

مؤثرات راجعة  
أشغال  
م/أحمد دشت  
١٥

١٤٥  
أشغال عامة - ٢٠١٣

# Foundations

10

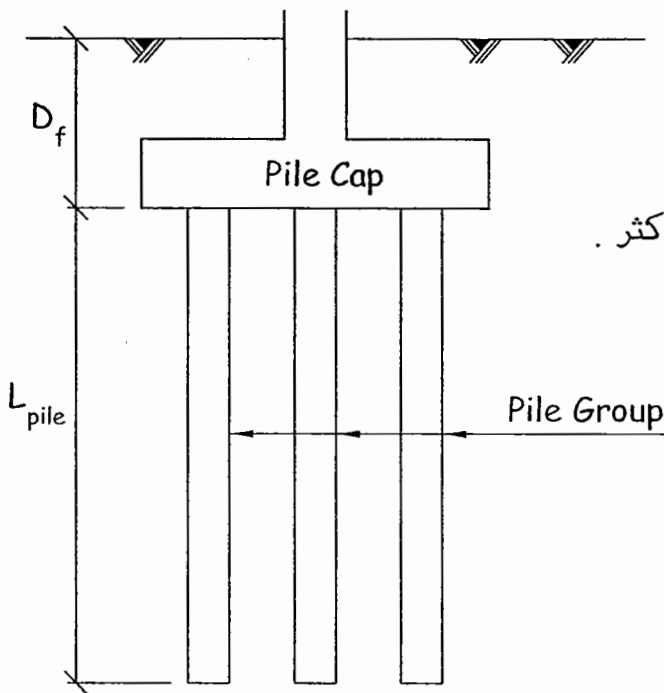
Pile Group  
&  
Settlement  
&  
Pile Integrity Test

## 6 Pile Group & Settlement:-

### 6 - A Pile Group:-

- هي مجموعة من الخوازيق تتكون من  $n$  Pile وتعمل معا كي تتحمل بأمان حمل الأساس الذي يرتكز عليها .

- ويتم تحديد مجموعة الخوازيق من خلال عدد الخوازيق ( $n$ ) والمسافات البينية بين Spacing ( $S$ ) & Pile c.g

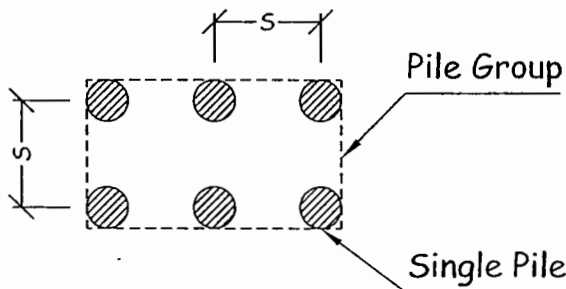


### Pile cap:-

- هي القاعدة التي ترتكز عليها الخوازيق .  
 - وهذه القاعدة يمكن ان يكون عليها عمود او اكثر .  
 - ويمكن ان تكون الاحمال على هذه القاعدة

- Normal Force only [Compression]
- Tension Force [Uplift]
- N.F and bending moments

$$N \text{ \& } M_x \text{ \& } M_y$$



### \* Number of piles below pile cap:-

#### ① Case of Normal compression loading:-

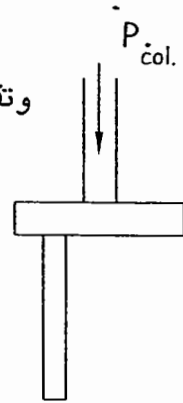
$$n_{\text{pile}} = \frac{(P_{\text{col.}} + O.W._{\text{pile cap}})}{Q_{\text{all.}}} \quad \text{وتقرب بالزيادة لا قرب رقم صحيح}$$

Where:

$O.W._{\text{pile cap}}$  : Own weight of pile cap

$P_{\text{col.}}$  : Column load (working load)

$Q_{\text{all.}}$  : Single pile capacity for compression loads



- ولان ال Pile cap لم يتم تصميمها ومعرفة ابعادها بعد، يتم فرض الوزن الذاتى بنسبة من حمل العمود .

$$n_{\text{pile}} = \frac{1.15 * P_{\text{col.}}}{Q_{\text{all.}}}$$

$$Q_{\text{pile}} = \frac{1.15 * P_{\text{col.}}}{n_{\text{pile}}}$$

#### ② Case of Tension (uplift) loading:-

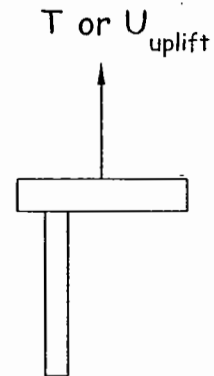
$$n_{\text{pile}} = \frac{T \text{ or } U_{\text{uplift}}}{T_{\text{all.}}} \quad \text{وتقرب بالزيادة لا قرب رقم صحيح}$$

Where:

$T$  : working tension force or uplift force on the pile cap (given)

$T_{\text{all.}}$  : allowable tension capacity of single pile

$$T_{\text{pile}} = \frac{T \text{ or } U_{\text{uplift}}}{n_{\text{pile}}}$$



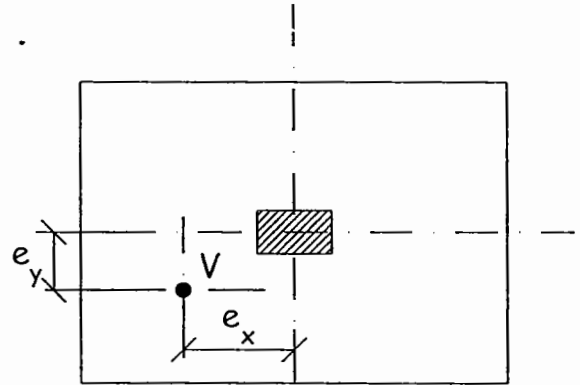
### ③ Case of pile cap subjected to N.F and double moments $M_x$ & $M_y$ :-

(1) assume

$$n_{\text{pile}} = \frac{1.15 * V}{Q_{\text{all}}} * (1 + e_y)(1 + e_x)$$

Where:

$e_x$  &  $e_y$  are given



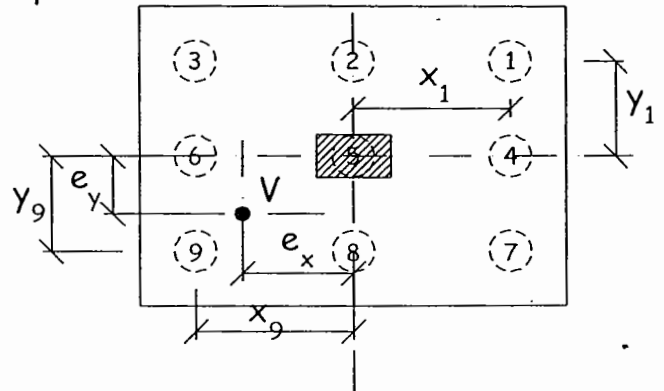
(2) arrange the estimated No. of piles as follows:

يتم رص الخوازيق بمسافة بينية  $3\phi$  كما في المثال

$$S = 3\phi$$

$\phi$  : Pile diameter

$$P_v = \frac{1.15 * V}{n} + \frac{V * e_x * X_i}{\sum X^2} + \frac{V * e_y * y_i}{\sum y^2}$$



Where:

$V$  : Normal compression load on pile cap

$e_x$  : Horizontal distance between  $V$  and c.g of pile group

$e_y$  : Vertical distance between  $V$  and c.g of pile group

$\sum X^2$  = مجموع مربعات الاحداثيات  $x_i$  لكل خازوق

$\sum y^2$  = مجموع مربعات الاحداثيات  $y_i$  لكل خازوق

(3) We should check on  $Q_{Max./pile}$  ,  $Q_{Min./pile}$

$$Q_{Max.} = Q_{Pile\ No.\ (9)} = \frac{1.15 * V}{9} + \frac{V * e_x * X}{\sum X^2} + \frac{V * e_y * y}{\sum y^2} \quad \nless \quad Q_{all.}$$

$$Q_{Min.} = Q_{Pile\ No.\ (1)} = \frac{1.15 * V}{9} - \frac{V * e_x * X}{\sum X^2} - \frac{V * e_y * y}{\sum y^2} \quad \nless \quad \begin{matrix} Zero \\ or \quad T_{all.} \end{matrix}$$

- If UNSAFE:-

- نزود عدد الخوازيق .

- نعيد رص الخوازيق .

- يتم حساب  $Q_{Max./pile}$  ,  $Q_{Min./pile}$

**Example:-**

A group of piles is required to support a pile cap that subjected to the following:-

- $V = 5000 \text{ KN}$
- $M_x = 500 \text{ KN.m}$
- $M_y = 600 \text{ KN.m}$
- and  $Q_{all} = 800 \text{ KN}$

pile diameter is 50 cm, then:-

- (1) Estimate the required number of piles.
- (2) Give the plan of pile cap showing the piles arrangement.

**Solution:-**

$$e_x = \frac{M_y}{V} = \frac{600}{5000} = 0.12 \text{ m}$$

$$e_y = \frac{M_x}{V} = \frac{500}{5000} = 0.10 \text{ m}$$

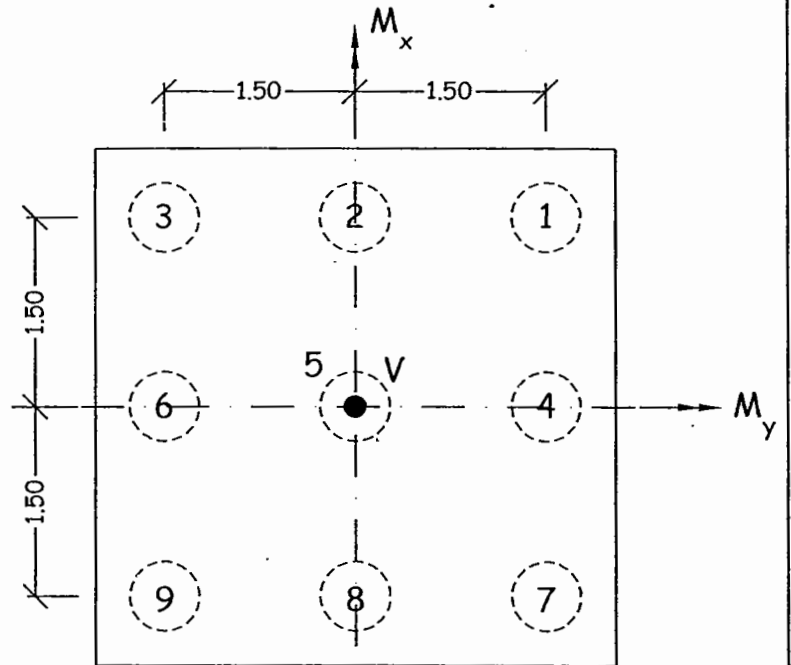
assume

$$n_{\text{pile}} = \frac{1.15 * V}{Q_{all}} * (1 + e_y)(1 + e_x)$$

$$= \frac{1.15 * 5000}{800} * (1 + 0.12)(1 + 0.10) = 8.85 \approx \underline{\underline{9 \text{ Piles}}}$$

assume

$$S = 3\phi = 3 * 0.5 = 1.50 \text{ m}$$



$$\sum X^2 = 3 * (1.5^2) + 3 * (0) + 3 * (-1.5^2) = 13.5 \quad \text{m}^2$$

$$\sum Y^2 = 3 * (1.5^2) + 3 * (0) + 3 * (-1.5^2) = 13.5 \quad \text{m}^2$$

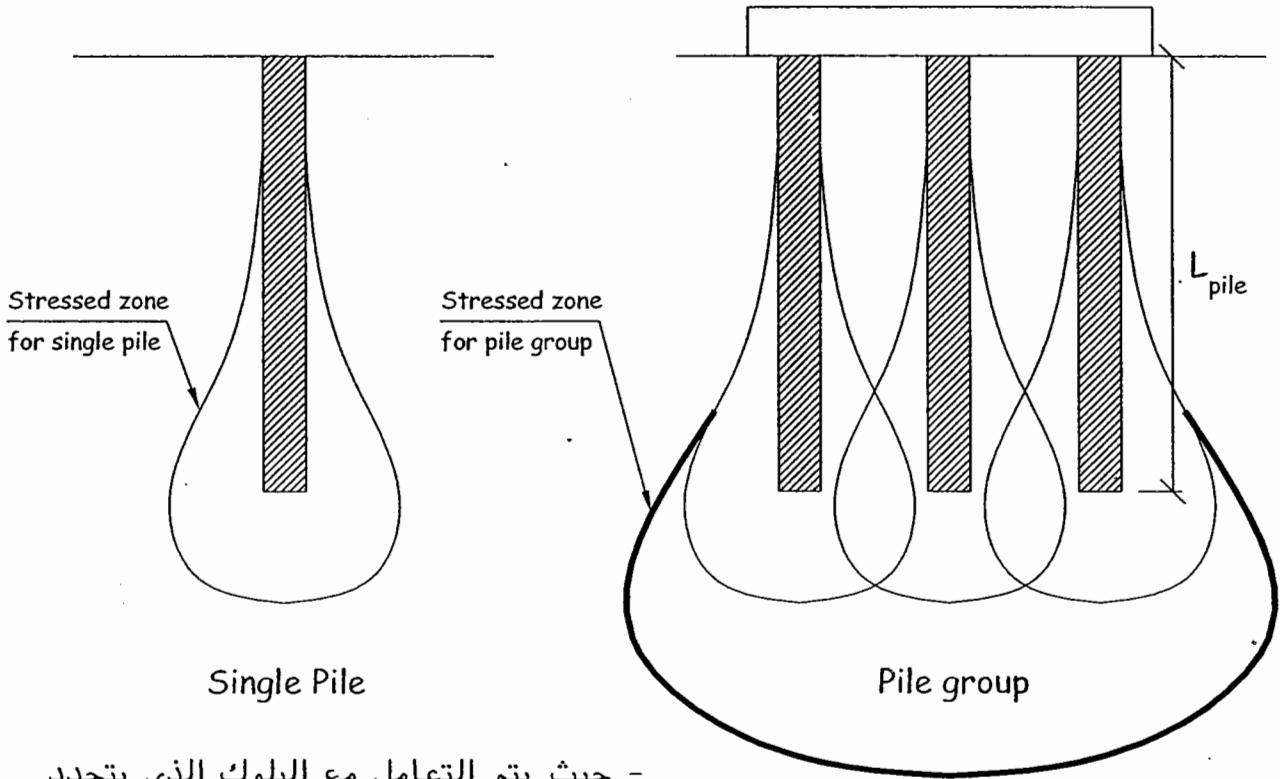
- Checks:-

$$\begin{aligned} Q_{\text{Max.}} = Q_{\text{Pile No. (1)}} &= \frac{1.15 * 5000}{9} + \frac{5000 * 0.12 * 1.50}{13.5} + \frac{5000 * 0.10 * 1.50}{13.5} \\ &= 761 \text{ KN} < Q_{\text{all.}} = 800 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{Min.}} = Q_{\text{Pile No. (9)}} &= \frac{1.15 * 5000}{9} - \frac{5000 * 0.12 * 1.50}{13.5} - \frac{5000 * 0.10 * 1.50}{13.5} \\ &= 516 \text{ KN} > \text{Zero} \end{aligned}$$

### \* Capacity of pile group under compression load:-

- يقصد بها حساب قدرة تحمل مجموعة من الخوازيق اسفل ال Pile Cap وكأنهم خازوق واحد.

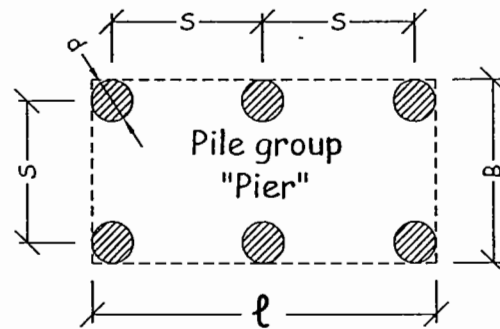


- حيث يتم التعامل مع البلوك الذى يتحدد بالمحيط الخارجى الذى يحيط بالخوازيق وبكامل ارتفاع الخوازيق  $L_{pile}$  على ان يكون هذا البلوك "Pier" وكأنه خازوق واحد كبير مقطعه مستطيل ( $\ell * B$ )

example:-

$$\ell = 2S + d$$

$$B = S + d$$





- لحساب قدرة التحمل القصوى لمجموعة الخوازيق

$$Q_{ug} = G_e * n * Q_{us}$$

Where:

$Q_{ug}$  : Ultimate capacity of pile group

$G_e$  : Group efficiency كفاءة المجموعة

$$= \frac{\text{قدرة تحمل مجموعة الخوازيق كوحدة}}{\text{قدرة تحمل الخازوق الواحد} * \text{عدد الخوازيق}} = \begin{cases} < 1.0 \\ 1.0 \\ > 1.0 \end{cases}$$

$n$  : Number of piles in group

$Q_{us}$  : Ultimate capacity of single pile

- وبالمثل

$$Q_{allg} = G_e * n * Q_{alls}$$

- ولكن يجب فى النهاية ان يكون حمل العمود  $P_{col}$  على القاعدة اقل من  $Q_{allg}$


Group efficiency ( $G_e$ ):-

- تعتمد على :-

- (١) عدد الخوازيق فى الصف الواحد.
- (٢) المسافة البينية بين الخوازيق.
- (٣) ابعاد الخازوق ونسبة طوله الى عرضه.
- (٤) نوع التربة ونوع الخازوق.

## ① For End Bearing piles:-

$$Q_{u_s} = q_b * A_{base} = q_b * \frac{\pi}{4} d^2$$

 Circular pile


$$Q_{u_g} = q_b * A_{base} = q_b * (\ell * B)$$

 B
 $\ell$ 

$$G_e = \frac{Q_{u_g}}{n * Q_{u_s}} = \frac{\cancel{q_b} * (\ell * B)}{n * \cancel{q_b} * \frac{\pi}{4} d^2} = \frac{(\ell * B)}{n * \frac{\pi}{4} d^2} > 1.0 \text{ (always)}$$

## ② For Friction Piles:-

$$Q_{u_s} = f_s * A_{side} = f_s * \pi d L$$

 Circular pile

$$Q_{u_g} = f_s * A_{side} = f_s * 2(\ell + B) L$$

 B
 $\ell$ 

$$G_e = \frac{Q_{u_g}}{n * Q_{u_s}} = \frac{\cancel{f_s} * 2(\ell + B) \cancel{L}}{n * \cancel{f_s} * \pi d \cancel{L}} = \frac{2(\ell + B)}{n * \pi d} = \begin{cases} < 1.0 \\ = 1.0 \\ > 1.0 \end{cases}$$

- لانه ليس بالضرورة ان يكون محيط المستطيل اكبر من مجموع محيطات الخوازيق.

If  $G_e < 1.0 \Rightarrow$

يمكن زيادة المسافات البينية بين الخوازيق (S)

### 6 - B Settlement of pile group:- [ $S_g$ ]

- حساب الهبوط اسفل مجموعة من الخوازيق (تحت تأثير حمل ضغط) نتيجة ارتكاز هذه المجموعة على تربة (او اكثر) انضغاطية.

#### ① Settlement of pile group due to compressibility of Sand:-

- يمكن حساب هبوط مجموعة الخوازيق نتيجة انضغاط تربة رملية من خلال احدى العلاقتين الاتيتين :-

Ⓐ

$$S_{g_{sand}} = \frac{1}{E} \Delta \sigma H$$

Where:

$E$  : Young's modulus of the sandy layer

$H$  : Thickness [or effective depth] of the sandy layer below the piles

$$\Delta \sigma = \frac{P_{col.} \text{ or } Q_{all.}}{(\ell + \frac{H}{2})(B + \frac{H}{2})} \rightarrow \text{ايهما اكبر}$$

حيث  $\ell, B$  ابعاد المحيط الذي يحيط بمجموعة الخوازيق

Ⓑ

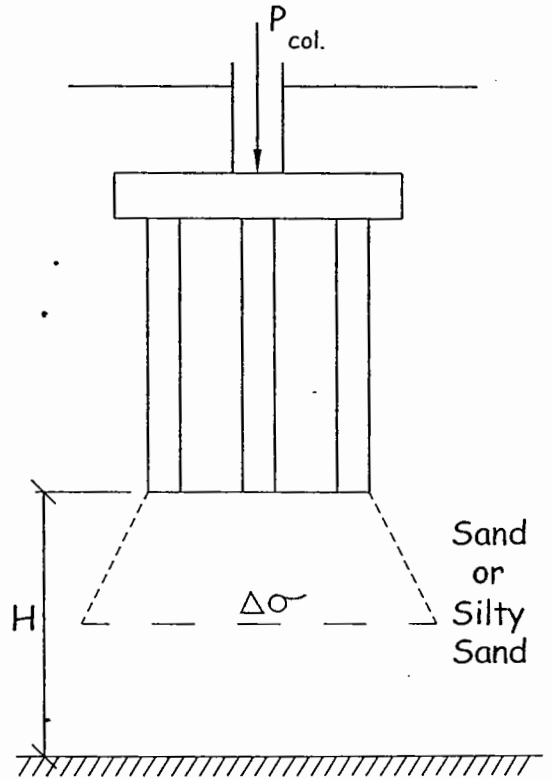
$$S_{g_{sand}} = S_o \sqrt{\frac{B}{d}}$$

Where:

$B$  : العرض الاصغر للمحيط الذي يحيط بالخوازيق

$d$  : Pile diameter or width (m)

$S_o$  : Settlement of Single pile



② Settlement of pile group due to compressibility of Clay:-

① If piles are in sandy layer, but clay layer presents below:-

$$S_g = S_{g_{sand}} + S_{g_{clay}}$$

$$S_{g_{clay}} = m_v \Delta \sigma H_2$$

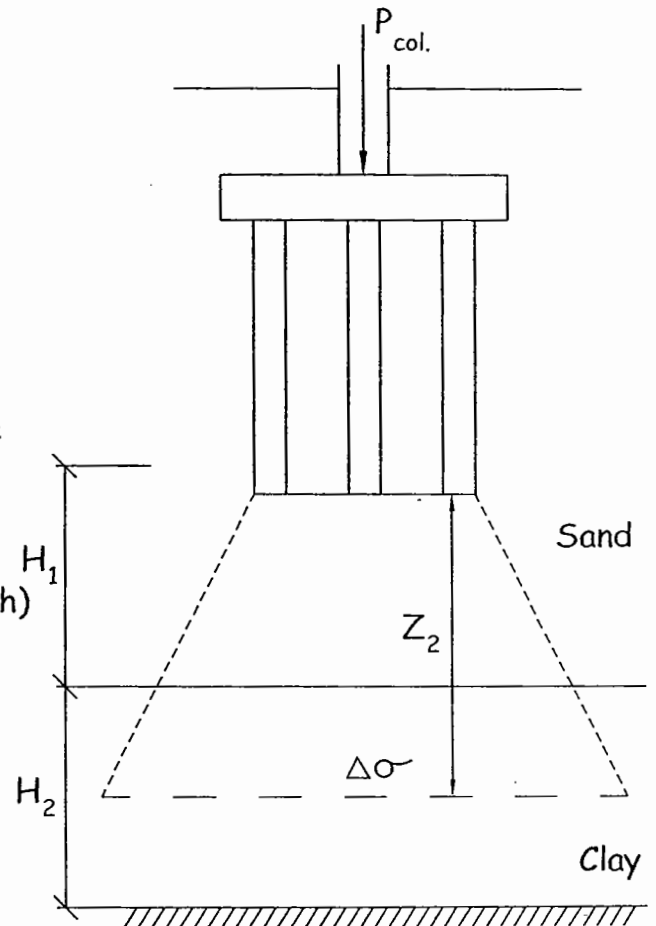
Where:

$m_v$  : Coefficient of volume change

$$= \frac{1}{E_{clay}}$$

$H_2$  : Thickness (or effective depth) of the clay layer

$$\Delta \sigma = \frac{P_{col.} \text{ or } Q_{all. g}}{(\ell + Z_2)(B + Z_2)}$$



Ⓑ If piles in specific clay layer:-

- فى هذه الحالة وجد ان ضغط المجموعة من الخوازيق ينتقل الى التربة عند منسوب اعلى نهاية الخوازيق بمسافة  $\frac{L_{pile}}{3}$  وليس من عند نهاية الخوازيق كما فى الحالات السابقة .

$$S_{g_{clay}} = m_v \Delta \sigma H$$

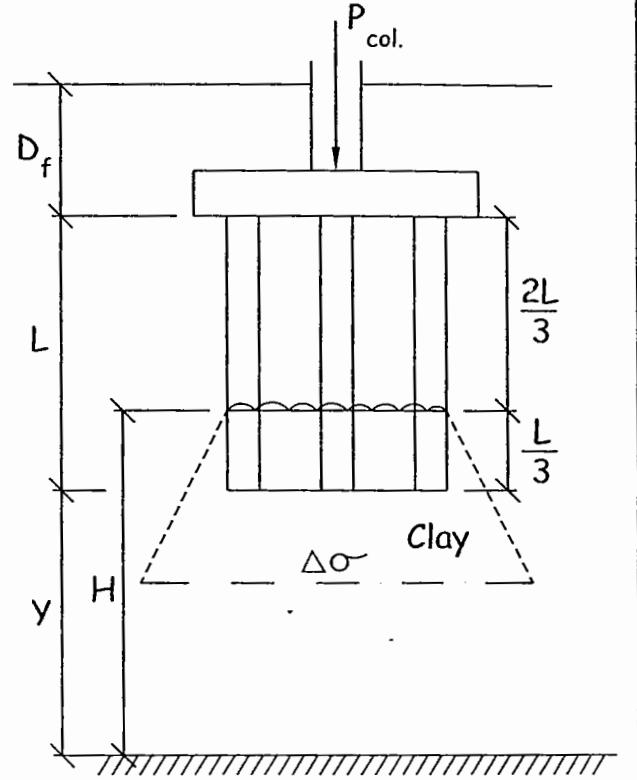
Where:

$m_v$  : Coefficient of volume change  
 $= \frac{1}{E_{clay}}$

$Y$  : Thickness (or effective depth) of the clay layer

$$H = \frac{L_{pile}}{3} + Y$$

$$\Delta \sigma = \frac{P_{col.} \text{ or } Q_{all.g}}{\left(\ell + \frac{H}{2}\right) \left(B + \frac{H}{2}\right)}$$



## 2 Case of Pile Group:-

عند تعرض مجموعة من الخوازيق متصلة مع بعضها بـ Rigid or flexible pile cap

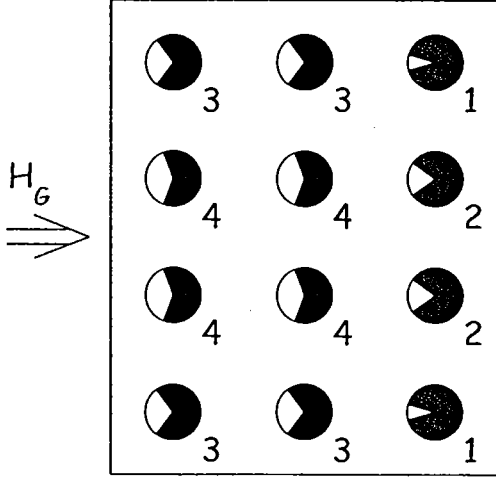
الى قوة افقية  $H_G$  فان كل خازوق يتأثر بحمل  $H_i$

- تم عمل مجموعة من الاختبارات ووجد ان الصف

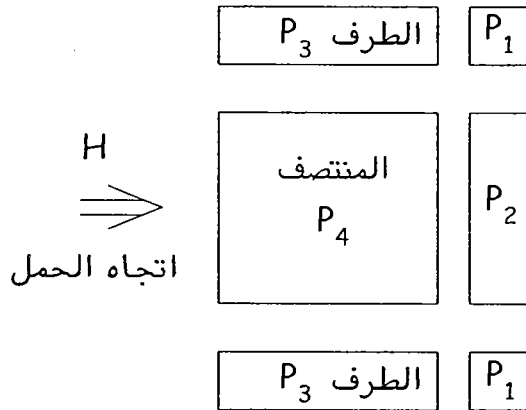
الاول من الخوازيق يتأثر بنسبة قليلة من الحمل

الافقى  $H_G$  وتسمى هذه الظاهرة بـ Sheltering Action

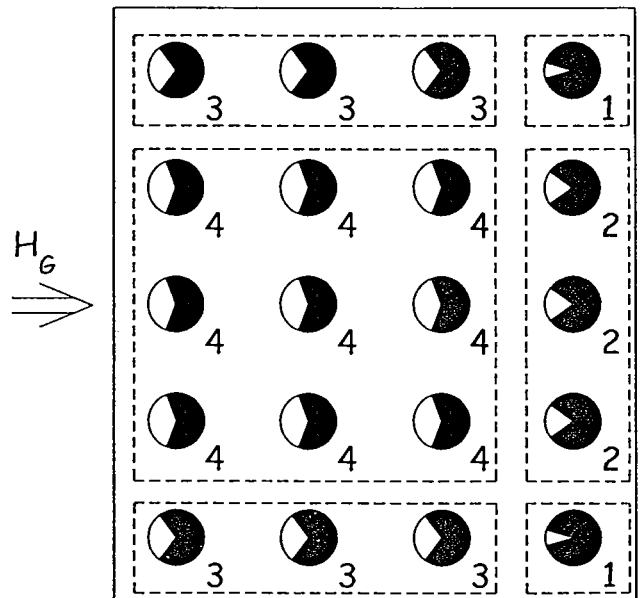
- تزيد القوى على الـ Pile كلما كان الـ Pile يقع فى صف فى الداخل.



- طريقة التحليل :-



Another example

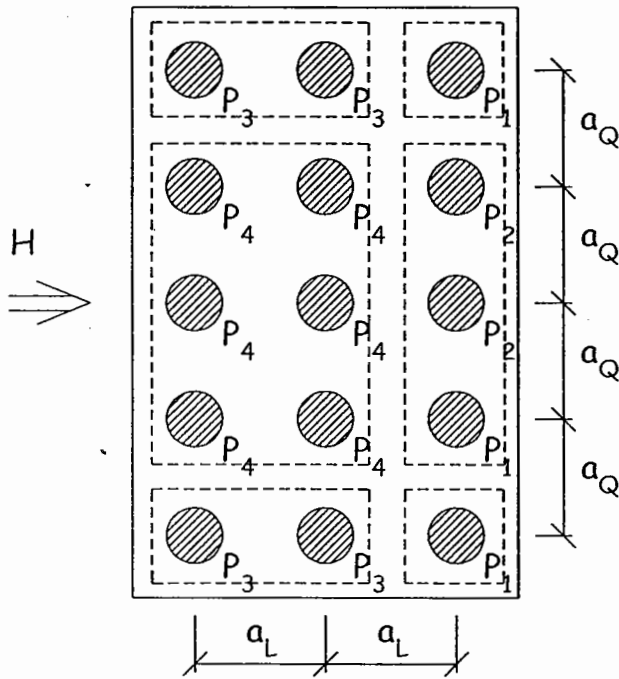


### \* Determination of pile resistance in pile group under Horizontal load:-

- يتم حساب القوى المؤثرة على الخازوق عن طريق معامل رد فعل التربة الافقى  
Subgrade reaction Moduli

للخازوق الواحد  $K_h$  الذى سبق ودرسناه ولكن يضرب فى Reduction factor .

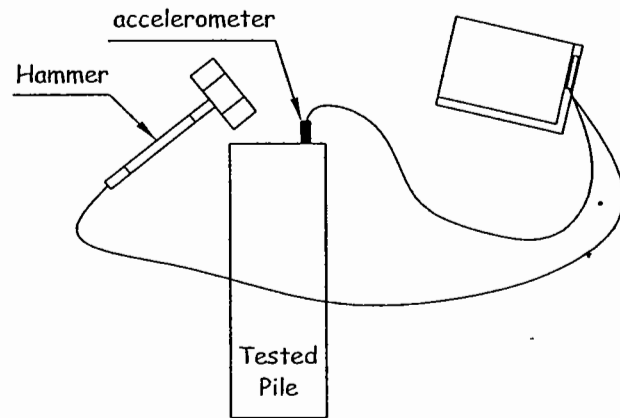
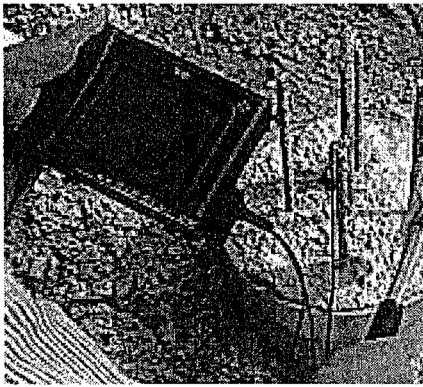
- هذا ال Reduction factor يعتمد على المسافة بين الخوازيق وعلى مكان الخازوق المدروس كالاتى:-



Pile	Reduction Factor
$P_1$	$1 * \alpha_{QA}$
$P_2$	$1 * \alpha_{QZ}$
$P_3$	$\alpha_L * \alpha_{QA}$
$P_4$	$\alpha_L * \alpha_{QZ}$

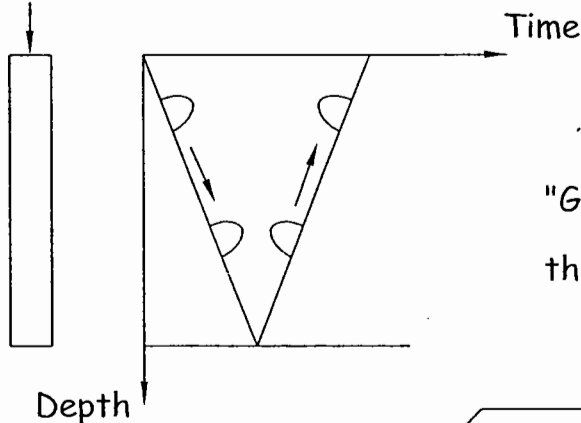
### \* Quality Control: (Pile integrity tests)

- يقصد بها عمل اختبار تأكيد جودة تنفيذ الخازوق. عند طريق جهاز بسيط يسمى Sonic Integrity Testing (SIT).
- اختبار ال Sonic Integrity Testing هو اختبار غير مدمر Non-destructive للخازوق يتكون من Instrumented Hammer و accelerometer وجهاز لرصد القراءات.



#### - خطوات الاختبار:-

- (١) يتم الطرق بال Hammer على رأس الخازوق المراد اختباره فتبعث المطرقة موجة داخل الخازوق.
- (٢) تنعكس الموجة وتبدأ في الرجوع الى رأس الخازوق في حالة وصولها الى Pile Toe او عند وجود اى تغيير فى قطاع الخازوق مثل تغيير مساحة القطاع او مادة الخازوق.
- (٣) ترجع الموجة الى رأس الخازوق وتقوم ال accelerometer برصدها.
- (٤) يتم تحويل القراءة المسجلة الى Curve يربط سرعة الموجة بالزمن Velocity - time.



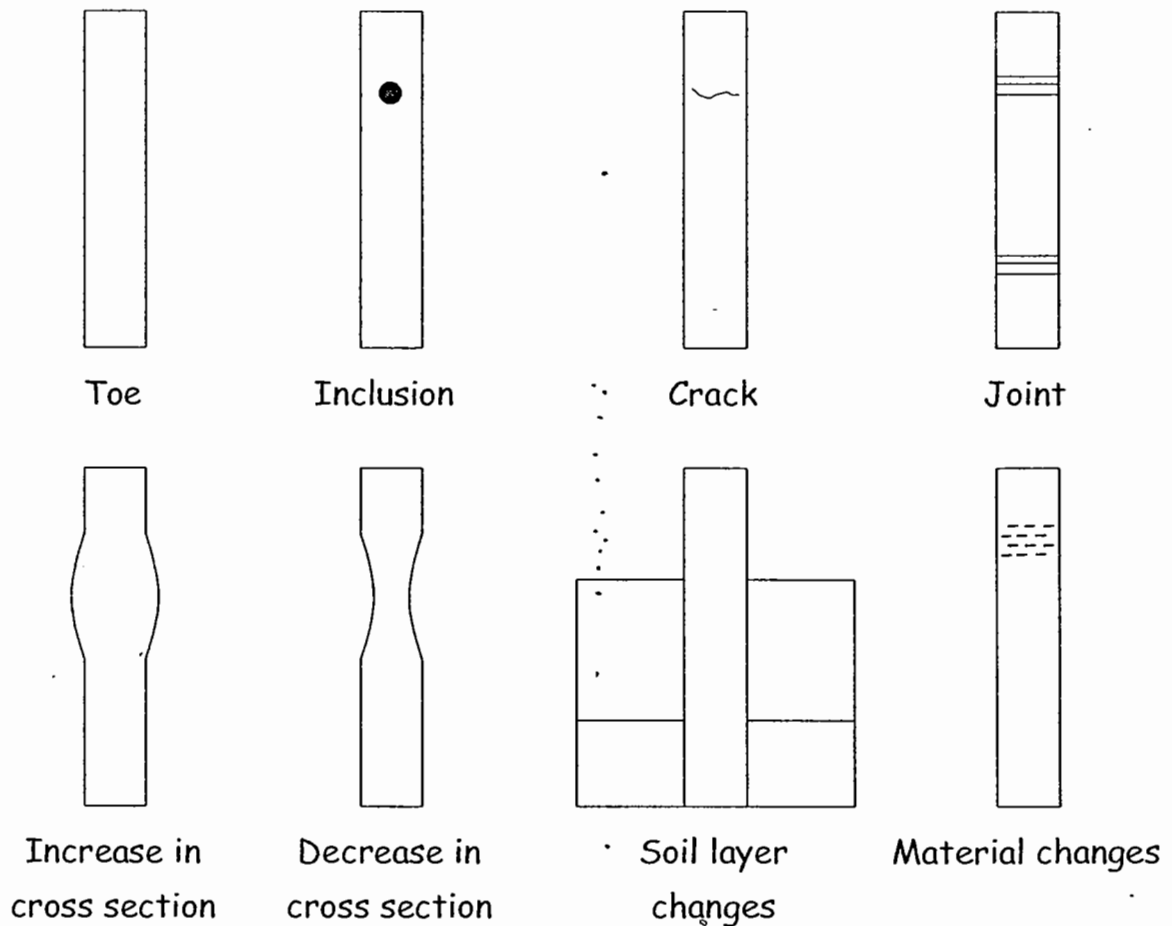
"Global form of main wave during the passage of a free pile"



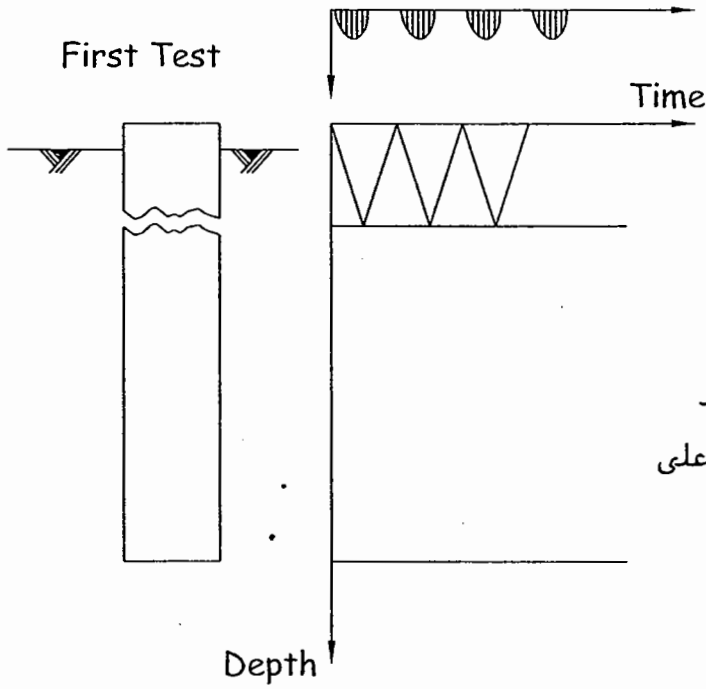
### Reflections are caused by:-

- Pile Toe.
- Dimensional changes.
- Soil inclusions.
- Cracks.
- Joints.
- Variations in concrete quality.
- Variations in soil stiffness.
- Overlap of reinforcement (heavily reinforced piles).

### Phenomena which can be detected by Sonic Integrity Testing (SIT):-

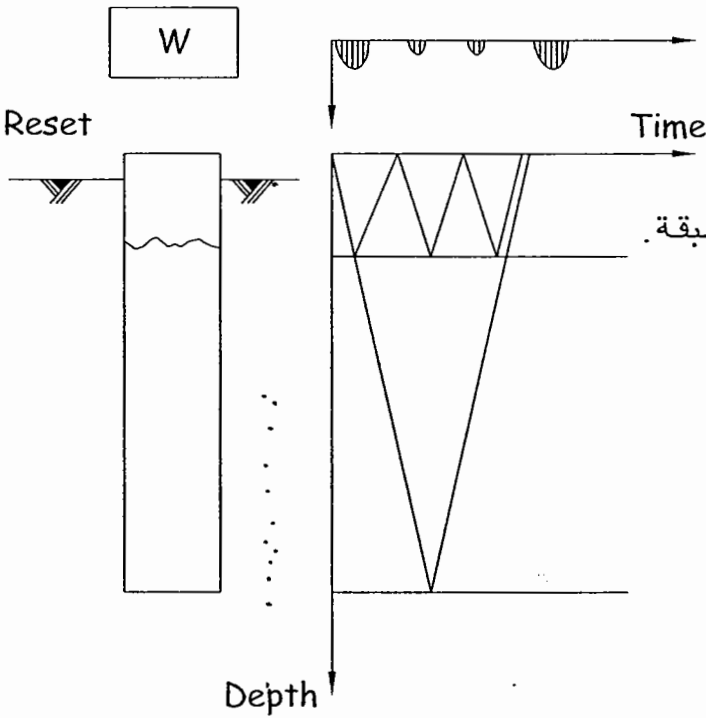


### Determination of the severity of a crack:-



- حالة خاصة يمكن الاستفادة منها  
وهي عند ارسال الموجة بسرعة  
معلومة وبمعرفة طول الخازوق  
يمكن تقدير الزمن اللازم لخروج الموجة  
ورجوعها.

- فاذا كان هذا الزمن اقل من الزمن المقدر  
يمكن التنبأ بوجود شرخ فى الخازوق عمل على  
عدم استمرارية الموجة فى جسم الخازوق.



- يمكن معالجة هذا العيب بالطرق على  
الخازوق بوزن W.

- يجب ان يكون هذا الوزن اكبر من قدرة  
تحمل الخازوق لقوى الاحتكاك فى هذه الطبقة.

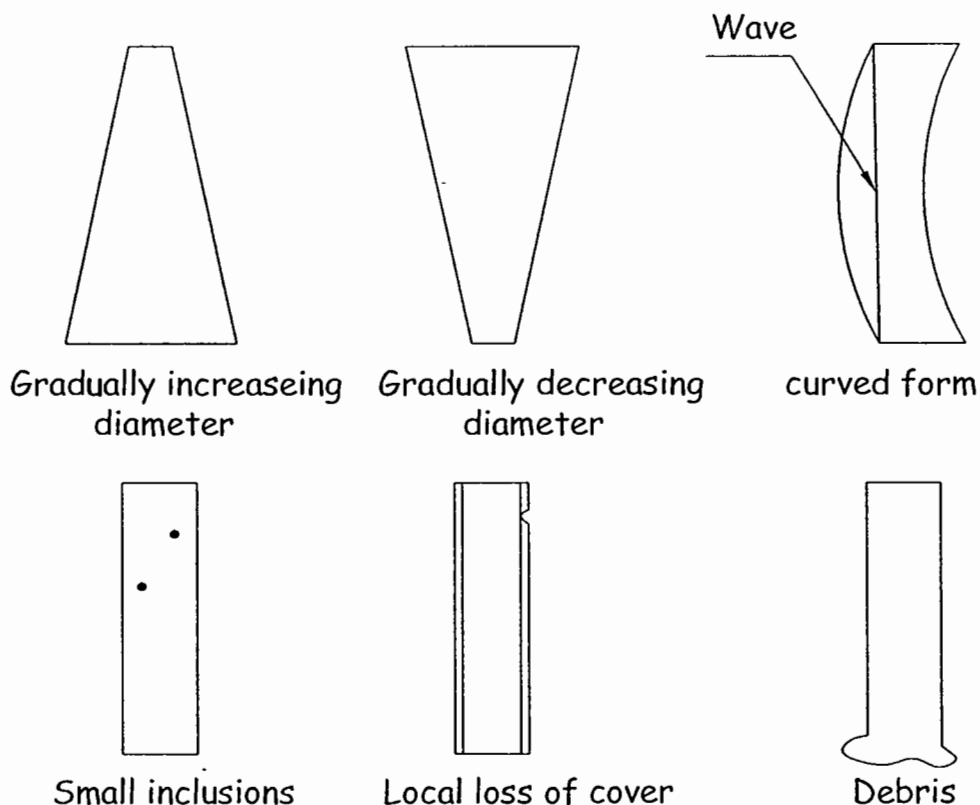
### Integrity Testing advantages:-

- Quick and cheap inspection method for major defects (50 - 200 piles/day).
- No preparation needed except trimming back.
- Early discovery of defects, only 5 days of curing needed for cast-in-situ piles.

### Integrity Testing limitations (disadvantages):-

- No quantitative information on load bearing capacity.
- Reflected signal energy should be sufficient (no length indication with high damping).
- No information on minor defects like local loss of cover, small inclusions, etc.
- Understanding signals requires knowledge of causes of reflections.

### Phenomena which can NOT be detected by SIT:-



## Integrity Testing Practice:-

### Impression:-

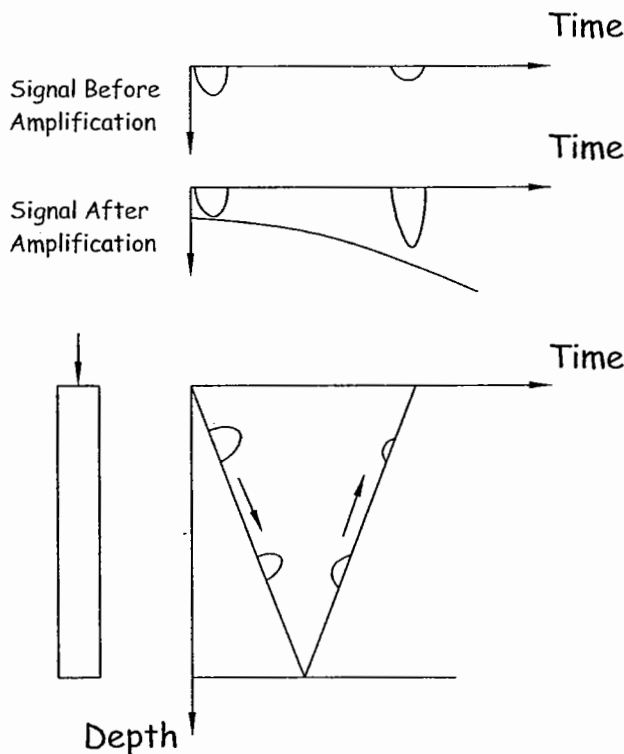
- لأخذ انطباع عن ما اذا كانت نفذت بجودة عالية ام لا يتم عمل اختبار الـ SIT على 10 % من عدد الخوازيق فى الموقع على الاقل.

### Common Practice:-

- Test all piles.
- Determine average site signal representing a reliable pile (reference).
- Check reference signal with soil data.
- Check deviating signals from reference signal.
- Perform qualitative interpretation.

### - ملاحظة هامة :-

- احيانا يتم عمل تضخيم للموجة لحدوث فقد نتيجة جهود الاحتكاك والارتكاز .



"Reduction of stress wave by shaft friction and toe resistance"