

## 1. まえがき

筆者等は加圧砂地盤タンクを用い、杭先端部地盤の変形挙動をX線で詳細に観察し、また杭の載荷実験後に杭先端部地盤の変形状態を観察し極限状態における杭先端部地盤の破壊機構を明らかにした<sup>1)</sup>。その結果極限状態における地盤の破壊機構は上載圧が  $1 \text{ kgf/cm}^2$  以上ではすべてパンチングせん断破壊であり、山田の模型実験結果<sup>2)</sup>やBCP委員会による現場実験結果とも一致している。この破壊機構に基づいて極限支持力理論を提案し、土の内部摩擦角の低下が支持力に与える影響を明らかにした<sup>3)</sup>。本報告では提案式の支持力係数を示し、極限支持力を標準貫入試験のN値から推定する簡略式を提案する。

## 2. 支持力式

極限支持力の解析モデルとして Fig. 1 に示す破壊すべり線場を仮定した。図において杭底面下にくさびABCが形成されこのくさびが杭と一体となって貫入する。この際過渡領域BCDが形成されBD面より外側の土は側方に押しつけられる。BD面の最大圧力は地盤を弾塑性体と仮定した時の円柱空洞押広げの極限内圧  $P_{ur}$  で与え、 $P_{ur}$  と極限支持力  $q_u$  の関係は地盤を剛塑性体と仮定し二次元のKötter式で求める。図示のように領域毎に内部摩擦角を  $\phi_1$ ,  $\phi_2$  とし、杭先端の平均拘束圧を  $P_m = \{(1+2k)F_{q1}/3\}$  とおくと、 $P_{ur}$  と  $q_u$  は各々次式で与えられる<sup>4)</sup>。

$$P_{ur} = C \cdot F_{c2} + P_m \cdot F_{g2} \quad (1)$$

$$q_u = \alpha_c \cdot C \cdot F_{c1} + \alpha_g \cdot P_{ur} \cdot F_{g1} \quad (2)$$

式中

$$F_{c2} = \left\{ (1 + \sin \phi_2) \cdot I_u \frac{\sin \phi_2}{1 + \sin \phi_2} - 1 \right\} \cot \phi_2$$

$$F_{g2} = \frac{3(1 + \sin \phi_2)}{2(1 + \nu)} I_u \frac{\sin \phi_2}{1 + \sin \phi_2}$$

$$F_{c1} = (\cot \phi_1 + \tan \psi) \cdot e^{(\pi - 2\psi) \tan \phi_1} - \cot \phi_1$$

$$F_{g1} = (1 + \tan \phi_1 \tan \psi) e^{(\pi - 2\psi) \tan \phi_1}$$

$$I_u = \frac{E}{2(1 + \nu) \left\{ C + \frac{3}{2(1 + \nu)} \tan \phi_2 P_m \right\} \cos \phi_2}$$

ここに、 $C$  は粘着力、 $\nu$  はポアソン比、 $E$  は弾性係数、 $\alpha_c$ ,  $\alpha_g$  は形状係数である。 $F_{c1}$  と  $F_{g1}$  の値を Fig. 2 に示す。 $\phi_1 = \phi_2 = 0$  のとき

$$F_{c2} = \ln I_u + 1, \quad F_{g2} = 3/2(1 + \nu),$$

$$F_{c1} = \pi - 2\psi + \tan \psi, \quad F_{g1} = 1 \quad \text{となる。}$$

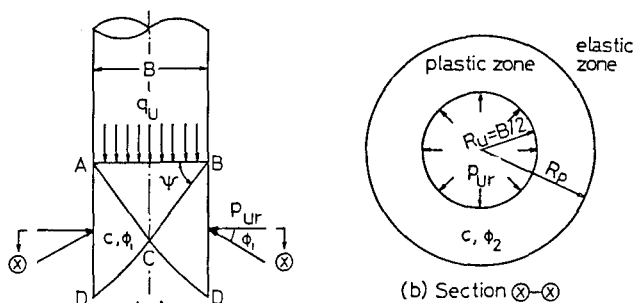


Fig. 1 Slip surface assumed in ultimate bearing capacity analysis. (a) slip surface, (b) stress ( $P_{ur}$ ) on boundaries AB and BD is assumed to equal to ultimate pressure of expansion of cylindrical cavity

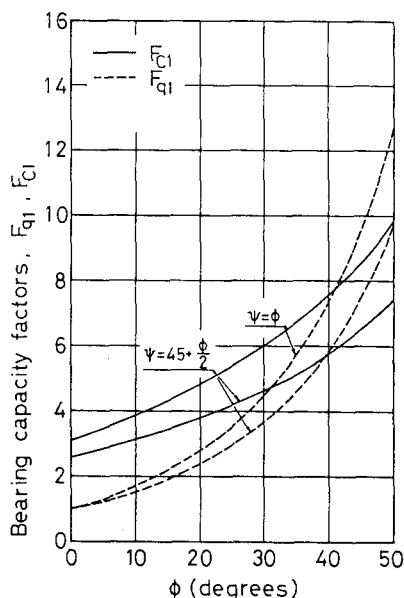


Fig. 2 Bearing capacity factors,  $F_{c1}$ ,  $F_{q1}$

### 3. 実用式の提案

高圧三軸圧縮試験を行い破壊面上の垂直応力と破壊のモール円のセカントアングルとの関係を求め、この関係を用い式(1)(2)で支持力の解析を行った。その結果中の低下を考慮することにより解析値は実験値と良好一致を示した。また、高圧三軸圧縮試験の結果は、破壊面の垂直応力が約  $100 \text{ kgf/cm}^2$  以上ではセカントアングルはほぼ一定値となり、その値は相対密度が最もゆるい状態のそれにほぼ等しいことを示している。今、 $\phi_1 = \phi_2 = \phi$  とおくと、式(2)の極限支持力は式(3)で与えられる。

$$q_u = \alpha_c \cdot C \cdot N_{c2} + \alpha_g \cdot p_m \cdot N_{g2} \quad (3)$$

式中

$$N_{c2} = (1 + \tan \phi \cdot \tan \psi) e^{\frac{(\pi - 2\psi) \tan \phi}{2(1 + \nu)}} \left\{ (1 + \sin \phi) I_u \frac{\sin \phi}{1 + \sin \phi} - 1 \right\} \cdot \cot \phi - (\cot \phi + \tan \psi) e^{\frac{(\pi - 2\psi) \tan \phi}{2(1 + \nu)}} - \cot \phi$$

$$N_{g2} = (1 + \tan \phi \cdot \tan \psi) e^{\frac{(\pi - 2\psi) \tan \phi}{2(1 + \nu)}} \frac{3(1 + \sin \phi)}{2(1 + \nu)} I_u \frac{\sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

$\phi = 0$  のとき、 $N_{c2}$ 、 $N_{g2}$  は次式となる。

$$N_{c2} = \ln I_u - 2\psi + \tan \psi + \pi + 1, \quad N_{g2} = 3/2(1 + \nu)$$

Fig. 3 に  $\psi = 45^\circ + \phi/2$  のときの  $N_{c2}$  と  $N_{g2}$  の値を示す。

次に砂地盤に設置された打込み杭の支持力の推定に便利な実用式を示す。Fig. 1 の弾性域内の弾性係数  $E$  は杭の打込みによる影響をほとんど受けないと考えられ次式を仮定する<sup>5)</sup>

$$E = 180 N^{0.72} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (4)$$

土の内部摩擦角は高拘束圧下では上述のようにほぼ一定値となり、その値は土の種類により異なるが、ここでは安全側の値として  $\phi = 30^\circ$  を仮定し、ポアソン比は  $\nu = 0.3$  とする。また側圧係数は円柱空洞押広げ理論の仮定において静止土圧係数に等しいので、 $K = 1 - \sin \phi$  と仮定すると、 $p_m = 2/3 p_0$  ( $p_0$  は上載圧) となる。以上の仮定により式(3)の極限支持力は次式で与えられる。

$$q_u = 23.7 N^{1/4} p_0^{3/5} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (5)$$

式(5)の結果と山口の提案式<sup>5)</sup>及び  $q_u = \beta N$  ( $\beta$  は定数) 式の関係を図4に示す。山口式は球空洞押広げの弾塑性解析から打込み杭について提案した式であるが、今回の提案式の結果と同じ傾向を示している。図の白丸は孔底載荷試験結果であるが、 $q_u = \beta N$  式よりも山口式および(5)式の結果の方が実験結果を良く説明しているといえる。すなわち、杭先端の極限支持力の推定には  $N$  値のみでなく上載圧も考慮するのが合理的であるといえる。

### 4. 結論

円柱空洞押広げ理論とフランドル系の支持力理論を組合わせた支持力式を提案し、支持力係数図表及び  $N$  値と上載圧から支持力を推定する実用式を示した。

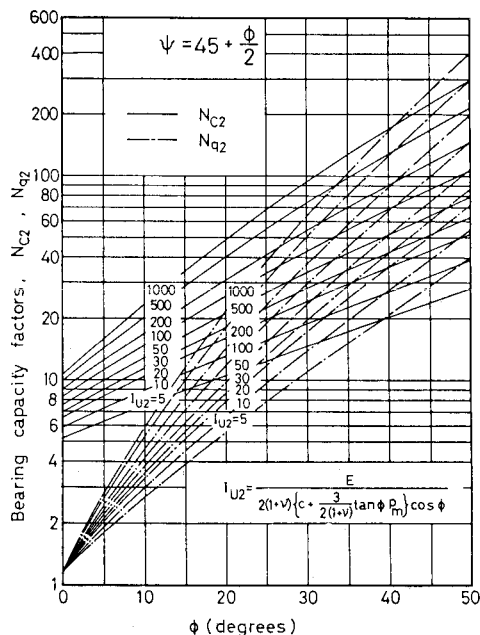


Fig. 3 Bearing capacity factors,  $N_{c2}$ ,  $N_{g2}$   
( $\psi = 45^\circ + \frac{\phi}{2}$ )

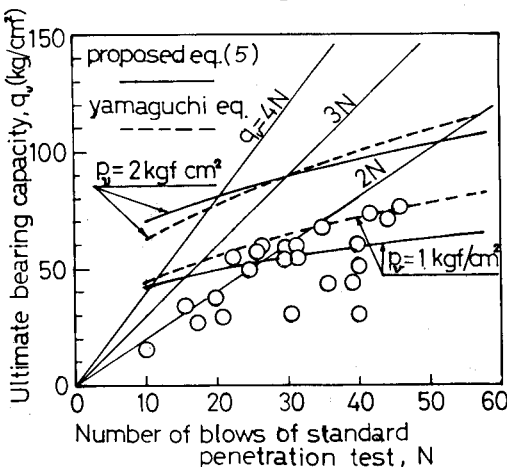


Fig. 4 Comparison between computed bearing capacity and loading test results at bottom of bored holes (from Yamaguchi)

### 【参考文献】

- 1) 高野、岸田：砂地盤中のNon-displacement pile先端部地盤の破壊機構、日本建築学会論報、第285号、PP51-62
- 2) 山田、中田：砂地盤における杭の貫入機構、第14回土質工学研究発表会講演集、1979、PP921-924
- 3) BCP委員会：砂層に支持される杭の支持力に関する研究、1979
- 4) 高野、岸田：杭先端部地盤の極限支持力、第15回土質工学研究発表会講演集、1980、PP921-924
- 5) 山口、柏樹：弾塑性解析によるパイの先端支持力式とその適用性、土と基礎、Vol.23, No.7, 1975