

回転バネを用いた杭頭ヒンジ結合の模型実験 (その2)

—— 実験式の試算結果について ——

Model Experiments of Hinged Joints of Pile Heads with Rotating Spring (2)

—— On the Result of Trial Balance ——

小野 裕二* 山内 敏夫** 中野 修***

Yuji ONO, Toshio YAMAUCHI and Osamu NAKANO

一般的に、ヒンジ結合は剛結合と比較して杭本数を減ずることができるという利点がある。しかし、完全なヒンジ結合を施工することは事実上不可能であるため、過年度より回転バネを用いた合理的な杭頭ヒンジ結合法の開発を意図して、杭頭結合法に関する研究を実施してきた^{1)~3)}。前報までに、クッション材には改良すべき点はあるものの、導出した実験式はほぼ有効であることがわかった⁴⁾。

今回、数種の荷重ケースによって試算し、剛結合やヒンジ結合との比較・検討を行って、その実用性を確認した。

《杭頭結合法；ヒンジ結合；杭頭回転バネ；直筋；杭頭反力計算プログラム》

Hinged joints of pile heads generally have the advantage of saving the number of piles as compared with rigid joints. However, the perfect construction of hinged joints is practically impossible. Therefore, the investigation about the method of pile head joints has been performed to develop the rational design for hinged joints using rotating springs^{1)~3)}. In the pervious report, it was confirmed that the empirical formula derived from the results was almost valid for use and the cushion material had left room for improvement⁴⁾.

As a result, the practicability of the formula was certified through a trial computation on each load case and a comparison between rigid joints and hinged joints.

Keywords ; joint method of pile head, hinged joint, rotating spring, straight bar, pile head program.

1. ま え が き

杭頭の結合法としては、ヒンジ結合が剛結合と比較して杭本数を減じることができるという点で優れており、簡易な擁壁などのように水平変位にあまり制限を設けない構造物において、

剛結合法で施工することは、設計・施工の面から考えて合理的とはいえず、経済的にも好ましくない。反面、完全なヒンジを施工することはむずかしく、杭頭には少なからず拘束が伴う。

これを設計の面から考えると剛結合に近くなり、安全性の問題があるため、過年度から回転バネを用いた合理的なヒンジ結合法の研究を

*構造研究室員 **同室副室長 ***同室長

行ってきた。

合理的なヒンジ結合法として、どのような結合法が優れているかを回転性、杭頭接合部および鉄筋の形状など、種々の観点から検討した結果、剛結合とヒンジ結合との大きな違いである杭頭での回転性能が優れた結合構造を考案することとし、回転性がよいと考えられる数種の供試体で載荷実験を行った。

その結果、直筋を用いた結合方法（以下、‘回転バネ結合（法）’という）が最も回転性能が優れていることが明らかとなり^{1)~3)}、さらにこの結合法についての杭頭回転角と曲げモーメントの関係を把握するための実験を行い、前報⁴⁾でその実験式を導出した。また、結合部の改良により、よりヒンジ結合に近づけることが可能であることもわかった。

しかしながら、回転バネ結合法の実験式を設計に用いるためには、同式を設計計算に組込んで計算を行わなければならない、また杭頭反力の算出には、特殊な場合を除いて反復計算が必要となるため、この実験式をどのように組込んでいくかがひとつの問題となる。

2. 検討の目的・方法

2-1 目的・方法

前報で導きだされた実験式は、杭径・鉛直力の影響を考慮しており、以下の式で表わされる。

$$M_j = \frac{\theta_j}{a \cdot \theta_j + b} \quad \dots(1)$$

M_j : j 列の杭頭ひとつに作用する曲げモーメント反力 [tf・m]

θ_j : j 列の杭の杭頭回転角 [mrad]

$$a = K_{RD}^{0.6288} \times (-0.0004173 \cdot V_j + 0.01118)$$

$$b = K_{RD}^{-1.523} \times 4395 \times e^{-0.03700 \cdot V_j}$$

V_j : j 列の杭頭ひとつに作用する鉛直反力 [tf]

$$K_{RD} = K_0 \cdot I$$

$$K_0 = E / D_j / (1 - \nu^2)$$

$$I = D_j \cdot S_1^3 / 12$$

K_{RD} : 杭径による回転バネ [tf・m]

E : 支圧部のヤング率 [tf/m²]

ν : ポアソン比

I : 支圧部の断面2次モーメント [m⁴]

D_j : 杭径 [m]

S_1 : 支圧部幅 ($\approx D_j/3$) [m]

杭頭反力の計算は、特殊な条件を除いて反復計算を必要とする複雑なものである。また、実験式を設計計算に組込むにあたり、 M_j が V_j の影響を受けるため、ここでも反復計算を行わなければならないことがわかる。

このため、まず杭頭反力算出のために最も合理的な計算フローを考案し、これに基づく簡単なプログラムを作成して、これまでに設計に用いられたフーチング下面に働く外力を参考にした数種の荷重パターンについて試算を行い、剛結合やヒンジ結合との計算結果と比較し、この設計法が剛結合法に比べて合理的な設計であるか否かの検討もあわせて行った。

2-2 設計計算での仮定

ここでは、この回転バネ結合の実験式を設計に用いるため、杭頭反力の計算方法について検討の結果、①弾性フーチングは用いられることがほとんどないことから、**フーチングは剛体**、②直筋を用いた杭頭結合法は、簡易な擁壁などの構造物に用いられること、基本的にヒンジ結合であるので1列では不適当であること、逆に3列以上の配列はほとんど用いられることがなく、この場合には計算が非常に複雑になることなどから、**杭の配列は2列**、③簡易構造物を施工する個所では、そのほとんどで支持層が浅く、地質はあまり変わらないことから、**地層は均質な単層構造**と仮定した。

2-3 計算条件

最初に、1本の杭について考えた場合、以下の式を満足しなければならない。ここで、各外力および反力の方向は図-1に示すとおりである。

道路橋示方書Ⅳ下部構造編⁵⁾（以下、‘示方書’という）より、

$$V_j = V_x + \alpha \cdot K_v \cdot x_j \quad \dots(2)$$

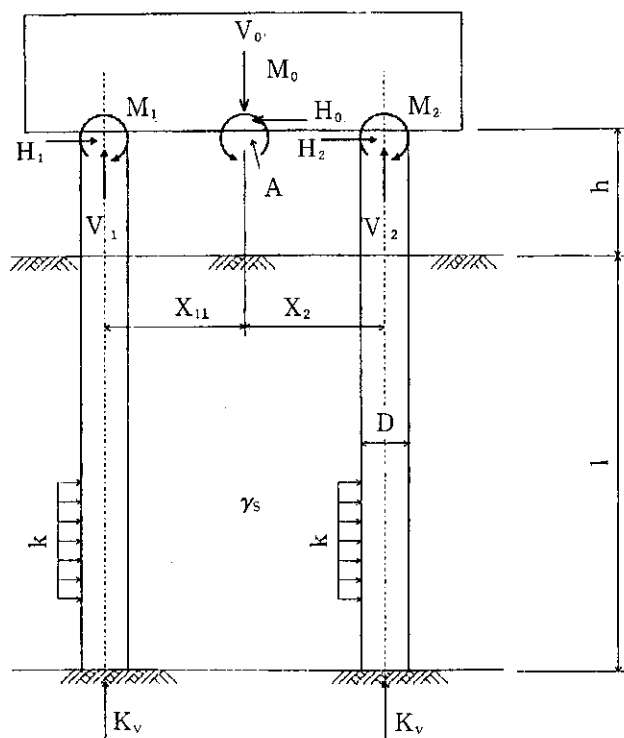
$$V_x = (V_0 + \alpha \cdot K_v \cdot \sum x_j \cdot n_j) / \sum n_j$$

V_0 : フーチング下面に作用する鉛直力 [tf]

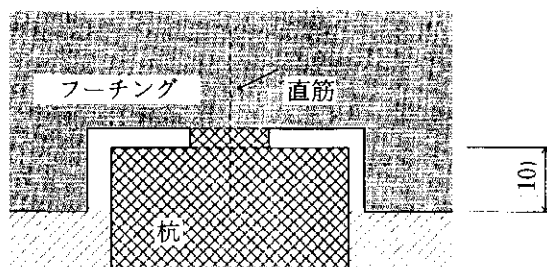
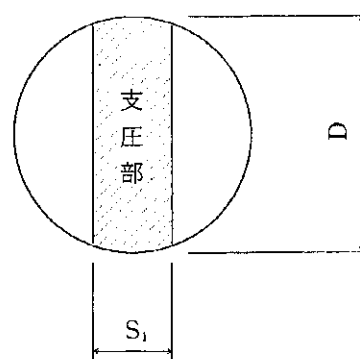
α : フーチングの傾斜角 [rad]

K_v : 鉛直方向地盤バネ定数 [tf/m]

x_j : j 列の杭の偏心離距 [m]



側面図



杭頭結合部

図-1 杭頭計算モデル図

n_j : j 列の杭本数

$$\delta x_j = f_{\delta}(H_j, M_j) \quad \dots(3)$$

δx_j : j 列の杭頭の水平変位 [m]

$f_{\delta}(H_j, M_j)$: 示方書 pp. 308~313 参照

H_j : j 列の杭頭ひとつに作用する水平反力 [tf]

$$\phi_j = f_{\phi}(H_j, M_j) \quad \dots(4)$$

ϕ_j : j 列の杭頭傾斜角 [rad]

$f_{\phi}(H_j, M_j)$: 示方書 pp. 308~313 参照

次に、全体系で考えた場合には、以下の関係を満足しなければならない。

$\sum V = 0$ より

$$V_0 - \sum V_j \cdot n_j = 0 \quad \dots(5)$$

$\sum H = 0$ より

$$H_0 - \sum H_j \cdot n_j = 0 \quad \dots(6)$$

H_0 : フーチング下面に作用する水平力 [tf]

$\sum M = 0$ より、

$$M_0 - \sum M_j \cdot n_j - \sum (V_j \cdot x_j \cdot n_j) = 0 \quad \dots(7)$$

M_0 : フーチング下面に作用する曲げモーメント [tf・m]

フーチングが剛体と仮定していることから、

$$\phi_j = \alpha + \theta_j \quad \dots(8)$$

θ_j : j 列の杭頭回転角 [rad]

$$\delta x = \delta x_1 = \delta x_2 \quad \dots(9)$$

δx : フーチングの水平変位 [m]

これらの関係を見るとわかるように、それぞれが他へ影響を与えている。また、(3)式、(4)式では、杭の長さ、場合によってはその杭先形状によって算定式が異なっている。

これらの関係式を用いて回転バネ結合の反力を求める場合には、いくつかの未知数を仮定して収束計算によって算定することになる。

2-4 計算フロー

2-3で示した条件の中で、剛結合の場合には $\theta_j = 0$ であることから、 $\phi_j = \alpha$ となる。同様に、ヒンジ結合の場合には $M_j = 0$ であることから、(2)式および(7)式を用いて α を決定できるようになる。また、ここで各杭の諸元、各列の杭本数が同じ場合には、(3)式および(4)式の関係から、 $M_1 = M_2$, $H_1 = H_2 = H_0 / \sum n_j$ となり、条件を整理すると反復計算が不要となる。しかし、回転バネ結合法の設計を行う場合、(1)式を見るとわかるように、 V_j によって M_j が変化するため、

M_j と H_j の平衡および V_j と α の平衡もとらなければならない。したがって、必ずこれらについての反復計算を行うことになる。

以上のように、ヒンジ結合や剛結合では、特殊条件において計算を簡略化することができるが、回転バネ結合法では必ず反復計算を要することから、計算にはいかなる場合でもコンピュータを使用することになる。

ここで、仮定される未知数の範囲および次の変数を求めるステップについて種々検討した結果、以下に示す手順が最も効率よく計算できることがわかった。

イ) 回転バネ結合

① α の範囲

α の範囲を仮定するにあたり、 α は同一の条件での、剛結合とヒンジ結合の場合の間にあるので、剛結合の $\alpha [= \alpha_{\min}]$ とヒンジ結合の $\alpha [= \alpha_{\max}]$ を範囲の最小・最大とした。

② α の仮定値

$$\alpha = (\alpha_{\max} + \alpha_{\min}) / 2$$

③ (2)式による V_j の算出

④ H_1 の範囲

H_1 の範囲を仮定するにあたり、水平反力 H_j が負とはならないと考え、(6)式に $H_2=0$ を代入した結果から、その範囲を $0 [= H_{\min}] \sim H_0/n_1 [= H_{\max}]$ とした。

⑤ H_1 の仮定値

$$H_1 = (H_{\max} + H_{\min}) / 2$$

⑥ (6)式による H_2 の算出

⑦ $j=1$

⑧ θ_j の範囲

θ_j の範囲を仮定するにあたり、 α と同様に、剛結合の $\theta [= 0]$ とヒンジ結合の θ の範囲にあると考え、 $0 [= \theta_{\min}] \sim \theta_{\text{hinge}} [= \theta_{\max}]$ とした。

⑨ θ_j の仮定値

$$\theta_j = (\theta_{\max} + \theta_{\min}) / 2$$

⑩ (1)式による M_j の算出

⑪ (4)式、(8)式による ϕ_j 、 ϕ_j' の算出

⑫ ϕ_j と ϕ_j' の比較

M_j の正否の判定に用いる。 $\phi_j \neq \phi_j'$ の場合、 $\phi_j > \phi_j'$ ならば θ_j は $\theta_{\min} \sim \theta_j$ 間にあるの

で $\theta_{\max} = \theta_j$ とし、 $\phi_j < \phi_j'$ ならば $\theta_j \sim \theta_{\max}$ 間にあるので $\theta_{\min} = \theta_j$ として⑨へ戻る。

⑬ (5)式による δ_{xj} の算出

⑭ $j=1$ ならば $j=2$ にして⑧に戻る。

⑮ δ_{xj} の比較

H_1 の正否の判定に用いる。 $\delta_{x1} \neq \delta_{x2}$ の場合、 $\delta_{x1} < \delta_{x2}$ ならば H_1 は $H_{\min} \sim H_1$ にあるので $H_{\max} = H_1$ とし、 $\delta_{x1} > \delta_{x2}$ ならば $H_1 \sim H_{\max}$ 間にあるので $H_{\min} = H_1$ として⑤に戻る。

⑯ $\Sigma M=0$ の検討

(7)式により、 ΣM の検討を行う。 $\Sigma M \neq 0$ の場合、 $\Sigma M < 0$ ならば、 α は $\alpha_{\min} \sim \alpha$ 間にあるので、 $\alpha_{\max} = \alpha$ とし、 $\Sigma M > 0$ ならば、 α は $\alpha \sim \alpha_{\max}$ 間にあるので、 $\alpha_{\min} = \alpha$ として②に戻る。

⑰ δ_{yj} の算出

$$\delta_{yj} = V_j / K_v$$

以上のようなステップで計算を行うが①や⑧で回転バネ結合法での α 、 θ_j の範囲を設定するにあたり、同じ条件での剛結合とヒンジ結合の場合の間にあることから、それらの計算結果を用いることで簡単に範囲を設定することが可能となる。したがって、この計算の前に剛結合とヒンジ結合の計算を行う必要がある。以下に、それぞれの結合法の算出法について示す。

ロ) 剛結合

①～③ イ) 回転バネ結合の④～⑥と同じ

④ M_1 の範囲

M_1 の範囲を仮定するにあたり、曲げモーメント反力 M_j が正に、鉛直反力 V_j が負にならないと考え、(3)式に $M_2=0$ 、 $V_2=0$ を代入した結果から、その範囲を $-(V_0 \times x_1 - M_0) / n_1 [= M_{\min}] \sim 0 [= M_{\max}]$ とした。

⑤ M_1 の仮定

$$M_1 = (M_{\max} + M_{\min}) / 2$$

⑥ (4)式による ϕ_1 の算出

ここで、剛結合の場合は、 $\theta_j=0$ であるので、(8)式から $\alpha = \phi_1$ 、つまり $\phi_1 = \phi_2$ となる。

⑦ (2)式による V_j の算出

⑧ (7)式による M_2 の算出

⑨ (4)式による ϕ_2 の算出

⑩ ϕ_j の比較

M_1 の正否の判定に用いる。剛結合の場合、 $\phi_1 \neq \phi_2$ の場合、 $\phi_1 > \phi_2$ ならば M_1 は $M_{\min} \sim M_1$ 間にあるので $M_{\max} = M_1$ とし、 $\phi_1 < \phi_2$ ならば、 $M_1 \sim M_{\max}$ 間にあるので $M_{\min} \sim M_1$ として⑤へ戻る。

⑪ (3)式による δx_j の算出

⑫ δx_j の比較

H_1 の正否の判定に用いる。 $\delta x_1 \neq \delta x_2$ の場合、 $\delta x_1 < \delta x_2$ ならば H_1 は $H_{\min} \sim H_1$ 間にあるので $H_{\max} = H_1$ とし、 $\delta x_1 > \delta x_2$ ならば H_1

$\sim H_{\max}$ 間にあるので $H_{\min} = H_1$ として③へ戻る。

⑬ δy_j の算出 (参考)

$$\delta y_j = V_j / K_v$$

ハ) ヒンジ結合

① α の算出

$M_j = 0$ であるので、(2)式、(5)式および(7)式から、

$$\alpha = \frac{M_0 \cdot \sum n_j - V_0 \cdot \sum X_j \cdot n_j}{\sum n_j \cdot \sum K_v \cdot x_j^2 - \sum K_v \cdot x_j \cdot \sum x_j}$$

で求めることができる。

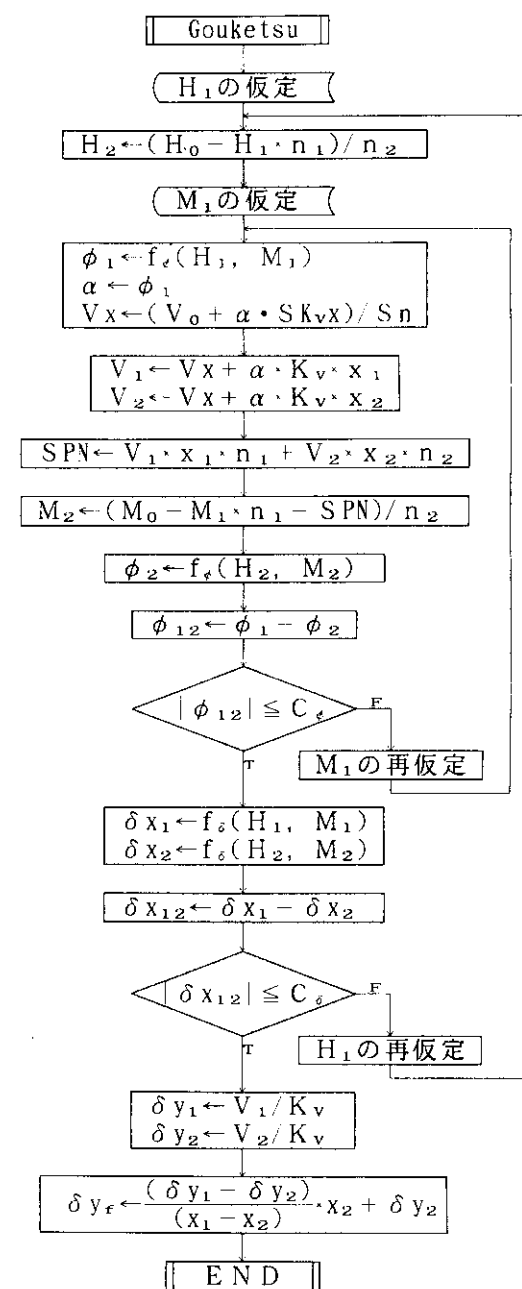
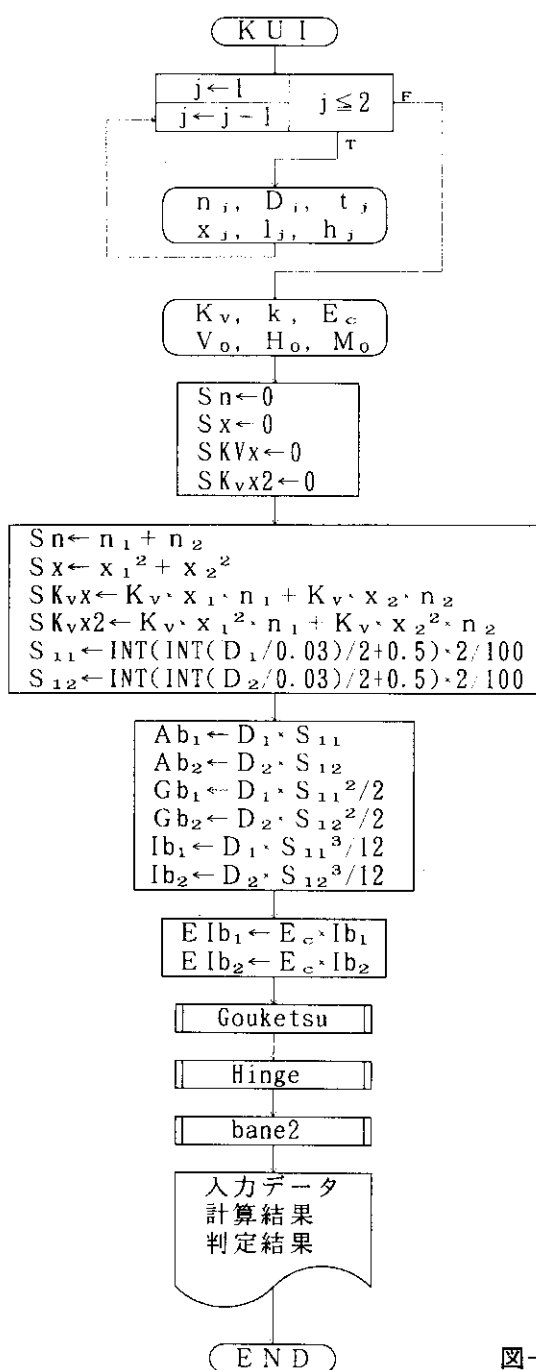


図-2① 計算フロー

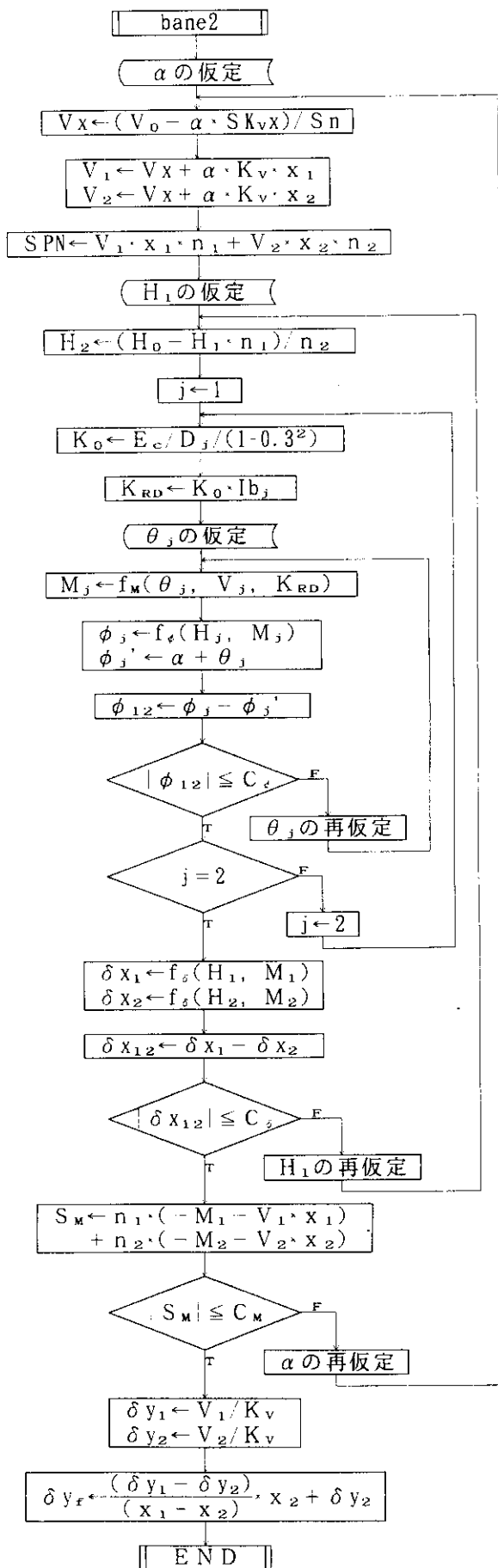
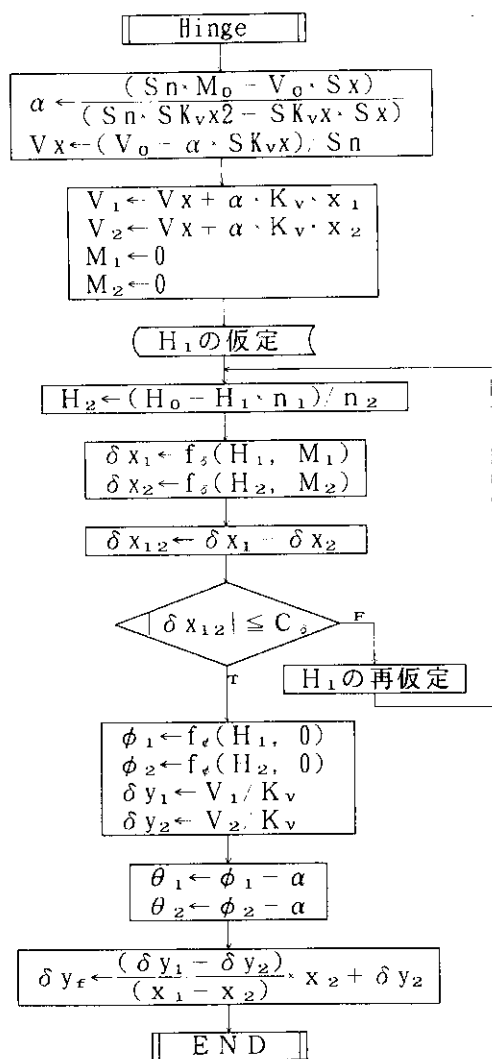


図-2② 計算フロー

②～⑤ イ) 回転バネ結合の③～⑥と同じ

⑥ (3)式による δx_i の算出

⑦ δx_i の比較

H_1 の正否の判定に用いる。 $\delta x_1 \neq \delta x_2$ の場合、 $\delta x_1 < \delta x_2$ ならば H_1 は $H_{\min}$ は H_1 間にあるので $H_{\max} = H_1$ とし、 $\delta x_1 > \delta x_2$ ならば $H_1 \sim H_{\max}$ 間にあるので $H_{\min} = H_1$ として④に戻る。

⑧ (4) 式による ϕ_j の算出

⑨ δy_j の算出 (参考)

$$\delta y_j = V_j / K_v$$

これを、フローチャートにしたものを図-2に示す。

同図を基に Quick BASIC ver 4.5 で作成したプログラム (一部) を付録-1 に示す。このプログラムでは、フーチング下面にかかる外力や杭径などの断面定数、地盤定数などは事前に把握しておく必要がある。また、操作方法および出力例を付録-2、付録-3 に示す。

2-5 試算モデル

試算を行うにあたり、フーチング下面にかかる外力を設計例の躯体の計算から求める必要はないので、図-1 に示すような躯体の形状については無視した試算モデルとした。また、ここではフーチングを剛体と仮定しており、弾性フーチングは考えていないことのほか、杭・地

表-2 試算外力ケース

鉛直力 tf 水平力 tf	150			120			100		
	1	2	3	10	11	12	19	20	21
50	1	2	3	10	11	12	19	20	21
40	4	5	6	13	14	15	22	23	24
30	7	8	9	16	17	18	25	26	27
水平力 tf 曲げ モーメント tf・m	30	25	20	30	25	20	30	25	20

盤の条件を、回転バネ結合法で最も使用されるものを考えた結果、表-1 に示すようなものとなった。

ここでは、フーチング下面に作用する外力を表-2 に示すケースで試算することとしたが、これは種々の設計例を参考に、外力の上下限を考えて決定したもので、これにより例えば鉛直力が小さい割に水平力が大きい場合などを容易にチェックすることができるものと考えている。また、簡易構造物における杭基礎の場合、上部の構造自体が大きくないので、大口径の杭を用いることはあまりない。このような場合、杭本数を減じることができれば施工性が向上し、より合理的な設計であると考えられる。したがって、表-1 の外力の組み合わせによって試算を行い、それぞれの結合法での最小杭本数を比較することとした。

表-1 杭・地盤の諸元

名	称	単 位	記号	入力値
杭 の 諸 元	径	mm	D	400.0
	肉 厚	mm	t	12.0
	偏 心 距 離	m	x_i	± 0.8
	長 さ	m	l	0.0
	高 さ	m	h	10.0
地盤 バネ 定数	鉛直方向地盤バネ定数	tf/m	Kv	17,000
	水平方向地盤バネ定数	tf/m ³	k	650
弾性 系数	鋼 管	kgf/cm ²	E	2.10×10^7
	コンクリート	kgf/cm ²	Ec	2.35×10^6
許 容 値	鉄 筋	kgf/cm ²	σ_{sa}	1,800
	コンクリート	kgf/cm ²	σ_{ck}	210
	水 平 変 位	cm	δ_a	1.0
	水 平 耐 荷 力	tf	Ra	5.0
	鉛 直 耐 荷 力	tf	Ha	16.5

3. 試算結果

今回作成したプログラムを用いて試算した結果、得られた杭本数を表-3 に示す。ここでは、杭本数が前後列ともに同数の場合を比較の対象にした。ちなみに、後列が1本少ない場合 (千鳥配列) について試算した結果は、同数の場合と杭本数が同じかあるいは1本増加したので考慮しないこととした。

4. 考 察

4-1 剛結合・ヒンジ結合との比較

試算の結果から、大抵の場合、回転バネ結合は剛結合に比較して杭本数を減じることができたが、それらは剛結合とヒンジ結合の中間的な値であった。

回転バネ結合法で剛結合より杭本数を減じる

表-3 試算結果（前後列が同数の場合の1列当たり杭本数）

鉛直力 tf 水平力 tf	150			120			100			鉛直力 tf 結合方法
50	8	8	8	7	7	7	7	7	7	剛 結 合
	7	7	7	6	6	6	6	6	6	回転バネ
	6	6	6	6	6	6	6	6	6	ヒ ン ジ
40	8	8	8	6	6	6	6	6	6	剛 結 合
	7	7	7	5	5	5	5	5	5	回転バネ
	6	6	6	5	5	4	5	5	4	ヒ ン ジ
30	7	7	7	6	6	6	6	6	6	剛 結 合
	7	7	7	5	5	5	5	5	5	回転バネ
	6	6	6	5	5	4	5	5	4	ヒ ン ジ
水平力 tf 曲げ モーメント tf・m	30	25	20	30	25	20	30	25	20	結合方法 曲げ モーメント tf・m

ことができなかったのは、鉛直力が大きい割に水平力が小さい場合 ($V_0=150$ tf, $H_0=30$ tf) であった。その理由として、水平力が小さいことでフーチングの傾斜角が小さくなり、それぞれの結合方法での鉛直支持力が近くなったこと、6本/列のときの回転バネ結合の鉛直支持力 (= 16.84 tf~17.83 tf) が許容鉛直支持力 (= 16.5 tf) をわずかに超えたこと、剛結合とヒンジ結合で1本/列しか差がなかったことなどが重なり、剛結合と同じ本数になったと考えられる。

4-2 計算フローの検討

今回、表外の種々のケースについても試算を行った結果、いずれの場合にも結果を得ることができたことから、このプログラムはいろいろの条件で使用できることがわかった。また、これらの結合も含めて、回転バネ結合が同じ条件の剛結合とヒンジ結合との間にあった。それらの結果も含めて判断すれば、実験式を用いた設計計算フローは正しいといえる。

4-3 回転バネ結合について

回転バネ結合は、剛結合とヒンジ結合で杭本数が2本/列以上異なる場合には、それらの中間的な値をとっているが、鉛直力が大きい割に水平力が小さい場合には、剛結合とヒンジ結合での差も少なく、剛結合との比較検討が必要になると考えられる。

以上を総合して検討すると、計算フローおよびプログラムは正しい。また、大抵の場合には

回転バネ結合を用いることによって杭本数を減じることができる。また、今回作成したプログラムを用いることにより、容易に回転バネ結合の設計反力を算出できる。

これらのことから、回転バネ結合を用いることにより、剛結合に比べて、より合理的な設計法が確立できたといえる。

5. ま と め

- (1) 回転バネ結合法の設計に関し、実験式を組み込んだアルゴリズムを確立することができた。
- (2) 回転バネ結合法は、剛結合に比べておおむね杭本数を減ずることができる。
- (3) 回転バネ結合法は、今回作成のプログラムを利用することによって剛結合に比べておおむね合理的な設計ができた。

6. あとがき

今回の試算は、繰返し計算が多いので、Quick BASIC でプログラムを作成して行った。このプログラムは、試算用に作成したので実際に設計などで使用するためには杭本数を入力するのではなく、自動的に算出するようにするなど、いくつかの改良が必要と考えている。また、プログラムの計算時間を同時計測した結果、コンピュータによって多少の問題は残るものの、プログラムについては問題ないと考えられる。今

回は、主としてPC-9801FA (32 bit CPU, Turbo-486 搭載, クロック数 64 MHz) を用いて計算を行っているが、参考のために他の機種でも計算を行い、その計算時間を測定しており(付表-1)、使用機種によっては、PC-9801FA の3～5倍以上も時間がかかるものがあることもわかった。、PC-9801FA での平均計算時間は約 202 秒であることから、このプログラムの使用性については問題ないと考えている。

最後に、今回の試験に御協力いただいた関係各位に対し、ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 構造研究室；杭頭結合法に関する研究報告書，昭和 63 年 12 月。
- 2) 山内敏夫・桜田昌之・本名一夫；簡易構造物に使用する杭頭ヒンジ結合の模型実験，開発土木研究所月報No431 pp 2～12，平成元年 4 月。

- 3) 山内敏夫・桜田昌之・本名一夫；杭頭ヒンジ結合の模型実験，土木学会年次学術講演会，平成元年 9 月。
- 4) 小野裕二・山内敏夫・中野 修；回転バネを用いた杭頭ヒンジ結合の模型実験（その 1）—— 実験結果と実験式の導出 ——，開発土木研究月報 No473 pp 28～38，平成 4 年 10 月。
- 5) 北海道開発局道路建設課監修；道路橋設計施工要領，平成 2 年 10 月。
- 6) 日本道路協会；道路橋示方書Ⅳ下部構造編，昭和 58 年。
- 7) 日本道路協会；杭基礎設計便覧，昭和 58 年。
- 8) 鋼管杭協会・川崎製鉄株式会社；鋼管杭その設計と施工，昭和 56 年 10 月。
- 9) 建設省土木研究所構造橋梁部基礎研究室；杭頭結合条件を考慮した橋梁杭基礎の設計法に関する研究，土研資料第 1874 号，昭和 57 年 11 月。

付表-1 計算時間の比較

機 種	性 能				計 算 時 間 [sec] (平均)	時 間 比
	CPU	Bit 数	クロック周波数	メモリ		
PC-9801FA	Turobo-486	32	64 MHz	5.6 MByte	165 (202)	1.00 (1.00)
PC-9801RA	cyrix486DLC	32	20 MHz	3.6 MByte	365	2.21
98NOTE NA/C	i486DLC	32	20 MHz	5.6 MByte	267 (315)	1.62 (1.56)
98NOTE SX/E	i386sx	32	16 MHz	5.6 MByte	858	5.20
98NOTE SX	i386sx	32	16 MHz	9.6 MByte	905	5.48
PC-9801LS	i386sx	32	16 MHz	5.6 MByte	765	4.64
N 5200 model 98/105	486	32	66 MHz	8.6 MByte	110	0.67

```
***** 杭頭パネ結合による反力計算プログラム *****
Program name : 杭頭BAS for Quick BASIC ver. 4.5
```

```
by Y. Ono since November, 1992
*****
```

```
DECLARE SUB shoki (n#, t#, D#, SI#, x#, h#, Kv#, k#)
DECLARE SUB inpat (n#, D#, t#, SI#, x#, h#, Kv#, k#)
DECLARE SUB Casolox (dat AS SINGLE, C AS STRING, j%, jx%, jxx%)
DECLARE SUB Cmake (dat AS SINGLE, C AS STRING, j%, jx%)
DECLARE SUB PRINTYX (dat AS SINGLE, j%, jx%)
DECLARE SUB utsuki2 (y#, x#, col#)
DECLARE SUB utsuki3 (y#, x#, col#)
DECLARE SUB utsuki6 (y#, x#, col#)
DECLARE SUB utsuki7 (y#, x#, col#)
DECLARE SUB fig1 ()
DECLARE SUB gamen1 (dat() AS SINGLE)
DECLARE SUB gamen2 (dat() AS SINGLE)
DECLARE SUB gouketsu (n#, t#, D#, h#, x#, Kv#, k#, alpha#)
DECLARE SUB hinge (n#, t#, D#, h#, x#, Kv#, k#, alpha#, theta#, phi#)
DECLARE SUB bane2 (n#, t#, D#, h#, x#, Kv#, k#, alpha#, theta#, phi#)
DECLARE FUNCTION Fdelta (Hj#, Wj#, I#, B#, h#, j%)
DECLARE FUNCTION Fohai# (Hj#, Wj#, I#, B#, h#, j%)
DECLARE FUNCTION Fm# (theta#, V#, KR#)
DECLARE SUB LPrint (n#, D#, SI#, t#, x#, h#, Kv#, k#, alpha#, theta#, phi#)
        Gb#(, Kv#, k#, alpha#, theta#, phi#)
```

変数名	単位	内 容
nx	[列]	杭の列数
Sn	[本]	杭の総本数
n(i)	[本]	各列の杭本数 i = 1 : 前列 2 : 後列
D(i)	[m]	杭径
t(i)	[m]	杭の肉厚
SI(i)	[m]	杭の座標(偏心距離)
x(i)	[m]	支圧部の長さ
h(i)	[m]	杭の埋入れ深さ
I(i)	[m ⁴]	杭の突出長
Kv(i)	[tf/m ³]	杭軸方向パネ定数
k(i)	[tf/m ²]	水平方向地盤反力係数
E	[tf/m ²]	杭の弾性係数
Ec	[tf/m ²]	コンクリートの弾性係数
P(0)	[tf]	ワーチング下面に働く鉛直力
P(1)	[tf]	ワーチング下面に働く水平力
P(2)	[tf・m]	ワーチング下面に働く曲げモーメント
A(i)	[m ²]	杭の断面積
Ab(i)	[m ²]	支圧部断面積
W(i)	[tf/m]	杭の単位重量
I(i)	[m ⁴]	杭の断面2次モーメント
lb(i)	[m ⁴]	支圧部の断面2次モーメント
Z(i)	[m ³]	杭の断面係数
Zb(i)	[m ³]	支圧部の断面係数
EI	[tf/m ²]	杭の曲げ剛性
G(i)	[m ³]	杭の断面1次モーメント
Gb(i)	[m ³]	支圧部の断面1次モーメント
Beta(i)	[m ⁻¹]	杭の特性値 = $(KhD / 4EI)^{-4}$
Landa(i)	[m]	$= h + l / \beta$
K1(i)	[tf/m]	杭軸方向パネ定数
K2(i)	[tf/m]	杭軸方向パネ定数
K4(i)	[tf/m]	杭軸方向パネ定数
PH(i, j)	[tf]	杭頭鉛直反力 j = 0:回転パネ結合 1:剛結合 2:ヒンジ結合
PH(i, j)	[tf]	杭頭水平反力
PH(i, j)	[tf・m]	杭頭曲げモーメント
phai(i)	[rad]	杭とワーチングとのなす角
theta(i)	[rad]	杭頭回転角
alpha(j)	[rad]	ワーチング回転角
dx(j)	[m]	杭頭の水平変位
dy(i, j)	[m]	杭頭の鉛直変位
Ssa	[tf/m ²]	鉄筋の許容引張応力度
Sck	[tf/m ²]	コンクリートの設計基準強度
Sca	[tf/m ²]	コンクリートの許容圧縮応力度
Sdx	[m]	許容変位
Ra	[tf]	許容支持力

付録-1 杭頭反力計算プログラム (一部)

[3]

```

DEFINT J
DEFDBL A, I, K, Z
CONST pi = 3.1415926535#
CONST C17 = 10 - 17
CONST C10 = .0000000001#
CONST C8 = .000000001#
CONST C6 = .0000001#
DIM I1 AS INTEGER
DIM SHARED nx AS INTEGER
nx = 2: j = 2
DIM alpha(j), theta(nx, j), phai(nx, j)
DIM n(nx), D(nx), t(nx), Sl(nx), l(nx), h(nx), A(nx), Ab(nx)
DIM l(nx), lb(nx), Gb(nx), x(nx), Kv(nx), k(nx)
DIM SHARED kuiseki AS STRING
DIM SHARED P(j), Pn(nx, j), PH(nx, j), PW(nx, j)
DIM SHARED Sn AS INTEGER
DIM SHARED dx(nx), dy(nx, j)
DIM SHARED E, Ec, El(nx), Elb(nx), Beta(nx)
DIM SHARED ta, Ssa, Sck, Sdx, Ra, Ila, Sta, Sisa
'初期データ
CALL shoki(n(), D(), t(), Sl(), x(), l(), h(), Kv(), k())
'入力データの変更
CALL impda(n(), D(), l(), t(), Sl(), x(), l(), h(), Kv(), k())

CLS: LOCATE 1, 30: COLOR 30: PRINT "計算中";
'断面定数の計算
IF n(0) = 0 THEN nx = 2 ELSE nx = 3
FOR j = 3 TO nx
  A(j) = (D(j) ^ 2 * (D(j) ^ 2 * t(j)) ^ 2) / 4# * pi
  Sl(j) = INT(INT(D(j) ^ .03#) / 2# + .5) * 2# / 100#
  Ab(j) = D(j) * Sl(j)
  lb(j) = D(j) * Sl(j) / 3
  12# = Gb(j)
  D(j) * Sl(j) ^ 2
  2#
  Elb(j) = Ec * lb(j)
NEXT j
Sta = Sck + 10# + 15#: Sca = Sck + 3#
'杭の総本数の算出
Sn = 0#: FOR j = 3 TO nx TO 2: Sn = Sn + n(j): NEXT j
COLOR 2: LOCATE 3, 1: PRINT "フーチング下面に作用する外力";
COLOR 7: LOCATE 4, 18: PRINT USING "Vo=###.###tf"; P(0);
LOCATE 4, 40: PRINT USING "Ho=###.###tf"; P(1);
LOCATE 4, 62: PRINT USING "Mo=###.###tf・m"; P(2);

```

[4]

```

'結果の表示画面
COLOR 11
LOCATE 6, 18: PRINT "剛結合";
LOCATE 6, 40: PRINT "ヒンジ結合";
LOCATE 6, 62: PRINT "回転バネ結合";
COLOR 2
LOCATE 7, 1: PRINT "フーチング";
COLOR 6
LOCATE 8, 2: PRINT "α [mrad]";
LOCATE 9, 2: PRINT "δx [cm]";
LOCATE 10, 2: PRINT "δy [cm]";
COLOR 2
LOCATE 12, 1: PRINT "杭";
FOR j = 0 TO 2: LOCATE 12, 19 + 22 * j: PRINT "1 2"; : NEXT j
COLOR 6
LOCATE 13, 2: PRINT "φi [mrad]";
LOCATE 14, 2: PRINT "θi [mrad]";
LOCATE 15, 2: PRINT "δyi [cm]";
LOCATE 17, 2: PRINT "Vi [tf]";
LOCATE 18, 2: PRINT "Hi [tf]";
LOCATE 19, 2: PRINT "Mi [tf・m]";
COLOR 7
'剛結合の計算
CALL gouketsu(n(), l(), h(), D(), x(), Kv(), k(), alpha(1))
'ヒンジ結合の計算
CALL hinge(n(), l(), h(), D(), x(), Kv(), alpha(2), theta(), phai())
'回転バネ結合の計算
CALL bane2(n(), l(), h(), D(), lb(), x(), Kv(), alpha(), theta(), phai())
'計算終了
'結果の出力
LOCATE 25, 27: COLOR 26: PRINT "印刷中";
'出力
CALL LPrint(n(), D(), Sl(), t(), x(), l(), h(), A(), Ab(), l(), lb(), Gb(), Kv(), k(), alpha(), theta(), phai())
'終了
st800: CLS: COLOR 26: LOCATE 12, 12

```

[5]

```

SUB bane2 (n(), l(), h(), D(), lb(), x(), Kv(), alpha(), theta(), phai())
DIM ddx(2)
COLOR 7
'フーチング傾斜角  $\alpha$  の仮定
a1 = alpha(2): a2 = alpha(1)
ban21: alpha(0) = (a1 + a2) / 2#
LOCATE 8, 65: PRINT USING "##.####": alpha(0) * 1000#;
'各列の抗頭反力  $V_i$  の算出
SKvx = 0#
FOR j = 1 TO nx: SKvx = SKvx + Kv(j) * x(j) * n(j): NEXT j
Vx = P(0) * alpha(0) * SKvx
SPN = 0#
FOR j = 1 TO nx
    PN(j, 0) = Vx * Sn - alpha(0) * Kv(j) * x(j)
    LOCATE 17, 50 + 10 * j: PRINT USING "###.####": PN(j, 0);
    SPN = SPN + PN(j, 0) * x(j) * n(j)
NEXT j
'各列の抗頭反力  $H_i$  の仮定
H1 = 0#: H2 = P(1) / n(1)
ban22: PH(1, 0) = (H1 + H2) / 2#
PH(2, 0) = (P(1) - PH(1, 0) * n(1)) / n(2)
FOR j = 1 TO nx
    LOCATE 18, 50 + 10 * j: PRINT USING "###.####": PH(j, 0);
NEXT j
FOR j = 1 TO nx
    Ko = Ec / D(j) * (1# - .3# ^ 2)
    KRd = Ko * lb(j)
    t1 = 0#: t2 = theta(j, 2)
    theta(j, 0) = (t1 + t2) / 2#
    LOCATE 14, 50 + 10 * j: PRINT USING "###.####": theta(j, 0) * 1000#;
    PH(j, 0) = Fm(theta(j, 0), PN(j, 0), KRd)
    phai(j, 0) = alpha(0) + theta(j, 0)
    ddx(j) = Fdelta(PH(j, 0), PH(j, 0), J(j), Beta(j), h(j), j)
    LOCATE 13, 50 + 10 * j: PRINT USING "###.####": phai(j, 0) * 1000#;
    LOCATE 19, 50 + 10 * j: PRINT USING "###.####": PH(j, 0);
    phaiD = Fphai(PH(j, 0), PH(j, 0), J(j), Beta(j), h(j), j)
    dpjD = phai(j, 0) - phaiD
    LOCATE 20 + j, 55: PRINT USING "Δφ=#.###mrad": j: ABS(dpjD) * 1000#;
    IF ABS(phai(j, 0) - phaiD) < C10 THEN GOTO ban24
    IF phai(j, 0) - phaiD THEN t1 = theta(j, 0) ELSE t2 = theta(j, 0)
    IF ABS(t1 - t2) < C17 THEN GOTO ban24
    GOTO ban23
ban24: NEXT j
'  $\delta x_1 = \delta x_2$ 
dx(0) = (ddx(1) + ddx(2)) / 2#
LOCATE 9, 65: PRINT USING "###.####": dx(0) * 100#;
dx12 = ddx(1) - ddx(2)
LOCATE 23, 55: PRINT USING "Δδx=#.###cm": ABS(dx12) * 100#;
IF ABS(dx12) < C10 THEN GOTO ban25
IF dx12 > 0# THEN H1 = PH(1, 0) ELSE H2 = PH(1, 0)
IF ABS(H1 - H2) < C17 THEN LOCATE 25, 30: PRINT "水平力が合わない": STOP
GOTO ban22
'  $\Sigma M = 0$ 

```

[6]

```

ban25: Sm = P(2)
FOR j = 1 TO 2: Sm = Sm + n(j) * (-PM(j, 0) - PN(j, 0) * x(j)): NEXT j
LOCATE 24, 55: PRINT USING "ΣM = ##.###tf·m": ABS(Sm);
IF ABS(Sm) < C6 THEN GOTO ban26
IF Sm > 0# THEN a1 = alpha(0) ELSE a2 = alpha(0)
GOTO ban21
ban26: FOR j = 1 TO 4: LOCATE 20 + j, 55: PRINT SPACES(22); : NEXT j
FOR j = 1 TO 2
    dy(j, 0) = PN(j, 0) / Kv(j)
    LOCATE 15, 50 + 10 * j: PRINT USING "###.####": dy(j, 0) * 100#;
NEXT j
dy(0, 0) = (dy(1, 0) - dy(2, 0)) / (x(2) - x(1)) * x(2) + dy(2, 0)
LOCATE 10, 65: PRINT USING "###.####": dy(0, 0) * 100#;
END SUB

FUNCTION Fm (theta, V, KRd)
    'M = θ / (Caθ + Cb)
    tt = ABS(theta * 1000#)
    Cb1 = -1.52253268132325
    Cb1 = -1.523#
    C1 = -.6288#;
    C1 = -.000417316269930013; C2 = -.0111766720357869
    C1 = -.0004173#;
    C3 = 4395.42824166968#;
    C4 = -.037#
    C4 = -.03700
    Ca2 = C1 * V + C2; Cb2 = C3 * EXP(C4 * V)
    Ca = KRd * Ca1 * Ca2; Cb = KRd * Cb1 * Cb2
    IF theta = 0 THEN
        Fm = -tt / (Ca * tt + Cb)
    ELSE
        Fm = tt / (Ca * tt + Cb)
    END IF
END FUNCTION

```

[7]

```

FUNCTION Fdelta (Hj, Mj, L, B, h, j)
  Bh = B * h: B1 = 2# * B * 1
  '有限長半無限長の判定
  IF L = 3 / B THEN
    '半無限長
    delth = ((1# + Bh) ^ 3 + .5#) * Hj / 3# EI(j) B ^ 3
    deltm = ((1# + Bh) ^ 2 * Mj / 2# EI(j) B ^ 2
    Fdelta = delth + deltm
  ELSE
    '有限長
    Mj = Mj + Hj * h
    IF kuisaki = "自 由" THEN
      '杭先端
      delta = 1# - 2# * (2# * COS(B1)) * EXP(-B1) + EXP(-2# * B1)
      C1H = ((1# - SIN(B1)) * EXP(-B1) - EXP(-2 * B1)) * Hj / delta
      C1M = -((COS(B1) + SIN(B1)) * EXP(B1) - EXP(-2 * B1)) * MHj * B / delta
      C1 = C1H + C1M
      C3H = ((1# - (1# * SIN(B1))) * EXP(-B1)) * Hj / delta
      C3M = ((1# - (COS(B1) - SIN(B1))) * EXP(B1)) * MHj * B / delta
      C3 = C3H + C3M
    ELSEIF kuisaki = "ヒンジ" THEN
      '杭先端
      delta = 1# - 2# * SIN(B1) * EXP(-B1) - EXP(-2# * B1)
      C1H = (COS(B1) * EXP(-B1) - EXP(-2 * B1)) * Hj / delta
      C1M = -((COS(B1) - SIN(B1)) * EXP(B1) + EXP(-2 * B1)) * MHj * B / delta
      C1 = C1H + C1M
      C3H = ((1# * COS(B1)) * EXP(-B1)) * Hj / delta
      C3M = ((1# + (COS(B1) + SIN(B1)) * EXP(B1)) * MHj * B / delta
      C3 = C3H + C3M
    ELSE
      '杭先端固定
      delta = 1# + 2# * (2# - COS(B1)) * EXP(-B1) + EXP(-2# * B1)
      C1H = -((1# + SIN(B1)) * EXP(-B1) + EXP(-2 * B1)) * Hj / delta
      C1M = -((COS(B1) + SIN(B1)) * EXP(B1) - EXP(-2 * B1)) * MHj * B / delta
      C1 = C1H + C1M
      C3H = ((1# + (1# - SIN(B1)) * EXP(-B1)) * Hj / delta
      C3M = ((1# - (COS(B1) - SIN(B1)) * EXP(B1)) * MHj * B / delta
      C3 = C3H + C3M
    END IF
    delth = Hj * h ^ 3 / 6# / EI(j)
    deltm = Mj * h ^ 2 / 2# EI(j)
    phai = Fphai(Hj, Mj, L, B, h, j)
    delta = (C1 + C3) / 2# / EI(j) / B ^ 3 + delta + delth + deltm
  END IF
END FUNCTION

```

[8]

```

FUNCTION Fphai (Hj, Mj, L, B, h, j)
  Bh = B * h: B1 = 2# * B * 1
  '有限長半無限長の判定
  IF L = 3 / B THEN
    '半無限長
    phih = ((1# + Bh) ^ 2 * Hj / 2# EI(j) B ^ 2
    phim = ((1# + Bh) * Mj / EI(j) B
    Fphai = phih + phim
  ELSE
    '有限長
    Mj = Mj + Hj * h
    IF kuisaki = "自 由" THEN
      '杭先端
      delta = 1# - 2# * (2# * COS(B1)) * EXP(-B1) + EXP(-2# * B1)
      C1H = ((1# - SIN(B1)) * EXP(-B1) - EXP(-2 * B1)) * Hj / delta
      C1M = -((COS(B1) - SIN(B1)) * EXP(B1) - EXP(-2 * B1)) * MHj * B / delta
      C1 = C1H + C1M
      C2H = ((1# * COS(B1)) * EXP(-B1)) * Hj / delta
      C2M = -((2# - COS(B1) + SIN(B1)) * EXP(B1) - EXP(-2 * B1)) * MHj * B / delta
      C2 = C2H + C2M
      C3H = ((1# - (1# + SIN(B1)) * EXP(-B1)) * Hj / delta
      C3M = ((1# - (COS(B1) - SIN(B1)) * EXP(B1)) * MHj * B / delta
      C3 = C3H + C3M
      C4H = -((1# - COS(B1)) * EXP(-B1)) * Hj / delta
      C4M = ((1# - (2# - COS(B1) - SIN(B1)) * EXP(B1)) * MHj * B / delta
      C4 = C4H + C4M
    ELSEIF kuisaki = "ヒンジ" THEN
      '杭先端
      delta = 1# - 2# * SIN(B1) * EXP(-B1) - EXP(-2# * B1)
      C1H = -((COS(B1) * EXP(-B1) - EXP(-2 * B1)) * Hj / delta
      C1M = -((COS(B1) - SIN(B1)) * EXP(B1) + EXP(-2 * B1)) * MHj * B / delta
      C1 = C1H + C1M
      C2H = -SIN(B1) * EXP(-B1) * Hj / delta
      C2M = -((COS(B1) + SIN(B1)) * EXP(B1) + EXP(-2 * B1)) * MHj * B / delta
      C2 = C2H + C2M
      C3H = ((1# - COS(B1)) * EXP(-B1)) * Hj / delta
      C3M = ((1# + (COS(B1) + SIN(B1)) * EXP(B1)) * MHj * B / delta
      C3 = C3H + C3M
      C4H = -SIN(B1) * EXP(-B1) * Hj / delta
      C4M = -((1# + (COS(B1) - SIN(B1)) * EXP(B1)) * MHj * B / delta
      C4 = C4H + C4M
    ELSE
      '杭先端固定
      delta = 1# + 2# * (2# + COS(B1)) * EXP(-B1) + EXP(-2# * B1)
      C1H = -((1# - SIN(B1)) * EXP(-B1) + EXP(-2 * B1)) * Hj / delta
      C1M = -((COS(B1) + SIN(B1)) * EXP(B1) - EXP(-2 * B1)) * MHj * B / delta
      C1 = C1H + C1M
      C2H = ((1# * COS(B1)) * EXP(-B1)) * Hj / delta
      C2M = -((2# + COS(B1) - SIN(B1)) * EXP(B1) - EXP(-2 * B1)) * MHj * B / delta
      C2 = C2H + C2M
      C3H = ((1# + (1# - SIN(B1)) * EXP(-B1)) * Hj / delta
      C3M = ((1# - (COS(B1) - SIN(B1)) * EXP(B1)) * MHj * B / delta
      C3 = C3H + C3M
      C4H = ((1# + COS(B1)) * EXP(-B1)) * Hj / delta
      C4M = -((1# + (2# + COS(B1) + SIN(B1)) * EXP(B1)) * MHj * B / delta
      C4 = C4H + C4M
    END IF
    phih = Hj * h ^ 2 / 2# / EI(j)
    phim = Mj * h / EI(j)
    Fphai = .5# / EI(j) / B ^ 2 * (-C1 - C2 - C3 - C4) + phim + phih
  END IF
END FUNCTION

```

```

SUB hinge (n(), l(), h(), D(), x(), Kv(), alpha, theta(), phai())
COLOR 7
'フーチング傾斜角  $\alpha$  の算出
Sx = 0#: SKvx = 0#: SKvx2 = 0#
FOR j = 1 TO nx
    Sx = Sx + n(j) * x(j)
    SKvx = SKvx2 + n(j) * Kv(j) * x(j)
    SKvx2 = SKvx2 + n(j) * Kv(j) * x(j) ^ 2
NEXT j
alpha = (Sn * P(2) - P(0) * Sx) / (Sn * SKvx2 - SKvx * Sx)
LOCATE 8, 43: PRINT USING "###.###"; alpha * 1000#;
'各列の抗頭反力  $M_i \cdot V_i$  の算出
Vx = (P(0) * alpha * SKvx) / Sn
FOR j = 1 TO nx
    PM(j, 2) = 0#
    PN(j, 2) = Vx - alpha * Kv(j) * x(j)
LOCATE 17, 28 + 10 * j: PRINT USING "###.###"; PN(j, 2);
LOCATE 19, 28 + 10 * j: PRINT USING "###.###"; PM(j, 2);
NEXT j
'各列の抗頭反力  $H_i$  および抗頭変位  $\delta x_i$ , 抗頭傾斜角  $\phi$  の算出
H1 = 0#: H2 = P(1) / n(1)
hin01: PH(1, 2) = (H1 + H2) / 2#: PH(2, 2) = (P(1) - PH(1, 2) * n(1)) / n(2)
FOR j = 1 TO 2
    LOCATE 18, 28 + 10 * j: PRINT USING "###.###"; PH(j, 2);
NEXT j
dx(2) = Fdelta(PH(1, 2), 0#, 1(1), Beta(1), h(1), 1)
delt2 = Fdelta(PH(2, 2), 0#, 1(2), Beta(2), h(2), 2)
LOCATE 9, 43: PRINT USING "###.###"; dx(2) * 100#;
dx12 = (dx(2) - delt2) * 100#
LOCATE 23, 40: PRINT USING "Δ  $\delta x$  = ###.### cm"; ABS(dx12);
IF ABS(dx(2) - delt2) = C10 THEN GOTO hin02
IF dx(2) - delt2 THEN H1 = PH(1, 2) ELSE H2 = PH(1, 2)
GOTO hin01
hin02: LOCATE 23, 40: PRINT SPACES(22);
FOR j = 1 TO nx
    phai(j, 2) = Fphai(PH(j, 2), 0#, 1(j), Beta(j), h(j), j)
    theta(j, 2) = phai(j, 2) - alpha
LOCATE 13, 28 + 10 * j: PRINT USING "###.###"; phai(j, 2) * 1000#;
LOCATE 14, 28 + 10 * j: PRINT USING "###.###"; theta(j, 2) * 1000#;
NEXT j
'各列の抗頭鉛直変位  $\delta y_i$  の算出
dy(j, 2) = PN(j, 2) / Kv(j)
LOCATE 15, 28 + 10 * j: PRINT USING "###.###"; dy(j, 2) * 100#;
NEXT j
dy(0, 2) = (dy(1, 2) - dy(2, 2)) / (x(2) - x(1)) * x(2) + dy(2, 2)
LOCATE 10, 43: PRINT USING "###.###"; dy(0, 2) * 100#;
END SUB

```

```

SUB gouktsu (n(), l(), h(), D(), x(), Kv(), k(), alpha)
COLOR 7
'各列の抗頭反力  $H_i$  の仮定
H1 = 0#: H2 = P(1) / n(1)
gou1: PH(1, 1) = (H1 + H2) / 2#
PH(2, 1) = (P(1) - PH(1, 1) * n(1)) / n(2)
FOR j = 1 TO nx
    LOCATE 18, 6 + 10 * j: PRINT USING "###.###"; PH(j, 1);
NEXT j
'抗頭反力  $M_i$  の仮定
M2 = 0#: M1 = -(P(0) * x(1) - P(2)) / n(1)
gou2: PM(1, 1) = (M1 + M2) / 2#
LOCATE 19, 16: PRINT USING "###.###"; PM(1, 1);
alpha = Fphai(PH(1, 1), PM(1, 1), 1(1), Beta(1), h(1), 1)
dx(1) = Fdelta(PH(1, 1), PM(1, 1), 1(1), Beta(1), h(1), 1)
LOCATE 8, 21: PRINT USING "###.###"; alpha * 1000#;
LOCATE 9, 21: PRINT USING "###.###"; dx(1) * 100#;
'各列の抗頭反力  $V_i$  の算出
SKvx = 0#
FOR j = 1 TO nx: SKvx = SKvx + Kv(j) * x(j) * n(j): NEXT j
Vx = P(0) - alpha * SKvx
SPN = 0#
FOR j = 1 TO nx
    PN(j, 1) = Vx / Sn + alpha * Kv(j) * x(j)
    LOCATE 17, 6 + 10 * j: PRINT USING "###.###"; PN(j, 1);
    SPN = SPN + PN(j, 1) * x(j) * n(j)
NEXT j
'抗頭反力  $M_2$  の算出
PM(2, 1) = (P(2) - PM(1, 1) * n(1) - SPN) / n(2)
LOCATE 19, 26: PRINT USING "###.###"; PM(2, 1);
alpha2 = Fphai(PH(2, 1), PM(2, 1), 1(2), Beta(2), h(2), 2)
alpha12 = (alpha1 - alpha2) * 1000#
LOCATE 22, 4: PRINT USING "Δ  $\alpha$  = ###.### mrad"; ABS(alpha12);
IF ABS(alpha - alpha2) = C10 THEN GOTO gou3
IF alpha - alpha2 THEN M1 = PM(1, 1) ELSE M2 = PM(1, 1)
GOTO gou2
gou3: dx2 = Fdelta(PH(2, 1), PM(2, 1), 1(2), Beta(2), h(2), 2)
dx12 = (dx(1) - dx2) * 100#
LOCATE 23, 4: PRINT USING "Δ  $\delta x$  = ###.### cm"; ABS(dx12);
IF ABS(dx(1) - dx2) = C8 THEN GOTO gou4
IF dx(1) - dx2 THEN H1 = PH(1, 1) ELSE H2 = PH(1, 1)
GOTO gou1
gou4: FOR j = 1 TO 2: LOCATE 21 + j, 4: PRINT SPACES(22); : NEXT j
FOR j = 1 TO nx
    dy(j, 1) = PN(j, 1) / Kv(j)
LOCATE 15, 6 + 10 * j: PRINT USING "###.###"; dy(j, 1) * 100#;
NEXT j
dy(0, 1) = (dy(1, 1) - dy(2, 1)) / (x(2) - x(1)) * x(2) + dy(2, 1)
LOCATE 10, 21: PRINT USING "###.###"; dy(0, 1) * 100#;
END SUB

```

No. 2 *****
馬紀實 *****
十一 *****

① 回転バネ結合	1	2
pile No.		
抗頭反力		
鉛直力	15.057	4.943
水平力	3.489	3.177
モーメント	-2.432	-1.492
7-7'の傾斜角 α [rad]	0.395	
抗の回転角 θ i [rad]	1.079	1.324
抗頭傾斜角 ϕ i [rad]	1.474	1.719
バネ定数 κ i [tf·m/rad]	2.255	1.127
7-7'の水平変位 δ x [mm]	6.355	
鉛直変位 δ y [mm]	0.941	0.309
判定		
①コンクリート		
圧縮応力度 σ ca (=70.0kgf/cm ²)	$\geq \sigma$ c1 (=23.7kgf/cm ²)	OK
剪断応力度 τ ca (=22.5kgf/cm ²)	$\geq \sigma$ c2 (=7.8kgf/cm ²)	OK
	$\geq \tau$ c1 (=5.5kgf/cm ²)	OK
	$\geq \tau$ c2 (=5.0kgf/cm ²)	OK
②直筋		
圧縮応力度 σ sa (=1,800kgf/cm ²)	$\geq \sigma$ s1 (=355.1kgf/cm ²)	OK
剪断応力度 τ sa (=800kgf/cm ²)	$\geq \sigma$ s2 (=116.6kgf/cm ²)	OK
	$\geq \tau$ s1 (=82.3kgf/cm ²)	OK
	$\geq \tau$ s2 (=74.9kgf/cm ²)	OK
(コブクリート無)	$\geq \tau$ s1 (=688.5kgf/cm ²)	OK
	$\geq \tau$ s2 (=626.9kgf/cm ²)	OK
③支持力		
鉛直支持力 Ra (=16,500tf)	$\geq V$ 1 (=15,057tf)	OK
	$\geq V$ 2 (=4,943tf)	OK
水平支持力 Ha (=5,000tf)	$\geq H$ 1 (=3,489tf)	OK
	$\geq H$ 2 (=3,177tf)	OK
④回転角 θ a (=2mrad)	$\geq \theta$ 1 (=1.079mrad)	OK
	$\geq \theta$ 2 (=1.324mrad)	OK

[illegible]

***** ***** ***** 計算結果 ***** ***** No. 3 *****

② 剛結合

pile No.		1	2
抗頭反力			
鉛直力	Vi [tf]	17.484	2.516
水平力	Hi [tf]	3.333	3.333
モーメント	Mi [tf・m]	-3.903	-3.903

7-7'の傾斜角	α [mrad]	0.585
7-7'の水平変位	δx [mm]	4.830
鉛直変位	δyi [mm]	1.093
		0.157

判定

① コンクリート (鉄筋無)

圧縮応力度	σ_{ca} (=70.0kgf/cm ²)	$\geq \sigma_{c1}$ (=13.9kgf/cm ²)	OK
		$\geq \sigma_{c2}$ (=2.0kgf/cm ²)	OK

② 水平変位	δa (=1.00cm)	$\geq \delta x$ (=0.483cm)	OK
--------	----------------------	----------------------------	----

③ 支持力			
鉛直支持力	Ra (=16.500 tf)	< V1 (=17.484tf)	NG
		$\geq V2$ (=2.516tf)	OK
水平支持力	Ha (=5.000tf)	$\geq H1$ (=3.333tf)	OK
		$\geq H2$ (=3.333tf)	OK

***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** *****

③ ヒンジ結合

pile No.		1	2
抗頭反力			
鉛直力	Vi [tf]	12.855	7.656
水平力	Hi [tf]	3.333	3.333
モーメント	Mi [tf・m]	0.000	0.000

7-7'の傾斜角	α [mrad]	0.203
7-7'の水平変位	δx [mm]	7.896
抗頭傾斜角	θi [mrad]	2.415
鉛直変位	δyi [mm]	0.804
		0.479

判定

① コンクリート (鉄筋無)

圧縮応力度	σ_{ca} (=70.0kgf/cm ²)	$\geq \sigma_{c1}$ (=10.2kgf/cm ²)	OK
		$\geq \sigma_{c2}$ (=5.1kgf/cm ²)	OK

② 支持力			
鉛直支持力	Ra (=16.500tf)	$\geq V1$ (=12.865tf)	OK
		$\geq V2$ (=7.656tf)	OK
水平支持力	Ha (=5.000tf)	$\geq H1$ (=3.333tf)	OK
		$\geq H2$ (=3.333tf)	OK

***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** *****