

المنشآت المعدنية الفصل الصيفي 2024-2025

أ.د. نايل محمد حسن

- ✓ المحاضرة الأولى-الثانية : مفاهيم أساسية
- ✓ المحاضرة الثالثة: أساسيات المنشآت الفولاذية
- المحاضرة الرابعة: العناصر الخاضعة للشد المركزي

المحاضرة الرابعة: العناصر الخاضعة للشد المركزي

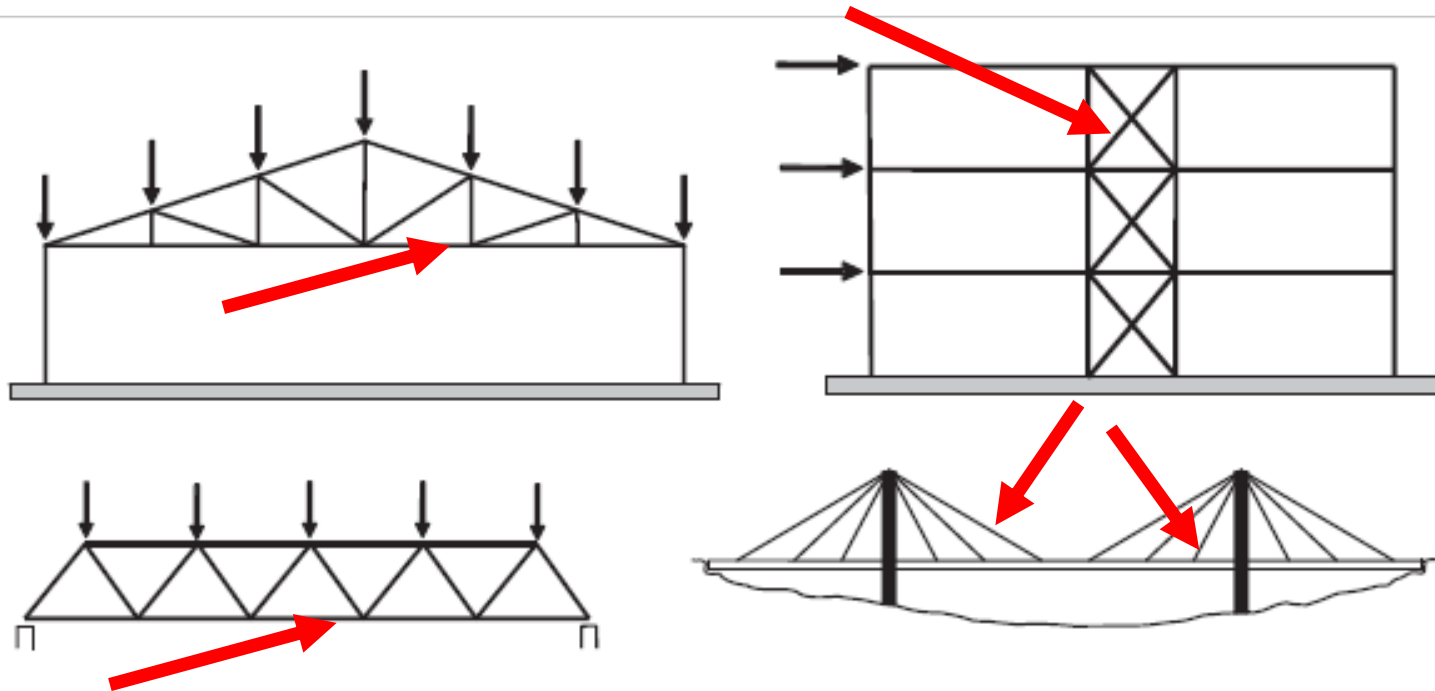
Tension Members (عناصر الشد)

2-1- مقدمة

- تعتبر العناصر التي تخضع لقوى شادة مؤثرة مركزياً **أبسط العناصر الإنشائية**،
- تكون نظرياً في حالة **إجهاد محوري منتظم**، ولذلك تسمى عناصر الشد.
- في هذه الحالة، يكون سلوك القوة – تشوه مشابه بشكل كبير لسلوك **الإجهاد – تشوه للفولاذ الإنشائي** الذي يتم الحصول عليه من نتائج اختبارات الشد
- خلال التحميل يبقى العنصر بشكل أساسي **خطي ومرن** حتى يتم الوصول إلى **حمولة الخضوع** العامة، حتى لو كان لديه إجهادات متبقية وتشوهات أولية.

2-1- مقدمة

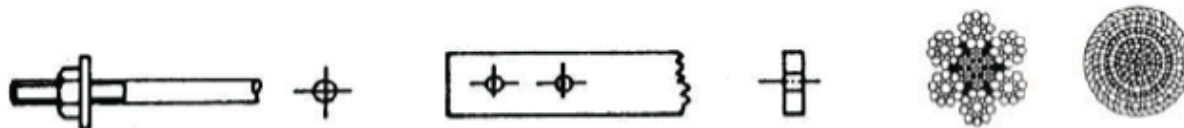
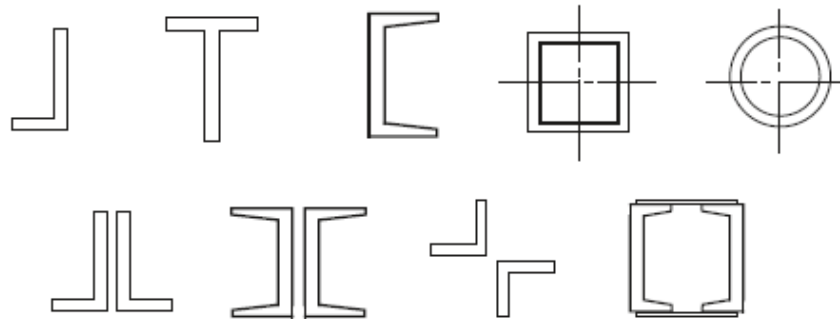
- في كثير من الحالات لاتخضع عناصر الشد لقوى مركزية، ويمكن أن **تخضع لحمولات عرضية**، تنتج أفعال (جهود) انعطاف وأيضاً أفعال شد محورية.
- تهمل **إجراءات التصميم البسيطة أفعال الانعطاف** في بعض العناصر التي تملك اتصالات لامركزية، لكن بصفة عامة يجب أخذ أفعال الانعطاف بالاعتبار في التصميم.
- تملك عناصر الشد غالباً إجهادات متوسطة عالية نسبياً، وفي بعض الحالات تكون **تأثيرات تركيز الإجهادات الموضعية كبيرة**
- يجب في مثل هذه الحالات أن يتم تقليل آثار تركيز الجهدات،
- ويجب تقدير الإجهادات الموضعية **الأعظمية وأخذها بالاعتبار**.



انشاءات تحوي عناصر شد Structures with some members in tension

المقاطع العرضية
لعناصر الشد

Typical cross sections
of members in tension



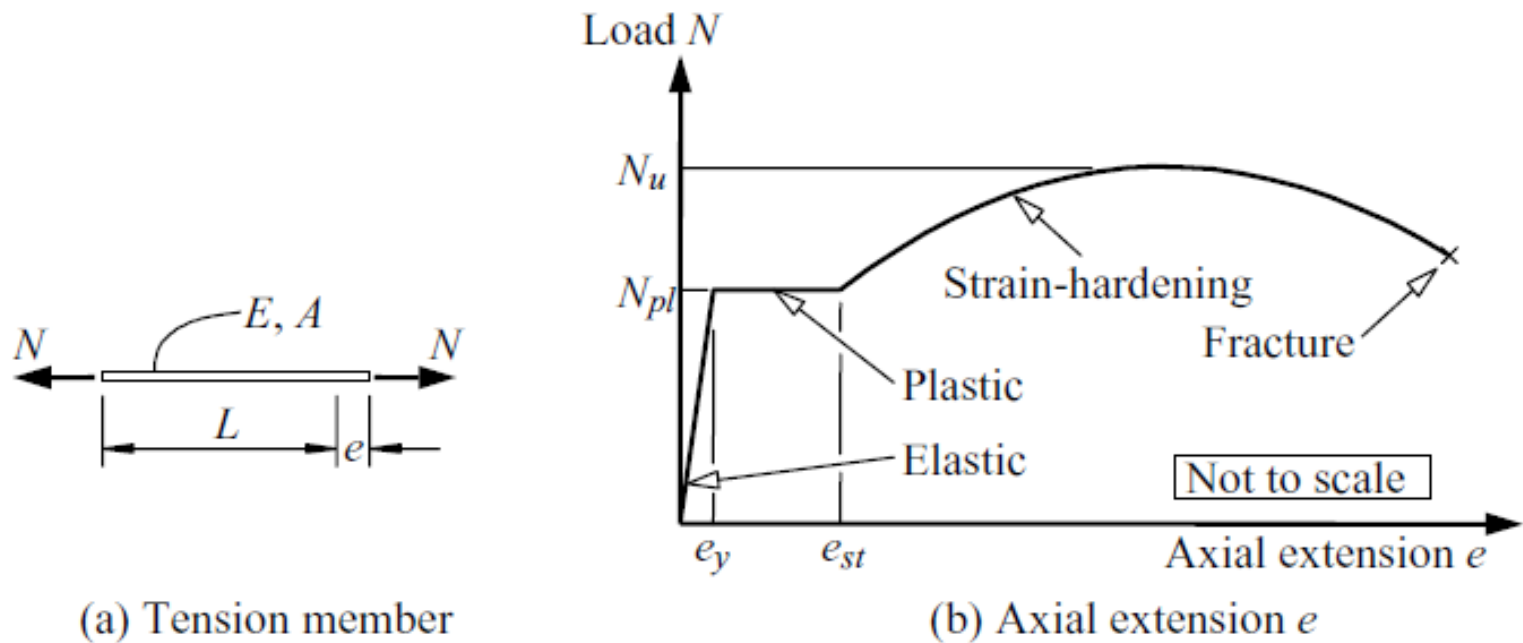
2-2- عناصر الشد المحملة مركزياً Concentrically loaded tension members

1-2-2 العناصر من دون ثقوب Members without holes

2-2-2 العناصر ذات ثقوب كبيرة Members with significant holes

1-2-2 العناصر من دون ثقوب Members without holes

يبين الشكل عنصر شد فولاذي لا يحوي ثقوب ولا يملك إجهادات متبقية
محمل بشكل مركزي



تكون علاقة التطاول المحوري e للعنصر المتعلقة بـ N مشابهة لعلاقة التشوه المتوسط $\varepsilon = e/L$ المتعلقة بـ الإجهاد المتوسط $\sigma = N/A$ هكذا **يزداد التطاول في البداية بشكل خطي** مع الحمولة وهو يساوي

$$e = \frac{NL}{EA}, \quad (2.1)$$

حيث E عامل يونغ للمرونة. يستمر هذا التزايد الخطي حتى يتم الوصول **لإجهاد الخضوع لل فولاذ f_y** عند حمولة الخضوع (الدونة) التالية:

$$N_{pl} = Af_y \quad (2.2)$$

يزداد التطاول دون زيادة بالحمولة (أو عند زيادة صغيرة جداً) **وتبدأ مرحلة التصلب التشوهي**. بعد ذلك، تزداد الحمولة ببطء حتى يتم الوصول إلى القيمة الأعظمية

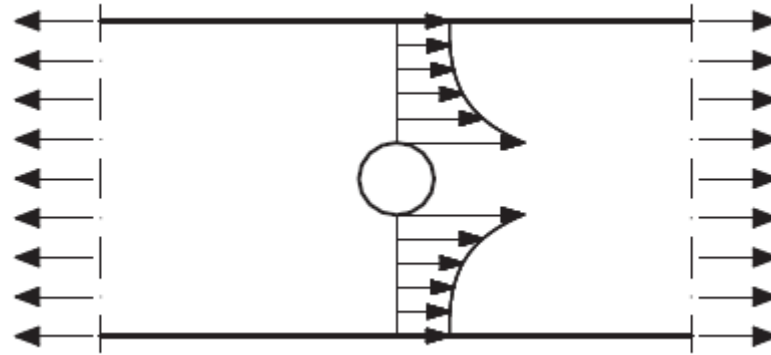
$$N_u = Af_u \quad (2.3)$$

(بعد ذلك يظهر **يضيق (يظهر عنق) المقطع العرضي موضعياً** وتتناقص الحمولة N حتى يحدث الانقطاع.)

- يوصف سلوك عنصر الشد بأنه **مطاوع**،
- أي أنه يصل لحمولة الخضوع العامة ويحافظ عليها في الوقت الذي تحدث فيه **تطاولات كبيرة قبل أن يتم الانقطاع**.
- عادة تعرف حمولة الخضوع N_{pl} بأنها **الحمولة التصميمية** (قدرة التحمل التصميمية) للعنصر.

3-2-2 العناصر ذات ثقوب كبيرة Members with significant holes

عندما تكون الثقوب كبيرة، يمكن للعنصر أن ينهار قبل الوصول
لحمولة الخضوع الكلية N_{pl} بسبب التمزق عند الثقب كما هو مبين في
الشكل



تركيز الاجهادات عند الثقب
Concentration of tension next to hole

تحسب حمولة الانقطاع (التمزق) الموضعي N_u :

$$N_u = A_{net} f_u \quad (2.4)$$

على **المساحة الصافية** من المقطع العرضي A_{net} مقاسة بشكل عمودي على خط عمل القوة، وتعطى بالعلاقة:

$$A_{net} = A - \sum d_0 t, \quad (2.5)$$

- d_0 قطر الثقب،
- t سماكة العنصر عند الثقب،
- ويجري **المجموع** لكل الثقوب في المقطع العرضي المدروس.
- تحسب حمولة الانقطاع (التمزق) N_u تبعاً للمقطع العرضي الأضعف،
- وبالتالي حسب **المساحة الصافية الصغرى** A_{net} .
- يكون العنصر الذي ينهار بالانقطاع قبل الوصول لحمولة الخضوع الكلي **غير مطاوع**، ويكون هناك تحذير قليل بالانهيار.

3-2 تصميم عناصر الشد Design of tension members

1-3-2 عناصر الشد المحملة مركزياً *Concentrically loaded*

تتبع طريقة تصميم المقاومة لعناصر الشد المحملة مركزياً في كود EC3، حيث تمثل حالتها الحد المنفصلتين لخضوع المقطع الكلي وانهيار المقطع الصافي بمعادلة واحدة هي:

$$N_{t,Ed} \leq N_{t,Rd}$$

- يتم الحصول على **قوة الشد التصميمية** $N_{t,Ed}$ في كل مقطع عرضي من العنصر، من أجل تصميم أو تحقيق عنصر الشد، عن طريق **التحليل الإنشائي**،
- مع استخدام الحمولات المناسبة وعوامل الحمولة الجزئية γ_G, γ_Q

3-2 تصميم عناصر الشد Design of tension members

حيث $N_{t,Rd}$ مقاومة الشد التصميمية وهي تؤخذ القيمة الاصغر من:
مقاومة الخضوع (أو اللدنة) للمقطع العرضي $N_{pl,Rd}$
و المقاومة الحدية (أو الانهيار) للمقطع العرضي الحاوي على ثقوب $N_{u,Rd}$.

$$N_{t,Rd} = \min \{N_{u,Rd} \ N_{pl,Rd}\}$$

تعطى مقاومة الخضوع (حالة حد الخضوع) في كود $EC3$ كمايلي

$$N_{pl,Rd} = Af_y / \gamma_{M0}$$

حيث A المساحة الاجمالية للمقطع العرضي،

و γ_{M0} العامل الجزئي لمقاومة المقطع العرضي، وهو يأخذ القيمة 1.0 ، او حسب القيم المفروضة

3-2 تصميم عناصر الشد Design of tension members

تعطى **المقاومة الحدية** (حالة حد الانهيار) للمقطع العرضي

الحاوي على ثقوب للمعادلة في كود *EC3* كمايلي:

$$N_{u,Rd} = 0.9 A_{net} f_u / \gamma_{M2},$$

- حيث A_{net} هي المساحة الصافية للمقطع العرضي
- γ_{M2} عامل جزئي للمقاومة على الانهيار بالشد، وتعطى قيمته (حسب الملحق البريطاني) بـ 1.1 في كود *EC3*.
- يضمن العامل 0.9 في المعادلة أن العامل الجزئي الفعال $\gamma_{M2} / 0.9$ (≈ 1.22) لحالة حد انهيار المادة ($N_{u,Rd}$) هو أعلى من قيمة γ_{M0} ($=1.0$) لحالة حد الخضوع ($N_{pl,Rd}$).

تعرف $A_{net,eff}$ لزاوية مفردة على الشد متصلة بصف واحد من البراغي في ساق واحدة والتي ستستخدم مكان المساحة الصافية A_{net} في المعادلة 2.4. إنها تعتمد على عدد البراغي والخطوة p_1 ،

وتعطى المقاومة الحدية التصميمية بالعلاقات التالية $(N_u = A_{net,eff} f_u)$:

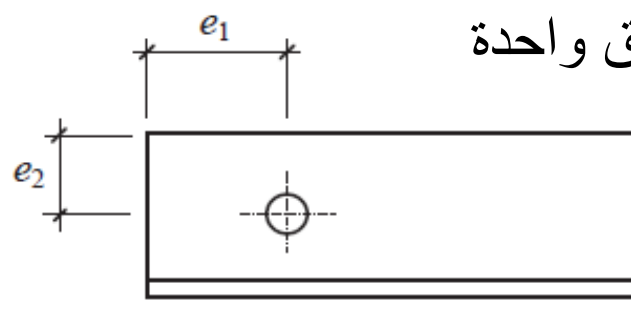
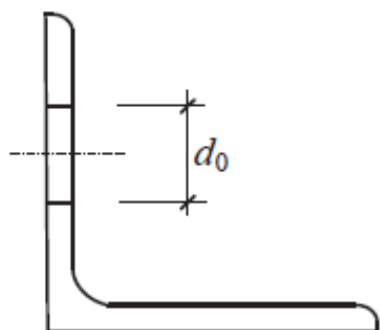
$$N_{u,Rd} = \frac{2.0(e_2 - 0.5d_0)t f_u}{\gamma_{M2}}; \quad (1 \text{ bolt}) \quad \text{من أجل برغي واحد}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}; \quad (2 \text{ bolts}) \quad \text{من أجل برغيين}$$

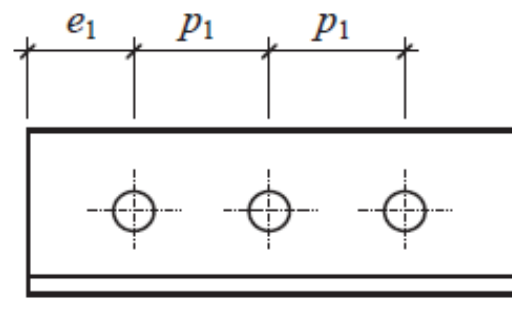
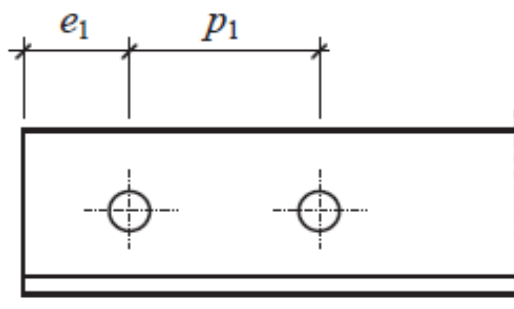
$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}. \quad (3 \text{ bolts or more}) \quad \text{من أجل 3 لراغي أو أكثر}$$

عوامل التخفيض β_2 β_3

Distance	p_1	$\leq 2.5 d_0$	$\geq 5.0 d_0$
2 bolts	β_2	0.4	0.7
3 bolts or more	β_3	0.5	0.7



زويا متصلة بساق واحدة



- تعرف الرموز الداخلة في المعادلات كما في الشكل،
- و A_{net} هي **المساحة الصافية للزاوية**.
- تؤخذ A_{net} للزاوية **مختلفة الساقين** والمتصلة **بالساق الأصغر**
- مساوية للمقطع الصافي لزاوية مكافئة **متساوية الساقين** طول ساقها مساو **للساق الأصغر** للزاوية المختلفة الساقين.
- عندما تكون وصلات النهاية **ملحومة**، وتكون الزاوية متساوية الساقين، أو الزاوية مختلفة الساقين متصلة بساقها الأكبر، يمكن إهمال اللامركزية،
- وتؤخذ المساحة الفعالة A_{net} مساوية للمساحة الكلية A

تنخفض مساحة المقطع العرضي للعديد من عناصر الشد الحاوية على أكثر من صف واحد من البراغي بواسطة تعرج صفوف الثقوب، الشكل أدناه

- يجب في هذه الحالة اخذ مسار الانهيار المتعرج zig-zag مثل ABCDE في الشكل، بدلاً من المقطع العمودي على الحمولة.
- يعتمد المقدار الأصغري للتعرج s_m الذي من أجله لاتنقص مساحة الثقب من مساحة العنصر، على قطر الثقب d_0 والميل p/s لمسار الانهيار،
- حيث p مقدار المسافة بين صفوف الثقوب. تعطى مسافة التعرج بعلاقة تقريبية هي:

$$s_m \approx (4pd_0)^{1/2}.$$

عندما تكون قيمة **مسافة التعرج الفعلية (S)** أقل من s_m ، يجب طرح جزء من مساحة الثقب A_h من المساحة الكلية A ، ويمكن حساب ذلك تقريبا من العلاقة:

ويمكن حساب ذلك تقريبا من العلاقة

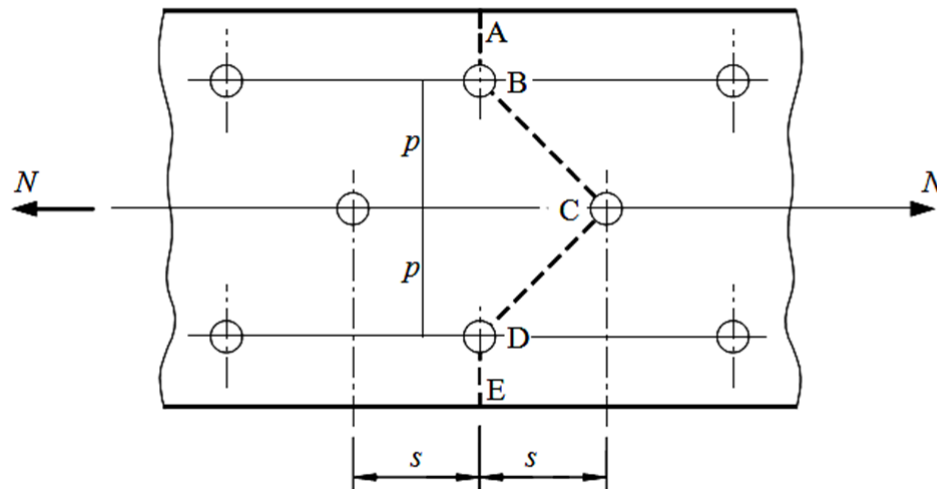
If $S < S_m$ -----> calculate A_h

$$A_h = d_0 t (1 - s^2 / s_m^2),$$

حيث:

$$A_h = d_0 t (1 - s^2 / 4 p d_0),$$

$$A_{net} = A - \sum d_0 t + \sum s^2 t / 4 p,$$



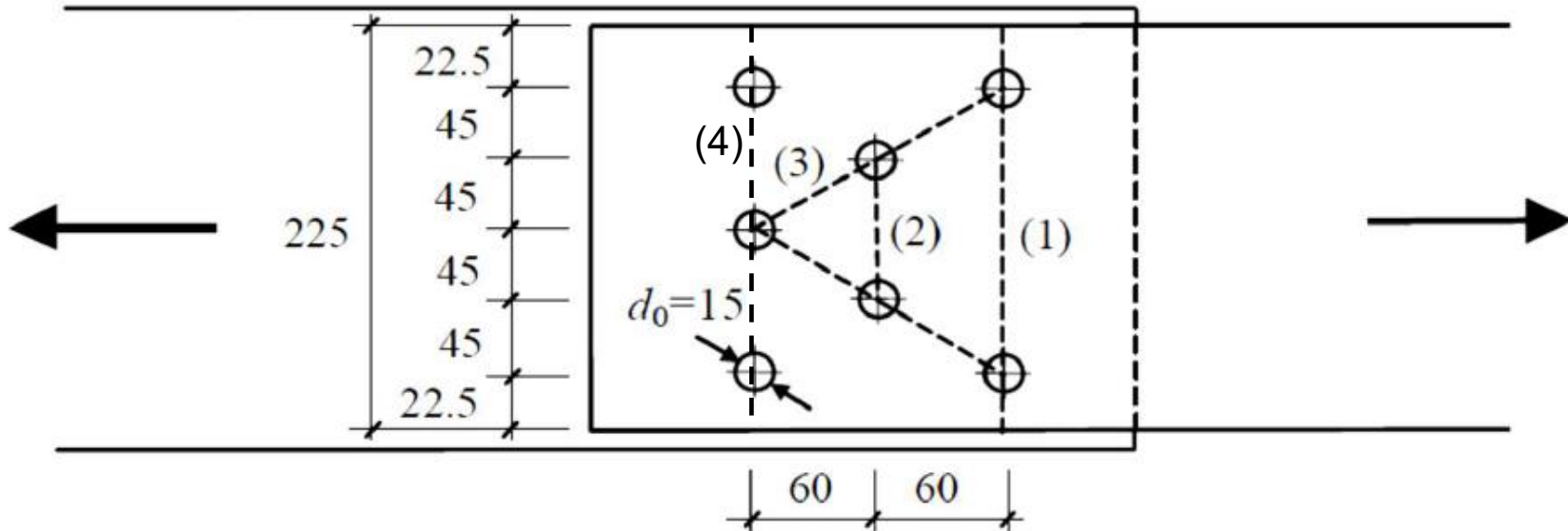
مسار الانهيار الممكن مع توضع ثقوب متعرجة

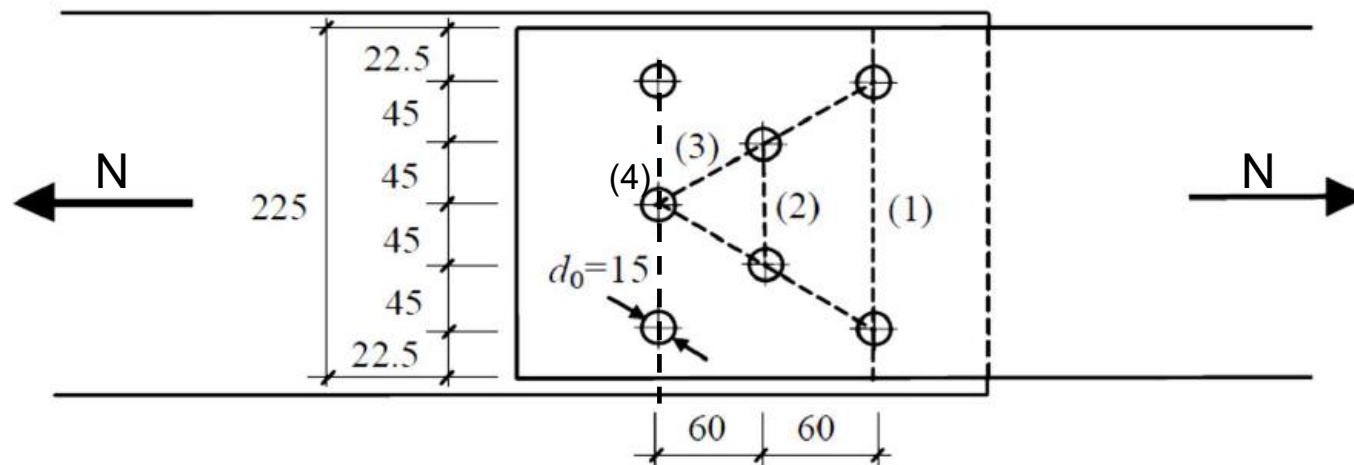
- تؤخذ المجاميع لكل الثقوب على المسار المتعرج المدروس ولكل مسافات التعرج في المسار.
- سمح كود $EC3$ في الفقرة 6.2.2.2 باستخدام علاقة A_{net} السابقة،
- تسبب الثقوب في عناصر الشد إجهاد موضعي يتزايد عند حدود الثقب،
- وايضاً تزايد في الإجهاد المتوسط N / A_{net} الذي تم مناقشته أعلاه.

- تؤخذ المجاميع لكل الثقوب على المسار المتعرج المدروس ولكل مسافات التعرج في المسار.
- سمح كود $EC3$ في الفقرة 6.2.2.2 باستخدام علاقة A_{net} السابقة،
- تسبب الثقوب في عناصر الشد إجهاد موضعي يتزايد عند حدود الثقب،
- وايضاً تزايد في الإجهاد المتوسط N / A_{net} الذي تم مناقشته أعلاه.

أمثلة عملية Worked examples

Example 2.1: Calculate the net area A_{net} of the bolted section of the plate represented in Figure. Assume a plate with thickness t and the remaining dimensions (in mm), as indicated in Figure





- Taking fracture section 1-3 into Account, We get

Fracture section 1 $\rightarrow A_{net}^{(1)} = 225 \times t - 2 \times t \times 15 = 195t$.

Fracture section 2 $\rightarrow A_{net}^{(2)} = 225 \times t - 4 \times t \times 15 + 2 \times t \times \frac{60^2}{4 \times 45} = 205t$.

Fracture section 3 $\rightarrow A_{net}^{(3)} = 225 \times t - 5 \times t \times 15 + 4 \times t \times \frac{60^2}{4 \times 45} = 230t$.

The net area of the plate is given by the minimum value, $A_{net} = 195t$.

- Taking fracture section 4 into Account, We get

Fracture section 4 $A_{net}^{(4)} = 225 \times t - 3 \times t \times 15 = 180t$

The net area of plate is given by the minimum value, $A_{net} = 180t$

2- Determine the design tensile strength of the plat

$$N_{t,Rd} = \min \{N_{u,Rd} \ N_{pl,Rd} \}$$

$$N_{pl,Rd} = Af_y/\gamma_{M0}$$

$$N_{pl,Rd} = (225 \times 10) \times 250 / (1 \times 1000) = 562.5 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 0.9 A_{net} f_u / \gamma_{M2},$$

$$N_{u,Rd} = (0.9 \times 180 \times 10) \times 420 / (1.1 \times 1000) = 618.55 \text{ kN}$$

Therefore

$$N_{t,Rd} = \min \{N_{u,Rd} \ N_{pl,Rd} \} = 562.5 \text{ kN}$$

3- Determine the Efficiency of the plate with holes

$$= N_{t,Rd} / N_{pl,Rd} = 562.5 / 562.5 = 1$$