

鋼グイに作用するネガティブフリクションについて

日本大学工学部大学院修士

学生員 小山田吉孝

1. まえがき

最近の経済の高成長は土木工学の分野においても多大の影響を及ぼしている。鋼管グイ基礎は、鋼管グイの積置、施工技術、溶接技術の向上と構造物の基礎として、埋立地や厚い軟弱地盤を利用せざるを得ないような産業の発展によって、年々長大化する傾向にある。厚い軟弱層を貫いて打設された長い鋼管グイは周辺地盤の圧密沈下によって生じる *Negative Friction* (以下 F_n と略す) の作用を受けやすく、構造物は大きな不同沈下を被る恐れがある。打設直後は、グイとグイ周辺地盤との摩擦力は上向き (*Positive Friction*) で、土載荷重の一部を負担しているが、グイ周辺地盤 (通常は軟弱地盤が多い) に広く荷重が作用する場合とか、地下水の変動によって土被り重量が徐々に増加する場合には圧密沈下が生じ、今まで上向きだった摩擦力が徐々に消失し、グイに対してグイ周辺地盤が相対的に下向きの変位を生じるため、逆に、下向きの摩擦力が作用して、グイを引きずり込むように地盤からグイに伝達され、グイ先端の支持力に過大な負担をかける場合がある。このように、地盤沈下に起因してグイ周囲に下向きに作用する摩擦力を *Negative Friction* と呼んでいる。筆者はこの F_n はグイの周辺の地盤の圧密沈下によってせん断強度が増加することに密接な関係があることに着目し、模型実験による基礎的研究の結果について報告するものである。

2. 実験方法

実験装置は図-2.1に示す。この装置は大型の圧密試験機と言っても過言ではなく、主な部分として、試料に圧密を生じさせるための圧密荷重載荷装置、土とグイを入れるシリンダー (高さ45cm、直径30cm)、およびグイに作用する下向きの摩擦力をなわら F_n を測定するプルベングリングの三つの部分からなりたっている。

まず、鋼グイ (直径20mm) をシリンダー内中央に垂直に立て、プルベングリング上に載せる。下部排水孔に目のあらい透水板をおき、その上にフィルター用の砂を約3cmの厚さに敷きならし、その最上部からグイの長さ (グイと試料とが接する長さ) を測定してから、飽和した試料をできるだけ均一になるように、シリンダーの最上部まで詰める。試料の表面を平滑にし、圧密荷重を載荷するための載荷板を置き、沈下量を測定するためのダイヤルゲージをマグネットスタンドに取りつける。

これまでのセットが終わったら、測定にはいる。圧密荷重を0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6 kg/cm² とし、それぞれ48時間、試料を圧密させて、所定の経過時間 (6, 9, 15, 30, 1', 2', 4', 8', 15, 30, 60, 90, 120, 150'……) に沈下量と F_n を同時に測定する。

本実験に使用する試料はカオリン粘土に石こう (吉野石膏YNプラスター: 商品名) を30%加えた混合物とし、各種土質試験から試料の初期含水比を85%とした。この試料の諸性質を表-2.1に示す。

3. 実験結果および考察

実験結果を表-3.1に示す。この結果に基づいて、それぞれの関係について述べることにする。本実験は試料

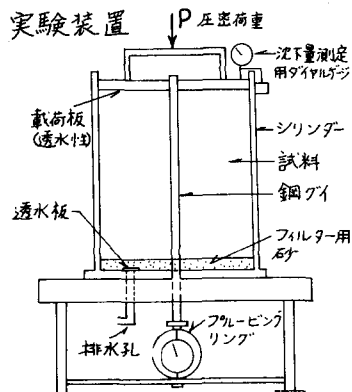


図-2.1

試料の特性

比重 Gs	液性限界 L.L. (%)	塑性限界 P.L. (%)	塑性指数 P.I.
2.87	71.0	37.0	34.0
先行荷重 P _e (kg/cm ²)	圧縮指数 Cc	粘着力 C (kg/cm ²)	内部摩擦角 tan φ
0.25	0.85	0.06	0.23

表-2.1

の圧密沈下に帰因する F_N を測定するものであり、前述したように、実験の過程を大型圧密試験と考え、標準圧密試験と同様にして整理し、一例を示すと、 $e \sim \log P$ 曲線は図-3.1のようになる。先行荷重 P_0 は 0.25 kg/cm^2 、圧縮指数 C_c は 0.85 である。先に標準圧密試験によって求めた値 $P_0 = 0.18 \text{ kg/cm}^2$ 、 $C_c =$ よりも若干大きな値を示しているが、これは圧密時間と試料総厚の相違によるものと思われる。図-3.2は圧密荷重 P と F_N （ワイとワイ周辺地盤が接している部分の単位表面積に作用する Negative Friction 単位: kg/cm^2 ）との関係である。この図において不連続点が見られるが、この点は $e \sim \log P$ 曲線における先行荷重 P_0 とほぼ一致している。すなわち、先行荷重以下における荷重では、沈下が進行しないため、 F_N が増加せず、 F_N はワイ周辺土の圧密沈下に起因することが明らかにとらえることができる。そして先行荷重以上の荷重で圧密すると、 F_N も図-3.2に見られるように指数関数的に増加している。

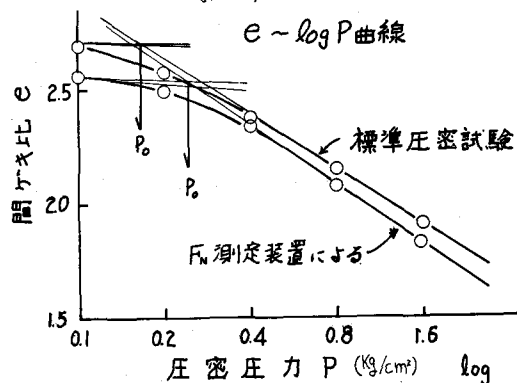
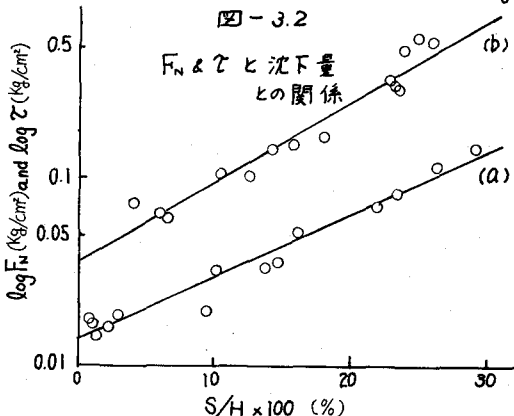
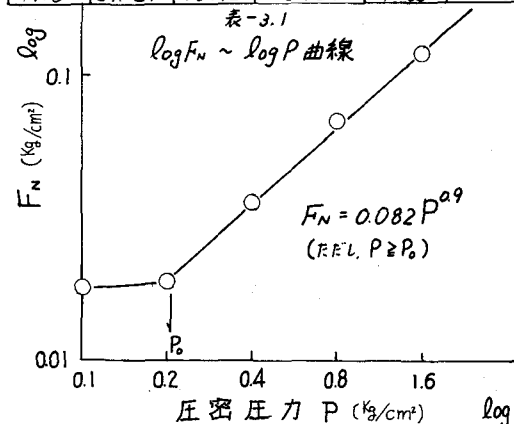


図-3.1

圧密圧力 $P (\text{kg/cm}^2)$	$F_N \text{ max}$ (kg)	沈下量 $S (\text{cm})$	単位面積に作用する $F_N (\text{kg/cm}^2)$	開けきり e	初期 厚) $S/H \times 100$
0.1	4.42	0.39	0.018	2.55	0.99
0.2	4.52	1.17	0.019	2.50	2.97
0.4	7.60	5.87	0.036	2.33	14.86
0.8	13.22	8.66	0.069	2.09	21.93
1.6	21.89	10.42	0.120	1.83	26.38



F_N はワイ周辺土の圧密沈下に伴うせん断強度に関係があることに着目し、 F_N を、沈下量 S と試料初期厚 H との比 $(S/H) \times 100$ について整理すると、図-3.3における(a)のような直線を示し、また、一面せん断試験(C.D試験)の結果、せん断強度 τ を、 $(S/H) \times 100$ について整理すると、図-3.3の直線(b)のようになる。この二つの直線からせん断強度 τ と F_N との関係を表わすと、図-3.4のように一次関数の実験式が求まる。 F_N は一面せん断強度の約1/2の値を示している。ただし、図-3.4における直線(a)で、 $(S/H) \times 100$ が0のとき、 F_N が生じているのは、試料が軟弱で飽和している粘性土であるため、シリンダー内に試料を詰めてから載荷板を載せて測定にはいるまでに、いくらかの沈下が生じているためであろう。このことを考慮すると、 F_N はせん断強度の約程度の大きさとなり、現在行われている鋼ワイの設計にとらわれている F_N の値では経済的な設計とは言えないと思われる。

図-3.3および図-3.4における一面せん断試験用の試料の条件を F_N 測定に用いる試料と比較すると、初期含水比が同じであるほかは、試料の厚さ、圧密時間の条件が異なるため、 τ と F_N を関係づけるには不合理な面が生じるかもしれないので、 F_N の測定と同時にワイ周辺土のせん断強度(ベーンせん断強度) τ を測定した結果について述べることにする。

図-3.5は圧密荷重 P とせん断強度 τ との関係、図-3.6は τ と F_N との関係をそれぞれ示している。ただし、

圧密荷重 1.6 kg/cm^2 のときのせん断強度はベーンせん断試験では測定できなかったため、シンワオールサンプラーで試料を乱さないようにして採取して、一軸圧縮試験を行なった結果を用いている。一般に、せん断強度はクーロンの式、 $\tau = \sigma \tan \phi + C$ で表わせる直線であるが、本実験の結果、指数関数で示される曲線となっている。これは、前述したことであるが、試料の厚さと圧密時間すなわち、この実験では一荷重段階につき一つの試料で荷重が変わるごとに試料を詰め変えており、一荷重段階48時間という同じ圧密時間をとっているため小さな荷重と大きな荷重では圧密度が異なっていることなどが原因でせん断強度も異なった関数でできたものと考えられる。この τ と F_N との関係を示すと図-3.6 のようになる。この図は τ と F_N の実験式を求めるために便宜上、 $\tau \times F_N$ を対数ににとって、 $\log \tau \cdot F_N$ と τ との関係を示したものである。この τ と F_N との関係を図-3.4 にプロットすると、その点は直線付近に位置する。この結果を、日本建築学会、鋼ゲイ基礎設計施工規準・同解説に掲げられている $F_N = \pi \cdot D \cdot L \cdot \bar{s}$ (D : クイの径、 L : クイと土が接している長さ、 $\bar{s}$: クイ周辺土の平均せん断強度) と比較すると、建築学会における F_N は約2~3倍程大きな値を示している。

4. まとめ

本実験における結果および考察から言えることは次のようなことである。

F_N とせん断強度 τ との関係はやはり密接な関係にあり、直接的および間接的に求めたせん断強度 τ の約 $1/4$ の値を F_N は示している。また、従来、 F_N の推定法としてクイの有効表面積にクイ周辺土の平均粘着力 $\bar{s}$ をかけたものを採用しているが、 F_N はこの値の約 $1/4 \sim 1/2$ の値で十分であると思われる。また、本実験の場合、基礎的研究であり、実験条件についてももう少し研究の余地が十分あり、今回はこれまでにしどめ、次回にまた発表する所存である。なおこの実験に関して、ご指導して下さいた日本大学工学部土質研究室の諸先生、また、実験に直接たずさわった高橋泰之、円谷不二夫、中村日出男の諸君に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鋼ゲイ-土質学会編
- 2) 建築鋼ゲイ基礎設計施工規準・同解説

