

軟弱地盤に施工した防雪柵用小口径鋼管杭の曲げ特性

Bending Property of Small Diameter Steel Pile Piles Built for Snow Fence on the Soft Ground

(株)砂子組 土木部 正 員 塩田佑樹 (Yuuki Siota)
 (株)砂子組 土木部 正 員 田中孝宏 (Takahiro Tanaka)
 (株)砂子組 土木部 正 員 近藤里史 (Satoshi Kondo)
 (株)砂子組 土木部 正 員 山元康弘 (Yasuhiro Yamamoto)
 (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と杭そのものの特性で、特に北海道の場合は軟弱地盤が多いことからこれらを的確に求める必要がある。

今回、深川道路事務所所管の一般国道275号 板谷防雪柵設置工事で横抵抗の地盤反力係数を求めることを試みた。その結果、地盤が均質であれば杭の特性値はN値からの推定でも問題ない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-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。このような地盤に対して次式に示した計算方法を示した杭の設計を行っている。基本的には、道路橋仕方書の方法を活用して曲げ耐力の照査を行っている。

この論文で課題としているのは、図-2 で囲んだ部分の β の算定である。

3. 実験方法と計測について

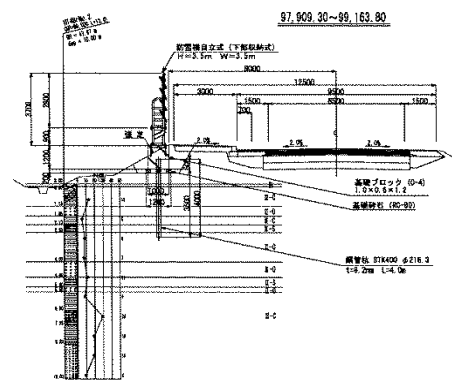


図-1

$$\beta = \sqrt[4]{k_H \cdot D' / (4 \cdot E \cdot I)}$$

$$k_H = K_{H0} (B_H / 0.3)^{-3/4}$$

$$K_{H0} = (1/3) \cdot \alpha \cdot E_0$$

$$B_H = \sqrt{D' / \beta}$$

β : 杭の特性値 [m⁻¹]
 k_H : 水平地盤に関する水平方向地盤反力係数 [N/m³]
 D' : 腐食代を考慮した杭径 [m]
 k_{H0} : 直径0.3[m]の剛体円板による平板載荷試験の値に相当する水平方向地盤反力係数 [N/m³]
 B_H : 荷重作用方向に直交する基礎の換算載荷幅 [m]

図-2

実験の概要は以下のとおりである。

3.1 載荷方法

試験は、試験杭と重機間を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。

3.2 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。

3.3 荷重方法

荷重方法は以下のとおりとした。

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 (設計での許容杭頭変位程度) である。



写真-1

4. 実験結果とその考察

ここでは、4.1として 3m の地盤反力係数 (K_H)、4.2として 5m の地盤反力係数の実験結果を示す。

4.1 3m 杭の地盤反力係数

設計では地盤反力を $K_H = 25.736 \times 10^6 \text{ kN/m}^3$ としており、杭を有限長の梁として計算している。図 4-1-1 に地表面変位と水平力の関係について、実測値と地盤反力係数 $K_H = 25.736 \times 10^6 \text{ kN/m}^3$ (設計値) とし杭を有限長の梁として計算した結果を比較して示している。水平荷重が 10kN 程度以下では、地盤反力係数は設計値と同等以上であるが、荷重が大き

くなるにしたがって小さくなっている。

最初に杭頭の荷重-変位曲線で考察すると、10kN における変位は 3mm で、微小変位状況では杭頭は固定に近く、15kN からは自由端に近い挙動を示している。これを詳しく示したのが図 4-1-2~図 4-1-4 で地盤反力係数を両対数表示でプロットすると実験値はリニアに近く、かつ変位が 3mm までの地盤反力係数は K_H が $40 \times 10^6 \text{ kN/m}^3$ でこれから変位が最大の 13mm での係数 $10 \times 10^6 \text{ kN/m}^3$ まで変化している。これは、地盤の自然沈下により粘土層では固く締まり、上部はルーズな状況であるか、または上部が盛土区間であるためと推察される。図 4-1-5 は実測ひずみから求めた深度と曲げ応力の関係で、図 4-1-6 は 24.5kN を横に荷重した時の杭の先端条件を変えた場合の理論値と実測値である。図から見て取れるのは -1.5m 付近で大きな変曲点が認められることである。理論値も実験値も杭先端ではゼロ応力で -1.5m に向かって先端固定に近くなっている。実際は、基礎ブロックと鋼管が合成状態になり、かつ変位拘束状況となることから 2次元 FEM 計算でない解析ができないが図 4-2-6 に示したような曲げ状態(太点線)になると推察され曲げ応力度ほどの深度でも許容値以内に入ると考えられる。また、杭の特性値 β は設計で 0.54m となっているが有限長の杭で計算したものと実験で求めた変曲点は 0.5m 程度の位置で良く合っていると思われる。

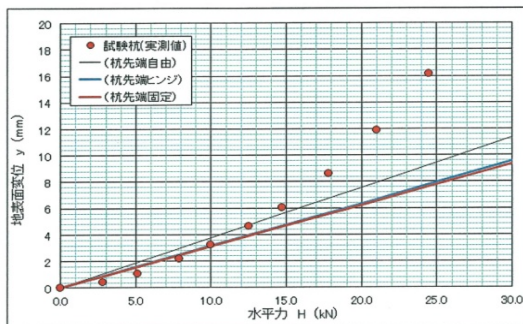


図 4-1-1 荷重 - 水平変位

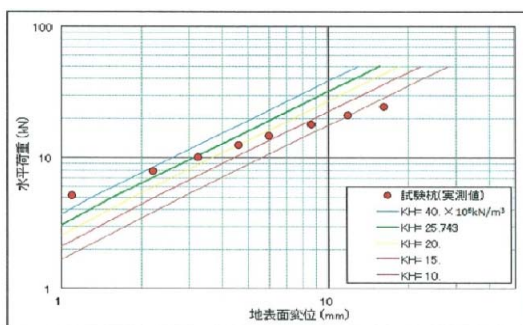


図 4-1-2 荷重 - 水平変位 (自由)

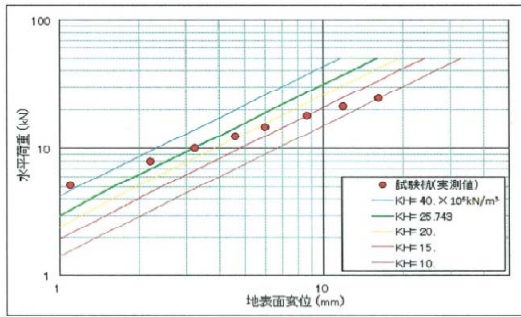


図 4-1-3 荷重 - 水平変位 (ヒンジ)

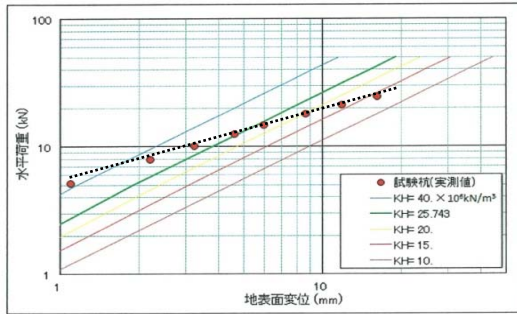


図 4-1-4 荷重 - 水平変位 (固定)

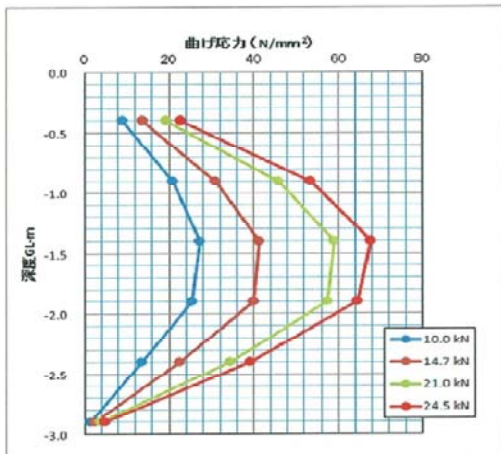


図 4-1-5 荷重 - 曲げ応力分布図

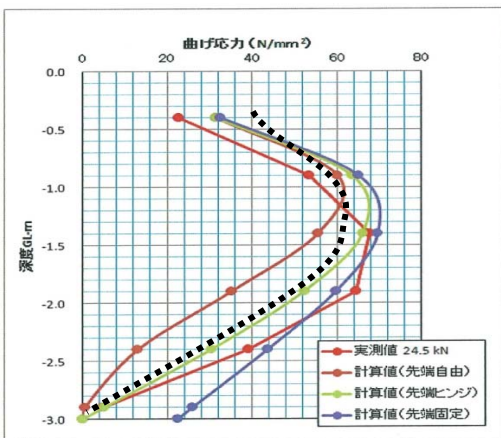


図 4-1-6 境界条件と計算値、実測値

4.2 5m杭の地盤反力係数

図 4-2-1 には 3m の場合と同じく荷重 - 水平変位、図 4-2-2 には杭頭固定とした場合の荷重 - 水平変位、図 4-2-3 には左図に深度と曲げ応力実測値、右側には深度と各境界条件別理論値と実測値 (18kN) を示した。

図 4-2-1 では杭長 3m とは異なり杭先端条件に関わらず変位は計算値の 50~70% 程度である。この原因としては粘土層の N 値のばらつきや杭頭のブロック設置面の締め堅め度等様々な要因が上げられるが安全側に計測値がでていることから当現場では問題とならないが試験を積み重ねて行く必要がある。

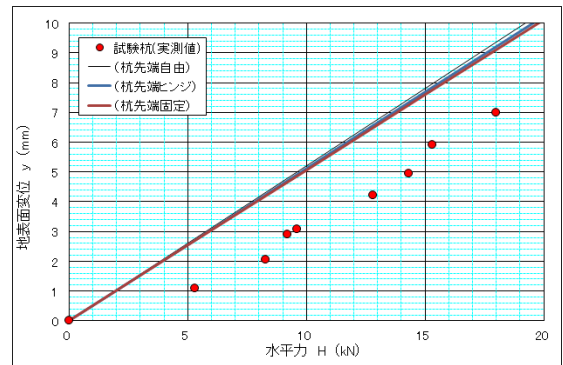


図 4-2-1 荷重 - 水平変位

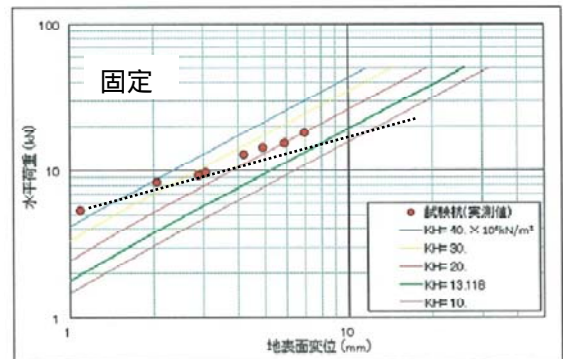


図 4-2-2 荷重 - 水平変位(境界条件別)

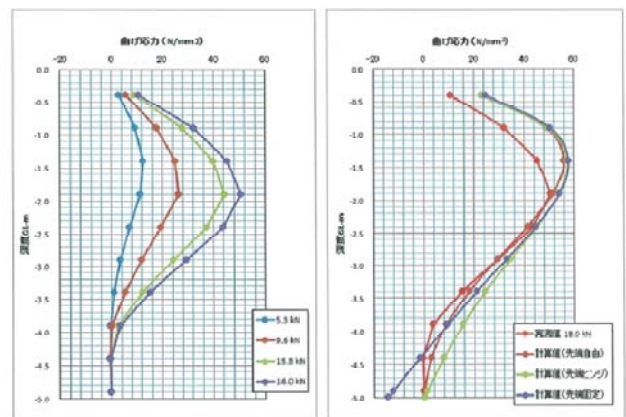


図 4-2-3 深度 - 曲げ応力(境界条件)

図4-2-2も同じく杭長3mのものと同じ分析の図であるが杭頭固定のみ示した。5mの杭に置いても対数で表すとリニアリティは保持されている。図4-1-1の3m杭と比較すれば地盤反力計数はほとんど同じとなっており当該施工箇所の地盤の均質性が表現されていると考えられる。

また、図4-2-3の深度に対する曲げ応力実験値は杭頭変位が小さいにも関わらず-2m付近で曲げモーメントの変曲点が現れているが計算値では-1.5m付近で図の右に計算値と実験値を記載しているが特性値 β すなわち地盤反力に対する杭の剛性比では杭長3mのものと同じになっている。-2.0m以下では計算値とよく合っているが、これは3m杭と同じく-1.5mまでは杭頭付近の粘土層がルーズになっていると考えられるが実際は基礎ブロックと一体となることから鋼管には有利な状態となると考えられる。設計では地盤反力係数を $K_H = 25.736 \times 10^6 \text{kN/m}^3$ としている中でやや高めであるが実測値とほぼ合致している(図4-1-4と図4-2-2の点線で比較)。

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地盤反力係数の考え方に関して実験を試み設計の妥当性を検証した。その結果、

- (1) 杭頭変位に関し、今回の試験では水平載荷時に杭長3mでは15kNで変曲点が見られ理論値よりも大きくなったがこれは盛土部分であるためルーズになっていることからと考えられる。しかしながら、許容変位内に入っているので全く問題はない。5mでは変曲点は認められなかった。
- (2) 地盤反力係数 K_H は、水平横載に関して水平力と変位を両対数で示すとリニアである。また、 K_H は変位が大きくなるにつれて小さくなり、平均的には $25 \times 10^6 \text{kN/m}^3$ 程度で設計に用いた $K_H = 25.736 \times 10^6 \text{kN/m}^3$ とほぼ合致している。
- (3) 杭の特性 β に関しても杭長3mの場合は設計値と実測値はほぼ合っている。5mの場合も横荷重15kNまではよく合っているがそれ以降は大きくなる傾向にある。
- (4) 地盤反力係数はボーリングの土質柱状図を正しく評価すれば現行の設計方法でも全く問題ないことがわかった。
- (5) 杭頭の条件に関しては自由から固定に移行することがわかった。

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、礫層を含んだ互層場合はさらに評価が難しくなると考えられる。

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、支倉要工務係長の支援を受けて実施したもので、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) 深い基礎の水平抵抗と形状効果—特に、前面と側面の地盤反力係数について 富沢 幸一
- 3) 原位置試験による水平地盤反力係数推定方法に関する考察 福島宏文
- 4) 地盤反力係数に関する実験的研究(その1): 面積効果について 金谷 祐二, 秋野 矩之
- 5) 地盤の水平地盤反力係数評価に関する一考察 鴨居 正雄 他