

港 湾 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 85 Sept. 1969

組グイの設計法について（その1）

——クイの軸方向荷重沈下曲線の推定——

片 山 猛 雄
瀬 川 宗 亮

運輸省港湾技術研究所



組グイの設計法について (その1)

——クイの軸方向荷重～沈下曲線の推定——

目 次

要 旨

1. ま え が き	2
2. クイに作用する軸方向荷重と沈下量の関係に対する理論解	3
2.1 理論計算のための仮定	3
2.2 理論式の誘導	3
2.3 理論式のまとめ	4
2.4 無次元数 β および γ について	5
3. 地盤の変形常数に関する考察	5
3.1 クイ先地盤の地盤反力係数 k_p について	5
3.2 クイの周面摩擦強度に関する仮定の成立限界について	5
3.3 土のすべり係数 k_s について	6
3.4 問 題 点	8
4. 理論解の適用	9
4.1 理論解の精度	9
4.2 実際の荷重～沈下曲線の推定	9
4.3 クイ頭部沈下量の略算式	10
4.4 実際の設計への適用	11
5. あ と が き	11

組グイの設計法について (その1)

—クイの軸方向荷重～沈下曲線の推定—

片 山 猛 雄*
瀬 川 宗 亮**

要 旨

本報告では、曲げたわみを考慮した組グイの設計に際して必要となる、単グイ（先端開放型鋼管グイ）の軸方向荷重～沈下量の関係を扱っている。結論は次の通りである。

- i) クイの直径を D (cm) とする時、クイ周囲の土のすべり係数 k_c (kg/cm³) およびクイ先地盤の地盤反力係数 k_p (kg/cm³) は、 N 値と次の関係がある。

$$k_c = 0.2N \left(\frac{30}{D} \right)$$

$$k_p = N \left(\frac{30}{D} \right)$$

- ii) クイ頭部（地表面）を0.5cm沈下させるに要する荷重 $P_{0.5}$ (kg) は次の式で求められ、そのバラツキは±25%である。

$$P_{0.5} = \frac{0.5}{\phi_t} \cdot \frac{EA}{d}$$

ここに $\frac{EA}{d}$ (kg/cm) はクイの剛性であり、 ϕ_t は地盤の性質およびクイの諸元によって決まる無次元数である。

- iii) 降伏点以下の任意荷重 P (kg) およびその時のクイ頭（地表面）沈下量 d (cm) に関して次の式が成立つ。

$$d = \frac{0.5}{P_{0.5}^{3/2}} P^{3/2}$$

または

$$P = 1.6 P_{0.5} d^{2/3}$$

1. ま え が き

現在組グイの設計法としては、クイの曲げたわみによる土の横抵抗を無視し、軸方向力のみによって抵抗すると考えた取扱いが一般的である。しかしながら実際の組グイの支持機構では、クイの曲げたわみの影響は無視できない。この影響を加味して組グイの支持機構を変位との関連においてとらえた計算法の骨子は、組グイの載荷点における力の均合条件および変位の適合条件から得られる均合式を連立に解き、各クイの分担外力を求めることにある。すなわちこの方法を適用するためには、単グ

イにおける軸方向荷重～沈下量の関係および軸直角方向荷重～変位の関係がわかっているなければならない。

ここでは曲げたわみを考慮した組グイの設計法の確立のための第1段階として、単グイ（先端開放型鋼管グイ）に軸方向荷重が作用する場合の荷重～沈下の関係について報告する。

本報告では、先ず地盤を弾性論的に取扱った場合にクイの軸方向支持機構に関して導かれる微分方程式をもと

* 設計基準部 設計基準課長

** 設計基準部 設計基準課

として、軸方向荷重がクイの降伏荷重以下の状態に対するクイの荷重～沈下量の関係を調べ、その際に必要となる地盤の諸常数の推定について考察し、最後に実際には非線形性状を示すクイの荷重～沈下曲線の推定のための簡便法を提案する。

2. クイに作用する軸方向荷重と沈下量の関係に対する理論解

2.1 理論計算のための仮定

クイに作用する軸方向荷重と沈下量との関係を理論的に導くために、地盤が弾性変形をなすものと考え、その作用する力と変位量との間に次の仮定をおく。

(i) クイの周面摩擦力に関する仮定

"クイの周面摩擦強度は土のせん断応力に等しいとし、土のせん断応力はその時のせん断変位との関係と考え、しかもその間に線形関係が成立つものとする。"

すなわち図-1 に示す様に

$$f = \tau = k_c \cdot d \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 f : クイの周面摩擦強度 (kg/cm²)

τ : 土のせん断応力 (kg/cm²)

d : 土のせん断変位 (cm)

k_c : 土のすべり係数 $k_c = \tan \theta$ (kg/cm²)

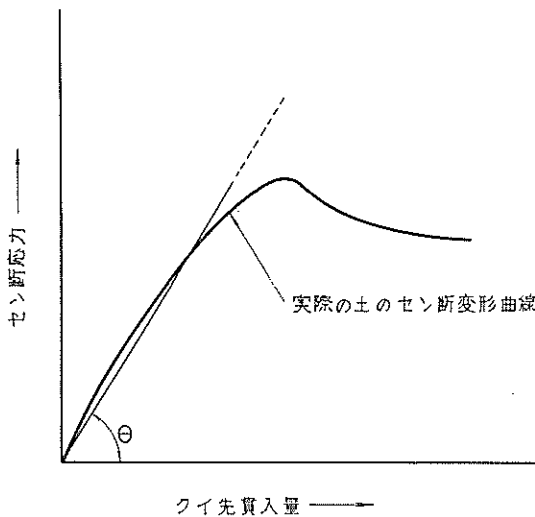


図-1 セン断応力とせん断変位との関係

(ii) クイ先端の地盤反力に関する仮定

"クイ先端の地盤反力強度はその時の貫入量との関係と考え、しかもその間に線形関係が成立つものとする。"

すなわち図-2 に示す様に

$$\frac{N_p}{A_p} = k_p \cdot d_p \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 N_p : クイ先端に作用する軸力 (kg)

A_p : クイ先端閉鎖面積 (cm²)

d_p : クイ先端の貫入量 (cm)

k_p : クイ先端地盤の地盤反力係数

$$k_p = \tan \theta' \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

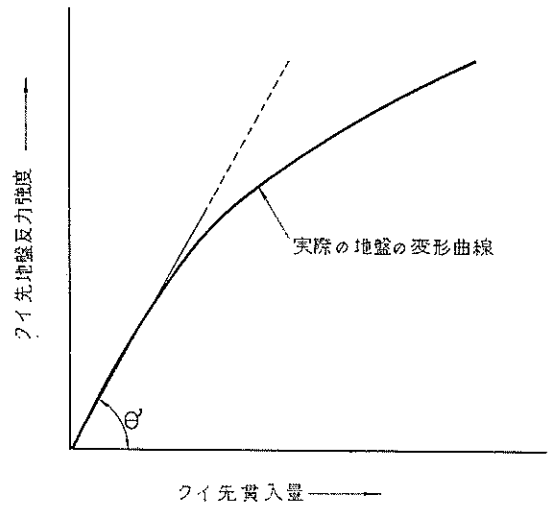


図-2 クイ先端地盤反力強度とクイ先端の貫入量との関係

ここに定義される k_c および k_p に関する考察は3. にゆずる。

2.2 理論式の誘導

理論的取扱いによるクイの軸方向支持機構に関する基本式は最初シード (H. B. Seed) とリース (L. C. Leese)¹⁾

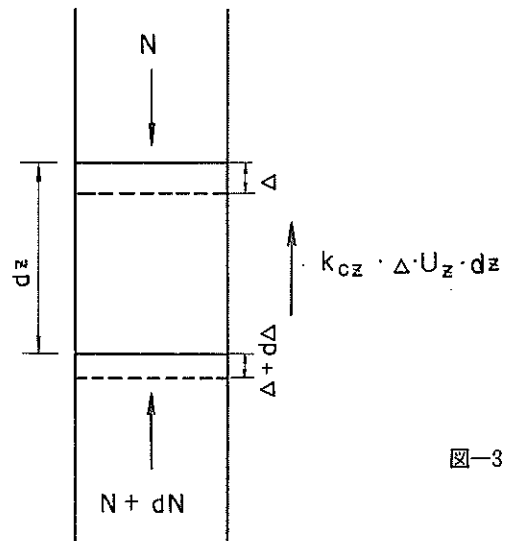


図-3

によって導かれ、さらにこれをもととして山肩²⁾が実用式を導いている。この誘導過程は佐藤³⁾の報告の中に詳しく述べられおり、ここではその概略を示す。なお簡単のため、ここではクイ頭は地表面に一致するものとする。

まず深さ z におけるクイの一部を考えれば、その点でのクイの変位量 d の変化量はクイ先端の地盤への貫入量に関係なく次の様に表わされる。

$$d\Delta = -\frac{N}{EA_z} dz \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\therefore \frac{dN}{dz} = -E \left(A_z \frac{d^2\Delta}{dz^2} + \frac{dA_z}{dz} \cdot \frac{d\Delta}{dz} \right) \quad \dots\dots\dots(3)'$$

ここに、 N : 深さにおいてクイに作用する軸力 (kg)

Δ : 深さ z におけるクイの変位量 (cm)

E : クイ材の弾性係数 (kg/cm²)

A_z : 深さ z におけるクイ材の (圧縮) 断面積 (cm²)

一方式(1)の仮定により、深さ z におけるクイ周囲の摩擦応力に関して

$$dN = -k_{cz}\Delta U_z dz \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\therefore \frac{dN}{dz} = -k_{cz}\Delta U_z \quad \dots\dots\dots(4)'$$

ここに、 k_{cz} : 深さ z における地盤のすべり係数

(kg/cm³)

U_z : 深さ z におけるクイ材の周長 (cm)

よって式(3)' (4)'より

$$EA_z \frac{d^2\Delta}{dz^2} + E \frac{dA_z}{dz} \cdot \frac{d\Delta}{dz} - k_{cz} U_z \Delta = 0 \quad \dots\dots(5)$$

式(5)がクイの軸方向変形に関する基本式であり、今簡単のためクイ材断面はクイの根入れ全長にわたって一定とし、また地盤を一層系と考え地盤のすべり係数が深さに関係なく同じ値を取ると考えれば、式(5)は次の様な初歩的二階の線形微分方程式となり、シードとリースによって導かれたものに一致する。

$$\frac{d^2\Delta}{dz^2} - a^2\Delta = 0 \quad \dots\dots\dots(5)'$$

$$\text{ここに、} a = \sqrt{\frac{k_c U}{EA}}$$

式(5)'の解は、境界条件としてクイ頭部(地表面)の沈下量およびクイ先端の地盤への貫入量を与えることにより式(6)を得る。

$$\Delta = \frac{\Delta_i \sinh(1-\mu)\beta + \Delta_p \sinh\mu\beta}{\sinh\beta} \quad \dots\dots\dots(6)$$

ここに、 Δ_i : クイ頭部(地表面)の沈下量 (cm)

Δ_p : クイ先端の地盤への貫入量 (cm)

$$\mu = \frac{z}{d}$$

$$\beta = a \cdot d = d \sqrt{\frac{k_c U}{EA}}$$

d : クイの根入長 (cm)

ここで式(6)を式(3)に代入し、境界条件としてクイ頭部に作用する軸方向荷重 P を与えれば

$$N = P - \frac{k_c U d}{\beta \sinh\beta} \{ \Delta_i (\cosh\beta - \cosh(1-\mu)\beta) + \Delta_p (\cosh\mu\beta - 1) \} \quad \dots\dots\dots(7)$$

よって Δ_i は次の様になる。

$$\Delta_i = \Delta_p + \frac{1}{EA} \int_0^d N dz = \frac{Pd}{EA} \cdot \frac{\tanh\beta}{\beta} + \frac{\Delta_p}{\cosh\beta} \quad \dots\dots\dots(8)$$

また式(7)からクイ先端に作用する軸方向力 N_p が求まり、式(2)の仮定から

$$N_p = P - \frac{\cosh\beta - 1}{\beta \sinh\beta} (\Delta_i + \Delta_p) k_c U d = k_p A_p d_p \quad (9)$$

よって式(8)(9)を連立に解けば Δ_i , Δ_p が求まる。

$$\Delta_i = \frac{Pd}{EA} \cdot \frac{\gamma \tanh\beta + \beta}{\beta \tanh\beta + \gamma} \cdot \frac{1}{\beta} \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$\Delta_p = \frac{Pd}{EA} \cdot \frac{1}{\gamma \cosh\beta + \beta \sinh\beta} \quad \dots\dots\dots(11)$$

ここに、 $\gamma = \frac{k_p A_p d}{EA}$

式(10)(11)により Δ_i および Δ_p が求めればクイに軸方向荷重が作用する場合のクイ変位量、クイ周囲摩擦強度等が求められる。

2.3 理論式のまとめ

以下に式(5)'を解くことによって得られる結果をまとめておく。

クイ頭部(地表面)沈下量 (cm) $\Delta_i = \Delta_0 \cdot \phi_i$

クイ先端の地盤への貫入量 (cm) $\Delta_p = d_0 \cdot \phi_p$

クイ先端の貫入抵抗すなわち先端支持力 (kg)

$$N_p = P \cdot (\gamma \phi_p)$$

クイ頭部(地表面)におけるクイ周囲摩擦強度

$$(\text{kg/cm}^2) \quad f_i = f_0 \cdot (\beta^2 \phi_i)$$

クイ先端におけるクイ周囲摩擦強度 (kg/cm²)

$$f_p = f_0 \cdot (\beta^2 \phi_p)$$

$$\text{ここに、} \Delta_0 = \frac{Pd}{EA}$$

$$f_0 = \frac{P}{Ud}$$

$$\phi_i = \frac{\gamma \tanh\beta + \beta}{\beta \tanh\beta + \gamma} \cdot \frac{1}{\beta}$$

$$\phi_p = \frac{1}{\gamma \cosh\beta + \beta \sinh\beta}$$

$$\beta = d \sqrt{\frac{k_c U}{EA}}$$

$$\gamma = \frac{k_p A_p d}{EA}$$

- P : クイ頭部(地表面)に作用する軸方向荷重 (kg)
- d : クイの根入長 (cm)
- A : クイ材の(圧縮)断面積 (cm²)
- A_p : クイ先端の閉鎖面積 (cm²)
- E : クイ材の弾性係数 (kg/cm²)
- k_c : クイ周面地盤のすべり係数 (kg/cm³)
- k_p : クイ先端地盤の地盤反力係数 (kg/cm³)

なお容易に推定される様にクイが先端で完全に支持されてクイ先端の地盤への貫入がない場合、すなわち $k_p = \infty$ の場合は $\gamma = \infty$ となり各係数は次の様になる。

$$\phi_i = \frac{\tanh \beta}{\beta}$$

$$\phi_p = 0$$

$$(\gamma \phi_p) = \frac{1}{\cosh \beta}$$

またクイ先端抵抗が非常に小さくほとんど無視されたと考えられる場合、すなわち完全な摩擦グイの場合には $k_p = 0$ すなわち $\gamma = 0$ となり各係数は次の様になる。

$$\phi_i = \frac{1}{\tanh \beta}$$

$$\phi_p = \frac{1}{\beta \sinh \beta}$$

$$(\gamma \phi_p) = 0$$

2.4 無次元数 β および γ について

理論式中に表われる無次元数 β および γ について次の様な変形を行なう。

$$\beta^2 = d^2 \frac{k_c U}{EA} = \frac{k_c U d}{EA}$$

$$\gamma = \frac{k_p A_p d}{EA} = \frac{k_p A_p}{EA}$$

ここでわかる様に $\frac{AE}{d}$ はクイの剛性であり、長さ d の短柱に単位圧縮変形量を与えるに要する荷重である。 $k_c U d$ は式(1)の仮定により、剛体グイに単位沈下量を与えた時のクイ周面の全摩擦抵抗力を示している。また $k_p A_p$ は式(2)の仮定により、クイ先端地盤に単位貫入量を与えた時の地盤反力を示している。

山肩はこの $k_c U d$ をクイの摩擦抵抗係数、 $k_p A_p$ をクイの先端支持力係数と名付けている。理論式はこれ等クイの沈下に関する特性値の複雑な組合せから構成されるものである。

3. 地盤の変形常数に関する考察

前に導いた理論解は式(1)および式(2)の仮定の上に成立ち得るものである。ということは式(1)および式

(2)中に含まれる地盤の変形常数 k_c および k_p の適正な値の推定を必要とする。これが推定され得ない限り、理論解はまさにその名の通り理論のみに止まり、単なる数式のら列にしか過ぎなくなる。ここでは従来これ等の地盤の変形常数に対してなされたいくつかの研究を参考にした上で、これ等の値の推定のための一方法を提案し、またそれに関する問題点について考える。

3.1 クイ先地盤の地盤反力係数 k_p について

クイ先地盤の地盤反力係数 k_p については、テルツァギ(K. Terzaghi)⁴⁾が浅い基礎に対して求めた値を便宜的に使用しても良いと思われる。彼は砂地盤および粘土地盤について $30 \times 30 \text{ cm}^2$ の載荷板による実験値を求め、さらに載荷面積による補正法を示している。また藤田は k_p の値として、クイ先から上方3mの平均 N 値を取ることを提案している。現場における k_p の実測は二重管等によって出来るがそのデータは少ない。

ここでは別に k_p の値をクイ先地盤の N 値との関係で推定することを考える。今、ボーリング孔を利用して測定された地盤の弾性係数 E_p (kg/cm²) と N 値との間には次の関係が見出されている⁵⁾。

$$E_p = 6.78 N^{0.998} \approx 7N \dots \dots \dots (12)$$

また実験によれば直径30cmの円形載荷板の横方向載荷試験によって得られる地盤の弾性係数 $E_{h(30)}$ は E_p の約3倍の値を示すことが分っている。ここで地盤の縦方向弾性係数と横方向弾性を等しいと考えれば式(12)より

$$E_{(30)} \approx 21N \dots \dots \dots (13)$$

一方直径 D (cm) のクイの先端の地盤への貫入に関して

$$k_p = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \frac{4}{\pi D} \dots \dots \dots (14)$$

の関係があるから、ポアソン比 ν を 0.3~0.5 (平均0.4) と仮定すると式(13)(14)より

$$k_p \approx N \left(\frac{30}{D} \right) \dots \dots \dots (15)$$

となる。よって式(15)により、 k_p の値のおおよその見当はつけられる。いずれにせよ β がある程度以上大きくなると ϕ_i に対する k_p の影響は小さくなり、クイ頭沈下量の推定にあたっては k_p は概略値を得ればそれで十分である。

3.2 クイ周面摩擦強度に関する仮定の成立限界について

式(1)の仮定が成立するのは、図-1に見るように土の最大せん断応力以下においてである。古典的クイの限界支持力推定式はいずれもこの最大せん断応力を対象としたものであるが、適当な推定式は確立されていない。

現在「港湾構造物設計基準」に採用されているクイの支持力推定式はマイヤホフ (G. Meyerhof) によるものであり、これは標準貫入試験とコーン支持力との関係から $f_{max}=0.2N(t/m^2)$ としている。近年軸力の分布を測定したクイの載荷試験が行なわれるにつれて、この値がクイ周面摩擦強度に関して過小な値を与えていることが分かってきた。藤田⁹⁾は実測グイについて調べた結果 $f_{max}=N(t/m^2)$ を提案している。しかしながらこれに関してはバラツキが非常に大きく、またはっきりと関係はつけら

れていない。なお彼がデータを整理した結果によるとマイヤホフの提案値は下限値となっている。また別に藤田・五味⁷⁾によれば、図-4 に示す様に最大周面摩擦強度を与えるクイ周面の変位量は N 値の大小に関らず一般に変位量 0.5cm 付近またはそれ以上に多く分布している。変位量 0.4cm 以下のものが比較的少ないことから、土に関して少くとも変位 0.5cm に対応するところ迄はクイの周面摩擦強度は土の変形量に応じて増加すると考えられる。

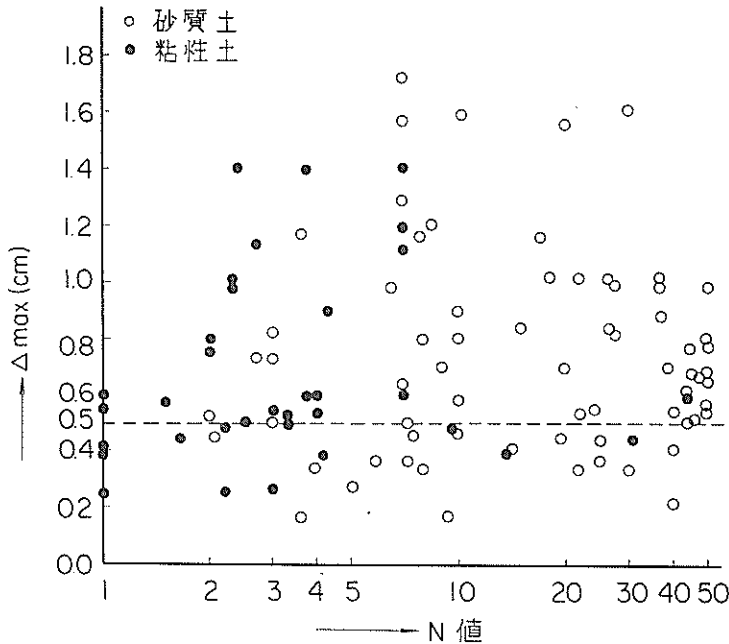


図-4 クイ周面摩擦強度を与える変位量 Δ_{max} と N 値との関係 (藤田・五味による)

いずれにせよクイ周面の土の最大せん断応力の値は不明であり、いわんやその分布に到っては皆目見当が付いていない。ただ前述の藤田・五味の研究により、一般にクイの変位量が 0.5cm 以下においては土のせん断応力はその限界に達しておらず、よってその土の支持機構は破壊されていないという目安は与えられる。このことは式(1)の仮定によって導かれた理論解が、少くともクイ頭部(地表面)での沈下量が 0.5cm に達する迄は適用されるということを意味している。

3.3 土のすべり係数 k_e について

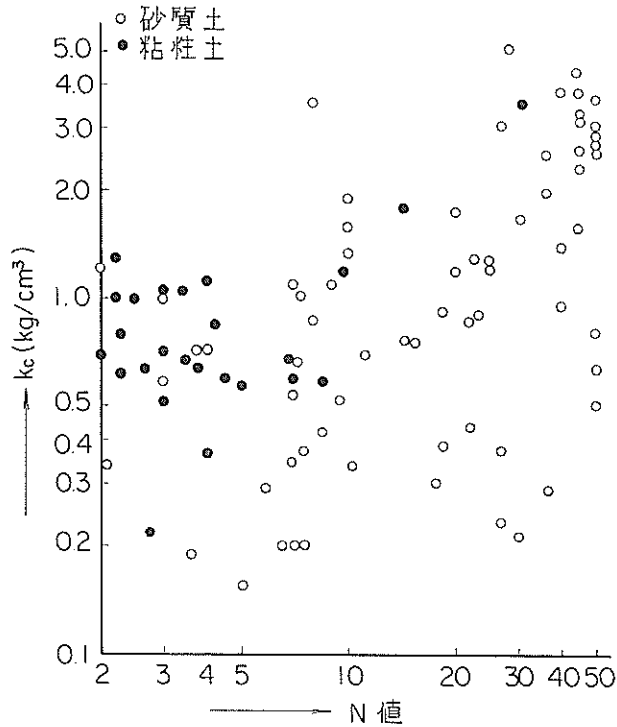
土のすべり係数 k_e に関してシードとリースはベーンテストにおけるベーン外端の変位量とせん断抵抗との関係から推定している。佐藤は多くの鋼グイ載荷試験を整理し、クイの荷重～沈下曲数から k_e を逆算した結果 H グ

イに対し $\sqrt{k_e}=0.5\sim 1.0$ 、先端開放型鋼管グイに対し $\sqrt{k_e}=0.5\sim 1.5$ であるとしている。森⁹⁾はある種の原位置試験によって k_e が推定出来ることを述べている。藤田⁹⁾はある施工条件下における先端開放型鋼管グイに対して、地盤条件に関らず k_e とクイの根入長との間に統計的關係を見出した。また別に藤田・五味⁷⁾は多くの軸力分布を測定した鋼グイの載荷試験結果から k_e とそれに対応する N 値との関係を図-5 の様に表わしているが、はっきりと N 値との関係を見出す迄は到っていない。

ここでは k_e の推定にあたって k_e が N 値に比例し、クイの直径 D (cm) に反比例すると仮定する。すなわち、

$$k_e = C \cdot N \cdot \frac{1}{D} \dots \dots \dots (16)$$

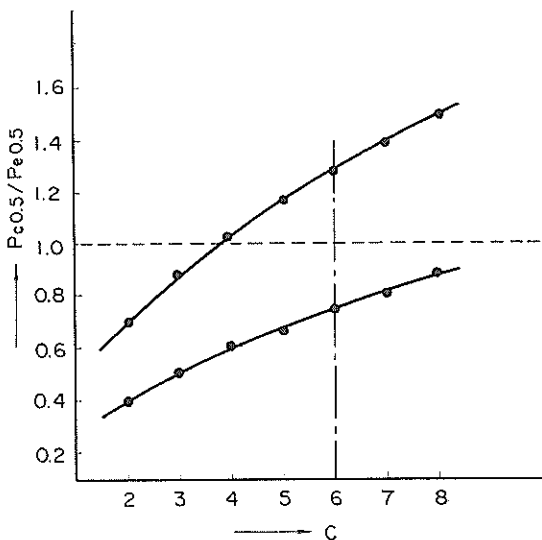
ここに C は比例係数であり、 C の推定は次の様にして



図—5 k_c と N 値との関係 (藤田・五味による)

行なう。

3.2 で述べた様に理論式の適用限界はクイ頭部 (地表面) での沈下量が0.5cmに達するまでである。ここで式



図—6 C の変化に伴う $P_{c0.5}/P_{c0.5}$ のバラツキの範囲

(16)の C の値を変化させて、式(10)および式(15)によりクイ頭沈下量0.5cmに要する荷重 $P_{c0.5}$ (kg)を計算し、実際の載荷試験結果から得られた $P_{c0.5}$ (kg)と比較すると図—6を得る。なおデータは土質工学会の鋼グイ研究委員会が収録した「鋼グイの鉛直支持力調査カード」¹⁰⁾のうち、計算に必要な事項を記入してあるものを使用した。ただしこの調査カードに記入された荷重～沈下曲線図は概略図であり、そのためその読み取りに際してある程度の誤差が含まれている。また N 値に関して、 $N \geq 50$ のものはすべて $N=50$ と仮定し、クイ先地盤の N 値はクイ先端位置における N 値と先端からクイ直径の2倍の深さ迄の平均値 N をたして平均したものである。さらにクイ周面の平均 N 値はクイの根入全長にわたって平均したものをを使用した。対象としたクイは直径 $D=30 \sim 80$ cm、根入表 $d=1,000 \sim 4,000$ cm である。

図—6 で分る様に C の値としては5~7 (平均6) が適当であると思われる。よって、

$$k_c \approx 6 \frac{N}{D} = 0.2N \left(\frac{30}{D} \right) \dots \dots \dots (17)$$

となり、式(17)によって k_c の値の大体の目安はつけられる。

3.4 問題点

理論式の誘導の当初に仮定したすべり係数 k_e は常に一定値を取る様に考えているが、実際には多様な要素が k_e の値に影響を与えている。またそれを考える前の問題として、図-2に見られる様に実際の土のせん断変形は非線形特性を有しており、それ故ある土に対して式(1)が成立するのはある部分に対してのみであることを認識しておかねばならない。この違いが、実際のクイ荷重～沈下曲線が式(10)に表わされる様な線形関係を取らない一つの原因になっている。

さて k_e の値に影響を与える要素には大きく次の様なものがあると考えられる。すなわち、同一土性に対してもクイ材料の種類および施工方法の違いによってクイ周面のせん断特性が異ってくること、また施工に伴う振動その他によって土性が大きな変化を受けること、そしてその回復の段階で k_e もまた変化すること、さらにはせん断現象に大きな比重を占める側圧の多少、载荷の速度等々いずれも無視出来ないものばかりである。

これ等の要素を考慮して実際のクイの周面せん断特性を正しく推定するのは現在の土質工学の知識をもってしても不可能であるが、実際問題としては何等かの目安の決定を余儀なくさせられる。ここで得た式(17)もある制

限条件下における単なる目安にしかなく、前述の諸要素を考えればむしろ仮定ともいうべきものである。

また k_e の分布を根入れの深さ方向に変化させた取扱いすなわち多層系の問題については、現状における k_e の値の推定の精度を考えた時、実質的にはそれ程の重要性を認められないのでここではふれていない。最大周面摩擦強度の分布に関してはいうまでもない。ただ正確なクイの軸力分布が測定された载荷試験に理論的裏付けを与える解析の道具としては極めて有効であろう。これに因しては山肩⁹⁾や佐藤⁹⁾の研究を見られたい。

次にクイ先地盤の地盤反力係数 k_p の推定に際しても k_e の場合と同様に多くの要素が k_p の値に影響を与えている。また k_p の誘導に際して使用した式(14)は等変位载荷条件における均合式であり、一般に先端開放型である鋼管クイに対してはその閉塞効果や支圧強度分布等に関して不明な点が多く、式(14)の適用については問題を残している。いずれにせよ後に述べる様に k_p の値の推定精度はそれ程重要な問題ではない。それ故式(15)は単なる仮定と考えてさしつかえない。

またここでは地盤の常数を N 値との関係において推定している。もち論 N 値に関してその理論的裏付けの乏しさ、測定方法自体についても問題があるが、特に粘性土

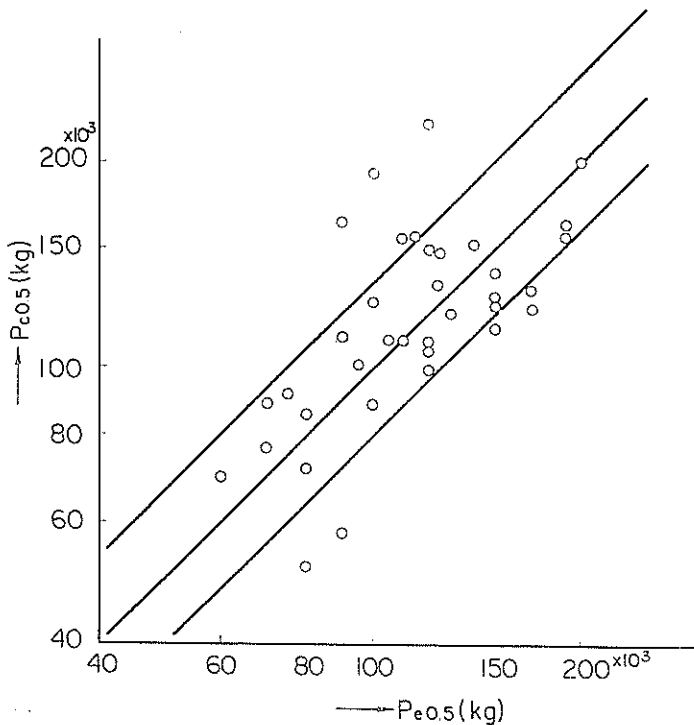


図-7 実際の荷重 $P_{e0.5}$ と理論式から計算された荷重 $P_{e0.5}$ との関係

にこれを適用することには問題が多いが、クイの挙動等現実の問題にぶつかる時、土性推定のための手段としてはこれに頼らざるを得ない。そして基礎構造特にクイ基礎に関して土質工学は判断の一指針を与えるに過ぎないという考え方に立てば、土性推定のためのパラメータとして N 値を使用することにその抵抗を持つ必要はないと思われる。

4. 理論解の適用

ここでは前に得られた理論式を実際のクイの現場載荷試験の結果と比較し、どの程度の精度をもつかを検討し、さらにこの結果から実際のクイの荷重～沈下曲線を推定する簡便法について述べる。

4.1 理論解の精度

前に3.3において k_c に関する係数 C を推定し、図-6によって式(17)を得たが、この時のクイ頭(地表面)沈下量0.5cmに要する実際の荷重 $P_{e0.5}$ (kg)と、計算によって得られた荷重 $P'_{e0.5}$ (kg)との関係は図-7のごとくである。

図-7を見るとその推定値は大体妥当な値を示しており

$$P_{e0.5} = (0.75 \sim 1.25) P'_{e0.5} \dots \dots \dots (18)$$

である。

4.2 実際の荷重～沈下曲線の推定

理論計算においてはクイに作用する荷重と沈下量との間に線形関係が成立つものとして取扱ってきた。しかしながら実際のクイの荷重～沈下曲線が線形関係を取らないことは広く知られているところである。多くのクイの載荷試験結果によれば、求められた荷重と沈下量との関係を両対数目盛で図示した場合、この関係が直線性を示すことが分っている。この直線の第1折点をもって降伏荷重としているのは、この性質を利用したものである。

この性質に関しては北島¹¹⁾が載荷試験のデータを統計的に整理した結果次の式を提案している。

$$P \leq P_y \text{ において } D = \left(\frac{P}{P_y} \right)^{3/2} D_y \dots \dots \dots (19)$$

ここに、 P : クイ頭部に作用する荷重 (kg)

P_y : 降伏荷重 (kg)

D : クイ頭沈下量 (cm)

D_y : 降伏荷重が作用した時のクイ頭沈下量

(cm)

式(19)によってクイ頭沈下量0.5cmに対応する荷重

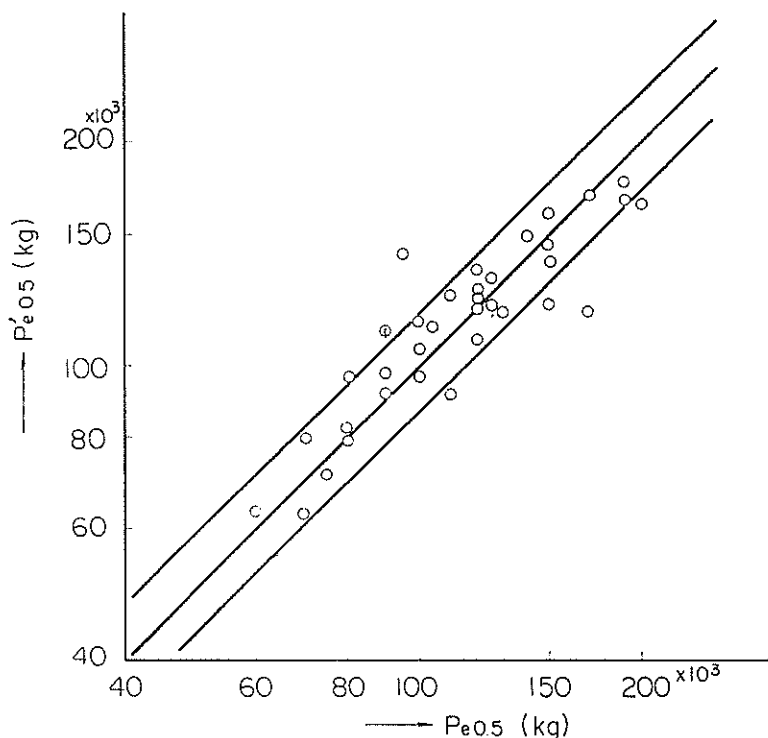


図-8 実際の荷重 $P_{e0.5}$ と式(19)によって計算された荷重 $P'_{e0.5}$ との関係

$P'_{e0.5}$ を計算し、実際の荷重 $P_{e0.5}$ との関係を示すと図—8のごとくであり、

$$P_{e0.5} = (0.85 \sim 1.15) P'_{e0.5} \dots\dots\dots(20)$$

である。

一方、藤田・上田¹²⁾はこの荷重～沈下曲線を $P = aD^b$ と仮定し、やはり統計的手法によって整理した結果、 $b = 0.6 \sim 0.8$ であることを見出している。

ここでは式(19)を利用して理論解から実際の荷重～沈下曲線を推定することを考える。さて式(19)は降伏荷重以下のある一点において荷重と沈下量との関係が分れば荷重～沈下曲線が推定されることを意味している。すなわちある荷重 P_i におけるクイ頭沈下量 d_i が分れば、

$$d = \left(\frac{P}{P_i} \right)^{3/2} d_i \dots\dots\dots(21)$$

よって、式(21)より降伏荷重以下の任意荷重およびその時の沈下量に関して

$$d = \left(\frac{P}{P_{e0.5}} \right)^{3/2} \times 0.5 = \frac{0.5}{P_{e0.5}^{3/2}} P^{3/2} \dots\dots\dots(22)$$

または

$$P = P_{e0.5} \left(\frac{d}{0.5} \right)^{2/3} \doteq 1.6 P_{e0.5} d^{2/3} \dots\dots\dots(23)$$

$$\text{ここに、 } P_{e0.5} = \frac{0.5}{\phi_i} \cdot \frac{EA}{d} \dots\dots\dots(24)$$

また地上突出部を有するクイに対しては上式に地上突出部の弾性変形量を加えてやればよい。

4.3 クイ頭部沈下量の略算式

クイ頭部(地表面)沈下量の算定式は、クイを短柱と考えた時の弾性変形量 d_0 にある係数 ϕ_i をかけた形で表わされる。この ϕ_i は β および r の関数であり、 r の値に応じて次の範囲にある。

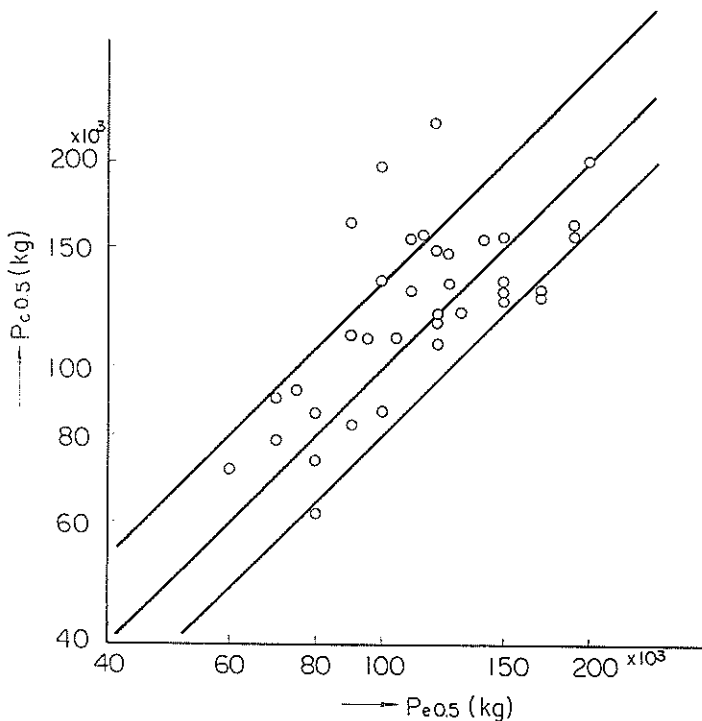
$$\phi_i = \frac{r \tanh \beta + \beta}{\beta \tanh \beta + r} \cdot \frac{1}{\beta} = \left(\frac{1}{\tanh \beta} \sim \tanh \beta \right) \frac{1}{\beta} \dots\dots\dots(25)$$

式(25)において ϕ_i の上・下限の相乗平均を取って、一般のクイに対する概略の ϕ_i と仮定すれば、

$$\phi_i \doteq \frac{1}{\beta} \dots\dots\dots(26)$$

となる。

式(26)を用いてクイ頭部(地表面)沈下量0.5cmに対応する荷重 $P_{e0.5}$ を計算したものと実際の荷重 $P_{e0.5}$ との関係を図—9に示す。式(26)の仮定にも関わらず、その推定値は図—7と同様程度の精度であり、実用上式(25)の代りに式(26)を用いてもさしつかえないと思われる。



図—9 実際の荷重 $P_{e0.5}$ と式(26)を用いて理論式から計算された荷重 $P_{c0.5}$ との関係

なお式(26)を用いる場合式(24)は次の様になる。

$$P_{c0.5} = 0.5\beta \frac{EA}{d} = 0.5\sqrt{k_c EA U} \dots \dots \dots (24)'$$

式(24)'はクイ頭部の初期沈下かクイの根入長やクイ先端地盤の土性にあまり関係なく決まることを意味している。

4.4 実際の設計への適用

クイの軸方向荷重に関して、設計の際に問題となるのは大きく次の二点である。第1はクイの限界状態を知ること、すなわちクイの支持機構の変化点である降伏荷重および極限荷重を知り、設計荷重に対して安全かどうかを判断することである。第2は設計荷重によって生ずるクイの沈下量が構造物の機能に保障を与える許容の沈下量に収まるかどうか、または許容沈下量以内でどれだけの荷重を作用させ得るかを知ることにある。

ここで取扱ったものは第2の問題点に対してある程度の目安を与えるものであり、いくつかの仮定と単純化にも関わらず比較的妥当な値を推定出来る。そのバラツキの範囲は推定された荷重に対して±25%である。

また第1の問題点であるクイの限界状態についてであるが、3.2に述べた様にクイの周面の最大摩擦強度およびその際の変位量に関しておおよその見当さえつけられていない現状では、残念ではあるが従来の支持力推定法に頼らざるを得ない。

次に、ある設計荷重が作用した際のクイ頭(地表面)沈下量の推定、あるいは許容クイ頭(地表面)沈下量に対する許容荷重の推定の手法を簡単に示しておく。なおクイが地上突出部を有する場合にはこれに地上突出部の弾性変形の影響を加味してやれば良く、その取扱いは従来と同じである。

i 設計条件

使用クイ材の諸元

根入長	d
外径	D
断面積	A
周長	$U = f_1(D)$
先端開鎖面積	$A_p = f_2(D)$

地盤条件

根入部平均N値	N_c
先端N値	N_p

ii ϕ_t の算定

地盤のすべり係数	$k_c = f_3(N_c, D) \leftarrow$ 式(17)
β	$\beta = f_4(k_c, d, A, U)$
先端地盤反力係数	$k_p = f_5(N_p, D) \leftarrow$ 式(15)
γ	$\gamma = f_6(k_p, d, A, A_p)$
ϕ_t	$\phi_t = f_7(\beta, \gamma)$ or $f_7'(\beta)$

iii $P_{c0.5}$ の算定

$$P_{c0.5} = f_8(\phi_t, d, A) \leftarrow$$
式(24)

iv-1 設計荷重 P が作用した時のクイ頭(地表面)沈下量 d の算定

$$d = f_9(P_{c0.5}, P) \leftarrow$$
式(22)

iv-2 許容クイ頭(地表面)沈下量 d に対する許容荷重 P の算定

$$P = f_{10}(P_{c0.5}, d) \leftarrow$$
式(23)

5. あとがき

以上により、軸方向荷重が作用する場合の単グイ(先端開放型鋼管グイ)の荷重～沈下量の関係は、ある程度まで推定される様になった。

なお長期荷重、衝撃荷重等が作用した場合のクイの挙動については未解決であり、ここで取扱ったのは一般の載荷試験の際のクイの挙動を対象とした。

今後はここに得られた単グイの荷重～沈下の関係を組グイの支持機構に適用して、より実状に適した組グイの設計法を考えていくつもりである。

この資料作成にあたって有益な御助言をいただいた北村設計基準部長に感謝致します。

参考文献

- 1) H. B. Seed and L. C. Leese: The Action of Soft Clay along Friction Piles, Proc. of ASCE, Vol. 81, 1955. 12
- 2) 山肩邦男: 支持杭の沈下に関する理論的考察, 日本建築学会論文報告集, 第68号, 1961. 6
- 3) 佐藤 悟: 基礎杭の支持力機構(1)～(5), 土木技術, 1965. 1～5
- 4) K. Terzaghi: Evaluation of Coefficient of Subgrade Reaction, Géotechnique, 1955. 12
- 5) 吉中竜之進: 横方向地盤反力係数, 土木技術資料, vol. 10, No. 1
- 6) 土質基礎工学ライブラリー4: 土質調査試験結果の解釈と通用例, 土質工学会, 1968
- 7) 藤田圭一・五味道義: クイの周面摩擦力とN値の関係について, 第3回土質学研究会発表会講演集, 1968. 6
- 8) 森 博: 乗直荷重および水平荷重を受けた鋼杭の性状に関する研究, 土木学会論文集, 第123号, 1965. 11
- 9) 藤田圭一: 鋼グイの沈下量の推定とその精度について(第1報), 第3回土質工学会研究会発表会講演集, 1968. 6
- 10) 鋼グイ研究委員会: 鋼グイの鉛直支持力調査カード, 土質工学会, 1967

11) 北島昭一・他：タイの軸方向支持力について，港湾
技研資料，No. 36，1967. 10

12) 藤田圭一・上田勝基：鋼グイの載荷試験結果（log

$P \sim \log s$ ）の統計的考察（第1報），第3回土質工学研
究発表会講演集，1968. 6

（1969. 7. 2受付）

港 湾 技 研 資 料 No. 85

1 9 6 9 . 9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
 横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 ヨシダ印刷株式会社亀戸工場
 東京都江東区亀戸4丁目52番12号

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.