

---

第 1 回 中部支部イブニングセミナー(初級編①)

**「解けばなるほど・支持力」**

平成 22 年 6 月 18 日(金) 名城大学

大同大学 工学部 都市環境デザイン学科 准教授

**棚橋 秀行**

---

**内容**

1. 浅い基礎の支持力

- 1.1 一般的な問題 (例題 1・問題 1)
- 1.2 砂地盤の問題 (例題 2・問題 2)

2. 深い基礎の支持力

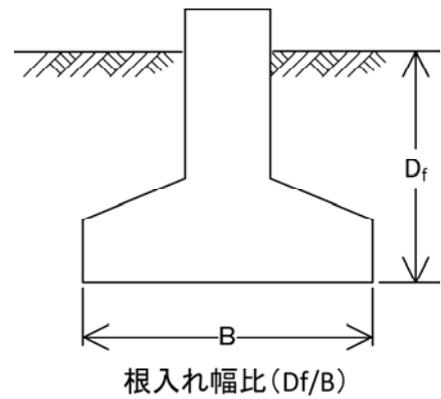
- 2.1 テルツァギの極限支持力修正式 (例題 3・問題 3)
- 2.2 マイヤホフの極限支持力修正式 (例題 4・問題 4)

# 1. 浅い基礎の支持力

■ 右図参照

$D_f$  (根入れ深さ) が  $B$  (基礎幅) より小さい ( $D_f / B \leq 1$ )  
ものを [ ] という。

$D_f$  (根入れ深さ) が  $B$  (基礎幅) より大きい ( $D_f / B > 1$ )  
ものを [ ] という。



■ 右図参照

基礎に荷重を載せていくと、沈下が進んでいく。

(a) 全般せん断破壊・・・地盤が締まっているとき

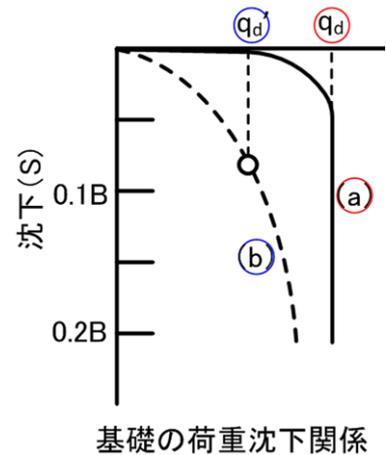
極限支持力  $q_d$  の式

$q_d =$  [ ]

(b) 局部せん断破壊・・・地盤が緩いとき

極限支持力  $q_d'$  の式

$q_d' =$  [ ]



\* 極限支持力は「力」といいますが単位は「圧力・応力」であることに注意。

【表1】  
実用的に修正した支持力係数

$\phi$	$N_c$	$N_r$	$N_q$
0°	5.3	0.0	1.0
5°	5.3	0.0	1.4
10°	5.3	0.0	1.9
15°	6.5	1.2	2.7
20°	7.9	2.0	3.9
25°	9.9	3.3	5.6
28°	11.4	4.4	7.1
32°	20.9	10.6	14.1
36°	42.2	30.5	31.6
40°	95.7	114.0	81.2
45°	172.3	325.8	173.3
50°	347.1	1073.4	414.7

【表2】 各種フーチングの形状係数

フーチングの形状	$\alpha$	$\beta$
帯状	1.0	0.5
円形	1.3	0.3
正方形	1.3	0.4
長方形	$1 + 0.3 \frac{B}{L}$	$0.5 - 0.1 \frac{B}{L}$

B:長方形の短辺長、L:長辺長

$c$  : 粘着力

$\gamma_1$  : 基礎底面より [ ] にある土の単位体積重量

$\gamma_2$  : 基礎底面より [ ] にある土の単位体積重量

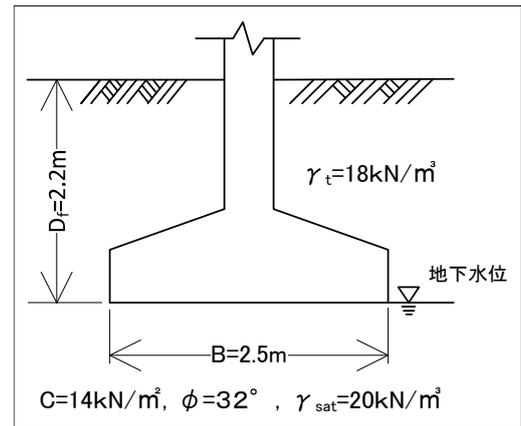
■ [ ]  $(q_a) = \frac{\text{極限支持力 } (q_d)}{\text{安全率 } (F)}$

## 1.1 一般的な問題

### 例題-1

右図に示す地盤条件のもとで、深さ 2.2m の地下水位のところまで掘削して、一辺の長さが 2.5m の正方形フーチング基礎を設置する。この地盤の極限支持力  $q_d$  を求めよ。ただし、 $c=14\text{kN/m}^2$ 、 $\phi=32^\circ$ 、 $\gamma_t=18\text{kN/m}^3$ 、の均質な地盤で地下水面下では  $\gamma_{\text{sat}}=20\text{kN/m}^3$  である。

また、安全率を 3 としたとき許容支持力  $q_a$  はいくらか。



全般破壊での極限支持力の一般式に必要な数値を決めてゆく。

$$q_d = \alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q$$

■正方形フーチング→表 2 より  $\alpha =$  、 $\beta =$   である。

■内部摩擦角  $\phi = 32^\circ$ →表 1 より  $N_c =$  、 $N_r =$  、 $N_q =$   である。

■基礎底面下の単位体積重量  $\gamma_1 =$   ( $\text{kN/m}^3$ ) である。

■基礎底面上の単位体積重量  $\gamma_2 =$   ( $\text{kN/m}^3$ ) である。

これらを代入すると、極限支持力  $q_d$  は、

$$q_d = \text{}$$

$$= \text{} \text{ (kN/m}^2\text{) である。}$$

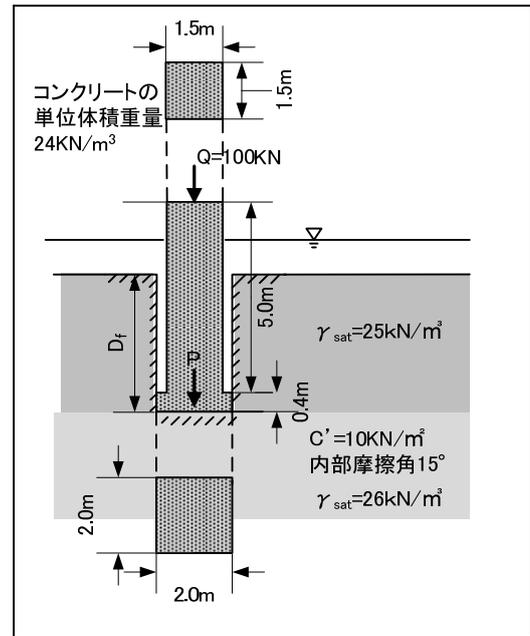
安全率  $F=3$  なので、許容支持力  $q_a$  は

$$q_a = \text{} = \text{} \text{ (kN/m}^2\text{) である。}$$

### 問題-1

右図に示すような、1.5m×1.5m の正方形断面を持つ高さ 5m のコンクリート構造物がある。

これが、2.0m×2.0m の正方形平面を持ち、厚さ 0.4m のコンクリートフーチングの上に載り、また構造物の上部中央に 100kN の集中荷重がかかったとき、この構造物が安定するために必要な根入れの深さを、安全率 1.5 として求めよ。



全般破壊での極限支持力の一般式に、根入れ深さ  $D_f$  以外の数値を決めて代入してゆく。

$$q_d = \alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q$$

■正方形フーチング→表 2 より  $\alpha =$  、 $\beta =$   である。

■内部摩擦角  $\phi = 15^\circ$ →表 1 より  $N_c =$  、 $N_\gamma =$  、 $N_q =$   である。

■基礎底面下の単位体積重量  $\gamma_1 =$   ( $\text{kN/m}^3$ ) である。

■基礎底面上の単位体積重量  $\gamma_2 =$   ( $\text{kN/m}^3$ ) である。

これらを代入すると、極限支持力  $q_d$  は、

$$q_d = \text{}$$

$$= \text{} \text{ (kN/m}^2\text{) である。}$$

コンクリート構造物の自重  $W =$

$$= \text{} \text{ (kN) である。}$$

基礎底面にかかる圧力  $P = (W+Q) / A =$

$$= \text{} \text{ (kN/m}^2\text{) である。}$$

安全率  $F=1.5$  なので、 $q_d / 1.5 = P$  である。この式に  $q_d$ 、 $P$  を代入して根入れ深さ  $D_f$  について求めると、  
(途中計算)

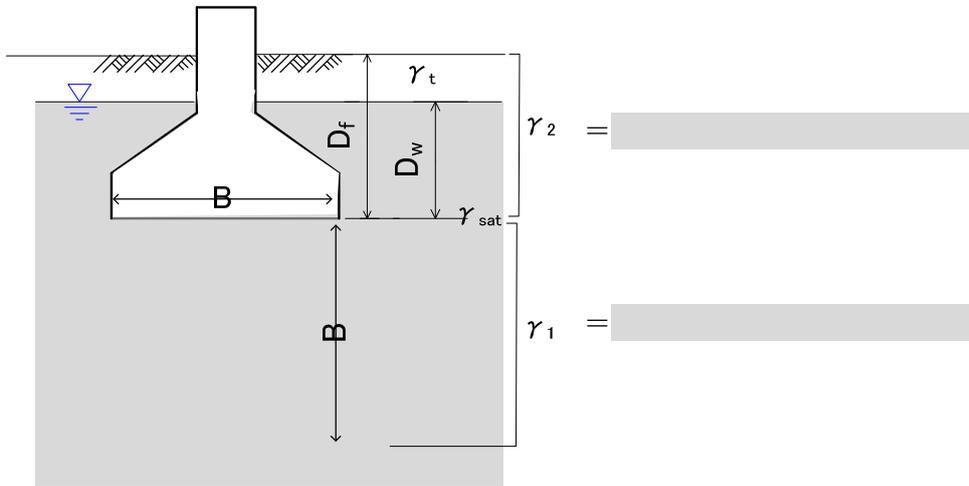
(途中計算)

よって、必要な根入れ深さ  $D_f =$   m である。

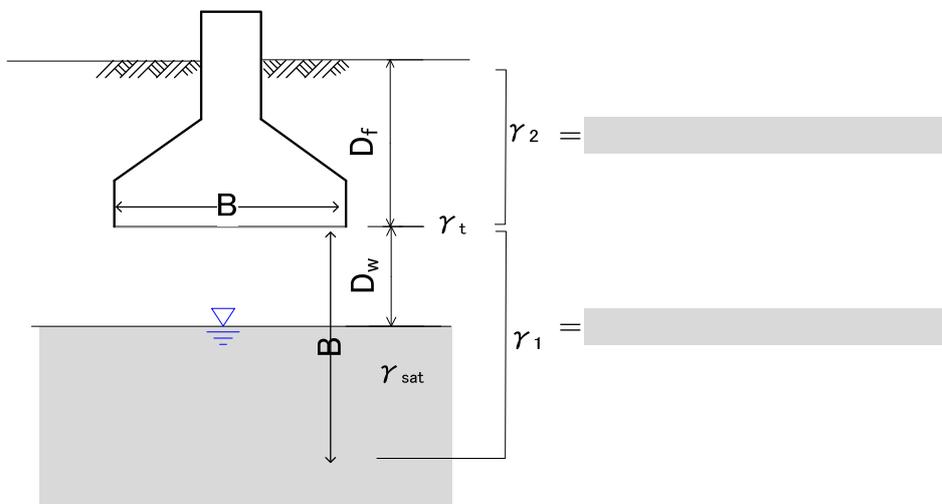
## 1.2 砂地盤の問題

式  $q_d = \alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q$  の中の  $\gamma_1$  と  $\gamma_2$  について

地下水位が基礎底面より上にある場合

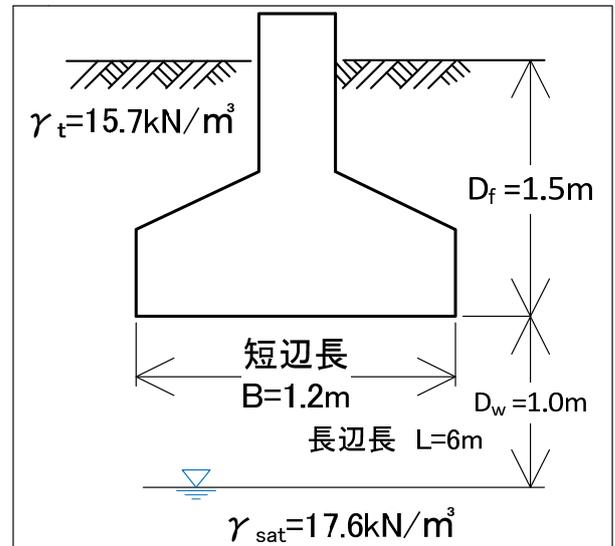


地下水位が基礎底面より下にある場合



## 例題 2

右図に示す長方形の基礎を、砂質土に施工する場合の許容支持力を安全率 3 として求めよ。この砂地盤に粘着力はなく、内部摩擦角  $\phi_d=30^\circ$  とする。



全般破壊での以下の極限支持力の一般式に必要な数値を決めてゆく。

$$q_d = \alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q$$

■長方形の基礎→表 2 より  $\alpha =$    $=$   、  
 $\beta =$    $=$   である。

■内部摩擦角  $\phi = 30^\circ$  →表 1 に数値がないので内挿すると、

$$N_c =$$
   $=$   、  
 $N_r =$    $=$   、  
 $N_q =$    $=$   である。

■基礎底面下の単位体積重量  $\gamma_1 =$    
 $=$   (kN/m<sup>3</sup>) である。

■基礎底面上の単位体積重量  $\gamma_2 =$   (kN/m<sup>3</sup>) である。

これらを代入すると、極限支持力  $q_d$  は、

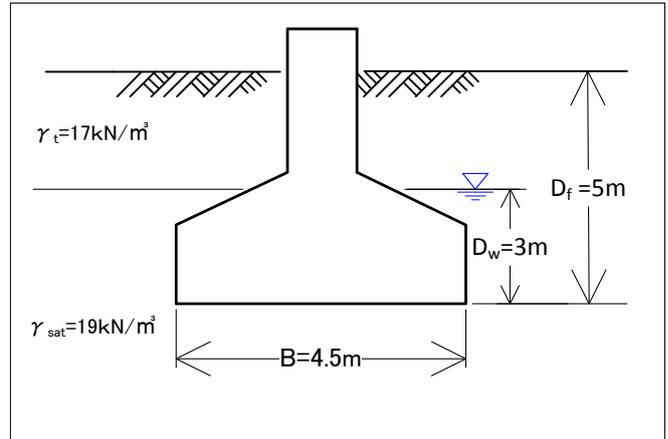
$$q_d =$$
   
 $=$   (kN/m<sup>2</sup>) である。

安全率  $F=3$  なので、許容支持力  $q_a$  は

$$q_a =$$
   $=$   (kN/m<sup>2</sup>) である。

## 問題 2

右図に示す円形の基礎を、砂質土に施工する場合の許容支持力を安全率 3 として求めよ。この砂地盤に粘着力はなく、内部摩擦角  $\phi_d=25^\circ$  とする。



全般破壊での以下の極限支持力の一般式に必要な数値を決めてゆく。

$$q_d = \alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q$$

- 形的基础 → 表 2 より  $\alpha =$  、 $\beta =$   である。
- 内部摩擦角  $\phi = 25^\circ$  → 表 1 より、 $N_c =$  、 $N_r =$  、 $N_q =$   である。
- 基礎底面下の単位体積重量  $\gamma_1 =$    $=$   (kN/m<sup>3</sup>) である。
- 基礎底面上の単位体積重量  $\gamma_2 =$    
 $=$   (kN/m<sup>3</sup>) である。

これらを代入すると、極限支持力  $q_d$  は、

$$q_d =$$

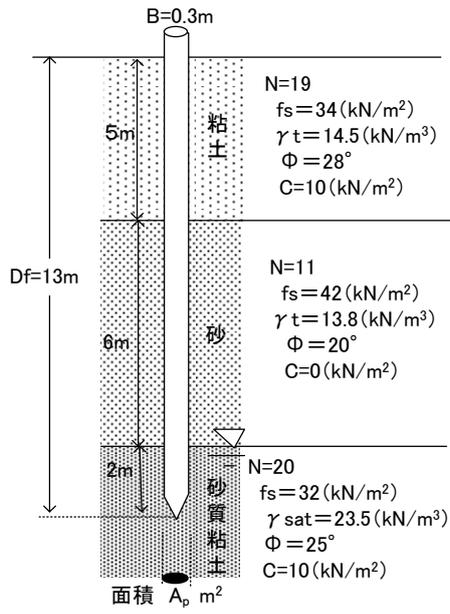
$$=$$
  (kN/m<sup>2</sup>) である。

安全率  $F=3$  なので、許容支持力  $q_a$  は

$$q_a =$$
   $=$   (kN/m<sup>2</sup>) である。



**問題 3** 図に示す杭の極限支持力 (kN) をテルツァギの式で求めよ。



## 2.2 マイヤホフの極限支持力修正式

テルツァギの式で必要となる杭先端部分の強度定数 $c$ 、 $\phi$ などを測定することは困難な場合が多いため、マイヤーホフ (Meyerhof) は実用を考え、 $N$  値から極限支持力  $Q_d$  を求める式を提案した。その後、我が国において適用できるように修正されたのが以下の式である。

マイヤホフの極限支持力  $Q_d$  の式

$Q_d =$

$$N = (N'_1 + N'_2) / 2$$

$N'_1$ …杭径  $B$  に対して杭先端から下方  $3B$  内の   $N$  値(無次元)

$N'_2$ …杭径  $B$  に対して杭先端から上方  $10B$  内の   $N$  値(無次元)

$A_b$ …杭の底面積( $m^2$ )

$N_s$ …杭全体の  の   $N$  値(無次元)

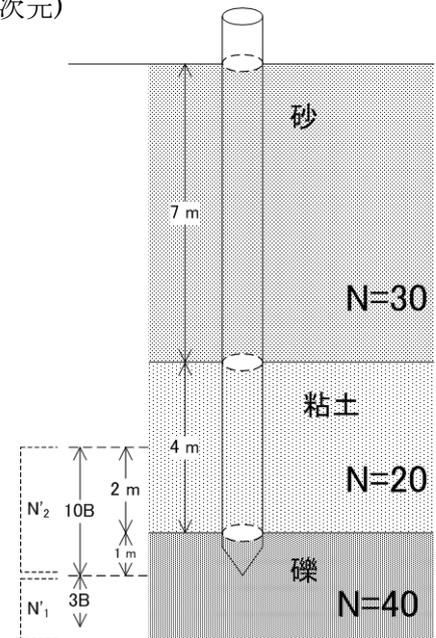
$\Sigma A_{s,i}$ …杭全体の  の表面積の和( $m^2$ )

$N_{cl}$ …杭全体の  の   $N$  値(無次元)

$\Sigma A_{cl,i}$ …杭全体の  の表面積の和( $m^2$ )

重力加速度  $g = 9.81(m/s^2)$

杭の直径  $B \dots \phi = 0.3m$



マイヤホフの極限支持力式を用いる場合、ふつう安全率は 3 とする。

$$(\text{  } Q_a) = (\text{極限支持力 } Q_d) / (\text{安全率 } 3)$$

**例題 4** 図に示す杭の許容支持力 (kN) を、マイヤホフ式で求めよ。安全率は 3 とする。

**解答** 極限支持力に関するマイヤホフ式

$$Q_d = (40NA_b + 0.2N_s \sum A_{s,i} + 0.5N_{cl} \sum A_{cl,i})g \text{ に必要な数値を決めてゆく。}$$

$$N = (N'_1 + N'_2) / 2$$

\*  $N'_1$ …杭径 B に対して杭先端から下方 3B 内の最小 N 値

図より、 $N'_1 =$

\*  $N'_2$ …杭径 B に対して杭先端から上方 10B 内の平均 N 値

$$10B = \text{} = \text{} \text{ m}$$

この 4m のうち 3m は砂層 ( $N =$  )、1m は礫層 ( $N =$  )  
であるので、重み付けした平均をとる。

$$N'_2 = \text{} = \text{}$$

… $N'_1$  と  $N'_2$  を代入して、 $N = (N'_1 + N'_2) / 2$

$$= \text{} = \text{}$$

杭の底面積  $A_b = \pi r^2 = \text{} = \text{} \text{ (m}^2\text{)}$

$N_s$ …杭全体の砂質・砂礫土の平均 N 値

砂質・砂礫土あわせて 7m のうち、6m は砂層 ( $N =$  )、  
1m は礫層 ( $N =$  ) であるので、重み付けした平均をとる。 $N_s =$   =

$\sum A_{s,i}$ …杭全体の砂質・砂礫土の表面積の和

$$\sum A_{s,i} = 2\pi r l_s = 2\pi \times \text{} \times \text{} = \text{} \text{ (m}^2\text{)} \quad \text{ここで } l_s \text{ は砂質・砂礫土層の厚み (m)}$$

$N_{cl}$ …杭全体の粘性土の平均 N 値

図より、 $N_{cl} =$

$\sum A_{cl,i}$ …杭全体の粘性土の表面積の和

図より、 $\sum A_{cl,i} = 2\pi r l_c = 2\pi \times \text{} \times \text{} = \text{} \text{ (m}^2\text{)} \quad \text{ここで } l_c \text{ は粘性土層の厚み (m)}$

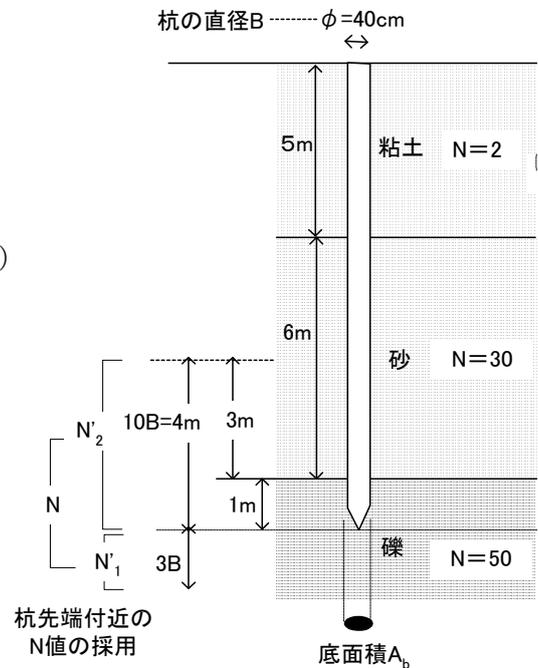
マイヤホフの極限支持力式に上記の数値を代入すると、極限支持力  $Q_d$  は、

$$Q_d = (40NA_b + 0.2N_s \sum A_{s,i} + 0.5N_{cl} \sum A_{cl,i})g$$

$$= (\text{}) \times 9.81$$

$$= \text{} \text{ (kN)}$$

許容支持力  $Q_a = \text{極限支持力 } Q_d / (\text{安全率 } 3) = \text{} / 3.0 = \text{} \text{ (kN)}$



**答** 許容支持力  $Q_a =$   (kN)

**問題 4** 図に示す杭の許容支持力 (kN) をマイヤホフ式で求めよ。安全率は 3 とする。

**解答** 極限支持力に関するマイヤホフ式

$$Q_d = (40NA_b + 0.2N_s \sum A_{s,i} + 0.5N_{cl} \sum A_{cl,i})g \text{ に必要な数値を決めてゆく。}$$

$$N = (N'_1 + N'_2) / 2$$

\*  $N'_1$ …杭径 B に対して杭先端から下方 3B 内の最小 N 値

$$B = \text{ } \text{m} \quad 3B = 3 \times \text{ } = \text{ } \text{m}$$

図より、 $N'_1 = \text{ } \text{m}$

\*  $N'_2$ …杭径 B に対して杭先端から上方 10B 内の平均 N 値

$$10B = 10 \times \text{ } = \text{ } \text{m}$$

この  $\text{ } \text{m}$  のうち 1m は粘土層 ( $N = \text{ } \text{m}$ )、4m は礫層 ( $N = \text{ } \text{m}$ ) であるので、重み付けした平均をとる。

$$N'_2 = (1 \times \text{ } + 4 \times \text{ }) / \text{ } = \text{ } \text{m}$$

$N'_1$  と  $N'_2$  を代入して、

$$N = (N'_1 + N'_2) / 2 = (\text{ } + \text{ }) / 2 = \text{ } \text{m}$$

$$\text{杭の底面積 } A_b = \pi r^2 = 3.14 \times \text{ }^2 = \text{ } \text{(m}^2\text{)}$$

$N_s$ …杭全体の砂質・砂礫土の平均 N 値

砂質・砂礫土あわせて  $(4+2+4) = \text{ } \text{m}$  のうち、上から 4m は砂層 ( $N = \text{ } \text{m}$ )、2m は礫層 ( $N = \text{ } \text{m}$ )、4m は礫層 ( $N = \text{ } \text{m}$ ) であるので、重み付けした平均をとる。

$$N_s = (4 \times \text{ } + 2 \times \text{ } + 4 \times \text{ }) / \text{ } = \text{ } \text{m}$$

$\sum A_{s,i}$ …杭全体の砂質・砂礫土の表面積の和

$$\sum A_{s,i} = 2\pi r l_s = 2\pi \times \text{ } \times \text{ } = \text{ } \text{(m}^2\text{)} \quad \text{ここで } l_s \text{ は砂質・砂礫土層の厚み (m)}$$

$N_{cl}$ …杭全体の粘性土の平均 N 値

粘性土はあわせて  $(2+4) = \text{ } \text{m}$  のうち、すべて  $N = 2$  であるので、 $N_{cl} = 2$

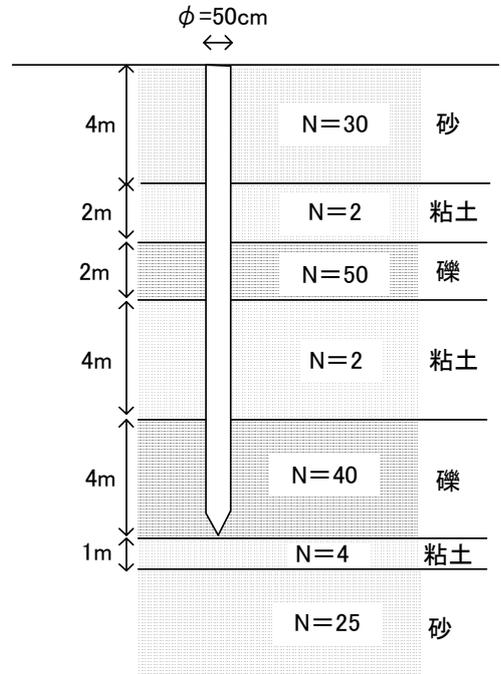
$\sum A_{cl,i}$ …杭全体の粘性土の表面積の和

$$\text{図より、} \sum A_{cl,i} = 2\pi r l_c = 2\pi \times \text{ } \times \text{ } = \text{ } \text{(m}^2\text{)} \quad \text{ここで } l_c \text{ は粘性土層の厚み (cm)}$$

マイヤホフの極限支持力式に上記の数値を代入すると、極限支持力  $Q_d$  は、

$$\begin{aligned} Q_d &= (40NA_b + 0.2N_s \sum A_{s,i} + 0.5N_{cl} \sum A_{cl,i})g \\ &= (40 \times \text{ } \times \text{ } + 0.2 \times \text{ } \times \text{ } + 0.5 \times \text{ } \times \text{ }) \times 9.81 \\ &= \text{ } \text{(kN)} \end{aligned}$$

$$\text{許容支持力 } Q_a = \text{極限支持力 } Q_d / (\text{安全率 } 3) = \text{ } / 3.0 = \text{ } \text{(kN)}$$



**答** 許容支持力  $Q_a = \text{ } \text{(kN)}$