

7 基礎構造物の設計－2 (沈下・変位)

7.1 許容される沈下・変位量

- 構造物によって、基礎に許容される沈下・変位量は異なる：
橋梁，貯油タンク，ビル，発電施設等：許容沈下・変位量は小
盛土，堤防，擁壁等：許容沈下・変位量は相対的に大
- 前者では不等沈下に対する制限も厳しい
- 許容される沈下・変位量によって基礎形式や施工手順が決まる

7.2 基礎の沈下

- 構造物の供用前に発生する沈下：
 S_i （即時沈下） + S_c （圧密沈下） + S_t （クリープ沈下）
- 構造物の供用後に発生する沈下：
 S_t （クリープ沈下） + S_l （活荷重の繰返し载荷による沈下等）
- 砂地盤の場合，ほとんどが即時沈下であるが，砂層中に挟まれる粘土やシルトの圧縮・圧密も無視できないことも
- 粘土地盤の場合，許容沈下量が小さな構造物では，プレロードや地盤改良を行うのが普通
- ここでは，主に S_i と S_c について説明

7.3 沈下の評価方法

間接的に評価する方法：地盤反力度が許容地盤反力度を上回らない \equiv 沈下が発生しないことを確認
(許容地盤反力度は、普通、支持力とは関係ない経験値)

解析解を用いる方法： Boussinesq (ブシネスク) によって求められた、半無限弾性体表面に集中荷重が作用したときの弾性体内の応力・変位に関する解析解等を用いて沈下量を算出

有限要素解析による方法：時空間的に離散化して、土/水連成初期値・境界値問題を解く方法で、汎用性は高く、近年多用されている(ここでは説明を省略)

7.4 許容地盤反力度

Peck et al. (1974) の方法

許容地盤反力度 $q_a = 10.5N'$ (単位: kPa)

N' = 補正された標準貫入試験の N 値

道路土工指針の値

支持地盤の種類	許容支持力度 (kPa)
礫 (密な, 密でない)	600, 300
砂質土 (密な, 中位な)	300, 200
粘性土 (非常に堅い, 堅い)	200, 100

7.5 半無限弾性体の解析解による応力分布

- 解析解によって得られる応力増分が等しくなる点を結ぶと、球根のような形になる → 応力球根

- 帯荷重（基礎幅 B ）中心直下の鉛直応力：

$$\frac{\sigma_v}{p_0} = \frac{1}{\pi} (\alpha + \sin \alpha) \quad \alpha = 2 \tan^{-1} \left(\frac{B}{2z} \right)$$

- 円荷重（基礎直径 B ）中心直下の鉛直応力：

$$\frac{\sigma_v}{p_0} = 1 - \frac{1}{\left\{ 1 + \left(\frac{B}{2z} \right)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}$$

z/B	0.2	1.0	1.2	2.0	3.0	5.0
帯荷重	0.98	0.55	0.48	0.31	0.21	0.13
円荷重	0.95	0.28	0.21	0.087	0.040	0.015

応力球根

(日下部治 (2004): 土質力学, コロナ社, p134 の図 7.16 等を参照)

帯荷重の方が圧倒的に影響深さが大きい

均等荷重を受ける矩形基礎偶点直下の鉛直応力増分

(日下部治 (2004): 土質力学, コロナ社, p135 の図 7.17 等を参照)

$$\sigma_v = \frac{p_0}{2\pi} \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{LB}{zR_3} \right) + \frac{LBz}{R_3} \left(\frac{1}{R_1^2} + \frac{1}{R_2^2} \right) \right\}$$

ただし, $R_1 = \sqrt{L^2 + z^2}$ $R_2 = \sqrt{B^2 + z^2}$ $R_3 = \sqrt{L^2 + B^2 + z^2}$

※ 弾性体なので, 足し合わせが可能

7.6 即時沈下

- $z = 0$ を自由面とする半無限弾性体の原点に z (鉛直) 方向荷重 P が作用したときの, 任意の点 (x, y, z) での鉛直応力及び鉛直変位 :

$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi} \frac{z^3}{r^5} \quad w = \frac{P}{4\pi G} \left\{ \frac{z^2}{r^3} + \frac{2(1-\nu)}{r} \right\}$$

$$\left(r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)} \right)$$

- 鉛直応力は, 弾性パラメータによらない
- 上記式を積分すれば, 地表面沈下 $w_0 = \frac{qB(1-\nu^2)}{E} I$ と表せる
ここで, $q =$ 作用応力, $B =$ 基礎幅, $I =$ 影響係数
- I の例 : 0.85(円形たわみ性), 0.79(剛性), 0.95(正方形たわみ性), 0.82(剛性)
1.12(矩形剛性, $L/B = 2$), 1.6($L/B = 5$), 2.0($L/B = 10$)

均等荷重を受ける矩形基礎の平均沈下量

(日下部治 (2004): 土質力学, コロナ社, p137 の図 7.18 等を参照)

7.7 圧密沈下

- 簡単のため一次元圧密理論を使用するが、
 载荷による応力増分には3次元性を考慮（弾性解析解を用いる）

圧縮指数 C_c を用いる方法：

- 初期鉛直応力 σ'_{v0} と応力増分 $\Delta\sigma$ の和が、
 圧密降伏応力 p'_c を超えている領域 ($\sigma'_{v0} + \Delta\sigma \geq p'_c$) :

$$\Delta e = C_s \log \left(\frac{p'_c}{\sigma'_{v0}} \right) + C_c \log \left(\frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma}{p'_c} \right)$$

- $\sigma'_{v0} + \Delta\sigma < p'_c$: $\Delta e = C_s \log \left(\frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma}{\sigma'_{v0}} \right)$

体積圧縮係数 m_v を用いる方法： $\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta e}{1+e_0} = m_v \Delta\sigma$

7.8 演習 2 – 偏心荷重を受ける基礎の支持力計算

- 幅 2.5 × 長さ 3.5m の直接基礎（厚さ 0.5m）が、地表面から 1.7m の位置に設置された。地下水面の深さは 1.2m である
- この基礎に長手方向に中心から 0.6m 離れた場所に 850kN の鉛直荷重が作用したときの支持力と安全率を求めよ。ただし、
 - 排水状態 ($c' = 3\text{kPa}$, $\phi' = 27^\circ$) および非排水状態 ($c_u = 65\text{kPa}$, $\phi_u = 0$) の 2 通りを考えるものとする
 - 地下水位以浅の土の単位体積重量は 19.5kN/m^3 、地下水位以深のそれは 21.5kN/m^3 、基礎のそれは 25kN/m^3 とする
 - 荷重を基礎に伝達させる「柱」の断面積は考えなくて良い
 - 基礎底面より上の土のせん断抵抗は無視して良い

7.9 演習 3 – 圧密による基礎の沈下量の計算

- 4 × 5m の柔な「べた基礎」が 8m 厚の正規圧密粘土地盤上に建設され、50kPa の一様応力が地盤に作用する場合を考える。
 - このときの基礎の最大沈下量を求めよ。ただし、
 - この粘土の 1 次元圧縮特性は $e = 0.80 - 0.56 \log \left(\frac{\sigma'_v}{100} \right)$ と表せる
(応力の単位は kPa)
 - 地下水位は地表面にあった
 - 土粒子密度は 2.6 であった
- ※ 全層を 4 分割して、2m 厚の均一な土層が 4 つ重なっているとして計算すること

演習（レポート）提出期限

- 次回の講義が始まるまで（6/9（月） 15:00）
- その後は受け取りません（そのとき解答例を配るため）