

4th Year Civil - Public works Foundation Design

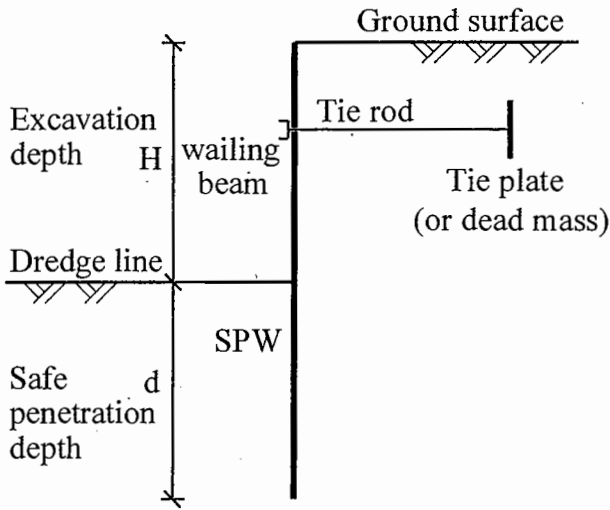
(12)

Supported deep excavation
(Sheet Pile Walls)

(2)

Anchored SPW

Design of Anchored SPW (for $H > 5.0$ m)

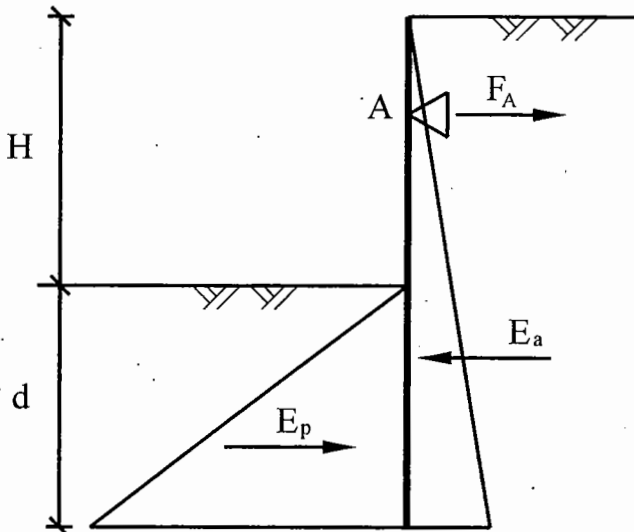


- عند زيادة عمق الحفر عن 5.00 m يصبح استخدام الـ **Cantilever SPW** غير ملائم نظراً لزيادة طول الـ **SPW** بصورة كبيرة وكذلك زيادة M_{max} مما يؤدي لزيادة قطاع الحائط كما أن قيمة الحركة الأفقية للحائط تكون كبيرة مما يؤدي لحدوث مشاكل للمباني المجاورة.

- للأسباب السابقة يتم استخدام **Anchors** لتثبيت الحائط مما يؤدي إلى تقليل الحركة الأفقية وكذلك التقليل من طول الـ **SPW** والعزوم المؤثرة عليه مما يؤدي لتقليل قطاع الـ **SPW**

- Statical system of anchored SPW:-

- تتوقف طريقة تصميم الـ **SPW** على الـ **statical system** حيث يمكن أن نعتبر أن عمق الدفن عبارة عن **hinged support** فيكون الـ **statical system** للـ **SPW** في هذه الحالة **anchored free SPW**. أو أن نعتبر أن عمق الدفن **fixed support** فيكون الـ **statical system** للـ **SPW** في هذه الحالة **anchored fixed SPW** ويتم تصميم الـ **SPW** في كل حالة كما يلي:-

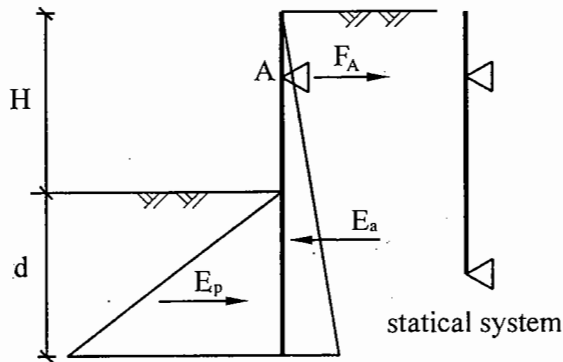


Anchored free SPW



Anchored fixed SPW

1- Design of anchored free SPW:-



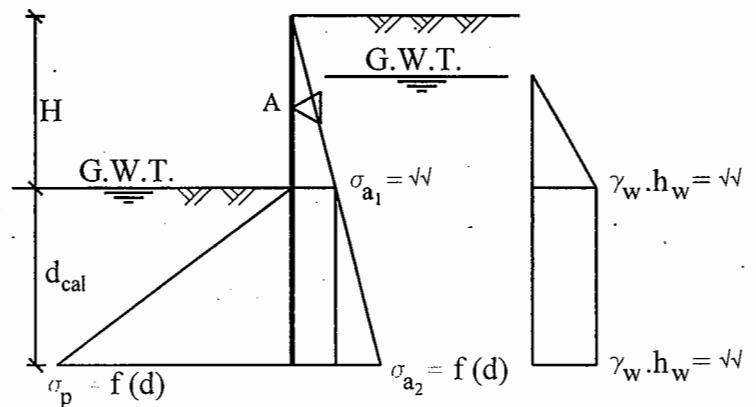
- ال static system لا SPW فى هذه الحالة عبارة عن simple beam لها كابولى من أعلى أى أننا نعتبر أن عمق الدفن فى التربة عبارة عن hinged support ويتم تصميم ال SPW فى هذه الحالة كما يلى:-

- Steps for design:-

1- Calculate stresses acting on SPW:-

- Calculate active earth pressure, passive earth pressure and water pressure as a function of d_{cal} .

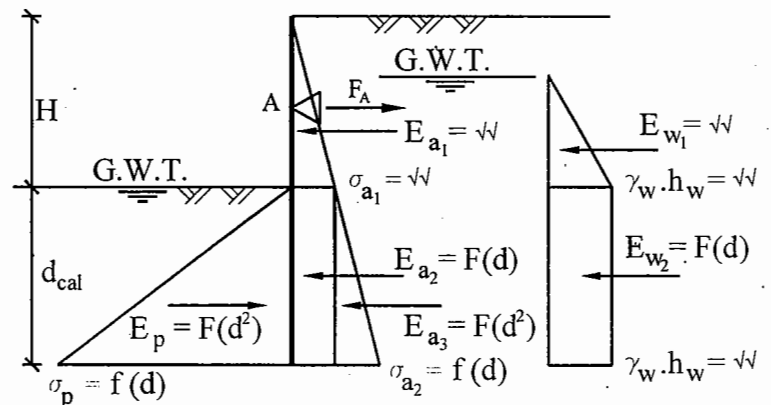
⇒ eq. in 1st degree in d_{cal}



2- Calculate forces acting on SPW:-

- Calculate the resultant forces of active earth pressure, passive earth pressure and water pressure as a function of d_{cal} .

⇒ eq. in 2nd degree in d_{cal}



3- Calculate the safe penetration depth (d_{safe}):-

$$\sum M_A = 0$$

⇒ eq. in 3rd degree in d_{cal}

$$\Rightarrow d_{th} = \sqrt{\quad} \Rightarrow d_{safe} = 1.2 d_{cal}$$

4- Calculate F_A :-

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_A = \sqrt{\quad}$$

4- Calculate the maximum B.M. on the SPW:-

في هذه الحالة يمكن أن يكون مكان الـ **Point of zero shear** فوق الـ **Dredge line** أو
تحت الـ **Dredge line** نقوم بحساب $\sum P_a$ فوق الـ **Dredge line** حيث:-

i- If $\sum P_a > F_A \Rightarrow$ Point of zero shear is above dredge line.

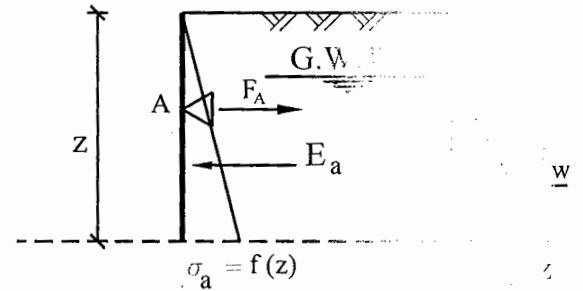
ii- If $\sum P_a < F_A \Rightarrow$ Point of zero shear is below dredge line.

i- If point of zero shear is above dredge line:-

- Calculate active earth pressure and water pressure as a function of z .

\Rightarrow eq. in 1st degree in z

- Calculate the resultant forces of active earth pressure and water pressure as a function of z .



\Rightarrow eq. in 2nd degree in z

$$- \sum F_x = 0 \Rightarrow F_A - E_a - E_w = 0$$

$$\Rightarrow z = \sqrt{\quad}$$

$$\Rightarrow M_{\max} = M_z$$

ii- If point of zero shear is below dredge line:-

- At point of zero shear at depth z from dredge line

$$- \sum F_x = 0 \Rightarrow \text{eq. in 2nd degree in } z$$

$$\Rightarrow z = \sqrt{\quad} \Rightarrow M_{\max} = M_z$$

- Example 1:-

- For the shown anchored free earth support tangent pile wall:
 - Determine the safe penetration depth.
 - Determine the force in the tie rod if the spacing between anchors is 2.5 m.

- Solution:-

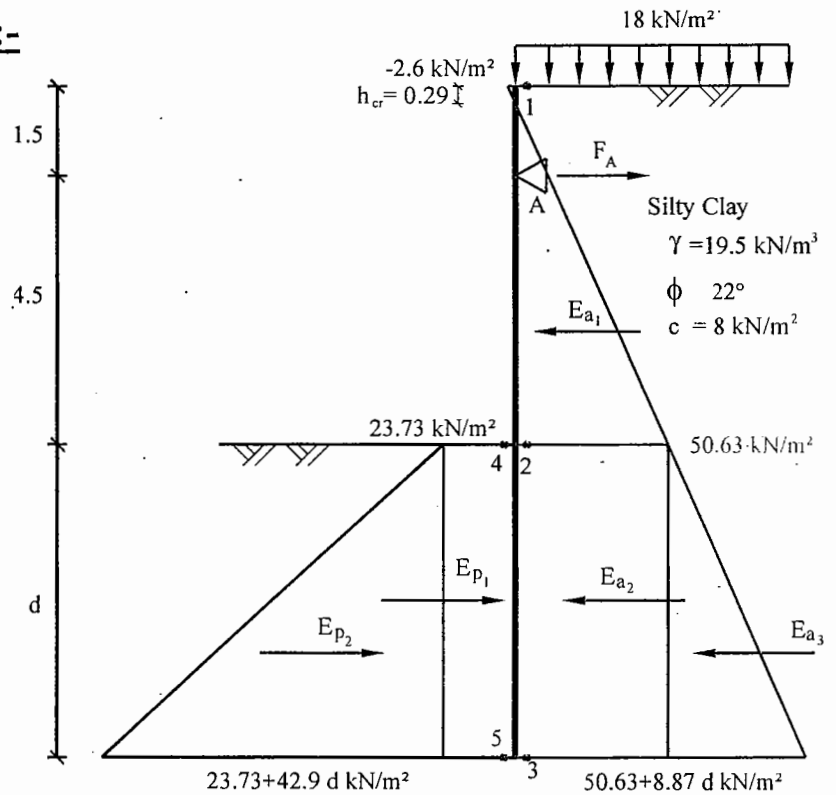
1- Stresses acting on SPW:-

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

$$- K_p = \frac{1 + \sin 22^\circ}{1 - \sin 22^\circ} = 2.2$$

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

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



Point	K_a / K_p	c (kPa)	σ_v (kPa)	σ_a / σ_p (kPa)
1	0.455	8	18	-2.6
2	0.455	8	$18 + 6 \times 19.5 = 135$	50.63
3	0.455	8	$135 + 19.5 d$	$50.63 + 8.87 d$
4	2.2	8	0	23.73
5	2.2	8	$19.5 d$	$23.73 + 42.9 d$

- At $h = h_{cr}$ $\sigma_a = 0$

$$\Rightarrow \sigma_a = 0.455(18 + h_{cr} \times 19.5) - 2 \times 8 \times \sqrt{0.455} = 0$$

$$\Rightarrow h_{cr} = 0.29 \text{ m}$$

2- Forces and $\Sigma M_{@A}$:-

Force	Value (kN)	Arm (m)	B.M. @A (kN.m)
E_{a1}	$0.5 \times 50.63 \times 5.71 = 144.55$	2.6	375.8
E_{a2}	$50.63 d$	$4.5 + d/2$	$227.84 d + 25.32 d^2$
E_{a3}	$0.5 \times d \times 8.87 d = 4.44 d^2$	$4.5 + 2d/3$	$19.98 d^2 + 2.96 d^3$
E_{p1}	$-23.73 d$	$4.5 + d/2$	$-106.79 d - 11.87 d^2$
E_{p2}	$0.5 \times d \times 42.9 d = -21.45 d^2$	$4.5 + 2d/3$	$-96.53 d^2 - 14.3 d^3$
Σ	$144.55 + 26.9 d - 17.01 d^2$		$375.8 + 121.05 d - 63.1 d^2 - 11.34 d^3$

3- Safe penetration depth of SPW:-

$$-\Sigma M_{@O} = -11.34 d^3 - 63.1 d^2 + 121.05 d + 375.8 = 0$$

$$\Rightarrow d_{cal} = 2.74 \text{ m}$$

$$\Rightarrow d_{safe} = 1.2 d_{cal} = 1.2 \times 2.74 = 3.29 \text{ m}$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Rightarrow E_{a1} + E_{a2} + E_{a3} - E_{p1} - E_{p2} - F_A = 0$$

$$\Rightarrow F_A = 144.55 + 26.9 (2.74) - 17.01 (2.74)^2 = 90.55 \text{ kN/m}^1$$

$$-\text{Force in Tie rod} = F_A \times S = 90.55 \times 2.5 = 226.4 \text{ kN}$$

4- Maximum B.M. on the SPW:-

$$\Sigma P_{a(\text{above dredge line})} = 144.55 \text{ kN/m}^1 > F_A = 90.55 \text{ kN/m}^1$$

\Rightarrow Point of zero shear is above dredge line

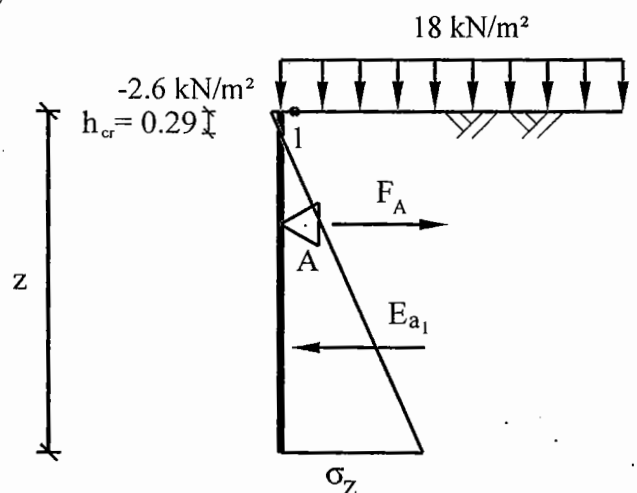
- At point of zero shear :-

$$-\sigma_{az} = 0.455(18 + 19.5 z) - 2 \times 8 \times \sqrt{0.455}$$

$$\Rightarrow \sigma_{az} = -2.6 + 8.87 z$$

$$-E_{a1} = \frac{1}{2} \times (-2.6 + 8.87 z) \times (z - 0.29)$$

$$= 4.44 z^2 - 2.59 z + 0.38 \text{ kN/m}^1$$



$$\sum F_x = 0$$

$$\Rightarrow E_{a_1} - F_A = 0$$

$$\Rightarrow 4.44 z^2 - 2.59 z + 0.38 - 90.55 = 0$$

$$\Rightarrow 4.44 z^2 - 2.59 z - 90.17 = 0$$

$$\Rightarrow z = 4.81 \text{ m}$$

$$-M_{\max} = F_A \times (z - 1.5) - E_{a_1} \times \frac{z - 0.29}{3}$$

$$\Rightarrow M_{\max} = 90.55 \times 3.31 - 90.55 \times 1.51 = 163 \text{ kN.m/m}$$

- Example 2:-

- For the shown anchored free earth support tangent pile wall:
 - Determine the safe penetration depth.
 - Calculate the maximum bending moment on each pile if it is 60 cm in diameter and spaced with 75 cm center to center.

- Solution:-

Note:-

-يتم حساب الـ L.E.P. باستخدام خواص

Drained condition التربة في الـ

.More critical لأنها (c', φ')

1- Stresses acting on SPW:-

$$-K_a = \frac{1 - \sin 19^\circ}{1 + \sin 19^\circ} = 0.51$$

$$-K_p = \frac{1 + \sin 19^\circ}{1 - \sin 19^\circ} = 1.97$$

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

$$\sigma_{a_1} = (0) \times \frac{1}{3} - 2(1.5)\sqrt{0.51} = -2.14 \text{ t/m}^2$$

$$- \sigma_{a_2} = -2.14 + (1.75 \times 2) \times 0.51 = -0.36 \text{ t/m}^2$$

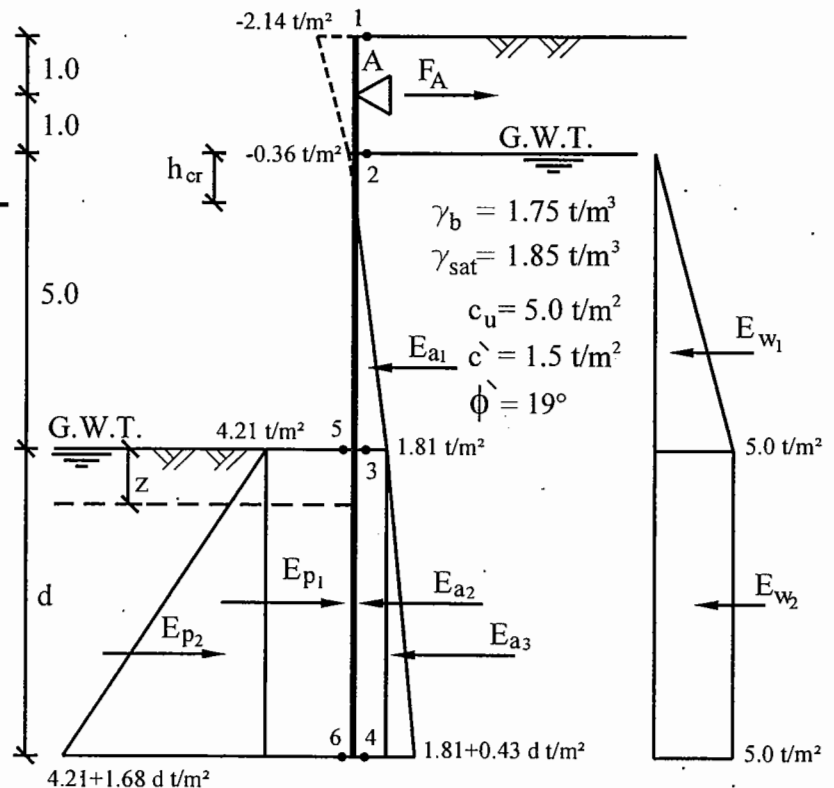
$$- \sigma_{a_3} = -0.36 + (0.85 \times 5) \times 0.51 = 1.81 \text{ t/m}^2$$

$$-\sigma_{a_4} = 1.81 + (0.85 \times d) \times 0.51 = 1.81 + 0.43 \text{ d t/m}^2$$

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

$$- \sigma_{p_s} = (0) \times 1.97 + 2(1.5)\sqrt{1.97} = 4.21 \text{ t/m}^2$$

$$- \sigma_{p_6} = 4.21 + (0.85 \times d) \times 1.97 = 4.21 + 1.68 \text{ d t/m}^2$$



2- Forces acting on SPW:-

$$\text{- at } h = h_{cr} \Rightarrow \sigma_a = 0$$

$$\text{- } \sigma_a = (1.75 \times 2 + 0.85 h_{cr}) \times 0.51 - 2.14 = 0 \Rightarrow h_{cr} = 0.89 \text{ m}$$

$$\text{- } E_{a_1} = 0.5 \times 1.81 \times (5 - 0.89) = 3.72 \text{ t/m}^1$$

$$\text{- } E_{a_2} = 1.81 \times d = 1.81 \text{ d t/m}^1$$

$$\text{- } E_{a_3} = 0.5 \times 0.43d \times d = 0.215 \text{ d}^2 \text{ t/m}^1$$

$$\text{- } E_{w_1} = 0.5 \times 5 \times 5 = 12.5 \text{ t/m}^1$$

$$\text{- } E_{w_2} = 5 \times d = 5 \text{ d t/m}^1$$

$$\text{- } E_{p_1} = 4.21 \text{ d}$$

$$\text{- } E_{p_2} = 0.5 \times 1.68 \text{ d} \times d = 0.84 \text{ d}^2 \text{ t/m}^1$$

3- Safe penetration depth of SPW:-

$$\text{- } \sum M_A = 0$$

$$\Rightarrow E_{a_1} \times (1.89 + \frac{2(5-0.89)}{3}) + E_{a_2} \times (6 + \frac{d}{2}) + E_{a_3} \times (6 + \frac{2d}{3}) + E_{w_1} \times (3.33 + \frac{d}{2}) + E_{w_2} \times (6 + \frac{d}{2}) - E_{p_1} \times (6 + \frac{d}{2}) - E_{p_2} \times (6 + \frac{2d}{3}) = 0$$

$$3.72 \times 4.63 + 1.81 \text{ d} \times (6 + \frac{d}{2}) + 0.22 \text{ d}^2 \times (6 + \frac{2d}{3}) + 12.5 \times 3.33$$

$$+ 5 \text{ d} \times (6 + \frac{d}{2}) - 4.21 \text{ d} \times (6 + \frac{d}{2}) - 0.84 \text{ d}^2 \times (6 + \frac{2d}{3}) = 0$$

$$\Rightarrow -0.41 \text{ d}^3 - 2.42 \text{ d}^2 + 15.6 \text{ d} + 58.85 = 0$$

$$\Rightarrow d_{th} = 5.53 \text{ m} \Rightarrow d_{safe} = 1.2 d_{th} = 1.2 \times 5.53 = 6.64 \text{ m}$$

$$\text{- } \sum F_x = 0$$

$$\Rightarrow E_{a_1} + E_{a_2} + E_{a_3} + E_{w_1} + E_{w_2} - E_{p_1} - E_{p_2} - F_A = 0$$

$$\Rightarrow F_A = 3.72 + 1.81(5.53) + 0.22(5.53)^2 + 12.5 + 5(5.53) - 4.51(5.53) - 0.84(5.53)^2$$

$$\Rightarrow F_A = 11.64 \text{ t/m}^1$$

4- Maximum B.M. on the SPW:-

$$\sum P_{a(\text{above dredge line})} = 3.72 + 12.5 = 16.22 \text{ t/m}^1 > F_A$$

⇒ Point of zero shear is above dredge line

- At point of zero shear :-

$$\begin{aligned} - \sigma_{a_z} &= (1.75 \times 2 + 0.85 z) \times 0.51 - 2.14 \\ &= 0.43 z - 1.25 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$- \sigma_{w_z} = 1.0 \times z = z \text{ t/m}^2$$

$$- E_{a_z} = 0.5 \times (0.43 z - 1.25) \times (z - 0.89) = 0.22 z^2 - 0.82 z + 1.11 \text{ t/m}^1$$

$$- E_{w_z} = 0.5 \times z \times z = 0.5 z^2 \text{ t/m}^1$$

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow E_{a_z} + E_{w_z} - F_A = 0$$

$$\Rightarrow 0.22 z^2 - 0.82 z + 1.11 + 0.5 z^2 - 11.64 = 0$$

$$\Rightarrow 0.72 z^2 - 0.82 z - 12.75 = 0$$

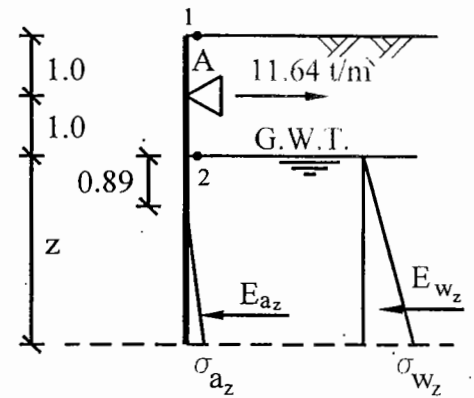
$$\Rightarrow z = 4.82 \text{ m}$$

$$\Rightarrow M_{\max} = F_A \times (z+1) - E_{a_z} \times \frac{2}{3} \times (z - 0.89) - E_{w_z} \times \frac{2}{3} \times z$$

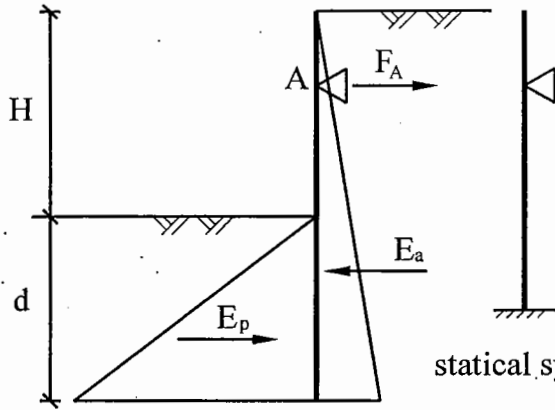
$$\Rightarrow M_{\max} = 11.64 \times 5.82 - 2.27 \times \frac{2}{3} \times 3.93 - 11.62 \times \frac{2}{3} \times 4.82$$

$$\Rightarrow M_{\max} = 24.46 \text{ m.t/m}^1$$

$$\Rightarrow M_{\max/\text{pile}} = M_{\max} \times S = 24.46 \times 0.75 = 18.35 \text{ m.t / pile}$$



2-Design of anchored fixed SPW

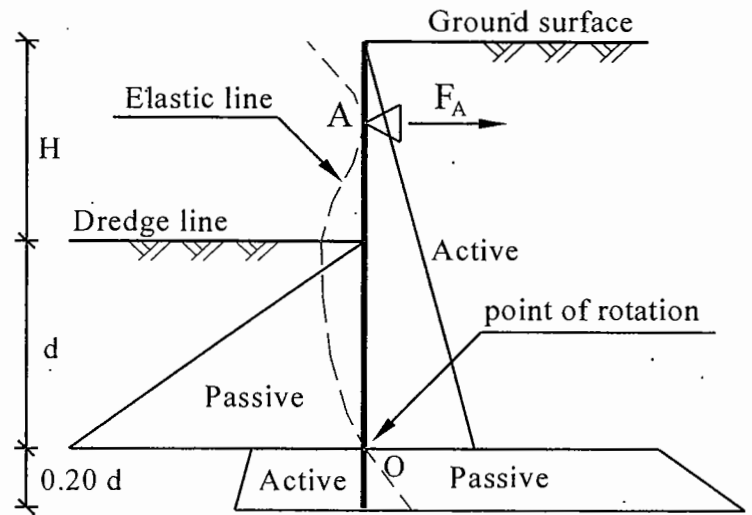
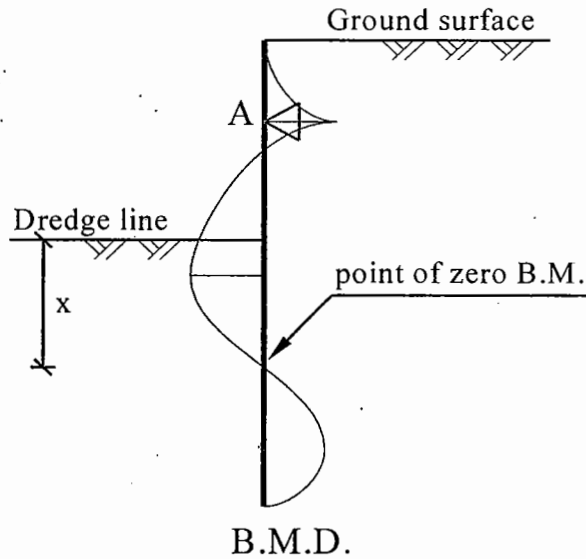


- ال static system لل SPW في هذه الحالة
عبارة عن كمره لها 2 supports وهما:-

١- نقطة التثبيت بواسطة ال Anchor وهو
عبارة عن hinged support.

٢- عمق الدفن في التربة ونعتبره في هذه
الحالة عبارة عن Fixed support.

- مما سبق يتضح أن ال static system لل SPW في هذه الحالة عبارة عن
Statically indetermined structure وبالتالي لا يمكن حله إلا عن
طريق توفير معلومة إضافية.



- من شكل ال B.M.D. نلاحظ أن ال B.M. عند نقطة B يساوى صفر وبالتالي نستطيع أن
نفرض وجود Intermediate Hinge عند نقطة B على عمق x من قاع الحفر بحيث:-

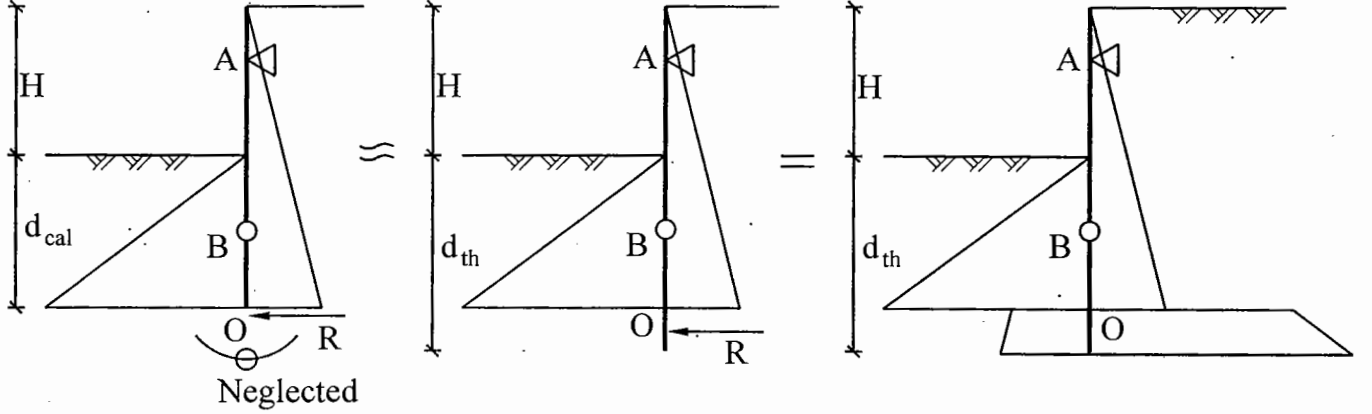
١- يمكن أن تكون المسافة x معطاه في المسألة given.

٢- يمكن تعيين المسافة x بإستخدام الجدول التالي (table is given).

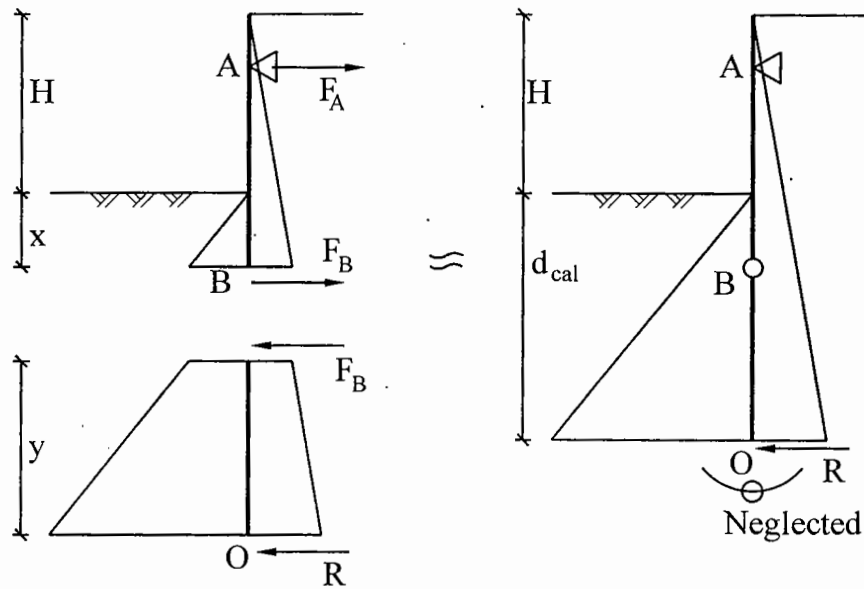
ϕ	20	25	30	35	40
x/H	0.25	0.15	0.08	0.03	0.006

٣- فى حالة عدم وجود أى معلومات فى المسألة نفرض أن $(x = 0.1 H)$.

- نظراً لصعوبة حل الـ **statical system** السابق بطريقة دقيقة فإننا نقوم بالإسعاضة عن الجزء الموجود أسفل نقطة **O** بقوة **R** تؤثر عند النقطة **O** مع إهمال العزم الناتج عن القوة **R** نظراً لصغر قيمته (تماماً كما فى حالة الـ **Cantilever SPW**).



- لحل الـ **statical system** السابق نقوم بفصل الـ **SPW** عند نقطة **B** ثم نقوم بحل جزئى الحائط أعلى وأسفل النقطة **B** وذلك كما يلى:-



- Steps for design:-

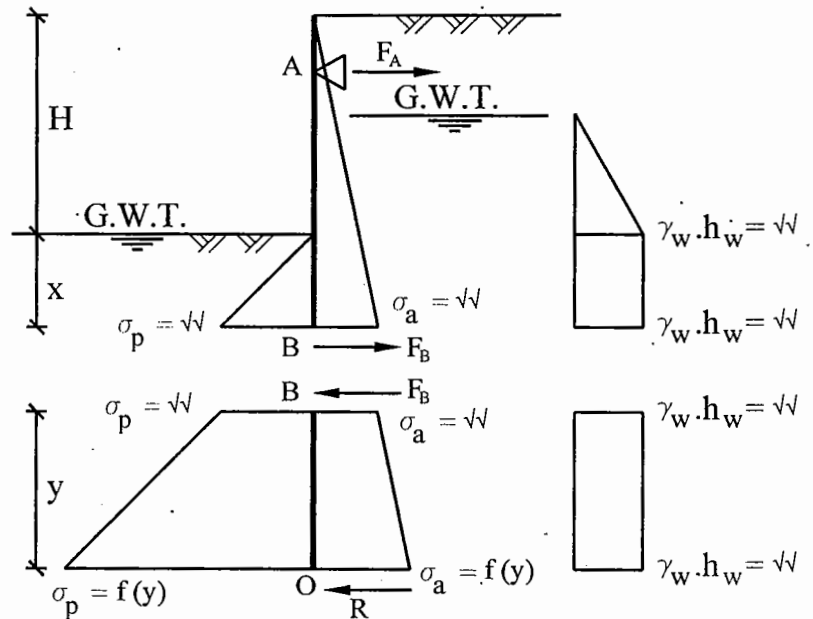
1- Assume the location of point of zero B.M.:-

- Assume $x = \sqrt{\quad}$ (given or from given table or $x = 0.1 H$)

2- Calculate stresses acting on SPW:-

- Calculate active earth pressure, passive earth pressure and water pressure as a function of y .

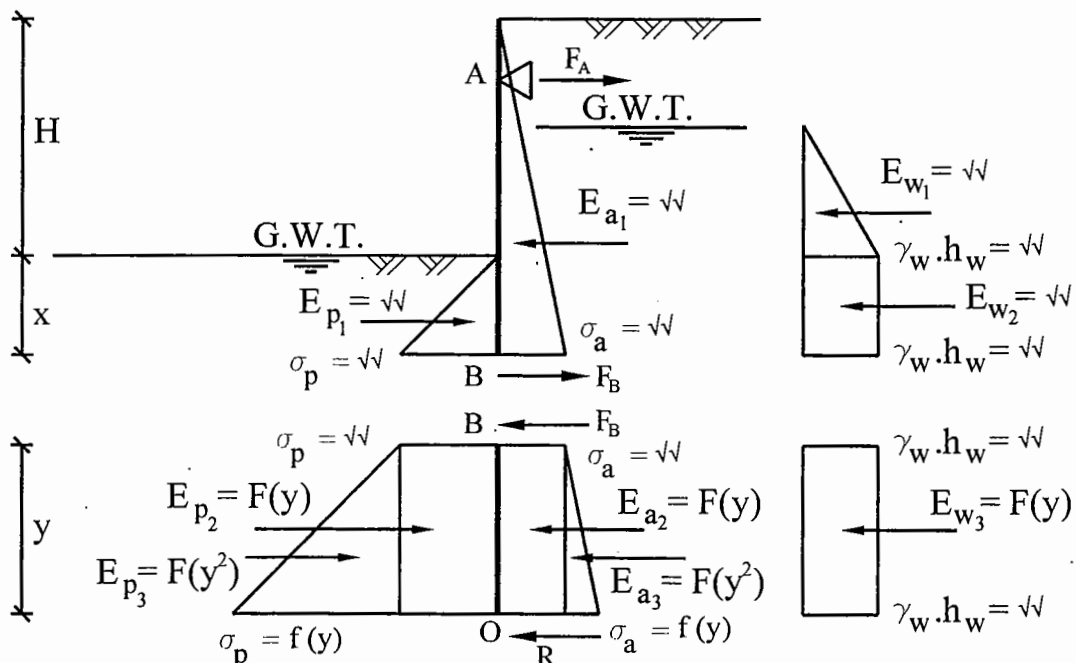
\Rightarrow eq. in 1st degree in y



2- Calculate forces acting on SPW:-

- Calculate the resultant forces of active earth pressure, passive earth pressure and water pressure as a function of y .

\Rightarrow eq. in 2nd degree in y



3- Calculate F_A and F_B :-

$$\sum M_B = 0 \quad (\text{For the upper part}) \quad \Rightarrow F_A = \sqrt{\quad}$$

$$\sum F_x = 0 \quad (\text{For the upper part}) \quad \Rightarrow F_B = \sqrt{\quad}$$

4- Calculate the safe penetration depth (d_{safe}):-

$$\sum M_o = 0 \quad (\text{For the lower part})$$

$$\Rightarrow \text{eq. in } 3^{\text{rd}} \text{ degree in } y \quad (\text{Find } y \text{ by trial \& error})$$

$$\Rightarrow y = \sqrt{\quad}$$

$$\Rightarrow d_{cal} = x + y = \sqrt{\quad}$$

$$\Rightarrow d_{th} = 1.2 d_{cal}$$

$$\Rightarrow d_{safe} = 1.2 d_{th} = 1.44 d_{cal}$$

5- Calculate the maximum B.M. on the SPW:-

- فى حالة الـ Anchored fixed SPW يوجد 2 Points of zero shear
إحداهما تقع فى الجزء العلوى (above point B) والأخرى تقع فى الجزء
السفلى (below point B) ويتم تعيين مكان كل Point of zero shear كما
يلى:-

1- For the upper part:-

- يمكن أن يكون مكان الـ Point of zero shear فوق الـ Dredge line أو
تحتة ولمعرفة ذلك نقوم بحساب $\sum P_a$ فوق الـ Dredge line حيث:-

$$\text{i- If } \sum P_{a(\text{above dredge line})} > F_A \Rightarrow \text{Point of zero shear is above dredge line.}$$

$$\text{ii- If } \sum P_{a(\text{above dredge line})} < F_A \Rightarrow \text{Point of zero shear is below dredge line.}$$

i- If point of zero shear is above dredge line:-

- Calculate active earth pressure and water pressure as a function of z_1 .

\Rightarrow eq. in 1st degree in z_1

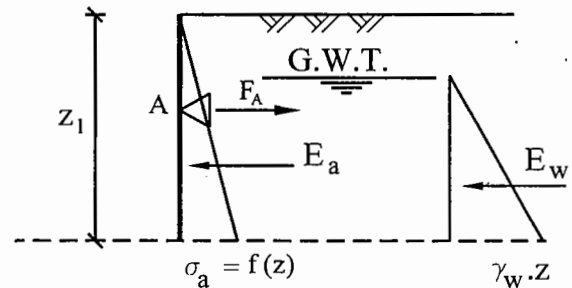
- Calculate the resultant forces of active earth pressure and water pressure as a function of z_1 .

\Rightarrow eq. in 2nd degree in z_1

$$- \sum F_x = 0$$

$$\Rightarrow z_1 = \sqrt{\quad}$$

$$\Rightarrow M_{\max} = M_{z_1}$$



ii- If point of zero shear is below dredge line:-

- Calculate active earth pressure, passive earth pressure and water pressure as a function of z_1 .

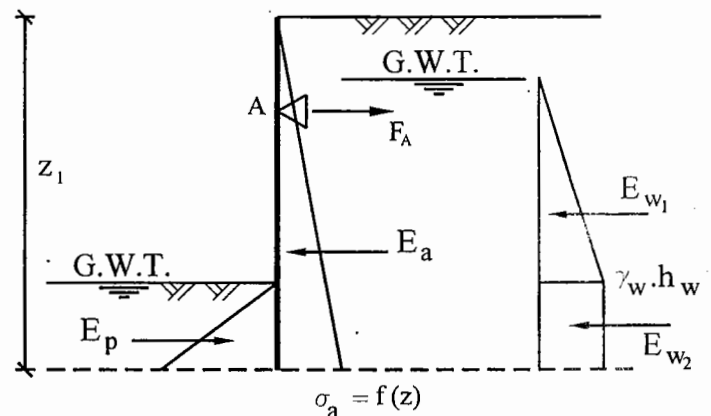
\Rightarrow eq. in 1st degree in z_1

- Calculate the resultant forces of active earth pressure, passive earth pressure and water pressure as a function of z_1 .

\Rightarrow eq. in 2nd degree in z_1

$$- \sum F_x = 0 \Rightarrow z_1 = \sqrt{\quad}$$

$$\Rightarrow M_{\max} = M_{z_1}$$



2- For the lower part:-

- At point of zero shear at depth z_2 from dredge line

$$- \sum F_x = 0 \Rightarrow z_2 = \sqrt{\quad}$$

\Rightarrow eq. in 2nd degree in z_2

$$\Rightarrow z_2 = \sqrt{\quad} \Rightarrow M_{\max_2} = M_{z_2}$$

- Example 3:-

- For the shown anchored fixed earth support tangent pile wall, where a point of zero moment can be assumed at depth of 0.75 m below the excavation level:

- Determine the safe penetration depth.
- Calculate the maximum bending moment on each pile if it is 60 cm in diameter and spaced with 75 cm centre to centre.

- Solution:-

Note:-

يتم حساب الـ L.E.P. باستخدام خواص

التربة فى الـ Drained condition

.More critical لأنها (c', ϕ')

1- Stresses acting on SPW:-

$$- x = 0.75 \text{ m}$$

$$- K_a = \frac{1 - \sin 19^\circ}{1 + \sin 19^\circ} = 0.51$$

$$- K_p = \frac{1 + \sin 19^\circ}{1 - \sin 19^\circ} = 1.97$$

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

$$- \sigma_{a1} = (0) \times \frac{1}{3} - 2(1.5) \sqrt{0.51} = -2.14 \text{ t/m}^2$$

$$- \sigma_{a2} = -2.14 + (1.75 \times 2) \times 0.51 = -0.36 \text{ t/m}^2$$

$$- \sigma_{a3} = -0.36 + (0.85 \times 5) \times 0.51 = 1.81 \text{ t/m}^2$$

$$- \sigma_{a4} = -0.36 + (0.85 \times 5.75) \times 0.51 = 2.13 \text{ t/m}^2$$

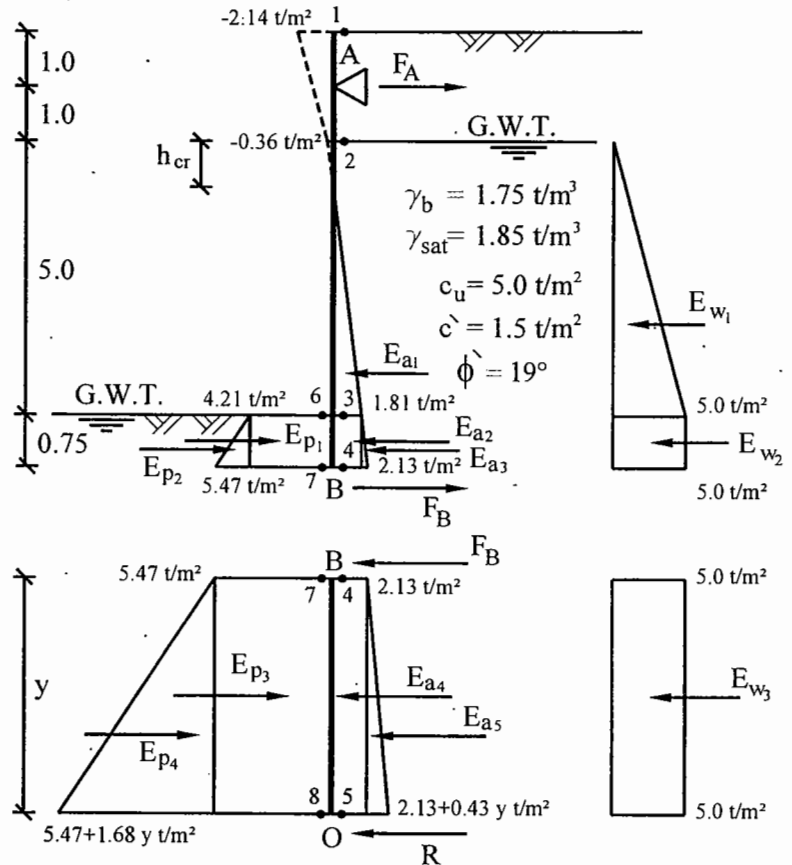
$$- \sigma_{a5} = 2.13 + (0.85 \times y) \times 0.51 = 2.13 + 0.43 y \text{ t/m}^2$$

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

$$- \sigma_{p6} = (0) \times 1.97 + 2(1.5) \sqrt{1.97} = 4.21 \text{ t/m}^2$$

$$- \sigma_{p7} = 4.21 + (0.75 \times 0.85) \times 1.97 = 5.47 \text{ t/m}^2$$

$$- \sigma_{p8} = 5.47 + (0.85 \times y) \times 1.97 = 5.47 + 1.68 y \text{ t/m}^2$$



2- Forces acting on SPW:-

- at $h = h_{cr} \Rightarrow \sigma_a = 0$
- $\sigma_a = (1.75 \times 2 + 0.85h_{cr}) \times 0.51 - 2.14 = 0 \Rightarrow h_{cr} = 0.89 \text{ m}$
- $E_{a1} = 0.5 \times 1.81 \times (5 - 0.89) = 3.72 \text{ t/m}^1$
- $E_{a2} = 1.81 \times 0.75 = 1.36 \text{ t/m}^1$
- $E_{a3} = 0.5 \times (2.13 - 1.81) \times 0.75 = 0.12 \text{ t/m}^1$
- $E_{a4} = 2.13 \times y = 2.13 \text{ y t/m}^1$
- $E_{a5} = 0.5 \times 0.43y \times y = 0.215 \text{ y}^2 \text{ t/m}^1$
- $E_{w1} = 0.5 \times 5 \times 5 = 12.5 \text{ t/m}^1$
- $E_{w2} = 5 \times 0.75 = 3.75 \text{ t/m}^1$
- $E_{w3} = 5 \times y = 5 \text{ y t/m}^1$
- $E_{p1} = 4.21 \times 0.75 = 3.16 \text{ t/m}^1$
- $E_{p2} = 0.5 \times (5.47 - 4.21) \times 0.75 = 0.47 \text{ t/m}^1$
- $E_{p3} = 5.47 \times y = 5.47 \text{ y t/m}^1$
- $E_{p4} = 0.5 \times 1.68 \text{ y} \times y = 0.84 \text{ y}^2 \text{ t/m}^1$

3- F_A and F_B :-

$$\sum M_B = 0 \quad (\text{For the upper part})$$

$$\Rightarrow 3.72 \times (0.75 + \frac{5}{3}) + 1.36 \times (\frac{0.75}{2}) + 0.12 \times (\frac{0.75}{3}) + 12.5 \times (0.75 + \frac{5}{3}) \\ + 3.75 \times (\frac{0.75}{2}) - 3.16 \times (\frac{0.75}{2}) - 0.47 \times (\frac{0.75}{3}) - F_A \times (6.75) = 0$$

$$\Rightarrow F_A = 5.9 \text{ t/m}^1$$

$$\sum F_x = 0 \quad (\text{For the upper part})$$

$$\Rightarrow 3.72 + 1.36 + 0.12 + 12.5 + 3.75 - 3.16 - 0.47 - 5.9 - F_B = 0$$

$$\Rightarrow F_B = 11.92 \text{ t/m}^1$$

4- Safe penetration depth of SPW:-

$$\sum M_o = 0 \quad (\text{For the lower part})$$

$$\Rightarrow F_B \times y + E_{a_2} \times \left(\frac{y}{2}\right) + E_{a_3} \times \left(\frac{y}{3}\right) + E_{w_3} \times \left(\frac{y}{2}\right) - E_{p_3} \times \left(\frac{y}{2}\right) - E_{p_4} \times \left(\frac{y}{3}\right) = 0$$

$$11.92 y + 2.13 y \left(\frac{y}{2}\right) + 0.215 y^2 \cdot \left(\frac{y}{3}\right) + 5 y \cdot \left(\frac{y}{2}\right) - 5.47 y \cdot \left(\frac{y}{2}\right) - 0.84 y^2 \cdot \left(\frac{y}{3}\right) = 0$$

$$\Rightarrow -0.21 y^3 + 0.83 y^2 + 11.92 y = 0 \quad \Rightarrow y = 9.77 \text{ m}$$

$$\Rightarrow d_{\text{cal}} = x + y = 0.75 + 9.77 = 10.52 \text{ m}$$

$$\Rightarrow d_{\text{safe}} = 1.2 d_{\text{th}} = 1.2 (1.2 d_{\text{cal}}) = 1.44 \times 10.52 = 15.15 \text{ m}$$

5- Maximum B.M. on the SPW:-

1- For the upper part:-

$$\sum P_{a(\text{above dredge line})} = 3.72 + 12.5 = 16.22 \text{ t/m}^1 > F_A$$

\Rightarrow Point of zero shear is above dredge line

- At point of zero shear :-

$$- \sigma_{a_z} = (1.75 \times 2 + 0.85 z) \times 0.51 - 2.14 = 0.43 z - 1.25 \text{ t/m}^2$$

$$- \sigma_{w_z} = 1.0 \times z = z \text{ t/m}^2$$

$$- E_{a_z} = 0.5 \times (0.43 z - 1.25) \times (z - 0.89) = 0.22 z^2 - 0.82 z + 1.11 \text{ t/m}^1$$

$$- E_{w_z} = 0.5 \times z \times z = 0.5 z^2 \text{ t/m}^1$$

$$\sum F_x = 0 \quad \Rightarrow E_{a_z} + E_{w_z} - F_A = 0$$

$$\Rightarrow 0.22 z^2 - 0.82 z + 1.11 + 0.5 z^2 - 5.9 = 0$$

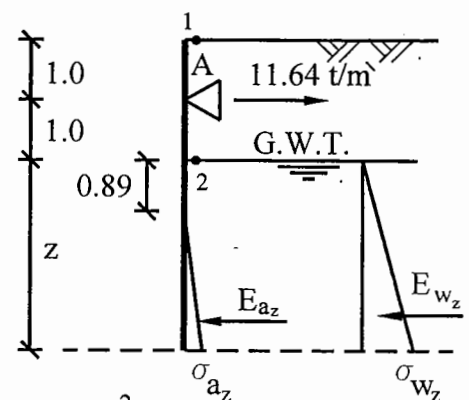
$$\Rightarrow 0.72 z^2 - 0.82 z - 4.79 = 0$$

$$\Rightarrow z = 3.21 \text{ m}$$

$$\Rightarrow M_{\text{max}_1} = -F_A \times (z + 1) + E_{a_z} \times \frac{2}{3} \times (z - 0.89) + E_{w_z} \times \frac{2}{3} \times z$$

$$\Rightarrow M_{\text{max}_1} = -5.9 \times 5.82 + 2.27 \times \frac{2}{3} \times 3.93 + 11.62 \times \frac{2}{3} \times 4.82$$

$$\Rightarrow M_{\text{max}_1} = 8.95 \text{ m.t/m}^1$$



2- For the lower part:-

- At point of zero shear at depth z_2 from dredge line

$$- \sum F_x = 0$$

$$\Rightarrow E_{a_4} + E_{a_5} + E_{w_3} + F_B - E_{P_3} - E_{P_4} = 0$$

$$\Rightarrow 2.13 z + 0.215 z^2 + 5 z + 11.92 - 5.47 z - 0.84 z^2 = 0$$

$$\Rightarrow -0.625 z^2 + 1.66 z + 11.92 = 0 \quad \Rightarrow z_2 = 5.86 \text{ m}$$

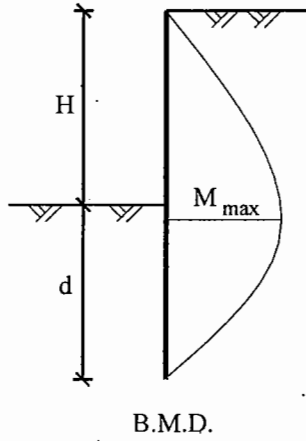
$$\Rightarrow M_{\max_2} = -0.21 (5.86)^3 + 0.83 (5.86)^2 + 11.92 (5.86)$$

$$\Rightarrow M_{\max_2} = 56.1 \text{ m.t/m}^{\wedge}$$

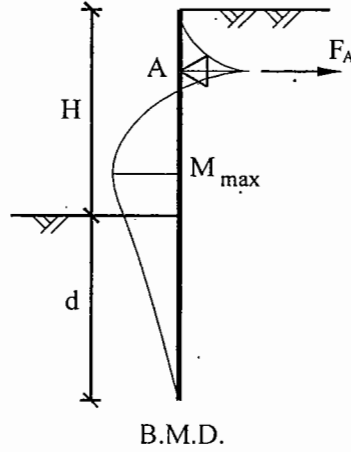
$$\Rightarrow M_{\max/\text{pile}} = M_{\max_2} \times S = 56.1 \times 0.75 = 42.1 \text{ m.t/pile}$$

- Compare between different systems of SPW:-

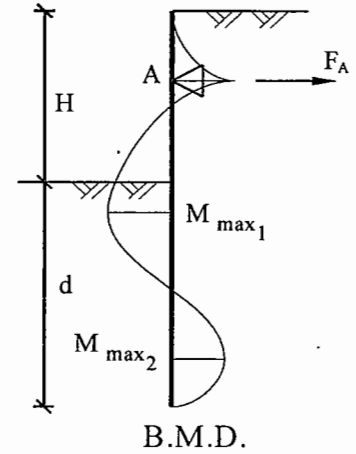
1- Cantilever SPW



2- Anchored free SPW



2- Anchored fixed SPW



$$1- d_1 > d_3 > d_2$$

$$2- M_1 > M_2 > M_3$$

$$2- F_{A_2} > F_{A_3}$$

- ملاحظات هامة:-

١- الناحية الإقتصادية هي الفيصل النهائي للاختيار بين الأنواع المختلفة.

٢- قد تفرض علينا ظروف الموقع وطبيعة الأرض اختيار نوع معين.

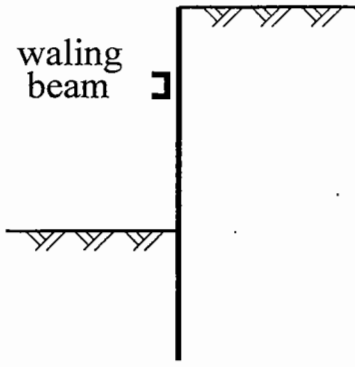
- فمثلاً في حالة وجود طبقة صخر تمنع الدفن لأكثر من عمق معين نستخدم

.Anchored free SPW

- وفي حالة التربة الضعيفة نجد أننا نحتاج لعمق دفن كبير حتى يحدث fixation

وفي هذه الحالة تصبح العزوم كبيرة جداً فيكون حل الـ Anchored fixed غير اقتصادي.

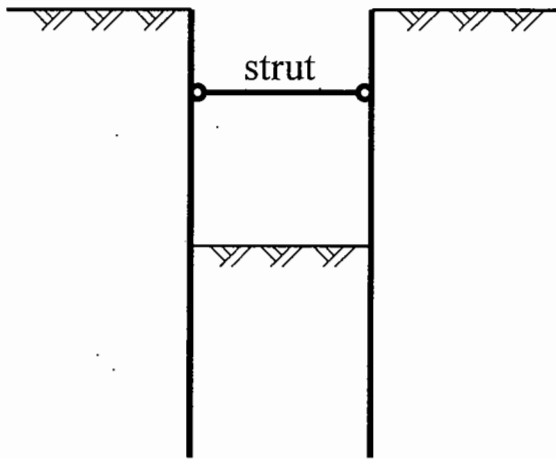
- Anchorage system of SPW:-



- يتكون الـ Anchorage system من Wailing beam وهي عبارة عن كمرة من الخشب أو الخرسانة المسلحة أو الحديد وهذه الكمرة مستمرة مع الـ SPW ويتم تثبيت هذه الكمرة بعدة طرق منها:-

1- Struts:- (compression members)

- وفيه يتم تثبيت الـ Wailing beam من الداخل باستخدام عناصر تتحمل ضغط.



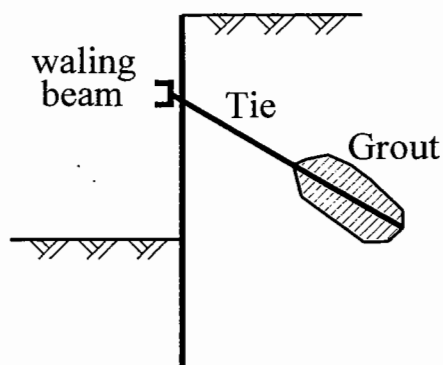
- مميزاته:-

- ١- سهولة وسرعة التنفيذ.
- ٢- تكلفته منخفضة.
- ٣- يمكن إعادة استخدامه.
- ٤- يستخدم في قطاعات الحفر الطويلة مثل تنفيذ شبكات المياه والصرف الصحي.

- عيوبه:-

- ١- يصعب تنفيذه في قطاعات الحفر الكبيرة.
- ٢- يعوق التنفيذ في الموقع.
- ٣- يحتاج لقطاع كبير ليتحمل الـ Buckling.

2- Tie back:- (tension members)



- وفيه يتم تثبيت الـ **Waling beam** من الخارج عن طريق ماسورة أو سيخ حديد بقطر كبير (Tie) داخل التربة مع عمل حقن للتربة **grout** لتكوين كتلة من الخرسانة حول الـ **Tie** تتحمل الشد عن طريق الاحتكاك بين الخرسانة والتربة.

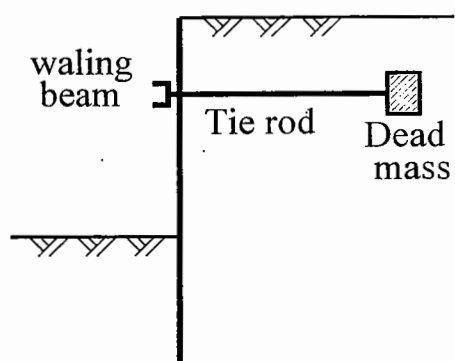
- مميزاته:-

- ١- لا يعيق التنفيذ في الموقع.
- ٢- لا يحتاج لحفر المنطقة المجاورة للموقع.
- ٣- يمكن استخدامه في حالة وجود منشآت مجاورة.

- عيوبه:-

- ١- تكلفة مرتفعة ويحتاج لوقت كبير للتنفيذ.
- ٢- يتسبب في إجهادات وحركة للتربة أثناء التنفيذ.
- ٣- يجب النزول لعمق كبير لتجنب أساسات المنشآت المجاورة.
- ٤- لا يمكن استخدامه كمنشأ دائم نظراً لأن تأثير الحقن يقل مع الزمن.

3- Tie rod and dead mass:- (tension members)



- وفيه يتم تثبيت الـ **Waling beam** من الخارج عن طريق الحفر بجانب الـ **SPW** ثم وضع ماسورة أو سيخ حديد بقطر كبير (**Tie rod**) ويتم تثبيته داخل التربة باستخدام الـ **Dead mass** وهو عبارة عن كتلة من الخرسانة حيث يقاوم الشد في هذه الحالة عن طريق الـ **Passive E.P.**

- مميزاته:-

١- لا يعيق التنفيذ في الموقع.

٢- تكلفته بسيطة مقارنة بالـ **Tie back**.

٣- يمكن استخدامة كمنشأ دائم.

٤- يستخدم عادة في أرصفة الموانئ.

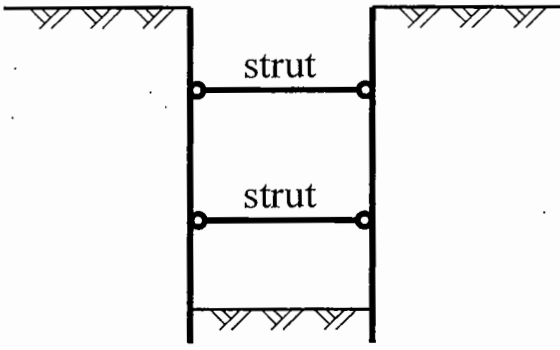
٥- سهولة الصيانة.

- عيوبه:-

١- يحتاج لحفر المنطقة المجاورة للموقع.

٣- لا يمكن استخدامه في حالة وجود منشآت مجاورة.

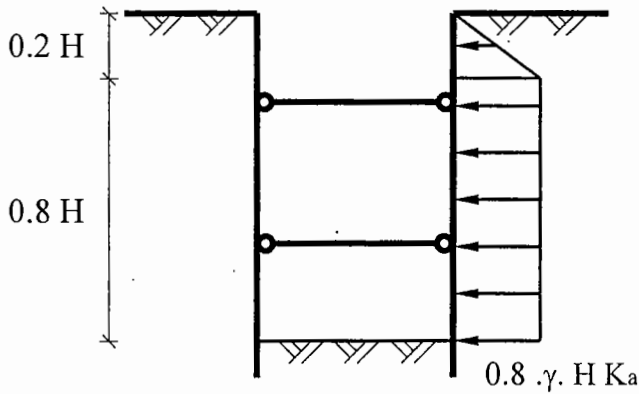
Braced Excavation (Multi-Anchored system)



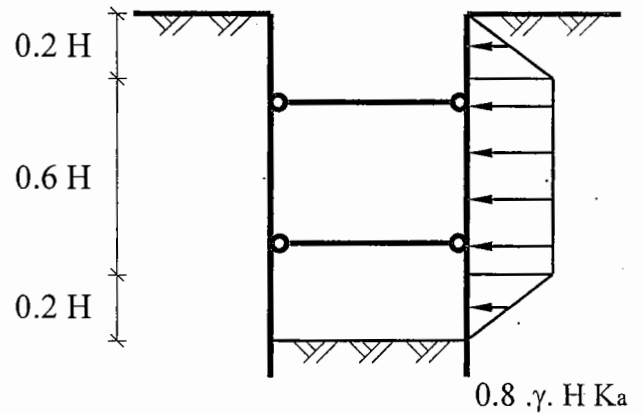
- فى حالة زيادة عمق الحفر بقيمة كبيرة نحتاج إلى تثبيت الـ SPW من أعلى فى التربة باستخدام أكثر من support إضافى حيث يمكن فى هذه الحالة أن نستغنى عن تثبيت الـ SPW فى التربة من أسفل ونكتفى بتثبيتها عن طريق الـ supports الموجودة.

- فى حالة استخدام أكثر من support تكون حركة الـ SPW قليلة جدا وبالتالي يكون توزيع الضغط الجانبى للتربة بين الـ Active, at rest كما يلى:-

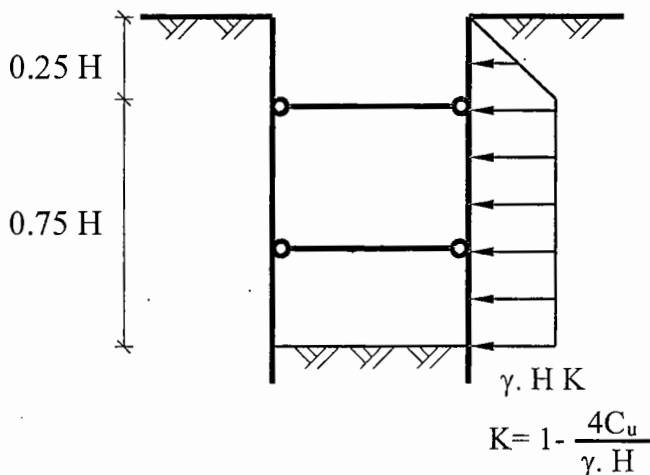
For loose sand:-



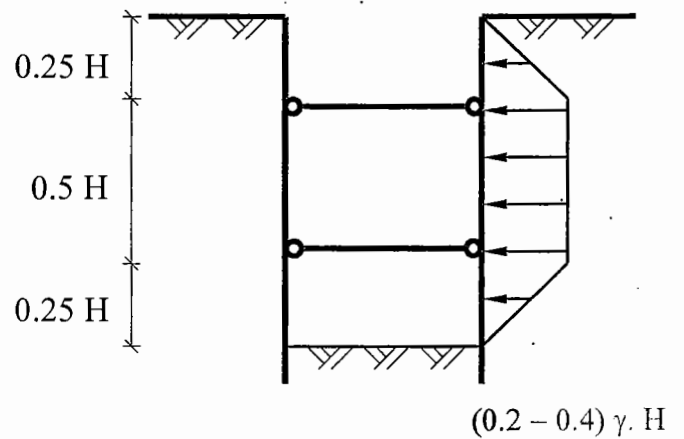
For dense sand:-



For soft clay:- (For $C_u < 50$ kPa)



For stiff clay:- (For $C_u < 50$ kPa)



- الذى يتحكم فى تحديد عمق الدفن فى هذه الحالة هو حدوث **Boiling** للتربة عند قاع الحفر.

- يستخدم هذا النظام فى العديد من المشروعات ومنها:-

١- شبكات المياه والصرف الصحى.

٢- أثناء تنفيذ دعائم الكبارى فى المجارى المائية.

٣- فى محطات مترو الأنفاق.

٤- فى أعماق الحفر الكبيرة التى تحتاج لأكثر من **Tie**.

- ملاحظة هامة:-

- فى حالة وجود أكثر من **2 supports** يصبح الحائط فى هذه الحالة **Statically indetermined structure** وبالتالى لا يمكن حله إلا عن طريق توفير معلومة إضافية. حيث نفرض أن كل **support** يتحمل الإجهادات **center line to center line** كما بالشكل.

