

目次

1 照査結果一覧表	1
2 設計条件	2
2-1 設計条件	2
2-2 地盤条件	2
2-3 杭基礎条件	2
2-4 荷重データ	2
3 杭基礎の震度法照査	3
3-1 杭の諸元および杭配置	3
3-2 杭の許容支持力の計算	4
3-2-1 計算式	4
3-2-2 地盤条件	6
3-2-3 許容押し込み支持力の計算	7
3-2-4 許容引抜き抵抗力の計算	7
3-3 地盤ばねの計算	8
3-3-1 杭の軸方向ばね定数	8
3-3-2 水平方向地盤反力係数	9
3-4 杭頭変位および杭頭反力の計算	11
3-4-1 計算法	11
3-4-2 杭頭変位および杭頭反力	15
3-5 杭本体各部の断面力および変位	19
3-6 杭本体の応力度照査	35
3-6-1 計算式	35
3-6-2 杭本体の応力度照査	36
3-7 杭とフーチングの接合部の照査	37
3-7-1 押し込み力に対する照査	37
3-7-2 水平力に対する照査	39
3-7-3 仮想鉄筋コンクリート断面の照査	41
3-7-4 フーチングへの鉄筋の定着長	43
4 杭の断面変化位置計算	44
4-1 杭の諸元	44
4-2 杭の断面力及び変位の計算	44
4-3 杭の断面変化位置計算	45

1 照査結果一覧表

(1) 橋軸方向

安定計算

荷重ケース		単位	常時	常時+浮力	地震時	地震時+浮力
作用力	V	kN	12010.47	10438.84	11035.21	9778.53
	H	kN	1646.70	1570.70	4018.04	3942.24
	M	kN・m	410.79	467.28	9328.75	9333.24
杭反力	Rmax (Ra)	kN/本 kN/本	499.88 (1455.97)	442.46 (1455.97)	754.87 (2183.96)	707.85 (2183.96)
	Rmin (Pa)	kN/本 kN/本	358.01 (-332.09)	303.17 (-332.09)	33.36 (-647.40)	-9.38 (-647.40)
変位	δ (δa)	mm	2.455	2.348	4.244	4.176
		mm	(15.000)	(15.000)	(15.000)	(15.000)
杭体 応力度	$\sigma s'$ ($\sigma sa'$)	N/mm ²	68.00	62.44	105.48	100.99
		N/mm ²	(140.00)	(140.00)	(210.00)	(210.00)
	σs (σsa)	N/mm ² N/mm ²	-10.14 (140.00)	-12.16 (140.00)	-52.32 (210.00)	-53.89 (210.00)
	τ (τa)	N/mm ² N/mm ²	3.966 (80.000)	3.783 (80.000)	9.678 (120.000)	9.495 (120.000)

杭とフーチング接合部照査

荷重ケース		単位	常時	常時+浮力	地震時	地震時+浮力
垂直支圧応力度 (押込み力)	σcv	N/mm ²	1.77	1.56	2.67	2.50
	σba	N/mm ²	(12.00)	(12.00)	(18.00)	(18.00)
押抜きせん断応力度 (押込み力)	τv	N/mm ²	0.337	0.298	0.509	0.477
	τa	N/mm ²	(0.900)	(0.900)	(0.900)	(0.900)
水平支圧応力度 (水平力)	σch	N/mm ²	0.98	0.93	2.39	2.35
	σba	N/mm ²	(7.20)	(7.20)	(10.80)	(10.80)
押抜きせん断応力度 (水平力)	τh	N/mm ²	0.077	0.073	0.188	0.184
	τa	N/mm ²	(0.900)	(0.900)	(0.900)	(0.900)
仮想RC断面応力度	σs	N/mm ²	-22.06	-20.35	111.96	120.33
	σsa	N/mm ²	(200.00)	(200.00)	(300.00)	(300.00)

2 設計条件

2-1 設計条件

- (1) 適用基準 道路橋示方書(平成24年)
 (2) 基礎工形式 鋼管杭 $\phi 600$ (mm) $L = 17.000$ (m) $n = 28$ (本)

2-2 地盤条件

- (1) 地盤標高および水位
 標高記号: TP

計画地表面標高	m	34.260
ボーリング上端標高	m	31.260
フーチング下面標高	m	31.260
支持設定 地下水水位標高	m	31.260

- (2) 突出長
 常時 0.000 m
 レベル1地震時 0.000 m

2-3 杭基礎条件

- (1) 杭基礎条件

杭種	鋼管杭
杭頭条件	剛結
杭先端条件	ヒンジ
施工方法	打込み杭工法
杭とフーチングの接合方法	方法B
水平変位照査位置	杭頭
許容水平変位	
常時	15.0 (mm)
レベル1地震時	15.0 (mm)

- (2) 杭断面諸元

杭長	17.000 (m)
杭径	600.0 (mm)
板厚	9.0 (mm)
腐食代	1.0 (mm)
杭の埋込み長	0.100 (m)
鋼管ヤング係数	2.00×10^5 (N/mm ²)
鋼材種類	SKK400
許容引張応力度	140.00 (N/mm ²)
許容圧縮応力度	140.00 (N/mm ²)
許容せん断応力度	80.00 (N/mm ²)

- (3) ボーリングデータ

No	層厚 (m)	層上面標高 (m)	土質名	N値	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	c (kN/m ²)	E0 (kN/m ²)	周面摩擦力
1	4.300	TP+ 31.260	砂質土	5.000	18.00	9.00	0.00	14000.0	考慮する
2	3.200	TP+ 26.960	粘性土	30.000	17.00	8.00	200.00	84000.0	考慮する
3	7.600	TP+ 23.760	砂質土	20.000	18.00	9.00	0.00	56000.0	考慮する
4	5.000	TP+ 16.160	砂質土	50.000	19.00	10.00	0.00	140000.0	考慮する

2-4 荷重データ

- (1) 橋軸方向

No	荷重ケース名	割増係数	設計状態	鉛直力 V (kN)	水平力 H (kN)	曲げモーメント M (kN・m)
1	常時	1.00	常時	12010.47	1646.70	410.79
2	常時+浮力	1.00	常時	10438.84	1570.70	467.28
3	地震時	1.50	地震時	11035.21	4018.04	9328.75
4	地震時+浮力	1.50	地震時	9778.53	3942.24	9333.24

3 杭基礎の震度法照査

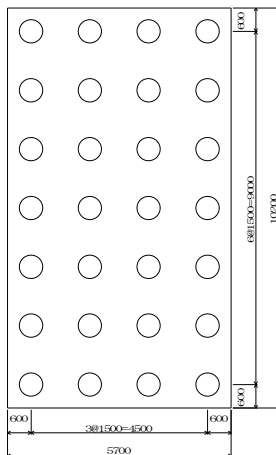
3-1 杭の諸元および杭配置

(1) 杭の諸元

杭種	鋼管杭	φ600.0 (mm)	(材質:SKK400)
板厚	t =	9.0 (mm)	
腐食代	Δ t =	1.0 (mm)	
杭長	L =	17.000 (m)	
杭の埋込み長	L t =	0.100 (m)	

杭頭条件	剛結
杭先端条件	ヒンジ
施工方法	打込み杭工法
先端形状	閉端
支持条件	支持杭

(2) 杭配置



3-2 杭の許容支持力の計算

3-2-1 計算式

(1) 1本の杭の軸方向許容押し込み支持力

$$R_a = \frac{\gamma}{n} R_u$$

ここに、

- R_a : 杭頭における杭の軸方向許容押し込み支持力 (kN)
- n : 安全率
- γ : 極限支持力推定法の相違による安全率の補正係数
- R_u : 地盤から決まる杭の極限支持力 (kN)

地盤から決まる杭の極限支持力は以下の式により算出するものとする。

$$R_u = q_d \cdot A + U \cdot \sum (L_i \cdot f_i)$$

ここに、

- R_u : 地盤から決まる杭の極限支持力 (kN)
- A : 杭先端面積 (m²)
- q_d : 杭先端における単位面積当たりの極限支持力度 (kN/m²)
- U : 杭の周長 (m)
- L_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)
- f_i : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度で、下表により求める。(kN/m²)

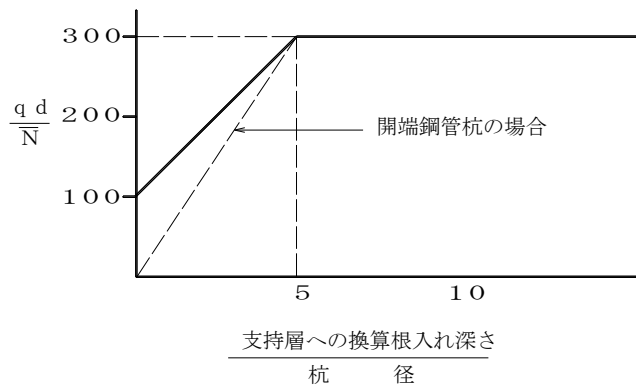
	打込み杭工法 (打撃工法)
砂質土	2N (≦100)
粘性土	c または 10N (≦150)

注) N < 5の軟弱粘性土層では、信頼性が乏しいので、N値による最大周面摩擦力度を推定しない。

杭先端の極限支持力度 q_d の推定方法

打込み杭

通常地盤の場合、下図により求める。



(2) 1本の杭の軸方向許容引抜き抵抗力

$$P_a = \frac{1}{n} \cdot P_u + W$$

ここに、

- P_a : 杭頭における杭の軸方向許容引抜き抵抗力 (kN)
- n : 安全率
- P_u : 地盤から決まる杭の極限引抜き抵抗力 (kN)
- W : 杭の有効重量 (kN)

地盤から決まる杭の極限引抜き抵抗力は以下の式により算出するものとする。

$$P_u = U \cdot \sum (L_i \cdot f_i)$$

ここに、

- P_u : 地盤から決まる杭の極限引抜き抵抗力 (kN)
- U : 杭の周長 (m)
- L_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)
- f_i : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (kN/m²)

3-2-2 地盤条件

層番号	標高 (m) ▽ TP +31.260	土質	N値 [c]	γ_i	f_i	L_i	$L_i \cdot f_i$
				kN/m ³	kN/m ²	m	kN/m
1	(フーチング下面, 水位) ▽ TP +26.960	砂質土	5.000	9.00	10.00	4.300	43.00
2	▽ TP +23.760	粘性土	30.000 (200.00)	8.00	150.00	3.200	480.00
3	▽ TP +16.160	砂質土	20.000	9.00	40.00	7.600	304.00
4	▽ TP +14.360	砂質土	50.000	10.00	100.00	1.800	180.00
	Σ				1007.00		

・杭先端地盤の極限支持力度 q_d

$$N = (N_1 + N_2) / 2 \quad (\leq 40)$$

$$= (50.000 + 42.575) / 2 = 46.2875$$

N : 杭先端地盤の設計用N値

N1 : 杭先端位置のN値

N2 : 杭先端から上方へ4Dの
範囲における平均N値

$$\frac{\text{支持層への換算根入れ深さ}}{\text{杭径}} = \frac{1.800}{0.598} = 3.010$$

$$\frac{q_d}{N} = 220.40$$

よって、

$$q_d = 220.40 \times 46.2875 = 10200.00 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

3-2-3 許容押し込み支持力の計算

(1) 常時

$$R_u = q_d \cdot A + U \cdot \sum (L_i \cdot f_i) \\ = 8816.05 \times 0.28086 + 1.8787 \times 1007.00 = 4367.91 \text{ (kN)}$$

$$R_a = \frac{\gamma}{n} \cdot R_u \\ = \frac{1.0}{3.00} \times 4367.91 = 1455.97 \text{ (kN)}$$

(2) レベル1地震時

$$R_u = q_d \cdot A + U \cdot \sum (L_i \cdot f_i) \\ = 8816.05 \times 0.28086 + 1.8787 \times 1007.00 = 4367.91 \text{ (kN)}$$

$$R_a = \frac{\gamma}{n} \cdot R_u \\ = \frac{1.0}{2.00} \times 4367.91 = 2183.96 \text{ (kN)}$$

3-2-4 許容引抜き抵抗力の計算

(1) 常時

$$P_u = U \cdot \sum (L_i \cdot f_i) \\ = 1.8787 \times 1007.00 = 1891.82 \text{ (kN)}$$

$$P_a = \frac{1}{n} \cdot P_u + W \\ = \frac{1}{6.00} \times 1891.82 + 16.79 = 332.09 \text{ (kN)}$$

(2) レベル1地震時

$$P_u = U \cdot \sum (L_i \cdot f_i) \\ = 1.8787 \times 1007.00 = 1891.82 \text{ (kN)}$$

$$P_a = \frac{1}{n} \cdot P_u + W \\ = \frac{1}{3.00} \times 1891.82 + 16.79 = 647.40 \text{ (kN)}$$

3-3 地盤ばねの計算

3-3-1 杭の軸方向ばね定数

$$\begin{aligned}
 K_v &= a \cdot \frac{A_p \cdot E_p}{L} \\
 &= 1.116 \times \frac{0.014828 \times 200000000}{16.900} \\
 &= 195778.0 \text{ (kN/m)}
 \end{aligned}$$

ここに、

K_v : 杭の軸方向ばね定数 (kN/m)

a : 補正係数

※ 打込み杭 (打撃工法)

$a = 0.014 (L/D) + 0.720$

$= 0.014 \times (16.900 / 0.598) + 0.720 = 1.116$

A_p : 杭の純断面積 (m²)

E_p : 杭体のヤング係数 (kN/m²)

L : 杭の根入れ長さ (m)

D : 杭径 (m)

3-3-2 水平方向地盤反力係数

杭の軸直角方向ばね定数の計算は多層地盤を考慮し、以下のように算出する。

(1) 水平方向地盤反力係数の計算

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

ここに、

k_H : 水平方向地盤反力係数 (kN/m³)
 k_{H0} : 直径0.3m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)

$$k_{H0} = \frac{1}{0.3} \cdot \alpha \cdot E_0$$

B_H : 基礎の換算載荷幅 (m)

$$B_H = \sqrt{\frac{D}{\beta}}$$

D : 杭径 (m)

β : 基礎の特性値 (m⁻¹)

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_H \cdot D}{4EI}}$$

α : 地盤反力係数推定に用いる係数
 常時 $\alpha = 1$ 地震時 $\alpha = 2$

E_0 : 地盤変形係数 (kN/m²)

EI : 基礎の曲げ剛性 (kN・m²)

(2) 換算載荷幅 B_H の計算

B_H 算出上の要点は、

- ・ B_H を求める際の k_H は常時の値とする。
- ・ 深さ方向に地層が変化する場合でも、 B_H を算出する際の k_H は設計地盤面から $1/\beta$ の深さまでの平均値とする。また、各層の k_H 算出時もこの B_H を用いる。

杭径	D	0.598 (m)
ヤング係数	E	200000000 (kN/m ²)
断面二次モーメント	I	0.00064534 (m ⁴)

$1/\beta = 2.720$ (m) ($\beta = 0.36758$ (m⁻¹)) と仮定する
 →平均 $E_0 = 14000.0$ (kN/m²)

$$B_H = \sqrt{\frac{0.598}{0.36758}} = 1.275 \text{ (m)}$$

$$k_H = \frac{1}{0.3} \times 1.0 \times 14000.0 \times \left(\frac{1.275}{0.3} \right)^{-3/4} = 15761.3 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

となり、 β を計算すると下記となり、仮定した β に一致する。

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{15761.3 \times 0.598}{4 \times 200000000 \times 0.00064534}} = 0.36758 \text{ (m}^{-1}\text{)}$$

以上により、換算載荷幅 B_H は、 $B_H = 1.275$ (m) となる。

(3) 各層の水平方向地盤反力係数の計算

杭径	D	0.598 (m)
ヤング係数	E	200000000 (kN/m ²)
断面二次モーメント	I	0.00064534 (m ⁴)

1) 常時

No	層厚 (m)	E ₀ (kN/m ²)	k _{H0} (kN/m ³)	k _H (kN/m ³)
1	4.300	14000.0	46666.7	15761.3
2	3.200	84000.0	280000.0	94567.9
3	7.600	56000.0	186666.7	63045.3
4	1.800	140000.0	466666.7	157613.3

特性値 β : 0.36758 (m⁻¹)

2) レベル1地震時

No	層厚 (m)	E ₀ (kN/m ²)	k _{H0} (kN/m ³)	k _H (kN/m ³)
1	4.300	14000.0	93333.3	31522.6
2	3.200	84000.0	560000.0	189135.9
3	7.600	56000.0	373333.3	126090.6
4	1.800	140000.0	933333.3	315226.5

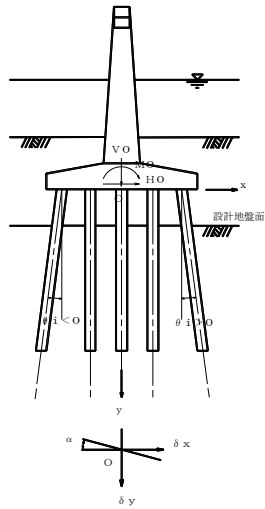
特性値 β : 0.36758 (m⁻¹)

3-4 杭頭変位および杭頭反力の計算

3-4-1 計算法

(1) 計算式

変位法による計算方法は、下図のように座標を組み、杭群中心を原点0とし、0点に作用する外力を図中のように定める。



この時、原点0の変位は、次の三元連立方程式を解いて求める。

$$A_{xx} \cdot \delta_x + A_{xy} \cdot \delta_y + A_{xa} \cdot \alpha = H_0$$

$$A_{yx} \cdot \delta_x + A_{yy} \cdot \delta_y + A_{ya} \cdot \alpha = V_0$$

$$A_{ax} \cdot \delta_x + A_{ay} \cdot \delta_y + A_{aa} \cdot \alpha = M_0$$

フーチング下面を水平とすれば各係数は次式で求められる。

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

$$A_{xy} = A_{yx} = \sum (K_v - K_1) \cdot \sin \theta_i \cdot \cos \theta_i$$

$$A_{xa} = A_{ax} = \sum \{ (K_v - K_1) \cdot x_i \cdot \sin \theta_i \cdot \cos \theta_i - K_2 \cdot \cos \theta_i \}$$

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

$$A_{ya} = A_{ay} = \sum \{ (K_v \cdot \cos^2 \theta_i + K_1 \cdot \sin^2 \theta_i) \cdot x_i + K_2 \cdot \sin \theta_i \}$$

$$A_{aa} = \sum \{ (K_v \cdot \cos^2 \theta_i + K_1 \cdot \sin^2 \theta_i) \cdot x_i^2 + (K_2 + K_3) \cdot x_i \cdot \sin \theta_i + K_4 \}$$

ここに、

H_0 : フーチング底面より上に作用する水平荷重 (kN)

V_0 : フーチング底面より上に作用する鉛直荷重 (kN)

M_0 : 原点0の回りの外力のモーメント (kN・m)

δ_x : 原点0の水平変位量 (m)

δ_y : 原点0の鉛直変位量 (m)

α : フーチングの回転角 (rad)

x_i : i 番目の杭の杭頭のx座標 (m)

θ_i : i 番目の杭の杭軸が鉛直軸となす角度 (度)

求められたフーチング原点における変位 ($\delta_x, \delta_y, \alpha$) より、各杭頭に作用する杭軸方向力 P_{Ni} 、杭軸直角方向力 P_{Hi} 、及びモーメント M_{ti} は以下の式により求める。

$$\begin{aligned} P_{Ni} &= K_V \cdot \delta_{yi}' \\ P_{Hi} &= K_1 \cdot \delta_{xi}' - K_2 \cdot \alpha \\ M_{ti} &= -K_3 \cdot \delta_{xi}' + K_4 \cdot \alpha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{xi}' &= \delta_x \cdot \cos \theta_i - (\delta_y + \alpha \cdot x_i) \cdot \sin \theta_i \\ \delta_{yi}' &= \delta_x \cdot \sin \theta_i + (\delta_y + \alpha \cdot x_i) \cdot \cos \theta_i \end{aligned}$$

ここに、

- δ_{xi}' : i番目の杭の杭頭の軸直角方向の変位量 (m)
- δ_{yi}' : i番目の杭の杭頭の軸方向の変位量 (m)
- K_V : 杭頭に単位量の軸方向変位量を生じさせる杭軸方向力 (kN)
(杭の軸方向ばね定数)
- K_1, K_2, K_3, K_4 : 杭の軸直角方向ばね定数
- x_i : i番目の杭の杭頭のx座標 (m)
- θ_i : i番目の杭の杭軸が鉛直軸となす角度 (度)
- P_{Ni} : i番目の杭の杭軸方向力 (kN)
- P_{Hi} : i番目の杭の杭軸直角方向力 (kN)
- M_{ti} : i番目の杭の杭頭に作用するモーメント (kN・m)

杭頭での鉛直反力 V_i 、及び水平反力 H_i は、次式による。

$$\begin{aligned} V_i &= P_{Ni} \cdot \cos \theta_i - P_{Hi} \cdot \sin \theta_i \\ H_i &= P_{Ni} \cdot \sin \theta_i + P_{Hi} \cdot \cos \theta_i \end{aligned}$$

(3) 剛性マトリックス

1) 橋軸方向

a) 常時

杭頭剛結

$$\begin{bmatrix} A_{xx} & A_{xy} & A_{xa} \\ A_{yx} & A_{yy} & A_{ya} \\ A_{ax} & A_{ay} & A_{aa} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 738274.4 & 0.0 & -1029478.8 \\ 0.0 & 5481785.0 & 0.0 \\ -1029478.8 & 0.0 & 18245064.0 \end{bmatrix}$$

杭頭ヒンジ

$$\begin{bmatrix} A_{xx} & A_{xy} & A_{xa} \\ A_{yx} & A_{yy} & A_{ya} \\ A_{ax} & A_{ay} & A_{aa} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 363452.1 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 5481785.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 15417521.0 \end{bmatrix}$$

b) レベル1地震時

杭頭剛結

$$\begin{bmatrix} A_{xx} & A_{xy} & A_{xa} \\ A_{yx} & A_{yy} & A_{ya} \\ A_{ax} & A_{ay} & A_{aa} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1217776.6 & 0.0 & -1404447.3 \\ 0.0 & 5481785.0 & 0.0 \\ -1404447.3 & 0.0 & 18668856.0 \end{bmatrix}$$

杭頭ヒンジ

$$\begin{bmatrix} A_{xx} & A_{xy} & A_{xa} \\ A_{yx} & A_{yy} & A_{ya} \\ A_{ax} & A_{ay} & A_{aa} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 611111.4 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 5481785.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 15417521.0 \end{bmatrix}$$

3-4-2 杭頭変位および杭頭反力

(1) 橋軸方向

1) 常時

a) 杭頭剛結

・杭群中心作用力

$$\begin{aligned} V_0 &= 12010.47 \text{ (kN)} \\ H_0 &= 1646.70 \text{ (kN)} \\ M_0 &= 410.79 \text{ (kN}\cdot\text{m)} \end{aligned}$$

・変位の計算

$$\begin{aligned} \delta_x &= 2.455 \text{ (mm)} \\ \delta_y &= 2.191 \text{ (mm)} \\ \alpha &= 0.16104 \times 10^{-3} \text{ (rad)} \end{aligned}$$

・杭頭作用力

杭列 番号	x_i (m)	本数	θ_i (度)	P_{Ni} (kN)	P_{Hi} (kN)	M_{ti} (kN·m)	V_i (kN)	H_i (kN)
1	-2.250	7	-0.0	358.01	58.81	-74.00	358.01	58.81
2	-0.750	7	-0.0	405.30	58.81	-74.00	405.30	58.81
3	0.750	7	-0.0	452.59	58.81	-74.00	452.59	58.81
4	2.250	7	-0.0	499.88	58.81	-74.00	499.88	58.81

$$\begin{aligned} \delta_{\max} &= 2.455 \text{ (mm)} < \delta_a = 15.00 \text{ (mm)} && \text{OK} \\ P_{N\max} &= 499.88 \text{ (kN)} < R_a = 1455.97 \text{ (kN)} && \text{OK} \\ P_{N\min} &= 358.01 \text{ (kN)} > P_a = -332.09 \text{ (kN)} && \text{OK} \end{aligned}$$

b) 杭頭ヒンジ

・杭頭作用力

杭列 番号	x_i (m)	本数	θ_i (度)	P_{Ni} (kN)	P_{Hi} (kN)	M_{ti} (kN·m)	V_i (kN)	H_i (kN)
1	-2.250	7	-0.0	417.21	58.81	0.00	417.21	58.81
2	-0.750	7	-0.0	425.03	58.81	0.00	425.03	58.81
3	0.750	7	-0.0	432.86	58.81	0.00	432.86	58.81
4	2.250	7	-0.0	440.68	58.81	0.00	440.68	58.81

2) 常時+浮力

a) 杭頭剛結

・杭群中心作用力

$$\begin{aligned} V_0 &= 10438.84 \text{ (kN)} \\ H_0 &= 1570.70 \text{ (kN)} \\ M_0 &= 467.28 \text{ (kN}\cdot\text{m)} \end{aligned}$$

・変位の計算

$$\begin{aligned} \delta_x &= 2.348 \text{ (mm)} \\ \delta_y &= 1.904 \text{ (mm)} \\ \alpha &= 0.15810 \times 10^{-3} \text{ (rad)} \end{aligned}$$

・杭頭作用力

杭列 番号	x_i (m)	本数	θ_i (度)	P_{Ni} (kN)	P_{Hi} (kN)	M_{ti} (kN·m)	V_i (kN)	H_i (kN)
1	-2.250	7	-0.0	303.17	56.10	-70.36	303.17	56.10
2	-0.750	7	-0.0	349.60	56.10	-70.36	349.60	56.10
3	0.750	7	-0.0	396.03	56.10	-70.36	396.03	56.10
4	2.250	7	-0.0	442.46	56.10	-70.36	442.46	56.10

$$\begin{aligned} \delta_{\max} &= 2.348 \text{ (mm)} < \delta_a = 15.00 \text{ (mm)} && \text{OK} \\ P_{N\max} &= 442.46 \text{ (kN)} < R_a = 1455.97 \text{ (kN)} && \text{OK} \\ P_{N\min} &= 303.17 \text{ (kN)} > P_a = -332.09 \text{ (kN)} && \text{OK} \end{aligned}$$

b) 杭頭ヒンジ

・杭頭作用力

杭列 番号	x_i (m)	本数	θ_i (度)	P_{Ni} (kN)	P_{Hi} (kN)	M_{ti} (kN·m)	V_i (kN)	H_i (kN)
1	-2.250	7	-0.0	359.46	56.10	0.00	359.46	56.10
2	-0.750	7	-0.0	368.37	56.10	0.00	368.37	56.10
3	0.750	7	-0.0	377.27	56.10	0.00	377.27	56.10
4	2.250	7	-0.0	386.17	56.10	0.00	386.17	56.10

3) 地震時

a) 杭頭剛結

・杭群中心作用力

$$\begin{aligned} V_0 &= 11035.21 \text{ (kN)} \\ H_0 &= 4018.04 \text{ (kN)} \\ M_0 &= 9328.75 \text{ (kN}\cdot\text{m)} \end{aligned}$$

・変位の計算

$$\begin{aligned} \delta_x &= 4.244 \text{ (mm)} \\ \delta_y &= 2.013 \text{ (mm)} \\ \alpha &= 0.81897 \times 10^{-3} \text{ (rad)} \end{aligned}$$

・杭頭作用力

杭列 番号	x_i (m)	本数	θ_i (度)	P_{Ni} (kN)	P_{Hi} (kN)	M_{ti} (kN·m)	V_i (kN)	H_i (kN)
1	-2.250	7	-0.0	33.36	143.50	-117.78	33.36	143.50
2	-0.750	7	-0.0	273.86	143.50	-117.78	273.86	143.50
3	0.750	7	-0.0	514.37	143.50	-117.78	514.37	143.50
4	2.250	7	-0.0	754.87	143.50	-117.78	754.87	143.50

$$\begin{aligned} \delta_{\max} &= 4.244 \text{ (mm)} < \delta_a = 15.00 \text{ (mm)} && \text{OK} \\ P_{N\max} &= 754.87 \text{ (kN)} < R_a = 2183.96 \text{ (kN)} && \text{OK} \\ P_{N\min} &= 33.36 \text{ (kN)} > P_a = -647.40 \text{ (kN)} && \text{OK} \end{aligned}$$

b) 杭頭ヒンジ

・杭頭作用力

杭列 番号	x_i (m)	本数	θ_i (度)	P_{Ni} (kN)	P_{Hi} (kN)	M_{ti} (kN·m)	V_i (kN)	H_i (kN)
1	-2.250	7	-0.0	127.58	143.50	0.00	127.58	143.50
2	-0.750	7	-0.0	305.27	143.50	0.00	305.27	143.50
3	0.750	7	-0.0	482.96	143.50	0.00	482.96	143.50
4	2.250	7	-0.0	660.65	143.50	0.00	660.65	143.50

4) 地震時+浮力

a) 杭頭剛結

・杭群中心作用力	・変位の計算
$V_0 = 9778.53$ (kN)	$\delta_x = 4.176$ (mm)
$H_0 = 3942.24$ (kN)	$\delta_y = 1.784$ (mm)
$M_0 = 9333.24$ (kN・m)	$\alpha = 0.81411 \times 10^{-3}$ (rad)

・杭頭作用力

杭列 番号	x_i (m)	本数	θ_i (度)	P_{Ni} (kN)	P_{Hi} (kN)	M_{ti} (kN・m)	V_i (kN)	H_i (kN)
1	-2.250	7	-0.0	-9.38	140.79	-114.94	-9.38	140.79
2	-0.750	7	-0.0	229.70	140.79	-114.94	229.70	140.79
3	0.750	7	-0.0	468.77	140.79	-114.94	468.77	140.79
4	2.250	7	-0.0	707.85	140.79	-114.94	707.85	140.79

$\delta_{max} = 4.176$ (mm)	<	$\delta_a = 15.00$ (mm)	OK
$P_{Nmax} = 707.85$ (kN)	<	$R_a = 2183.96$ (kN)	OK
$P_{Nmin} = -9.38$ (kN)	>	$P_a = -647.40$ (kN)	OK

b) 杭頭ヒンジ

・杭頭作用力

杭列 番号	x_i (m)	本数	θ_i (度)	P_{Ni} (kN)	P_{Hi} (kN)	M_{ti} (kN・m)	V_i (kN)	H_i (kN)
1	-2.250	7	-0.0	82.57	140.79	0.00	82.57	140.79
2	-0.750	7	-0.0	260.35	140.79	0.00	260.35	140.79
3	0.750	7	-0.0	438.12	140.79	0.00	438.12	140.79
4	2.250	7	-0.0	615.90	140.79	0.00	615.90	140.79

3-5 杭本体各部の断面力および変位

(1) 橋軸方向

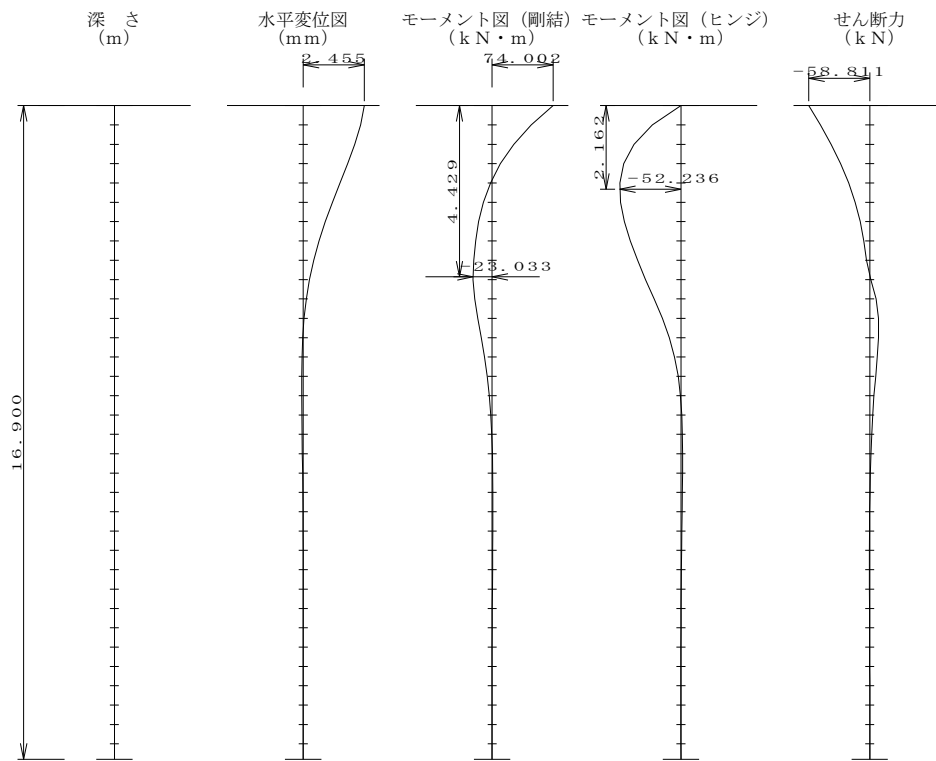
1) 常時

1 列目

No	深度 (m)	ばね (kN/m ³)	変位 (mm)	曲げモーメント(kN・m)		せん断力 (kN)
				剛結	ヒンジ	
1	0.000	15761.32	2.455	74.002	0.000	-58.811
2	0.500	15761.32	2.312	47.444	-24.390	-47.533
3	1.000	15761.32	2.076	26.316	-40.019	-37.166
4	1.500	15761.32	1.788	10.070	-48.694	-28.047
5	2.000	15761.32	1.480	-1.967	-52.049	-20.343
6	2.500	15761.32	1.176	-10.515	-51.496	-14.089
7	3.000	15761.32	0.891	-16.289	-48.214	-9.230
8	3.500	15761.32	0.637	-19.957	-43.150	-5.642
9	4.000	15761.32	0.422	-22.115	-37.031	-3.161
10	4.500	94567.95	0.250	-22.995	-30.294	1.057
11	5.000	94567.95	0.122	-21.027	-22.903	6.208
12	5.500	94567.95	0.034	-17.293	-15.892	8.314
13	6.000	94567.95	-0.021	-13.045	-9.981	8.424
14	6.500	94567.95	-0.050	-9.062	-5.450	7.368
15	7.000	94567.95	-0.062	-5.769	-2.300	5.752
16	7.500	94567.95	-0.062	-3.335	-0.376	3.982
17	8.000	63045.30	-0.056	-1.628	0.701	2.866
18	8.500	63045.30	-0.046	-0.443	1.268	1.903
19	9.000	63045.30	-0.036	0.307	1.473	1.133
20	9.500	63045.30	-0.026	0.722	1.441	0.557
21	10.000	63045.30	-0.017	0.893	1.273	0.156
22	10.500	63045.30	-0.010	0.903	1.040	-0.098
23	11.000	63045.30	-0.005	0.814	0.793	-0.239
24	11.500	63045.30	-0.001	0.677	0.564	-0.298
25	12.000	63045.30	0.001	0.526	0.368	-0.302
26	12.500	63045.30	0.002	0.381	0.214	-0.273
27	13.000	63045.30	0.003	0.256	0.099	-0.228
28	13.500	63045.30	0.003	0.154	0.020	-0.178
29	14.000	63045.30	0.002	0.077	-0.030	-0.132
30	14.500	63045.30	0.002	0.021	-0.058	-0.092
31	15.000	63045.30	0.001	-0.017	-0.070	-0.061
32	15.500	157613.25	0.001	-0.036	-0.068	-0.014
33	16.000	157613.25	0.001	-0.033	-0.050	0.022
34	16.500	157613.25	0.000	-0.017	-0.024	0.040
35	16.900	157613.25	0.000	0.000	0.000	0.044

・最大曲げモーメント

	モーメント (kN・m)	発生深さ (m)
杭頭	74.002	—
地中(剛結)	-23.033	4.429
地中(ヒンジ)	-52.236	2.162
1/2モーメント	-37.001	4.002

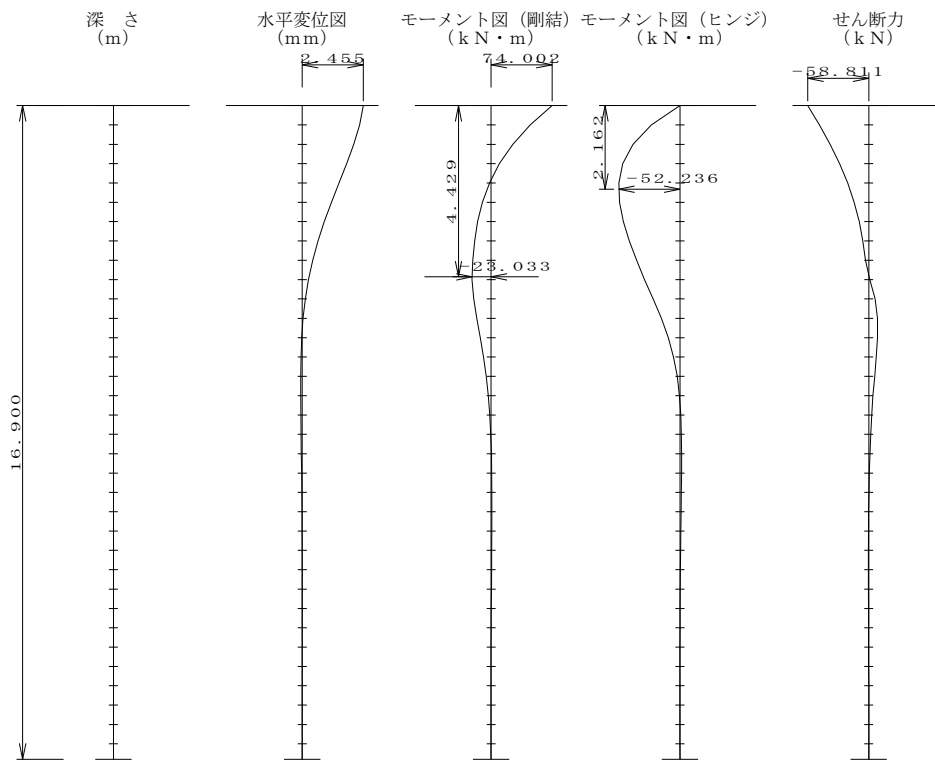


4 列目

No	深度 (m)	ばね (kN/m ²)	変位 (mm)	曲げモーメント(kN・m)		せん断力 (kN)
				剛結	ヒンジ	
1	0.000	15761.32	2.455	74.002	0.000	-58.811
2	0.500	15761.32	2.312	47.444	-24.390	-47.533
3	1.000	15761.32	2.076	26.316	-40.019	-37.166
4	1.500	15761.32	1.788	10.070	-48.694	-28.047
5	2.000	15761.32	1.480	-1.967	-52.049	-20.343
6	2.500	15761.32	1.176	-10.515	-51.496	-14.089
7	3.000	15761.32	0.891	-16.289	-48.214	-9.230
8	3.500	15761.32	0.637	-19.957	-43.150	-5.642
9	4.000	15761.32	0.422	-22.115	-37.031	-3.161
10	4.500	94567.95	0.250	-22.995	-30.294	1.057
11	5.000	94567.95	0.122	-21.027	-22.903	6.208
12	5.500	94567.95	0.034	-17.293	-15.892	8.314
13	6.000	94567.95	-0.021	-13.045	-9.981	8.424
14	6.500	94567.95	-0.050	-9.062	-5.450	7.368
15	7.000	94567.95	-0.062	-5.769	-2.300	5.752
16	7.500	94567.95	-0.062	-3.335	-0.376	3.982
17	8.000	63045.30	-0.056	-1.628	0.701	2.866
18	8.500	63045.30	-0.046	-0.443	1.268	1.903
19	9.000	63045.30	-0.036	0.307	1.473	1.133
20	9.500	63045.30	-0.026	0.722	1.441	0.557
21	10.000	63045.30	-0.017	0.893	1.273	0.156
22	10.500	63045.30	-0.010	0.903	1.040	-0.098
23	11.000	63045.30	-0.005	0.814	0.793	-0.239
24	11.500	63045.30	-0.001	0.677	0.564	-0.298
25	12.000	63045.30	0.001	0.526	0.368	-0.302
26	12.500	63045.30	0.002	0.381	0.214	-0.273
27	13.000	63045.30	0.003	0.256	0.099	-0.228
28	13.500	63045.30	0.003	0.154	0.020	-0.178
29	14.000	63045.30	0.002	0.077	-0.030	-0.132
30	14.500	63045.30	0.002	0.021	-0.058	-0.092
31	15.000	63045.30	0.001	-0.017	-0.070	-0.061
32	15.500	157613.25	0.001	-0.036	-0.068	-0.014
33	16.000	157613.25	0.001	-0.033	-0.050	0.022
34	16.500	157613.25	0.000	-0.017	-0.024	0.040
35	16.900	157613.25	0.000	0.000	0.000	0.044

・最大曲げモーメント

	モーメント (kN・m)	発生深さ (m)
杭頭	74.002	—
地中(剛結)	-23.033	4.429
地中(ヒンジ)	-52.236	2.162
1/2モーメント	-37.001	4.002



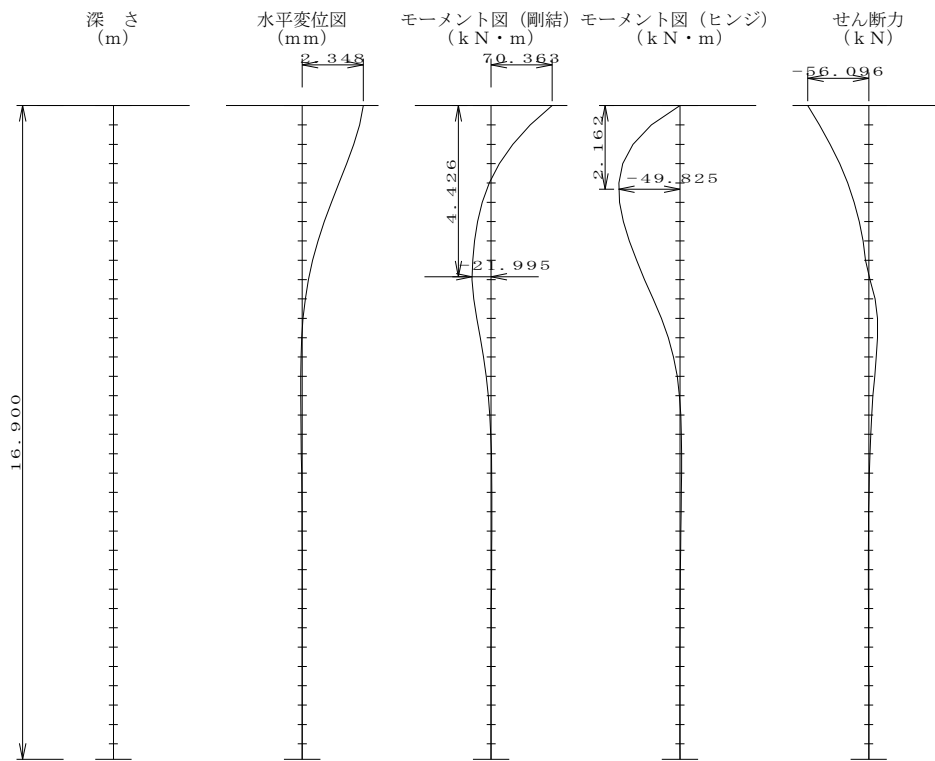
2) 常時+浮力

1 列目

No	深度 (m)	ばね (kN/m ²)	変位 (mm)	曲げモーメント(kN・m)		せん断力 (kN)
				剛結	ヒンジ	
1	0.000	15761.32	2.348	70.363	0.000	-56.096
2	0.500	15761.32	2.209	45.038	-23.265	-45.314
3	1.000	15761.32	1.983	24.902	-38.172	-35.410
4	1.500	15761.32	1.707	9.428	-46.447	-26.703
5	2.000	15761.32	1.413	-2.028	-49.647	-19.349
6	2.500	15761.32	1.121	-10.154	-49.119	-13.384
7	3.000	15761.32	0.849	-15.634	-45.989	-8.750
8	3.500	15761.32	0.607	-19.106	-41.159	-5.330
9	4.000	15761.32	0.402	-21.140	-35.322	-2.966
10	4.500	94567.95	0.238	-21.956	-28.896	1.049
11	5.000	94567.95	0.115	-20.063	-21.846	5.948
12	5.500	94567.95	0.032	-16.491	-15.158	7.945
13	6.000	94567.95	-0.020	-12.433	-9.520	8.041
14	6.500	94567.95	-0.048	-8.633	-5.199	7.029
15	7.000	94567.95	-0.059	-5.492	-2.194	5.484
16	7.500	94567.95	-0.059	-3.172	-0.358	3.795
17	8.000	63045.30	-0.053	-1.546	0.668	2.730
18	8.500	63045.30	-0.044	-0.418	1.209	1.812
19	9.000	63045.30	-0.034	0.297	1.405	1.078
20	9.500	63045.30	-0.024	0.691	1.375	0.529
21	10.000	63045.30	-0.016	0.853	1.214	0.147
22	10.500	63045.30	-0.010	0.861	0.992	-0.095
23	11.000	63045.30	-0.005	0.777	0.756	-0.229
24	11.500	63045.30	-0.001	0.646	0.538	-0.284
25	12.000	63045.30	0.001	0.501	0.351	-0.288
26	12.500	63045.30	0.002	0.363	0.204	-0.260
27	13.000	63045.30	0.002	0.243	0.094	-0.217
28	13.500	63045.30	0.002	0.146	0.019	-0.170
29	14.000	63045.30	0.002	0.073	-0.029	-0.125
30	14.500	63045.30	0.002	0.020	-0.055	-0.087
31	15.000	63045.30	0.001	-0.016	-0.067	-0.058
32	15.500	157613.25	0.001	-0.034	-0.065	-0.013
33	16.000	157613.25	0.001	-0.032	-0.048	0.021
34	16.500	157613.25	0.000	-0.016	-0.023	0.038
35	16.900	157613.25	0.000	0.000	0.000	0.042

・最大曲げモーメント

	モーメント (kN・m)	発生深さ (m)
杭頭	70.363	—
地中(剛結)	-21.995	4.426
地中(ヒンジ)	-49.825	2.162
1/2モーメント	-35.182	4.012

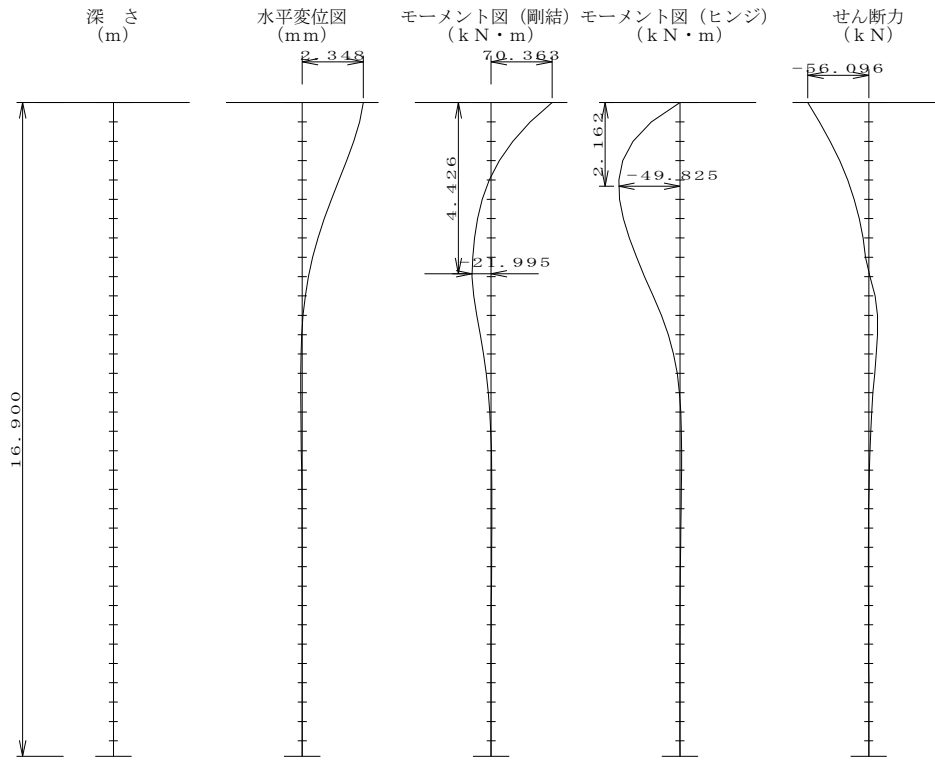


4 列目

No	深度 (m)	ばね (kN/m ²)	変位 (mm)	曲げモーメント(kN・m)		せん断力 (kN)
				剛結	ヒンジ	
1	0.000	15761.32	2.348	70.363	0.000	-56.096
2	0.500	15761.32	2.209	45.038	-23.265	-45.314
3	1.000	15761.32	1.983	24.902	-38.172	-35.410
4	1.500	15761.32	1.707	9.428	-46.447	-26.703
5	2.000	15761.32	1.413	-2.028	-49.647	-19.349
6	2.500	15761.32	1.121	-10.154	-49.119	-13.384
7	3.000	15761.32	0.849	-15.634	-45.989	-8.750
8	3.500	15761.32	0.607	-19.106	-41.159	-5.330
9	4.000	15761.32	0.402	-21.140	-35.322	-2.966
10	4.500	94567.95	0.238	-21.956	-28.896	1.049
11	5.000	94567.95	0.115	-20.063	-21.846	5.948
12	5.500	94567.95	0.032	-16.491	-15.158	7.945
13	6.000	94567.95	-0.020	-12.433	-9.520	8.041
14	6.500	94567.95	-0.048	-8.633	-5.199	7.029
15	7.000	94567.95	-0.059	-5.492	-2.194	5.484
16	7.500	94567.95	-0.059	-3.172	-0.358	3.795
17	8.000	63045.30	-0.053	-1.546	0.668	2.730
18	8.500	63045.30	-0.044	-0.418	1.209	1.812
19	9.000	63045.30	-0.034	0.297	1.405	1.078
20	9.500	63045.30	-0.024	0.691	1.375	0.529
21	10.000	63045.30	-0.016	0.853	1.214	0.147
22	10.500	63045.30	-0.010	0.861	0.992	-0.095
23	11.000	63045.30	-0.005	0.777	0.756	-0.229
24	11.500	63045.30	-0.001	0.646	0.538	-0.284
25	12.000	63045.30	0.001	0.501	0.351	-0.288
26	12.500	63045.30	0.002	0.363	0.204	-0.260
27	13.000	63045.30	0.002	0.243	0.094	-0.217
28	13.500	63045.30	0.002	0.146	0.019	-0.170
29	14.000	63045.30	0.002	0.073	-0.029	-0.125
30	14.500	63045.30	0.002	0.020	-0.055	-0.087
31	15.000	63045.30	0.001	-0.016	-0.067	-0.058
32	15.500	157613.25	0.001	-0.034	-0.065	-0.013
33	16.000	157613.25	0.001	-0.032	-0.048	0.021
34	16.500	157613.25	0.000	-0.016	-0.023	0.038
35	16.900	157613.25	0.000	0.000	0.000	0.042

・最大曲げモーメント

	モーメント (kN・m)	発生深さ (m)
杭頭	70.363	—
地中(剛結)	-21.995	4.426
地中(ヒンジ)	-49.825	2.162
1/2モーメント	-35.182	4.012



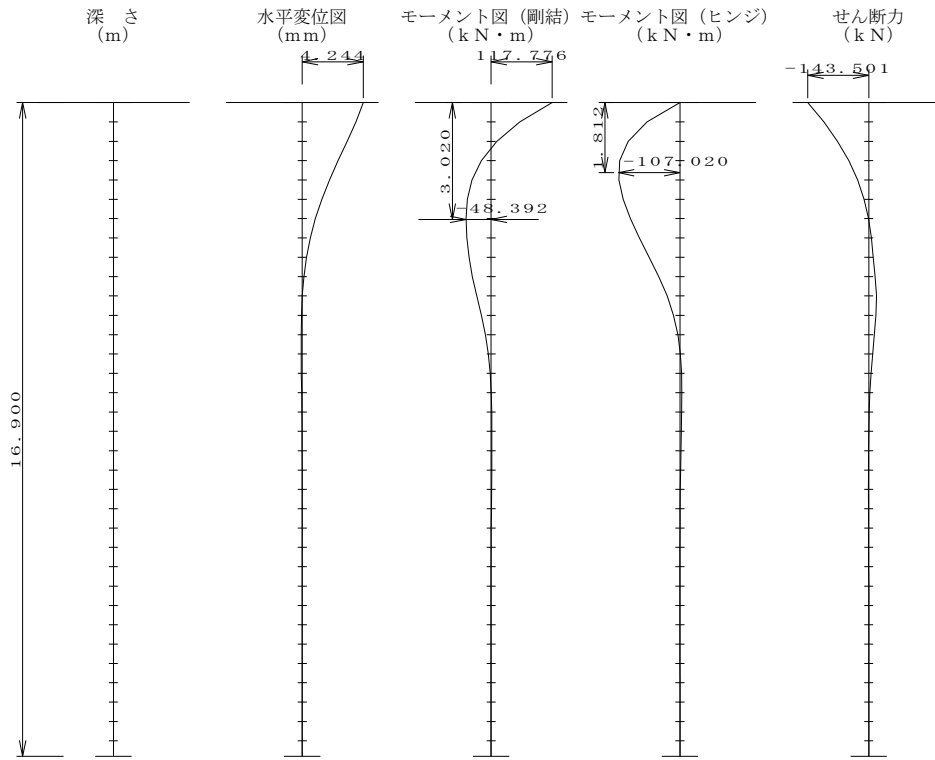
3) 地震時

1 列目

No	深度 (m)	ばね (kN/m ²)	変位 (mm)	曲げモーメント(kN・m)		せん断力 (kN)
				剛結	ヒンジ	
1	0.000	31522.65	4.244	117.776	0.000	-143.501
2	0.500	31522.65	3.742	55.664	-57.368	-105.737
3	1.000	31522.65	3.129	11.144	-90.302	-73.306
4	1.500	31522.65	2.493	-18.636	-104.867	-46.819
5	2.000	31522.65	1.890	-36.656	-106.328	-26.206
6	2.500	31522.65	1.358	-45.738	-99.018	-10.963
7	3.000	31522.65	0.912	-48.389	-86.309	-0.338
8	3.500	31522.65	0.560	-46.703	-70.678	6.527
9	4.000	31522.65	0.298	-42.343	-53.820	10.502
10	4.500	189135.89	0.117	-36.248	-36.906	15.188
11	5.000	189135.89	0.007	-27.589	-22.172	18.405
12	5.500	189135.89	-0.051	-18.615	-11.050	16.954
13	6.000	189135.89	-0.072	-10.987	-3.608	13.364
14	6.500	189135.89	-0.071	-5.334	0.724	9.256
15	7.000	189135.89	-0.060	-1.665	2.745	5.525
16	7.500	189135.89	-0.045	0.319	3.231	2.553
17	8.000	126090.59	-0.031	1.217	2.944	1.127
18	8.500	126090.59	-0.019	1.530	2.375	0.201
19	9.000	126090.59	-0.010	1.484	1.736	-0.327
20	9.500	126090.59	-0.003	1.251	1.148	-0.565
21	10.000	126090.59	0.000	0.950	0.670	-0.615
22	10.500	126090.59	0.002	0.655	0.318	-0.555
23	11.000	126090.59	0.003	0.403	0.084	-0.445
24	11.500	126090.59	0.003	0.211	-0.055	-0.324
25	12.000	126090.59	0.003	0.078	-0.122	-0.213
26	12.500	126090.59	0.002	-0.005	-0.141	-0.124
27	13.000	126090.59	0.001	-0.050	-0.132	-0.058
28	13.500	126090.59	0.001	-0.067	-0.109	-0.015
29	14.000	126090.59	0.000	-0.067	-0.081	0.011
30	14.500	126090.59	0.000	-0.058	-0.054	0.023
31	15.000	126090.59	0.000	-0.045	-0.031	0.028
32	15.500	315226.50	0.000	-0.031	-0.013	0.028
33	16.000	315226.50	0.000	-0.018	-0.004	0.024
34	16.500	315226.50	0.000	-0.008	-0.001	0.020
35	16.900	315226.50	0.000	0.000	0.000	0.019

・最大曲げモーメント

	モーメント (kN・m)	発生深さ (m)
杭頭	117.776	—
地中(剛結)	-48.392	3.020
地中(ヒンジ)	-107.020	1.812
1/2モーメント	-58.888	3.851

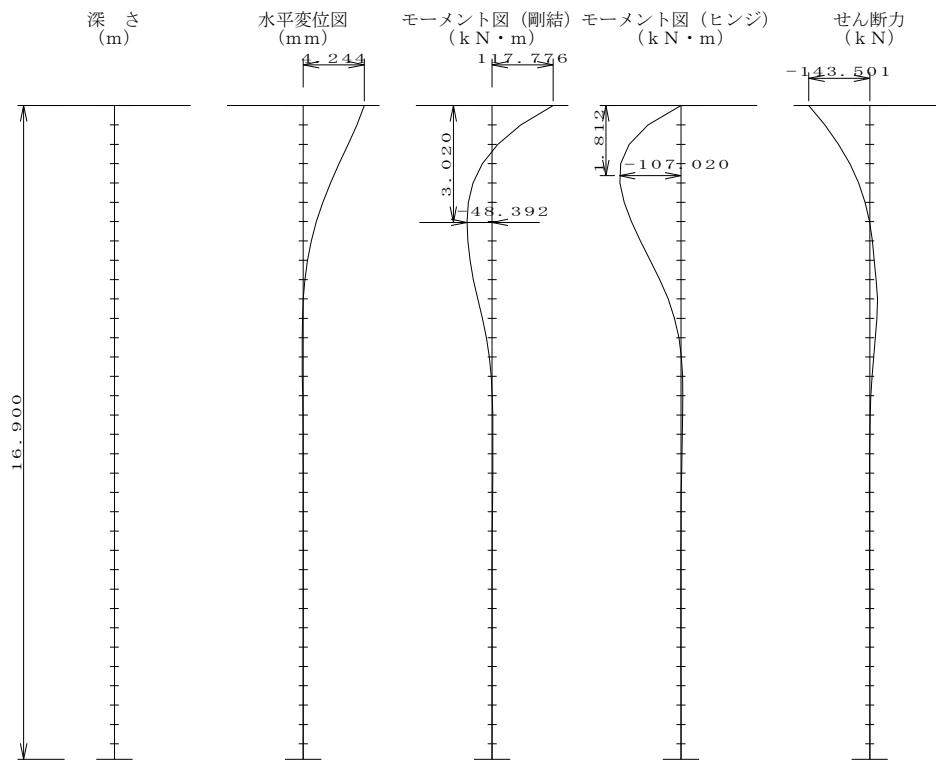


4 列目

No	深度 (m)	ばね (kN/m ²)	変位 (mm)	曲げモーメント(kN・m)		せん断力 (kN)
				剛 結	ヒンジ	
1	0.000	31522.65	4.244	117.776	0.000	-143.501
2	0.500	31522.65	3.742	55.664	-57.368	-105.737
3	1.000	31522.65	3.129	11.144	-90.302	-73.306
4	1.500	31522.65	2.493	-18.636	-104.867	-46.819
5	2.000	31522.65	1.890	-36.656	-106.328	-26.206
6	2.500	31522.65	1.358	-45.738	-99.018	-10.963
7	3.000	31522.65	0.912	-48.389	-86.309	-0.338
8	3.500	31522.65	0.560	-46.703	-70.678	6.527
9	4.000	31522.65	0.298	-42.343	-53.820	10.502
10	4.500	189135.89	0.117	-36.248	-36.906	15.188
11	5.000	189135.89	0.007	-27.589	-22.172	18.405
12	5.500	189135.89	-0.051	-18.615	-11.050	16.954
13	6.000	189135.89	-0.072	-10.987	-3.608	13.364
14	6.500	189135.89	-0.071	-5.334	0.724	9.256
15	7.000	189135.89	-0.060	-1.665	2.745	5.525
16	7.500	189135.89	-0.045	0.319	3.231	2.553
17	8.000	126090.59	-0.031	1.217	2.944	1.127
18	8.500	126090.59	-0.019	1.530	2.375	0.201
19	9.000	126090.59	-0.010	1.484	1.736	-0.327
20	9.500	126090.59	-0.003	1.251	1.148	-0.565
21	10.000	126090.59	0.000	0.950	0.670	-0.615
22	10.500	126090.59	0.002	0.655	0.318	-0.555
23	11.000	126090.59	0.003	0.403	0.084	-0.445
24	11.500	126090.59	0.003	0.211	-0.055	-0.324
25	12.000	126090.59	0.003	0.078	-0.122	-0.213
26	12.500	126090.59	0.002	-0.005	-0.141	-0.124
27	13.000	126090.59	0.001	-0.050	-0.132	-0.058
28	13.500	126090.59	0.001	-0.067	-0.109	-0.015
29	14.000	126090.59	0.000	-0.067	-0.081	0.011
30	14.500	126090.59	0.000	-0.058	-0.054	0.023
31	15.000	126090.59	0.000	-0.045	-0.031	0.028
32	15.500	315226.50	0.000	-0.031	-0.013	0.028
33	16.000	315226.50	0.000	-0.018	-0.004	0.024
34	16.500	315226.50	0.000	-0.008	-0.001	0.020
35	16.900	315226.50	0.000	0.000	0.000	0.019

・最大曲げモーメント

	モーメント (kN・m)	発生深さ (m)
杭頭	117.776	—
地中(剛 結)	-48.392	3.020
地中(ヒンジ)	-107.020	1.812
1/2モーメント	-58.888	3.851



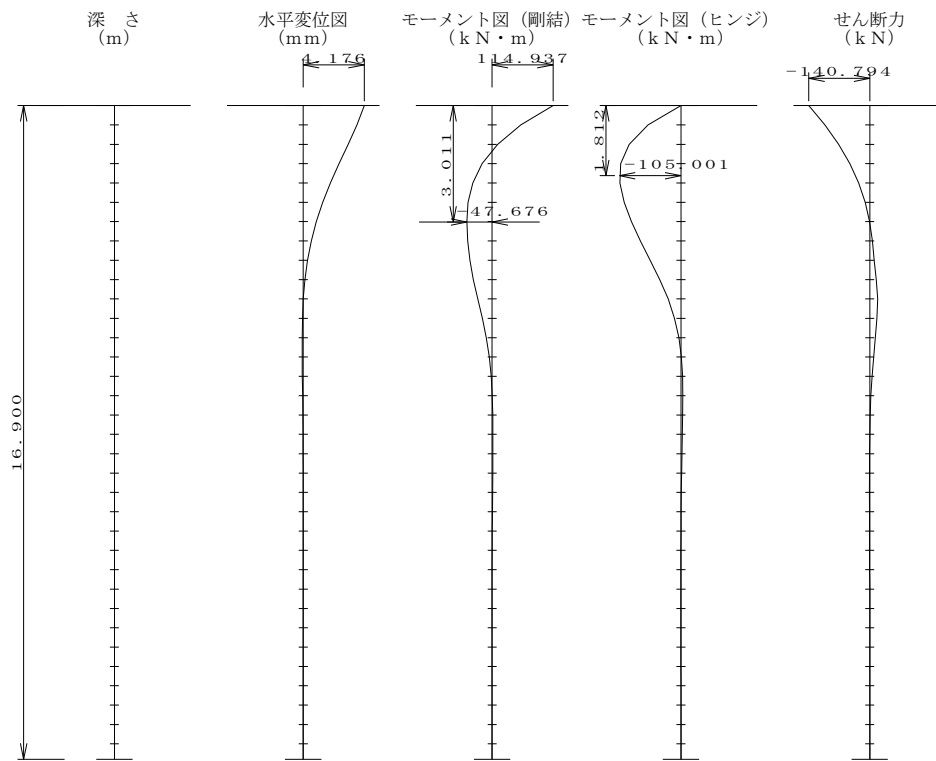
4) 地震時+浮力

1 列目

No	深度 (m)	ばね (kN/m ²)	変位 (mm)	曲げモーメント(kN・m)		せん断力 (kN)
				剛結	ヒンジ	
1	0.000	31522.65	4.176	114.937	0.000	-140.794
2	0.500	31522.65	3.679	54.022	-56.286	-103.650
3	1.000	31522.65	3.074	10.403	-88.599	-71.778
4	1.500	31522.65	2.447	-18.736	-102.888	-45.766
5	2.000	31522.65	1.855	-36.329	-104.322	-25.537
6	2.500	31522.65	1.331	-45.155	-97.150	-10.589
7	3.000	31522.65	0.893	-47.675	-84.680	-0.178
8	3.500	31522.65	0.548	-45.948	-69.345	6.543
9	4.000	31522.65	0.291	-41.604	-52.804	10.428
10	4.500	189135.89	0.114	-35.568	-36.209	14.992
11	5.000	189135.89	0.006	-27.041	-21.754	18.098
12	5.500	189135.89	-0.050	-18.225	-10.842	16.642
13	6.000	189135.89	-0.070	-10.741	-3.540	13.102
14	6.500	189135.89	-0.070	-5.201	0.711	9.065
15	7.000	189135.89	-0.059	-1.611	2.693	5.404
16	7.500	189135.89	-0.044	0.329	3.170	2.491
17	8.000	126090.59	-0.030	1.203	2.888	1.095
18	8.500	126090.59	-0.018	1.506	2.331	0.189
19	9.000	126090.59	-0.009	1.457	1.703	-0.326
20	9.500	126090.59	-0.003	1.227	1.126	-0.557
21	10.000	126090.59	0.000	0.931	0.657	-0.604
22	10.500	126090.59	0.002	0.640	0.312	-0.545
23	11.000	126090.59	0.003	0.394	0.082	-0.436
24	11.500	126090.59	0.003	0.206	-0.053	-0.317
25	12.000	126090.59	0.003	0.075	-0.119	-0.208
26	12.500	126090.59	0.002	-0.006	-0.139	-0.121
27	13.000	126090.59	0.001	-0.049	-0.130	-0.057
28	13.500	126090.59	0.001	-0.066	-0.107	-0.014
29	14.000	126090.59	0.000	-0.066	-0.080	0.011
30	14.500	126090.59	0.000	-0.057	-0.053	0.023
31	15.000	126090.59	0.000	-0.044	-0.030	0.028
32	15.500	315226.50	0.000	-0.031	-0.013	0.027
33	16.000	315226.50	0.000	-0.018	-0.004	0.023
34	16.500	315226.50	0.000	-0.007	-0.001	0.019
35	16.900	315226.50	0.000	0.000	0.000	0.018

・最大曲げモーメント

	モーメント (kN・m)	発生深さ (m)
杭頭	114.937	—
地中(剛結)	-47.676	3.011
地中(ヒンジ)	-105.001	1.812
1/2モーメント	-57.469	3.860

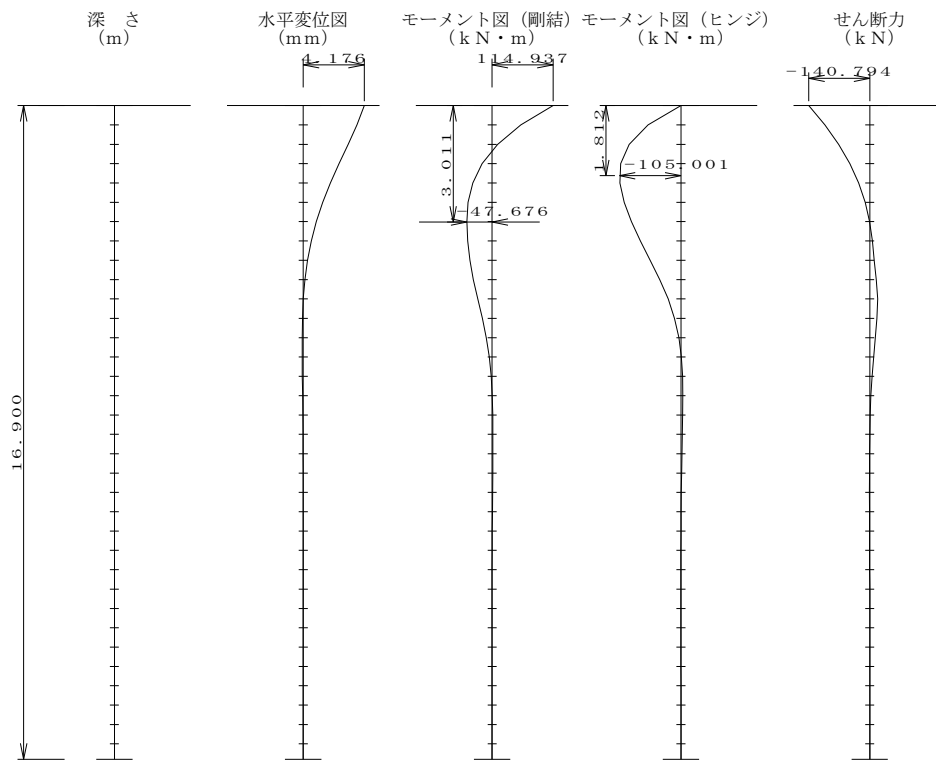


4 列目

No	深度 (m)	ばね (kN/m ²)	変位 (mm)	曲げモーメント(kN・m)		せん断力 (kN)
				剛結	ヒンジ	
1	0.000	31522.65	4.176	114.937	0.000	-140.794
2	0.500	31522.65	3.679	54.022	-56.286	-103.650
3	1.000	31522.65	3.074	10.403	-88.599	-71.778
4	1.500	31522.65	2.447	-18.736	-102.888	-45.766
5	2.000	31522.65	1.855	-36.329	-104.322	-25.537
6	2.500	31522.65	1.331	-45.155	-97.150	-10.589
7	3.000	31522.65	0.893	-47.675	-84.680	-0.178
8	3.500	31522.65	0.548	-45.948	-69.345	6.543
9	4.000	31522.65	0.291	-41.604	-52.804	10.428
10	4.500	189135.89	0.114	-35.568	-36.209	14.992
11	5.000	189135.89	0.006	-27.041	-21.754	18.098
12	5.500	189135.89	-0.050	-18.225	-10.842	16.642
13	6.000	189135.89	-0.070	-10.741	-3.540	13.102
14	6.500	189135.89	-0.070	-5.201	0.711	9.065
15	7.000	189135.89	-0.059	-1.611	2.693	5.404
16	7.500	189135.89	-0.044	0.329	3.170	2.491
17	8.000	126090.59	-0.030	1.203	2.888	1.095
18	8.500	126090.59	-0.018	1.506	2.331	0.189
19	9.000	126090.59	-0.009	1.457	1.703	-0.326
20	9.500	126090.59	-0.003	1.227	1.126	-0.557
21	10.000	126090.59	0.000	0.931	0.657	-0.604
22	10.500	126090.59	0.002	0.640	0.312	-0.545
23	11.000	126090.59	0.003	0.394	0.082	-0.436
24	11.500	126090.59	0.003	0.206	-0.053	-0.317
25	12.000	126090.59	0.003	0.075	-0.119	-0.208
26	12.500	126090.59	0.002	-0.006	-0.139	-0.121
27	13.000	126090.59	0.001	-0.049	-0.130	-0.057
28	13.500	126090.59	0.001	-0.066	-0.107	-0.014
29	14.000	126090.59	0.000	-0.066	-0.080	0.011
30	14.500	126090.59	0.000	-0.057	-0.053	0.023
31	15.000	126090.59	0.000	-0.044	-0.030	0.028
32	15.500	315226.50	0.000	-0.031	-0.013	0.027
33	16.000	315226.50	0.000	-0.018	-0.004	0.023
34	16.500	315226.50	0.000	-0.007	-0.001	0.019
35	16.900	315226.50	0.000	0.000	0.000	0.018

・最大曲げモーメント

	モーメント (kN・m)	発生深さ (m)
杭頭	114.937	—
地中(剛結)	-47.676	3.011
地中(ヒンジ)	-105.001	1.812
1/2モーメント	-57.469	3.860



35

3-6 杭本体の応力度照査

3-6-1 計算式

(1) 曲げ応力度

杭に作用する軸方向力および曲げモーメントにより杭体に生じる応力度は次式により計算する。

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

ここに、

- σ : 杭体に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
- N : 杭の軸力 (N)
- A : 杭の有効断面積 (= 1.4828×10⁴ mm²)
- M : 曲げモーメント (N・mm)
- Z : 杭の有効断面係数 (= 2.1583×10⁶ mm³)

(2) せん断応力度

せん断応力度は以下に示す計算式で算出するものとする。

$$\tau = \frac{S}{A}$$

ここに、

- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- S : せん断力 (N)
- A : 杭の有効断面積 (= 1.4828×10⁴ mm²)

杭 径	D	600.0 (mm)
板 厚	t	9.0 (mm)
腐食代		1.0 (mm)
鋼管材質		SKK400

3-6-2 杭本体の応力度照査

(1) 橋軸方向

No	荷重ケース名称	杭列 番号	M (kN・m)	N (kN)	S (kN)	σ'_s (σ_{sa}) (N/mm ²)	σ_s (σ_{sa}) (N/mm ²)	τ (τ_a) (N/mm ²)
1	常時	1	74.00	358.01	58.81	58.43 (140.00)	-10.14 (140.00)	3.966 (80.000)
		4	74.00	499.88	58.81	68.00 (140.00)	-0.58 (140.00)	3.966 (80.000)
2	常時+浮力	1	70.36	303.17	56.10	53.05 (140.00)	-12.16 (140.00)	3.783 (80.000)
		4	70.36	442.46	56.10	62.44 (140.00)	-2.76 (140.00)	3.783 (80.000)
3	地震時	1	117.78	33.36	143.50	56.82 (210.00)	-52.32 (210.00)	9.678 (120.000)
		4	117.78	754.87	143.50	105.48 (210.00)	-3.66 (210.00)	9.678 (120.000)
4	地震時+浮力	1	114.94	-9.38	140.79	52.62 (210.00)	-53.89 (210.00)	9.495 (120.000)
		4	114.94	707.85	140.79	100.99 (210.00)	-5.52 (210.00)	9.495 (120.000)

3-7 杭とフーチングの接合部の照査

3-7-1 押し込み力に対する照査

(1) フーチングコンクリートの垂直支圧応力度

$$\sigma_{cv} = \frac{P}{\pi D^2/4} \quad (\leq \alpha \cdot \sigma_{ba})$$

ここに、

σ_{cv} : 垂直支圧応力度 (N/mm²)
 P : 軸方向押し込み力 (N)
 σ_{ba} : コンクリートの許容支圧応力度 (N/mm²)

$$\sigma_{ba} = \left(0.25 + 0.05 \frac{A_c}{A_b} \right) \cdot \sigma_{ck} \quad (\leq 0.5 \cdot \sigma_{ck})$$

A_c : 局部荷荷の場合のコンクリート面の全面積 (= 17671.5 × 10² mm²)
 A_b : 局部荷荷の場合の支圧を受けるコンクリート面の面積 (= 2827.4 × 10² mm²)
 σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (= 24.00 N/mm²)
 α : 荷重組合せによる割増係数
 D : 杭の外径 (= 600.0 mm)

1) 橋軸方向

No	荷重ケース名称	割増係数 α	押し込み力 P (kN)	垂直支圧応力度 σ_{cv} (N/mm ²)
1	常時	1.00	499.88	1.77 (12.00)
2	常時+浮力	1.00	442.46	1.56 (12.00)
3	地震時	1.50	754.87	2.67 (18.00)
4	地震時+浮力	1.50	707.85	2.50 (18.00)

※ () は許容値を示す。

(2) フーチングコンクリートの押抜きせん断応力度

$$\tau_v = \frac{P}{\pi (D + h) \cdot h} \quad (\leq \tau_{a3})$$

ここに、

 τ_v : 垂直方向の押抜きせん断応力度 (N/mm²) τ_{a3} : 許容押抜きせん断応力度 (N/mm²)

P : 軸方向押込み力 (N)

h : 押抜きせん断力に抵抗するフーチングの有効厚さ (mm)

D : 杭の外径 (= 600.0 mm)

1) 橋軸方向

No	荷重ケース名称	有効厚さ h (mm)	押込み力 P (kN)	押抜きせん断応力度 τ_v (N/mm ²)
1	常時	450.0	499.88	0.337 (0.900)
2	常時+浮力	450.0	442.46	0.298 (0.900)
3	地震時	450.0	754.87	0.509 (0.900)
4	地震時+浮力	450.0	707.85	0.477 (0.900)

※ () は許容値を示す。

3-7-2 水平力に対する照査

(1) フーチングコンクリートの水平支圧応力度

$$\sigma_{ch} = \frac{H}{D \cdot l} \quad (\leq \alpha \cdot \sigma_{ba})$$

ここに、

σ_{ch} : 水平支圧応力度 (N/mm²)
 H : 軸直角方向力 (N)
 σ_{ba} : コンクリートの許容支圧応力度 (N/mm²)

$$\sigma_{ba} = \left(0.25 + 0.05 \frac{A_c}{A_b} \right) \cdot \sigma_{ck} \quad (\leq 0.5 \cdot \sigma_{ck})$$

A_c : 局部載荷の場合のコンクリート面の全面積 (= 60000.0 mm²)
 A_b : 局部載荷の場合の支圧を受けるコンクリート面の面積 (= 60000.0 mm²)
 σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (= 24.00 N/mm²)
 α : 荷重組合せによる割増係数
 D : 杭の外径 (= 600.0 mm)
 l : 杭の埋込み長 (= 100.0 mm)

1) 橋軸方向

No	荷重ケース名称	割増係数 α	軸直角方向力 H(kN)	水平支圧応力度 σ_{ch} (N/mm ²)
1	常時	1.00	58.81	0.98 (7.20)
2	常時+浮力	1.00	56.10	0.93 (7.20)
3	地震時	1.50	143.50	2.39 (10.80)
4	地震時+浮力	1.50	140.79	2.35 (10.80)

※ () は許容値を示す。

(2) フーチング端部の杭に対する水平方向の押抜きせん断応力度

$$\tau_h = \frac{H}{h' \cdot (2l + D + 2h')} \quad (\leq \tau_{a3})$$

ここに、

 τ_h : 水平方向の押抜きせん断応力度 (N/mm²) τ_{a3} : 許容押抜きせん断応力度 (N/mm²)

H : 軸直角方向力 (N)

h' : 水平方向の押抜きせん断力に抵抗するフーチングの有効厚さ (mm)

D : 杭の外径 (= 600.0 mm)

l : 杭の埋込み長 (= 100.0 mm)

1) 橋軸方向

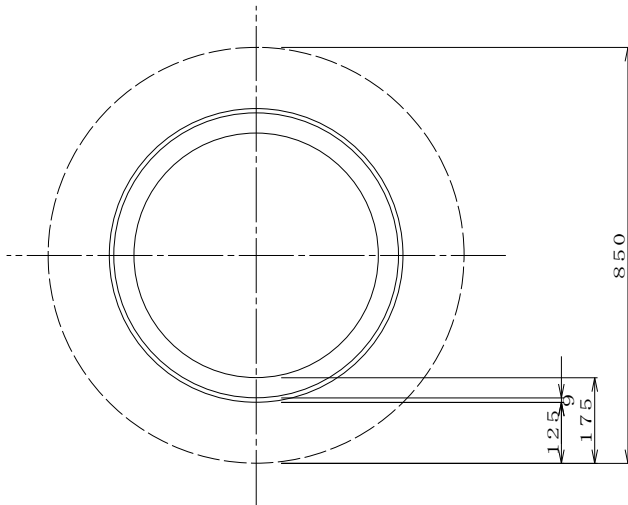
No	荷重ケース名称	有効厚さ h' (mm)	軸直角方向力 H(kN)	押抜きせん断応力度 τ_h (N/mm ²)
1	常時	450.0	58.81	0.077 (0.900)
2	常時+浮力	450.0	56.10	0.073 (0.900)
3	地震時	450.0	143.50	0.188 (0.900)
4	地震時+浮力	450.0	140.79	0.184 (0.900)

※ () は許容値を示す。

3-7-3 仮想鉄筋コンクリート断面の照査

(1) 仮想鉄筋コンクリート断面

中詰め筋 : かぶり 175.0 mm D22× 12 本 $A_s = 4645.2 \text{ mm}^2$



(2) 曲げ照査

1) 橋軸方向

No	荷重ケース名称	杭列 番号	曲げモーメント M_d (kN・m)	軸力 N_d (kN)	σ_s (σ_{sa}) (N/mm ²)
1	常時	1	74.00	358.01	-19.72 (200.00)
		4	74.00	499.88	-22.06 (200.00)
2	常時+浮力	1	70.36	303.17	-18.31 (200.00)
		4	70.36	442.46	-20.35 (200.00)
3	地震時	1	117.78	33.36	111.96 (300.00)
		4	117.78	754.87	-34.33 (300.00)
4	地震時+浮力	1	114.94	-9.38	120.33 (300.00)
		4	114.94	707.85	-32.97 (300.00)

※ () は許容値を示す。

3-7-4 フーチングへの鉄筋の定着長

$$L = \frac{\sigma_{sa}}{4 \cdot \tau_{0a}} \cdot \phi + 10 \cdot \phi$$
$$= \frac{200.00}{4 \times 1.60} \times 22.0 + 10 \times 22.0 = 907.5 \text{ (mm)}$$

$$L = 35 \cdot \phi + 10 \cdot \phi$$
$$= 35 \times 22.0 + 10 \times 22.0 = 990.0 \text{ (mm)}$$

ここに、

- L : 定着長 (mm)
 σ_{sa} : 鉄筋の許容引張応力度 (N/mm²)
 τ_{0a} : 鉄筋とコンクリートの許容付着応力度 (N/mm²)
 ϕ : 鉄筋径 (mm)

※ 定着長は、フーチング下面主鉄筋からの必要長さ

4 杭の断面変化位置計算

4-1 杭の諸元

杭種		鋼管杭
杭長	L	17.000 (m)
埋込み長	L_a	0.100 (m)

断面性能

	外径 D (mm)	板厚 t (mm)	腐食代 t' (mm)	鋼管材質	断面積 A (mm ²)	断面係数 Z (mm ³)
第1断面	600.0	9.0	1.0	SKK400	14828	2158310

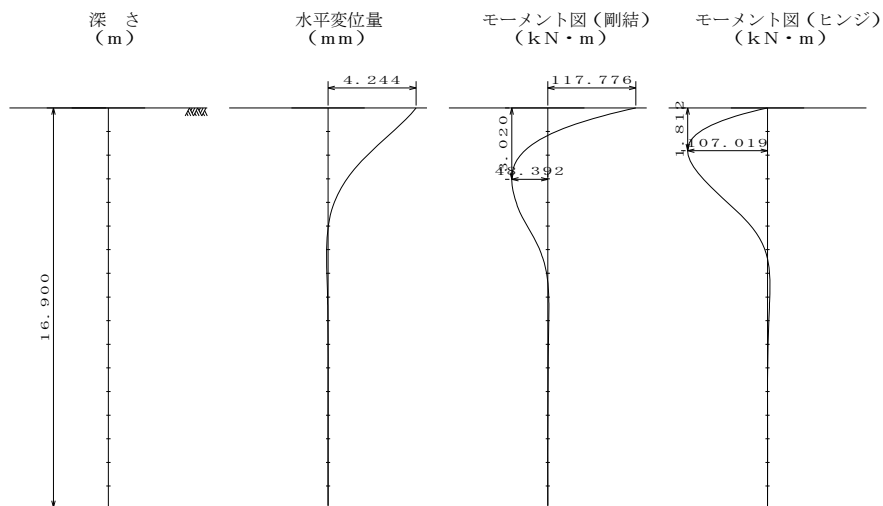
4-2 杭の断面力及び変位の計算

着目荷重ケース：橋軸方向 地震時

(1) 外力

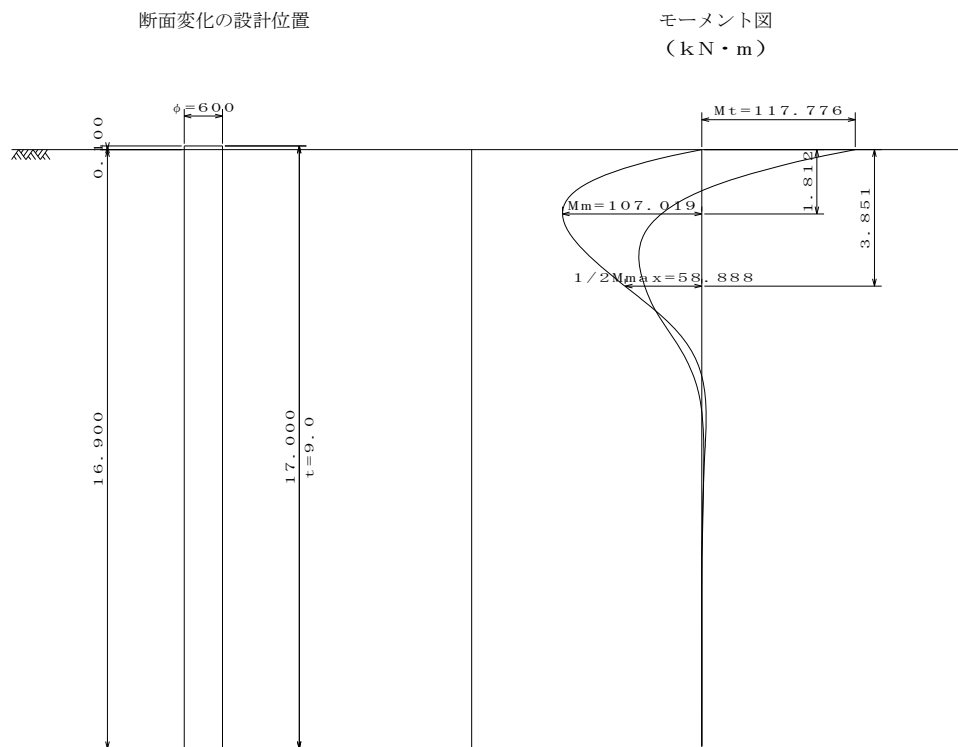
最大軸方向力	N_{max}	754.87 (kN)
最小軸方向力	N_{min}	33.36 (kN)
杭頭モーメント	M_t	-117.78 (kN・m)
杭軸直角方向力 (剛結合)	H_t	143.50 (kN)
杭軸直角方向力 (ヒンジ結合)	H_m	143.50 (kN)

(2) 断面力図



4-3 杭の断面変化位置計算

(1) 断面変化位置の決定



(2) 応力度照査

曲げ応力度

$$\sigma_s = \frac{N_{\max}, N_{\min}}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

	曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N _{max} , N _{min} (kN)	抵抗モーメント Mr (kN・m)	曲げ応力度	
				$\sigma_c (\sigma_{ca})$ (N/mm ²)	$\sigma_s (\sigma_{sa})$ (N/mm ²)
第1断面	117.78	754.87	343.37	105.48 (210.00)	-3.66 (210.00)
		33.36		56.82 (210.00)	-52.32 (210.00)

せん断応力度

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{S}{A} \\ &= \frac{143501}{14828} \\ &= 9.678 \text{ (N/mm}^2\text{)} \leq \tau_a = 120.000 \text{ (N/mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

τ : せん断応力度 (N/mm²)
 τ_a : 許容せん断応力度 (N/mm²)