

小口径鋼管杭の摩擦特性と性能設計への実験的アプローチ

Experimental Approach to Frictional Characteristic and Performance-Based Design of Small Diameter Steel Pipe Piles

(株)砂子組 土木部 ○正 員 田中孝宏 (Takahiro Tanaka)
 (株)砂子組 土木部 正 員 塩田佑樹 (Yuuki Siota)
 (株)砂子組 土木部 正 員 近藤里史 (Satoshi Kondo)
 (株)砂子組 顧問 正 員 佐藤昌志 (Masashi Sato)

1. はじめに

防雪柵は北海道の自動車交通の安全を確保するためには重要な道路施設である。防雪柵のタイプは大きく分けると吹き止め柵と吹き払い柵に大別されるが殆どが路面の雪を払う目的から後者が用いられている。防雪柵の設計は一般的には設置地域の積雪および風向風速を調査した後、風荷重に対して抵抗できるよう基礎の設計を行うが小口径鋼管タイプの杭とコンクリートブロックの複合構造となっている。設計の際に重要な要素となるのが鋼管杭の支持力の算定で、特に北海道の場合は軟弱地盤が多いことから摩擦杭として設計される中で摩擦を的確に求める必要がある。

例が非常に少ない鋼管を引き抜いて鋼管に貼ったひずみゲージをもとに摩擦力を求める実験ことを試みた。その結果、摩擦力はN値からの推定でも摩擦力が十分満足していることが分かったので報告するものである。

2. 基礎の基本形状と現行の設計手法

今回、性能試験を行った防雪柵の概要を図-2-1 に示した。鋼管杭は 3m と 5m で併せて地質柱状図を図の左側に示した。柱状図に示したとおりN値は 10 以下で薄い砂礫層が介在しているがほとんどの部分は粘土で支持層、すなわち先端支持も粘土である。5m の杭もほぼ同じ土層である。

この様な地盤に対して図-2-2 には杭の摩擦設計方法を示した。基本的には、極限支持力の計算には道路橋仕方書の方法を活用しており先端支持力に周辺摩擦力を加えて、風荷重に対しての耐力計算を行っている。

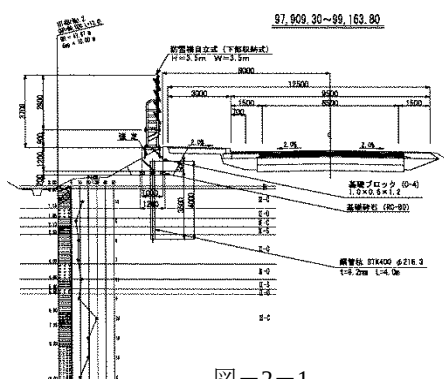


図-2-1

この論文で課題としているのは、以下に示した部分の f_i すなわち最大周面摩擦応力度で通常はボーリングのN値である。 β は杭の打ち方によるものでここでは考慮していないが、板谷防雪柵工事での打設はパイロハンマーで $\beta=0.9 \sim 1.0$ である。

l_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)
f_i : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦応力度 (kN/m^2 (tf/m^2))
(砂質土) $f_i = 2\beta N_s (1/5 \cdot \beta N_s)$
(粘性土) $f_i = 10\beta N_c (\beta N_c)$ (N_c ; N値の場合)
$f_i = \beta N_c$ (N_c ; 粘着力 c の場合)
※ $N \leq 2$ の軟弱層では信頼性が乏しいので原則として周面摩擦抵抗を考慮しない。
N_s : 砂質土のN値で、50を上回る場合は50とする。
N_c : 粘性土のN値または粘着力 c で、150kN/m ² (15tf/m ²) を上回る場合は150kN/m ² (15tf/m ²) とする。

図-2-2

杭の支持試験としては、主に周辺に反力を取って載荷試験を行うのが通常の手法であるが、今回は実験上危険なことから極限引き抜き力を求めるのが一番良いが周辺摩擦力を求めることに主眼を置いていた。

3. 実験方法と計測について

3.1 実験の概要

試験目的: 防雪柵基礎地盤の水平地盤反力の確認、設計支持力の確認

試験方法: 反力抵抗体 (重機を反力として使用)

載荷方法 → 1 サイクル方式

試験内容: 最大荷重 $P_{\max} = 30\text{kN}$ および 40kN の水平載荷試験 2 箇所

最大荷重 $P_{\max} = 30\text{ kN}$ の引抜き試験 2 箇所

試験杭: 鋼管杭 (本杭) $\phi 216.3\text{mm}$ 、 $L=3.0\text{m}$ 1 本 (KP=97,909.30~99,417.50 間)

鋼管杭 (本杭) $\phi 216.3\text{mm}$ $L=5.0\text{m}$ 1 本 (KP=97,424.50~100,323.90 間)

3.2 載荷方法

試験は、試験杭と重機間にワイヤーロープ等を介して、チェーンブロックおよび荷重計を取付け、荷重調整を行いながら試験を実施した。写真-1 は実験時のものである (引き抜き試験)。

3.3 測定項目

(1) 荷重

荷重は、試験杭と反力重機間に取り付けたひずみ型荷重計により、デジタル式指示計によって表示される。荷重の制御はデジタル式荷重指示計を確認しながらチェーンブロックにより行った。

(2) 変位量

試験杭の変位量の計測は、2台の1/100mm精度、ストローク100mmのひずみ変換型変位計を設置し、これを万能デジタル測定器により計測した。

(3) 試験杭応力

試験杭応力の計測は、杭打設前に杭頭部から杭先端部まで 500mm ピッチにひずみゲージを 2 面に設置し、これを万能デジタル測定器により計測を行った。

3.4 荷重方法

荷重方法: 一方向荷重、1 サイクル

加圧方法: チェーンブロックにより荷重調整

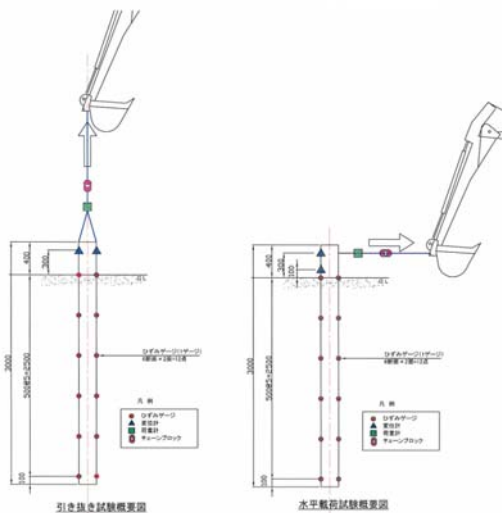
最大荷重: 水平荷重試験: 25 kN

鉛直荷重試験: 30 kN (設計での許容鉛直支持力程度)



写真-1

3.5 ひずみゲージ等添付図



近で軸力が急激に低下している理由は、鋼管杭上部から 70 cm コンクリートを充填していることから鋼管とコンクリートの完全合成構造になっているからと推察される。内径 20cm のコンクリートの断面積は 314cm^2 あることから 16μ ストレインで考えると $314 \times 15 \times 2 = 9,000\text{kgf}$ となり 24kN (鋼管) + 9kN (コンクリート) で 33kN となり完全合成構造になっていることが証明できる。このことから鋼管にコンクリートを充填すると基礎ブロックと一体化し杭頭部は剛結となり許容変位を設けられて設計においてはその妥当性が確認される。

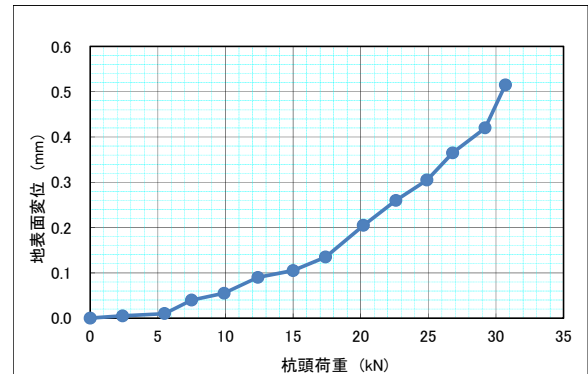


図 4-1-1

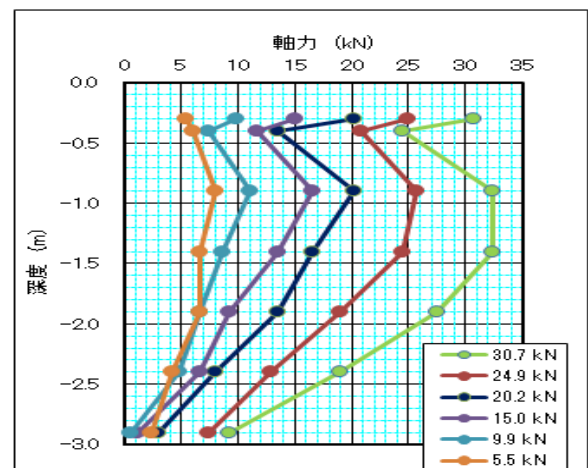


図 4-1-2

4. 実験結果とその考察

ここでは、4.1 として 3m の摩擦力試験結果、4.2 として 5m の摩擦力試験の結果を示した。

4.1 3m 杭の摩擦力

図 4-1-1 は引き抜き荷重と杭頭部に設置した変位計の測定値である。15kN と 27kN 付近に変曲点が見受けられる。変位が 0.6mm でこの図表を持ってして周面摩擦力が低下したかどうかの判断は難しく、杭そのものと周辺地盤が盛り上がったこと、さらには若干偏荷重がかかったことにすることも考えられる。従って、この程度の値は測定誤差の範囲と行っても過言でないと考える。

図 4-1-2 は 50cm ピッチで 7 点鋼管杭に貼り付けたひずみゲージから求めた軸力である。曲げ荷重が入らないように処女荷重時に鋼管の中立軸を挟んで貼ったゲージがほぼ同じ値が出るよう調整している。軸力は鋼管杭の断面積に ϵ と弾性係数 E および断面積を掛けて求めている。図中 0m 付

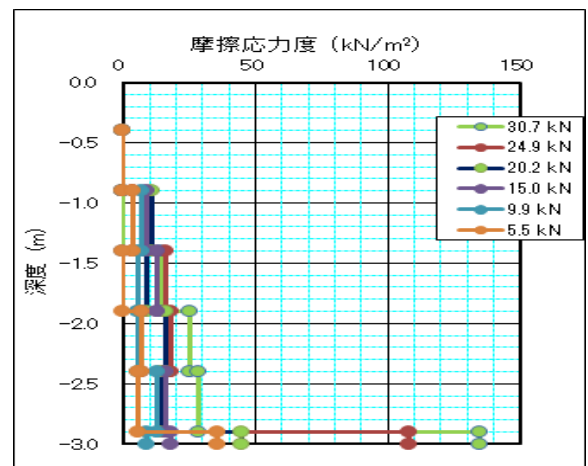


図 4-1-3

砂質部での軸力を見ると-1.0m付近でN値が 2～3 程度になっており 20kN で引き抜き荷重をかけた時点で摩擦力が減少し 25kN ではほとんど摩擦力は無くなっているのが見て取れる。また、粘性土部においてはその上部は砂質土部で摩擦力が無くなったためその値が減少しているが杭の端部に向かって摩擦力が増加し、結果的には粘土性土質部で引き抜き荷重のほとんどを負担する結果となっている。摩擦力は 1.5m 以下でその相当分を負担していることから引き抜き力が到達せず軸力ひずみがほとんど出ない結果となっている。しかしながら、先端においても鋼管内部にも粘土が入っているためか 10kN 程度は分担している。実際にも摩擦力は図の台形の面積が引っ張り力(軸力の差分で計算)であり、これを計算すると $(30+9) \times 1.5 / 2 = 29.3 \text{ kN}$ でほぼ等しくなっている。

図 4-1-3 は深度と摩擦応力度を示したもので図 4-1-2 の軸力分布で示されたように 1.5m以下で応力度が大きくなっている。杭先端の応力度が大きくなっているは二とおり考えられる。

- (1) 先端では打ち止めしていることから粘土が締まって相当分を分担している
- (2) 一番下のゲージ位置の上段で摩擦を大部分負担しているのでひずみが出ない

軸力との比較で見れば(1)の考え方が妥当と考えられる。摩擦力に関してまとめると、砂質土および粘性土でのN値から求める f_i は、

砂質土 $f_i = \text{None}$ 砂質土でも締め固め土でN値 2 以下のため

粘性土 $f_i = 10 \times N = 120 (\text{kN} / \text{m}^2) / 4 (\text{安全値}) = 30 \text{ kN} / \text{m}^2$
 -1.0～-2.5m N値 12、振動挿入 $\beta = 0.9$ で $f_i = 27 \text{ kN} / \text{m}^2$ となり、実験値の、 $25 \text{ kN} / \text{m}^2$ とほぼ等しくなっている。

以上のことから推察できることは、

軸力分布では砂質土部の分担は 0 であるが粘土部で摩擦をすべて分担している

N値から求めた摩擦応力度は実験値とほぼ等しい

杭頭部は完全合成構造となって有利に働いている

ということである。また、先端部での摩擦力は無視できないこと、さらに本実験は杭打ち後3週間後に行っておりこの時間的経過で比較的大きな摩擦力が発生したと考えられる。

なお、図 4-1-4 には防雪柵のフーメーション、地質図、軸力および摩擦応力度の関係を図に示した。

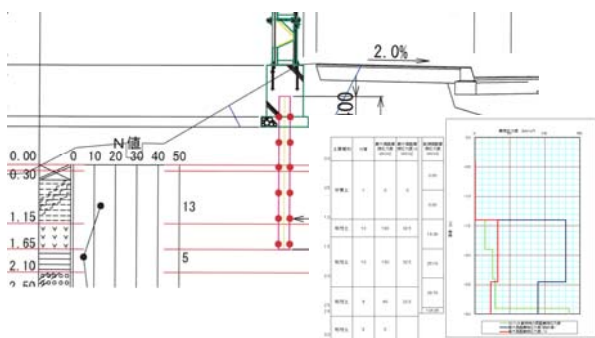


図 4-1-4

4.2 5m杭の摩擦力

図 4-2-1,2 には 3mの杭と同様、杭頭鉛直および変位軸力分を、図 4-2-3 には摩擦応力度、さらには図 4-2-4 に地質柱状図、摩擦応力度を並べて示した。

図 4-2-1 は荷重－杭頭垂直変位図である。3m の場合と異なり杭頭の鉛直変位は 30kN で 1/2 の 0.25mm でかつほぼリニアな挙動をしている。

図 4-2-2 から深度と軸力分布図では-1.0mから-2.0m で摩擦がなくなり引っ張り載荷重と同じ値で-2.0m以深の粘土質土質で摩擦力が発生し荷重と釣り合っている。なお、-0.5mの現象は杭 3mで述べたとおりである。軸力の差分(前後軸力が同じであれば0)でチェックすると

- ① -2.5～-3.0m $(35+40) \times 0.5 / 2 = 18.7 \text{ kN}$
- ② -3.0～-5.0m $(38+9) \times 0.5 / 2 = 11.8 \text{ kN}$

となり 40.5kN で引っ張り載荷重に合致している。

また、図 4-2-3 では摩擦応力度に 50cmピッチで全周面積を掛けて算出したものでは摩擦応力度を 0 にした場合、全摩擦力は 40.5kN でほぼ合致している。5mの杭の場合-2.5m付近で摩擦力がゼロ、言い換えると摩擦応力度がゼロ(図中では負の値)で全く分担していないのは粘性土と判定しても腐植土が混じっているからと考えられる。図 4-2-4 で地質柱状図、設計、実測を並記した図での設計値をゼロと見込んでいるのは妥当な評価であったと考えられる。

また、3m の杭と 5m を比較した図 4-1-4 および図 4-2-3 でみると 3m の場合は深度摩擦応力度が複雑になっているが 5m の場合は、ほぼ杭の先端 2m で等分布的に摩擦力が働いていることが見てとれる。5m の場合も先端で摩擦応力度が大きく寄与しているがこれに関しても、杭打ち後の経過とさらにはN値だけでは論拠できない粘土の締めり方が起因していると考えられる。

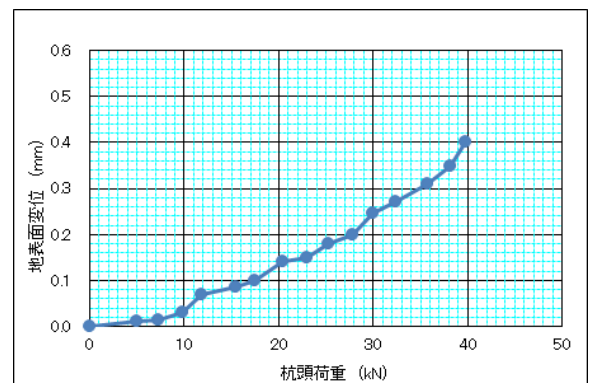


図 4-2-1

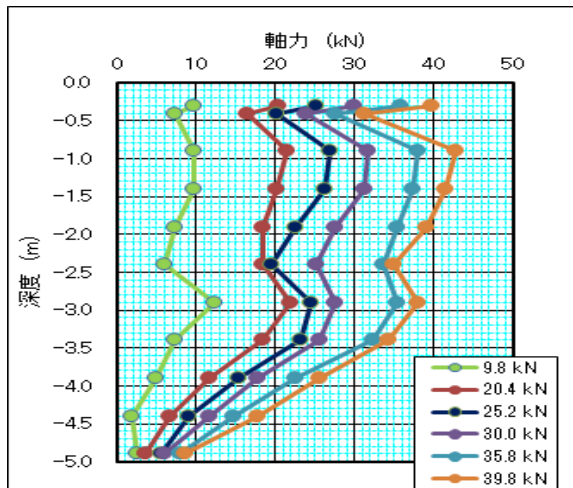


図 4-2-2

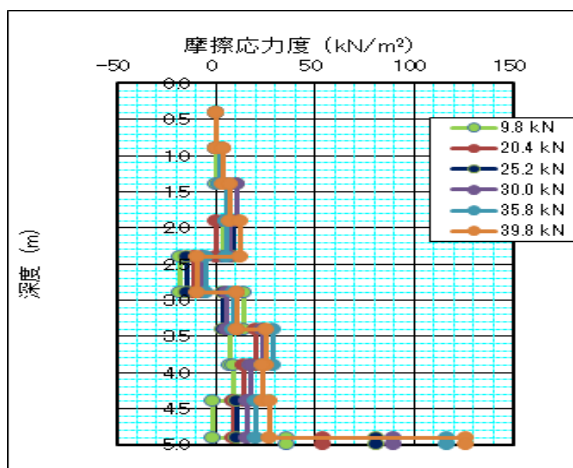


図 4-2-3

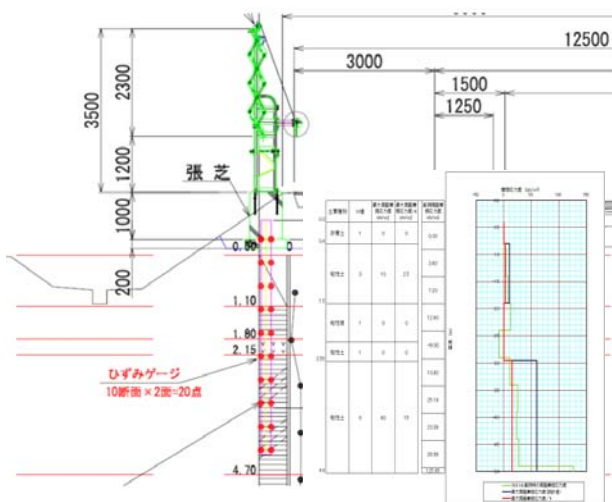


図 4-2-4

最初に述べたとおり、周辺摩擦力はN値との相関がある中で設計されているが、仮に今回砂層が入っている場合、および水位が高い場合は摩擦力に大きなばらつきが生じることも考えられる。砂礫層の場合は、N値大きかったとしても、鋼管には礫が点で接することから周辺摩擦力は殆ど期待できない場合も生じる。

摩擦力の軸力分をみると 3m、および 5m の場合も 20kN で引き抜いた場合この荷重を境に軸力変曲点が下方にずれていく傾向があることから終局的な摩擦力はリニアに減少していくと仮定すれば先端 1m 程度で負担することとなり場合によっては余裕長が必要な場合の生じると考えられる。

5. まとめ

本論文では、北海道では吹雪が発生する箇所に計画的設置されている吹き払い防雪柵の基礎、特に小口径鋼管杭の摩擦力の考え方に関して引き抜きによる実験を試み設計の妥当性を検証した。その結果、

- (1) N値が 5 以下でも摩擦は十分に発生しており杭の性能設計または施工において無視できないこと
- (2) コンクリートブロックと鋼管杭の接合において、鋼管上部にコンクリートを打設した場合鋼管は複合構造になりコンクリートとの一体化がなされ水平変位に設定された許容値に関しては有利に働くこと
- (3) 杭の設計もN値で評価可能であること

等であるが、今回の実験箇所は土質がほぼ一様であったから以上のような結論が出たが、砂層、礫層を含んだ場合はさらに評価が難しくなると考えられる。なお、微小変形を設計の課題としていることから傾向はあっていると考えられるが今一度調査を行う必要がある。今回の実験での提案としては、ボーリング調査、設計の後の実施工時には、土質に応じて試験杭を打って設計の妥当性をチェックしてから施工するのが現在求められている性能設計および性能施工と考えられる。

6. 謝辞

本実験に関し、深川道路事務所の有田政博所長、加藤智彦工務課長、支倉要工務係長、さらには北海商科大学の佐藤先生に指導を頂いた。

ご支援に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 日本道路協会 橋梁下部工編
- 2) 齊藤泰弘、西川純一、富澤幸一：場所打ちコンクリート杭の岩盤周面摩擦力の評価法
- 3) 齊藤泰弘、西川純一、富澤幸一：場所打ちコンクリート杭の岩盤支持力算定法について
- 4) 富澤幸一、西本聡、三浦清一：火山灰質土における杭周面摩擦力の評価
- 5) 北海道の特殊土地盤における基礎構造物の設計法に関する研究 他