6　基礎構造物の設計－１ (支持力)

6.1　支持力とは

- 地盤が支えることができる最大荷重のこと（応力の単位）
- 地盤構成や基礎の深さによって破壊モードは様々だが，
  ここでは，浅い基礎の全般せん断破壊を中心に説明
  → 全般せん断，局所せん断，パンチせん断，分散・絞り出し破壊，局部破壊等
- 極限解析による解法を説明した後，実務的によく用いられる
  支持力公式について説明

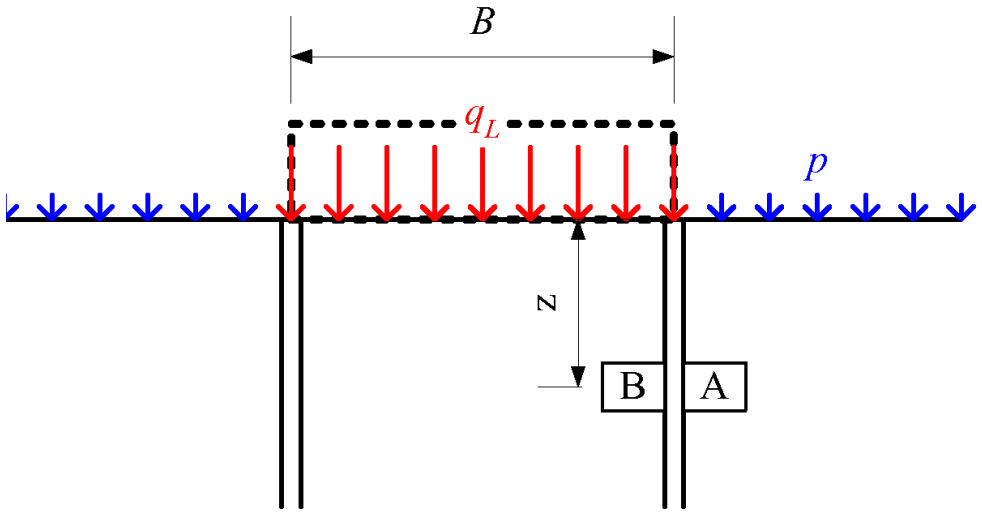
ⓒAkihiro Takahashi 2008

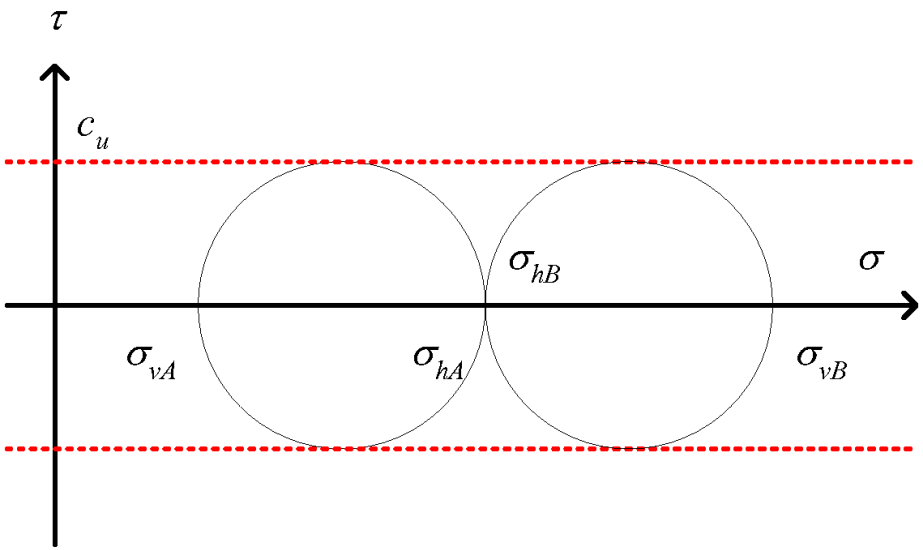
6.2 非排水条件下での極限解析による支持力

- 試行錯誤的に（若しくは数値解析によりシステマティックに）許容速度場・可容応力場を探して，上界値と下界値との間を狭めることにより，より正解に近い値を求める
- 非排水条件下 $(c_u,\, \phi_u = 0)$ については，これらの設定が比較的容易
- （2 次元の）鉛直支持力については正解が得られている：
  $q_c = \frac{F_c}{B} = c_u(2+\pi) + p$（粘着力 c_u による項＋上載圧 p による項）
- 以下では，上界値及び下界値の簡単な例（$\neq$ 正解）について示す

ⓒAkihiro Takahashi 2008

6.2.1 非排水条件下での支持力（下界値の例）





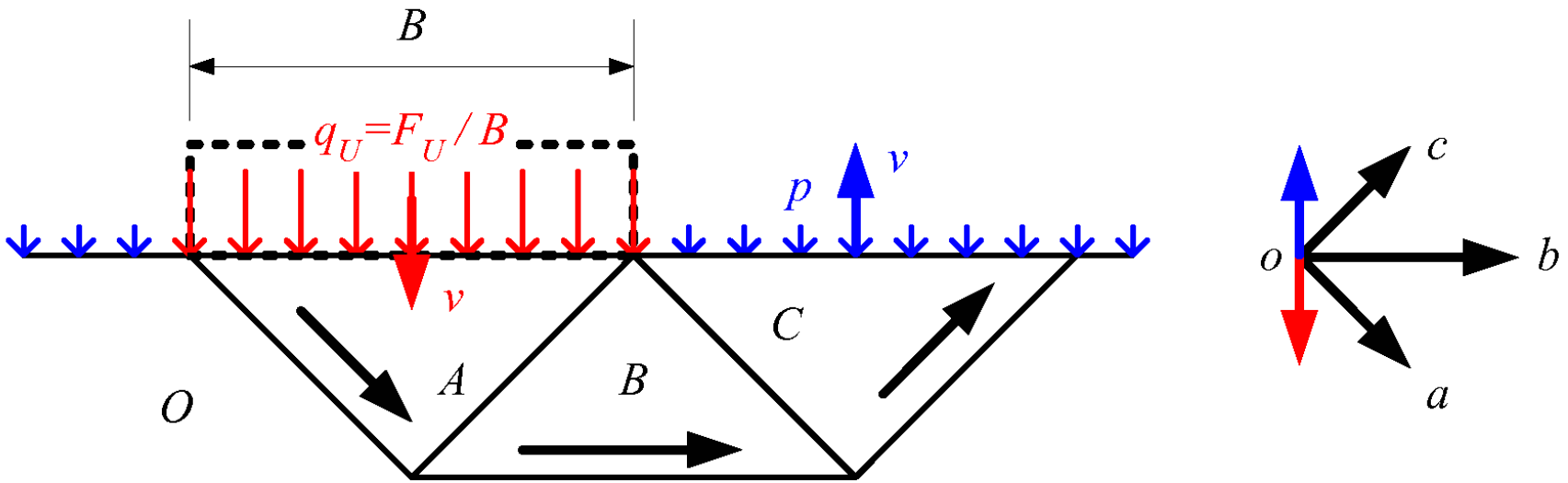
$$\sigma_{vA} = p + \rho g z \qquad \sigma_{hA} = \sigma_{hB} = \sigma_{vA} + 2c_u = p + \rho g z + 2c_u$$

$$\sigma_{vB} = q_L + \rho g z = \sigma_{hB} + 2c_u = p + \rho g z + 4c_u$$

$$q_L = 4c_u + p$$

ⓒAkihiro Takahashi 2008

6.2.2 非排水条件下での支持力（上界値の例）



$$\delta W_{\text{ext}} = F_U v + \frac{\rho g B^2}{4} v + \frac{\rho g B^2}{4} \times 0 + \frac{\rho g B^2}{4}(-v) + pB(-v) = (F_U - pB)\, v$$

$$\delta W_{\text{int}} = c_u \left(|\overrightarrow{oa}| \frac{B}{\sqrt{2}} + |\overrightarrow{ob}| B + |\overrightarrow{oc}| \frac{B}{\sqrt{2}} + |\overrightarrow{ab}| \frac{B}{\sqrt{2}} + |\overrightarrow{bc}| \frac{B}{\sqrt{2}} \right) = 6 c_u B v$$

従って，$\delta W_{\text{ext}} = \delta W_{\text{int}}$ とすれば，$q_U = F_U / B = 6c_u + p$

（下界値）$4c_u + p <$（正解）$q_c = c_u(2 + \pi) + p <$（上界値）$6c_u + p$

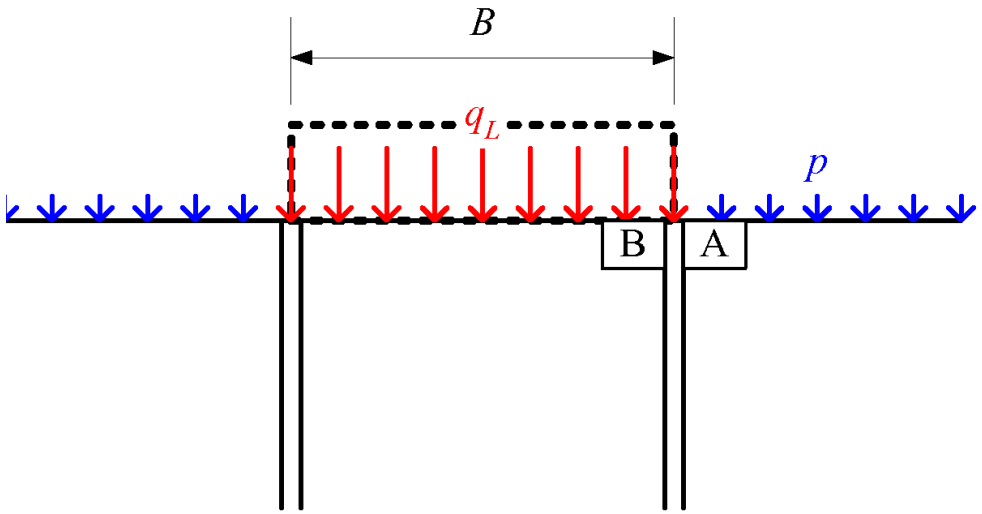
©Akihiro Takahashi 2008

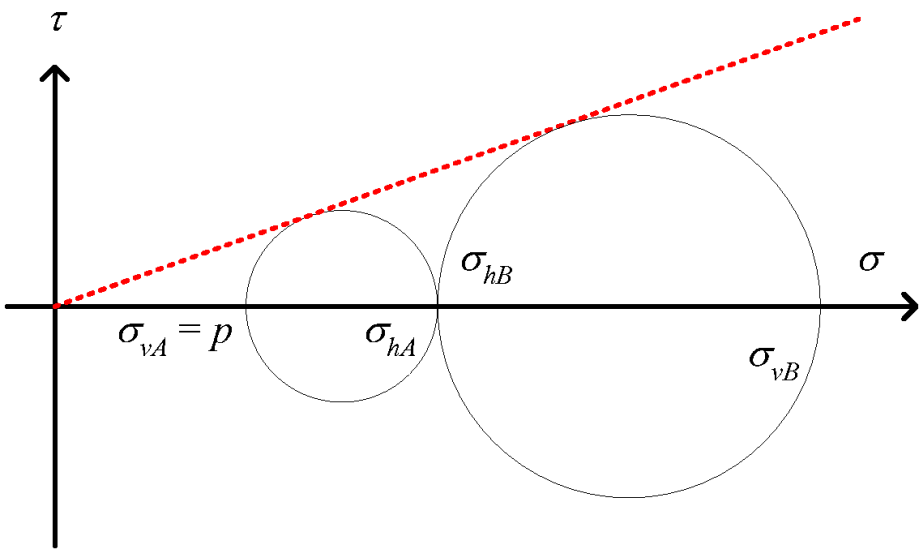
6.3 排水条件下での極限解析による支持力

- 試行錯誤的に（若しくは数値解析によりシステマティックに）許容速度場・可容応力場を探して，上界値と下界値との間を狭めることにより，より正解に近い値を求める
- 排水条件下 $(c' = 0,\ \phi')$ については，これらの設定が困難
- 土の自重なし (!?) の場合については，正解が得られている
  $q_c = pe^{\pi \tan \phi'} \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2} \right)$ （上載圧 p による項のみ）
  （例えば $\phi' = 20^\circ$ なら，$q_c / p \approx 6.4$）
- 以下では，上界値及び下界値の簡単な例について示す

ⓒAkihiro Takahashi 2008

6.3.1 排水条件下での支持力（下界値の例）





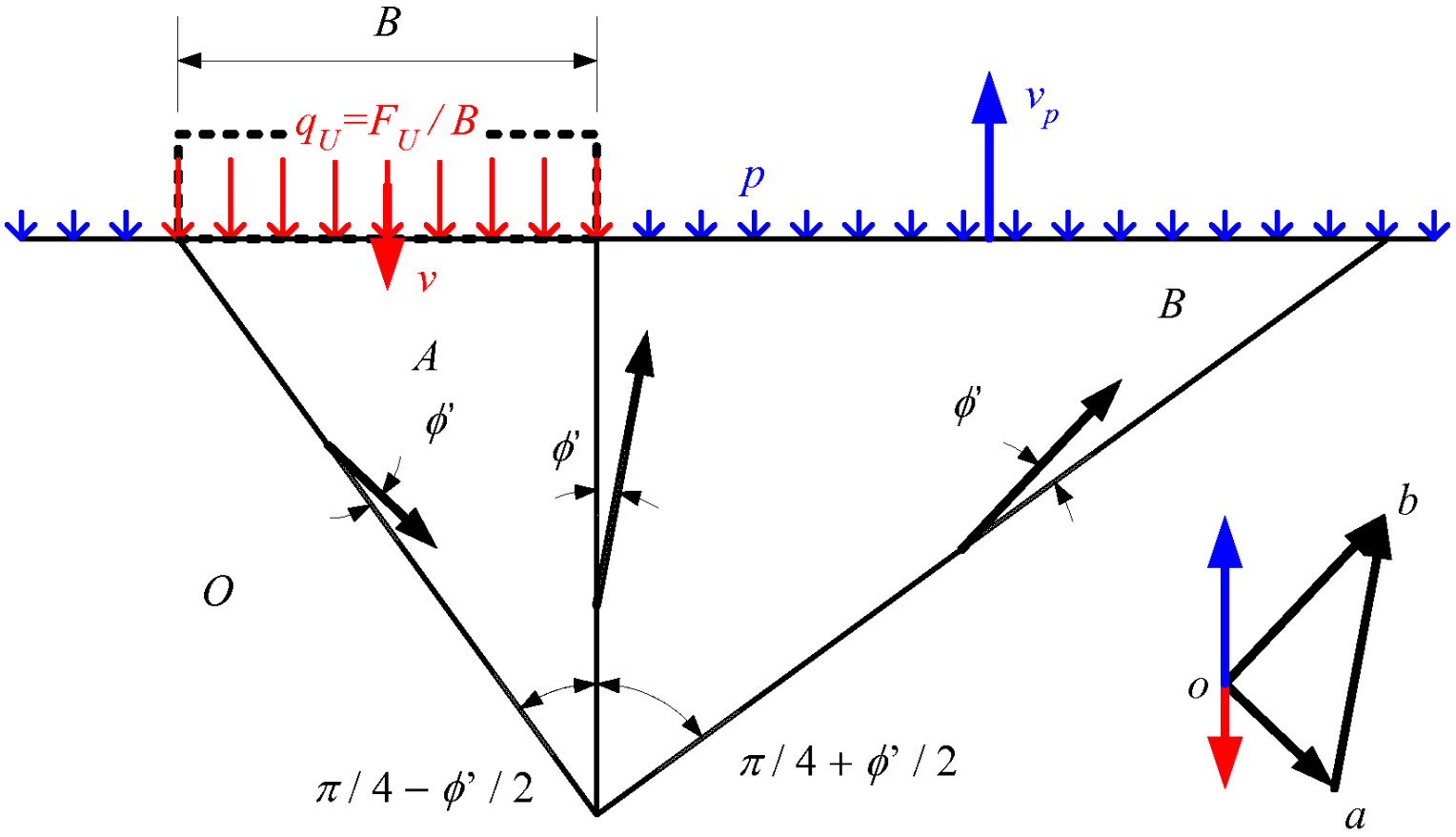
$$\sigma_{vA} = p \qquad \sigma_{hA} = \sigma_{hB} = \frac{1+\sin\phi'}{1-\sin\phi'}p$$

$$\sigma_{vB} = q_L = \frac{1+\sin\phi'}{1-\sin\phi'}\sigma_{hB} = \left(\frac{1+\sin\phi'}{1-\sin\phi'}\right)^2 p \qquad q_L = \tan^4\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\phi'}{2}\right)p$$

例えば $\phi' = 20^\circ$ なら， $q_L/p \approx 4.2$

ⓒAkihiro Takahashi 2008

6.3.2 排水条件下での支持力（上界値の例）



$$v_p = v \tan\beta \tan(\beta + \phi') \quad \text{ただし}, \beta = \frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2}$$

ⓒAkihiro Takahashi 2008

排水条件下での支持力計算例（上界値）

$\delta W_{\text{ext}} = F_U v + \frac{\rho g B^2 \tan\beta}{2} v - \frac{\rho g B^2 \tan^3\beta}{2} v_p - pB\tan^2\beta v_p$

$\delta W_{\text{int}} = 0$（$c' = 0$ の場合）

従って，$\delta W_{\text{ext}} = \delta W_{\text{int}}$ とすれば，

$q_U = pN_q + \frac{\rho g B}{2} N_\gamma$

$N_q = \tan^3\beta \tan(\beta + \phi')$　$N_\gamma = (N_q - 1)\tan\beta$　　$\beta = \frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2}$

例えば $\phi' = 20°$ なら，$N_q \approx 11$（随分，下界値・正解と違う）　$N_\gamma \approx 14$

ⓒAkihiro Takahashi 2008

6.4 支持力公式

- これまでに示した極限解析例を見ると，極限支持力 q_f は，

  非排水条件: $q_f = c_u N_c + pN_q$

  排水条件: $q_f = pN_q + \frac{\rho g B}{2} N_\gamma$

  という形式で表現することができた

- 支持力公式は，(1) 粘着力による項＋ (2) 上載圧による項＋ (3) 土の自重による項，という形式で一般に表現される：

  $q_f = cN_c + pN_q + \frac{\rho g B}{2} N_\gamma$

- これらの支持力係数 (N_c, N_q, N_γ) は，すべり線法や極限平衡法によって求められた解を元に，定式化されている

ⓒAkihiro Takahashi 2008

支持力公式の支持力係数

$$q_f = cN_c + pN_q + \frac{\rho g B}{2} N_\gamma$$

- いろいろな人が支持力係数 (N_c, N_q, N_γ) の求め方を提案している

  Terzaghi (1943), Meyerhof (1963), Hansen (1970), Vesić (1975), ...

- 例えば Vesić (1975)：

  $N_c = (N_q - 1)\cot\phi$

  （$\phi = 0$ の時，極限解析の正解と同じ：$N_c|_{\phi\to 0} = 2 + \pi$）

  $N_q = e^{\pi\tan\phi}\tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)$ （極限解析の正解と同じ）

  $N_\gamma \approx 2(N_q + 1)\tan\phi$（数値解析結果の近似式）

©Akihiro Takahashi 2008

各種条件を考慮した拡張支持力公式

- 根入れ深さが小さい帯基礎の鉛直支持力 q_f :
  $q_f = cN_c + pN_q + \frac{\rho g B}{2} N_\gamma$
- 基礎の形状 (S)，載荷重の傾斜 (i)，根入れ深さ (d) に対する補正 :
  $q_f = cN_c S_c i_c d_c + pN_q S_q i_q d_q + \frac{\rho g B}{2} N_\gamma S_\gamma i_\gamma d_\gamma$
  実験事実による経験式など．Vesić (1975) のものと同等の補正係数の詳細が日下部先生の教科書に書いてある (pp199–201)
- 偏心荷重を受ける基礎の支持力には,「有効基礎幅」の考え方 :
  有効基礎幅 $B' = B - 2e$（B は基礎幅，e は偏心量）

©Akihiro Takahashi 2008