

泥炭層の杭の最大周面摩擦力度

日下部祐基* 玉田隆志**

1. まえがき

道路橋示方書¹⁾ (以下、道示と呼ぶ) は、土質を粘性土と砂質土に区分して杭の最大周面摩擦力度を N 値や非排水せん断強さ Cu (道示では粘着力と呼んでいる) から求めている。この場合の周面摩擦力を期待できる層は、N 値が 2 を越えるものであることが示されている。

北海道に多く分布する泥炭性軟弱地盤²⁾ については、標準貫入試験のロッドが自沈することから N 値はほとんどゼロに等しく、杭の周面摩擦力は期待できない。しかし、深い所にある泥炭層では有効土かぶり圧により圧密され、N 値が 2 を越える層も存在する。この場合の最大周面摩擦力度の評価法は明確にされたものがなく、設計に携わる技術者を困惑させているのが実情である。

過去の設計計算書を見ると、安全側の値が得られる砂質土として評価しているものが多いようである。しかし、軟弱な泥炭層上に盛土をする場合の安定計算などには、粘性土地盤の土質定数の評価法に準拠した手法を用いて、実用上問題がないことを考えると、杭の最大周面摩擦力度も粘性土と同様にしてもよいように思われる。

ここでは、過去の杭の載荷試験データより N 値が 2 を越える泥炭層の杭の最大周面摩擦力度を求め、それと各土質定数などの関係を調査して泥炭層の杭最大周面摩擦力度の評価法を検討したので報告する。

2. 試験杭と試験データ

試験杭は、打込み鋼管杭が 4 杭、場所打ちコンクリート杭が 2 杭の計 6 杭である。対象とした泥炭層は、平均 N 値が 2 を越える 7 層である。表-1 に各層のデータを示す。各層の杭の最大周面摩擦力度は、まず試験杭に貼付されたひずみゲージの載荷試験時の測定結果より周面摩擦力度を求める。そして、宇都の方法³⁾ で求めたひずみゲージ間の最大周面摩擦力度の値と、載荷試験での最大荷重時の周面摩擦力度を比較して大きい方の値をとる。

次にひずみゲージ間の層がすべて泥炭層の場合はこの値を用いるが、ひずみゲージ間に泥炭層のほか粘性土層や砂質土層の互層になっている場合には、以下の式により泥炭層のみの最大周面摩擦力度を求めた。

$$f_{sp} = \frac{Z \cdot f_s - Z_c \cdot f_{sc} - Z_s \cdot f_{ss}}{Z_p} \quad (2.1)$$

表-1 試験データ表

橋名	地盤No.	杭種	深度(m)	層厚(m)	平均N値	最大周面摩擦力度(tf/m ²)	含水比(%)	土粒子の密度(g/cm ³)
十勝	G-1	打込み鋼管杭	25.2	0.7		*33.7		
	幌向1	G-2	打込み鋼管杭	10	1.8	4	6.2	142.7
幌向2	G-3	打込み鋼管杭	10	1.8	4	4.4	145.8	2.145
	G-4	打込み鋼管杭	34	2	19.5	*3.97	128	1.919
大曲	G-5	打込み鋼管杭	11	4	3	2.24	197.6	2.04
母恋	G-6	場所打ちコンクリート杭	8.5	1.8	4	1.15		
長沼	G-7	場所打ちコンクリート杭	28.25	3	9.2	11.2		

* : 参考値

*土質基礎研究室研究員 **同室員

ここに、

f_{sp} : 泥炭層の最大周面摩擦力度 (tf/m^2)
 f_s : ゲージ間の最大周面摩擦力度 (tf/m^2)
 f_{sc} : 粘性土層の最大周面摩擦力度 (tf/m^2)
 f_{ss} : 砂質土層の最大周面摩擦力度 (tf/m^2)
 Z : ひずみゲージ間の距離 (m)
 Z_p : ひずみゲージ間における泥炭層厚 (m)
 Z_c : ひずみゲージ間における粘土層厚 (m)
 Z_s : ひずみゲージ間における砂層厚 (m)

なお、粘性土層および砂質土層の各最大周面摩擦力度は、その層の平均 N 値より道示の関係式から求めた値を用いた。

また、G-1 層および G-5 層の最大周面摩擦力度は参考値として示した。G-1 層の最大周面摩擦力度は $33.7 \text{ tf}/\text{m}^2$ と他層に比べてかなり大きくなっている。これは上下の層の N 値が小さく測定されたか、杭体に貼付されたひずみゲージによる軸力測定値に異常があったものと推察され、計算上泥炭層の最大周面摩擦力度が大きくなったものと判断した。G-5 層については、実際の杭の最大荷重が載荷試験時に設定された最大荷重に比べて予想以上に大きかったために軸力が対象層まで十分に伝わらず、実際の泥炭層の最大周面摩擦力度が求められていないと判断されたからである。

3. 杭の最大周面摩擦力度

杭の最大周面摩擦力度 f_s を算定するための基本式は、杭と土との付着力と摩擦力の和として次式で表わされる⁴⁾。

$$f_s = Ca + Ph \cdot \tan \delta \quad (3.1)$$

ここに、

Ca : 杭と地盤との付着力 (tf/m^2)
 Ph : 杭の周面に作用する側圧 (tf/m^2)
 δ : 杭周面と地盤との間の摩擦角 (度)

この式を適用して杭の最大周面摩擦力度を推定するための解析法は、全応力解析と有効応力解析とに大別される。

全応力解析は、最大周面摩擦力度 f_s が (3.1) 式右辺第 1 項の付着力 Ca に等しいと仮定して、次式で表わせる。

$$f_s = Ca = \alpha \cdot Cu \quad (3.2)$$

ここに、

α : 付着力係数

Cu : 土の平均非排水せん断強さ (tf/m^2)

上式では、付着力は乱さない土の非排水せん断強度に関係するとされている。

有効応力解析では、杭の最大周面摩擦力度が有効上載荷重による摩擦力が主体になるとして (3.1) 式右辺第 2 項で、最大周面摩擦力度 f_s が得られる。

$$f_s = k \cdot Pv' \cdot \tan \phi' = Nf \cdot Pv' \quad (3.3)$$

ここに、

k : 側圧係数

ϕ' : 有効内部摩擦角 (度)

Pv' : 有効上載圧 (tf/m^2)

Nf : 摩擦力係数

一般には、砂質土では有効応力解析が粘性土では全応力解析が適用されるが、粘性土においても有効応力解析された報告⁵⁾もある。

また、杭の最大周面摩擦力度は、土質のほか杭の種類、施工法、杭打設後の地盤強度の回復に伴う時間的な変化などの影響を受けることも報告⁶⁾されている。

4. 泥炭層の最大周面摩擦力度

4-1 全応力法

本試験データでは、各泥炭層の非排水せん断強さ Cu が明らかでないため、全応力法による解析はできない。

粘性土では、非排水せん断強度 Cu を一軸圧縮強さ qu との関係 ($Cu = qu/2$) から求められる。 qu と標準貫入試験の N 値には、ある程度の関係がみられる⁷⁾。そこで、ここで対象としている N 値が 2 を越える泥炭層においてもこの関係を適用できると仮定し、全応力法による解析として杭の最大周面摩擦力度 f_s と N 値の関係を示したのが図-1 である。

この関係では、打込み杭、場所打ち杭含めて回帰計算すると次の関係式が得られた。

$$f_s = 1.1 N \quad (4.1)$$

上式と実測値の関係をみると、実測値にはこの関係式の周面摩擦力度を下まわるものが 2 点ある。データが少ないことから、この 2 点を無視して上式の実設計に用いるのは危険である。そこで、経済性も考慮して、N 値 4 で

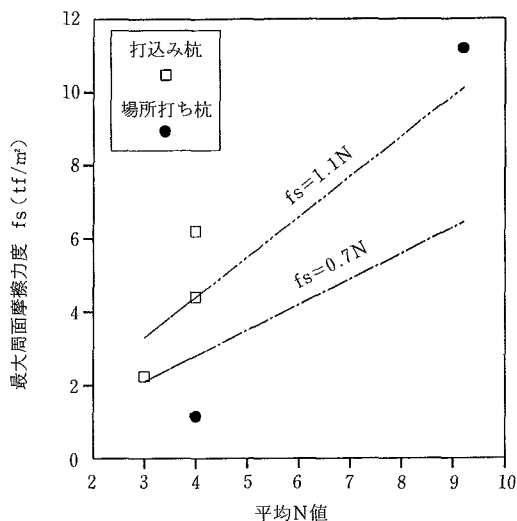


図-1 平均 N 値と最大周面摩擦力度

最大周面摩擦力度が極端に小さい値を示している G-6 層を除き、他のデータをすべて満足するような関係式を求めると次式となる。

$$f_s = 0.7 N \quad (4.2)$$

実用的にはこの程度の関係式が妥当のように思われる。

また、道示では、N 値を非排水せん断強さ C_u との関係に $C_u = 0.6 \sim 1.0 N$ の式が示されている。この関係式を式 (4.2) に代入すると、以下の式が得られる。

$$f_s = 1.2 \sim 0.7 C_u \quad (4.3)$$

ここに、

C_u : 泥炭層の非排水せん断強さ (tf/m^2)

軟弱な泥炭層では、一軸圧縮試験では非排水とした条件を満足しないこと⁸⁾から非排水せん断強さは求められないが、N 値が 2 を越える泥炭層では、一軸圧縮試験から C_u を求められることも考えられ、上式が有効になる。また、コーン貫入試験による q_c 値より C_u を推定し利用するにも便利である。

4-2 有効応力法

有効応力法による解析では、式 (3.3) において摩擦係数 N_f が N 値が 2 を越える泥炭層で一定値をとると仮定すると、最大周面摩擦力度は有効上載圧に比例することになる。土の湿潤単位体積重量は、粘性土と砂質土で若干の違いがあるが 1.7 tf/m^3 程度の一定値である。

地下水位は泥炭層が存在する現場では地表面付近にあると考えられる。

したがって、式 (3.3) は以下のように表わされる。

$$f_s = N_f \cdot P_v' = N_f \cdot \gamma' \cdot Z \quad (4.4)$$

ここに、

γ' : 土の水中単位体積重量 (tf/m^3)

Z : 泥炭層の深度 (m)

よって、最大周面摩擦力度 f_s は、深度に比例することになる。図-2 はこの関係を示したものである。ここでも杭種を考慮しないで直線回帰すると、以下の式が得られた。

$$f_s = 0.38 Z \quad (4.5)$$

ここで、土の湿潤単位体積重量 γ を一般的な値として $\gamma = 1.7 \text{ tf/m}^3$ とすると、水中単位体積重量 $\gamma' = 1.7 - 0.9 = 0.8 \text{ tf/m}^3$ となる。この値を用い式 (4.4)、(4.5) から泥炭層の摩擦係数 N_f を求めると $N_f = 0.48$ となる。摩擦係数は、上載荷重による最大周面摩擦力度の増加率を示すものであることを考えると、泥炭層の非排水せん断強さの強度増加率 m としての $m = 0.35 \sim 0.5$ ⁹⁾ の上限値に近い値であることがわかる。

4-3 物性値との関係

泥炭の諸定数は自然含水比との相関がある程度認められることから、泥炭層の圧密沈下の予

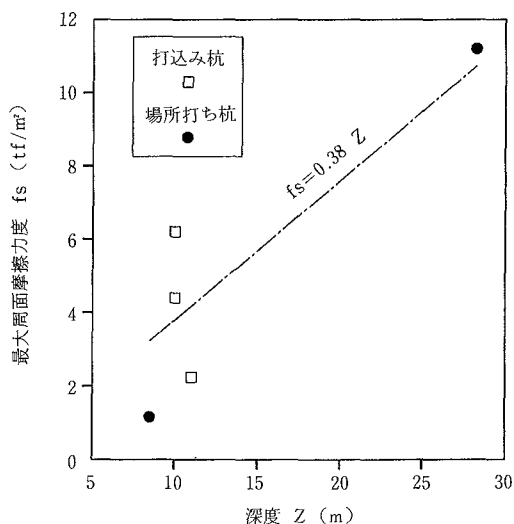


図-2 泥炭層の深度と最大周面摩擦力度

測に物性値を用いるなどの方法が報告¹⁰⁾されている。ここでは、杭の最大周面摩擦力度と各

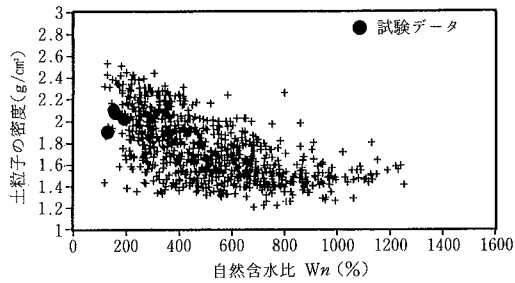


図-3 泥炭の自然含水比と土粒子の密度の関係

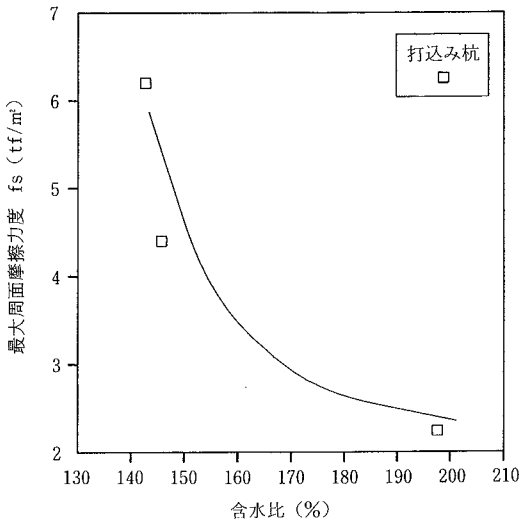


図-4 自然含水比と最大周面摩擦力度

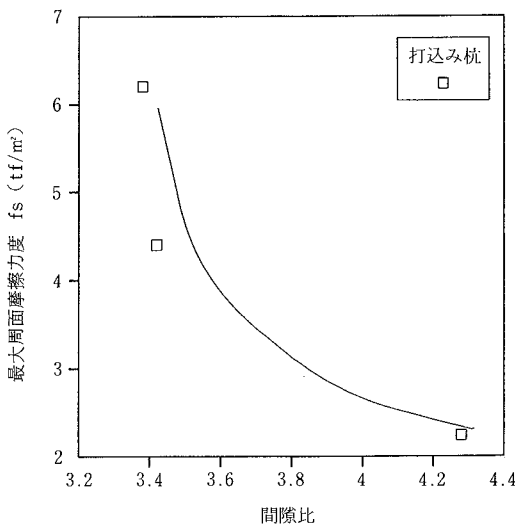


図-5 間隙比と最大周面摩擦力度

物性値の関係を示す。

図-3は、一般に示されている泥炭の自然含水比 W_n と土粒子の密度 G_s の関係¹¹⁾に今回のデータをプロットしたものである。今回のデータは自然含水比が200%以下で低い値をとり、土粒子の密度は2.0前後で、含水比との関係では一般的な泥炭の関係と同程度の傾向を示していることがわかる。

図-4は、含水比と最大周面摩擦力度の関係を示したものである。全体的な傾向としては、含水比が低くなるほど最大周面摩擦力度が大きくなる傾向がみられ、反比例の関係にあるように思える。

図-5は、間隙比と最大周面摩擦力度の関係を示したものである。ここでも含水比と同様の傾向がみられる。

データ数の点からこれらの関係式を示すことができないが、 N 値が2を越える泥炭層の最大周面摩擦力度は、ある程度物性値に相関しているようにみえる。

5. まとめ

以上のことをまとめると、次のとおりである。

- ① N 値が2を越える泥炭層の杭の最大周面摩擦力度 f_s は、泥炭層の非排水せん断強さが N 値に相関すると仮定して全応力法で解析した結果、実用的な関係式として以下の式が得られた。

$$f_s = 0.7 N$$

また、道示の N 値と非排水せん断強さ C_u の関係式をこれに代入すると以下の式になる。

$$f_s = 1.2 \sim 0.7 C_u$$

- ② 有効応力法による解析では、最大周面摩擦力度 f_s と泥炭層の深度 Z から、以下の関係が得られた。

$$f_s = 0.38 Z$$

また、この式から一般的な土の湿潤単位体積重量を用いて摩擦係数 N_f を求めると $N_f = 0.48$ となり、これは泥炭層の非排水せん断強さの強度増加率の上限値に近い値を示す。

③ 最大周面摩擦力度 f_s と泥炭層の物性値との関係では、データ数が少なく関係式は得られなかったが、含水比および間隙比に反比例するようにみられる。

なお、ここで対象にした泥炭層の最大周面摩擦力度が 11.2 tf/m^2 であることから、上記関係式の適用範囲は、安全を見て $f_s = 10 \text{ tf/m}^2$ 以下の泥炭層に適用できるものと考えられる。

6. あとがき

構造物基礎の設計に用いられる地盤の諸定数は、各種土質調査試験結果から求められるが、その中でも特に N 値との関係を示したものが多。いわゆる N 値万能主義的傾向にある。その結果、設計段階では諸定数の決定が容易になる反面、事前実施された多くの土質調査の内容が切捨てられて無意味になる恐れがある。

本報文においても、 N 値が 2 を越える泥炭層の杭の最大周面摩擦力度と N 値の関係を示したのは、 N 値万能主義の傾向を無視できないことにある。しかし、ここでは N 値のほか泥炭層の深度や物性値との関係についても示した。泥炭層の最大周面摩擦力度を推定する場合には、 N 値のみでなく他の値との関係をチェックして、その妥当性を検討されることを望むものである。

また、杭の最大周面摩擦力度の推定精度の向上を目的に、現在三成分コーン貫入試験を用いた研究を実施中である¹²⁾。ここで対象とした N 値が 2 を越える泥炭層についても検討中であるが、その結果については後日報告したい。本報文が、今後の杭基礎設計の一助になれば幸いである。

なお、本課題は平成 4 年度の橋梁担当者会議

において議題になり、土質基礎研究室がまとめることになったものである。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書 下部構造編・同解説，pp 282～283，1990. 2.
- 2) 泥炭性軟弱地盤対策工指針編集委員会：泥炭性軟弱地盤対策工指針，社団法人北海道開発技術センター，pp 1～5，1988. 10.
- 3) 宇都一馬，冬木 衛，近藤 博，桜井 学：クイの載荷試験結果の一整理法，第13回土質工学研究発表会，pp 813～815，1978.
- 4) 土質工学会：杭基礎の設計法とその解析，pp 277～283，1985. 12.
- 5) 井上嘉信：チュウ積層が厚い軟弱地盤での負の摩擦力とクイの設計，土と基礎，Vol. 22，No. 8，pp 21～28，1974. 8.
- 6) 坂口 理：杭基礎の鉛直支持力を考える 4. 杭の周面摩擦力，土と基礎，Vol. 28，No. 4，pp 67～76，1980. 4.
- 7) 土質工学会：設計における強度定数 c ， ϕ ， N 値一，土質基礎工学ライブラリー，pp 52～53，1988. 5.
- 8) 能登繁幸：泥炭地盤工学，技報堂出版，pp 46～48，1991. 4.
- 9) 2) と同様，p 52.
- 10) 能登繁幸：泥炭地盤の沈下量の予測に関する考察，土質工学会論文集，Vol. 27，No. 2，pp 107～117，1986.
- 11) 2) と同様，p 50.
- 12) 玉田隆志，能登繁幸，日下部祐基，松田泰明：新しい原位置試験による杭の周面摩擦力の評価，開発土木研究所月報 No. 466，pp 10～16，1992. 3.