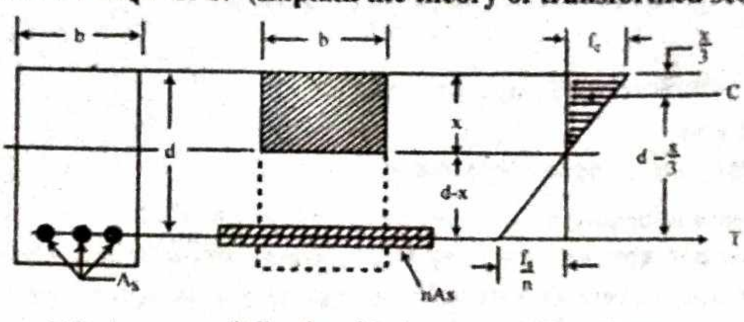
অধ্যায়-৩

বিমের রূপান্তরিত সেকশন-এর ধারণা
(Concept of Transformed Section of Beam)

৩.১ রূপান্তরিত সেকশন (Transformed section) ঃ

রূপান্তরিত সেকশন আরসিসি বিমের একটি কাল্পনিক সেকশন। বিমের যে কাল্পনিক সেকশনে টেনশন জোনে স্টিলের পরিবর্তে n গুণ ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট কংক্রিট কল্পনা করা হয়, তাকে রূপান্তরিত সেকশন (Transformed section) বলে। টান এলাকায় ব্যবহৃত এই কাল্পনিক কংক্রিট, টান পীড়ন বহন করে বলে ধারণা করা হয় এবং এর স্থিতিস্থাপক গুণাংকের (Modulus of Elasticity) মান চাপ পীড়ন বহনকারী কংক্রিটের স্থিতিস্থাপক গুণাংকের সমান। আরসিসি বিমে এরূপ সেকশন কল্পনা করলে এটা সমসত্ব বিমে (Homogeneous beam) রূপান্তরিত হয়। সমসত্ব বিমের ডিজাইন পদ্ধতি অনুযায়ী রূপান্তরিত সেকশনের বিভিন্ন মান নির্ণয় করা হয়।

৩.২ চিত্রসহ রূপান্তরিত সেকশন তত্ত্বের ব্যাখ্যা (Explain the theory of transformed section with sketches) ঃ



চিত্র ঃ ৩.১ ট্রান্সফর্মড সেকশন

চিত্রানুযায়ী দেখা যায় যে, নিরপেক্ষ অক্ষ থেকে সমদূরত্বে অবস্থিত কংক্রিট এবং স্টিল উভয়ের বিকৃতির (Deformation) মান সমান। যদিও কংক্রিটের চেয়ে স্টিল n গুণ বেশি শক্তিশালী। অতএব, নিরপেক্ষ অক্ষ থেকে নির্দিষ্ট দূরত্বে কংক্রিটের মধ্যে কোনো সুনির্দিষ্ট মাত্রায় বিকৃতি ঘটাতে যে পরিমাণ পীড়নের সৃষ্টি হবে, ঐ একই দূরত্বে অবস্থিত স্টিলের মধ্যে ঐ পরিমাণ বিকৃতি ঘটাতে কংক্রিট অপেক্ষা n গুণ বেশি পীড়নের দরকার হবে। এ তত্ত্বের উপর ভিত্তি করেই রূপান্তরিত সেকশন (Transformed section) এর মতবাদ ব্যাখ্যা করা হয়েছে।

৩.৩ রূপান্তরিত সেকশন পদ্ধতিতে বিমের নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থানের সূত্র নির্ণয় এবং বিম তদন্ত (The derivation of the equation for investigating the stresses developed in concrete and steel by transformed section method) ঃ

চিত্র ঃ ৩.১-এ একটি আয়তাকার আরসিসি বিমের প্রকৃত প্রস্থচ্ছেদ, রূপান্তরিত প্রস্থচ্ছেদ এবং রূপান্তরিত প্রস্থচ্ছেদের পীড়ন চিত্র দেখানো হয়েছে। চিত্রানুযায়ী,

b = বিমের প্রস্থচ্ছেদ, সেমি
d = বিমের কার্যকরী গভীরতা, সেমি
A_s = টান রডের প্রস্থচ্ছেদীয় ক্ষেত্রফল, বর্গ সেমি
n = মডুলার রেশিও
nA_s = স্টিলের ক্ষেত্রফলে n গুণ সমান কংক্রিটের কল্পিত ক্ষেত্রফল
x = kd = আয়তাকার বিমের উপরিপৃষ্ঠতল হতে নিরপেক্ষ তল পর্যন্ত দূরত্ব, সেমি
d – x = নিরপেক্ষ অক্ষ থেকে টান রডের পরিবর্তে কল্পিত প্রসারণ কংক্রিটের কেন্দ্ররেখা পর্যন্ত দূরত্ব, সেমি।

আমরা জানি, কোনো ক্ষেত্রফলকে এর ভরকেন্দ্র থেকে প্রদত্ত কোনো অক্ষ পর্যন্ত দূরত্ব দ্বারা গুণ করলে উক্ত ক্ষেত্রফলের স্থিতিক মোমেন্ট (Static moment) পাওয়া যায়। অর্থাৎ,

স্ট্যাটিক্যাল মোমেন্ট = ক্ষেত্রফল × (অক্ষ থেকে ভরকেন্দ্র পর্যন্ত) দূরত্ব

নিরপেক্ষ অক্ষ থেকে বিমের চাপ এলাকার ক্ষেত্রফল = bx এবং ভরকেন্দ্রের দূরত্ব = $\frac{x}{2}$ হলে নিরপেক্ষ অক্ষের সাপেক্ষে চাপ এলাকার স্ট্যাটিক্যাল মোমেন্ট

$= bx \cdot \frac{x}{2} = \frac{bx^2}{2}$ .... (i)

Scanned with AnyScanner

আবার, নিরপেক্ষ অক্ষের সাপেক্ষে টান এলাকার স্ট্যাটিক্যাল মোমেন্ট

$= nA_s(d-x)$ .... (ii)

ভারসাম্যের জন্য চাপ এলাকার স্ট্যাটিক্যাল মোমেন্ট এবং টান এলাকার স্টাটিক্যাল মোমেন্ট পরস্পর সমান বলে,

$\frac{bx^2}{2} = nA_s(d-x)$ .... (iii)

উপরোক্ত সমীকরণ হতে b, d, A_s এবং n এর মান জানা থাকলে নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান, x নির্ণয় করা যায়। তবে ল যে, এ দূরত্ব, x পীড়ন বা বেন্ডিং মোমেন্টের উপর নির্ভরশীল নয়।

চাপজনিত কারণে সৃষ্ট প্রতিরোধী মোমেন্ট, $M_c = C \times \left(d - \frac{x}{3}\right) = \frac{1}{2} f_c bx \left(d - \frac{x}{3}\right)$

এখানে, $\frac{x}{3}$ = চাপ এলাকার লব্ধি বলে, C এর দূরত্ব (উপরের ফাইবার হতে)

এবং $d - \frac{x}{3}$ = লিভার আর্ম

আবার টানজনিত কারণে সৃষ্ট প্রতিরোধী মোমেন্ট, $M_T = T\left(d - \frac{x}{3}\right) = A_s f_s \left(d - \frac{x}{3}\right)$

সাম্যাবস্থার জন্য,

বেন্ডিং মোমেন্ট (M) = রেজিস্টিং মোমেন্ট ($M_R = M_c = M_T$)

অর্থাৎ, $M = M_c$ বা, $M = M_T$ . . . . (iv)

উপরোক্ত সমীকরণ হতে f_c এবং f_s এর মান নির্ণয় করা যায়।

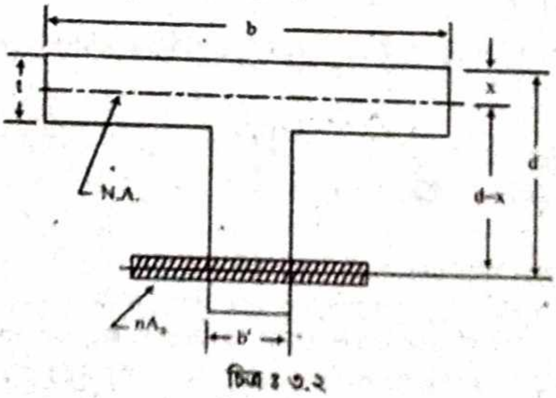
বিম তদন্ত (Investigation of beams) :

সাধারণত প্রকৌশলীদের কাজ হলো কাঠামোর বিভিন্ন অংশের ডিজাইন করা অর্থাৎ আকার-আকৃতি নির্ধারণ করা। অপরদি লোড প্রয়োগের ফলে নির্দিষ্ট আকারের বিমে কী পরিমাণ পীড়নের উদ্ভব হচ্ছে তা নির্ণয় করা। সুতরাং, চাপ ও টান পীড়ন নিরূপ ক্ষেত্রে রূপান্তরিত সেকশনের ব্যবহার খুবই ফলপ্রসূ। এ প্রক্রিয়ায় সাধারণত বিমে লোড প্রয়োগের ফলে সৃষ্ট বেন্ডিং মোমে ভিত্তিতে এতে উদ্ভূত চাপ ও টান পীড়ন নিরূপণ করা হয় এবং অনুমোদনযোগ্য পীড়নের সাথে তুলনাপূর্বক বিমের নিরীক্ষা করা হ এ ধরনের সমস্যাকে বিম তদন্ত বলা হয়, যা রূপান্তরিত সেকশনের মাধ্যমে করা যায়।

রূপান্তরিত সেকশন পদ্ধতিতে টী-বিমের নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান নির্ণয় (Determination of the position of N.A. of a beam by the method of a transformed section) :

টী-বিমের নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান– (ক) ফ্লেঞ্জের অভ্যন্তরে, (খ) ফ্লেঞ্জের নিম্নতল বরাবর এবং (গ) ওয়েবের অভ্যন্তরে হ পারে। নিম্নে বিভিন্ন অবস্থানে নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান নিরূপণ পদ্ধতি বর্ণনা করা হলো–

(ক) ফ্লেঞ্জের অভ্যন্তরে নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান নির্ণয় পদ্ধতি :



চিত্র : ৩.২

মনে করি,

b = ফ্লেঞ্জের প্রস্থ, সেমি

kd = x = নিরপেক্ষ অক্ষ থেকে ফ্লেঞ্জের উপরি প্রান্ত পর্যন্ত উচ্চতা, সেমি

A_s = প্রধান রিইনফোর্সমেন্টের ক্ষেত্রফল, বর্গ সেমি

d = কার্যকরী গভীরতা, সেমি

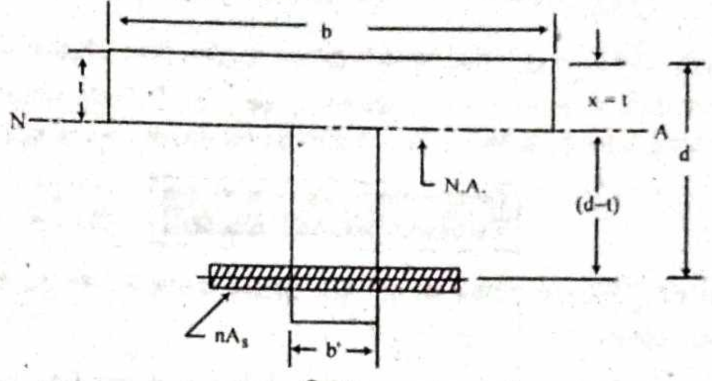
n = মডুলার রেশিও

. বিম প্রস্থচ্ছেদ সাম্যাবস্থা বিবেচনা করলে, নিরপেক্ষ অক্ষের উপরের কংক্রিটের ক্ষেত্রফলের মোমেন্ট = নিরপেক্ষ অক্ষের নিচে রিইনফোর্সমেন্টের রূপান্তরিত ক্ষেত্রফলের মোমেন্ট।

অর্থাৎ, $b.x.\frac{x}{2} = n\,A_s(d-x)$

বা, $\frac{bx^2}{2} = nA_s(d-x)$ ....৩.৩ (i)

(খ) ফ্লেঞ্জের তলদেশ বরাবর নিরপেক্ষ অবস্থান নিরূপণ :



চিত্র : ৩.৩

এখানে, b = ফ্লেঞ্জের প্রস্থ, সেমি

t = স্ল্যাবের পুরুত্ব, সেমি

kd = x = t = নিরপেক্ষ অক্ষ থেকে ফ্লেঞ্জের উপরিপ্রান্ত পর্যন্ত দূরত্ব

A_s = প্রধান রিইনফোর্সমেন্টের ক্ষেত্রফল

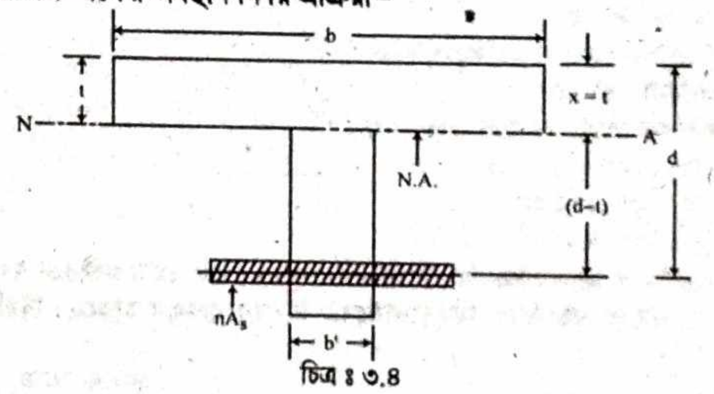
n = মডুলার রেশিও

এই প্রক্রিয়ায় নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান নির্ণয় ফ্লেঞ্জের অভ্যন্তরে নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান প্রক্রিয়ার অনুরূপ।

সুতরাং নিরপেক্ষ অবস্থান, $b \times t \times \frac{t}{2} = n\,A_s(d-t)$

বা, $\frac{bt^2}{2} = nA_s(d-t)$ .... ৩.৩ (ii)

(গ) ওয়েবের অভ্যন্তরে নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান নির্ণয় প্রক্রিয়া–



চিত্র : ৩.৪

মনে করি,

b = ফ্লেঞ্জের প্রস্থ, সেমি

kd = x = নিরপেক্ষ অক্ষ হতে ফ্লেঞ্জের উপরিপ্রান্ত পর্যন্ত উচ্চতা

t = ফ্লেঞ্জের গভীরতা, সেমি

A_s = প্রধান রিইনফোর্সমেন্টের ক্ষেত্রফল, বর্গ সেমি

n = মডুলার রেশিও

d = বিমের কার্যকরী গভীরতা, সেমি

নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান, $b.\,t\left(x-\frac{t}{2}\right) + b'(x-t)\left(\frac{x-t}{2}\right) = nA_s(d-x)$

বা, $bt\left(x-\frac{t}{2}\right) + b'\frac{(x-t)^2}{2} = nA_s(d-x)$ ....৩.৩ (iii)

Scanned with AnyScanner

কিন্তু টি-বিমের নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান ফ্লেঞ্জের অভ্যন্তরে অথবা ফ্লেঞ্জের তলদেশে অথবা ওয়েবের অভ্যন্তরে কি না, এ সম্পর্কে সঠিক ধারণা নিরূপণের সহজ পদ্ধতি হলো ফ্লেঞ্জের তলদেশ বরাবর নিরপেক্ষ অক্ষ অতিক্রম করছে বিবেচনা করতে হবে। অর্থাৎ, কম্প্রেশন এরিয়ার মোমেন্ট, ($\frac{bt^2}{2}$) এবং টেনশন এরিয়ার ট্রান্সফর্মড ক্ষেত্রফলের মোমেন্ট, $nA_s(d-t)$ পৃথক পৃথকভাবে নির্ণয় করতে হবে।

১। যদি $b\times\frac{t^2}{2} > nA_s(d-t)$ হয়, তাহলে নিরপেক্ষ অক্ষ ফ্লেঞ্জের অভ্যন্তর দিয়ে অতিক্রম করবে।

২। যদি $b\times\frac{t^2}{2} < nA_s(d-t)$ হয়, তাহলে নিরপেক্ষ অক্ষ ওয়েবের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করবে।

৩। যদি $b\times\frac{t^2}{2} = nA_s(d-t)$ হয়, তাহলে নিরপেক্ষ অক্ষ ফ্লেঞ্জের তলদেশ দিয়ে অতিক্রম করবে।

৪। যদি নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান ফ্লেঞ্জের অভ্যন্তরে অর্থাৎ $t>x$ হয়, তবে টি-বিমটি আয়তাকার বিম হিসাবে এবং নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান ওয়েবের অভ্যন্তরে অর্থাৎ $x>t$ হলে টি-বিম হিসাবে ডিজাইন করতে হবে।

প্রয়োজনীয় সূত্রাবলি

(i) $\frac{bt^2}{2} > nA_s(d-t)$ হলে, নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান হবে ফ্লেঞ্জের অভ্যন্তরে এবং এর অবস্থান $\frac{bx^2}{2} = nA_s(d-x)$ এই সূত্রের সাহায্যে নির্ণয় করা হয়।

(ii) $\frac{bt^2}{2} = nA_s(d-t)$ হলে, নিরপেক্ষ অক্ষ ফ্লেঞ্জ ও ওয়েবের মিলিত তলে হবে এবং এর অবস্থান, $\frac{bt^2}{2} = nA_s(d-t)$ সূত্রের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়।

(iii) $\frac{bt^2}{2} < nA_s(d-t)$ হলে, নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান ফ্লেঞ্জের নিচে ওয়েব-এর অভ্যন্তরে হবে, এর অবস্থান,

$bt(x-t/_2) + b'(x-t)\left(\frac{x-t}{2}\right) = nA_s(d-x)$ এই সূত্রের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়।

(iv) চাপ পীড়ন, $f_c = \frac{2M}{bx(d-x/_3)}$

(v) টান পীড়ন, $f_s = \frac{M}{A_s(d-x/_3)}$

এখানে,
- b = ফ্লেঞ্জের প্রস্থ, cm
- t = ফ্লেঞ্জের পুরুত্ব, cm
- n = মডুলার রেশিও
- A_s = রিইনফোর্সমেন্টের ক্ষেত্রফল, cm²
- d = কার্যকরী গভীরতা
- x = নিরপেক্ষ তলের অবস্থান, cm
- M = বেন্ডিং মোমেন্ট, kg-cm
- f_c = চাপ পীড়ন, kg/cm²
- f_s = টান পীড়ন, kg/cm²

উদাহরণ-১ : একটি সাধারণভাবে স্থাপিত আয়তাকার বিমের প্রস্থ 25 সেমি, মোট গভীরতা 55 সেমি এবং কার্যকরী গভীরতা, সেমি। বিমটিতে ৬টি 20 মিমি ব্যাসের রড প্রধান রিইনফোর্সমেন্ট হিসাবে ব্যবহৃত হয়েছে। বিমটির নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান নির্ণয় কর। $n = 9$ [বোর্ড পরীক্ষা-২০০৬]

সমাধান : আমরা জানি,

চাপ এলাকার স্থিতিক মোমেন্ট এবং টান এলাকার স্থিতিক মোমেন্ট পরস্পর সমান। অর্থাৎ,

$$\frac{bx^2}{2} = nA_s(d-x)$$

$$\Rightarrow \frac{25x^2}{2} = 9\times 18.85\times(50-x)$$
$$\Rightarrow 12.5x^2 = 8482.5 - 169.65x$$
$$\Rightarrow x^2 + 13.57x = 678.6$$
$$\Rightarrow x^2 + 2\times 6.78\times x + 6.03^2 = 678.6 + 6.78^2$$
$$\Rightarrow (x+6.78)^2 = 724.64$$
$$\Rightarrow x = 20.14 \text{ cm } (\textbf{Ans.})$$

দেওয়া আছে,
$b = 25$ cm
$d = 55 - 5 = 50$ cm
$A_s = 6\times\frac{\pi}{4}\times(2)^2 = 18.85$ cm²
$n = 9$

Scanned with AnyScanner

উদাহরণ-২। একটি আয়তাকার বিমের প্রস্থ ও গভীরতা যথাক্রমে 30 সেমি ও 55 সেমি। এতে প্রধান রড হিসেবে 6টি 16 মিমি ব্যাসের রড রয়েছে। বিমের নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান নির্ণয় কর। n = 10। [বাকাশিবো-২০১৯(পরি)]

সমাধান:

দেওয়া আছে,
বিমের প্রস্থ, b = 30 cm
গভীরতা, d = 55 − 5 = 50 cm
$A_S = 6 \times \frac{\pi}{4}(1.6)^2$
$= 12.06\ cm^2$
n = 10

আমরা জানি
$$\frac{bx^2}{2} = n\,A_S\,(d - x)$$
$$\Rightarrow \frac{30 \times x^2}{2} = 10 \times 12.06 \times (50 - x)$$
$$\Rightarrow 15x^2 = 6030 - 120.6x$$
$$\Rightarrow x^2 + 8.04x = 402$$
$$\Rightarrow x = 16.43\ cm\ \text{(Ans.)}$$

উদাহরণ-৩। নিচের তথ্যাদির সাহায্যে আয়তাকার RCC বিমটির নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান নির্ণয় কর। [বাকাশিবো-২০১০, ১৯(পরি)]
তথ্যাদি : b = 25 সেমি, d = 40 সেমি, n = 10 এবং A_s = 4টি 16 মিমি ব্যাসের রড।

সমাধান:

দেওয়া আছে,
বিমের প্রস্থ, b = 25 cm
বিমের গভীরতা, d = 40 cm
স্টিলের ক্ষেত্রফল, $A_s = 4 \times \frac{\pi}{4} \times (1.6)^2 = 8.04\ cm^2$
n = 10

আমরা জানি, চাপ এলাকার স্থিতিক মোমেন্ট এবং টান এলাকার স্থিতিক মোমেন্ট পরস্পর সমান।

অর্থাৎ, $\frac{bx^2}{2} = n\,A_s(d - x)$
$$\Rightarrow \frac{25x^2}{2} = 10 \times 8.04 \times (40 - x)$$
$$\Rightarrow 12.5\,x^2 = 3216 - 80.4x$$
$$\Rightarrow x^2 = 257.28 - 6.432x$$
$$\Rightarrow x^2 + 6.432x = 257.28$$
$$\Rightarrow x^2 + 2 \times 3.216x + (3.216)^2 = 257.28 + (3.216)^2$$
$$\Rightarrow (x + 3.216)^2 = 267.62$$
$$\Rightarrow x + 3.216 = 16.359$$
$$\therefore x = 16.359 - 3.216$$
$$= 13.143cm\ \text{(Ans.)}$$

উদাহরণ-৪। একটি আয়তাকার বিমের প্রস্থ 25 সেমি এবং কার্যকরী গভীরতা 50 সেমি। এতে 5টি 22 মিমি ব্যাসের রড প্রধান বার হিসাবে ব্যবহৃত হয়েছে। যদি n = 9 এবং আরোপিত বেন্ডিং মোমেন্টের মান 907143 কেজি-সেমি হয়, তবে এর নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান নির্ণয় কর। [বাকাশিবো-২০০৯]

সমাধান:

দেওয়া আছে,
বিমের প্রস্থ, b = 25cm
বিমের কার্যকরী গভীরতা, d = 50 cm
স্টিলের ক্ষেত্রফল, $A_S = 5 \times \frac{\pi}{4} \times (2.2)^2 = 19cm^2$
n = 9

আমরা জানি, চাপ এলাকার স্থিতিক মোমেন্ট এবং টান এলাকার স্থিতিক মোমেন্ট পরস্পর সমান।

অর্থাৎ, $\frac{bx^2}{2} = n\,A_s\,(d - x)$

বা, $\frac{25x^2}{2} = 9 \times 19\,(50 - x)$

বা, $12.5x^2 = 8550 - 171x$

বা, $x^2 = 684 - 13.68x$

বা, $x^2 + 13.68x = 684$

বা, $x^2 + 2 \times 6.84x + 6.84^2 = 684 + 6.84^2$

বা, $(x + 6.84)^2 = 684 + 46.78$

বা, $x + 6.84 = 730.78$

বা, $x + 6.84 = 27.03$

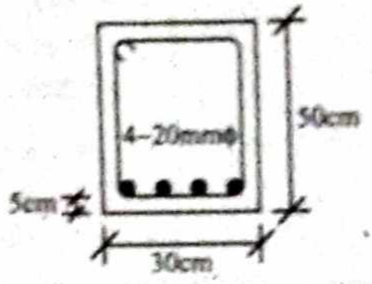
বা, $x = 27.03 - 6.84 = 20.19$ cm

$\therefore x = 20.19$ cm. **(Ans.)**

Scanned with AnyScanner

উদাহরণ-৫। একটি RCC বিমের চওড়া 30cm, এটির মোট গভীরতা 50cm। 4–20 mmϕ রড তলদেশ হতে 5cm উপরে বসানো আছে, যদি মডুলার অনুপাত 18 হয় তবে নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান বের কর। [বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা : ৮৮-৮

সমাধান



ধরি,

$b = 30$ cm

$d = 50 - 5 = 45$cm

$n = 18$

$A_s = 4 \times \frac{\pi \times 20^2}{4}$

$= 1256.63\text{mm}^2$

$= 12.566\text{cm}^2$

আমরা জানি,

$$\frac{bx^2}{2} = n A_s (d - x)$$

$$\Rightarrow \frac{30 \times x^2}{2} = 18 \times 12.566 \times (45 - x)$$

$$\Rightarrow 15x^2 = 226.18 (45 - x)$$

$$\Rightarrow 15x^2 + 226.18x - 10178.46 = 0$$

সমাধান করে পাই,

$$x = 19.58\text{cm (Ans.)}$$

উদাহরণ-৬। একটি সাধারণভাবে স্থাপিত টী-বিমের স্প্যান 6 মিটার। ফ্লেঞ্জের প্রস্থ 150 সেমি, ফ্লেঞ্জের পুরুত্ব 15 সেমি এবং ওয়েবের প্রস্থ 25 সেমি। যদি বিমটিতে প্রধান রিইনফোর্সমেন্ট হিসাবে 4-25 মিমি ব্যাসের রড এক সারিতে স্থাপিত এবং বিমের কার্যকরী গভীরতা 50 সেমি হয়, তবে বিম প্রস্থচ্ছেদের নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান নির্ণয় কর। n = 10.

সমাধান

দেয়া আছে,

$b = 150$cm

$b' = 25$cm

$t = 15$cm

$L = 6$m

$d = 50$cm

$n = 10$

$A_s = 4 \times \frac{\pi}{4} \times (2.5)^2 = 19.63\text{cm}^2$

এক্ষেত্রে, $b \times \frac{t^2}{2} = 150 \times \frac{(15)^2}{2} = 16875\text{cm}^3$

এবং $nA_s (d - t) = 10 \times 19.63 \times (50 - 15) = 6870.5\text{cm}^3$

সুতরাং, $b \times \frac{t^2}{2} > nA_s (d - t)$। অতএব নিরপেক্ষ অক্ষ ফ্লেঞ্জের অভ্যন্তরে অবস্থিত। ধরি, $kd = x$

অতএব, আয়তাকৃতি সেকশনের সূত্রানুসারে,

বা, $\frac{bx^2}{2} = nA_s (d - x)$

বা, $\frac{150x^2}{2} = 10 \times 19.63 (50 - x)$

বা, $75x^2 = 9815 - 196.3x$

বা, $x^2 = 130.86 - 2.62x$

বা, $x^2 + 2.62x - 130.86 = 0$

বা, $x^2 + 2 \times 1.31x + 1.31^2 = 130.86 + 1.31^2$

বা, $(x + 1.31)^2 = 132.58$

বা, $x + 1.31 = 11.51$

$\therefore x = 11.51 - 1.31 = 10.20\text{cm}$ **(Ans.)**

Scanned with AnyScanner

উদাহরণ-৭। সাধারণভাবে স্থাপিত একটি টী-বিমের স্প্যান 7 মিটার। টী-বিমের ফ্লেঞ্জের গভীরতা 10 সেমি এবং প্রস্থ 160 সেমি। এতে 6টি 22 মিমি ব্যাসের রড প্রধান রিইনফোর্সমেন্ট হিসাবে ব্যবহার করা হয়েছে। যদি বিমের কার্যকরী গভীরতা 50 সেমি এবং ওয়েবের প্রস্থ 25 সেমি হয়, তবে বিমের নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান নির্ণয় কর। n = 10.

সমাধান :

দেয়া আছে,
$b = 160cm$
$b' = 25cm$
$t = 10cm$
$d = 50cm$
$L = 7m$
$n = 10$
$A_s = 6 \times \frac{\pi}{4} \times (2.2)^2 = 22.80\ cm^2$

এক্ষেত্রে,
$b \times \frac{t^2}{2} = 160 \times \frac{(10)^2}{2} = 8000cm^2$
এবং $nA_s(d - t) = 10 \times 22.80\ (50 - 10)$
$= 9120\ cm^2$

সুতরাং, $b \times \frac{t^2}{2} < nA_s(d - t)$

অতএব, নিরপেক্ষ অক্ষ বিমের ওয়েবের অভ্যন্তরে অবস্থিত।

সমীকরণ ৩.৩ (iii) অনুযায়ী নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান

$bt\left(x - \frac{t}{2}\right) + b'\frac{(x-t)^2}{2} = nA_s(d - x)$

বা, $160 \times 10\left(x - \frac{10}{2}\right) + 25 \times \frac{(x-10)^2}{2}$
$= 10 \times 22.80\ (50 - x)$

বা, $1600\ (x - 5) + 12.5\ (x - 10)^2 = 11400 - 228x$

বা, $1600x - 8000 + 12.5\ (x^2 - 20x + 100) = 11400 - 228x$

বা, $1600x - 8000 + 12.5x^2 - 250x + 1250 = 11400 - 228x$

বা, $12.5x^2 + (1600x + 228x - 250x) = 11400 + 8000 - 1250$

বা, $12.5x^2 + 1578x = 18150$

বা, $x^2 + 126.24x = 1452$

বা, $x^2 + 2 \times 63.12x + 63.12^2 = 1452 + 63.12^2$

বা, $(x + 63.12)^2 = 5436.13$

বা, $x + 63.12 = 73.73$

$\therefore x = 73.73 - 63.12 = 10.61cm$ **(Ans.)**

উদাহরণ-৮। সাধারণভাবে স্থাপিত একটি টী-বিমের গভীরতা 54 সেমি, ফ্লেঞ্জের প্রস্থ 120 সেমি এবং ফ্লেঞ্জের গভীরতা 13 সেমি। বিমটির ওয়েবের প্রস্থ 20 সেমি এবং এতে প্রধান রিইনফোর্সমেন্ট হিসাবে 6–25 মিমি ব্যাসের রড ব্যবহার করা আছে। বিম প্রস্থচ্ছেদের নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান নির্ণয় কর। n = 10.

সমাধান :

দেয়া আছে,
$d = 54 - 6.57 = 47.43cm$ [কভারিং = 6.57 cm]
$b = 120cm$
$b' = 20cm$
$t = 13cm$
$A_s = 6 \times \frac{\pi}{4} \times (2.5)^2 = 29.45cm^2$

নিরপেক্ষ অক্ষ ফ্লেঞ্জের তলদেশ বরাবর বিবেচনা করলে

এক্ষেত্রে, $\frac{bt^2}{2} = \frac{120 \times (13)^2}{2} = 10140cm^3$

এবং $nA_s(d - t) = 10 \times 29.45\ (47.43 - 13)$
$= 10139.635 \approx 10140cm^3$

সুতরাং, $\frac{bt^2}{2} = nA_s(d - t)$

অতএব, বিমের নিরপেক্ষ অক্ষ ফ্লেঞ্জের নিম্নপ্রান্ত বরাবর তলে অবস্থিত। এক্ষেত্রে $x = kd = t = 13$ সেমি।

উদাহরণ-৯। সাধারণভাবে স্থাপিত একটি টী-বিমের মোট গভীরতা 41 সেমি। ফ্লেঞ্জের গভীরতা 10 সেমি এবং প্রস্থ 180 সেমি। বিমটির ওয়েবের প্রস্থ 25 সেমি এবং এতে প্রধান রিইনফোর্সমেন্ট হিসাবে 4–28 মিমি ব্যাসের রড ব্যবহার করা আছে। স্টিল রিইনফোর্সমেন্ট দুই সারিতে স্থাপিত এবং মোট কভারিং 6.64 সেমি হলে বিম প্রস্থচ্ছেদের নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান নির্ণয় কর। n = 10

সমাধান :

দেয়া আছে,
$b = 180cm$
$b' = 25cm$
$t = 10cm$
$n = 10$
$A_s = 4 \times \frac{\pi}{4} \times (2.8)^2 = 24.63cm^2$
$d =$ মোট গভীরতা – কভারিং $= 41 - 6.64 = 34.36cm$

বিমের নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান ফ্লেঞ্জের নিম্নতল বরাবর অতিক্রম করেছে বিবেচনা করলে,

চাপ এলাকার মোমেন্ট $= \frac{bt^2}{2} = \frac{180 \times (10)^2}{2} = 9000cm^3$

এবং টান এলাকার মোমেন্ট $= nA_s(d - t) = 10 \times 24.63 \times (34.36 - 10) = 5999.87 \approx 6000cm^3$

সুতরাং, $\frac{bt^2}{2} > nA_s(d - t)$

Scanned with AnyScanner

অতএব, নিরপেক্ষ অক্ষ ফ্লেঞ্জের অভ্যন্তরে অবস্থিত। রূপান্তরিত সেকশন অনুযায়ী নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান

$\frac{bx^2}{2} = nA_s(d - x)$

বা, $\frac{180x^2}{2} = 10 \times 24.63\,(34.36 - x)$

বা, $90x^2 = 8462.87 - 246.3x$

বা, $x^2 = 94.03 - 2.74x$

বা, $x^2 + 2.74x = 94.03$

বা, $x^2 + 2 \times 1.37x + 1.37^2 = 94.03 + 1.37^2$

বা, $(x + 1.37)^2 = 95.91$

বা, $x + 1.37 = 9.79$

$\therefore x = 9.79 - 1.37$
$= 8.42$cm **(Ans.)**

উদাহরণ-১০। ৯ নং উদাহরণে বর্ণিত বিমের অন্যান্য পরিমাপ এবং তথ্যাদি অপরিবর্তিত রেখে কেবলমাত্র প্রধান রিইনফোর্সমেন্ট 6–28 মিমি ব্যাসের স্টিল রড স্থাপিত করলে বিমের নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান নির্ণয় কর।

সমাধান ঃ

বিমের নিরপেক্ষ অক্ষ ফ্লেঞ্জের তলদেশ দিয়ে অতিক্রম করেছে বিবেচনা করলে,

চাপ এলাকার মোমেন্ট $= \frac{bt^2}{2} = \frac{180 \times (10)^2}{2}$
$= 9000\text{cm}^3$

এবং টান এলাকার মোমেন্ট $= nA_s(d - t)$
$= 10 \times 36.945\,(34.36 - 10)$
$= 8999.802 \approx 9000\text{cm}^3$

$A_s = 6 \times \frac{\pi}{4} \times (2.8)^2 = 36.945\text{cm}^2$

সুতরাং $\frac{bt^2}{2} = nA_s(d - t)$

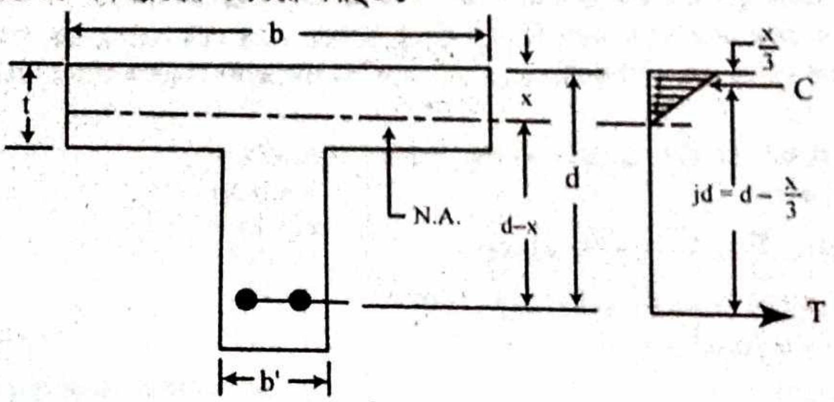
অতএব, নিরপেক্ষ অক্ষ ফ্লেঞ্জের নিম্নতল দিয়ে অতিক্রম করেছে।

এক্ষেত্রে $x = kd = t = 10$cm

৩.৪ ওয়ার্কিং স্ট্রেস ডিজাইন পদ্ধতিতে আয়তাকার এবং টী-বিমের পীড়ন নির্ণয় (Calculation of the stresses developed in rectangular beam and T-beam in WSD method) ঃ

টী-বিমের লিভার আর্ম (Lever arm of T-beam) ঃ লিভার আর্ম হলো বিম প্রস্থচ্ছেদের মোট সংকোচন বল, C-এর লব্ধি বিন্দু এবং মোট প্রসারণ বল, T-এর মধ্যবর্তীর লম্ব দূরত্ব। প্রসারণ বল, T সাধারণত বিমের কার্যকরী গভীরতার নিম্নপ্রান্ত বরাবর অনুভূমিক রেখায় ক্রিয়াশীল হয়। অপরদিকে মোট সংকোচন বল, C-এর কার্যবিন্দু বিম প্রস্থচ্ছেদের নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থানের উপর নির্ভর করে। নিম্নে নিরপেক্ষ অক্ষের বিভিন্ন অবস্থানের উপর নির্ভর করে সংকোচন বল, C-এর কার্যবিন্দুর অবস্থান ও লিভার আর্ম নির্ণয় প্রক্রিয়া বর্ণনা করা হলো।

(ক) যখন বিমের নিরপেক্ষ অক্ষ ফ্লেঞ্জের অভ্যন্তরে অবস্থিত ঃ



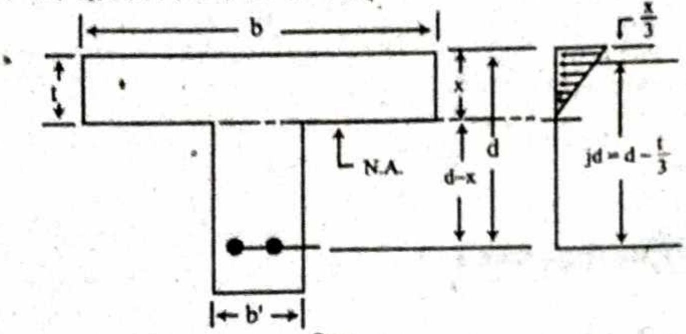
চিত্র ঃ ৩.৫

Scanned with AnyScanner

এক্ষেত্রে বিম প্রস্থচ্ছেদের নিরপেক্ষ অক্ষের উপরে অবস্থিত সংকোচন মুখের কংক্রিটের বিস্তার ফ্লেঞ্জের প্রস্থের সমান হয় এবং কংক্রিটের পীড়ন নিরপেক্ষ অক্ষে শূন্য হতে ক্রমশ বৃদ্ধি পেয়ে ফ্লেঞ্জের উপর প্রান্তে সর্বোচ্চ হয়। অর্থাৎ, নিরপেক্ষ অক্ষ হতে দূরত্বের সাথে সমানুপাতিক হারে বৃদ্ধি পায়। চিত্রে সংকোচন মুখের পীড়ন ত্রিভুজ আকারে দেখানো হয়েছে এবং মোট সংকোচন বল, C ত্রিভুজের ভরকেন্দ্র দিয়ে কাজ করবে। ত্রিভুজের ভরকেন্দ্র বিমের ফ্লেঞ্জের উপর প্রান্ত হতে $\frac{x}{3}$ বা $\frac{kd}{3}$ গভীরতায়।

অতএব, লিভার আর্ম, $jd = d - \frac{x}{3}$ বা $d - \frac{kd}{3}$

(খ) যখন বিমের নিরপেক্ষ অক্ষ ফ্লেঞ্জের নিম্নতল বরাবর অবস্থিত ঃ

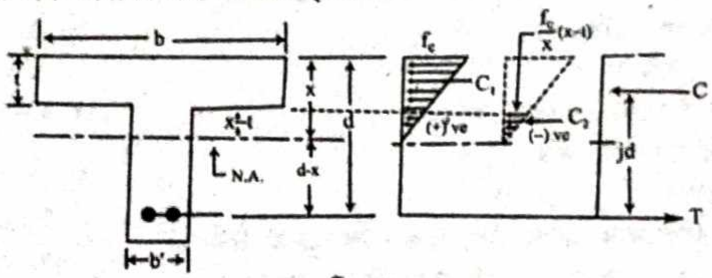


চিত্র ঃ ৩.৬

এক্ষেত্রে, লিভার আর্ম, $jd = d - \frac{x}{3}$ বা $d - \frac{t}{3}$

এখানে, $x = t = kd$

(গ) যখন বিমের নিরপেক্ষ অক্ষ ওয়েবের অভ্যন্তরে অবস্থিত ঃ



চিত্র ঃ ৩.৭

এক্ষেত্রে নিরপেক্ষ অক্ষের উপরে কংক্রিটের বিস্তার সমান নয়। অর্থাৎ, এক অংশ ফ্লেঞ্জের বিস্তার বা প্রস্থের সমান এবং অপর অংশ ওয়েবের প্রস্থের সমান।

প্রথম অংশ অর্থাৎ ধনাত্মক অংশের পরিমাপ $= b \times x$

দ্বিতীয় অংশ অর্থাৎ ঋণাত্মক অংশের পরিমাপ $= (b - b')(x - t)$

ঋণাত্মক অংশের পীড়ন চিত্রে নিরপেক্ষ অক্ষে পীড়ন $= 0$ এবং ফ্লেঞ্জের উপর প্রান্তে পীড়ন $= f_c$

অপরদিকে, ঋণাত্মক অংশের পীড়ন চিত্রের নিরপেক্ষ অক্ষে পীড়ন $= 0$

এবং নিরপেক্ষ অক্ষ হতে $(x - t)$ দূরত্বে অর্থাৎ ফ্লেঞ্জের নিম্ন প্রান্তে পীড়ন $= \frac{f_c \times (x - t)}{x}$

মনে করি, y = ফ্লেঞ্জের উপর প্রান্ত হতে ক্রিয়াশীল মোট সংকোচন বল, C-এর কার্যবিন্দুর গভীরতা, সেমি

+ ve অংশের সংকোচন বল, $C_1 = b.x.\frac{f_c}{2}$, লিভার আর্ম $= \frac{x}{3}$

$\therefore$ মোমেন্ট, $M_1 = C_1 \cdot \frac{x}{3} = b.x.\frac{f_c}{2} \cdot \frac{x}{3} = \frac{f_c b x^2}{6}$

– ve অংশের সংকোচন বল, $C_2 = (b - b')(x - t) \times \frac{f_c (x - t)}{2x}$

লিভার আর্ম $= t + \frac{x - t}{3}$

$\therefore$ মোমেন্ট, $M_2 = C_2 \times \left(t + \frac{x-t}{3}\right)$

$$= (b - b')(x - t) \times \frac{f_c}{2x}(x - t)\left(t + \frac{x-t}{3}\right)$$

সুতরাং

মোট বল, $C = C_1 - C_2$

$$= \frac{f_c bx}{6} - \frac{f_c}{2x}(b - b')(x - t)^2$$

মোট মোমেন্ট,

$\Sigma M = M_1 - M_2$

$$= \frac{f_c bx^2}{6} - \frac{f_c}{2x}(b - b')(x - t)^2\left(t + \frac{x-t}{3}\right)$$

$\therefore y = \frac{\Sigma M}{C}$

অতএব লিভার আর্ম, $jd = d - y$

টী-বিমের কংক্রিট এবং স্টিলের পীড়ন নির্ণয় ঃ

মনে করি,

M = বেন্ডিং মোমেন্ট, কেজি-সেমি

b = ফ্লেঞ্জের প্রস্থ, সেমি

b' = ওয়েবের প্রস্থ, সেমি

f_c = নিরপেক্ষ অক্ষ থেকে সংকোচন এলাকার সর্বদূরবর্তী তন্তুর কংক্রিটের উদ্ভূত সংকোচন পীড়ন, কেজি/বর্গ সেমি

f_s = প্রধান রিইনফোর্সমেন্টের উদ্ভূত টান পীড়ন, কেজি/বর্গ সেমি

C = মোট সংকোচন বল, কেজি

T = মোট টান বল, কেজি

A_s = প্রধান রিইনফোর্সমেন্টের ক্ষেত্রফল, বর্গ সেমি

d = বিমের কার্যকরী গভীরতা, সেমি

jd = লিভার আর্ম, সেমি

kd = x = নিরপেক্ষ অক্ষ থেকে ফ্লেঞ্জের উপর প্রান্ত পর্যন্ত উচ্চতা, সেমি

y = ফ্লেঞ্জের উপর প্রান্ত থেকে C-এর কার্যবিন্দুর গভীরতা, সেমি

(ক) যখন নিরপেক্ষ অক্ষ বিমের ফ্লেঞ্জের অভ্যন্তরে অবস্থিত ঃ

বিম প্রস্থচ্ছেদের সাম্যাবস্থা বিবেচনা করলে—

বেন্ডিং মোমেন্ট = প্রতিরোধী মোমেন্ট

অর্থাৎ, $M = M_C = M_T$

$$= Cjd = Tjd$$

আমরা জানি, $C = b.\ x.\ \frac{f_c}{2}$ এবং $jd = d - \frac{x}{3}$

সুতরাং, $M_c = M = b\ x \frac{f_c}{2} \times \left(d - \frac{x}{3}\right)$

$$\therefore f_c = \frac{2M}{bx\left(d - \frac{x}{3}\right)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (i)$$

আবার, $T = A_s f_s$ এবং $jd = d - \frac{x}{3}$

সুতরাং, $M_T = M = A_s f_s \left(d - \frac{x}{3}\right)$

$$\therefore f_s = \frac{M}{A_s\left(d - \frac{x}{3}\right)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (ii)$$

Scanned with AnyScanner

(খ) যখন নিরপেক্ষ অক্ষ ফ্লেঞ্জের নিম্নতলে অবস্থিত ঃ

এক্ষেত্রে, $x = kd = t$

$$jd = d - \frac{t}{3}$$

$$C = b\,t \times \frac{f_c}{2}$$ এবং

$$T = A_s f_s$$

সুতরাং, $M = C \times jd = b \times t \times \frac{f_c}{2} \times \left(d - \frac{t}{3}\right)$

$$\therefore f_c = \frac{2M}{bt\left(d - \frac{t}{3}\right)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(iii)}$$

আবার, $M = T \times jd = A_s f_s \left(d - \frac{t}{3}\right)$

$$\therefore f_s = \frac{M}{A_s\left(d - \frac{t}{3}\right)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(iv)}$$

(গ) যখন নিরপেক্ষ অক্ষ ওয়েবের অভ্যন্তরে অবস্থিত ঃ

এক্ষেত্রে,

$$y = \frac{\text{ফ্লেঞ্জের উপর প্রান্তের বিপরীতে নিরপেক্ষ অক্ষের উপরে চাপ বলসমূহের মোমেন্ট}}{\text{নিরপেক্ষ অক্ষের উপরে বিদ্যমান মোট চাপ বল}}$$

$$= \frac{\Sigma M}{C}$$

$$= \frac{\frac{f_c b x^2}{6} - \frac{f_c}{2}(b - b')(x - t)^2\left(t + \frac{x - t}{3}\right)}{\frac{f_c b x}{2} - \frac{f_c}{2x}(b - b')(x - t)^2}$$

$$\therefore jd = d - y$$

সুতরাং, $M = C \times jd$

$$\therefore C = \frac{M}{jd}$$

কিন্তু $C = \frac{f_c b x}{2} - \frac{f_c}{2x}(b - b')(x - t)^2$

$$= \frac{f_c}{2}\left\{bx - (b - b')\frac{(x - t)^2}{x}\right\}$$

$$\therefore f_c = \frac{2C}{bx - (b - b')\frac{(x - t)^2}{x}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(v)}$$

আবার, $A_s f_s jd = M$

$$\therefore f_s = \frac{M}{A_s jd} = \frac{M}{A_s(d - y)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(vi)}$$

Scanned with AnyScanner

প্রয়োজনীয় সূত্রাবলি

⇒ চাপ এলাকার (c) মোমেন্ট $= \frac{bx^2}{2}$

⇒ টান এলাকার (T) মোমেন্ট $= nAs\,(d-x)$

⇒ সাম্যবস্থার জন্য, $\frac{bx^2}{2} = nAs\,(d-x)$

⇒ কংক্রিটের রেজিস্টিং মোমেন্ট, $M_c = \frac{1}{2} fc\, bx\left(d - \frac{x}{3}\right)$

∴ কংক্রিটের চাপ পীড়ন, $fc = \frac{2M}{bx\left(d - \frac{x}{3}\right)}$

⇒ স্টিলের রেজিস্টিং মোমেন্ট, $M_S = A_s f_s \left(d - \frac{x}{3}\right)$

∴ স্টিলের চাপ পীড়ন, $f_s = \frac{M}{A_s\left(d - \frac{x}{3}\right)}$

⇒ যদি $M_c > M_t$ হয়, তবে বিমটি Under Reinforcement beam.

⇒ যদি $M_c > M_t$ হয়, তবে বিমটি Over Reinforcement beam.

উদাহরণ-১১। একটি আয়তাকার বিমের প্রস্থ 30cm ও কার্যকরী গভীরতা 55cm। বিমটিতে 5টি 19mm ব্যাসের রড প্রধ রিইনফোর্সমেন্ট হিসেবে ব্যবহৃত আছে। বিমটির সর্বোচ্চ বেন্ডিং মোমেন্ট 14100 কেজি/মিটার, n = 10 হয়, তবে f_c এবং f_s এ মান নির্ণয় কর। [বাকাশিবো-২০২

সমাধান :

দেওয়া আছে,
$b = 30$ cm
$d = 55$ cm
$As = 5 \times \frac{\pi}{4}(1.9)^2 = 14.18\ cm^2$
$n = 10$
$M = 14100$ kg/m $= 1410000$ kg/cm
$f_s = ?$
$f_c = ?$

আমরা জানি,
রূপান্তরিত সেকশনের সূত্র অনুযায়ী,

$$\frac{bx^2}{2} = n\,As(d-x)$$

$$\Rightarrow \frac{30x^2}{2} = 10 \times 14.18\,(55-x)$$

$$\Rightarrow 15x^2 = 7799 - 141.8x$$

$$\Rightarrow x = 18.56 \text{ cm}$$

∴ চাপ পীড়ন $f_c = \frac{2M}{bx\,(d - \frac{x}{3})}$

$$= \frac{2 \times 1410000}{30 \times 18.56\left(55 - \frac{18.56}{3}\right)}$$

$= 103.75$ kg/cm² **(Ans.)**

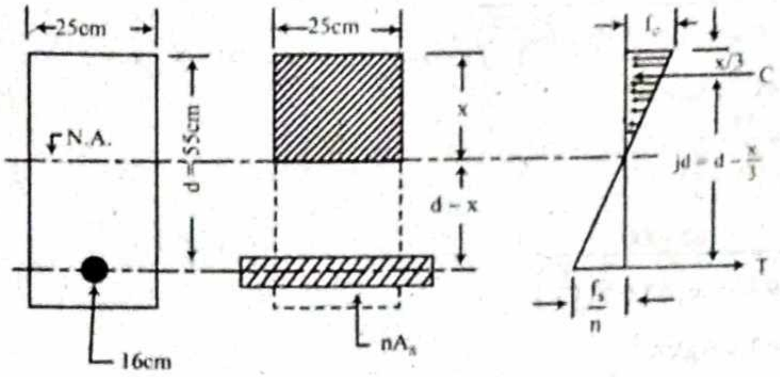
টান পীড়ন $f_s = \frac{M}{As\left(d - \frac{x}{3}\right)}$

$$= \frac{1410000}{14.18\left(55 - \frac{18.56}{3}\right)}$$

$= 2037.06$ kg/cm² **(Ans.)**

Scanned with AnyScanner

উদাহরণ-১২। 25 সেমি প্রস্থবিশিষ্ট একটি RCC বিমের গভীরতা 60 সেমি এবং এতে 16 বর্গ সেমি ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট রড ব্যবহার করা আছে। যদি n = 10 এবং সর্বোচ্চ বেন্ডিং মোমেন্ট 8000 কেজি-মিটার হয়, তাহলে বিমটির সর্বোচ্চ f_c এবং f_s এর মান নির্ণয় কর। [বাকাশিবো-২০১২, ২০((পরি)]



সমাধান :

আমরা জানি,

রূপান্তরিত সেকশনের সূত্রানুযায়ী, $\frac{bx^2}{2} = nA_s(d - x)$

বা, $\frac{25x^2}{2} = 10 \times 16\,(55 - x)$

বা, $12.5x^2 = 8800 - 160x$

বা, $x^2 = 704 - 12.8x$

বা, $x^2 + 12.8x = 704$

বা, $x^2 + 2 \times 6.4x + 6.4^2 = 704 + 6.4^2$

বা, $(x + 6.4)^2 = 704 + (6.4)^2$

বা, $x + 6.4 = \sqrt{704 + 40.96}$

বা, $x + 6.4 = 27.29$

$\therefore x = 27.29 - 6.4 = 20.89$ cm

চাপ পীড়ন, $f_c = \frac{2M}{bx(d - x/3)} = \frac{2 \times 800000}{25 \times 20.89 \times \left(55 - \frac{20.89}{3}\right)} = 63.78$ kg/cm² **(Ans.)**

টান পীড়ন, $f_s = \frac{M}{A_s(d - x/3)} = \frac{800000}{16\left(55 - \frac{20.89}{3}\right)} = 1040.87$ kg/cm² **(Ans.)**

দেয়া আছে,

$b = 25$ cm

$D = 60$ cm

$d = 60 -$ কভারিং $= 60 - 5 = 55$ cm

$A_s = 16\text{ cm}^2$

$n = 10$

$M = 8000$ kg-m $= 800000$ kg-cm

উদাহরণ-১৩। একটি সাধারণভাবে স্থাপিত বিমের স্প্যান দৈর্ঘ্য 5.0 মিটার। বিমটির আকার 30 সেমি × 60 সেমি। বিমটির কভারিং 5 সেমি। বিমটির ওপর নিজস্ব ওজনসহ প্রতি মিটারে 2000 কেজি লোড সমভাবে বিস্তৃত আছে। বিমটিতে 4টি 25mm ব্যাসের রড প্রধান রড হিসেবে ব্যবহৃত হলে fc ও fs-এর মান নির্ণয় কর। n = 10 [বাকাশিবো-২০১৮]

সমাধান :

আমরা জানি,

$\Rightarrow \frac{bx^2}{2} = nAs\,(d - x)$

$\Rightarrow \frac{30 \times x^2}{2} = 10 \times 19.625\,(55 - x)$

$\Rightarrow 15x^2 = 10793.75 - 196.25x$

$\Rightarrow 15x^2 + 196.25x - 10793.75 = 0$

$\Rightarrow x = 21.07$ cm

দেয়া আছে,

$b = 30$ cm

কার্যকর গভীরতা, $d = 60 - 5 = 55$ cm

$A_s = 4 \times 0.785 \times (2.5)^2 = 19.625\text{ cm}^2$

সর্বোচ্চ মোমেন্ট, $M = \frac{\omega L^2}{8}$

$= \frac{2000 \times (5)^2}{8} \times 100$

$= 625000$kg-cm

Scanned with AnyScanner

কংক্রিটের পীড়ন, $f_c = \dfrac{2M}{bx\left(d - \dfrac{x}{3}\right)}$

$$= \frac{2 \times 625000}{30 \times 21.07 \times \left(55 - \dfrac{21.07}{3}\right)}$$

$$= 41.22 \text{ kg/cm}^2$$

স্টিলের পীড়ন, $f_s = \dfrac{M}{As\left(d - \dfrac{x}{3}\right)}$

$$= \frac{625000}{19.625 \times \left(55 - \dfrac{21.07}{3}\right)}$$

$$= 663.80 \text{kg/cm}^2$$

উদাহরণ-১৪। একটি সাধারণভাবে স্থাপিত বিমের স্প্যান দৈর্ঘ্য 5.50 মিটার। বিমটির প্রস্থ 20 সেমি এবং গভীরতা 40 সেমি বিমটিতে 4–22mmϕ রড ব্যবহার করা হয়েছে। বিমটির প্রতি মিটার দৈর্ঘ্যে 2000 কেজি লোড সমভাবে বিস্তৃত আছে n = 9, কংক্রিটের অনুমোদনযোগ্য পীড়ন $f_c = 94.5$ kg/cm² এবং স্টিলের অনুমোদনযোগ্য পীড়ন $f_s = 1400$ kg/cm² হলে বিমটি নিরাপদ কি না? [বাকাশিবো-২০১৮

সমাধান :

দেয়া আছে, $\omega = 2000$ kg/m (নিজস্ব ওজনসহ ধরে)

$b = 20$ cm

$d = 40 - 5 = 35$cm

$A_s = 4 \times 0.785 \times (2.2)^2$

$= 15.20 \text{ cm}^2$

$M = \dfrac{\omega L^2}{8}$

$= \dfrac{2000 \times (5.5)^2}{8} \times 100$

$= 756250$ kg.cm

আমরা জানি,

রূপান্তরিত সেকশনের সূত্র অনুযায়ী,

$\dfrac{20 \times x^2}{2}$ nAs (d − x)

$\dfrac{20 \times x^2}{2} = 9 \times 15.20 \times (35 - x)$

$10x^2 = 4788 - 136.8x$

$10x^2 + 136.8x - 4788 = 0$

$x = 16.08$ cm

চাপ পীড়ন, $f_c = \dfrac{2M}{bx\left(d - \dfrac{x}{3}\right)}$

$$= \frac{2 \times 756250}{20 \times 16.08 \times \left(35 - \dfrac{16.08}{3}\right)}$$

$$= 158.67 \text{ kg/cm}^2 > f_c = 94.5 \text{ kg/cm}^2$$

সুতরাং, বিমটি চাপ পীড়নে নিরাপদ নয়।

টান পীড়ন, $f_s = \dfrac{2M}{A_s\left(d - \dfrac{x}{3}\right)}$

$$= \frac{756250}{15.20 \times 29.65}$$

$$= 1678 \text{ kg/cm}^2 > f_s = 1400 \text{ kg/cm}^2$$

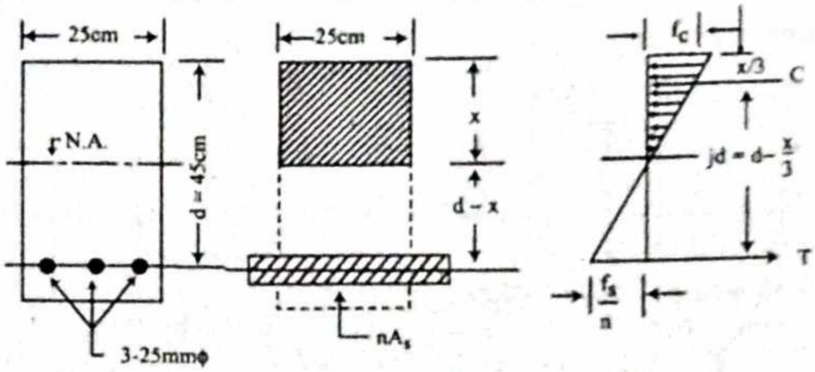
সুতরাং, বিমটি টান পীড়নে নিরাপদ নয়।

∴ বিমটি নিরাপদ নয়।

Scanned with AnyScanner

উদাহরণ-১৫। একটি আয়তাকার আরসিসি বিমের সর্বোচ্চ অনুমোদনযোগ্য বেন্ডিং মোমেন্টের পরিমাণ নির্ণয় কর। বিমটি ব্যালেন্সড বিম কি না, যুক্তি দাও। [বাকাশিবো-২০১৬(পরি)]

তথ্যাদি : $b = 25$ সেমি, $d = 45$ সেমি, $f_c = 94.5$ কেজি/বর্গ সেমি, $f_s = 1400$ কেজি/বর্গ সেমি, $n = 9$, $A_s = 3 - 25\phi$ মিমি বার।



সমাধান : আমরা জানি,

রূপান্তরিত সেকশনের সূত্রানুযায়ী,

$\frac{bx^2}{2} = nA_s(d - x)$

বা, $\frac{25x^2}{2} = 9 \times 14.73\,(45 - x)$

বা, $12.5x^2 = 5965.65 - 132.57x$

বা, $x^2 = 477.25 - 10.60x$

বা, $x^2 + 10.60x = 477.25$

বা, $x^2 + 2 \times 5.30x + 5.30^2 = 477.25 + 5.30^2$

বা, $(x + 5.30)^2 = 477.25 + 28.09$

বা, $x + 5.30 = \sqrt{505.34}$

বা, $x + 5.3 = 22.48$

$\therefore x = 22.48 - 5.30$

$= 17.18$ cm

লিভার আর্ম $= d - \frac{x}{3}$

$= 45 - \frac{17.18}{3}$

$= 39.27$ cm

কংক্রিটের রেজিস্টিং মোমেন্ট, $M_c = \frac{1}{2} f_c bx\left(d - \frac{x}{3}\right)$

$= \frac{1}{2} \times 94.5 \times 25 \times 17.18 \times 39.27$

$= 796940.47$ kg-cm

স্টিলের রেজিস্টিং মোমেন্ট, $M_T = A_s f_s \left(d - \frac{x}{3}\right)$

$= 14.73 \times 1400 \times 39.27$

$= 809825.94$ kg-cm

দেয়া আছে,

$b = 25$ cm

$d = 45$ cm

$A_s = 3 \times \frac{\pi}{4} \times (2.5)^2$

$= 14.73\ cm^2$

$n = 9$

$f_c = 94.5\ kg/cm^2$

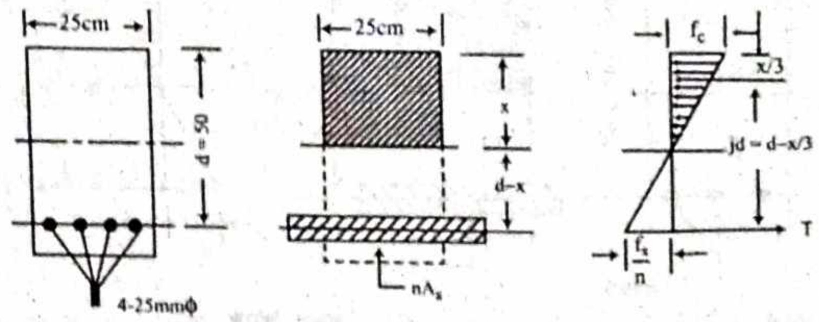
$f_s = 1400\ kg/cm^2$

$\therefore M_c < M_T$, অতএব, M_c ছোট বলে তা ব্যালেন্সড বিম নয়। এটা একটি ওভার রিইনফোর্সমেন্ট বিম।

Scanned with AnyScanner

উদাহরণ-১৬। একটি সাধারণভাবে স্থাপিত আয়তাকার বিমের প্রস্থ 25 সেমি এবং কার্যকরী গভীরতা 50 সেমি। এতে 25 মিমি ব্যাসের 4টি রড প্রধান রিইনফোর্সমেন্ট হিসাবে ব্যবহৃত আছে। যদি বিমটির সর্বোচ্চ বেন্ডিং মোমেন্ট 14800 কেজি-মিটার হয়, তবে f_c এবং f_s এর মান নির্ণয় কর। যদি n = 10 এবং অনুমোদিত f_c ও f_s এর মান যথাক্রমে 94 কেজি/বর্গ সেমি এবং 1400 কেজি/বর্গ সেমি হয়, তবে বিমটি নিরাপদ থাকবে কি?

[বাকাশিবো-২০১৪]



সমাধান:

দেয়া আছে,

b = 25cm

d = 50 cm

n = 10

$A_s = 4 \times \frac{\pi}{4} \times (2.5)^2 = 19.63\ cm^2$

M = 14800 kg- m = 1480000 kg-cm

আমরা জানি,

রূপান্তরিত সেকশনের সূত্রানুযায়ী, $\frac{bx^2}{2} = nA_s(d-x)$

বা, $\frac{25x^2}{2} = 10 \times 19.63\,(50-x)$

বা, $12.5x^2 = 9815 - 196.3x$

বা, $x^2 = 785.2 - 15.70x$

বা, $x^2 + 15.70x = 785.2$

বা, $x^2 + 2 \times 7.85x + 7.85^2 = 785.2 + 7.85^2$

বা, $(x + 7.85)^2 = 785.2 + 61.62$

বা, $x + 7.85 = \sqrt{785.2 + 61.62}$

বা, $x + 7.85 = 29.10$

$\therefore x = 29.10 - 7.85 = 21.25$ cm

চাপ পীড়ন, $f_c = \frac{2M}{bx(d - x/_3)} = \frac{2 \times 1480000}{25 \times 21.25 \times \left(50 - \frac{21.25}{3}\right)}$

$= 129.83\ kg/cm^2$

কিন্তু গ্রহণযোগ্য, $f_c = 94\ kg/cm^2 < 129.83\ kg/cm^2$

সুতরাং বিমটি চাপ পীড়নে নিরাপদ নহে।

টান পীড়ন, $f_s = \frac{M}{A_s(d - x/_3)} = \frac{1480000}{19.63\left(50 - \frac{21.25}{3}\right)}$

$= 1756.77\ kg/cm^2$

কিন্তু গ্রহণযোগ্য, $f_s = 1400\ kg/cm^2 < 1756.77\ kg/cm^2$

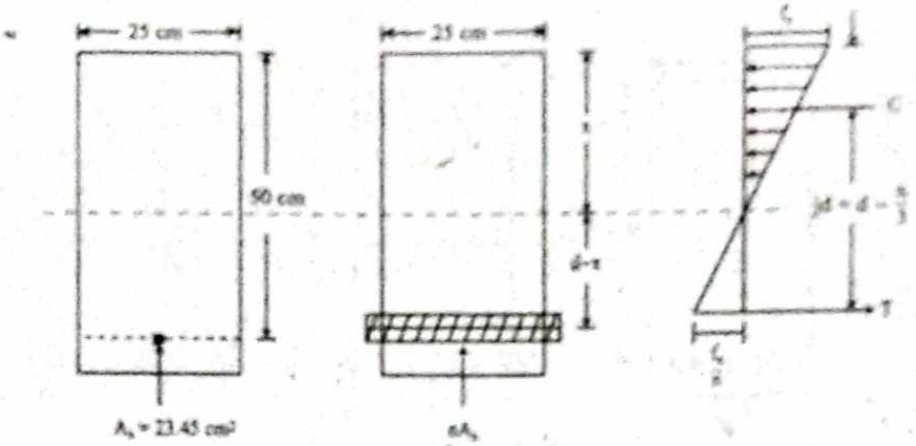
সুতরাং, বিমটি টান পীড়নে নিরাপদ নয়।

Scanned with AnyScanner

উদাহরণ-১৭। যদি কংক্রিট ও স্টিলের অনুমোদনযোগ্য পীড়ন যথাক্রমে 90 kg/cm^2 এবং 1300 kg/cm^2 হয়, তবে নিচের তথ্যাদির সাহায্যে কংক্রিট ও স্টিলের প্রকৃত পীড়ন নির্ণয় কর এবং বিমটি নিরাপদ কি না দেখাও। [বাকাশিবো-২০১৬]

তথ্যাদি : $b = 25$ cm, $d = 50$ cm, $M = 1543000$ kg-cm, $A_s = 23.45$ cm², $n = 9$.

সমাধান :



দেয়া আছে,

$b = 25$ cm
$d = 50$ cm
$n = 9$
$A_s = 23.45$ cm²
$M = 1543000$ kg-cm
অনুমোদিত $f_c = 90$ kg/cm²
অনুমোদিত $f_s = 1300$ "

আমরা জানি,

রূপান্তরিত সেকশনের সূত্রানুযায়ী,

$$\frac{bx^2}{2} = nA_s(d - x)$$

বা, $\frac{25x^2}{2} = 9 \times 23.45\,(50 - x)$

বা, $12.5\,x^2 = 10552.5 - 211.05\,x$

বা, $x^2 + 16.884x = 844.2$

বা, $x^2 + 2 \times 8.442x + 8.442^2 = 844.2 + 8.442^2$

বা, $(x + 8.442)^2 = 844.2 + 71.27$

বা, $x + 8.442 = \sqrt{915.47} = 30.27$

বা, $x = 30.27 - 8.442$

$\therefore$ $x = 21.83$ cm

চাপ পীড়ন, $f_c = \frac{2M}{bx(d - x/3)}$

$$= \frac{2 \times 1543000}{25 \times 21.83\left(50 - \frac{21.83}{3}\right)}$$

$$= 132.35 \text{ kg/cm}^2$$

কিন্তু গ্রহণযোগ্য, $f_c = 90$ kg/cm² < 132.35 kg/cm²

সুতরাং বিমটি চাপ পীড়নে নিরাপদ নয়।

টান পীড়ন, $f_s = \frac{M}{A_s(d - x/3)}$

$$= \frac{2 \times 1543000}{23.45 \times \left(50 - \frac{21.83}{3}\right)}$$

$$= 1540.13 \text{ kg/cm}^2$$

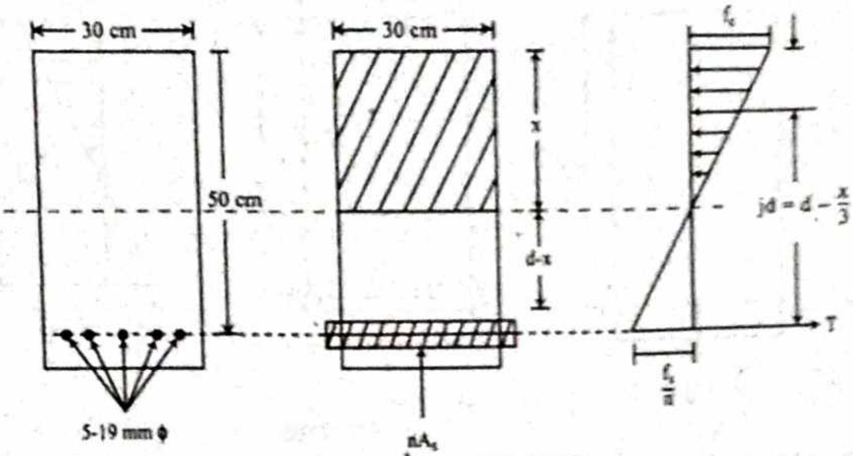
কিন্তু গ্রহণযোগ্য, $f_s = 1300$ kg/cm² < 1540.13 kg/cm²

সুতরাং, বিমটি টান পীড়নে নিরাপদ নয়।

Scanned with AnyScanner

উদাহরণ-১৮। একটি আয়তাকার বিমের প্রস্থ 30 সেমি এবং কার্যকরী গভীরতা 50 সেমি। বিমটিতে 5টি 19 মিমি ব্যাসের র প্রধান রিইনফোর্সমেন্ট হিসেবে ব্যবহৃত আছে। যদি বিমটির সর্বোচ্চ বেন্ডিং মোমেন্ট 13800 কেজি-মিটার এবং n = 10 হয়, তবে এবং f_s এর মান নির্ণয় কর। যদি কংক্রিট এবং স্টিলের অনুমোদনযোগ্য পীড়ন যথাক্রমে 95 কেজি/বর্গ সেমি এবং 1400 kg/ সেমি হয়, তবে বিমটি নিরাপদে থাকবে কি? [বাকাশিবো-২০১

সমাধান :



দেয়া আছে,

$b = 30$ cm

$d = 50$ cm

$n = 10$

$A_s = 5 \times \frac{\pi}{4} \times (1.9)^2 = 14.18\ cm^2$

M = 13800 kg-m = 1380000 kg-cm

অনুমোদিত $f_c = 95\ kg/cm^2$

" $f_s = 1400$ "

আমরা জানি,

রূপান্তরিত সেকশনের সূত্রানুযায়ী,

$$\frac{bx^2}{2} = nA_s\,(d-x)$$

বা, $\frac{30\,x^2}{2} = 10 \times 14.18\,(50 - x)$

বা, $15x^2 = 7090 - 141.8x$

বা, $x^2 = 472.67 - 9.45\,x$

বা, $x^2 + 9.45x = 472.67$

বা, $x^2 + 2 \times 4.725x + (4.725)^2 = 472.67 + (4.725)^2$

বা, $(x + 4.725)^2 = 472.67 + 22.33 = 495$

বা, $x + 4.725 = \sqrt{495} = 22.25$

$\therefore$ $x = 22.25 - 4.725 = 17.52$ cm

চাপ পীড়ন, $f_c = \frac{2M}{bx(d - x/3)}$

$$= \frac{2 \times 138000}{30 \times 17.52\left(50 - \frac{17.52}{3}\right)}$$

$= 181.91\ kg/cm^2$

কিন্তু গ্রহণযোগ্য, $f_c = 94\ kg/cm^2 < 181.91\ kg/cm^2$

সুতরাং বিমটি চাপ পীড়নে নিরাপদ নয়।

টান পীড়ন, $f_s = \frac{M}{A_s\,(d - x/3)}$

$$= \frac{1380000}{14.18 \times \left(50 - \frac{17.52}{3}\right)}$$

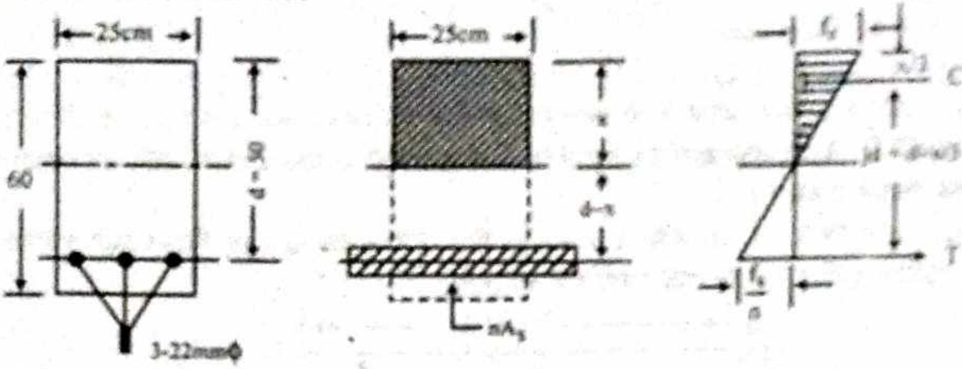
$= 2203.81\ kg/cm^2$

কিন্তু গ্রহণযোগ্য, $f_s = 1400\ kg/cm^2 < 2203.81\ kg/cm^2$

সুতরাং বিমটি টান পীড়নে নিরাপদ নয়।

Scanned with AnyScanner

উদাহরণ-১৯। একটি আরসিসি বিমের প্রস্থ 25 সেমি, কার্যকরী গভীরতা 55 সেমি এবং মোট গভীরতা 60 সেমি। এতে ৩টি 22 মিমি ব্যাসের রড প্রধান রিইনফোর্সমেন্ট হিসাবে ব্যবহৃত আছে। যদি $f_c = 70$ কেজি/বর্গ সেমি, $f_s = 1120$ কেজি/বর্গ সেমি এবং $n = 10$ হয়, তবে গ্রহণযোগ্য প্রতিরোধী মোমেন্টের মান নির্ণয় কর। যদি বিমটির দৈর্ঘ্য 5 মিটার হয়, তবে এর নিজস্ব ওজন ছাড়া প্রতি মিটার দৈর্ঘ্যে বিস্তৃত লোডের পরিমাণ নির্ণয় কর।



সমাধান :

আমরা জানি,

রূপান্তরিত সেকশনের সূত্রানুযায়ী,

$\frac{bx^2}{2} = nA_s(d - x)$

বা, $\frac{25x^2}{2} = 10 \times 11.40\,(55 - x)$

বা, $12.5x^2 = 114\,(55 - x)$

বা, $x^2 = 501.6 - 9.12x$

বা, $x^2 + 9.12x = 501.6$

বা, $x^2 + 2 \times 4.56x + 4.56^2 = 501.6 + 4.56^2$

বা, $(x + 4.56)^2 = 501.6 + 20.79^2$

বা, $x + 4.56 = \sqrt{501.6 + 20.79}$

বা, $x + 4.56 = 22.86$

$\therefore x = 22.86 - 4.56 = 18.30$ cm

লিভার আর্ম $= d - \frac{x}{3} = 55 - \frac{18.30}{3} = 48.90$ cm

চাপ বল দ্বারা সৃষ্ট প্রতিরোধী মোমেন্ট,

অর্থাৎ কংক্রিটের রেজিস্টিং মোমেন্ট, $M_c = \frac{1}{2} f_c bx \left(d - \frac{x}{3}\right)$

$= \frac{1}{2} \times 70 \times 25 \times 18.30 \times 48.90$

$= 783011.25$ kg-cm

আবার, স্টিলের রেজিস্টিং মোমেন্ট, $M_T = A_s f_s \left(d - \frac{x}{3}\right)$

$= 11.40 \times 1120 \times 48.90$

$= 624355.2$ kg-cm

$\therefore M_c > M_T$, বিমটির অনুমোদনযোগ্য রেজিস্টিং মোমেন্টের পরিমাণ,

$M_T = 624355.2$ kg-cm

মনে করি, বিমটির নিজস্ব ওজনসহ আপতিত লোডের পরিমাণ = w kg/m

সাধারণভাবে স্থাপিত বিমের সর্বোচ্চ বেন্ডিং মোমেন্ট,

$M = \frac{wL^2}{8} \times 100 = \frac{w \times (5)^2}{8} \times 100$

দেয়া আছে,

$b = 25$ cm

$d = 55$ cm

$A_s = 3 \times \frac{\pi}{4} \times (2.2)^2 = 11.40$ cm^2

$L = 5$m

$n = 10$

$f_c = 70$ kg/cm^2

$f_s = 1120$ kg/cm^2

Scanned with AnyScanner

যেহেতু বেন্ডিং মোমেন্ট = রেজিস্টিং মোমেন্ট

$\therefore \frac{w \times (5)^2}{8} \times 100 = 624355.2$

$\therefore w = \frac{624355.2 \times 8}{25 \times 100} = 1998$ kg/m

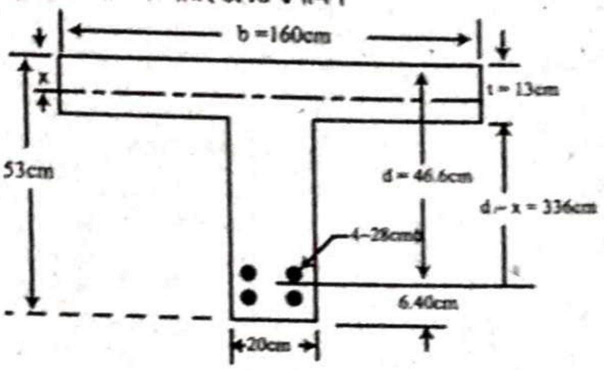
প্রতি মিটার দৈর্ঘ্যে বিমের নিজস্ব ওজন

$= 0.25 \times 0.60 \times 1 \times 2400 = 360$ kg

$\therefore$ বিমটির নিজস্ব ওজন ছাড়া প্রতি মিটার দৈর্ঘ্যে আপতিত লোডের পরিমাণ = 1998 – 360 = 1638 কেজি।

উদাহরণ-২০। **একটি টী-বিমের প্রস্থচ্ছেদে উদ্ভূত সর্বোচ্চ বেন্ডিং মোমেন্ট 1250000 কেজি-সেমি এর কারণে সৃষ্ট f_c এবং f_s এর মান নির্ণয় কর। প্রদত্ত তথ্যাদি নিম্নরূপ ঃ**

b = 160 সেমি, b′ = 20 সেমি, t = 13 সেমি, A_s = 4 – 28 মিমি ব্যাসের রড, n = 10, বিমের মোট গভীরতা 53 সেমি। স্টিল রিইনফোর্সমেন্ট দুই সারিতে স্থাপিত হওয়ায় মোট কভারিং 6.40 সেমি।



সমাধান ঃ

নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান ফ্লেঞ্জের নিম্নতল বরাবর অতিক্রম করেছে বিবেচনা করলে, (x = t)

চাপ এলাকার মোমেন্ট $= \frac{bt^2}{2} = \frac{160 \times (13)^2}{2} = 13520 cm^3$

এবং টান এলাকার মোমেন্ট $= nA_s(d - t) = nA_s(d - x)$

$= 10 \times \left\{4 \times \frac{\pi}{4} \times (2.8)^2\right\} \times \{(53 - 6.40) - 13\}$

$= 10 \times 24.63 \times (46.6 - 13)$

$= 8275.68 cm^3$

এখানে, t = x

$\therefore \frac{bx^2}{2} = \frac{bt^2}{2}$

অতএব, চাপ এলাকার মোমেন্ট বেশি বলে নিরপেক্ষ অক্ষ ফ্লেঞ্জের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করবে।

রূপান্তরিত সেকশন অনুযায়ী নিরপেক্ষ অক্ষ (N. A.)-এর অবস্থান ঃ

$\frac{bx^2}{2} = nA_s(d - x)$

বা, $\frac{160x^2}{2} = 10 \times 24.63 (46.6 - x)$

বা, $80x^2 = 11477.58 - 246.3x$

বা, $x^2 = 143.47 - 3.08x$

বা, $x^2 + 3.08x = 143.47$

বা, $x^2 + 2 \times 1.54x + 1.54^2 = 143.47 + 1.54^2$

বা, $(x + 1.54)^2 = 145.84$

বা, $x + 1.54 = 12.08$

$\therefore x = 12.08 - 1.54 = 10.54$cm

সুতরাং ফ্লেঞ্জের উপর প্রান্ত থেকে নিচের দিকে সংকোচন বল, C-এর ক্রিয়াবিন্দুর দূরত্ব $= \frac{x}{3} = \frac{10.54}{3} = 3.51$cm

$\therefore jd = d - \frac{x}{3} = 46.6 - 3.51 = 43.09$cm

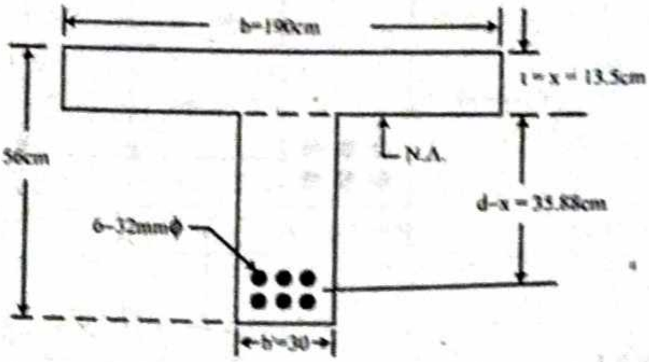
Scanned with AnyScanner

আমরা জানি,

$$f_c = \frac{2M}{bx\left(d - \frac{x}{3}\right)} = \frac{2 \times 1250000}{160 \times 10.54 \times 43.09} = 34.40 kg/cm^2 \text{ (Ans.)}$$

এবং $$f_s = \frac{M}{A_s\left(d - \frac{x}{3}\right)} = \frac{1250000}{24.63 \times 43.09} = 1177.80 \ kg/cm^2 \text{ (Ans.)}$$

উদাহরণ-২১। নিচের চিত্রে প্রদর্শিত টী-বিমের প্রস্থচ্ছেদে উদ্ভূত f_c এবং f_s-এর মান নির্ণয় কর। $n = 10$ এবং $M = 2650000$ কেজি-সেমি।



সমাধান ঃ

দেয়া আছে,
$b = 190cm$
$b' = 30cm$
$t = 13.5cm$
$A_s = 6 \times \frac{\pi}{4} \times (3.2)^2 = 48.255cm^2$
$n = 10$
$d = 56.00 - 6.62 = 49.38cm$

নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান নির্ণয় ঃ

নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান ফ্লেঞ্জের নিম্নতল বরাবর বিবেচনা করলে, $(x = t)$

চাপ এলাকার মোমেন্ট $= \frac{bt^2}{2} = \frac{190 \times (13.5)^2}{2}$

$= 17313.75cm^3$

এবং টান এলাকার মোমেন্ট $= nA_s(d - t)$

$= 10 \times 48.255 \times (49.38 - 13.50)$

$= 17313.89cm^3$

সুতরাং, $\frac{bt^2}{2} = nA_s(d - t)$

অতএব, নিরপেক্ষ অক্ষ ফ্লেঞ্জের নিম্নতলে অবস্থিত।

$\therefore x = t = 13.5cm$

$\therefore$ ফ্লেঞ্জের উপর প্রান্ত হতে সংকোচন বল, C-এর ক্রিয়াবিন্দুর দূরত্ব,

$\frac{x}{3} = \frac{t}{3} = \frac{13.5}{3} = 4.5cm$ এবং

লিভার আর্ম, $jd = d - \frac{x}{3} = 49.38 - 4.50 = 44.88cm$

আমরা জানি, $$f_c = \frac{2M}{bt\left(d - \frac{t}{3}\right)}$$

$$= \frac{2 \times 2650000}{190 \times 13.5 \times 44.88}$$

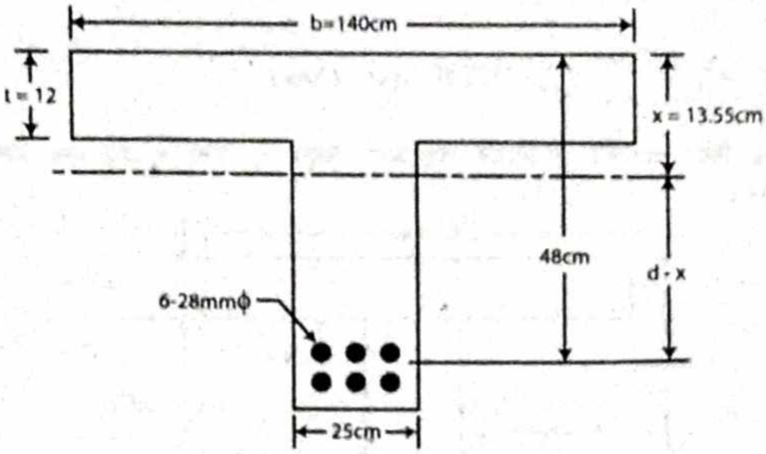
$= 46.04 kg/cm^2$ **(Ans.)**

এবং $$f_s = \frac{M}{A_s\left(d - \frac{t}{3}\right)}$$

$$= \frac{2650000}{48.255 \times 44.88}$$

Scanned with AnyScanner

উদাহরণ-২২। নিম্নের চিত্রে প্রদর্শিত টী-বিমের প্রস্থচ্ছেদে উদ্ভূত f_c এবং f_s এর মান নির্ণয় কর। $n = 10$ এবং বেন্ডিং মোমেন্ট $M = 2055000$ কেজি-সেমি। $f_c = 94$ কেজি/বর্গ সেমি, $f_s = 1400$ কেজি/বর্গ সেমি



সমাধান :

আমরা জানি,

নিরপেক্ষ অক্ষের অবস্থান নির্ণয় :

নিরপেক্ষ অক্ষ ফ্লেঞ্জের নিম্নতল বরাবর বিবেচনা করলে,

চাপ এলাকার মোমেন্ট $= \frac{bt^2}{2} = \frac{140 \times (12)^2}{2} = 10080 \text{ cm}^3$

এবং টান এলাকার মোমেন্ট $= nA_s (d - t)$

$= 10 \times 36.945 (48 - 12)$

$= 13300.2 \text{ cm}^3$

দেয়া আছে,

$b = 140$ cm

$b' = 25$ cm

$t = 12$ cm

$d = 48$ cm

$n = 10$

$A_s = 6 \times \frac{\pi}{4} \times (2.8)^2 = 36.945 \text{ cm}^2$

সুতরাং, $\frac{bt^2}{2} < nA_s (d - t)$

অতএব, নিরপেক্ষ অক্ষ ওয়েবের অভ্যন্তরে অবস্থিত।

নিরপেক্ষ অক্ষের সঠিক অবস্থান নির্ণয় :

রূপান্তরিত সেকশন অনুযায়ী,

$$\frac{bx}{2} - (b - b')\frac{(x - t)^2}{2} = nA_s (d - x)$$

বা, $\frac{140x^2}{2} - (140 - 25)\frac{(x - 12)^2}{2} = 10 \times 36.945 (48 - x)$

বা, $70x^2 - 115\frac{x^2 - 24x + 144}{2} = 17733.6 - 369.45x$

বা, $70x^2 - 57.5x^2 + 1380x - 8280 = 17733.6 - 369.45x$

বা, $12.5x^2 + (1380 + 369.45) x = 17733.6 + 8280$

বা, $12.5x^2 + 1749.45x = 26013.6$

বা, $x^2 + 140x = 2081.09$

বা, $x^2 + 2 \times 70x + 70^2 = 2081.09 + 70^2$

বা, $(x + 70)^2 = 2081.09 + 4900$

বা, $(x + 70)^2 = 6981.09$

বা, $x + 70 = 83.55$

$\therefore$ $x = 83.55 - 70 = 13.55$ cm

Scanned with AnyScanner

ফ্লেঞ্জের উপর প্রান্ত হতে সংকোচন বল, C-এর ক্রিয়াবিন্দু নির্ণয় ঃ

$$\Sigma M = \frac{f_c bx^2}{6} - \frac{f_c}{2x}(b-b')(x-t)^2\left(t+\frac{x-t}{3}\right)$$

$$= \frac{94\times 140\times (13.55)^2}{6} - \frac{94}{2\times 13.55}(140-25)\ (13.55-12)^2\left(12+\frac{13.55-12}{3}\right)$$

$$= 402701.48 - 11995.23 = 390706.25 \text{ kg-cm}$$

$$C = \frac{f_c bx}{2} - \frac{f_c}{2x}(b-b')(x-t)^2$$

$$= \frac{94\times 140\times 13.55}{2} - \frac{94}{2\times 13.55}(140-25)(13.55-12)^2$$

$$= 89159 - 957.34 = 88200.66 \text{ kg}$$

$$\therefore y = \frac{\Sigma M}{C} = \frac{390706.25}{88200.66} = 4.43 \text{ cm}$$

$$\therefore jd = d - y = 48 - 4.43 = 43.57 \text{ cm}$$

আমরা জানি,

$$C = T = \frac{M}{jd} = \frac{2055000}{43.57} = 47165.48 \text{ kg}$$

কিন্তু $C = \frac{f_c}{2}\left\{bx - (b-b')\frac{(x-t)^2}{x}\right\}$

$$= \frac{f_c}{2}\left\{140\times 13.55 - (140-25)\frac{(13.55-12)^2}{13.55}\right\}$$

$$= \frac{f_c}{2}\{1897 - 20.39\} = \frac{f_c}{2}\times 1876.61$$

$$= 937.30\, f_c$$

$$\therefore f_c = \frac{C}{937.30} = \frac{47165.48}{937.30} = 50.27 \text{ kg/cm}^2 \textbf{ (Ans.)}$$

এবং $f_s = \frac{M}{A_s jd} = \frac{2055000}{36.945\times 43.57} = 1276.64 \text{ kg/cm}^2$ **(Ans.)**

উদাহরণ-২৩। ৩.১৭ নং উদাহরণের টী-বিমের অন্যান্য পরিমাপ এবং তথ্যাদি অপরিবর্তিত রেখে কেবলমাত্র প্রধান রিইনফোর্সমেন্টের পরিমাপ যদি 6–28 মিমি ব্যাসের রড ব্যবহার করা হয়, তবে f_c এবং f_s এর মান নির্ণয় কর এবং বিমটি নিরাপদ কিনা যাচাই কর।

সমাধান ঃ $A_s = 6\times\frac{\pi}{4}\times(2.8)^2 = 36.94 \text{ cm}^2$

এক্ষেত্রে, $\frac{bt^2}{2} = \frac{132\times(15)^2}{2} = 14850 \text{ cm}^2$

এবং $n\,A_s(d-t) = 10\times 36.94\times(55.20-15)$

$$= 14849.88 \approx 14850 \text{ cm}^3$$

সুতরাং, $\frac{bt^2}{2} = nA_s(d-t)$

অতএব, নিরপেক্ষ অক্ষ ফ্লেঞ্জের তলদেশ অতিক্রম করেছে।

$$\therefore x = t = 15 \text{ cm}$$

সংকোচন বল, C-এর ক্রিয়াবিন্দুর দূরত্ব $= \frac{t}{3} = \frac{15}{3} = 5$ cm

$$\therefore jd = d - \frac{t}{3} = 55.20 - 5 = 50.20 \text{ cm}$$

আমরা জানি, $f_c = \frac{2M}{bt\left(d-\frac{t}{3}\right)}$

$$= \frac{2\times 1050000}{132\times 15\times 50.20}$$

$$= 21.12 \text{ kg/cm}^2 < 94.5 \text{ kg/cm}^2$$

এর $f_s = \frac{M}{A_s\left(d-\frac{t}{3}\right)} = \frac{1050000}{36.94\times 50.20}$

$$= 566.22 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2$$

∴ বিমটি কংক্রিট এবং স্টিল উভয় ক্ষেত্রে নিরাপদ।

Scanned with AnyScanner

৩.৫ সুষম বিম, আন্ডার রিইনফোর্সড বিম এবং ওভার রিইনফোর্সড বিম (Balanced beam, und reinforced beam and over reinforced beam) ঃ

যে-কোনো বিম এর চাপ এলাকায় কংক্রিটের ক্ষেত্রফল এবং টান এলাকায় স্টিলের ক্ষেত্রফলের পরিমাণের উপর ভিত্তি ক কংক্রিটের সর্বোচ্চ বা গ্রহণযোগ্য পীড়ন এবং স্টিলের সর্বোচ্চ বা গ্রহণযোগ্য পীড়ন সৃষ্টির সময়ের সমতা ও ভিন্নতা অনুযায়ী অ চাপ ও টানজনিত ব্যর্থতায় উপনীত হওয়ার সমতা ও ভিন্নতা মোতাবেক রিইনফোর্সড কংক্রিট বিমকে প্রধানত তিন শ্রেণিতে বি করা যায়, যথা ঃ

(ক) সুষম বিম (Balanced beam)
(খ) আন্ডার রিইনফোর্সড বিম (Under Reinforced beam)
(গ) ওভার রিইনফোর্সড বিম (Over Reinforced beam) ।

(ক) সুষম বিম (Balanced beam) ঃ যে আরসিসি বিমের কংক্রিট এবং স্টিলের ক্ষেত্রফল এরূপভাবে ডিজাইন করা হয়, য বিমে উৎপন্ন বেন্ডিং মোমেন্ট-এর ফলে কংক্রিট এবং স্টিল উভয়ের মধ্যে একই সময়ে পূর্ণমাত্রায় পীড়নের (Stress) সৃষ্টি হয়। এ ডিজাইনকৃত বিমকে সুষম বিম (Balanced beam) বা ব্যালেন্সড রিইনফোর্সমেন্ট (Balanced Reinforcement) বিম বলে। এরূপ ডিজাইনকে ব্যালেন্সড ডিজাইন (Balanced Design) বা ইকোনোমিক ডিজাইন (Economic Design) বলে।

আল্টিমেট স্ট্রেস ডিজাইন পদ্ধতিতে সুষম বিমের ক্ষেত্রে, কংক্রিটের সর্বোচ্চ পীড়ন $f'c$ এবং স্টিলের সর্বোচ্চ পীড়ন f_y (Y stress) একই সময়ে সংঘটিত হয় বলে বিম ব্যর্থ হওয়ার পূর্বে তেমন কোনো সতর্কতামূলক নির্দেশনা পাওয়া যায় না। তা ছা বাস্তবে এ ধরনের বিমে খুব বেশি পরিমাণে স্টিলের প্রয়োজন হয় বলে এটা বেশ ব্যয়বহুল। তাই আল্টিমেট স্ট্রেংথ ডিজ পদ্ধতিতে এ জাতীয় বিম প্রায় ক্ষেত্রে ইকোনোমিক্যাল হয় না। কেবলমাত্র মৌলিক ধারণা পাওয়ার জন্য ব্যবহার করা হয়। এ কা বাস্তবে এ ধরনের বিম সাধারণত পরিহার করা হয়।

অপরদিকে, ওয়ার্কিং স্ট্রেস ডিজাইন পদ্ধতিতে সুষম বিমই সবচেয়ে মিতব্যয়ী (Economic) নির্মাণকাজ এবং বিমের আকৃ সর্বনিম্ন পর্যায়ে থাকে। এ পদ্ধতিতে $A_s = \frac{M}{f_s jd}$ এবং $A_s = \rho bd$ এর সাহায্যে স্টিলের ক্ষেত্রফল নির্ণয় করা হয়। কার্যকরী গভীর $d = \sqrt{\frac{M}{Rb}}$ সূত্রের সাহায্যে নির্ণয় করে $A_s = \rho bd$ প্রয়োগে সহজেই A_s এর মান নির্ণয় করা যায়। ফলে f_c এবং f_s অনুমোদনযোগ্য স্ট্রেস একই সংগে উৎপন্ন হয়। আর d নির্ণয়পূর্বক $A_s = \frac{M}{f_s jd}$ প্রয়োগে স্টিলের ক্ষেত্রফল নির্ণয় করলে তা বে মোমেন্ট অনুযায়ী হবে। ফলে পীড়নের পূর্ণতা নাও ঘটতে পারে।

(খ) আন্ডার রিইনফোর্সড বিম (Under Reinforced Beam) ঃ যে বিমে উহার চাপ এলাকার কংক্রিটের ক্ষেত্রফল এবং এলাকার স্টিলের ক্ষেত্রফলের পরিমাণ এমনভাবে ডিজাইন করা হয়, যাতে কংক্রিটের সর্বোচ্চ বা গ্রহণযোগ্য চাপ পীড়ন সৃষ্টি হও পূর্বেই স্টিলে সর্বোচ্চ বা গ্রহণযোগ্য টান পীড়নের সৃষ্টি হয়, এরূপ বিমকে আন্ডার রিইনফোর্সড বিম বলে। অর্থাৎ, যখন বিমের ম সুষম ডিজাইনের তুলনায় কম রিইনফোর্সমেন্ট ব্যবহার করা হয়, তখন তাকে আন্ডার রিইনফোর্সড বিম বলে। একে আনব্যালে বিম (Unbalanced beam)-ও বলে।

এরূপ বিমের রেজিস্টিং মোমেন্টের পরিমাণ স্টিলের পীড়নের উপর নির্ভরশীল। একে আন-ইকোনোমিক সেকশন (U economic Section) বলে। কারণ বিমে ব্যবহৃত কংক্রিট চাপ পীড়ন প্রতিরোধের জন্য সম্পূর্ণরূপে ব্যবহৃত হয় না।

এ সকল বিমের ব্যর্থতা স্টিলের দুর্বলতার কারণে সংঘটিত হয় বলে একে টানজনিত ব্যর্থতা (Tension failure) বলে। এ স বিম ব্যর্থ হওয়ার পূর্বে ঝুলে পড়া পরিলক্ষিত হয়। ফলে বিম ব্যর্থ হওয়ার পূর্বে সতর্কতামূলক নির্দেশনা পাওয়া যায়। এ ধরনের ডিজাইনে বিমের গভীরতা পরিমাপযোগ্য করার জন্য প্রয়োজনীয় স্টিলের পরিমাণ কম লাগে। বাস্তবে এ ধরনের বিমের প্রচলন বেশি এবং তুলনামূলক কম ব্যয়সাপেক্ষ।

আন্ডার রিইনফোর্স বিম ঃ

সুবিধা ঃ

১। খরচ কম কারণ স্টিল-এর পরিমাণ কম লাগে।
২। বিম ব্যর্থ হওয়ার সময় ধীরে ধীরে ব্যর্থ হয় ফলে সতর্কতামূলক ব্যবস্থা নেয়া যায়।
৩। এ বিমের প্রচলন বেশি।

অসুবিধা ঃ

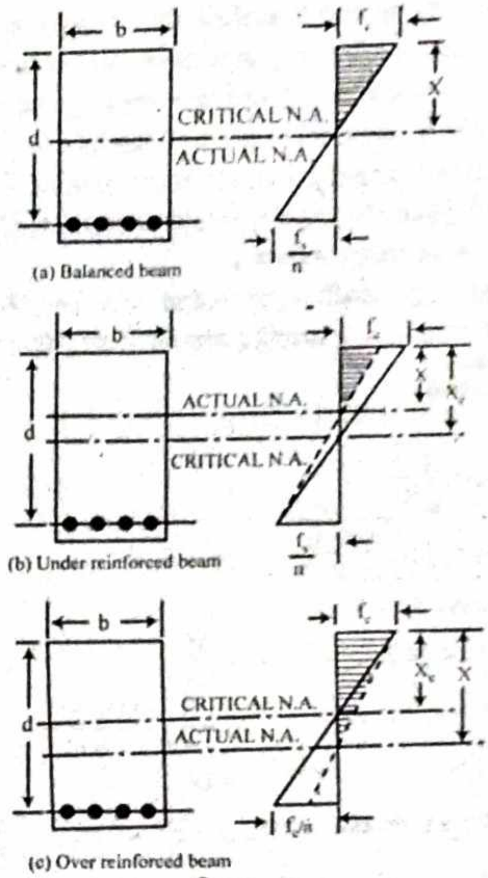
১। কংক্রিটের পূর্ণ পীড়নের পূর্বেই বিম ব্যর্থ হয়।
২। সেকশন বেশি হওয়ার সৌন্দর্য নষ্ট হয়।

Scanned with AnyScanner

(গ) ওভার রিইনফোর্সড বিম (Over reinforced beam) ঃ যে বিমে চাপ এলাকার কংক্রিটের ক্ষেত্রফল এবং টান এলাকার স্টিলের ক্ষেত্রফলের পরিমাণ এমনভাবে ডিজাইন করা হয়, যাতে বিমের উপর লোড প্রয়োগ করলে স্টিলের সর্বোচ্চ বা গ্রহণযোগ্য টান পীড়ন সৃষ্টি হওয়ার পূর্বেই কংক্রিটে সর্বোচ্চ বা গ্রহণযোগ্য চাপ পীড়নের সৃষ্টি হয়, এরূপ বিমকে ওভার রিইনফোর্সড বিম বলা হয়। অর্থাৎ আরসিসি বিমে সুষম ডিজাইনের তুলনায় যদি বেশি পরিমাণ রিইনফোর্সমেন্ট ব্যবহার করা হয়, তবে তাকে ওভার রিইনফোর্সড বিম বলে। একে আনব্যালেন্সড বিমও বলে।

এরূপ বিমের রেজিস্টিং মোমেন্ট কংক্রিটের চাপ পীড়ন এবং ক্ষেত্রফল এর উপর নির্ভরশীল। একে আন-ইকোনোমিক সেকশন বলে। কারণ এক্ষেত্রেও বিমে ব্যবহৃত স্টিল চাপ পীড়ন প্রতিরোধের জন্য পুরোপুরি ব্যবহৃত হয় না।

এ জাতীয় বিমের ব্যর্থতা কংক্রিটের দুর্বলতার কারণে সংঘটিত হয়। তাই এ ধরনের বিম ব্যর্থ হওয়ার পূর্বে কংক্রিট ভঙ্গুর (Brittle) বলে। কোনোরূপ সতর্কতামূলক নির্দেশনা ব্যতিরেকে হঠাৎ করে এবং বিকট শব্দে ব্যর্থতা সংঘটিত হয়। এ জাতীয় বিমে স্টিলের পরিমাণ বেশি লাগে বলে এটা তুলনামূলকভাবে অধিক ব্যয়সাপেক্ষ। বাস্তবে এ ধরনের বিম সাধারণত পরিহার করা হয়।



চিত্র ঃ ৩.৯

ওভার রিইফোর্সড বিম ঃ

সুবিধা ঃ

১। তুলনামূলক ছোট কংক্রিটের সেকশন পাওয়া যায়।

২। কক্ষের উচ্চতা বেশি পাওয়া যায়, তাই সৌন্দর্য বৃদ্ধি পায়।

অসুবিধা ঃ

১। খরচ বেশি কারণ স্টিলের পরিমাণ বেশি লাগে।

২। কংক্রিট ব্যর্থ হয়, তাই সতর্কতামূলক ব্যবস্থা নেয়া যায় না।

৩। এ বিমের প্রচলন কম।

উপরের চিত্রে সুষম বিম, আন্ডার ও ওভার রিইনফোর্সড বিমের নিরপেক্ষ অক্ষের (Neutral Axis) অবস্থান দেখানো হলো।

আন্ডার রিইনফোর্সড বিমে (চিত্র-b) লোড প্রয়োগ করা হলে কংক্রিটের চেয়ে স্টিলে বেশি পীড়ন উৎপন্ন হয় বলে পীড়ন ডায়াগ্রামে প্রকৃত নিরপেক্ষ অক্ষ, চাপ এলাকায় প্রবেশ করে। চিত্রে প্রকৃত নিরপেক্ষ অক্ষ (Actual N.A.) এবং ক্রিটিক্যাল নিরপেক্ষ অক্ষ (Critical N.A.) হিসাবে দেখানো হয়েছে।

অপরদিকে, ওভার রিইনফোর্সড বিমের ক্ষেত্রে (চিত্র-c) স্টিলের চেয়ে কংক্রিটে বেশি পীড়ন উৎপন্ন হয় বলে পীড়ন ডায়াগ্রামে প্রকৃত নিরপেক্ষ অক্ষ টান এলাকায় প্রবেশ করে।

৩.৬ আরসিসি বিমে আন্ডার রিইনফোর্সমেন্ট এবং ওভার রিইনফোর্সমেন্টের প্রভাব (Effect of under reinforcement and over reinforcement in RCC beams) ঃ

বিমের ব্যর্থতা তিনভাবে সংঘটিত হতে পারে, যেমন–

(ক) টানজনিত ব্যর্থতা (Tension failure)

(খ) চাপজনিত ব্যর্থতা (Compression failure)

(গ) শিয়ারজনিত ব্যর্থতা (Shear failure)।

Scanned with AnyScanner

আন্ডার রিইনফোর্সমেন্ট আরসিসি বিম কম্প্রেশন কংক্রিট অপেক্ষা টেনশন স্টিলে দুর্বল অর্থাৎ বিমের ব্যর্থতা টেনশন স্টি দুর্বলতার কারণে সংঘটিত হয়, একে টেনশন ব্যর্থতা বলে। তবে স্টিল নমনীয় (Ductile) পদার্থ বলে ব্যর্থতা হঠাৎ করে সংঘ হয় না। বরং বিম ব্যর্থ হওয়ার পূর্বে ঝুলে পড়ার মাধ্যমে অর্থাৎ ধীরে ধীরে সংঘটিত হয় বলে পর্যাপ্ত সতর্কতামূলক ব্যবস্থা গ্রহণ যায়। অপরদিকে, ওভার রিইনফোর্সমেন্ট আরসিসি বিম কম্প্রেশন কংক্রিট অপেক্ষা টেনশন স্টিলে অধিক শক্তিশালী অর্থাৎ বি ব্যর্থতা কম্প্রেশন কংক্রিটের দুর্বলতার কারণে সংঘটিত হয়, একে চাপজনিত ব্যর্থতা বলে। কংক্রিট ভঙ্গুর (Brittle) বলে বিম হওয়ার পূর্বে তেমন কোনোরূপ সতর্কতামূলক নির্দেশনা প্রদান করে না বরং বিস্ফোরণের ন্যায় হঠাৎ করে বিকট শব্দে ব্যর্থ হয়।

সুষম বিমের সমস্যা সমাধান :

উদাহরণ-২৪। একটি বিমের সর্বোচ্চ বেন্ডিং মোমেন্ট =1035000 kg-cm এবং f_s = 1400 কেজি/বর্গ সেমি, সর্বোচ্চ f_c = 9 কেজি/ বর্গ সেমি, n = 9. তথ্যাদির সাহায্যে বিমটি রেইনফোর্সমেন্টের ক্ষেত্রে ব্যালেন্স কিনা দেখাও।

সমাধান :

$$k = \frac{n}{n + \frac{f_s}{f_c}} = \frac{9}{9 + \frac{1400}{94.5}} = 0.378$$

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 0.874$$

$$R = \frac{1}{2} f_c jk = \frac{1}{2} \times 94.5 \times 0.874 \times 0.378 = 15.61$$

মনে করি, বিমের প্রস্থ b = 25 cm

আমরা জানি, কার্যকরি গভীরতা,

$$\therefore d = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{1035000}{15.61 \times 25}} = 51.50 \approx 52 \text{ cm}$$

বেন্ডিং মোমেন্ট অনুযায়ী, $A_s = \frac{M}{f_s jd} = \frac{1035000}{1400 \times 0.874 \times 52} = 16.27 \text{ cm}^2$

বিমটি সুষম বিবেচনা করলে, $\rho = \frac{kf_c}{2f_s} = \frac{0.378 \times 94.5}{2 \times 1400} = 0.01276$

সুতরাং $A_s = \rho bd = 0.01276 \times 25 \times 52 = 16.59 \text{ cm}^2$

এক্ষেত্রে উভয় সূত্র প্রয়োগ করে রডের ক্ষেত্রফল প্রায় একই পাওয়া গেল। এখন যদি ছোট স্প্যানবিশিষ্ট বিমের সর্বোচ্চ মোমেন্ট = 345000 কেজি/সেমি হয় এবং বিমের আকার একই রাখতে হয়, তবে $A_s = \rho bd$ অনুযায়ী রডের ক্ষেত্রফল পাওয়া যা 16.59 বর্গ সেমি। কিন্তু বেন্ডিং মোমেন্ট অনুযায়ী রডের ক্ষেত্রফল পাওয়া যাবে,

$$A_s = \frac{M}{f_s jd} = \frac{345000}{1400 \times 0.874 \times 52} = 5.42 \text{ cm}^2$$

এখন উক্ত বিমে 5.42 বর্গ সেমি ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট রড ব্যবহার করলে অবশ্যই f_s এর মান 1400 কেজি/ বর্গ সেমি আসবে টান বলের পরিমাণ = 5.42 × 1400 = 7588 কেজি।

উপর থেকে নিরপেক্ষ অক্ষের দূরত্ব, kd = 0.378 × 52 = 19.66 cm এবং চাপ এলাকার ক্ষেত্রফল = b × kd = 25 × 19. 491.5 cm^2

গড় চাপ পীড়ন $= \frac{f_c}{2}$ হলে, $C = T = b \times kd \times \frac{f_c}{2}$

$$7588 = \frac{f_c}{2} \times 491.5$$

$$\therefore f_c = \frac{2 \times 7588}{491.5} = 30.88 \text{ kg/cm}^2$$

এখানে দেখা যাচ্ছে, চাপ পীড়নের মান 94.5 কেজি/বর্গ সেমি অপেক্ষা অনেক কম এসেছে অর্থাৎ কংক্রিটের পূর্ণ চাপ ঘটে নি। কাজেই একে সুষম বিম বলা যেতে পারে না। এ ধরনের বিমকে আন্ডার রিইনফোর্সড বিম বলে। অপরদিকে, রডের অনুমোদনযোগ্য পীড়নের চেয়ে কম পীড়ন আসলে তাকে বলে ওভার রিইনফোর্সড বিম।

Scanned with AnyScanner