

Foundation

12

Supported Deep Excavation

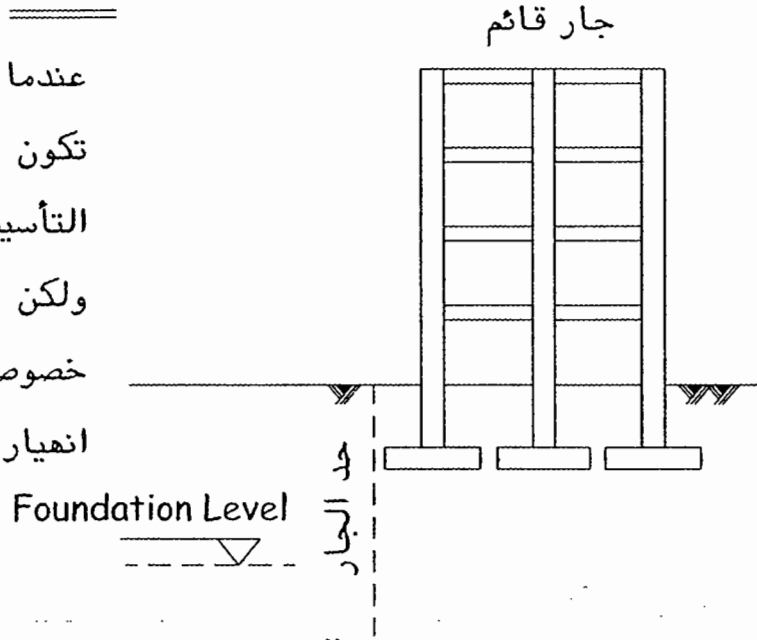
"Part 1"

❖ ❖ Supported Deep Excavation ❖ ❖

سند جوانب الحفر

- الفكرة :-

عندما نريد انشاء مبنى جديد بجوار مبنى قائم،
تكون اول مرحلة هى حفر الموقع حتى منسوب
التأسيس المطلوب لتنفيذ قواعد المبنى الجديد.
ولكن يجب سند جوانب الحفر
خصوصا بجوار الجار القائم حتى لا يحدث
انهيار للتربة اسفل قواعد الجار.

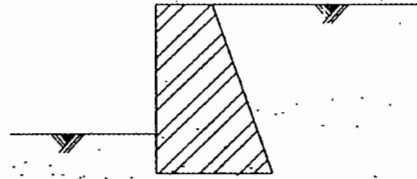


❖ Types of Retaining Structures:-

[A] Conventional Retaining Walls:

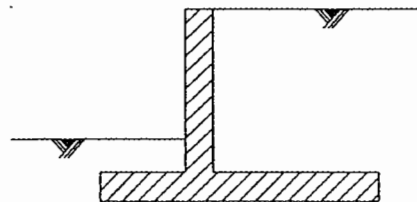
1 - Gravity Wall:-

R.C or P.C wall



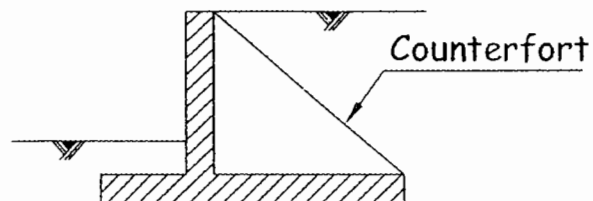
2 - Cantilever Wall:-

R.C wall



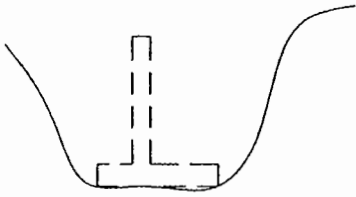
3 - Counterforted Wall:-

R.C wall



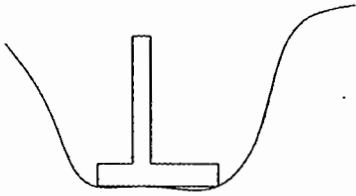
- نلاحظ الاتى لهذا النوع من الحوايط :-

① Excavation



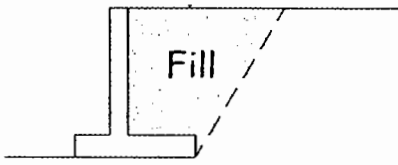
١ - لا يمكن تنفيذ هذا النوع من الحوايط لابد من حفر مساحة كبيرة من التربة حول مكان الحوايط اولا ثم يتم تنفيذ الحائط ثم يتم الردم خلف الحائط مرة اخرى .

② Construction of the wall



٢ - وبالتالي لا يصلح هذا النوع من الحوايط لسند جوانب الحفر فى حالة وجود جار قريب وذلك لصعوبة الحفر داخل حدود الجار .

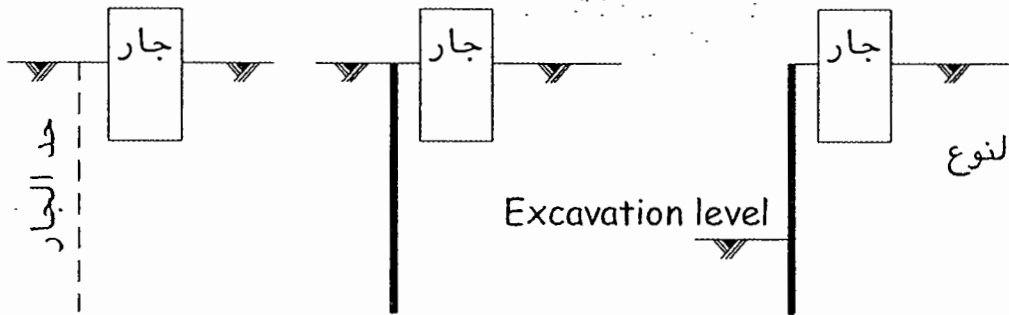
③ Filling



[B] In-situ Retaining Walls:

- هى انواع من الحوايط الساندة يتم تنفيذها فى الموقع فى المكان المطلوب بدون الحفر حولها .

- حيث يتم تنفيذ الحائط اولا داخل الارض، ثم يتم حفر الموقع المطلوب للمبنى الجديد .
- ونلاحظ ان جميع انواع هذه الحوايط تكون على هيئة خط رأسى ساند للتربة بدون قاعدة فى نهاية الحائط .



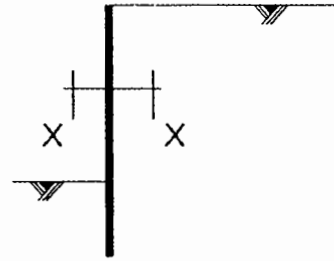
وبالتالى يصلح هذا النوع لسند جوانب الحفر بجوار حد الجار .

مكان الحائط
المطلوب

تنفيذ الحائط
بدون حفر

حفر الموقع حتى
منسوب التأسيس

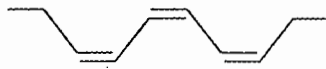
Types of insitu walls:-



1 - Sheet Pile Wall (SPW):-



U-Shape



Z-Shape

Sec. (X-X)

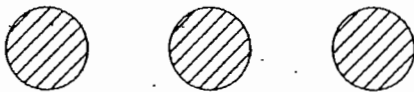
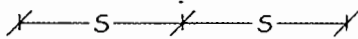
- هي قطاعات من الحديد يتم انزالها في التربة بالدق او الاهتزازات .

- U يصلح استخدامها بجوار منشآت حتى لا تؤثر الاهتزازات على المباني .

- Cohesionless soil. ✓

- G.W.T. ✓

2 - Adjacent Pile Wall:-



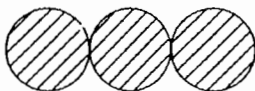
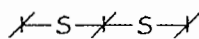
Sec. (X-X)

- هي خوازيق من الخرسانة المسلحة تنفذ متباعدة عن بعضها .

- Cohesionless soil. ✗

- G.W.T. ✗

3 - Tangent Pile Wall:-



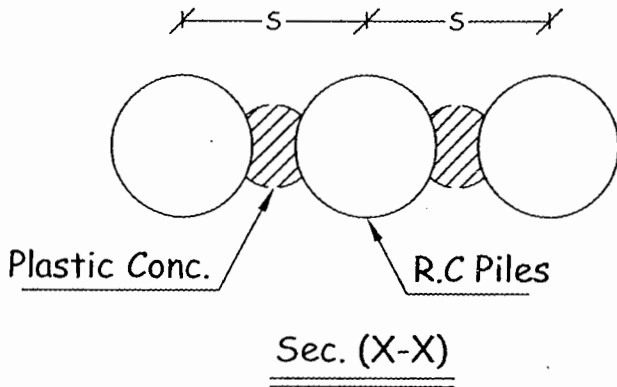
Sec. (X-X)

- هي خوازيق من الخرسانة المسلحة تنفذ متلامسة تماما .

- Cohesionless soil. ✓

- G.W.T. ✗

4 - Secant Pile Wall:-



- هي خوازيق من الخرسانة المسلحة تتقاطع مع خوازيق أخرى من ال Plastic Concrete ذات النفاذية الضعيفة.

Plastic Concrete = [Cement + Sand + bentonite + water + additives]

- Cohesionless soil. ✓

- G.W.T. ✓

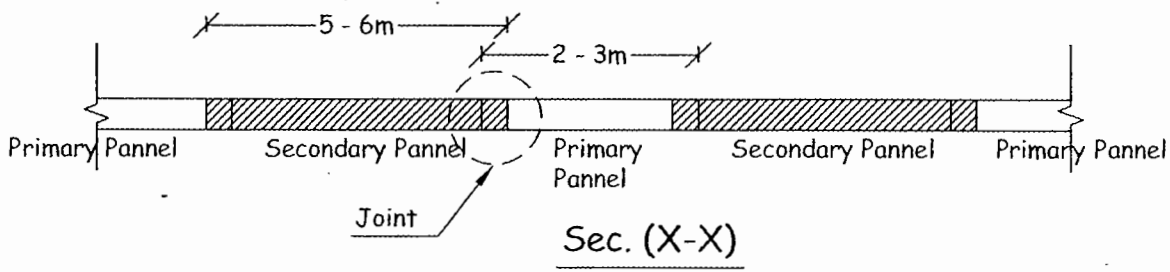
- حيث يتم تنفيذ الخوازيق ال Plastic أولاً ثم تقطع بعد ذلك بالخوازيق المسلحة.
- تصلح لجميع أنواع التربة حيث تستخدم في حالة وجود مياه جوفية حيث تعمل ال Plastic Pile كفواصل مانعة لمرور المياه.

5 - Diaphragm Wall:-

- وهي قطاعات مستطيلة من الخرسانة المسلحة تنفذ متتالية بكامل طول الموقع

- وتتكون من Primary Pannels و Secondary Pannels

حيث يتم تنفيذ ال Primary Pannels ثم يتم تنفيذ ال Secondary Pannels بعدها



- يلاحظ الاتى :-

- عرض ال Secondary Pannel يكون اكبر من ال Primary Pannel حتى يحدث تداخل بينهم (Joint). هذه ال (Joint) تمنع دخول اى مياه جوفية فى التربة اذا وجدت .

- وبالتالي تصلح هذه الخوازيق لجميع انواع التربة وعند وجود مياه جوفية

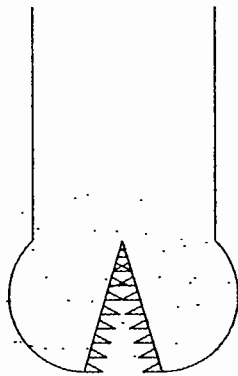
- Cohesionless soil. ✓

- G.W.T. ✓

- طريقة التنفيذ :-

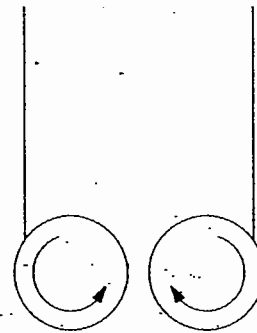
- تنفذ تماما مثل الخوازيق Cast - in - place bored piles

(١) يتم الحفر باحد الماكينات التالية



(A) Grab الكباش

يقوم هذا الكباش بحفر جزء من التربة للمرة الواحدة
لذا يسمى هذا الحفر ب Incremental Excavation



(B) Hydrofraise

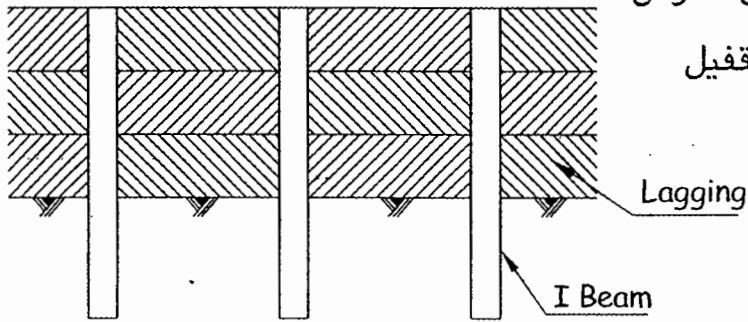
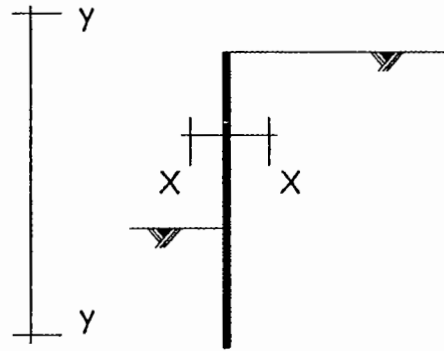
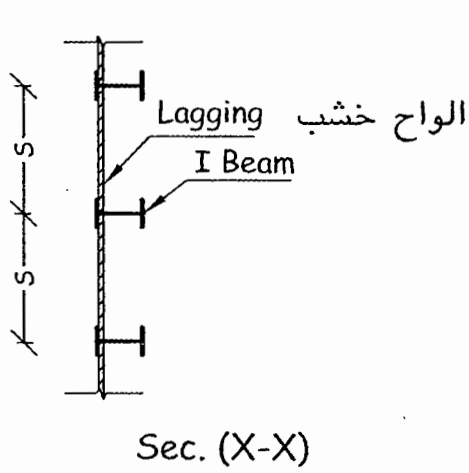
تدور السكاكين للداخل ويخرج ناتج الحفر من اعلى
وهذا يمكننا من الحفر المتواصل Continuous Excavation

(٢) يتم استخدام ال Bentonite أثناء الحفر للحفاظ على جانب الحفر من الانهيار .

(٣) تسقيط شبكة حديد التسليح لل Diaphragm Wall .

(٤) انزال ال Tremie Pipe لصب الخرسانة .

6 - Soldier Pile Wall:-

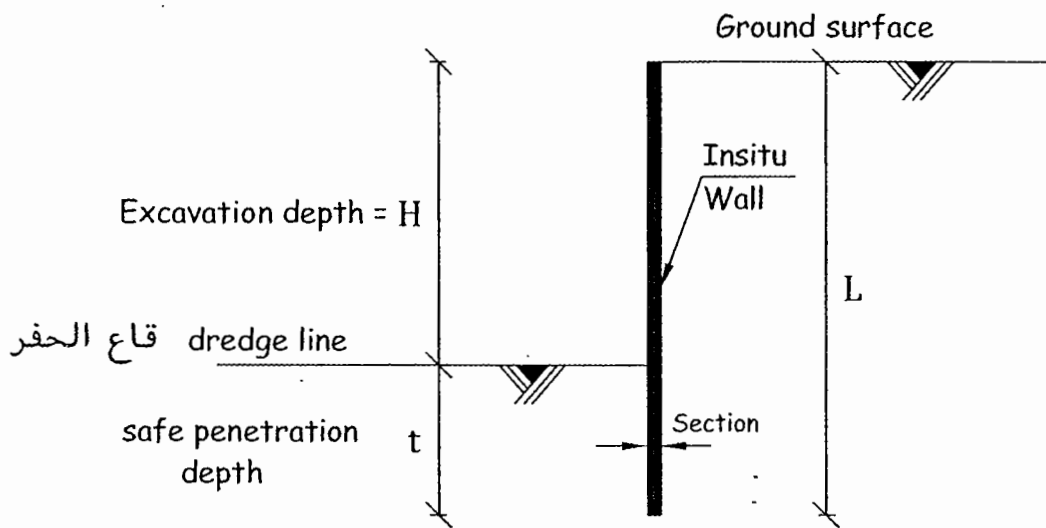


- هي خوازيق من الحديد I Beam تدق في الارض على مسافات ثم يتم الحفر بينها مع التقفيل بين الLagging بالواح من الخشب لسند جوانب الحفر .

Sec. (Y-Y)

- تصلح في حالة التربة المتماسكة او في حالة ال dense sand .
- لا يصلح هذا النوع في حالة وجود مياه جوفية .

* Analysis and design of insitu walls:-



Steps of design :-

1 - Determination of the wall length " L ".

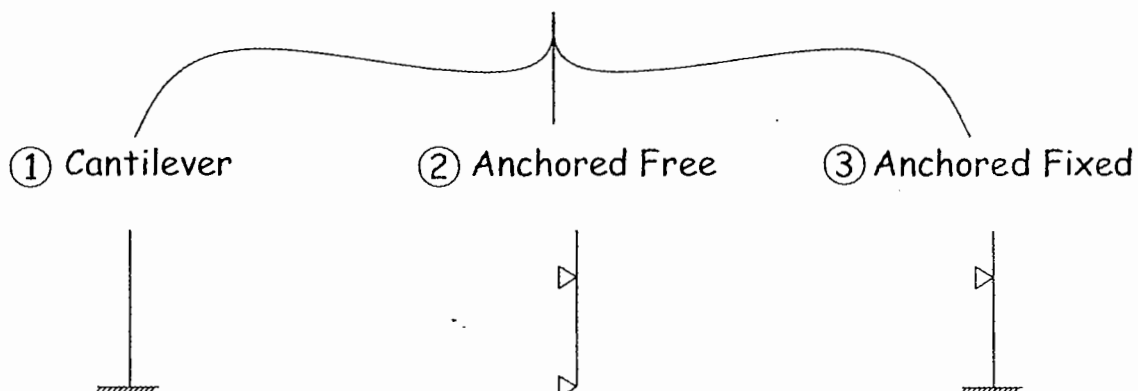
where : $L = H + t$
 but H is known

\Rightarrow t is the required length
 (The Penetration Length)

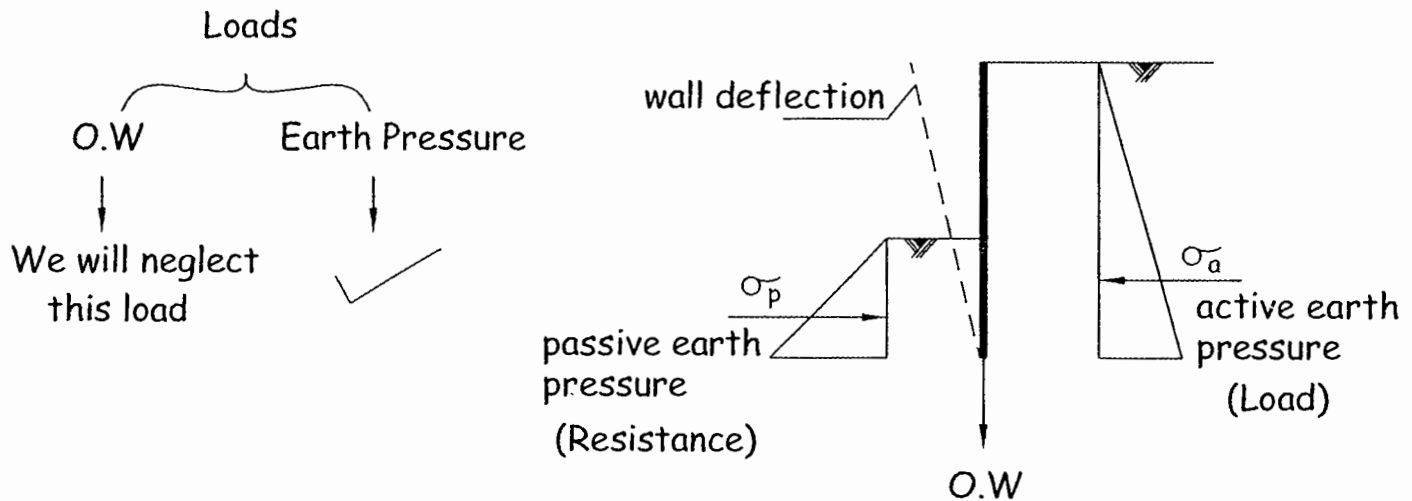
2 - Design of the wall section.

To design the wall section, we have to calculate M_{max} acting on the wall.

Statical System of the wall



Loads acting on the wall:-



* How to calculate earth pressure:- "Using Rankine Theory"

1 - ACTIVE earth pressure (σ_a):-

هو ضغط التربة الجانبى على حائط
السند والذي يصاحبه حركة الحائط
بعيدا عن كتلة التربة.

2 - PASSIVE earth pressure (σ_p):-

هو ضغط التربة الجانبى على حائط
السند عندما يتحرك الحائط داخل
كتلة التربة.

Calculation of (σ_a , σ_p):

$$\sigma_a = \sigma_v K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

$$\sigma_p = \sigma_v K_p + 2c\sqrt{K_p}$$

Where :

$$- K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \leq 1$$

$$- K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \frac{1}{K_a} \geq 1$$

$$- K_a = K_p = 1.00 \quad (\text{when } \phi = 0)$$

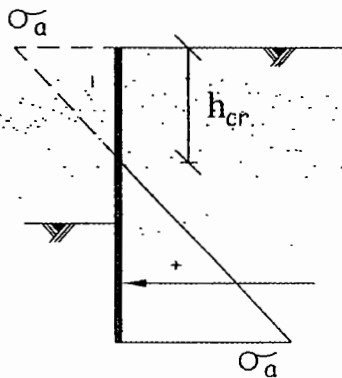
$$\phi = 0 \text{ :- in case of cohesive soil in undrained condition } (C = C_u = \frac{q_u}{2})$$

$$- \sigma_v = \gamma_{\text{eff.}} * h + q$$

$$\gamma_{\text{eff.}} = \begin{cases} \gamma_b \text{ or } \gamma_{\text{dry}} & (\text{above G.W.T.}) \end{cases}$$

$$\gamma_{\text{sub.}} = \gamma_{\text{sat.}} - \gamma_w \quad (\text{below G.W.T.})$$

- ملاحظات هامة :-



① في حالة التربة المتماسكة فقط وعند حساب σ_a قد يظهر Negative وهو ما يعنى وجود tension cracks

الحل

نقوم بحساب عمق الـ tension cracks او هو h_{cr}

ثم نهمل هذا الجزء الـ Negative تماما من الحسابات

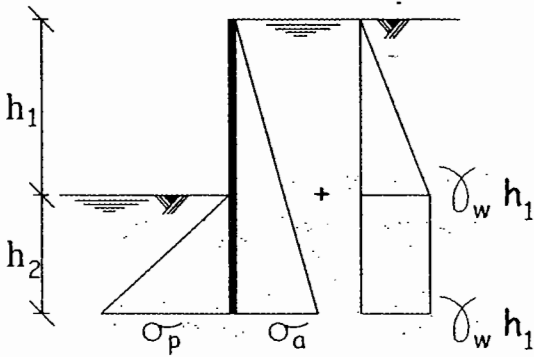
حيث اصبحت هذا المثلث Resistance للحائط وليس load (Which is not Critical)

② عند وجود طبقة من تربة متماسكة ويكون لها الخواص فى الحالتين undrained & drained يتم عمل الحسابات سواء active or passive على الـ drained حيث ان هذه الحالة تعطى قيم Active اكبر وقيم Passive اقل وهذا More Critical .

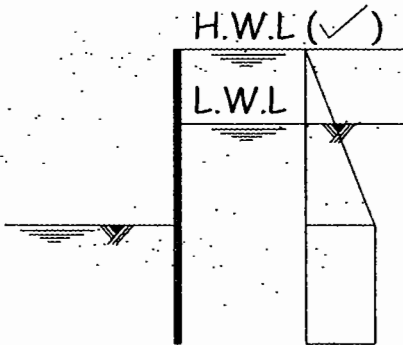
- اما اذا لم يعطى غير خواص الـ undrained فقط فاننا نحسب على هذه الحالة مع انها ليست الحالة الحرجة.

pore water
pressure

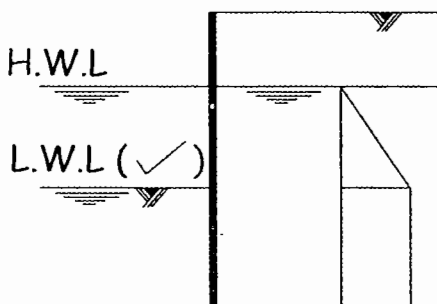
③ لا ننسى حسابات ضغط الماء على الحائط منفصلا عن حسابات الـ earth pressure



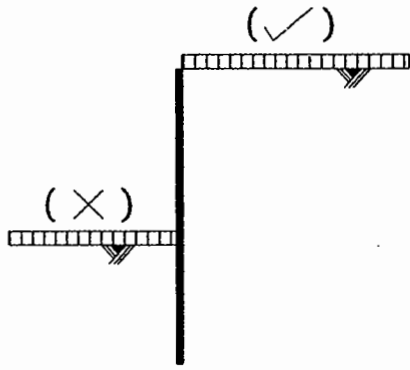
مع ملاحظة ان ضغط الماء تحت الـ Dredge line على شكل مستطيل وذلك حيث ان مثلث الماء فى جزء الـ passive يلاشى نظيره فى الـ active



④ عند وجود منسوبين للماء ناحية الـ active فاننا نبني حسابتنا على المنسوب الاعلى لانه يعطى ضغطا اكبر (More Critical).



⑤ عند وجود منسوبين للماء ناحية الـ passive فاننا نبني حسابتنا على المنسوب الاقل لانه يعطى مقاومة اقل (More Critical).



⑥ عند وجود surcharge ناحية ال passive

يجب الا يؤخذ فى الحسابات حتى نحصل على مقاومة اقل .

وبنفس المبدأ نأخذ ال surcharge معنا فى الحسابات فى حالة وجوده ناحية ال passive .

⑦ فى حالة التربة المكونة من اكثر من

طبقة stratified soil .

نحسب E.P عند نقاط كالآتى :-

١ - نقطة عند سطح الأرض .

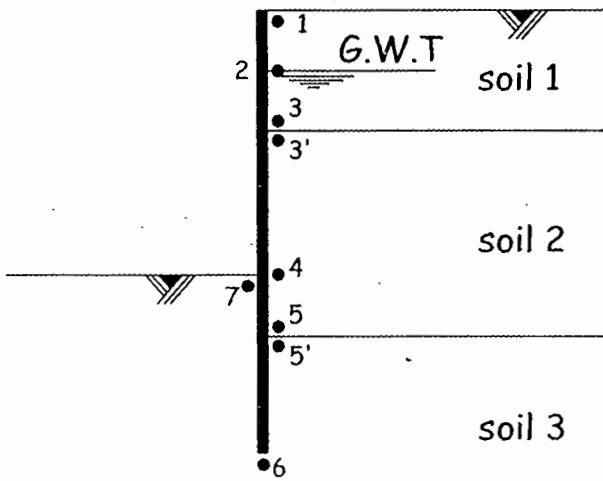
٢ - نقطة عند نهاية الحائط .

٣ - نقطة عند G.W.T .

٤ - نقطتين عند السطح الفاصل بين

الطبقات (نقطة قبل وبعد) .

٥ - نقطة عند ال Dredge line .

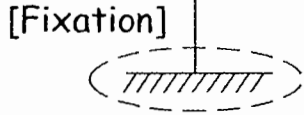


[1] Cantilever Insitu Wall:-

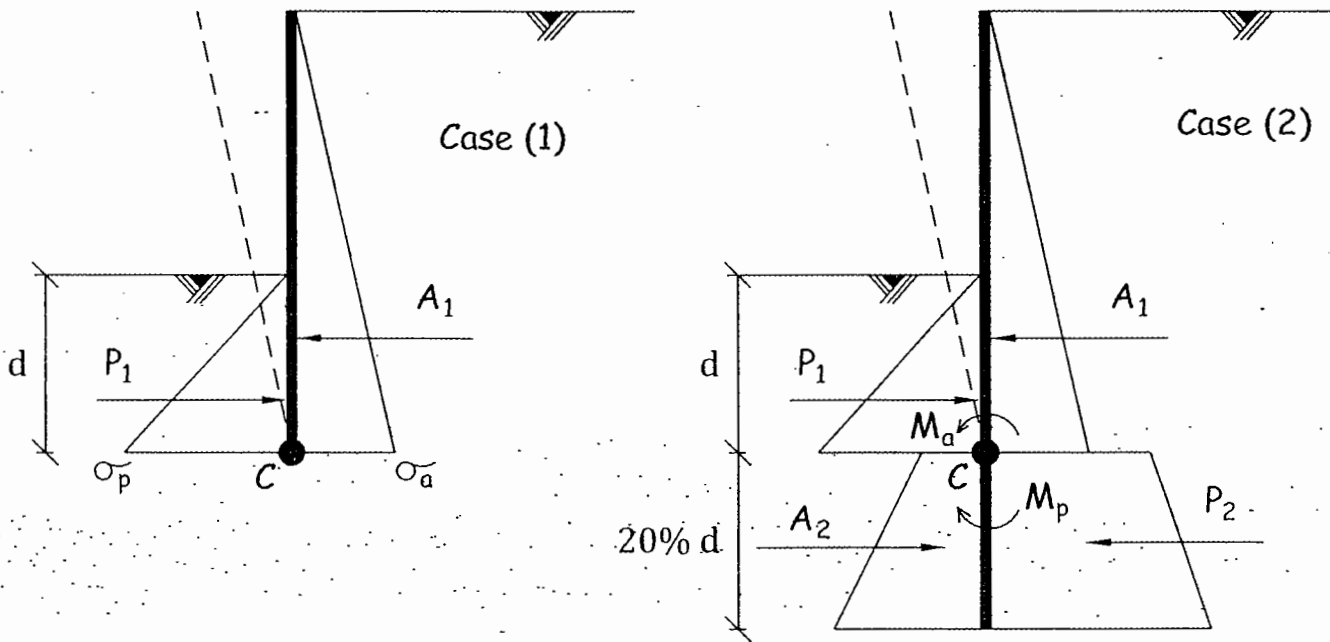
[$H < 5m$]

- ال cantilever هو عنصر انشائي احد اطرافه يكون حر الحركة تماما والطرف الاخر ممنوع من الحركة تماما [Fixation] خصوصا الدوران .

- ويمكن تحقيق هذا التثبيت فى الحوايط الرأسية Insitu wall من خلال توليد عزوم (عزم ازدواج) تساوى العزوم المتولدة على الحائط ولكن فى عكس الاتجاه .



كالاتى :-



Where :-

- C = Point of zero deformations
- d = Theoretical depth at point of zero deformations

نلاحظ الاتي :-

- Case (1) is unstable

حيث يتحرك الحائط للخارج بداية من آخر نقطة نظرية للحائط

Point (C) → Point of zero deformation

- Case (2)

بزيادة طول الحائط بمقدار (20% d) يستمر شكل الحركة للحائط وتصبح نقطة

Point of rotation هي وبالتالي نلاحظ تحول شكل ال E.P من active الى passive والعكس.

- لاحظ الان القوى المؤثرة على الحائط A_1, A_2, P_1, P_2

- وجد انه بزيادة طول الحائط (20% d) يتولد عزم كالاتي :-

M_a = couple of A_1, A_2 at point C

M_p = couple of P_1, P_2 at point C

$$M_a = M_p \quad \text{فيصبح}$$

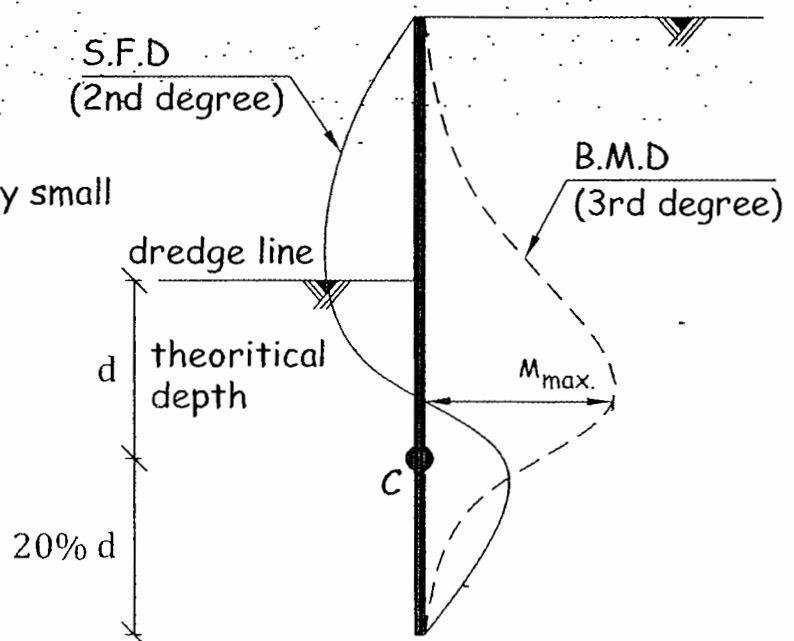
S.F.D & B.M.D on Cantilever wall:-

- 1 - At depth theoretical (d)

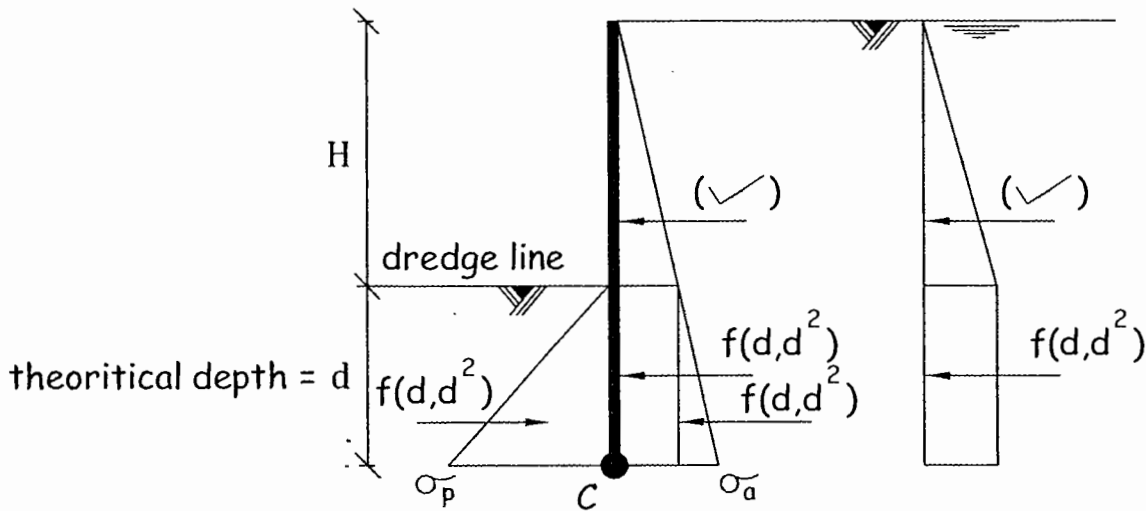
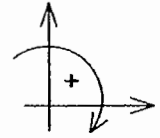
S.F.D \neq Zero

B.M.D \neq Zero but M_{max} is very small

- 2 - M_{max} at point of zero shear below Dredge line.



* Steps of Calculations:-



- 1 - Calculate σ_a , σ_p , W.P till the unknown depth ($d_{th.}$)
- 2 - Calculate the active, passive and water Forces.
- 3 - Calculate safe penetration depth (t):

From $\sum M @ C = 0$ "Approximation, where $M @ C$ is a very small value"

نكون معادلة من الدرجة الثالثة في (d)

$$(\quad) d^3 - (\quad) d^2 - (\quad) d - (\quad) = 0$$

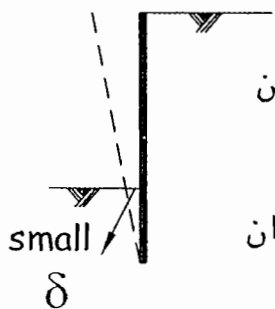
$$(d_{th.}) = \checkmark m$$

تحل المعادلة ونطلع

$$t = 1.20 * 1.20 * (d_{th.})$$

F.O.S for
Passive Resistance

F.O.S for
Fixation



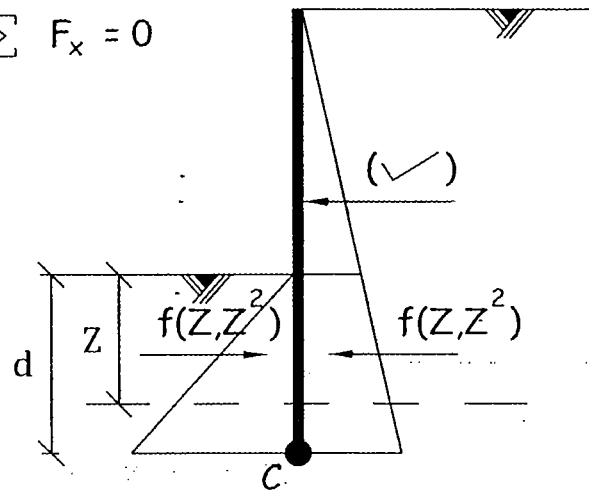
زيادة في العمق لانه ليس من
الضرورى تولد ال Passive
بكامل قيمته التي حسبناها لان
حركة الحائط داخل التربة
صغيرة .

زيادة في العمق لامكان
توليد القوة (P₂) Passive
لتكوين ال Couple
ومن ثم التثبيت .

4 - Calculations of Max. bending moment acting on wall " M_{max} ":-

- لا مكان تحديد M_{max} يجب اولا تحديد نقطة Point of zero shear .
- P.O.Z.S تكون دائما اسفل dredge line في حالة ال Cantilever wall .
- نفرضها على عمق (Z) من dredge line .

- assume at depth (Z) is P.O.Z.S or $\sum F_x = 0$



$$M_{max.} = \sum M @ Z = () Z^3 - () Z^2 - () Z - ()$$

نفس معادلة العزوم السابقة

ولكن في (Z) بدلا من (d)

$$\therefore \sum F_x @ Z = \frac{dM @ Z}{dZ} = () Z^2 - () Z - () \quad \text{معادلة من الدرجة الثانية}$$

ملاحظة :-

تفاضل معادلة العزم = معادلة ال Shear

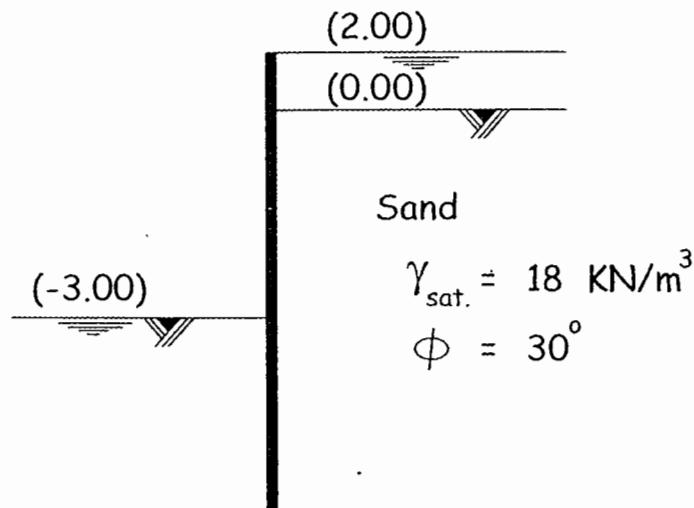
- Solve the equation & get Z

- Check $Z < d$

$$M_{max.} = \sum M @ Z = () Z^3 - () Z^2 - () Z - ()$$

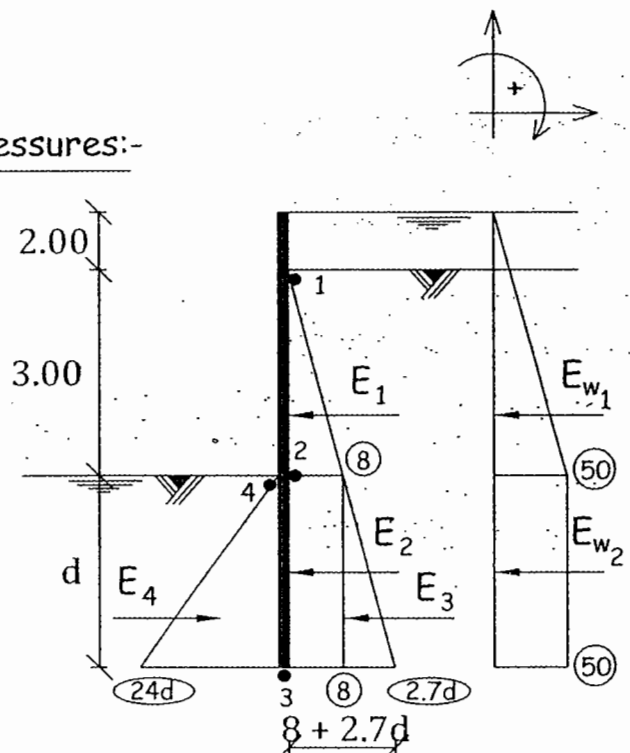
Example:-

Calculate the maximum bending moment and safe penetration depth for the shown cantilever sheet pile wall.

**Solution:-**

1 - Calculations of Earth and pore water pressures:-

$$\begin{aligned}\sigma_{a_1} &= 0 \\ \sigma_{a_2} &= 0 + \frac{1}{3} * \gamma_{\text{sub.}} * 8 * 3\text{m} = 8 \text{ Kpa} \\ \sigma_{a_3} &= 8 + \frac{1}{3} * 8 * d = 8 + 2.7 d \\ \sigma_{p_4} &= 0 \\ \sigma_{p_3} &= 0 + 3 * 8 * d = 24 d\end{aligned}$$



For sand $\phi = 30^\circ$

$$K_a = \frac{1 - \sin 30^\circ}{1 + \sin 30^\circ} = \frac{1}{3}$$

$$K_p = \frac{1}{K_a} = 3$$

2 - Calculations of Forces:-

$$E_{w_1} = \frac{1}{2} * 50 * 5 = 125 \text{ KN/m'}$$

$$E_{w_2} = 50 d$$

$$E_1 = \frac{1}{2} * 8 * 3 = 12 \text{ KN/m'}$$

$$E_2 = 8 d$$

$$E_3 = \frac{1}{2} * 2.7d * d = 1.35 d^2$$

$$E_4 = \frac{1}{2} * 24d * d = 12 d^2$$

3 - Calculations of penetration depth:-

assuming point (3) is point of rotation

$$\sum M @ 3 = 0$$

$$- E_{w_1} \left(\frac{5}{3} + d \right) - E_{w_2} \left(\frac{d}{2} \right) - E_1 \left(\frac{3}{3} + d \right) - E_2 \left(\frac{d}{2} \right) - E_3 \left(\frac{d}{3} \right) + E_4 \left(\frac{d}{3} \right) = 0$$

$$\therefore 3.55 d^3 - 29d^2 - 137 d - 220.33 = 0$$

$$\therefore d = 11.86 \text{ m} \quad \text{"Theoretical Depth"}$$

$$t = 1.20 * 1.20 * 11.86 = \boxed{17.0 \text{ m}}$$

4 - Calculations of M_{\max} :-

- assume P.O.Z.S is at depth (Z) from dredge line.

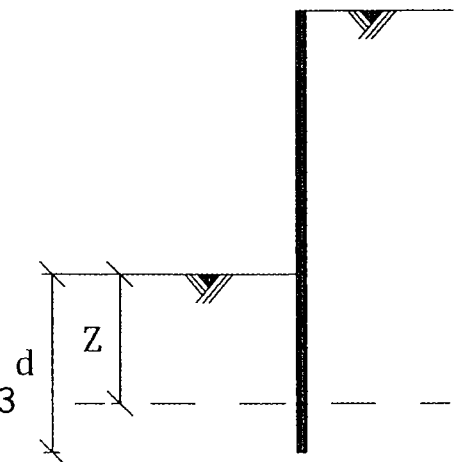
$$\therefore M_{\max} = 3.55 Z^3 - 29Z^2 - 137 Z - 220.33$$

$$\sum F_x @ Z = \frac{dM @ Z}{dZ} = 10.65 Z^2 - 58Z - 137 = 0$$

$$\therefore Z = 7.26 \text{ m} \quad " < d "$$

$$\therefore M_{\max} = 3.55 (7.26)^3 - 29(7.26)^2 - 137 (7.26) - 220.33$$

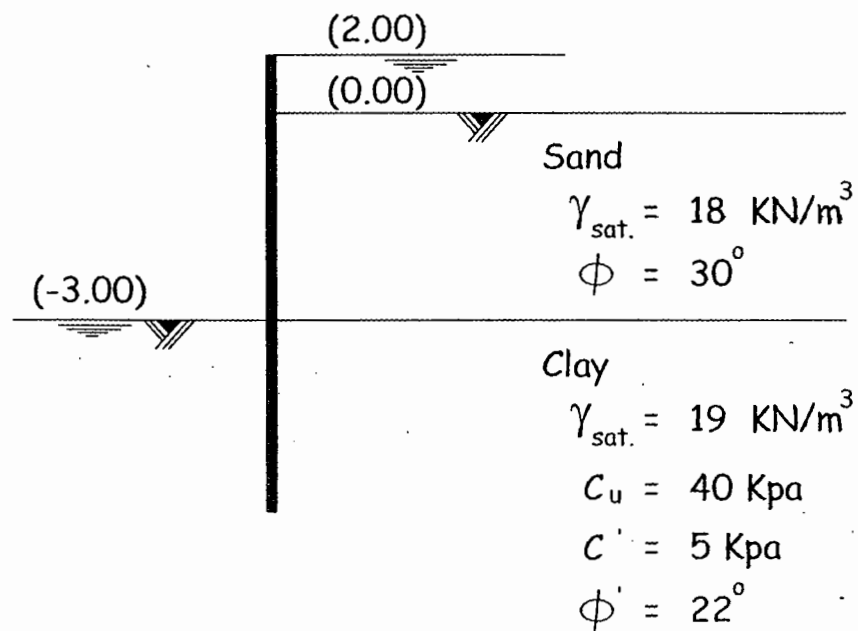
$$= \boxed{-1385 \text{ KN.m/m'}}$$

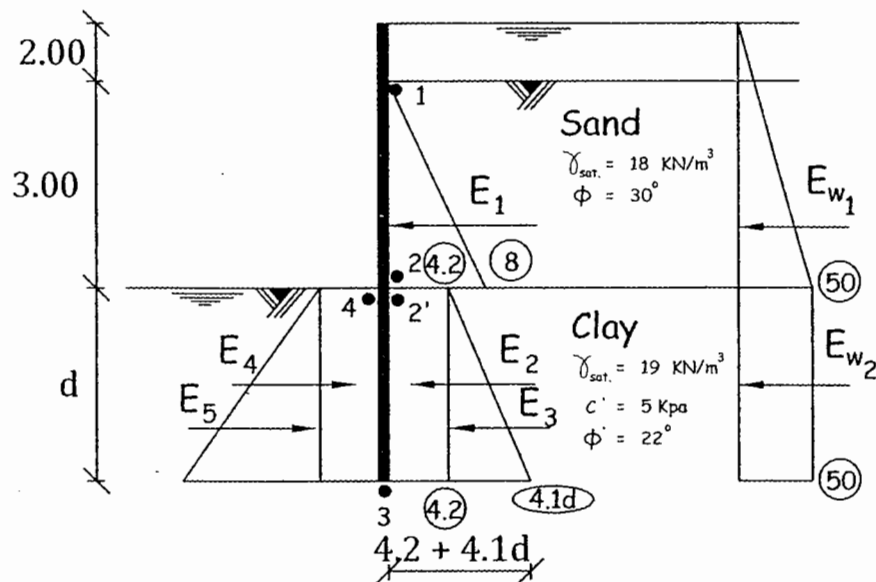


Example:-

For the shown Cantilever S.P.W :-

- 1- Calculate the safe penetration depth.
- 2- Estimate the Max. bending moment acting on the wall.
- 3- Design the section of the wall [$f_s = 1.40 \text{ t/cm}^2$]



Solution:-For sand $\phi = 30^\circ$

$$K_a = \frac{1 - \sin 30^\circ}{1 + \sin 30^\circ} = \frac{1}{3}$$

For Clay $\phi = 22^\circ$

$$K_a = \frac{1 - \sin 22^\circ}{1 + \sin 22^\circ} = 0.455$$

$$K_p = \frac{1}{K_a} = 2.19$$

1 - Calculations of Earth and pore water pressures:-

$$\begin{aligned} \text{Sand} \left[\begin{aligned} \sigma_{a1} &= 0 \\ \sigma_{a2} &= 0 + \frac{1}{3} \cdot \gamma_{sub} \cdot 8 \cdot 3\text{m} = 8 \text{ Kpa} \end{aligned} \right. \\ \text{Clay} \left[\begin{aligned} \sigma_{a2'} &= [3 \cdot 8] \cdot 0.455 - 2 \cdot 5 \cdot \sqrt{0.455} = 4.2 \text{ Kpa} \\ \sigma_{a3} &= 4.2 + 0.455 \cdot 9 \cdot d = 4.2 + 4.1d \\ \sigma_{p4} &= 0 + 2 \cdot 5 \cdot \sqrt{2.19} = 14.8 \text{ Kpa} \\ \sigma_{p3} &= 14.8 + 9 \cdot d \cdot 2.19 = 14.8 + 19.7d \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

2 - Calculations of Forces:-

$$E_{w_1} = \frac{1}{2} * 50 * 5 = 125 \text{ KN/m'}$$

$$E_{w_2} = 50 d$$

$$E_1 = \frac{1}{2} * 8 * 3 = 12 \text{ KN/m'}$$

$$E_2 = 4.2 d$$

$$E_3 = \frac{1}{2} * 4.1d * d = 2.05 d^2$$

$$E_4 = 14.8 d$$

$$E_5 = \frac{1}{2} * 19.7d * d = 9.85 d^2$$

3 - Calculations of penetration depth:-

assuming point (3) is point of rotation

$$\sum M @ 3 = 0$$

$$- E_{w_1} \left(\frac{5}{3} + d \right) - E_{w_2} \left(\frac{d}{2} \right) - E_1 \left(\frac{3}{3} + d \right) - E_2 \left(\frac{d}{2} \right) - E_3 \left(\frac{d}{3} \right) + E_4 \left(\frac{d}{2} \right) + E_5 \left(\frac{d}{3} \right) = 0$$

$$\therefore 2.6 d^3 - 19.7 d^2 - 137 d - 220.33 = 0$$

$$d = 12.4 \text{ m} \quad \text{"Theoretical Depth"}$$

$$t = 1.20 * 1.20 * 12.4 = 17.83 \text{ m} \approx \boxed{18 \text{ m}}$$

4 - Calculations of M_{\max} :-

- assume P.O.Z.S is at depth (Z) from dredge line.

$$\therefore M_{\max} = 2.6 Z^3 - 19.7 Z^2 - 137 Z - 220.33$$

$$\sum F_x @ Z = \frac{dM @ Z}{dZ} = 7.8 Z^2 - 39.4 Z - 137 = 0$$

$$\therefore Z = 7.42 \text{ m} \quad \text{"} < d \text{"}$$

$$\therefore M_{\max.} = 2.6 (7.42)^3 - 39.4(7.42)^2 - 137 (7.42) - 220.33$$

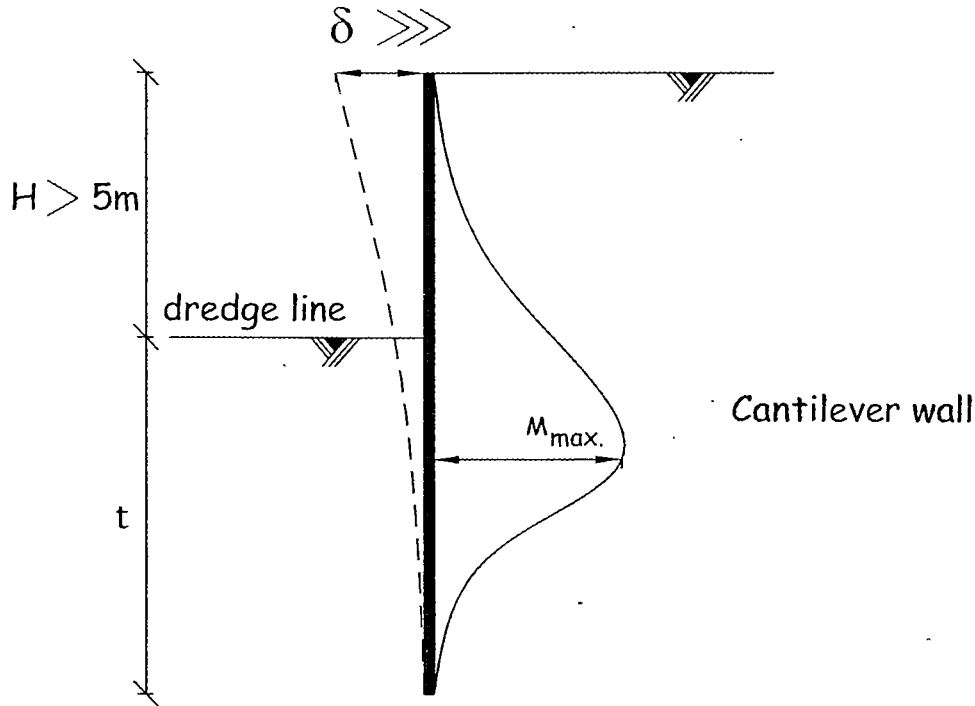
$$= \boxed{-1260 \text{ KN.m/m'}}$$

If it is required to design a section of the S.P.W:-

$$\text{get } Z = \text{section modulus} = \frac{M_{\max.}}{f_s}$$

$$= \frac{1260 * 10}{1.40} = 9000 \text{ cm}^3/\text{m'}$$

*** Anchored Walls:- [$H > 5m$] الحوائط الممسكومة فى نقطة

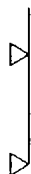


- عندما يكون عمق الخفر المطلوب كبير $H > 5m$ فانه يصعب استخدام نظام Cantilever لهذه النوعية من الحوائط وذلك للأسباب الآتية :-

- ① سيكون العزم المتولد على الحائط كبير جدا M_{max} وبالتالي سنحتاج لقطاع حائط كبير ومكلف كما سنحتاج لعمق اختراق (t) كبير جدا مما سيزيد من طول الحائط وبالتالي ستزيد التكلفة
- ② ستكون الحركة الجانبية δ كبيرة نسبيا للحائط والتي قد تؤدي الى حركة التربة المسنودة مما قد يؤثر على المنشآت المجاورة.

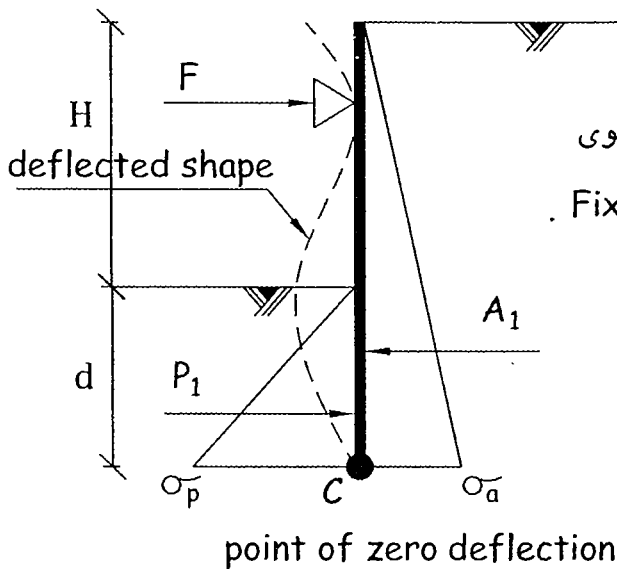
- لذا يتم تثبيت الحائط باحد طريقتين :-

- ① Anchored Free ② Anchored Fixed



[2] Anchored Free Wall:- [Free earth Support]

- في هذا النظام :-



- يكون الحائط ممسوك في نقطة في الجزء العلوي

بينما الجزء المدفون في الأرض لا تعمل Fixation .

- وبالتالي لاحظ ان الحائط في هذا النظام يكون stable and statically determinate .

- حيث تعمل قوة ال passive الموجودة في المنطقة المدفونة من الحائط داخل الارض

مع support العلوي ليحافظا على اتزان الحائط امام ضغط التربة ال active .

- قوة ال passive المطلوبة في هذا النظام تكون من شكل ضغط التربة σ_p الذي يتولد

حتى عمق (d) بحيث يكون عند هذا العمق deflection = zero .

S.F.D & B.M.D on Anchored free wall:-

1 - At point (c)

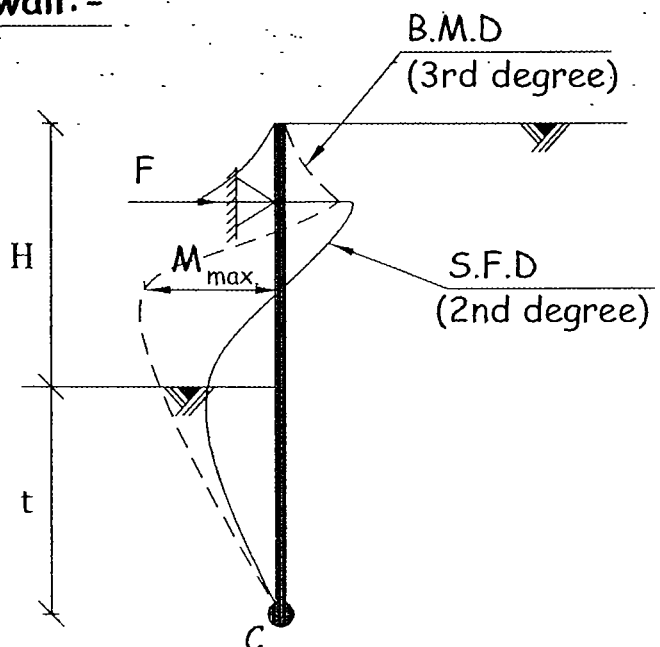
S.F.D = Zero

B.M.D = Zero

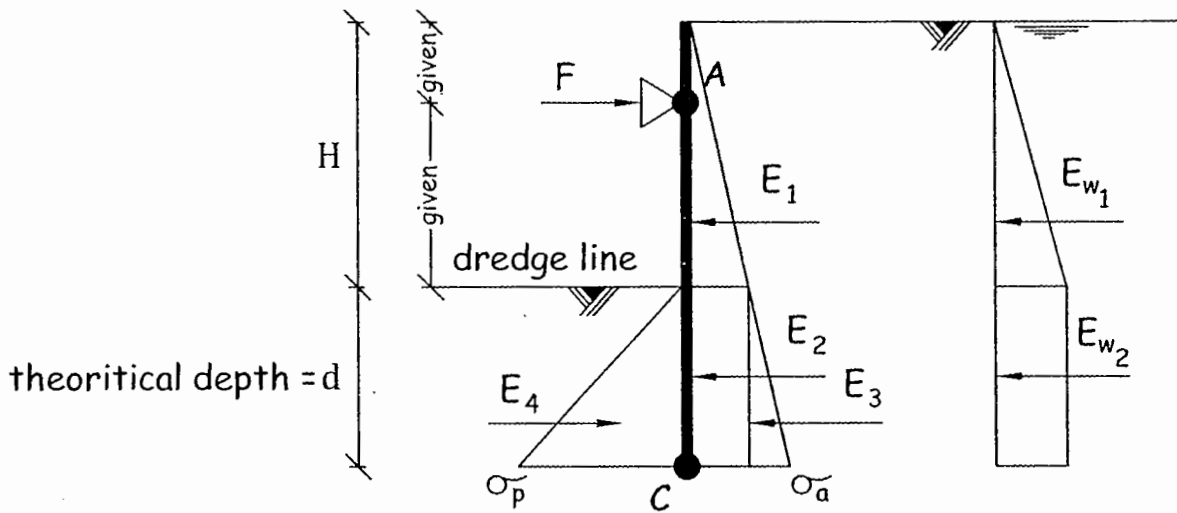
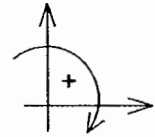
2 - M_{max} at point of zero shear which

may be exist under or above

the dredge line .



* Steps of Calculations:-



- 1 - Calculate σ_a , σ_p , W.P till the unknown depth ($d_{th.}$)
- 2 - Calculate the active, passive and water Forces.
- 3 - Calculate safe penetration depth (t):

From $\sum M @ A = 0$

نكون معادلة من الدرجة الثالثة في (d)

$$(\quad) d^3 - (\quad) d^2 - (\quad) d - (\quad) = 0$$

$$(d_{th.}) = \sqrt{\quad} \text{ m}$$

نحل المعادلة ونطلع

$$t = 1.20 * (d_{th.})$$

F.O.S for
Passive Resistance

- 4 - Take $\sum F_x = 0$ For all the wall until the end at (d)

$$\Rightarrow \text{get } F_A = \quad \text{KN/m' (load on waling beam)}$$

reaction

5 - Calculations of Max. bending moment acting on wall " M_{max} ":-

في هذا النظام قد تكون نقطة ال P.O.Z.S فوق او تحت قاع الحفر ولاكتشاف ذلك سريعا :-

$$\text{- Calculate } \sum \text{ active and water pressure Forces above dredge line} = \sum E_{a,w}$$

Example:- (From figure)

$$\sum E_{a,w} = E_1 + E_{w_1}$$

$$\text{if } \sum E_{a,w} > F_{A \text{ reaction}} \Rightarrow \therefore \text{P.O.Z.S is above dredge line}$$

$$\text{if } \sum E_{a,w} < F_{A \text{ reaction}} \Rightarrow \therefore \text{P.O.Z.S is under dredge line}$$

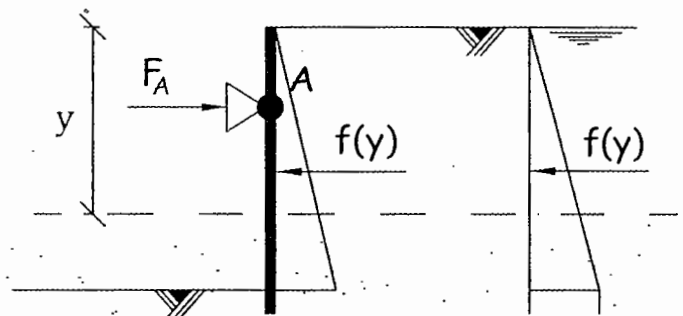
حيث نفرض ان P.O.Z.S على مسافة مثلا y اما فوق او تحت قاع الحفر كما سبق
ثم نحسب القوى حتى هذه المسافة :-

$$\sum F_x @ y = 0$$

وبالتالي نحصل على معادلة من الدرجة
الثانية في y

$$() y^2 - () y - () = 0$$

$$\Rightarrow \text{get } y$$

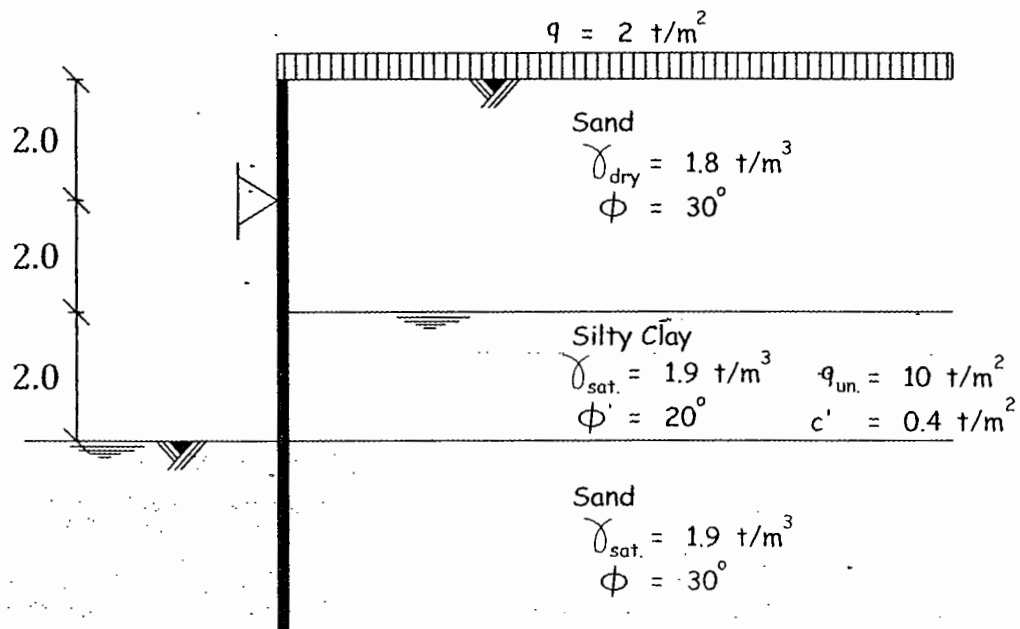


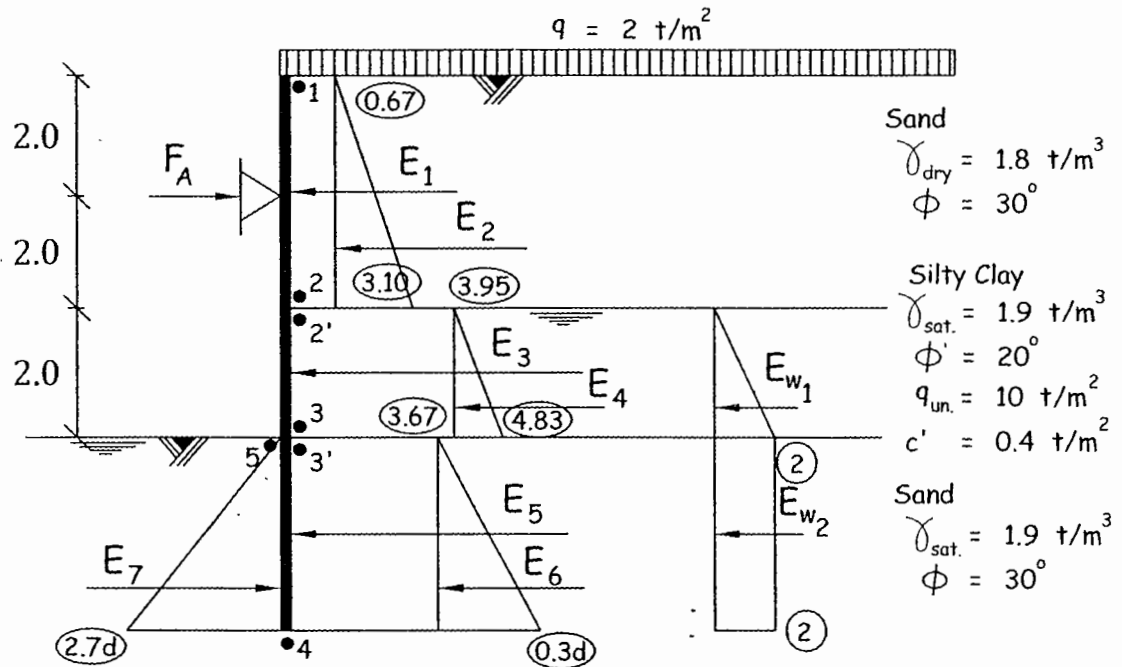
$$\therefore M_{max} = \sum M @ y = 0 = + \checkmark \text{ KN.m/m'}$$

Example:-

For the shown anchored free earth support steel sheet pile wall, it is required to :-

- Calculate the required embedment.
- Design the S.P.W section ($f_{all} = 1400 \text{ kg/cm}^2$)



Solution:-For sand $\phi = 30^\circ$

$$K_a = \frac{1 - \sin 30^\circ}{1 + \sin 30^\circ} = \frac{1}{3}$$

$$K_p = \frac{1}{K_a} = 3$$

For Clay $\phi = 20^\circ$

$$K_a = \frac{1 - \sin 20^\circ}{1 + \sin 20^\circ} = 0.49$$

1 - Calculations of Earth and pore water pressures:-

$$\text{Sand} \left[\begin{aligned} \sigma_{a_1} &= 2 * \frac{1}{3} = 0.67 \text{ t/m}^2 \\ \sigma_{a_2} &= 0.67 + \frac{1}{3} * 1.8 * 4\text{m} = 3.10 \text{ t/m}^2 \end{aligned} \right.$$

$$\text{Silty Caly} \left[\begin{aligned} \sigma_{a_2'} &= [2 + 4\text{m} * 1.8] * 0.49 - 2 * 0.4 * \sqrt{0.49} = 3.95 \text{ t/m}^2 \\ \sigma_{a_3} &= 3.95 + 0.49 * 0.9 * 2\text{m} = 4.83 \text{ t/m}^2 \end{aligned} \right.$$

$$\text{Sand} \left[\begin{aligned} \sigma_{a_3'} &= [2 + 4\text{m} * 1.8 + 2\text{m} * 0.9] * \frac{1}{3} = 3.67 \text{ t/m}^2 \\ \sigma_{a_4} &= 3.67 + \frac{1}{3} * 0.9 * d = 3.67 + 0.3d \\ \sigma_{p_4} &= 0 + 3 * 0.9 * d = 2.7d \\ \sigma_{p_5} &= 0 \end{aligned} \right.$$

2 - Calculations of Forces:-

$$E_{w_1} = \frac{1}{2} * 2 * 2 = 2 \text{ t/m'}$$

$$E_{w_2} = 2 d$$

$$E_1 = 0.67 * 4m = 2.68 \text{ t/m'}$$

$$E_2 = \frac{1}{2} * (3.1 - 0.67) * 4m = 4.86 \text{ t/m'}$$

$$E_3 = 3.95 * 2m = 7.9 \text{ t/m'}$$

$$E_4 = \frac{1}{2} * (4.83 - 3.95) * 2m = 0.88 \text{ t/m'}$$

$$E_5 = 3.67 d$$

$$E_6 = \frac{1}{2} * 0.3d * d = 0.15 d^2$$

$$E_7 = \frac{1}{2} * 2.7d * d = 1.35 d^2$$

3 - Calculations of penetration depth:-

assuming point (4) is point of zero deformation

$$\sum M @ A = 0$$

$$- E_{w_1} (3.33) - E_{w_2} \left(4 + \frac{d}{2} \right) - E_1 (\text{zero}) - E_2 (0.67) - E_3 (3) - E_4 (3.33)$$

$$- E_5 \left(4 + \frac{d}{2} \right) - E_6 \left(4 + \frac{2d}{3} \right) + E_7 \left(4 + \frac{2d}{3} \right) = 0$$

$$\therefore 0.8 d^3 + 4.8 d^2 - 22.68 d - 36.55 = 0$$

$$\therefore d = 3.98 \text{ m} \quad \text{"Theoretical Depth"}$$

$$t = 1.20 * 3.98 = \boxed{4.80 \text{ m}}$$

4 - Force in Support :-

$$\sum F_x = 0$$

$$\therefore E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6 - E_7 + E_{w_1} + E_{w_2} - F_A = 0$$

$$\therefore F_A = 2.68 + 4.86 + 7.9 + 0.88 + 3.67 * (3.98) + 0.15 * (3.98)^2 + 2 * (3.98) - 1.35 * (3.98)^2$$

$$F_A = \underline{\underline{21.9}} \text{ t/m'} \text{ load on waling beam}$$

5 - Calculations of M_{max} :-

$$\sum E_{a,w} = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_{w_1} = 18.32 \text{ t/m'} < F_A = \underline{\underline{21.9}}$$

\therefore P.O.Z.S is under the dredge line

assume P.O.Z.S is at depth Z under the D.line

$$\therefore \sigma_{a_z} = 3.67 + 0.3 Z$$

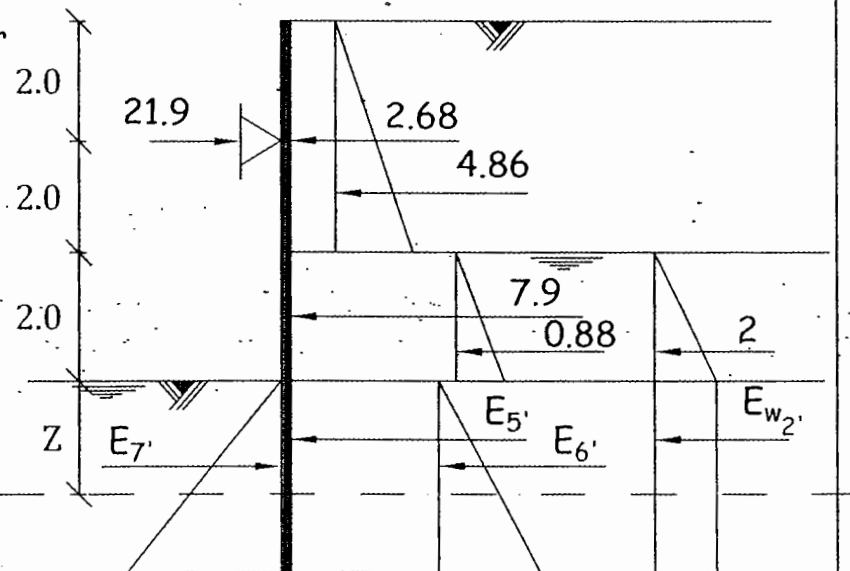
$$\therefore \sigma_{p_z} = 2.7 Z$$

$$E_{5'} = 3.67 Z$$

$$E_{6'} = \frac{1}{2} * 0.3Z * Z = 0.15 Z^2$$

$$E_{7'} = \frac{1}{2} * 2.7Z * Z = 1.35 Z^2$$

$$E_{w_2'} = 2 Z$$



$$\sum F_x @ Z = 0$$

$$\therefore -2.68 - 4.86 - 7.9 - 0.88 - 3.67 * Z - 0.15 * Z^2 - 2 * Z - 2 + 1.35 * Z^2 + 21.9 = 0$$

$$\therefore 1.2 Z^2 - 5.67Z + 3.58 = 0$$

$$\therefore Z = 0.75 \text{ m or } 3.98 \text{ m} \quad \text{من حل المعادلة}$$

$$Z < d \quad \text{اكيد لازم تكون}$$

$$\therefore Z = 0.75 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{\max.} = \sum M @ Z &= (21.9 - 2.68) * (4.75\text{m}) - 4.86 * 4.083\text{m} - 7.9 * 1.75\text{m} \\ &- (0.88 + 2) * 1.417\text{m} - \frac{0.75}{2} * (3.67 * 0.75 + 2 * 0.75) \\ &+ \frac{0.75}{3} * [-0.15 * (0.75)^2 + 1.35 (0.75)^2] \end{aligned}$$

$$M_{\max.} = 52.12 \text{ m.t/m'}$$

$$\text{The section modulus} = \frac{M_{\max.}}{f_{\text{all.}}} = \frac{52.12 * 100}{1.40} = \boxed{3723 \text{ cm}^3/\text{m'}}$$