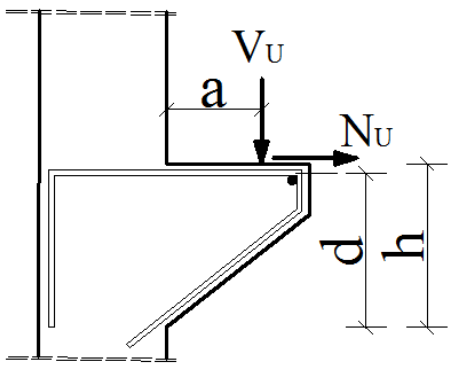
أولاً- دراسة الأظفار القصيرة والأكتاف

1- مقدمة – تعاريف

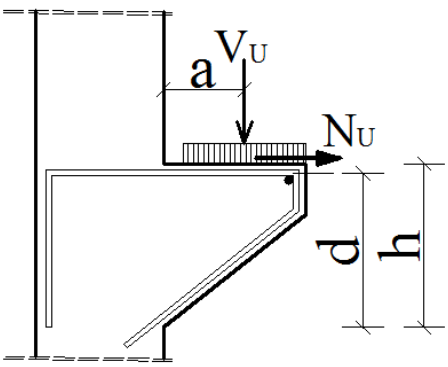
يوضح الشكل التالي مثالاً لحالة هذه العناصر الظفرية، إذ يبين جزء من إطار متكرر (الظفر والعمود) في منشأة صناعية أو مخبر يحمل جوائز الرافعة المتحركة التي تستند بدورها على أظفار من البيتون المسلح متصلة جيداً بأعمدة الإطارات.

يعرف الظفر القصير أو الكتف بأنه عنصر إنشائي يبرز أفقياً من عمود أو جدار من البيتون المسلح، ويتعرض هذا العنصر الأفقي إلى حمولة مركزة شاقولية (رد فعل الجائز) وإلى قوة أفقية.

نقول بأن العنصر الأفقي الظفري هو ظفر قصير أو كتف عندما تكون النسبة بين مجازه الحسابي وارتفاعه الفعال أصغر من الواحد $\left(\frac{a}{d} \le 1\right)$.



حالة حمولة مركزة

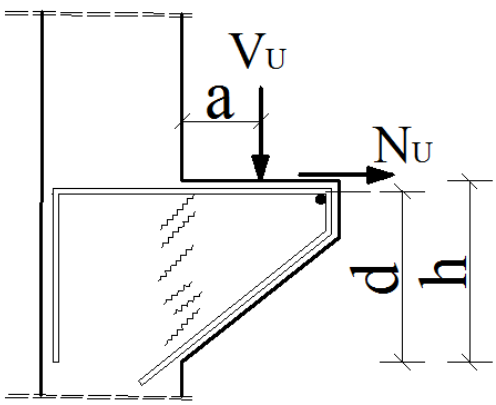


حالة حمولة موزعة

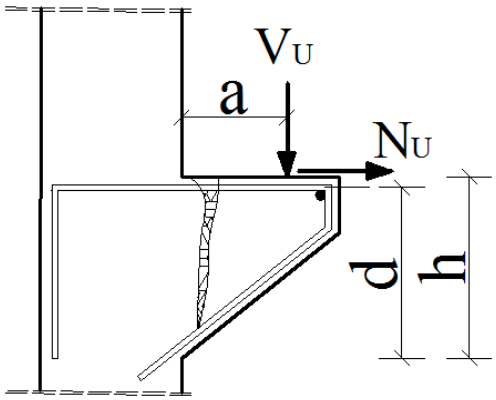
يمكننا تعريف نوعين رئيسين لمثل هذه الأظفار وذلك وفقاً لنمط الانهيار (الأشكال المرفقة):

- **ظفر قصير:** يكون الانهيار بالانعطاف بوصول الإجهادات في فولاذ التسليح إلى حد الخضوع.
- **كتف:** الكتف هو ظفر قصير ولكنه ينهار بالقص في الوجه المشترك بينه وبين العمود (قص مباشر احتكاكي).

من جهة أخرى يمكن أن يحصل الانهيار لهذه العناصر بآليات أخرى مثل انكسار أو انفصال الجزء المضغوط المتشكل ضمنه، أو بالانهيار الموضعي أو القص تحت صفيحة التحميل.



كتف



ظفر قصير

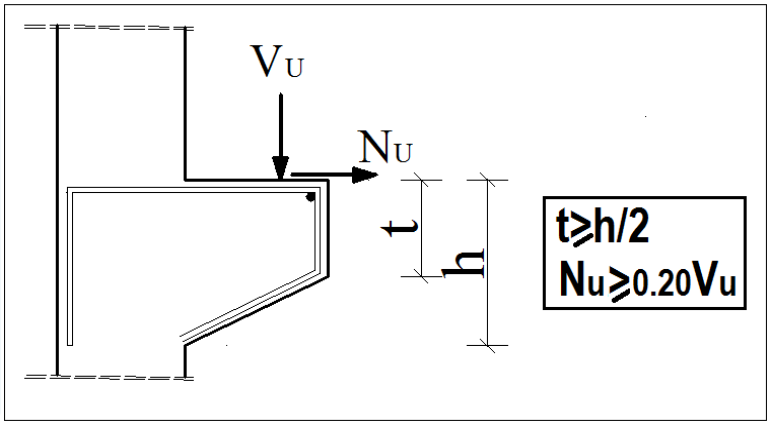
2- اشتراطات الكود للأبعاد والأحمال

- لا يقل ارتفاع الظفر القصير أو الكتف (t) عند الطرف عن نصف ارتفاعه الكلي (h):

$$\left(t \geq \frac{h}{2}\right)$$

- يجب التصميم على قوة أفقية (N_u) لا تقل عن 20% من القوة الشاقولية (V_u):

$$(N_u \geq 0.20V_u)$$



3- مكونات تسليح الأظفار القصيرة والأكتاف

يبين الشكل التالي التسليح الخاص بهذه العناصر، وهو مكون من ما يلي:

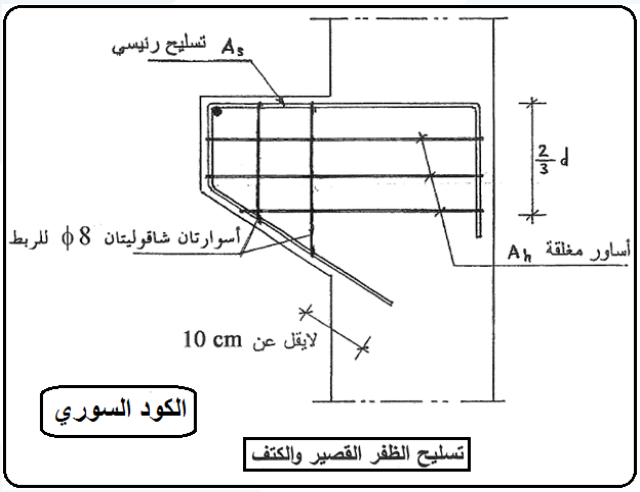
- ✓ التسليح الرئيس: (A_s)

هذا التسليح يقاوم الشد الناجم عن الانعطاف لحالة الظفر القصير، وفي حالة الكتف يشارك التسليح الثانوي الأفقي (A_h) لمقاومة القص المباشر الاحتكاكي.

- ✓ التسليح الثانوي (أساور أفقية مغلقة): (A_h)

يحسب هذا التسليح لمقاومة القص المباشر الاحتكاكي، ويوزع على مسافة $\left(\frac{2}{3}d\right)$ ابتداءً من التسليح الرئيس (A_s).

- ✓ التسليح الإنشائي: أساور شاقولية للربط لا تقل عن أسوارتين بقطر لا يقل عن 8 ملم.



4- حساب وتصميم الأظفار القصيرة والأكتاف (أنواع التسليح)

- ➢ **تحقيق إجهادات القص:**

$$\tau_u = \frac{V_u}{\Omega.b.d} \le \bar{\tau}_u\,(MPa)$$

$$\Omega = 0.75$$

$$\bar{\tau}_u = \min\begin{cases} 5.5MPa \\ 0.2\,f'_c \end{cases}$$

- تسليح القص الاحتكاكي (حالة الأكتاف) (A_{vf}):

$$A_{vf} = \frac{V_u}{\Omega . f_y . \rho}$$

$$\Omega = 0.75$$

$\rho = 1.4$ عامل الاحتكاك عندما يكون الكتف والعمود مصبوبين مع بعض (استمرارياً)

$\rho = 1$ عامل الاحتكاك لحالة سطح متصلب خشن

$\rho = 0.6$ عامل الاحتكاك لحالة سطح متصلب ناعم

- تسليح الانعطاف (A_f):

$$A_f = \frac{V_u . a + N_u (h - d)}{\Omega . f_y . z}$$

$$\Omega = 0.75 \quad ; \quad z = 0.85d$$

- تسليح الشد المباشر (A_n):

$$A_n = \frac{N_u}{\Omega . f_y} = \frac{N_u}{0.75 f_y}$$

5- تحديد التسليح الرئيس (A_s):

يحدد التسليح الرئيس (A_s) بالقيمة الأكبر من ما يلي:

$$A_s = \max \begin{cases} 1 - \frac{2}{3} A_{vf} + A_n \\ 2 - A_f + A_n \\ 3 - 0.04 \frac{f'_c}{f_y} b.d \end{cases}$$

6- اختيار التسليح الثانوي (الأفقي) (A_h):

يتم تحديد هذا النوع من التسليح كتابع لنمط الانهيار بمعنى إما نمط انهيار بالقص (حالة الكتف) أو نمط انهيار بالانعطاف (حالة الظفر القصير):

- حالة انهيار بالقص (كتف) تكون عندما يكون التسليح الرئيس مساوي إلى $A_s = \frac{2}{3} A_{vf} + A_n$. عندها

نعتمد: $A_h = \frac{1}{3} A_{vf}$

- حالة انهيار بالانعطاف (ظفر قصير) تكون عندما يكون التسليح الرئيس مساوي إلى $A_s = A_f + A_n$. عندها

نعتمد: $A_h = \frac{1}{2} A_f$

7- ترتيبات التسليح:

فضلاً على ما تم ذكره أعلاه، يجب أن نتحقق من النسب التالية للتسليح:

- نسب تسليح الانعطاف:

$$\mu_{s\,\min} = 0.4\%$$
$$\mu_{s\,\max} = 1.2\%$$

- نسب تسليح الانعطاف والقص:

$$\mu_{sg\,\min} = 0.6\%$$
$$\mu_{sg\,\max} = 2.0\%$$

يجب تثبيت نهاية قضيب التسليح عند نهاية الظفر أو الكتف بشكل جيد، ليتم تطوير الإجهادات ضمن القضيب. ويوجد عدة طرق للتثبيت (الأشكال المرفقة)، نذكر أهمها كما ورد في الكود السوري:

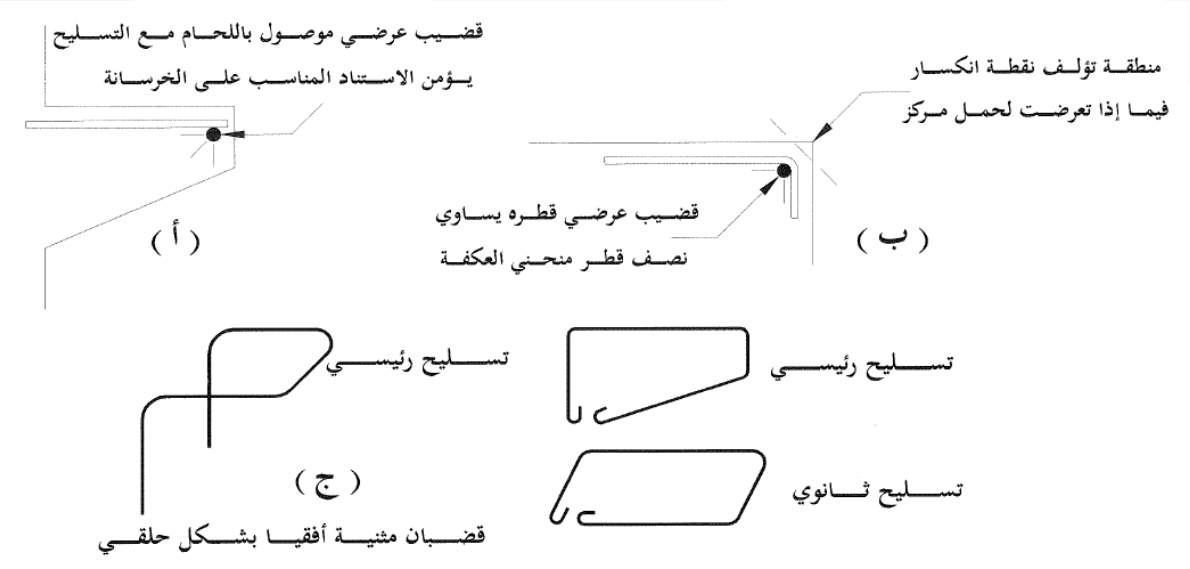
أ – لحام قضبان الانحناء بنهاياتها مع قضيب تسليح عرضي من القطر ذاته.

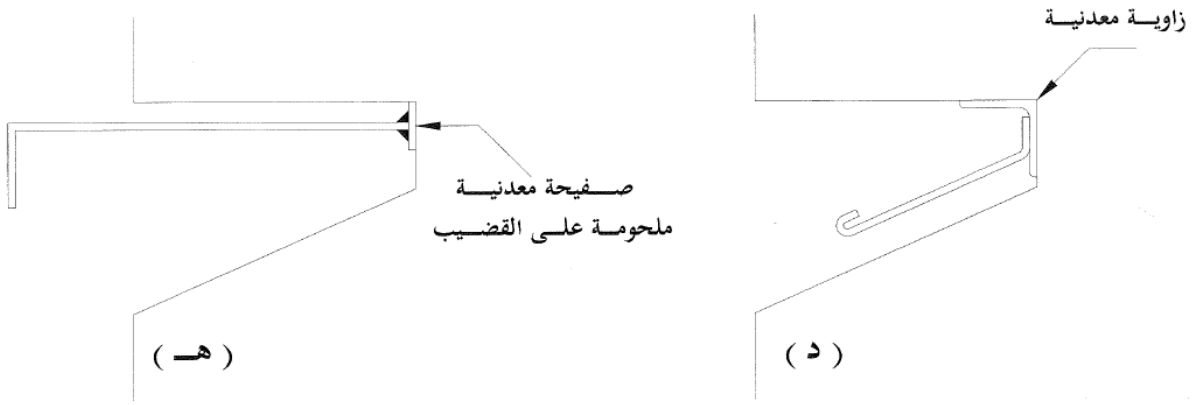
ب– ثني نهايات قضبان الانحناء للأسفل، وتثبيتها ضمن المسند.

ج– استعمال قضبان مثنية أفقياً بشكل حلقي.

د– استعمال زاوية معدنية.

هـ– استعمال صفيحة معدنية ملحومة على القضيب.





ملاحظة: (باقي التسليح غير ظاهر)

تثبيت نهايات القضبان في الأظفار القصيرة والأكتاف

8- تطبيق:

يطلب حساب التسليح لظفر (يهمل وزنه الذاتي) متصل بعمود صلابته كبيره بحيث يمكن أن يؤمن الوثاقة المطلوبة (انظر الشكل المرفق)، باعتبار لدينا المعطيات التالية:

- طول الظفر $L = 100cm$.
- ارتفاعه الكلي عند منطقة الاتصال مع العمود $h = 100cm$.
- ارتفاعه الكلي عند الطرف $t = 50cm$.
- عرضه $b = 50cm$.
- تتم عملية الصب بشكل منفصل والسطح خشن، بمعنى نعتمد قيمة عامل الاحتكاك مساوية $\rho = 1$.
- الظفر خاضع لحمل شاقولي حدي (مصعد) مركز على مسافة مقدارها $a = 50cm$ من وجه العمود. أيضاً، يخضع لحمل أفقي: $N_u = 100kN$; $V_u = 500kN$.
- خواص المواد: $f'_c = 25MPa$; $f_y = f_{yt} = 400\,MPa$

الحل:

1- نوع الظفر (آلية عمله):

$$\frac{a}{d} = \frac{500}{0.9h = 90} = 0.56 < 1$$

بالتالي الظفر قصير

2- التحقق من إجهاد القص:

$$\tau_u = \frac{V_u}{\Omega.b.d} = \frac{500000}{0.75\times500\times900} = 1.48MPa < 5MPa$$

$$\bar{\tau}_u = \min\begin{cases} 5.5MPa \\ 0.2f'_c = 0.2\times25 = 5MPa \end{cases}$$

القص محقق

3- تسليح القص الاحتكاكي (حالة كتف):

$$A_{vf} = \frac{V_u}{\Omega.f_y.\rho} = \frac{500000}{0.75\times400\times1} = 1667mm^2$$

4- تسليح الانعطاف:

$$A_f = \frac{V_u.a + N_u(h-d)}{\Omega.f_y.z} = \frac{500000\times500+100000\times(1000-900)}{0.75\times400\times(0.85\times900)} = 1133mm^2$$

$$\Omega = 0.75 \quad ; \quad z = 0.85d$$

5- تسليح الشد المباشر:

$$A_n = \frac{N_u}{\Omega.f_y} = \frac{100000}{0.75\times400} = 334mm^2$$

6- التسليح الرئيس (A_s):

$$A_s = \max\begin{cases} 1-\frac{2}{3}A_{vf}+A_n = \frac{2}{3}\times1667+334 = 1446mm^2 \\ 2-A_f+A_n = 1133+334 = 1467mm^2 \\ 3-0.04\frac{f'_c}{f_y}b.d = 0.04\times\frac{25}{400}\times500\times900 = 1125mm^2 \end{cases}$$

$$\therefore A_s = 1467\,mm^2$$

بالتالي الانعطاف هو المسيطر والظفر قصير

7- اختيار التسليح الثانوي (الأفقي) (A_h):

لحالة الانهيار بالانعطاف (ظفر قصير)، نعتمد: $A_h = \frac{1}{2}A_f = 0.5\times1133 = 567mm^2$

8- التحقق من نسب التسليح (انعطاف وقص):

- نسب تسليح الانعطاف:

$$\mu_{sf} = \frac{1467}{500 \times 900} = 0.0033 < \mu_{s\min} = 0.4\%$$

$$USE\ \mu_{sf} = 0.4\% \Leftrightarrow A_s = 0.004 \times 500 \times 900 = 1800mm^2$$

$$USE\ 6T20mm\ or\ 4T25mm$$

ملاحظة مهمة: تبين أن تسليح الانعطاف صغير (نسبة التسليح الأصغرية)، بالتالي يمكن أن نعيد النظر بحساب الارتفاع الفعال وتكبيره ليصبح مثلاً $d = h - 50mm = 1000 - 50 = 950mm$ ، ونكمل الحل من جديد. ولكننا سنكمل المسألة بهدف رسم التسليح كاملاً.

- نسب تسليح الانعطاف والقص:

$$\mu_{svf} = \mu_{sv} + \mu_{sf} = \frac{567}{500 \times \left(\frac{2}{3} \times 900\right)} + 0.4\% = 0.189\% + 0.4\% = 0.589\% < \mu_{s\min} = 0.6\%\ N.G.$$

نزيد التسليح الثانوي الأفقي ليصبح 0.2%

$$\therefore A_h = 0.002 \times 500 \times \frac{2}{3} \times 900 = 600mm^2$$

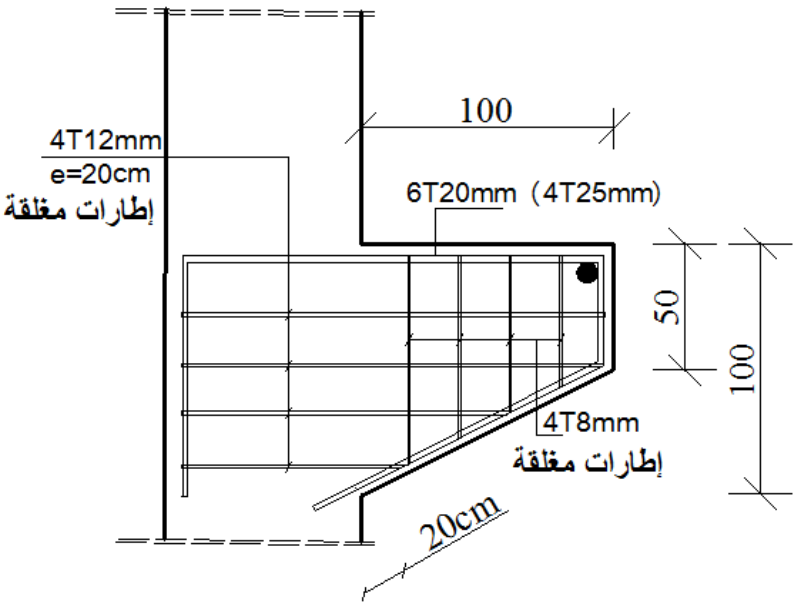
$$\frac{2}{3} \times 900 = 600mm$$

$$600mm^2 l 600mm \Leftrightarrow 200mm^2 l 200mm$$

$$USE\ T12mm / 20cm$$

ثلاثة إطارات أفقية بمعدل إطار كل 20 سم

ويبين الشكل التالي تسليح الظفر القصير.



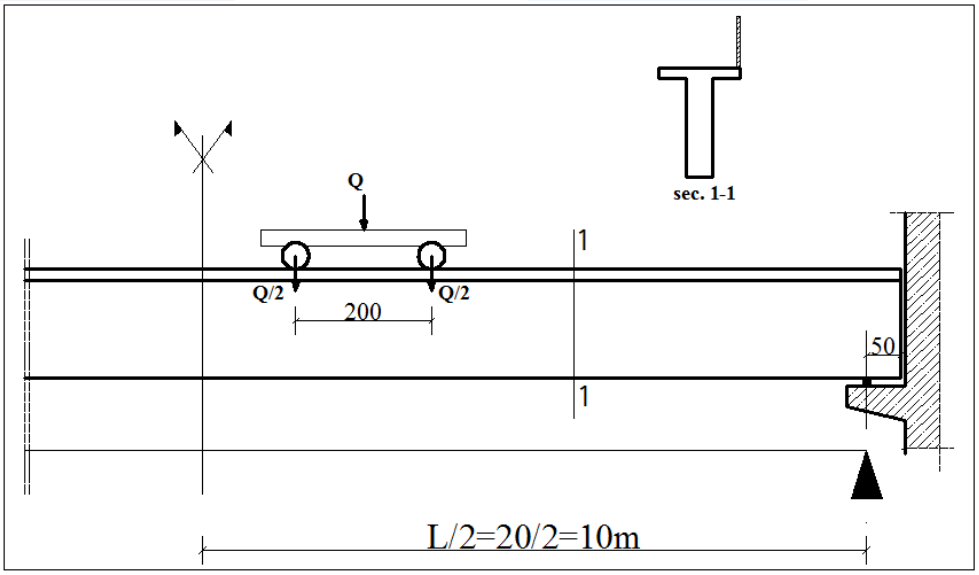
ثانياً- دراسة جائز حامل لجسر متحرك في منشأة صناعية

1- المعطيات

المطلوب تصميم جائز من البيتون المسلح يستند على أكتاف بارزة من إطارات مقاومة للعزوم تشكل الهيكل الحامل لمنشأة صناعية ما. هذا الجائز يحمل جسر متحرك (جسور الرافعة المتحركة) (الشكل المرفق).

توصيف الجائز الحامل وجسر الرافعة:

- المجاز الفعال $(L = 20m)$، ومقطعه على شكل T.
- وزن الجسر المتحرك $(50kN)$.
- وزن الخطاف الذي يؤثر على كامل مجاز الجائز $(400kN)$.
- المسافة بين عجلات الخطاف $(2m)$.
- خواص المواد: $f_y = f_{yt} = 400\ MPa\ ;\ f'_c = 25\ MPa\ ;\ \Delta_{Concrete} = 25\ kN/m^3$

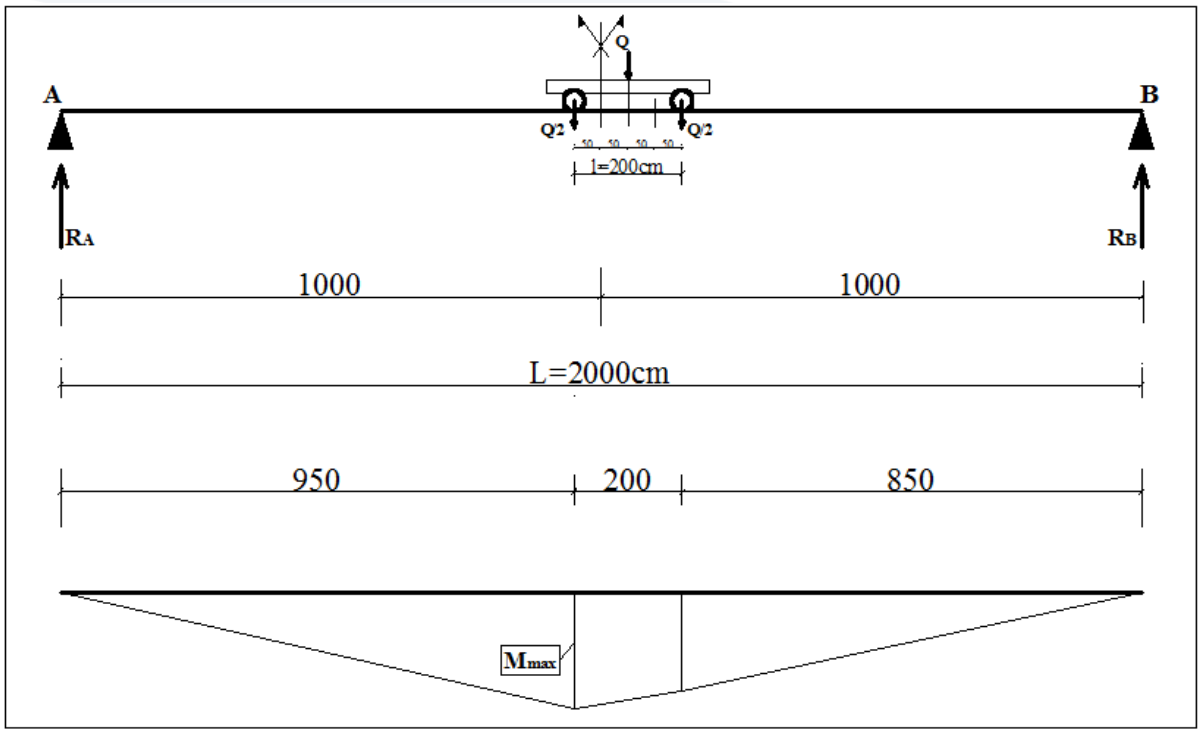


2- حساب العزم الأعظمي

- موقع العزم الأعظمي (حمل متحرك):

استناداً لفرضية باريه Barre، يتشكل العزم الأقصى في جائز ما خاضع لحمل متحرك $Q = 2\times(Q/2)$ على يسار محور التناظر تحت تأثير الحمولة اليسارية $(Q/2)$، حيث يقع محور التناظر بين (Q) و $(Q/2)$، بمعنى عند المسافة (x):

$$x = \frac{L}{2} - \frac{l}{4} = \frac{20}{2} - \frac{2}{4} = 10 - 0.5 = 9.5m$$



- حمولة جسر الرافعة (Q):

$$Q = 400 + 50 = 450kN$$

- العزم الأعظمي الناجم عن حمولة الاستثمار المتحركة (دون لحظ الأثر الديناميكي):

$$M_Q = R_A x = 9.5R_A$$

$$\sum M_B = 0 \Rightarrow R_A \times 20 = \frac{Q}{2} \times 10.5 + \frac{Q}{2} \times 8.5 \Rightarrow R_A = 213.75kN$$

$$\therefore \quad M_Q = 213.75 \times 9.5 = 2031kN.m$$

- تحديد ارتفاع الجائز:

هذا النوع من الجوائز يتلقى حمولات مهمة ومتحركة لذلك يتم حساب الارتفاع من العلاقة التالية:

$$h \geq \frac{L}{10 \rightarrow 12} = \frac{2000}{12} = 167cm$$

وكون الجائز يعمل كمقطع تي T، سنصغر الارتفاع ليصبح $h = 160cm$ ، وسنعتمد سمك طاولة الضغط مساوي لـ:

$$. \; t_f \geq \frac{h}{10} = \frac{160}{10} = 16cm$$

- الحمولات الدائمة للجائز (G):

وزن ذاتي و وزن الدرابزون:

$$g=(0.4\times1.6+0.8\times0.16)\times25+1=20.2kN/ml$$
$$\therefore\quad G=20.2\times L_{tot.}=20.2\times(20+1)=424.2kN$$

- العامل الديناميكي (δ):

$$\delta=1+\frac{0.4}{1+0.2L}+\frac{0.6}{1+4\frac{G}{Q}}=1+\frac{0.4}{1+0.2\times20}+\frac{0.6}{1+4\frac{424.2}{450}}=1.21$$

- العزوم الاستثمارية الأعظمية:

$$M_{g\max}=\frac{g.L^2}{8}=\frac{20.2\times20^2}{8}=1010kN.m$$
$$M_{Q\max}=M_Q.\delta=2031\times1.21=2458kN.m$$

3- حساب التسليح (دراسة أولية)

$$M_{\max}\approx M_{g\max}+M_{Q\max}=1010+2458=3468\,kN.m$$

بافتراض أن:

$$h=160cm\ \&\ z=0.87d$$
$$d=h-a=160-15=145cm\Rightarrow z=0.87\times145=126cm$$

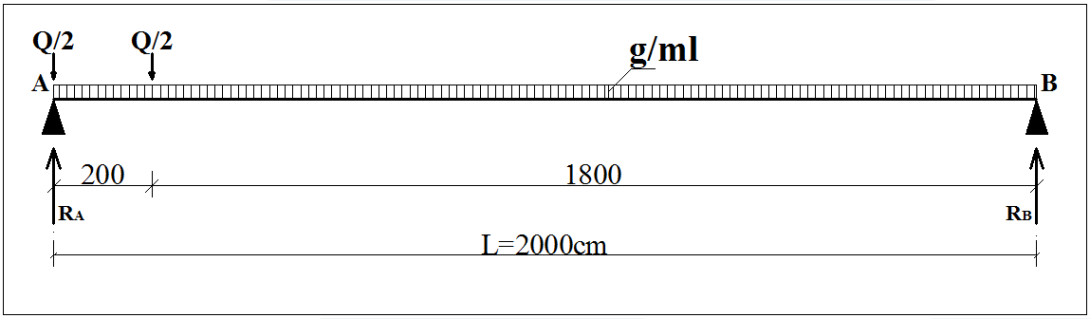
تكون قوة الشد المحتملة في فولاذ التسليح:

$$F_s=\frac{M_{\max}}{z}=\frac{3468}{1.26}=2752kN$$
$$A_s=\frac{F_s}{0.55f_y}=\frac{2752000}{0.55\times400}=12509mm^2$$

مقارنة أولية ومبسطة لنسب التسليح:

$$\mu_s=\frac{A_s}{b.d}=\frac{12509}{400\times1450}=0.022$$
$$\mu_{s\max}=0.5\left[\frac{455}{630+f_y}\frac{f'_c}{f_y}\right]=0.75\left[\frac{455}{630+400}\times\frac{28}{400}\right]=0.023$$
$$\mu_{s\min}=\frac{0.9}{f_y}=\frac{0.9}{400}=0.00225$$
$$\mu_s=0.022<\mu_{s\max}=0.023\quad O.K..$$

4- حساب الجهد القاطع الأعظمي:



$$V_g = \frac{gL}{2} = \frac{20.2\times 20}{2} = 202kN$$

$$V_Q = R_A = \frac{Q}{2}\left(\frac{20+18}{20}\right)\times 1.21 = \frac{450}{2}\left(\frac{38}{20}\right)\times 1.21 = 517.3kN$$

$$V_{\max} = V_g + V_Q = 202 + 517.3 = 719.3kN$$

دراسة القص وفق الحالة الحدية القصوى:

$$V_u = 1.4V_g + 1.7V_Q = 1.4\times 202 + 1.7\times 517.3 = 1162.21kN$$

$$\tau_u = \frac{V_u}{\Omega b_w.d} = \frac{1162210}{0.85\times 400\times 1450} = 2.36MPa$$

$$\tau_{u\max} = 0.65\sqrt{f'_c} = 0.65\sqrt{28} = 3.44MPa > \tau_u = 2.36MPa \quad O.K.$$

$$\tau_{ou} = 0.16\sqrt{f'_c} = 0.16\sqrt{28} = 0.85MPa$$

$$A_{st} \geq \frac{(\tau_u - \tau_{ou})}{f_y} b_w S = \frac{(2.36-0.85)}{400}\times 400\times 200 = 302mm^2$$

نستخدم إطارين بقطر $T10mm$: $A_{st} = 4\times 78.5 = 314mm^2$

5- حساب التسليح المقاوم للانعطاف وفق الحالة الحدية القصوى:

$$M_u = 1.4M_g + 1.7M_Q = 1.4\times 1010 + 1.7\times 2458 = 5593kN.m$$

$$Section T\left(t_f = 160mm; b_f = 1200mm;\ d = 1450mm;\ h = 1600mm\right)$$

$$\Omega(0.85 f'_c)t_f b_f\left(d - \frac{t_f}{2}\right) = 0.9\times 0.85\times 28\times 160\times 1200\left(1450 - \frac{160}{2}\right)10^{-6}$$

$$= 5634kN.m > M_u = 5593kN.m$$

فالمقطع يعمل كمستطيل عرضه: $b = b_f = 1200\ mm$

$$A_0 = \frac{M_u}{\Omega 0.85\, f_c' b_f\, d^2} = \frac{5593\times10^6}{0.9\times0.85\times28\times1200\times1450^2} = 0.1035$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \alpha = 1-\sqrt{1-2A_0} = 0.1095 \\ \gamma = \dfrac{A_0}{\alpha} = 0.9452 \end{cases}$$

$$\therefore \quad A_s = \frac{M_u}{\Omega.\gamma.d.f_y} = \frac{5593\times10^6}{0.9\times0.9452\times1450\times400} = 11336\,mm^2$$

$$\mu_s = \frac{A_s}{b.d} = \frac{11336}{1200\times1450} = 0.0065$$

$$\mu_{s\max} = 0.5\left[\frac{455}{630+f_y}\frac{f_c'}{f_y}\right] = 0.50\left[\frac{455}{630+400}\times\frac{28}{400}\right] = 0.0155$$

$$\mu_{s\min} = \frac{0.9}{f_y} = \frac{0.9}{400} = 0.00225$$

$$\mu_{s\min} = 0.00225 < \mu_s = 0.0065 < \mu_{s\max} = 0.0155 \quad O.K..$$

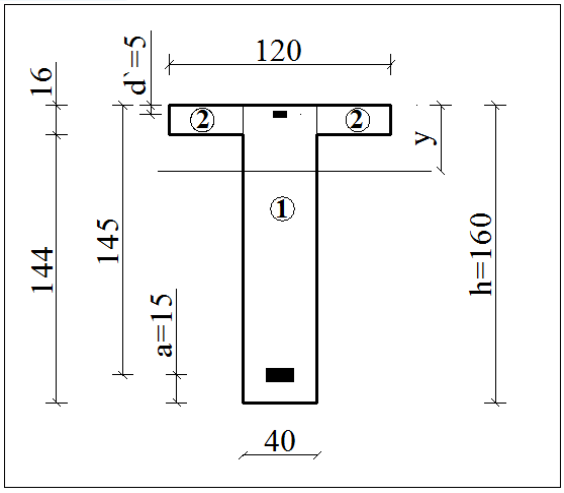
6- التحقق من الاجهادات وفق حالة الاجهادات المسموحة (نطاق الاستثمار):

- العزم الناجم عن حمولات الاستثمار:

$$M_{\max} \approx M_{g\max} + M_{Q\max} = 1010 + 2458 = 3468\,kN.m$$

- حساب $(y \,\&\, I)$:

$$Section\ properties\ \left(t_f = 160\,mm; b_f = 1200\,mm;\ d = 1450\,mm;\ h = 1600\,mm\right)$$



- معادلة العزم الستاتيكي لتحديد موقع المحور المحايد (y):
- معادلة العزم الستاتيكي بالنسبة لمحور مار أسفل طاولة الضغط (الجناح) $(y = t_f)$:

$$T = \frac{b_f t_f^{\,2}}{2} + nA'_s(t_f - d') - nA_s(d - t_f)$$

المحور المحايد يمر ضمن الجناح $T > 0 \Rightarrow y < t_f$

المحور المحايد يمر في الجسد $T < 0 \Rightarrow y > t_f$

$$A_s = 11336 mm^2$$
$$A'_s = (\geq 15\%)A_s$$

ملاحظة مهمة: من المفضل ألا نستخدم تسليح مضغوط في المقاطع تي (T)

$$T = \frac{120 \times 16^2}{2} - 15 \times 113.36(145 - 16) < 0 \Rightarrow y > t_f = 16cm$$

المحور المحايد يمر في الجسد

موقع المحور المحايد (y):

$$\frac{b_f y^2}{2} - (b_f - b_w)\frac{(y - t_f)^2}{2} + nA'_s(y - d') - nA_s(d - y) = 0$$

$$\frac{120 \times y^2}{2} - (120 - 40)\frac{(y - 16)^2}{2} - 15 \times 113.36(145 - y) = 0$$
$$y = 51.11cm$$

- عزم العطالة (I):

$$I = \frac{b_f y^3}{3} - (b_f - b_w)\frac{(y - t_f)^3}{3} + nA'_s(y - d')^2 + nA_s(d - y)^2$$

$$\frac{120 \times 51.11^3}{3} - (120 - 40)\frac{(51.11 - 16)^3}{3} + 15 \times 113.36(145 - 51.11)^2 = 19175891cm^4$$

- حساب الاجهادات والتحقق من أنها أقل من المسموحة:
  - ✓ اجهاد الضغط في البيتون عند الليف العلوي:

$$\sigma'_c = \frac{M}{I} y \le 0.45 f'_c$$ مقاطع تي T

$$\sigma'_c = \frac{M}{I} y \le 0.55 f'_c$$ مقاطع مستطيلة

✓ اجهاد الضغط في التسليح المضغوط:

$$\sigma'_s = \frac{nM}{I}(y - d') \le 0.55 f_y$$

✓ اجهاد الشد في التسليح المشدود:

$$\sigma_s = \frac{nM}{I}(d - y) \le 0.55 f_y$$

$$M_{ser.\max} = 3468 kN.m$$

$$\sigma'_c = \frac{3468 \times 10^6}{19175891 \times 10^4} \times 511.1 = 9.24 MPa \le 0.45 f'_c = 0.45 \times 28 = 12.6 MPa \; O.K.$$

$$\sigma'_s = \frac{15 \times 3468 \times 10^6}{19175891 \times 10^4}(511.1 - 50) = 125 MPa \le 0.55 \times 400 = 220 MPa \; O.K.$$

$$\sigma_s = \frac{15 \times 3468 \times 10^6}{19175891 \times 10^4}(1450 - 511.1) = 255 MPa > 0.55 \times 400 = 220 MPa \; N.G.$$

ملاحظة: عندما تكون التشققات غير ضارة فلا حدود للإجهادات في التسليح المشدود، بالمقابل عندما تكون ضارة إذ إن المنشأة تكون في وسط هجومي (أملاح...) فإنه يتوجب العمل على دراسة الحد من التشقق المعيب لهكذا حالة، ويتم الحساب كحالة حدية في نطاق الاستثمار.

ثالثاً- تطبيق ومقارنة بين حمولات الرياح والزلازل

لدينا بناء من البيتون المسلح (الشكل المرفق)، مسقطه مستطيل الشكل $(20\times30m)$، واقع على شاطئ البحر (معرض لعواصف)، هذا البناء مؤلف من خمسة عشر طابقاً، بارتفاع $(H=nh=15\times3=45m)$، هيكله الحامل عبارة عن جملة من الإطارات والجدران القصية الموثوقة جيداً عند مستوى القاعدة. إذا علمت أن:

- الحمولات الدائمة على المتر المربع من البلاطة (وزن ذاتي، جوائز، أعمدة، جدران...): $G=DL=8kN/m^2$

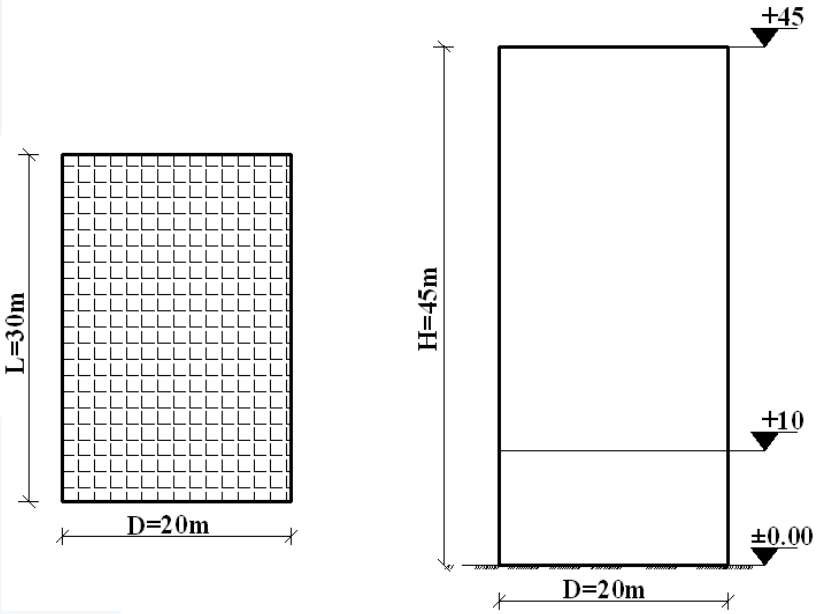
- الحمولات الإضافية على المتر المربع من البلاطة : $P=LL=3kN/m^2$

- السرعة التصميمية للرياح (الطريقة الأولى) : $V=f(V_k)=40.37m/\sec$

- القوة الناجمة عن الزلزال عبارة عن محصلة مثلث مقلوب، قاعدته عند قمة المبنى، وتساوي هذه المحصلة بالاتجاهين الطولي والعرضي:

$$V_T\approx V_L=V=\alpha W=\alpha\sum(G+0.25P)=0.10\sum(G+0.25P)$$

يطلب دراسة المبنى على الانقلاب عند مستوى القاعدة تحت تأثير الزلازل والرياح (الكود السوري).



الحل:

أولاً - تحديد ضغط الريح المكافئ (W_e):

من معطيات المسألة يمكننا تحديد قيم العوامل المؤثرة على قيمة هذا الضغط، استناداً للجداول والعلاقات المقترحة في الطريقة الأولى، والموجودة في الكود السوري الأساس لعام 2004م:

$$W_e = \alpha_O . K_h . K_s . W_d$$

$$W_d = \frac{V^2}{1630} = \frac{40.3\overline{7}^2}{1630} = 1 kN/m^2$$

$$\alpha_O = 1.30 \quad , \quad K_s = 1.3$$

$$K_h = 2.5\left(1 - \frac{42}{h+60}\right)$$

$$h \le 10m \Rightarrow K_h = 1 \Rightarrow W_e = 1.3 \times 1 \times 1.3 \times 1 = 1.69 kN/m^2$$

$$h = 45m \Rightarrow K_h = 1.5 \Rightarrow W_e = 1.3 \times 1.5 \times 1.3 \times 1 = 2.535 kN/m^2$$

ثانياً – التوزيع الرأسي لضغط الريح المكافئ (W_e):

- بالاتجاه القصير للمبنى (العرضي):

$$W_{eT(h \le 10m)} = 1.69 \times 30 = 50.70 kN/m$$

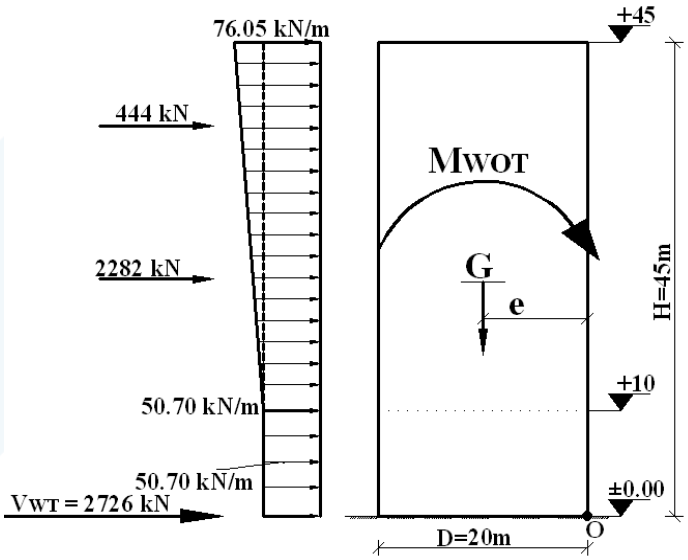
$$W_{eT(h=45m)} = 2.535 \times 30 = 76.05 kN/m$$

- بالاتجاه الطويل للمبنى (الطولي):

$$W_{eL(h \le 10m)} = 1.69 \times 20 = 33.80 kN/m$$

$$W_{eL(h=45m)} = 2.535 \times 20 = 50.70 kN/m$$

ويبين الشكل التالي توزيع ضغط الرياح بالاتجاه العرضي:



ثالثاً – عزوم الانقلاب والتثبيت بالاتجاه العرضي (حول النقطة O) (رياح):

- عزم الانقلاب الناجم عن الرياح (M_{WOT}):

$$M_{WOT} = \frac{50.7\times 45^2}{2} + \frac{1}{2}(76.05-50.7)(45-10)\left[\left(\frac{2}{3}\right)(45-10)+10\right]$$

$$M_{WOT} = 66121 kNm$$

- عزم التثبيت (M_{RT}):

$$M_{RT} = G.e = \sum G_i\left(\frac{D}{2}\right) = 8\times 20\times 30\times 15\left(\frac{20}{2}\right) = 720000\, kNm$$

- عامل الأمان ضد الانقلاب بالاتجاه العرضي $(S.F.O)$:

$$S.F.O. = \frac{M_{RT}}{M_{WOT}} = \frac{720000}{66121} = 10 >> 1.5$$

وتكون قيمة هذا العامل أكبر بالتأكيد بالاتجاه الطولي.

رابعاً – عزوم الانقلاب والتثبيت بالاتجاه العرضي (حول النقطة O) (زلازل):

- حساب محصلة القوى الزلزالية (قوة القص القاعدي) بالاتجاه العرضي:

$$V_T \approx V_L = V = \alpha W = \alpha\sum(G) = 0.10[(8)\times 20\times 30\times 15]$$

$$V_T = 0.1\times 72000 = 7200 kN$$

- عزم الانقلاب الناجم عن الزلازل (M_{SOT}):

$$M_{SOT} = V_T\left(\frac{2}{3}H\right) = 7200\times\frac{2}{3}\times 45 = 216000 kNm >> M_{WOT} = 66121 kNm$$

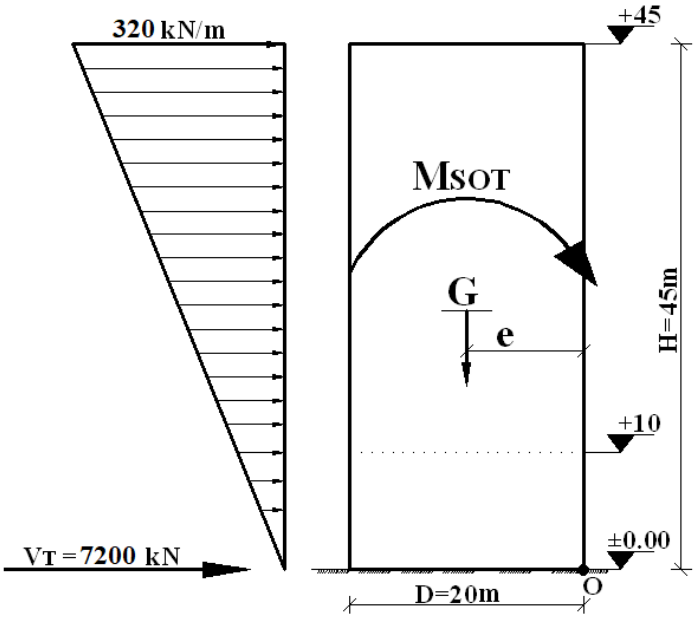
بالتالي الزلزال هو الأخطر.

- ويكون عامل الأمان ضد الانقلاب بالاتجاه العرضي في حالة الزلازل $(S.F.O)$:

$$S.F.O. = \frac{M_{RT}}{M_{SOT}} = \frac{720000}{216000} = 3.33 > 1.5 \quad O.K.$$

ويبين الشـــكل التالي توزيع قوة القص القاعدية الناجمة عن الزلازل بالاتجاه العرضـــي، بافتراض أن المبنى منتظم ومتناظر (التوزيع مثلثي).

$$V_T = \frac{1}{2}Hq \Rightarrow q = \frac{2V_T}{H} = \frac{2\times 7200}{45} = 320 kN/m$$


320 kN/m
+45
MSOT
G
e
H=45m
+10
±0.00
VT =7200 kN
D=20m
O