Dr. K.M. Amanat

Lec-1

Limit States:

A type of failure condition – একটি condition কে define করে দেয়া যেটা unacceptable হিসেবে বিবেচিত হবে।

Steel generally তার ultimate strength এ পৌঁছানোর পর collapse করে। কিন্তু আমরা steel এর yield টাকে যদি critical condition or unacceptable condition ধরি, তবে $f_s = f_y$ হবে একটা limit state.

serviceability:

It indicates deflection. অর্থাৎ deflection খালি চোখে detect করা না গেলে structure serviceable.

* $\frac{\text{height}}{500}$ = Deflection limit for tall building subjected to wind load.

- Concrete এ – USD (Ultimate Strength Design)
- Steel এ – ১) ASD (Allowable Strength Design) [Load factor থাকে না]
  ২) LRFD (USD এর মত) [Load Reduce করা হয় না, বরং বাড়িয়ে দেয়া হয়। Load factor থাকে]

Scanned by CamScanner

Introduction - 1:

* Disadvantage of Steel Structure:

- Fire resistance / susceptibility to temperature:
  A steel structure is never complete without fire proofing.
  But concrete itself is fire resistant.

- Special heat resistant paint use করতে হয়। আগুনের সংস্পর্শে আসলে সেটা foam এর মত ফুলে উঠে insulation provide করবে।

- Heat এর সংস্পর্শে আসলে steel এর E_s কমে যায়, ফলে structure collapse করে।

- concrete এর তুলনায় steel এর sectional area অনেক কম, তাই steel এর buckling অনেক বেশি হয়।

Lecture - 2

- মেগ্নাইট আকরিক থেকে steel বানানো হয়।

- আকরিক (iron ore) $\xrightarrow{\text{Thermo-chemical process}}$ Pig iron (Fe) ব্যবহার উপযোগী না $\longrightarrow$ Wrought Iron

- Stainless steel = Fe + C + Cr (20%)
- Billet - লোহার টুকরা (কোন shape দেবার আগে) (6" × 6")
- Billet কে rolling করে shape দেয়া হয় I-section / T or L-section.

Scanned by CamScanner

- লোহার property অক্ষুণ্ণ রাখতে হলে তাকে কখনও গলানো যাবে না। কারণ Fe এর সাথে অন্য যে component আছে তাদেরো Heat এর জন্য উপরে ভেসে উঠবে, পরে O_2 এর সাথে বিক্রিয়া করবে। যখন Fe এর property change হয়ে যাবে।
- C এর পরিমান বাড়লে F_y বাড়তে থাকে, তেই সাথে ductility কমতে থাকে।
- Cold formed Shapes : পাতলা steel এর জন্য প্রযোজ্য (2-3mm)

Introduction-2

- Math করার সময় chart এর decimal value use করব। $\vartheta = \frac{1}{c}$
- Stress - strain behavior under Uni-Axial Loading :
  - আমরা সবসময় চাই steel যেন ductile হয়।
    Ductility ও strength দুটোর মধ্যে compromise হয়।
  - Steel structure design এ F_y, F_u প্রয়োজন।
  - Concrete structure design এ Fatigue এর কোন ভূমিকা নেই।
  - Steel এর common structure " "
    (Bridge বাদে)
  - অর্থাৎ শুধুমাত্র steel bridge এর design এ fatigue এর ভূমিকা আছে।
  - seismic design এ $\frac{F_u}{F_y} \geq 1.25$ অবশ্যই ensure করতে হবে।
  - Ultimate elongation যত বেশি, তত ductile, তত ভাল steel.
  - Connection is the weakest point of a steel structure.
    Failure এখানেই হয়।
  - Connection should be as strong as member.
  - Connection design ই main in steel structure.

Scanned by CamScanner

Lecture-3

Tension Members-1

- Tension member design এ- structure এ যেই shape use করলে সুবিধাজনক তাটা use করব।

□ Strength of Tension member:

1) Yielding:

একটা member আছে, যেটা f_y তে পৌঁছাতে পারবে।

$T_n = F_y A_g$

T_n = Nominal Tensile Strength

Load থেকে → required capacity

X-section থেকে → actual "

A_g = Connection থেকে দূরে যেকোন একটা point এ X-section নিলে যে area পাওয়া যায়। কারন, connection point এ bolting এর ছিদ্র করার জন্য area কমে যায়।

2) Fracture:

Ultimate এ পৌঁছে যাওয়া, অর্থাৎ $f_s = f_{ult}$ হবে। member ছিড়ে ২ভাগ হয়ে যাবে।

Effective area, $A_e = U A_n$

U = Reduction co-efficient

Scanned by CamScanner

Net Area:

An = Net area = Ag − Bolt ছিদ্রের area.

Effective hole dia = actual hole dia + $\frac{1}{16}''$

= Bolt dia + $\frac{1}{8}''$

◎ Actual hole dia = actual bolt + $\frac{1}{16}''$

* Hole এর চারপাশে damaged area থাকে। effective hole dia বের করার জন্য তাই এটাও বাদ দিতে হবে।

$\frac{1}{4}$ ← thickness

4 ← width

(b)

* মোটার net area বলা, জেখানকার area দিয়েই math করতে হবে।

A — B

A
|
B

• S → Force এর parallel direction এ bolt to bolt distance

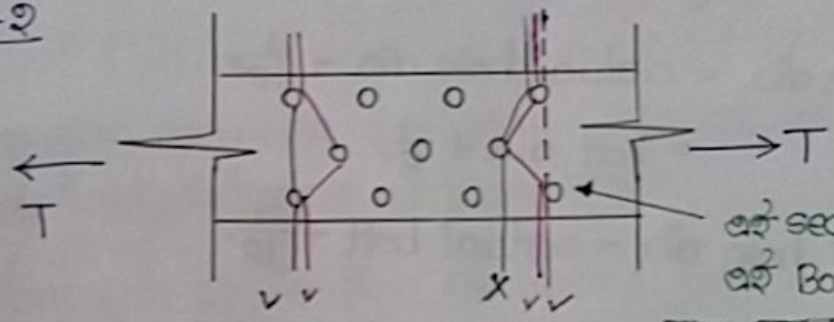
• g → " " perpendicular " " " "

* প্রত্যেকটি inclined length এর জন্য $\frac{S^2}{4g}$ term টি যোগ করতে হয়। এটা একটা length.

Scanned by CamScanner

Ex-1 A36 means → 36 ksi = f_y

Ex-2



এই section বিবেচনা করলে, এই Bolt টি intact থেকে যায়। যখন failure হলে, ছিড়ে ২ টুকরা হয়ে আলাদা হয়ে যাবে না।

- আলাদা হয়ে যাবার সুযোগ থাকলেই কেবলমাত্র proper failure হবে।

- যেই পাশ থেকে টানা হচ্ছে (যে side এ Tensile force আছে), সেই পাশ থেকে failure investigate করতে হবে।

Scanned by CamScanner

Lecture-4

Effective Net Area

Gross area → net area → effective net area

U = reduction factor < 1

$\bar{x}$ = connection থেকে Tension force টা কত দূরে।

Tension force bolt গুলোর C.G. তে বা member এর C.G. তে বলজ করে।

U → আসবে, যখন connection এর সব component area তে bolt বা welding থাকে।

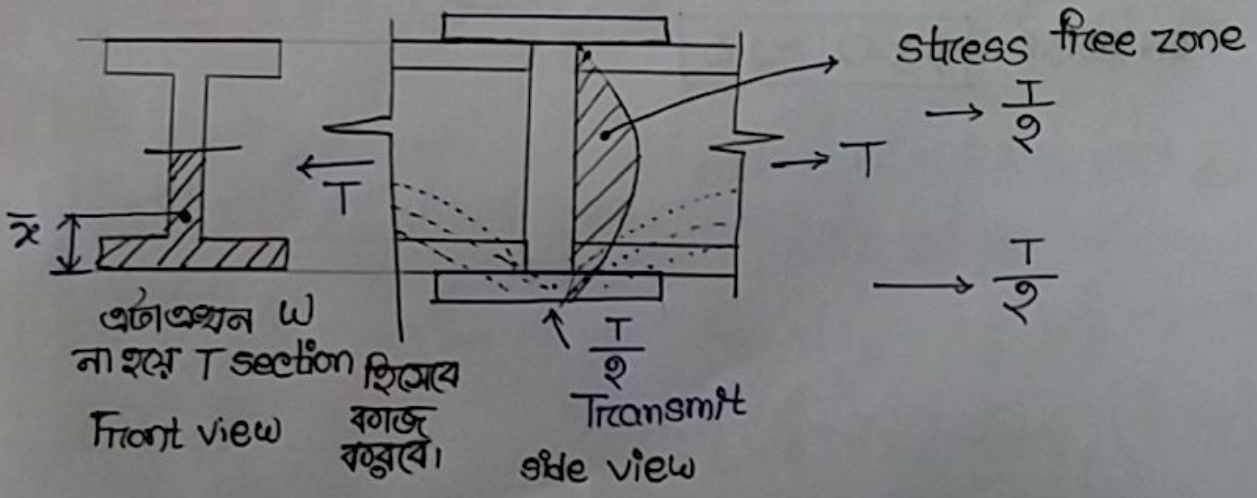
$U = 1$ [কোন cross section এর সবগুলো element এ যদি symmetric connection (সমানভাবে welding, bolt থাকে)]

$U < 1$ [যদি না থাকে]

$\bar{x}$ = cross section এর C.G. থেকে connection plane এর distance.

L = connection length = extreme end এর ২টি bolt এর c/c distance.

Tension Member-২:



Scanned by CamScanner

designation

* W থেকে T section এ convert হলে W এর value গুলো ২ভাগ করলে T এর designation পাব।

• যেদিকে force বেশি কাজ করে, তার parallel direction এ L নিব।

ASD Load Capacity:

* Area of cross section কে must come from chart.

$F_y = 50$ ksi , $F_u = 65$ ksi

Nominal থেকে (Tn) ⟶ ① LRFD ⟶ ϕ দিয়ে হয়

Ag ও Ae এ ϕ আলাদা

ϕ দিয়ে হয় মানে reduced capacity

ϕ = reduction factor

yielding এ $\phi = 0.9$

fracture এ $\phi = 0.75$

⟶ ② ASD ⟶ Ω দিয়ে ভাগ

Ω → safety factor

yielding $\Omega = 1.67$

fracture $\Omega = 2$

• fracture যেহেতু বেশি unpredictable তাই Ω বেশি।

0.9×1.67

$\phi \times \Omega = 1.5$

• সব সময়ই $\boxed{\phi \times \Omega = 1.5}$

Scanned by CamScanner

Lecture-5

Tension a rupture : $T_n = A_e F_u$ F_u = Ultimate tensile strength

* Block shear = Tension rupture + shear failure
  - 1) shear yielding or
  - 2) " rupture

$F_u, F_y \rightarrow$ Tensile property

একে $\frac{1}{\sqrt{3}}$ বা 0.6 কে দুন করলে shear property পাওয়া যায়।

∴ shear yielding = $0.6F_y$

" rupture = $0.6F_u$

যেই surface a shear হয় (force develop করে) সেখানে $U = 1$ হয়।

Tension Member-3

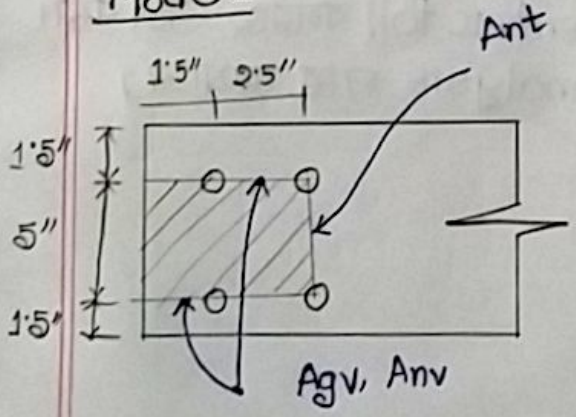
Example

Block shear : $T_n = 0.6F_y A_{gv} + F_u A_{nt}$

or,

$0.6F_u A_{nv} + F_u A_{nt}$

Mode 1



2টি bolt, bolt এর অর্ধেক

$A_{nt} = \left[5'' - 2 \times \frac{1}{2}\left(\frac{3}{4} + \frac{1}{8}\right)\right]\frac{5}{8}$

$= 2.58 \text{ in}^2$

$A_{gv} = \left(1\frac{1}{2} + 2\frac{1}{2}\right) \times \frac{5}{8} \times 2 = 5 \text{ in}^2$

$A_{nv} = \left[\left(1\frac{1}{2} + 2\frac{1}{2}\right) - \underbrace{\left(1 + \frac{1}{2}\right)}_{\text{bolt No.}}\left(\frac{3}{4} + \frac{1}{8}\right)\right]\frac{5}{8} \times 2$

$= 3.36 \text{ in}^2$

Scanned by CamScanner

LRFD,

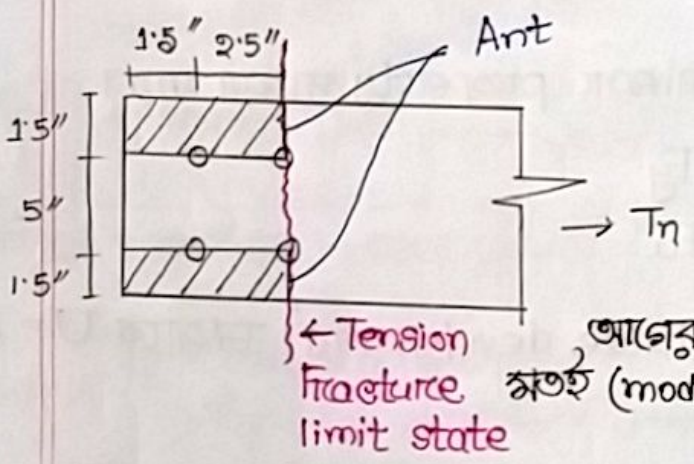
Shear yield, $\phi T_n = 0.75(.6 \times 36 \times 5 + 58 \times 2.58)$

$= 193.23$

Shear rupture, $\phi T_n = 0.75(.6 \times 58 \times 3.36 + 58 \times 2.58)$

$= 199.9$

Mode-2



$A_{nt} = \left[1\frac{1}{2} - \frac{1}{2}\left(\frac{3}{4}+\frac{1}{8}\right)\right]\frac{5}{8} \times 2$ (2টি area)

$= 1.33 \text{ in}^2$

$A_{gv} = 5 \text{ in}^2$

$A_{nv} = 3.36 \text{ in}^2$

আগের মতই (mode-1)

sheare yield, $\phi T_n = 0.75(0.6 \times 36 \times 5 + 58 \times 1.33) = 138.85$

" rupture, $\phi T_n = 0.75(0.6 \times 58 \times 3.36 + 58 \times 1.33) = 145.55$

∴ Comparing all modes,

LRFD Block shear capacity, $\phi T_n = 138.85$

* এতদিন যা পড়া হয়েছে, সেটা হল → member fail করেছে সেটা বলে। bolt ও fail করতে পারে। সেটার analysis পরে দেখাবে।

Scanned by CamScanner

Lecture-6

□ Residual Stress in steel section:

Steel section বানানো হয় rolling এর মাধ্যমে। এটা তখনও hot থাকে। আস্তে আস্তে এটা cool হয়। যদি cooling এর সময় uneven cooling হয় তবে অভ্যন্তরের stress develop করতে পারে। এটাকে residual stress বলে।

এই stress টা self balancing. কারণ

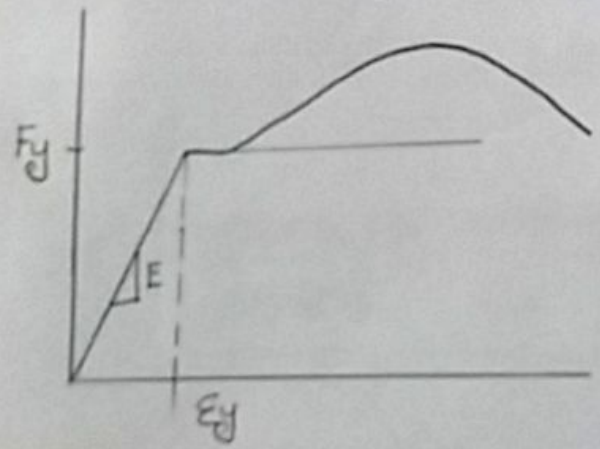
Contraction → welding zone - Tension
Away from welding — Compression

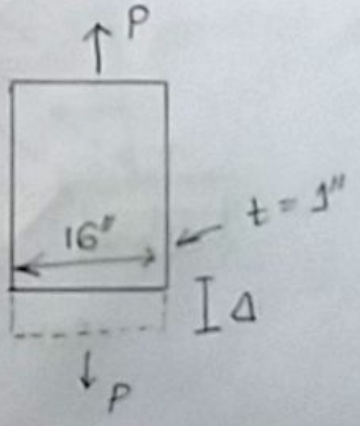
[30% f_y = Residual stress হতে পারে]

* rolled section এর কোনায়, যে অংশ আগে ঠান্ডা হয়, সেখানে compression.
* " " " " পরে " " " → tension

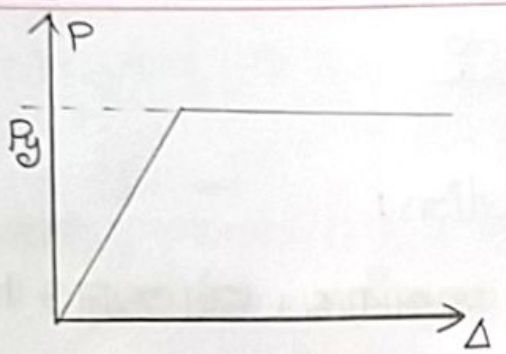
* কিন্তু welding এর ক্ষেত্রে, welding এর অংশে → Tension
away from welding → Compression

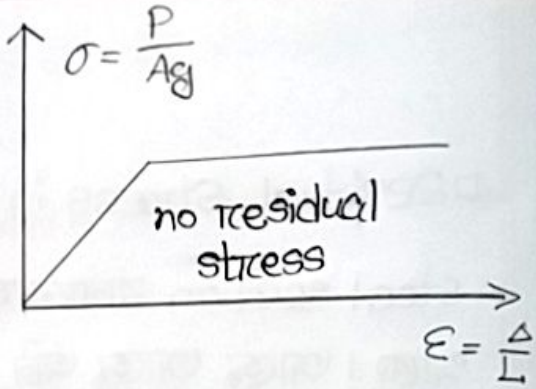
এক্ষেত্রেও যে অংশ আগে ঠান্ডা → compression
" " পরে " → tension





Scanned by CamScanner





$P_y = A_g F_y$ — stress

যখন কোন residual stress নাই।

without residual stress

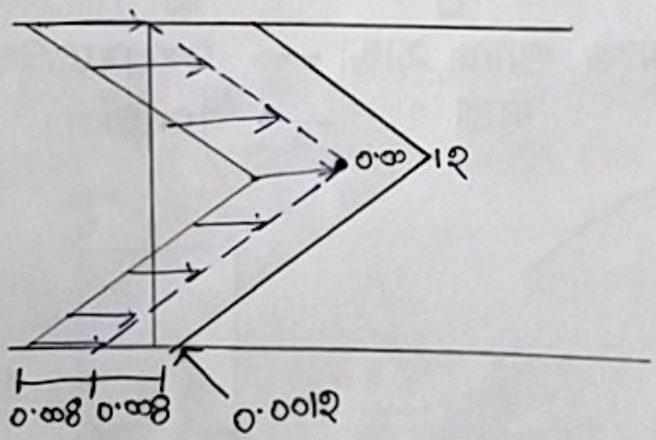
প্রথমে load বাড়ছে, P ↑, Δ ↑.
Yield এ পৌঁছানোর পর load বাড়বে না, P বাড়বে না, কিন্তু elongation হবে।

with residual

একেক point এ একেক stress থাকে, যখন একেক point একেক সময় yield stress এ পৌঁছায়। কিন্তু যেহেতু load দিচ্ছি, elongation একই ভাবে বাড়তে থাকবে। অর্থাৎ strain সব সময় uniformly বাড়বে, কিন্তু stress একেক point এ আলাদা।

এক point এ ·2 বাড়লে অন্য point এও ·2 বাড়বে

* residual stress থাকলে, avg σ ও avg ε graph, point σ-ε graph এর মত থাকে না।



Scanned by CamScanner

C.T-1 → next saturday, 11:00
Tension - 1, 2 (block shear নাই)

Lecture-7

- U, net area calculation, এগুলোর basis ও capacity calculation (C.T).

Bolts

- Bolt ও high yield এর steel use করা হয়।
- rivet → threat নাই, এগুলোর strength bolt এর চেয়ে কম। একবার লাগালে আর খুলা যাবে না। rivet গরম অবস্থা থেকে ঠান্ডা হলে আটকে যায়। ফলে brittleness develop করে rivet ও

washer → Nut এর ঘষা লেগে original member এর side ও member এর fibre ক্ষতিগ্রস্ত হয়। তাই যেখানে friction কাজ করে সেখানে washer use করতে হয়।

- bolt, plate এর গায়ে ধাক্কা দিবে → bearing plate
  → shear bolt
  (এবস্থাগুলো আগে Bearing Type connection)
- bolt shear ও fail করতে চায়।

- bearing এর জন্য – plate property
- bolt shear " – bolt "

} consider করব

* bolt এর Tension fracture ও ultimate strength use করব।
* Thread ও fail হলে bolt ও আর strength develop করতে পারে না।

- Fracture এর corresponding $\phi = 0.75$

$$0.75 F_u = F_{nt}$$

Scanned by CamScanner

Lecture - 8 started from 7/15

Shear Strength of Fasteners:

- shear is always 62% of tension.
- Bolt এর ultimate tension. bolt এর grade অনুযায়ী vary করে।
* • shear failure thread এও হতে পারে, shank এও হতে পারে। failure thread এ হলে area কমে যাবে।

(8/1) Bearing:

- Le অনেক বেশি বাড়িয়ে দেওয়ালে একসময় একটি maximum value (2.5 d of bolt) তে পৌঁছায়, যার পরে Le বাড়ালে Pn বাড়ে কিন্তু পরে shear এ fail করতে যায়।

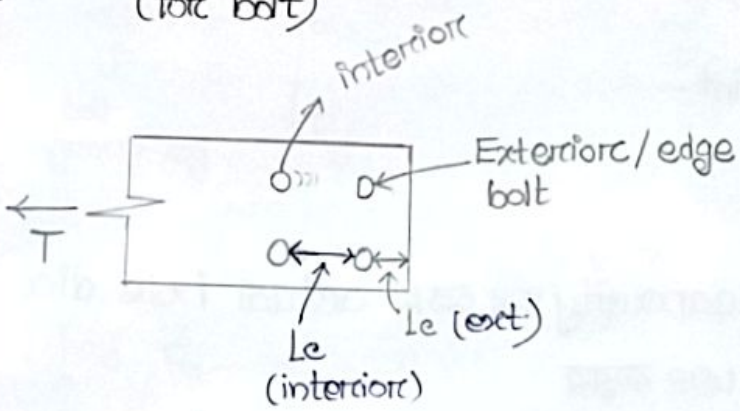
* standard hole = bolt dia + 1/16"
* oversize hole = standard hole থেকেও তার dimension বেশি।
  ↑ এটার জন্য additional safety দরকার হয়।

- slotted hole → elongated hole

- bolt spacing ⇌ capacity ; vise-versa ও করা যায়

বিষ্টু না বললে 5টিই check করতে হবে

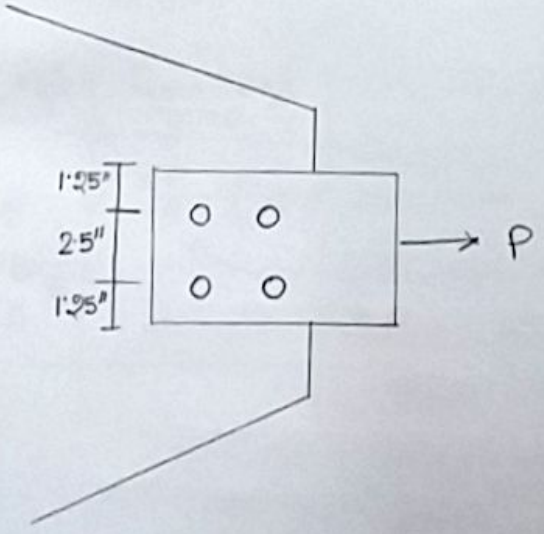
- Based on Tension limit state : ৩ L.S.
  (for plate)
- " " Bolt " - : ২ L.S.
  (for bolt)

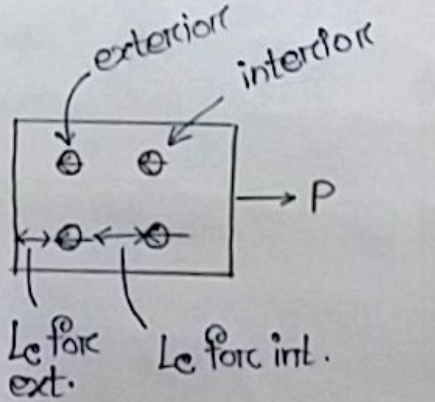


Lecture-9

bolt problem:

- প্রত্যেকটা Bolt এর জন্য আলাদাভাবে shear ও bearing capacity বের করতে হবে।





Tension plate

Scanned by CamScanner

Gusset plate

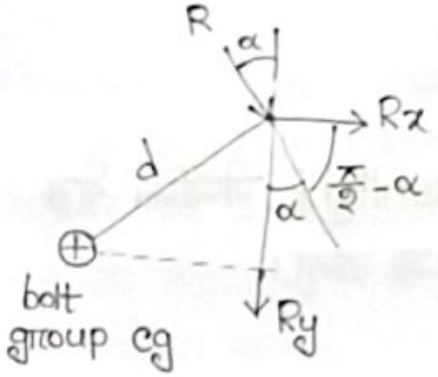
** Bolt এর Bearing capacity এর জন্য actual hole dia = (bolt dia + $\frac{1}{16}$") use করুন

** Tension capacity বের করার সময় hole dia = (bolt dia + $\frac{1}{8}$")

II Bolted Connection in Eccentric Shear :

Scanned by CamScanner

Lecture - 10



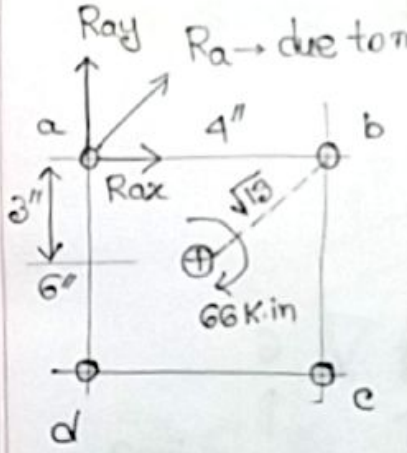
$$R_x = R\cos\left(\frac{\pi}{2}-\alpha\right) = R\sin\alpha = R\frac{y}{d}$$

$$R_x = \frac{R}{d}y \;;\; R_y \frac{R}{d}x$$

$$= \frac{Md}{Zd^2}\cdot\frac{y}{d}$$

$$= \frac{M}{Zd^2}y$$

$$R_y = \frac{R}{d}x = \frac{M}{Zd^2}x$$



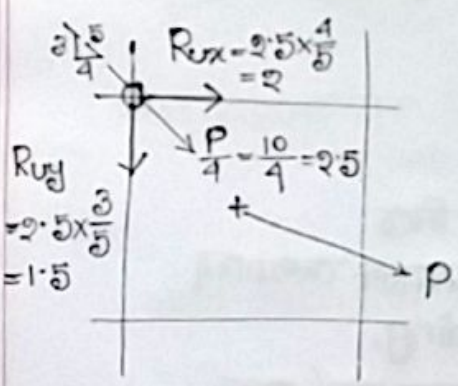
M = 66 Kip.inch

P = 10 K

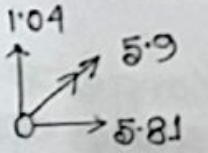
$Zd^2 = (\sqrt{13})^2 \times 4 = 52$ (All d same)

$$R_{ax} = \frac{M}{Zd^2}\cdot y_a = \frac{66}{52}\times 3 = 3.81$$

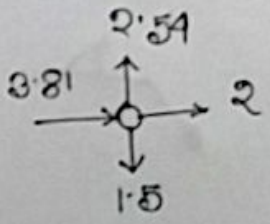
$$R_{ay} = \frac{M}{Zd^2}\cdot x_a = \frac{66}{52}\times 2 = 2.54$$



$$\sqrt{5.81^2 + 1.04^2} = 5.9$$



combining



Scanned by CamScanner

Fm Exam এ descriptive type Q. আসবে।

Lecture-11

Welding

- Plastic এর বেগন জিনিসের উপর sunlight দীর্ঘদিন ধরে পড়লে সেটা নষ্ট হয়ে যায় UV Ray এর জন্য।

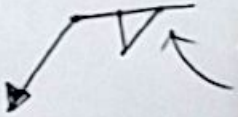
Butt joint:
- এটা দেয়া হয় finishing এর জন্য।
- এটা labourious joint and expensive

Lap joint:
- most common and easy.

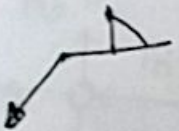
Tee, cornere joint:
special case এ লাগে

$\frac{3}{8}$ ▽ 6
↑ welding এর size
↑ welding এর length

✓ Flag → welding field এ হবে
× Flag → " workshop এ হবে।
✓ O → চতুর্দিকে welding



Triangle এর symbol নিচে থাকার অর্থ হল যেখানে দেখানো হচ্ছে সেখানে welding.



Triangle উপরে থাকার অর্থ হল যেখানে দেখানো হয়েছে, তার opposite দিকে welding.

Scanned by CamScanner

For groove welding

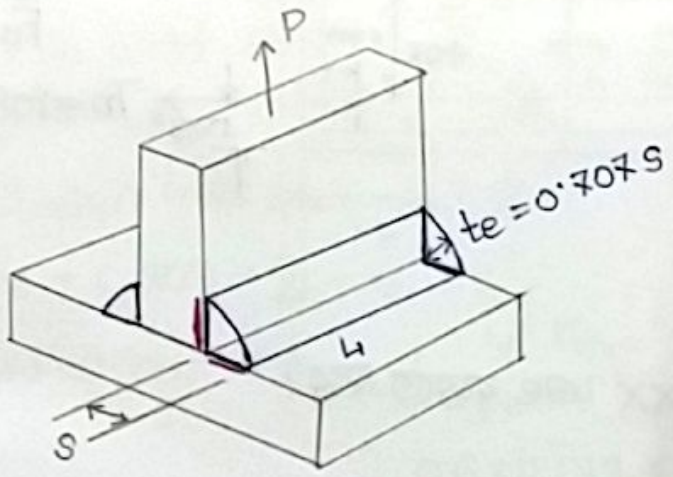
Lecture -12

- Complete thickness cover করে welding করা হলে, এবং যদি electrode এর strength member থেকে বেশি হয়, তবে weld কখনও fail করবে না, তাই calculation লাগে না। fail করে member.

but যদি strength কম হয়, বা partially fill করা হয় groove, তবে calculation লাগে।

Fillet

এই weld সবসময় shear এ design করব (load যেদিক থেকেই আসুক) না কেন



এই অংশের base metal fail করতে পারে (weld failure ব্যতীত)

Weld capacity = $L \times te \times T_u$

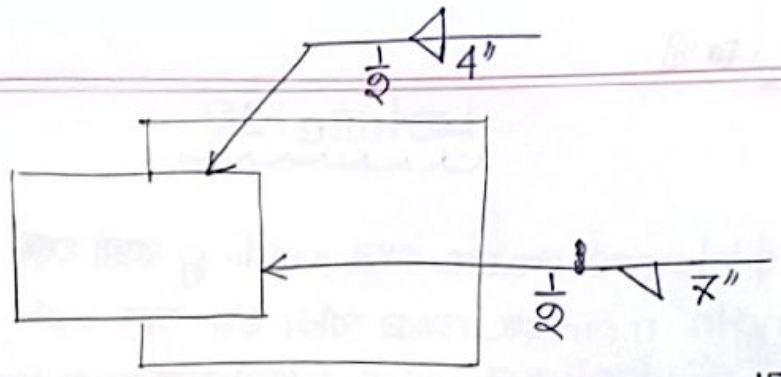
$= L \times te \times 0.6 F_u$

$= L\, te\, (F_{EXX} \times 0.6)$

∴ Weld capacity per unit length = $te \times 0.6 F_{EXX}$ (per unit length)

Scanned by CamScanner

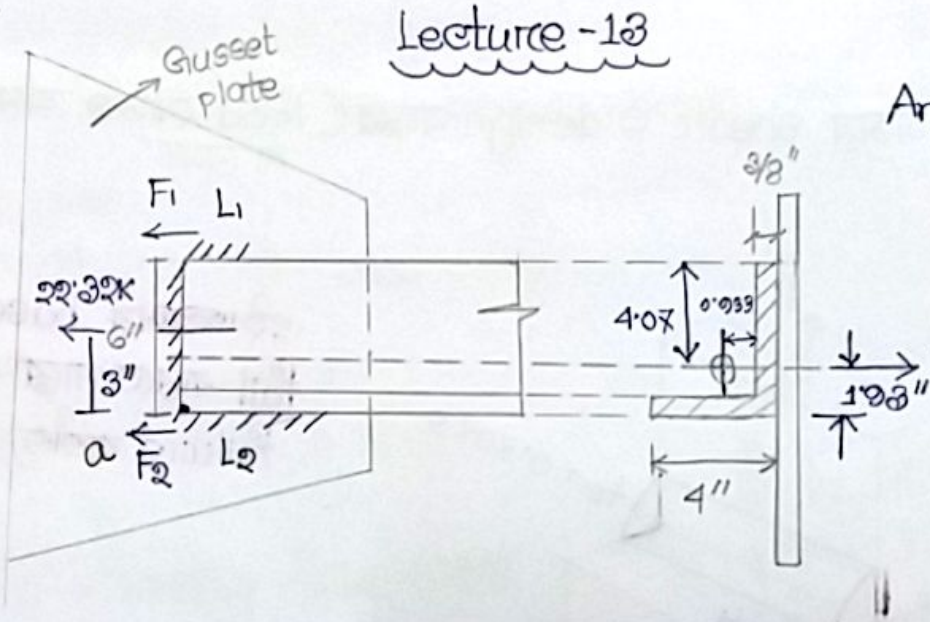
[৩]



4+4+7 = 15" (Total)
এটা ও একটা solution.

[২]

Lecture -13



Angle L 6x4x$\frac{3}{8}$
$A_g = 3.61\ in^2$
$f_y = 50\ ksi$
$F_u = 65\ ksi$

- $F_u = 65$ ksi হলে E70XX use করতে হবে।

Tension capacity of angle :

yield on gross area, $\frac{T_n}{\Omega} = \frac{F_y A_g}{\Omega} = \frac{50 \times 3.61}{1.67}$

$= 108.08K$ (governs)

Fracture on net area, $\frac{T_n}{\Omega} = \frac{F_u A_e}{\Omega} = \frac{F_u (UA_n)}{\Omega}$

$= \frac{F_u (UA_g)}{\Omega}$

Scanned by CamScanner

$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$

$L \rightarrow$ unknown

Assume, $U = 0.95$ (1 এর চেয়ে ছোট)

$\therefore \frac{T_n}{\Omega} = \frac{65 \times 0.95 \times 3.61}{2} = 111.45\ K$

$\therefore$ Weld design force, $\frac{T_n}{\Omega} = 108.08\ K$

Weld size

Angle thickness $= \frac{3}{8}''$

যেহেতু gusset plate সম্পর্কে কোন info নেই, তাই angle thickness এর basis এ s_{max}, s_{min} ঠিক করব।

$\therefore$ Min weld size $= \frac{3}{16}''$

Max " " $= \frac{3}{8} - \frac{1}{16} = \frac{5}{16}''$ [criteria same. just angle এ consider করেছি gusset plate এর পরিবর্তে]

$\therefore$ Chosen weld size, $a = \frac{1}{4}''$

$t_e = 0.707 \times \frac{1}{4} = 0.177''$

Welding capacity $= \frac{0.6\, t_e\, F_{EXX}}{\Omega}$

$= \frac{0.6 \times 0.177 \times 70}{2}$

$= 3.72\ K/in$

Total weld ~~strength~~ length $= \frac{108.08}{3.72} = 29.05''$

Force covered by 6" weld $= 6 \times 3.72 = 22.32\ K$

$\Sigma M_a = 0$ (+ve)

$\Rightarrow -22.32 \times 3 - F_1 \times 6 + 108.08 \times 1.93 = 0$

$\Rightarrow F_1 = 23.61\ K$

$\therefore L_1 = \frac{23.61}{3.72} = 6.35''$

Scanned by CamScanner

$F_2 = 108.08 - 22.32 - 23.61 = 62.15\,K$

$L_2 = \frac{62.15}{3.72} = 16.7 \times 1''$

- S_{min} যদি $>$ S_{max} হয়, তবে S_{min} টাই govern করবে।

Lec-14

23/4/2017
Bolts

Welded Eccentric Shear connection:

- stress এর কথা যখনই বলা হবে,
  সেটা বলা হবে 1টি point এর stress.
- stress $\propto$ distance from centroid

$$I_p = I_x + I_y$$

Scanned by CamScanner

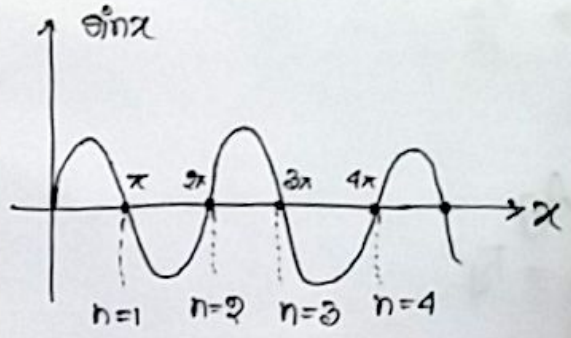
Lecture -15

Compression Member

- আমরাতে pure compression নিয়ব।
- colm ও buckling হলেই সেটা একটা limit state.
- আগে elastic ছিল। Length ছোট হয়ে গেলে যখন buckling হবে তখন মাঝখানে yielding হয়ে permenant deformation হবে। এটা inelastic behavior.

যখন elastic behavior হয় তখন yield করে না, so section non economical.

- তাই designer হিসেবে আমরা case ২ select করব (economical).
- elastic buckling:
  F_y, F_u আসবে না। শুধু E থাকবে।
- n=1 হলে critical value পাব।

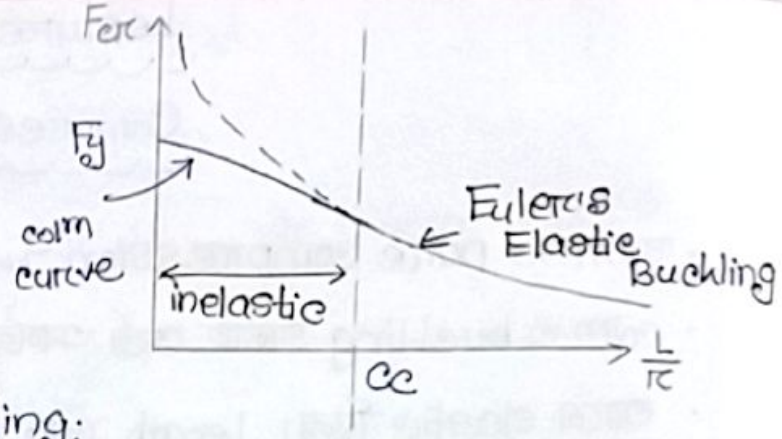


- length কমলে colm capacity বাড়ে। length কমতে গেলে Fcr বাড়তে বাড়তে একসময় yield stress এ পৌছাবে এবং Then F_u তে পৌছাবে।

Scanned by CamScanner

$\frac{L}{r} > C_c \rightarrow$ elastic

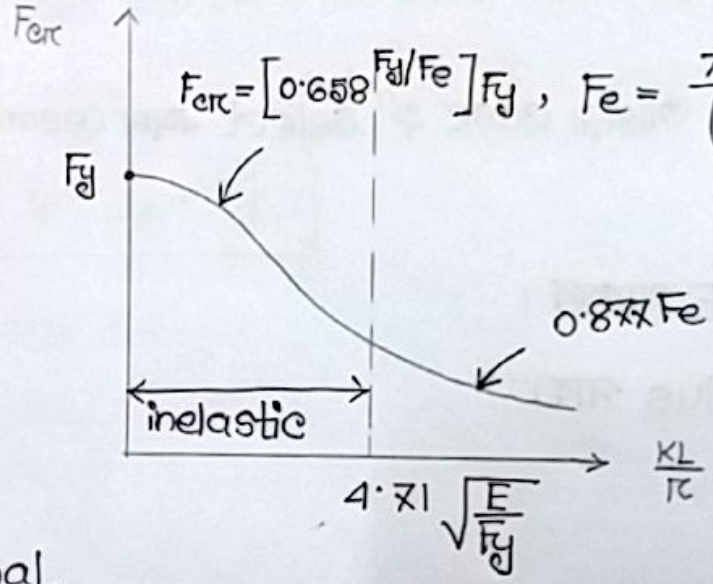
$\frac{L}{r} < C_c \rightarrow$ inelastic



আমরা চাই inelastic buckling:

AISC colm capacity:

Colm curve equations:



এই formula, curve মুখস্ত করতে হবে

Nominal

Column capacity, $P_n = F_{cr} A_g$.

colm stress এর max. stress = F_y

LRFD

capacity = $\phi P_n \leq P_u$ ← (Factored load from analysis)

$\phi = 0.9$

Scanned by CamScanner

ASD

allowable capacity $= \frac{P_n}{\Omega} \leq P$ ← Unfactored

$\Omega = 1.67$

- Elastic range ও F_y এর কোন ভূমিকা নাই। কিন্তু inelastic range এ আছে।

$$P = \frac{n^2\pi^2 EI}{L^2}$$

$$\therefore F_{crc} = \frac{P}{A} = \frac{n^2\pi^2 E}{(L/r)^2} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L}{nr}\right)^2} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad \left[K = \frac{1}{n}\right]$$

KL = Effective length

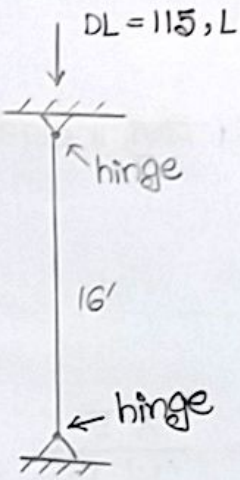
KL = length of one half sine curve

Scanned by CamScanner

* All AISC calculation এ steel { Length → inch, Load → Kip }

Lecture-16

Example 6.10.1 (Design problem)



$F_y = 50$ ksi

Follow ASD and Design the **Lightest** section ('W' section)

hinge, K = 1

$P = 115 + 125 = 240^K$

$P_n = P\Omega$ [Design criteria, $P \le \frac{P_n}{\Omega}$]

$= 1.67 \times 240$

$= 400.8$ Kip

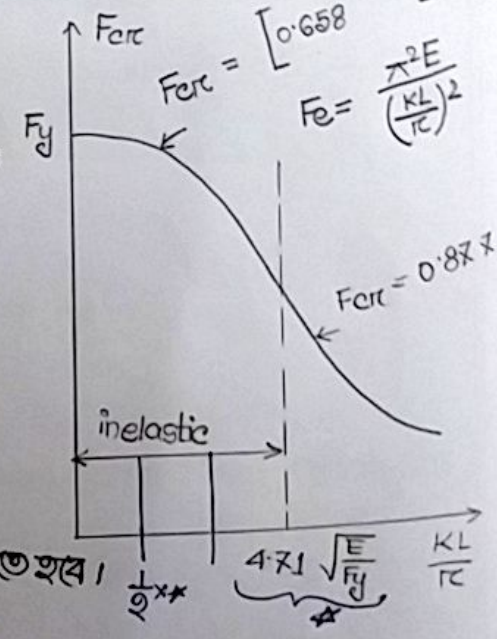
$L = 16'$

- Material strength full utilize করতে হলে inelastic range এ থাকতে হবে।

$$4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$= 4.71\sqrt{\frac{29\times10^3}{50}}$$

$= 113.4$



∴ এক্ষেত্রে $\frac{KL}{r}$ এর value < 113.4 হতে হবে।

Scanned by CamScanner

For design, choose KL/r bet^n 60 ~ 100.

We choose $\boxed{\frac{KL}{r} = 80}$

$$\Rightarrow r = \frac{KL}{80} = \frac{1 \times 16 \times 12}{80} = 2.4''$$

$$Fe = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 29 \times 10^6}{\left(\frac{1 \times 16 \times 12}{2.4}\right)^2} = 44.72 \text{ ksi}$$

$$Fcr = \left[0.658^{Fy/Fe}\right] Fy$$

$$= \left[0.658^{\frac{50}{44.72}}\right] 50 = 31.31 \text{ ksi}$$

$$Pn = Fcr\, Ag$$

$$\therefore Ag = \frac{Pn}{Fcr} = \frac{400.8 \text{ kip}}{31.31 \text{ ksi}} = 12.8 \text{ in}^2$$

Now choose a section with $Ag \geq 12.8 \text{ in}^2$

$r_{min} \geq 2.4$ in

chart এর নিচ থেকে উপরে যাব। আগে Ag, then r_{min} দেখব। (vise-versa করা যাবে)
chart থেকে r_y দেখব (কেন, r_y টা min হয় r_x এর চেয়ে)

W 10x49

We select W 10x49 having $Ag = 14.4 \text{ in}^2$ and $r = 2.54$ in

$\therefore \frac{KL}{r} = 0$ something, এটা অন্য একটা value বসে check
করে দেখব lightest section পাওয়া যায় কিনা।

Scanned by CamScanner

Trial-2

Let, $\frac{KL}{r} = 100$

$r = 1.92''$

$Fe = 28.62$ KSi, $Fcr = 24.07$ KSi

$Ag = 400.8 / 24.07 = 16.65 in^2$

Now choose a W section with $Ag \geq 16.65$

$r \geq 1.92$

Ag বেশি, তাই wt. বেশি হবে। তাই বাদ।

Trial-3

Let, $\frac{KL}{r} = 65$, $r = 2.95''$

$Fe = 67.75$ KSi, $Fcr = 36.7$ KSi

$Ag = 400.8 / 36.7 = 10.92 in^2$

$\therefore Ag \geq 10.92 in^2$

$r \geq 2.95''$

We choose W 12X65 having $Ag = 19.1$, $r = 3.01$

so, Trial-1 is better. **Finally W 10X49**

$Cc = 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ x (50% ~ 75%) range এ $\frac{KL}{r}$ এর value assume করে trial দিবা।

• ৪টা Trial দিবা।

Scanned by CamScanner

Example Review Problem (13/16)

Capacity বের করার সময় দেখতে হবে কোন দিকে buckle করছে। weak axis এর সাপেক্ষে buckle হয়। তাই strong axis এ support দেয়া হয়। cz. buckle হবার পর deflection হয় strong axis বরাবর।

y বরাবর $K=0.5$ ← weak axis
x " $K=1$ ← strong axis

Lec-IX

Local buckling:

main buckling → axis বেঁকে যায়
local " → main axis বাঁকে না, element of cross section বেঁকে যায়।

element এর thickness ratio এর উপর

- Local buckling depend করে, x-section এর উপর।
- Local buckling হলেও structure failure হতে নাও পারে।
- $\frac{b}{t}$ ratio বাড়লে local buckling বাড়বে।
- local buckling → compression ও bending এ হয়।
- AISC chart এর বেশিরভাগ x-section compact

AISC x-sectional chart এ যেই super-script দেয়া আছে সেটার meaning

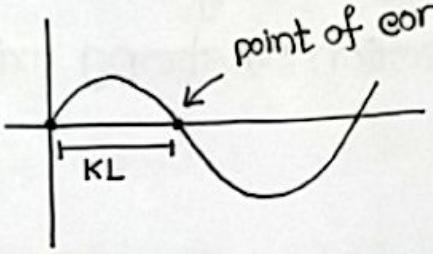
— কিছু না থাকলে → compact section বুঝায়
— h →
— c →
— v →
— g →

chart এর নিচে সাদৃশ্যক দেয়া আছে।

Scanned by CamScanner

Compression Member-3

KL = Length of 1 half sine curve = ২টা point of contraflexure এর মাঝের distance



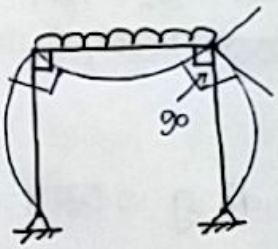
K কমলে, capacity বাড়বে।

- wind বা earthquake load থাকলে, deflection limited করার জন্য bracing দেয়া হয়।

Sway → কাত হয়ে যায়

- bracing না থাকলে কাত হয়ে যাবে।

rigid joint



before & after deflection angle 90°.

Frame Stiffness parameter = $\frac{EI}{L}$

Stiffness → bend করার জন্য যত load লাগে।

L ↑, Stiffness ↓

I ↑, " ↑

$G_i = \frac{\Sigma \text{ colm stiffness}}{\Sigma \text{ beam stiffness}}$

G_A → A point এ ২টা colm, ২টা Beam (২,২,২,২)

G_B → B " " ২ " , ২ " " (২,২,২,২)

} Fig of sheet

Scanned by CamScanner

Lecture - 18

15/8

- যে কোন colm এর Top ও Bottom এ G বের করতে হবে।
- G বের করতে হয় joint এ.
- A measure of stiffness $\frac{EI}{L}$
- At a joint $G = \frac{\Sigma(EI/L)_{col}}{\Sigma(EI/L)_{beam}}$
- আগে consider করে নিব frame টা braced নাকি unbraced.
- braced → colm এর top ও bottom joint একই vertical alignment এ থাকবে। তবে colm এর মাঝের অংশ বেঁকেও যেতে পারে।

braced

stiffness → কত সহজে একটা member কে বাকা করা যায়, নাকি যায় না তার একটা measure.

G → একটা joint এ colm কে rotate করতে beam টা কত বাধা দেয়।

15/11

Math

- Unit ঠিক হতে হবে।

Fixed support এ $G = 0$
Hinge " $G = \infty$

colm AB: (Braced)

At A: Theoritically $G_A \to \infty$ [colm fixed support এ colm rotate করতে পারেনা, বাধা অসীম, তাই $\frac{something}{\infty} = 0$

practically we take a high value, say $G_A = 50$ (or 10)

$G \to 0$ (fixed) = $\frac{colm}{(beam)}$

Scanned by CamScanner

at B: $G_{IB} = \frac{(I/L)_{AB}}{(I/L)_{BD}} = \frac{110/(15\times12)}{800/(30\times12)} = 0.275$

For AB, $K_{AB} = 0.77$ (from chart)

col^m FG$_1$: (Braced)

At F: Theoritically $G_{IF} = 0$

practically we take a small value = $\boxed{0.1 \sim 1.0}$

for this problem, use $G_{IF} = 1$

At G$_1$: $G_{IG_1} = \frac{(I/L)_{FG_1} + (I/L)_{GH}}{(I/L)_{DG_1} + (I/L)_{G_2}}$

$= \frac{(I/L)_{FG_1} + (I/L)_{GH}}{(I/L)_{DG_1} + (I/L)_{G_2} \times 1.5}$

1.5 → hinged (braced)

[যে beam ২টা connected তাদের অন্য end ২টি কি condition এ আছে সেটার effect এই calculation এ আসবে (15/10) slide]

[Beam এর stiffness modifier]

col^m GH : (Unbraced)

$G_1 \to \infty$ (Hinge) $= \frac{\text{col}^m}{\text{beam}}$ → Hinge support এ colm ইচ্ছামত rotate করতে পারে, কোন বাধা নেই, so, বাধা = 0.

$\therefore G_1 = \frac{\text{something}}{0} = \infty$

Scanned by CamScanner

CT-3
7/5/2017
Column [Residual stress]

Lecture-19

Compression member-4

16/1

- strain diagram vertically value কমে বা বাড়ে।
- stress ↳ yield এ পৌঁছানোর পর flat হয়ে যায়, CZ yield এর পর আর stress বাড়ে না।

Lecture-20

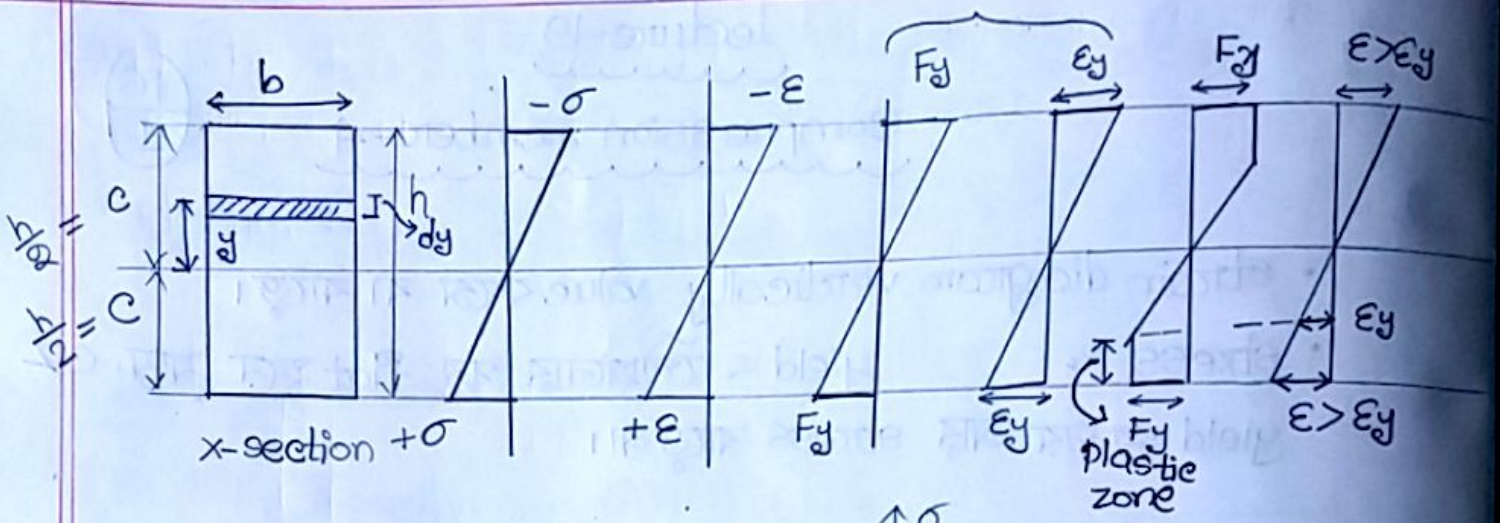
17/1

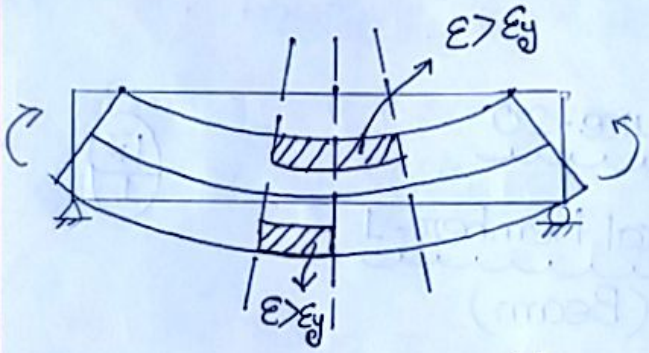
Flexural Member-1
(Beam)

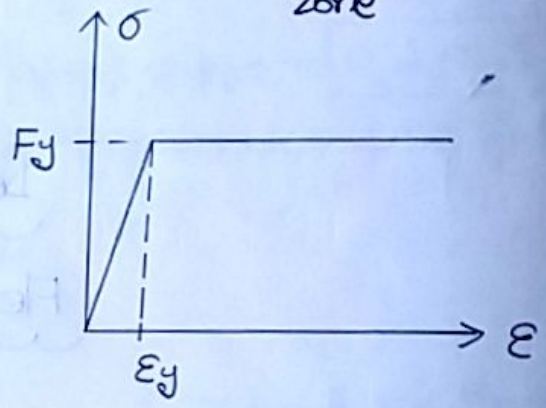
- colm to colm beam → girder. এই colm ও girder মিলেই mainly load টাকে resist করে।
- Floor beam দেয়া হয় slab এর span ছোট করার জন্য। এজন্য slab depth কমে যাবে।
- buckling → যেদিকে বাঁকা হবার কথা সেদিকে না হয়ে অন্য দিকে বাঁকা হয়

Scanned by CamScanner

My







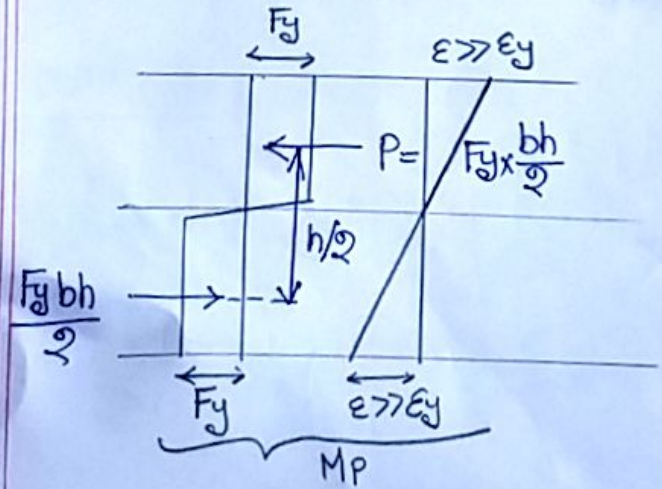
$$F_y = \frac{M_y \cdot c}{I} = \frac{M_y}{I/c} = \frac{M_y}{S_x}$$

$\therefore M_y = F_y S_x$

S_x = elastic section modulus

P = load = stress x area
= $F_y \times \left(b \times \frac{h}{2}\right)$

strain can be > ε_y
but stress F_y ই থাকবে



Scanned by CamScanner

plastic condition

$$M_p = P \times \frac{h}{2}$$

$$= F_y \frac{bh}{2} \times \frac{h}{2}$$

$$= F_y \frac{bh^2}{4}$$

$$= F_y Z_x$$

$Z_x = \frac{bh^2}{4}$ = plastic section modulus for rectangular section

$$M_p = \int \underbrace{\underbrace{F_y}_{\text{stress}} \underbrace{(b \cdot dy)}_{\text{area}}}_{\text{Force}} \cdot \underbrace{y}_{\text{distance}}$$

moment

$$= F_y \int by\, dy \qquad (F_y = \text{constant})$$

$$= F_y \int y\, dA \qquad (dA = b.dy)$$

$$S_x = \frac{I}{c} = \frac{bh^3/12}{h/2} = \frac{bh^2}{6}$$

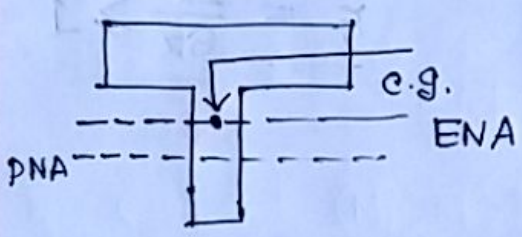
Shape factor

$$\xi = \frac{Z_x}{S_x} \geq 1$$

- plastic section mod. এর জন্য ১টা N.A থাকে
- elastic " " " " ১টা " "
- section unsymmetric হলে plastic ও elastic N.A আলাদা হবে।

Scanned by CamScanner

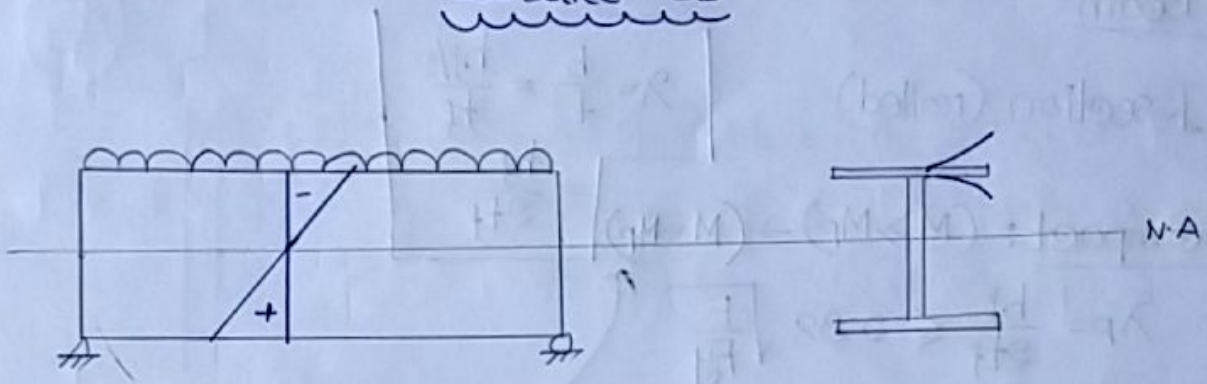
- plastic N.A বের করার সময়, section টা সমান ২টা area তে ভাগ করবে।
- elastic N.A হল c.g তে।



Gm Q. বিভিন্ন Type এর section এর ~~shape factor~~ shape factor কিভাবে বের করতে হয় ? Derivation লিখতে হবে।

Scanned by CamScanner

Lecture - 21



N.A এর উপরে compression আছে, তাই local buckling হতে পারে।

slide $\left(\frac{14}{8}\right)$ এরমত classification করা possible.

For Beam

1) Compact → M_p ($F_y Z_x$) : develops without any local buckling

2) Non-compact → Local buckling occurs after $M > M_y = F_y S_x$, but before reaching M_p.

3) Slender → Local buckling before reaching M_y.

slide $\left(\frac{17}{10}\right)$ → Local buckling হবে কি হবে না.

Flexure → Beam

Uniform Compression – Column

- Web এ buckling খুব কম হয়। Generally Flange এই local buckling হয়।

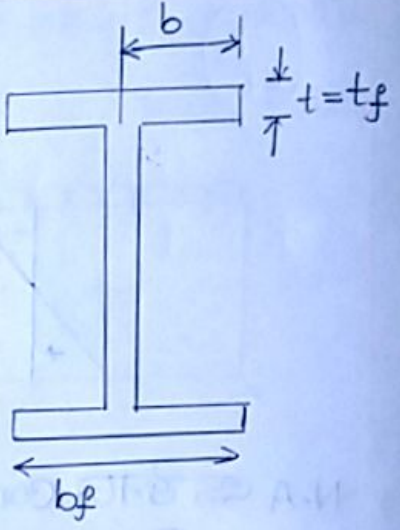
* $\frac{b}{t}$

Scanned by CamScanner

Beam

I-section (rolled)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{bf/2}{tf} = \frac{bf}{2tf}$$



compact: $(M \geq Mp) \rightarrow (M = Mp)$

$$\lambda p = \frac{bf}{2tf} \leq 0.38\sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

Non-compact $(Mp > M > My)$

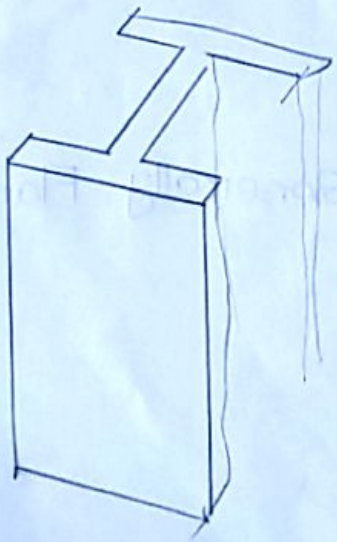
$$\lambda r = \frac{bf}{2tf} > 0.38\sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$\text{and} \leq 1.0\sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

- plastic moment (Mp) এরপর আর কোন moment develop করানো যায় না।
  তাই $M = Mp$
  তাই কোন cross section এর max 'M' হল Mp.

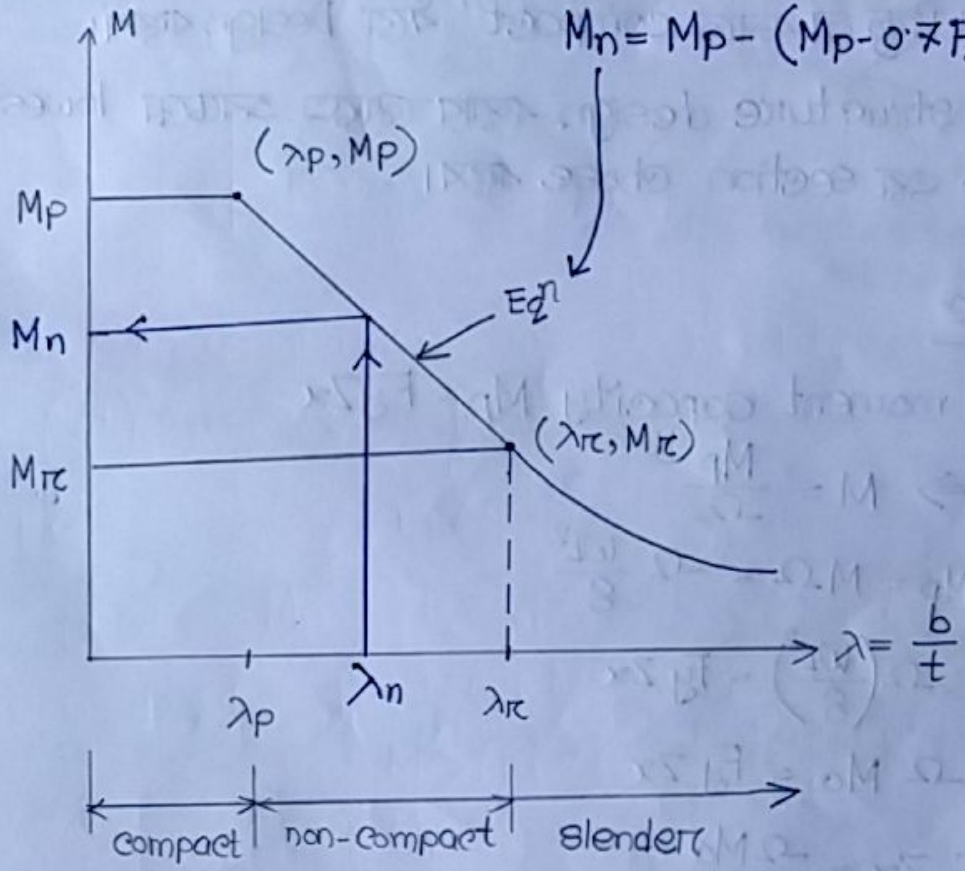
Slender $(M < My)$

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} > 1.0\sqrt{\frac{E}{Fy}}$$



Scanned by CamScanner

Cross sectional moment capacity: (nominal moment capacity)



non-compact region এর Moment

Material cross section দেয়া থাকলে $\lambda_p, \lambda_n, \lambda_r$ বের করতে পারব।

আবার, $M_p = F_y Z_x$

$M_r = F_y S_x \times (0.7)$ ← প্রত্যেক X-section এ 30% residual stress develop করা থাকে। তাই বাকি 70% আমরা পাচ্ছি কাজে লাগানোর জন্য।

So, M_n বের হয়ে যাবে।

. আর compact region এর Moment হল M_p.

Scanned by CamScanner

Lec-22

* কোন কিছু না বললে 'compact' ধরে Design করব।
* Steel structure design করার ক্ষেত্রে সবচেয়ে lowest weight এর section chose করব।

Example

Plastic moment capacity $M_p = F_y Z_x$

ASD $\Rightarrow$ $M = \frac{M_p}{\Omega}$

$M_p = M\Omega = \Omega \frac{wL^2}{8}$

$\therefore \Omega\left(\frac{wL^2}{8}\right) = F_y Z_x$

$\Rightarrow \Omega M_a = F_y Z_x$

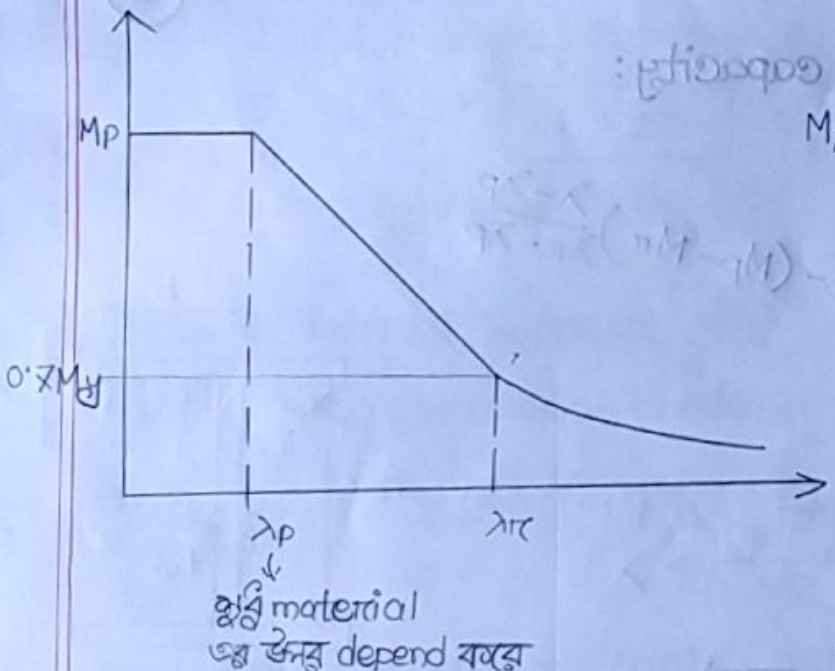
$\therefore Z_x = \frac{\Omega M_a}{F_y}$

$L \rightarrow$ span এর যতটুকু অংশে lateral support দেয়া নাই
= unbraced length

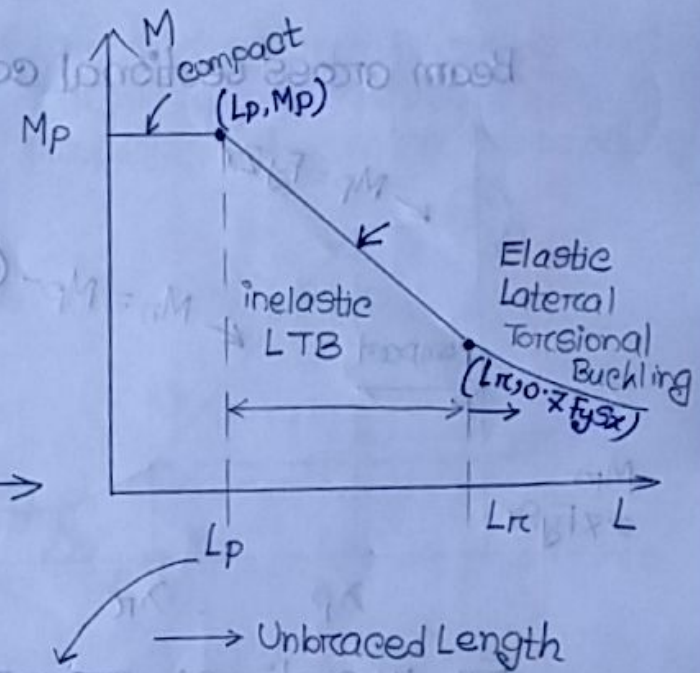
- Unbraced length বাড়লে capacity কমবে

Scanned by CamScanner

Cross section Capacity:



Beam Capacity

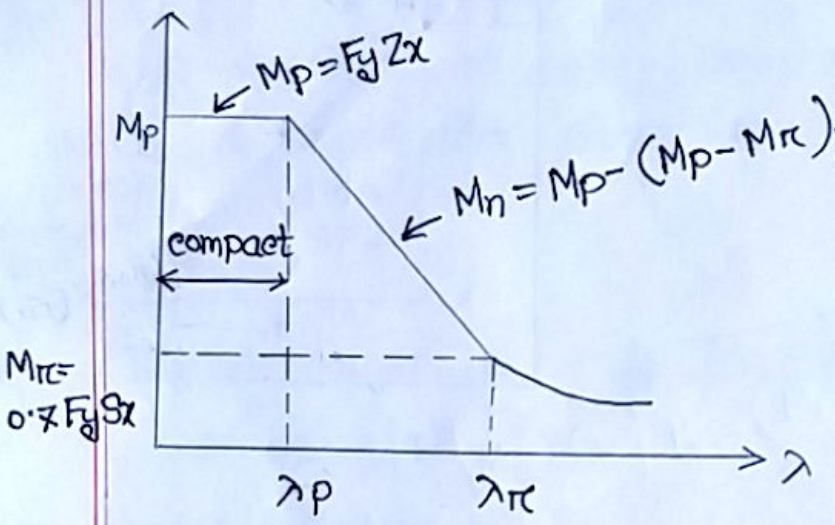


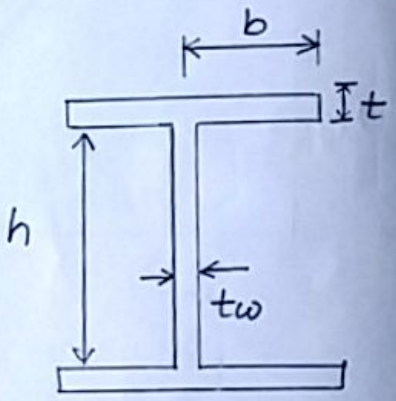
→ Unbraced Length
material ও x-section property এর উপর depend করে।

- Lateral torsional buckling ও bending হয় y axis এর আশেপাশে।
- যদি Beam although supported থাকে, তবে (Beam capacity) calculation করতে হবে না, (cross section capacity) calculation করতে হবে।
- তবে যদি মাঝে মাঝে supported থাকে তবে Beam capacity calculation করতে হবে।
- non-compacted এর ক্ষেত্রে Mp পর্যন্ত moment reach করে না।

Lec-23

Beam cross sectional capacity:





For W sections: (মুখস্ত করব)

	Compact	Non-Compact
Flange	$\lambda \le 0.38\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ ✓	$1.0\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ ✓
Web	$\lambda \le$ ✓ $3.76\sqrt{\frac{E}{Fy}}$	✓ $5.7\sqrt{\frac{E}{Fy}}$

$\lambda < 0.38\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ → compact

$0.38\sqrt{\frac{E}{Fy}} < \lambda < 1.0\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ → non-compact

↖ For Flange, similarly for web

- Compact হলে plastic moment হবে, $Mp = Fy\ Zx$
- Compact না হলে λ বের করে interpolation করে Mn বের করব।

x [* Generally flange → non-compact হয়ে থাকে]

* Generally web → compact হয়ে x থাকে।

* Compact হতে হলে সব member ই compact হতে হবে।

* কোন একটি member non-compact হয়ে গেলে পুরো section ই non compact হবে।

Scanned by CamScanner

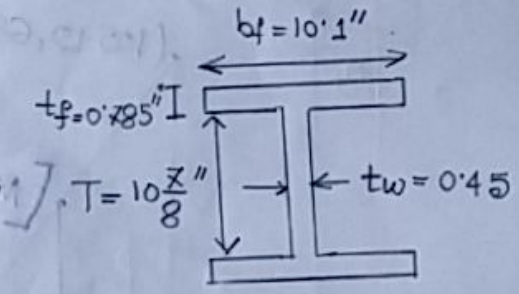
Math Determine capacity of W 14X74 (19/1)

1. Con. lateral support (Lateral torsional buckling হবে না, cross sectional property of beam হবে এর capacity)
2. $L_b = 15'$, $C_b = 1.0$

Given, $F_y = 50$ ksi

(1) Cont. Lateral Support:

No Lateral torsional buckling



W 14X74 $A =$ $d =$ $b_f = 10.1''$ $t_f = 0.785''$

Check compactness criteria:

Flange, $\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{10.1}{2 \times 0.785} = 6.43$

$0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \times \sqrt{\frac{29 \times 10^6}{50 \times 10^3}} = 9.15$

$\therefore \lambda < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ → Flange compact

web, $\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{10.875}{0.45} = 24.17$

$3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 90.55$

$\therefore \lambda < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ → web compact

$\therefore$ Section is compact

$\therefore$ Capacity, $M_n = M_p = F_y Z_x$

$= 50 \times 126$

$= 6300$ K. in

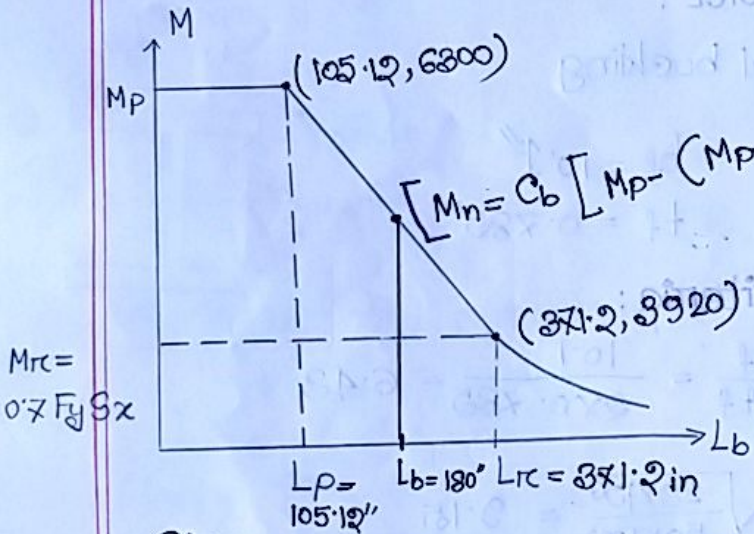
Scanned by CamScanner

LRFD: $\phi M_n = 0.9 \times 6300 = 5670$ K.in

ASD: $M_n/\Omega = 6300/1.67 = 3772.5$ K.in

(2)

Lateral torsional buckling:



Given, $L_b = 15' = 180''$

L_b তা graph এর কোথায় জানা নেই, তাই L_p, L_r বের করতে হবে।

$C = C_b = 1, S_x = 112, r_y = 2.48, r_{ts} = 2.83, h_o = 18.4, J = 3.87$

(18/9)

$$L_p = 1.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}\,r_y = 1.76\sqrt{\frac{29\times10^3}{50}} \times 2.48 = 105.12''$$

$$L_r = 1.95\,r_{ts}\frac{E}{0.7F_y}\sqrt{\frac{Jc}{S_xh_o}}\sqrt{1+\sqrt{1+6.76\left(\frac{0.7F_y}{E}\frac{S_xh_o}{Jc}\right)^2}}$$

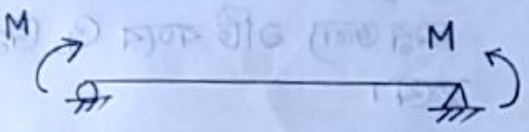
$= 371.2$ in

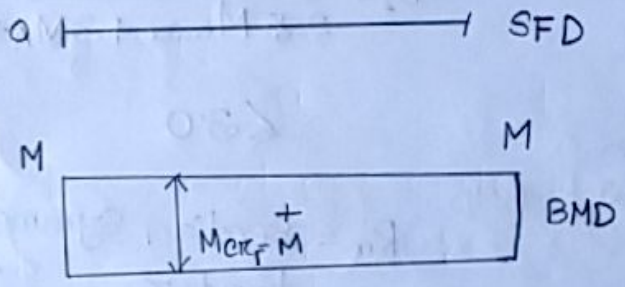
$\therefore M_n =$ ④ তেবজিয়ে $= 5630$ K.in.

Scanned by CamScanner

Lec-24

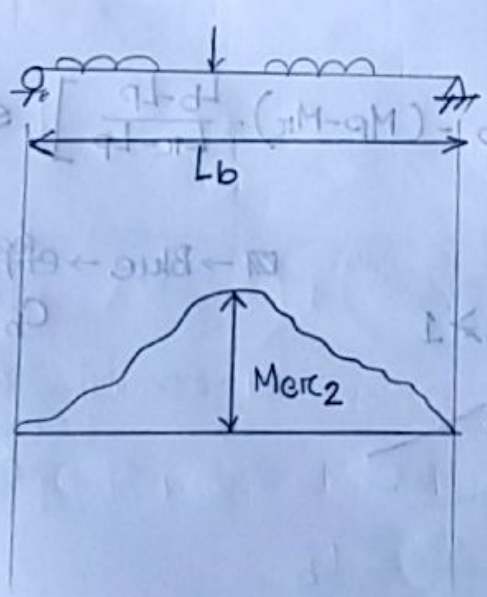
(18/8) Lateral Torsional Buckling (LTB) Theory:





Beam is subjected to pure bending, no shear. M constant এই অবস্থায়, $M_{cr} = \frac{\pi}{L}\sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 I_y C_w}$

But for more realistic loading:



moment is not constant here, has arbitrary shape for this type of beam,

$$M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L}\sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 I_y C_w}$$

বা, $F_{cr} = C_b \frac{\pi}{S_x L}\sqrt{\ldots\ldots}$

$M_{cr2} > M_{cr1}$, $C_b > 1$ হবে

$\boxed{1 \leq C_b \leq 3}$ for M_{cr2}

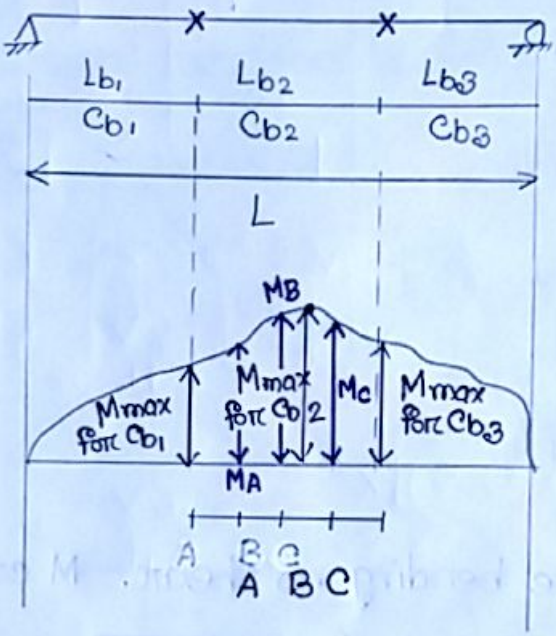
Scanned by CamScanner

✱✱ Exam এ C_b বের করার Math আসে। আগে BMD Draw করে নিতে হবে।

• C_b depends on moment diagram.

Formula of C_b: (18/14)

প্রত্যেকটা unbraced span এর জন্য এটি করে C_b বের হবে।



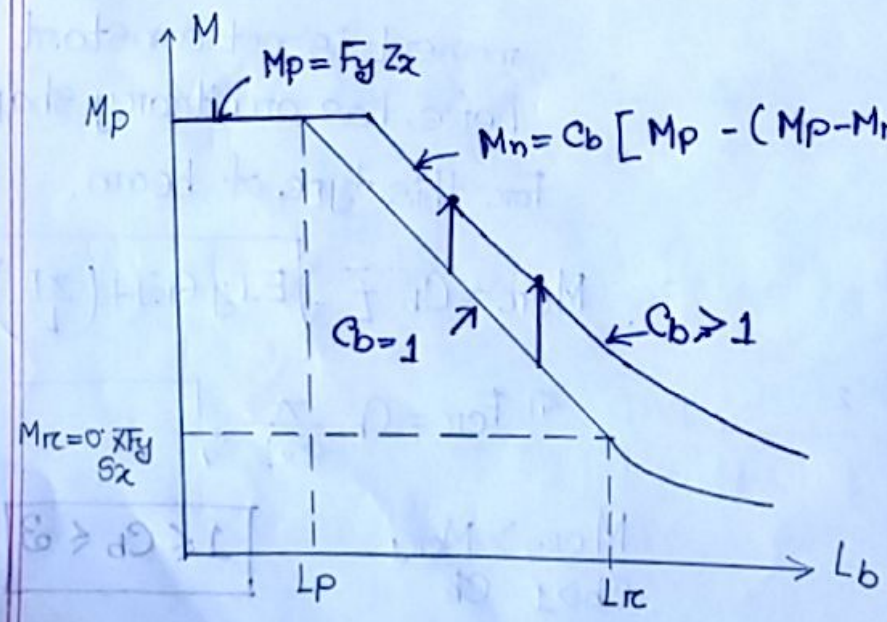
BMD

For C_{b2}

$$C_{b_2} = \frac{12.5\, M_{max} \times R_m}{2.5\, M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 3.0$$

R_m = section symmetry factor
= 1.0 for doubly symmetric section

• C_b মেইন্লি > 1, তাই M_{nr} বেড়ে যায় C_b এর জন্য।



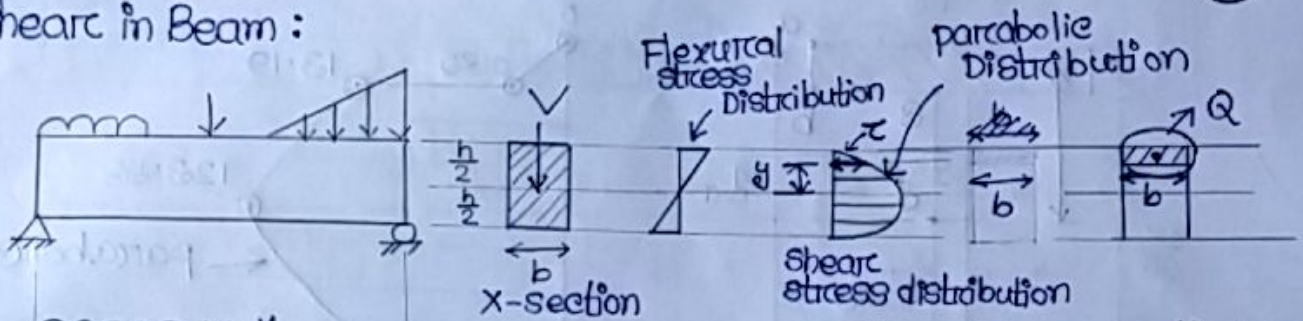
▨ → Blue → effect of C_b

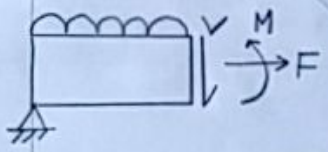
▨ → pencil → without considering C_b

Scanned by CamScanner

Lec-25

Shear in Beam :





V = Total Shear Force acting on a section

V = Total shear force acting on a section

$$\tau = \frac{VQ}{Ib}$$

Q → যেখানে stress বের করা হচ্ছে, তার উপরের area এর moment about N.A

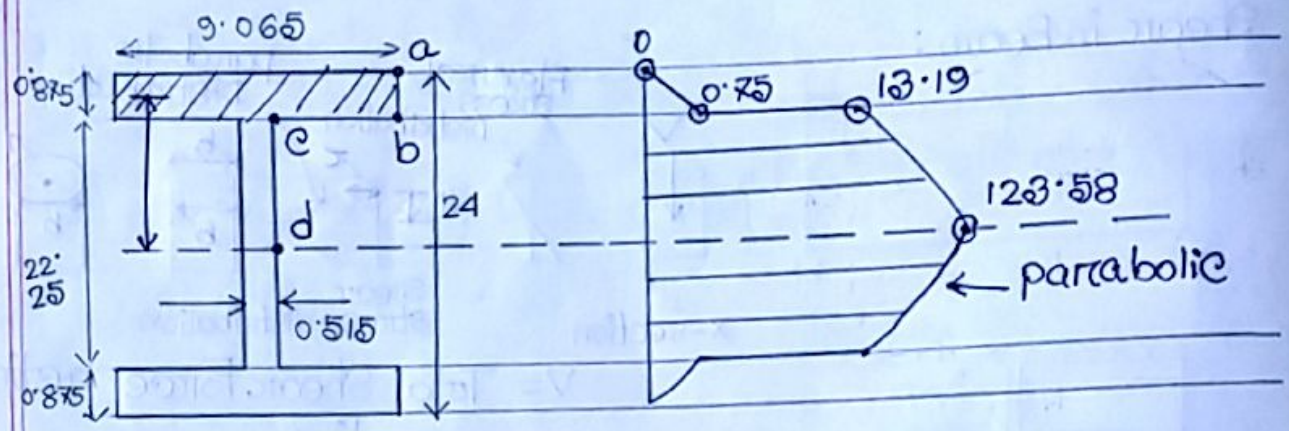
b → width of section where τ calculated

Q = Area moment of the area above y about N.A.

উপরের দিকে এর, $Q = (h/2 - y)b \times \left(\frac{h/2 - y}{2} + y\right)$

Scanned by CamScanner

☐ Shear Stress on A 'W' section (W 24×94):



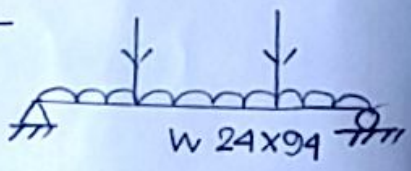
$I = 2700\ in^4$, $V = 200K$

$$\tau_a = \frac{VQ_a}{Ib} = \frac{200\times 0}{2700\times 9.065} = 0$$

$$\tau_b = \frac{VQ_b}{Ib} = \frac{200\times\left[(9.065\times 0.875)\times\left(\frac{22.25}{2}+\frac{0.875}{2}\right)\right]}{2700\times 9.065} = 0.75$$

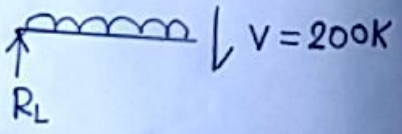
$$\tau_c = \frac{VQ_c}{Ib} = \frac{200\times\left[(9.065\times 0.875)\times\left(\frac{22.25}{2}+\frac{0.875}{2}\right)\right]}{2700\times 0.515}$$

$$= 13.19$$



$$\tau_d = \frac{VQ_d}{Ib} = \frac{200\times Q_d}{2700\times 0.515}$$

$$= 17.8$$



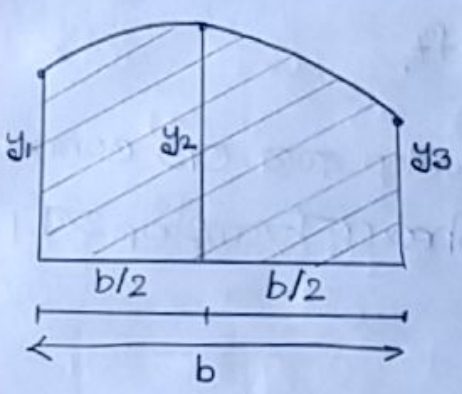
$$Q_d = (9.065\times 0.875)\times\left(\frac{22.25}{2}+\frac{0.875}{2}\right)+\left(\frac{22.25}{2}\times 0.515\right)\times\frac{22.25}{4}$$

$$= 123.58$$

∴ Shear stress এর অধিকাংশই web এ যাচ্ছে। অল্প একটু Flange এ যাচ্ছে।

Scanned by CamScanner

Simpson's Rule:



Shaded area

$$A = \frac{y_1 + y_3 + 4y_2}{6} \times b$$

Contribution of web:

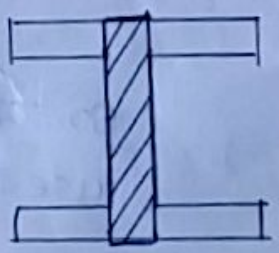
$$V_{web} = \left\{\left[\frac{13.19 + (4 \times 17.8) + 13.19}{6}\right] \times 22.25\right\} \times 0.575$$

(stress × area = shear force)

$= 186.36$ Kip (93.18%)

$V_{flange} = 200 - 186.36 = 13.64$ Kip (6.82%)

Shear is carried by web
Moment " " " flange



Average shear stress across the depth, $\tau_{avg} = \frac{V}{d t_w} = \frac{200}{24 \times 0.515}$

$= 16.18$ KSI

$\frac{\tau_{avg}}{\tau_{max}} = \frac{16.18}{17.8} = 0.91 = 91\%$

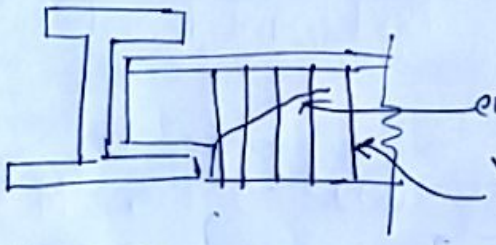
$\therefore \tau_{avg}$ is close to τ_{max}.

Scanned by CamScanner

Lec-28

Roll করা হয় steel section সর্বোচ্চ 20 ft.

• simple connection এ shear develop করে, তাই connection দিতে হবে web এ. ez, web দিয়ে shear transfer হবে।
so, web to web connection



use করলে crack develop করবে না আর

Lec-29

bolt spacing = 2·5 or 3 x bolt dia

$$= 3 \times \frac{3}{4} = \frac{9}{4} = 2{\cdot}25''$$

$$\therefore \frac{12{\cdot}53}{2{\cdot}25} = 5{\cdot}56 \approx 5$$

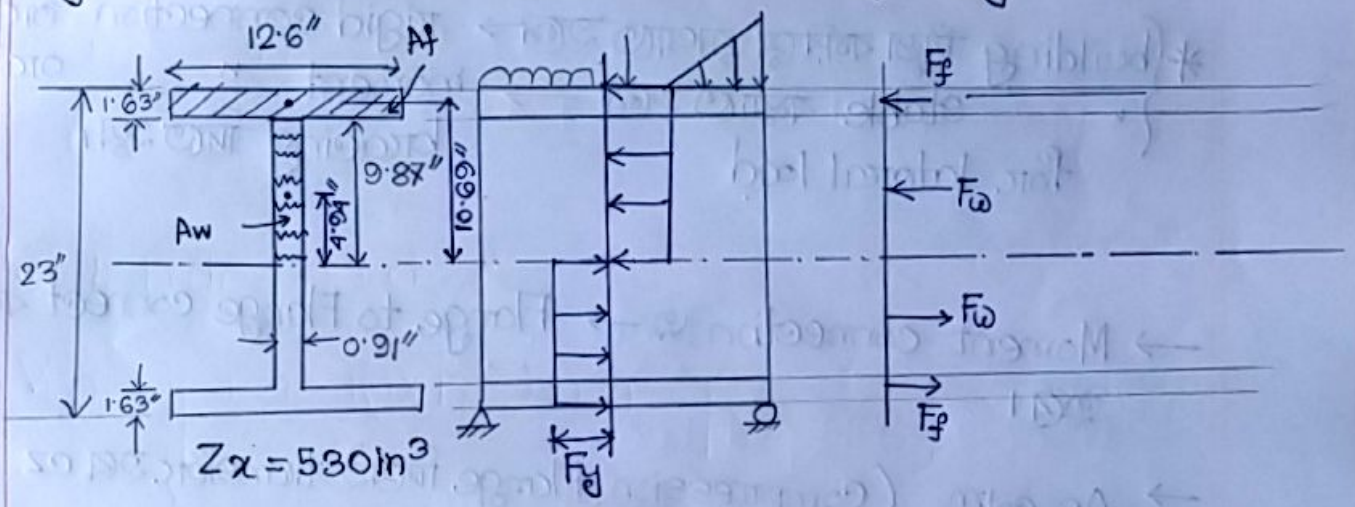
so, এই chart এ 5টা বা তার চেয়ে কম bolt জোট use করব।

Scanned by CamScanner

Lec-30

— Shear web ও
— Moment flange ও

$F_y = 50$ KSi, W 21X201 → Moment Capacity



Fully plastic condition = $M_p = F_y Z_x$
$= 50 \times 530$
$= 26500$ K. in

$F_f = F_y A_f = 50 \times (12.6 \times 1.63) = 1026.9$ K

$F_w = F_y A_w = 50 \times (9.87 \times 0.91) = 449$ K

M_f = Moment by flange stress $= 1026.9 \times 10.69 \times 2 = 21955.1$
(2 টা flange)

$\therefore \frac{M_f}{M_p} = \frac{21955.1}{26500} = 0.828 = 82.8\%$ → Flange carries major part of moment

Scanned by CamScanner

• rigid connection → beam-colm 90° angle এ আছে। এটা ছুটবে না।
beam deflect করলে colm ও deflect করবে এবং angle 90° ই থাকবে।

* building দাঁড়া করিয়ে রাখতে হলে → rigid connection বা moment " বা
" stable করতে হলে → bracing দিতে হয়।
for lateral load

→ Moment connection এ → Flange to Flange connect করতে হবে।

→ As colm (Compression Flange দিয়েই transfer হবে cz, flange এর area বেশি)
Flange area = 2Af = 41.11 in²
Web " = Aw = 18 in²

- Shear connection → web to web connection
- Colm to colm connection → Flange to Flange (axial load transfer)

* যেখানে moment থাকবে, সেখানে shear ও থাকবে। তাই ~~web~~ flange এ connection দিলে web এও connection দিতে হয়।

* Welded connection (a) নং, সবচেয়ে preferable.

Scanned by CamScanner

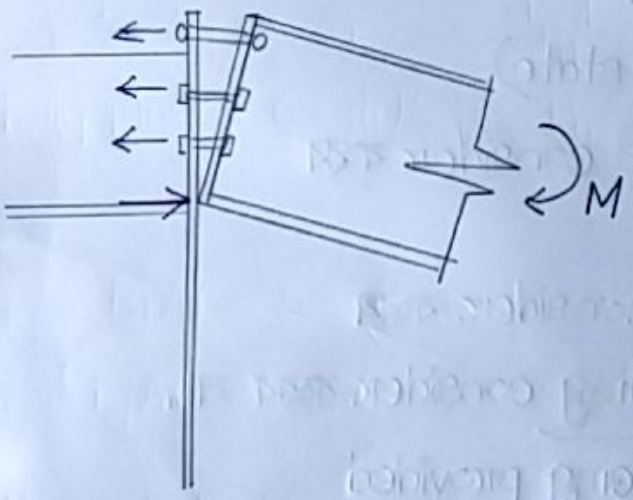
• Welding করলে material brittle হয়ে যায়। যখন EQ তে আসেনা হয়।

• Field এ welding করা আসেনা, কিন্তু lab এ ভালভাবে করা যায়।

So, **best হল (d) নং connection.**

Lec-31

• Cantilever beam এর জন্য Continuous beam to colm connection লাগে



সব bolt এর force equal
$= P_t$

Flange Tension = Bolt force

Design → 1) end plate thickness
2) bolt dia

ϕM_{np} → সবগুলো Bolt yield করলে যেই moment develop করবে।
Actual bolt এর capacity

Scanned by CamScanner

Lecture - 26

□ Point Load on Beam :

যে point এ, point load আসে, তা যদি previously designed beam section এর capacity exceed করে তখন section thickness বাড়ানো যায়। But এটা uneconomic as problem only এক point এ, অই এই point এ stiffner দিব যেটা economic solution.

Lecture - 27

□ Serviceability of beam :

deflection → L.S (Limit state)

stress, strain (deflection) → দুটাই consider করবে

- Load & deflection both consider করবে
- Lateral torsional buckling consider করবে না, as Lateral bracing provided

Scanned by CamScanner

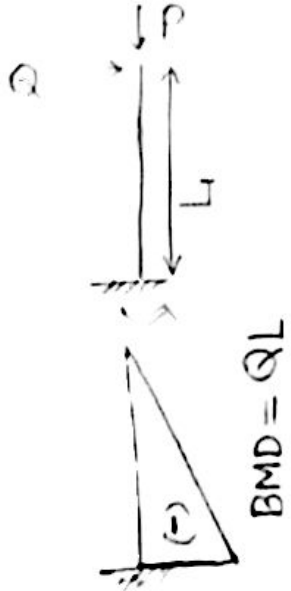
Lec-28

Beam-column

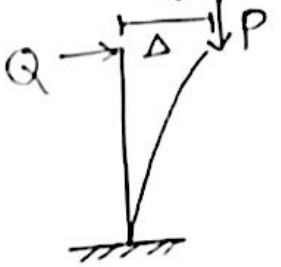
- real load + moment → both considerc করব colm design করবার ক্ষেত্রে।

- colm + Beam → Design
- beam ও colm এর bending same axis বরাবর হতে হবে।

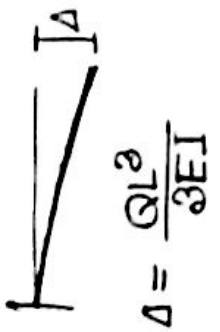
1. Moment Amplification:



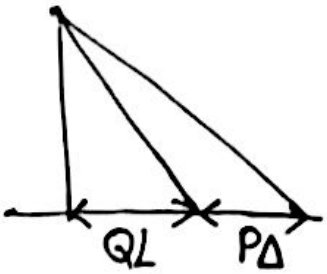
* Moment-area method ও integration করে Δ বের করি।



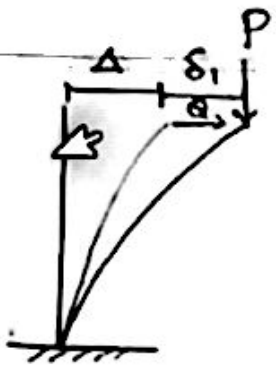
deflection হবার পরও load চলে যায় নি, আছে।



(2) (1st order analysis)



(3) (2nd order) analy



* steel এ 2nd order moment consider করতেহয়।
* concrete এ 1st order moment কখন consider করলেইহয়।

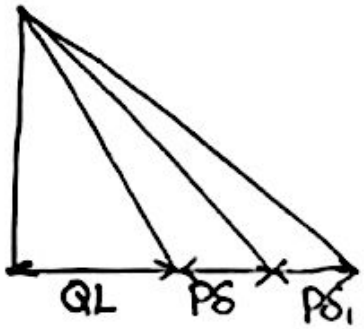
$$M = \underbrace{QL}_{M_0} + P\Delta + P\delta_1$$

$$= BM_b$$

$M_0 = QL$ = 1st order moment

$B \rightarrow$ moment amplification

$\Delta \rightarrow$ initial deflection $= e$



deflection $\rightarrow v$

slope $\rightarrow \theta = \frac{dv}{dx}$

$$M = EI \frac{d^2\theta}{dx^2}$$

$$V = EI \frac{d^3\theta}{dx^3}$$

$$P = EI \frac{d^4\theta}{dx^4}$$

⊙ (2nd order anal.)

Sir এর slide এর Lecture 30 Term Q এ থাকবে না।

Scanned by CamScanner