

港 湾 技 研 資 料

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

No. 110 Dec. 1970

組ぐいの設計法について（その2）

——頭部をヒンジ結合された組ぐいの設計法——

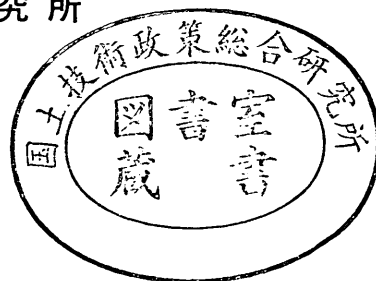
瀬 川 宗 亮
内 田 豊 彦
片 山 猛 雄

水平力を受ける地上突出部のない組ぐいの計算表

——頭部ヒンジ結合の場合——

内 田 豊 彦
片 山 猛 雄

運輸省港湾技術研究所



組ぐいの設計法について(その2)
— 頭部をヒンジ結合された組ぐいの設計法 —

目 次

要 旨

1. ま え が き	3
2. 組ぐいの設計法	4
3. 単ぐいの拳動の推定方法について	5
3.1 くいの軸方向荷重～変位の関係	5
3.2 くいの軸直角方向荷重～変位の関係	6
4. 組ぐいの設計法適用上の注意	7
5. 計 算 例	8
5.1 計 算 例(1)	8
5.2 計 算 例(2)	12
6. あ と が き	12

組ぐいの設計法について(その2)

—頭部をヒンジ結合された組ぐいの設計法—

瀬川 宗 亮**
内田 豊 彦***
片山 猛 雄*

要 旨

頭部をヒンジ結合された組ぐいの曲げたわみを考慮した設計法を提案する。なお、組ぐいを構成する各ぐいは非線形挙動を示すものと考え、設計は試行法による。

1. ま え が き

曲げたわみを考慮した組ぐいの設計法の確立のための第1段階として、前報¹⁾において単ぐいの軸方向荷重～沈下曲線の推定法を提案した。本報告では、前に得られたこの推定法を用いて、2本の斜ぐいの頭部がヒンジ結合されている組ぐいの設計法を提案する。

曲げたわみを考慮した組ぐいの設計法の骨子は、組ぐいを構成する各ぐいは単ぐいとしての性質をそのまま所有するという仮定に基づいて、組ぐいの載荷点における力の釣合条件および変位の適合条件から得られる釣合式を連立に解き、各ぐいの分担力を求めることにある。この考え方によつて設計を行なうためには、当然各ぐいの単ぐいとしての挙動、すなわち荷重～変位の関係が既知あるいは推定可能でなければならない。また一般に非線形であるこの関係を導入して数式的にこれを解くことは困難であり、手段としては試行法による数値計算あるいは図式計算に依らざるを得ない。

ここでは、まず組ぐいを構成する各ぐいの単ぐいとしての挙動に非線形関係を採用入れた場合の設計法、すなわち各ぐいの分担力および変位量を求める方法を提案し、続いてこの際必要となる単ぐいの荷重～変位の関係を推定する方法を示す。さらに本設計法の適用にあたって注意すべき点について述べ、最後に計算例によって本設計法の具体的手法を示す。

なお、本設計法の基本的考え方は組ぐいに関する沢口の方法²⁾と矛盾するものではないが、後者が主として降

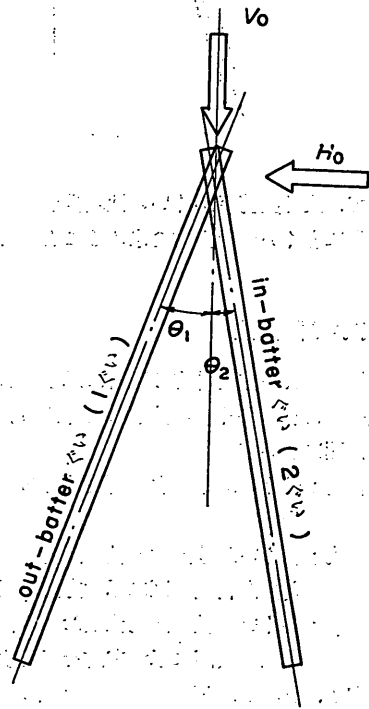


図 - 1

伏後の組ぐいの挙動に着目しているのに対し、本設計法では部材の降伏以前の状態における組ぐいの支持機構を

* 設計基準部 設計基準課長
** 管理部 企画課専門官 設計基準部併任
*** 設計基準部 設計基準課

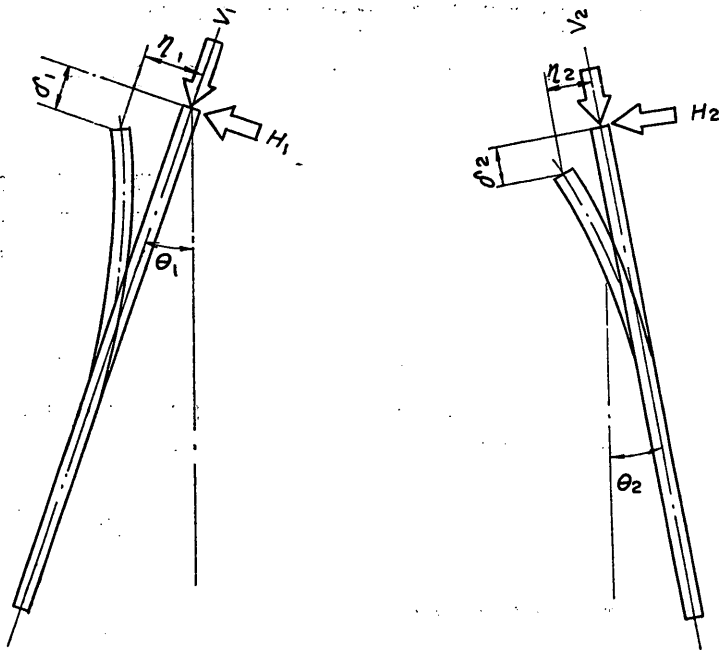


図 - 2

対象として、設計実務者がくいの性状数および地盤定数を基に容易に各くいの分担力を求めることができるようにした。

2. 組ぐいの設計法

組ぐいの構成および作用外力は図-1に示すとおりであり、これを図-2のように各くいに分解して考える。

ただし、図において

V_0, H_0 ; 組ぐいに作用する鉛直外力および水平外力

V_i, H_i ; 各くいが分担する軸方向荷重および軸直角方向荷重(図に示す方向を正とする)

δ_i, η_i ; 各くいの軸方向変位量および軸直角方向変位量(図に示す方向を正とする)

なお、添字 1, 2 はそれぞれ out-batter ぐいおよび in-batter ぐいを示す。

組ぐいの載荷点(結合点)における力の釣合条件および変位の適合条件から式(1)が導かれる。

$$\left. \begin{aligned} V_1 \cos \theta_1 - H_1 \sin \theta_1 + V_2 \cos \theta_2 + H_2 \sin \theta_2 &= V_0 \\ V_1 \sin \theta_1 + H_1 \cos \theta_1 - V_2 \sin \theta_2 + H_2 \cos \theta_2 &= H_0 \\ \delta_1 \cos \theta_1 - \eta_1 \sin \theta_1 - \delta_2 \cos \theta_2 - \eta_2 \sin \theta_2 &= 0 \\ \delta_1 \sin \theta_1 + \eta_1 \cos \theta_1 + \delta_2 \sin \theta_2 - \eta_2 \cos \theta_2 &= 0 \end{aligned} \right\} (1)$$

ここで、単ぐいの分担する荷重と変位の間に線形関係が成り立つと考え、軸方向ばね係数を ω 、また軸直角方向ばね係数を μ とすれば、

$$\left. \begin{aligned} V_i &= \omega_i \delta_i \\ H_i &= \mu_i \eta_i \end{aligned} \right\} (2)$$

と表わされ、式(2)を式(1)に代入することにより、式(1)は簡単な 4 元 1 次連立方程式となり、容易に δ_i, η_i が計算され、また各くいの分担荷重 V_i, H_i が求められる³⁾。なお、これを降伏後の領域にまで拡張した考え方もある⁴⁾。

しかしながら多くの載荷試験結果に見られるように、単ぐいの軸方向載荷または軸直角方向載荷の際の荷重～変位の関係は、これを両対数紙にプロットした場合直線性を示すことから、一般に降伏荷重以下においては

$$\left. \begin{aligned} V_i &= \omega_i \delta_i^m \\ H_i &= \mu_i \eta_i^n \end{aligned} \right\} (3)$$

と表わされる。これを式(1)に代入して試行法による数値計算を行えば解は得られるが、このままでは手法としてははん雑であるので、ここでは次のような方法を考える。

さて、式(1)の上 2 式を V_i について連立に解くことにより、式(4)が得られる。

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= V_{10} - \frac{H_1 \cos \theta_0 + H_2}{\sin \theta_0} \\ V_2 &= V_{20} + \frac{H_1 + H_2 \cos \theta_0}{\sin \theta_0} \\ \theta_0 &= \theta_1 + \theta_2 \end{aligned} \right\} (4)$$

ただし、

$$\left. \begin{aligned} V_{10} &= \frac{V_0 \sin \theta_2 + H_0 \cos \theta_2}{\sin \theta_0} \\ V_{20} &= \frac{V_0 \sin \theta_1 - H_0 \cos \theta_1}{\sin \theta_0} \end{aligned} \right\} (5)$$

ここで、式(5)に示す V_{10} は組ぐいが各ぐいの軸方向力のみによって抵抗すると考えた場合の各ぐいに作用する軸方向荷重である。

次に、式(1)の下2式を η_i について連立に解けば式(6)を得る。

$$\left. \begin{aligned} \eta_1 &= \frac{\delta_1 \cos \theta_0 - \delta_2}{\sin \theta_0} \\ \eta_2 &= \frac{\delta_1 - \delta_2 \cos \theta_0}{\sin \theta_0} \end{aligned} \right\} (6)$$

以上に導いた式を用いて $V_i, H_i, \delta_i, \eta_i$ を求める計算の手法は次のごとくである。

- ① V_i の初期値 $V_i^{(m)}$ を仮定する。第1回の初期値 $V_i^{(1)}$ としては $\alpha_0 V_{i0}$ とする。 α_0 の値は θ_0 の値に応じて表-1 のようにとればよい。
- ② 式(3)により V_i に対する δ_i を計算する。この場合 V_i の符号と δ_i の符号は対応させる。
- ③ 式(6)により η_i を計算する。
- ④ 式(3)により η_i に対する H_i を計算する。この場合 η_i の符号と H_i の符号は対応させる。なお H_i が負になった場合は1ぐいは in-butter ぐいの挙動を示すことになる

表-1 α_0 および α の値

		α_0	α
地上突出長がない場合	$\theta_0 \leq 10^\circ$	0.1	0.1
	$10^\circ < \theta_0 \leq 15^\circ$	0.2	0.2
	$15^\circ < \theta_0 \leq 20^\circ$	0.3	0.3
	$20^\circ < \theta_0 \leq 25^\circ$	0.4	0.4
	$25^\circ < \theta_0$	0.5	0.5
地上突出長がある場合		1.0	0.5

ので注意を要する。

⑤ 式(4)により V_i の修正値 $V_i^{(m)'}$ を得る。

⑥ $V_i^{(m+1)} = (1-\alpha)V_i^{(m)} + \alpha V_i^{(m)'}$ として以上の計算を繰り返し、収れん値を得る。実用上は3~4回の繰返しで十分である。また α の値は θ_0 の値に応じて表-1 のようにとればよい。

なお、②および④において式(3)を用いて荷重と変位の関係を計算するのはめんどうであるので、両対数紙にこれを表わしておき、図式によって求めれば簡単である。また、ぐいの軸方向に圧縮力が作用する場合と引張力が作用する場合では式(3)の表示は一般に異なるので、 V_i の正負に応じて別々の関係式を用いるのが望ましいが、同一の関係式を用いても工学的にはそれ程大きな誤差はないと考えられる。

[注意] 繰返し計算中に用いられる α_0, α の値は数多くの計算から経験的に得られたものであり、理論的根拠はないが、これ以外の値を用いた場合は収れん値が求められないことがあるので注意を要する。

3. 単ぐいの挙動の推定方法について

前述の設計法によって組ぐいを構成する各ぐいの分担力を決定するためには、単ぐいの挙動が適正に推定されなければならない。ここでは、現在までに得られている知識によってこの単ぐいの挙動を理論的に推定する方法について述べる。

3.1 ぐいの軸方向荷重~変位の関係

ぐいの軸方向荷重~沈下量の関係については、既に前報¹⁾において述べたとおりであり、地中ぐいの場合には式(7)で与えられる。

$$V = \frac{V_{0.5}}{0.5^{\frac{2}{3}}} \delta^{\frac{2}{3}}$$

ただし

$$\left. \begin{aligned} V_{0.5} &= \frac{0.5}{\phi_{10.5}} \cdot \frac{EA}{d} \\ \frac{1}{\phi_{10.5}} &= d \sqrt{\frac{k_{v0.5} U}{EA}} \end{aligned} \right\} (7)$$

ここに、

V ; ぐいに作用する軸方向荷重(kg)

δ ; ぐい頭(地表面)沈下量(cm)

$V_{0.5}$; $\delta=0.5$ (cm)を生じさせるに要する荷重(kg)

$k_{v0.5}$; $V_{0.5}$ に対応する土のすべり係数(kg/cm³)

$$k_{v0.5} = 0.2N \left(\frac{30}{D} \right)$$

N ; くいの根入部の平均 N 値

D ; くいの直径(cm)

EA ; くいの剛性(kg/cm²・cm²)

d ; くいの根入長(cm)

U ; くいの周長(cm)

式(7)において $V_{0.5}/0.5^{2/3}$ はくい頭部(地表面)を1cm沈下させるに要する荷重を意味するから、式(7)を書き改めて式(8)を得る。

$$V = V_{1.0} \delta^{2/3}$$

ただし

$$V_{1.0} = \frac{1}{\phi_{t1.0}} \cdot \frac{EA}{d}$$

$$\frac{1}{\phi_{t1.0}} = d \sqrt{\frac{k_{v1.0} U}{EA}}$$

ここに、

$V_{1.0}$; $\delta = 1.0$ (cm)を生じさせるに要する荷重(kg)

$k_{v1.0}$; $V_{1.0}$ に対応する土のすべり係数(kg/cm³)

$$k_{v1.0} = 0.125N \left(\frac{30}{D} \right)$$

また、地上突出部に関して、軸方向荷重～変位量の関係は短柱の弾性変形に同様であり、式(9)が成り立つ。

$$V = \frac{EA}{d'} \cdot \delta' \quad (9)$$

ここに、

δ' ; くいの地上部変位量(cm)

d' ; くいの地上突出長(cm)

よって、くいの軸方向荷重～沈下量の関係は、式(8)および式(9)より一般に式(10)のように表わされる。

$$\delta + \delta' = \left(\frac{1}{V_{1.0}} V \right)^{3/2} + \frac{d'}{EA} V \quad (10)$$

実際に設計に用いる場合は式(10)をそのまま用いてもよいが、これを両対数紙にプロットして式(3)の形に近似するか、または直接図式により軸方向荷重～沈下量の関係を読み取ってもよい。

次に、くいに作用する軸方向力が負、すなわち引張力が作用する場合の軸方向荷重～拔上り量の関係であるが、これに関しては完全な摩擦ぐいの場合の軸方向荷重～沈下量の理論式が適用できるとすれば、地中ぐいにおける拔上り量1.0(cm)を生じさせるに要する荷重 $V_{1.0}$ (kg)は式(11)によって与えられる。

$$V_{1.0} = \frac{1}{\phi_{t1.0}} \cdot \frac{EA}{d}$$

ただし

$$\frac{1}{\phi_{t1.0}} = d \sqrt{\frac{k_{v1.0} U}{EA}} \tanh \left(d \sqrt{\frac{k_{v1.0} U}{EA}} \right)$$

(11)

なお、一般の場合には $\tanh \left(d \sqrt{\frac{k_{v1.0} U}{EA}} \right) \doteq 1$ であり、

$\phi_{t1.0} = \phi_{t1.0}$ と考えてよく、近似的には軸方向圧縮の場合と同じ式を用いても差し支えない。地上突出部を有する場合は、その取扱いは軸方向圧縮の場合と全く同様と考えてよい。

また、くいの傾斜がくいの軸方向荷重～変位の関係に及ぼす影響についてであるが、これについては未だその影響がはっきりと分っておらず、したがってその補正方法も不明である。ここでは斜ぐいに対しても直ぐいの軸方向荷重～変位の関係を近似的に適用することとする。〔注意〕式(8)をまとめると $V_{1.0}$ はくいの根入長に関係なく決まることになるが、これはくいの初期沈下が比較的地表面近くの周面摩擦に左右されていることを意味する⁷⁾。したがって設計に用いる N 値もある程度の深さまでの平均 N 値をとってよい。

3.2 くいの軸直角方向荷重～変位の関係

くいの軸直角方向荷重～変位量に関しては、多少計算が繁雑であるが、港研方式による計算法によってほぼ適正にその関係を推定することができる^{5),6)}。なお、地中ぐいの場合には、頭部自由ぐいの挙動は次式によって計算することができる⁷⁾。

① S型地盤の場合

$$H = H_{1.0} \eta^{7/6}$$

ただし

$$H_{1.0} = 2EI\beta^3$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_{hs} B}{4EI}}$$

(12)

ここに、

H ; くいに作用する軸直角方向荷重(kg)

η ; くいの軸直角方向変位量(cm)

$H_{1.0}$; $\eta = 1.0$ (cm)を生じさせるに要する荷重(kg)

k_{hs} ; 港研式くいの計算法の場合に用いるS型地盤の横抵抗定数 k_s (kg/cm^{3.5})をチャンの方法の場合に用いる横方向地盤反力係

数に換算したもの(kg/cm³)

$$k_{hs} \doteq \frac{0.76}{\beta_s} \cdot k_s$$

$$\beta_s = \sqrt[5]{\frac{k_s B}{EI}}$$

B ; ぐいの幅(cm)

EI ; ぐいの曲げ剛性(kg/cm²・cm⁴)

またこの場合、ぐいに生じる最大曲げモーメント M_{max} (kg・cm)および曲げモーメント第1ゼロ点の深さ l_{m1} (cm)は次のように表わされる。

$$M_{max} \doteq \frac{0.43EI}{\beta_s^2} \cdot \eta^{\frac{4}{5}}$$

$$l_{m1} \doteq 3.7\beta_s \eta^{\frac{1}{5}}$$

(13)

②C型地盤の場合

$$H = H_{1.0} \eta^{\frac{5}{8}}$$

ただし

$$H_{1.0} = 2EI\beta^3$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_{nc} \cdot B}{4EI}}$$

(14)

ここに、

k_{nc} ; 港研式ぐいの計算法の場合に用いるC型地盤の横抵抗定数 k_c (kg/cm^{2.5})をチャンの方法の場合に用いる横方向地盤反力係数に換算したもの(kg/cm³)

$$k_{nc} \doteq 1.40k_c$$

また M_{max} および l_{m1} は次のように表わされる。

$$M_{max} \doteq 0.47EI \beta_c^2 \eta^{\frac{3}{4}}$$

$$l_{m1} \doteq \frac{3.3}{\beta_c} \eta^{\frac{1}{8}}$$

$$\beta_c = \sqrt[4]{\frac{k_c B}{EI}}$$

(15)

次に、ぐいの傾斜がぐいの軸直角方向荷重～変位の関係に及ぼす影響についてであるが、これについては傾斜角度に応じてぐいの横抵抗定数を補正すればよい。補正係数 κ は図-3のとおりである⁹⁾。なおこれはS型地盤の場合について求められたものであり、厳密にはC型地盤の場合には適用できない。しかし、ここでは近似的にC型地盤にも適用可能であると考えられる。

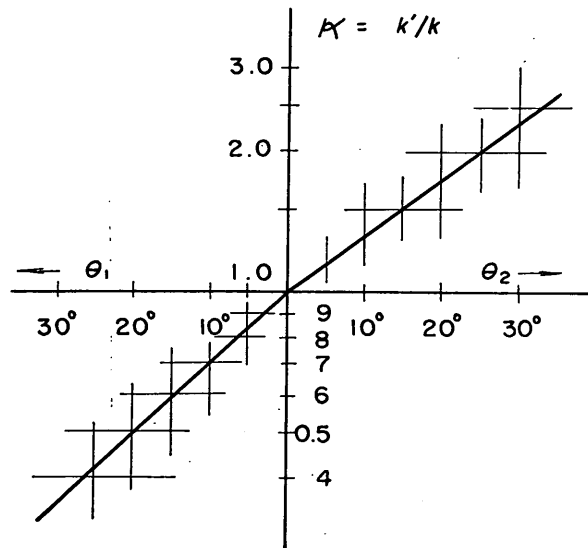


図-3 $\kappa \sim \theta$ の関係

4. 組ぐいの設計法適用上の注意

ここに提案した組ぐいの設計法は、前にも述べたように組ぐいを構成する各ぐいの単ぐいとしての挙動が組ぐ

いの支持機構の中でもなお成立するという仮定に立っており、この仮定が成り立つ限りにおいて、そしてその単ぐいとしての挙動が正しく推定される限りにおいて、この設計法の考え方は極めて適正であると考えられる。

しかしながら、単ぐいの挙動の推定に関して前に述べたような一応適当と考えられる推定法はあるが、土構造物の性質上それぞれある程度の誤差が含まれている。すなわち、2.1に述べた単ぐいの軸方向荷重～変位の関係を推定するのに必要な $V_{1.0}$ の推定精度は±25%であり、2.2で述べた単ぐいの軸直角方向荷重～変位の関係を推定するのに必要な地盤の横抵抗定数は N 値との関係で約±40%の範囲のばらつきを持っており、その結果 $H_{1.0}$ の推定精度は±30%となっている。またこれに加うるに、軸方向荷重に対するくい軸の傾斜の影響の無視、in-batterぐいの軸直角方向挙動に対するout-batterぐいの影響の無視、などによって実際のくいの挙動との違いが生ずると考えられ、もし、これらの影響による誤差が一方に片寄って累積した場合は、この設計法によってもなお各くいの分担力の推定の精度は著しく落ちると思われる。さらに、ここで対象とした組ぐいは頭部をヒンジで結合されているものとし、各くいの頭部において曲げモーメントをゼロと考えているが、実際の組ぐいは大部分がその頭部をコンクリートなどで連結しており、正しくは剛結または半剛結の挙動を示すものと考えられる。この連結の程度が各くいの分担力にどのような影響を与えるかもまた不明である。

以上の理由により、ここに述べた組ぐいの設計に関して採用する安定の基準は、計算された各くいの軸方向荷重が基準軸方向許容支持力または基準許容引抜き力以下であること、各くいに生ずる曲げモーメントおよび軸方向荷重による断面応力がくい材の許容応力度以下であること、およびくいの根入長が $1.5m_1$ 以上あることである。また、この際計算されるくい頭部における変位量がその許容値以内でなければならないことは当然である。

基準軸方向許容支持力および基準許容引抜き力はそれぞれ軸方向極限荷重および最大引抜き力を表-2Aおよび表-2Bに示す安全率で除したものである（港湾構造物設計基準第5編に示す規定による）。

表-2A 基準軸方向許容支持力を求める場合の安全率

常時	2.5 以上	
地震時	支持ぐい	1.5 "
	摩擦ぐい	2.0 "

ここに求められる基準軸方向許容支持力および基準許容引抜き力は、それぞれの限界値に対して安全率を考えた値であるが、これは同時にそれぞれの降伏荷重値、す

表-2B 基準許容引抜き力を求める場合の安全率

常時	3.0 以上
地震時	2.5 "

なわち荷重～変位の関係が式(3)のような形をとると考えられる限界値に対してもある程度の余裕をもった値である。

以上、組ぐいの安定基準の設定の仕方に明らかのように、本設計法は各くいの分担する荷重がそれぞれの降伏荷重以下であるような状態を考えているが、これは次の理由による。すなわち、現段階で単ぐいの挙動に関して降伏荷重の値を含めて完全な推定が不可能であることによる。もし、これが完全に推定され、図上にその関係がプロットできれば、安定の判断基準を変えるだけで本設計方法はそのまま適用が可能であり、また組ぐいの特长である部材降伏後の組ぐいの系としての耐力を定量的には握ることが可能となる。

5. 計 算 例

5.1 計 算 例 (1)

例題として図-4のような場合を考える。各くいの諸元は表-3のごとくである。

表-3 各くいの諸元

	out-batter ぐい	in-batter ぐい
規 格	$\phi 400 \times 0.9$	$\phi 400 \times 1.2$
d	21.0×10^2 cm	20.0×10^2 cm
A	110.6 cm ²	146.2 cm ²
I	21.1×10^8 cm ⁴	27.6×10^8 cm ⁴
Z	1,060 cm ³	1,380 cm ³
U	125.7 cm	125.7 cm
B, D	400 cm	400 cm
A_p	0.126 m ²	

① out-batter ぐいの挙動の推定

$$k_{v1.0} = 0.125N \left(\frac{30}{D} \right) = 0.125 \times 10 \times \frac{30}{40} = 0.938 (\text{kg/cm}^2)$$

$$V_{1.0} = d \sqrt{\frac{k_{v1.0} U}{EA}} \cdot \frac{EA}{d} = 21.0 \times 10^2 \sqrt{\frac{0.938 \times 125.7}{2.1 \times 10^6 \times 110.6}}$$

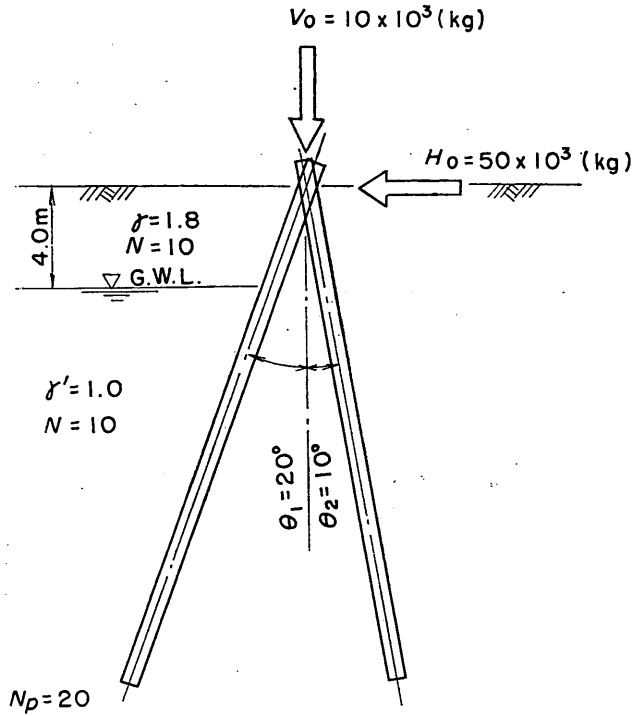


図 - 4

$$\frac{2.1 \times 10^6 \times 110.6}{21.0 \times 10^2} = 165.4 \times 10^3 (\text{kg})$$

$$\therefore V_1 = 165.4 \times 10^3 \delta_1^{\frac{2}{3}}$$

また,

$$k_c = 2.9 (\text{kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{s})$$

$$k_{nc} = 1.40 k_c \cdot \kappa = 1.40 \times 2.9 \times 0.5 \\ = 2.02 (\text{kg}/\text{cm}^3) \quad (\theta_1 = 20^\circ)$$

$$H_{1.0} = 2EI \left(\frac{k_{nc} B}{4EI} \right)^{\frac{3}{4}}$$

$$= 2 \times 2.1 \times 10^6 \times 21.1 \times 10^3$$

$$\times \left(\frac{2.02 \times 40}{4 \times 2.1 \times 10^6 \times 21.1 \times 10^3} \right)^{\frac{3}{4}}$$

$$= 8.73 \times 10^8 (\text{kg})$$

$$\therefore H_1 = 8.73 \times 10^8 \eta_1^{\frac{5}{3}}$$

② in-batter ぐいの挙動の推定

out-batter ぐいと同様に求むる。ただし、 k_{nc} の計算において $\kappa = 1.32 (\theta_2 = 10^\circ)$ とする。

$$V_2 = 190.2 \times 10^3 \delta_2^{\frac{2}{3}}$$

$$H_2 = 19.31 \times 10^8 \eta_2^{\frac{5}{3}}$$

③ ①, ②により推定された各ぐいの挙動を両対数紙にプロットする (図-5)。

④ 軸方向力のみによって抵抗すると考えた場合の各ぐいの軸方向荷重の計算

$$V_{10} = \frac{V_0 \sin \theta_2 + H_0 \cos \theta_2}{\sin \theta_0}$$

$$= \frac{10.0 \times 10^3 \sin 10^\circ + 50.0 \times 10^3 \cos 10^\circ}{\sin 30^\circ}$$

$$= 102.0 \times 10^3 (\text{kg})$$

$$V_{20} = \frac{V_0 \sin \theta_1 - H_0 \cos \theta_1}{\sin \theta_0}$$

$$= \frac{10.0 \times 10^3 \sin 20^\circ - 50.0 \times 10^3 \cos 20^\circ}{\sin 30^\circ}$$

$$= -87.2 \times 10^3 (\text{kg})$$

⑤ $V_i^{(1)}$ の仮定

$$\alpha_0 = 0.5 (\theta_0 = 30^\circ)$$

$$\therefore V_1^{(1)} = \alpha_0 V_{10} = 0.5 \times 102.0 \times 10^3 = 51.0 \times 10^3 (\text{kg})$$

$$V_2^{(1)} = \alpha_0 V_{20} = 0.5 \times (-87.2 \times 10^3)$$

$$= -43.6 \times 10^3 (\text{kg})$$

⑥ V_i に対応する軸方向変位量の推定

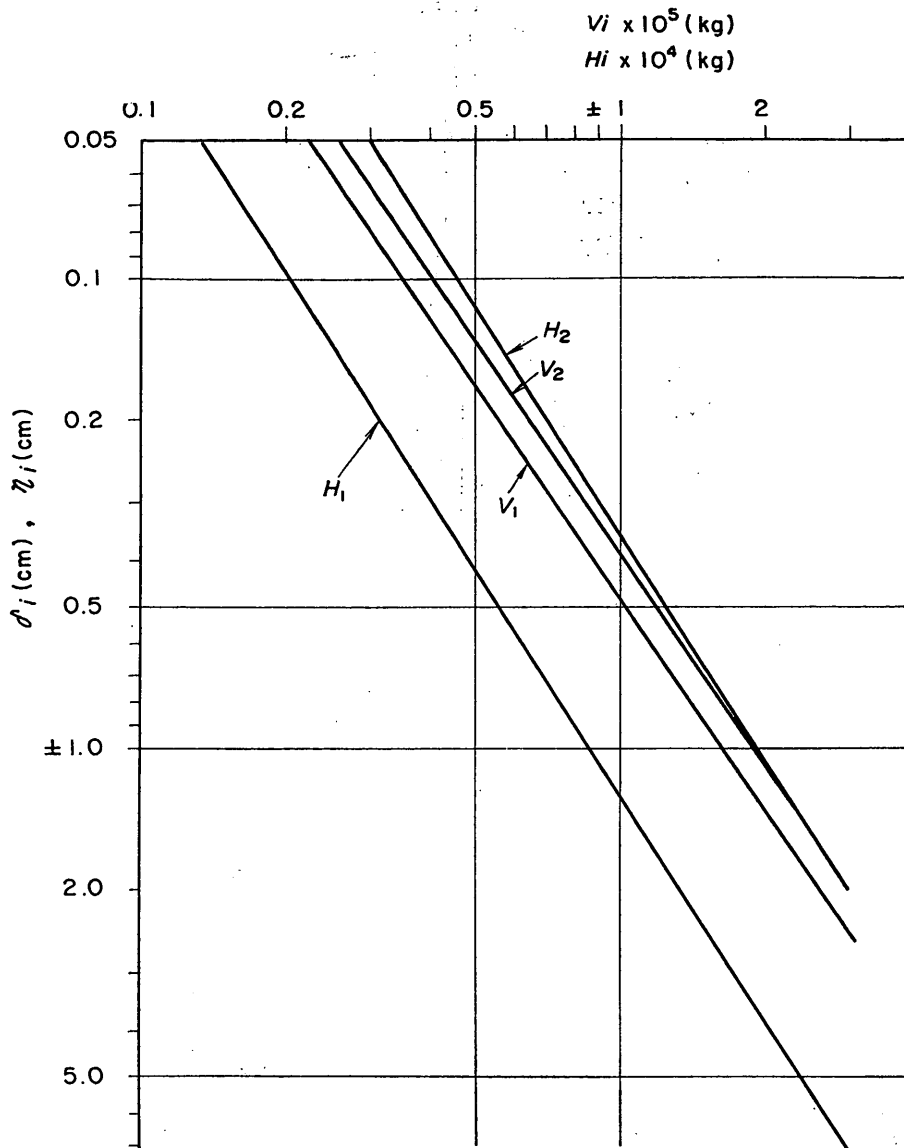


図 - 5

図-5より

$$\delta_1 = 0.172(\text{cm})$$

$$\delta_2 = -0.111(\text{cm})$$

⑦ δ_i に対する軸直角方向変位量の計算

$$\eta_1 = \frac{\delta_1 \cos \theta_0 - \delta_2}{\sin \theta_0} = \frac{0.172 \cos 30^\circ - (-0.111)}{\sin 30^\circ}$$

$$= 0.520(\text{cm})$$

$$\eta_2 = \frac{\delta_1 - \delta_2 \cos \theta_0}{\sin \theta_0} = \frac{0.172 - (-0.111) \cos 30^\circ}{\sin 30^\circ}$$

$$= 0.537(\text{cm})$$

⑧ η_i に対応する軸直角方向荷重の推定

図-5より

$$H_1 = 5.6 \times 10^3(\text{kg})$$

$$H_2 = 13.1 \times 10^3(\text{kg})$$

⑨ H_i による V_i の計算

$$V_1 = V_{10} - \frac{H_1 \cos \theta_0 + H_2}{\sin \theta_0}$$

$$= 102.0 \times 10^3 - \frac{5.6 \times 10^3 \cos 30^\circ + 13.1 \times 10^3}{\sin 30^\circ}$$

$$= 66.1 \times 10^3 (\text{kg}) = V_1^{(1)'}$$

$$V_2 = V_{20} + \frac{H_1 + H_2 \cos \theta_0}{\sin \theta_0}$$

$$= -87.2 \times 10^3 + \frac{5.6 \times 10^3 + 13.1 \times 10^3 \cos 30^\circ}{\sin 30^\circ}$$

$$= -53.3 \times 10^3 (\text{kg}) = V_2^{(1)'}$$

⑩ V_1, V_2 の補正值の計算

$$\alpha = 0.5 (\theta_0 = 30^\circ)$$

$$V_1^{(2)} = (1 - \alpha) V_1^{(1)'} + \alpha V_1^{(1)'}$$

$$= (1 - 0.5) \times 51.0 \times 10^3 + 0.5 \times 66.1 \times 10^3$$

$$= 58.6 \times 10^3 (\text{kg})$$

$$V_2^{(2)} = (1 - \alpha) V_2^{(1)'} + \alpha V_2^{(1)'}$$

$$= (1 - 0.5) \times (-43.6 \times 10^3)$$

$$+ 0.5 \times (-53.3 \times 10^3) = -48.5 \times 10^3 (\text{kg})$$

⑪ 新たに求められた V_i を用いて以上の計算を繰り返し、収れん値を得る。計算の結果は表-4のごとくである。

表-4 計算結果

	V_1 ($\times 10^3 \text{kg}$)	V_2 ($\times 10^3 \text{kg}$)	H_1 ($\times 10^3 \text{kg}$)	H_2 ($\times 10^3 \text{kg}$)
V_{10}	102.0	-87.2		
1	51.0 66.1	-43.6 -53.3	5.6	13.1
2	58.6 61.3	-48.5 -48.8	6.3	14.9
3	60.0 60.7	-48.7 -48.2	6.5	15.0
4	60.4 60.7	-48.5 -48.2	6.4	15.1
5	60.6	-48.4	6.4	15.1
変位量 (cm)	0.22	-0.131	0.63	0.65

⑫ out-batter ぐいの支持力に対する検討

$$R_u = 40 N_p A_p + \frac{1}{5} N U d$$

$$= 40 \times 20 \times 0.126 + \frac{1}{5} \times 10 \times 1.257 \times 21.0$$

$$= 153 (\text{t})$$

$$F = \frac{153}{60.6} = 2.52 > 2.5$$

なお、従来の設計方法による場合の安全率は次のごとくである。

$$F = \frac{153}{102.0} = 1.50$$

⑬ in-batter ぐいの引抜き力に対する検討

$$R_{ut} = U(\Sigma K_s q_i f d_i)$$

$$\approx 1.257 \left\{ 0.65 \times \frac{4.0 \times 1.8}{2} \times 0.65 \times 4.0 \right.$$

$$\left. + 0.65 \times \left(4.0 \times 1.8 + \frac{16.0 \times 1.0}{2} \right) \times 0.65 \right.$$

$$\left. \times 16.0 \right\} = 137 (\text{t})$$

$$F = \frac{137}{48.4} = 2.85 \approx 3.0$$

なお、従来の設計方法による場合の安全率は次のごとくである。

$$F = \frac{137}{87.2} = 1.6$$

⑭ out-batter ぐいの曲げ応力および曲げモーメント第1ゼロ点の計算

$$\beta_c = \sqrt[4]{\frac{k_c \kappa B}{EI}} = \sqrt[4]{\frac{2.9 \times 0.5 \times 40}{2.1 \times 10^6 \times 21.1 \times 10^3}}$$

$$= 0.602 \times 10^{-2}$$

$$M_{max} = 0.47 EI \beta_c^2 \eta^{\frac{3}{2}}$$

$$= 0.47 \times 2.1 \times 10^6 \times 21.1 \times 10^3$$

$$\times (0.602 \times 10^{-2})^2 \times 0.63^{\frac{3}{2}}$$

$$= 5.33 \times 10^5 (\text{kg} \cdot \text{cm})$$

$$\sigma = \frac{V}{A} \pm \frac{M_{max}}{Z} = \frac{60.6 \times 10^3}{110.6} \pm \frac{5.33 \times 10^5}{1,060}$$

$$= \begin{cases} 1,051 (\text{kg}/\text{cm}^2) < \sigma_{da} = 1,300 (\text{kg}/\text{cm}^2) \\ 47 (\text{kg}/\text{cm}^2) \end{cases}$$

また、

$$l_{m1} = \frac{3.3}{\beta_c} \eta^{\frac{1}{2}} = \frac{3.3}{0.602 \times 10^{-2}} \times 0.63^{\frac{1}{2}}$$

$$= 517 (\text{cm})$$

$$1.5 l_{m1} = 777 (\text{cm}) < 2,100 (\text{cm})$$

⑮ in-batter ぐいの曲げ応力および曲げモーメント第1ゼロ点の計算

$$\beta_c = \sqrt[4]{\frac{2.9 \times 1.32 \times 40}{2.1 \times 10^6 \times 27.6 \times 10^3}} = 0.716 \times 10^{-2}$$

$$M_{max} = 0.47 \times 2.1 \times 10^6 \times 27.6 \times 10^3 \\ \times (0.716 \times 10^{-2})^2 \times 0.65^{\frac{3}{2}} \\ = 10.12 \times 10^5 (\text{kg} \cdot \text{cm})$$

$$\sigma = \frac{-48.4 \times 10^3}{146.2} \pm \frac{10.12 \times 10^5}{1,380} \\ = \begin{cases} 405 (\text{kg/cm}^2) \\ -1,065 (\text{kg/cm}^2) < \sigma_{ba} = 1,300 (\text{kg/cm}^2) \end{cases}$$

また、

$$l_{m1} = \frac{3.3}{0.716 \times 10^{-2}} \times 0.65^{\frac{1}{2}} = 435 (\text{cm})$$

$$1.5l_{m1} = 655 (\text{cm}) < 2,000 (\text{cm})$$

5.2 計算例 (2)

組ぐいの分担力に関して立石・吉村によって行なわれた現場実験⁹⁾に対して本設計法を適用してみる。モデル

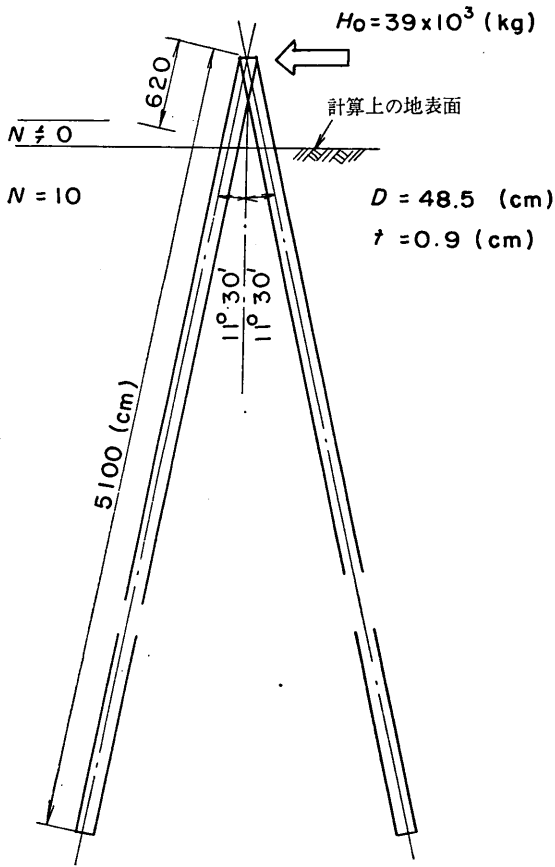


図 - 6

化された組ぐいの構成および諸元は図-6に示すとおりである。

① 各ぐいの単ぐいとしての挙動は次のごとくなる (図-7)。

$$\delta_i = \left(\frac{1}{172.3 \times 10^3} V_i \right)^{\frac{3}{2}} + \frac{1}{456 \times 10^3} V_i$$

η_1	H_1
7.89	3.21×10^3
9.53×10^{-1}	4.88×10^2
9.50×10^{-2}	5.86×10

η_2	H_2
3.38×10	1.37×10^4
4.08	2.10×10^3
4.04×10^{-1}	2.51×10^2

② 軸方向力のみによって抵抗すると考えた場合の各ぐいの軸方向荷重の計算

$$V_{10} = 97.6 \times 10^3 (\text{kg})$$

$$V_{20} = -97.6 \times 10^3 (\text{kg})$$

③ 繰り返し計算の結果は表-5のごとくである。

表-5 計算結果

	V_1 ($\times 10^3 \text{kg}$)	V_2 ($\times 10^3 \text{kg}$)	H_1 ($\times 10^3 \text{kg}$)	H_2 ($\times 10^3 \text{kg}$)
1	97.6 90.3	-97.6 -90.3	1.38	1.58
2	94.0 90.6	-94.0 -90.7	1.25	1.42
3	92.3 90.8	-94.2 -90.8	1.28	1.50
4	91.6 90.9	-92.5 -91.0	1.26	1.45
5	91.3	-91.8		

一方、現場実験の測定結果は $V_1 = 91(t)$ 、 $V_2 = -92(t)$ であり、本設計法により妥当な値が推定される。

6. あとがき

以上に頭部をヒンジ結合された組ぐいの曲げたわみを考慮した設計法を提案した。例題に示したように、従来の曲げたわみを無視した設計法は過大な軸方向分担力を

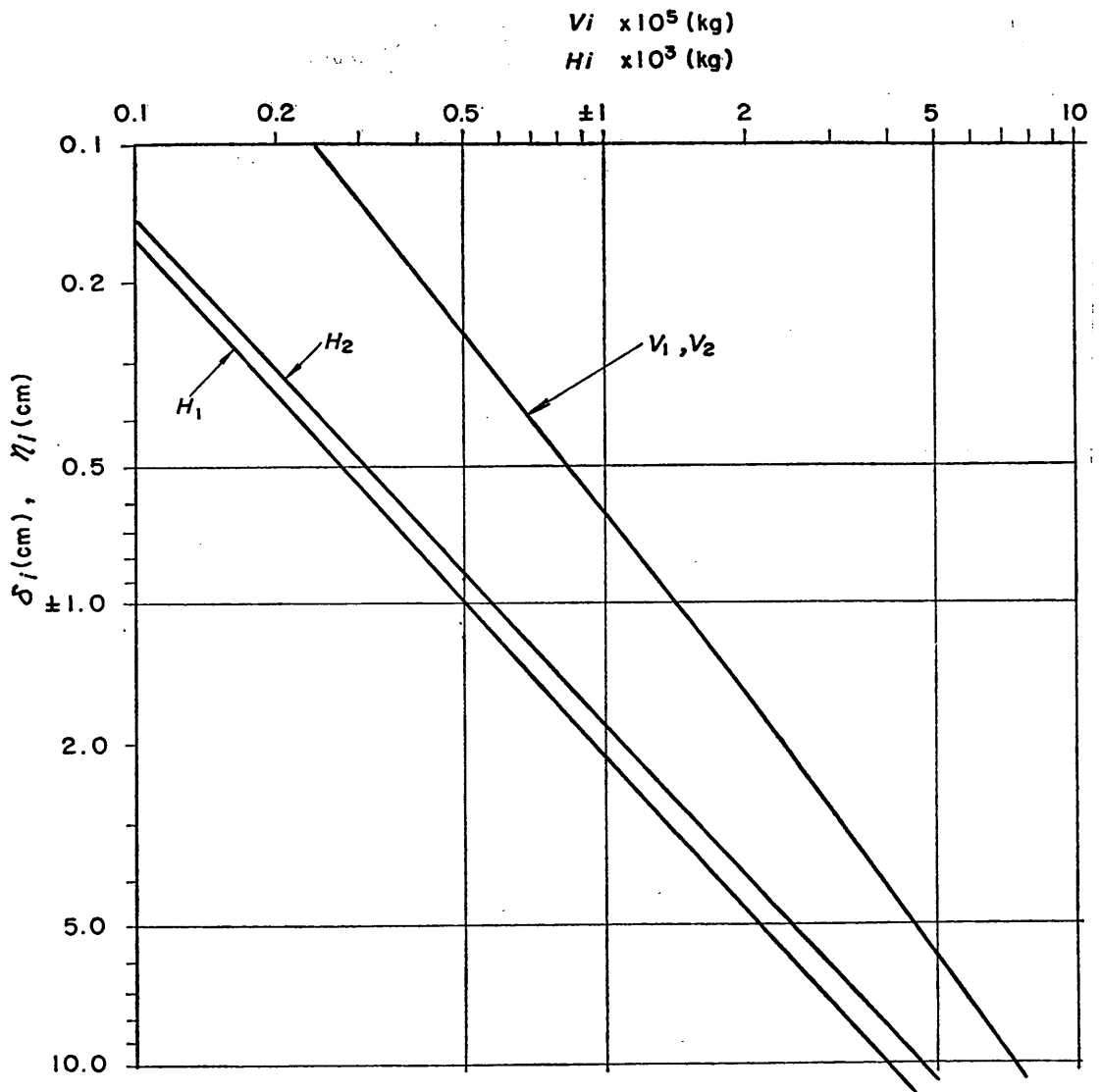


図 - 7

与えており、本設計を用いることによりより経済的設計が可能となった。

なお、本設計法は一応の理論的正当性を有するが、なお多くの仮定の上に成り立つものであり、一概に従来の設計法との優劣は判断し難い。それ故、本設計法の適用にあたってはその仮定の成立条件などを十分に考慮され、優れた技術的判断をもって使用されたい。

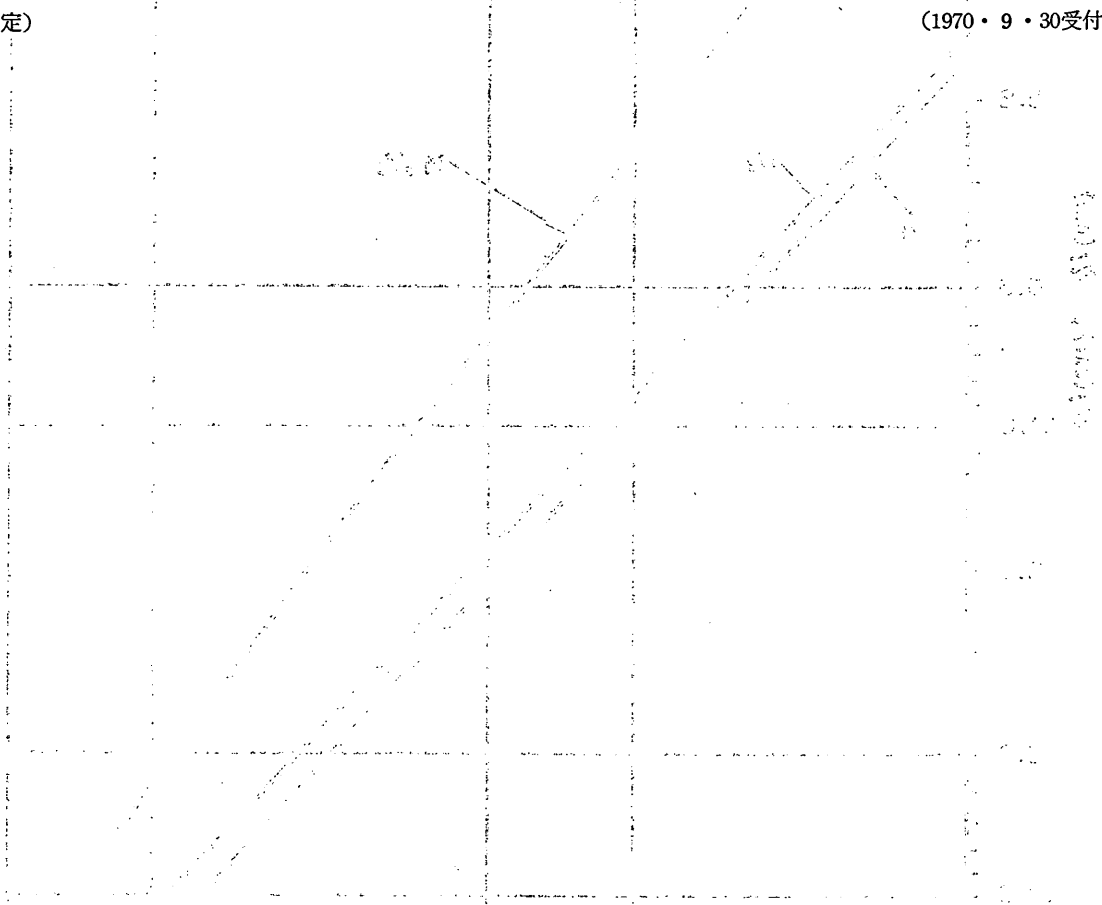
今後の課題としては、頭部の拘束条件の導入、多数のくいがフーチングなどで拘束された一般のくい基礎への適用、などの問題が残されている。

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、林構造部長、構造部青木室長に感謝致します。

【参考文献】

- 1) 片山猛雄・瀬川宗亮，“組グイの設計法について(その1)”，港湾技術研究所資料，No. 85，1969
- 2) 沢口正俊，“組グイの水平抵抗に関する実験的研究” 港湾技術研究所報告，第9巻第1号，1970
- 3) 横山幸満，“鋼杭の設計と施工”，1963

- 4) 青木義典, “水平力を受ける斜組グイの設計について”, 土と基礎, Vol.150, 1970
- 5) 久保浩一, “杭の横抵抗の新しい計算法”, 港湾技術研究所報告, 第2巻第3号, 1964
- 6) 山下生比古・他, “電算機による杭の基準曲線の作成”, (港湾技術研究所報告, Vol.10, No.1, 発表予定)
- 7) 瀬川宗亮・百瀬由美子, “控え矢板の計算図表”, 港湾技術研究所資料, No.91, 1969
- 8) 久保浩一, “杭の横抵抗に関する実験的研究(その3)”, 運輸技術研究所報告, 第12巻第2号, 1962
- 9) 立石哲郎・吉村元宏, “長尺斜杭の打込試験および水平載荷試験”, 第6回港湾工事報告会講演概要, 1960 (1970・9・30受付)



Y - L