

Foundations

7

Pile Load Transfer

"Part 1"

✧ Pile Load Transfer ✧

✧ Load Transfer Mechanisms:-

- تنتقل الاحمال المؤثرة على الخازوق الى التربة بطريقتين

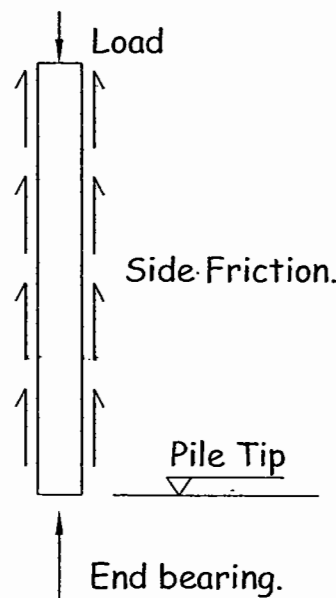
- ① End bearing.
- ② Side Friction.

- حيث يمكن انتقال الحمل عن طريق ال End bearing فقط

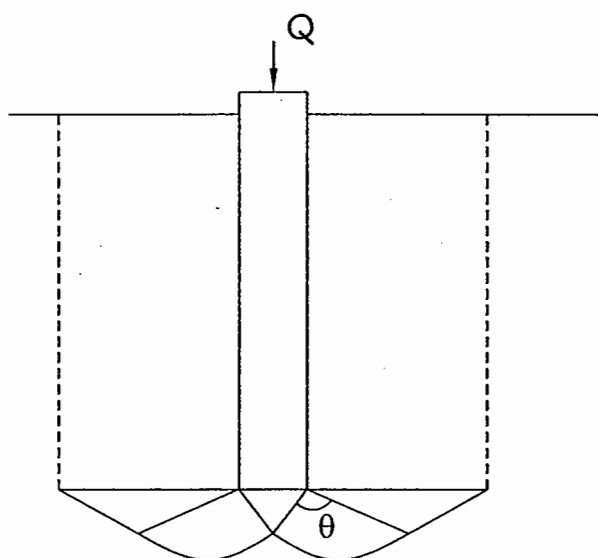
او ال Side Friction فقط او الاثنان معا.

- يطلق احيانا على ال Side Friction التسميات التالية

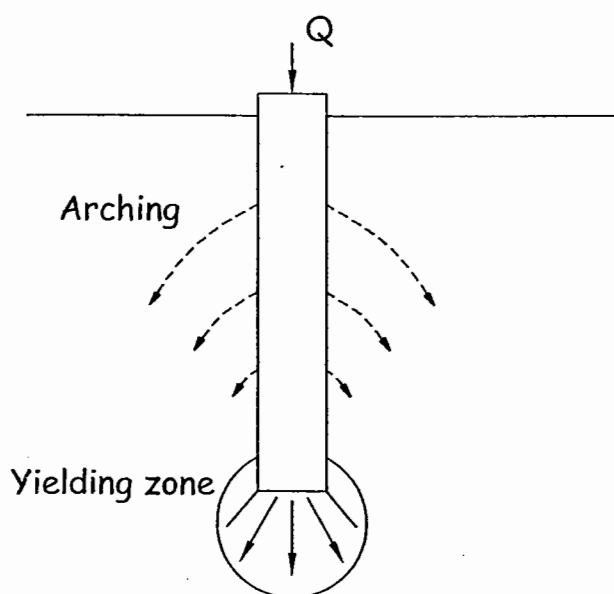
(Shear resistance - Shaft resistance - Skin Friction)



✧ Failure Mechanisms:-

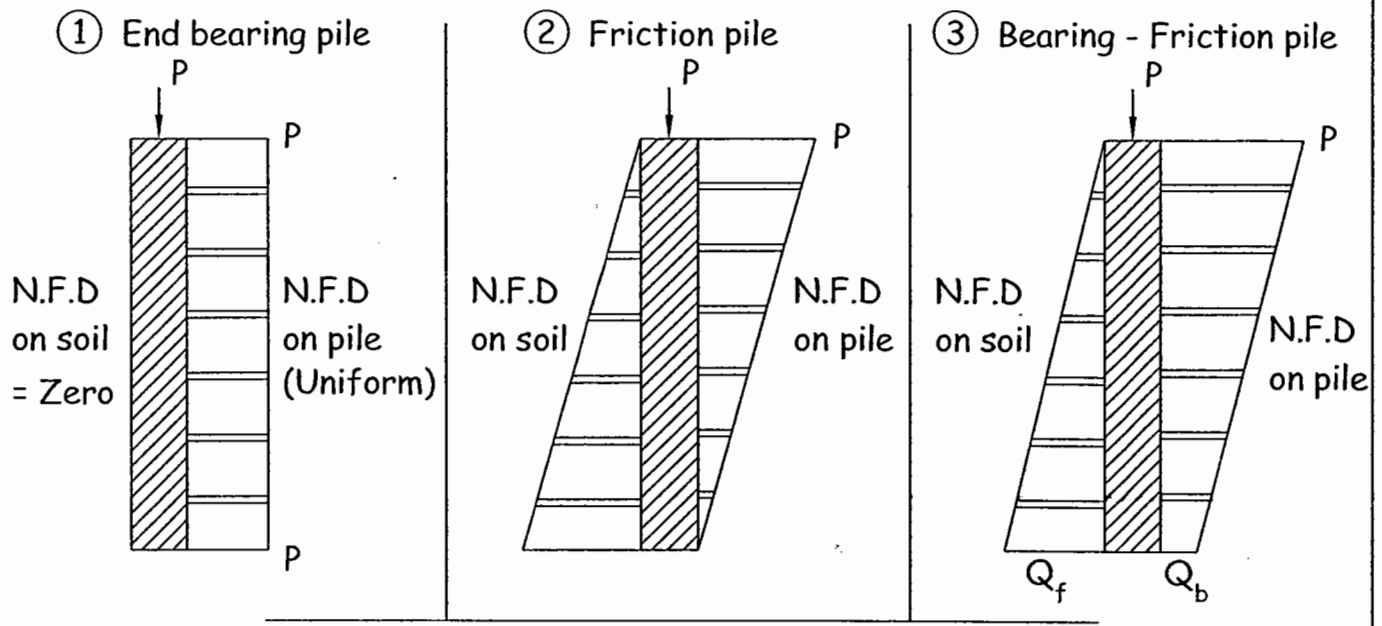


- Failure at pile tip
- For end bearing piles

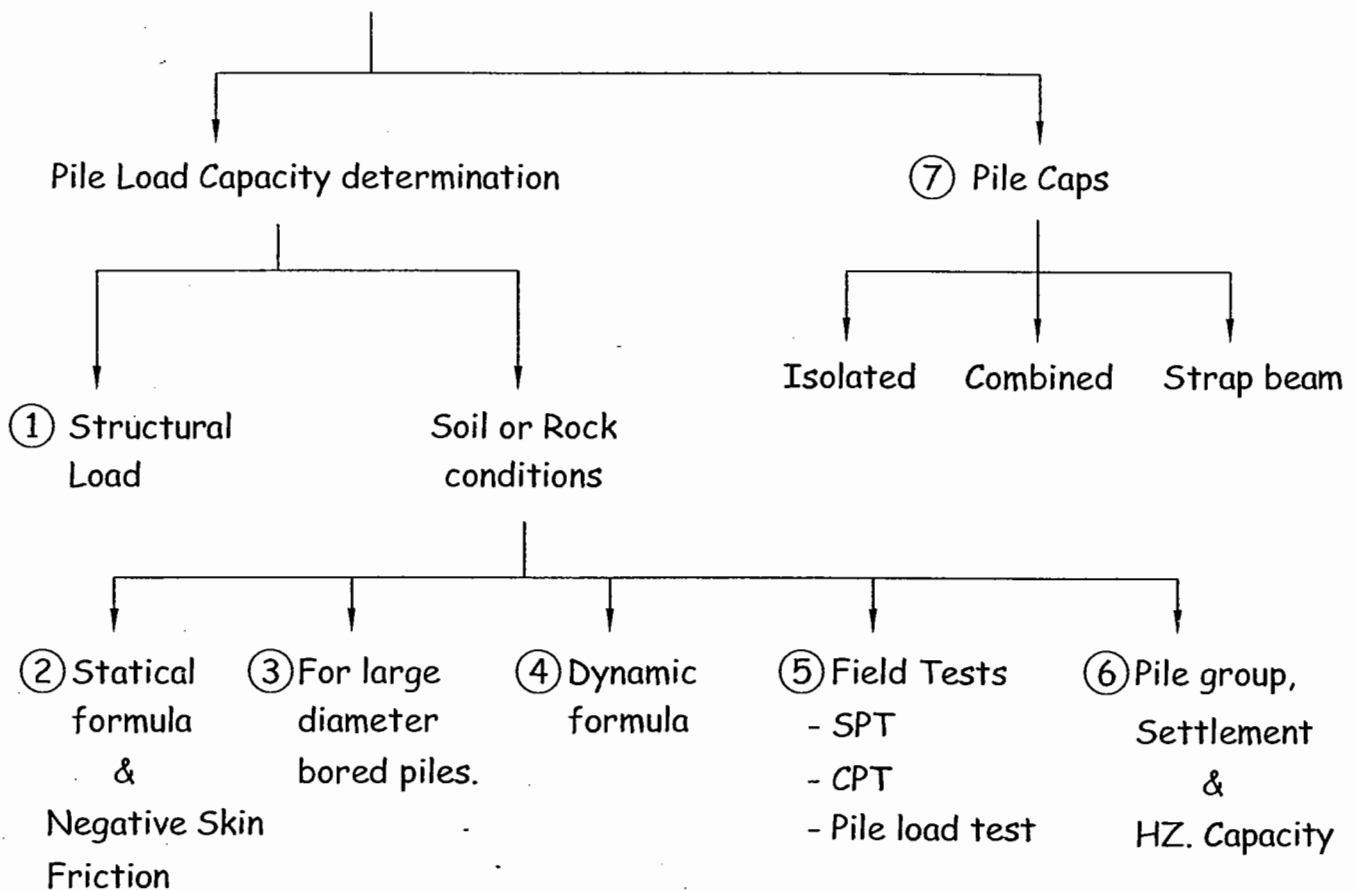


- Local failure
- For friction piles and bearing - friction piles

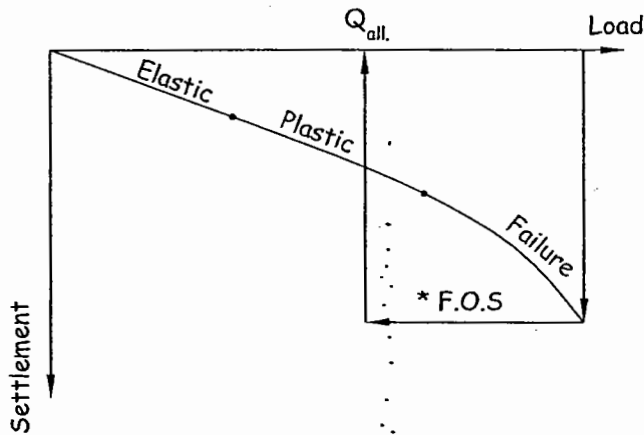
* Normal force diagrams during load transfer:-



* Piles' Classification:-

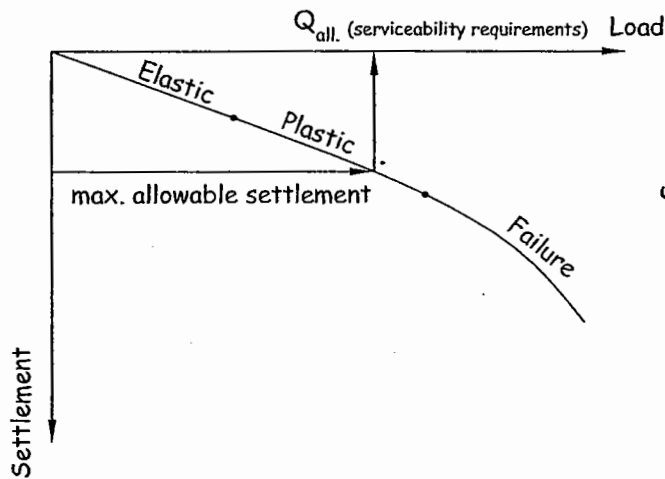


* Bearing Capacity of single pile under vertical compression load:-



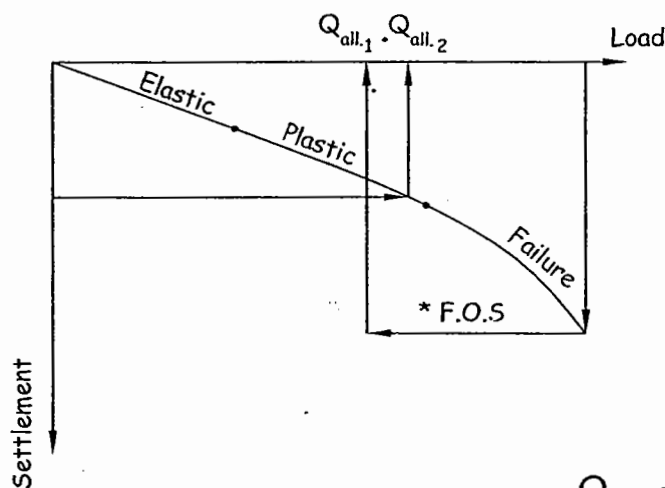
① Ultimate limit state:-

- يتم تحديد حمل الانهيار للخازوق ثم ضرب القيمة فى معامل امان محدد للحصول على Q_{all} للخازوق.



② Serviceability limit state:-

- يتم تحديد قيمة الهبوط المسموح بها الخازوق ليهبط ثم يتم تعيين قيمة الحمل المناظرة لهذا الهبوط.



③ Allowable load:-

- الجمع بين الطريقتين .

$$Q_{all} = \text{minimum of } \left\{ \begin{array}{l} Q_{all.1} \\ Q_{all.2} \end{array} \right.$$

1 Structural formula:-

- هذه الطريقة تعتمد على حساب أكبر حمل يمكن ان يتحمله القطاع الخرساني للخازوق .
- من ابرز عيوب هذه الطريقة انها تعطى قيمة تقديرية لمقاومة الخازوق وغالبا ما تنهار التربة قبل انهيار جسم الخازوق.

- For ALL kind of piles.
- For small ($d \leq 60$ cm) and large ($d > 60$ cm) diameters piles.

① Compression Capacity of a pile:-

$$Q_{all. \text{ pile}} = A_{\text{pile}} * f_{c_o}$$

Where:

$$Q_{all. \text{ pile}} = \text{Allowable compression load per single pile}$$

$$A_{\text{pile}} = \text{Cross sectional area of pile}$$

$$f_{c_o} = \text{Axial compressive strength of concrete} \\ (\text{taken between } 4.0 \rightarrow 5.0 \text{ N/mm}^2)$$

② Tension Capacity of a pile:-

$$T_{all. \text{ pile}} = n * A_{\emptyset} * f_s$$

Where:

$$T_{all. \text{ pile}} = \text{Allowable tension load per single pile}$$

$$n = \text{number of R.F.T bars}$$

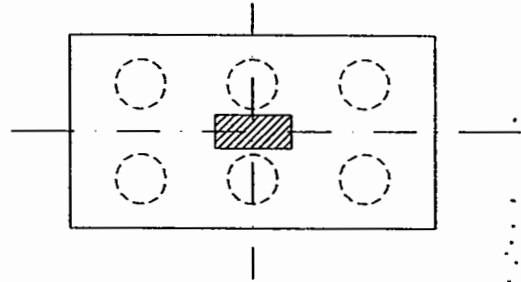
$$A_{\emptyset} = \text{Cross sectional area of single bar}$$

$$f_s = 160 \text{ N/mm}^2 \quad \text{For " } f_y = 360 \text{ N/mm}^2 \text{ "}$$

$$140 \text{ N/mm}^2 \quad \text{For " } f_y = 240 \text{ N/mm}^2 \text{ "}$$

Example:-

For the shown pile cap if the total column load is 4000 KN, determine the pile diameter if $f_{c_o} = 4.50 \text{ N/mm}^2$

**Solution:-**

$$P_{\text{pile}} = \frac{P_{\text{col.}} + \text{O.W of pile cap}}{\text{no. of piles}} = \frac{1.15 * 4000}{6} = 766.667 \text{ KN}$$

$$Q_{\text{all. pile}} = 766.667 \text{ KN} = A_{\text{pile}} * f_{c_o}$$

$$A_{\text{pile}} = \frac{766.667 * 10^3}{4.50} = 170370.44 = \frac{\pi}{4} d^2 \Rightarrow d = 465.75 \text{ mm}$$

$$\boxed{\text{Pile diameter} = 500 \text{ mm}}$$

2] Statical formula for determining compression capacity for a single pile:-

المعادلة الاستاتيكية لحساب قدرة الخازوق لاحتمال الضغط

- This method is valid only for:

- Bored or driven piles.

- Pile diameter ≤ 60 cm

- تعتمد هذه الطريقة على حساب اقصى رد فعل للتربة $Q_{ult.}$ نتيجة تعرض الخازوق لحمل

خارجي . وكما تحدثنا من قبل ان الحمل ينتقل الى التربة بطريقتين Q_b End bearing

- Skin friction Q_s

$$Q_{ult.} = Q_b + Q_s$$

Where:

$Q_{ult.}$ = Ultimate pile capacity

Q_b = Bearing resistance force

Q_s = Skin friction force

$$Q_{all.} = \frac{Q_{ult.}}{F.O.S}$$

$$F.O.S = \begin{cases} 3.00 & \text{(Case of DL + LL)} \\ 2.50 & \text{(Case of DL + LL + WL) } \text{الرياح} \\ 2.00 & \text{(Case of DL + LL + SL) } \text{الزلازل} \end{cases}$$

$$Q_b = q_b * A_{base} \quad \text{- حيث}$$

Where:

q_b = bearing capacity of soil below the pile tip اجهاد الارتكاز

A_{base} = مساحة قطاع الخازوق عند نهايته

$$Q_s = f_s * A_{side} \quad \text{- ايضا}$$

Where:

f_s = side friction resistance between soil and pile

اجهاد الاحتكاك الجانبي بين التربة والخازوق

A_{side} = المساحة الجانبية للجزء الملامس للتربة

$$Q_{ult.} = Q_b + Q_s$$

$$Q_{ult.} = q_b * A_{base} + f_s * A_{side}$$

- تختلف طريقة حساب هذه القيم باختلاف
نوع التربة وخواصها وسوف نقوم بدراسة
هذه الاختلافات بالتفصيل .

* For C - soil:-

[Cohesive soils in undrained conditions]

$C = \checkmark \checkmark$

$\phi = \text{zero}$

$$* q_b = C * N_c$$

Where:

$$C = C_{un}$$

$$N_c = \begin{cases} 6.5 & \text{if } C_{un} \leq 25 \text{ Kpa} \\ 8.5 & \text{if } 25 < C_{un} < 100 \text{ Kpa} \\ 9.00 & \text{if } C_{un} \geq 100 \text{ Kpa} \end{cases}$$

$$* f_s = C_a = \text{adhesion strength of soil}$$

[O'Neill and Reese, 1999]

$$\leq 100 \text{ KN/m}^2$$

$$C_a$$

For bored piles =

$$\alpha C_{soil}$$

For driven piles =

$$C_a \text{ [From table (4-4)]}$$

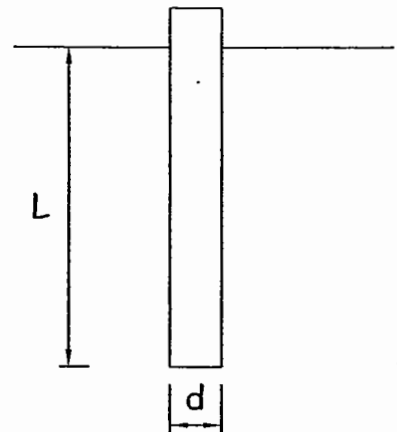
Where $\alpha = 0.35$

$$* A_{base} = \frac{\pi}{4} d^2 \longrightarrow \text{For circular pile}$$

$$= d^2 \longrightarrow \text{For square pile}$$

$$* A_{side} = \pi d L \longrightarrow \text{For circular pile}$$

$$= 4 d L \longrightarrow \text{For square pile}$$



* For ϕ - soil:-

[Cohesionless soils] $C = \text{zero}$

$$\phi = \checkmark \checkmark$$

$$* q_b = q * N_q$$

Where:

q = effective stress at pile tip

$$\text{ex.:- } q = \gamma h$$

N_q = Calculated from table (4-5),

depends on type of pile and ϕ_{soil}

Table (4-5):

ϕ'	25	30	35	40
N_q	15	30	75	150

Where:

$$\phi' = \begin{cases} \frac{\phi_{\text{soil}} + 40}{2} & \text{(For driven piles)} \\ \phi_{\text{soil}} - 3 & \text{(For bored piles)} \end{cases}$$

$$* f_s = K_{HC} * \sigma' * \tan \delta$$

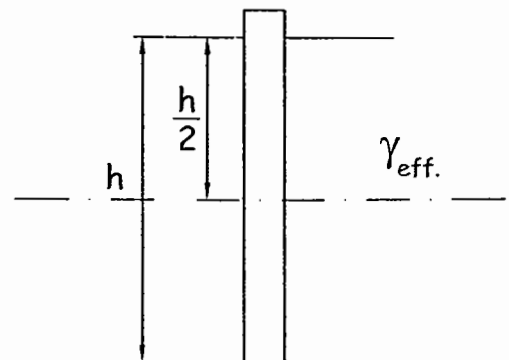
Where:

K_{HC} = coefficient of earth pressure on pile in case of compression loading, from table (4-6). It depends on type of pile.

δ = friction angle between soil and pile, usually taken = $\frac{3}{4} \phi_{\text{soil}}$

σ' = effective stress at the middle of pile length subjected to the soil friction.

$$\text{ex.:- } \sigma' = \gamma_{\text{eff.}} * \frac{h}{2}$$



✱ For $[C - \emptyset]$ soil:- [Cohesive soils in drained conditions] $\dot{C} = \checkmark\checkmark$

$\dot{\emptyset} = \checkmark\checkmark$

$$* q_b = C * N_c + q * N_q$$

$$* f_s = C_a + K_{HC} * \sigma' * \tan \delta$$

and continue as before

Table (4-4):

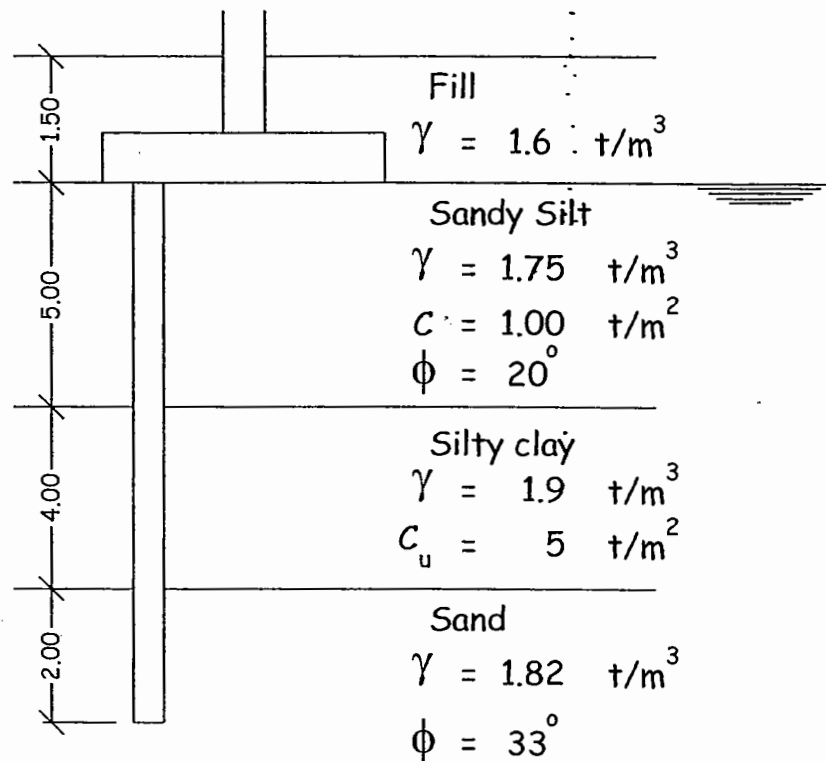
C_a KN/m ²	C_{soil} KN/m ²	قوام التربة	نوع الخازوق
0.0 - 12.5	0.0 - 12.5	ضعيف التماسك جدا	خشب او خرسانة
12.5 - 24	12.5 - 25	ضعيف التماسك	
24 - 37.5	25 - 50	متوسط التماسك	
37.5 - 47.5	50 - 100	متماسك	
47.5 - 65	100 - 200	شديد التماسك	
0.0 - 12.5	0.0 - 12.5	ضعيف التماسك جدا	صلب
12.5 - 23	12.5 - 25	ضعيف التماسك	
23 - 35	25 - 50	متوسط التماسك	
35 - 36	50 - 100	متماسك	
36 - 37.5	100 - 200	شديد التماسك	

Table (4-6):

K_{HT}	K_{HC}	نوع الخازوق
0.3 - 0.5	0.5 - 1.0	خازوق ذو قطاع H
0.6 - 1.0	1.0 - 1.5	خازوق ازاحة
1.0 - 1.3	1.5 - 2.0	خازوق ازاحة متغير القطاع
0.3 - 0.6	0.4 - 0.9	خازوق ازاحة باستخدام النفاثات
0.4 - 1.0	0.7 - 1.5	خازوق تنقيب اعتيادي $\emptyset < 60$ cm

Example: -

For the shown soil profile, find out the maximum allowable compression load for the square pile (40*40cm). If the used pile will be a bored pile of diameter 55 cm, calculate the allowable pile capacity if seismic is considered in loading.

**Solution: -**

Case of square pile:-

[A] Structural formula:-

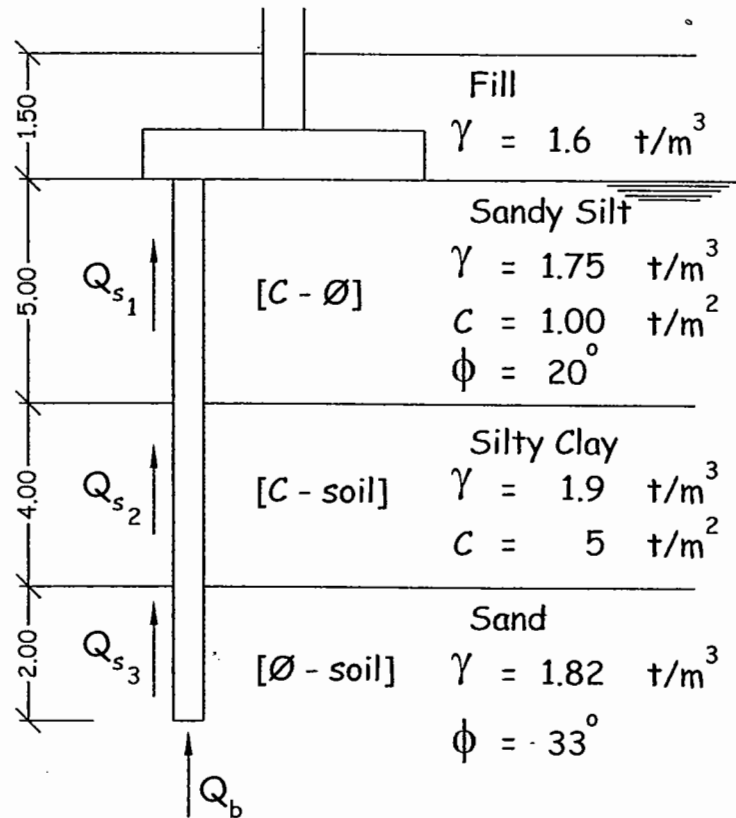
$$\begin{aligned}
 Q_{\text{all. pile}} &= A_{\text{pile}} * f_{c_o} \\
 &= (400 * 400) * 4.5 = 720000 \text{ N} \\
 &= 720 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

[B] Statical formula:-

∴ Square pile

∴ It is a driven pile

$$Q_{ult.} = Q_b + Q_{s_1} + Q_{s_2} + Q_{s_3}$$



Q_b

$$Q_b = q_b * A_{base}$$

$$q_b = q * N_q \quad (\text{Sand layer})$$

$$q = 1.60 * 1.50 + 0.75 * 5.00 + 0.90 * 4.00 + 0.82 * 2.00 = 11.39 \quad \text{t/m}^2$$

$$N_q = 97.5 \quad [\text{From table (4-5), where } \phi' = \frac{33 + 40}{2} = 36.5^\circ]$$

$$\therefore Q_b = 11.39 * 97.5 * (0.40 * 0.40) = 177.7 \quad \text{ton}$$

Q_{s_1}

$$Q_{s_1} = f_{s_1} * A_{s_1}$$

$$f_{s_1} = C_a + K_{HC} * \sigma' * \tan \delta \quad (\text{Sandy Silt layer})$$

$$C_{soil} = 1.00 \quad \text{t/m}^2 \longrightarrow \text{From table (4-4)} \quad C_a = 1.00 \quad \text{t/m}^2$$

$$\sigma' = 1.60 * 1.50 + 0.75 * 2.50 = 4.30 \quad \text{t/m}^2$$

$$f_{s_1} = 1.00 + 1 * 4.30 * \tan 15^\circ = 2.15 \quad \text{t/m}^2$$

$$\therefore Q_{s_1} = 2.15 * (4 * 0.40 * 5.00) = 17.2 \quad \text{ton}$$

Q_{s_2}

$$Q_{s_2} = f_{s_2} * A_{s_2}$$

$$f_{s_2} = C_a \quad (\text{Silty Clay layer})$$

$$C_{\text{soil}} = 5.00 \text{ t/m}^2 \longrightarrow \text{From table (4-4)} \quad C_a = 3.75 \text{ t/m}^2$$

$$f_{s_2} = 3.75 \text{ t/m}^2$$

$$\therefore Q_{s_2} = 3.75 * (4 * 0.40 * 4.00) = 24 \text{ ton}$$

 Q_{s_3}

$$Q_{s_3} = f_{s_3} * A_{s_3}$$

$$f_{s_3} = K_{HC} * \sigma' * \tan \delta \quad (\text{Sand layer})$$

$$\sigma' = 1.60 * 1.50 + 0.75 * 5.00 + 0.90 * 4.00 + 0.82 * 1.00 = 10.57 \text{ t/m}^2$$

$$f_{s_3} = 1 * 10.57 * \tan \frac{3}{4} 25^\circ = 4.87 \text{ t/m}^2$$

$$\therefore Q_{s_3} = 4.87 * (4 * 0.40 * 2.00) = 15.6 \text{ ton}$$

$$Q_{\text{ult.}} = Q_b + Q_{s_1} + Q_{s_2} + Q_{s_3}$$

$$Q_{\text{ult.}} = 177.7 + 17.22 + 24 + 15.6 = 234.6 \text{ ton}$$

$$Q_{\text{all.}} = \frac{Q_{\text{ult.}}}{\text{F.O.S}} = \frac{234.6}{3} = 78.17 \text{ ton} > 72 \text{ ton}$$

From structural formula

take $Q_{\text{all.}} = 72 \text{ ton}$

Case of circular pile:-[A] Structural formula:-

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{all. pile}} &= A_{\text{pile}} * f_{c_o} \\
 &= \left(\frac{\pi}{4} * 550^2 \right) * 4.5 = 1069123 \text{ N} \\
 &= 1069 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

[B] Statical formula:-

Bored pile $d = 0.55 \text{ m}$

Q_b

$$Q_b = q_b * A_{\text{base}}$$

$$q_b = q * N_q \quad (\text{Sand layer})$$

$$q = 1.60 * 1.50 + 0.75 * 5.00 + 0.90 * 4.00 + 0.82 * 2.00 = 11.39 \text{ t/m}^2$$

$$N_q = 30 \quad [\text{From table (4-5), where } \phi' = 33 - 3 = 30^\circ]$$

$$\therefore Q_b = 11.39 * 30 * \left(\frac{\pi}{4} * 0.55^2 \right) = 81.2 \text{ ton}$$

Q_{s_1}

$$Q_{s_1} = f_{s_1} * A_{s_1}$$

$$f_{s_1} = C_a + K_{HC} * \sigma' * \tan \delta \quad (\text{Sandy Silt layer})$$

$$C_a = \alpha C_{\text{soil}} = 0.35 * 1.00 = 0.35 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma' = 1.60 * 1.50 + 0.75 * 2.50 = 4.30 \text{ t/m}^2$$

$$f_{s_1} = 0.35 + 1 * 4.30 * \tan 15^\circ = 1.50 \text{ t/m}^2$$

$$\therefore Q_{s_1} = 1.50 * (\pi * 0.55 * 5.00) = 12.96 \text{ ton}$$

$$Q_{s_2}$$

$$Q_{s_2} = f_{s_2} * A_{s_2}$$

$$f_{s_2} = C_a \quad (\text{Silty Clay layer})$$

$$C_a = \alpha C_{\text{soil}} = 0.35 * 5.00 = 1.75 \text{ t/m}^2$$

$$f_{s_2} = 1.75 \text{ t/m}^2$$

$$\therefore Q_{s_2} = 1.75 * (\pi * 0.55 * 4.00) = 12.1 \text{ ton}$$

$$Q_{s_3}$$

$$Q_{s_3} = f_{s_3} * A_{s_3}$$

$$f_{s_3} = K_{HC} * \sigma' * \tan \delta \quad (\text{Sand layer})$$

$$\sigma' = 1.60 * 1.50 + 0.75 * 5.00 + 0.90 * 4.00 + 0.82 * 1.00 = 10.57 \text{ t/m}^2$$

$$f_{s_3} = 1 * 10.57 * \tan \frac{3}{4} 25^\circ = 4.87 \text{ t/m}^2$$

$$\therefore Q_{s_3} = 4.87 * (\pi * 0.55 * 2.00) = 16.8 \text{ ton}$$

$$Q_{\text{ult.}} = Q_b + Q_{s_1} + Q_{s_2} + Q_{s_3}$$

$$Q_{\text{ult.}} = 81.2 + 12.96 + 12.1 + 16.8 = 123 \text{ ton}$$

$$Q_{\text{all.}} = \frac{Q_{\text{ult.}}}{\text{F.O.S}} = \frac{123}{2} = 61.5 \text{ ton} < 106.9 \text{ ton}$$

From structural formula

$$\text{take } Q_{\text{all.}} = 61.5 \text{ ton}$$

- قدرة تحمل الخازوق المنفذ بالازاحة Driven للاحمال اعلى من خازوق المنفذ بالحفر.

* Statical formula for determining tension capacity for a single pile:-

المعادلة الاستاتيكية لحساب قدرة الخازوق لاحمال الشد

- عندما يتعرض الخازوق لحمل شد فانه يقاوم هذا الحمل بقوى الاحتكاك الجانبى المتولدة بين جسم الخازوق والتربة وتكون عكس اتجاه الحمل المؤثر بالاضافة الى الوزن الذاتى للخازوق.

- ولا تتحمل مقاومة الارتكاز اى جزء من الحمل . $Q_b = \text{zero}$

$$T_{ult.} = Q_s + O.W$$

Where:

$T_{ult.}$ = Ultimate pile capacity for tension

O.W = Own weight of the pile

Q_s = Skin friction force

$$Q_s = f_s * A_{side}$$

$$f_s$$

For C - soil

$$f_s = C_a$$

For [C - Ø] soil

$$C_a + K_{HT} * \sigma' * \tan \delta$$

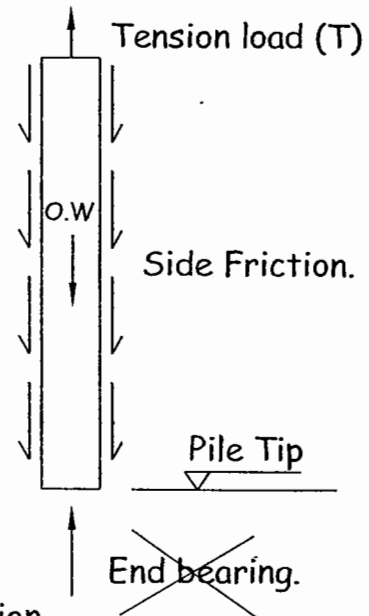
For Ø - soil

$$f_s = K_{HT} * \sigma' * \tan \delta$$

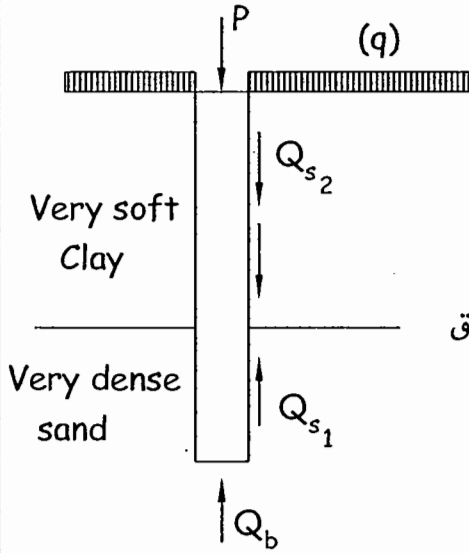
K_{HT} = From table (4-6)

$$T_{all.} = \frac{Q_s}{F.O.S} + O.W$$

- لا يتم قسمة الوزن الذاتى على معامل الامان حيث انه قيمة ثابتة ولا تتغير



✱ Negative skin friction:-



- عندما تكون احدى الطبقات الملاصقة للخازوق تربة ضعيفة جدا مثل Very soft clay بينما ينتهى الخازوق فى تربة قوية مثل Very dense sand .

- وعندما تتعرض التربة لضغط خارجى (q) بخلاف حمل الخازوق فانه يحدث عندئذ انضغاط او هبوط فى الطبقة الضعيفة اى انها تتزحلق على جسم الخازوق ولاسفل .

- وبالتالي فان الاحتكاك Q_s الناتج عن هذه الطبقة يصبح Action او حمل اضافى على الخازوق وليس مقاومة Reaction لذلك يسمى الاحتكاك الناتج عن هذه الطبقة الضعيفة على جسم الخازوق بالاحتكاك السالب Negative skin friction .

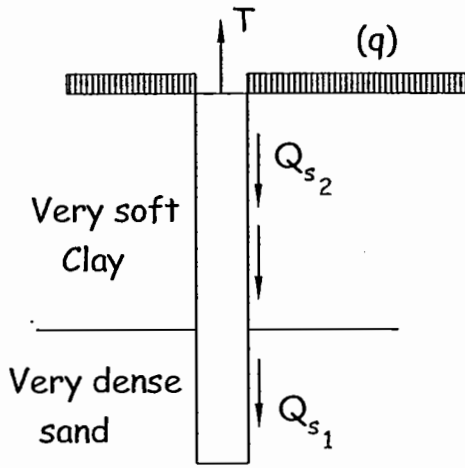
$$Q_{ult.} = Q_b + Q_{s1} - Q_{s2}$$

- وبالتالي يكون

$$Q_{all.} = \frac{Q_b + Q_{s1}}{F.O.S} - Q_{s2}$$

- لاحظ ان قوة الاحتكاك التى تحدث من Negative skin friction لا تقسم على معامل امان لانها قوة ثابتة لا تتغير مع الوقت تحت تأثير نفس الحمل .

✱ In case of piles under Tension load:-



- لاحظ الاتى فى حالة الخازوق المعرض للشد وحوله تربة

يحدث بها Negative skin friction .

(١) القوة Q_{s1} مقاومة احتكاك من التربة القوية .

(٢) القوة Q_{s2} حمل اضافى على الخازوق ولكن

فى عكس اتجاه الشد وبالتالي يمكن اعتبارها

مقاومة ايضا .

$$T_{ult.} = Q_{s1} + O.W.$$

- وبالتالي يكون

- حيث لا نأخذ معنا Q_{s2} كمقاومة وهو More critical

$$T_{all.} = \frac{Q_{s1}}{F.O.S} + O.W.$$

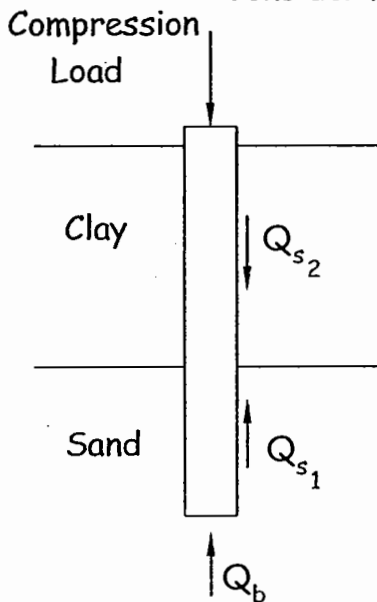
- ملحوظة مهمة :-

يتم أخذ ال Negative skin friction فى الاعتبار اذا :-

(١) ذكر فى المسألة Consider Negative skin friction in the clay layer

(٢) كانت طبقة الطين Soft or very soft

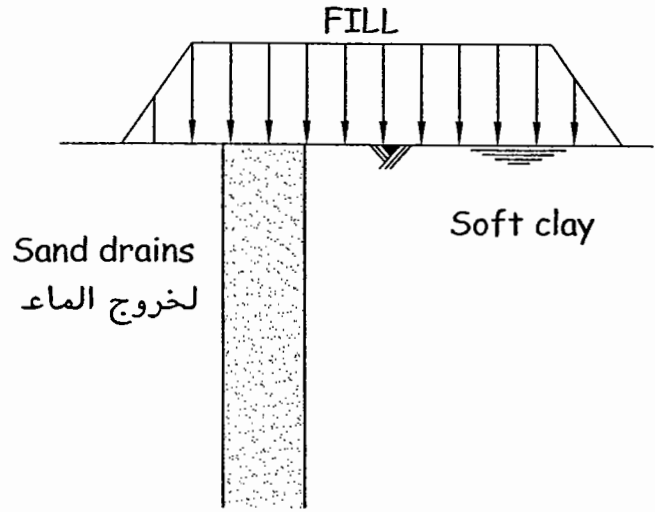
$$C_u \leq 25 \text{ Kpa} \quad \text{اى}$$



✳ How to reduce the effect of negative skin friction:-

① Preloading:

- عن طريق تحميل التربة باستخدام تربة ردم Fill وذلك قبل تنفيذ الخوازيق.
- يعمل ذلك على هبوط التربة وخروج الماء منها من خلال Sand drains.
- وبالتالي عند تنفيذ الخوازيق المطلوبة وإذا حدث وتواجد أى حمل خارجى يكون الهبوط المتوقع صغير جدا.



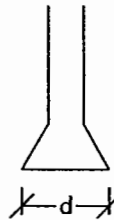
② Using bored piles:

- حيث ان خوازيق bored تقل قوى الاحتكاك الجانبى بها بسبب حدوث Gap بينها وبين التربة.

③ Using bitumen:

- حيث يتم دهان جوانب الحفر بالبتومين الذى يقلل تأثير الاحتكاك الجانبى عامة وبالتالي اذا حدث -ve skin friction يكون له تأثير ملحوظ على الخازوق.

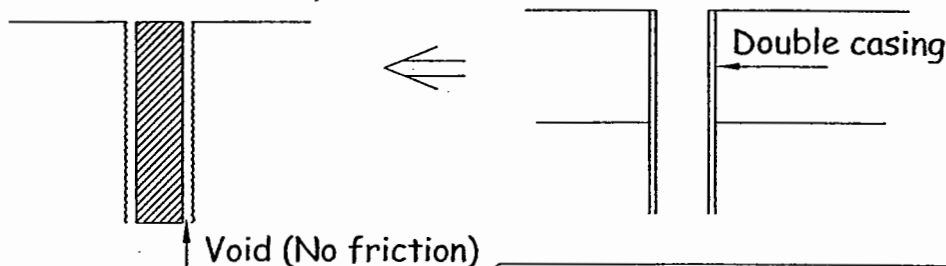
④ Using large end:



- يتم تنفيذ الخازوق بنهاية متسعة.
- وبالتالي تزيد A_{base} وكذلك Q_b مما يعوض النقص فى الـ Q_{ult} بسبب الـ -ve skin friction.

⑤ Using double casing:

- حيث يتم استخدام ماسورة بغلافين عند تنفيذ الخازوق وبالتالي عند سحب الماسورة بعد تنفيذ الخازوق يكون هناك فراغ بين الخازوق والتربة مما يبعد تأثير الاحتكاك تماما عن الخازوق.



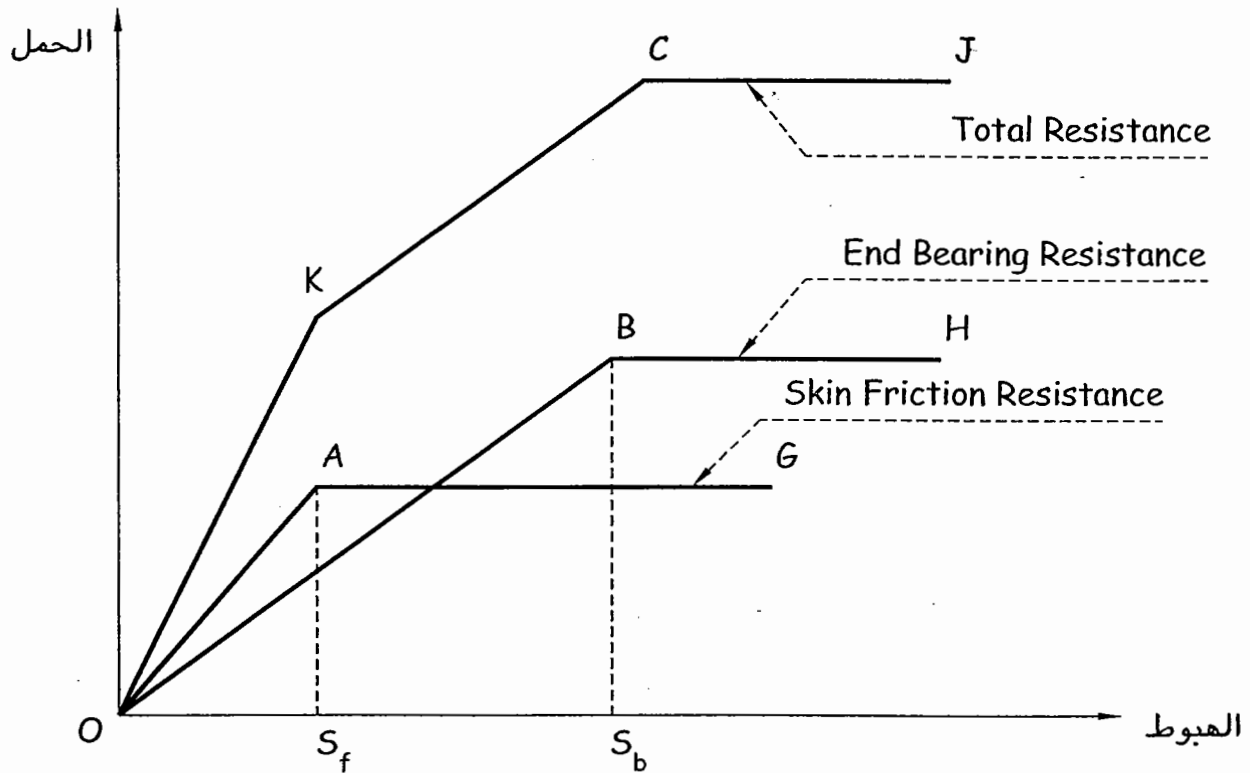
3] Determination of large diameter bored piles capacity:-

- This method is valid only for:

- Pile diameter > 60 cm

- يعتمد تصميم الخوازيق التي يزيد قطرها عن 60 cm والمنفذة بواسطة التنقيب الاعتيادي والمصبوبة في مكانها على مقدار الهبوط.

- حيث يتم تقدير علاقة الحمل مع الهبوط من نتائج اختبار تجربة التحميل (Pile Load Test) في مرحلة التصميم. اما في حالة عدم توافر نتائج تجربة التحميل في مرحلة التصميم تقدر العلاقة من المنحنى الاتي:-



Where:

* Point (A) = Corresponding to settlement (S_f) = $\begin{cases} 5 - 10 \text{ mm} \\ 1\% d \end{cases}$
↙ pile diameter

* Point (B) = Corresponding to settlement (S_b) = $\begin{cases} 15 \text{ cm} & \text{تربة غير متماسكة} \\ 5\% d & \text{تربة متماسكة} \end{cases}$

- ولتعيين قيم حمل الارتكاز وحمل الاحتكاك الجانبى كالآتى :-

① For End Bearing Resistance:-

Ⓐ For Cohesionless soils:-

جدول رقم (٤-٨) علاقة إجهاد الارتكاز مع الهبوط للتربة غير متماسكة
الحبيبات للخوازيق ذات القطر الكبير و المصبوبة فى مكانها

الهبوط (سم)	إجهاد الارتكاز (MN / m ²)	للخوازيق ذات نهايات متسعة	للخوازيق بدون نهايات متسعة
١	٠,٣٥	٠,٥٠	
٢	٠,٦٥	٠,٨٠	
٣	٠,٩٠	١,١٠	
١٥	٢,٤٠	٣,٤٠	

* قيمة الهبوط المفترض عند حمل الارتكاز الأقصى

- حيث يتم اخذ قيمة اجهاد الارتكاز q_b المناظرة لاقصى هبوط مسموح به ($S_b = 15 \text{ cm}$)
وضربها فى مساحة مقطع كعب الخازوق A_{base} وذلك للحصول على اقصى مقاومة ارتكاز

$$Q_b = q_b \text{ (for any settlement value)} * A_{\text{base}}$$

$$Q_{\text{ult.}} = Q_{b \text{ max.}} = q_b \text{ (for } S_b = 15 \text{ cm)} * A_{\text{base}}$$

2.4 or 3.4 MN/m²

Ⓑ For Cohesive soils:-

جدول رقم (٩-٤) علاقة إجهاد الارتكاز مع الهبوط للتربة المتماسكة
للخوازيق ذات القطر الكبير و المصبوبة في مكانها

الهبوط (سم)	إجهاد الارتكاز (MN/m^2)
$S_g \times 0.20$	0.50
$S_g \times 0.20$	0.70
$*S_g$	1.2

* قيمة الهبوط المقترض عند حمل الارتكاز الأقصى و يساوى ٥% من قطر
ارتكاز الخازوق (١ ميجانيوتن/م^٢ = ١٠ كجم/سم^٢)

- يتم تحديد قيمة الهبوط ثم اخذ قيمة اجهاد الارتكاز المقابلة .
- وللحصول على اقصى مقاومة للاحمال بالارتكاز يكون عند القيمة المناظرة
للهبوط ($S_g = 5 \% d$) .

$$Q_{ult.} = Q_{b_{max.}} = q_b \text{ (for } S_g = 5 \% d \text{)} * A_{base}$$

↓
1.2 MN/m^2

② For Skin Friction Resistance:-

- لتعيين حمل الاحتكاك الجانبى يتم ضرب قيمة اجهاد الاحتكاك من احد جدولين فى المساحة الجانبية المارة فى هذه التربة كالاتى :-

Ⓐ For Cohesionless soils:-

جدول رقم (٤-١٠) إجهاد الإحتكاك على جذع الخاروق فى التربة غير متماسكة الحبيبات الخوازيق ذات القطر الكبير والمصنوية فى مكانها

إجهاد الإحتكاك الأقصى* kN/m ²	العمق تحت سطح الارض الطبيعية (متر)	عدد الدقات N من اختبار الاختراق القياسى
صفر	—	أقل من ١٠
صفر ٣٠ ٥٠	صفر - ٢,٠ ٥,٠ - ٢,٠ أكبر من ٥,٠	٢٠ - ١٠
صفر ٤٥ ٧٥	صفر - ٢,٠ ٧,٥ - ٢,٠ أكبر من ٥,٠	٣٠ - ٢٠
صفر ٦٠ ١٠٠	صفر - ٢,٠ ٢٠,٠ - ٢,٠ أكبر من ١٠,٠	أكبر من ٣٠

١ كجم / سم^٢ = ١٠٠ ك. نيوتن / م^٢

- من نتائج اختبار ال SPT وتحديد عمق الطبقة المراد حساب حمل الاحتكاك لها ويتم الحصول على اجهاد الاحتكاك .

(B) For Cohesive soils:-

جدول رقم (١١-٤) إجهاد الإحتكاك على جذع الخازوق للتربة المتماسكة للخوازيق ذات القطر الكبير والمصبوبة في مكانها

قيمة التماسك للتربة kN/m^2 *	إجهاد الإحتكاك الأقصى kN/m^2
صفر	صفر
٢٥	٢٥
١٠٠	٤٠
٢٠٠	٥٠

* ١ كجم / سم^٢ = ١٠٠ ك. نيوتن / م^٢

- بمعرفة قيمة C ← نعين قيمة f_s المناظرة .

Example:-

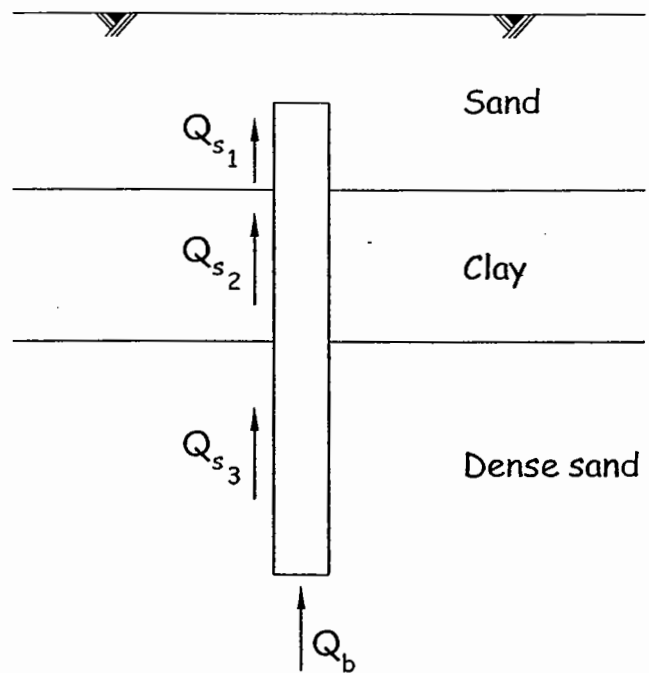
Q_{s1} → جدول (١٠ - ٤)

Q_{s2} → جدول (١١ - ٤)

Q_{s3} → جدول (١٠ - ٤)

Q_b → جدول (٨ - ٤)

$$Q_{ult.} = Q_b + \sum Q_s$$



Example:-

If a group of large diameter bored piles (120 cm in diameter and 15.0 m long) is to be constructed in a site with a subsurface soil profile that consists of a 7.0 m thick layer of silty clay underlain by a deep deposit of dense sand. The G.W.T. exists at the foundation level of the pile caps which is at a depth of 2.0 m below the ground surface. The saturated unit weights of the clay and sand layers are 18 and 20 kN/m³, respectively. The undrained shear strength of the clay layer is 50 kPa, and the average SPT N-value, along the pile penetration into the sandy layer is 38 blows/ft. Then it is required to:

- a) Calculate the ultimate single pile capacity, using the method of $p - \Delta$ relationship ($f_{c_0} = 4.50 \text{ N/mm}^2$).
- b) Estimate the allowable pile capacity, knowing that the allowable settlement of the single pile is 25 mm.

Solution:-**Ⓐ Using Structural formula:**

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{all. pile}} &= A_{\text{pile}} * f_{c_0} \\
 &= \left(\frac{\pi}{4} * 1200^2 \right) * 4.5 = 5089380 \text{ N} \\
 &= 5089.38 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

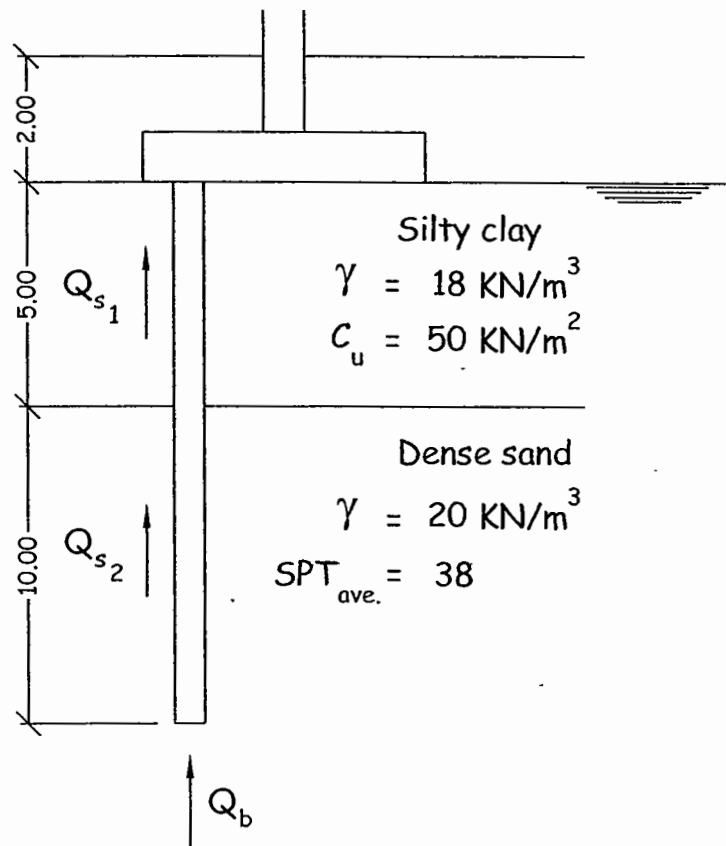
Using $p - \Delta$ relationship:

$$d = 120 \text{ cm}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$Q_{ult.} = Q_b + Q_{s_1} + Q_{s_2}$$

Ultimate single pile capacity is
at maximum settlement



(a) For Cohesionless soils:-

$$S_b = 15 \text{ cm} = 150 \text{ mm}$$

$$S_f = 1\% d = 12 \text{ mm}$$

$$\text{From table (4-8)} \Rightarrow q_b = 3.4 \text{ MN/m}^2 \quad (\text{For non - large base})$$

$$\begin{aligned} Q_{b_{max.}} &= q_{b \text{ (for } S_b = 15 \text{ cm)}} * A_{base} \\ &= 3.4 * 10^3 * \frac{\pi}{4} 1.2^2 = 3845.3 \text{ kN} \end{aligned}$$



$$\text{From table (4-11)} \Rightarrow \text{at } C_u = 50 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow f_s = 30 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s_1} = 30 * (\pi * 1.2 * 5.00) = 565.5 \text{ kN}$$



From table (4-10)

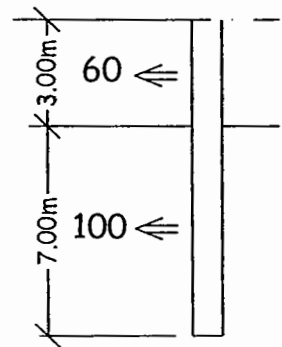
$$SPT_{ave} = 38 \quad \text{from 7} \rightarrow 17 \text{ m}$$

depth 7 lies in range between 2 \rightarrow 10 in the table, and depth 17 lies in range more than 10

$$\therefore f_s = \frac{3\text{m} * 60 + 7\text{m} * 100}{10 \text{ m}} = 88 \text{ KN/m}^2 \quad \text{as an average value}$$

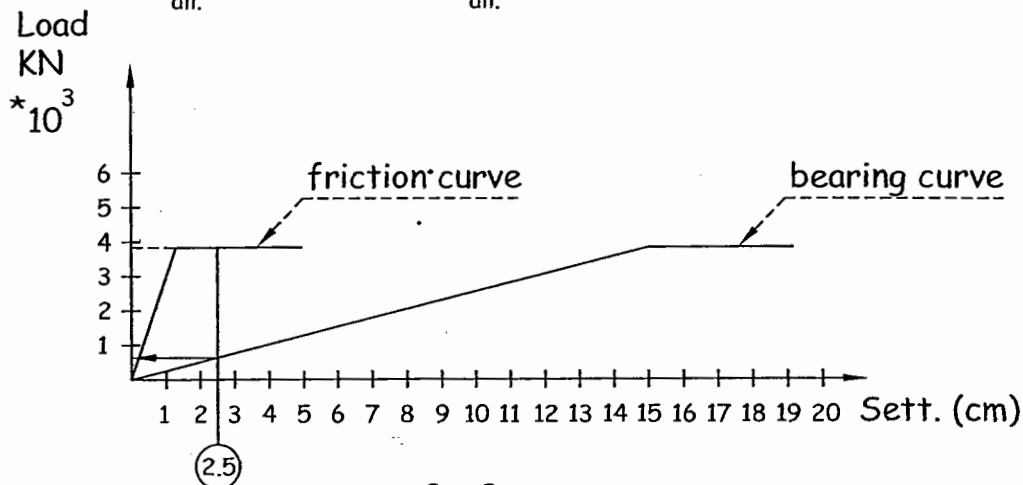
$$Q_{s_2} = 88 * (\pi * 1.2 * 10.00) = 3317.5 \text{ KN}$$

$$Q_{ult.} = 3845.3 + 565.5 + 3317.5 = 7728.3 \text{ KN}$$



(b)

$$Q_{all.} = ? \quad \text{if} \quad S_{all.} = 2.5 \text{ cm}$$



$$Q_{all.1} = 700 + \frac{Q_{s_1} + Q_{s_2}}{\text{measured}} = 4583 \text{ KN} \quad [\text{From settlement}]$$

$$Q_{all.2} = \frac{7728.3}{2} = 3864 \text{ KN} \quad [\text{From ultimate load}]$$

$$\therefore Q_{all.} = 3864 \text{ KN} < 5089 \text{ ton} \quad \text{"From structural formula"}$$