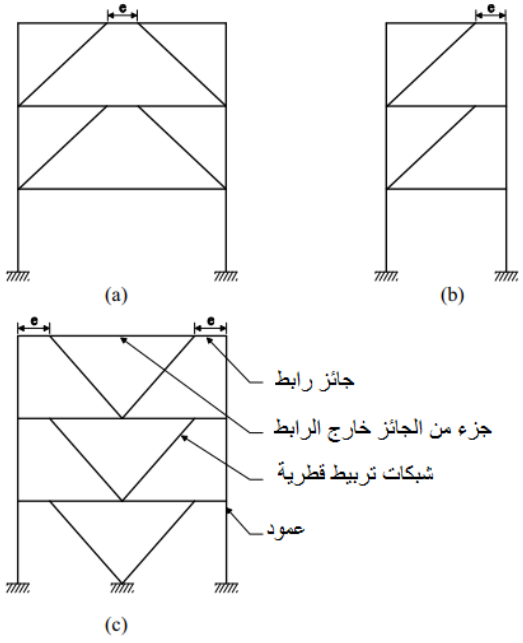
إعداد:
الدكتور المهندس محمد فادي نقرش – المحاضر في قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية
Mnakrash81@yahoo.com

التصميم الفولاذي اللدن للإطارات المربطة لامركزيا

1- مقدمة

يجب أن يضمن التصميم الزلزالي للإطارات الفولاذية السلوك اللدن المستقر لها تحت تأثير الزلازل، والجدير بذكره أن الإطارات المربطة مركزيا CBF تمتلك صلابة جانبية كبيرة في حين تكون الإطارات المقاومة للعزوم SMF قابلة للانعطاف نسبيا وتحدد باشتراطات للإزاحة النسبية التي تبديها، لتاتي الإطارت المربطة لامركزيا EBF وتجمع بين مزايا الإطارات المقاومة للعزوم والإطارات المربطة مركزيا وهي المطاوعة والصلابة الجانبية الكبيرتين. ويمكن القول أنّ العمل الأساسي للإطار المربط لامركزيا هو تركيز السلوك اللدن في جوائزها الرابطة وبقاء شبكات تربيطها ضمن المرونة وفي النتيجة هناك حفظ للصلابة الجانبية في طول فترة وقوع الزلزال.

تتميز الإطارات EBF_s بوجود عنصر يسمى الجائز الرابط، والذي يعمل مثل فيوز إنشائي، حيث يستهلك الطاقة الزلزالية الواردة بدون تخفيض كبير في الصلابة والمقاومة وبهذا الترتيب تنتقل القوى إلى الأعمدة المجاورة وشبكات التربيط وخارج أجزاء الجائز الرابط. يظهر الشكل 1 إطار EBF حيث طول الجائز الرابط e.



الشكل 1: أشكال الإطارات المربطة لامركزيا

زاوية دوران الجائز الرابط اللدنة γ_p تحسب من خلال أبعاد وشكل الإطار مع فرض سلوك لدن لعناصر الإطار، فزاوية الدوران اللدن للجائز الرابط من أجل ثلاثة أنواع للإطارات EBF_s موضحة في الشكل 2.

باعتبار:

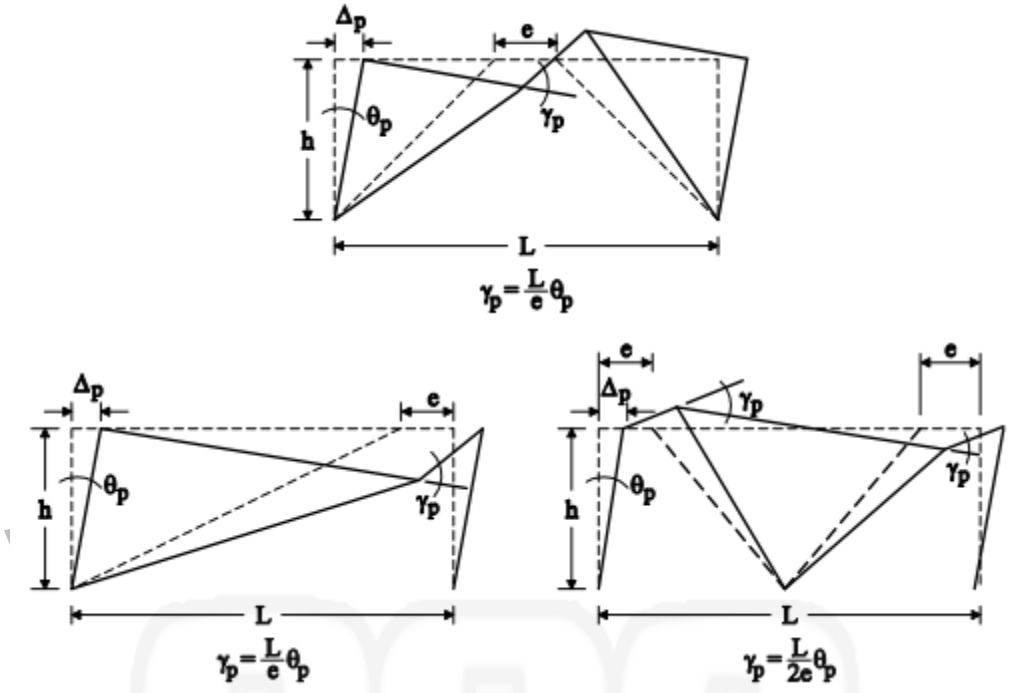
L = طول مجاز الإطار

h = ارتفاع الإطار

Δ_p = الانتقال النسبي اللدن للإطار (يمكن فرضه للأمان مساو للانتقال النسبي التصميمي للطابق)

θ_p = زاوية الانتقال النسبي اللدن للطابق، راديان = (Δ_p / h)

γ_p = زاوية دوران الجائز الرابط، راديان



الشكل 2: زاوية دوران الجائز الرابط من أجل انواع مختلفة للإطارات EBF_s

وبناء على (AISC-2005) خضوع الجائز الرابط يرتبط تماما بخصائص مقطعه، حيث نميز ثلاث حالات وهي:

1- خضوع قصي على كامل طول الجائز الرابط
2- خضوع انعطافي في نهاية الجائز الرابط
3- دمج بين الخضوع القصي والانعطافي

زاوية الدوران اللدن للجائز الرابط من اجل الخضوع القصي أو الخضوع الانعطافي واحدة، أما مكانيزم خضوع الجوائز الرابطة فهو مرتبط بالمقدرة العزمية والمقدرة القصية وتقسية التشوهات.

2- المعادلات اللازمة لتحديد طول وزاوية دوران غير المرنة للجائز الرابط وفق الاشتراطات الزلزالية AISC:

- الجوائز الرابطة بطول قصير (خضوع قصي):

$$f \le 1.6\frac{M_p}{V_p} \;;\; \gamma_p = 0.08 \text{ rad} \qquad (1$$

- جوائز رابطة طويلة (خضوع انعطافي):

$$e \ge 2.6\frac{M_p}{V_p} \qquad \gamma_p = 0.02 \text{rad} \qquad (2$$

- جوائز رابطة متوسطة الطول(دمج بين الخضوع القصي والانعطافي):

$$1.6\frac{M_p}{V_p} < e < 2.6\frac{M_p}{V_p} \qquad \gamma_P = \text{راديان } 0.08 \text{ و } 0.02 \qquad (3$$

حيث $M_P = Z.F_y$ هي مقاومة الانعطاف اللدنة الاسمية، Z معامل المقطع اللدن، F_y إجهاد خضوع الأصغري.

$V_P = 0.6.F_y(d_b - 2t_f)t_w$ هي المقاومة القصية الاسمية، d_b ارتفاع الجائز t_f, t_w هي سماكة الجسد وسماكة الجناح بالترتيب.

3- معيار التصميم AISC:

النقاط المفتاحية لتصميم الإطار EBF على أساس الاشتراطات الزلزالية AISC (حيث سوف نركز على الجوائز الرابطة القصية):

1- يجب أن يكون السلوك غير المرن ضمن الجوائز الرابطة، بناء على ذلك العناصر المتبقية مثل الجوائز خارج حدود الجائز الرابط وشبكات التربيط القطرية والأعمدة تصمم وفق طريقة المقدرة، يعني هذه العناصر تبقى مرنة تحت تأثير القوى الاعظمية الناتجة عن خضوع كامل للجائز الرابط مع أخذ بعين الاعتبار تقسية التشوهات. وإذا تشكلت المفاصل اللدنة في الأعمدة مع خضوع الجوائز الرابطة إذن سنكون امام ميكانزم طابق لين. لذلك يجب ان نتجنب تشكيل المفاصل اللدنة في الأعمدة.
2- المقاومة التصميمة للجوائز الرابطة القصية، تعطى بالعلاقة التالية:

$$\phi V_n = 0.9 V_p = 0.9(0.6 F_y A_w) = 0.9[0.6 F_y (d_b - 2t_f) t_w] \quad (4$$

حيث ϕ معامل المقاومة ويساوي 0.9. F_y حد الخضوع الأدنى بحيث لايتجاوز 50ksi، ومن أجل وقوع الخضوع القصي يجب تحديد طول الجائز الرابط وفق العلاقة (1).

3- الجوائز الرابطة يجب أن تحقق نسبة العرض إلى السماكة وفق الاشتراطات الزلزالية الجدول AISC I-8-1.
4- من أجل الإطمئنان على حتمية وقوع الخضوع وتبديد الطاقة في الجوائز الرابطة يجب أن تكون شبكات التربيط واجزاء الجائز المتبقية مصممة على القدرة.(أي مصممة على القوى الناتجة عن تسليم الجائز الرابط بعد أخذ التقسية التشوهية بعين الاعتبار). من أجل الجوائز القصيرة $e \le 1.6 \frac{M_p}{V_p}$ القوى تحسب وفق العلاقات التالية:

$$\text{المقاومة القصية للجائز الرابط} = 1.25 R_y V_p \quad (5$$

$$\text{العزم عند نهاية الجائز الرابط في العمود} = R_y M_p \quad (6$$

$$\text{العزم عند نهاية الجائز الرابط في شبكات التربيط} = [e(1.25 R_y V_p) - R_y V_p] \ge 0.75 R_y V_p \quad (7$$

في هذه العلاقات، R_y نسبت إجهاد الخضوع المتوقع إلى إجهاد التسليم الأدنى F_y والذي يحدد من الجدول I-6-1 من الاشتراطات الزلزالية AISC. من اجل الفولاذ A992 تكون R_y مساوية 1.1، هذه النسبة تأخذ المقاومة الإضافية للمادة. ومن أجل أخذ تقسية التشوهات للمقاومة القصية وضعنا 1.25 على أساس نتائج 16 جائز رابط مصنوع من فولاذ A992 نسبة تقسية التشوهات الوسطى تساوي 1.28 وهناك مجال لهذه التغيرات من 1.17 حتى 1.44 ، لذا نسبة تقسية التشوهات القصية أُخذت منطقيا بقيمة 1.25 في اشتراطات الزلزالية AISC من اجل المقاطع المدرفلة A992. عزوم نهاية الجوائز

الرابطة اللامتعادلة في العمود وشبكة التربيط تم تحديدها على أساس نتائج تجريبية للجوائز الرابطة القصيرة، العلاقات من 5 حتى 7 . اما من اجل تصميم الأجزاء خارج الجائز الرابط تكون المقاومة المطلوبة على أساس 1.1 للجائز الرابط كما توضحها المعادلة 8

$$\text{قص الجائز الرابط} = 1.1R_yV_p \qquad (8$$

وبسبب أن مقطع الجائز الرابط وأجزاء الجائز الاخرى ثابت ، فلايمكن زيادة ابعاد مقطع اجزاء الجائز كحل، لأن هذه الزيادة ينتج عنها زيادة للمقاومة المطلوبة للجائز الرابط . الحل المميز هو الاستفادة من شبكات تربيط قطرية بصلابة انعطافية عالية بالصورة التي تقلل من العزم في أجزاء الجائز، أو تهيئة صفائح تغطية للجائز لرفع مقاومته. وهناك أيضا حلولا اخرى بهدف تخفيض الإجهاد في أجزاء الجائز موجودة ضمن الاشتراطات الزلزالية AISC . طبعا نحن ننتظر هنا بقاء شبكات التربيط مرنة.

5- أعمدة إطار EBF_s يجب أن تحقق المقدرة التصممية المطلوبة وفق اشتراطات الزلزالية AISC يجب أن تتحمل القوى الأعظمية الناتجة عن خضوع كامل مع التقسية التشوهية للجوائز الرابطة. وايضا يمكن الاستفادة من المعادلة 5 بدلا من 8 لتصميم الأعمدة.

4- مسألة:

بفرض الجائز BM-1 الموضح في الشكل 3 والذي مقطعه IPB320 بالمواصفات:

$$F_u = 4570kg/cm^2, F_y = 3515kg/cm^2$$

المطلوب هل يصلح هذا الجائز لجائز رابط أو لا؟

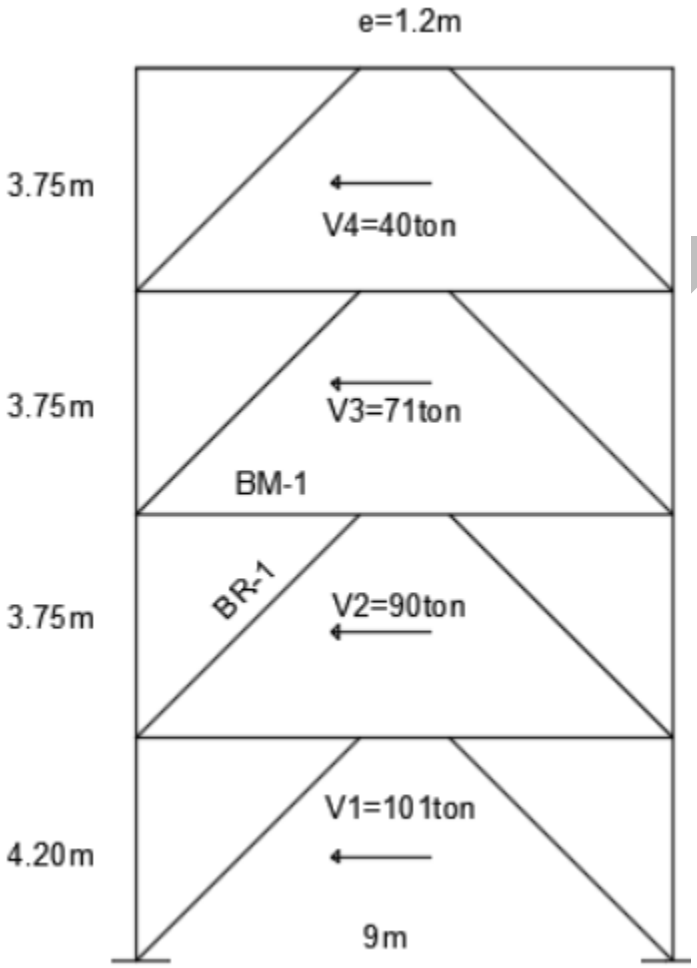
حيث الأحمال وفق الحساب الإنشائي من المرتبة الأولى :

$$P_D = 3/36ton\ ,\ p_L = 2/4ton,\ P_E = 2/5ton$$
$$V_D = 0/82ton\ ,\ V_L = 0/6ton\ \ ,\ V_E = 38/1ton$$
$$M_D = 2ton.\text{m}\ \ \text{M}_L = 1/33ton.m\ \ ,\text{M}_E = 23/3ton.m$$

واتصال شبكة التربيط مع الجائز الرابط وثاقة. ,وان الانتقال النسبي في مستوى الطابق الثاني وفق الحساب المرن من المرتبة الأولى $\Delta_H = 0.44cm$

نوع الفولاذ المستخدم لدعامات التقوية :

$$F_u = 4080kg/cm^2, F_y = 2530kg/cm^2$$



الشكل 3: إطار المسالة

الحل:

1- مواصفات مقطع الجائز الرابط IPB320:

$$d=32cm\ ,t_f=2/05cm\ \ ,t_w=1/15cm\ ,r_x=13/8cm,r_y=7/57cm$$
$$b_f=30cm\ ,\ A_g=161cm^2\ \ ,Z_x=2065cm^3\ \ ,I_X=30820cm^4$$

2- تحديد القوى والعزوم التصميمة للجائز الرابط:

تركيب الأحمال الحاكم للزلازل هو:

$$(1/2+0/6AI)D+\rho E+0/5l+0/2S$$

(معامل الحمل الحي من أجل حمل حي منتظم أقل من 500 كيلوغرام على المتر المربع يساوي 0.5)

قوة القص التصميمة للجائز الرابط:

$$V_u=[1/2+0/6(0/35)(1)](0/82)+1/2(38/10)+0/5(0/6)+\circ=47/18ton$$

القوة المحورية التصميمة للجائز الرابط:

$$P_u=[1/2+0/6(0/35)(1)](3/36)+1/2(2/5)+0/5(2/4)+0/2(0/0)=8/94\,\text{ton}$$

العزم الإنعطاف التصميم للجائز الرابط:

$$M_u=[1/2+0/6(0/35)(1)](2)+1/2(23/3)+0/5(1/33)+\circ=31/44$$

3- أثار المرتبة الثانية:

وفق السلسلة الثانية من المحاضرات يمكن أن نكتب:

$$M_u=B_1M_{nt}+B_2M_{lt}$$
$$P_u=P_{nt}+B_2P_{lt}$$

حساب B1:

مقدار المعامل cm نعتبره للامان 1،

$$p_{el} = \frac{\pi^2 EI^*}{(k_i L)} = \frac{\pi^2 (2/1)(10^6)(30820)}{[1(120)]^2} = 44360 ton$$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - P_u / p_{el}} \geq 1$$

$$= \frac{1}{1 - (8/94)/(44360)}$$

$$= 1$$

حساب B2:

من اجل حساب B2 نحن بحاجة إلى حساب P_{story} و Pe_{story}

ألف: حساب P_{story}:

مساحة ومحيط الطابق :

$$A_{story} = 810 m^2 \quad l_{story} = 117 m$$

P_{story} مجموع الأحمال الرأسية للطوابق عند مستوى الطابق الثاني والتي تحسب من تركيب الاحمال التالي:

$$(1/2 + 0/6AI)D + \rho E + 0/5L + 0/2S$$

$$P_{story} = 810\{[1/2 + 0/6(0/35)(1)] \times [330 + 2(415)] + 0 + 0/5(2)(200) + 0/2(100)\}$$
$$+ [1/2 + 0/6(0/35)(1)] \times [260(2)(117)]$$

$$p_{story} = 1589 ton$$

ب حساب Pe_{story} :

القص الكلي للطابق وفق الشكل يساوي H=90 t وباعتبار الانتقال النسبي المرن من المرتبة الاولى يساوي 0.44 cm وارتفاع الطابق 375سم :

$$R_M = 1 - 0/15\frac{P_{mf}}{P_{story}} = 1$$

$$P_{estory} = R_M \frac{HL}{\Delta H} = (1)\frac{90(375)}{0/44} = 76704ton$$

وبالتالي:

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{P_{story}}{P_{estory}}} \geq 1$$

$$= \frac{1}{1 - \frac{1(1589)}{76704}} \geq 1$$

$$= 1/02$$

القوى المحورية التصميمة للجائز الرابط مع أخذ أثار المرتبة الثانية:

$$p_u = p_{nt} + B_2 P_{lt}$$

$$P_u = (1/2 + 0/6AI)P_D + B_2\rho P_E + 0/5P_L + 0/2P_s$$

$$P_u = [1/2 + 0/6(0/35)(0/1)](3/36) + 1/02(1/2)(2/5) + 0/5(2/4) + 0/2(0/0)$$

$$= 9ton$$

وباعتبار أن B1=1 أي عزم الانعطاف التصميم لا يشدد من قبل الفعل $P-\delta$ لذلك عزم الانعطاف التصميم النهائي للجائز الرابط هو :

$$M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt}$$

$$M_u = (1/2 + 0/6AI)M_d + 0/5M_L + 0/2M_S + b_2\rho M_E$$

$$= [1/2 + 0/6(0/35)(1)](2) + 0/5(1/33) + 0/2(0) + 1/02(1/2)(23/3) =$$

$$32ton.m$$

4- التحقق من اكتناز الجائز الرابط:

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{30}{2(2/05)} = 7/32$$

$$\lambda_{hd} = 0/30\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0/3\sqrt{\frac{2/1(10^6)}{3515}} = 7/33$$

$$\lambda_f \prec \lambda_{hd} \quad ok$$

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = \frac{32-2(4/75)}{1/15} = 19/57$$

$$C_a = \frac{P_u}{\varphi_b P_y} = \frac{P_u}{0/9F_y A_g} = \frac{9(10^{3)}}{0/9(3515)(161)} = 0/017 \quad C_a \prec 0/125$$

$$\lambda_{hd} = 2/45\sqrt{\frac{E}{F_y}}(1-0/93C_a) = 2/45\sqrt{\frac{2/1(10^6)}{3515}}\left[1-0/93(0/017)\right] = 59$$

$$\lambda_w \prec \lambda_{hd} \quad ok$$

5- حساب المقاومة القصية للجائز الرابط:

المقاومة القصية الأسمية للجائز الرابط V_n تساوي الأصغر بين مقدارين (حالة التسليم القصي والانعطافي):

ألف) خضوع قصي: $V_n=V_p$

$$P_c = P_y = F_y A_g = 3515(161) = 566ton$$

$$\frac{P_u}{P_C} = \frac{9}{566} = 0/016 \prec 0/15$$

في حالة الخضوع القصي إذا كان $\frac{P_u}{P_e} \prec 0.15$ يمكن غض النظر عن اثر القوى المحورية:

$$v_p = 0/6F_y A_w$$

حيث هنا:

$$A_w = (d_b - 2t_f)t_w = [32 - 2(2/05)(1/15) = 32/08cm^2$$

بناء على ذلك تكون المقاومة القصية الأسمية للجائز الرابط في حالة الخضوع القصي:

$$V_n = V_p = 0/6(3515)(32/08) = 67/65ton$$

ب) الخضوع الانعطافي $V_n = \frac{2M_p}{e}$:

$$M_p = F_y z = 3515(2065) = 72/58ton.m$$

$$V_n = \frac{2M_p}{e} = \frac{2(72/58)}{1/20} = 121ton$$

أصغر قيمة بين حالتي الخضوع:

$$V_n = Min\left\{\frac{2M_p}{e}, V_p\right\} = Min\{121ton, 67/65ton\} = 67/65ton$$

$$\varphi_v v_n = 0/9(67/65)$$

$$= 61ton > V_u = 47ton\ ok$$

6- التحقق من زاوية الدوران اللدن للجائز الرابط:

زاوية الدوران اللدن للجائز الرابط نسبة لأجزاء الجائز المتبقية مهمة جدا لتحقيق السلوك المستقر اللدن، بناء على يجب تحديد سلوك الجائز الرابط وذلك من تحديد طوله والذي هو مرتبط بالقيمة $\frac{M_p}{V_p}$.

$$e = x\frac{M_p}{V_p} \Rightarrow X = \frac{V_p e}{M_p}$$

$$\frac{V_p e}{M_p} = \frac{67/65(1/20)}{72/58} = 1/11 < 1/6$$

القيم الأصغر من 1.6 تشير إلى أن سلوك الجائز الرابط هو قصي.

الانتقال النسبي غير المرن للطابق باعتبار الانتقال النسبي المرن δ_{xe} وباعتبار معامل تكبير الانتقال:

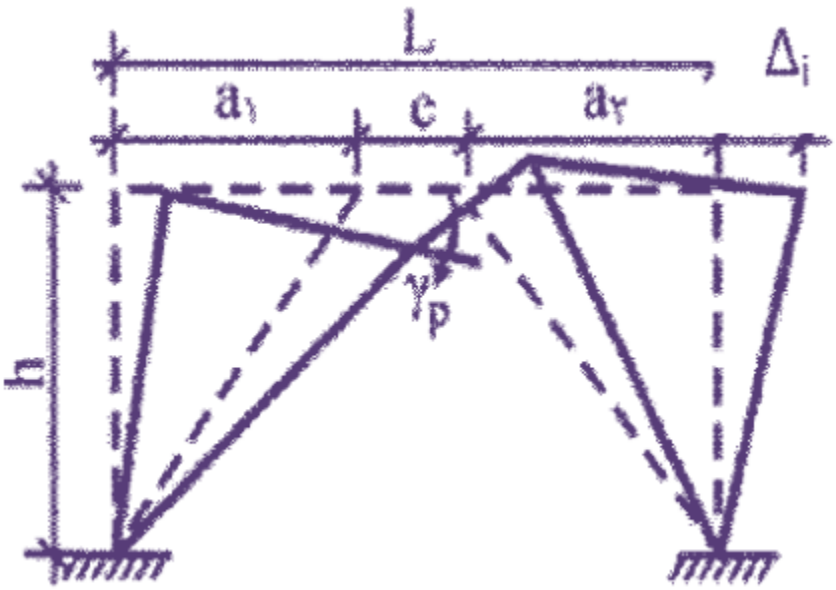
$$\delta_x = C_d \delta_{xe} = 4(0/44) = 1/76cm$$

زاوية دوران اللدن للجائز الرابط مع أخذ السهم غير المرن للانتقال النسبي للطابق :

$$\Delta_p = \delta_x - \delta_{xe} = 1/76 - 0/44 = 1/32cm$$

وفق الكود: الدوران الأعظمي اللدن للجائز الرابط نسبة إلى الاجزاء المتبقية في حالة الخضوع القصي لايجب أن تكون أكبر من 0.08 راديان.

$$\gamma_p = \left(\frac{L}{eh}\right)\Delta_p = \frac{900(1/32)}{120(375)} = 0/026rad < 0/08rad \ ok$$



7- تحديد مقاومة الضغط المحورية للجائز الرابط:

$$\frac{KL}{r_y}=\frac{1(120)}{7/57}=15/85$$

$$\frac{KL}{r_y}<4/71\sqrt{\frac{E}{F_y}}=4/71\sqrt{\frac{2/1(10^6)}{3515}}=115$$

لأن $15/85<115$ التحنيب غير المرن هو الحاكم:

$$F_e=\frac{\pi^2E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}=\frac{\pi^2(2/1)(10^6)}{(15/85)^2}=82501kg/cm^2$$

$$F_{cr}=\left[0/658^{\frac{F_y}{F_e}}\right]F_y=\left[0/658^{\frac{3515}{82501}}\right](3515)=3453kg/cm^2$$

$$\varphi_c p_n=\varphi_c F_{cr}A_g$$
$$=0/9(3453)(161)$$
$$=500ton>p_u=8/29ton\ ok$$

8- تحديد المقاومة العزمية الانعطافية للجائز الرابط:

باعتبارنا ندرس الحالة الحدية الحاكمة اذا يجب تحديد طول المفصل اللدن:

$$L_p=1/76r_y\sqrt{\frac{E}{F_y}}=1/76(7/57)\sqrt{\frac{2/1(10^6)}{3515}}=325cm$$

$$L_b=e=120cm<L_p$$

ولان الطول غير المربط للجائز أصغر من طول المفصل اللدن L_p . الحالة الخضوعية سوف تقع:

$$M_n = M_p = F_y z_x$$
$$= 3515(2065) = 72/58 ton.m$$
$$\varphi_b M_n = 0/9(72/58)$$
$$= 65/32 ton.m > 32 ton.m \ ok$$

9- أثر الضغط اللامركزي:

$$\frac{P_u}{P_c} = \frac{9}{500} = 0/018 < 0/2$$
$$\frac{P_u}{2p_c} + \left(\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}}\right) \le 1$$
$$\frac{0/018}{2} + \left(\frac{32}{65/32} + \circ\right) = 0/50 < 1 \ ok$$

10- السند الجانبي للجائز الرابط:

وفق الكود يجب أن يكون هناك دعامات جانبية في نهايتي الجائز الرابط في الأجنحة العلوية والسفلية بغرض تحتيم وقوع الخضوع القصي قبل وقوع التحنيب الفتلي الجانبي ، هذه الدعامات بالإضافة إلى توفير الصلابة الكافية يجب ان تتحمل القوى التالية (شد وضغط):

$$P_{br} = \frac{0/06 R_y F_y z_b}{h_\circ} = \frac{0/06(1/2)(3515)(2065)}{(32-2/05)} = 17/45 ton$$

وعلى أساس الملحق 6 في AISC360-10 الصلابة المطلوبة من الدعامات هي:

$$\beta_{br} = \frac{1}{\varphi}\left(\frac{10 M_u C_d}{L_b h_\circ}\right)$$

$$\varphi = 0/75 \ , C_d = 1 \ \ L_b = e = 120 cm \ \ h_\circ = d - t_f = 29/95 cm$$
$$M_u = R_y F_y z = 1/2(3515)(2065) = 87/1 ton.m$$

في العلاقة السابقة C_d هي معامل الانحناء ومقداره من أجل انحناء طرف واحد يساوي الواحد :

$$\beta_{br} = \frac{10(87/1)(1)}{0/75(120)(29/95)} = 32/36 ton/cm$$

اذا يجب أن يتوفر في الدعامات العلوية المقاومة والصلابة المذكورتين.

11- التحقق من دعامات الجائز الرابط:

ألف) الدعامات النهائية:

عند كلا النهايتين وعند اتصال شبكات التربيط مع الجائز الرابط يجب توفر زوج دعامات عرضية على كامل ارتفاع الجسد ومن الطرفين، تحدد ابعاد هذه الدعامات:

$$w_{\min} = \frac{b_f - 2t_w}{2} = \frac{30 - 2(1/15)}{2} = 13/85 cm$$

$$t_s \geq \max\{0/75t_w = 0/86cm, 1cm\} = 1cm \Rightarrow use\ PL140\times10mm$$

ب) الدعامات الوسطية:

الدعامات الطرفية للجائز الرابط تعتمد على نوع سلوك الجائز الرابط. وباعتبار سلوك الجائز الرابط هو سلوك قصي وزاوية الدوران اللدن محدودة بين $0.02rad \leq \gamma_p = 0.026 \leq 0.08rad$ وبالتالي ستكون البتاعدات بين الدعامات الطرفية كمايلي:

$$s \leq (60 - 367\gamma_p)t_w - \frac{d_b}{5}$$

$$\leq [60 - 367(0/026)](1/15) - \frac{32}{5}$$

$$\leq 51/62$$

ووفق الكود يجب أن تكون الدعامات الوسطية بارتفاع أقل من $d = 32cm \prec 60cm$ فيمكن بصورة أحادية وفي جهة واحدة للجائز الرابط تعبئته. وبذلك يكون $PL140\times10mm$ في اتجاه واحد لجسد الجائز الرابط الرابط.

12- تصميم لحام الدعامات:

اتصال الدعامات العرضية بالجسد وبالاجنحة للجائز الرابط سيكون عبر لحام. اتصال الدعامات بالجسد يجب ان يحسب من اجل قوة $A_{st}F_y$.

اتصال الدعامات بكل جناح للجائز الرابط يجب ان تصمم على $\frac{1}{4}A_{st}F_y$ (Fy اجهاد خضوع فولاذ الدعامة A_{st} مساحة مقطع الصفائح كل من الدعامات)

مقاومة اللحام الزاوي المطبق من الكترود E70 $F_{ue}=4900kg/cm^2$ معامل اللحام الزاوي B=0.75 ومعامل تخفيض المقاومة $\varphi=0.75$:

$$\varphi R_n=\varphi\left(\beta F_{nw}A_{we}\right)=0/75(0/75)(0/6F_{ue})(0/707al_w)=1170al_w$$

ألف) اتصال الدعامات بالجسد:

وجود اللحام الزاوي في خطين من أجل وصل الدعامات مع الجسد ضروري. إذا فرضنا بأبعاد 6 سم في اتجاه الجسد، في هذه الصورة بعد اللحام يحسب كمايلي:

$$a=\frac{A_{st}F_y}{2(1170)[d-2t_f-2(clip)}=\frac{14(1)(2530)}{2(1170)[32-2(2/05)-2(6)]}=0/95cm\Rightarrow a=10mm$$

ب) اتصال الدعامات بالجناح:

وجود لحام زاوي في كلا الخطين من اجل اتصال الدعامات بالجناح ضروري جدا. اذا فرضنا البعد 3cm في امتداد الجناح فيكون عمق اللحام المطلوب:

$$a=\frac{\frac{1}{4}A_{st}F_y}{2(1170)(w-clip)}=\frac{\frac{1}{4}(14)(1)(2530)}{2(1170)(14-3)}=0/34cm\Rightarrow a=5mm$$

وبناء على ذلك سيكون المقطع المفروض مناسب للعمل كجائز رابط

مسألة 2:

بالعودة إلى الجائز BM1 هل المقطع IPB320 بالمواصفات $F_u = 4570kg/cm^2,\ F_y = 3515kg/cm^2$ كافي كجائز خارج حدود الجائز الرابط، أو لا؟

الاحمال الداخلة على أساس الحساب من المرتبة الأولى :

$$P_D = 0/46 \quad P_L = 0/32ton \quad P_E = 47/62ton$$
$$V_D = 3/1ton \quad V_L = 2/2ton \quad V_E = 3/95ton$$
$$M_D = 2/35ton.\text{m} \quad M_L = 1/56ton.m \quad M_E = 15/6ton.m$$

نفرض مقطع العمود IPB340 ومقطع شبكات التربيط IPB320

الحل:

1- مواصفات الجائز خارج حدود الجائز الرابط:

$$d = 32cm\ ,\ t_f = 2/05cm\ ,\ t_w = 1/15cm,\ r_y = 7/57cm\ ,\ S_X = 1930cm^3$$
$$b_f = 30cm,\ A_g = 161cm^2\ ,\ z_x = 2065cm^3\ ,\ I_X = 30820cm^4,\ j = 233cm^4$$

2- تعيين القوى والعزم التصميمي خارج حدود الجائز الرابط:

من اجل تصميم الجائز خارج حدود الجائز الرابط، القص والعزم عند نهاية الجائز الرابط تعطى بالعلاقة:

$$v_{ult} = 0/88(1/25)R_y v_n = 1/1R_y v_n$$
$$M_{ult} = \frac{eV_{ult}}{2}$$

المقاومة القصية الاسمية للجائز الرابط من المثال السابق تساوي 67.65طن

$$V_{ult} = 1/1(1/2)(67/65) = 89/30 ton$$

$$M_{ult} = \frac{1/20(89/30)}{2} = 53/60 ton.m$$

شكل وهندسة شبكات التربيط ونصف الجائز ونصف الجائز الرابط موضحة في الشكل 4.

الجائز خارج حدود الجائز الرابط وبالاستفادة من طريقتي معامل التوزيع ومعامل التشديد:

ألف) طريقة معامل التوزيع:

القوى المحورية للجائز خارج حدود الجائز الرابط على اساس قوى القص النهائية في الجائز الرابط وبأخذ العزم حول النقطة o يحسب كمايلي:

$$P_E = \frac{V_{ult} L}{2H} = \frac{89/30(9)}{2(3/75)} = 107 ton$$

من اجل تحديد نسبة مشاركة العزم خارج حدود الجائز الرابط وبين اتصال شبكات التربيط حيث فُرض سلفا أن شبكات التربيط تكون وثاقة مع الجائز الرابط. لذلك عزم الانعطاف عند نهاية الجائز الرابط 53.60t يجب ان يكون موزع بين شبكات التربيط والجائزخارج حدود الجائز الرابط.

حصة عزم الانعطاف خارج حدود الجائز الرابط على أساس الصلابة بين العناصر، لذلك سوف نحسب كما ذكرنا الصلابة EI\L من معامل المرونة في كل عنصر وبسبب تساويه في العنصرين سوف نصرف النظر عنه. وبالتالي سوف نوجد حصة العزم لأجزاء الجائز المتبقية كمايلي:

$$L_{br} = \sqrt{375^2 + 390^2} = 541cm, L_{bol} = 390cm$$

$$\frac{\frac{l_{bol}}{L_{bol}}}{\frac{I_{bol}}{L_{bol}} + \frac{I_{br}}{L_{br}}} = \frac{\frac{30820}{390}}{\frac{30820}{390} + \frac{30820}{541}} = 0/58$$

وبالتالي أجزاء الجائز ياخذ 58 % من قيمة العزم عند نهاية الجائز الرابط:

$$M_{bot} = 0/58 M_{ult}$$
$$= 0/58(53/60)$$
$$= 31 ton.m$$

قوة القص خارج الجائز الرابط :

$$V_{bot} = \frac{M_{bot}}{L_{bot}} = \frac{31}{3/9} = 8ton$$

ب) طريقة معامل التشديد:

طريقة أخرى لحساب الأفعال خارج حدود الجائز الرابط، وهي طريقة معامل التشديد. معامل التشديد يحسب من تقسيم المقاومة القصية في نهاية الجائز الرابط على المقاومة القصية للجائز الرابط الناتجة من أثر الحمولة الزلزالية الكودية.

هذا المعامل، يرفع قيم القوى في العناصر المتبقية للإطار على أساس التحليل الزلزالي .

إذا كانت قوى القص للجائز الرابط الناتجة من نتائج التحليل الحاسوبي للزلزال $V_{E(link)}$ =38 t وبهذه الصورة يمكن حساب معامل التشديد كمايلي:

$$\alpha = \frac{1/1 R_y v_n}{V_{E(link)}} = \frac{89/30}{38} = 2/3\ 5$$

عزم الانعطاف لأجزاء الجائز على أساس قوة القص القص عند نهاية الجائز الرابط:

$$M_{Eq} = 2/35 \mathrm{M}_E = 2/35(15/6) = 36/66 \mathrm{ton.m}$$

القوى المحورية لاجزاء الجائز على أساس قوة القص عند نهاية الجائز الرابط:

$$P_{Eq} = 2/35 P_E = 2/35(47/62) = 112 ton$$

القص عند باقي الجائز الرابط على أساس قوى القص عند نهاية الجائز الرابط:

$$V_{Eq} = 2/35 V_E = 2/35(3/95) = 9/28 ton$$

في هذا المثال استفدنا من طريقة معامل تشديد لاجل تحديد القوى التصميمة. ومن هنا نحدد القوى الزلزالية خارج أجزاء الجائز الرابط، وبناء على ذلك نحن لسنا بحاجة إلى معامل إضافة المقاومة اوميغا من اجل حمل الزلازل.

اجزاء الجائز يجب ان تصمم على أفعال الزلازل وعلى أفعال الرأسية:

القوى المحورية التصممية للجائز خارج حدود الرابط:

$$P_u = (1/2 + 0/6AI)P_D + P_{Eq} + 0/5P_L + 0/2P_s$$
$$= [1/2 + 0/6(0/35)(1)](0/46) + 112 + 0/5(0/32) + 0$$
$$= 113 \mathrm{ton}$$

عزم الانعطاف التصميمي لاجزاء الجائز:

$$M_u = (1/2 + 0/6AI)M_D + M_{Eq} + 0/5M_L + 0/2M_s$$
$$= [1/2 + 0/6(0/35)(1)](2/35) + 36/66 + 0/5(1/56) + 0$$
$$= 14/75 ton.m$$

3- التحقق من العرض إلى السماكة:

وفق الكود يجب ان يكون المقطع مكتنز ومطاوعية متوسطة ويحقق علاقة النحافة λ_{md} ، وباعتبار ان مقطع الجائز خارج حدود الجائز الرابط هو نفسه مقطع الجائز الرابط قلا داعي لتحقيق التحنيب الموضعي.

علما انه تم تحقيق نسبة العرض إلى السماكة للجائز الرابط من اجل المطاوعة العالية في المثال السابق λ_{hd} .

4- تحديد طول غير المدعم للجائز خارج حدود الجائز الرابط:

وفق المثال السابق كلا نهايتي الجائز الرابط مدعمة. إذا فرضنا عمق العمود 34 سم ، طول غير المدعم للجائز خارج الجائز الرابط حتى العمود تحدد كمايلي:

$$L_b = \frac{L - e - 2\left(\frac{d_c}{2}\right)}{2} = \frac{900 - 120 - 2\left(\frac{34}{2}\right)}{2} = 373cm$$

5- اثار المرتبة الثانية:

$$M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt}$$
$$P_u = P_{nt} + B_2 P_{lt}$$

حساب B1:

المقدار Cm للإمان يساوي 1 ومن طريقة معامل الطول المؤثر من أجل التصميم الثابت:

$$P_{e1}=\frac{\pi^2 EI^*}{(k_1L)^2}=\frac{\pi^2(2/1)(10^6)(30820)}{[1(373)]^2}=4591ton$$

$$B_1=\frac{C}{1-P_u/P_{e1}}$$

$$=\frac{1}{1-(113)/(4591)}$$

$$=1/025$$

عزم الانعطاف التصميمي خارج حدود الجائز الرابط مع اخذ اثر B1 :

$$M_u=B_1(1/2+0/6AI)M_D+B_1(0/5M_L)+B_1(0/2M_s)+M_{Eq}$$

$$=1/025[1/2+0/6(0/35)(1)(2/35)+1/025(0/5)(1/56)+1/025(0/2)(0)+36/66$$

$$=40/85ton.m$$

6- تحديد مقاومة الضغط المحورية خارج الجائز الرابط:

$$\frac{kL_b}{r}=\frac{1(373)}{=7/57}=49$$

$$\frac{kL_b}{r}<4/71\sqrt{\frac{E}{R_yF_y}}=4/71\sqrt{\frac{2/1(10^6)}{1/2(3515)}}=105$$

ولأن 49 أصغر من 105 اذا التحنيب غير المرن هو الحاكم.

$$F_e=\frac{\pi^2E}{\left(\frac{KL_b}{r}\right)^2}=\frac{\pi^2(2/1)(10^6)}{(49)^2}=8631kg/cm^2$$

$$F_{cr}=[0/658^{\frac{R_yF_y}{Fe}}]R_yF_y=[0/658^{\frac{1/2(3515)}{8631}}](1/2)(3515)=3437kg/cm^2$$

$$\varphi_cP_n=\varphi_cF_\sigma A_g$$

$$=0/9(3437)(161)$$

$$=498ton>P_u=113ton\ ok$$

7- تحديد المقاومة العزمية الانعطافية للجائز خارج حدود الجائز الرابط:

L_p حدود حالة الخضوع الحدي وحالة التحنيب الفتلي الجانبي غير المرن:

$$L_p=1/76r_y\sqrt{\frac{E}{R_yF_y}}=1/76(7/57)\sqrt{\frac{2/1(10^6)}{1/2(3515)}}=297cm$$

L_r الحد بين حالتي حديتين التحنيب الفتلي الجانبي غير المرن والمرن:

$$L_r=1/95r_{is}\frac{E}{0/7R_yF_y}\sqrt{\frac{jc}{S_xh_\bullet}+\sqrt{\left(\frac{Jc}{S_xh_\bullet}\right)^2+6/76\left(\frac{0/7R_yF_y}{E}\right)^2}}$$

$$=1/95(8/31)\frac{2/1(10^6)}{0/7(1/2)(3515)}\sqrt{\frac{233(1)}{1930(29/95)}+\sqrt{\left(\frac{233(1)}{1930(29/95)}\right)^2+6/76\left(\frac{0/7(1/2)(3515)}{2/1(10^6)}\right)^2}}$$

$$=1120cm$$

$$h_\bullet=d-t_f=29/95cm\ ,\ c=1\ ,r_{is}=\frac{b_f}{\sqrt{12\left(1+\frac{1ht_w}{6b_ft_f}\right)}}=8/31cm$$

$$L_b=373cm\quad L_P<L_b<L_r=1120$$

تحنيب الفتلي – الجانبي غير المرن هو الحاكم:

$$M_P = R_y F_y z_x = 1/2(3515)(2065) = 87 ton.m$$

$$M_n = C_b[M_P - (M_P - 0/7 R_y F_y S_x)\left(\frac{L_b - L_P}{L_r - L_P}\right)] \le M_p$$

$$= 1[87 - (87 - 0/7(1/2)(3515)(1930\times10^{-5})(\frac{373-297}{1120-297})]$$

$$= 84/3 ton.m < M_p = 87 ton.m$$

$$\varphi_b M_n = 0/9(84/3) = 75/87 ton.m$$

8- الضغط اللامركزي:

$$\frac{P_u}{P_C} = \frac{113}{498} = 0/23 > 0/2$$

$$\frac{P_u}{P_c} + \frac{8}{9}(\frac{M_{ux}}{\varphi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\varphi_b M_{ny}}) \le 1$$

$$0/23 + \frac{8}{9}(\frac{40/85}{75/87} + 0) = 0/71 < 1 \; o.k$$

9- التحقق من مقاومة القص للجائز:

$$\frac{h_\cdot}{t_w} = \frac{32 - 2(4/75)}{1/15} = 19/5 < 2/24\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} = 50 \Rightarrow \varphi_v = 1 \;\; c_v = 1$$

$$v_n = 0/6 R_y F_y A_w c_v = 0/6(1/2)(3515)(32)(1/15)(1) = 93 ton$$

$$\varphi_v V_n = 1(93) = 93 ton > V_u = 14/75 ton \; ok$$

اذا يصلح المقطع للعمل خارج حدود الجائز الرابط.