ॐ

Lec-1

Mechanics Of Solids-I

AHSANUL KABIR

1) Concept of stress and strain
2) Constitutive relationship
3) Deformation due to tention, compression and temperature changes
4) Beam statics—
   → Reaction
   → Axial
   → Shear force and bending moment diagrams (using method section and summation approval)
5) Elastic Analysis of circular shafts, solid non-circular and thin walled tubular members. Subjected to torsion.
6) Flexural and shearing stresses in Beams shear centre.
7) Thin walled pressure vessels

→ Mechanics – Subject which deals with action of forces

→ Solid mechanics – Action of forces on solid members.

→ Equilibrium state এ stress $= \frac{P}{A}$

→ Strain = Deformation per unit length

→ Constitutive relation = Stress ও strain এর মধ্যে relation
For example → Young's modulus

Tension

Force acts away from the body

$\bullet\longrightarrow$

Compression

Force acts towards the body

$\bullet\longleftarrow$

Shear force: Sliding force

পাউরুটি কাটা → ছুরির দুই side এ shear force কাজ করে।
পাউরুটিতে shear resistance কাজ করে।

মাটির shear resistance না থাকলে, মাটিতে হাটা সম্ভব হত না।

* axial force – Tension, compression
* Sliding force – Shear force
* Thin walled pressure vessel এ always Tension কাজ করে।
  যেমন – বেলুন, pressure cooker.
* সাবমেরিনের ক্ষেত্রে সাবমেরিনের দেয়ালে পানির compression কাজ করে।

L-?

Strength of Materials (S.M)

Mechanics of Solids

Text Book

1) Engi. Mechanics of solids → Egor P Popov

   Sir এর lec → Introduction to Mechanics of solids → E P. Popov.

Introduction

purpose:

To determine the component parts of a ~~structure~~ (i.e. size) in order to resist the actual / probable forces.

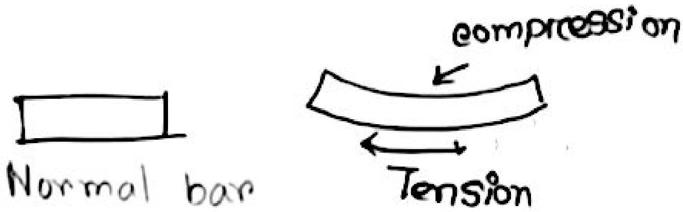
i.e. examples

1) Wall thickness ? of pressure vessels
2) Adequate floor size for intended use
3) Size of Machine shaft for Applied Torque ঘূর্ণায়মান (ঘূর্ণন shaft)
4) Wing of an aeroplane to withstand aerodynamic forces – in flight, Take off, Landing
5) Deflection – must not exceed certain levels
6) Failure through Elastic Instability (collapse through buckling due to slenderness under comp. Load)

Scope

In Engg. Practice all above to be satisfied with min^m expenditure of a given material

Besides weight of the package may determine success of mission.



→ cost
→ weight } design এর সময় বিবেচনা করা হয়।

ব্রীজ এর নীচে পাশাপাশি beam cross-section দিয়ে joint করা থাকে যাতে compressive load এ Bend না হয়ে যায়।

Gist

Mechanics of solids involves Analytical methods for determining →

strength, stiffness, stability

Important contributors

Italian → Galileo — Early 17th Cent.

French → Coloumb
Poisson
Navier
St. Venant
Cauchy } 19th century

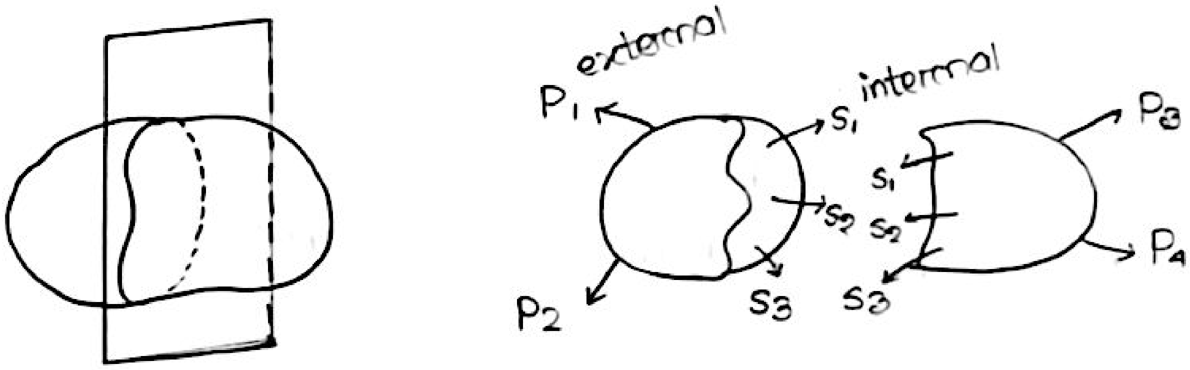
English → R. Hooke – Late 17th Cen (1676)
→ Thom. Young – Early 19th (1807)

German → Otto Mohr – 19th Cent.

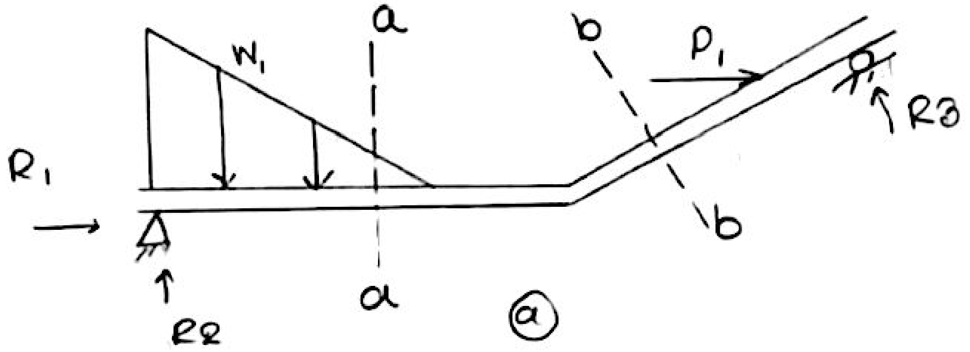
Strength → Force resist করার ক্ষমতা
Stiffness → বাঁকা হতে বেশি দেরি হয়, হঠাৎ করে Deflection হবে না।
Stability → কোন জিনিসের sudden collapse.

Reaction → external force

Method of section



sectioning of a body



Basic Approach

1. Isolate a member
 Draw free body of the whole member

2. Determine reactions
 using EQ.S. of statics or boundary conditions.
 For Indetm. structures statics is supplemented with kinematic conditions.

3. Pass a section ⊥ or to the member axis at the location of interest.
 Isolate any one part of the segment will all forces shown.

4. Determine these internal forces using equilibrium condition of the isolated segment.

5. Determine the stresses at the section from the Determined forces at the section.

6. With stress (Max^m) values known select appropriate material of approximate size to withstand the stresses.

7. In some cases, deformation limitation will guide the member design.

old
1, 2, 3, 4 → [3, 4]

L-3

Beam Statics (of new-7)

Axial force, shear and bending moment

অর্থাৎ বস্তু equilibrium এ থাকলে, 6 ধরনের অবস্থার সম্মুখীন হবে।

$$\left.\begin{array}{ll} \Sigma F_x = 0 & \Sigma M_x = 0 \\ \Sigma F_y = 0 & \Sigma M_y = 0 \\ \Sigma F_z = 0 & \Sigma M_z = 0 \end{array}\right\}$$

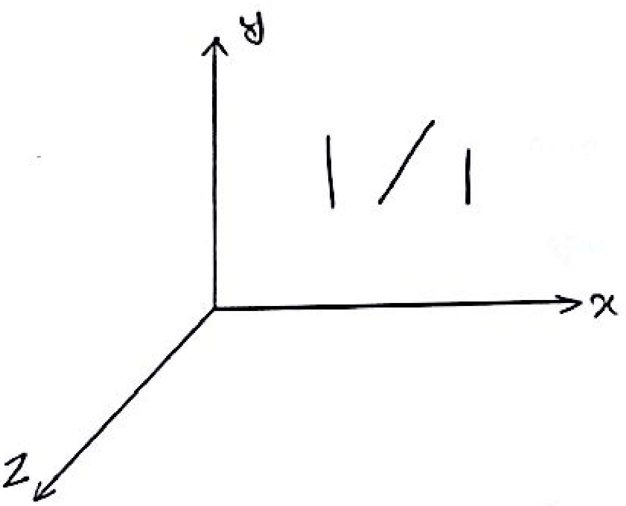
এই 6টি condition satisfy করবে। এটাই Beam statics.

along the direction of the axis of the member → X axis
y ও z হলো x এর mutually perpendicular.

Axis of a member – member এর longest direction (দৈর্ঘ্য বরাবর) যে line pass করে।

axis is a line that passes through the cross section along the longitudinal direction of a member.

local co-ordinate system → longitudinal direction x axis
Global " " → স্থির করে নিতে হবে x, y, z axis.



শুধু x,y axis এ force কাজ করলে,

$$\left.\begin{aligned}\Sigma F_x &= 0\\ \Sigma F_y &= 0\\ \Sigma M_z &= 0\end{aligned}\right\} \text{For 2D case.}$$

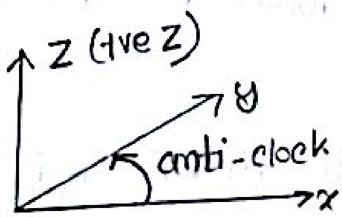
আমরা 2D নিয়ে কাজ করব।

Statics দিয়ে যাকে determine করা যায়, তাকে statically determinant বলে।

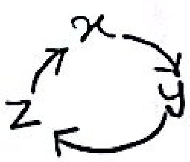
যদি 2D structure হয় এবং unknown ৩টা রাশি থাকে তবে statics দিয়ে determine করা যাবে।

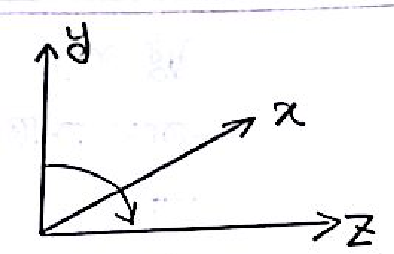
কিন্তু unknown যদি ৩টার বেশি হয় তবে static দিয়ে solve করা যাবে না।

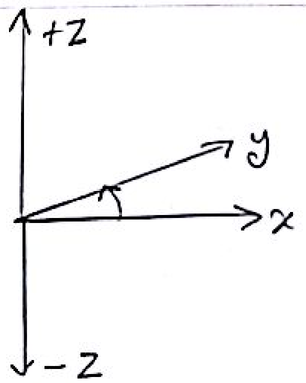
* axis system এর জন্য right hand screw rule follow করা হয় z axis পেতে হলে।

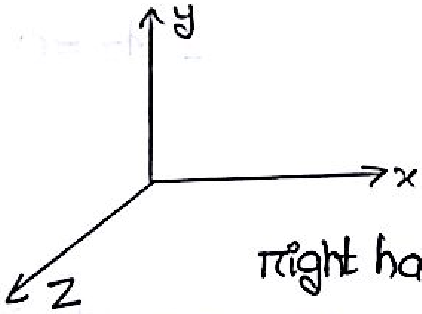


x→ y তে গেলে (anti clock wise) screw যেদিকে move করে সেদিকটা +ve z axis.









right hand face এর জন্য

right hand screw মেনে যে moment ঘুরলো হয় → +ve moment.

Left hand face এর জন্য opposite হবে right hand face এর।

□ Diagrammatic conventions for supports:

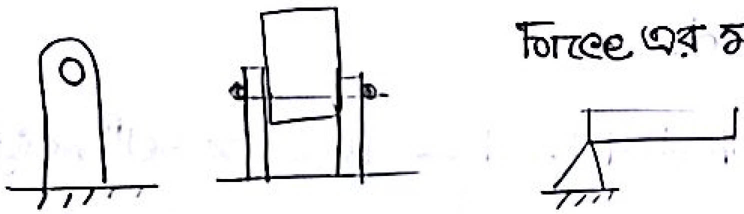
এখানে যে force build হয় তার মান শুধু অজানা, কিন্তু দিক জানা।

[1] Link support – এ Link এর axis বরাবর force develop করবে

[2] plane এর parallel direction এ কোন force develop করবে না। perpendicular বরাবর force build হবে → Roller support.

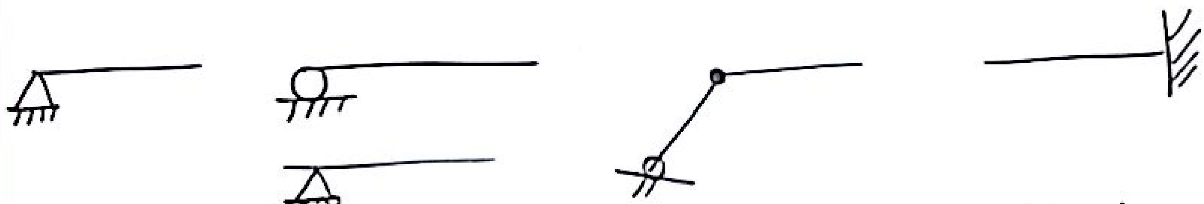
ওরা একই Type এর, কারণ মান অজানা, দিক জানা।

Pin/
③ Hinge support: rotate করতে পারে। Force এর মান ও দিক দুটোই unknown.



4 Fixed support:

rotate ও করে না, So, Moment· Force এর মান ও দিক unknown.



~~Fixed link~~ Hinge/ pin

Roller

~~Pin~~ linked/ ~~pin~~

Fixed

☐ Load

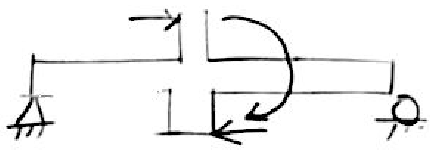
1) concentrated load:

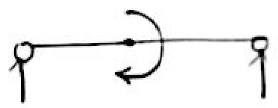
2) Uniformly distributed Load → Beam এর self weight

3) Pressure load → Triangular load → Uniformly varying load

☐ Moment:

concentrated moment



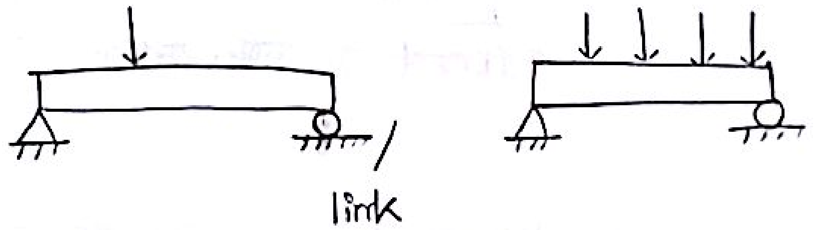


L-4

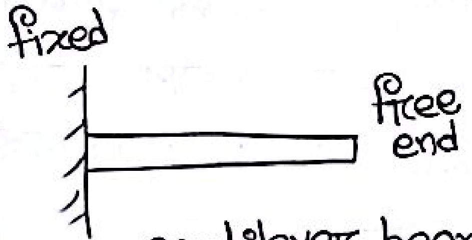
uniformly distributed Load

□ Classification of beam: (support এর ভিত্তিতে)

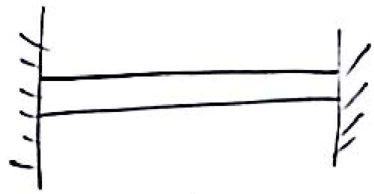
hinge, Roller যদি দুটি দুই প্রান্তে থাকে তবে তাকে → simple / simply supported বলে।



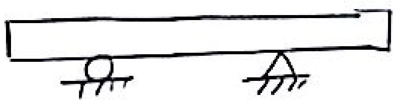
simply supported beam



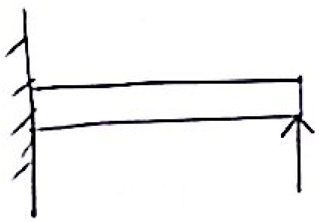
cantilever beam



Fixed beam



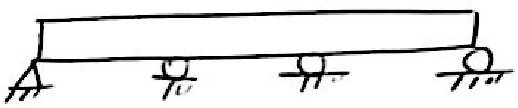
beam টা support এর বাইরে চলে গেছে which over hangs beyond the support → over hanging beam.



propped cantilever / Restrained beam

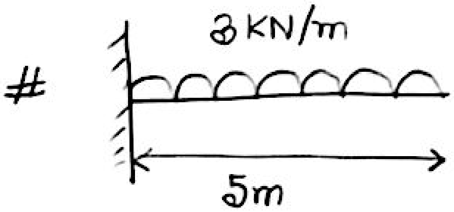
fixed

Roller / hinge



If there is more than 2 support, it is called $\boxed{\text{continuous support.}}$

support যে কোন ধরনের হতে পারে।

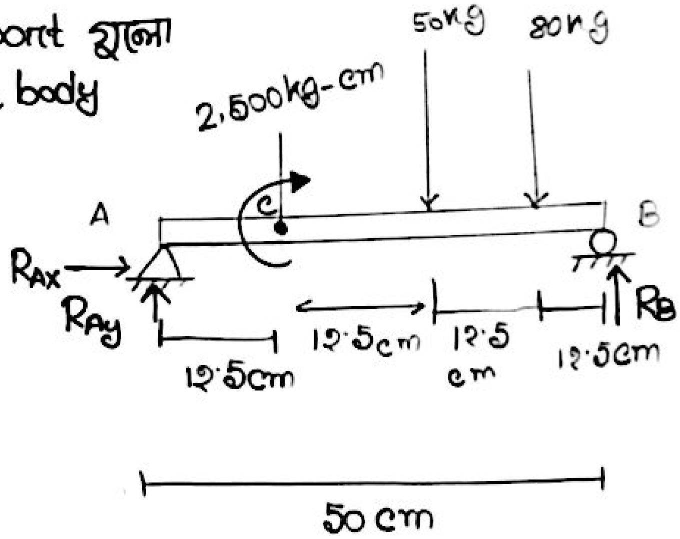


cantilever beam → 5m span

কলাম designing এ সবসময় great importance দিতে হয়। কারণ, কলাম fail করলে পুরো structure fail করবে।

☐ Calculation of beam reactions:

Ex- ২-1 hinge, roller support গুলো দেখানো যাবে না free body diagram এ.



* যে point এ hinge আছে, সেটার সাপেক্ষে Moment =0 নিব। তাইলে দুটো unknown vanish হয়ে যাবে।

$\Sigma F_x = 0$ ও $\Sigma F_y = 0$ সবার আগে ব্যবহার করা যাবে না।

* moment কে এক point থেকে অন্য point এ নিলে change হবে না।

$\Sigma M_A = 0 \quad \circlearrowright +ve$

$50 \times (25) + 2500 + 80 \times 37.5 - R_B \times 50 = 0$

$\therefore R_b = +135 \text{ kg} \uparrow$

$\Sigma F_x = 0$

$\therefore R_{Ax} = 0$

$\Sigma M_B = 0 \quad \circlearrowright +ve$

$R_{Ay}(50) + 2500 - 50(25) - 80(37.5) = 0$

$\Rightarrow R_{Ay} = -5 \text{kg}$

$\Sigma F_y = 0$

$135 + R_{Ay} - 50 - 80$

<u>check</u> $\quad \Sigma F_y = 0 \uparrow +ve$

$-5 - 50 - 80 + 135 = 0$

$\Sigma F_y = 0 \quad \uparrow (+ve)$

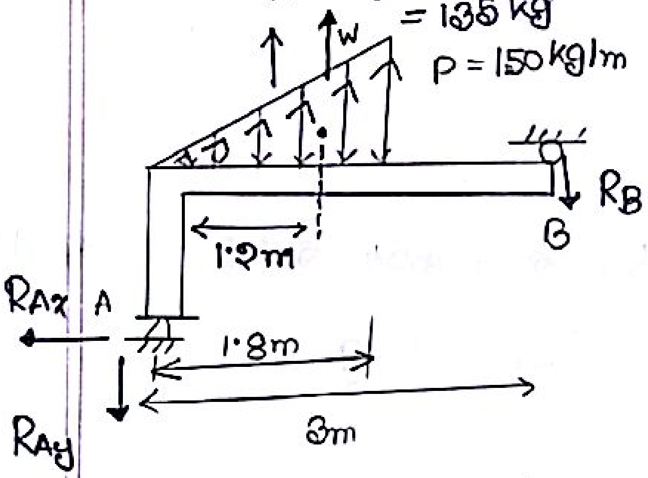
$R_{Ay} - 50 - 80 + 135 = 0$

$\therefore R_{Ay} = -5 \text{ kg}$

L-5

Ex-২-২

$W = \frac{1}{2} \times 1.8 \times 150$
$= 135$ kg



যেহেতু Load গুলো উপরে, তাই reaction নিচে।

$\Sigma F_x = 0$

$\therefore R_{Ax} = 0$

$\Sigma M_A = 0$

$135 \times 1.2 - R_B \times 3 = 0$

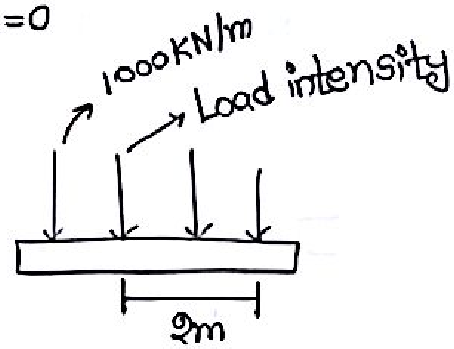
$\therefore R_B = 54$ kg $\downarrow$

$\Sigma M_B = 0$

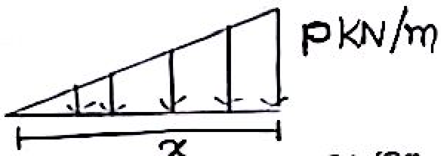
$-R_{Ay}(3) + 135(1.8) = 0$

$\therefore R_{Ay} = 81$ kg $\downarrow$

যেহেতু Hori. force নেই, তাই
$R_{Ax} = 0$



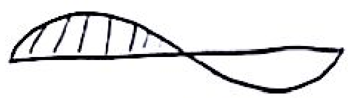
So, $F = 1000 \times 2$
$= 2000$ KN



Triangle এর area এর সমান।

So, $F = \frac{1}{2} \times x \times P$

*

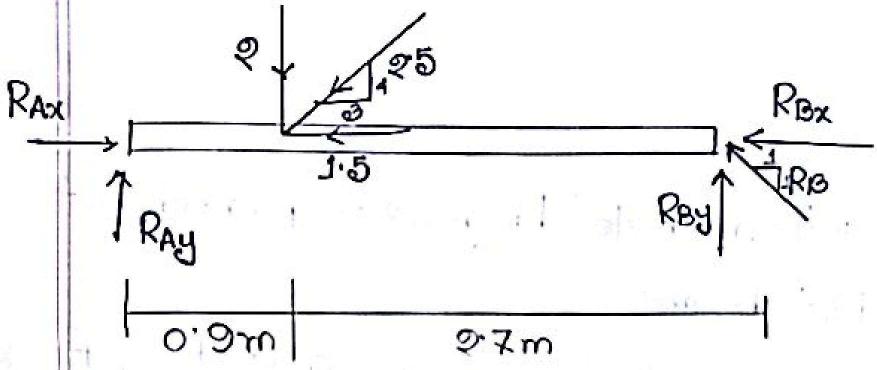


sin curve এর integration করে load বের করতে হতে পারে।

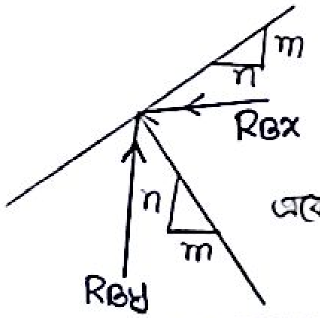
moment = total force × centroidal distance of total load

* inclined force থাকলে একে component এ ভাগ করে নিতে হবে।

Ex- ২-৩



slope same হওয়ায়, $R_{Bx} = R_{By}$



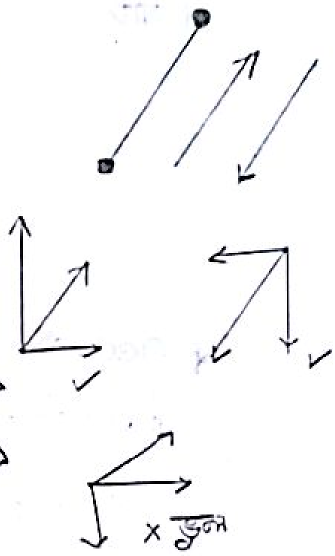
$\boxed{m_1 m_2 = -1}$

একে অপরের উল্টা → slope

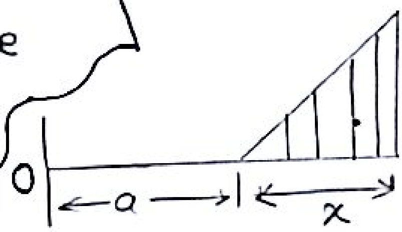
$\cancel{\frac{R_{Bx}}{m}} \neq \boxed{\frac{R_{By}}{n} = \frac{R_{Bx}}{m}}$

এদের মধ্যে relation আছে, তাই unknown আছে ৩টি।

* Moment নেয়া হয় Hinge point এ



* moment নেওয়া হয় centroidal distance অনুযায়ী।

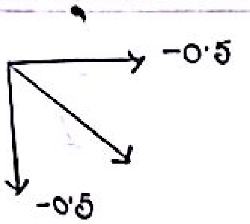


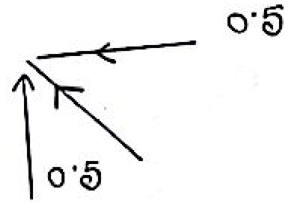
মোমেন্ট about point O.

$(a+\frac{2}{3}x) \times \frac{1}{2} x \cdot P$

* support → support
1) horizontal dimention
২) vertical "

কোন frame structure এর জন্য এগুলো জানা থাকতে হবে। প্রয়োজনে dimension (resonable) assume করা যায়।

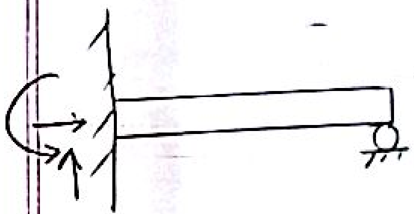
* যদি  আসত, তবে আবার fig এঁকে correction করে নিতে হবে।



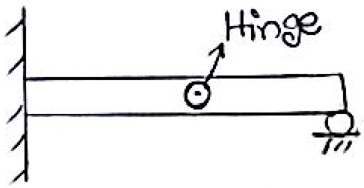
* Occasionally, (intermediate) hinges or pinned joints are introduced into beams.

A Hinge can transmit only horizontal and vertical forces no moments.

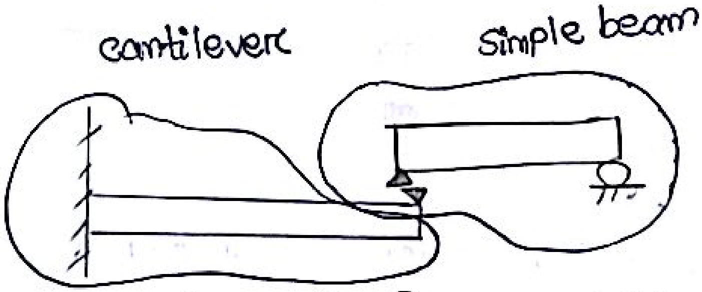
So, these hinge points are locations for sub dividing structures into parts.



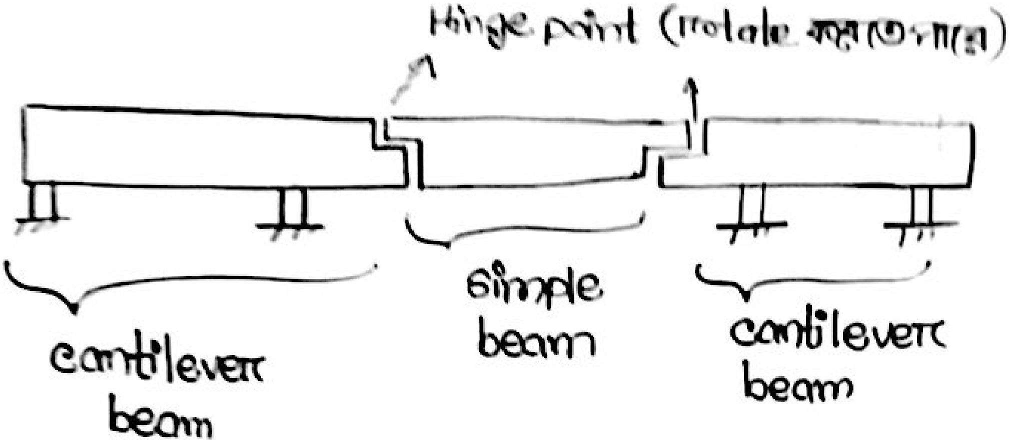
4 টা unknown.
So statically underterminant.

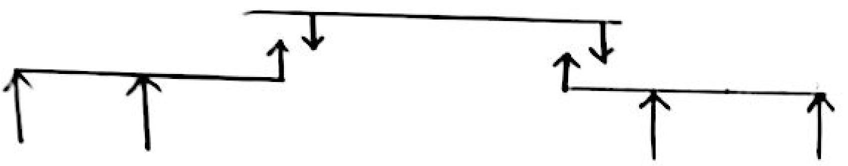


যদি Hinge বসানো হয় তবে,



যখন ঐ beam টি ২টি part এ ভাগ করা হয়ে যায়। যার ~~সবই~~ জানা। যতজে এখন এটা statically determinant হয়ে যায়।





Lec-6

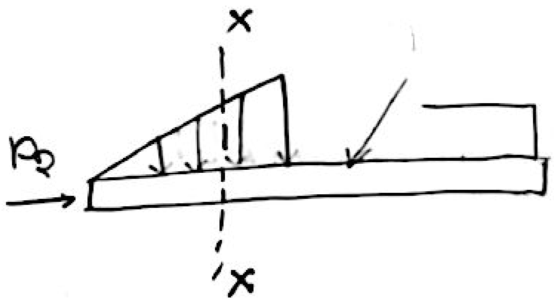
internal force
- M → Moment
- P → Axial Force
- V → Shear Force (vertical force)

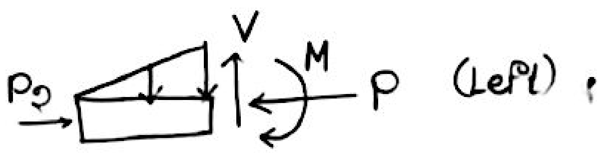
Method
- → A freebody diagram
- → compute reaction
- → Apply method of section

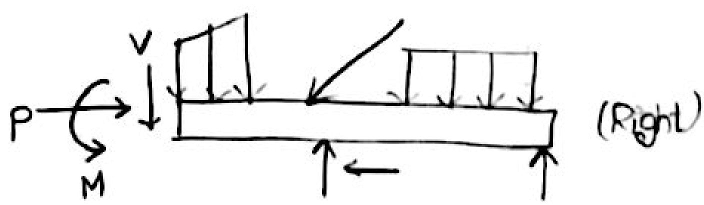
section করার পরও statics এর সূত্র apply করা যাবে।

$\Sigma F_x = 0$
$\Sigma F_y = 0$
$\Sigma M = 0$

Axial Force, Shear and moment diagram → A Direct Approach

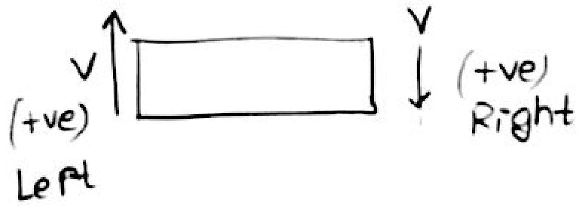


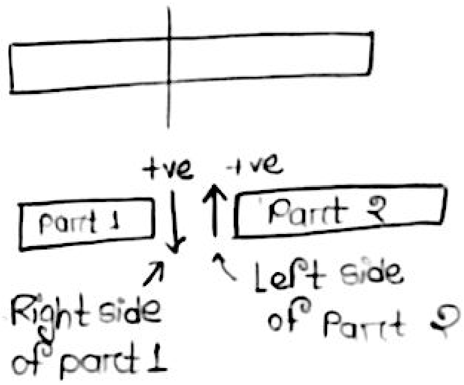




Leftside এ V, M, P যে পাব

□ Shear in Beams :



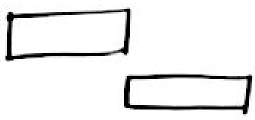


Left side → উপরে
Right " → নিচে } +ve

* Structure mechanics এ
Tension = +ve
Compression = −ve

* Soil mechanics এ শুধু compression থাকে, তাই Compression = +ve

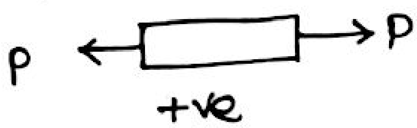
V {



+ve shear

বাম → আকাশে
ডান → পাতালে

P {
টানাটানি = +ve (Tension)
চাপাচাপি = −ve (Compression) (thrust)

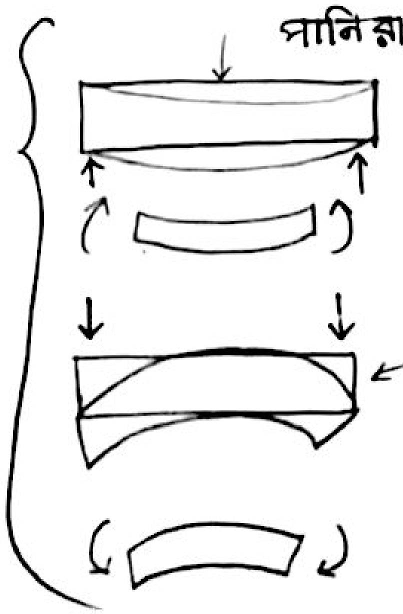


* মাটি সবসময়ই চাপ নেয় (compression). মাটি কখনোই Tension নেয় না।

*

Bending moment :

M {



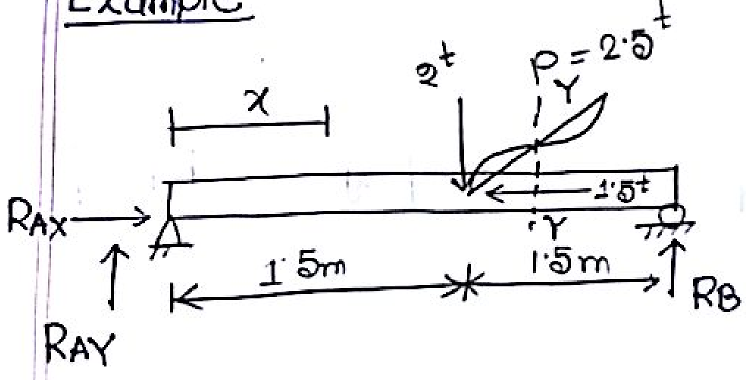
পানি রাখলে জমা হবে = +ve

পানি রাখলে জমা হবে না = −ve

* P, V, M vary along the length of the beam.

* P, V, M diagram (৩টি) আঁকতে হবে।

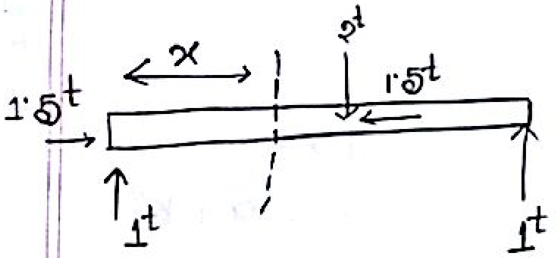
Example



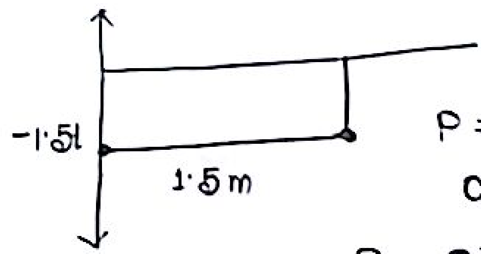
t = ton

Y-Y তে কাটলে।

$P = 0$



P Diagram

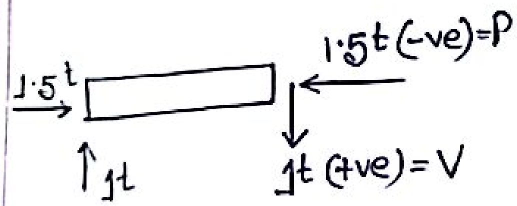


$P = -1.5^t$

$0 < x < 1.5$

$P = 0^t$

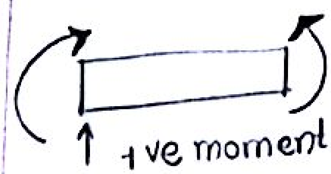
$1.5 < x < 3$



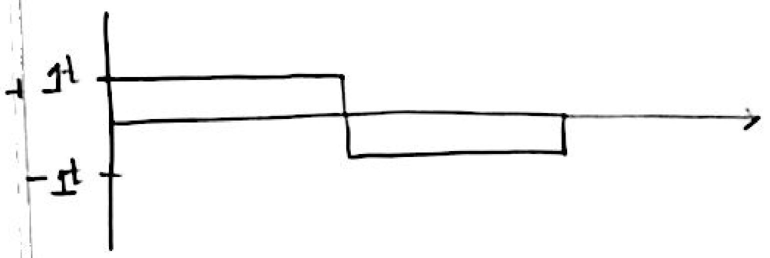
$M = P.d$

$= 1^t \times x$

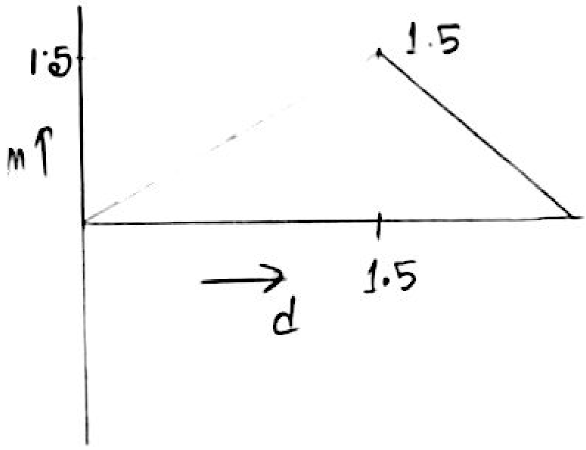
$= x^{t\text{-}m}$

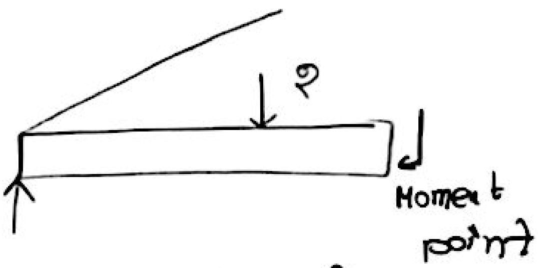


V Diagram V is the summetion of vertical forces



M- Diagram $M = P.d = 1.x = x$ [$y = mx$ type]





$1.x - 2(x-1.5)$

$= -x + 3$

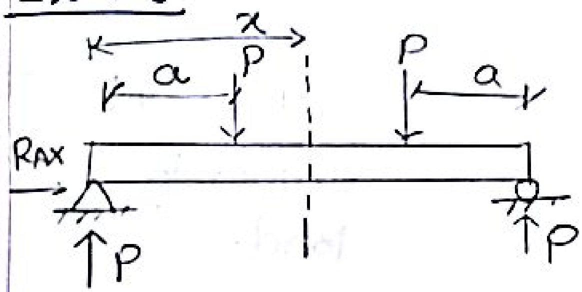
$1x - 2(x-1.5)$

$= \underline{3-x}$

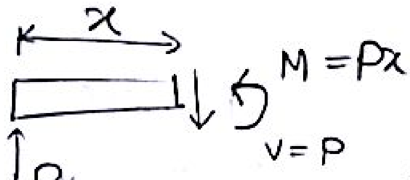
Lecture-7

Two point loaded beam

Ex-২.৫



Statically indeterminent structure এর জন্য যদি এদের (structure) এর dimension না ধরি, তাহলে P, V, M Diagram বের করা যাবে না। তাই আগে Dimension ধরে নিয়ে দেখবো Diagram কেমন আসে। পরে দরকার পড়লে dimention change করব। Trial & Error method.

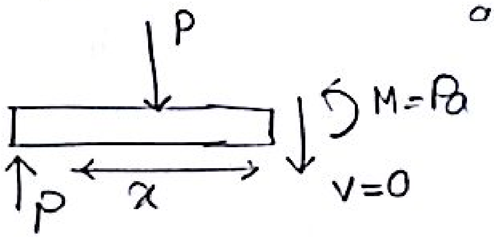


যেহেতু, $R_{Ax}=0$

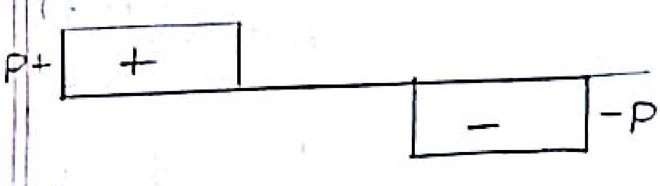
এবং আর অন্য কোন axial force নেই।

তাই, $P=0$

Diagram নিম্নরূপ



Two point loaded beam → দুটি সমান load support থেকে সমান দূরত্বে আছে।

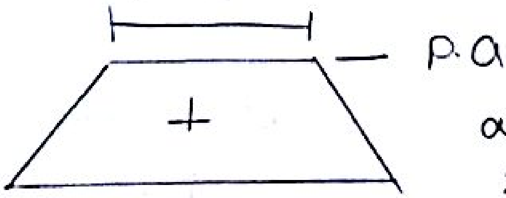


V diagram

3rd point loading →

$a = \frac{L}{3}$ এই দূরত্ব যদি হয় তবে তাকে 3rd point Loading বলে। অর্থাৎ ৩টি beam কে সমান ৩ ভাগে ভাগ করা, এটা Two point loaded beam এর special case.

moment constant ও V=0

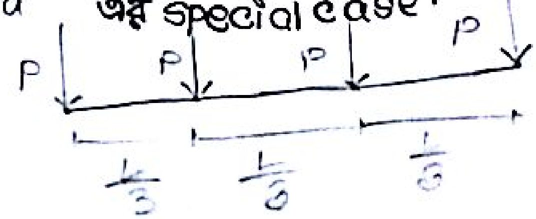


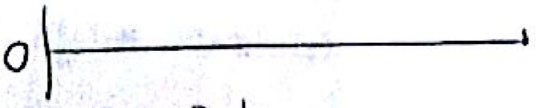
$a \leq x \leq 0$

$x > a$ তখন,

$P.x - P(x-a) = Pa$

Moment



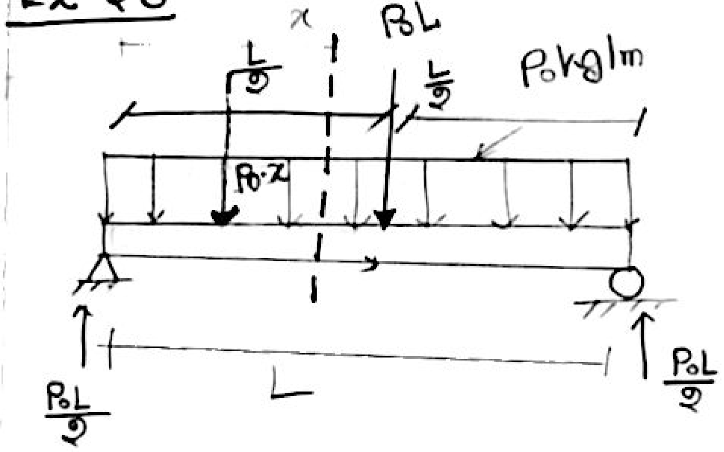


P diagram

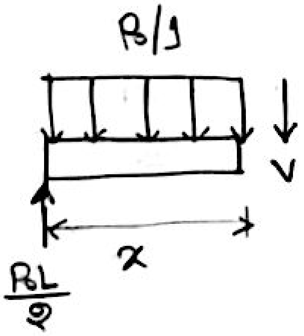
* Experiment করার জন্য অধিকাংশ ক্ষেত্রে 2 point loading use করা হয়। কারণ এই point load দুটির মাঝের অংশে V=0 ও M= constant.

self weight এর জন্য → uniformly distributed load.

Ex-২.৬



প্রতি দূরত্বে P₀ করে কমতে থাকে → V এর জন্য। অর্থাৎ Linearly কমতে থাকবে।



$$M_x = \frac{P_0L}{2}\cdot x - P_0\frac{x^2}{2} = \frac{P_0L}{2}\cdot x - P_0\cdot x\cdot\frac{x}{2}$$

$$V = \frac{P_0L}{2} + P_0x$$

Rectangular Parabolla's eqn

$$M_{max} = \frac{P_0L}{2}\cdot\frac{L}{2} - P_0\cdot\frac{L}{2}\cdot\frac{L/2}{2}$$

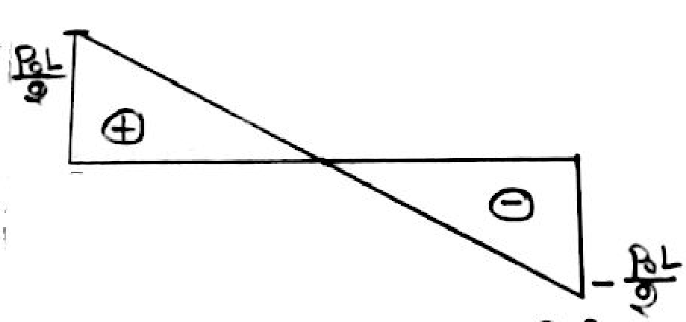
$$= \frac{P_0L^2}{8}$$

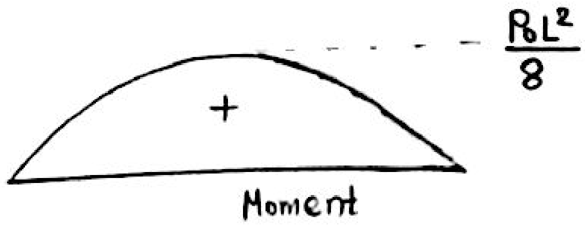
$$\boxed{P_0 = \omega}$$

$$\therefore M_{max} = \frac{\omega L^2}{8} = \frac{WL}{8}$$

W = Total weight = ωL

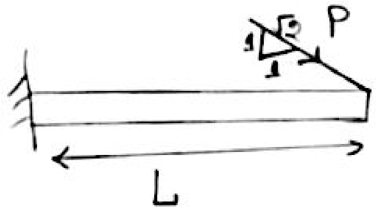
ω = per length এ weight

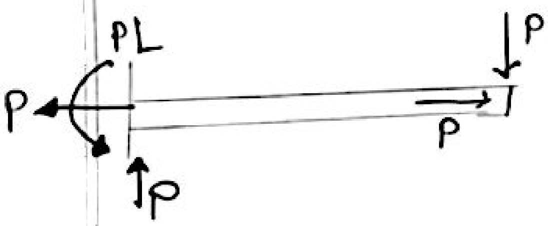


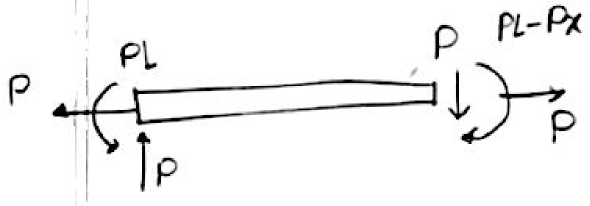


* Force এর উৎপত্তি স্থান থেকে support পর্যন্ত Force কাজ করবে।

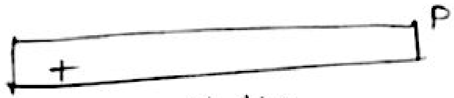
$\boxed{২-৭}$



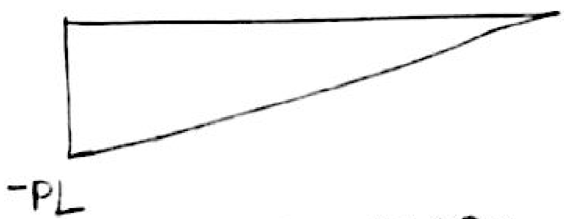




P dia

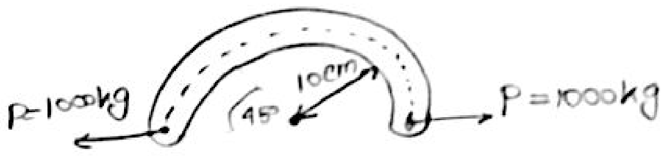


V dia



$M = -PL + Px$

$\boxed{2-8}$



Polar co-ordinate (r, θ)

cross section axis এর perpendicular. ফলে cross section rotate করছে।

cross section এর perpendicular এ axial force কাজ করবে।

ফলে cross section অনুযায়ী P, V, vary করবে।

x Axial force = $P \sin\alpha$

x$V = P\cos\alpha$

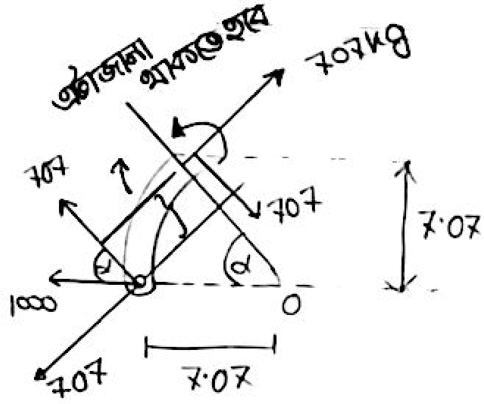
$P = F\sin\alpha$

$V = F\cos\alpha$

এখানে, P ও V উভয়ের জন্যই M হবে। তাই এদের Resultant এর M use করা যেতে পারে।

$\boxed{\text{Ass-1}}$

H.W → P, V, M diagram for α = variable



Axial Force $= P \sin\alpha$

Shear Force $= P \cos\alpha$

At sec A-A $\quad \alpha = 45°$

$V = 1000 \cos\alpha = 707$ kg

$P = 1000 \sin\alpha = 707$ kg

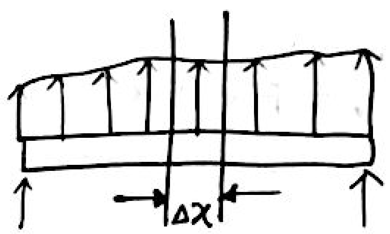
$\therefore M = 1000 \cdot R \sin\alpha$

$= 1000 \times (10 \times 0{\cdot}707)$

$= 7070$ Kg- cm

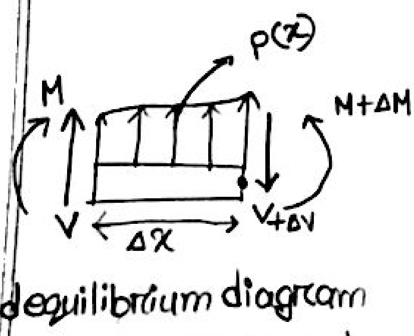
Lecture-8

□ Differential eq^n of equilibrium: (V ও M এর জন্য প্রযোজ্য)
(another approach for drawing V, M diagram)



$\Delta x \to 0$

যেহেতু load intensity vary করছে। তাই একসাইডে V হলে অন্য side এর V হবে V+ΔV.
'M' ও change হবে।



load equilibrium diagram of a small element

$\Sigma F_y = 0 \quad \uparrow +ve$

$+V + p \cdot \Delta x - V - \Delta V = 0$

∵ Δx→0 তাই এই ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্যে varying p(x) কে constant ধরা যায়।

$\Rightarrow \Delta V = + p \cdot \Delta x$

$\Rightarrow p = \dfrac{\Delta V}{\Delta x}$

$$\lim_{\Delta x\to 0} \frac{\Delta V}{\Delta x} = P$$

$\Rightarrow \boxed{\frac{dV}{dx} = P}$ [এটা হলো 'V' এর ঢাল] .... (1) D.E

* কোন point এ (shear force diagram এর) ঢাল হবে ঐ point এর load intensity এর সমান।

$\Sigma M = 0$ ↺+ve • point এ 'M'

$$\Rightarrow M + V.\Delta x + p.\Delta x.\frac{\Delta x}{2} - (M+\Delta M) = 0$$

$$\Rightarrow V.\Delta x + p.\frac{\Delta x^2}{2} = \Delta M$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta M}{\Delta x} = V + \frac{p.\Delta x}{2}$$

$$\lim_{\Delta x\to 0} \frac{\Delta M}{\Delta x} = \lim_{\Delta x\to 0}\left(V + \frac{p.\Delta x}{2}\right)$$

$\Rightarrow \boxed{\frac{dM}{dx} = V}$ .... (২) D.E

কোন point এ Bending Moment diagram এর ঢাল, ঐ point এর shear force এর সমান।

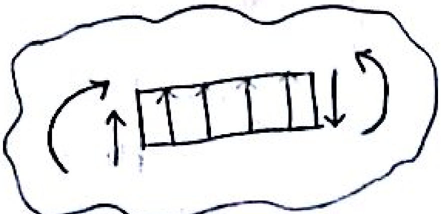
① নং eqn কে integrate করে,

Int. Eqn

③ $V = \int p.dx + C_1$ [C_1 = integrating constant]

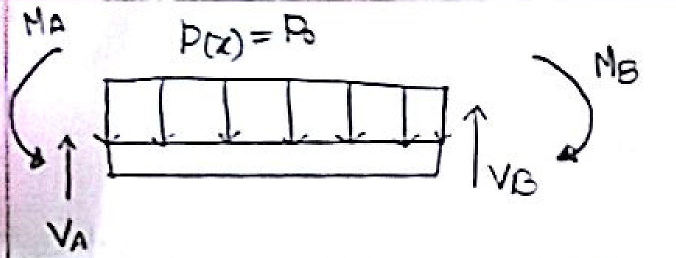
④ $M = \int V.dx + C_2$ [C_2 = " "]

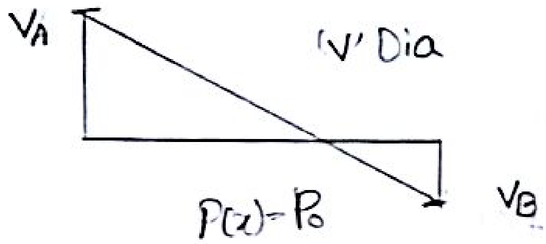
①,②,③,④ eqn দিয়ে সব Math করা যাবে।

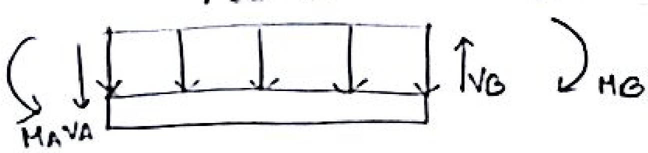


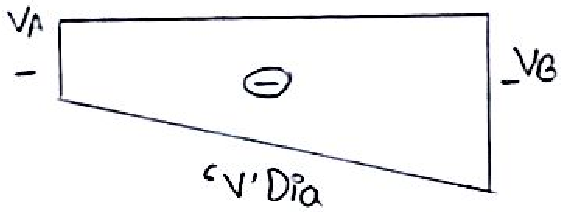
+ve M ও V

* এই Method এ 'M' dia আঁকতে হলে আগে 'V' Dia এঁকে নিতে হবে।

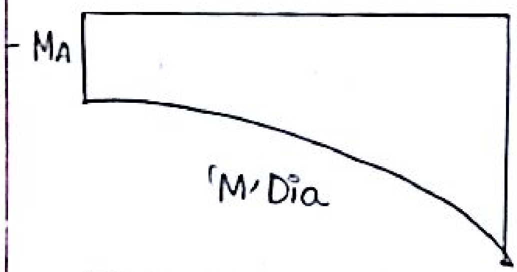


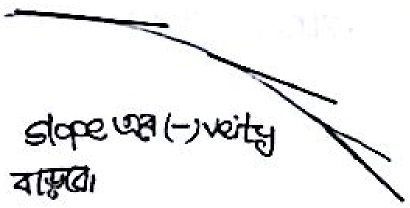






$c_2 = M_A$



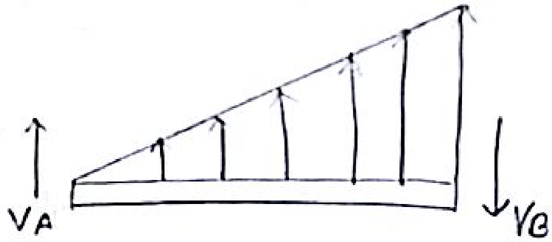


slope এর (-)veity বাড়বে।

$$M = \int V\,dx + c_2$$

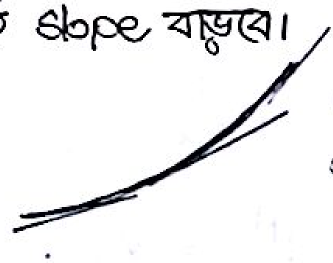
অর্থাৎ, M_A এর সাথে 'V' dia add করা লাগবে।

যেহেতু load intensity constant, slope constant হলে → straight line.



$V_A > V_B$

এখানে, Load Intensity বাড়ছে, তাই slope বাড়বে।

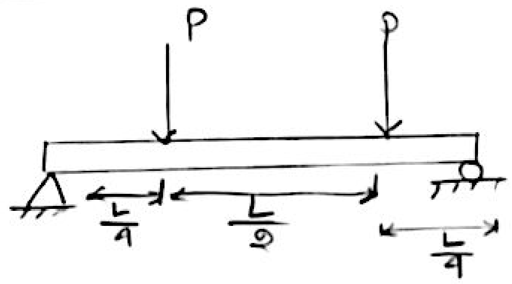


এইরকম হলে slope বাড়বে

'M' Dia হবে ক

* যেখন point এ concentrated load থাকলে তার Left ও Right side এ Load এর মান Different হবে।

Example



$V_{0+} = P$

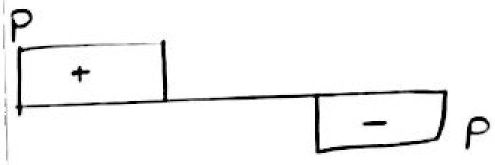
$V_{\frac{L}{4}} = P$ (Left)

$V_{\frac{L}{4}} = 0$ (Right)

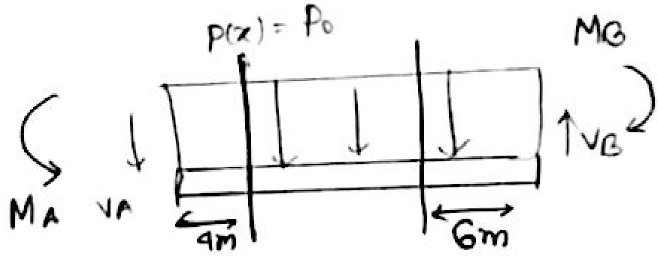
$V_{\frac{3L}{4}} = 0 - P = -P$

এখানে শুরুতে 'M' $=0$,

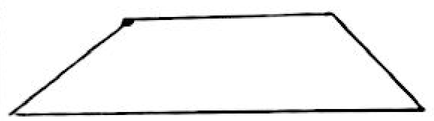
শেষে $=0$



'V' Dia



4m, 6m দূরে 'V', 'M' কত? সেটা বের করতে দিবে। CT তে।



$M_0 = 0$

$$M_{\frac{L}{4}} = -\left(-P \times \frac{L}{4}\right) = \frac{PL}{4}$$

$$M_{\frac{3L}{4}} = \frac{PL}{4}$$

$$M_L = \frac{PL}{4} - \frac{PL}{4} = 0$$

* একটি 'R' এর value পাবার সাথে সাথে Free body Diagram এ ঐ 'P' এর value লিখে ফেলতে হবে। নয়তো ভুল হতে পারে।

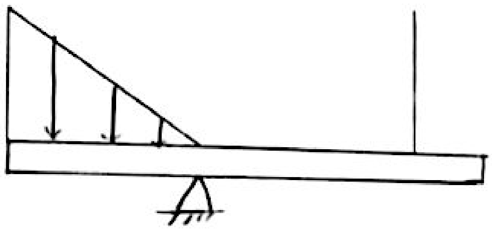
Lecture -৩

* Load intensity এর ক্ষেত্রে, দূরত্ব=0, Load=0

C point এ কোন force নেই কারণ, ২t/m → intensity
1m এ ২t load.

Ex- ২.10

* যেখানে force apply হবে এবং ঐ force এর Reaction যেখানে কাজ করবে. তাদের মধ্যে 'P' কাজ করবে।



$V = \int p\,dx + C_1 \; [C_1 = 0]$

$V_0 = 0$

$V_{6-0} = -6\,kN$ [Concentrated Load এর ক্ষেত্রে +, - use হয়]

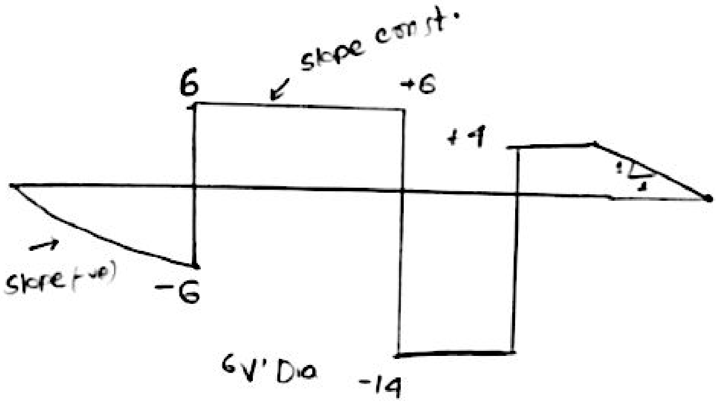
$V_{6+0} = +6\,kN$

$V_{12-0} = +6\,kN$

$V_{12+0} = +6 - 20 = -14\,kN$

$V_{14-0} = -14$

$V_{14+0} = -14 + 18 = 4\,kN$



$M = \int V\,dx + C_2 \; [C_2 = 0]$

$M_0 = 0$

$M_6 = -\frac{2}{3} \cdot 6 \cdot 6 = -24\; t\text{-}m$

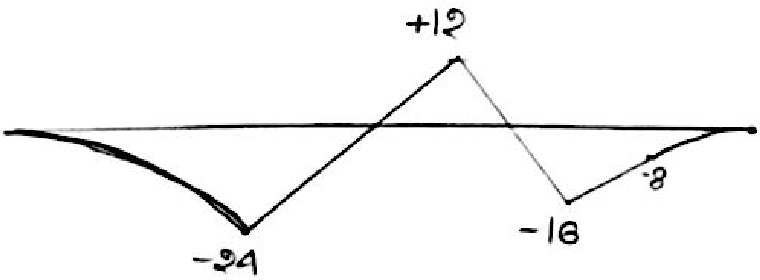
$M_{12} = -24 + 6 \times 6 = +12$

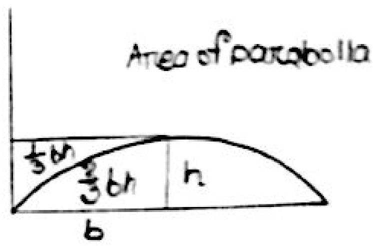
$M_{14} = +12 - 28 = -16$

$M_{16} = -16 + 8 = -8$

$M_{20} = -8 + 8 = 0$

(-ve)
slope
concave downward

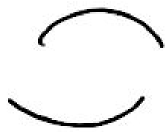




Scanned by CamScanner

* slope +ve হলে concave upward
* " -ve " " downward

-ve 'M' হলে
+ve 'M' "



* Elastic curve
* কোন কোন point এ moment zero ?
* যে point এর একদিকে (+), অন্যদিকে (−) Moment, সেই point কে → Point of contra-flexure বা Inflection Point বলে।

* Bending Moment Diagram এ Point of contra-flexure এর location দেখিয়ে দিতে হবে।

* আগে 'P' Diagram আঁকব।

* concentrated load থাকলেই একসাথে + − লিখব। কারণ এই Load এর বামও ডানে Load different হয়।

$K = \text{Slope} = \frac{P}{x}$

P = load intensity

Example : 2-11

$W = \frac{1}{2} \cdot KL \cdot L$

$\Rightarrow K = \frac{2W}{L^2}$

$p = kx = \frac{2W}{L^2} \cdot x$

$\frac{1}{2} \times K \cdot L \cdot L = W$

$\therefore K = \frac{2W}{L^2}$

$p = \frac{W}{2L^2} x$

$\frac{dV}{dx} = p$

$\frac{dM}{dx} = V$

$\Rightarrow \frac{d}{dx}\left(\frac{dM}{dx}\right) = \frac{dV}{dx} = P$

$\therefore \frac{d^2M}{dx^2} = p = kx$

$\boxed{\frac{dM}{dx} = V}$ $\boxed{\frac{dV}{dx} = P}$ $\boxed{\frac{d^2M}{dx^2} = p = kx}$ ..... (1)

যেহেতু p is a function of x (continuous), so এক্ষেত্রে reaction এমনিতেই বেরিয়ে আসবে।

continuous

Beam এর Load যদি x এর function হয়, তবে, direct (1) নং eqn থেকে solve করতে পারি। কোনো Reaction বের করা লাগবে না।

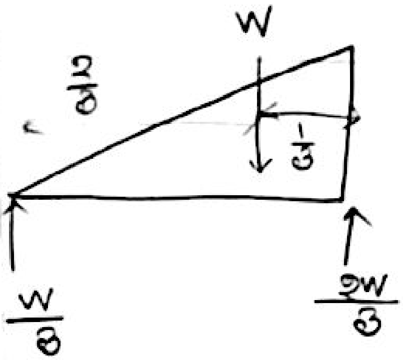
$\frac{dM}{dx} = V = \frac{kx^2}{2} + C_1$

Integration করে, $M = \frac{kx^3}{6} + C_1 + C_2$

at $x = 0$, $M = 0$

$x = L$, $M = 0$

*simply support beam এর জন্য support এ moment zero. support এ তখন Bending হবে। overhanging beam হলে support এ bending moment আসবে।



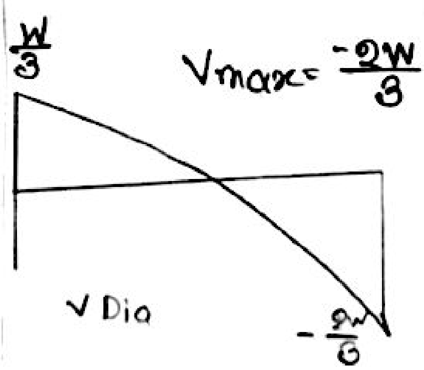
x এর continuous function বলতে বুঝায়, পুরো length জুড়েই শুধুমাত্র এক Type এর load আছে যেটা length এর সাথে vary করে। → i.e. uniformly distributed load
" varying "

$$\frac{dM}{dx} = V$$

$$\boxed{\Rightarrow \frac{d^2M}{dx^2} = \frac{dV}{dx} = p}$$

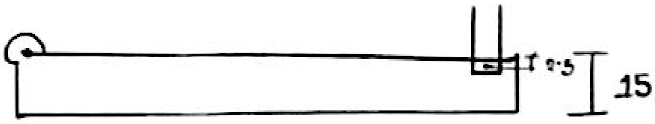
যখন p is a continuous function of x. তখন এই eqn থেকে direct শুরু করতে পারি।

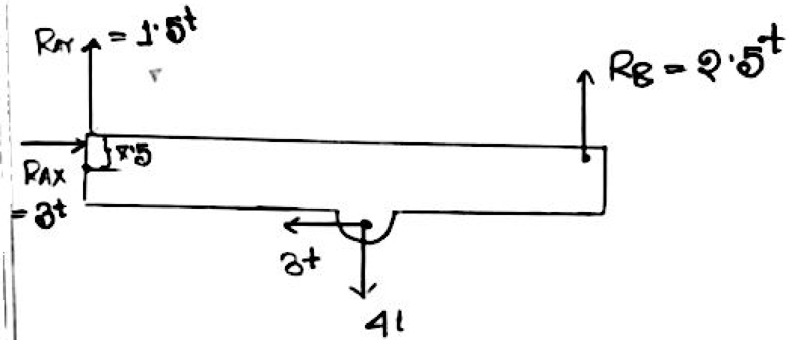
* যেখানে maximum moment হবে সেখানে $\frac{dM}{dx} = V = 0$.



Lecture- 10

2-13





structure ছোট হলে, যদি beam এর c.g বরাবর pin বা hinge না থাকে তবে variation আসবে। কারণ generally ধরা হয় c.g বরাবর pin point থাকে

$\Sigma M_A = 0$

$\Rightarrow 3\times20 + 4\times47.5 = R_B\times100$

$R_B = 2.5$

$R_{AY} = 1.5$

$R_{AX} = 3^t$

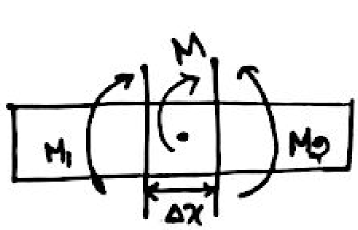
$\therefore M_{c.g\ of\ beam} = 3\times7.5$ (↺ +ve)

* beam এর centroid যেহেতু hinge থেকে 7.5cm দূরে, তাই, hinge point এ M=0, কিন্তু centroid এর সাপেক্ষে M হবে।

* এই Moment এর বামেও ডানে দুই ধরনের Moment বা যেহেতু Reaction centre of gravity দিয়ে যায় নি।

Lecture - 11

যদি কোথাও concentrated moment থাকে তবে M এর ডানে বামে Diagram অর্থাৎ Moment এর পরিবর্তন হবে। যদি concentrated moment না থাকে তবে change হবে না, constant থাকবে।



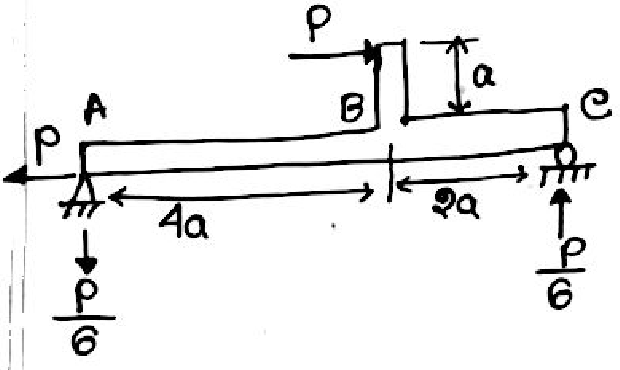
M_1, M_2 = Bending Moment (internal)

M = Applied " (external)

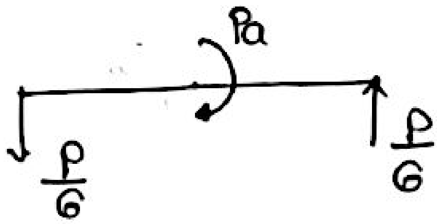
যদি $\Delta x \to 0$ হয়, তবে $M_1 = M_2$ হবে। (অর্থাৎ Δx এর মান কম হয়)।

কিন্তু যদি এদের মাঝে অন্য একটি মোমেন্ট থাকে, তবে, $M = M_1 + M_2$

Ex: 2-12

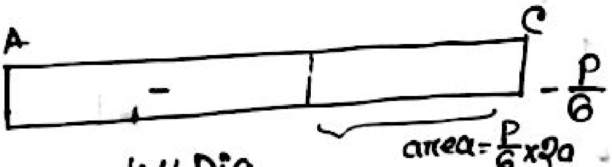


$$\frac{P.a}{6a} = \frac{P}{6}$$

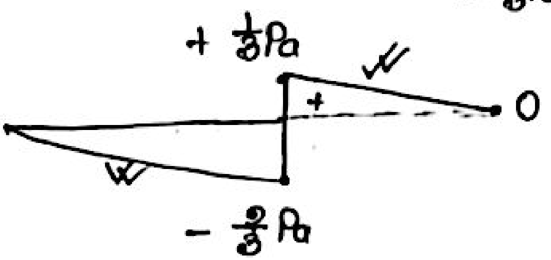


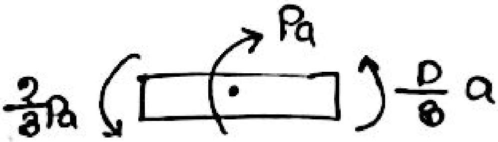
$$M = \int V\,dx + C_2 \quad [C_2 = 0]$$

$$= 0 - \frac{P}{6} \cdot 4a = \frac{2}{3} Pa$$



'V' Dia





এদের slope same.

$$M = \int V\,dx + C_2$$

$$C_2 = \frac{Pa}{3}$$

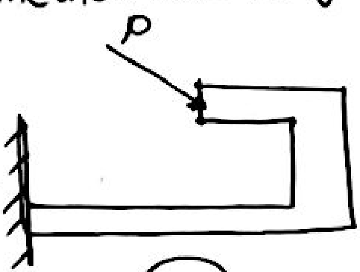
Two Methods

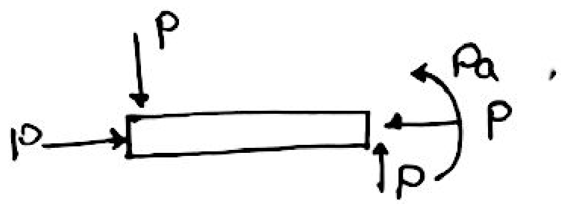
1) Method of section (P, V, M)

2) Summation method (V, M)

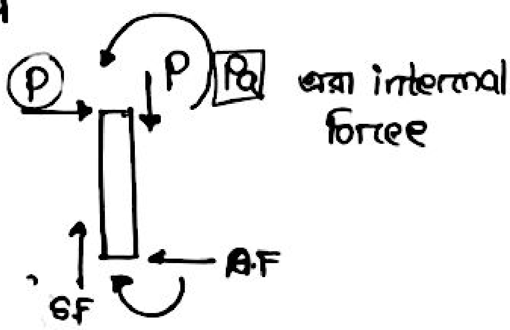
* Summation method এর problem হল, আগে V dia না আঁকলে M বের করা যায় না।

* যখন V ও M diagram আঁকতে হয় full beam এর তখন summation method use হয় generally.

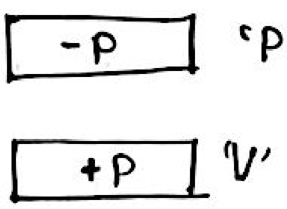


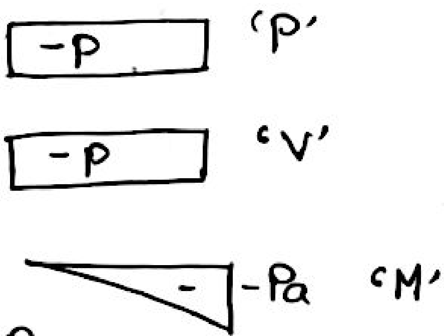


A.F = P
S.F = P
B.M = Pa

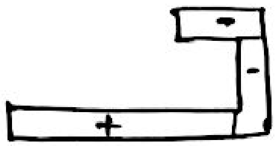


AF = P   B.M = Pa - $\boxed{Pa}$ = 0
SF = P





* beam এর (frame) ভিতরে তাকিয়ে যেদিকে বাঁকা হবে সেটা বাঁকা।



A.F.D

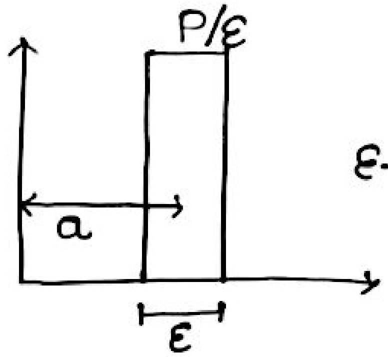
□ Singularity Function: (S, M diagram আঁকার জন্য)

→ concentrated load থেকে আসছে।

$M = R_1 \langle x-0 \rangle - P_1 \langle x-d \rangle + M_b \langle x-b \rangle^0 + P_b \langle x-c \rangle$

এর অর্থ হল $\langle \quad \rangle$ এর মধ্যে (−)ve কিছু আসলে 0 ধরবে।

এর value 0 আর + হয়। (−) হতে পারবে না।



ε খুব কম, $\varepsilon \to 0$

$\varepsilon \to 0$ হলে, $\langle x-a \rangle \to 0$ হলে এই force টা concentrated হবে।

$\therefore \dfrac{P}{\langle x-a \rangle} = P \langle x-a \rangle_{*}^{-1}$

* এর অর্থ হল এদের integration এর system different।

* যদি $(x-a)$ এর value (+) হয় তবে normal Integration এর নিয়মে।

যদি (−) হয় তবে নিচের ভাগের part টা থাকবে না

* power (−) হলে rule change হবে নিচের (n+1) থাকবে না।

* power (+) হলে rule যা ছিল তাই থাকবে।

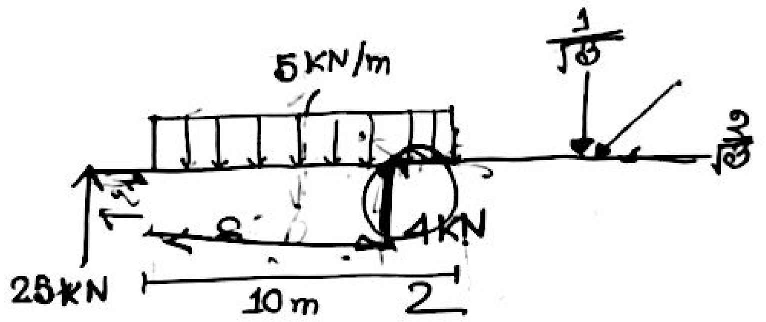
যেমন, normally, $\int (x-a)^n dx$

$= \dfrac{(x-a)^{n+1}}{n+1}$ → এটা থাকবে না

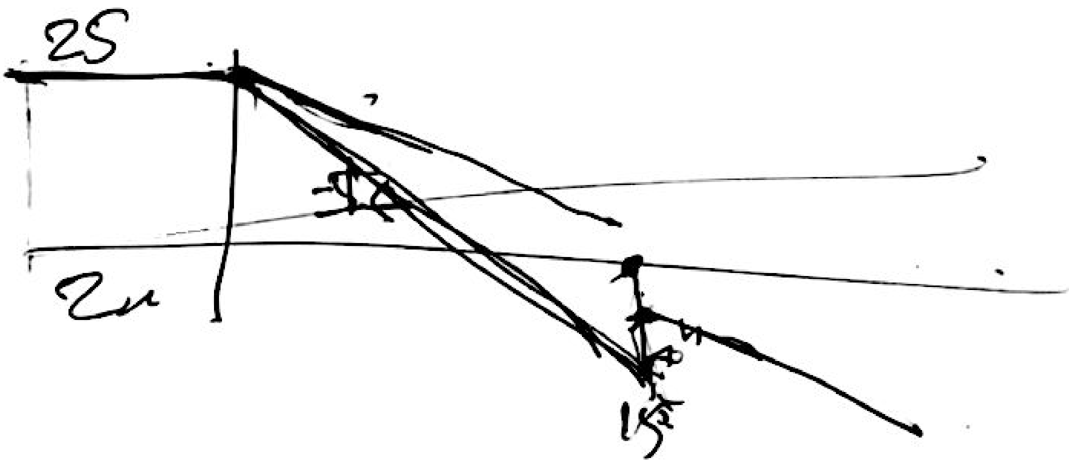
* এদের জন্য

কিন্তু * এদের জন্য $\int$ এর ans হবে,

$(x-a)^{n+1}$.



shear force diagram ?



Lecture-1২

Singularity function :

$\frac{P}{\varepsilon}$ P → a বিন্দুতে কাজ করে

$\varepsilon \to 0$

$(x-a) \to 0$

$$\frac{P}{\langle x-a \rangle} = \underbrace{P_* \langle x-a \rangle^{-1}}_{\text{Load intensity for concentrated force}}$$

$$\frac{M_b}{\varepsilon^2} \rightarrow M_b \langle x-b \rangle_*^{-2}$$ Load intensity for concentrated moment.

$$\int \langle x-a \rangle^{-n} dx = \frac{\langle x-a \rangle^{-n+1}}{(-n+1) \times 1}$$

Impulse function এটা
∴ $-1, -2, \cdots$ যতই (-) থাকুক না কেন
এইrule হবে এবং log হবে না।

Ex: 2-15

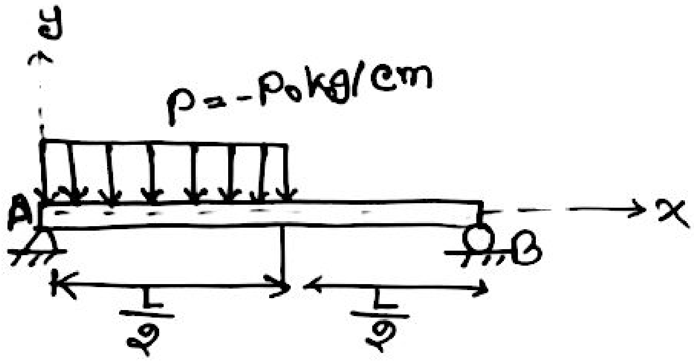
* x যখন, $x < \frac{L}{২}$ তখন

$$\frac{d^2M}{dx^2} = -P_0$$

* $x > \frac{L}{২}$, $\frac{d^2M}{dx^2} = 0$

$(-P_0 + P_0)$

$= 0$



$$\begin{cases} \dfrac{d^2M}{dx^2} = +p \\ \dfrac{d}{dx}\left(\dfrac{dM}{dx}\right) = \dfrac{dV}{dx} = p \quad \left[\because \dfrac{dM}{dx} = V\right] \end{cases}$$

প্রদত্ত Math এর জন্য,

$$\frac{d^2M}{dx^2} = -P_0 \langle x-0\rangle^0 + P_0 \langle x - \frac{L}{২}\rangle^0$$

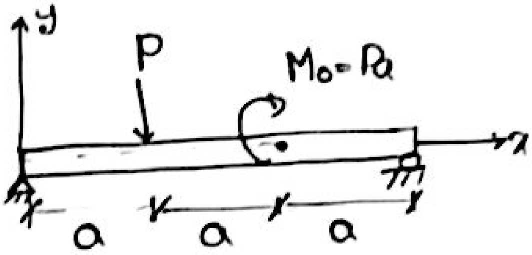
Left side vertical reaction:

$\Sigma M_B = 0$

$\Rightarrow \frac{P_0 L}{২} \times \frac{3}{4} L = R_A . L$

$\therefore R_A = \frac{3}{8} P_0 L$

Ex-2-16

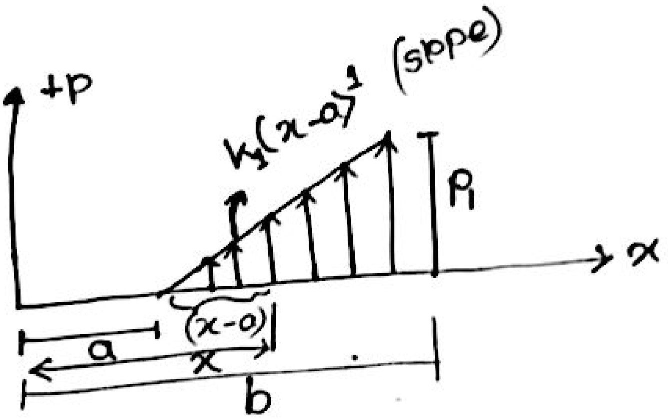


$$\frac{d^2M}{dx^2} = +P$$

$$\frac{d^2M}{dx^2} = -P\langle x-a\rangle_*^{-1} + Pa\langle x-2a\rangle_*^{-2} \quad \cdots \text{①}$$

$$\frac{dM}{dx} = -V = -P\langle x-a\rangle^0 + Pa\langle x-2a\rangle_*^{-1} + C_1 \quad [\text{Integrating ①}] \quad \text{②}$$

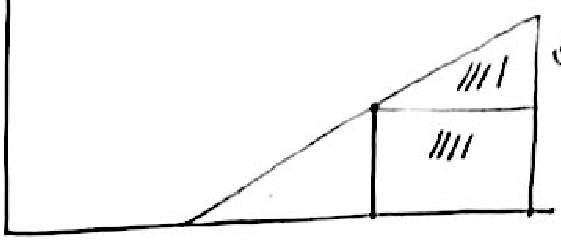
$$\therefore M = -P\langle x-a\rangle^1 + Pa\langle x-2a\rangle^0 + C_1x + C_2 \quad \cdots [\text{Intg. ②}]$$



$p = k_1\langle x-a\rangle$ [This value of Load intensity is valid for $x > a$ to $x \leq \infty$]

$$k_1 = \frac{P_1}{(b-a)}$$

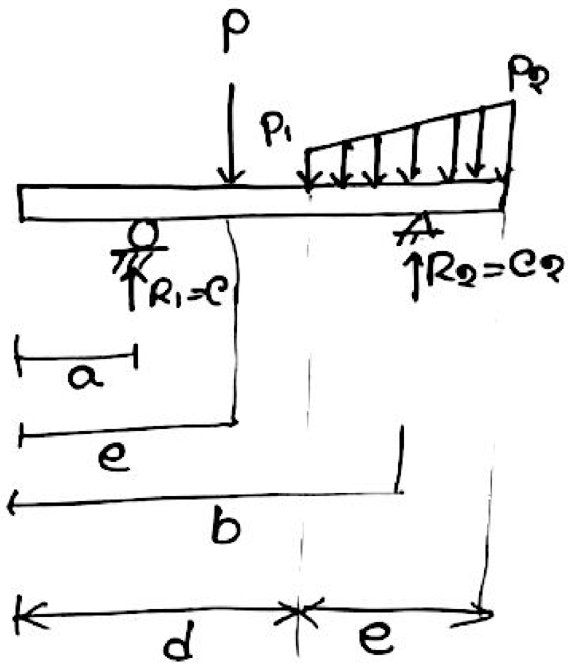
$$\therefore \frac{d^2M}{dx^2} = +p = k_1\langle x-a\rangle^1 - P_1\langle x-b\rangle^0 - k_1\langle x-b\rangle^1$$



এগুলা বাদ দিব. Total Triangle থেকে

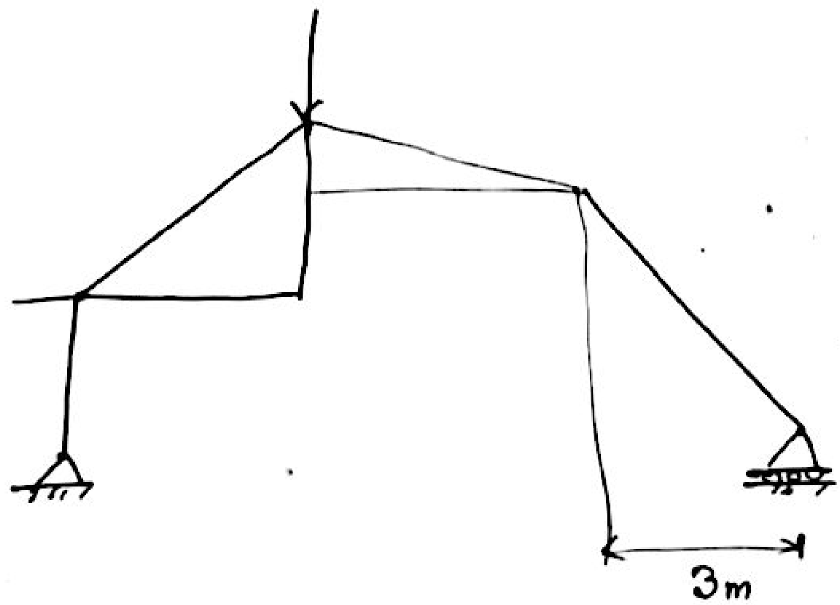
* এই Math এর জন্য, singularity function use করলে no. of eqn বেশি আসে, তাই Method of section use করা better.

$a = 5$
$c = 10$
$b = 15$
$e =$ অন্তত ২m



*** Assignment - ২**

a, b, c, d, e ইচ্ছামত ধরব।

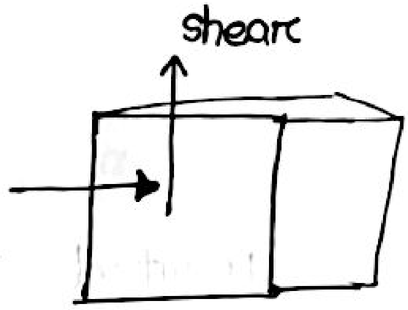


Example → problem (7-11)

v.v. Im Exercise: 5, 6, 9, 10, 12, 14 (v.v.Im), 16 (v.v.Im), 19, 71, 73, 81, 82.

only frame problem

Lecture - 13



normal - upper perpendicular direction

Types of stress:

এটা normal direction এ হয়

1) Axial/Normal stress (Perpendicular তলের সাথে)

2) Shear stress (slide করে চলে যায়) axis এর parallel
Slip " " " কাজ করে।

সাধারণত, Liquid জিনিসের shear resistance নেই।

শক্ত → sand, clay (dry অবস্থায়), stone এর shear resistance আছে।

Axial → 1) Tension
2) Compression

1) Torsion moment এর কারনে যে stress → Torsional stress (Shear stress)

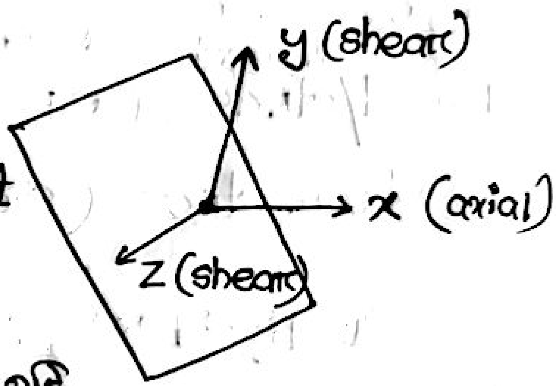
2) Flexural stress → Bending moment এর কারনে যে stress (axial stress)

* Flexural ও axial stress যোগ, বিয়োগ করা যাবে।

* Torsion ও Shear " " " " " ।

Chapter- 3

Stress



resultant এর দুটি component হবে shear force, 1 টি component হবে normal force.

* Shear force এর component – ২টি
* Axial " " কোন component নেই।

* External force এর internal effect হল stress.
* Internal stress is a function of (x,y,z) co-ordinate. whe

* যদি Body equilibrium এ থাকে, তবে stress at a point is,

$$\lim_{\Delta A \to 0} \frac{\Delta P}{\Delta A}$$

* দূরত্বের বাড়ার সাথে সাথে stress vary করে। (বদলে)
* ১টি বিন্দুর (Force per unit area of a point) stress.
* ১টি point এ যে force কাজে করবে তার ৩টি component. যার ২টি shear. ১টি axial.

X-Plane

$$\lim_{\Delta A \to 0} \frac{\Delta P_x}{\Delta A} = \frac{dP}{dA} \to \tau_{xx}$$ } Normal Stress

$\to \tau_{xy}$, $\to \tau_{xz}$ } Shear Stress (দুটি component)

x এর লম্ব দিকে কার্যকর থাকে দুটি

Y-Plane

y এর লম্ব দিকে { τ_{yy}, τ_{yz}, τ_{yx}

Z-Plane

z এর লম্ব দিকে { τ_{zz}, τ_{zx}, τ_{zy}

ঐ plane এর perpendicular আর z direction এ কার্যকর এই stress কাজ করে।

* এখানে তিনটি অক্ষেই ভাবি normal.

σ — শুধু Normal stress বোঝাতে ব্যবহৃত হয়।

τ — All types of stress বোঝাতে ব্যবহৃত হয়।

τ_{xy}

The stress in which plane it act

" " " " direction " "

* A plane is defined by its normal.

$\sigma_x \to$ X-plane এর normal stress

σ_y – Y " " "

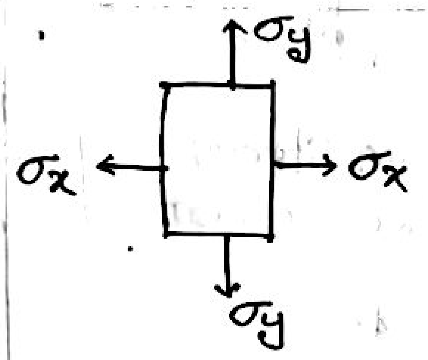
σ_z – Z " " "

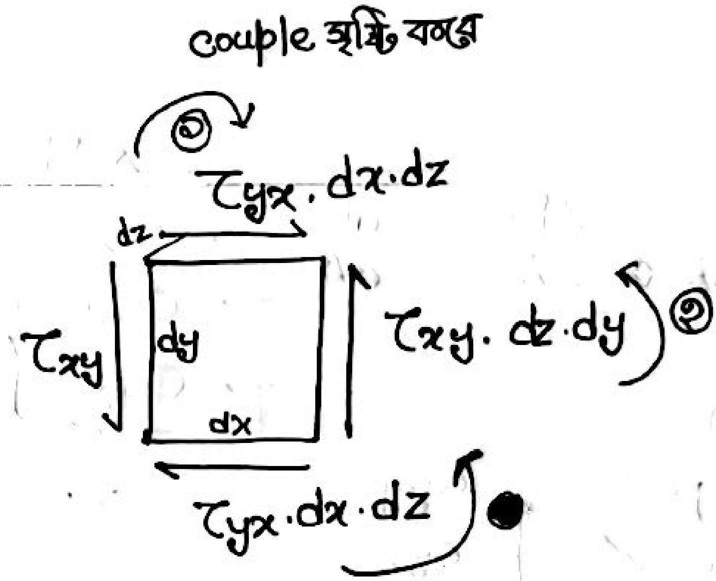
$$|\tau_{ij}| \quad \begin{matrix} i = 1,2,3 \\ j = 1,2,3 \end{matrix}$$

$1 \to x$

$2 \to y$

$3 \to z$





$\boxed{\tau_{yx} = \tau_{xy}}$ জন্মগত দিক থেকে আলাদা হলেও এদের value সমান।

$\tau_{yz} = \tau_{zy}$

$\tau_{xz} = \tau_{zx}$

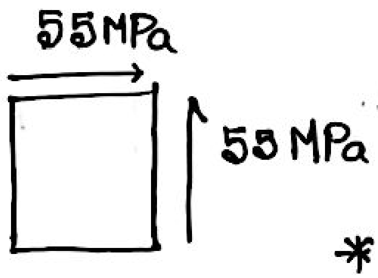
পরাধীন পূর্বসম্পর্ক আছে।

$\tau_{xx},\ \tau_{yy},\ \tau_{zz} \rightarrow$ স্বাধীন

① এর Moment $= \tau_{yx} \cdot dx \cdot dz \cdot dy$

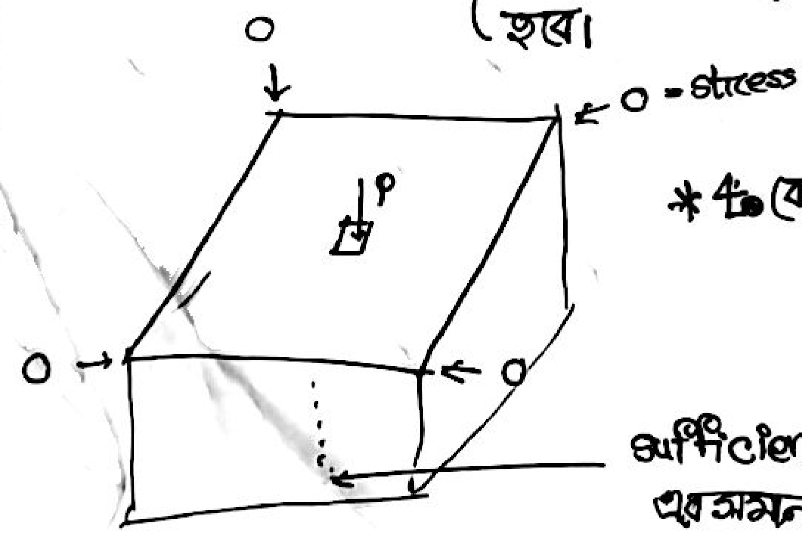
② " " $= \tau_{xy} \cdot dz \cdot dy \cdot dx$

* Shearing stresses are complimentary.



এই দুই তলের shear stress এর মান same.

* দুটি mutually perpendicular plane এর shearing stress এর মান same হবে।



* 4টি কোনায় stress = 0.

sufficiently নিচে stress $= \frac{P}{A}$ এর সমান হয়ে যাবে uniform হবে।

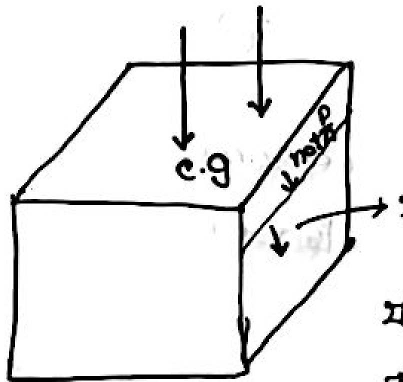
* Load এর কাছাকাছি point গুলোতে stress বেশি, uniform না।

* " " sufficient দূরে stress uniform হয়ে যায়।

* allowable stress : এটা Ultimate stress থেকে 3 গুন কম ধরা হয়।

* ultimate " : Highest stress.

Lecture-14

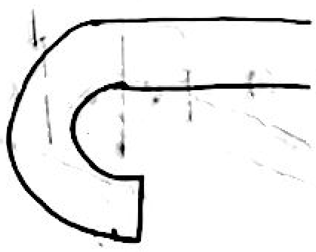


$\frac{P}{A}$ is the average stress.

যত নিচে যাবে $\frac{P}{A}$ এর সমান হতে থাকবে।

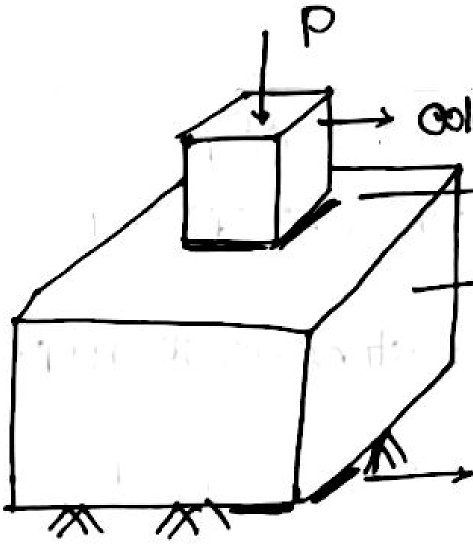
যদি c.g তে apply করি তবে stress = $\frac{P}{A}$ হবে সব জায়গায়।

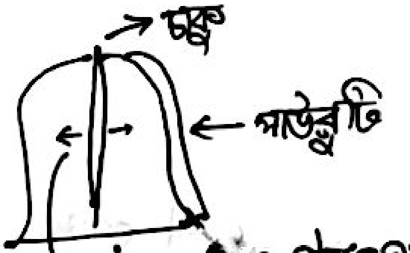
* যে Math করব, ধরে



* দুটি Dissimilar material এর মধ্যে যে normal stress
= Bearing stress

* যেমন- soil ও the building এর footing এর মধ্যে যে stress





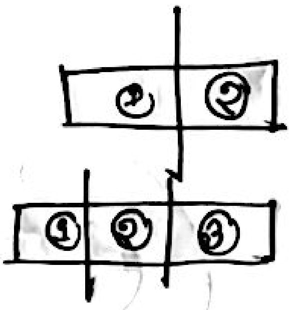
* shearing stress এর বেলায় $\frac{P}{A}$ (for one side)

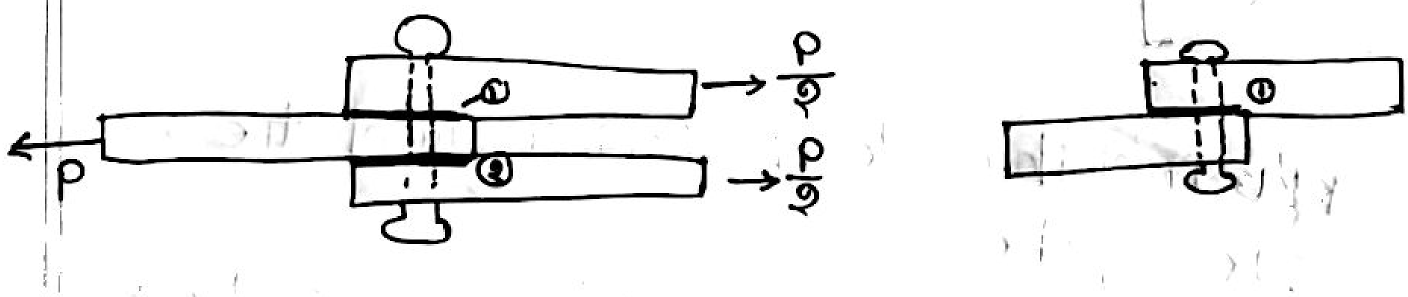
$\frac{P}{A+A}$ (for two ")

* shearing stress:

→ ১টি plane এ shear force (stress) হলে ২টুকরা হবে

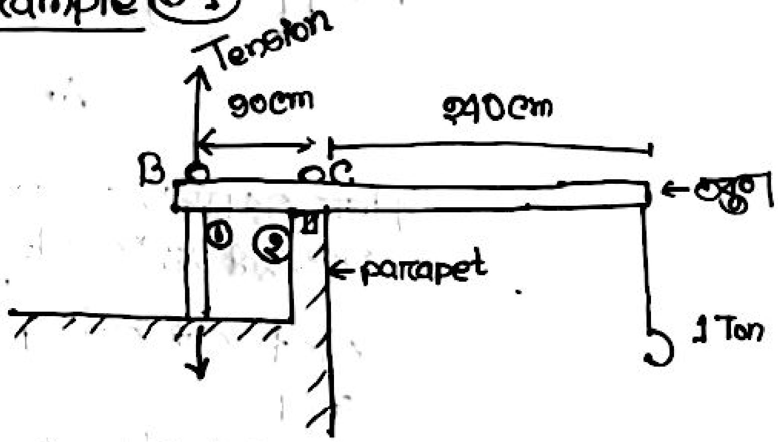
→ ২টি " " " " " ৩টুকরা হবে

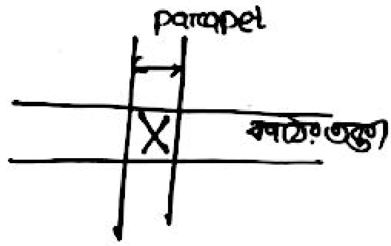




* Shear force কি ২টি নাকি ১টি plane এ resist হচ্ছে এটা আগে চিন্তা করতে হবে।

Example (3-1)



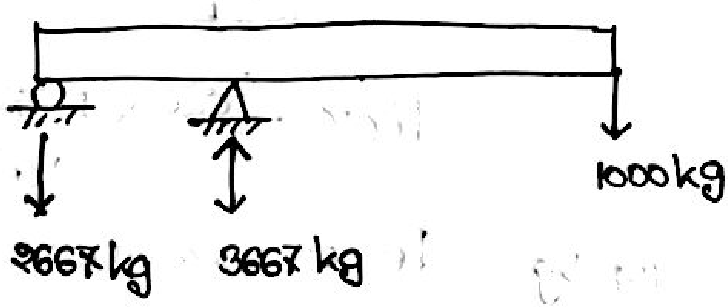


* B bolt টা লম্বা, তাই horizontal force দিলে বাঁকা হয়ে যাবে। horizontal force develop করতে পারে না।

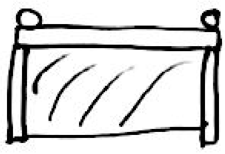
① Link, Roller 

② Hinge 

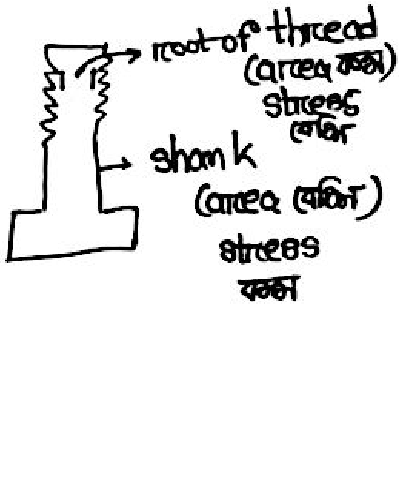
কিন্তু C bolt H.F resist করতে পারে



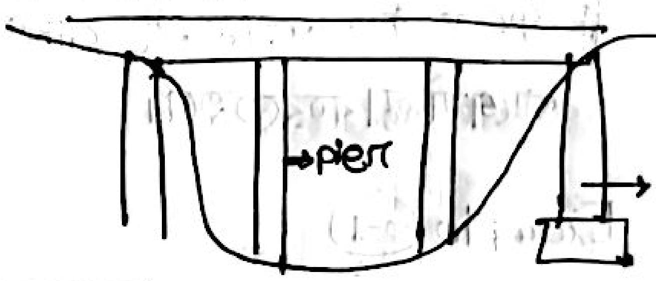
$$\sigma = \frac{R_B}{2A}$$ (২টি bolt তাই 2A)

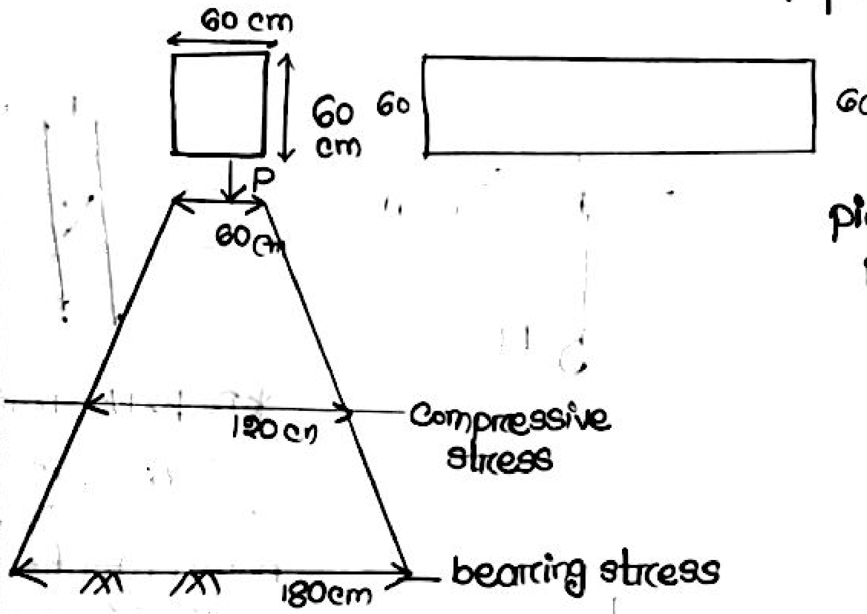


* Tension এর কারণে bolt ছিঁড়লে thread of the shank এ ছিঁড়বে



Example: ৩-২





pier এর চারিদিকে পানি
pier শুধু vertical load bear করে

Abutment মাটির pressure নেয়।
অর্থাৎ vertical + horizontal Load bear করে।

$P = 0.6 \times 0.6 \times 3000$
$= 1080$ kg

$\frac{1.2+0.6}{2} \times 0.6 \times 2400 = 4147$ kg

Peer – উঁকি মারা, সমসাময়িক
↓
Peers

Pear – ~~নাকাও~~ নাশপাতি

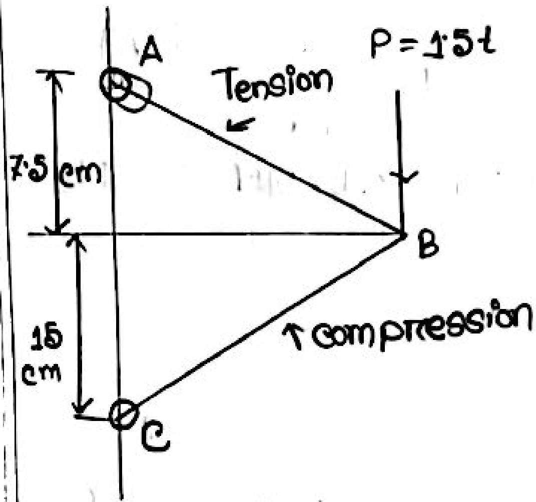
Principal – প্রধান
Principle – নীতি

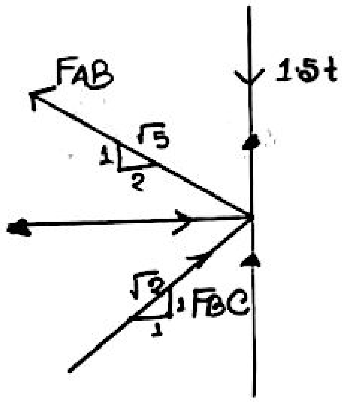
$\gamma_{concrete} = 2400 - 2500$ kg/m^3

$\gamma_{stell} = 7850$ kg/m^3
$= 0.00785$ kg/cm^3

Lecture- 15

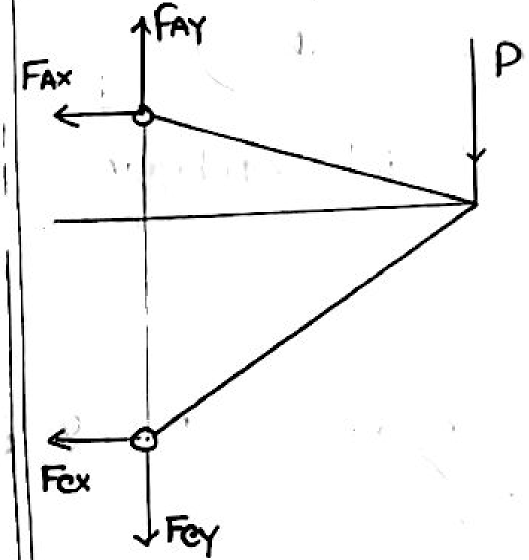
Example- 2.3





method - 1

FACx



$F_{Ax} = 1^t$

$F_{Ay} = 0.5^t$

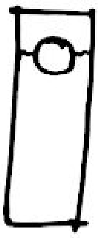
$\therefore F_A = 1.118^t$

$F_{Cx} = F_{Cy} = -1^t$

$F_C = \sqrt{2}(-1) = -1.412^t$

$F_{AB} = \sqrt{F_{Ax}^2 + F_{Ay}^2} = 1.18^t$

$F_{BC} = -1.41^t$



* bolt আর ছিদ্রের Dia same না। bolt এর চেয়ে, ২-৩mm বেশি হয় ছিদ্রের Diameter।

$\boxed{\text{তাই ছিদ্রের Dia} = 2mm + \text{bolt এর Dia}}$

$$(\sigma_{AB})_{clevis} = \frac{F_A}{A_{net}} = \frac{1.118}{2(0.50)(2.25-1)} = 0.894\, t/cm^2$$

↑ Thickness ↑ net area

২টি clevis এ গিয়ে টিকছে টা ভাগ হয়ে যাচ্ছে

Lecture-16

Universal testing machine: (Tension, compression, Shear সব Test ই করা যায়)

* stress-strain diagram দেখে materials এর physical property জানা যায়।

→ modulus of elasticity
→ poisons co-efficient
→ stress strain diagram
→ Tensile
→ Compressive
→ Shear

$\left.\begin{array}{l}\text{Tensile}\\ \text{Compressive}\\ \text{Shear}\end{array}\right\}$ strength

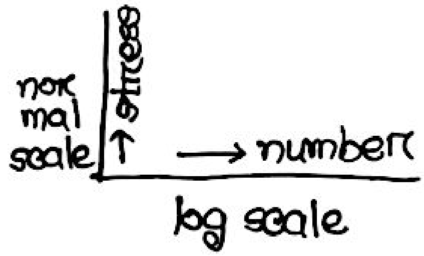
এগুলো দেখে physical property বুঝা যায়।

creep – permenent deformation (একটি নির্দিষ্ট load অনেকদিন ধরে structure এ থাকার ফলে deformation হয়)

permenent loading → fatigue strength

একই load বারবার দিলে ঐ load bearing range এ থাকলেও ভেঙ্গে যেতে পারে।

SN curve : Stress number curve.



Endurance limit : কোন materials এর stress level which can be ~~repete~~ repeated for infinity number of times. (সহ্য ক্ষমতা)

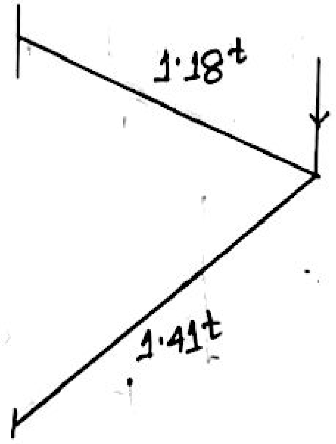
আমরা

allowable stress : The value we use for the design pupose.

$$\text{factor of safety} = \frac{\text{ultimate load}}{\text{allowable load}}$$

$$\text{Margin of safety} = \text{factor of safety} - 1$$

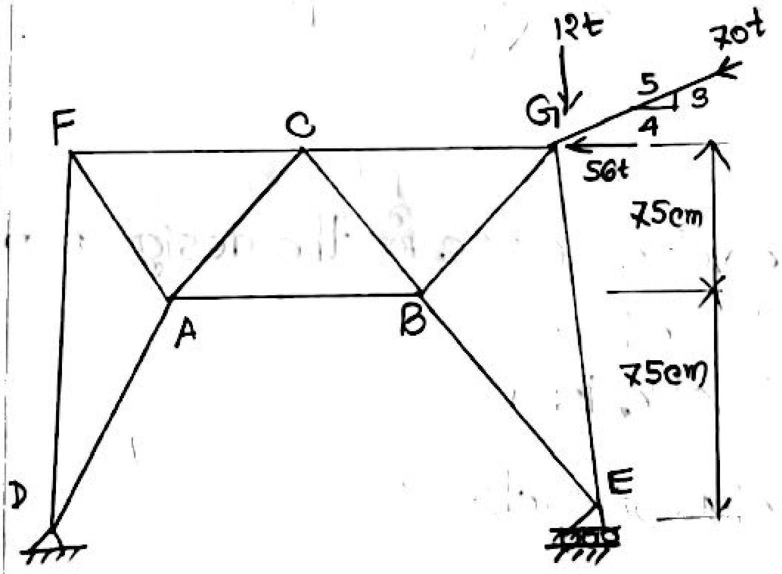
Example: 3-5



$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{(Axial)}$$

$$A \text{ (unknown)} = \frac{P}{\sigma_{\text{(allowable)}}}$$

Ex-3-6



* একটা single bar হলে অন্যটা double bar হবে, কারণে joint দিতে সুবিধা হবে।

$m = ২৪\,kg$

Ass-3 : Prob 1-4 example

Lecture-16

$\boxed{ex: 3\text{-}8}$ (1-4)

$$F = ma = \frac{W}{g}\omega^2 R$$

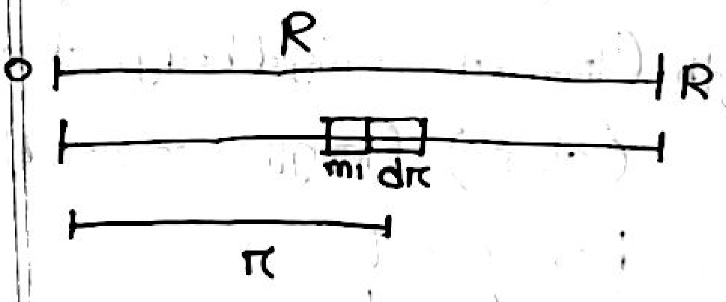
$\omega =$ প্রবক্তHz এ

$$A_{net} = \frac{F}{\sigma_{allow}} =$$

$\frac{\pi}{4} =$

~~1 unit~~

rod select করার পর, rod এর নিজস্ব weight এর কারনে এর মধ্যে আবার Tension develop করবে।



$$F_1 = \int_0^R (m_1 dr)\,\omega^2 r = m_1 \omega^2 \frac{R^2}{2}$$

Total force $= F + F_1 =$

আবার, Area বের করব, $A = \frac{F}{\sigma}$

* বাংলাদেশের official unit হল MKS. S.I and MKS এর difference ↓

kg - mass

kg - weight

MKS unit উঠে গেছে

m - mass

f - force

mass ও force এর unit এর diff.

(kg-mass)   N (S.I)

kg-weight

MKS এ → kg-weight (F)

kg-mass (m)

S.I এ → kg - (m)

N - (F)

m_1 = mass per unit length of the bar

$a = \omega^2 r$

$m_1 = \frac{\gamma}{g} A$

Chapter 4 (old)

* যদি stress হয়, strain অবশ্যই হবে।
* কিন্তু strain থাকলে যে stress হবে সেটা সত্য না।

একটা rod normal tp তে যা length এ থাকবে, tp বাড়ালে length ও বাড়বে। ফলে এখানে strain হচ্ছে কিন্তু stress হবে না

বাড়তে না দিয়ে যদি length কে আটকে দেয়া হয়, তবে stress হবে। অন্যথায় হবে না।

দৈর্ঘ্য বাড়া – strain
দৈর্ঘ্যকে বাড়তে না দেয়া, resist করা – stress

Constitutive Relation = stress ও strain এর মধ্যে সম্পর্ক

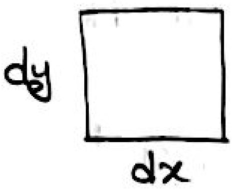
Strain

আগের length = পরের length (Translation - rigid body motion)
আগের length ≠ পরের " (strain) (length ছোট বড় হবে)

$$\text{linear strain} = \frac{\Delta u}{\Delta x} = \frac{\text{displacement}}{\text{disp. /unit length}}$$

$$\therefore \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} = \frac{du}{dx} = \varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}$$

* strain বলতে strain at a point বুঝায়। It is a function of co-ordinate.



1 dimentional movement, function of x
2 " " " " x and y
3 " " " " x, y, z

x direction এর movement $= u(x, y, z)$
y " " " $= V(x, y, z)$
z " " " $= W(x, y, z)$

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} \Bigg\} \rightarrow \text{Normal strain}$$

(angle same থাকবে)

$$\left.\begin{aligned} \gamma_{xy} = \gamma_{yx} &= \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \\ \gamma_{yz} = \gamma_{zy} &= \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \\ \gamma_{xz} = \gamma_{zx} &= \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \end{aligned}\right\} \longrightarrow \text{Shearing deformation}$$

(angle change হবে)

Total 6টা

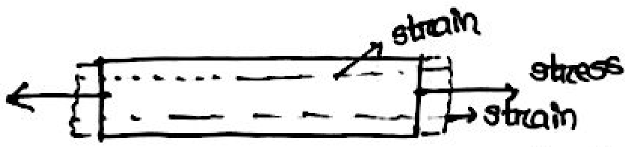
Hooke's Law: $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$

$\sigma \propto \varepsilon$

$\Rightarrow \sigma = E \cdot \varepsilon$

$\varepsilon = \frac{1}{E} \sigma$

E = Young's modulus of elasticity
ε = strain
σ = stress



x বরাবর force → stress + strain
y " no force → strain

** Generalized Hook's Law is valid for Isotropic Material.

Force এর জন্য response

* In all direction response is similar – Isotropic Material.
* " " " " " different – Anisotropic ".

যদি mutual perpendicular direction এ behaviour different হয় → এরা orthotropic material. (গাছ) Timber

* Homogeneous Material :

steel – isotropic ~~tisotropic~~ + homogeneous.

homogeneous → চোখের দেখায় যদি uniform মনে হয়, দেখায় ভিন্নতা নেই।

↓

Force এর সাথে সম্পর্ক নেই

Lecture-17

ভেক্টর (6×1) ভেক্টর (6×1)

$$\{\varepsilon_{ij}\} = [\underbrace{A_{ij}}_{\text{(6×6 Matrix)}}] \, \{\tau_{ij}\}$$

ε = strain

A = co-efficient matrix

shee normal

* Shearing stress এর effect, strain এ পড়ে না।

* একইভাবে normal stress এর effect, shearing strain এ পড়ে না।

* $A_{11} = A_{22} = A_{33} = \dfrac{1}{E}$

* $A_{12} = A_{13} = A_{21} = A_{23} = A_{31} = A_{32}$

$$= -\frac{\cancel{\gamma}\,\nu}{E}$$

$\nu\,\cancel{\gamma}$ = Poissons co-efficient

$$\begin{cases} A_{11} = \dfrac{1}{E} \\ \varepsilon_x = \dfrac{\tau_{xx}}{E} \\ \quad = \dfrac{1}{E} \cdot \tau_{xx} \\ \varepsilon_x = A_{11}\,\tau_{xx} \end{cases}$$

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{Bmatrix} = \frac{1}{E} \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & -\nu & -\nu \\ -\nu & 1 & -\nu \\ -\nu & -\nu & 1 \end{bmatrix}}_{\text{co-efficient matrix}} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \end{Bmatrix}$$

* এই eqn s

$[C] = [A]^{-1}$ $\quad \therefore \{\sigma\} = [C]\,\{\varepsilon\}$

C = Constitutive matrix

$$\frac{\sigma_x}{E} = \varepsilon_x$$

$$\therefore \sigma_x = \underbrace{E}_{C}\,\varepsilon_x$$

$C = E$

Assignment : 4 ⇒ Find C matrix , $[C] = [A]^{-1}$ · [A] কে inverse করে বের করব।

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{2G}$$

* isotropic , orthotropic material এর জন্য ৩টি unknown parameter থাকবে।

G, E, ν

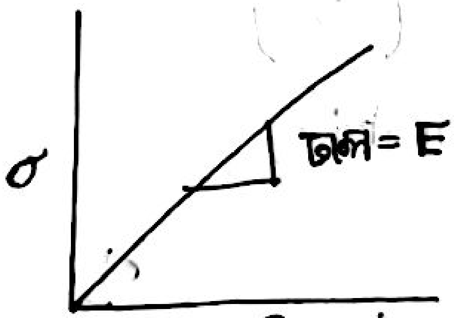
G → Shear modulus of elasticity or, Modulus of rigidity

ν → poissons ratio

E = Young's modulus of elasticity

lateral = axis এর perpendicular direction

$$\nu = \frac{|\varepsilon_y|}{\varepsilon_x} = \frac{|\varepsilon_z|}{\varepsilon_x} = \frac{\text{lateral strain}}{\text{axial strain}} = \text{poisson's ratio}$$



$$\frac{P}{A} = \frac{\Delta}{\underbrace{GL}_{\text{Gage length}}} = \text{strain}$$

Poisson's ratio

$$\boxed{G = \frac{E}{2(1+\nu)}}$$

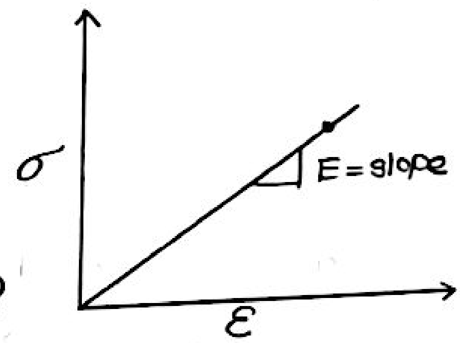
$$\left\{\begin{array}{l} \nu_{steel} = 0.3 \\ \nu_{concrete} = \underbrace{0.15}_{\uparrow\ \text{এটা use হয়}} - 0.25 \end{array}\right\} \text{গুরুত্বপূর্ণ}$$

$\nu \not> 0.5$

$\boxed{0 < \nu < 0.5}$ এর মধ্যে থাকে poisson's ratio এর মান।

Example - 4.1

$$\sigma = 588\ kg/m^2 = \frac{P}{A} = \frac{14500}{24.64}$$



$$\varepsilon_a = \frac{\Delta}{L} = \frac{0.02346}{30} = 0.000782$$

14500 kg

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta}{D} = \frac{-0.001456}{5.6} = -0.000260$$

$$\nu = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_a} = \frac{0.000260}{0.000782} = 0.333$$

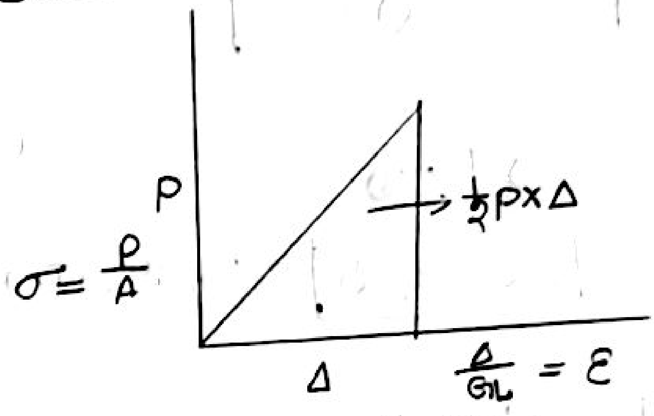
$$G = \frac{75 \times 10^4}{2(1+0.333)} = 28.1 \times 10^4\ kg/m^2$$

$$E = \frac{588}{0.000782\,(\varepsilon_a)}$$

Lecture-18

Force = σ (stress)
Deformation = ε (strain)

$$\boxed{\therefore \text{work} = \frac{1}{2}\sigma\varepsilon}$$



For Variable Force

stress-strain curve

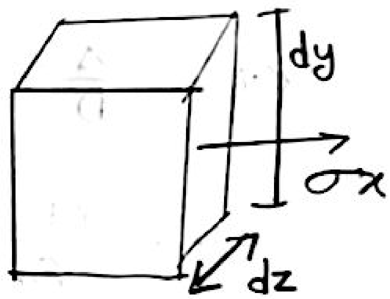
GL = Gage Length

$$\text{Energy} = \underbrace{\frac{1}{2}\sigma_x\, dy\, dz}_{\text{Avg. Force}} \times \underbrace{\varepsilon_x\, dx}_{\text{Distance}}$$

$$dU = \frac{1}{2}\sigma_x \varepsilon_x\, dx\, dy\, dz$$

$$= \frac{1}{2}\sigma_x \varepsilon_x\, dV$$

$dV = dx\, dy\, dz$
= volume



$$\therefore \frac{dU}{dV} = \frac{1}{2}\sigma_x \varepsilon_x$$

= strain-energy density
= energy stored per unit volume
(For axial force)

dU = Energy at a point

Energy stored by an element, $U = \int \frac{1}{2}\sigma_x \varepsilon_x\, dV$

Hook's Law Valid থাকলে, $\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E}$

* Stress সমান না হলে energy same হবে না।
* energy same হলে force " নাও হতে পারে।

$$\therefore U = \int \frac{1}{2} \sigma_x \cdot \frac{\sigma_x}{E} \, dV$$ [when Hook's Law is valid]

$$= \frac{1}{2} \int \frac{\sigma_x^2}{E} \, dV$$

Energy load: Amount of work done given.

* অন্য Type math, Load same দেয়া হলে, energy কার কত বেশি হবে?

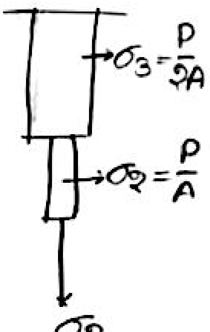
Ex-4-3

$$U_1 = \int \frac{\sigma_1^2}{2E} dV = \frac{\sigma_1^2}{2E} \int dV = \frac{\sigma_1^2}{2E} \times (AL)$$

$$U_2 = \int \frac{\sigma^2}{2E} dV = \frac{\sigma_2^2}{2E} \int dV_2 + \frac{\sigma_3^2}{2E} \int dV_3$$

$$= \frac{\sigma_2^2}{2E} \cdot A \cdot \frac{L}{4} + \frac{\left(\frac{\sigma_2}{2}\right)^2}{2E} \, 2A \times \frac{3L}{4}$$

$$= \frac{AL\sigma_2^2}{E} \cdot \frac{1}{8} + \frac{3AL\sigma_2^2}{16E} = \frac{AL\sigma_2^2}{E} \cdot \frac{5}{16}$$



$\sigma_3 = \frac{\sigma_2}{2}$

Since energy is equal, $U_1 = U_2$

$$\frac{\sigma_1^2}{2E}(AL) = \frac{5}{16} AL\sigma_2^2$$

$$\Rightarrow \frac{8}{5}\sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$\Rightarrow \sigma_2 = 1.265\sigma_1$$

* তুলনা বেশি এর সাথে করা হয়। $\sigma_2 > \sigma_3$. তাই σ_2 এর সাথে তুলনা করা হয়েছে σ_3 কে।

* strain energy এর উপর C.T নিবে।

Strain energy for shearing stress :

$$dU_{shear} = \frac{1}{2} \tau_{xy} \cdot \gamma_{xy} \cdot dV$$

$$Force = \frac{1}{2} \cancel{\sigma} \tau_{xy} \, dz \, dx$$

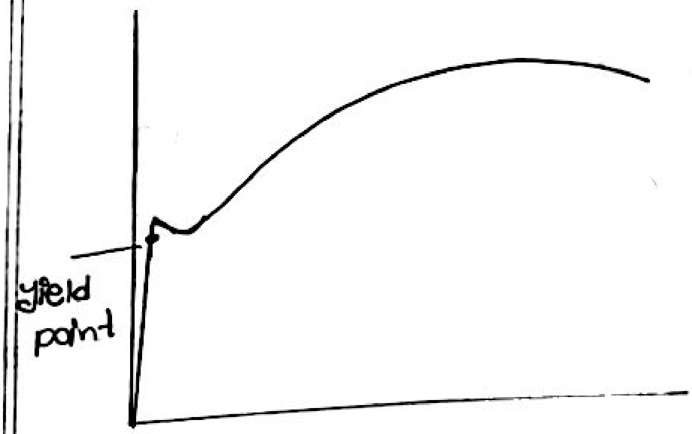
$$Distance = \gamma_{xy} . dy$$

For 3D, $\left[\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \frac{\nu}{E} \sigma_y - \frac{\nu}{E} \sigma_z \right]$

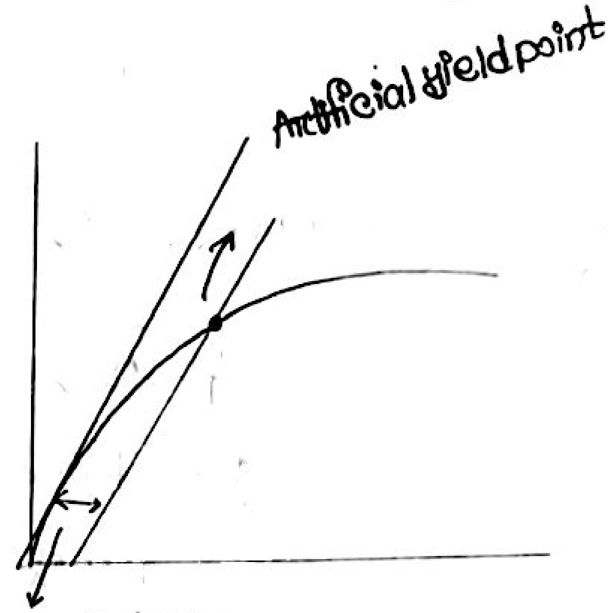
$$U = \frac{1}{2E} \left(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 \right) - \frac{\nu}{E} \left(\sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x \right) + \frac{1}{2G} \left(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2 \right)$$

* সব point এ ৬টি stress unknown থাকে, $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$.
* G, E, ν এই তিনটি জানা থাকতে হয়।

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$



Mild steel এর Diagram বক্র নই মূলবিন্দুগামী হবে না।

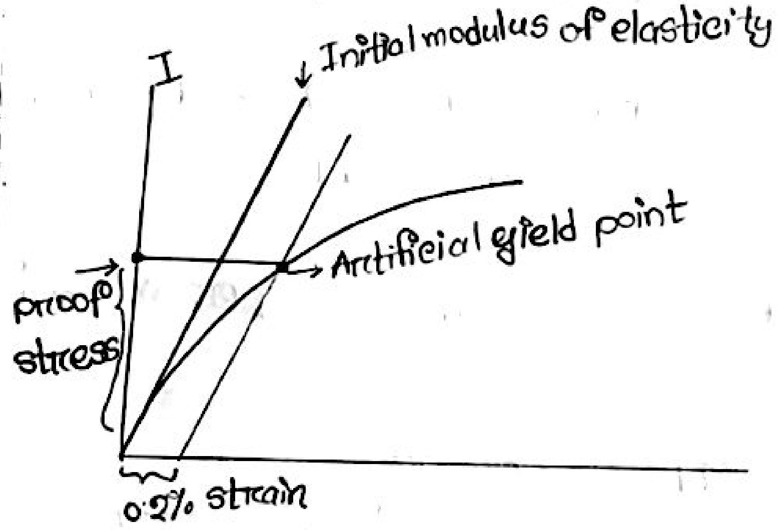


0·002 strain

↓

0·2% offset stress

* লম্বা হচ্ছে কিন্তু load থেকে গেছে বা load কমে গেছে → এটাই yield
এটা চোখে দেখা যাবে



Proof strain ২ ধরনের:

1) offset method

২) Total strain

Lecture-19

elasticity – load দিলে যতটুকু deformation হবে, Load তুলে নিলে আবার আগের অবস্থায় ফেরত আসে।

* যে strain টুকু recover করতে পারেনা – তাকে permanent set বলে।

* slope গুলো parallel হবে।

* যে stress level পর্যন্ত load দিলে, এবং unloading করলে একই ভাবে কমে যায় যেভাবে বাড়ে

maximum stress level → elastic limit

যে পর্যন্ত stress-strain curve linear থাকে — proportional limit

এরা Different, কিন্তু most of the case প্রায় কাছাকাছি।

σ_{yp}

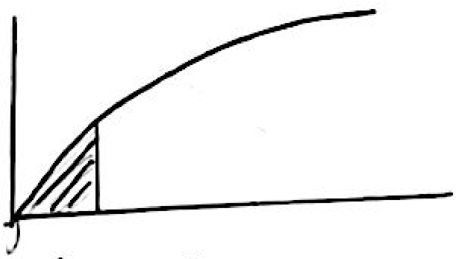
Elastic Limit (stress)

Yield point (stress)

Proportional Limit (stress)

Yield → যে point এ গিয়ে stress না বাড়ালেও deformation হঠাৎ বেড়ে যায়। (plastic হয়ে যায়)

* Proportional limit < yield point



$\frac{1}{2}\sigma \cdot \varepsilon$

Modulus of ~~Res~~ Resilience:

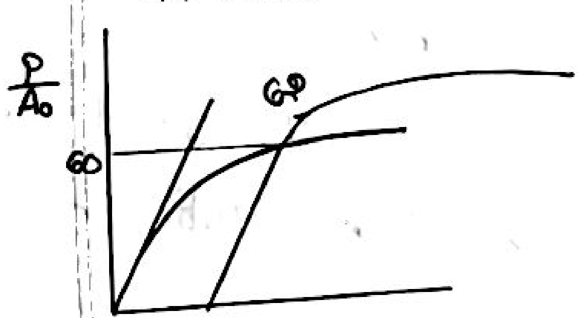
proportional limit পর্যন্ত যে stress, যেটা যত energy resist করতে পারে per unit volume.

Hyperelastic Resilience:

Elastic property পার হবার পরও যে পরিমান energy যে ধরে রাখে, তাকে Hyper elastic resilience বলে।

* কোন material কে তার elastic limit পার করে নিয়ে যাওয়াকে Cold work or strain hardening বলা হয়।

* Tor steel or cold Twisted Bar:
এই steel-কে heat দিলে আবার mild steel হয়েযায়।



★ Elastic Limit পার হলে A কে কমে যাবে, কমলে stress ও বেড়ে যাবে, তাই আগের চেয়ে বেশি মান পাওয়া যাবে।

* যে material এর E = modulus of elasticity বেশি সেটা stronger material.

* যে বেশি energy তে ভাঙবে সে Tough material.

* strong material may break at low energy than tough material.

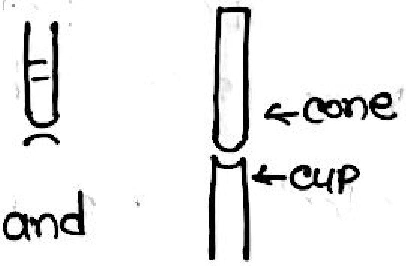
ductile

Tough → [যে ভাঙার আগে অনেক deformation দেখায়,] যখন Total area of stress-strain Dia. যার বেশি সে Tough.

brittle = ভাঙার আগে deformation দেখায় না। glass

ductile = " " " " । steel.

ভাঙার আগে চিকন হয়ে যাবার ঘটনাকে — necking বলে



* ductile material fails at cup and cone fracture.

যে stress এ fail করে — ~~ultimate stress~~ breaking stress

যেখানে গিয়ে material এ হঠাৎ deform হয় (লম্বা হয়ে যায়) — yield stress

maximum যে stress নিতে পারে break হবার আগে — ultimate stress

breaking stress & yield stress < ultimate stress ← applicable for conventional S-S. Diagram

breaking stress আসলে সবচেয়ে বেশি যখন instantaneous area দিয়ে ভাগ করে stress বের করব। ← এটা True S-S Diagram

$$\varepsilon_x = \frac{du}{dx} \qquad \varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \qquad \varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} = \frac{P}{AE}$$

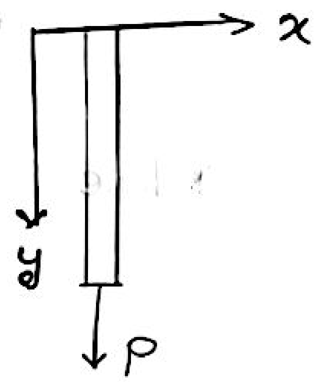
$$u = \int du = \int \varepsilon_x \, dx = \text{Total deformation}$$

$$= \int \varepsilon_x \, dx$$

[সম্পূর্ণ length বরাবর P, A, E const. নাও থাকতে পারে]

$$= \int \frac{P}{AE} dx + C$$

Ex: 4-8



$$u = \int_0^L \frac{P}{AE} dx \cancel{+C_1}$$

$$= \int_0^L \frac{P(x)}{A(x)E(x)} dx + C_1$$

$$= \frac{P}{AE} \int_0^L dx$$

[এই ক্ষেত্রে P, A, E const.]

$$= \frac{P}{AE} L$$

$$= \frac{PL}{AE}$$

$$\therefore u = \boxed{\frac{Px}{AE} + C_1}$$

যখন $x=0$, $C_1=0$, $u=0$

$$u_{max} = \frac{PL}{AE}$$

* আগে 'P' Diagram আঁকতে হবে।

ω = weight per unit length

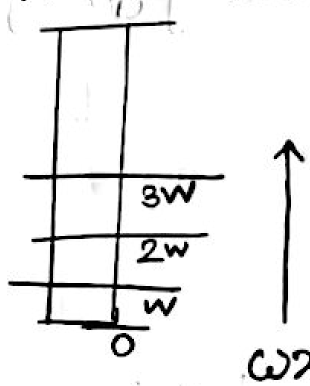
W = ωL = Total weight

* Without force (self weigh):

$$\text{Now, } u = \frac{W}{AE}\int_0^L x\,dx$$

$$= \frac{W}{AE}\,\frac{L^2}{2}$$

$$= \frac{WL}{2AE}$$



ωx = axial force = P

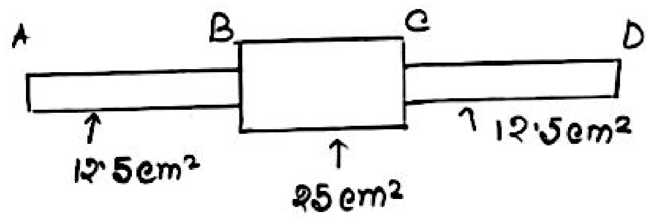
* True S-S Diagram: Load দেওয়াতে প্রতি মুহূর্তে Area change হয়। এই changed area এর মান use করে stress নিয়ে Dia. আঁকলে True S-S Dia.

* Conventional S-S Diagram: যদি changed area use না করে stress দিয়ে Dia আঁকি।

Lecture-20

Ex: 4-8

$$u = \int \frac{P}{AE}\,dx$$



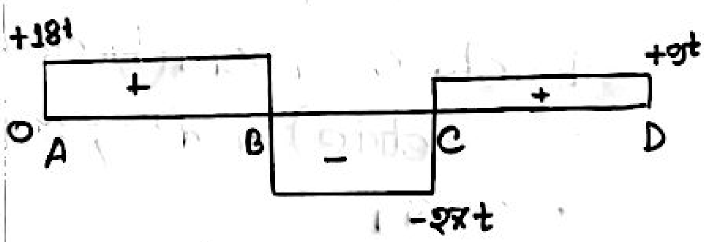
P = axial force

Bolt এর force হলো axial force না।

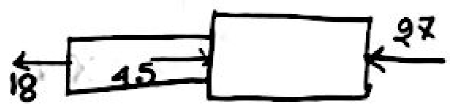
আগে axial force diagram আঁকতে হবে।

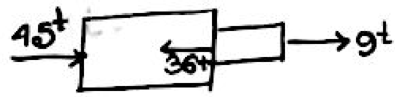
Moment – Action

Bending Moment – Reaction



'P' Diagram





$u = u_1 + u_2 + u_3$

$= + \quad - \quad +$

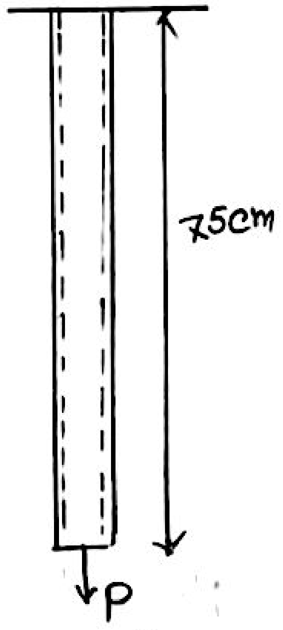
$= +$

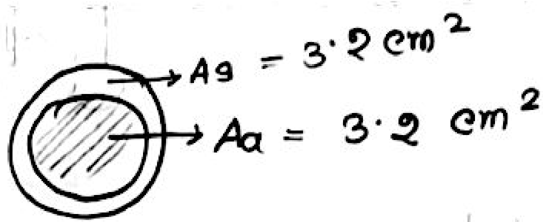
$E = 21 \times 10^5 \ kg/cm^2$

(+) result আসলে লম্বা হবে।

(−) " " short " ।

#





$P = 36^t$
$P = 56^t$ } deflection at the point of action of P = ?

statically indeterminant structure

Σ Axial force = 0, $\Sigma F_y = 0$

$P = 36^t = P_{al} + P_s$

যখন statically indeterminant structure হবে তখন (kinematic or geometric) condition apply করতে হবে।

* যেহেতু Al ও Steel উভয়ে একই সাথে আঠা দিয়ে লাগানো, তাই এদের deformation same হবে।

তাই, $u_{al} = u_s$

$$u_{al} = \frac{P_{al} \cdot L_{Al}}{A_{al} \cdot E_{AL}}$$

$$= \frac{P_{al} \cdot 75}{3.2 \times 7 \times 10^5}$$

$$u_s = \frac{P_s \times 75}{21 \times 10^5 \times 3.2}$$

$\therefore u_{al} = u_s$

$\boxed{P_s = 3P_{al}}$

$\therefore 36 = P_{al} + 3P_{al} = 4P_{al}$

$\therefore P_{al} = 9^t$

$\therefore P_s = 27^t$ } (Ans)

$\therefore u_{al}$ = deflection

$$= \frac{9 \times 75}{3.2 \times 7 \times 10^5}$$

$\simeq 0.3$ cm নিচে নেমে আসবে।

দুজনেই সমান পরিমাণ লম্বা হবে (al ও st)

৯t load এর জন্য σ_{al} (stress) $= \frac{9^t}{3.2} = 2.81^t/cm^2$

যেহেতু $2.81\,t/cm^2$ - stress, তার ultimate stress $3.5\,t/cm^2$ এর চেয়ে কম এসেছে, তাই মান ঠিক আছে।

যেটা বেশি দুর্বল মেটার জন্য stress আগে check করতে হবে।

when, $P = 56^t$

$\therefore P_{al} = 14^t$

$\therefore \sigma_{al} = \frac{14}{3.2} = 4.375\,t/cm^2$

যেহেতু Al এর ক্ষমতা max, $P_{al}(max) = \underbrace{3.2}_{area} \times 3.5 = 11.2^t$

তাই, al Highest 11.2^t নিবে 56^t এর।

$\therefore$ Steel নিবে $= 56 - 11.2 = \boxed{44.8^t}$

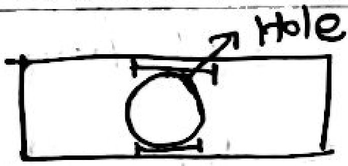
$\therefore \sigma_s = \frac{44.8}{3.2} = 14\,t/cm^2$

এটা steel এর max stress এর মান 14. তাই yield করার সর্বোচ্চ সীমায় পৌছেছে।

তাই এক্ষেত্রে st ও Al এর deflection same হবে না।

$u_{st} = \frac{P_s \cdot L_s}{A_s \cdot E_s} = \frac{44.8 \times 75}{3.2 \times 21 \times 10^5} = 5 \times 10^{-4}$ cm

যেহেতু st ও Al একই সাথে লাগানো তাই deformation এক্ষেত্রেও same হবে। কিন্তু Al এর yield point এর বাইরে load apply হচ্ছে বলে এর কতটুকু deform হবে বোঝা যায় না। তাই steel এরটা use করে deformation count করা হয়।



* ⊢⊣ এই part গুলোতে stress uniform না।

$\boxed{\text{Stress concentration}}$ $\sigma_{max} = K\frac{P}{A}$

u= deflection

U =strain energy

energy load, deflection

$u = \int \frac{P}{AE} dx$

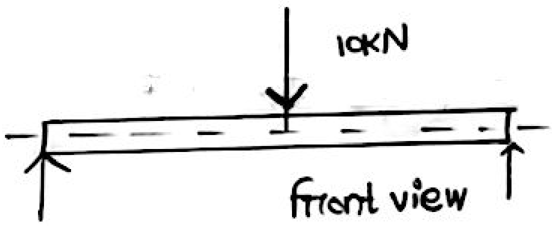
$U = \int \frac{\sigma^2}{2E} dv$

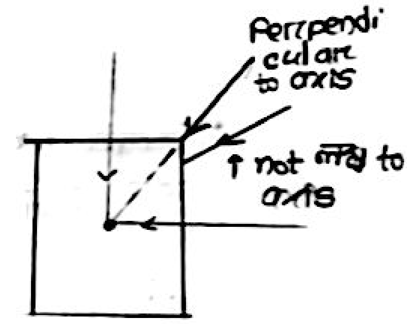
[C.T এর syllebus Math using above formula]

Lecture - ২২

Bending moment → Tension & Compression উভয়ই হবে।

1) Force moving হলে formula valid হবে না।
২) Unstable structure হলে " " " "।





cross section

৩) Load যদি perpendicular না হয় axis এর সাপেক্ষে তাই Torsion ও সৃষ্টি হয়, তাই এই formula applicable না।

4) হয় major বা minor axis এর সাপেক্ষে symmetric হতে হবে বিমটিকে

Based on Navier's Hypothesis;
যখন Beam বাঁকা হয়, তখন, plane (cross section) এর কখনই আঁকাবাঁকা হবে না, plane ই থাকবে।

* So a plane section remains plane.

উপরে compression
নিচে tension

তাই মাঝামাঝি জায়গায় tension ও compression হবে না → এটাই Neutral Plane. এই plane এ length change হয় না।

Math Formula ⇒ $u \propto y$ ← measured from Neutral surface.

u ↓ displacement

অর্থাৎ, neutral surface থেকে যত দূরে যাবে, deformation তত বেশি হবে।

$\therefore \frac{du}{dx} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} = \varepsilon_x$

$\therefore \boxed{\varepsilon_x \propto y}$ (unconditional)

$\therefore \boxed{\varepsilon_x = by}$ (b = proportional)

যখন $y(+ve)$, $\varepsilon_x = -ve$, যখন উপরে যাব

$y(-ve)$, $\varepsilon_x = +ve$, যখন নিচে যাব

This is true for any condition of loading.

সবসময় valid থাকবে এটা।

The elastic flexure formula:

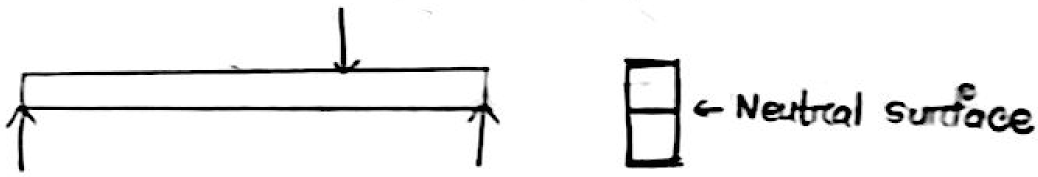
$$\boxed{\sigma_x = By} \longrightarrow$$ যতক্ষণ পর্যন্ত σ ও ϵ এর relation proportional limit এ থাকে।

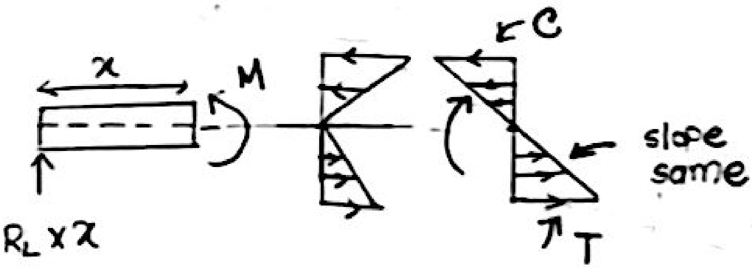
$\because \sigma_x = E\,\varepsilon_x$ } valid for elastic range (conditional)

↓

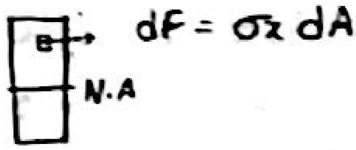
অর্থাৎ যতক্ষণ পর্যন্ত Hook's Law valid থাকবে ততক্ষণ এই formula valid.

$$B = bE$$





compression and tension must be equal.



$$\Sigma F_x = 0$$

$$\therefore \int_0^A \sigma_x \, dA = 0$$

$$\Rightarrow \int_0^A By\,dA = 0 \quad [\because \sigma_x = By]$$

$\bar{y}$ = centroid এর distance to the Neutral axis.

$$\Rightarrow B\int_0^A y\,dA = 0 \quad \Rightarrow B A\bar{y} = 0$$ [B, A. zero হতে পারবে না, কিন্তু $\bar{y}$=0 হতে পারে]

* $\int x\, dA = A\cdot\bar{x}$

$\bar{y} =$ x axis থেকে centroid এর

* $\int y\, dA = A\cdot\bar{y}$

*যদি $\bar{y}=0$ হয় তবে, neutral axis, centroid এর মধ্য দিয়ে যাবে।

*elastic হলে → cross section এর centroid দিয়ে Neutral axis যাবে।

*elastic না হলে → যাবে না, vary করবে।

Here, Internally produced moment, $(\sigma_x \cdot dA)\cdot y$

External 〃 $= M$

$\therefore \Sigma M = 0$

$\therefore M + \int (\sigma_x \cdot dA)\cdot y = 0$

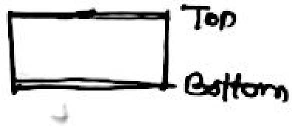
$\Rightarrow M + \int By\cdot dA\cdot y = 0$

$\Rightarrow M + B\int y^2 dA = 0$

$\Rightarrow M + B\cdot I = 0$ [I = M. of Inertia]

$\therefore B = \frac{-M}{I}$

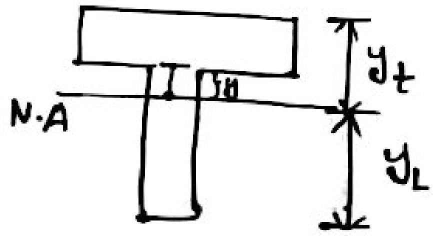
$\therefore \boxed{\sigma_x = \frac{-M}{I}y}$



* y এর মান যত বেশি হবে, σ_x তত বেশি হবে।
তাই সবচেয়ে উপরে → compression (Top fibre এ)
" " নিচে → tension (Bottom fibre এ)
$y=0$ stress = zero. N.S এ

Lecture-23

$$\sigma = \frac{My}{I}$$



$$\sigma_{max} = \frac{M.y_t}{I}$$

$$\text{or, } \sigma_{max} = \frac{M.y_L}{I}$$

$\boxed{\text{Ex - 6.3}}$ $$\bar{y} = \frac{\Sigma A_i y_i}{\Sigma A_i}$$

Refference নেয়া হয়েছে bottom এর সাপেক্ষে

Scanned by CamScanner

তীরের লেজ - T

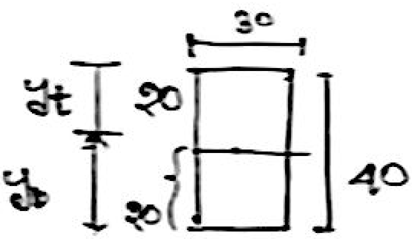
তীরের মাথা - C

Dog las Far - সেগুন

Ex: 6-4

For rectangular section. $I = \frac{bh^3}{12}$

$$M = 1800(1.8) - 75(1.8)0.9 = 3118.5 \text{ kg.m}$$

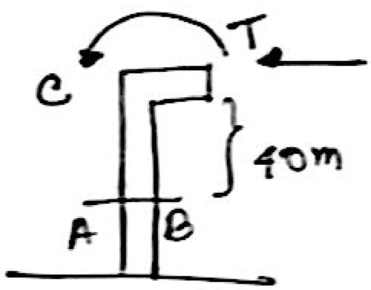


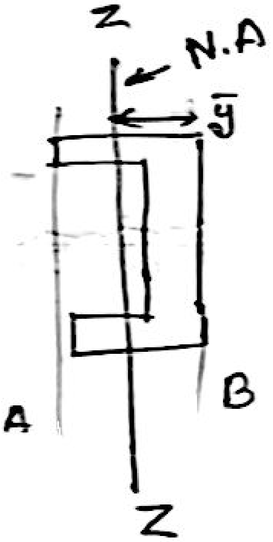
$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{30 \times 40^3}{12}$$

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

$$= \frac{3118.5 \times 20}{\frac{30 \times 40^3}{12}}$$

Ex : 6-5

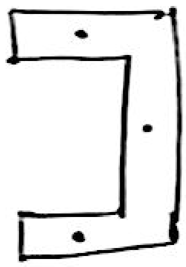




A → Tension

B – C

ডানদিক Ref Line



σ_{max} দুটিই বের করে দেখাতে হবে →

ধরুন, σ_{max} = maximum Tensile Stress
" Compressive "

যদি $y_t = y_b$ হয়, তবে যেখানে M_{max} সেখানে σ_{Max} হবে এবং max tension ও max compressionও same সেখানে হবে।

~~যদি ± M থাকে এবং~~

~~maximum + M এর section থেকে compare~~

যদি $y_t \neq y_b$ হয়, তবে, $-ve\ M_{max}$ / $+ve\ M_{max}$ এই দুটি জায়গায় σ_{max} বের করতে হবে।

In elastic Bending:

Hook's Law valid না

Nevil's Hypothesis valid — তাই strain diagram linear
stress " non-linear

6.6 N.A এর আশেপাশের অল্প কিছু অংশকে কখনই yield করানো যায় না। যত load দেই না কেন সেটা সবসময়ই elastic থাকবে। এই অংশকে elastic core বলে। অন্য অংশে load দিলে plastic হয়ে যায়। একে plastic core বলে।

M_p = Plastic moment

$$C = \sigma_{yp} \cdot b \cdot \frac{h}{2}$$

$$T = \sigma_{yp} \cdot b \cdot \frac{h}{2}$$

$$M_{ult} = \boxed{M_p = \frac{\sigma_{yp} \cdot bh^2}{4}}$$

একটি rectangular beam সম্পূর্ণভাবে plastic হবার জন্য যে moment প্রয়োজন,

σ_{yp} = যে material দিয়ে beam তৈরি, তার yield stress

M_p = Ultimate Moment capacity

$$\boxed{\sigma_{yp} = \frac{M_{yp} \cdot \frac{h}{2}}{I}}$$

$$M_{yp} = \frac{\sigma_{yp} \cdot \frac{bh^3}{12}}{\frac{h}{2}} = \boxed{\frac{\sigma_y bh^2}{6} = M_{yp}}$$

→ elastic moment

$$\boxed{\frac{M_{ult}}{M_{yp}} = \frac{6}{4} = 1.5}$$

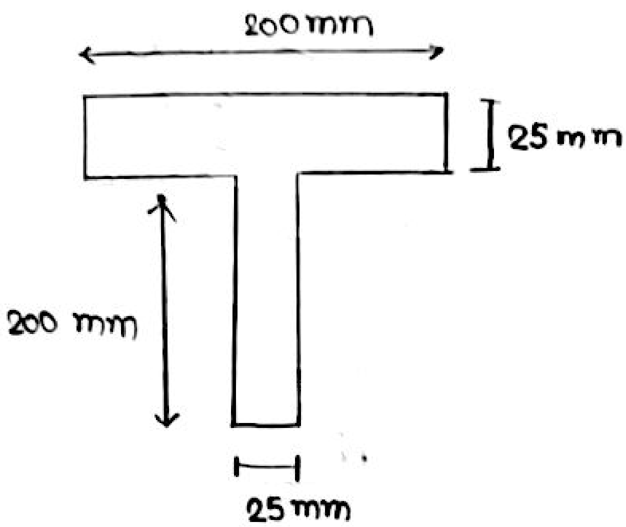
এই ratio হল shape factor

↓

এটা beam এর cross section এর উপর depend করে।

Assignment-5

Find the shape factor of this beam



$$S.F = \frac{M_{ult}}{M_{yp}}$$

Assignment-6

Prove that, Fig 6-18 (c) এ যে stress পাওয়া যায় তার Moment zero.

Lecture-24

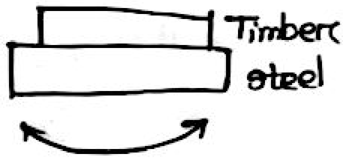
Ex-6.7

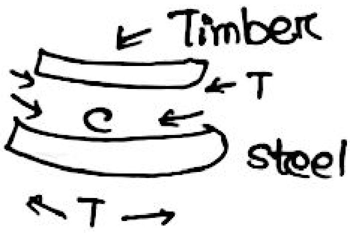
Fig
(a) Load apply করলে stress এভাবে develop করে
(b) unloading করলে এভাবে ফেরত আসে (stress)

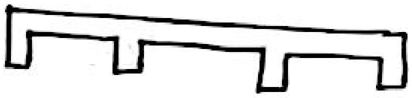
Residual stress- material কে Moment apply করলে ~~যদি~~ stress develop করে। ~~un M তুলে নিলে~~

যদি yield point পর্যন্ত M দেয়া হয়, তাহলে, M তুলে নেবার পরও এর মধ্যে কিছু পরিমান stress রয়ে যায়। এটাই residual stress.

এই Residual stress এর কারণে Moment সৃষ্টি হয় না, Moment zero হবে।

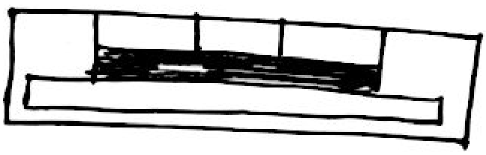


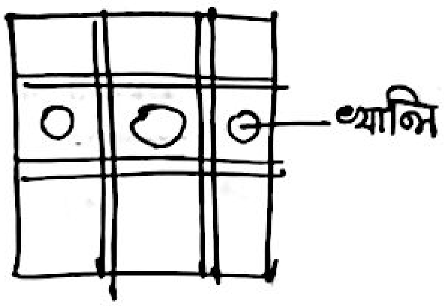




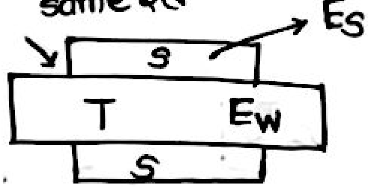
Rib slab

■ – ফাঁকা





এই জায়গাতে S ও T এর deformation same হবে।



$\sigma = \frac{M \cdot y}{I}$ [এটা Valid, যখন Hook's Law Valid]

* Timber এর চেয়ে Steel এর σ বেশি।

dA dA

T □ □ S

Strain সমান

Wood কে Steel এর equivalent বানাতে হলে area কমাতে হবে। কারন, Steel এর stress বেশি।

area কমানো বা বাড়ানোর জন্য height same রাখব কিন্তু width change করব।

Modular Ratio = $\frac{E_1 \text{ (বড়টা)}}{E_2 \text{ (ছোটটা)}} = n$

যে Material দ্বারা beam তৈরি তাদের E এর ratio.

generally $n > 1$.

equivalent যে beam পাব (Material change এর পর) = Transformed section

ধরা যাক, Timber beam (equivalent)

তাহলে, $\sigma_w = \frac{M \cdot y}{I}$

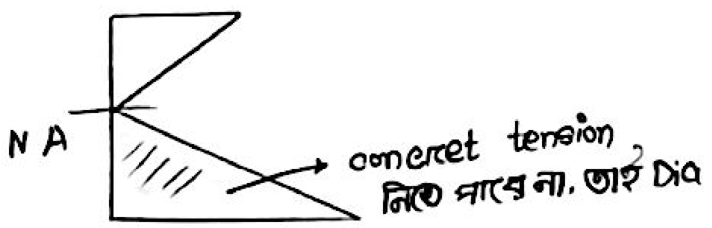
~~কিন্তু যেখানে প্রতি প্রতি Timber নেই সেখানে~~ stress হবে, $\sigma_s = n\sigma_w$

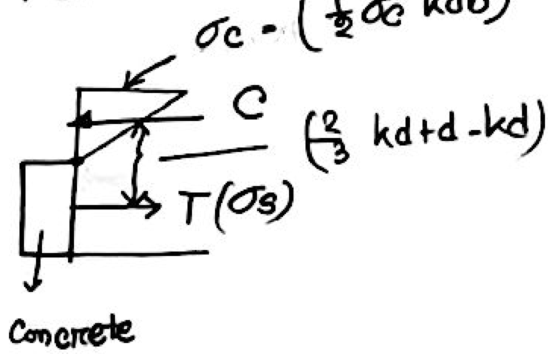
$\boxed{Ex-6.9}$

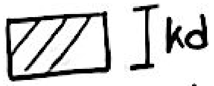
$n = \frac{E_s}{E_w} = \frac{21 \times 10}{10.5} = 20$

$n_1 = \frac{1}{20}$

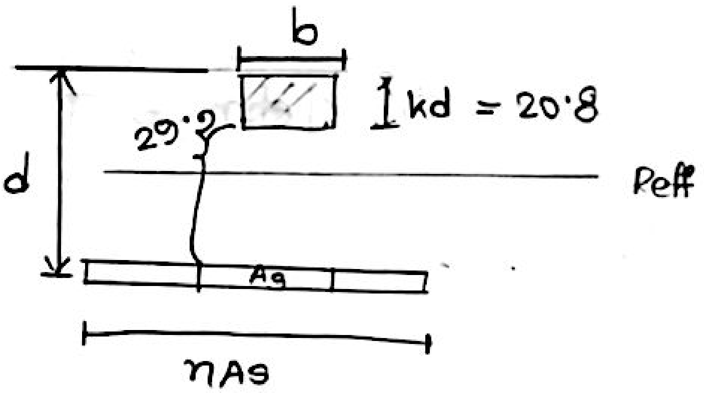
$\boxed{6-10}$ $n = 15 = \frac{E_s}{E_c}$ সাধারণত এক্ষেত্রে যেটা দুর্বল সেটায় convert করা হয়।







d = Top fibre (concrete এর) থেকে reinforcement এর centroid পর্যন্ত distance



$$\underbrace{(b.kd)}_{\text{area}}\underbrace{\left(\frac{kd}{2}\right)}_{\bar{y}} - \underbrace{\underbrace{(nAs)}_{\text{area}} \cdot \underbrace{(d-kd)}_{\bar{y}}}_{\text{Reff line}}$$

$\boxed{\text{Flexural stress - C.T-4}}$ next monday

* composite beam, non composite beam
* $\sigma = \frac{My}{I}$
* plastic moment

Lecture - 25

$\boxed{Ex-6:11}$ Imp (3rd year এ এই Type এর Math লাগবে)

Curved beam: (বই থেকে দেখে নিতে হবে)

$\varepsilon_x = \frac{du}{dx}$ এক্ষেত্রে plane section remain plane
কিন্তু ε linear না, proportional না।
তাই curved beam এ, $\Delta u \propto y$ সত্য
$\therefore \frac{\Delta u}{\Delta x}$ or $\varepsilon_x \propto y$ মিথ্যা

* formula মুখস্ত রাখতে হবে curved beam এর।

$$\sigma = \frac{M(R-r)}{r A(\bar{r}-R)} \text{ OR, } \sigma = \frac{My}{Ae(R-y)}$$

Chapter - 7

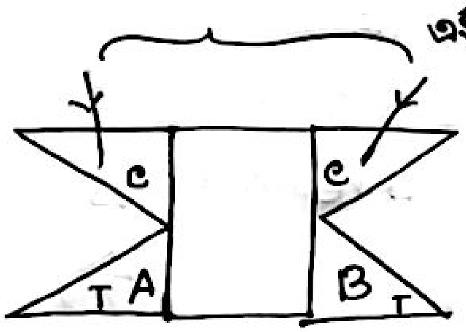
1) Direct shear stress (Plate কে bolt দিয়ে আটকালে যা হয়)
2) Flexural " " (Bending Moment এর উপর যে shear stress depend করে সেটা flexural stress)

$$\frac{dM}{dx} = -V = P$$

* Shearing stress V এর কারণে হবে। কিন্তু V Directly বের করা যায় না। Bending moment use করে V আগে বের করব। পরে সেই V use করে shear stress বের করব।

আগে
* τ_{yx} বের করব। আবার, ∴ $\boxed{\tau_{xy} = \tau_{yx}}$

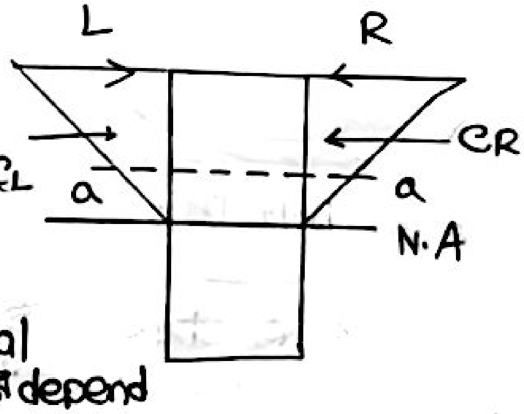
এই দুই অংশের stress same হবে না।



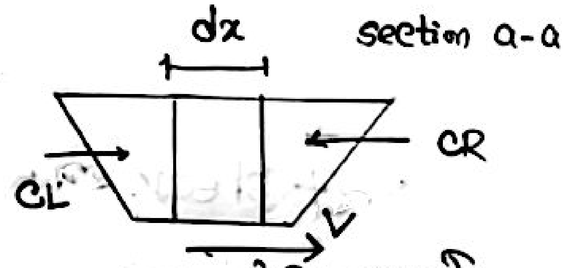
$$\sigma_{Right} = \frac{M_B . y}{I}$$

$$\sigma_{Left} = \frac{M_A y}{I}$$

কিন্তু একটি অংশের $\boxed{C = T}$



যদি $C_R > C_L$ হয়, তবে,



তবে এই দিকে একটি shear force V কাজ করবে CR কে এর অবশিষ্ট অংশ Balance করার জন্য। অর্থাৎ Shear stress.

cross sectional shape এর উপর depend করে। usually parabolla হবে।

* Shearing stress N.A তে সবচেয়ে বেশি, Top ও Bottom fibre এ zero.

* Flexural stress N.A তে zero, Top ও Bottom fibre এ সবচেয়ে বেশি।

$$\sigma_R = \frac{-M_B y}{I}$$

$$F_B = -\int_{fghi} \frac{M_B y}{I}\, dA \qquad F_A = -\int \frac{M_A y}{I}\, dA$$

$$dF = F_B - F_A$$

$$= -\left[\int \frac{M_B y}{I}\, dA - \int \frac{M_A y}{I}\, dA\right]$$

$$= \frac{-(M_B - M_A)}{I}\left[\int y\, dA\right]_{fghi}$$

Moment of Area $= \int y\, dA$
$= Q$

$$= \frac{-(M_B - M_A)}{I} \cdot Q$$

এখানে $\int y\,dA \rightarrow$ এদের area দুই part (A ও B) এর জন্যই same.

$$dF = \frac{-dM}{I} \cdot Q$$

$$\Rightarrow \frac{dF}{dx} = -\frac{1}{I} \cdot \frac{dM}{dx} \cdot Q$$

$$\Rightarrow q\ (\text{shear flow}) = \frac{dF}{dx} = \frac{-1}{I} \cdot V \cdot Q = \frac{-VQ}{I}$$

(shear force per unit length)

$$\boxed{\tau_{yx} = \frac{-VQ}{I} \cdot \frac{1}{t}}$$

[Shear stress এর জন্য area দিয়ে force কে ভাগ দিতে হয়, q বের করার সময় length দিয়ে ভাগ দেওয়া হয়েছে, তাই পরে width = t দিয়ে ভাগ দিয়ে পারে stress বের করা হয়]

$\boxed{q = \frac{VQ}{I}}$ $\boxed{\tau_{yx} = \frac{VQ}{It} = \tau_{xy}}$

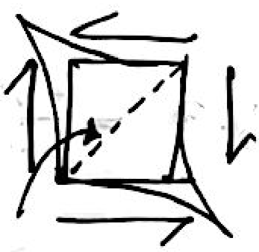
Timber beam এর shear failure হলে longitudinal direction এ crack হবে।

flexural failure vertical হবে।

concrete এ — Bending moment এর জন্য vertical crack
Flexural 〃 〃 〃 horizontally 〃

* shearing crack সবসময় support এর কাছে হবে। কারণ support এর কাছেই V সবচেয়ে বেশি। তাই vertical crack হবেনা। Moment zero support এ. Support এ shear crack diagonal হবে। Support এর কাছে vertical crack flexural এর জন্য।

~~* Sup~~



এইবরাবর crack.

Middle $\frac{1}{4}$ distance এর মধ্যে vertical crack - Flexural এর জন্য।

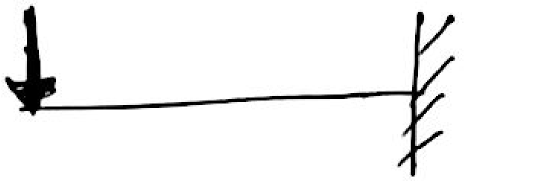
* Tp এর জন্যও concrete এ temperature and shrinkage crack দেখা যায়। যদি Beam এর সব জায়গায় vertical crack দেখা যায়, তবে ওটা Tp ও shrinkage এর জন্য।

Lecture-26

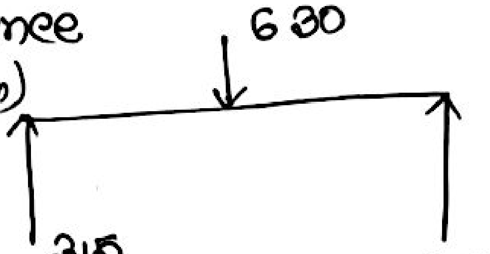
$\boxed{7\text{-}1}$

$V = 315\,kg$

$1\,nail = 70\,kg$

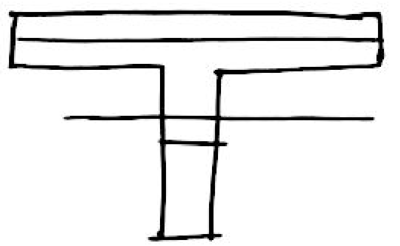


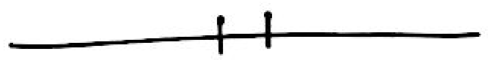
$q = \frac{VQ}{I}$ = Force / unit distance (unit) (kg/cm)



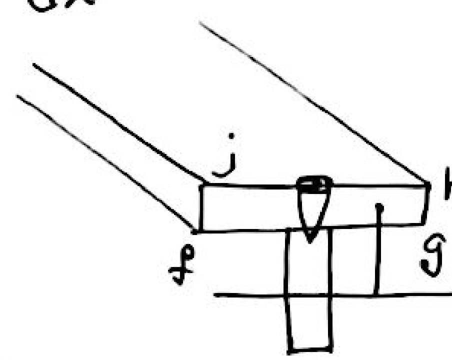
$\tau = \frac{VQ}{Ibt}$ = Force / unit area (unit) (kg/cm^2).

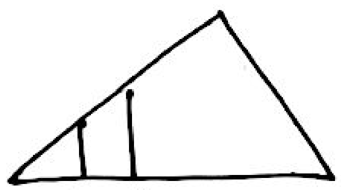
এই দুই ক্ষেত্রেই shear force fixed 315 হতে পারে।





$\frac{dF}{dx} = q = \frac{VQ}{I}$ = Force per unit length



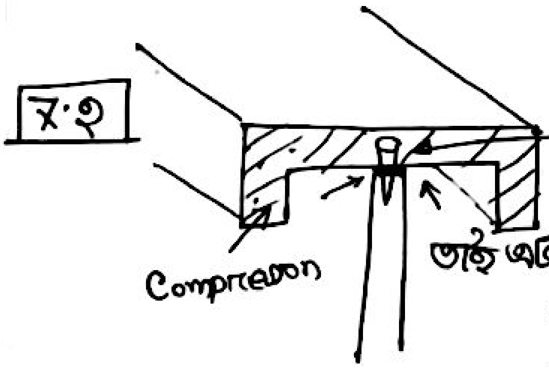


$\bar{y}_{fghj} =$ A_{fghj}

ধাক্কাধাক্কি যেখানে হয়, সেই জায়গাটা identify করতে হবে। সেটাই A_{fghj}

Force /unit distance at the junction of the two planks = 17 kg/cm

$$\text{Spacing} = \frac{70\,kg}{17}$$

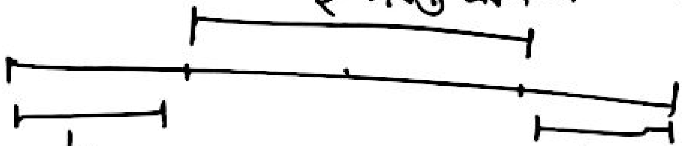


এখানে বল্টু মারছি,

তাই এটাতে compression হবে।

তাই এই পুরো area হল fghj. এটার area জানতে হবে

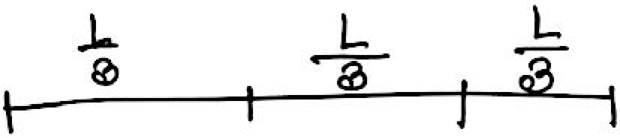
$\frac{L}{2}$ পর্যন্ত একই spacing, যা 450



① → 4 ভাগ করা

$\frac{L}{4}$ → 900 এর জন্য

$\frac{L}{4}$ ← 900 এর জন্য



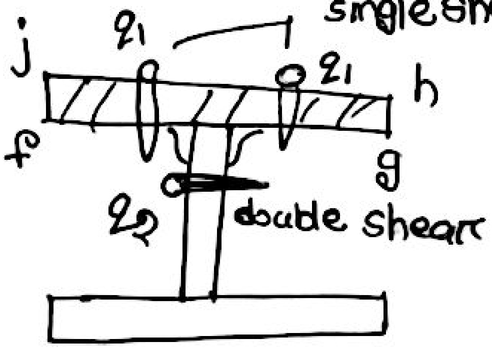
② → 3 ভাগ করা

তখন 900 এর জন্য

$s = \frac{240}{16} = 15$ cm (near support)

$q = \frac{450 \times 4250}{236670} \rightarrow$ ~~kg/cm~~ 8 kg/cm

$s = \frac{240}{8} = 30$ cm



$\frac{1}{২}$ q will be taken by each of the two bolts

উপরের দুটি bolt Total যে force নেয় নিচের ~~bo~~ ১টি bolt ওদের সমান force নিবে।

$q_1 = \frac{q}{২}$

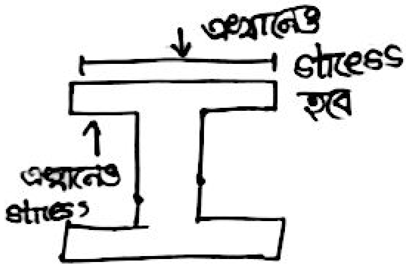
$q_2 = \frac{q}{২A}$

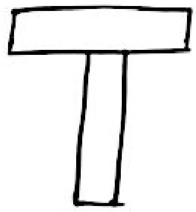
Plate
Girder – steel plate দিয়ে তৈরি beam.

* bolt গুলো লাগানোর জন্য steel angle use করা হচ্ছে। কিন্তু এদের area neglect করা হচ্ছে।

$M_B = M_A$ হলে কোন shear stress হবে না
যদি $M_B \neq M_A$ হয় তবেই " " বা ধাক্কাধাক্কি হবে

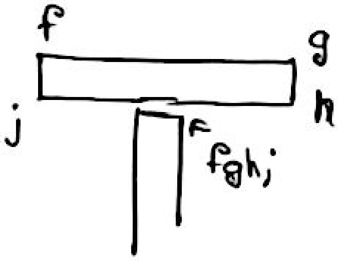
Scanned by CamScanner





Flenged section হলে ২টি shear stress পাওয়া যাবে

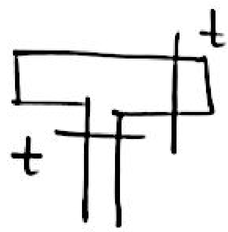
$\boxed{\tau_{zy}, \tau_{zx}}$ or $\boxed{\tau_{xy}, \tau_{xz}}$.



4.

Lecture-২৭

$\boxed{৭\text{-}৩}$



একটি particular cross section এ V constant

$\tau = \frac{VQ}{It}$ Q, I এর মান এই equ তে বসিয়ে solve করতে হবে assignment ৭.

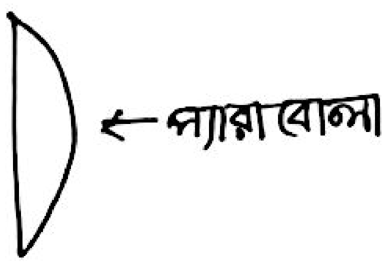
Proof $\boxed{১}$ For a rectangular cross section, shearing stress এর variation, $\tau_{xy} = \frac{V}{2I}\left[\left(\frac{h}{2}\right)^2 - y_1^2\right]$ This is the eqn of parabolla.

লিখতে হবে।

$\tau_{max} = \frac{V}{2I}\left(\frac{h}{2}\right)^2$ [at N.A]

$= \frac{Vh^2}{8I} = \frac{Vh^2}{8 \cdot \frac{bh^3}{12}} = \frac{3}{2}\frac{V}{bh} = 1.5\frac{V}{A}$

$\tau_{max} = 1.5\ \tau_{avg}$

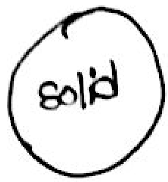


0 → Top fibre
0 → Bottom "
Maximum — N.A এ

$\boxed{\text{Assignment-৭}}$

Hollow tube এর τ বের করা

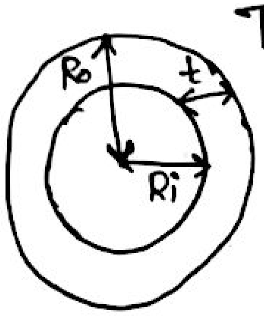
২ # Solid Circular Section:



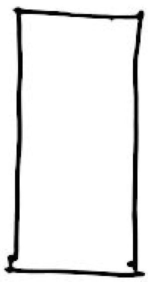
$$\tau_{max} = \frac{4}{3}\frac{V}{A}$$

৩ Hollow Tube: thickness 't' compared to radius.

Thin tube

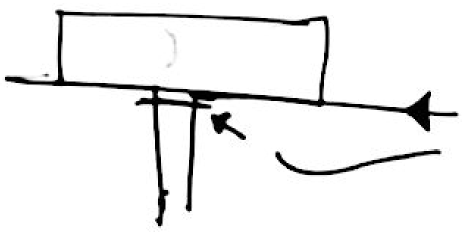


$$\tau_{max} = 2\frac{V}{A}$$

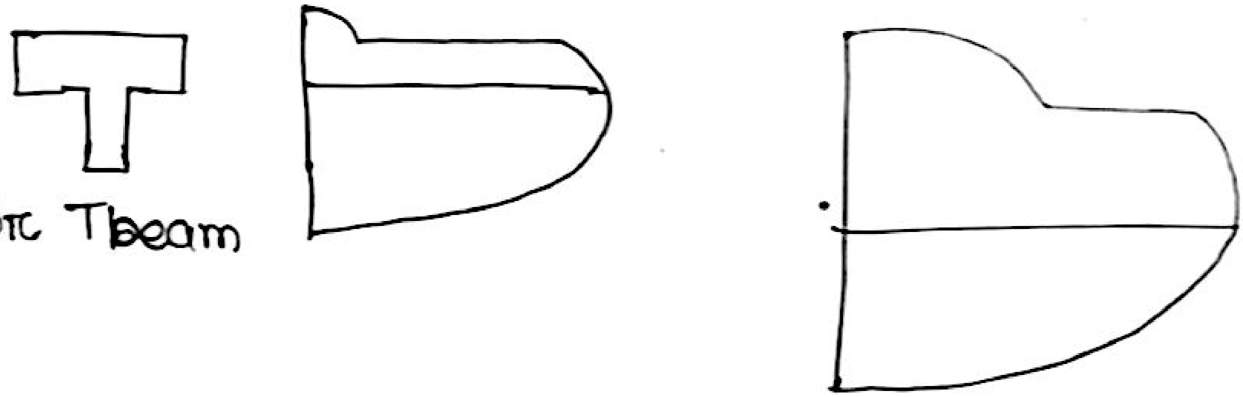


$$\int \tau_{xy} \cdot dA = V$$

7-6 Top fibre এ $Q = 0$, কারণ line এর area 0.

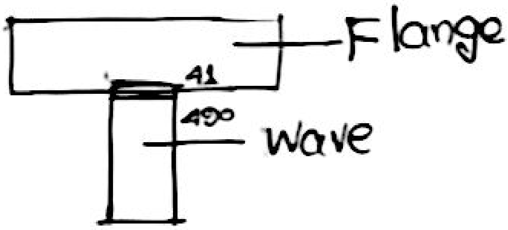


এখানে section নিলে দুইক্ষেত্রেই area same থাকছে।

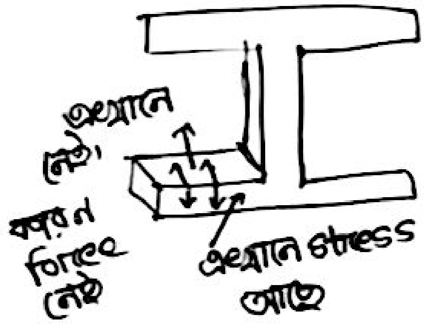


For T beam

Limitations



তাই এর একটা লিমিটেশন

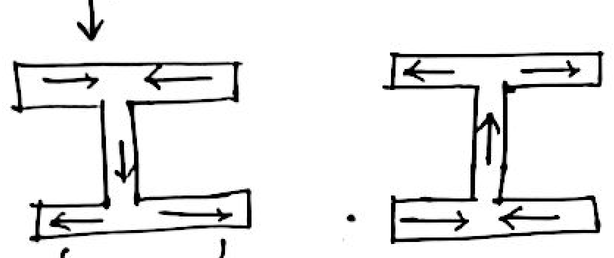


* Free surface এ shear force থাকে না বলে stress ও থাকে না।

Circular surface এ stress tangential থাকে surface এর সাথে।

$\boxed{\text{Art. 7-6}}$ ~~Fx~~ Flange এর মধ্যে horizontal ও vertical উভয়ই দিতেই হয়।

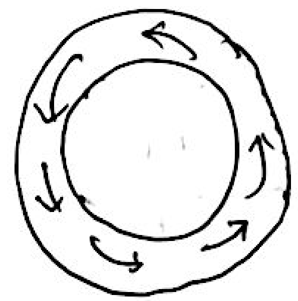
Here vertical shear force has created horizontal force



Balance each other

River flow / Shear flow

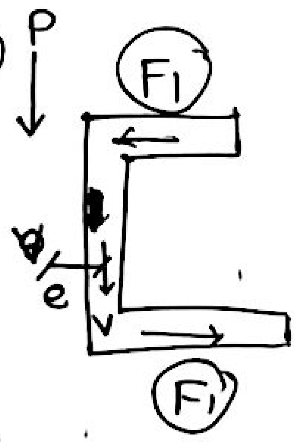
flow like a water within this tube

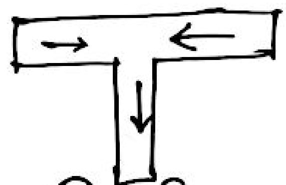


circular

যদি symmetric হয় (I section এ)

$$q = \frac{VQ}{I} = \text{shear flow}$$





② ↑ P

Unsymmetric (T section এর জন্য)

load ঠিকমত না বসালে structure ঘুরে পড়ে যাবে। ঘূর্ণনের ফলে (Torsion axis এর about এ ঘুরা)

They are forming a couple

$$p.e = F_1 . h$$

$$\therefore e = \frac{F_1 h}{P}$$

additional stress এর সৃষ্টি হয়

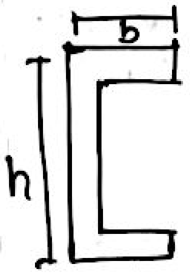
① P ও V একই Direction এ হলে structure ঘুরে পড়ে যাবে।

② P ও V opposite direction এ হলে ঘুরে পড়বে না।

Lecture-28

$$F_1 = \left(\frac{\tau_{c\text{-}max}}{2}\right) \cdot \left(\frac{bt}{2}\right) \text{ or } F_1 = \left(\frac{\tau_{c\text{-}max}}{2}\right)\left(\frac{b}{2}\right)$$

Shear Centre: যে point এ external load apply করতে হবে।



t = thickness of this flenge

channel section

→ Flenge section এ unsymmetric shear stress develop করলে সেটা যেই point এর সাপেক্ষে rotate করতে চায়, তাকে shear centre বলে।

* channel হলে centre line এর Dimension দেয়া হয়।

* T or I section হলে full Dimension দেয়া হয়

$$e = \frac{F_1 h}{P} = \frac{\frac{1}{2}\tau_c b t h}{P} = \frac{bth}{2P} \cdot \frac{VQ}{It} = \frac{bth}{2P} \cdot \frac{Vbt\left(\frac{h}{2}\right)}{It}$$

$$= \frac{b^2h^2t}{4I}$$

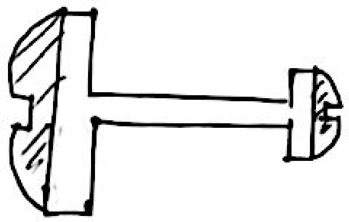
* first principle ⇒ formula develop এর সময় যেই শর্ত বা নীতি apply করা হয়েছিল সেটা

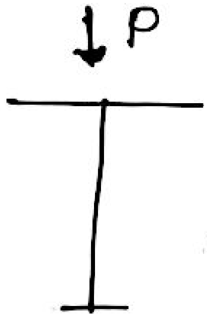
⊛ Exam এ first principle apply করে math করতে বললে, $e = \frac{b^2h^2t}{4I}$ এটা apply করা যাবে না। শর্ত apply করে করতে হবে।

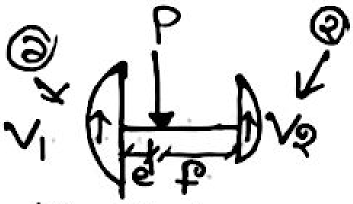
Ex - 10.6

Ex - 10.7

unsymmetrical I section





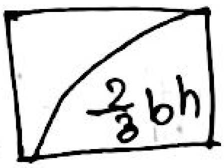


$P = V_1 + V_2 = V$

ⓐ বা ⓑ যে কোন point এর সাপেক্ষে moment নেয়া যাবে।

$\boxed{P.e = V_2.h}$

$\boxed{P.f = V_1 h}$



P load এমন ভাবে দিতে হবে যাতে V_1 এর ও V_2 এর Moment equal হয়।

$V_1 > V_2$

তাই V_1 এর Distance ছোট ও
V_2 " বড় হবে

Pressure Container

Thin pressure container (all time tension)

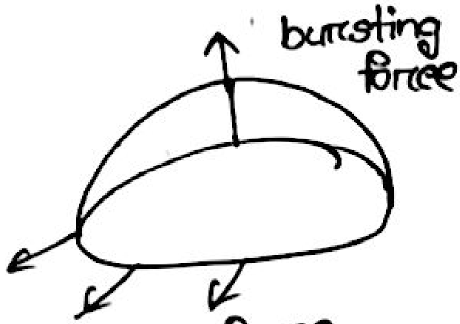
অবশ্যই ↑

এছাড়া আর অন্য কিছু আসবে না।

আবার বাইরে থেকে force দিলে compression কাজ করবে।

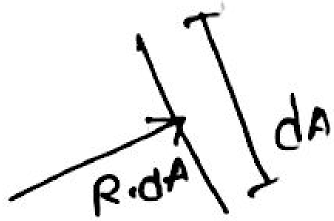
Rupturing or bursting force- দুই টুকরা করার Try করে

যে জায়গা দুর্বল সেখানে ছিটকে যায়।



bursting force = Resisting force

এরা সমান না হলেই burst করবে



* ~~pressure acts~~

R= pressure intensity

bursting force vertical direction এ নিব।

$R dA \cos\theta$ = vertical force এর component

Rupturing plane horizontal

Bursting ~~in~~ Force =

pressure intensity within the vessel × the area enclosed by the bursting plane

Resistive Force = stress × ছিদ্রল part এর area

$$\frac{\pi(D_o^2 - D_i^2)}{4} = \frac{\pi(D_o + D_i)(D_o - D_i)}{4}$$

$$= \frac{\pi D_{avg} \cdot 2t}{4}$$

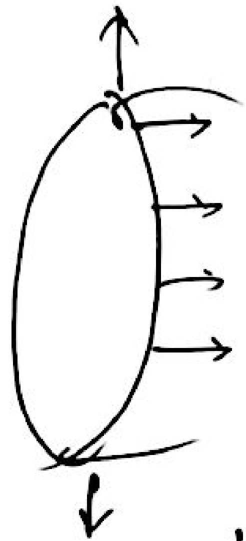
$\boxed{1}$ $BF = \frac{\pi (20)^2}{4} \times R(80)$

$$RF = 18 \times \underbrace{A_b \sigma_b}_{\substack{\text{bolt area} \\ = A_b}}$$

bolt লাগানোর সময় একে tight দেয়া হয়, তখনই bolt এ একটি initial stress দেয়া হয়।

তখ

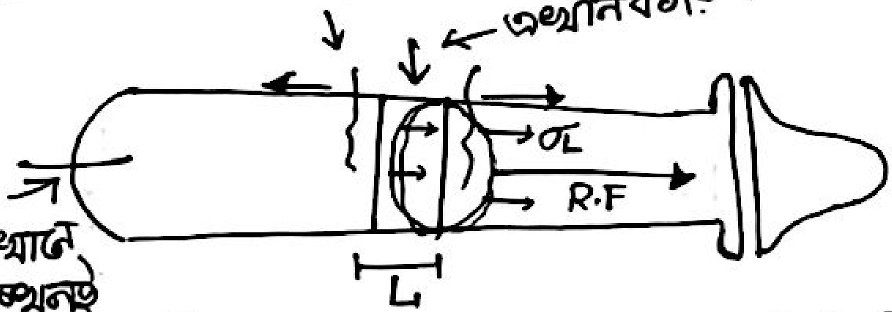
Lecture-29

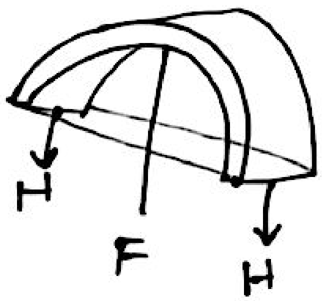


lateral + Transverse direction এ burst করতে চায় (stress বেশি)

যদি বলে দেয়া না থাকে,
bolt এর cross sectional area nominal area
থেকে কম হবে। কমিয়ে নিতে বলে দিতে হবে, নমিনাল
area থেকে কম use করা হয়েছে।

Example-3





$$B.F = R.L.D$$

$$R.F = 2H = 2L.t.\sigma_h$$

$$= R.L.D$$

$$\therefore \sigma_h = \frac{R.LD}{2Lt} = \frac{RD}{2t}$$

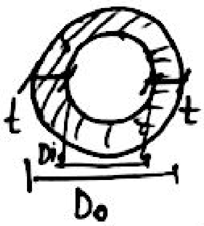
Transverse Direction এর stress or σ_t = transverse stress

σ_h - hook stress

∴ Transverse direction এর stress এর মান Length L এর উপর depend করে না।

$\sigma_l \rightarrow B.F = \frac{\pi D^2}{4} . R$

$B.F =$ area enclosed by the bursting plane $= R . \frac{\pi D^2}{4}$



area of skin (steel shell)

$\frac{\pi (D_o^2 - D_i^2)}{4}$

Resisting force $= \underbrace{\frac{\pi (D_o^2 - D_i^2)}{4}}_{\text{area}} \times \sigma_l$

$$\sigma_l = \frac{R \pi D^2}{\pi (D_o^2 - D_i^2)} = \frac{RD^2}{(D_o^2 - D_i^2)} = \frac{RD^2}{(D_o + D_i)(D_o - D_i)}$$

(longitudinal stress)

$$= \frac{RD^2}{(D_o + D_i) 2t}$$

$D_o + D_i \approx 2 D_{avg}$

$\approx 2 D_o$

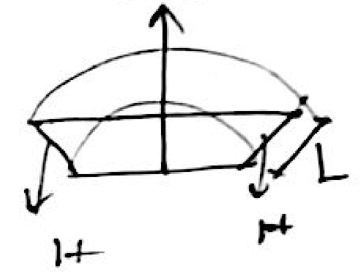
$$= \frac{RD^2}{4 D_o t}$$

$$= \frac{RD}{4t}$$

$\therefore \sigma_t \approx 2 \sigma_l$ [শুধুমাত্র cylindrical shale এর জন্য]

{approximately double $\rightarrow \boxed{\approx}$ }

Example – $\boxed{4\text{-}4}$



$$B.F = R.D.L = 50 \times 66 \times 6$$

$$2H = \text{Force in the hoop}$$

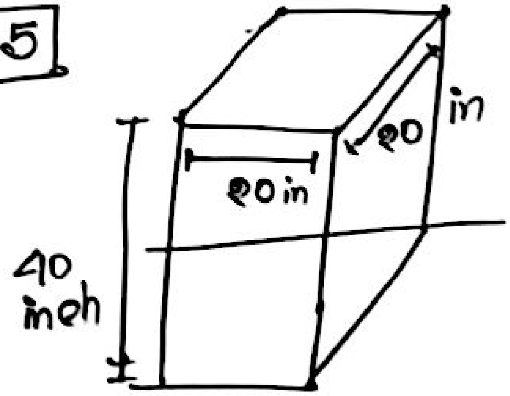
$$\therefore H = \frac{50 \times 66 \times 6}{2}$$

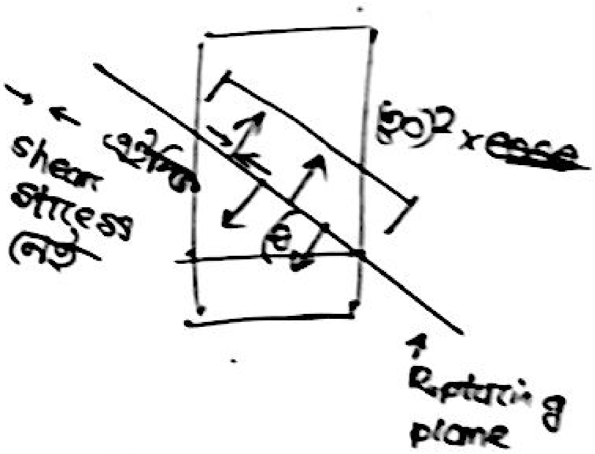
$$\therefore \sigma_{hoop} \times A_{hoop}$$

A_{hoop}: 0.7084 → 0.62 → ignore করে

$$\therefore \sigma = \frac{50 \times 66 \times 6}{2 \times 0.62} = 15970$$

$\boxed{4.5}$





$$B.F = R \times \text{Rupturing plane}$$

$$\therefore B.F = 210 \times \frac{20 \times 20}{\cos 45^\circ} \qquad A = \frac{20 \times 20}{\cos\theta}$$

$$= 10 \times \sigma_{bolt} \times \text{Area}$$

$$= 10 \times \sigma_{bolt} \times 1.27$$

$$\therefore \sigma_{bolt} = \frac{210 \times 20 \times 20}{0.707 \times 1.27 \times 10} = 9354$$

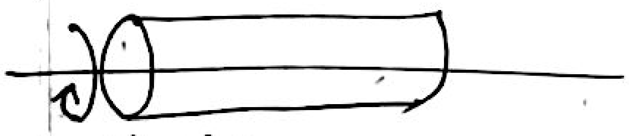
∴ $\frac{৬৫০০০}{৯৩৫৮}$ = F.S = ৭

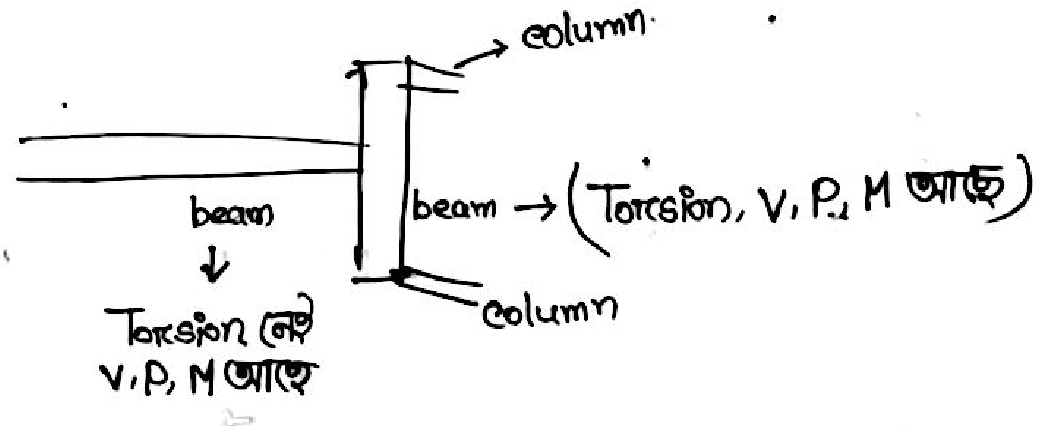
Shearing stress কাজ করবে না বলছি

Torsion

(axis এর সাপেক্ষে ঘূর্ণন অর্থাৎ শুধু ঘুরাবে, বাঁকাবে না) M_{xx}

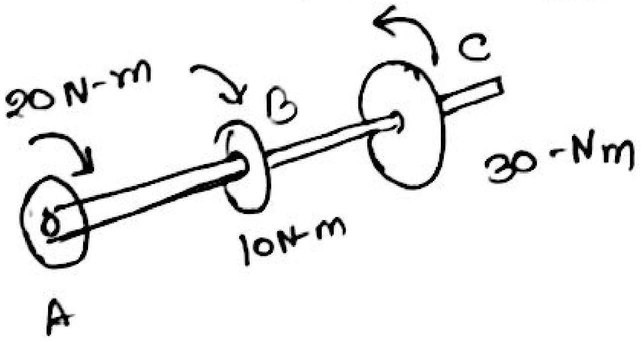
M_{zz}, M_{yy} → Bending Moment (cross section কে bend করার Try করে)



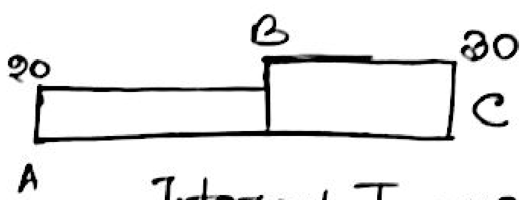


$\boxed{\text{Ex-6.1}}$

τ. Tork input = Torque output



Torque Diagram



Internal Torque

Basic assumption for circular member:

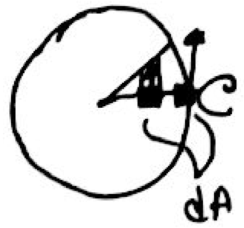
→ a plane section should remain plane even after the application of torque (For circular member)

Shearing deformation surface এর উপর সবচেয়ে বেশি axis বা centre line এর deformation zero.

→ stress γ central axis থেকে linearly vary করবে।

→ elastic material এর জন্য Hook's law apply হবে।

varies proportionally ~~from~~ the



$\frac{\tau_{max}}{c} \cdot \rho$ = ~~at~~ shearing stress এর variation

ρ = any distance

$$\int_A \underbrace{\underbrace{\underbrace{\frac{\rho}{c}\tau_{max}}_{\text{stress shearing}} \underbrace{dA}_{\text{area}}}_{\text{force}} \underbrace{\rho}_{\text{arm}}}_{\text{torque}} = T$$

c = centre line থেকে radius সবচেয়ে বেশি যেখানে

$$\frac{\tau_{max}}{c} \int_A \rho^2 dA = T$$

$\cancel{\rho^2 dA =}$

$$\boxed{I_p = \frac{\pi c^4}{2} = \frac{\pi d^4}{32}}$$

$$\boxed{\tau_{max} = \frac{Tc}{I_p}}$$

$\int x^2 dA = I$

$\int y^2 dA = I$

$\int \rho^2 dA = I_p = I_J$

= polar moment of inertia

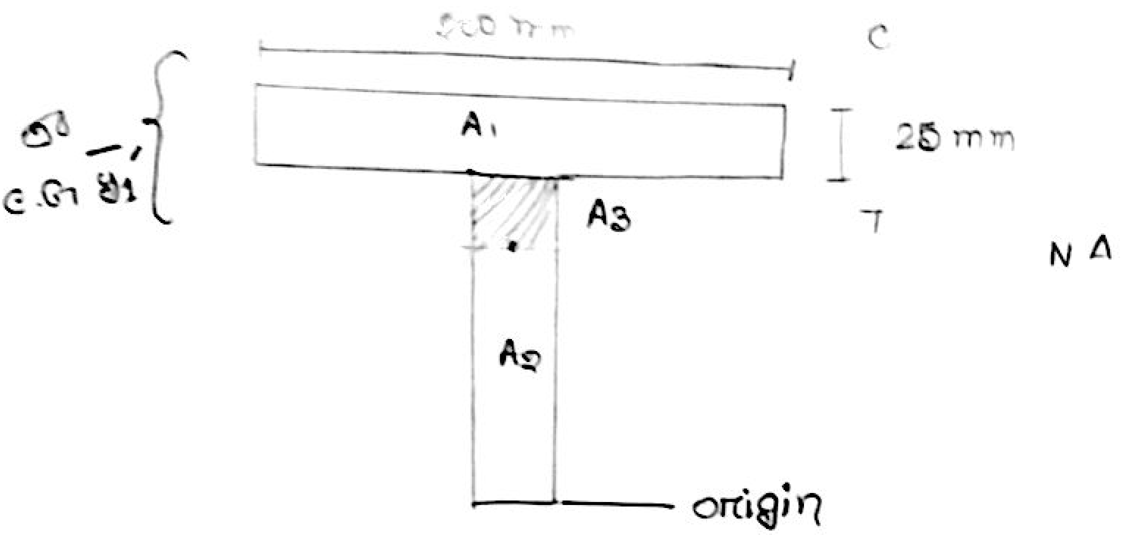
$= I_y + I_z$

$$I_p = \int_A \rho^2 dA$$

$$= \int_0^c 2\pi \rho^3 d\rho$$

$$= 2\pi \left[\frac{\rho^4}{4}\right]_0^c$$

$$= \frac{\pi c^4}{2}$$



$$A_2 = A_1 = 200 \times 25 \ mm^2$$

$$y_1 = 12.5 + 200 = 212.5 \ mm$$

$$y_2 = 100 \ mm$$

$$\bar{y} = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2}{A_1 + A_2} = \frac{\{(200 \times 25) \times 212.5\} + \{(200 \times 25) \times 100\}}{2 \ (200 \times 25)}$$

$$= 156.25 \ mm$$

$$A_3 = 25 \times (200 - 156.25) = 1093.75 \ mm^2$$

$$C_{(p)} = \sigma_{yp} \times (A_3 + A_1) = 6093.75 \ \sigma_{yp}$$

$$T_{(p)(load)} = \sigma_{yp} \times (A_2 - A_3) = 3906.25 \ \sigma_{yp}$$

$$\bar{y}_1' = \frac{A_1 \times (43.75 + 12.5) + (A_3 \times 21.875)}{A_1 + A_3}$$

$$= 50$$

$-\quad +$

$-$

$$M_{ult} = C \times \bar{y}_1' + T \times \left(\frac{y}{2}\right)$$

$$= 304687.5\,\sigma_{yp} + 305175.78\,\sigma_{yp}$$

$$= 609863.28\,\sigma_{yp}$$

$$M_{yp} = \frac{\sigma_{yp} I}{y} \qquad y = 156.25$$

$$I = \frac{200 \times (25)^3}{12} + A_1 \times (\bar{y}_1')^2 + \frac{25 \times (43.75)^3}{12}$$

$$+ A_3 \times \left(\frac{43.75}{2}\right)^2 + \frac{25 \times (156.25)^3}{12} + (A_2 - A_3) \times (78.125)^2$$

$$= 260416.67 + 1.25 \times 10^7 + 174458.822 +$$

$$523376.465 + 7947285.97 + 23841857.91$$

$$= 12760416.67 + 8645121.257 + 23841857.91$$

$$= 45247395.84$$

$$M_{yp} = 289583.333\,\sigma_{yp}$$

$$S.F = \frac{M_{ult}}{M_{yp}} = \frac{609863.28\,\sigma_{yp}}{289583.333\,\sigma_{yp}} = \boxed{2.1}$$

Mult = N.A এর সাপেক্ষে মোমেন্ট (Total Moment C+T দুটোর জন্যই)

Myp = (σ_{yp} এটা Tension এর জন্য হবার কথা)

L-1

Solid Mechanics

Torsion

Circular Tube

(for thin tube)

$I_p \approx 2\pi R_{av}^3 t$ $\quad$ I_p = Polar Moment of inertia

$R_{av} = \frac{b+c}{2}$

Ductile – verticle plane এ fail (nearly vertical < 10°)

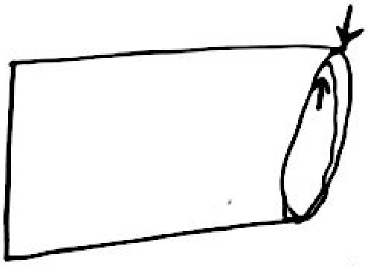
Brittle — inclined plane " " (45° angle এ)

Ex - 6.2

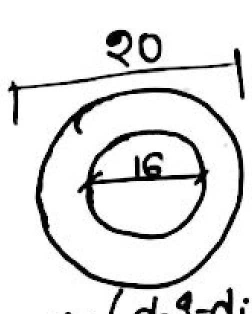
$\tau_{max} = \frac{Tc}{I_p}$

এইদুই side এ stress হবে

6.3



c = outside radius



$\tau_{max} = \frac{Tc}{I_p}$

$\tau_{min} = \frac{T\rho}{I_p}$

$I_p = \frac{\pi (d_o^4 - d_i^4)}{32}$

$= \frac{\pi (20^4 - 16^4)}{32}$

* hollow shaft is more efficient than solid shaft.

* Shaft tubular হলে

6.6 Design of shaft :

$$\tau_{max} = \frac{Tc}{I_p}$$

$$\frac{I_p}{c} = \frac{T}{\tau_{max}} \qquad I_p = \frac{\pi d^4}{32}$$

$$\tau_{max} = \frac{\pi d^3}{16}$$

$$\boxed{d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi} \cdot \frac{T}{\tau_{max}}}}$$

$$\boxed{\frac{J}{c} = \frac{T}{\tau_{max}}}$$

$$\boxed{\begin{array}{l} 1\,hp = 746\,W = 746\ N\text{-}m \\ 1\,hp = 550\,ft\text{-}lb = 75\,kg\text{-}m \end{array}}$$

$$T = \frac{119 \times hp}{f}\ [N\text{-}m]$$

~~hp = 7~~

$$T = \frac{159 \times kW}{f}\ [N\text{-}m]$$

* $hp \times 745.7 = 2\pi f T$ [N-m/s]

Distance = $2\pi r$

$$P = 2\pi f \cdot T$$
$$P = 2\pi \frac{N}{60} T$$

Power = P
N = revolution per min
f = freq. (Hz)

$$T = \frac{63000 \times hp}{N} \quad [\text{in-lb}]$$
$$T = \frac{71600 \times hp}{N} \quad [\text{kg-cm}]$$

$\boxed{4.4}$ $T = \dfrac{119 \times hp}{f} = \dfrac{119 \times 10}{30} = 39.7 \text{ Nm}$

$$\frac{J(J_p)}{c} = \frac{T}{\tau_{max}} = \frac{39.7 \times 10^3}{55} = 722 \text{ mm}^3$$

$$\frac{J}{c} = \frac{\pi c^3}{2} \text{ or } c^3 = \frac{2}{\pi}\frac{J}{c} = \frac{2 \times 722}{\pi} = 460 \text{ mm}^3$$

$c = 7.72$ mm or, $d = 2c = 15.4$ mm

16 mm shaft would be preferable.

or, $d = \sqrt[3]{\dfrac{16}{\pi}\dfrac{T}{\tau_{max}}}$ এটা দিয়েও বের করা যাবে।

$\boxed{4.5}$

$$T_1 = \frac{hp \times 63{,}000}{N_1} = \frac{200 \times 63{,}000}{20} = 630{,}000 \text{ in-lb}$$

* যেটা বেশি জোরে ঘুরে, Torque কম
" আস্তে " " " বেশি

$$T_2 = 630 \text{ in-lb}$$

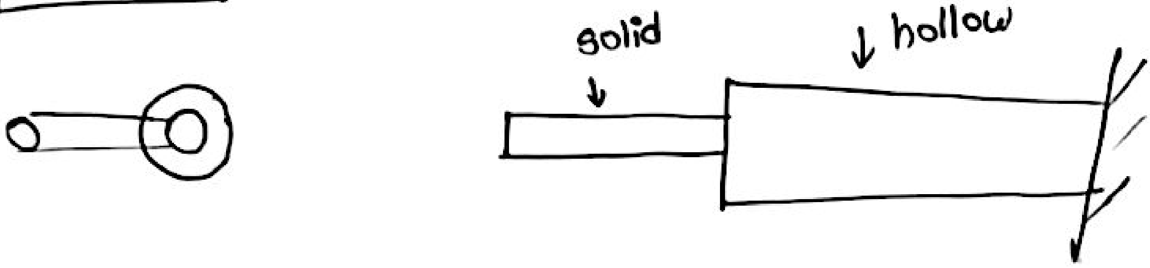
$$\frac{J_1}{c} = \frac{T_1}{\tau_{max}} = \frac{630{,}000}{10{,}000} = 63 \text{ in}^3$$

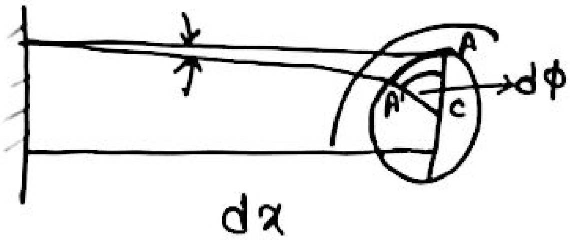
$$\frac{J_1}{c} = \frac{\pi d_1^3}{16} \quad \text{or} \quad d_1^3 = \frac{16}{\pi}(63) = 321 \text{ in}^3$$

$d_1 = 6.85$ in $\quad d_2 = 0.685$ in

* যে shaft যত জোরে ঘুরবে তার Dia তত চিকন লাগে।

$\boxed{\text{Ex-4.7}}$





$$AA' = \gamma\, dx = c\, d\phi$$

$$AA' = c \cdot d\phi \qquad \tan\theta \approx \theta \text{ (সেই হিসেবে)}$$

$$\frac{d\phi}{dx} = \frac{\gamma}{c} = \frac{T}{G}$$

For hook's Law, $\gamma = \dfrac{\tau}{G} = \dfrac{Tc}{JG}$

Support এর respect এ last part বৃত্তাকারে ঘুরবে

$$\phi = \int d\phi = \int \frac{T}{JG} \cdot dx$$

$\boxed{\phi \text{ এর unit radian}}$

$$= \frac{T}{JG} [x]_0^L$$

$$= \frac{TL}{JG}$$

$$\boxed{\Delta = \frac{PL}{AE}}$$

এর মত

constant থাকতে হবে, না থাকলে যে পর্যন্ত constant সেই part এ ভাগ করে নিতে হবে।

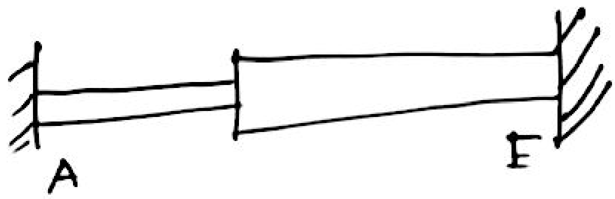
$$\phi = 0 + \frac{150\times10^3\times200}{38.3\times10^3\times80\times10^3} + \frac{150\times10^3\times300}{575\times10^3\times80\times10^3}$$

$$+ \frac{1150\times10^3\times500}{575\times10^3\times80\times10^3}$$

$$= 23.3\times10^{-3} \text{ rad}$$

$\boxed{\text{unit} = \text{radian}}$

$\boxed{*4.9}$



Statically indeterminate

A এর respect এ E এর ঘূর্ণন = 0

L-২

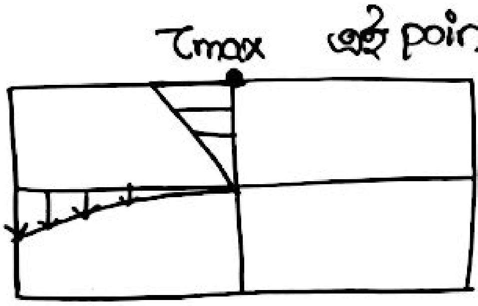
$\boxed{4\cdot ৩}$

$\boxed{4\text{-}১২}$

Torsion of solid non-circular section:

Rectangular beam এর ক্ষেত্রে Torsion হলে, surface change হয়ে যায়, ফলে plane section আর plane থাকেনা।

* যে point যত দূরে তার stress তত বেশি।
* কোন free surface এ কখনই shearing stress হতে পারেনা।



এই point এ max shear stress হবে। short distance এর mid point এ

cross section

$$\tau_{max} = \frac{T}{\alpha b t^2}$$

$$\phi = \frac{TL}{\beta b t^3 G}$$

$$k_t = \frac{T}{\phi} = \beta b t^3 \frac{G}{L}$$

$$\tau_{max} = \frac{Tc}{J} = \frac{Tc}{\frac{\pi c^4}{2}} = \frac{T}{\frac{\pi}{2} c^3} = \frac{T}{\frac{\pi}{2} c \cdot c^2} \quad \text{(circular)}$$

$$= \frac{T}{\alpha\, b \cdot c^2} \quad \text{(rectangular)}$$

→ α ও β এর মান b ও t এর ratio এর উপর depend করে

→ 0·33 The max value of α, β.

normally $b/t = 2 \rightarrow 3$ এর মধ্যে থাকে

$b/t = 1$ এর জন্য,

$\alpha = \cancel{0.208}\ 0.21$

$\beta = \cancel{0.141}\ 0.14$

$\alpha = 0.25$

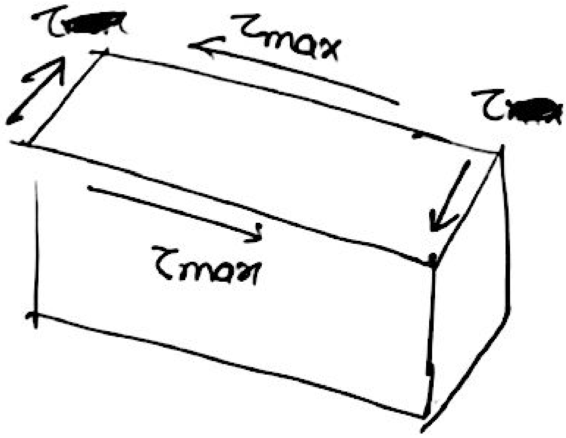
$\beta = 0.25$

$b/t > 6$ হলে

$\alpha = 0.33$

$\beta = 0.33$

- Membrane analogy for non-circular section:
  (elastic torsion এর জন্য)



$\boxed{4\text{-}15}$ $J_{eqv} = \beta b t^3$

Torsion of thin-walled Tubular Membrane:

$dT = q \, ds \, \rho$ $\boxed{\frac{1}{2} \cdot ds \cdot \rho}$

$= q \cdot$ double the area of triangle — Area of Δ.

$\int dT = q \oint ds \, \rho$

over the perimeter

$T = q \cdot 2A$ $A =$ area

$q = \frac{T}{2A}$

q সবজায়গায় equal

L-3

$$T = \oint r q \, ds$$

$$T = q \oint r \, ds$$

$$T = 2Aq \quad \text{or} \quad q = \frac{T}{2A}$$

$$\boxed{\tau = \frac{q}{t}}$$

U_{shear} = Strain energy

$$U_{shear} = \int_{vol} (\tau^2/2G)\, dV$$

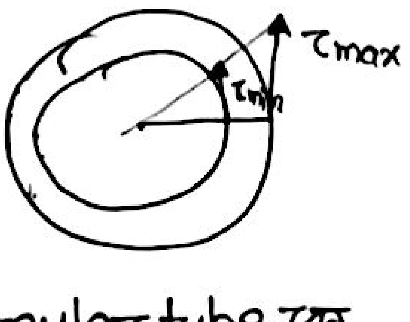
$dv = 1$

$$U_{sh} = \frac{T^2}{8A^2G} \oint \frac{ds}{t}$$

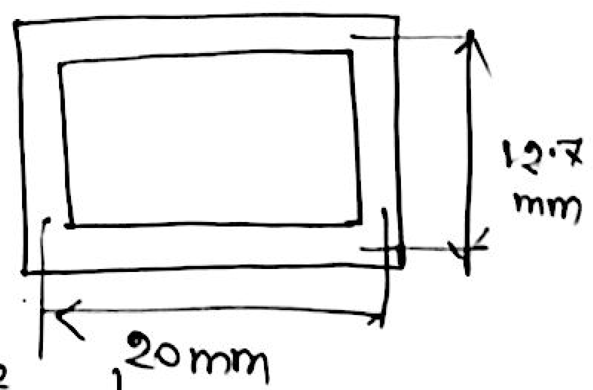
$$\theta = \frac{d\phi}{dx} = \frac{T}{4A^2G} \oint \frac{ds}{t}$$

$$\boxed{k_t = \frac{T}{\phi} = \frac{4A^2}{\oint ds/t} \frac{G}{L}}$$

$\boxed{4\text{-}16}$



4-

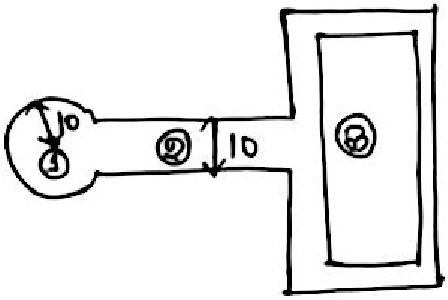


যদি circular tube কে rectangular দিয়ে replace (Torque same হবে) করতে চাই, যার Dimension 20mm. তার অন্য Dimension কত হবে? 12.7mm.

Area of circle
$= \pi \times 9^2 = 81\pi$

$\therefore \frac{81\pi}{20} = 12.7$ mm

4-17



Torque দিলে সবাই rotate করবে। কিন্তু Torque rotation এর ভাগ হবে তাদের stiffness অনুযায়ী। যার stiffness যত বেশি সে তত বেশি share পাবে।

$$\text{Stiffness, } k = \frac{T}{\phi} = \frac{GJ}{L}$$

$$\phi = \frac{TL}{GJ}$$

$$\frac{ds}{t} = \frac{\text{perimeter}}{\text{thickness}}$$

$$(k_t)_1 = J\frac{G}{L} = 1.57 \times 10^4 \frac{G}{L}$$

$$(k_t)_2 = \beta b t^3 \frac{G}{L} = 0.789 \times 10^4 \frac{G}{L}$$

$$(k_t)_3 = \frac{4A^2}{\oint ds/t} \frac{G}{L} = 6.98 \times 10^4 \frac{G}{L}$$

∴ Stiffness অনুযায়ী Torque ভাগ হবে।

$$\frac{k_1}{k_1+k_2+k_3} \cdot T \qquad T = 224 \times 10^3$$

$$\frac{k_2}{\Sigma k} \cdot T \qquad \tau_1\, max = \frac{Tc}{J}$$

$$\frac{k_3}{\Sigma k} \cdot T \qquad \tau_2\, max =$$

$$\tau_3\, max =$$

$$\tau = \frac{q}{t}$$

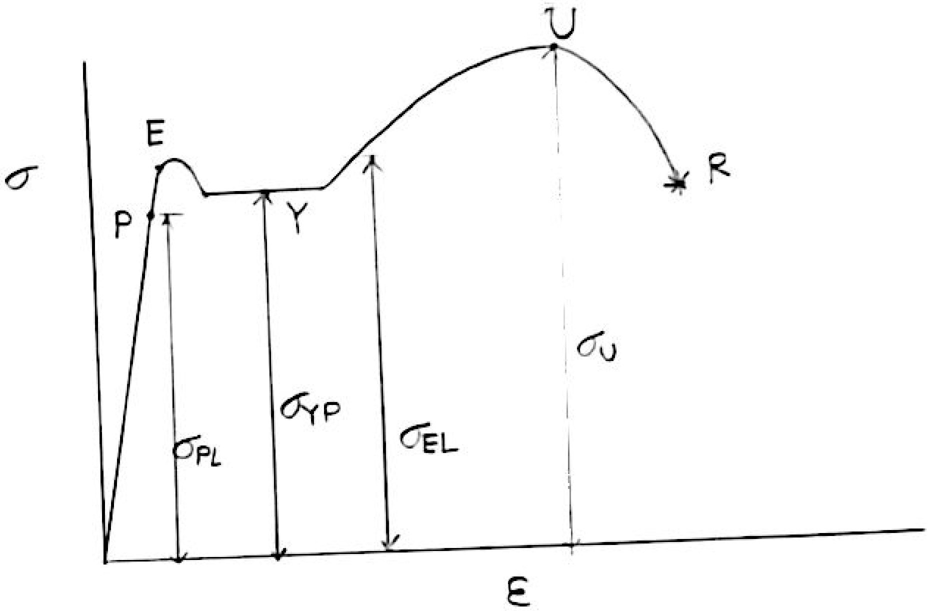
তাই যেখানে 3" সেখানে stress max হবে। অর্থাৎ যেখানে t কম সেখানে stress max.

Ex-3.3

B point এর deflection কত?

Ex-3.5

Temperature এর কারণে যে expansion হয়, তার সূত্র দিয়ে math. করতে হবে।



U
E
R
P
Y
σ
σ_U
σ_{YP}
σ_{EL}
σ_{PL}
ε