 (m)、である。

さらに、詳しく支持力を解明するために先端支持力と周面摩擦力を分離して評価する必要があるので、杭体にひずみ計を取り付けて鉛直荷重試験を行った。図-5は、実験B地区の土質柱状図ならびに荷重試験時の杭体ひずみ測定によって得られた杭体軸力分布と周面摩擦力の評価を示す。ただし、杭先端から3mはスパイラルリブのためひずみ計が取付けられず推定値とした。図-4に荷重試験結果の $P_p \sim S_p$ 曲線と(式4)による推定曲線を示したが、ひずみ測定でも(式4)に示した程度の周面摩擦力が確認された。

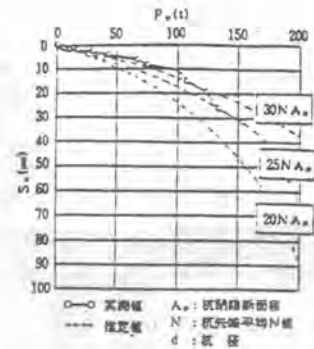


図-6 B地区の荷重～沈下曲線
(杭先端部)

次に、図-6は杭先端における P_p (杭先端荷重) $\sim S_p$ (杭先端荷重) 曲線を示す。杭先端沈下量は、杭頭沈下量から杭体の弾性圧縮量を差し引いて求めたものである。先端支持力は20~30 $N A_p$ 程度の値が期待できる。これら荷重試験の荷重～沈下曲線と杭体ひずみ測定の結果から支持力を評価すると、先端根固めをしないで支持杭にするという本工法の目的は十分満足したものとなっている。

4. 結び

最近の市街地での基礎工法の公害問題として、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言われている。

施工者は工事区域周辺へ及ぼす騒音・振動、泥水・廃土の運搬交通公害、処分地の強引な確保およびその地域への捨土の影響など、建設関係者のエゴで、周辺居住者、通行者の生活環境を犯すことがあってはならない。それと同時に、若い建設従事者の魅力ある建設現場とするために、危険作業のないクリーンな状態での作業が可能な施工環境を提供することが求められる。そして構築された基礎構造物の機能が十分発揮され、しかもそれが最小限の投資で実現できる工法を選択すべきものであることは言うまでもない。

本工法は、本文で述べたように施工環境の改善、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1つの方向として開発してきたものである。

※) 参考文献

- 1) 回転貫入式鋼管杭 (ドリル杭) の貫入特性: 橋本正治他、日本建築学会大会学術講演梗概集、1989.10
- 2) 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: 橋本修身、日本建築学会大会学術講演梗概集、1989.10
- 3) 埋込み杭工法における支持地盤確認工法の提案: T.S. ロータリー工法協会他、第22回土質工学研究発表会、1987.6
- 4) 双曲線型抵抗を用いたLoad-Transfer法による杭の荷重-沈下曲線算定: 平山、本郷、第23回土質工学研究発表会、1988.6