

フォーラムエイト製品を利用した 「S T マイクロパイル」の設計

2003年 10月
株式会社 フォーラムエイト
FORUM 8

目次

はじめに	1
・ 道路橋示方書に基づく杭基礎の設計法	2
- 1 基礎全体の構造モデル	2
1 道路橋示方書において用いている変位法が適用できる構造モデル	2
2 フーチングを剛体とみなせない場合の構造モデル	4
- 2 杭頭でのバネ定数の算定	4
- 3 常時、レベル1地震時の解析	6
- 4 レベル2地震時の解析	6
1 解析における仮定	6
2 荷重増分法と構造モデル	7
3 解析を簡便にするための仮定	7
・ 「F8製品」を利用した「STマイクロパイル」の設計	8
- 1 STマイクロパイルタイプ の設計	8
1 STマイクロパイルタイプ と一般の鋼管杭との違い	8
2 「F8製品」の効率的な利用方法	8
3 設計例に準じた照査の手順	9
- 2 マイクロパイルタイプ の設計	12
1 STマイクロパイルタイプ と鋼管ソイルセメント杭および一般の鋼管杭との違い	12
2 「F8製品」の効率的な利用方法	12
3 設計例に準じた照査の手順	13
- 3 増し杭工法の場合	16
1 増し杭工法の場合に固有の入力について	16
計算例との比較	17
- 1 研究会の設計・施工マニュアル(案)の計算例	17
- 1 - 1 STマイクロパイルタイプ の計算例との比較	17
1 結果の比較	17
- 1 - 2 STマイクロパイルタイプ の計算例との比較	18
1 結果の比較	18
2 結果の相違点と見解	22
多層地盤の取扱い等について	23
- 1 換算載荷幅の算定	23
参考) 多層地盤の特性値の算定フロー	24
- 2 多層地盤の各層の地盤地盤反力係数	25
- 3 単一地盤としての取扱いとの違い	25
- 4 杭長と軸直角方向のバネ定数の関係	26
1 半無限長の杭	26
2 $\quad = \quad$ のときの杭頭のバネ定数	27
3 $\quad = \quad / 2$ のときの杭頭のバネ定数	28

はじめに

当社の基礎関連製品UC - 1「杭基礎の設計」「基礎の設計計算」では、「マイクロパイル工法」をサポートすることが懸案事項であり、現在、サポートを前提とした検討を行っています。

2003年9月に開発に着手し、2004年1月にリリースする予定です。

「マイクロパイル工法」が上記の製品でサポートできれば、ここで申し上げる前準備のような余計な手間をかけずに手軽に検討ができるようになりますが、それまでの間、現行の製品を上手に利用することによって「マイクロパイル」の照査ができることを知って頂くことは無駄ではなく、また杭基礎の設計がどのようになされているのかを整理しておくことも必要ではないかと考え、本資料を整備しました。

本資料の記述は、当社のUC - 1製品「杭基礎の設計」「基礎の設計計算」プログラムのバージョン2.xx.xx、3.xx.xxを利用することを前提としたものです。

本資料では、当社のUC - 1製品「杭基礎の設計」「基礎の設計計算」プログラムの略称として「F8製品」という用語を用いています。

道路橋示方書に基づく杭基礎の設計法

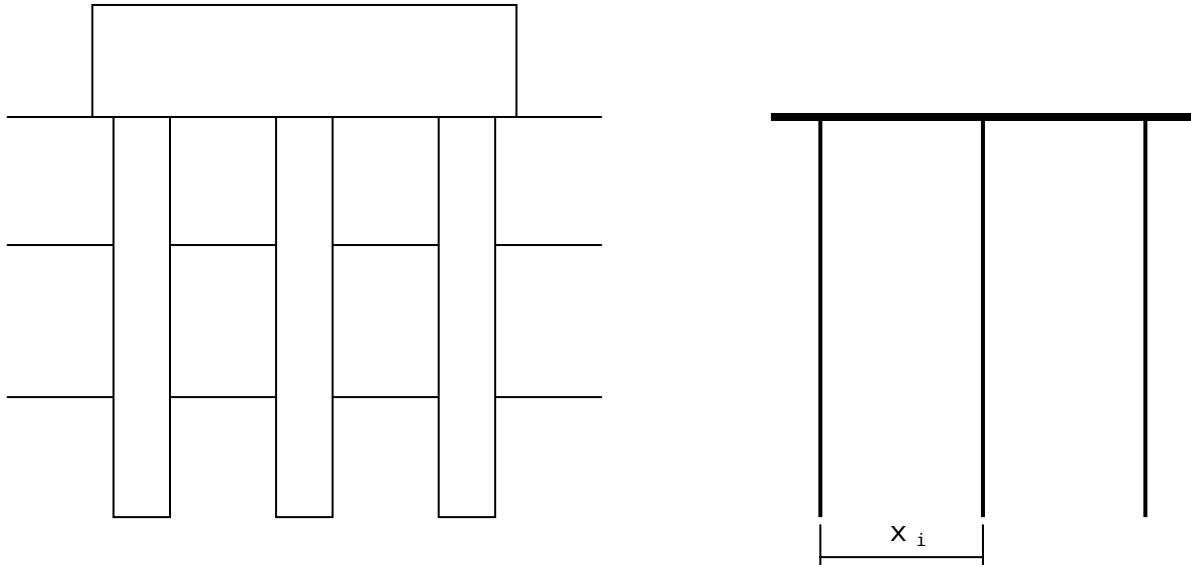
- 1 基礎全体の構造モデル

1. 道路橋示方書において用いている変位法が適用できる構造モデル

フーチング : 剛体

杭軸方向 : 軸方向のバネ

杭軸直角方向 : 前面の地盤バネで支持されたはり



- 各杭列の杭頭の変位を杭群中心での変位で表すことができる。

$$\begin{aligned} x_i &= x \\ y_i &= y + \cdot X_i \\ i &= \end{aligned}$$

- 3行3列の剛性行列により杭群中心での変位と作用力の関係を表すことができる。

$$\begin{pmatrix} H_0 \\ V_0 \\ M_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{xx} & A_{xy} & A_x \\ A_{yx} & A_{yy} & A_y \\ A_x & A_y & A \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
A_{xx} &= (K_1 \cos^2 \theta_i + K_V \sin^2 \theta_i) \\
A_{xy} = A_{yx} &= (K_V - K_1) \sin \theta_i \cos \theta_i \\
A_x = A_{ax} &= \{(K_V - K_1) x_i \sin \theta_i \cos \theta_i - K_2 \cos \theta_i\} \\
A_{yy} &= (K_V \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i) \\
A_y = A_{ay} &= \{(K_V \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i) x_i + K_2 \sin \theta_i\} \\
A &= \{(K_V \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i) x_i^2 + (K_2 + K_3) x_i \sin \theta_i + K_4\}
\end{aligned}$$

ここに、

H_0 : 原点 0 に作用する水平荷重 (kN)

V_0 : 原点 0 に作用する鉛直荷重 (kN)

M_0 : 原点 0 の回りの外力によるモーメント (kN・m/m)

x : 原点 0 の水平変位 (m)

y : 原点 0 の鉛直変位 (m)

θ : 原点 0 の回転変位 (rad)

x_i : i 番目の杭の杭頭の X 座標

θ_i : i 番目の杭の杭軸が鉛直軸となす角度

K_1 : 杭頭部に回転変位を生じないようにして、杭頭部を杭軸直角方向に単位量だけ変位させるとき、杭頭部に作用させるべき軸直角方向力 (kN/m)

K_2 : 杭頭部に水平変位を生じないようにして、杭頭部を単位量だけ回転させるとき、杭頭部に作用させるべき軸直角方向力 (kN/rad)

K_3 : 杭頭部に回転変位を生じないようにして、杭頭部を杭軸直角方向に単位量だけ変位させるとき、杭頭部に作用させるべき曲げモーメント (kN・m/m)

K_4 : 杭頭部に水平変位を生じないようにして、杭頭部を単位量だけ回転させるとき、杭頭部に作用させるべき曲げモーメント (kN・m/rad)

K_V : 杭頭において単位量の杭軸方向の変位を生じさせるとき、杭頭部に作用させるべき杭軸方向力 (kN/m)

原点における作用力が既知であるから、原点における変位は次式で求めることができる。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{xx} & A_{xy} & A_x \\ A_{yx} & A_{yy} & A_y \\ A_x & A_y & A \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} H_0 \\ V_0 \\ M_0 \end{pmatrix}$$

上記式で求められた原点の変位より各杭の杭頭に作用する力はそれぞれ次式で与えられる。

$$P_{Ni} = K_V y_i'$$

$$P_{Hi} = K_1 x_i' - K_2$$

$$M_{ti} = -K_3 x_i' + K_4$$

$$x_i' = x \cos \theta_i - (y + x_i) \sin \theta_i$$

$$y_i' = x \sin \theta_i + (y + x_i) \cos \theta_i$$

ここに、

P_{Ni} : 各杭頭に作用する杭軸方向力 (kN)

P_{Hi} : 各杭頭に作用する杭軸直角方向力 (kN)

M_{ti} : 各杭頭に作用する曲げモーメント (kN・m)

x_i' : i 番目の杭の杭頭の軸直角方向変位 (m)

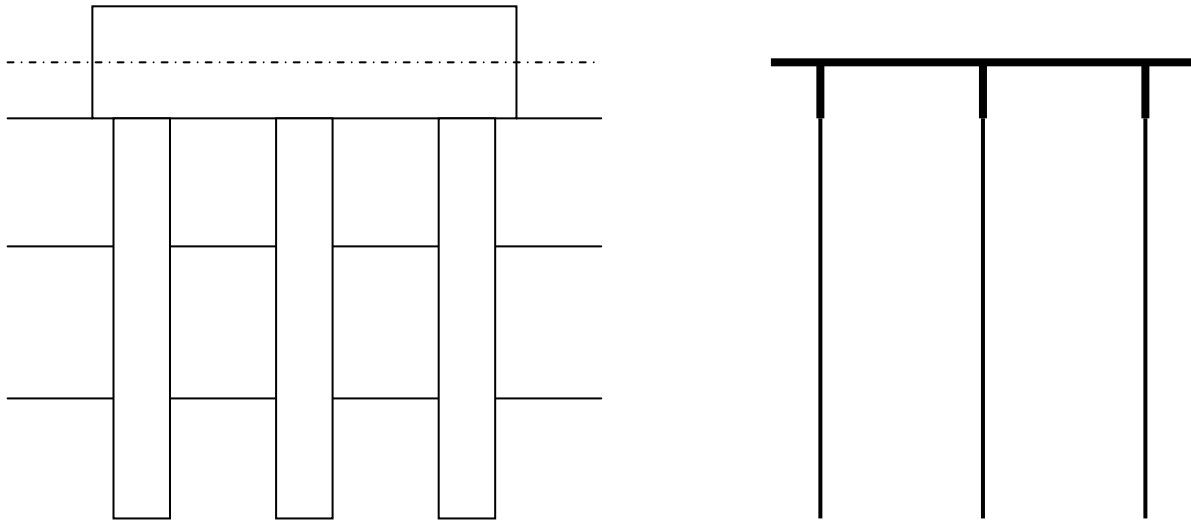
y_i' : i 番目の杭の杭頭の軸方向変位 (m)

2. フーチングを剛体とみなせない場合の構造モデル

フーチング : はり

杭軸方向 : 軸方向のバネ

杭軸直角方向 : 前面の地盤バネで支持されたはり



- ・各杭列の杭頭の変位をフーチング中心の変位で表すことができない。(杭頭の回転角等は杭列により異なる)
- ・バネ支点で支持されたはりとして解析する必要がある。

- 2 杭頭でのバネ定数の算定

杭頭のパネ定数は各地層ごとに地盤のパネで支持されたいわゆる弾性床上的のりがつなぎ合わされたものとして伝達マトリックスを用いて求めるのが便利である。

地層 i の上端の変位と力および下端の変位と力の関係は以下のように表すことができる。

$$\begin{pmatrix} (i)L \\ (i)L \\ M_{(i)L} \\ Q_{(i)L} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C11_{(i)} & C12_{(i)} & C13_{(i)} & C14_{(i)} \\ C21_{(i)} & C22_{(i)} & C23_{(i)} & C24_{(i)} \\ C31_{(i)} & C32_{(i)} & C33_{(i)} & C34_{(i)} \\ C41_{(i)} & C42_{(i)} & C43_{(i)} & C44_{(i)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} (i)U \\ (i)U \\ M_{(i)U} \\ Q_{(i)U} \end{pmatrix}$$

$\begin{pmatrix} (i+1)U \\ (i+1)U \\ M_{(i+1)U} \\ Q_{(i+1)U} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (i)L \\ (i)L \\ M_{(i)L} \\ Q_{(i)L} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C11_{(i)} & C12_{(i)} & C13_{(i)} & C14_{(i)} \\ C21_{(i)} & C22_{(i)} & C23_{(i)} & C24_{(i)} \\ C31_{(i)} & C32_{(i)} & C33_{(i)} & C34_{(i)} \\ C41_{(i)} & C42_{(i)} & C43_{(i)} & C44_{(i)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} (i)U \\ (i)U \\ M_{(i)U} \\ Q_{(i)U} \end{pmatrix}$

いま、 $\begin{pmatrix} (i)U \\ (i)U \\ M_{(i)U} \\ Q_{(i)U} \end{pmatrix} = X_{iU} \quad \begin{pmatrix} C11_{(i)} & C12_{(i)} & C13_{(i)} & C14_{(i)} \\ C21_{(i)} & C22_{(i)} & C23_{(i)} & C24_{(i)} \\ C31_{(i)} & C32_{(i)} & C33_{(i)} & C34_{(i)} \\ C41_{(i)} & C42_{(i)} & C43_{(i)} & C44_{(i)} \end{pmatrix} = C_i$

とおけば、

$$X_{nL} = C_n \cdot C_{n-1} \cdot \dots \cdot C_2 \cdot C_1 \cdot X_{1U}$$

$$= C \cdot X_{1U}$$

ここに、

X_{nL} : 杭先端の変位および力

X_{1U} : 杭頭の変位および力

$$\begin{pmatrix} nL \\ nL \\ M_{nL} \\ Q_{nL} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C11 & C12 & C13 & C14 \\ C21 & C22 & C23 & C24 \\ C31 & C32 & C33 & C34 \\ C41 & C42 & C43 & C44 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1U \\ 1U \\ M_{1U} \\ Q_{1U} \end{pmatrix}$$

ここで、杭先端の境界条件を考慮すれば、杭頭の力と変位の関係を求めることが可能である。

(杭先端がヒンジの場合の例)

$$\begin{pmatrix} nL \\ nL \\ M_{nL} \\ Q_{nL} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ nL \\ 0 \\ Q_{nL} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C11 & C12 & C13 & C14 \\ C21 & C22 & C23 & C24 \\ C31 & C32 & C33 & C34 \\ C41 & C42 & C43 & C44 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1U \\ 1U \\ M_{1U} \\ Q_{1U} \end{pmatrix}$$

$$1 \text{ 行目より、} C11 \cdot 1U + C12 \cdot 1U + C13 \cdot M_{1U} + C14 \cdot Q_{1U} = 0$$

$$3 \text{ 行目より、} C31 \cdot 1U + C32 \cdot 1U + C33 \cdot M_{1U} + C34 \cdot Q_{1U} = 0$$

上記の方程式を、 M_{1U} および Q_{1U} が既知として解けば、杭頭における力と変位の関係を知ることができる。

$$\begin{pmatrix} 1U \\ 1U \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f11 & f12 \\ f21 & f22 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Q_{1U} \\ M_{1U} \end{pmatrix}$$

$$f11 = (C12 \cdot C34 - C14 \cdot C32) / (C11 \cdot C32 - C12 \cdot C31)$$

$$f12 = (C12 \cdot C33 - C13 \cdot C32) / (C11 \cdot C32 - C12 \cdot C31)$$

$$f21 = (C14 \cdot C31 - C11 \cdot C34) / (C11 \cdot C32 - C12 \cdot C31)$$

$$f22 = (C13 \cdot C31 - C11 \cdot C33) / (C11 \cdot C32 - C12 \cdot C31)$$

$$\begin{pmatrix} Q_{1U} \\ M_{1U} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K11 & K21 \\ K21 & K22 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1U \\ 1U \end{pmatrix}$$

$$K11 = (C11 \cdot C33 - C13 \cdot C31) / (C13 \cdot C34 - C14 \cdot C33)$$

$$K12 = (C12 \cdot C33 - C13 \cdot C32) / (C13 \cdot C34 - C14 \cdot C33)$$

$$K21 = (C14 \cdot C31 - C11 \cdot C34) / (C13 \cdot C34 - C14 \cdot C33)$$

$$K22 = (C14 \cdot C32 - C12 \cdot C34) / (C13 \cdot C34 - C14 \cdot C33)$$

杭頭がヒンジ結合の場合は、

$$1u = f11 \cdot Q_{1u}$$

より、

$$K11 = (C11 \cdot C32 - C12 \cdot C31) / (C12 \cdot C34 - C14 \cdot C32)$$

$$K12 = 0$$

$$K21 = 0$$

$$K22 = 0$$

- 3 常時、レベル1地震時の解析

常時およびレベル1地震時の解析は以下の仮定に基づいて行う。

地盤の水平方向地盤反力係数は線形であり、地盤の降伏は考えない。（地盤は弾性範囲内にあるものとする）

杭の軸方向バネは線形バネとする。

杭体は降伏に達していないので弾性体とみなす。

- 4 レベル2地震時の解析

1. 解析における仮定

レベル2地震時の解析は地盤および杭体の非線形性を考慮して行う。

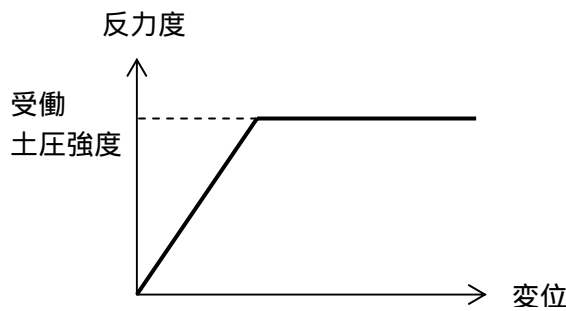
地盤の水平方向の初期剛性（初期地盤反力係数）はレベル1地震時と同じとする。

地盤反力度は水平地盤反力度の上限値（＝受働土圧強度）を超えない。

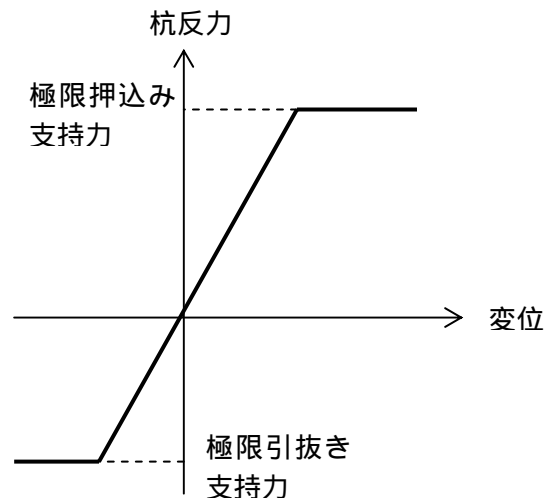
杭の軸方向バネの初期剛性は常時およびレベル1地震時と同じとする。

杭の押し込み力および引抜き力はそれぞれ支持力の上限値（＝極限支持力）を超えない。

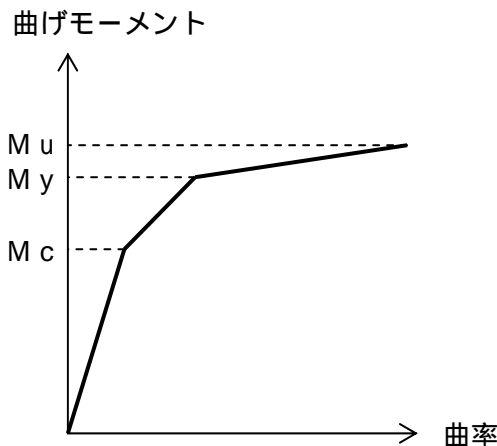
杭は曲げ剛性がモーメントに応じて変化する弾塑性体とする。（M - 関係による）



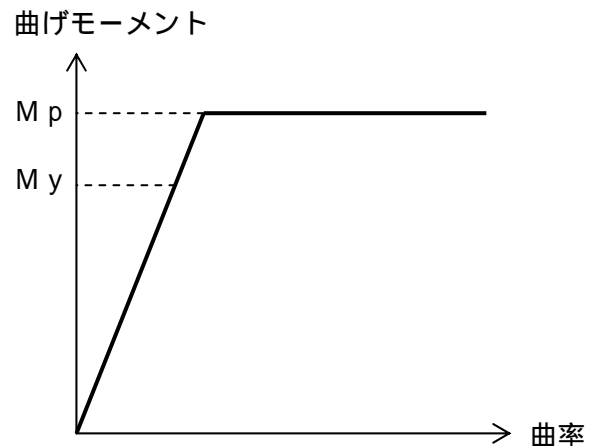
地盤の変位と反力度の関係



杭の変位と軸方向反力の関係



コンクリート系杭の曲げモーメントと曲率の関係



鋼管杭の曲げモーメントと曲率の関係

2. 荷重増分法と構造モデル

静的非線形解析を行う場合、荷重増分法を適用するのが一般的である。荷重増分法による杭基礎の非線形解析は以下の手順で行う。

弾性モデルを作成する。

弾性モデルに初期荷重（地震時慣性力によらない荷重：鉛直力など）を載荷する。

地震時慣性力に起因する荷重を分割する。

分割した荷重を弾性モデルに載荷する。（ 1 ）

分割した荷重の載荷を続け、既に載荷した荷重による杭反力、断面力、地盤反力の合計を求める。

杭反力の和が極限支持力に達した場合は、それ以降当該杭の軸方向のバネをはずす。

このステップ以降は杭反力は増減しない。

地盤反力度の和が上限値に達した場合は、それ以降地盤のバネをはずす。

このステップ以降は地盤反力度は増加しない。

杭体の曲げ剛性は、杭体の累加曲げモーメントを杭体の曲げモーメントと曲率の関係に適用して定める。

- 1 初期荷重により地盤等が塑性化する場合には、初期荷重も分割して載荷する。

荷重増分法においてもフーチングを剛体とみなす場合には、各荷重ステップにおいて下記の式は成立している。（ここでは簡単のため底版前面の水平抵抗を考えない場合を示している。）

$$\begin{pmatrix} H_0 \\ V_0 \\ M_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{xx} & A_{xy} & A_x \\ A_{yx} & A_{yy} & A_y \\ A_x & A_y & A \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

$$A_{xx} = (K_1 \cos^2 \theta_i + K_V \sin^2 \theta_i)$$

$$A_{xy} = A_{yx} = (K_V - K_1) \sin \theta_i \cos \theta_i$$

$$A_x = A_x = \{(K_V - K_1) x_i \sin \theta_i \cos \theta_i - K_2 \cos \theta_i\}$$

$$A_{yy} = (K_V \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i)$$

$$A_y = A_y = \{(K_V \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i) x_i + K_2 \sin \theta_i\}$$

$$A = \{(K_V \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i) x_i^2 + (K_2 + K_3) x_i \sin \theta_i + K_4\}$$

ここに、

H_0 、 V_0 、 M_0 ：各荷重ステップにおいて杭群中心に作用する荷重

K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 、 K_V ：各荷重ステップにおける杭体の曲げ剛性や地盤の塑性化の状態から決まる杭体のバネ定数となるだけである。

3. 解析を簡便にするための仮定

前項で述べた解析において問題として残されているのは、杭体の曲げ剛性の取扱いである。

鋼管杭にしても、コンクリート系の杭にしても降伏モーメントおよび全塑性モーメント、終局モーメントは杭に作用している軸方向力によって大きく左右される。

地震時においては押し込み側の杭の軸方向力は死荷重時に比べて大きくなり、また、引抜き側の杭の軸方向力は著しく減少する。本来であれば、この軸方向力の変動を考慮して杭体の曲げ剛性を設定すべきであるが、荷重ステップごとにM - 関係を求めこれに応じて杭体のバネ定数を算定し計算を行うことは煩雑であり、実用的ではないと考え軸方向力に変動がないものとして、降伏モーメントおよび全塑性モーメント、終局モーメントを求めてM - 関係を設定している。

「F 8 製品」を利用した「STマイクロパイル」の設計

- 1 STマイクロパイルタイプ の設計

本章の1.に、STマイクロパイル と一般の鋼管杭との違いを比較し、2.では「F 8 製品」の効率的な利用方法を提示する。

さらに3.に、UC - 1「杭基礎の設計」利用時の具体的なプログラムの操作方法、手順を示す。

1. STマイクロパイルタイプ と一般の鋼管杭との違い

項目	STマイクロパイルタイプ	一般の鋼管杭	
支持力	周面摩擦力を考慮する範囲	N値、地質の如何によらず杭頭から1 / の区間の周面摩擦力は無視する。	N値が2以下の軟弱層については摩擦を考慮しない。
	周面摩擦力	グラウトするため場所打ち杭と同様である。	工法により異なる。
	杭先端の支持力度	グラウトするため場所打ち杭と同様である。	工法により異なる。
	支持力を算定する場合の杭径	グラウト体の外径	鋼管杭の外径
杭の軸方向バネ定数	$K_v = a \cdot A_p \cdot E_p / L$ $a = 0.0249 (L/D) - 0.4404$ L: 杭長 D: 鋼管杭径で錆び代を考慮しない値 A _p : 錆び代を考慮した鋼管の有効断面積	$K_v = a \cdot A_p \cdot E_p / L$ a: 工法により異なる L: 杭長 D: 鋼管杭径で錆び代を考慮しない値 A _p : 錆び代を考慮した鋼管の有効断面積	

水平方向地盤反力係数KH算出時には鋼管の剛性のみを考慮するため、一般の鋼管杭と同じ扱い。

2. 「F 8 製品」の効率的な利用方法

上記の比較表から明らかなように、マイクロパイルタイプ と一般の鋼管杭との違いはそれ程大きくはない。したがって、「F 8 製品」を利用する場合、杭種を「鋼管杭」に設定して解析を行うのが効率的である。

参考) 「F 8 製品」を利用する前に

上記の比較表に記したように、STマイクロパイル と一般の鋼管杭とは、

a) 支持力

b) 杭の軸方向バネ定数

の算定法が異なる。

そのため、「F 8 製品」で「杭種」=「鋼管杭」として解析を行うにあたっては、事前に a)b)の値を求めておき、プログラムに直接入力する必要がある。

上記 a)b)の計算はプログラムを必須とするほど複雑なものではないので、手計算などにより別途求めておくのが良い。

ただし、STマイクロパイル の設計では、支持力算定において杭頭から1 / 区間の周面摩擦を無視する必要があり、1 / も事前に求めておく必要がある。道路橋示方書にも記されるように1 / 算定は収束計算をとまなうものであり、これについてはプログラムなどの利用が必要となる。

3. 設計例に準じた照査の手順

「STマイクロパイル工法 設計・施工マニュアル(2002年5月) NII研究会」に掲載されているマイクロパイルの計算例を、UC-1「杭基礎の設計」を用いて設計する場合の手順と留意すべき事項について以下に記す。

表中の<省略>は、項目の記述を省略したことを示す。

「入力値」欄の<適宜>は、設計条件に合うデータを適宜入力することを指す。

Step	大分類	小分類	大項目	中項目	小項目 (入力項目)	入力値	備考		
1-1	初期 入力	-	基本・設計条件	基本条件	照査対象	新設・既設			
1-2					<省略>	<適宜>			
1-3				計算条件	底板前面水平抵抗	無し	1)考慮することも可能		
1-4			<省略>	<適宜>					
1-5			抽出方法	<省略>	<適宜>				
1-6			杭の条件	新設・既設	杭種	鋼管杭			
1-7					<省略>	<適宜>			
2-1	考え 方	支持力・ バネ値	支持力・引抜き力	-	<省略>	<適宜>	1)支持力・引抜き力の算出は別途行うのでどのような設定でも構わない。		
2-2			KH値、KV値等	-	地震時のBH算出時の・E ₀	常時			
2-3		-	-	<省略>	<適宜>				
2-4		応力度照査	-	-	<省略>	<適宜>	1)初期値のままで良いかを確認する。		
3-1	形状	地層	<省略>	<省略>	<省略>	<適宜>	1)層数、層厚、地盤種別、N値、単位重量等、地層に関するデータを入力する。(地層は地表面から全て入力するのが良い。)		
3-2		基本条件	-	断面の変化	なし				
3-3			<省略>	<省略>	<適宜>				
3-4			寸法	<省略>	<省略>	<適宜>	1)フーチングの平面寸法、杭の縁端距離、列数などを入力する。		
3-5		移動	<省略>	<省略>	<適宜>	1)杭配置を詳細指定する場合に変更する			
3-6		杭配置	データ1	鋼管杭	杭外径	鋼管径 D _s			
3-7					<省略>	<適宜>	1)高張力鋼管杭の材質は現在サポートされていない。鋼管の許容値は別途指定が可能なのでここでの選択はどちらでも良い。		
3-8					データ2	-	<省略>	<適宜>	1)マイクロパイルのマニュアルにあわせるために外側錆び代を入力する
3-9					基礎天端	-	<省略>	<適宜>	1)基礎天端標高が第1層の上面より高い場合は突出の状態となる。

表中の<省略>は、項目の記述を省略したことを示す。

「入力値」欄の<適宜>は、設計条件に合うデータを適宜入力することを指す。

Step	大分類	小分類	大項目	中項目	小項目 (入力項目)	入力値	備考
3-10		底版前面抵抗	<省略>	<省略>	<省略>	<適宜>	1)底版前面の抵抗高と前面地盤の変形係数を入力する。 2)前面抵抗を考慮する荷重状態に対して層の上端及び下端における抵抗値の上限値を入力する。 3)前面地盤のバネ定数は自動計算するが、抵抗値は自動計算されない。 本入力は、Step1-3で底版前面水平抵抗を考慮する設定とした場合に行う。
3-11		底版	<省略>	<省略>	<省略>	<適宜>	1)フーチングの厚さと柱の寸法を入力する。
4-1	材料	-	<省略>	-	<省略>	<適宜>	1)鋼管杭以外の材料のデータを入力する。
5-1			基本条件	-	作用力の入力方法	入力値	1)"入力値"を選択すると、フーチング底面での作用力を入力するモードとなる。 2)"自動計算"を選択すると、橋脚柱下端の作用力と震度を入力するモードとなる。
5-2				<省略>	<省略>	-	1)Step5-1で自動計算を選択した場合に他のデータの入力が必要となる。
5-3	作用力	常時,レベル1	荷重ケースの設定	<省略>	<省略>	<適宜>	1)常時およびレベル1地震時の荷重ケースと作用力を入力する。 2)検討方向は、 Y:橋軸方向 X:橋軸直角方向 をプログラムの初期設定値としている。 方向の名称は、メインメニューの[基準値 設計条件]により変更できる
6-1	許容値	杭体	<省略>	<省略>	<省略>	<適宜>	1)杭体の降伏点、許容値などを入力する。(降伏点はレベル2地震時照査用) Step3-7で選択した材質について、設計に用いる高張力鋼管の諸値を入力する。
6-2		許容変位量	<省略>	<省略>	<省略>	<適宜>	

表中の<省略>は、項目の記述を省略したことを示す。

「入力値」欄の<適宜>は、設計条件に合うデータを適宜入力することを指す。

Step	大分類	小分類	大項目	中項目	小項目 (入力項目)	入力値	備考
7-1	予備計算	常時, レベル1	左記の[常時, レベル1]ボタンを押した時の動作				1) 予備計算を実行すると入力、確認画面が開く。 2) 再計算を実行するとKHだけでなく、Kvや許容支持力も再計算されるので、KHを変更しない場合は「取消し」により画面を開いて数値を確認する必要がある。
7-2			Kv値	<省略>	<省略>	<適宜>	2) Kvに別途算出した杭軸方向のバネ定数を入力する。
7-3			許容支持力	<省略>	<省略>	<適宜>	1) 特性長から周面摩擦力を無視する層厚を求め、支持力の計算を別途行い、入力する。
7-4			<省略>	<省略>	<省略>	-	1) 他の予備計算結果の確認を行う。

以上で、計算のために必要な操作は完了となる。

画面上部の「処理モードの選択」にある【計算確認】ボタンを押すと計算が実行される。

- 2 マイクロパイルタイプ の設計

本章の1.に、STマイクロパイル と一般の鋼管杭との違いを比較し、2.では「F8製品」の効率的な利用方法を提示する。

さらに3.に、UC-1「杭基礎の設計」利用時の具体的なプログラムの操作方法、手順を示す。

1. STマイクロパイルタイプ と鋼管ソイルセメント杭および一般の鋼管杭との違い

項目	STマイクロパイルタイプ	鋼管ソイルセメント杭	一般の鋼管杭
支持力	周面摩擦力を考慮する範囲	N値、地質の如何によらず杭頭から1/ の区間の周面摩擦力は無視する。	N値が2以下の軟弱層については摩擦を考慮しない。
	周面摩擦力	改良体を造成するため場所打ち杭と同様である。	鋼管ソイルセメント杭工法による。
	杭先端の支持力度	改良体を造成するため場所打ち杭と同様である。	先端地盤の地盤の種類とN値とで与える。
	支持力を算定する場合の杭径	改良体の造成径	ソイルセメント柱径
杭の軸方向バネ定数	$K_v = a \cdot A_p \cdot E_p / L$ $a = 0.0249 (L/D) - 0.4404$ L: 杭長 D: 鋼管杭径で錆び代を考慮しない値 A _p : 錆び代を考慮した鋼管の有効断面積	$K_v = a \cdot (A_{sp} + A_{sc}) / L$ $a = 0.040 (L/D) + 0.15$ L: 杭長 D: ソイルセメント柱径 A _{sp} : 錆び代を考慮した鋼管の有効断面積 A _{sc} : ソイルセメント柱の純断面積	$K_v = a \cdot A_p \cdot E_p / L$ a: 工法により異なる L: 杭長 D: 鋼管杭径で錆び代を考慮しない値 A _p : 錆び代を考慮した鋼管の有効断面積
水平地盤反力係数	杭の幅	D': 鋼管端部から約 20° の範囲に設定した計算上の抵抗幅	ソイルセメント柱径
	杭体の曲げ剛性	鋼管の曲げ剛性とする。(錆び代を考慮している例が多い)	ソイルセメントの一軸圧縮強度が 1N/mm ² 程度の場合には鋼管のみの曲げ剛性としてよい。(錆び代を考慮している例が多い)
最小中心間隔	改良体造成径 D _c の 2.5 倍	ソイルセメント柱径の 2.5 倍	鋼管杭径の 2.5 倍
群杭効果を考慮するときの杭径	D': 鋼管端部から約 20° の範囲に設定した計算上の抵抗幅	ソイルセメント柱径	鋼管杭径

2. 「F8製品」の効率的な利用方法

上記の比較表から明らかのように、マイクロパイルタイプ は鋼管杭よりも鋼管ソイルセメント杭と共通点が多い。したがって、現段階では杭種を「鋼管ソイルセメント杭」に設定して解析を行うのが効率的である。

3. 設計例に準じた照査の手順

「STマイクロパイル工法 設計・施工マニュアル(2002年5月) NII研究会」に掲載されているマイクロパイルの計算例を、UC-1「杭基礎の設計」を用いて設計する場合の手順と留意すべき事項について以下に記す。

表中の<省略>は、項目の記述を省略したことを示す。

「入力値」欄の<適宜>は、設計条件に合うデータを適宜入力することを指す。

Step	大分類	小分類	大項目	中項目	小項目 (入力項目)	入力値	備考	
1-1	初期入力	-	基本・設計条件	基本条件	照査対象	新設・既設		
1-2					<省略>	<適宜>		
1-3				計算条件	底版前面水平抵抗	道示		
1-4					レベル2地震時照査	液状化無視/考慮		
1-5					<省略>	<適宜>		
1-6				抽出方法	<省略>	<適宜>		
1-7				杭の条件	新設・既設	杭種	鋼管ソイルセメント杭	
1-8							<省略>	<適宜>
2-1	考え方	支持力・バネ値	支持力・引抜き力	-	<省略>	<適宜>	1) 支持力・引抜き力の算出は別途行うのでどのような設定でも構わない。	
2-2			KH 値、KV 値等	-	地震時の BH 算出時の E_0	常時		
2-3		-	-	<省略>	<適宜>			
2-4		応力度照査	-	-	<省略>	<適宜>	1) 初期値のままで良いかを確認する。	
2-5		鋼管ソイルセメント杭	<省略>	<省略>	<省略>	<適宜>	1) 初期値のままで良いかを確認する。	
2-6		レベル2	<省略>	<省略>	<省略>	<適宜>	1) 初期値のままで良いかを確認する。	
3-1	形状	地層	<省略>	<省略>	<省略>	<適宜>	1) 層数、層厚、地盤種別、N 値、単位重量等、地層に関するデータを入力する。(地層は地表面から全て入力するのが良い。)	
3-2			杭配置	基本条件	-	断面の変化	なし	
3-3		<省略>			<省略>	<適宜>		
3-4		寸法		<省略>	<省略>	<適宜>	1) フーチングの平面寸法、杭の縁端距離、列数などを入力する。	
3-5		移動	<省略>	<省略>	<適宜>	1) 杭配置を詳細指定する場合に変更する		
3-6		データ1	鋼管杭	<省略>	杭外径 Dsc	D' の値		
3-7					鋼管径 Dsp	鋼管径 Ds		
3-8					<省略>	<適宜>	1) 高張力鋼管杭の材質は現在サポートされていない。鋼管の許容値は別途指定が可能なのでここでの選択はどちらでも良い。	

表中の<省略>は、項目の記述を省略したことを示す。

「入力値」欄の<適宜>は、設計条件に合うデータを適宜入力することを指す。

Step	大分類	小分類	大項目	中項目	小項目 (入力項目)	入力値	備考
3-9			データ2	-	<省略>	<適宜>	1) マイクロパイルのマニュアルにあわせるために外側錆び代を入力する
3-10			基礎天端	-	<省略>	<適宜>	1) 基礎天端標高が第1層の上面より高い場合は突出の状態となる。
3-11		底版前面抵抗	<省略>	<省略>	<省略>	<適宜>	1) 底版前面の抵抗高と前面地盤の変形係数を入力する。 2) 前面抵抗を考慮する荷重状態に対して層の上端及び下端における抵抗値の上限値を入力する。 3) 前面地盤のパネ定数は自動計算するが、抵抗値は自動計算されない。 本入力は、Step1-3で底版前面水平抵抗を考慮する設定とした場合に行う。
3-12		底版	<省略>	<省略>	<省略>	<適宜>	1) フーチングの厚さと柱の寸法を入力する。
4-1	材料	-	<省略>	-	<省略>	<適宜>	1) 鋼管杭以外の材料のデータを入力する。
5-1			基本条件	-	作用力の入力方法	入力値	1) "入力値"を選択すると、フーチング底面での作用力を入力するモードとなる。 2) "自動計算"を選択すると、橋脚柱下端の作用力と震度を入力するモードとなる。
5-2				<省略>	<省略>	-	1) Step5-1で自動計算を選択した場合に他のデータの入力が必要となる。
5-3		常時, レベル1	荷重ケースの設定	<省略>	<省略>	<適宜>	1) 常時およびレベル1地震時の荷重ケースと作用力を入力する。 2) 検討方向は、 Y: 橋軸方向 X: 橋軸直角方向 をプログラムの初期設定値としている。 方向の名称は、メインメニューの[基準値 設計条件]により変更できる
5-4		レベル2	<省略>	<省略>	<省略>	<適宜>	1) レベル2地震時の載荷状態に関するデータを入力する。
6-1	配筋・杭体	レベル2	<省略>	<省略>	<省略>	<適宜>	1) 「M- 計算」ボタンを押すとM- 関係を自動算出する。別途計算した値を適用したい場合は入力する。

表中の<省略>は、項目の記述を省略したことを示す。

「入力値」欄の<適宜>は、設計条件に合うデータを適宜入力することを指す。

Step	大分類	小分類	大項目	中項目	小項目 (入力項目)	入力値	備考	
7-1	許容値	杭体	<省略>	<省略>	<省略>	<適宜>	1)杭体の降伏点、許容値などを入力する。(降伏点はレベル2地震時照査用) Step3-7で選択した材質について、設計に用いる高張力鋼管の諸値を入力する。	
7-2		許容変位量	<省略>	<省略>	<省略>	<適宜>		
8-1	予備計算	常時、 レベル1	左記の[常時、レベル1]ボタンを押した時の動作					1)予備計算を実行すると入力、確認画面が開く。 2)再計算を実行するとKHだけでなく、Kvや許容支持力も再計算されるので、KHを変更しない場合は「取消し」により画面を開いて数値を確認する必要がある。
8-2			Kv値	<省略>	<省略>	<適宜>	2)Kvに別途算出した杭軸方向のバネ定数を入力する。	
8-3			許容支持力	<省略>	<省略>	<適宜>	1)特性長から周面摩擦力を無視する層厚を求め、支持力の計算を別途行い、入力する。	
8-4			<省略>	<省略>	<省略>	-	1)他の予備計算結果の確認を行う。	
8-5		レベル2 (杭)	<省略>	<省略>	<省略>	<適宜>	1)計算を実行し、支持力の上限值、レベル2地震時の照査に用いる水平地盤反力係数を算定する。ただし、1/の範囲の周面摩擦力を無視した地盤から決まる極限押込み・引抜き支持力の上限值を算出できていないので、支持力は別途算出する必要がある。これらの値が杭体から決まる値より小さい場合、押込み・引抜き支持力の上限值に別途算出した値を直接入力する。	
8-6		レベル2 (地盤)	<省略>	<省略>	<省略>	<適宜>	1)上載荷重を入力する。 2)右下の「計算」ボタンを押して、杭前面地盤の水平抵抗力の上限值を算定する。	

以上で、計算のために必要な操作は完了となる。

画面上部の「処理モードの選択」にある【計算確認】ボタンを押すと計算が実行される。

- 3 増し杭工法の場合

マイクロパイルを増し杭として使用する場合も - 1、 - 2 で述べたことがそのまま適用できる。
すなわち、

- ・マイクロパイルタイプ 「鋼管杭」として取り扱う
- ・マイクロパイルタイプ 「鋼管ソイルセメント杭」として取り扱う
- ・支持力は別途算定した値を入力する。
- ・杭軸方向のバネ定数 K_v は別途算定した値を入力する。

ここでは、 - 2 で触れなかった「増し杭工法」に固有の事項を対象に、UC - 1 「杭基礎の設計」を用いて設計する場合の手順と留意すべき事項について述べることにする。

1 . 増し杭工法の場合に固有の入力について

【1】【初期入力】

- 「基本・設計条件」
増し杭工法を選択
- 「杭の条件」
新設・既設において既設杭について該当する項目を選択する。
増し杭においてマイクロパイルのタイプに応じて杭種を選択する。
マイクロパイルタイプ : 「鋼管杭」
マイクロパイルタイプ : 「鋼管ソイルセメント杭」

【2】【形状】

- 「杭配置」
寸法で補強前のフーチング寸法と既設杭の縁端距離、杭列等を入力する。
「データ1」において既設杭の杭種に応じたデータを入力する。
- 「杭配置(増し杭)」
寸法で補強後のフーチング寸法と増し杭の縁端距離、杭列等を入力する。
「データ1」においてマイクロパイルのタイプに応じたデータを入力する。

【3】【作用力】

- 「常時・レベル1」
荷重ケース No.1 に「既設死荷重時」を設定する。
補強後の荷重ケースを設定する。
作用力の入力において、荷重ケース「既設死荷重時」に既設死荷重時の作用力を入力する。
作用力の入力において、補強後の各荷重ケースに既設死荷重を含む補強後の全作用力を入力する。(モーメントは全荷重ケースとも既設底版の下面中心における値を入力する)
- 「レベル2」
 V_0' に既設死荷重時の鉛直力を入力する。
 M_d 、 M_d' は既設底版の下面中心における値を入力する。

計算例との比較

本章に、各種計算例と「F 8 製品」との計算結果の比較、考察を記す。

- 1 研究会の設計・施工マニュアル（案）の計算例

- 1 - 1 STマイクロパイルタイプ の計算例との比較

1. 結果の比較

	マニュアル計算例 (p112、115 より)				F 8 製品			
	常時		地震時		常時		地震時	
	前面杭	背面杭	前面杭	背面杭	前面杭	背面杭	前面杭	背面杭
鉛直反力	479	121	574	26	479.4	120.6	574.4	25.6
水平反力	109	109	140	140	108.6	108.6	140.0	140.0
モーメント反力	-59	-59	-59	-59	-59.2	-59.2	-59.4	-59.4
水平変位	7.29	7.29	5.93	5.93	7.3	7.3	5.9	5.9
鉛直変位	3.64	0.92	4.37	0.20	(2.3)		(2.3)	
杭体圧縮応力度	243	191	256	178	-242.5	-191.5	-256.6	-178.4
杭体引張応力度	-106	-157	-93	-171	106.0	157.1	93.0	171.1

注)

1) 鉛直変位の () 内の数値は杭基礎中心での値を示す。

2) 杭体応力度の符号について、「F 8 製品」では鋼管の応力度は引張を正、圧縮を負で表す。

以上のように、マニュアルの計算例と「F 8 製品」の結果は一致している。

- 1 - 2 STマイクロパイルタイプ の計算例との比較

1. 結果の比較

1) 橋軸方向 (レベル2)

< マニュアル計算例 (p247 より) >

		1列目 (5本)	2列目 (5本)	3列目 (5本)	4列目 (5本)	5列目 (5本)
杭頭曲げ反力		302.8	302.8	302.8	302.8	302.8
杭頭鉛直反力		3651	2322	993	-336	-1665
杭頭水平反力		-	-	-	-	-
杭基礎 分担分	鉛直力	(3651+2322+993-336-1665)*5 = 24825				
	水平力	-				
	回転力	(3651+1665)*5*4.000+(2322+336)*5*2.000-302.8*25 = 125330				
底版 分担分		底版分担分を適切に求めると・・・		上記結果に合わせるためには・・・		
	鉛直力	0		0		
	水平力	-		-		
	回転力	10015		5792 1		
合計 (外力と の比較)	鉛直力	24825+0 = 24825 (24821) 一致		24825+0 = 24825 (24821)		
	水平力	-		-		
	回転力	125330+10015 = 135345 (131104) 不一致		125330+5792 = 131122 (131104)		
杭頭水平変位		0.041				
杭頭回転変位		0.005691				

補足：()内は「既設杭+増し杭」で負担するフーチング底面における作用外力。

1は後に示す 枠内の計算値。

参考) 底版前面抵抗の算定について

・水平地盤反力度 (水平方向地盤反力係数 = 9974kN/m³、フーチング高 = 3.5m)



	水平変位	地盤反力度			底版下面からの位置
		計算値	上限値	採用値	
底版上面	0.060919	607.60	94.56	94.56	3.500
中間点 (計算値=上限値)	-	-	-	-	-
底版下面	0.041	408.93	301.41	301.41	0.000

・底版前面抵抗による力 (採用値による)

$$\text{水平力 } H = (94.56+301.41) \times 3.500 \times 10.000 / 2 = 6929$$

$$\text{回転力 } M = (301.41-94.56) \times 3.500 \times 10.000 \times 3.500 / 6 + 94.56 \times 10.000 \times 3.500 \times 3.500 / 2 = 10015$$

・その他1：地盤反力度分布を底版上下面とも上限値とした場合

$$\text{水平力 } H = (94.56+301.41) \times 3.500 \times 10.000 / 2 = 6929$$

$$\text{回転力 } M = (301.41-94.56) \times 3.500 \times 10.000 \times 3.500 / 6 + 94.56 \times 10.000 \times 3.500 \times 3.500 / 2 = 10015$$

・その他2：上面の地盤反力度の上限値を用いた場合

$$\text{水平力 } H = 94.56 \times 3.500 \times 10.000 = 3310$$

$$\text{回転力 } M = 94.56 \times 3.500 \times 10.000 \times 1.750 = 5792 \quad 1$$

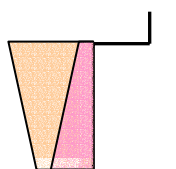
< 「F 8 製品」の計算結果 >

		1 列目	2 列目	3 列目	4 列目	5 列目
杭頭曲げ反力		303.7	303.7	303.7	303.7	303.7
杭頭鉛直反力		3566	2279	993	-294	-1580
杭頭水平反力		322.8	322.8	322.8	322.8	322.8
杭基礎 分担分	鉛直力	(3566+2279+993-294-1580) * 5 = 24820				
	水平力	322.8*25 = 8070				
	回転力	(3566+1580) * 5 * 4.000 + (2279+294) * 5 * 2.000 - 303.7 * 25 = 121058				
底版 分担分	鉛直力	0				
	水平力	6929				
	回転力	10015				
合計 (外力と の比較)	鉛直力	24820+0 = 24820 (24821) 一致				
	水平力	8070+6929 = 14999 (15025) 一致				
	回転力	121058+10015 = 131073 (131104) 一致				
杭頭水平変位		0.03960				
杭頭回転変位		0.0055098				

補足：()内は「既設杭 + 増し杭」で負担するフーチング底面における作用外力。

参考) 底版前面抵抗の算定について

- ・ 水平地盤反力度 (水平方向地盤反力係数 = 9974kN/m³、フーチング高 = 3.5m)



	水平変位	地盤反力度			底版下面からの位置
		計算値	上限値	採用値	
底版上面	0.05888	587.28	94.56	94.56	3.500
中間点 (計算値=上限値)	-	-	-	-	-
底版下面	0.03960	394.94	301.41	301.41	0.000

- ・ 底版前面抵抗による力 (採用値による)

水平力 $H = (94.56 + 301.41) * 3.500 * 10.000 / 2 = 6929$

回転力 $M = (301.41 - 94.56) * 3.500 * 10.000 * 3.500 / 6 + 94.56 * 10.000 * 3.500 * 3.500 / 2 = 10015$

2) 橋軸直角方向 (レベル2)

< マニュアル計算例 (p249 より) >

		1列目 (5本)	2列目 (5本)	3列目 (5本)	4列目 (5本)	5列目 (5本)	
杭頭曲げ反力		229.5	229.5	229.5	229.5	229.5	
杭頭鉛直反力		3636	2314	993	-329	-1650	
杭頭水平反力		-	-	-	-	-	
杭基礎 分担分	鉛直力	(3636+2314+993-329-1650)*5 = 24820					
	水平力	-					
	回転力	(3636+1650)*5*4.000+(2314+329)*5*2.000-229.5*25 = 126413					
底版 分担分	底版分担分を適切に求めると・・・			上記結果に合わせるためには・・・			
	鉛直力	0			0		
	水平力	-			-		
合計 (外力と の比較)	鉛直力	24820+0 = 24820 (24821) 一致			24820+0 = 24820 (24821)		
	水平力	-			-		
	回転力	126413+10016 = 136429 (132203) 不一致			126413+5792 = 132205 (132203)		
杭頭水平変位		0.0302					
杭頭回転変位		0.00566					

補足：()内は「既設杭 + 増し杭」で負担するフーチング底面における作用外力。

1 は後に示す 枠内の計算値。

参考) 底版前面抵抗の算定について

・水平地盤反力度 (水平方向地盤反力係数 = 9974kN/m³、フーチング高 = 3.5m)



	水平変位	地盤反力度			底版下面からの位置
		計算値	上限値	採用値	
底版上面	0.05001	498.80	94.56	94.56	3.500
中間点 (計算値=上限値)	-	-	-	301.38	0.002
底版下面	0.0302	301.21	301.41	301.21	0.000

・底版前面抵抗による力 (採用値による)

$$\text{水平力 } H = (301.38+301.21) \cdot 0.002 \cdot 10.000 / 2 + (94.56+301.38) \cdot 3.498 \cdot 10.000 / 2 = 6931$$

$$\begin{aligned} \text{回転力 } M &= (301.38-301.21) \cdot 0.002 \cdot 10.000 \cdot 0.002 / 3 + 301.21 \cdot 0.002 \cdot 10.000 \cdot 0.002 / 2 \\ &\quad + (301.38-94.56) \cdot 3.498 \cdot 10.000 \cdot (0.002+3.498/3) / 2 \\ &\quad + 94.56 \cdot 3.498 \cdot 10.000 \cdot (0.002+3.498/2) = \mathbf{10016} \end{aligned}$$

・その他 1 : 地盤反力度分布を底版上下面とも上限値とした場合

$$\text{水平力 } H = (94.56+301.41) \cdot 3.500 \cdot 10.000 / 2 = 6929$$

$$\begin{aligned} \text{回転力 } M &= (301.41-94.56) \cdot 3.500 \cdot 10.000 \cdot 3.500 / 6 \\ &\quad + 94.56 \cdot 10.000 \cdot 3.500 \cdot 3.500 / 2 = 10015 \end{aligned}$$

・その他 2 : 上面の地盤反力度の上限値を用いた場合

$$\text{水平力 } H = 94.56 \cdot 3.500 \cdot 10.000 = 3310$$

$$\text{回転力 } M = 94.56 \cdot 3.500 \cdot 10.000 \cdot 1.750 = \mathbf{5792} \quad \mathbf{1}$$

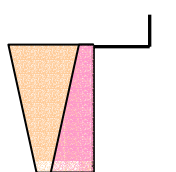
< 「F 8 製品」の計算結果 >

		1 列目	2 列目	3 列目	4 列目	5 列目
杭頭曲げ反力		229.8	229.8	229.8	229.8	229.8
杭頭鉛直反力		3551	2272	993	-286	-1565
杭頭水平反力		279.5	279.5	279.5	279.5	279.5
杭基礎 分担分	鉛直力	(3551+2272+993-286-1565) * 5 = 24825				
	水平力	279.5*25 = 6988				
	回転力	(3551+1565) * 5 * 4.000 + (2272+286) * 5 * 2.000 - 229.8 * 25 = 122155				
底版 分担分	鉛直力	0				
	水平力	6996				
	回転力	10102				
合計 (外力と の比較)	鉛直力	24825+0 = 24825 (24821) 一致・・・比 = 1.00016				
	水平力	6988+6996 = 13984 (13933) 一致・・・比 = 1.00366				
	回転力	122155+10102 = 132257 (132196) 一致・・・比 = 1.00046				
杭頭水平変位		0.02907				
杭頭回転変位		0.005477				

補足：()内は「既設杭 + 増し杭」で負担するフーチング底面における作用外力。

参考) 底版前面抵抗の算定について

- ・ 水平地盤反力度 (水平方向地盤反力係数 = 9974kN/m³、フーチング高 = 3.5m)



	水平変位	地盤反力度			底版下面からの位置
		計算値	上限値	採用値	
底版上面	0.04824	481.13	94.56	94.56	3.500
中間点 (計算値=上限値)	-	-	-	299.58	0.101
底版下面	0.02907	289.92	301.41	289.92	0.000

- ・ 底版前面抵抗による力 (採用値による)

水平力 $H = (299.58+289.92) * 0.101 * 10.000 / 2 + (94.56+299.58) * 3.399 * 10.000 / 2 = 6996$

回転力 $M = (299.58-289.92) * 0.101 * 10.000 * 0.101 / 3 + 289.92 * 0.101 * 10.000 * 0.101 / 2 + (299.58-94.56) * 3.399 * 10.000 * (0.101+3.399/3) / 2 + 94.56 * 3.399 * 10.000 * (0.101+3.399/2) = 10102$

2. 結果の相違点と見解

下表に示すように両者にそれ程大きな違いはないが、計算結果は異なる。実用の範囲では有意差はないと考えられるが、水平地盤反力度等の設定方法には留意する必要がある、特に、杭が分担する反力とフーチング前面地盤が分担する反力の算出、回転力および水平力に関する抵抗の設定方法については関連基準等を参考にして、安全側となるよう検討することが望ましい。

	橋軸方向			直角方向		
	マニュアル計算例 (p247より)	F 8 製品	/	マニュアル計算例 (p249より)	F 8 製品	/
最前列鉛直反力	3651	3566	1.024	3636	3551	1.024
最後列鉛直反力	-1665	-1580	1.054	-1650	-1565	1.054
最前列曲げ反力	302.8	303.7	0.997	229.5	229.8	0.999
最後列曲げ反力	302.8	303.7	0.997	229.5	229.8	0.999
水平変位	0.0410	0.0396	1.035	0.0302	0.0291	1.038
回転変位	0.005691	0.005510	1.033	0.005660	0.005477	1.033

多層地盤の取扱い等について

杭基礎はいわゆる多層地盤に構築されることが多く、一様な地盤に構築されることは滅多にない。ここでは、当社の製品を含め一般のAPで多層地盤をどのように取り扱っているかについて述べる。

- 1 換算載荷幅の算定

杭を軸直角方向に地盤で支持された部材として取り扱う場合、最も重要なことは地盤反力係数をどのように定義するかということである。周知のように、地盤反力係数は地盤反力度が作用している幅の影響を大きく受けるが、この影響を考慮して以下の式で地盤反力係数を定義することが一般的に行われている。

$$k_H = k_{H0} \cdot (B_H / 0.3)^{-3/4}$$

ここに、

k_H : 水平方向地盤反力係数 (kN/m³)

k_{H0} : 直径 0.3 mの剛体円板による平板載荷試験の値に相当する水平方向地盤反力係数 (kN/m³)で、各種土質試験または調査により求めた変形係数から推定する場合には、次式により求める。

$$k_{H0} = E_0 / 0.3$$

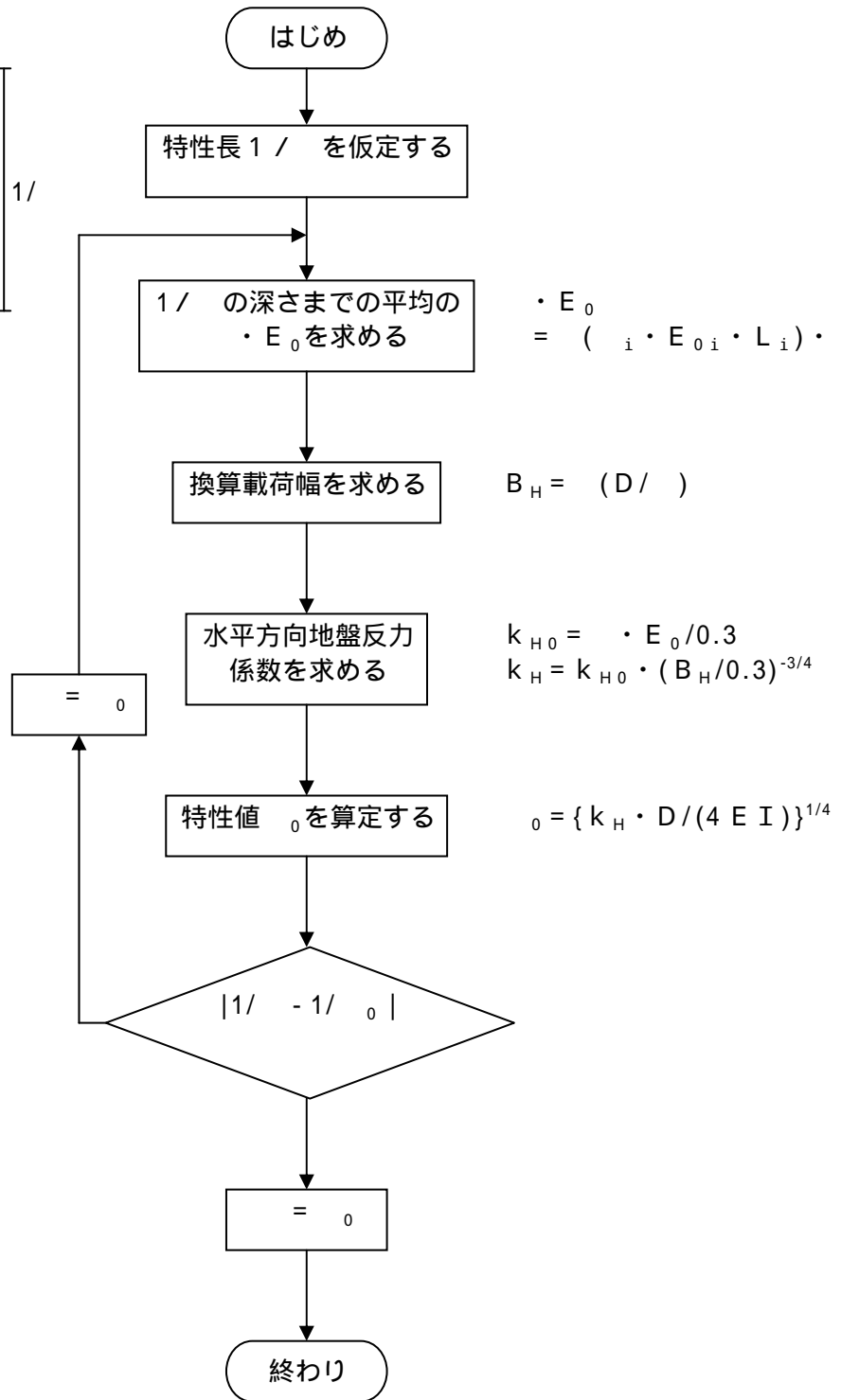
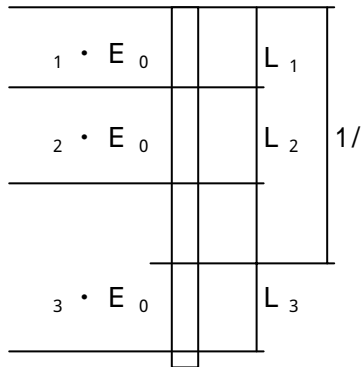
ここで換算載荷幅をどのように定義するかが問題となるが、道路橋示方書においては杭のように部材が剛体と見なせない場合、水平変位に大きな影響を与えるいわゆる特性長(特性値の逆数)に杭径を乗じた面積を載荷面積と考えることとしている。

B_H : 荷重作用方向に直交する基礎の換算載荷幅(m)で、杭の場合は次式で求める。

$$B_H = (D /)$$

杭基礎や鋼管矢板基礎等において地盤抵抗を線形として取り扱う場合には、換算載荷幅 B_H を ($D /$)とした。ここで B_H を算定する際の k_H は常時の値とし、設計上の地盤面から 1/ までの深さの平均的な値としてよい。また、地盤を多層として評価し、各層の水平方向地盤反力係数を算出する場合も、各層の換算載荷幅は上記により求めた B_H を用いるものとする。

参考) 多層地盤の特性値の算定フロー



- 2 多層地盤の各層の地盤反力係数

多層地盤の各層の地盤反力係数は上記の囲みの考えを適用して以下のように求めることができる。

$$k_{Hi} = k_{H0i} \cdot (B_H / 0.3)^{-3/4}$$

ここに、

k_{Hi} : 各層の水平方向地盤反力係数 (kN/m³)

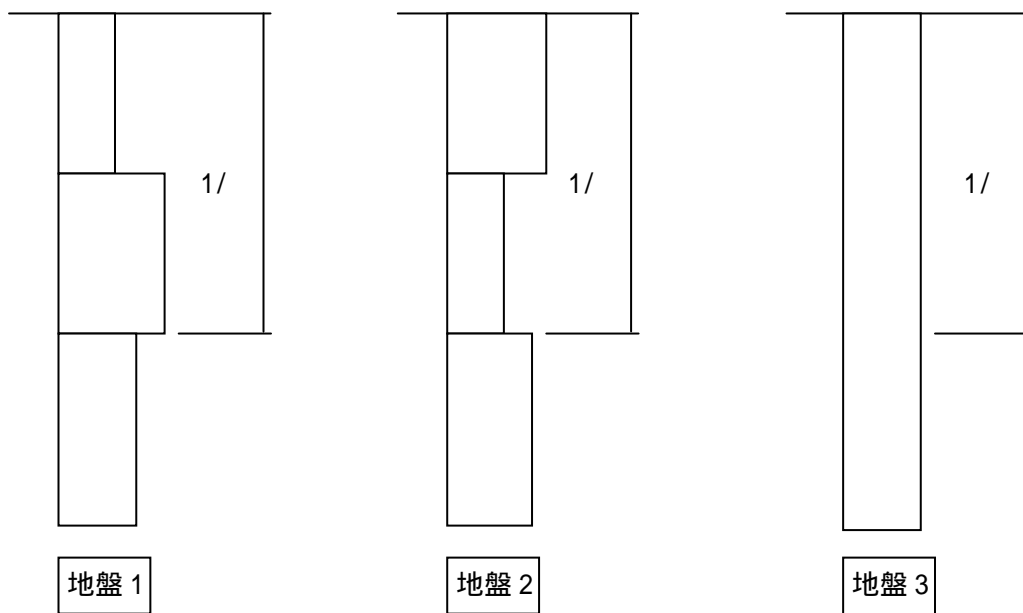
k_{H0i} : 直径 0.3 m の剛体円板による平板載荷試験の値に相当する各層の水平方向地盤反力係数 (kN/m³) で、各種土質試験または調査により求めた変形係数から推定する場合には、次式により求める。

$$k_{H0i} = E_{0i} / 0.3$$

B_H : 設計上の地盤面から 1/ までの深さの平均的な k_H (常時の値) を用いて算出した特性長を用いて算出した換算載荷幅

- 3 単一地盤としての取扱いとの違い

前項で求められた 1/ までの深さの平均的な地盤反力係数を用いて、単一地盤として取り扱う例が少なからず見受けられるが、以下の点に留意する必要がある。



上記の地層構成ではいずれも平均的な地盤反力係数は等しくなり、換算載荷幅も等しくなるが、実際の地盤反力係数の分布はそれぞれ異なっている。地盤 1 あるいは地盤 2 を単一地層として地盤 3 のようにモデル化して取り扱うことは地盤の特性を正しく反映することが困難になるので、十分注意する必要がある。

市販されている杭基礎用のソフトでは、地盤の地層構成を反映した多層地盤としてのモデル化がなされているので無理に単一地層としてモデル化する必要はない。

特に、レベル 2 地震時の照査においては地盤反力係数から算定される杭前面の地盤反力度と前面地盤の抵抗力を比較して地盤の塑性化を判定するので単一地層としてモデル化することは避けたほうがよい。

- 4 杭長と軸直角方向のバネ定数の関係

1. 半無限長の杭

- 2 で述べた伝達マトリクスの各係数は以下のように与えられる。

$$C_{11} = C_{33} = F \cdot$$

$$C_{12} = -C_{34} = (F \cdot + G \cdot)/2$$

$$C_{13} = -G \cdot /2EI^2$$

$$C_{14} = (F \cdot - G \cdot)/4EI^3$$

$$C_{31} = 2EI^2 \cdot G \cdot$$

$$C_{32} = (F \cdot - G \cdot)EI$$

ここに、

$$F = (e^+ + e^-)/2$$

$$G = (e^+ - e^-)/2$$

$$= \sin()$$

$$= \cos()$$

半無限長の場合は

であるから、 $F = G$ となる。

$$C_{11} = C_{33} = F \cdot$$

$$C_{12} = -C_{34} = F(+)/2$$

$$C_{13} = -F \cdot /2EI^2$$

$$C_{14} = F(-)/4EI^3$$

$$C_{31} = 2EI^2 \cdot F \cdot$$

$$C_{32} = F(-)EI$$

$$C_{13} \cdot C_{34} - C_{14} \cdot C_{33} = (F \cdot /2EI^2) \{F(+)/2 \} - \{F(-)/4EI^3\} \cdot F \cdot \\ = F^2(+^2 + -^2)/4EI^3 = F^2/4EI^3$$

$$C_{11} \cdot C_{33} - C_{13} \cdot C_{31} = F \cdot \cdot F \cdot + (F \cdot /2EI^2) \cdot 2EI^2 \cdot F \cdot \\ = F^2(+^2 + -^2) = F^2$$

$$C_{12} \cdot C_{33} - C_{13} \cdot C_{32} = \{F(+)/2 \} \cdot F \cdot + (F \cdot /2EI^2) \cdot F(-)EI \\ = F^2(+^2 + -^2)/2 = F^2/2$$

$$C_{14} \cdot C_{31} - C_{11} \cdot C_{34} = \{F(-)/4EI^3\} \cdot 2EI^2 \cdot F \cdot + F \cdot \cdot \{F(+)/2 \} \\ = F^2(+^2 + -^2)/2 = F^2/2$$

$$C_{14} \cdot C_{32} - C_{12} \cdot C_{34} = \{F(-)/4EI^3\} \{F(-)EI \} + \{F(+)/2 \} \{F(+)/2 \} \\ = F^2(+^2 + -^2)/2 = F^2/2$$

$$K_{11} = 4EI^3$$

$$K_{12} = 2EI^2$$

$$K_{21} = 2EI^2$$

$$K_{22} = 2EI$$

杭頭ヒンジの場合は

$$C_{12} \cdot C_{34} - C_{14} \cdot C_{32} = - \{F(+)/2 \} \{F(+)/2 \} - \{F(-)/4EI^3\} \{F(-)EI \} \\ = - F^2(+^2 + -^2)/2 = - F^2/2$$

$$C_{11} \cdot C_{32} - C_{12} \cdot C_{31} = F \cdot \cdot F(-)EI - \{F(+)/2 \} \cdot 2EI^2 \cdot F \cdot \\ = - F^2(+^2 + -^2)EI = - F^2EI$$

$$K_{11} = 2EI^3$$

2. $\alpha = 0$ のときの杭頭のバネ定数

半無限長とみなしてよいとされている $\alpha = 0$ のときの杭頭のバネ定数を算出する。

$$F = 11.19595328$$

$$G = 11.54873936$$

$$= 0$$

$$= -1$$

$$C_{11} = C_{33} = F \cdot \alpha^3 = -11.59195328$$

$$C_{12} = -C_{34} = (F \cdot \alpha^2 + G \cdot \alpha) / 2 = -5.77436968 / \alpha$$

$$C_{13} = -G \cdot \alpha / 2EI = 0$$

$$C_{14} = (F \cdot \alpha - G \cdot \alpha^2) / 4EI = 2.88718484 / EI \alpha^3$$

$$C_{31} = 2EI \alpha^2 \cdot G \cdot \alpha = 0$$

$$C_{32} = (F \cdot \alpha - G \cdot \alpha^2) EI = 11.54873936 \cdot EI$$

$$C_{13} \cdot C_{34} - C_{14} \cdot C_{33} = (2.88718484 / EI) \cdot 11.59195328 = 33.46811178 / EI \alpha^3$$

$$C_{11} \cdot C_{33} - C_{13} \cdot C_{31} = 134.3733808$$

$$C_{12} \cdot C_{33} - C_{13} \cdot C_{32} = 66.93622355 / \alpha$$

$$C_{14} \cdot C_{31} - C_{11} \cdot C_{34} = 66.93622355 / \alpha$$

$$C_{14} \cdot C_{32} - C_{12} \cdot C_{34} = (2.88718484 / EI \alpha^3) \cdot 11.54873936 \cdot EI + (5.77436968 / \alpha) (5.77436968 / \alpha)$$

$$= 66.6866904 / \alpha^2$$

$$K_{11} = 4.01497EI \alpha^3 - 4EI \alpha^3$$

$$K_{12} = 2.0EI \alpha^2 = 2EI \alpha^2$$

$$K_{21} = 2.0EI \alpha^2 = 2EI \alpha^2$$

$$K_{22} = 1.99254EI \alpha^2 = 2EI \alpha^2$$

3 . $\theta = l/2$ のときの杭頭のバネ定数

$$F = 2.50917848$$

$$G = 2.30129890$$

$$= 1$$

$$= 0$$

$$C11 = C33 = F \cdot \theta = 0$$

$$C12 = -C34 = (F \cdot \theta + G \cdot \theta^2) / 2 = 1.25458924 / l$$

$$C13 = -G \cdot \theta^2 / 2EI = -1.15064945 / EI$$

$$C14 = (F \cdot \theta - G \cdot \theta^2) / 4EI = 0.62729462 / EI$$

$$C31 = 2EI \cdot \theta^2 \cdot G = 4.60259780 \cdot EI$$

$$C32 = (F \cdot \theta - G \cdot \theta^2) EI = 2.50917848 \cdot EI$$

$$C13 \cdot C34 - C14 \cdot C33 = (1.15064945 / EI) (1.25458924 / l) = 1.44359242 / EI$$

$$C11 \cdot C33 - C13 \cdot C31 = (1.15064945 / EI) \cdot 4.60259780 \cdot EI = 5.29597663$$

$$C12 \cdot C33 - C13 \cdot C32 = (1.15064945 / EI) \cdot 2.50917848 \cdot EI = 2.88718484 / l$$

$$C14 \cdot C31 - C11 \cdot C34 = 2.88718484 / l$$

$$C14 \cdot C32 - C12 \cdot C34 = (0.62729462 / EI) \cdot 2.50917848 \cdot EI + (1.25458924 / l) (1.25458924 / l) = 3.14798832 / l^2$$

$$K11 = 3.668609EI^3 + 4EI^3$$

$$K12 = 2.0EI^2 = 2EI^2$$

$$K21 = 2.0EI^2 = 2EI^2$$

$$K22 = 2.180663EI + 2EI$$