GOVERNMENT TECHNICAL INSTITUTE

THEOREY OF STRUCTURE

SECOND YEAR CIVIL ENGINEERING

MONYWA

G.T.I

Theory of structure

မြို့ပြအင်ဂျင်နီယာ ဒုတိယနှစ်သင်ရိုးတွင် သစ်သားနှင့်၄င်း၊ သံမဏိဖြင့်၄င်း ပြုလုပ်သောအဆောက်အအုံရှိ Member အစိတ်အပိုင်းများဖြစ်သော ယက္ကမများ ၊ ထောက်ကျားများ ၊ ဘိုင်များ ၊ အစရှိသောအစိတ်အပိုင်းများ၏ rivet များနှင့် ဆက်သွယ်မှု ၊ ဘောင်ဖွဲ့မှုများနှင့် ဒဏ် ၊ ဒဏ်အား ယန်း၏ကိန်းသေကွေးညွှတ်မှုကိန်းများ ၊ လျှောပြတ်အားများ၏ အခြေခံနှင့် ၄င်းတို့၏ အခြေအနေကို ပုံဖော်၍ပြခြင်းနှင့် ဒဏ်အားတို့ကို ပုံဖော်ပြခြင်းများပါဝင်သည် ။

အပိုင်းကြီးအားဖြင့် (၇) ပိုင်း ခွဲခြားထားသည်။

(၁) Important Definitions

Loads ဝန် (အလေးချိန်)

အဆောက်အအုံ၏ အစိတ်အပိုင်း၌ သက်ရောက်နေသောဝန်ချိန် သို့မဟုတ် အလေးကို Load ဝန်ဟုခေါ်သည်။

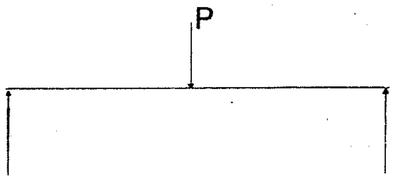
(a) Dead load ဝန်သေ

အမြဲတည်ရှိသော ဝန်ကိုခေါ်သည်။ ၄င်းသည် မရွှေ့ပြောင်းနိုင်သော ဝန်ဖြစ်၍ တွက်ချက်လိုသော Member ၏ ပင်ကိုအလေးနှင့် ၄င်းအပေါ်ကျရောက်မည့် အမိုး ၊ ကြမ်းခင်း ၊ နံရံ စသော အဆောက်အအုံ၏ အခြား အစိတ်အပိုင်းများ၏ အလေးဝန်များ ပါဝင်လေသည်။

(b) Live load ဝန်ရှင်

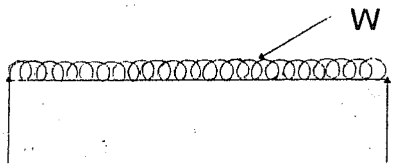
၄င်းသည် အမြဲတန်းမတည်ရှိသော ဝန်ဖြစ်သည်။ ရွှေ့ပြောင်းနိုင်သော ဝန်ဖြစ်သည့် စားပွဲ ၊ ကုလားထိုင် စသော အိမ်ထောင် ပရိဘောဂများ ၊ လူများ စသည်တို့၏ အလေးဝန်များဖြစ်သည်။

(c) Concentrated Load စုဝန်



အမှတ်တခုပေါ်သို့ စူးစိုက်သက်ရောက်သော အလေးဝန်ကို Concentrated Load or Point Load ဟုခေါ်သည်။

(d) Uniformly Distributed Load (U.D.L) ပြန့်ဝန်



ယက္က၏အလျားတလျှောက်ပေါ်တွင် ပြန့်နှံ့သက်ရောက်လျက်ရှိသောဝန်ကို Distributed Load ဟုခေါ်၏။ အကယ်၍ Unit Length ပေါ်သို့ပြန့်နှံ့၍သက်ရောက်သောအလေးဝန်များတူညီပါ ၄င်းကို Uniformly Distributed Load ဟုခေါ်သည်။

Stress ဒဏ်အား (f)

Member တခုပေါ်သို့ အလေးဝန်ကိုသက်ရောက်စေခြင်းဖြင့် ၄င်း Member အတွင်းမှ အဆိုပါဝန်ကို ပြန်လည်ခုခံ ထမ်းဆောင်နိုင်ရန်အတွက် ဖြစ်ပေါ်လာသော အတွင်းခုခံအားကို Stress ဟုခေါ်သည်။ Stress ဟုခေါ်ဆိုရာ၌ Member တခုလုံးပေါ်သို့သက်ရောက်လျက်ရှိသော အလေးဝန်အားလုံးကို ဆိုလိုခြင်းမဟုတ်ဘဲ Unit Area ပေါ်တွင် ကျရောက်မည့် အလေးဝန်ကိုသာ ခေါ်ဆိုခြင်းဖြစ်၍ ၄င်းကို Intensity of stress အဖြစ်ယူဆရလေသည်။

ဥပမာ - ပေါင် 500 အလေးဝန်တစ်ခုသည် ကန့်လန့်ဖြတ်ဧရိယာ 10 sq-in ရှိသော member တခုပေါ်သို့ သက်ရောက်စေခြင်းဖြင့်

10 sq-in တွင် အလေးဝန် 500 lbs သက်ရောက်၍

1 sq-in ———————— ? $500 \times \frac{1}{10} = 50 \text{ lbs/in}^2$ ဖြစ်လေသည်။

Stress or Intensity of stress = 50 lb/in² ဖြစ်လေသည်။

အကယ်၍

f = stress or Intensity of stress in lbs/in²

p = Loads in pounds

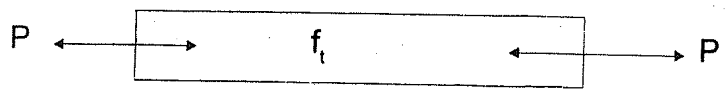
A = Cross sectional area in in² ဖြစ်ပါက

$$f = \frac{P}{A} \text{ lbs/in}^2$$ ဖြစ်လေသည်။

Kinds of stresses

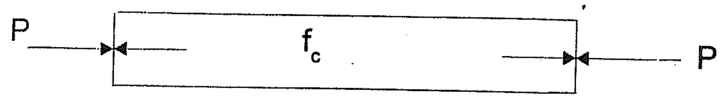
(a) Tensile stress - (f_t)

အားတခုသည် အရာဝတ္ထု တခုပေါ်သို့ သက်ရောက်၍ ထိုအရာဝတ္ထုအားဆွဲဆန့်ခြင်းဖြင့် ထိုအရာဝတ္ထု အတွင်းမှ ပြန်လည်ခုခံရန်အတွက် ဖြစ်ပေါ်လာသော အတွင်းခုခံအားကို **tensile stress** ဟုခေါ်လေသည်။



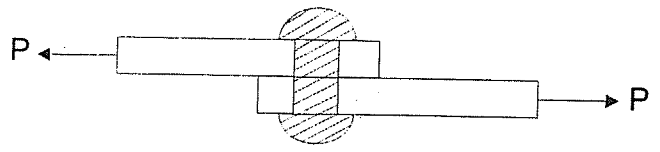
(b) Compressive stress - (f_c)

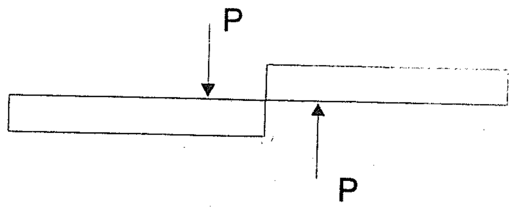
အရာဝတ္ထုတခုကို တိုဝင်သွားစေရန် တွန်းဖိခြင်းဖြင့် အရာဝတ္ထုအတွင်းမှ ပြန်လည်ခုခံရန်အတွက် ဖြစ်ပေါ်လာသော အတွင်းခုခံအားကို **Compressive stress** ဟုခေါ်လေသည်။



(c) Shearing stress - (f_s)

အရာဝတ္ထုတခုပေါ်သို့ တတန်းတည်းမဟုတ်သော မျက်နှာခြင်းဆိုင်အားနှစ်ခု သက်ရောက်စေခြင်းဖြင့် လျှောပြတ်ခြင်းကို ကာကွယ်ရန်ဖြစ်ပေါ်လာသော အတွင်းခုခံအားကို **shearing stress** ဟုခေါ်လေသည်။



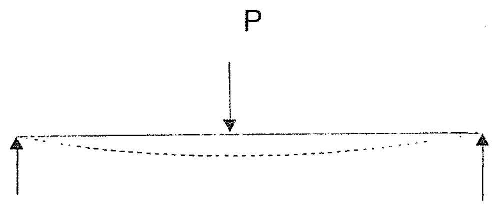


(d) Torsional stress

အလုံးရှည်တန်တခု၏ အဖျားတခုကို တုတ်နှောင်၍ အခြားအဖျားကို couple တစုံဖြင့်လိမ်လျှင် အတံ၏ဖြတ်ပုံများသည် တခုပေါ်တခု အနည်းငယ်ရွေ့သွားကာလည်၏။မလိမ်မီက အတံ၏နဘေးတွင် မျဉ်းဖြောင့်တကြောင်းကိုဆွဲထားလျှင် လိမ်သောအခါမျဉ်းဖြောင့်သည် ကြောင်လိမ်မျဉ်းကဲ့သို့ ကောက်သွား၏။ ထို့နည်းအတူ မူလဖြောင့်နေသောအမျှင်များသည်လည်း ကောက်သွားလိမ့်မည်။ ဖြတ်ပုံတွင် လျောပြတ်ဒဏ်အားပေါ်ပေါက်၍ လိမ်ကိန်းက ရပ်ခံသည်။ ထိုအခါဖြစ်ပေါ်လာသော အတွင်းခုခံအားကို Torsional stress ဟုခေါ်သည်။

(e) Bending stress

အလေးဝန်တခုသည် အရာဝတ္ထု တခုပေါ်သို့ သက်ရောက်၍ ၄င်းအရာဝတ္ထုအားကွေးညွှတ်အောင် ဖန်တီးသောအခါ ထိုသို့မဖြစ်ပေါ်စေရန် ခုခံသော အတွင်းအားကို Bending stress ဟုခေါ်လေသည်။



Working , Examples

Ex 1. 3 " x 4" ရှိသော သစ်သားချောင်းတချောင်း၏ stress သည် 50 lbs/in^2 ရှိသော် ၄င်းထမ်းဆောင်နိုင်သော ဝန်ချိန်ကိုရှာပါ။

သစ်သား၏ ဧရိယာ A = 3 x 4 = 12 sq-in

သစ်သား၏ stress f = 50 lbs/in^2

ထမ်းဆောင်နိုင်သောဝန် P = ?

$$f = \frac{p}{A}$$

$$P = f \times A$$

$$= \frac{500 \text{ lbs}}{\text{in}^2} \times 12 \text{ in}^2 = 600 \text{ lbs}$$

လေ့ကျင့်ရန် ပုစ္ဆာများ

၁။ Tensile Load 2400 lbs ကို ခံနိုင်ရန်အတွက် steel Rod ၏ Cross sectional Area ကိုရှာပါ။ steel ၏ working stress မှာ 12000 lbs/in^2 ဖြစ်သည်။

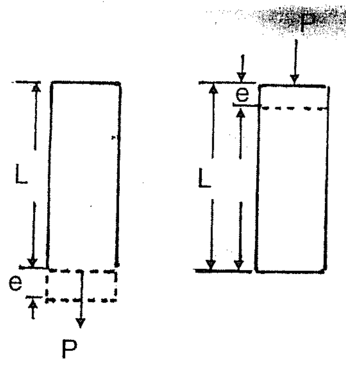
၂။ Compressive Load 98800 lbs ကိုထမ်းဆောင်နိုင်ရန်အတွက် cast iron short bar တခု၏ Diameter ကိုရှာပါ။ cast iron ၏ f = 4000 lbs/in^2

၃။ အလေးဝန် 17900 lbs ကိုထမ်းဆောင်ရမည့် သံကူကွန်ကရစ်တိုင်တတိုင်၏ စတုရန်း footing အနားများကို မည်မျှထားရှိရမည်နည်း။ Foundation bed ၏ Allowance stress မှာ ½ ton/in^2 ဖြစ်သည်။

၄။ Hollow cast iron တိုင်တိုတချောင်း၏ အပြင်အချင်းမှာ 10" ဖြစ်၍ အထူမှာ 1" ဖြစ်သည်။ အကယ်၍ f_c = 4000 lbs/ in^2 ဖြစ်လျှင် ၄င်းတိုင်သည် ဝန်မည်မျှကိုထမ်းဆောင်နိုင်မည်နည်း။

Modulus of Elasticity

(a) <u>Strain</u> - ပြင်ပအားတခုကြောင့် အရာဝတ္ထုတစ်ခု၏ ပုံသဏ္ဍာန်ပြောင်းလဲမှုကို Strain ဟုခေါ်သည်။



L = Original length
e = Length of deformation

$$\text{strain} = \frac{e}{L}$$

(b) <u>Elasticity</u> - အရာဝတ္ထုတခုအား အားတခု သက်ရောက်စေခြင်းဖြင့် ၎င်း၏ ပုံပြောင်းလဲသွားသော်လည်း ထိုအားကိုဖယ်ရှားလိုက်သောအခါ မူလပုံသဏ္ဍာန်အတိုင်း အတိအကျပြန်လည်ဖြစ်ပေါ်နိုင်သော သတ္တိကို Elasticity ဟုခေါ်ပါသည်။

(c) <u>Hooke ' s Law</u> - မည်သည့်အရာဝတ္ထုမဆို Elastic အခြေအနေတွင် တည်ရှိပါက stress နှင့် strain တို့သည်အချိုးကျသည်။ ညီမျှခြင်းရေးပါက

$$\text{Stress} \; \alpha \; \text{Strain}$$

$$\text{Stress} = \text{Strain} \times \text{constant} \; (E)$$

$$\text{constant } E = \frac{\text{stress}}{\text{strain}} \quad lbs/in^2 \quad \text{or} \quad tons/in^2$$

E စာလုံးကို Young ' s Modulus ဟုသတ်မှတ်သည်။

(d) <u>Elastic Limit</u> - အရာဝတ္ထု တခုသည် ဖိနှိပ်ခြင်း (သို့) ဆွဲဆန့်ခြင်း ခံနေရပါက တိုသွားခြင်း (သို့) ရှည်ထွက်လာခြင်း ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။ ထိုအားများကို ဖယ်ရှားပါက နဂိုမူလပုံအတိုင်း ပြန်ဖြစ်နိုင်ခြင်းသည် Limit တခု အတွင်း၌ သာဖြစ်နိုင်၍ ထို Limit ထက်ကျော်သွားပါက နဂိုပုံသဏ္ဍာန်သို့ ပြန်၍ မဖြစ်နိုင်တော့ပေ ထို Limit ကို Elastic Limit ဟုခေါ်သည်။

(e) <u>Yield Point</u> - Elastic Limit ထက်ကျော်လွန်သောအခါ stress နှင့် strain တို့သည် အချိုးမကျတော့ဘဲ strain ပိုများလာသော အမှတ်တနေရာကို Yield Point ဟုခေါ်သည်။

(f) <u>Ultimate strength</u> - ဝတ္ထု ပစ္စည်း တခုပေါ်သို့ အလေးဝန်ကို တိုး၍တင်ပေးခြင်းဖြင့် ၎င်းဝတ္ထု ပစ္စည်းသည် နောက်ဆုံး၌ ကျေမွ ပျက်စီးသွားပေမည်။ ထိုသို့ ပျက်စီးခြင်းအချိန်မရောက်မီ အချိန်အတွင်း အများဆုံးခံနိုင်ရည် ရှိသောအားကို Ultimate strength ဟုခေါ်၍ ထိုအချိန်တွင်ရှိသော အတွင်းခုခံမှု အားကို Ultimate stress ဟုခေါ်သည်။

(g) <u>Young's Modulus or Modulus of Elasticity</u> " E "

၎င်းသည် stress နှင့် strain တို့အချိုးဖြစ်၍ ဝတ္ထုပစ္စည်းတို့၏ ခိုင်ခန့်မှုကို (Degree of stiff-ness) ကိုဖေါ်ပြသော ကိန်းတခု ဖြစ်လေသည်။

$$E = \frac{\text{stress}}{\text{strain}}$$

$$E = \frac{pL}{Ae}$$

Where

E = Modulus of Elasticity in lbs/ sq-in

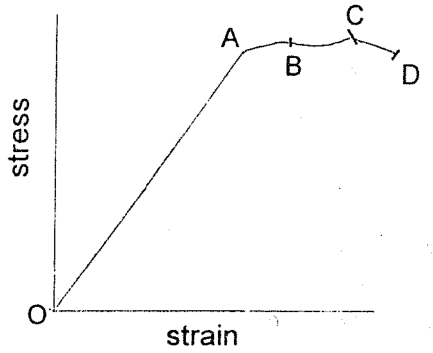
p = Load in lbs

L = Original Length in inches

e = Length of deformations in in.

A = Cross sectional area in in^2

Tensile Test of Mild steel



အရာဝတ္ထုတခုသည် ဖိနှိပ်ခြင်း (သို့) ဆွဲဆန့်ခြင်း ခံနေရပါက တိုသွားခြင်း (သို့) ရှည်ထွက်လာခြင်းများ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။ ဤကဲ့သို့ဖြစ်ပေါ်လာခြင်းသည် Limit အတွင်း၌သာ ဖြစ်နိုင်သည်။ ထိုသို့မဟုတ်ပါက နဂိုပုံသဏ္ဍာန်သို့ ပြန်၍ဖြစ်ပေါ်နိုင်တော့မည် မဟုတ်ပေ။ အရာဝတ္ထုတခုသည် ဝန်ချိန်အလေးကြောင့် ပုံသဏ္ဍာန် ပြောင်းလဲ၍ ဝန်ချိန်အလေးဖယ်ရှားလိုက်သောအခါ နဂိုပုံသဏ္ဍာန်သို့ပြန်ဖြစ်သွားပါက Elastic ဖြစ်သည်ဟု ဆိုပါသည်။ နဂိုပုံသဏ္ဍာန်ပြန်မရောက်ပါက Elastic Limit ထက်ကျော်သွား၍ဖြစ်သည်။

အထက်ပါပုံသည် Mild steel သံချောင်းကို Testing machine တွင်ထည့်၍စမ်းသပ်ရာ၌ ရရှိသောအချက်အလက်များကို ပုံထုတ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ O မှ A အပိုင်းတွင် stress နှင့် strain တို့သည် Proportion မျှတမှုရှိသည်။ A ကိုကျော်လွန်လျှင် ကျော်ခြင်း strain သည် stress ထက်တိုး၍နောက်ဆုံး B နေရာရောက်သည်ထိ တိုးသွားမည်။ " B " အမှတ်နေရာကို Yield point ဟုခေါ်သည်။ Yield point ထက်ကျော်လွန်သော်လည်း strain သည် တိုးမြဲတိုးလာ၍ C နေရာရောက်သောအခါ stress သည်အမြင့်ဆုံးရောက်ခြင်းဖြစ်သည်။ ၎င်းကို Ultimate stress ဟုခေါ်၍ strain သည်တိုးမြဲတိုး၍ D တွင်သံချောင်း ပြတ်သွား၍ ၎င်းကို Fractured point ဟုခေါ်သည်။

Working or permissable stresses:-

Design ပြုလုပ်ရာ၌ အများဆုံးအသုံးပြုနိုင်ရန် သတ်မှတ်ထားသော stress ကိုဆိုသည်။ ၎င်း stress ထက်ကျော်လွန်ပါက ပျက်စီးခြင်းမရှိသော်လည်း လုံ ခြုံမှုမရှိချေ။

Factor of safety or safety factor

Ultimate stress နှင့် Working stress တို့၏အချိုးကို Factor of safety ဟုခေါ်သည်။

$$\text{Factor of safety} = \frac{\text{Ultimate stress}}{\text{Working stress}}$$

Ultimate stress တန်ဘိုးသည် Working stress တန်ဘိုးထက် အမြဲများသဖြင့် F.S တန်ဘိုးသည် 1 ထက်ကြီးသည်။

Example

1. Mild steel သံနမူနာတခုကို Tensile Test လုပ်၍ စမ်းသပ်ကြည့်ရာ အများဆုံးခံနိုင်သောဝန်ချိန်သည် 15.75 tons ဖြစ်၏။ သံချောင်း၏ sectional area မှာ 0.5 sq-in ရှိသည်။ ၎င်းနမူနာသံမျိုးကို Factor of safety 3.5 ထားရှိသော် ၎င်းသံ၏ Working stress ကိုရှာပါ။

သံနမူနာ၏ ဧရိယာ $A = 0.5\ in^2$

Ultimate Load $P = 15.75$ tons

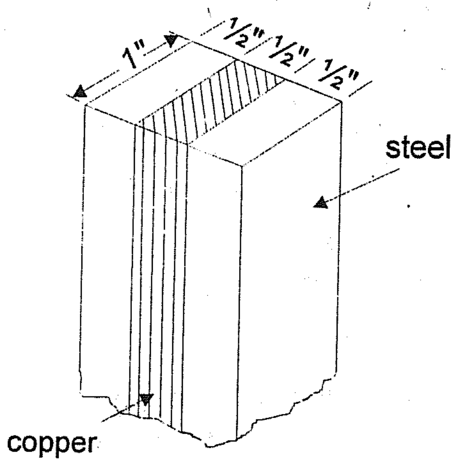
Factor of safety = 3.5

$$\text{Ultimate stress} = \frac{\text{Ultimate Load}}{\text{Area}} = \frac{15.75 \text{ tons}}{0.5 \text{ in}^2} = 31.5 \text{ tons/in}^2$$

$$\text{Working stress} = \frac{\text{Ultimate stress}}{\text{Factor of safety}} = \frac{31.5}{3.5} = 9 \text{ tons/in}^2$$

Ans:- Working stress = 9 tons/in²

Ex. 2 1" x ½" ရှိသော သံပြား ၂ ပြား၏ကြားတွင် 1" x ½" ရှိသော ကြေးနီပြားတပြားကို ညှပ်၍ Testing machine တွင် ဝန်ချိန် 2000 lbs ဖိအားဖြင့်စမ်းသပ်၏။ $E_s = 30 \times 10^6$ lbs/in², $E_c = 20 \times 10^6$ lbs/in² ပေးထားလျှင် steel နှင့် copper တို့၏ stress အသီးသီးကိုရှာပါ။ အကယ်၍ ၎င်းတို့၏အရှည်သည် 8 in စီဖြစ်ကမည်မျှတိုဝင်သွားမည်နည်း။



သံပြားနှင့်ကြေးနီပြားတို့ အတူဖိနှိပ်ကြ၍ ၎င်းတို့၏ တိုဝင်မှုခြင်း တူညီကြမည်။

မူလအလျားခြင်း တူညီပြီး တိုဝင်မှုခြင်းတူညီမည်ဖြစ်၍ strain ခြင်း တူညီသည်။

steel ၏ strain = copper ၏ strain

steel ၏ strain $= \dfrac{f_s}{E_s}$

copper ၏ strain $= \dfrac{f_c}{E_c}$

$$\frac{f_s}{E_s} = \frac{f_c}{E_c}$$

$$f_s = \frac{f_c \times E_s}{E_c}$$

$$f_s = \frac{f_c \times 30 \times 10^6}{20 \times 10^6} \qquad \text{——— I}$$

$$f_s = 1.5\ f_c$$

သက်ရောက်သောဝန်ကို သံပြားနှင့်ကြေးနီပြားတို့ မိမိတို့ ထမ်းဆောင်နိုင်သော စွမ်းအင် အလိုက် ထမ်းဆောင်ရမည်ဖြစ်သည်။

steel ၏ ထမ်းဆောင်နိုင်သောဝန် $P_s = f_s \times A_s$

$= f_s \times 1 \times ½$

၂ ပြားထမ်းဆောင်သောဝန် $= 2 \times ½ \times f_s = f_s$

copper ၏ ထမ်းဆောင်နိုင်သောဝန် $P_c = f_c \times A_c$

$= f_c \times 1 \times ½ = \dfrac{f_c}{2}$

$$P = 2P_s + P_c$$

$$20000 = f_s + \frac{f_c}{2} \qquad \text{——— II}$$

၎င်းတွင် Eq I ကိုအစားထိုးသော်

$$20000 = 1.5 f_c + 0.5 f_c$$

$$f_c = \frac{20000}{2} = 10000 \text{ psi}$$

$$f_s = 1.5 f_c$$

$$= 1.5 \times 10000 = 15000 \text{ psi}$$

တိုဝင်သွားမည့်အလျား $e = \dfrac{\text{stress} \times L}{E}$

$$= \frac{15000 \times 8}{30 \times 10^6}$$

$$= 40 \times 10^{-4}$$

$$= .004 \text{ in}$$

လေ့ကျင့်ရန်ပုစ္ဆာများ

၁။ 6" ကုဗတုံးပုံ ကွန်ကရစ်တုံးတခုကို compression Test လုပ်ကြည့်ရာ အလေးဝန် 50 tons တွင် ပျက်စီးသွားသည်။ Factor of safety 6 ကိုသတ်မှတ်၍ဝန်ချိန် 23 tons ထမ်းဆောင်နိုင်မည့် တိုင်တိုတချောင်း၏ သင့်လျော်မည့်အရွယ်အစားကို သတ်မှတ်ပေးပါ။

၂။ sectional Area 2 sq-in ရှိသော သံပြားတချောင်းသည် 5 ft အရှည်ရှိ၏။ ဝန်ချိန် 5.2 tons တင်လိုက်သောအခါ ၄င်းသည် 0.012 in ရှည်ထွက်လာ၏။ သံပြား၏ Young's modulus ကိုရှာပါ။

၃။ အဆောက်အအုံတခု၌ Plastered ceiling ကို mild steel rod များဖြင့်ချိတ်ဆွဲထားသည်။ M.S Rod တချောင်းစီသည် ceiling area 56 sq-ft ကို တာဝန်ယူ၍ ထမ်းမထားရ၏။ အကယ်၍ ceiling ပေါ်သို့ကျရောက်သော အလေးဝန်မှာ 200 lbs/ft^2 ဖြစ်ပါက အနည်းဆုံးလိုအပ်မည့် M.S Rod ၏ diameter ကိုရှာပါ။ M.S ၏ Allowable Tensile stress = 12000 lbs/in^2

၄။ အုတ်မြစ်အခြေခံမြေကြီး Foundation bed ၏ bearing power သည် 4 tons/ft ဖြစ်သည်။ တိုင်နှင့်အုတ်ဖိနပ် (Post and Post footing) တို့အလေးမှာ 240,000 lbs ရှိ၍ အုတ်ဖိနပ်ကို စတုရန်းပုံတည်ဆောက်ရန်ဖြစ်သည်။ အုတ်ဖိနပ် အနားတဖက်၏ အလျားကိုရှာပါ။

၅။ 1" ϕ ရှိသော ကြေးနီကြိုးခွေတခုကို ရဟတ်ယာဉ်ပေါ်မှ ဖြေချရာ ကြေးနီ၏ Ultimate stress သည် 30,000 lbs/in^2 ဖြစ်ပြီး Density မှာ 540 lbs/ft^3 ဖြစ်လျှင် ကြေးနီကြိုး အရှည်မည်မျှတွင် အလိုအလျောက် ပြတ်သွားမည်နည်း။

၆။ သံမဏိ၏ Ultimate stress သည် 60,000 psi ဖြစ်ပါက 5 tons အလေးကိုသယ်နိုင်မည့် သံမဏိချောင်း၏ အချင်းကို ရှာပါ။ safety factor ကို 3 ထားပါ။

၇။ ဖြတ်ပိုင်းဧရိယာ 24 sq-in ရှိသော သံကူကွန်ကရစ် တိုင်တလုံးတွင် ကွန်ကရစ်နှင့် steel တို့၏ ဧရိယာများသည် 5 : 1 အတိုင်းရှိသည်။ ၄င်းအပေါ်သို့ အလေးဝန်တခု သက်ရောက်စေခြင်းဖြင့် ကွန်ကရစ်တွင် stress 600 psi ဖြစ်ပေါ်လာသော် (က) steel တွင်ဖြစ်ပေါ်လာသော stress နှင့် (ခ) တိုင်ပေါ်တွင်သက်ရောက်သော အလေးဝန်ပမာဏ တို့ကိုရှာပါ။ $E_s = 30 \times 10^6$ psi , $E_c = 2 \times 10^6$ psi

၈။ ဖြတ်ပိုင်းဧရိယာ 35 sq-in ရှိသော သံကူကွန်ကရစ် တိုင်တလုံးတွင် ကွန်ကရစ်နှင့် သံမဏိတို့၏ ဧရိယာများသည် 6 : 1 အတိုင်းရှိ၏။ ၄င်းတိုင်ပေါ်တွင် အလေးဝန် 48,000 lbs သက်ရောက်စေခြင်းဖြင့် ကွန်ကရစ်နှင့် သံမဏိ တို့တွင်ဖြစ်ပေါ်မည့် stress အသီးသီးကိုရှာပါ။ $E_s = 30 \times 10^6$ psi , $E_c = 2 \times 10^6$ psi

၉။ 10" x 10" ရှိသော သံကူကွန်ကရစ်တိုင်တတိုင်သည် အလေးဝန် 30 tons ကိုထမ်းမထားရသည်။ ၄င်းတိုင်တွင် သံချောင်း ၄ ချောင်း ထည့်သွင်းပြုလုပ်ထား၍ သံချောင်း၏ ဧရိယာစုစုပေါင်းမှာ 4 sq-in ဖြစ်သော် သံနှင့် ကွန်ကရစ် ထမ်းဆောင်ရသော အလေးဝန် အသီးသီးနှင့် stress အသီးသီးကိုရှာပါ။

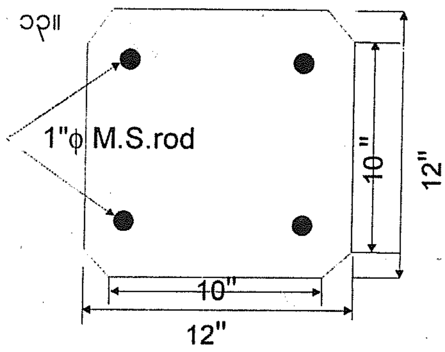
$E_s = 30 \times 10^6$ psi , $E_c = 2 \times 10^6$ psi

၁၀။ 10" x 10" ရှိသောသံကူကွန်ကရစ်တိုင်တတိုင်၏ အရှည်သည် 10 ft ရှိပြီး ၄င်းတွင် $\frac{5}{8}$ "ϕ " သံချောင်း ၄ ချောင်းပါရှိသည်။ အကယ်၍ ကွန်ကရစ်၏ ခွင့်ပြု stress သည် 600 psiဖြစ်လျှင် (က) သံချောင်းတွင်သက်ရောက်နေသော stress (ခ) ၄င်းတိုင်ထမ်းဆောင်နိုင်သော အများဆုံးအလေးဝန် (ဂ) ၄င်းအလေးဝန်ကြောင့် တိုဝင်သွားသောအလျား တို့ကိုရှာပါ။ $E_S = 30 \times 10^6$ psi , $E_c = 2 \times 10^6$ psi

၁၁။ ၆ နားညီ ဆဋ္ဌဂံ သံကူကွန်ကရစ် တိုင်တတိုင်၏ အနားတဘက်မှာ 6½ " ရှိသော်၄င်းတိုင်တွင် $\frac{7}{8}\phi$ သံချောင်း ၆ ချောင်း ထည့်သွင်းပြုလုပ်ထားပြီး အပေါ်မှ အလေးဝန် 96186 lbs သက်ရောက်စေသော် သံချောင်းများနှင့် ကွန်ကရီတွင် ဖြစ်ပေါ်နေမည့် stress အသီးသီးကို ရှာပါ။ $E_s = 30 \times 10^6$ psi , $E_c = 2 \times 10^6$ psi

၁၂။ အတွင်းအချင်း 7" ရှိပြီး အပြင်အချင်း 8" ရှိသော သံမဏိပိုက်တခု အတွင်းသို့ ကွန်ကရစ်ဖြင့် အပြည့်ဖြည့်၍ တိုင်အဖြစ်အသုံးပြုထား၏။ (က) ၄င်းတိုင်ပေါ်သို့ 24 tons အလေးတင်လိုက်ပါက သံမဏိနှင့် ကွန်ကရီတွင်ဖြစ်ပေါ်နေမည့် stress အသီးသီးကို ရှာပေးပါ။ (ခ) တိုင်၏မူလအရှည်သည် 10 ft ဖြစ်ပါက အလေးချိန်အောက်၌ တိုင်မည်မျှတိုဝင် သွားမည်နည်း။ $E_s = 30 \times 10^6$ psi , $E_c = 2 \times 10^6$ psi

၁၃။



ပေးထားသောပုံသည်သံကူကွန်ကရစ်တိုင်တခု၏ဖြတ်ပိုင်းပုံ ဖြစ်၍ ၎င်းတိုင်သည် Axial Load 100,000lbs ကိုထမ်းဆောင်ထားရသည်။ $E_s = 30 \times 10^6$ psi , $E_c = 2 \times 10^6$ psi ဖြစ်ပါက ကွန်ကရိနှင့် သံမဏိတို့တွင်ဖြစ်ပေါ်နေမည့် stress အသီးသီးကို ရှာပါ။ အကယ်၍တိုင်၏အရှည်သည် 12 ft ဖြစ်ပါက မည်မျှတိုဝင်သွားမည်နည်း။

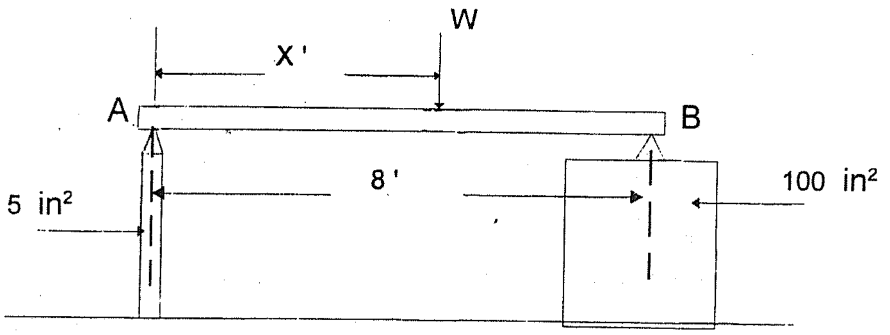
၁၄။ 1½" diameter ရှိသော ကြေးနီချောင်းတချောင်းကို 2½" dia:- ရှိသော သံပြွန်အတွင်းစွတ်ထားသော စပ်တိုင်ပေါ်တွင် အလေးဝန် 10 tons ကိုတင်ထား၏။ ၎င်းတိုင်သည် 12" ရှည်လျှင် (က) ကြေးနီနှင့် သံပြွန်တွင် ဖြစ်ပေါ်သော stress အသီးသီးကိုရှာပါ။ (ခ) ၎င်းတို့၏ တိုဝင်ခြင်းကိုလည်း ရှာပါ။

$E_s = 30 \times 10^6$ psi , $E_c = 2 \times 10^6$ psi

၁၅။ 1" dia:- ရှိသော ကြေးနီတခုနှင့် ¾" dia:- ရှိသော သံမဏိချောင်းတခုတို့သည် အလျား 18" စီ အရှည်ရှိ၍ တခုနှင့်တခု 24" ခြားပြီး မျက်နှာကြက်တခုမှ အောက်သို့ ချိတ်ဆွဲထား၏။ ၎င်းတို့၏ အခြေတွင် ရေပြင်ညီဘောင်တန်းတခုဖြင့် ထိန်းချုပ်ထားပြီး ဘောင်တန်းတွင် အလေးဝန် 2000 lbs ချိတ်ဆွဲရန် ရှိသည်။ မျိုးမတူသတ္တု နှစ်မျိုးကြောင့် ဘောင်တန်း ရေပြင်ညီအတိုင်းရှိစေရန် အလေးဝန်ကို မည်သည့် သတ္တုဘက်မှ အကွာအဝေး မည်မျှတွင် ချိတ်ဆွဲထားရမည် ကိုတွက်ပြပါ။ $E_{cop} = 16 \times 10^6$ psi , $E_s = 29 \times 10^6$ psi

၁၆။ ပုံတွင်ပေးထားသော ယက္မ AB သည် ခန်းပွင့် 8 ft ရှိသော ထောက်မချက် နှစ်ခုပေါ်တွင် ရပ်တည်လျက်ရှိပြီး လက်ဝဲဘက် ထောက်မချက်သည် ဖြတ်ပိုင်းဧရိယာ 5 sq-in ရှိသော သတ်ဖြစ်ပြီး၊ လက်ျာဘက်ထောက်မချက်သည် ဖြတ်ပိုင်းဧရိယာ 100 sq-in ရှိသော ကွန်ကရစ်တိုင်ဖြစ်သည်။ အကယ်၍ အလေးဝန်Wကို ထောက်မချက် A မှ x ft အကွာတွင် တင်လိုက်ခြင်းဖြင့် ကွန်ကရစ်တွင် 100 lbs/in² stress ဖြစ်ပေါ်ပြီး A-B မျက်နှာပြင်မှာလည်း ပြောင်းလဲခြင်းမရှိဘဲ level ဖြစ်နေမည်ဆိုပါက W နှင့် x တို့၏တန်ဘိုးကို ရှာပါ။

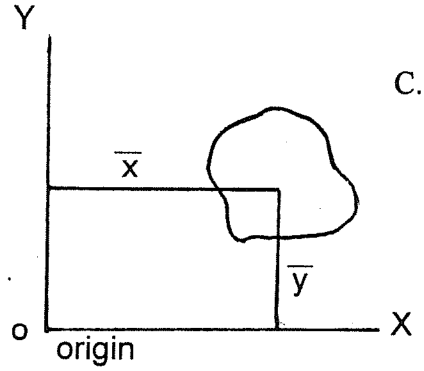
$E_s = 30 \times 10^6$ psi , $E_c = 2 \times 10^6$ psi



Properties of sections

Centre of gravity (C.G)

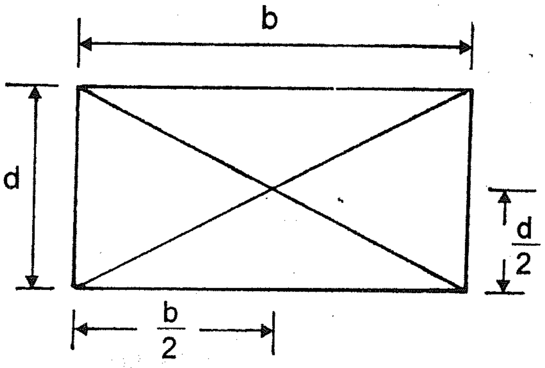
ဝတ္ထုတခု၏ **C.G** ဆိုသည်မှာ အရာဝတ္ထု၏ အလေးချိန်သက်ရောက်ရာ ဟန်ချက်နေရာကို ခေါ်သည်။ ဝတ္ထုတခုကို မည်သည့်အနေအထားတွင် ထားစေကာမူ ၎င်းဝတ္ထု၏ အလေးချိန်သက်ရောက်ရာ လမ်းကြောင်းသည် ၎င်းဝတ္ထု၏ ဟန်ချက်ကို အစဉ်ဖြတ်၍ သွား၏။ **Composite Figure** များတွင်ရှိသော ဟန်ချက်ကို အလွယ်တကူ ဖော်ပြနိုင်ရန် **x axis** နှင့် **y axis** ကိုမှီတည်၍ ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ ၎င်းကို အောက်ဖော်ပြပါ နည်းဖြင့်တွက်ယူနိုင်သည်။



$$C.G = \frac{\text{Summation of individual area} \times \text{individual diatanc}}{\text{Total area}}$$

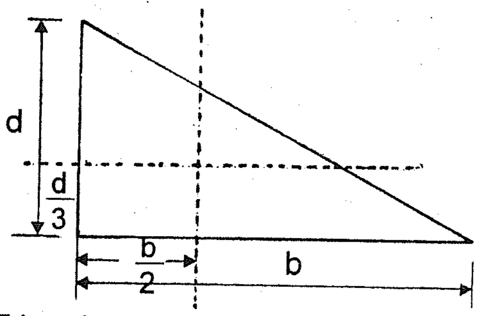
$$= \frac{\sum A\bar{Y}}{\sum A} \quad \text{or} \quad \frac{\sum A\bar{X}}{\sum A}$$

Simple Geometrical Figure များ၏ C.G များ



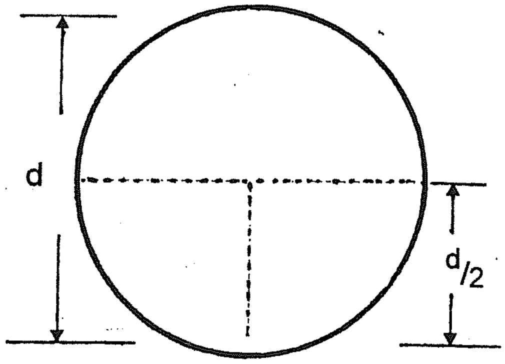
Rectangular

$\bar{x} = \frac{b}{2}$, $\bar{y} = \frac{d}{2}$, $A = bd$



Triangle

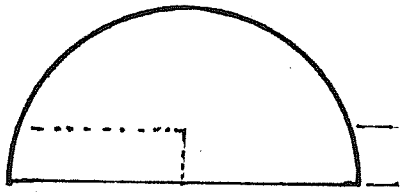
$\bar{x} = \frac{b}{3}$, $\bar{y} = \frac{d}{3}$, $A = \frac{1}{2}\, bd$



circle

$\bar{x} = \bar{y} = \frac{d}{2}$

$A = \frac{\pi\, d^2}{4}$

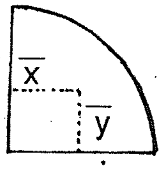


semi-circle

$\bar{x} = \frac{d}{2}$

$\bar{y} = \frac{4\,r}{3\,\pi}$

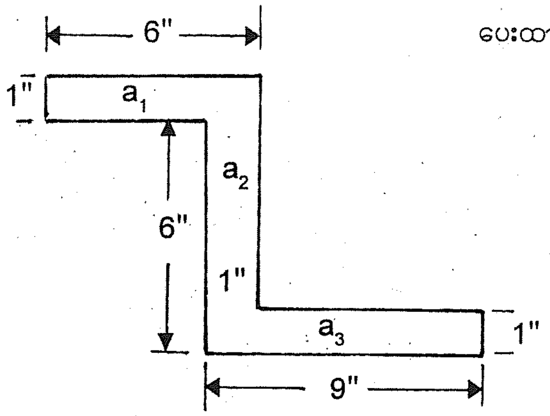
$A = \frac{\pi\, d^2}{8}$



Quardrant

$\bar{x} = \bar{y} = \frac{4\,r}{3\,\pi}$

$A = \frac{\pi\, d^2}{16}$



ပေးထားသော Z section ၏ C.G ကိုရှာပါ။

$a_1 = 6 \times 1 = 6 \ in^2$

$a_2 = 6 \times 1 = 6 \ in^2$

$a_3 = 8 \times 1 = 8 \ in^2$

Total Area $= 20 \ in^2$

$$\bar{x} = \frac{a_1 \times x_1 + a_2 \times x_2 + a_3 \times x_3}{20}$$

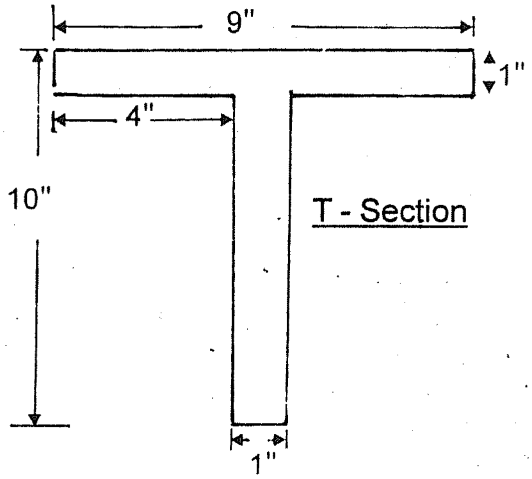
$$\bar{x} = \frac{6\times3+6\times5\frac{1}{2}+8\times10}{20}$$

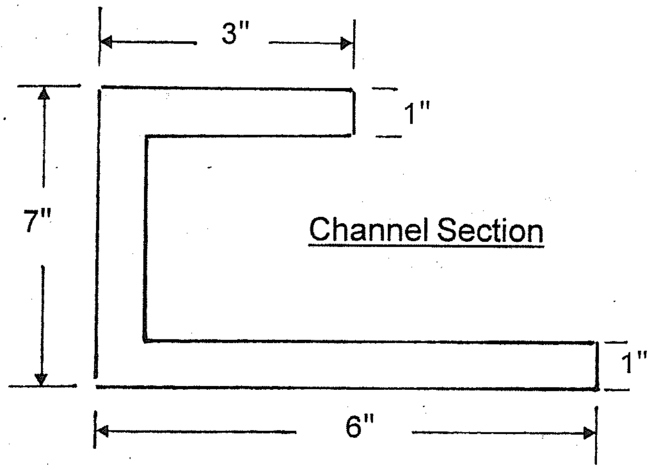
$$\bar{x} = \frac{131}{20} = 6.55 \ inch$$

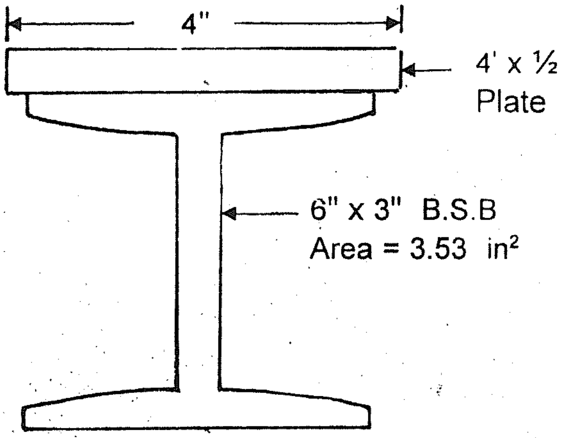
$$\bar{y} = \frac{a_1 \times y_1 + a_2 \times y_2 \times a_3 \times y_3}{20} = \frac{6\times6\frac{1}{2}+6\times3+8\times\frac{1}{2}}{20} = 3.05 \ inch$$

<u>လေကျင့်ရန်ပုစ္ဆာများ</u>

ပေးထားသောပုံများ၏ C.G ကို x-x axis နှင့် y-y axis များမှရှာပါ။





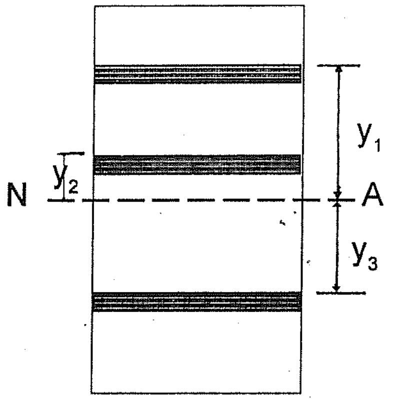


Neutral Axis

အရာဝတ္ထုတခု၏ ဟန်ချက် C.G ကိုဖြတ်၍ ရေပြင်ညီရှိသော ဝန်ရိုးမျဉ်းကို Neutral Axis ဟုခေါ်လေသည်။

Moment of Inertia "I" တည်ငြိမ်ကိန်း or ဒုတိယလည်ကိန်း

မျက်နှာပြင်တခုကို အလွန်သေးငယ်သော ဧရိယာကလေးများဖြစ်လာအောင် ခွဲစိတ်ပြီး ၄င်းဧရိယာကလေးများ နှင့် ၄င်းတို့၏ဟန်ချက်မှ မူတည်မျဉ်းတခုခု၏ အကွာအဝေး ၂ ထပ်ကိန်း အသီးသီးတို့၏ မြှောက်ရကိန်းများပေါင်းခြင်းကို မျက်နှာပြင်၏ တည်ငြိမ်ကိန်းဟုခေါ်သည်။ မူတည်မျဉ်းများကို ရွေးချယ်ရာ၌ များသောအားဖြင့် မျက်နှာပြင်၏ ဟန်ချက်ကို ဖြတ်၍သွားသော မျဉ်းများသာဖြစ်ကြလေသည်။



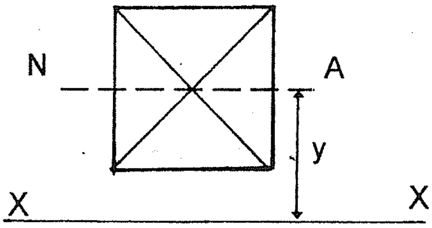
$$NA = \text{Neutral Axis}$$

$$INA = (a_1 \times y_1^2) + (a_2 \times y_2^2) + (a_3 \times y_3^2)$$

$$INA = \sum Ay^2$$

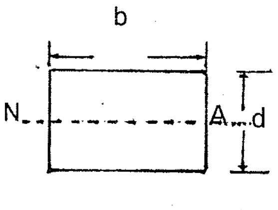
Moment of Inertia တွက်ချက်ရာတွင် အချို့သော နေရာများ၌ပေးထားသောမူတည်မျဉ်းသည်ဟန်ချက်ကို ဖြတ်မသွားဘဲ အခြားနေရာ၌တည်ရှိပါက လိုအပ်သောဧရိယာ တခုခု၏ I NAနှင့်၄င်းဧရိယာ၏ဟန်ချက်နှင့် ပေးထားသောမူတည်မျဉ်း၏ အကွာအဝေး နှစ်ထပ်ကိန်းကို ဧရိယာနှင့် မြှောက်၍ရသောရလဒ်ပေါင်းခြင်းပင်ဖြစ်သည်။

ပုံမှန်ရှိသော ပုံစံများ၏ I NA များ



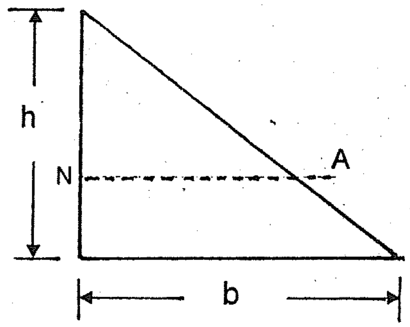
Given Axis

$$I_{xx} = I_{NA} + Ay^2$$



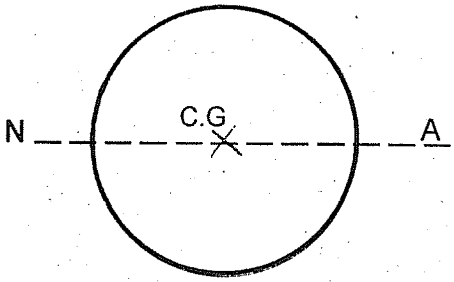
$$I_{NA} = \frac{bd^3}{12}$$

Rectangular



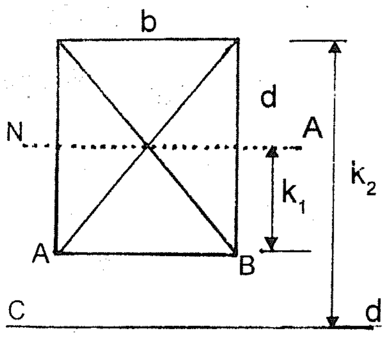
$$I_{NA} = \frac{bh^3}{36}$$

Triangle



$$I_{NA} = \frac{bd^4}{64}$$

Circle

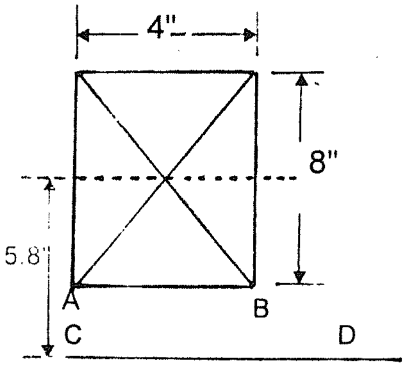


$$I_{NA} \text{ for rectangular } = \frac{bd^3}{12}$$

$$I_{AB} \text{ for rectangular } = \frac{bd^3}{12} + AK_1^2$$

$$I_{CD} \text{ for rectangular } = \frac{bd^3}{12} + AK_2^2$$

<u>Example 1</u> ပေးထားသော Rectangular ပုံယက္ခတခု၏ (က) I_{NA} (ခ) I_{AB} (ဂ) I_{CD} တို့ကိုရှာပါ။ $b = 4"$, $d = 8"$, $K_1 = 4"$, $K_2 = 5.8"$



$$I_{NA} = \frac{bd^3}{12}$$

$$= \frac{4 \times 8^3}{12} = 170.66 \text{ in}^4$$

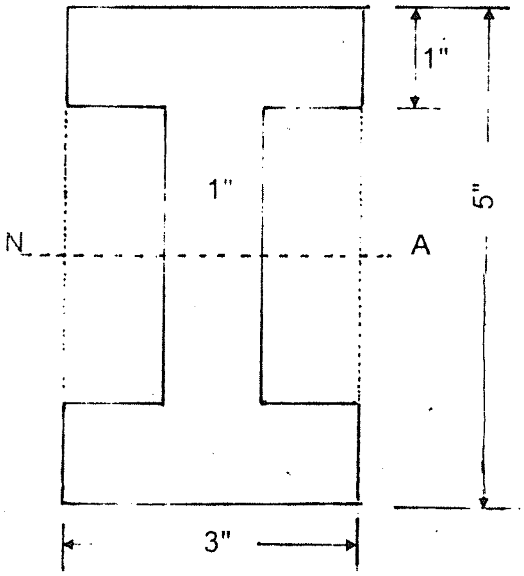
$$I_{AB} = \frac{bd^3}{12} + AK_1^2$$

$$= \frac{4 \times 8^3}{12} + 4 \times 8 \times 4^2 = 683.66 \text{ in}^2$$

$$I_{CD} = \frac{bd^3}{12} + AK_2^2$$

$$= \frac{4 \times 8^3}{12} + 4 \times 8 \times (5.8)^2 = 1247.15 \text{ in}^2$$

<u>Example 2</u> ပေးထားသော Section ၏ I_{NA} ကိုရှာပါ။



$$I_{NA} = \frac{BD^3}{12} - 2\left(\frac{bd^3}{12}\right)$$

$$= \frac{3 \times 5^3}{12} - 2\left(\frac{1 \times 3^3}{12}\right)$$

$$= \frac{375}{12} - \frac{9}{2} = 26.75 \text{ in}^4$$

တနည်း

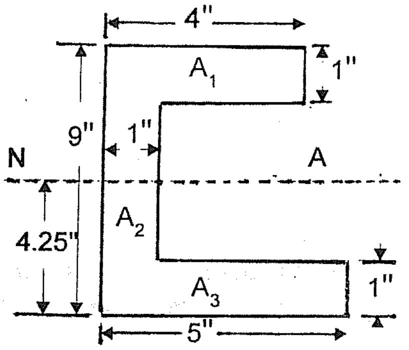
$$I_{NA} = \frac{bd^3}{12} + 2\left(\frac{bd^3}{12} + AK^2\right)$$

$$= \frac{1 \times 3^3}{12} + 2\left(\frac{3 \times 1^3}{12} + 3 \times 1 \times 2 \times 2\right)$$

$$= \frac{9}{4} + 2\left(\frac{1}{4} + 12\right)$$

$$= 2.25 + 24.5 = 26.75 \text{ in}^4$$

Example 3 ပေးထားသော irregular channel ပုံယက္ကတခု၏ I_{NA} ကိုရှာပါ။



ပေးထားသောပုံ၏ $\bar{y} = \dfrac{5 \times 1 \times ½ + 7 \times 1 \times {}^9/_2 + 4 \times 1 \times {}^{17}/_2}{16}$

$= \dfrac{{}^5/_2 + {}^{63}/_2 + {}^{68}/_2}{16}$

$= \dfrac{136}{2 \times 16} = \dfrac{17}{4} = 4.25"$

NA သည်အောက်ခြေမှ 4.25" အကွာတွင်ဖြတ်သွားသည်။

$$I_{NA} \text{ for } A_1 = \frac{bd^3}{12} + A_1K_1^2 = \frac{4 \times 1^3}{12} + 1 \times 4 \times (4.25)^2 = \frac{871}{12} \text{ in}^4$$

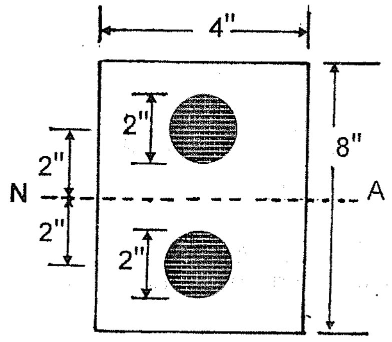
$$I_{NA_2} \text{ for } A_2 = \frac{bd^3}{12} + A_2K_2^2 = \frac{1 \times 7^3}{12} + 1 \times 7 \times (0.25)^2 = \frac{7 \times 199}{48} \text{ in}^4$$

$$I_{NA_3} \text{ for } A_3 = \frac{bd^3}{12} + A_3K_3^2 = \frac{5 \times 1^3}{12} + 5 \times (3.75)^2 = \frac{5 \times 679}{48} \text{ in}^4$$

$$\text{Total } I_{NA} = \frac{871}{12} + \frac{7 \times 199}{48} + \frac{5 \times 679}{48} \text{ in}^2 = 173.33 \text{ in}^4$$

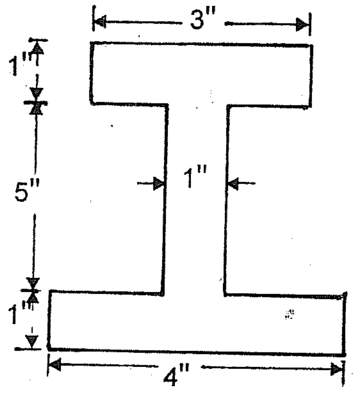
လေ့ကျင့်ရန်ပုစ္ဆာများ

၁။



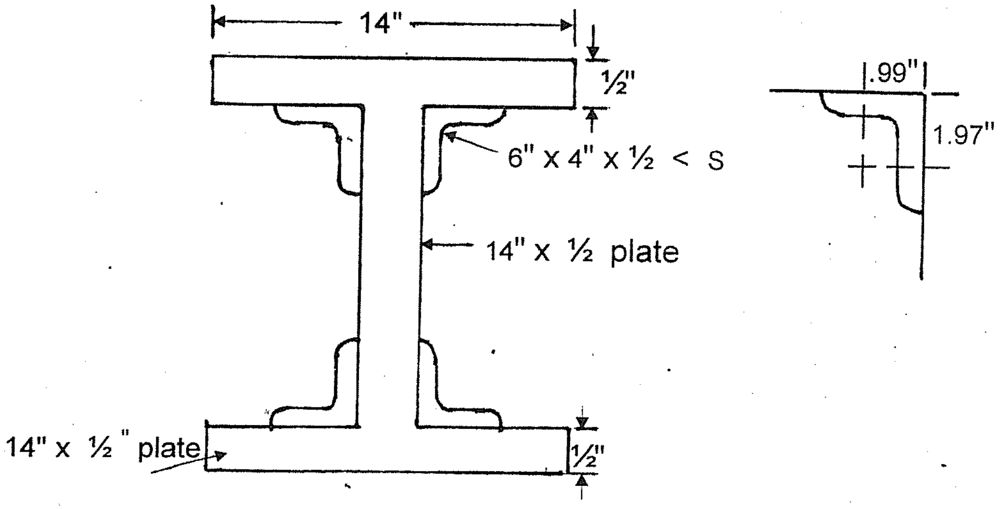
ပေးထားသော Section ၏ I_{NA} ကိုရှာပါ။

၂။



ပေးထားသော Irregular "I" Section ယက္ကတခု၏ I_{NA} ကိုရှာပါ။

၃။ ပေးထားသော Built-up girder section တခု၏ I_{NA} ကိုရှာပါ။



6" x 4" x ½ < S

$A = 4.75 \text{ in}^2$

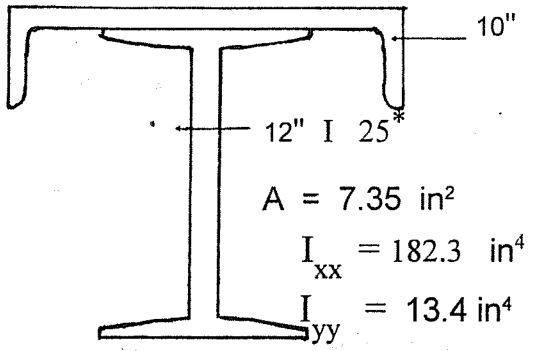
$\bar{x} = 0.99$ in

$\bar{y} = 1.97$ in

$I_{xx} = 17.4 \text{ in}^4$

$I_{yy} = 6.8 \text{ in}^4$

၄။ ပေးထားသော Built-up girder section တခု၏ I_{NA} ကိုရှာပါ။



Channel 10" (15.3)

$A = 4.47\ in^2$

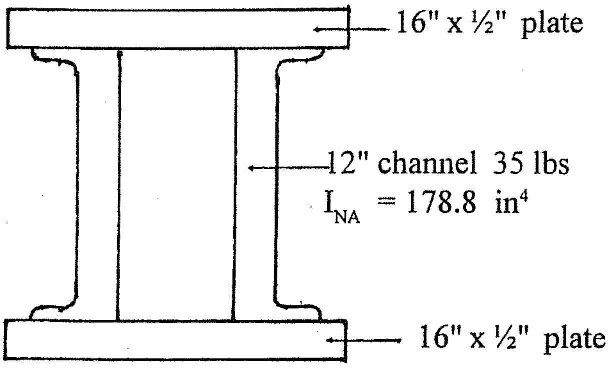
$I_{xx} = 66.9\ in^4$

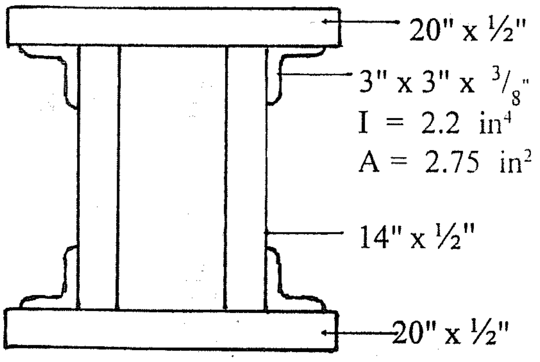
$I_{yy} = 2.3\ in^4$

C.G distance from back of web = 0.933 in

thickness of web = 0.24 in

၅။ အောက်ပါပုံတို့၏ I_{NA} ကိုရှာပါ။





3" x 3" x $^3/_8$" < s $\bar{x} = \bar{y} = 0.93$ in

Section Modulus ပုံကြမ်း အချိုး or ဖြတ်ပုံအချိုး [Z]

ဝတ္ထု ပစ္စည်းတခု၏ တည်ငြိမ်ကိန်း Moment of Inertia ကို ၄င်းဝတ္ထု ပစ္စည်း၏ အပြင်နှုတ်ခမ်းမှ Neutral Axis နှင့် အကြီးဆုံးအကွာအဝေးနှင့် စားခြင်းဖြင့်ဖြတ်ပုံအချိုးကိန်းကို ရရှိသည်။

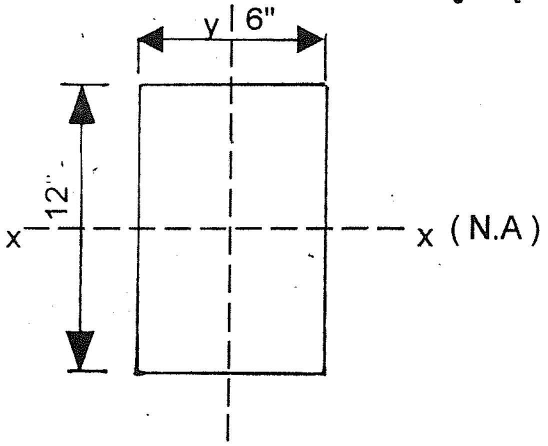
$$\text{Section Modulus} = \frac{\text{Moment of Inertia}}{\text{Distance of Neutral Axis from outer most edge}}$$

ie

$$Z = \frac{I_{NA}}{y}\ in^3$$

Example 1

6" x 12" သစ်သားယက္ခ တခု၏ ဖြတ်ပုံအချိုး Z_{xx} နှင့် Z_{yy} တို့ကိုရှာပါ။



$$I_{xx} = \frac{bd^3}{12} = \frac{6\times12^3}{12}\ in^4$$

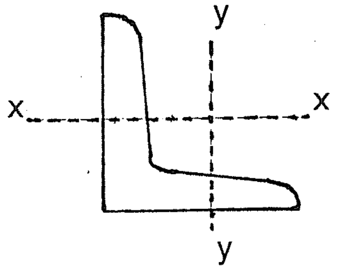
$$y = \frac{12}{2} = 6\ in$$

$$Z_{xx} = \frac{6\times12^3}{12\times6} = 144\ in^3$$

$$I_{yy} = \frac{12\times6^3}{12} = 6^3\ in^4$$

$$x\ y = \frac{6}{2} = 3\ in$$

Example (2) 6 " x 4 " x ½ " ဖြတ်ပိုင်းပုံအချိုး Z_{xx} နှင့် Z_{yy} တို့ကိုရှာပါ။



$\bar{x} = 0.99$ in , $\bar{y} = 1.99$ in

$A = 4.75\ in^2$, $I_{xx} = 17.4\ in^4$, $I_{yy} = 6.3\ in^4$

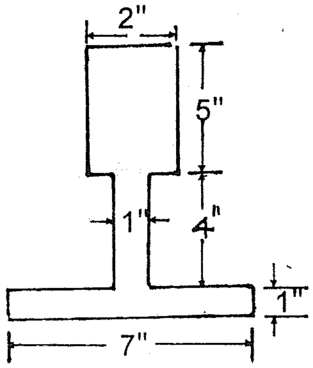
$$Z_{xx} = \frac{I_{xx}}{y} = \frac{17.4}{4.01} = 4.34\ in^3$$

$$Z_{yy} = \frac{I_{yy}}{x} = \frac{6.3}{3.01} = 2.09\ in^3$$

<u>လေ့ကျင့်ရန်ပုစ္ဆာများ</u>

၁။ Unequal channel တခု၏ Top flange သည် 3" x 1" ဖြစ်၍ Botton flange သည် 4" x 1" ဖြစ်ပြီး web သည် 5" x 1" ဖြစ်သည်။ ၎င်း channel ၏ ဖြတ်ပိုင်းပုံအချိုး Z_{xx} နှင့် Z_{yy} တို့ကိုရှာပါ။

၂။ ပေးထားသော section ၏ Z_{xx} နှင့် Z_{yy} တို့ကိုရှာပါ။



<u>Radius of gyration " r " or "k"</u>

လှည့်ကိန်း or လည်အချင်း

Radius of gyration ဆိုသည်မှာ ဝတ္ထုပစ္စည်းတခုကို ပေးထားသောမူတည်မျဉ်းမှရရှိသော တည်ငြိမ်ကိန်းကို ၎င်း၏ ဧရိယာနှင့် စား၍ ရသောရလဒ်၏ နှစ်ထပ်ကိန်းရင်းပင်ဖြစ်သည်။ ၎င်းကို r (သို့) k ဟုသတ်မှတ်လေသည်။ ၎င်းကိုတိုင် Column များတွက်ချက်ရာ၌ အသုံးပြုလေသည်။

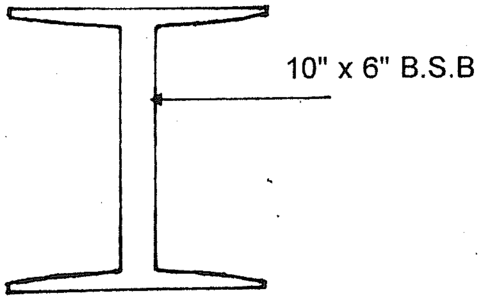
$$\boxed{r = \sqrt{\frac{I}{A}}\ in}\ , \quad r_{xx} = \sqrt{\frac{I_{xx}}{A}}$$

$$r_{yy} = \sqrt{\frac{I_{yy}}{A}}$$

<u>Where</u> -

I = Moment of Inertia in in^4
A = Area of section in in^2
r = Radius of gyration in in

<u>Example I</u> 10" x 6" B.S.B တခု၏ radius of gyration about x - x axis နှင့် about y - y axis တို့ကိုရှာပါ။



$I_{xx} = 204.8\ in^4$

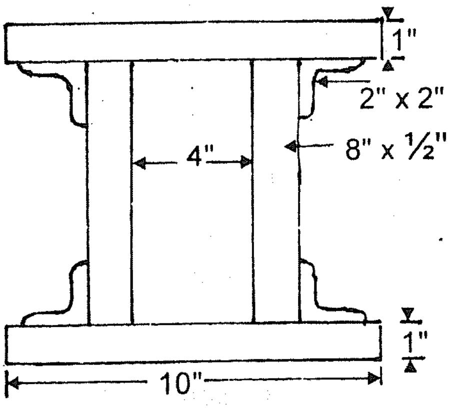
$I_{yy} = 21.76\ in^4$

$A = 11.77\ in^2$

$$r_{xx} = \sqrt{\frac{I_{xx}}{A}} = \sqrt{\frac{204.8}{11.77}} = 4.2\ in$$

$$r_{yy} = \sqrt{\frac{I_{yy}}{A}} = \sqrt{\frac{21.76}{11.77}} = 1.36\ in$$

၁ ။



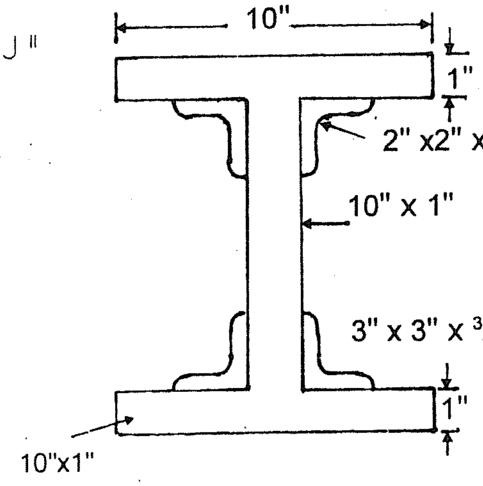
2" x 2" x ¼" < , $\bar{x} = \bar{y} = 0.6$ in

$I_{xx} = I_{yy} = 0.35$ in^4

$A = 0.94$ in^2

ပေးထားသော built up section ၏ Z_{xx} , Z_{yy} , r_{xx} , r_{yy} တို့ကိုရှာပါ။

၂ ။



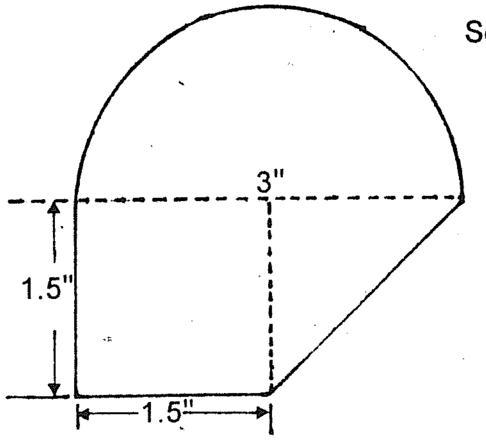
2" x2" x $^3/_8$" < A = 1.36 in^2 $\bar{x} = \bar{y} = 0.629$ in

$I_{xx} = I_{yy} = 0.467$ in^4

3" x 3" x $^3/_8$" < A = 3.67 in^2 $\bar{x} = \bar{y} = 1.17$ in

$I_{xx} = I_{yy} = 5.46$ in^4

၃ ။

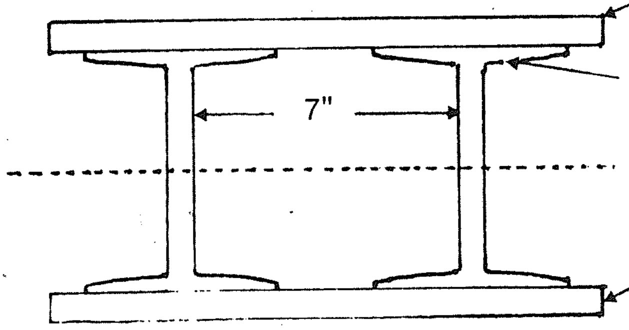


Semi circle ၏ $\bar{y} = \dfrac{4r}{3\pi}$, $I = 0.1098\ r^4$

ပေးထားသောပုံ၏ I_{NA} တန်ဖိုးကိုရှာပါ။

၄ ။ ဖော်ပြပါ built up section ၏ Z_{xx} , r_{xx} , Z_{yy} , r_{yy} တန်ဖိုးကိုရှာပါ။

14" x ½" flat



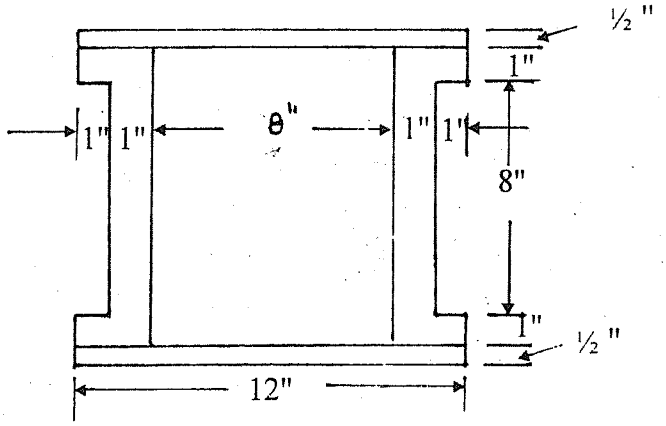
2/ 10" x 6" 42 ၏ A = 12.4 in^2

$I_{xx} = 212$ in^4

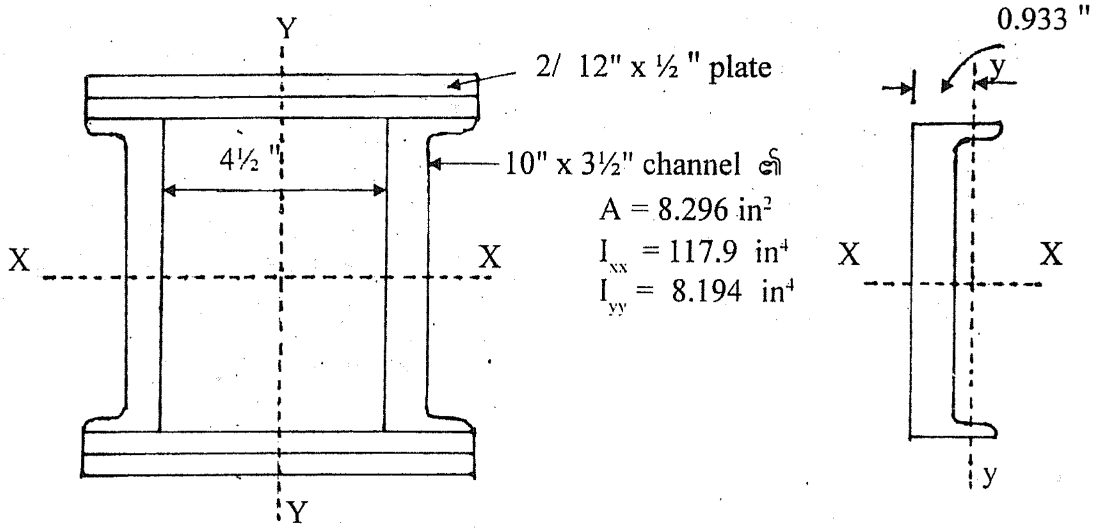
$I_{yy} = 22.9$ in^4

14" x ½" flat

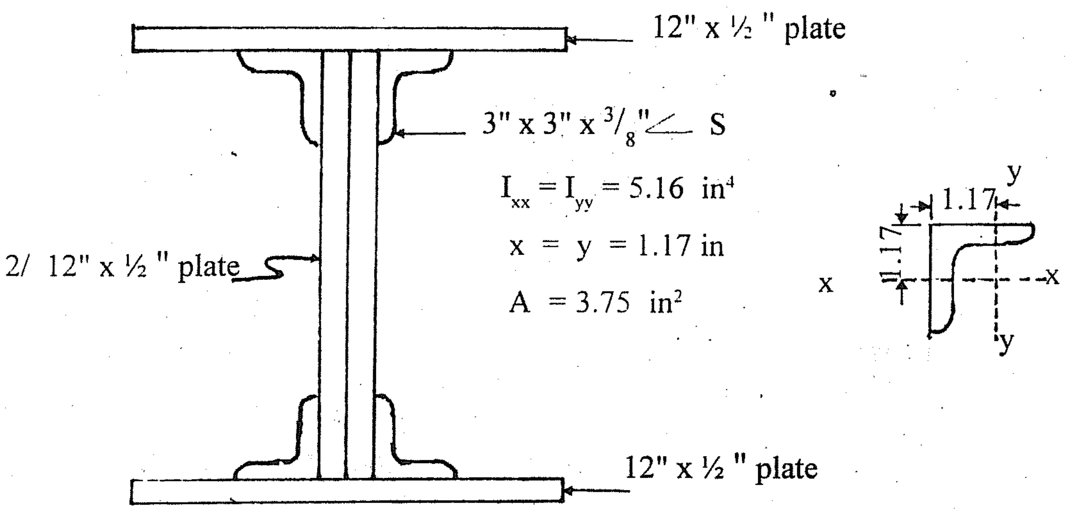
၅။ ပုံတွင်ပြထားသော Built-up Section ၏ r_{xx} နှင့် r_{yy} တို့ကိုရှာပါ။



၆။ ပုံတွင်ပြထားသော Built-up Section ၏ Z_{xx} နှင့် Z_{yy} တန်ဘိုးတို့ကိုရှာပါ။



၇။ ပုံတွင်ပြထားသော Built-up Section ၏ I_{xx} , Z_{yy} နှင့် r_{yy} တို့ကိုရှာပါ။



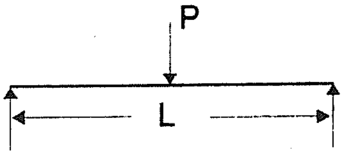
REACTION , SHEARING , FORCES AND BENDING MOMENTS

1 . Classification of beams

beams

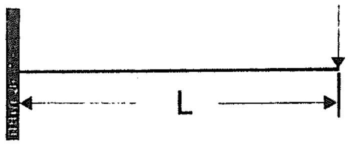
ယက်မသည် အဆောက်အအုံ၏ အစိတ်အပိုင်းဖြစ်၏။ ၎င်း၏ အစွန်းများသည် support ထောက်မချက်များပေါ်တွင် ရပ်တည်လျက်ရှိသည်။ ယက်မပေါ်သို့သက်ရောက်လျက်ရှိသော **အလေးဝန်များမှာ** ကန့်လန့်ဖြတ် အလေးဝန်များဖြစ်၍ ယက်မကိုကွေးညွတ်စေတတ်လေသည်။ ယက်မများကို ၎င်းတို့၏ **ထောက်မချက်များ၏ အရေအတွက်နှင့်** ထောက်မထားပုံပေါ်တွင် မူတည်၍ အကြမ်းအားဖြင့် (၅) မျိုးခွဲခြားထားလေသည်။

1. Simple beam - (freely supported or simply supported beam)



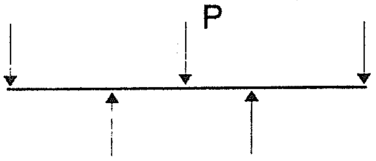
အစွန်းတဖက်တချက်တို့သည် ထောက်မချက်များ၌ ထိန်းချုပ်ထားခြင်းမရှိဘဲ တင်ယုံသာတင်ထားလျက်ရှိသော ယက်မကို Simple Beam ဟုခေါ်လေသည်။

2. Cantilever Beam -



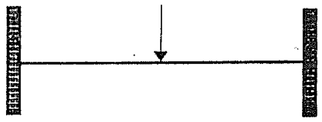
အစွန်းတဖက်တည်းကိုသာ ထိန်းချုပ်ထောက်မထား၍ အခြားအစွန်းတဖက်ကို ထောက်မထားခြင်းမရှိသော ယက်မကို Cantilever Beam ဟုခေါ်လေသည်။

3. Over hanging beam -



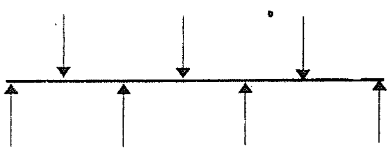
နှစ်ခု (သို့) နှစ်ခုထက်များသော ထောက်မချက်များပေါ်တွင် ရပ်တည်လျက် အစွန်းတဖက် သို့မဟုတ် နှစ်ဘက်စလုံး ထောက်မချက်များမှ ပိုထွက်နေသော ယက်မများကို Over hanging Beam ဟုခေါ်သည်။

4. Fixed Beam -



အစွန်းနှစ်ဘက်စလုံးကို အသေထိန်းချုပ် ထောက်မထားသော Beam ကို Fixed Beam ဟုခေါ်သည်။

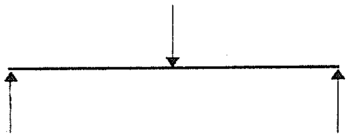
5. Continuous Beam -



နှစ်ခုထက်များသော ထောက်မချက်များပေါ်တွင် ရပ်တည်လျက်ရှိသော ယက်မကို Continuous Beam ဟုခေါ်သည်။

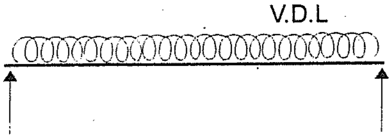
Kinds of Loads ဝန်အမျိုးမျိုး

1. Concentrated load - or pointed Load



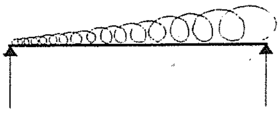
အမှတ်တခုတည်းပေါ်သို့ စုးစိုက်သက်ရောက်သော အလေးဝန်ချိန်ကို Concentrated or Pointed Load ဟုခေါ်သည်။

2. <u>Uniformly Distributed Load</u> (U . D . L) -



ယက္ကမ၏ အလျားတလျှောက်ပေါ်တွင် ပြန့်နှံ့စွာ သက်ရောက်လျက်ရှိသော ဝန်ကို Distributed Load ဟုခေါ်သည်။ အကယ်၍ Unit length ပေါ်သို့ ပြန့်နှံ့စွာသက်ရောက်သော အလေးဝန်များမှာ တူညီပါက Uniformly Distributed Load ဟုခေါ်သည်။

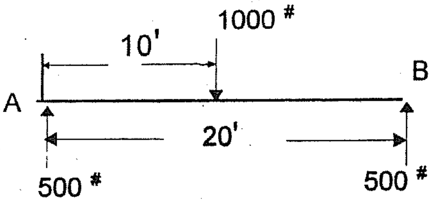
3. <u>Uniformly Increasing Load</u> -



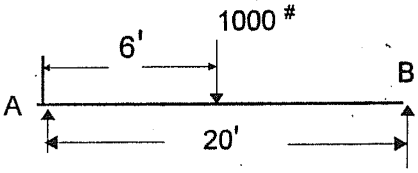
ယက္ကမအလျားတလျှောက်ပြန့်နှံ့၍သက်ရောက်သောအလေးဝန်မှာအစွန်းတဘက်မှ အခြားအစွန်းတဘက်သို့ Uniformly တိုး၍လာသော် ၄င်းကို Uniformly Increasing Load ဟုခေါ်သည်။

<u>REACTION</u> -

Reaction ဆိုသည်မှာ အောက်ဖက်သို့သက်ရောက်လျက်ရှိသော အလေးဝန်ချိန်များကို ဟန်နိုင်ခြင်း Equilibrium ဖြစ်စေရန်အတွက် ထောက်မချက်များပေါ်တွင်သက်ရောက်လျက်ရှိသည့် Upward Forces များကို Reaction ဟုခေါ်သည်။



အကယ်၍ 20 ft အရှည်ရှိသော Simpe beam တခုပေါ်တွင် ဗဟို၌ 1000# ပမာဏရှိသောConcentrated Load တခုသက်ရောက်နေပါက ထောက်မချက် ၂ ခုရှိ Reaction များမှာ 500# အသီးသီးရှိနေကြောင်း အလွယ်တကူသိရှိနိုင်လေသည်။



သို့သော် အလေးဝန်ကို လက်ဝဲဘက် ထောက်မချက်မှ 6 ft အကွာတွင် သက်ရောက်စေပါက ထောက်မချက် ၂ ခုရှိ Reaction များကို လည်ကိန်း Moment သဘောတရား အရ ရှာယူရမည် ဖြစ်လေသည်။

A တွင် Moment ယူသော်

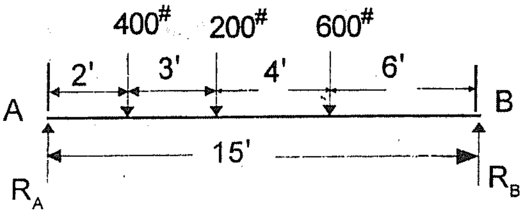
$$R_B \times 20 = 1000 \times 6$$
$$R_B = 300^{\#}$$
$$R_A = 1000 - 300 = 700^{\#}$$

(or) B တွင် Moment ယူသော်

$$R_A \times 20 = 1000 \times 14$$
$$R_A = 700^{\#}$$
$$R_B = 1000 - 700 = 300^{\#}$$

<u>Example I</u>

အောက်တွင်ပေးထားသော ယက္ကမ၏ Reaction များကိုရှာပါ။

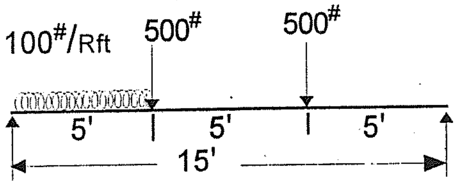


A တွင် Moment ယူသော်

$$(2\times400)+(200\times5)+(600\times9)=R_B\times15$$
$$800 + 1000 + 5400 = R_B\times15$$
$$R_B = \frac{7200}{15} = 480$$
$$R_A = (400^{\#}+200^{\#}+600^{\#})-480 = 720^{\#}$$

EXampie II

ပေးထားသော ယက်မ၏ Reaction များကိုရှာပါ။



A တွင် Moment ယူသော် -

$$(100 \times 5 \times 5/_2) + (500 \times 5) + (500 \times 10) = R_B \times 15$$

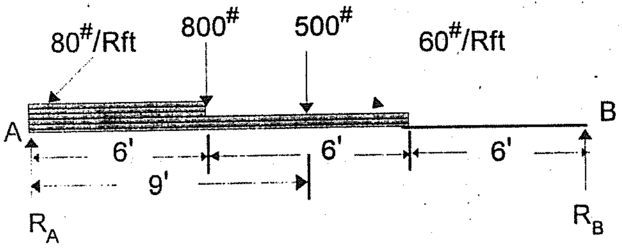
$$1250 + 2500 + 5000 = R_B \times 15$$

$$R_B = 583.33^{\#}$$

$$R_A = (500 + 500 + 500) - 583.33$$

$$= 916.67^{\#}$$

EXample III



ပေးထားသော Simple Beam တွင်အလေးဝန်များမှာ ဖော်ပြပါအတိုင်း သက်ရောက်နေသော် Reaction များကို ရှာပါ။

B တွင် Moment ယူသော် -

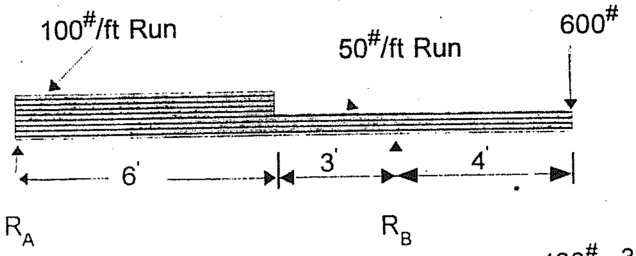
$$R_A \times 18 = (860 \times 9) + (800 \times 12) + (480 \times 15)$$

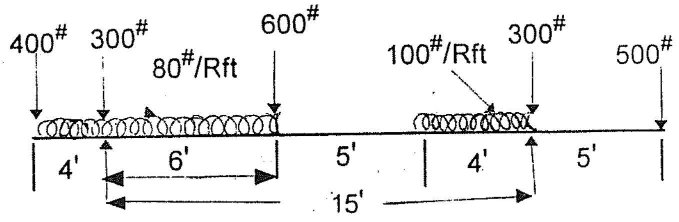
$$= 7740 + 9600 + 7200$$

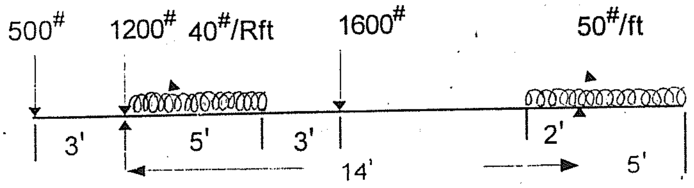
R_A = 1363.33 lbs , R_B = 776.67 lbs

<u>လေ့ကျင့်ရန်ပုစ္ဆာများ</u>

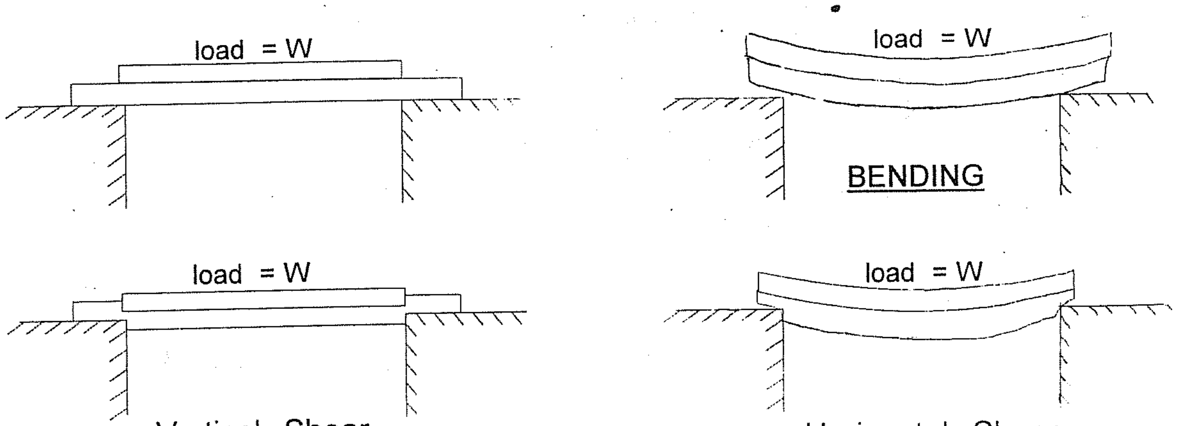
အောက်ပါပေးထားသော ပုံများ၏ Reaction များကိုရှာပါ။







Stresses in Beams



Vertical Shear   Horizontal Shear

အလေးဝန်ကို ထမ်းဆောင်နေရသော Beam များ Fail ဖြစ်နိုင်သည့် ထင်ရှားသောဖြစ်ရပ် သုံးခုမှာ

1. By Vertical Shear (ထောက်မချက်များလျှောပြတ်ကျခြင်း)
2. By Bending (ကွေးညွတ်ခြင်း)
3. By Horizontal Shear (သစ်သားများ၏ Fiber များ Horizontal Direction အတိုင်းလျှောပြတ်ကျခြင်း) စသည်တို့ဖြစ်သည်။

Beam တခုအား Design ပြုလုပ်ရာတွင် အထက်ဖော်ပြပါ Fail ဖြစ်နိုင်သော အကြောင်းရပ် (၃) ခု မဖြစ်နိုင်စေရန် Materials ကိုလိုက်၍ လိုအပ်သော Resistant Stresses များပေးနိုင်သည့် အရွယ်အစားကို ရွေးချယ်ရလေသည်။

Vertical Shear "V"

၄င်းမှာ Beam တခု၏ အစိတ်အပိုင်းတခုသည် ကျန်အပိုင်းမှ အောက်သို့တည့်မတ်စွာ လျှောပြတ်ကျခြင်းကို ဆိုလိုသည်။ ၄င်းကို အက္ခရာ "V" ဖြင့် ဖော်ပြလေသည်။

Beam ၏ တနေရာရှိ Vertical Shear ၏ ပမာဏမှာ ၄င်းအားသိရှိလိုမည့် အမှတ်၏ လက်ဝဲ သို့မဟုတ် လက်ျာ တဖက်ဖက်ရှိ Vertical Forces များကို အက္ခရာ သင်္ချာနည်းအရ ပေါင်းရခြင်းပင်ဖြစ်သည်။ သို့ရာတွင်တွက်ချက်ရာ၌ လွယ်ကူစေရန် Vertical Shear ၏ အမာဏကို ၄င်းအားသိလိုသည့်အမှတ်မှ လက်ဝဲဘက်ရှိ Vertical Force များ အက္ခရာသင်္ချာနည်းအရ ပေါင်းခြင်းကိုသာ တည်တညွတ်တည်း အသုံးပြုကြ၏။

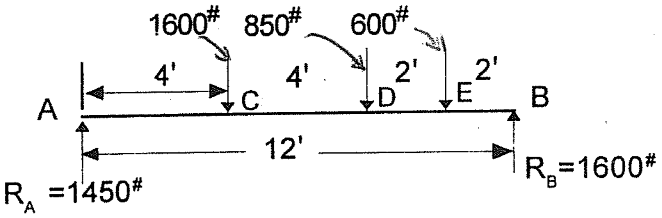
The vertical shear at any section of a beam = Reaction - Load to the left of the section

Reaction များနှင့် Load များ၏ Unit များမှာ များသောအားဖြင့် lbs များနှင့်ပြသောကြောင့် Vertical Shear ၏ Unit မှာ lb ပင်ဖြစ်သည်။

Shear force Diagram

ယက္ခ၏ အလျားတလျှောက်ရှိသော Vertical shear များ၏ ပမာဏကို ဖော်ပြသည့် Diagram ကို Shear force Diagram ဟုခေါ်သည်။

Example 1. ပုံတွင်ဖော်ပြထားသော Beam တလျှောက် နေရာအသီးသီးရှိ Vertical shear ၏တန်ဘိုးကို တွက်ချက်၍ Shear force Diagram ကိုဆွဲပြပါ။



Taking moment at A

$$R_B = \frac{(1600 \times 4) + (850 \times 8) + (600 \times 10)}{12}$$

$$R_B = 1600^{\#}$$

$$R_A = (1600 + 850 + 600) = 1450^{\#}$$

S.F at pt A (R) = Reaction − Load

= 1450 − 0 = $1450^{\#}$

S.F at pt C (L) = 1450 − 0 = $1450^{\#}$

S.F at pt C (R) = 1450 − 1600 = $-150^{\#}$

S.F at pt D (L) = 1450 − 1600 = $-150^{\#}$

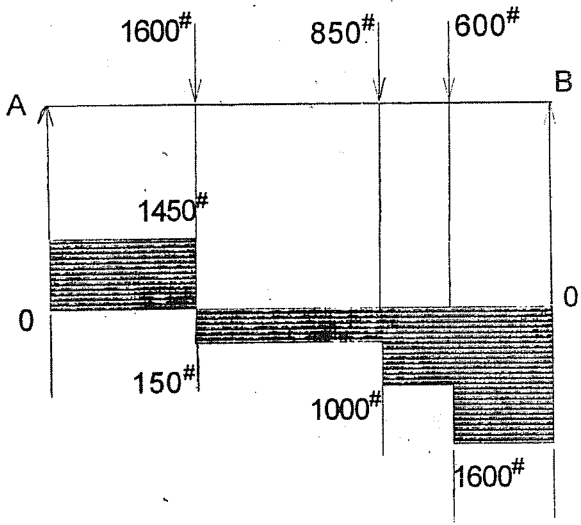
S.F at pt D (R) = 1450 − 1600 − 850 = $-1000^{\#}$

S.F at pt E (L) = 1450 − 1600 − 850 = $-1000^{\#}$

S.F at pt E (R) = 1450 − 1600 − 850 − 600 = $-1600^{\#}$

S.F at pt B (L) = 1450 − 1600 − 850 − 600 = $-1600^{\#}$

S.F at pt B (L) = (1450 + 1600) − 1600 − 850 − 600 = $0^{\#}$



Linear scale 1" = 4 ft

Shear force scale 1" = 1000 #

Vertical Shear နှင့်ပတ်သက်၍ အရေးကြီးသောအချက် ၂ ချက်မှာ

1. Maximun Shear ဖြစ်သော နေရာသည် Reaction များတွင်ရှိခြင်း
2. Shear Force Zero ကို ဖြတ်သွားသောနေရာသည် Bending Moment အများဆုံးနေရာဖြစ်ခြင်းတို့ဖြစ်သည်။

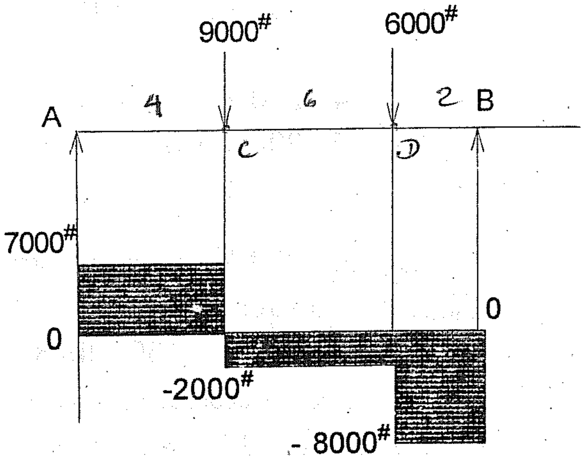
Bending Moment ကွေးညွှတ်ကိန်း " M "

Beam တခုကို ကွေးညွှတ်စေသောအားများမှာ Reaction နှင့် Loads များပင်ဖြစ်သည်။ Beam တခု၏အမှတ်တနေရာရှိ ကွေးညွှတ်ကိန်း Bending Moment မှာ ၎င်းအမှတ်ကိုဗဟိုပြု၍ ၎င်း၏ လက်ဝဲ သို့မဟုတ် လက်ျာ တဖက်ဖက်ရှိ အားများ၏လည်ကိန်းများကို အက္ခရာသင်္ချာနည်းအရ ပေါင်းခြင်းပင်ဖြစ်သည်။ ၎င်းကို လွယ်ကူစေရန် Bending Moment ရှာလိုသည့်အမှတ်၏ လက်ဝဲဘက်ရှိအားများ၏ လည်ကိန်းများအား အက္ခရာသင်္ချာနည်းအရ ပေါင်းခြင်းကိုသာ တညီတညွတ်တည်းအသုံးပြုကြလေသည်။

The bending moment at any section of a beam is equal to the moment of the reactions- minus the moment of loads to the left of the section -

Example 1.

ပုံတွင်ပြထားသည့်အတိုင်း Simple beam တခုပေါ်တွင် concentrated load 2 ခုသက်ရောက်နေလျှက်ရှိ၏။ ၎င်း Beam ၏ Shear Force နှင့် Bending Moment Diagram များရေးဆွဲပါ။



S.F Diagram

Taking Moment at B

$$R_A = \frac{600 \times 2 + 9000 \times 8}{12}$$

$R_A = 7000^{\#}$

$R_B = 8000^{\#}$

S.F at pt $A_R = R_A - 0 = 7000^{\#}$

" $C_L = R_A - 0 = 7000^{\#}$

" $C_R = R_A - 9000 = -2000^{\#}$

" $D_L = R_A - 9000 = -2000^{\#}$

" $D_R = R_A - 9000 - 6000$

$= -8000^{\#}$

" $B_L = R_A - 9000 - 6000$

$= -8000^{\#}$

" $B_R = 0$

Benfing moment at point A $= 0$

" C $= R_A \times 4 - 0$

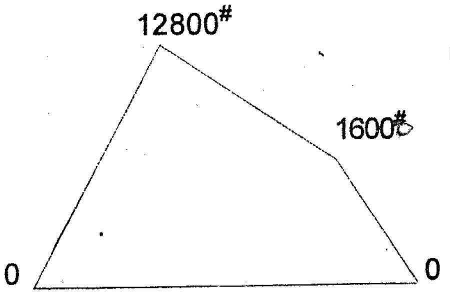
$= 28000$ ft-lb

" D $= R_A \times 10 - 9000 \times 6$

$= 16000^{\# - ib}$

" B $= R_A \times 12 - (9000 \times 8 + 6000 \times 2)$

$= 0$

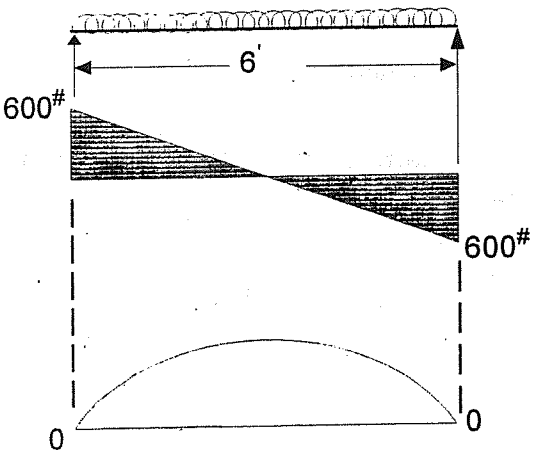


B.M Diagram

Linear scale = 1" = 5 ' - 0"

Bending Moment scale = 1" = 10000 #

Example II - ပေးထားသော Simple beam တခု၏ S.F နှင့် B.M တို့ကို ရှာ၍ Diagram များကိုရေးဆွဲပါ။



Reactions = $\frac{200 \times 6}{2}$ = 600#

Shear force at A = 600#

Shear force at Centre = 0

Shear force at B = 600#

Bending moment at A = 0

〃 1' from A = 600 x 1 - 200 x ½ = 500' #

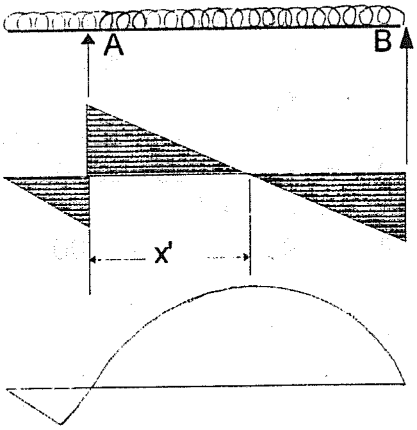
〃 2' 〃 = 600 x 2 - 200 x 2x1 = 800' #

〃 3' 〃 = 600 x 3 - 200 x 3x3/2 = 900' #

〃 4' 〃 = 600 x 4 - 200 x 4x2= 800' #

〃 5' 〃 = 600 x 5 - 200 x 5x5/2= 500' #

Example III



Beam တချောင်း၏ အရှည်သည် 20 ft ဖြစ်၍ ထောက်မချက် ၂ ခုပေါ်တွင် ပုံတွင်ပြထားသည့်အတိုင်း တဖက်သို့ 4 ft ထွက်နေစေရန် စီမံထား၏။ ၎င်းသည် 150 lb/Rft ရှိအောင်ညီညာစွာ ဖြန့်တင်ထားသည့် အလေးဝန်ကိုထမ်းဆောင်ရသည် ရှိသော် ဖြစ်ပေါ်မည့် S.F နှင့် B.M အသီးသီးကိုရှာ၍ ပုံထုတ်ပြီး Bending moment Zero ဖြစ်သော Point of contraflexure ကိုရှာပါ။

R_A = $\frac{150 \times 20 \times 10}{16}$ = 1875 #

R_B = 1125#

S.F at point C_R = 0

〃 A_L = 0 - 150 x 4 = -600#

〃 A_R = 1875 - 600 = 1275#

〃 B_L = -1125# (1275 - 15 x 16)

S.F Zero ဖြစ်သောအမှတ်သည် D ဖြစ်ပါအံ့ ။

D ရှိ S.F သည် Zero ဖြစ်၍

R_A - 150 (4 + X) = 0

1875 - 600 - 150 X = 0

150 X = 1275

X = 8.5 ft

B.M at pt C = 0

〃 A = 0 - 150 x 4 x $^4/_2$ = - 1200 ' #

〃 D = R_A x 8.5 - 150 x 12.5 x 12.5/2 = 4218.75 ' #

〃 B = 0

B,M Zero ဖြစ်သော Point of contraflexure သည် A မှ Y' ကွာဝေးသည်ဖြစ်ပါအံ့ ။

$$(R_A \times y) - \left(150 \times (4+y) \times \left(\frac{4+y}{2}\right)\right) = 0$$

$$1875y - \left(75\left(y^2 + 8y + 16\right)\right) = 0$$

$$1875y - 75y^2 - 600y - 1200 = 0$$

$$y^2 - 17y + 16 = 0$$

$$(y-1)(y-16) = 0$$

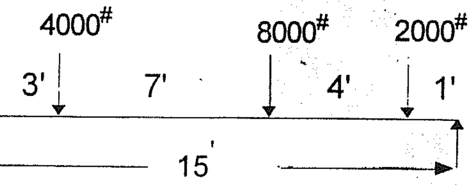
$$y = 1\ \text{ft}\ ,\ \text{or}\ y = 16\ \text{ft}$$

∴ Contratflexure point သည် A မှ 1 ft အကွာတွင်ဖြစ်သည်။

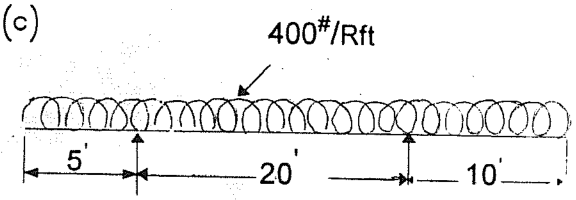
<u>လေ့ကျင့်ရန်ပုစ္ဆာများ</u>

၁။ အောက်ဖော်ပြထားသောယက်မများ၏ S.F နှင့် B.M ပမာဏများကိုရှာ၍ Diagram များကို ရေးဆွဲပြပါ။ Max : B.M ပမာဏကိုလည်းရှာပါ။

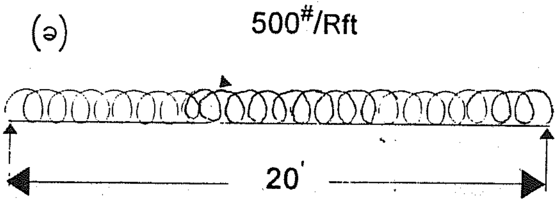
(က)



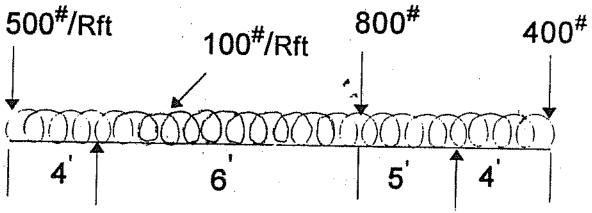
(င)



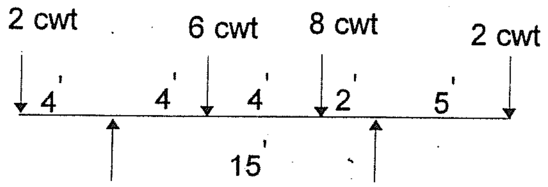
(ခ)



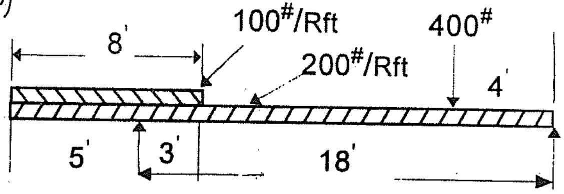
(စ)



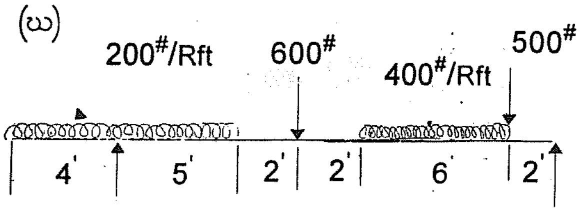
(ဂ)



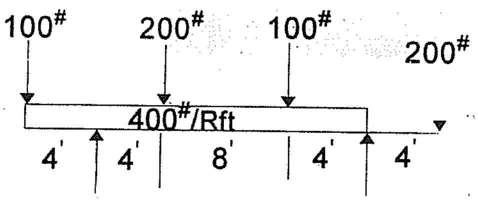
(ဆ)



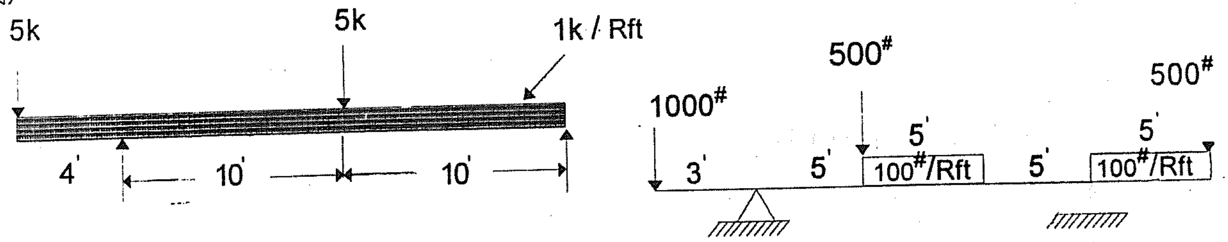
(ဃ)



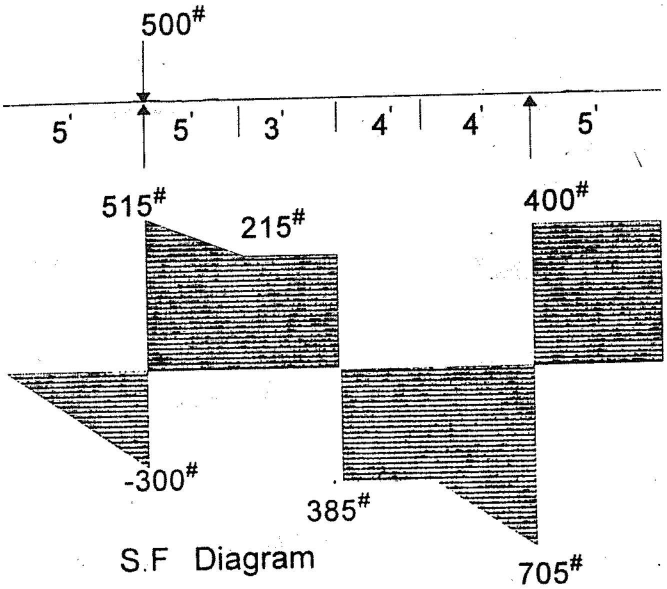
(ဇ)



(ဈ)



၂။ ပုံတွင်ပေးထားသော Shear force Diagram အတွက် Over hanging beam ပေါ်တွင် သက်ရောက်လျှက်ရှိသော အလေးဝန်များကို ဖော်ပြ၍ ၄င်း၏ Bending moment diagram ကို တွက်ချက်ရေးဆွဲပြပါ။

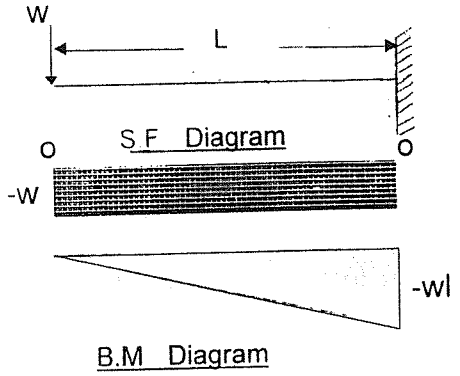


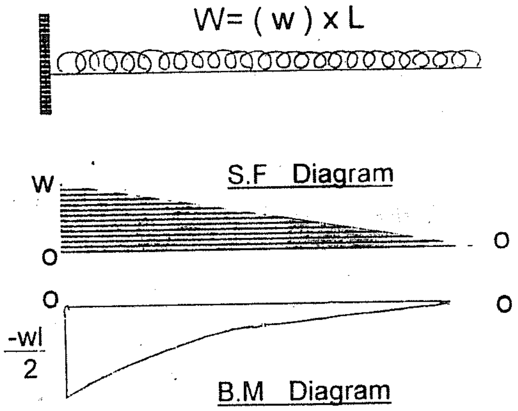
S.F Diagram

Shear Force and B.M for Cantilever Beam

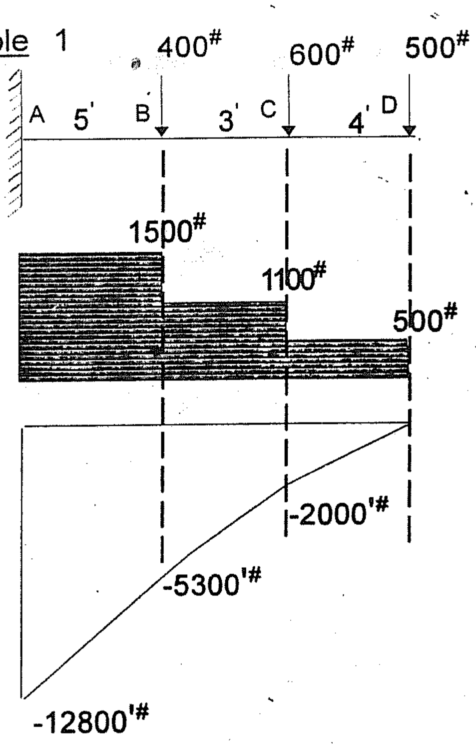
Cantilever beam များအတွက် Shear Force ကို ရှာဖွေရာတွင် S.F ပမာဏသည် Free Side ဖက်ရှိ အားများကို အက္ခရာ သင်္ချာနည်းအရ ပေါင်းခြင်းညီမျှသည်။ ရှာဖွေသည့် အမှတ်၏ လက်ဝဲဘက်ရှိ အောက်ဖက်သို့ သက်ရောက်သောအလေးဝန် အားလုံးကို (- ve) အနှုတ်တန်ဘိုး အဖြစ်ယူဆရလေသည်။

B.M ပမာဏသည် မည်သည့်အမှတ်တွင်မဆို (-ve) အနှုတ်တန်ဘိုးသာရှိ၍ Free Side ရှိ Moment များပေါင်းခြင်းနှင့်ညီမျှသည်။





Example 1



S.F at pt A = 400 + 600 + 500 = 1500'#

S.F between AB = 1500#

S.F between BC = 1100#

S.F between CD = 500#

B.M at pt D = 0

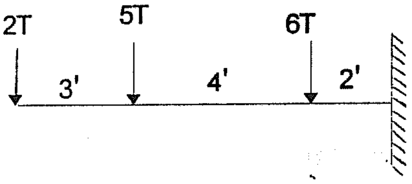
" C = 500 x 4 = -2000'#

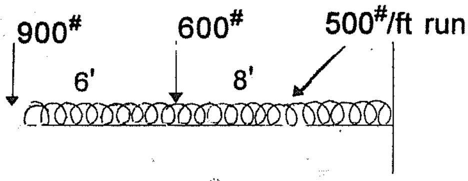
" B = (-500 x 7) + (-600 x 3)
= -5300'#

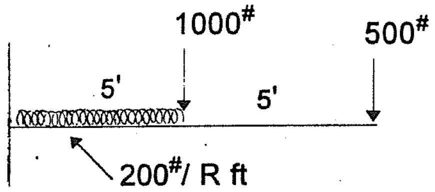
" A = - { (400 x 5) + (600 x 8) + (500 x 12) }
= - 12800'#

လေ့ကျင့်ရန်ပုစ္ဆာများ

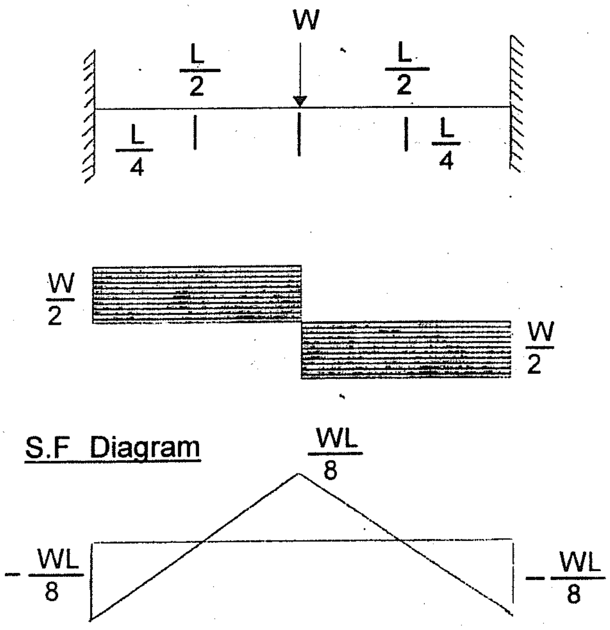
1. အောက်ပါ Cantilever beam များအတွက် S.F နှင့် B.M Diagram များရေးဆွဲပေးပါ။



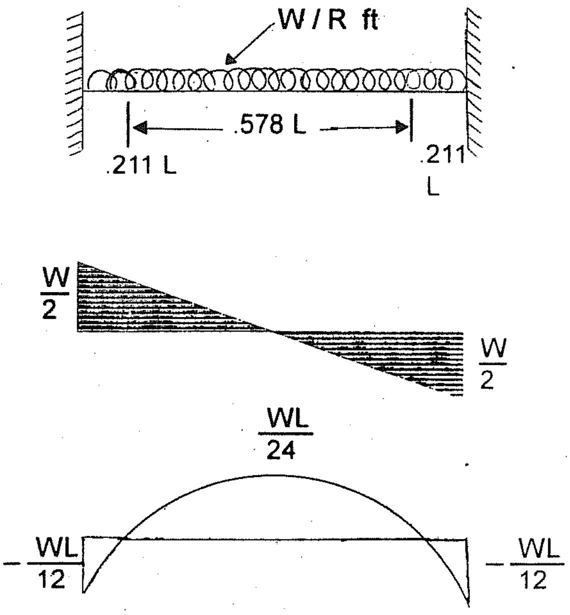




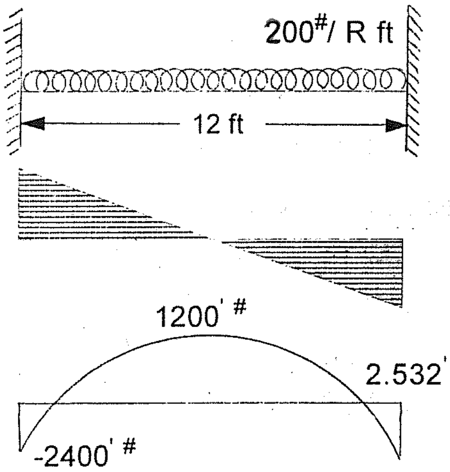
Fixed Beam



S.F Diagram



Example - ပေးထားသော Fixed Beam အတွက် S.F နှင့် B.M Diagram ရေးဆွဲပေးပါ။



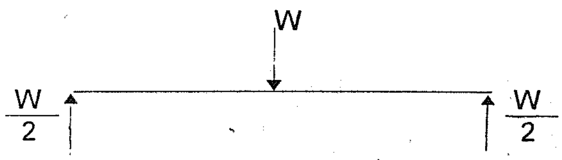
Shear Force at end = $\frac{200 \times 12}{2}$ = 1200 #

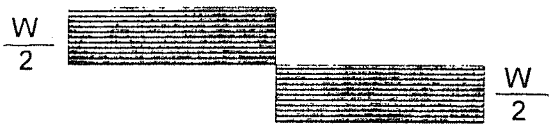
B.M at end = $-\frac{200 \times 12 \times 12}{12}$ = - 2400 lb-ft

B.M at centre = $\frac{200 \times 12 \times 12}{24}$ = 1200 lb-ft

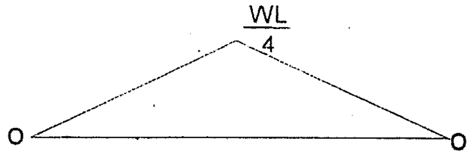
Shear Force and Bending Moment Formula For Typical Beam

1. Simple beam with central point load.





S.F Diagram

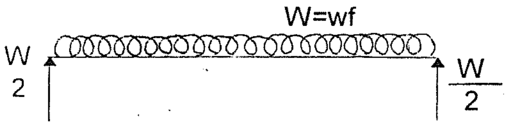


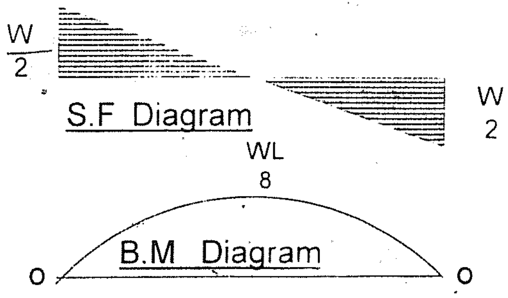
B.M Diagram

Maximum S.F = $\frac{W}{2}$

Maximum B.M = $\frac{WL}{4}$

2. Simply Supported beam with U.D.L over the entire span





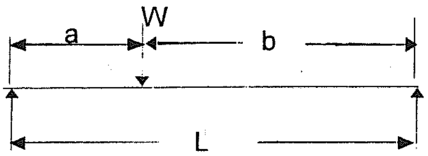
S.F Diagram

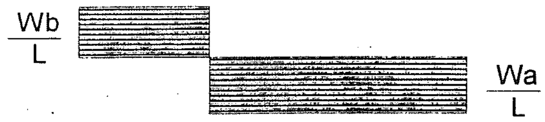
B.M Diagram

Maximum S.F = $\frac{W}{2}$

Maximum B.M = $\frac{WL}{8}$

3. Simply Supported beam with one point Load at off centre

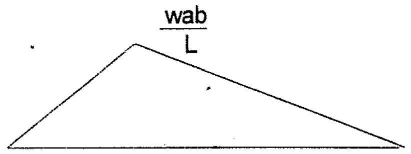




S.F Diagram

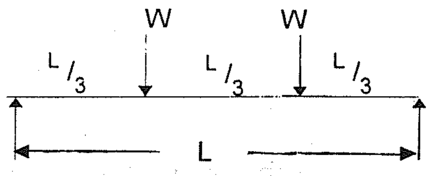
Maximum S.F $= \frac{Wb}{L}$

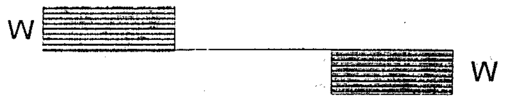
Maximum B.M $= \frac{Wab}{L}$



B.M Diagram

4. Simply Supported beam with two equal point loads equally spaced

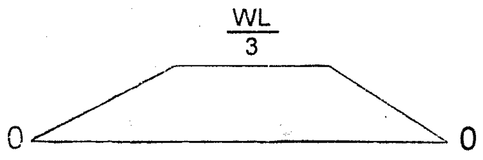




Shear force Diagram

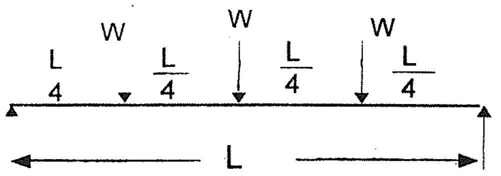
Maximum S.F = W

Maximum B.M $= \frac{WL}{3}$



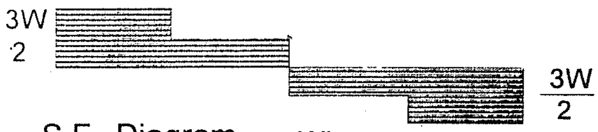
B . M . Diagram

5. Simply Supported beam with Three equal point loads equally spaced

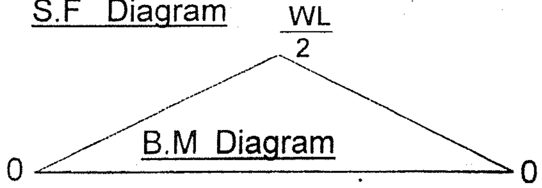


Maximum S.F $= \frac{3W}{2}$

Maximum B.M $= \frac{WL}{2}$

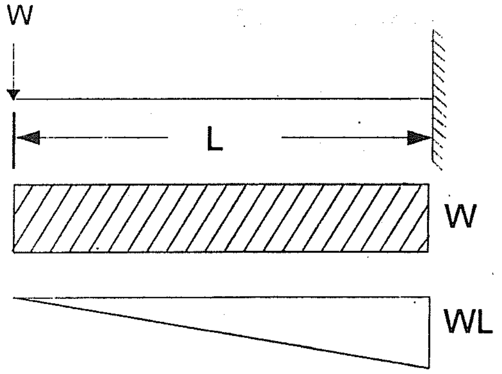


S.F Diagram



B.M Diagram

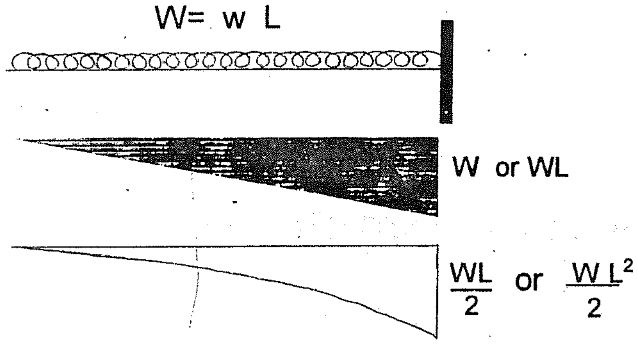
6. Cantilever beam with one pointed load at the extreme free



Maximum S.F = W

Maximum $\boxed{B.M = WL}$

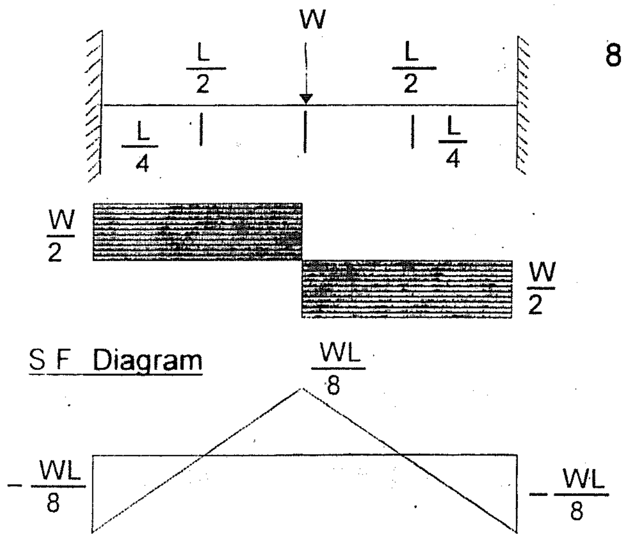
7. Cantilever beam with U.D.L through the entire span



Maximum S.F = W or WL

Maximum $\boxed{B.M = \frac{WL}{2}}$ or $\frac{WL^2}{2}$

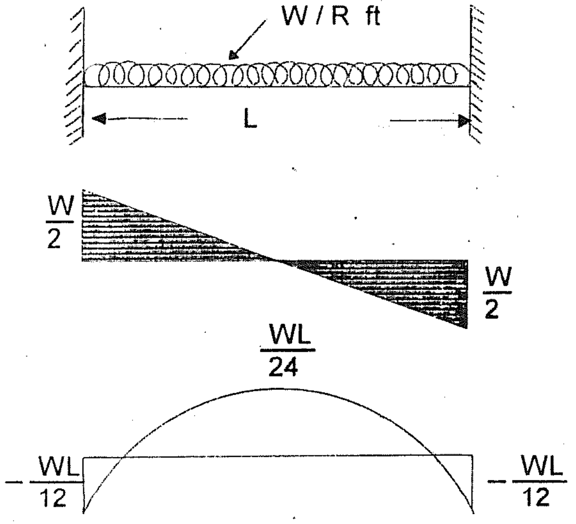
8. Fixed beam with central point load



Maximum S.F = $\frac{W}{2}$

Maximum $\boxed{B.M = \frac{WL}{8}}$

9. Fixed beam with U.D.L over the entire span.

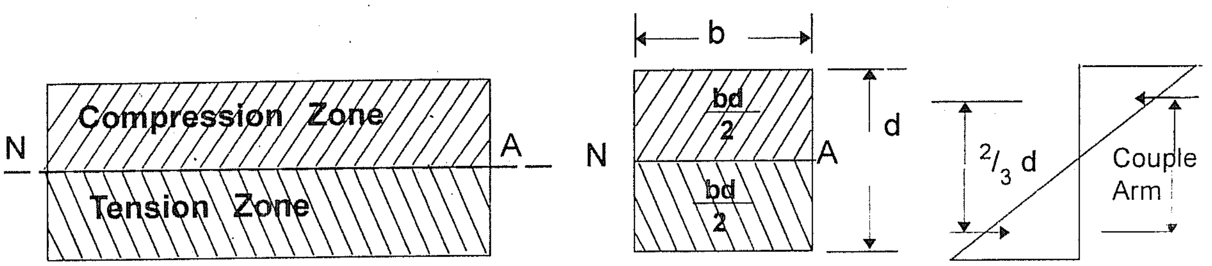


Maximum S.F = $\frac{W}{2}$

Maximum $\boxed{B.M = \frac{WL}{24}}$

Maximum Negative $\boxed{B.M = \frac{WL}{12}}$

MOMENT OF RESISTANCE AND DESIGN OF BEAM



X - Section

Stress variation Diagram

Simple beam တခုသည် အလေးဝန်သက်ရောက်ခြင်းဖြင့် ကွေးညွှတ်လာသောအခါ ယက်မ၏ အပေါ်ပိုင်းရှိ Fiber များသည် Compression ဖြစ်ပေါ်လာ၏။ယက်မ၏ အောက်ပိုင်းရှိ Fiber များသည် Tension ဖြစ်ပေါ်လာပြီး ၎င်းတို့အကြား နေရာမှာ Compression နှင့် Tension နှစ်ခုစလုံးမဖြစ်ပေါ်ဘဲရှိနေရာ ၎င်းကို Neutral layer ဟုခေါ်လေသည်။ Rectangular Beam များ၏ Neutral layer မှာ Beam section ၏ အလယ်ဗဟိုတွင် ရှိပြီး အပေါ်နှင့်အောက်ဖက်တို့တွင် ဖြစ်ပေါ်လျှက်ရှိသော Compression နှင့် Tensile stress တို့၏ ပမာဏမှာ Neutral layer မှ အကွာအဝေးနှင့်တိုက်ရိုက် အချိုးကျဖြစ်၍ အပေါ်ဆုံးနှင့် အောက်ဆုံးတို့တွင် Maximum stresses များဖြစ်ပေါ်လျှက်ရှိ၏။

Neutral Axis

Beam section တခု၏ Neutral Axis ဆိုသည်မှာ ၎င်း Section အတွင်း Beam ၏ Neutral ဖြတ်သွားရာ မျဉ်းဖြောင့်ကိုခေါ်လေသည်။

Moment of Resistance (M . R)

ယက်မများပေါ်သို့ အလေးဝန်ကို သက်ရောက်စေသောအခါ ကွေးညွှတ်စေနိုင်၍ တချိန်တည်း၌ပင် ယက်မအတွင်းရှိ Fiber များတွင် Compressive နှင့် Tensile stress အသီးသီး ဖြစ်ပေါ်ပြီး ၎င်း stress များက ယက်မအား ကွေးညွှတ်ခြင်းမှ ကာကွယ်ကြသည်။ ထိုသို့ Bending Moment ကို ခုခံကာကွယ်ရန် တူညီသော Horizontal အတွင်း ခုခံအား ၂ ခု (Couple) ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော Moment ကို Moment of Resistance ဟုခေါ်၍ ၎င်းသည် Bending moment ပမာဏနှင့် တူညီလေသည်။

Let b. = breadth of beam

d. = depth of beam

f. = Max: fiber stress in the top half andLower half of the section

C = Total Load in compression in the top half of the section.

T = Total Load in tension in Lower half of the section.

$$\text{Total Compressive Force} = \text{Average stress} \times \text{Area}$$

$$= \frac{f}{2} \times \frac{b\,d}{2}$$

$$= f\,\frac{b\,d}{4}$$

$$\text{Similarly} \quad T = f\,\frac{b\,d}{4}$$

$$\text{Couple Arm} = d - \left(\frac{1}{3} \times \frac{d}{2}\right) - \left(\frac{1}{3} \times \frac{d}{2}\right)$$

$$= \frac{2}{3}d$$

$$\text{Moment of Couple} = C \times \frac{2}{3}\,d$$

$$= f \times \frac{bd}{4} \times \frac{2d}{3}$$

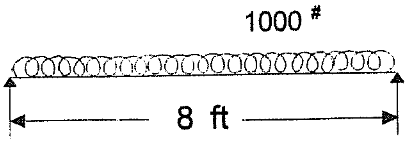
$$= f\,\frac{b\,d^2}{6}$$

$$\text{but} \quad \frac{b\,d^2}{6} = Z \quad (\text{For Rectangular Section } Z = \frac{b\,d^2}{6}$$

$$\therefore \text{Momenst of Resistance } M = f\,Z \quad (\text{flexure F})$$

<u>Example</u> 1.

2" x 6" သစ်သားဆင့် တစ်ချောင်းသည် U.D.L 1000 # ကိုထမ်းရ၏။ ယင်း၏ Effective span မှာ 8 feet ဖြစ်သော် သစသားအတွင်း အများဆုံးသက်ရောက်နေသော Stress ကိုရှာပါ။



ပေးထားချက်အရ $W = 1000\,\#$

$L = 8$ feet

$$\text{Max : B.M} = \frac{WL}{8}$$

$$= \frac{1000 \times 8 \times 12}{8} = 12000 \text{ ft-lb}$$

Bending formula အရ $M = f\,Z$ ဖြစ်၍

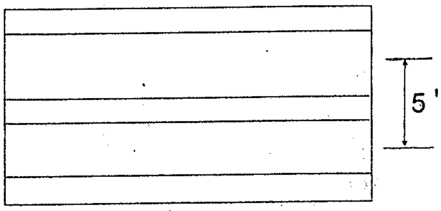
$f = \dfrac{M}{Z}$ ဖြစ်သဖြင့်

$$f = \frac{1000 \times 8 \times 12}{8} = 1000$$

<u>Example</u> 2. အိမ်တအိမ်ရှိ အခန်းတစ်ခု၏ အလျား အနံသည် 12 ' x 10 ' ရှိ၏။ ကြမ်းပြင်၏ အလေးဝန်သည် 1 sq-ft တွင် 40 lbs ရှိသည်။ ၄င်းအခန်း၏ အလျားလိုက် ဗဟိုတည့်တည့်တွင် ကြမ်းပြင်ကို ထမ်းမ ထားနိုင်ရန် သစ်သားယက္ခ၏ အရွယ်အစားကို တွက်ချက်ပေးပါ။ သစ်သား၏ Permissible stress မှာ 1200 lb / in^2 ဖြစ်သည်။ (သစ်သားယက္ခ၏ b ကို 3" ဟုယူဆပါ။)

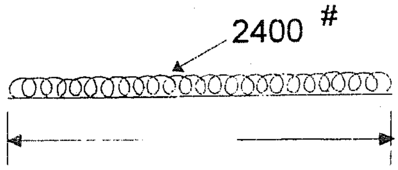
ယက္မထမ်းဆောင်ရသောဧရိယာ = 12 x 5 = 60 ft²

〃 အလေးဝန် = 60 x 40 = 2400 #



Bending Formula M = f Z တွင်

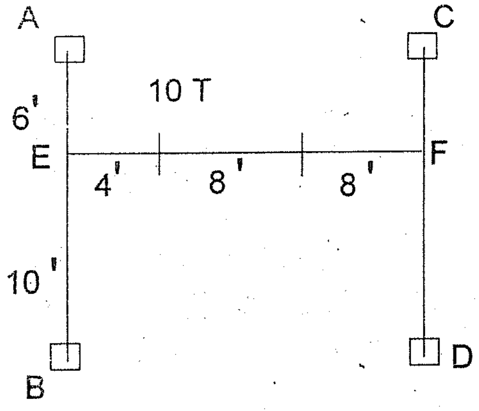
$$M = \frac{Wl}{8} = \frac{2400 \times 12 \times 12}{8}$$
$$= 144 \times 300 \text{ in - lb}$$
$$f = 1200 \text{ lb / in}^2$$
$$Z = \frac{b\,d^2}{6} = \frac{3 \times d^2}{6}$$
$$144 \times 300 = 1200 \times \frac{d^2}{2}$$
$$72 = d^2$$
$$d = 8.46 \text{ in}$$
$$\text{Say} = 9 \text{ in}$$



လိုအပ်သောယက္မအရွယ် = 3 " x 9 "

လေ့ကျင့်ရန်ပုစ္ဆာများ

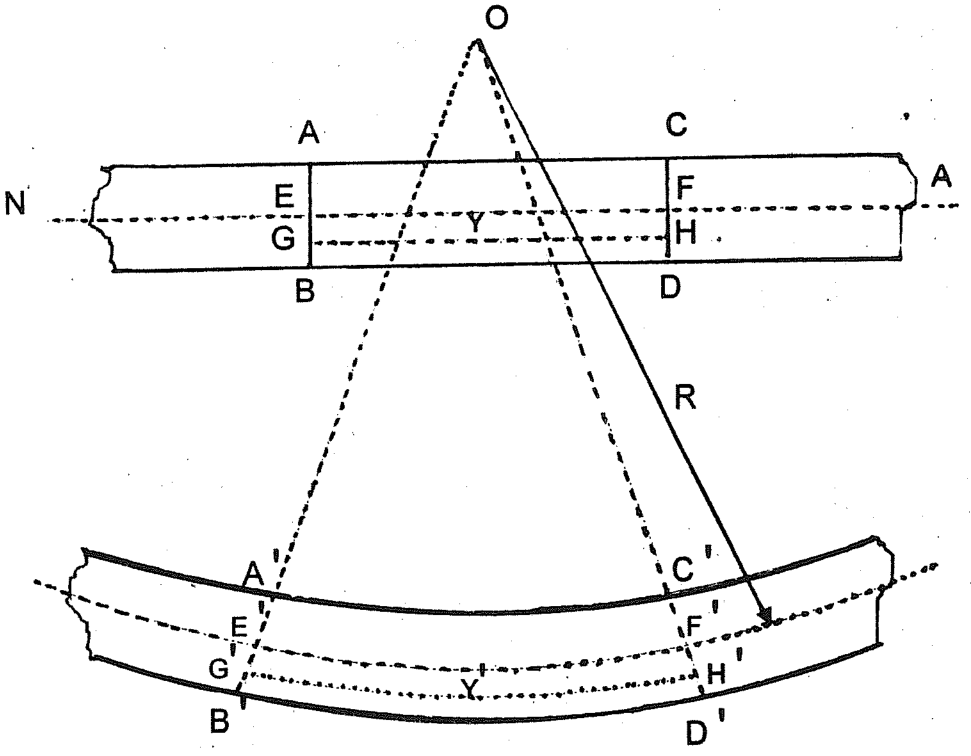
၁။ Timber Joist တခုသည် 100 lb / ft R U.D.L ကိုထမ်းဆောင်ထားရသည်။ အကယ်၍ Joist ၏ Effective Span မှာ 8 ft ဖြစ်ပါက သင့်တော်သည့် Joist section ကိုသတ်မှတ်ပေးပါ ။ သစ်သား၏ stress = 1800 # / in²



၂။ AB နှင့် C D ယက္မနှစ်ခုတို့သည် ပုံတွင်ပြထားသည့်အတိုင်း Point Load အသီးသီးကို ထမ်းဆောင်ထားရသော အခြားယက္မ E F ကို ထမ်းဆောင်ထားရပြီး ၎င်းတို့အား အစွန်းနှစ်ဘက်စီမှ သံတိုင်နှစ်ခုစီဖြင့် ထောက်မထား၏။ အကယ်၍ 14 " x 6 x 4 " B.S.B ကို A B ယက္မအဖြစ်အသုံးပြုလိုပါက Maximum stress ကိုရှာပါ။ Z = 65 . 6 in³

၃။ ကြမ်းခင်းတခုတွင် အသုံးပြုထားသော Timber Joist များ၏ Size မှာ 2 " x 5 " ဖြစ်ကြ၏။ Joist များ၏ Effective span မှာ 9 ft ဖြစ်၏။ အကယ်၍ ကြမ်းခင်းနှင့် Joist တို့၏ အလေးဝန်များအပါအဝင် 120 lb / ft² ကို ထမ်းဆောင်ထားလျှင် Permissible bending stress မှာ 1200 lb / in² ဖြစ်လျှင် Joist များ၏ အများဆုံး ထမ်းဆောင်နိုင်မည့် အကွာအဝေးကိုရှာပါ။

THEORY OF BENDING (ကွေးညွတ်ခြင်း နိယာမ)



ပုံတွင်ဖေါ်ပြထားသော ယက်မပေါ်သို့ အလေးဝန်သက်ရောက်စေသောအခါ ယက်မသည် အထက်တွင်ပြထားသည့် အတိုင်း ကွေးညွှတ်သွားမည်ဖြစ်သည်။ A B နှင့် C D သည် မကွေးညွှတ်မီ ကန့်လန့်ဖြတ်မျက်နှာပြင်နှစ်ခု ဖြစ်၍ Neutral Axis နှင့် ထောင့်မှန်ကျသည်။

ယက်မကွေးညွှတ်သွားသောအခါ A B နှင့် C D သည် A ' B ' နှင့် C ' D ' ဖြစ်သည်။ B' A ' နှင့် D ' C' တို့ကို ဆက်ဆွဲပါက အမှတ် O တွင် တွေ့ဆုံသည်။ R သည် O အမှတ်မှ NA မျဉ်းပေါ်သို့ အကွာအဝေးဖြစ်ပြီး ၄င်း R ကို Radius of Curvature ဟုခေါ်သည်။

A C သည် A ' C ' သို့ ကျုံ့ဝင်သွားပြီး B D သည် B ' D ' သို့ရှည်ထွက်သော်လည်း E F သည် မပြောင်းလဲချေ။ G H သည် E F မှ Y အကွာအဝေးတွင်ရှိသော ယက်မ၏ အလွှာတစ်ခုဖြစ်ပါက ကွေးညွှတ်ပြီးချိန်တွင် G ' H ' ဖြစ်လာသည်။ G H မှ ရှည်ထွက်လာသော အပိုင်းသည် မူလအလျားထက် ရှည်ထွက်လာသော အပိုင်းဖြစ်သည်။

E G" ကို F H ' နှင့်အပြိုင်ဆွဲသောအခါ ရှည်ထွက်လာသောအပိုင်းသည် G ' G " ဖြစ်သည်။

△ E G ' G " နှင့် △O E F တို့သည်သဏ္ဌာန်တူကြသည်။

$$\therefore \quad \frac{G'G''}{EF} = \frac{EG''}{OF}$$

$$\frac{\text{ရှည်ထွက်လာသော အလျား}}{\text{မူလအလျား}} = \frac{Y}{R}$$

$$\text{Strain} = \frac{Y}{R}$$

$$\text{Strain} = \frac{f}{E}$$ ဖြစ်၍

$$\frac{f}{E} = \frac{Y}{R} \longrightarrow \frac{f}{Y} = \frac{E}{R}$$

Bending Formula အရ

$$M = f\,z$$

$$M = f\,\frac{I}{Y}$$

$$\frac{M}{I} = \frac{f}{Y}$$

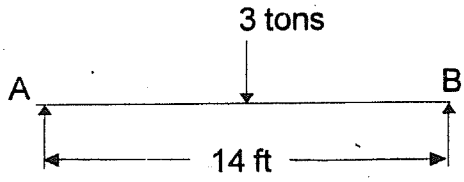
$$\boxed{\frac{M}{I} = \frac{f}{Y} = \frac{E}{R}}$$

၄င်းတွင် -

M = Moment of Resistance: or
Maximum Bending Moment (in - ton or in - lb)
I = Moment of Inertia - (in^4)
f = Unit stress of Beam (lb / in^2 or ton / in^2)
Y = Distance from N . A to extreme layer of fiber (in)
E = Modulus of Elasticity (lbs / in^2 or ton / in^2)
R = Radius of Curvature (in)

<u>Example</u>

သစ်သားယက်မတစ်ချောင်းသည် 8" x 12" အရွယ်ရှိ၍ ခန်းပွင့် 14 ' ရှိပြီး 3 tons ရှိသော Point Load တစ်ခုသည် အလယ်ဗဟိုတွင်သက်ရောက်နေသည်။ (က) ဖြစ်ပေါ်နေမည့် Stress ကိုရှာပါ။ (ခ) Radius of Curvature ကိုလည်းရှာပါ။ E for timber = 800 $tons / in^2$



ယက်မ၏အရွယ် b = 8"
d = 12"
span L = 14 ft

$$\text{၄င်း၏ } M = \frac{WL}{4} = \frac{3 \times 14 \times 12}{4} = 9 \times 14 \text{ in ton}$$

Flexure Formula အရ

$$M = f\,z$$

$$9 \times 14 = \frac{f \times 8 \times 12 \times 12}{6}$$

$$f = \frac{63}{96} = 0.67 \text{ tons / in}^2$$

Bending Theory အရ -

$$\frac{f}{Y} = \frac{E}{R}$$

$$= \frac{EY}{R} = \frac{800 \times 6 \times 32}{21} = \frac{5100}{7} = 7314.28 \text{ ins}$$

လေ့ကျင့်ရန်ပုစ္ဆာများ

၁။ သစ်သားဆင့်တစ်ချောင်း၏ ထု Depth မှာ 9" ရှိ၍ခန်းဖွင့် 12 ft ရှိပြီး U.D.L.250 lbs/ft ကိုထမ်းဆောင်ထားရ၏။ Stress သည် 1200 lbs/in^2 ထက် မပိုစေရန် ၎င်းဆင့်၏ breadth ကိုမည်မျှထားရမည်နည်း။

၂။ ထောင့်မှန်စတုဂံပုံ ယက်မတချောင်းသည် 4" ကျယ်၍ထု 9" ရှိသည်။ ၎င်းတွင် သက်ရောက်လျှက်ရှိသောအလေးဝန်မှာ 250 lbs/ ft - run ဖြစ်၍ f= 1000 psi ထက်မကျော်လွန်စေရန် span မည်မျှရှိရမည်နည်း။

၃။ ကြမ်းခင်းတစ်ခုတွင်အသုံးပြုသော ဆင့်များကို 8"c/c ခွါ၍အသုံးပြုထား၏။ ခန်းဖွင့်မှာ 9 ft ရှိ၏။ ကြမ်းခင်းအလေးဝန်အပါအဝင် 120 lbs/ft^2 ကိုထမ်းဆောင်ရန် ဆင့်များအရွယ်အစားကိုသတ်မှတ်ပေးပါ။
f =120 psi

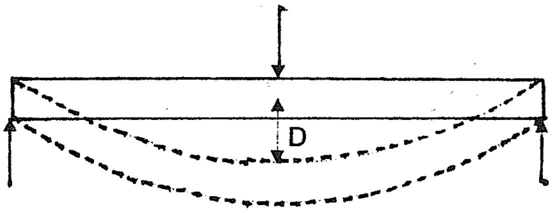
၄။ I Section Rolled Steel Beam တခုတွင် flange များ၏အကျယ်မှာ 5 ဖြစ်၍ ထုမှာ 0.575 in ရှိပြီး web မှာ 0.375 in ထုသည်။ Over all depth မှာ 8" ရှိ၏။ ၎င်း Beam သည် ခန်းဖွင့် 12 ft တလျှောက်စုစုပေါင်း 9 tons ရှိသော U.D.L. ကိုထမ်းဆောင်နေရသော်၎င်းယက်မအတွင်းဖြစ်ပေါ်မည့် max. stress ကိုရှာပါ။

၅။ ခန်းဖွင့်15 ft ရိုးရိုးရိုးထောက်မထားသော ယက်မတခုလုံး ပေါ်တွင် U.D.L 1200 lb / ft သက်ရောက်လျှက်ရှိသည့်အပြင်လက်ဝဲဘက်ထောက်မချက်မှ 3ft အကွာတွင် 7500 lb point load ကိုတင်ထား၏။ f =20000 psi ,Z =28.76 in^3 ရှိသော 8" I Section ကိုအသုံးပြုရန် သင့် မသင့်စစ်ဆေးဆုံးဖြတ်ပေးပါ ။

၆။ မော်တော်ကားအလုပ်ရုံတခုတွင် တိုင် ၂ တိုင် သည် 18' အကွာအဝေးတွင်ရှိကြသည်။၎င်းတိုင်များပေါ်တွင်သစ်သားယက်မတချောင်းတင်၍ဝန်ချီစက် ၂ ခု ကို ဝန်များမှ 6 ft အကွာစီတွင် ထားလို၏။ ဝန်ချီစက်တခုစီသည်အများဆုံး 2 tons အလေးကိုတင်နိုင်ရန် f = 2400 psi ခံနိုင်သောသစ်သားယက်မတချောင်း၏အရွယ်ကို $b = {}^{d}/_{2}$ ထား၍သတ်မှတ်ပေးပါ ။

၇။ 4' x 4' x 4' ရှိသော ရေတိုင်ကီတခုသည် 2 ft အကွာစီတွင်ရှိသောဆင့်များပေါ်တွင်တင်ထားသည်။ ၎င်းဆင့်များ၏အရှည်သည် 8 ft ဖြစ်သည် ။ တဖန် ၎င်းဆင့်များသည် 8 ft ရှိသော Main Beam ပေါ်တွင်တည်ရှိ၍ Main Beam များသည် Trestle ၏ထိပ်တွင် တည်ရှိပါက ဆင့်နှင့် ယက်မတို့ကို f=1600psi ခံနိုင်သော သစ်သားဖြင့် Design လုပ်ပါ။
(Empty Tank ၏ အလေးချိန်သည် 1000 lbs ရှိ၍ရေ၏ အလေးသည် 62.4 lbs/ft^3 ဖြစ်သည်။ Joist နှင့် Beam တို့၏ပင်ကိုယ်အလေးကို ထည့်သွင်း စဉ်းစားရန် မလိုပါ။)

DEFLECTION OF BEAM



Beam တခုပေါ်သို့ အလေးဝန်သက်ရောက်စေသောအခါ ၎င်း Beam သည် ကွေးညွှတ်ခြင်းဖြစ်ပေါ်လျှက် အလယ်ဗဟိုရှိ မူလနေရာမှ ကွေးညွှတ်ပြီး ရွေ့လျှားသွားသောအကွာအဝေးကို Deflection ဟုခေါ်သည်။

၎င်း Deflection ကို သာမာန် မျက်စေ့ဖြင့် ကြည့်၍ မမြင်နိုင်သော်လည်း ၎င်းသည်အမြဲဖြစ်ပေါ်နေ၏။ ၎င်းကို Beam များအား Design ပြုလုပ်ရာတွင် အရေးထား၍ စဉ်းစားတွက်ချက်ရလေသည်။

၎င်း Deflection ကို $^1/_{360}$ of Span အထိသာ ခွင့်ပြုနိုင်၍ ထို့ထက်ကျော်လွန်ပါက လုံခြုံစိတ်ချရမှုမရှိချေ။ ထို့ကြောင့် Design of beam တွင် Maximum allowable deflection ကို $^1/_{360}$ of span အထိသာ သတ်မှတ်ကြလေသည်။ များသောအားဖြင့် ကြမ်းခင်းနှင့် အမိုးတွင် ပြင်ပအလေးဝန်ကြောင့် Deflection သည် ၎င်း Limit ထက်ကျော်လွန်ပါက ကွဲအက်ပျက်စီးခြင်းဖြစ်ပေါ်တတ်လေသည်။ ထို့ကြောင့် ၎င်းတို့ကိုထမ်းဆောင်ရမည်ဖြစ်သော Beam , Ginder , Joist အစရှိသည့် Horizontal Member များကို Design လုပ်ရာတွင် ၎င်း $^1/_{360}$ or $^1/_{480}$ of span limit ထက်ကျော်လွန် ခွင့်မပြုပေ။ ထို့ကြောင့် ယက္ခတခုသည် Flexure Formula အရ ခိုင်ခန့်ရမည့်အပြင် သတ်မှတ်ထားသော Deflection ထက်မပိုစေရန် ပြန်လည်စစ်ဆေးရလေသည်။

Formula for Maximum Deflection of Beam

W = Total Uniformly Distributed Load or point Load (in-lbs or tons)

P = Point Load

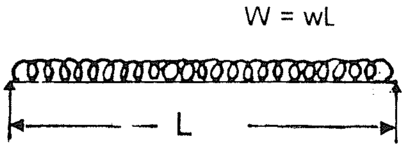
L = Length of span in inches

E = Moments of span Elasticity , (lbs / in^2 , $tons / in^2$)

I = Moment of Inertia in (in^4)

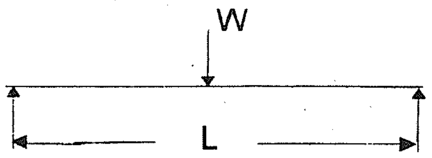
and D = Maximum Deflection in (in)

1. Freely supported Beam with U.D.L of W



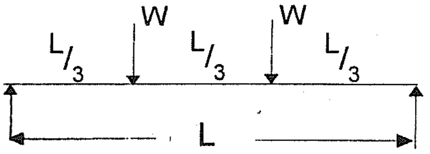
$$D = \frac{5}{384} \times \frac{W L^3}{E I}$$

2. <u>Simple supported beam with one concentrated load at the centre</u>



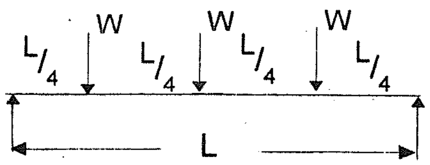
$$D = \frac{1}{48} \times \frac{WL^3}{EI} \text{ ins}$$

3. <u>Simple beam with two equal Loads equally spaced</u>



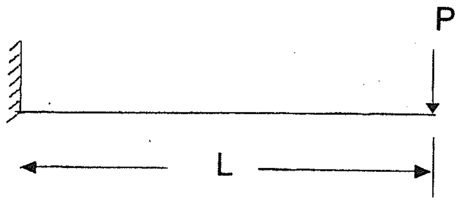
$$D = \frac{23}{648} \times \frac{WL^3}{EI} \text{ ins}$$

4. <u>Simple beam with three equal points Loads equally spaced</u>

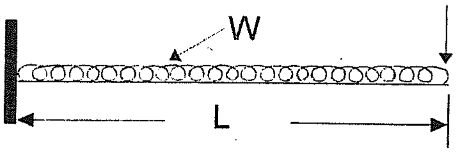


$$D = \frac{1}{384} \times \frac{WL^3}{EI} \text{ ins}$$

5. <u>Cantilever beam with one concentrated Load at the free end.</u>



$$D = \frac{WL^3}{3EI} \text{ ins}$$

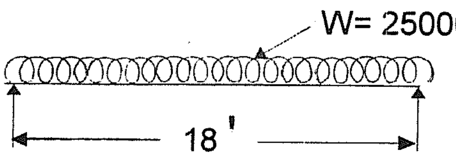


$$D = \frac{WL^3}{8EI} \text{ ins}$$

<u>Example</u> 1.

ရိုးရိုးယက်မတချောင်းသည် ခန်းပွင့် 18 ft ရှိ၍ U.D.L စုစုပေါင်း 25,000 lbs ကိုထမ်းဆောင်ထားရသည်။ ၄င်းယက်မအတွက် 12" WF 27 # I Section ကိုအသုံးပြုရန် deflection အတွက် Safe ဖြစ်မဖြစ်ဆန်းစစ်ပြပါ။

(12" wF 27 # ၏ I = 204.1 in^4 , E = 29×10^6 lbs / in^2)



ပေးထားချက်

W = 25,000 lbs

L = 18 x 12 in

E = $29 \times 29 \times 10^6$ psi

I = 204.1 in^4

Simple beam တွင် U.D.L သက်ရောက်သဖြင့်

Maximum Deflection -

$$D = \frac{5}{384} \times \frac{WL^3}{EI}$$ အရ

$$D = \frac{5}{384} \times \frac{25,000 \times (18 \times 12)^3}{2.9 \times 10^6 \times 204.1}$$

$$= 0.5546 \text{ in}$$

$$\text{Allowable Deflection} = \frac{1}{360} \times \text{span}$$

$$= \frac{1}{360} \times 18 \times 12 = 0.6 \text{ in}$$

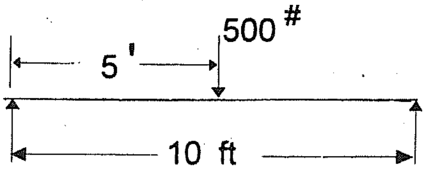
Allowable Deflection > Maximum Deflection

∴ ၄င်းယက္ခအတွက် 12 " wF 27# I Section သည် Deflection အတွက် Safe ဖြစ်ပါသည်။

DESIGN OF BEAM

Beam တခုကို Design ပြုလုပ်ရာတွင်ဖြစ်စေ Design ပြုလုပ်ထားပြီးသော beam အား ရွေးချယ်ရန် သင့်မသင့် ဆုံးဖြတ်ရာတွင်ဖြစ်စေ အောက်ပါအတိုင်းတွက်ချက်ရသည်။

ပထမအဆင့်အနေဖြင့် တွက်ချက် Design လုပ်ရမည့် beam ၏ အခြေအနေနှင့် သက်ရောက်သော Loads များအား သက်ရောက်နေသည့်ပုံစံအတိုင်း ရေးဆွဲရမည်။ ဥပမာ - 10 ft ရှည်သော Simple supported beam တွင် Point Load 500 lbs သည် အလယ်ဗဟိုတွင် သက်ရောက်နေသည်ဆိုပါက



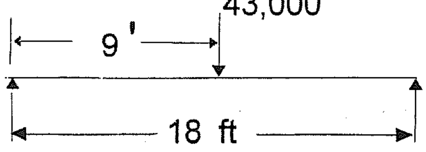
ဤပုံကဲ့သို့ ရေးဆွဲပြီးနောက် အလေးဝန်များကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော Max: B . M ၏ ပမာဏ M ကိုရှာဖွေ၍ Allowable fiber stress (f) နှင့်စား၍ z ကို ရရှိရန် M = f z ဖြစ်သော Flexure Formula ကိုအသုံးပြုရမည်။

Design ပြုလုပ်ရမည်ဆိုပါက Table မှ တွက်ချက်၍ရသော z ထက် များသော Z တန်ဘိုးရှိသည့် Beam တခုအားရွေးချယ်ရမည်။ ထို့နောက် Table ရွေးချယ်ထားသော Beam ၏ Own weight ကိုထည့်သွင်းစဉ်းစား၍ ၄င်းအတွက် z ကိုရှာရမည်။ ထို z နှင့် Load ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသော Z တို့ ပေါင်းရခြင်းသည်ရွေးချယ်ထားသော Beam ၏ z ထက် နည်းပါက Safe ဖြစ်၍ အသုံးပြုနိုင်သည်။ ထို့နောက် beam ၏ deflection ကိုစစ်ဆေးရလေသည်။

Example 1

Simple beam တခုသည် 18 ft span ရှိ၍ အလယ်ဗဟိုတွင် 43000 lbs ရှိသော Point Load တခုကို ထမ်းဆောင်ရသော် ထို beam အတွက် အသုံးပြုရမည့် ယက္ခကို Design လုပ်ပါ။

$f = 20000$ psi, $E = 23 \times 10^6$ psi



၄င်း beam အတွက် Load ကြောင့်ဖြစ်သော

$$\text{Max: B. M - M} = \frac{WL}{4} = \frac{43,000 \times 18 \times 12}{4}$$

$M = 54 \times 43,000$ in lbs

၄င်း၏ Z တန်ဘိုး $M = f\,Z$ (Flexure Formula) အရ

$$Z = \frac{M}{f} = \frac{54 \times 43,000}{20,000} = 116.1 \ in^3$$

Table အရ 20 " x 6½" x 65 lbs ကိုရွေးသော် -

Own wt = 65 x 18 lbs

$$\text{၄င်း၏ } M = \frac{WL}{8} = \frac{65 \times 18 \times 18 \times 12}{8} \quad in - lbs$$

$Z = 1.6 \ in^3$

Total $Z = 116.1 + 1.6 = 117.7 \ in^3$

Table မှ 20 " x 6½ " x 65 # ၏ Z = 122.60 ရှိ၍ Flexure အရဖြစ်သည်။

$$\text{Deflection for beam} = \frac{WL^3}{48EI} \times \frac{5WL^3}{384EI}$$

$$= \frac{43,000 \times (18 \times 12)^3}{48 \times 29 \times 10^6 \times 1266} + \frac{5 \times 65 \times 18\,(18 \times 12)^3}{384 \times 29 \times 10^6 \times 1266}$$

$$= 0.125 \ in$$

$$\text{Allowable Deflection} = \frac{18 \times 12}{360} = 0.6 \ in$$

∴ ထိုယက်မသည် Safe ဖြစ်သဖြင့် အသုံးပြုနိုင်သည်။

∴ ယက်မအရွယ်အစား = 20 " x 6 ½ " x 65 #

<u>လေ့ကျင့်ရန်ပုစ္ဆာများ</u>

၁။ ခန်းပွင့် 22 ft ရှိ ရိုးရိုးထောက်မထားသော ယက်မတချောင်း၏ အလယ်ဗဟိုတွင် 170 lbs ရှိ Point Load တခုကို ထမ်းဆောင်ရန်အတွက် 15" I 42.9 lbs ရှိ ယက်မကို ပြုလုပ်မည်ဆိုပါက Deflection အတွက် Safe ဖြစ်မဖြစ်ကိုစစ်ဆေးပြပါ။

(15 " I 42.9 # ၏ $I_{NA} = 441.8 \ in^4$, $E = 29 \times 10^6$)

၂။ ရိုးရိုးထောက်မထားသော ယက်မ၏ ခန်းပွင့်မှာ 24 ' ဖြစ်သည်။ ၄င်းယက်မပေါ်၌ 4 lbs စီရှိ Point Load ၂ ခုသည် ယက်မ၏ $^1/_3$ နေရာစီတွင် အသီးသီးကျရောက်နေသည့်ပြင် ယက်မ၏ အလျားတလျှောက်စုစုပေါင်း 24,000 lbs ရှိသော U.D.L ဝန် ထမ်းဆောင်နေရသည်။ ၄င်းယက်မအတွက် $I_{NA} = 583.3 \ in^4$ ရှိ 16 " wF 45 lbs ယက်မကို အသုံးပြုပါက Deflection အတွက် စိတ်ချရမှု ရှိမရှိ တွက်ပေးပါ။

(ယက်မ၏ အလေးဝန်ကို ထည့်သွင်းစဉ်းစားရန် မလိုပါ။)

၃။ အဖွင့်ပေ 20 ရှိသော ယက်မတချောင်းကို 14 " depth ရှိသော I section တခုအား အသုံးပြုထားပါက ၄င်းယက်မ၏ အလယ်ဗဟိုတွင် ကွေးညွှတ်မှု Deflection 0,25 " ထက်မပိုစေရန် အလယ်ဗဟို၌ သက်ရောက်ရမည့် အလေးဝန်ကိုရှာပါ။ဝန်သက်ရောက်မှုကြောင့် ယက်မအတွင်းဖြစ်ပေါ်မည့် Intensity of beding stress ၏ပမာဏကိုလည်းရှာပါ။ (beam ၏ $I = 440 \ in^4$, $E = 30 \times 10^6$ psi)

၄။ 4" x 8" ရှိသောယက်မတချောင်း၏ span မှာ 14 ft ဖြစ်၍အလယ်ဗဟိုတည့်တည့်တွင် point load အစား total U.D.L . 1152 lbs ကိုထမ်းဆောင်ရပါက deflection မည်မျှဖြစ်မည်နည်း။

၅။ U.D.L. 225 lbs/ft run ကိုထမ်းဆောင်ထားရသောပျဉ်းကတိုးယက်မတခု၏ Stress မှာ 1200 lbs/in² ဖြစ်၍ effective span မှာ 10 ft ဖြစ်သည်။ E = 800 tons / in² ဖြစ်သော် deflection အတွက်ပါ စိတ်ချရမည့် သင့်လျော်သော Beam section တခုကိုရှာပေးပါ။

၆။ Span 14 ft ရှိသော ယက်မတခုသည် Span ၏အလယ်ဗဟို၌ contentrated Load 17000 # ကို ထမ်းဆောင်ထားရ၏။ အကယ်၍ f = 20,000 lbs /in² ဖြစ်သော်လိုအပ်မည့် I Beam တခုကို တွက်ချက်ပေးပါ။ ၄င်း၏ Deflection သည် ခွင့်ပြုသည်ထက် ကျော်မကျော် ဆန်းစစ်ပေးပါ။

Table အရ - 12" I 40.8# ၏ Z = 44.8 in³

12" I 35# ၏ Z = 37.8 in³

12" I 31.8# ၏ Z = 36.0 in³

10" I 40# ၏ Z = 31.6 in³

$E = 30 \times 10^6$ psi

၇။ 8 ft ရှည်သော Cantilever Beam တခုသည် U.D.L 600 # / R ft ကိုထမ်းဆောင်ထားရ၏။ အကယ်၍ f = 20,000 psi ဖြစ်သော် ၄င်း Beam ကို Flexure အတွက် Design ပြုလုပ်၍ Actual Deflection ကိုရှာပါ။ $E = 30 \times 10^6$ psi

DEFLECTION FOUND BY COEFFICIENT

Actual deflection ကို Coefficient နည်းဖြင့်လည်းရှာနိုင်လေသည်။ ထိုသို့ ရှာဖွေရန်အတွက် အောက်ဖေါ်ပြပါ ဇယားရှိ coefficient တန်ဘိုးများကို ရှိရမည်ဖြစ်လေသည်။ ထိုသို့တွက်ယူရာ၌ ယက်မ၏ span နှင့် သတ်မှတ်ထားသော stress ကို table မှ coefficient ကိုရယူ၍ beam ၏ depth နှင့် စား တွက်ချက်ရသည်။

span	f = lbs/in²	
in ft	18,000	20,000
6	0.670	0.774
7	0.912	1.004
8	1.191	1.322
9	1.508	1.674
10	1.862	2.068
11	2.253	2.500
12	2.681	2.976
13	3.146	3.942
14	3.649	4.050
15	4.189	4.650
16	4.767	5.292
17	5.381	5.974

span	f = lbs/in²	
in ft	18,000	20,000
18	6.033	6.696
19	6.722	7.460
20	7.449	8.268
21	8.211	9.114
22	9.012	10.002
23	9.850	10.934
24	10.725	11.904
25	11.638	12.918
26	12.588	13.972
27	13.574	15.066
28	14.599	16.204
29	15.660	17.382

span	f = lbs/in²	
in ft	18,000	20,000
30	16.759	18.60
31	17.894	19.80
32	19.067	21.16
33	20.278	22.50
34	21.526	23.80
35	22.870	25.30
36	24.132	26.70
37	25.516	28.30
38	26.888	29.80
39	28.319	31.40
40	29.793	33.00
41	31.30	34.74

Deflection coefficient for U.D.L loads

အထက်ပါဇယားရှိ တန်ဘိုးများသည် Uniformly Distributed Load များအတွက်သာ ဖြစ်၍ အခြား Load များအတွက် အောက်ပါသတ်မှတ်ချက်များ အတိုင်း တွက်ယူရမည်ဖြစ်သည်။

1. One Concentrated load at the centre of span = 0.80 of -ve value
2. Two equal point load at the 3rd point of span = 1.02 of -ve value
3. Irregular loading at the 3rd point of span 0.92 of -ve value

ရှာဖွေရာတွင် - $\text{Actual Deflection} = \dfrac{\text{Actual stress}}{\text{Allowable stress}} \times \dfrac{\text{Coefficient in table}}{\text{Depth of beam}}$

အရရှာဖွေမည်။

၄င်းတွင် $\text{Actual stress} = \dfrac{\text{Total Maximum B.M}}{\text{Z of Designed Beam}}$ ဖြစ်လေသည်။

Unsymmetrical Section များအတွက်ကိုမူ table မှ Coefficient ကို 2 y နှင့် စားခြင်းဖြင့်ရရှိသည်။

$$\text{Deflection} = \frac{\text{Actual stress}}{\text{Allowable stress}} \times \frac{\text{Coefficient in table}}{2\,y}$$

Where -

y = The distance of extreme fiber from N. A

TABLE FOR BRITISH STANDARD BEAM

Referance Mark	Size in inch	Wt lb/ft	Area in sq-in	Moment of Inertia (in)^4		Radius of Gyration inch		Section Modulus (in)^3	
				I_{XX}	I_{YY}	I_{XX}	I_{YY}	Z_{XX}	Z_{YY}
B.S.B	GIRDER SECTION								
140	24 x 7½	95	27.94	2533.0	62.54	9.52	1.50	211.09	16.68
139	22 x 7	75	22.06	1677.0	41.07	8.72	1.36	152.40	11.73
137	20 x 6½	65	19.12	1266.0	32.56	8.01	1.31	126.60	10.02
134	18 x 6	55	16.18	841.8	23.64	7.21	1.21	93.53	7.88
131	16 x 6	50	14.71	618.1	22.47	6.48	1.24	77.26	7.49
130	15 x 6	45	13.24	491.9	19.87	6.10	1.23	65.59	6.62
125	13 x 5	35	10.30	283.5	10.82	5.25	1.03	43.62	4.33
117	10 x 4½	25	7.35	122.3	6.48	4.08	0.94	24.47	2.88
115	9 x 4	21	6.18	81.13	4.15	3.62	0.82	18.03	2.07
112	8 x 4	18	5.30	55.63	3.51	3.24	0.81	13.91	1.75
108	6 x 3	12	3.53	20.99	1.46	2.44	0.64	7.00	0.97
103	4 x 1¾	5	1.47	3.66	0.19	1.58	0.36	1.83	0.21
101	3 x 1½	4	1.18	1.66	0.13	1.19	0.33	1.11	0.17

B.S.B	HEAVY BEAMS AND PILLARS								
136	18 x 8	80	23.53	1292.00	69.43	7.41	1.72	143.60	17.36
133	16 x 8	75	22.06	973.90	68.30	6.64	1.76	121.70	17.08
128	14 x 8	70	20.59	705.60	66.67	5.85	1.80	100.80	16.67
124	12 x 8	65	19.12	487.77	65.18	5.05	1.85	81.30	16.30
120	10 x 8	55	16.18	288.69	54.74	4.22	1.84	57.74	13.69
119	10 x 6	40	11.77	204.80	21.76	4.17	1.36	40.96	7.25
116	9 x 7	50	14.71	208.13	40.17	3.76	1.65	46.25	11.48
114	8 x 6	35	10.30	115.06	19.54	3.34	1.38	28.76	6.51
110	6 x 5	25	7.37	43.[illegible]9	9.10	2.44	1.11	14.56	3.64
107	5 x 4½	20	5.88	25.03	6.59	2.06	1.06	10.01	2.93
104	4 x 3	10	2.92	7.79	1.33	1.63	0.67	3.89	0.88

Column and Strut

Tumber Column

အဆောက်အအုံတွင် Compressive Stress ဖိနှိပ်အားကို ခံနေရသောအစိတ်အပိုင်း Member များသည် Column or strut များဖြစ်ကြလေသည်။ သစ်သားတိုင်များသည်များသောအားဖြင့် Rectangular သို့မဟုတ် Square Section များဖြစ်ကြသည်။ သစ်သားတိုင်များတွင် တိုင်၏အရှည် L နှင့် အသေးဆုံးအတိုင်းအတာ (Dimension) d တို့၏အချိုး L/d ကို Slenderness Ratio ဟုခေါ်၍ ၎င်း L/d သည် 11 ထက်လျော့နည်းပါက Short Column တိုင်တိုဟု အသိအမှတ်ပြု၍ ၎င်းတိုင်၏ Allowable Strength Compressive load ကိုတွက်ချက်ရာတွင် အသုံးပြုထားသော သစ်သားတိုင်၏ Allowable Compressive Stress ကို တိုင်၏ Permissible unit-stress အဖြစ်တိုက်ရိုက်အသုံးပြုကြ၏ သစ်သားတိုင်များတွင် Slenderness ratio L/d ကိုအများဆုံး 30 အထိခွင့်ပြုထားလေသည်။

Slenderness ratio 11 ထက်ကျော်လွန်သောတိုင်ရှည်များအဖို့ ကွေးညွတ်ခြင်းများဖြစ်ပေါ်ခြင်းကြောင့် တိုင်၏ အလျားရှည်လျှင် တိုင်၏ Size ကိုကြီး၍သုံးရမည်ဖြစ်သည်။ တိုင်ရှည်များ၏ Unit Permissible Stress ကိုရှာရန် ပုံသေနည်းပေါင်းများစွာအနက် အများဆုံးအသုံးပြုသောပုံသေနည်းမှာ f = C(1-L/80d) ဖြစ်၍ ၎င်းကို Straight Line Formula ဟုခေါ်လေသည်။

where f = The Maximum Permissible Unit Stress in lb/in^3 for the Column Cross Section.

C = The Maxumum allowable stress in lb/in^2 for short block.

L = The unsupported Length of the column in inches.

d = The Least width or diameter of the cross section in inch.

Example.

အလေးဝန် Lbs 50000 သက်ရောက်ခြင်းခံရမည့် 14 ft အရှည်ရှိသော ပျဉ်းကတိုးတိုင်တစ်ခုကို Design ပြုလုပ်ပါ။ C = 2000 lbs/in^2 တိုင်ကိုခန့်မှန်း၍ 6" x 6" ဟုယူဆသည်။

Slenderness Ratio L /d = 14x12 /6 =28 ၎င်းသည်တိုင်အရှည်ဖြစ်၍

Straight Line Formula အရ

$$f = c(1 - \frac{l}{80d})$$

$$f = 2000(1 - \frac{14\times12}{80\times6})$$

$$= 2000 \times \frac{52}{80} = 1300 \ lbs/in^2$$

$$\text{Allowable load} = 1300\times6\times6 = 46800 \text{ lbs}$$

ခွင့်ပြုနိုင်သော Load မှာ 46800 lbs သာရှိ၍ 6" x 6" တိုင်သည် Safe မဖြစ်ပေ။

∴ 7" x 7" ကိုသုံးသော်

$$\text{Slenderness ratio} = \frac{14\times12}{7} = 24$$

တိုင်အရှည်ဖြစ်၍

$$f = c\left(1 - \frac{l}{80d}\right)$$

$$= 2000\left(1 - \frac{14\times12}{80\times7}\right)$$

$$= 2000\times\frac{56}{80} = 1400 \text{ psi}$$

$\therefore$ ထမ်းဆောင်နိုင်သောဝန် = 1400 x 7 x 7 = 68600 lbs

$\therefore$ 7" x 7" အရွယ်ကိုအသုံးပြုမည်။

လေ့ကျင့်ရန်ပုစ္ဆာများ

(1) 12 ft အရှည်ရှိသော 6" x 6" ကျွန်းတိုင်တစ်ခု၏ ထမ်းဆောင်နိုင်မည့် Total Axial load ကိုရှာပါ။ c = 1400 lb/in^2.

(2) 9 ft အရှည်ရှိသော ပျဉ်းကတိုး တိုင်တစ်ချောင်းသည် axial load 30000 lbs ကို ထမ်းဆောင်ရန်ရှိသည်။ အကယ်၍ ပျဉ်းကတိုး၏ allowable unit stress သည် 2000 lbs/in^2 ဖြစ်သော် လိုအပ်မည့် size ကိုရှာပါ။

(3) 15 ft အရှည်ရှိသော ကျွန်းတိုင်တစ်ချောင်းသည် Total Axial load 100000 lbs ကို ထမ်းဆောင်ရမည့်ဖြစ်သည်။ ကျွန်းတိုင်၏ Allowable unit stress မှာ 1200 lbs/in^2 ဖြစ်သော် ၎င်းကျွန်းတိုင်၏ လိုအပ်မည့်အရွယ်အစားကိုရှာပါ။

(4) ပျဉ်းကတိုးဖြင့်ပြုလုပ်ထားသော 8" square post ပေါ်သို့ 40000 lbs အလေးဝန်သက်ရောက်စေခြင်းဖြင့် c = 2000 psi ဖြစ်ပါက ၎င်းတိုင်၏ အရှည်ကိုရှာပါ။

STEEL COLUMN

Steel Column များကို Design ပြုလုပ်ရာတွင် Least radius of gyration (r) ကိုထည့်သွင်းစဉ်းစားရန် လိုအပ်ပေသည်။ ၎င်း Least radius of gyration သည် Column ၏ Cross-Sectional Area နှင့် Shape အပေါ် မူတည်၍ ကွေးညွတ်မှုခုခံနိုင်ခြင်း၏ အတိုင်းအတာအတွက် အရေးကြီးသောကိန်းတစ်ခု ဖြစ်၏

Steel Column များအတွက် Slenderness ratio မှာတိုင်၏အရှည်နှင့် Lead Radius of gyration ၏အချိုး $^L/_r$ ပင်ဖြစ်၏။ Main compression member ဖြစ်ကြသော Slenderness Ratio မှာ 120 ထက် မကျော်လွန်ရပေ။ Secondary Member များဖြစ်သော ဒိုင်းခွေများ Strut စသည်တို့အဖို့ Slenderness Ratio သည် 200 ထက်မကျော်လွန်ရချေ။

Slenderness Ratio သည် 120 ထက်ကျော်လွန်၍ အတွင်းရှိသော Secondary Member များအတွက် (L / r >120 ≤ 200)

$$f = \frac{1800}{1+\frac{L^2}{1800\,r^2}}$$

Slenderness Ratio 120 ထက် မကျော်လွန်သောအခါ Main Compression Member များအတွက် (L / r < 120

$$f = 17000 - 0.485\,(L/r)^2$$

၎င်း Formula များကို A.I.S.C (American institute of Steel Comstruction Specifications) Formula ဟုခေါ်လေသည်။

(1) 14 ft အရှည်ရှိသော 8" W.F 35 # Steel Column တစ်ခု၏ Allowable axial load ကိုဂှာပါ။ Y_{xx} = 3.5 in , r_{yy} =2.03 in , A = 10.30 in^3 .

$$\text{Slenderness ratio} = \frac{L}{r} = \frac{14 \times 12}{2.03} = 82.75$$

· Slenderness ratio သည် < 120 ဖြစ်၍

$$f = 17000 - 0.485 \left(\frac{l}{r}\right)^2$$

$$= 17000 - 0.485 \times (82.75)^2$$

$$= 13680 \text{ lb/in}^2$$

$$\text{Allowable Axial load} = 13680 \times 10.3 = 141800 \text{ lbs.}$$

Example (2)

Unsupported Length 18 ft ဖြစ်၍ Total Axial load 110000 lb ကို ထမ်းဆောင်ရမည့် တိုင်တစ်ချောင်း အတွက် 8" W.F 31 # ယက္ခကို အသုံးပြုရန် သင့် မသင့်ဆုံးဖြတ်ပေးပါ။

8" W.F 31# ၏ r_{xx} = 3.047" , r_{yy} = 2.01" , A = 9.12 in^2

$$\text{Slenderness ratio} = \frac{18 \times 12}{2.01} = 107.2$$

၎င်းသည် 120 ထက် မကျော်လွန်သဖြင့်

$$f = 17000 - 0.485 \left(\frac{l}{r}\right)^2$$

$$= 17000 - 0.485 \times (107.2)^2$$

$$= 17000 - 0.485 \times 11500$$

$$= 11425 \text{ lbs/in}^2$$

Allowable Axial Load = 11425 x 9.12 = 104200 lbs

၎င်းသည် Actual load ထက်နည်းနေသဖြင့် safe မဖြစ်ပါ။

ထို့ကြောင့် ထိုအလေးဝန်သက်ရောက်ရန်အတွက် 8" W.F 31# ယက္ခကို မသုံးသင့်ပါ။

လေ့ကျင့်ရန်ပုစ္ဆာများ

(1) Unsupported Length 12 ft ရှိသော 6" W.F 25 lb Steel Column တစ်ခု၏ Allowable Axial load ကိုရှာပါ 6" W-F 25 # ၏ r = 1.52" , A = 7.37" in^2

(2) 10" x 31.2# Steel pipe column တစ်ခုသည် Unsupported length 13 ft ရှိ၏။ ၎င်း၏ Allowable Axial load ကို တွက်ပါ။ r = 3.7" , A = 9.178 in^2

(3) အလေးဝန် 59000 lbs ကိုခံနိုင်ရန်အတွက် Unsupported Length 10 ft ရှိသော တိုင်တစ်ချောင်းအဖြစ် 4"x14.98 # Steel pipe ကိုအသုံးပြုရန်သင့် မသင့်စစ်ဆေးပါ။ Area = 4.407 in^2 , r = 1.48 in.

Euler's Formula For Long Column

$$P = \frac{\pi^2 E I}{l^2}$$

where , P = Buckling or Crippling load.

E = Modulus of Elasticity.

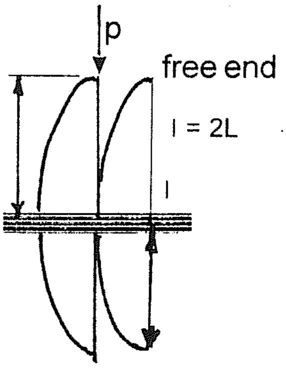
I = Least Moment of Inertia.

l = Effective length

L = Actual Length Unsupported Length.

Case (I) <u>One end fixed and the other end free.</u>

တစ်ဖက်သေ တစ်ဖက်လွတ်တိုင်

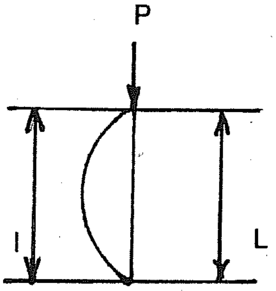


$$P = \frac{\pi^2 E I}{l^2}$$

FIXED END

Case (II) <u>Rounded or Pin Jointed Ends or Boths Ends Hinge</u>

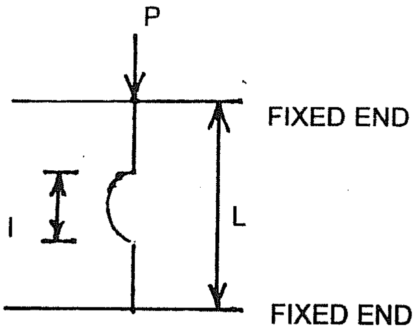
နှစ်ဘက်အစွန်းရှင်တိုင်



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

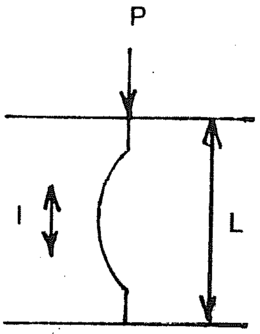
Case (III) <u>Both Ends Fixed</u>

နှစ်ဖက်အစွန်းသေတိုင်။



$l = \frac{1}{2} L$, $$P = \frac{4\pi^2 E I}{L^2}$$

Case (IV) <u>One End Fixed and the Other End Free to Rotate</u> တစ်ဖက်သေ တစ်ဖက်ရှင်တိုင်။



free to rotate

$l = \frac{2}{3} L$, $$P = \frac{2\pi^2 E I}{L^2}$$

<u>Example (1)</u>

Cylinder ပုံ Cast Iron သံတိုင် တစ်ခုသည် 8" dia: ရှိ၍ ပေ 20 ft အရှည်ရှိသည်။ ၎င်းတိုင်အား နှစ်ဖက်အစွန်းသေ (Both Ends Fixed) အဖြစ်အသုံးပြုထား၏။ ၎င်းတိုင်၏ Bluckling load ကိုရှာပါ။
E for C.I = 5000 tons/in²

Cast Iron တိုင်၏

$$\text{Moment of inertia} = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$= \frac{\pi \times 8^4}{64}$$

$$L = 20 \times 12 \text{ in}$$

Euler's Formula အရ

Case (III) ဖြစ်၍ $L = {}^{L}/_{2}$ ဖြစ်သဖြင့်

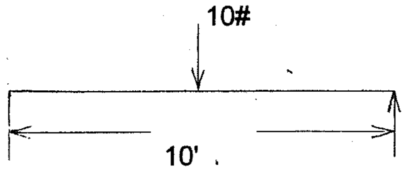
$$P = \frac{4\pi^2 EI}{L^2}$$

$$= \frac{4 \times \pi^2 \times 5000 \times \pi \times 8^4}{64 \times (20 \times 12)^2} = 689.3 \text{ tons}$$

$$\therefore \text{ Buckling Load } = 689.3 \text{ tons.}$$

<u>Example (2)</u>

Euler's Formula ကို အသုံးပြု၍ 10 ft အရှည်ရှိပြီး အစွန်း နှစ်ဖက်အား Pin Jointed Ends ဆက်ထားသော Circular bar အတွက် Blucking Load ကိုရှာပါ။ ၎င်း bar ကို Freely supported beam အဖြစ် အသုံးပြု၍ အလယ်ဗဟိုတွင် 10 lbs အလေးဝန်တင်လိုက်သောအခါ ½" deflection ဖြစ်သည်။



၎င်း Bar အား Freely Supported Beam အဖြစ်အသုံးပြုစဉ် ½" Deflection ဖြစ်၍

$$D = \frac{1}{48} \times \frac{WL^3}{EI} \quad \text{အရ}$$

$$EI = \frac{1}{48} \times \frac{WL^3}{D}$$

$$= \frac{1}{48} \times \frac{10 \times (10 \times 12)^3}{0.5}$$

$$= \frac{10^4 \times 12^2}{2}$$

Euler's Formula အရ

Case (ii) ဖြစ်၍ $$P = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \times 10^4 \times 12^2}{2 \times 10^2 \times 12^2} = 493.7 \text{ lbs}$$

$$\therefore \text{ Buckling load } = 493.7 \text{ lbs (Ans)}$$

<u>လေ့ကျင့်ရန်ပုစ္ဆာများ</u>

(1) 2"x2" ရှိ၍ 100" ရှည်သော Column တစ်ခုသည် both ends hinged ဖြစ်နေပါက $E = 2 \times 10^6$ lbs/in² ပေးထားလျှင် Blucking load မည်မျှခံနိုင်မည်နည်း။

(2) 4" x 4" x 5/8" british Standard Angle တစ်ခုကို Strut အဖြစ်သုံးပြုထားရာ One end hinged and the other end fixed လုပ်ထားသည်။ ၎င်း၏ Actual Length မှာ 16 ft ရှိသော် ၎င်းလုံခြုံစွာ ထမ်းဆောင်နိုင်မည့် Axial Load ကိုရှာပါ။ (Least $I = 2.76$ in⁴ , $E = 13000$ tons/in² , Factor of safety = 4)

Rankine or Gordon Rankine's Formula for Short Column.

$$P = \frac{f_c A}{1 + a\left(\frac{L}{2}\right)^2}$$

Where

P = Crushing or Crippling Load.

f_c = Stress at yield points of the material in compression

A = Cross-Sectional Area of the column.

a = a constant depending on how the column is fixed at the end

l = the equavilent length of the column.

r = Least radius of Gyration.

MATERIALS	F_C TONS/IN²	VALUES OF "a"			
		CASE (i)	CASE (ii)	CASE (iii)	CASE (iv)
MILD STEEL	21.00	$\frac{16}{30000}$	$\frac{4}{30000}$	$\frac{1}{30000}$	$\frac{16}{9 \times 30000}$
WROUGH IRON	16.00	$\frac{16}{36000}$	$\frac{4}{36000}$	$\frac{1}{36000}$	$\frac{16}{9 \times 36000}$
CAST IRON	36.00	$\frac{16}{6400}$	$\frac{4}{6400}$	$\frac{1}{6400}$	$\frac{16}{9 \times 6400}$
TIMBER	2.25	$\frac{16}{3000}$	$\frac{4}{3000}$	$\frac{1}{3000}$	$\frac{16}{9 \times 3000}$

မှတ်ချက်။ ။ စက်ဝိုင်းပုံတိုင်များတွင် တိုင်၏ အလျားသည် Diameter ၏ အဆ 30 ထက်ကြီးပါက တိုင်ရှည်ဟုခေါ်သည်။ ငယ်ပါက တိုင်တိုဟုခေါ်သည်။

<u>Example (1)</u>

ဒိုင်းခွေတစ်ခုရှိ Strut တစ်ခုသည် Both end fixed လုပ်ထား၍ တပ်ဆင်ထားသည်။ ၎င်း၏အရှည်မှာ 8 ft ရှိ၍ 12 tons လေးသော ဝန်ကို ထမ်းဆောင်ရန်ရှိသည်။ Rankine's Formula နှင့် Factor of safety 4 ကို အသုံးပြု၍ 3½" x 3½" x $^5/_8$" B. S. E. A သည်သင့်လျော်မှု ရှိမရှိ ဆန်းစစ်တွက်ချက်ပြပါ။

(Equal Angle ၏ Least r = 0.68" and Area of section = 3.985 in²)

ပေးထားချက်အရ Both ends fixed ဖြစ်သောကြောင့်

L = ½ L = ½ x 8' = 4 x 12 in

Table မှ $f_c = 21.00$

$$a = \frac{1}{30000}$$

rankine's Formula

$$p = \frac{f_c A}{1 + a\left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

$$= \frac{21.00 \times 3.985}{1 + \frac{1}{30000} \times \left(\frac{4 \times 12}{0.68}\right)^2}$$

$$\text{safe load} = \frac{\text{Buckling Load}}{\text{S . F}}$$

$$= \frac{71.3}{4} = 17.825 \text{ tons}$$

Safe load သည် Axial load ထက်များ၍ အသုံးပြုရန် သင့်လျော်ပါသည်။

<u>လေ့ကျင့်ရန်ပုစ္ဆာများ</u>

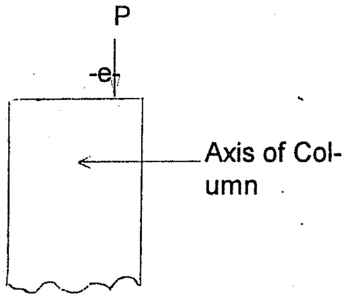
(1) 2" Square ရှိသော သစ်သားထောက်တစ်ခုသည် 20' ရှည်သည်။ ၎င်း၏အစွန်းများအား (One end fixed and the other end free) လုပ်ထားသော် ထမ်းဆောင်နိုင်မည့် Biucking Load ကို Rankine's Formula အရရှာပါ။

(2) အရှည် 20 ft ရှိသော Cast Iron Pipe တစ်ခုကို တိုင်အဖြစ်အသုံးပြုထားရာ ၎င်းတိုင်၏ အပြင်ဘက်အချင်းသည် 6" ဖြစ်၍ အထူမှာ ½" ဖြစ်သည်။ Rankine's Formula ကိုအသုံးပြု၍ ထမ်းဆောင်နိုင်မည့်အလေးဝန်ကိုရှာပါ။

$$f_c = 36 \ \text{tons}/\text{in}^2 , \ a = \frac{4}{6400}$$

(3) သံတိုင်အဖြစ်အသုံးပြုရန် 12" x 6" x ½" Rolled Steel Joist နှစ်ခုကို ¾" အထူရှိသော 16" အကျယ်ရှိ Plate ပြားနှစ်ခုဖြင့် အပြင်အနားအစွန်း အတည်ယူ၍ Built up Section အဖြစ်ပြုလုပ်ထားပြီး ၎င်းတိုင်၏ အစွန်းနှစ်ဖက်ကို Pin Jointed ဆက်ထားသည်။ ၎င်းတိုင်၏ Safe Load ကိုရှာပါ။

$$f_c = 21 \ \text{tons}/\text{in}^2 , \ a = \frac{4}{7500} , \ \text{Factor of Safety} = 5\#)$$



<u>ECCENTRICALLY LOADED COLUMN</u>

Column ၏ Axis ပေါ်သို့ တိုက်ရိုက်မကျရောက်သော အလေးဝန်သည် ၎င်း Column ကို ကွေးညွှတ်စေနိုင်၍ ၎င်းအလေးဝန်ကို Eccentric Load ဟုခေါ်သည်

Eccentrically Load Column များကို Design ပြုလုပ်ရာတွင် ရှေးဦးစွာ Eccentric Load နှင့် Equivalent ဖြစ်သည့် Axial Load ကိုရှာယူရမည်။ ပုံတွင်ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း P သည် Column ပေါ်တွင်သက်ရောက်လျှက်ရှိသော Eccentric Load ဖြစ်၍ Column ၏ Axis မှ "e" အကွာအဝေးတွင် သက်ရောက်လျှက်ရှိသည်။ ၎င်း Eccentric Load နှင့် Equivalent ဖြစ်သော Axial Load ၏ ပမာဏမှာ Eccentric + Moment of Eccentric Load about the axis x Bending Factor ဖြစ်သည်။

$$Af_1 = P + M \times B_x$$

Where A = Area of Steel Column in in^2

f_1 = Actual fibre strees in the column in lbs/in^2

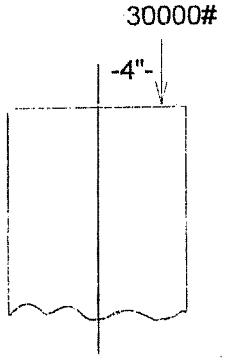
P = Eccentric Load in lbs.

M = Bending Moment of the Eccentric Load in inlb $(M = P \times e)$

B_x = Bending Factor with respect to X - axis.

$$B_x = \frac{\text{Corss Sectional Area}}{\text{Section Modulus a bout X-axis}} = \frac{A}{Z_{xx}}$$

Example (1)



Eccentric Load 30000 lbs သက်ရောက်လျက်ရှိသော 8" W.F . 35# ၏ Eccentric Load ကို Design Load အဖြစ်ပြောင်းပေးပါ။

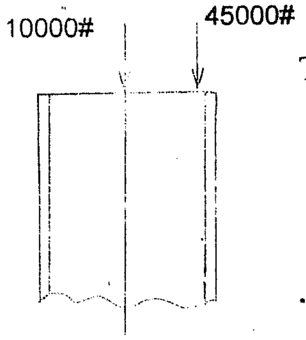
$A = 10.3\ in^2\ ,\ Z_{xx} = 31.1\ in^3$

Equivalent Axial Load

$$= 30000 + (30000 \times 4 \times \frac{10.3}{31.1})$$
$$= 30000 + 39742$$
$$= 69742\ lbs.$$

Example (2)

သံတိုင်တစ်ခု၏ အရှည်မှာ 18" ဖြစ်၍ Axial Load 10000 lbs နှင့် ' X ' ဝန်ရိုးမှ 5 အကွာတွင် Eccentric Load 45000 lbs သက်ရောက်နေသော်၊ ၎င်း Column အတွက် B. S. B 120 10" W.F 55# ရွေးချယ်ရန်သင့်မသင့် ဆုံးဖြတ်ပါ။ A = 16.18 in², Z_{xx} = 57.74 in³ , r_{yy} = 1.84 in



$$\text{Total Axial Load} = \text{Axial Load} + \text{Equivalent Axial Load}$$
$$= 10000 + (45000 + 45000 \times 5 \times \frac{16.18}{57.74})$$
$$= 118045\ lbs$$
$$\therefore f_1 = \frac{118045}{16.18} = 7295\ psi$$
$$\text{Slenderness Ratio} = \frac{l}{r} = \frac{18 \times 12}{1.84} = 117.39$$

Slenderness Ratio is Less than 120

$$f = 17000 - 0.485 (\frac{l}{r})^2$$
$$= 17000 - 0.485 (\frac{18 \times 12}{1.84})^2$$
$$= 10315\ psi\ \text{Allowable or Permissible Stress.}$$

Permissible Stress (10315 psi) သည် Actual Stress (7295 psi) ထက်နည်း၍ 10" W.F 55" I Section ကို အသုံးပြုရန်သင့်လျော်ပါသည်။

လေ့ကျင့်ရန်ပုစ္ဆာများ

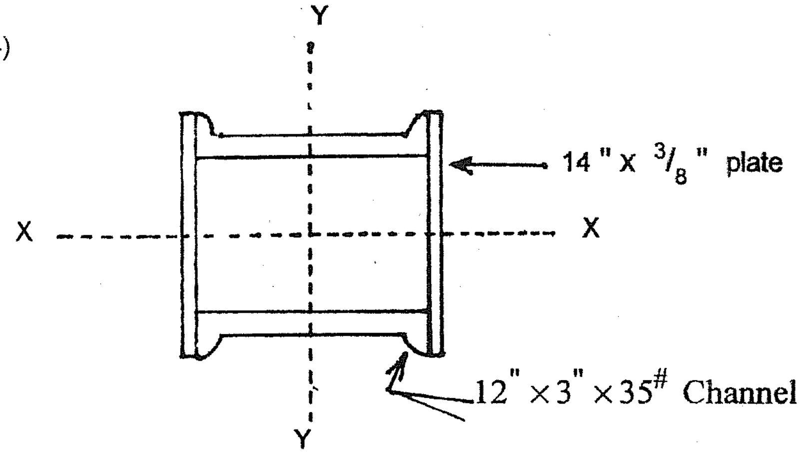
(1) Steel Column ၏ အရှည်မှာ 11' 6" ရှိ၍ Axial Load 76000 lbs နှင့် ဗဟိုမှ 4" အကွာတွင် 3000 lb လေးသော Eccentric Load တစ်ခုသက်ရောက်လျက်ရှိ၏။ ၎င်း Column အတွက် 8" W.F 35 # ကိုရွေးချယ်ပါက မှန်ကန်မှုရှိမရှိ ဆန်းစစ်ပါ။ Table အရ A =1003 in², Z_{xx} = 31.1 in³ , r_{yy} = 2.03 in³

(2) 12 ft အရှည်ရှိသော Column တစ်ခုကို 6" W.F 20# သုံးထားရာ အများဆုံးထမ်းဆောင်နိုင်မည့် Axial Load ကိုရှာပါ။ အကယ်၍ ၎င်း Column သည် Axial Load 25000 lbs ကို ထမ်းဆောင်ရပါက Axis မှ 3" အကွာတွင် နောက်ထပ် Eccentric Load အများဆုံးမည်မျှကို ထမ်းဆောင်နိုင်ဦးမည်နည်း။

For 6" W.F $20^{\#}$ ($A = 5.90\ in^2$, $r_{xx} = 2.66$ in , $r_{yy} = 1.50$ in , $B_x = 0.44$)

(3) 12 ft အရှည်ရှိသော Column သည် Axial Load 30000 Lbs နှင့် Eccentric Load $7500^{\#}$ အသီးသီးကို ထမ်းဆောင်ထားရန်ဖြစ်သည်။ ၎င်း Column အတွက် $A = 4.70\ in^2$, $r_{yy} = 1.26"$, $Z_{xx} = 8.52$ ရှိ 5" W.F 16 # ကို အသုံးပြုရန် သင့်မသင့်ဆုံးဖြတ်ပေးပါ။

(4)



ပုံတွင် ဖေါ်ပြထားသော Builtup section Column ၏ အများဆုံးထမ်းဆောင်နိုင်မည့် Eccentric Load ကိုရှာပါ။ Column ၏အရှည်မှာ 14 ft ဖြစ်သည်။

Distance of C.G from Web = 0.69 in

$A = 10.26\ in^2$

$I_{xx} = 178.8\ in^4$

$I_{yy} = 5.9\ in^4$

(5) 10" W.F 49 lbs column တစ်ခုကို Axial load 100000 lbs နှင့် Eccentric load 45000 lbs ကို ထမ်းဆောင်နိုင်ရန်အသုံးပြုထားသည်။ ၎င်း Column ၏ အရှည်သည် 18 ft ဖြစ်၍ Eccentric သည် Column ၏ Axis မှ 5 in အကွာအဝေးတွင် သက်ရောက်နေခဲ့သော် ထိုအရွယ်တိုင်ကို အသုံးပြုရန်သင့် မသင့်တွက်ပြပါ။

From the Table, for 10" W.F 49 lbs , $A = 14.40\ in^2$, $r_{xx} = 4.35$ in ,

$r_{yy} = 2.54$ in , $Z_{xx} = 54.6\ in^3$

(6) Unsupported length 19 ft ရှည်၍ axis မှ 5" အကွာတွင် Eccentric Load 150000 lbs ကို ထမ်းဆောင်ရန်ဖြစ်သည်။ ဤသို့ထမ်းဆောင်နိုင်ရန် 10" W.F 89 lbs section column ကို အသုံးပြုပါက သင့်မသင့်တွက်ပြပါ။

From the Table, for 10" W.F 89 lbs , $A = 23.19\ in^2$, $r_{xx} = 4.55$ in ,

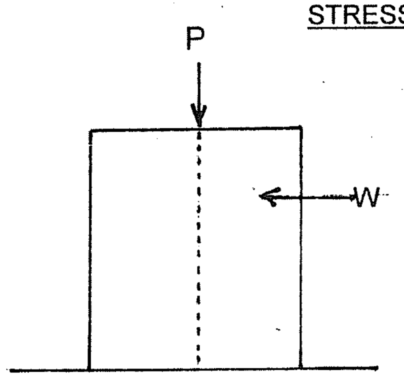
$r_{yy} = 2.63$ in , $Z_{xx} = 99.7\ in^3$

(7) Column တစ်ခု၏ Effective Length မှာ 12 ft ဖြစ်သည်။ ၎င်း၏ အလယ်ဗဟိုတွင် 80000 lbs သက်ရောက်လျက်ရှိပြီး ဗဟိုမှ 5" အကွာတွင် 30000 lbs သက်ရောက်နေ၏။ ထိုတိုင်အတွက် 10" W.F 40 lbs ကို ရွေးချယ်အသုံးပြုထားသည်။ Safe ဖြစ်မဖြစ်တွက်ပြပါ။

From the Table, for 10" W.F 40 lbs , $A = 11.77 \text{ in}^2$, $r_{xx} = 4.17$ in ,

$r_{yy} = 1.36$ in , $Z_{xx} = 40.96 \text{ in}^3$

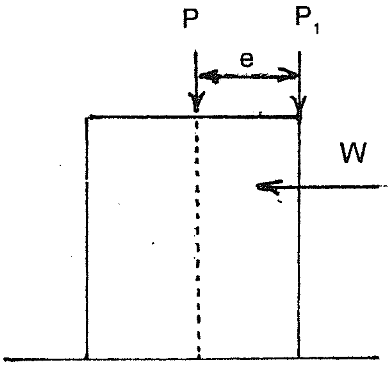
STRESS PRODUCED BY AN ECCENTRIC LOAD



$$\text{Direct Stress} = \frac{\text{Total load}}{\text{Cross Sectional Area}} = \frac{W}{A} = \frac{(p + w)}{A}$$

$$\text{Bending Stress} = \frac{\text{Bending Moment}}{\text{Section Modulus}}$$

$$M = f \times z \quad = \frac{M}{Z}$$

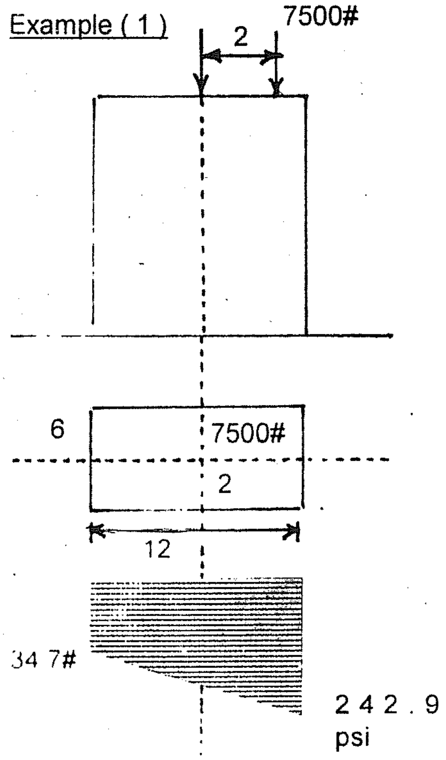


Maximum Stress = Direct Stress + Bending Stress

Manimum Stress = Direct Stress - Bending Stress

If Bending Stress is minus value = Column or Slab will be failed or up Lift.

Example (1)



ဖော်ပြပါတိုင်တိုတစ်ခုတွင် သက်ရောက်လျက်ရှိသော ဝန်များမှာ ပုံပါအတိုင်းဖြစ်၍ တိုင်၏အလေးဝန်သည် 2500 lbs ရှိသည်။

(က) Maximum နှင့် Manimum Stress တန်ဖိုးများကိုရှာပါ။

(ခ) Stress Variation Diagram ကို ရေးဆွဲပြပါ။

(ဂ) ၎င်းတိုင်သည် Safe ဖြစ်ပါမည်လော။

ပေးထားချက်။ ။ $P = 2500$ lbs

$P_1 = 7500$ lbs

$e = 2"$

$A = 6" \times 12" = 72\ in^2$

$$\text{Direct Stress} = \frac{\text{Total Load}}{\text{Cross Sectional Area}} = \frac{7500 + 2500}{72} = 138.8 \text{ psi}$$

$$\text{Bending Stress} = \frac{\text{Total Load}}{\text{Section Modulus}} = \frac{7500 \times 2 \times 6}{6 \times 12 \times 12} = 104.1 \text{ psi}$$

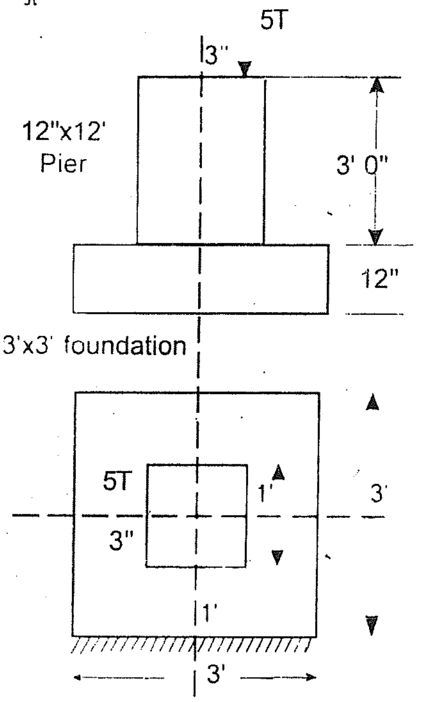
$$\text{Maximum Stress} = \text{Direct Stress} + \text{Bending Stress} = 138.8 + 104.1 = 242.9 \text{ psi}$$

$$\text{Maximum Stress} = \text{Dirext Stress} - \text{Bending Stress} = 138.8 - 104.1 = 34.7 \text{ psi}$$

Manimum Stress တန်ဖိုးသည် (+ve) အပေါင်းတန်ဘိုးသာရှိ၍ ၎င်းတိုင်သည် safe ဖြစ်သည်။

လေ့ကျင့်ရန်ပုစ္ဆာများ

(1) ပုံတွင် ပေးထားသော conc: Pier နှင့် Foundation တို့၏ အလေးဝန်ကို ထည့်သွင်းစဉ်းစား၍ အောက်ပါတို့ကို ရှာပေးပါ။



(က) မြေကြီးပေါ် သက်ရောက်မည့် Maxumum Pressure

(ခ) Fundation တွင် ဆွဲအားသက်ရောက်ခြင်း ရှိ မရှိ

(ဂ) Stress Variation Diagram တို့ကို ရေးဆွဲပေးပါ။

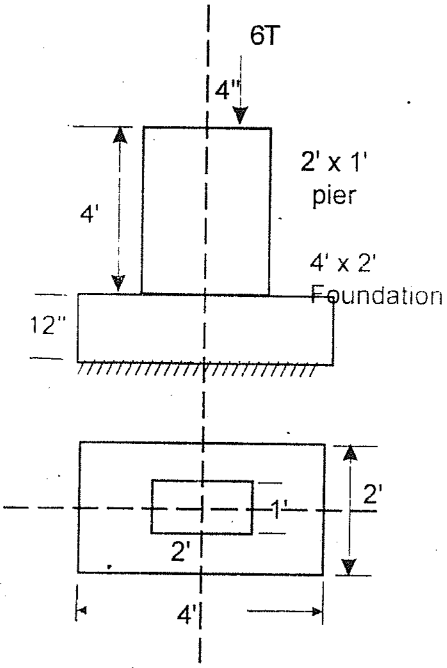
Density of concrete = 130 lbs / ft^3

(2) ပေးထားသောပုံတွင် Pier နှင့် Foundation တို့၏ အလေးကို ထည့်သွင်းစဉ်းစား၍

(က) မြေကြီးပေါ် သက်ရောက်မည့် Maximum Pressure.

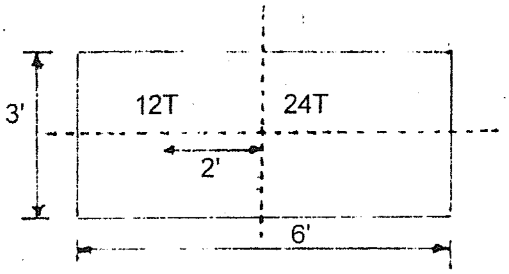
(ခ) Foundation Slab တိမ်းစောင်းသွားမည့် လက္ခဏာ ရှိပါသလော။

(ဂ) Stress Variation Diagram တို့ကို ဆွဲပြပါ။



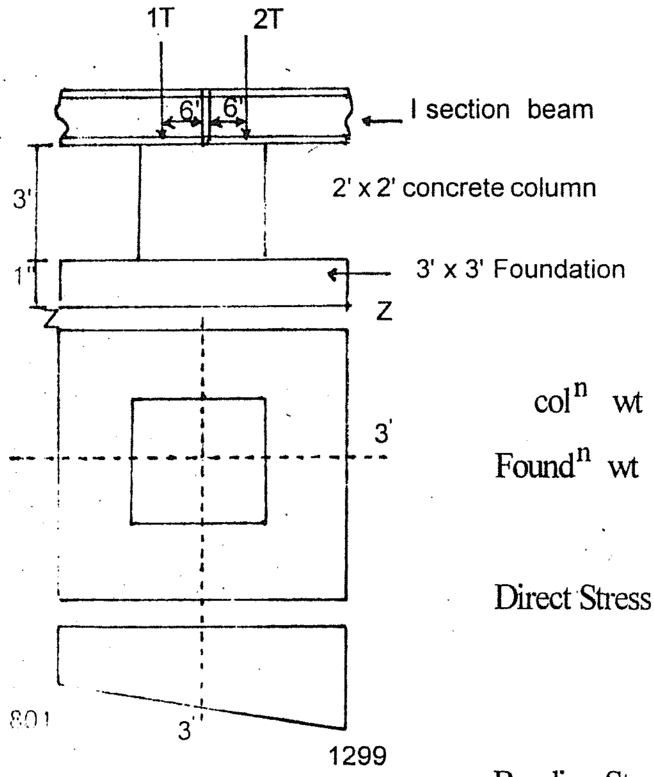
Density of Masonry = 130 lbs / ft^3

(3) Concrete Foundation Slab တစ်ခုသည် ဖော်ပြပါ ပုံအတိုင်း အလေးဝန်များ သက်ရောက်နေ၏ မြေကြီးပေါ်သက်ရောက်မည့် Maximum Pressure ကို ရှာပါ။ ၎င်း Foundation သည် ကြွတက်မည့် လက္ခဏာ ရှိသလား။



(4) အောက်ဖော်ပြပါ ပုံသည် concrete တိုင်တို တစ်ခုဖြစ်သည်။ ၎င်း၏ ပင်ကိုယ်အလေးဝန် အပါအဝင် သံယက်မ (2) ချောင်း၏ Reactions များကိုပါ ထမ်းဆောင်ရသည်။ အောက်ခြေ Z Z နေရာတွင်ရှိမည့် Pressure Diagram ကို ရေးဆွဲပြပါ။

$$\text{Density of concrete} = 130\ \text{lbs}/\text{ft}^3$$



$$\text{col}^n\ \text{wt} = 130(2\times2\times3) = 1560\ \text{lbs}$$

$$\text{Found}^n\ \text{wt} = 130(3\times3\times1) = 1170$$

$$P = 2730\ \text{lbs}$$

$$\text{Direct Stress} = \frac{P_1 + P}{A} = \frac{2730 + (1+2)\,22}{3\times3}$$

$$= \frac{2730 + 6720}{9} = \frac{9450}{9} = 1050\ \text{lbs}/\text{sq-ft}$$

$$\text{Bending Stress} = \frac{M}{Z}$$

$$= \frac{2\times2240\times\frac{1}{2} - 1\times2240\times\frac{1}{2}}{\dfrac{3\times3\times3}{6}}$$

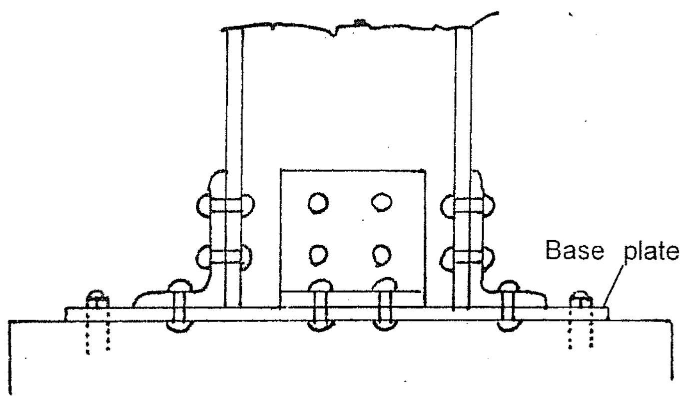
$$= \frac{1\times2240\times\frac{1}{2}\times2}{9} = \frac{2240}{9}$$

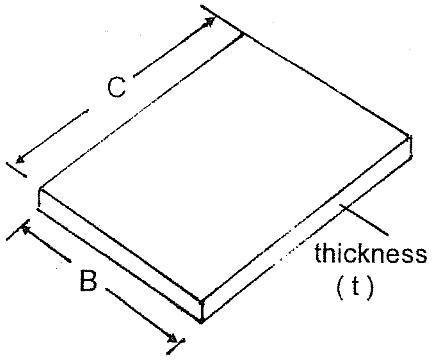
$$= 249\ \text{lbs}/\text{sq-ft}$$

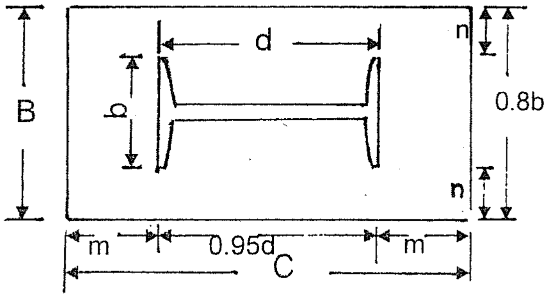
$$\text{max; stress} = 1050 + 249 = 1299\ \text{lbs}/\text{ft}^2$$

$$\text{mini; stress} = 1050 - 249 = 801\ \text{lbs}/\text{ft}^2$$

Design of Steel Base Plate for Column







သံတိုင်များသည် သက်ရောက်သော အလေးဝန်များကို ၎င်း၏အခြေရှိ Base Plate များမှ တစ်ဆင့် အခြေခံ ကွန်ကရစ်တုံးပေါ်သို့ ပြန့်နှံ့သက်ရောက်စေရသည်။ သံတိုင်များကို အုတ်သို့မဟုတ် ကွန်ကရစ်တုံးပေါ်တွင် Rag Bolt (2) ချောင်း သို့မဟုတ် (4) ချောင်းဖြင့် တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။ ထိုသို့တပ်ဆင်နိုင်ရန် angle များကို အသုံးပြုကာ ဂဟေဆက်၍၎င်း၊ သံမှိုရိုက်၍၎င်း ဆက်စပ်ထားလေ့ရှိသည်။

Base Plate များကို Design ပြုလုပ်ရာတွင် ပထမဦးစွာ ဧရိယာကို တွက်ချက်ရလေသည်။

$$A = \frac{P}{f_c}$$

၎င်းတွင်

P = Column Loads in lbs.

f = The allowable bearing pressure of foundation.

ကွန်ကရီ Foundation များအတွက် bearing pressure သည် ၎င်း၏ အမျိုးအစား quality ပေါ်မူတည်နေ၍ အများအားဖြင့် f = 600 lbs / in² or 800 lbs/² ယူလေ့ရှိသည်။

ပုံအရ ၎င်း Base Plate ၏ ဧရိယာ A = B x C

Column load သည် ပုံတွင် Dotted Line နှင့်ပြထားသည့်အတိုင်း သက်ရောက်နေသည်။ ၎င်းသည် 0.95 d နှင့် 0.8 b ရှိသည်။

Base Plate သည် Uniform Pressure "P" ဖြင့် သက်ရောက်သည်ဖြစ်အံ့။ "P" သည် " Bearing Pressure of Concrete " ထက်မများရပေ။

ဧရိယာရရှိပြီးသောအခါ ၎င်း Base Plate ၏ အတိုင်းအတာဖြစ်သော B နှင့် C ကို သတ်မှတ်ရပေမည်။ ထိုအခါ " m " နှင့် " n " ကို အနီးစပ်ဆုံး အညီအဖြစ်ယူဆ၍ တွက်ချက်ရသည်။

" m " နှင့် " n " ကို ရှာဖွေပြီးသောအခါ Plate ၏ အထူ " t " ကိုရှာဖွေရသည်။ ထိုသို့ရှာဖွေရာတွင် အောက်ပါ Formula (2) ခုကို အသုံးပြုနိုင်၍ " t " တန်ဖိုးကို များရာယူရသည်။

$t^2 = \frac{p\,m^2}{6666}$ or $t^2 = \frac{p\,n^2}{6666}$ ၎င်း Formula အတွက် F_s = 20000 lbs/ in² ရှိသောအခါ သုံးရသည်။

အကယ်၍ F_s = 18000 lbs/in² ဖြစ်သော် $t^2 = \frac{p\,m^2}{6000}$ or $t^2 = \frac{p\,n^2}{6000}$

Where P = The actual Bearing Pressure on the foundation.

Example (1) 12" W.F 53# သံတိုင်တစ်ခုသည် အလေးဝန် 250000 lbs ကို ထမ်းဆောင်၍ ကွန်ကရိ Foundation ပေါ်တင်ထားရာ concrete ၏ allowable bearing stress f_c သည် 600 psi ဖြစ်၍ f_s for steel = 20000 psi , d = 12.06" , b = 10" ဖြစ်ပါက လိုအပ်သော base plate ၏ အရွယ်ကို Design လုပ်ပေးပါ။

ပေးထားချက်အရ P = 250000 lbs

$$\frac{250000}{600} = 416.6$$

A = B x C

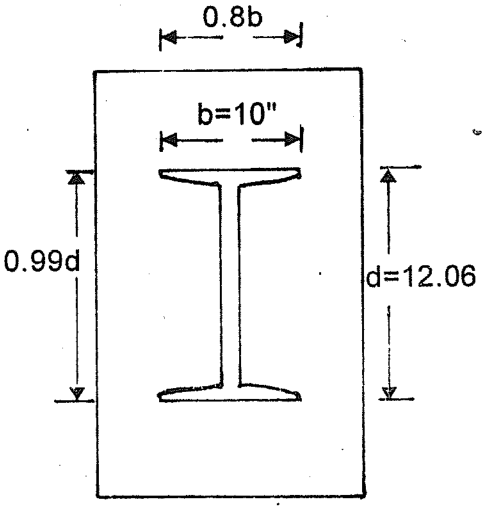
အကယ်၍ C = 24" ယူသော်

$$B = \frac{416.6}{24} = 17.36 \text{ (say)}$$

$$\therefore \text{ Actural Bearing stress } P = \frac{250000}{24 \times 18} = 578.16 \text{ psi}$$

Actual Bearing Stress သည် Allowable Bearing Pressure ထက်ငယ်၍ Safe ဖြစ်သည်။

C = 2m + 0.95 d ဖြစ်၍



$$\frac{24 - 0.95 \times 12.06}{2} = m$$

$$m = 6.27''$$

$$n = \frac{B - 0.8b}{2} = \frac{18 - 0.8 \times 10}{2} = 5''$$

m နှင့် n တွင် m ကကြီး၍ $t^2 = \frac{p\,m^2}{6666}$ အရ

$$t^2 = \frac{578.6 \times (6.27)^2}{6666}$$

$$t = 1.85'' \text{ say } 1\tfrac{7}{8}''$$

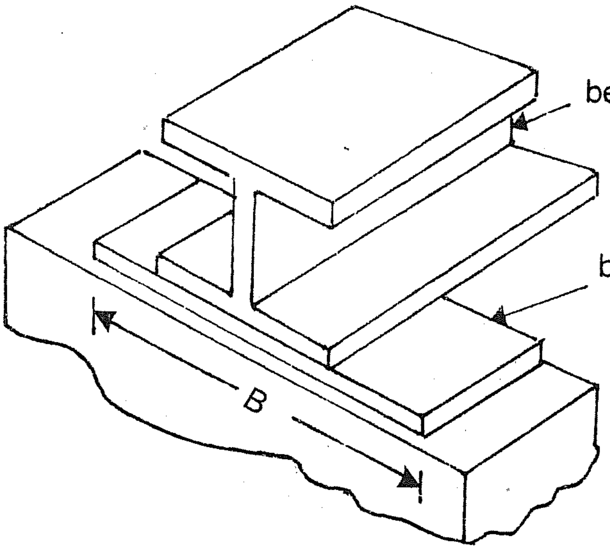
လိုအပ်သော Base Plate အရွယ် = 24" x 18" x $1\frac{7}{8}''$

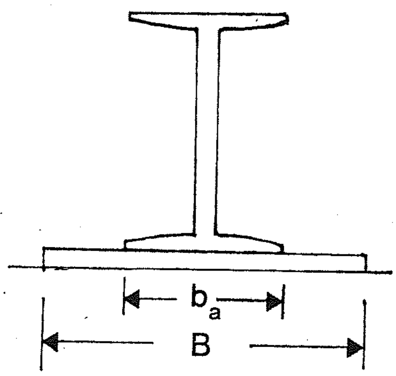
လေ့ကျင့်ရန်ပုစ္ဆာများ

(1) အလေးဝန် 260000 lbs ကိုထမ်းဆောင်ရမည့်သံတိုင် တခုအတွက် Base plate ကို Design လုပ်ပါ။ f for conc: 800 psi , f for steel = 20000 psi , b =10 " , d = 13.91"

(2) 14" W.F 87 lbs သံတိုင်တခုသည် အလေးဝန် 400,000 lbs ကိုထမ်းဆောင်ရမည်ဖြစ်သည်။ ၄င်းအား ခံနိုင်ရည်အား 800 psi ရှိသည့် Concrete တုံးပေါ်တွင် တင်ထားလိုပါက လိုအပ်သော Base plate ကို Design ပြုလုပ်ပေးပါ။ f for steel = 18,000 psi , b = 14.5 " , d = 14 "

Design of Beam Bearing Plate





$$n = \frac{B}{2} = \frac{b_a}{4}$$

ပုံတွင်ပြထားသည့်အတိုင်း Bearing Plate ၏ ဧရိယာသည် A = B x C ဖြစ်သည်။ ထိုဧရိယာကိုရရန် $A = {}^{P}/_{f}$ အားဖြင့် ရှာယူနိုင်သည်။ ၄င်းတွင် P သည် ယက္ခ အစွန်းတဖက်တွင် ထမ်းဆောင်ရမည့်ဝန်ဖြစ်သည်။

f = concrete or Masonry ၏ Stress

C ၏ တန်ဘိုးသည် နံရံ၏ အထူထက် မပိုရချေ ။ ထို့အပြင် Bearing plate ၏အထူ t သည် ${}^{3}/_{8}$ " ထက်မနည်းချေ။

$$t^2 = \frac{f_a n^2}{6666} = (f_s = 20,000 \text{ psi})$$

$$t^2 = \frac{f_a n^2}{6666} = (f_s = 18,000 \text{ psi})$$

$$n = \frac{B}{2} = \frac{a}{4}$$

Example 1.

16 " W.F 40 # ယက္မတခုသည် ခန်းပွင့် 12 ft ရှိပြီး Total U.D.L 70,000 lbs ကိုထမ်းဆောင်ရမည်ဖြစ်သည်။ အုတ်နံရံ၏ အထူ 10 " ဖြစ်ပါက Bearing plate ကို Design လုပ်ပါ။

f for steel = 18,000 psi , f for Masonry 200 psi , a = 7 "

$$\text{Bearing plate ဧရိယာ} = \frac{P}{f} = \frac{35000}{200} = 175 \text{ in}^2$$

$$C = 10'' ,\ B = \frac{175}{10} = 17.5 \text{ in} \quad , \text{Say } 18 \text{ in.}$$

$$\text{Actural Stress } f_a = \frac{35000}{18 \times 10} = 194.4 \text{ psi}$$

Allowable Stress > Actual Stress Safe ဖြစ်သည်။

$$n = \frac{B}{2} = \frac{a}{4} = \frac{18}{2} = \frac{7}{4} = \frac{29}{4}$$

$$t^2 = \frac{f_a n^2}{6000}$$

$$t^2 = \frac{194.4 \times 29 \times 29}{6000 \times 4 \times 4} = 1.305 \text{ Say } 1\frac{3}{8}$$

∴ လိုအပ်သော Bearing plate အရွယ် = 18 " x 10 " x $1^3/_8$ "

<u>လေ့ကျင့်ရန်</u>

ယက္မတခုပေါ်သို့ Total U.D.L 44,000 lbs တင်ထားရမည်ဖြစ်သည်။ နံရံ၏အထူသည် 8 " ဖြစ်၍ Beam ကို 13 " x 5 " x 35 # ကိုအသုံးပြုမည်ဖြစ်ပါက Bearing plate ကို Design လုပ်ပါ။

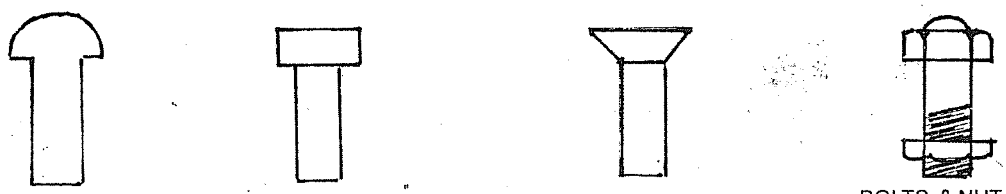
f for wall = 200 psi , f_s = 20,000 psi

Riveted or Bolted Connections

သံထည်လုပ်ငန်းများတွင် ဆက်စပ်မှုများ ပြုလုပ်ရာ၌ Rivet များကို အသုံးပြု၍သော်၄င်း ၊ Bolts and Nuts များကိုအသုံးပြု၍သော်၄င်း ဆက်စပ်မှုများပြုလုပ်ကြရလေသည်။ Rivet များကို အသုံးပြုလျှင် များသောအားဖြင့် ¾ dia: နှင့် $^7/_8$ dia: များကိုအသုံးပြုတတ်ကြ၏။ ဖြစ်နိုင်လျှင် အဆောက်အအုံတခုလုံးအတွက် Diameter of Rivet တမျိုးတည်းကိုသာ အသုံးပြုခြင်းဖြင့် ပိုမိုလွယ်ကူလေသည်။ Rivets များကိုအသုံးပြုရန်အတွက် သံပြားများကိုအပေါက်ဖေါက်သောအခါ Rivet Diameter ထက် $^1/_{16}$ " ပို၍ကြီးသော အပေါက်ကိုဖေါက်ရလေသည်။

အဆက်တခုတွင် လိုအပ်မည့် Rivets များ၏ အရေအတွက်ကို တွက်ချက်ရာ၌ ရှေးဦးစွာ Rivet ဘခု၏ Allowable working value ကိုရှာဖွေရာ၌ ၄င်းအဆက်တွင် ကျရောက်မည့် အလေးဝန်ကို Rivet ၏ Allowable working value ဖြင့် စားခြင်းအားဖြင့် လိုအပ်မည့် Rivet အရေအတွက်ကိုရရှိစေလေသည်။

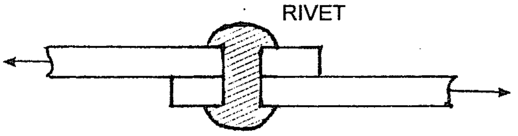
<u>Rivets</u> ပုံစံများ



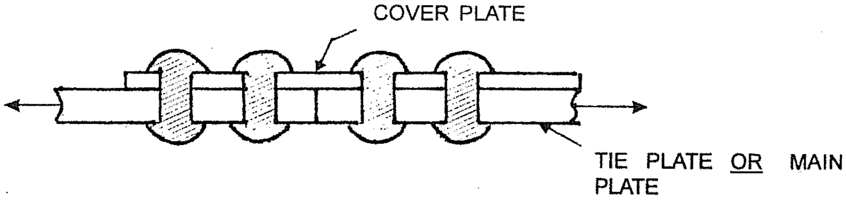
ROUNDED RIVET FLAT RIVET COUNTERSINK RIVET BOLTS & NUT

Type of Riveted Joints

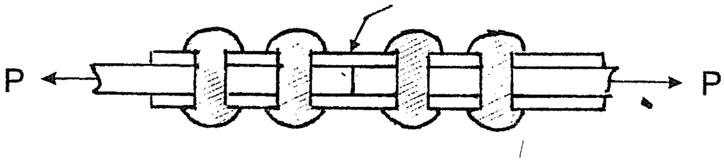
(a) Lap Joint ထပ်ဆက်



(b) Sigle Covered Butt Joint တဖက်ပိုးတေ့ဆက်

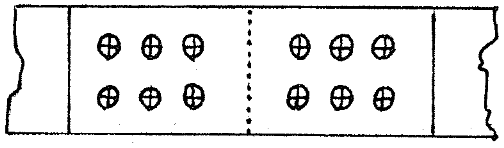


(c) Double Covered Butt Joint နှစ်ဖက်ပိုးတေ့ဆက်



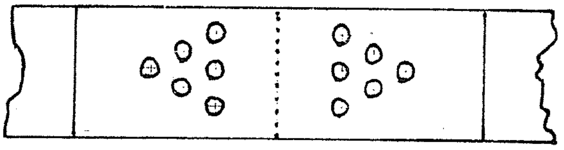
Riveting (Arrangement of Rivets)

(a) Chain Riveting



အဆက်ပြား တလျှောက်တွင် Rivets များကို တဆက်တည်း အဖြောင့်အတိုင်း ထားပြီးရိုက်ခြင်းကို Chain Riveting ဟုခေါ်သည်။

(b) Zig Zag Riveting



သံဆက်ပြားတလျှောက်တွင် Rivet များကိုတခုနှင့်တခု လွဲဖယ်၍ Zig Zag ရိုက်ထားခြင်းဖြစ်သည်။

Pitch of rivet

သံမှိုချောင်းတချောင်းနှင့်တချောင်း ဗဟိုအကွာအဝေးကို Pitch ဟုခေါ်သည် ။ များသောအားဖြင့် 3" မှ 4" ထိရှိ၍ Minimum Pitch အနည်းဆုံးအကွာအဝေးကို သံမှိုအချင်း၏ ၃ဆထားရှိသည်။ အများဆုံးအကွာအဝေး Maximum Pitch ကိုအပါးဆုံးသံပြားထု၏ ၁၆ဆ သို့မဟုတ်ဖိအားသက်ရောက်ခံရသောသံထည်များအတွက် 6" ; ဆွဲအားသက်ရောက်ခြင်းခံ ရသောသံထည်များအတွက် 8" ထက်မပိုစေရပေ။ အစွန်းဆုံး Rivets ၏ဗဟိုမှ သံပြားအစွန်းထိအကွာအဝေး (Distance of Rivet at Edges) သည် Rivets 1½" dia: တွင် $^{1}/_{32}$" ပေါင်းထည့်ပေးရသည်။ သို့ရာတွင်လက်တွေ့သုံးရာ၌ $^{7}/_{8}$" dia: အတွက် 1½", ¾"dia: အတွက် 1¼", $^{5}/_{8}$" dia: အတွက် $1^{1}/_{8}$" ထားလေ့ရှိသည်။

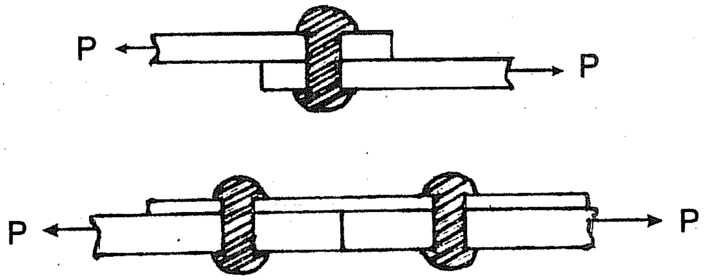
Diameter of Rivet

Rivet ၏ Diameter ကို Unwin 's formula အရ $d = 1.2\sqrt{t}$ ဖြင့်ရှာယူနိုင်၏။ d မှာ Rivet ၏ Diameter ဖြစ်၍ t မှာ Plate ပြား၏ အထူဖြစ်သည်။

Failures of Riveted Joint

(a) By Shearing of the Rivet

(1) Single Shear

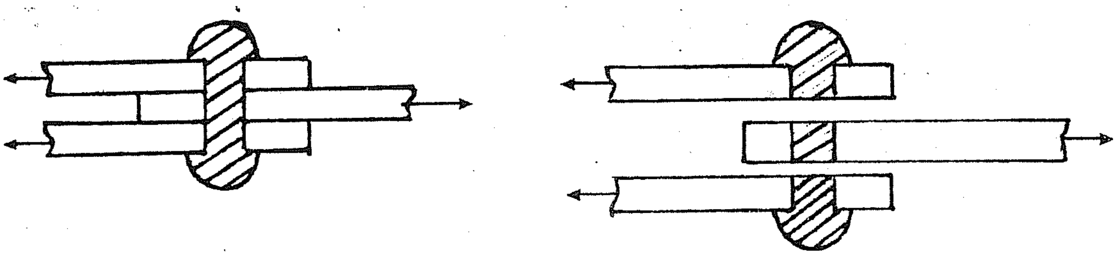


သံပြားနှစ်ချပ်ကို Rivets ဖြင့်ဆက်ထားပြီး ၄င်းသံပြားများပေါ်သို့ Tension or Compressive force တစ်ခုသက်ရောက်စေခြင်းဖြင့် သံပြား ၂ ချပ်ကြားရှိ Rivet ၏မျက်နှာပြင်ကို လျှောပြတ်စေ၍ Rivets များ Fall ဖြစ်နိုင်သည်ကို တွေ့ရလေသည်။ ထိုသို့လျှောပြတ်ခြင်းသည် Rivet ၏ တစ်နေရာတည်း၌သာ လျှောပြတ်စေနိုင်၍ ၄င်းကို Single Shear ဟုခေါ်သည်။

Single shear Strength of one rivet = Shear area x Allowable Shearing Stress

$$= \frac{\pi d^2}{4} \times f_s$$

(2) Double Shear



သံပြားများပေါ်သို့ အလေးဝန် သက်ရောက်စေသောအခါ လျှောပြတ်စေနိုင်သော Rivet များ၏ မျက်နှာပြင် နေရာ နှစ်နေရာဖြစ်၍ ထိုကဲ့သို့လျှောပြတ်ခြင်းမျိုးကို Double Shear ဟုခေါ်သည်။

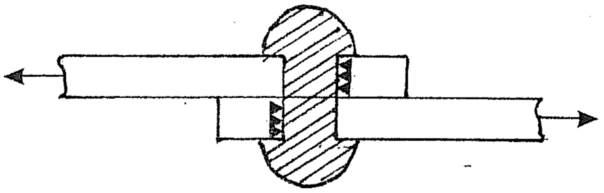
$$\text{Double shear Strength of one rivet} = 2 \times \frac{\pi d^2}{4} \times f_s$$

Where

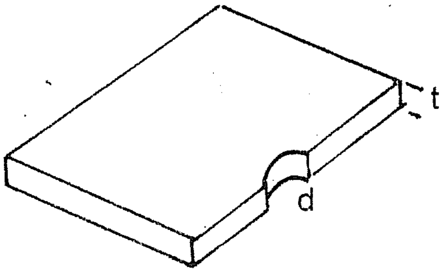
d = diameter of rivet in inch

f_s = Allowable shearing Stress on lbs/ in^2 or Tons/ in^2

(b) By Bearing of the rivet



ပုံတွင်ပြထားသည့်အတိုင်း သံပြား ၂ ချပ်ကို rivet ဖြင့်ဆက်စပ်ထားရာ အလေးဝန်များသက်ရောက်စေသောအခါ သံပြား ၂ ချပ်မှ Pressure သည် Rivet ၏ Shank ပေါ်သို့ သက်ရောက်ပြီး အကယ်၍ Rivet ၏ diameter သည်ကြီးပြီး သံပြားထုပါးပါက Rivet သည် သံပြားအတွင်း ဝင်သွားပြီး ပျက်စီးစေနိုင်သည်။ အကယ်၍ Rivet diameter သည်သေးပြီး သံပြားထူသော် Rivet ကြေမွ ပျက်စီးသွားနိုင်၏။ထိုကဲ့သို့ဖြစ်ပေါ်စေသော Stress ကို Bearing Stress ဟုခေါ်သည်။



Bearing Strength of one rivet = Bearing Area x Stress

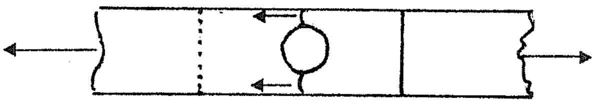
= d x t x f_b

Where - d = diameter of rivet

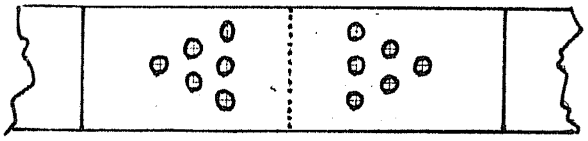
t = Thickness of rivet

(t သည်အပါးဆုံး သံပြားထုဖြစ်သည်။)

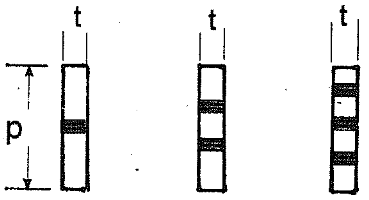
(c) By Tearing of the Plates



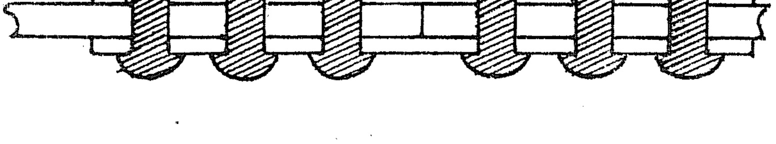
သံပြားများ၏ စွမ်းအင်မှာ အဆက်မရှိသောနေရာများတွင် p x t x f_t ဖြစ်သည်။ သို့သော် အဆက်နေရာများ၌ သံမှိုပေါက်များဖေါက်ရခြင်းကြောင့် ထိုနေရာရှိ သံပြားတွင် စွမ်းအင်လျော့နည်းသွားလေသည်။ အောက်ဖေါ်ပြပါ ထိပ်တိုက် ၂ ဖက်ပိုးဆက် Double Covered Butt Joint တွင် ထမ်းဆောင်နိုင်သော စွမ်းအင်မှာ တနေရာနှင့်တနေရာ မတူညီဘဲ ကွဲပြားခြားနားကြောင်းတွေ့ရသည်။ ၎င်းတို့အထဲမှ အနည်းဆုံး စွမ်းအင်ကို အဆက်၏ထမ်းဆောင်နိုင်သော စွမ်းအင်အဖြစ်ယူဆရသည်။



1 2 3 3 2 1



sec: 1 sec: 2 sec: 3



Section 1 နေရာတွင် သံမှိုပေါက်တပေါက်တည်းသာရှိသောကြောင့် သံပြား၏ ထမ်းဆောင်နိုင်သော စွမ်းအင်မှာ $\{p - (d + 1/_{16})\}\ t \times f_t$ ဖြစ်သည်။

Section 2 နေရာတွင် သံမှိုပေါက် ၂ ပေါက်ရှိခြင်းကြောင့် ထမ်းဆောင်နိုင်သော စွမ်းအင်မှာ $\{p - 2(d + 1/_{16})\}\ t \times f_t + 1v$ ဖြစ်သည်။

SEC : 3 နေရာတွင် သံမှိုပေါက် ၃ ပေါက်ရှိခြင်းကြောင့် ထမ်းဆောင်နိုင်သောစွမ်းအင်မှာ $\{P - 3(d + 1/_{16})\}\ t \times f_t + 3v$ ဖြစ်သည်။၎င်းတွင် v မှာrivet တစ်ခု၏ ခံနိုင်ရည်အား ဖြစ်သည်။

Cover Plate ကို Main Plate အထူ၏ $5/_8$ ထားလေ့ရှိသည်။ ပေးထားသောပုံတွင် Cover Plate ၏ အနည်းဆုံးစွမ်းအင်မှာ အပေါက်အများဆုံးဖြစ်သော Section 3 နေရာတွင်ရှိ၍ ၎င်းနေရာရှိစွမ်းအင် $= \{P - 3(d + 1/_{16}")\}\ 2\ t_c \times f_t$ ဖြစ်သည်။

အဆက်တစ်ခု၏ လုံခြုံစိတ်ချရသော စွမ်းအင်ကိုရှာရာတွင်

(က) Rivet များ၏ စွမ်းအား

(ခ) Main Plate ၏ အနည်းဆုံးစွမ်းအား

(ဂ) Cover Plate ၏ အနည်းဆုံးစွမ်းအားတို့ အနက်မှ အနည်းဆုံးတန်းဖိုး Least Value ကို အဆက်၏လုံခြုံစိတ်ချစွာ ထမ်းဆောင်နိုင်သော စွမ်းအင်အဖြစ် ယူရလေသည်။

<u>:Economical Diameter Of Rivet</u>

Shearing Strength နှင့် Bearing Strength တို့တူညီသောအချိန်၌ရှိသော rivet ၏ diameter ကို Economical Diameter ဟုခေါ်သည်။

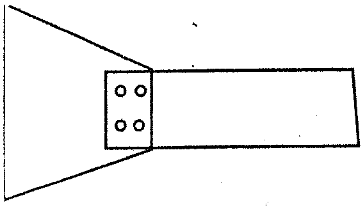
Shearing value of one rivet = Bearing value of one rivet

$$\frac{\pi d^2}{4} \times f_s = d \times t \times f_b \text{ (S.S.V)}$$

$$\frac{2\pi d^2}{4} \times f = d \times t \times f_b \text{ (D.S.V)}$$

$$\text{Percentage Efficiency of Joint} = \frac{\text{Least strength of Joint}}{\text{Strength of solid plate}} \times 100$$

Example 1



¾" ထူသော gusset plate တစ်ခုတွင် ½" dia: rivet 4 လုံးဖြင့် $5/_8$ in အထူရှိသော Tie Plate တခုကို ဆက်သွယ်ထားသည်။ $f_s = 6\ ton/in^2$, $f_b = 12\ ton/in^2$ ယူကာ အများဆုံးထမ်းဆောင်နိုင်မည့် Load ကိုရှာပါ။

Single shear ဖြစ်သည်

$$\text{Single shear value of one rivet} = \frac{\pi d^2}{4} \times f_t$$

$$= \frac{22 \times 1 \times 1 \times 1}{7 \times 2 \times 2 \times 4} \times 6 = 1.8 \text{ tons}$$

$$\text{Bearing strength of one rivet} = d \times t \times f_b$$

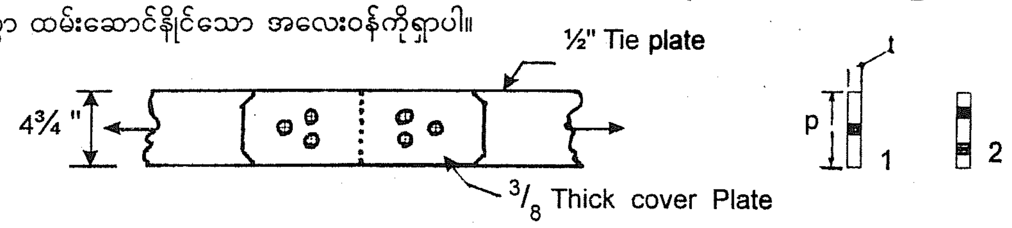
$$= \frac{1}{2} \times \frac{5}{8} \times 12 = 3.75 \text{ tons}$$

∴ rivet တလုံး၏ strength သည် 1.18 tons ဖြစ်သည်။

ထမ်းဆောင်နိုင်မည့် Load = 1.18 x 4 = 4.72 tons ဖြစ်သည်။

Example 2.

ပုံတွင်ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ½ " ထူသော Tie plate ၂ ခုကို $^3/_8$ " ထူသော Cover plate ၂ ခုဖြင့် ထိပ်တိုက် ၂ ဖက်ပိုးဆက် Double Covered Butt Joint ဆက်ထား၏။ အသုံးပြုသော Rivets များမှာ ¾ " dia: ရှိ၍ f_s = 6 tons / in², f_b = 12 tons / in², f_t = 7 tons / in² ဖြစ်ပါက အဆက်၏ လုံချုံ စိတ်ချစွာ ထမ်းဆောင်နိုင်သော အလေးဝန်ကိုရှာပါ။



(a) Rivet strength

(1) Shearing Strength -

$$\text{Double Shear Value of one rivet} = \frac{2\pi d^2}{4} \times f_s$$

$$= 2 \times \frac{22}{7} \times \frac{3}{4} \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{4}$$

$$= 5.3 \text{ tons}$$

(2) Bearing Strength of one rivet $= d \times t \times f_b$

$$= \frac{3}{4} \times \frac{1}{2} \times 12$$

$$= 4.5 \text{ tons}$$

Rivet Strength $= 4.5 \text{ tons} \times 3 = 13.5$ tons

(b) Main Plate Strength at section 1

$$= \left\{ p - (d + \frac{1}{16}) \right\} t \times f_t$$

$$= \left\{ 4.75 - (\frac{3}{4} + \frac{1}{16}) \right\} \frac{1}{2} \times 7$$

$$= 13.78 \text{ tons}$$

at section 2.

$$= \left\{ p - 2(d + \frac{1}{16}) \right\} t \times f_t + 1\,v$$

$$= \left\{ 4.75 - 2(\frac{3}{4} + \frac{1}{16}) \right\} \frac{1}{2} \times 7 \times 4.5$$

$$= 15.42 \text{ tons}$$

Main plate Strength = 13.78 tons

(c) Cover plate Strength

$$\text{Least Strength at set: 2} = \left\{ p - 2(d + \frac{1}{16}) \right\} 2\,t_c \times f_t$$

$$= \left\{ 4.75 - 2(\frac{3}{4} + \frac{1}{16}) \right\} 2 \times \frac{3}{8}$$

$$= 16.41 \text{ tons}$$

Cover Plate Strength = 16.41 tons

Ans အဆက်၏ ထမ်းဆောင်နိုင်သော စွမ်းအင်မှာ အထက် (a), (b), နှင့် (c) စွမ်းအင်များအနက် အနည်းဆုံးဖြစ်သော (a) ၏စွမ်းအင်ဖြစ်သည်။

အဆက်၏ လုံခြုံစွာထမ်းဆောင်နိုင်သောဝန် = 13.5 tons

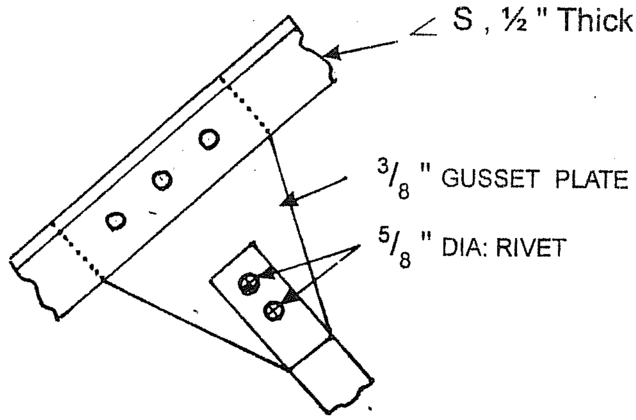
လေ့ကျင့်ရန်ပုစ္ဆာများ

(1) Tee Joint Member တခု၏ ½" အထူရှိသော Gusset plate တခုတွင် $^3/_8$" အထူရှိသော Tie plate တခုကို ½" dia: rivet 6 လုံးဖြင့် ဆက်သွယ်ထားလျှင် $f_s = 6$ tons / in², $f_b = 12$ tons / in² ယူပါက Joint အများဆုံးထမ်းဆောင်နိုင်မည့် ဝန်ကိုရှာပါ။

(2) ½" အထူရှိသော Tie plate ၂ ခုကို Lap Joint ဖြင့်ဆက်သွယ်ထား၏ ၎င်း Tie plate ကို axial load 16 tons ကိုခံနိုင်ရန် သတ်မှတ် ထား၏။ $^5/_8$" dia: rivets များကို $f_s = 6$ tons / in², $f_b = 12$ tons / in² ယူကာ rivet အနည်းဆုံးမည်မျှလိုမည်ကိုရှာပါ။

(3) ¾" အထူရှိသော Tie bar ၂ ခုကို ½" ထူသော Cover plate ၂ ခုဖြင့်ထိပ်တိုက် ၂ ဖက်ပိုး Double Covered Butt Joint ဆက်ထား၏။ ၎င်း Joint သည် 24 tons axial Load ခံနိုင်ရမည်။ $f_s = 6$ tons / in², $f_b = 12$ tons / in² ခံနိုင်ရန် အသင့်တော်ဆုံးအသုံးပြုရမည့် rivet diameter နှင့် rivet လုံးရေကို သတ်မှတ်ပေးပါ။

(4) ပေးထားသော Joint ပေါ်တွင် rivet နှင့် ပတ်သက်၍ Safe load ကိုရှာပါ။



$f_s = 6$ tons / in²
$f_b = 12$ tons / in²

(5) Joint တခုပေါ်တွင် axial Load 32 tons သက်ရောက်လျှက်ရှိ၏။ ၎င်း Joint မှာ Double Covered Butt Joint ဖြစ်၍ Tie bar ၏အထူမှာ $^5/_8$" ဖြစ်ပြီး $^7/_8$" dia: rivet များကိုအသုံးပြု ထားသည်။ အကယ်၍ $f_s = 6$ tons / in², $f_b = 12$ tons / in², $f_t = 8$ tons / in² အသီးသီးဖြစ်ကြသော် (၁) လိုအပ်မည့်လုံးရေ၊ (၂) Tie bar အကျယ်၊ (၃) Cover plate အထူနှင့် (၄) Joint ၏ Percentage Efficiency တို့ကိုရှာပါ။

(6) 12" အကျယ် 1" အထူရှိသော သံပြား ၂ ခုကို ဆွဲအားအများဆုံးခံနိုင်ရန်အတွက် အဆက်တခုကို Design လုပ်ပေးပါ။ ၎င်းအဆက်သည် Double Covered Butt Joint ဖြစ်သည်။ ၎င်း Joint ၏ Percentage Efficiency ကိုလည်း ရှာပေးပါ။

($f_s = 6$ tons / in², $f_b = 12$ tons / in², $f_t = 8$ tons / in²)

(7)　　　　အောက်ဖော်ပြပါ ထိပ်တိုက် ၂ ဖက် ပိုးဆက် Double Covered Butt Joint တွင် P = 14
t = $^3/_4$ ", t_c = $^1/_2$ " ဖြစ်သည်။ f_s = 6 tons / in², f_b = 12 tons / in², f_t = 8 tons / in² ဖြစ်
သုံးဆွဲသင့်သော rivet ၏ Economical Diameter ကိုရှာပါ။ ဤအဆက် ၂ ခုအနက် မည်သည့်အဆ
ပိုမိုကောင်းမွန်သနည်း။

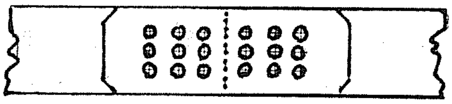


Fig (A)

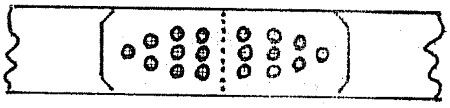
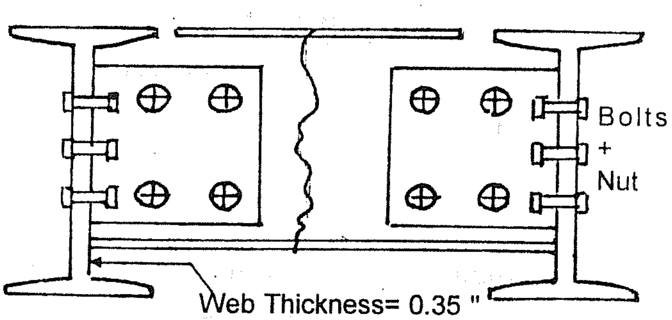
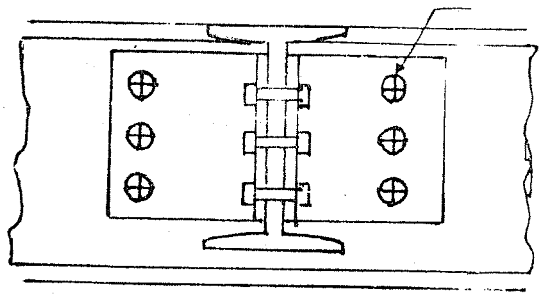


Fig (B)

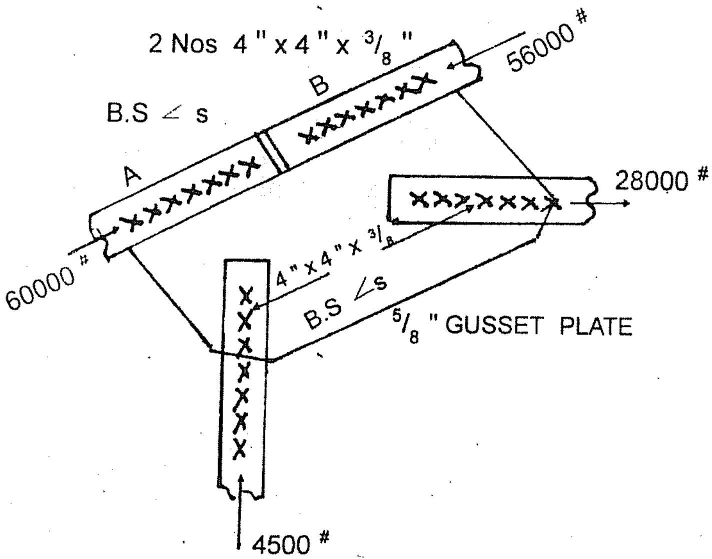
(8)

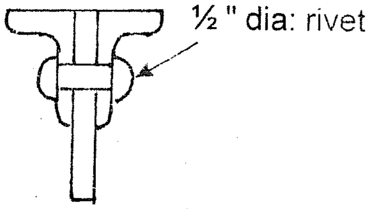




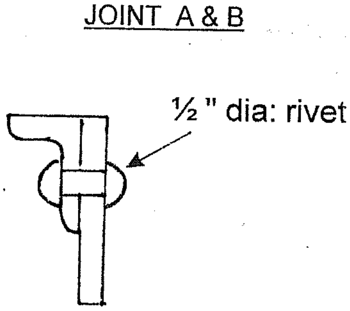
f_s = 6 tons / in², f_b = 12 tons / in²

ဖော်ပြပါပုံမှ Bolt နှင့်ဆက်ထားသော အဆက်တွင် ထမ်းဆောင်ထားနိုင်မည့် အလေးဝန်ကို Bolt ပေါ်
အကြောင်းပြု၍ ရှာပေးပါ။





JOINT A & B



JOINT C & D

(9)

အထက်ဖော်ပြပါ ပုံအကိုင်း Axial Load များသက်ရောက်နေသော Truss ၏ အစိတ်အပိုင်းတစ်ခုအတွက်
Joint A, B, C, D, တို့အတွက် $^1/_2$ " Dia : Rivet များ မည်မျှစီသုံးရမည်ကို ရှာပေးပါ။ f_s = 6 tons / in²
f_b = 12 tons / in²

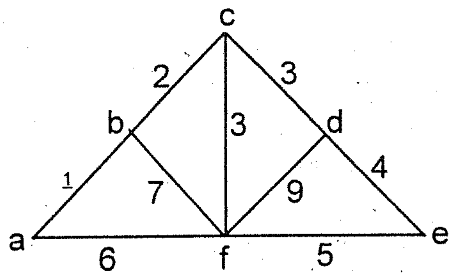
Framed Structures

Framed Structured ဆိုသည်မှာ Member များအား စနစ်တကျ ဆက်လက်ပြုလုပ်ထားသည့် Roof Truss, Girder, Water Testle စသည်တို့ကိုခေါ်သည်။ Framed Structures တွင်ပါဝင်သော Member တခုစီတို့သည် Compression or Tension Member များသာဖြစ်ကြသည်။ ၎င်း Member များပေါ်၌ Bending Stress များမသက်ရောက်စေဘဲ ဆက်စပ်စီမံထားခြင်းဖြစ်သည်။ ၎င်းMember များရှိ Stress များကို ၂ မျိုး ၂ စားခွဲက Compression Member များကို Strut ဟုခေါ်ပြီး Tension Member များကို Tie ဟုခေါ်သည်။ Framed Structure ရှိ Member များ၏ Stress များကိုတွက်ချက်၍၎င်း Stress Diagram ရေးဆွဲ၍၎င်း ရှာယူနိုင်ပြီး Stress Diagram ရေးဆွဲ၍ရှာခြင်းသည် ပိုမိုလွယ်ကူ၍ အသုံးများသောနည်း တနည်းဖြစ်သည်။

Framed Structures များကိုအောက်ပါအတိုင်း သုံးမျိုး သုံးစား ခွဲခြားနိုင်သည်။

(1) Perfect Frame or Firm Frame တန်းပြည့်ဘောင်ခွေ -

၎င်းတန်းပြည့်ဘောင်ခွေများသည် တြိဂံပုံသဏ္ဌာန်များဖြင့် ပေါင်းစပ်ပြုလုပ်ထားပြီး အလေးဝန် သက်ရောက်ခြင်းဖြင့် ၎င်း၏ ပုံသဏ္ဌာန် မပြောင်းလဲနိုင်ချေ။ တန်းပြည့်ဘောင်ခွေတွင်ပါဝင်သည့် Member များ၏ အရေအတွက်မှာ Joint အရေအတွက် (n) ၏ (2n) မှ 3 နုတ်ခြင်းဖြင့် ရရှိလေသည်။



Member ရေအတွက် = (2n -3)
= (2 x 6 -3)
= 9

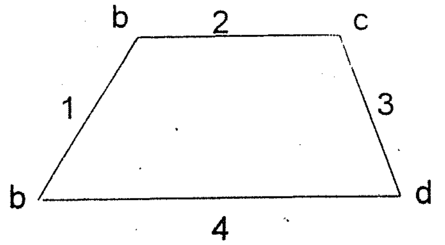
ဥပမာအားဖြင့် ပုံတွင်ပြထားသော King Post Roof Truss တခုအဆုံပေါင်းမှာ ၆ ခုရှိ၍ ရှိရမည့် Member အရေအတွက်မှာ (2n -3) = 9 ဖြစ်ရသည်။ ရှိသည့် Member အရေအတွက်မှာလည်း ၉ ခုရှိသဖြင့် ၎င်းကို Perfect Frame ဟုခေါ်သည်။

2. Imperfect Frame or Under firm Frame or Deficient Frame

တန်းလျော့ဘောင်ခွေ

တန်းလျော့ဘောင်ခွေများသည် အလေးဝန် သက်ရောက်ခြင်းဖြင့် ပုံသဏ္ဌာန်ပြောင်းလဲစေနိုင်၍ ၎င်းတွင်ပါဝင်သော Member အရေအတွက်မှာ Perfect Frame တွင်ရှိရမည့် Member အရေအတွက်ထက် နည်း၍ တခုလျော့နည်း၍နေလေသည်။

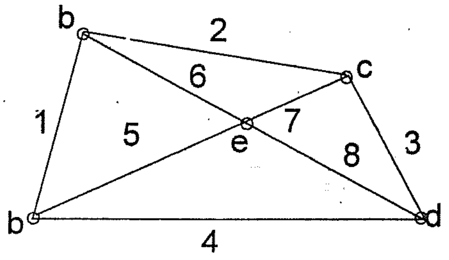
∴ ပါဝင်သော Member အရေအတွက် = (2n - 3) -1



ဥပမာအားဖြင့် ပုံတွင်ပြထားသည့်အတိုင်း ဘောင်ခွေတခုသည် Joint 4 ခုရှိ၍ ပါဝင်ရမည့် Member အရေအတွက်မှာ (2 x 4 - 3) = 5 ခုရှိရမည်ဖြစ်သော်လည်း 4 ခုသာပါရှိ၍ ၎င်းကို Imperfect Frame ဟုခေါ်သည်။

3. <u>Redundant Frame or Over Firm Frame</u> တန်းပို ဘောင်ခွေ

တန်းပိုဘောင်ခွေများ၌ ပါဝင်သော Member အရေအတွက်မှာ Perfect Frame ထက်တခုပိုနည်းနေသည်။ ထို့ကြောင့် ၎င်းတွင်ပါဝင်ရှိသော Member အရေအတွက်မှာ (2n -3) + 1 ဖြစ်သည်။

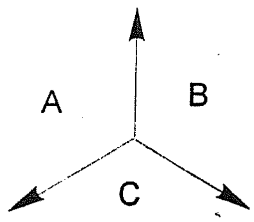


ပုံတွင်ပြထားသော ဘောင်ခွေတွင် အဆုံ 5 ခုရှိ၍ Perfect Frame ဖြစ်ရန်ပါရှိရမည့် Member အရအတွက်မှာ (2 x 5 -3) = 7 ဖြစ်သော်လည်း ပါဝင်သည့် Member အရေအတွက်မှာ 8 ဖြစ်၍ ၎င်းကိုတန်းပိုဘောင်ခွေ ဟုခေါ်သည်။

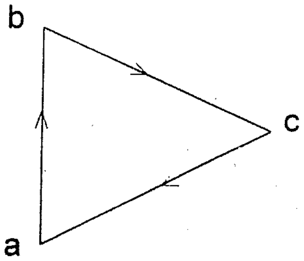
Frame Structure ရှိ Member များသည် Stress မည်မျှရှိ၍ မည်သည့် Member သည် Strut သို့မဟုတ် Tie ဖြစ်ကြောင်း ခွဲခြား၍ သိရှိနိုင်ရန် အောက်ဖော်ပြပါနည်းများအနက် တနည်းနည်းကို အသုံးပြု၍ ရှာနိုင်လေသည်။

(1) Stress Diagram
(2) Method of Sections
(3) By Resolutions

Stress Diagram ရေးဆွဲရာတွင် Bow's Notation ကိုအသုံးပြုရလေသည်။ Bow's Notation ဆိုသည်မှာ Space Diagram ကိုရေးဆွဲပြီး Force အားများကြားတွင် A , B , C , D , E စသော Capital letter များကို လက်ယာရစ် အတိုင်း စံနစ်တကျ မှတ်သား၍ထားပြီး သင့်တော်သော Stress Diagram ကို သင့်တော်သော စကေးဖြင့်ဆွဲရလေသည်။



SPACE <u>OR</u> FRAME DIAGRAM



STRESS <u>OR</u> FORCE DIAGRAM

<u>Compressiom and Tensiccn of Framed Member.</u>

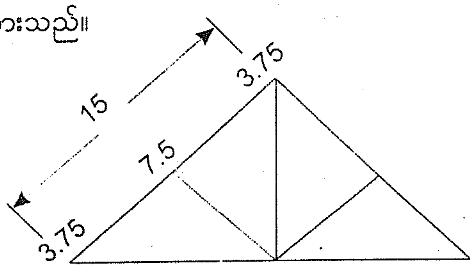
Stress Diagram မှ အားများ၏လားရာအတိုင်း Frame Diagram တွင် မြှားခေါင်းများ ရေးဆွဲပါ။ Joint ဆီသို့ မြှားခေါင်းလှည့်နေပါက ၎င်း Member သည် Compression ဖြစ်ပြီး Joint နှင့်ဆန့်ကျင်ဘက်သို့ မြှားခေါင်းလှည့်နေပါက ၎င်း Member သည် Tension ဖြစ်ပေသည်။ Joint ရှိ Member များကိုအမည် မှည့်ခေါ်၍ စဉ်းစားရာတွင် နာရီလက်တံသွားရာ Clock wise Direction အတိုင်းမှည့်ခေါ်သုံးစွဲသည်။

COMPRESSION MEMBER <u>OR</u> STRUT

TENSION MEMBER <u>OR</u> TIE

Calculation of Joint Load for a Roof Truss

ပေးထားသော ဒိုင်းခွေအတွက် Joint Load ကိုရှာပါ။ သက်ရောက်နေသောအလေးဝန်များကို ပေးထားသည်။



Dead Load

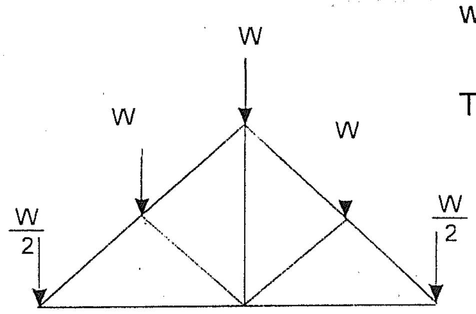
Purlin and Ridge	=	1 lb / ft²	or roof
Common Rafter	=	2	"
Batten	=	3	"
Tile	=	9	"
Total	=	15 lbs / ft ²	

Area of roof carried by one truss = 2 x 15 x 10 = 300 sq-ft

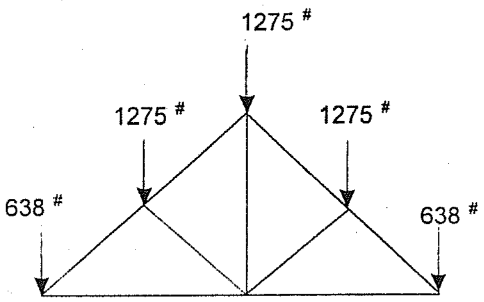
dead Load carried by one truss = 300 x 15 = 4500 lbs

weight of truss = 600 lbs

5100 lbs



Total W_t = 4 w



Load carried by one Joint = $\frac{5100}{4}$ = 1275#

by end Joint = $\frac{1275}{2}$ = 638#

Stress Diagram ရေးဆွဲနည်း

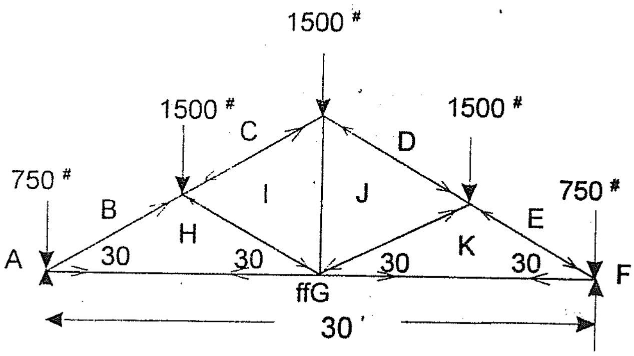
Stress Diagram ရေးဆွဲ၍ ရှာယူရမည့် Frame အတွက်သင့်လျော်သော စကေးဖြင့် အချိုးကျရေးဆွဲထားသော Space or Frame diagram ရှိရမည်။ ၎င်း Space Diagram တွင်သက်ရောက်လျက်ရှိသော Joint Load ကိုဖော်ပြ၍ ၎င်းတို့ကြားတွင် Bow 's Notation အရမှတ်သားထားရမည်။

၎င်း Frame သည် Perfect or Imperfect or Redundant Frame ကို (2n - 3) အားဖြင့် စစ်ဆေးပြီး Perfect Frame ဖြစ်ပါက Stress Diagram ကိုအလွယ်တကူရေးဆွဲနိုင်သည်။

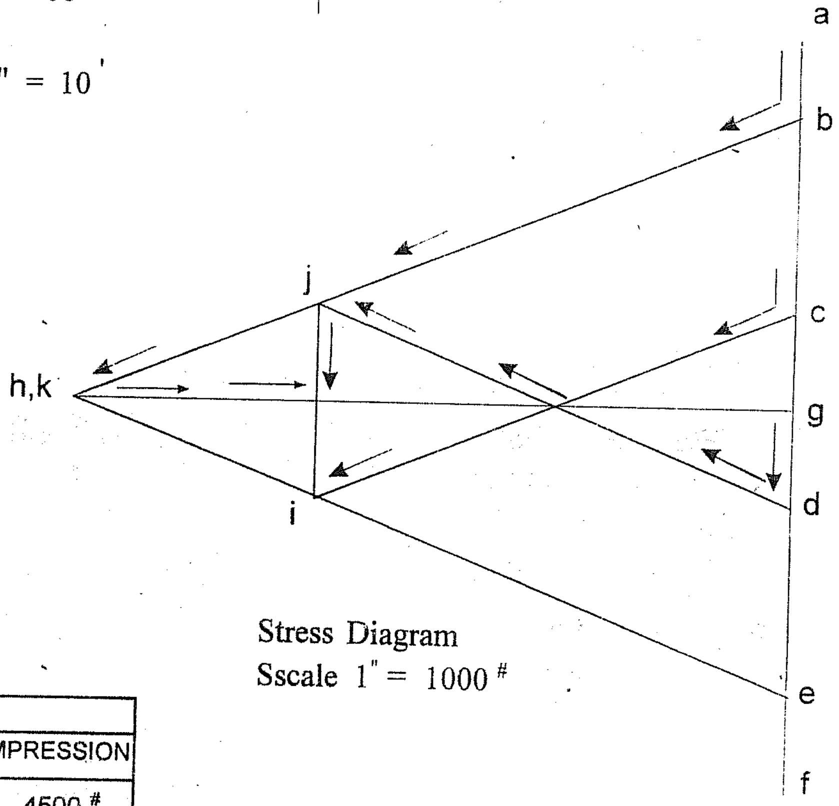
၎င်းနောက်သက်ရောက်သောအားများအတွက်သင့်လျော်သောစကေးတခုယူ၍သက်ရောက်သောအားများ၏ သွားရာလမ်းအတိုင်း ရေးဆွဲပြီး Force Diagram အတွက်သတ်မှတ်ပေးရသည်။ Truss များအတွက် Joint Load များသည် ၂ ဖက်တူညီနေပါက Reaction များသည် ညီမျှနေပြီး Unsymmetrical Loading များအတွက်မူ Reaction ပမာဏကို တွက်ချက်၍ ၎င်း Graphical Method ဖြင့် Pole polygon ရေးဆွဲ၍ ရှာဖွေရေးဆွဲရလေသည်။

ထိုသို့အားများ၏ သွားရာလမ်းအတိုင်း စကေးဖြင့် ရေးဆွဲသတ်မှတ်၍ Reaction များ၏ ပမာဏအတိုင်း မှတ်သားပြီးသောအခါ Member ၏တည်ရှိနေသည့် အနေအထားအတိုင်း သတ်မှတ်ဆွဲသားခြင်းဖြင့် Stress Diagram ကိုရရှိလေသည်။ Member များရှိ Stress ပမာဏကို Diagram မှတိုင်းတာရယူနိုင်ပြီး Strut နှင့် Tie ကို Stress Diagram ရှိအားများသွားရာလမ်းအတိုင်း Space Diagram တွင် မြှားဦးများ ထိုးကြည့်ခြင်းဖြင့် သိနိုင်လေသည်။

ဖော်ပြပါ ဒိုင်းခွေအတွက် Stress Diagram ကိုရေးဆွဲပြီး ပုံတွင် Strut နှင့် Tie တို့ကို ခွဲခြား၍ Member များရှိ အားများကိုရှာပါ။



Linear Scale 1 " = 10 '



Stress Diagram
Sscale 1" = 1000 #

Member	FORCE	
	TENSION	COMPRESSION
BH	-	4500 #
HG	3650 #	-
CI	-	3000 #
IH	-	1500 #
DJ	-	3000 #
JI	1500 #	-
EK	-	4500 #
KJ	-	1500 #
KG	3850 #	-

ပေးထားသော King Post Roof Truss တွင် ဖော်ပြပါအတိုင်း Joint Load များ သက်ရောက်နေရာ member အသီးသီးရှိ သက်ရောက်ခြင်းရှိနေသော အားအမျိုးအစားများနှင့် အားပမာဏများကို Stress Diagram ရေးဆွဲသောနည်းဖြင့် ရှာယူနိုင်သည်။ Perfect Framed Structures များတွင် Stress Diagram ကို အလွယ်တကူ ရေးဆွဲနိုင်သည်။

Stress Diagram ရေးဆွဲပုံအဆင့်ဆင့်-

(၁) ပေးထားသောဒိုင်းခွေ၏ Framed or Space Diagram ကိုသင့်တော်သောစကေးဖြင့်ရေးဆွဲရသည်

(၂) သက်ရောက်လျက်ရှိသော အားများနှင့် Reactions များကို Bow's Notation အရ သတ်မှတ်ရသည်။

(၃) ဆွဲသားမည့်စာအုပ်အတွင်း လုံလောက်စွာရေးဆွဲနိုင်ရန် သင့်တော်သောစကေးဖြင့် သက်ရောက်သောအား ပမာဏများကို သတ်မှတ်ရေးဆွဲ ရသည်။ (ဥပမာ 1" = 1000 #) သက်ရောက်သောအလေးဝန်များသည် မျဉ်းမတ် အတိုင်း သက်ရောက်သော ဝန်များသာဖြစ်၍ ၎င်းဝန်များကိုသက်သောအခြေအနေအကိုင်း ဖော်ပြပါက a မှ f အထိ ဖော်ပြနိုင်သည်။

(၄) အရေးကြီးဆုံးမှာ Reaction ပမာဏကိုသိ၍ အမှတ် `g' ကို သတ်မှတ်နိုင်ရန်ဖြစ်သည်။ ပေးထားသော Truss တွင်သက်ရောက်သော Joint Load များမှာ မျဉ်းမတ်ဝန်များဖြစ်ပြီး တူညီသောခေါင်မိုးစောင်း 2 ဖက်တွင် ပမာဏချင်းတူညီစွာ ကျရောက်သဖြင့် Reactions များဖြစ်သော fg နှင့် g a တို့သည် မျဉ်းမက်အကိုင်း အထက်သို့တက်ပြီး ပမာဏချင်းလည်း တူညီသဖြင့် `g' အမှတ်သည် a f ၏ အလယ် ဗဟိုတွင် ရှိမည်။

အကယ်၍ အမိုး အစောင်း ၂ ဖက်မတူညီဘဲ သက်ရောက်သောဝန်များမှာ Unsymmetrical Loads ဖြစ်ခဲ့သော် Reaction ပမာဏများကို တွက်ချက်၍၎င်း Graphical Method ဖြင့် Reaction များကို ရှာဖွေသက်မှက်နိုင်သည်။

(၅) ထို့နောက် Joint `A' မှအစပြု၍ B.H member ကိုကိုယ်စားပြုသော မျဉ်းအဖြစ် b အမှက်မှ 30 အစောင်းအကိုင်း ရေဆွဲရာ `g' မှဆွဲသော horizontal မျဉ်းနှင့်တွေ့ဆုံရာအမှက်သည် `h' ဖြစ်သည်။ ထိုနည်းအတိုင်း `e' မှဆွဲသော မျဉ်းနှင့် `g' မှဆွဲသောမျဉ်းတို့ဆုံရာအမှက်သည် ` k ' ဖြစ်သည်။

(၆) ထို့အတူ ``c'' မှဆွဲသော 30 ˚ မျဉ်းနှင့် h မှဆွဲသောမျဉ်းတို့ဆုံရာသည် i ဖြစ်သည်။ ` d ' မှဆွဲသော 30 ˚ မျဉ်းနှင့် `k' မှဆွဲသောမျဉ်းတို့ဆုံရာသည် `J' ဖြစ်သည်။ JI member သည် မတ်မတ်ရှိ၍ JI ကိုဆက်စပ်ခြင်းဖြင့် ပြည့်စုံသော Stress Diagram ကိုရရှိသည်။

(၇) ထိုအခါ Truss ရှိ member များအား Tension Member (Tie) နှင့် Compression Member (Strut:) အဖြစ် အားပမာဏ များကို Stress Diagram မှ တိုင်းတာရယူနိုင်သည်။

Member များအား Strut နှင့် Tie ခွဲခြားနည်း

Member များကို Strut နှင့် Tie ခွဲခြားရာတွင် အဆုံး Joint တစ်ခုရှိ member များကိုနာရီလက်တံလှည့် Clock -wise Direction အတိုင်းသတ်မှတ်ခေါ်ဝေါ်၍ Stress Diagram တွင်၎င်းအခေါ်အဝေါ်အတိုင်းခေါ်ဆိုရာ၌ Direction သည်အဆုံးဘတ်သို့လာသော် compression member (strut) ဖြစ်ပြီး အဆုံးမှဝေးရာသို့ညွှန်သော် tension member (tie) အဖြစ်သတ်မှတ်ရသည် ။

ပုံတွင် Joint " A" တွင်ရှိ member များမှာ B.H နှင့် HG ဖြစ်သည် ။ Stress Diagram တွင် b - h မှာ b မှ h ↙ b အဆုံးဘတ်သို့လာသဖြင့် BH member သည် Strut ဖြစ်သည် ။
h

HG သည် Stress Diagram တွင် h ⟶ g ဖြစ်၍အဆုံ A မှဝေးရာသို့ညွှန်သဖြင့် HG member သည် tie ဖြစ်သည် ။

ဤနည်းအတိုင်း Joint 'B' တွင်ရှိ C.I , I.H. နှင့် H. B, member များကိုစဉ်းစားသော် Stress Diagram တွင် c.i. သည်အဆုံးသို့လာသဖြင့် C.I. member သည် Strut ဖြစ်ပြီး I.H. member သည်လည်း Strut ဖြစ်ကြောင်းသိရှိနိုင်သည် ။ ထို့အတူ B.H member သည်လည်း strut ဖြစ်ကြောင်း သိရှိနိုင်သည်။

ထိုနည်းအတိုင်းအခြား Joint များရှိ member များကိုလည်း Stress Diagram အရ strut နှင့် tie ခွဲခြားသတ်မှတ်နိုင်လေသည် ။

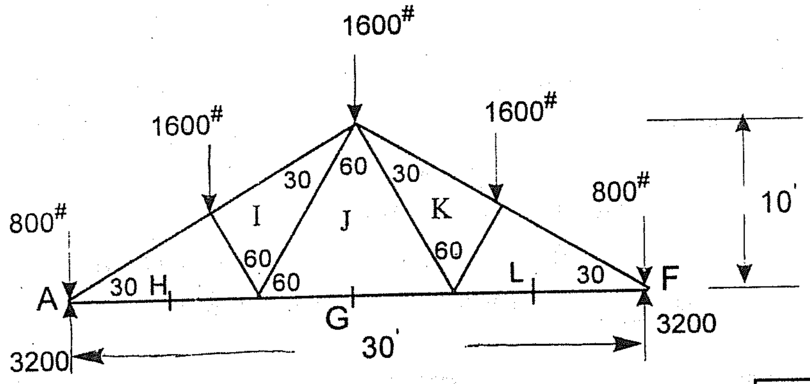
အခြားခွဲခြားသောနည်းများမှာ အားများသွားရာလမ်းကြောင်းအတိုင်း လိုက်၍ခွဲခြား သတ်မှတ်နည်း ဖြစ်သည် ။

ပုံတွင် a b သည် compressive force ဖြစ် ၍ bh ကို clock wise direction အတိုင်း လာသဖြင့် B.H. member များသည် 'strut' ဖြစ်ပြီး h g သည် Anti-clock wise direction အတိုင်းလှည့်သဖြင့် 'tie' ဖြစ်သည်။

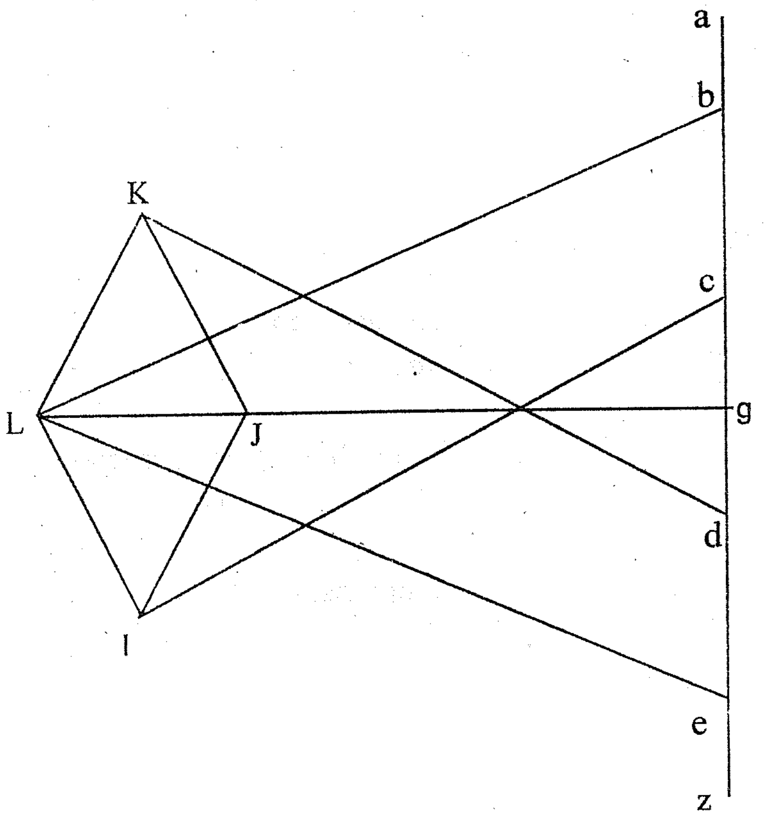
ထိုနည်းအရခွဲခြားရာတွင်မူလအားကိုနာရီလက်တံလှည့်လမ်းကြောင်း Clock -wise direction အတိုင်းလှည့်ပါကမူလအားပင် ပြန်ရပြီး မူလအားကို နာရီလက်တံ ဆန့်ကျင်လှည့် Anti- clockwise direction အတိုင်း လှည့်ပါက မူလအား နှင့်ဆန့်ကျင်သည့်အားဖြစ်လာသည် ။

ဆိုလိုသည်မှာ Compression ကို clock-wise လှည့်ကcompression ပင်ပြန်ရပြီး compression ကို Anti-clock wise လှည့်က tension ဖြစ်လာသည်။ ထိုနည်းတူ Tension ကို clock wise လှည့်က tension ပင်ဖြစ်ပြီး Anti-clock wise လှည့်က compression ဖြစ်လာသည် ။

အောက်ပါပေးထားသော Roof Truss အတွက် Stress Diagram ကိုရေးဆွဲပြီး Member များအား Strut နှင့် Tie အမျိုးအစား ခွဲခြား၍ အားပမာဏများကိုရှာပါ။

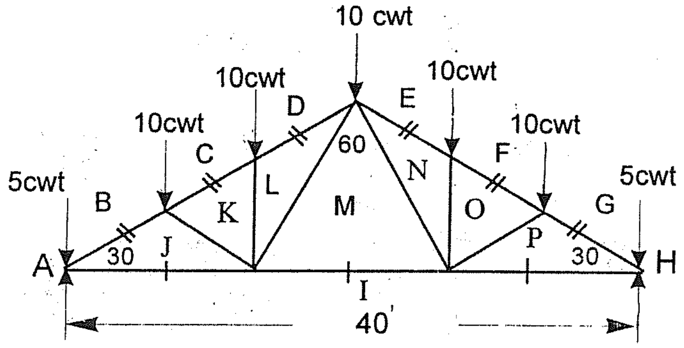


Member	FORCE	
	TENSION	COMPRESSION
BH,EL	-	4350 #
C I, DK	-	3600 #
HI, KL	-	1350 #
I J, JK	1350 #	-
HG, LG	3600 #	-
JG	2350 #	-



Scale 1" = 1000 #

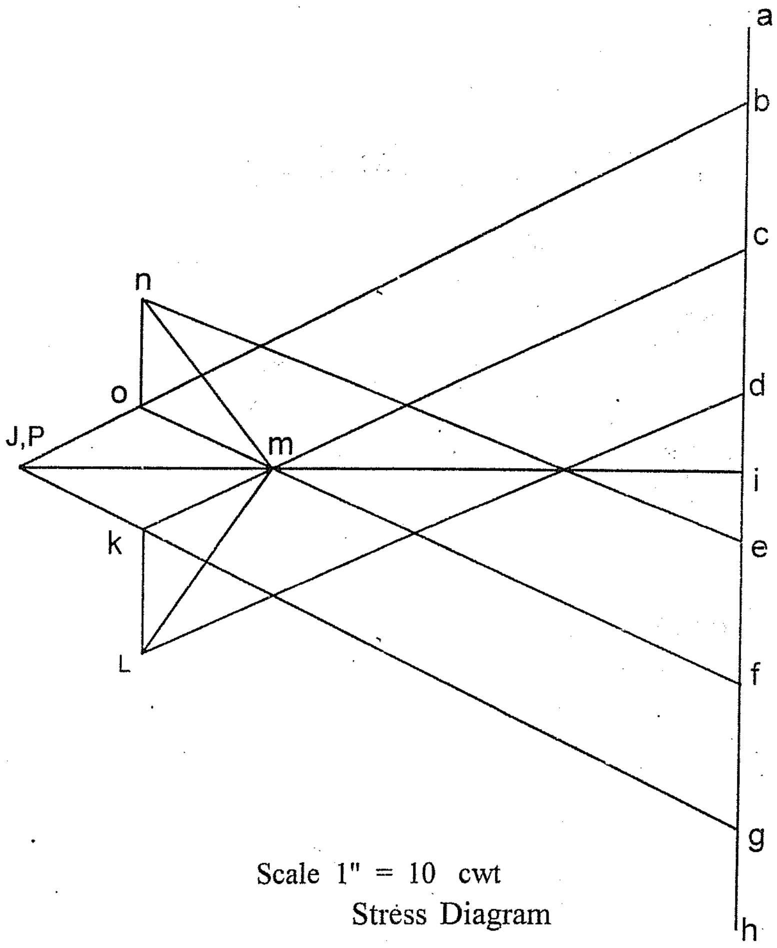
STRESS DIAGRAM



Scale 1" = 10'-0"

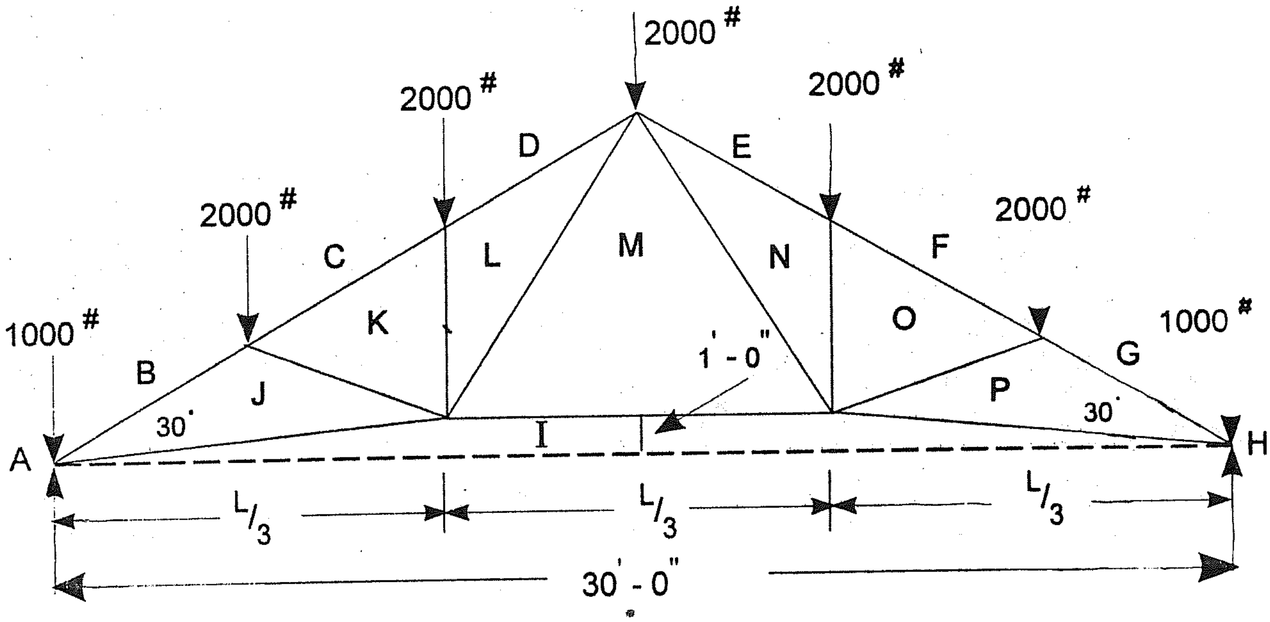
Space Diagram

Member	FORCE	
	TENSION	COMPRESSION
BJ,GP	-	50 cwt
C K, FO	-	40 cwt
DL, EN	-	40 cwt
K J, PO	-	10 cwt
KL ,NO	-	10 cwt
LM , MN	16½ cwt	
JI , P I	43 cwt	
M I	26 cwt	

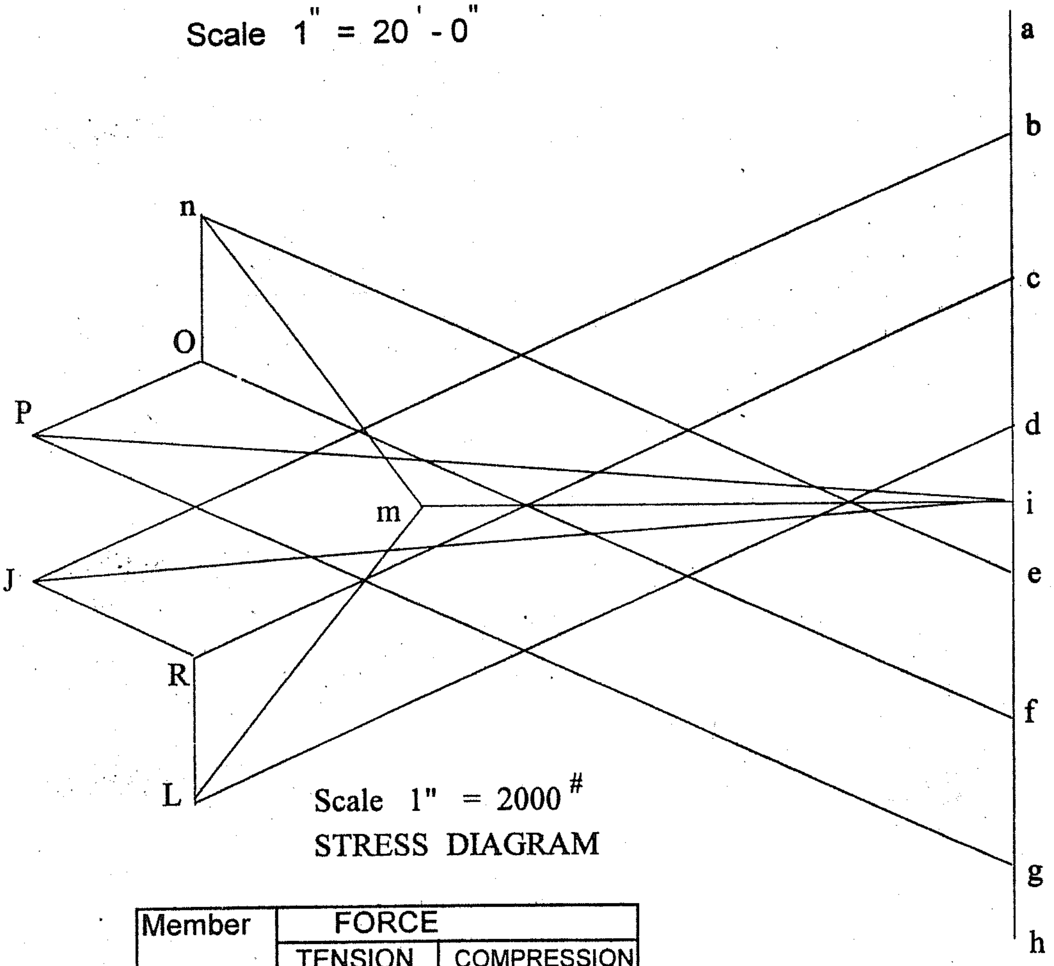


Scale 1" = 10 cwt

Stress Diagram



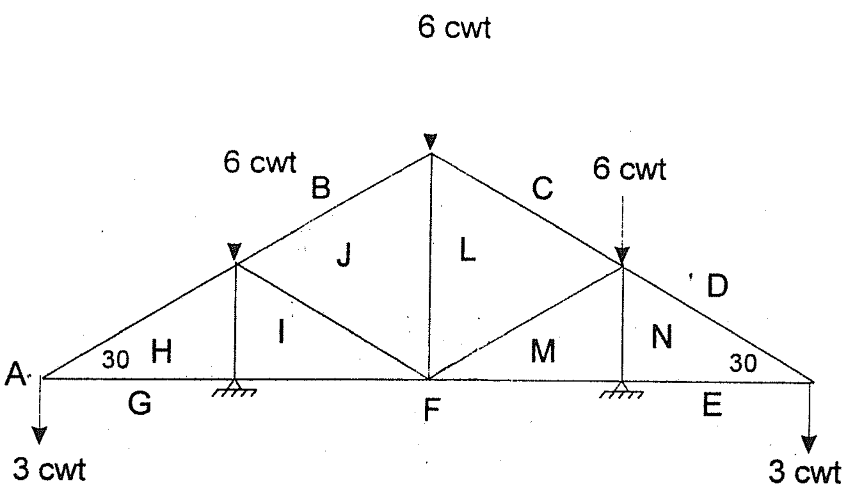
Scale 1" = 20' - 0"



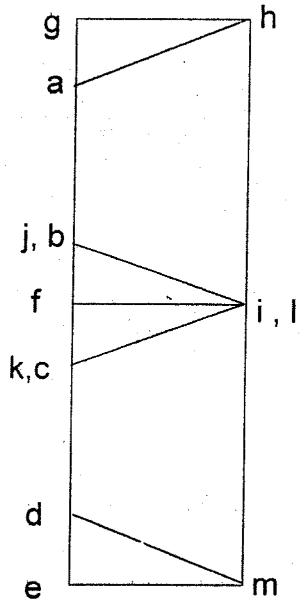
Scale 1" = 2000 #

STRESS DIAGRAM

Member	FORCE	
	TENSION	COMPRESSION
BJ,GP	-	
C K, FO	-	
DL, EN	-	
K J, PO	-	
KL ,NO	-	
LM,MN		
JI,PI		
MI		



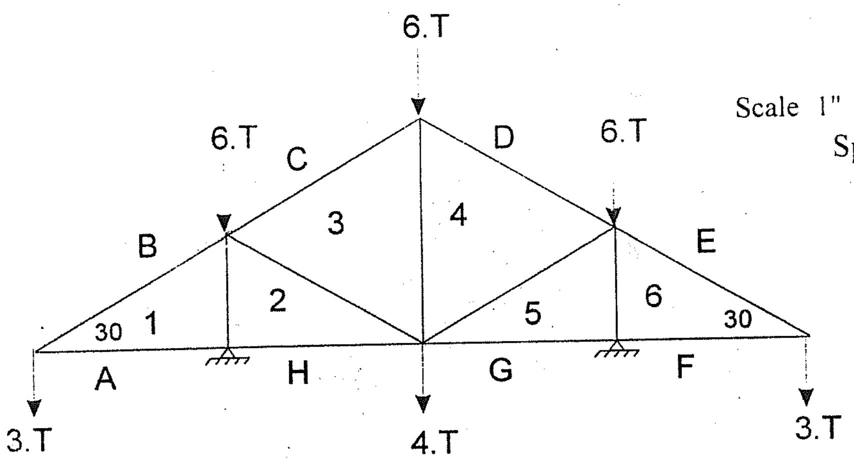
Scale 1" = 5'-0"
Space Diagram



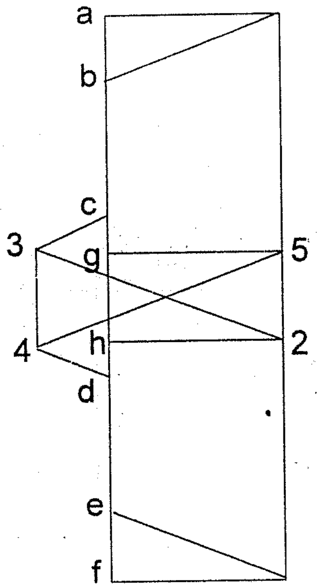
Member	FORCE	
	TENSION	COMPRESSION
AN,DM		
BJ , CK		
HI , LM		
JI , KL		
JK		
GH , ME		
IF , FL		

Scale 1" = 6 T
STRESS DIAGRAM

ပေးထားသော အမိုးဒိုင်းခွေသည် ဘူတာရုံတခုရှိ စင်္ကြန် အမိုးဖြစ်၏။ ၎င်းဒိုင်းခွေရှိ Member များအား Strut နှင့် Tie ကိုပေးထားသောပုံစံတွင် မျှားခေါင်းများဖြင့်ဖော်ပြပါ။ Stress Diagram ကို သင့်တော်သော စကေးဖြင့်ဆွဲပါ။



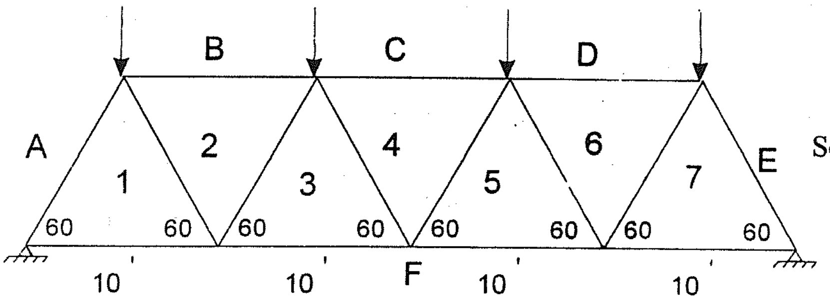
Scale 1" = 10'-0"
Space Diagram



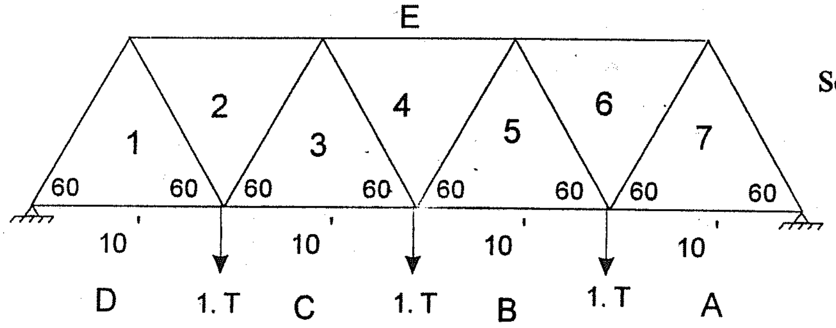
Member	FORCE	
	TENSION	COMPRESSION
B1 , EG		
1A , 6F		
C3 , D4		
3.2 , 4.5		
2.1 ,5.6		
2H , 5G		
3.4		

Scale 1" = 6 T
STRESS DIAGRAM

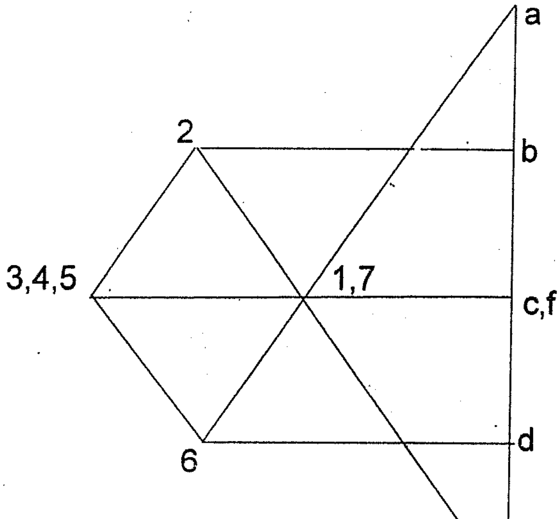
ပေးထားသော Bridge Girder များတွင် ဖေါ်ပြပါ အတိုင်း အလေးဝန်များ သက်ရောက်နေ၏။ ၎င်းတို့အတွက် Stress Diagram များကိုရေးဆွဲပြီး Member များကို Stress နှင့် Tie ခွဲခြားပြပါ။



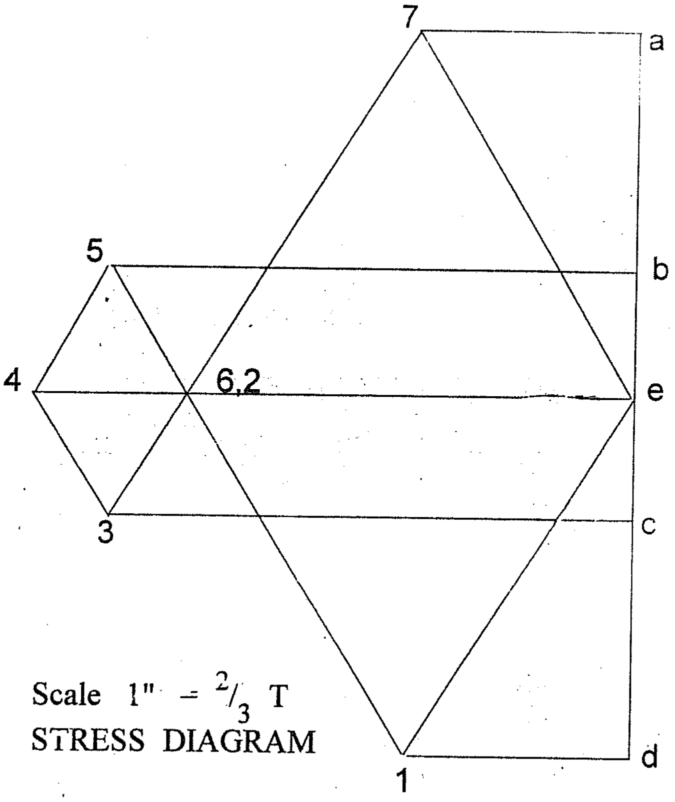
Scale 1" = 10 ' - 0 "
Space Diagram



Scale 1" = 10 ' - 0 "
Space Diagram



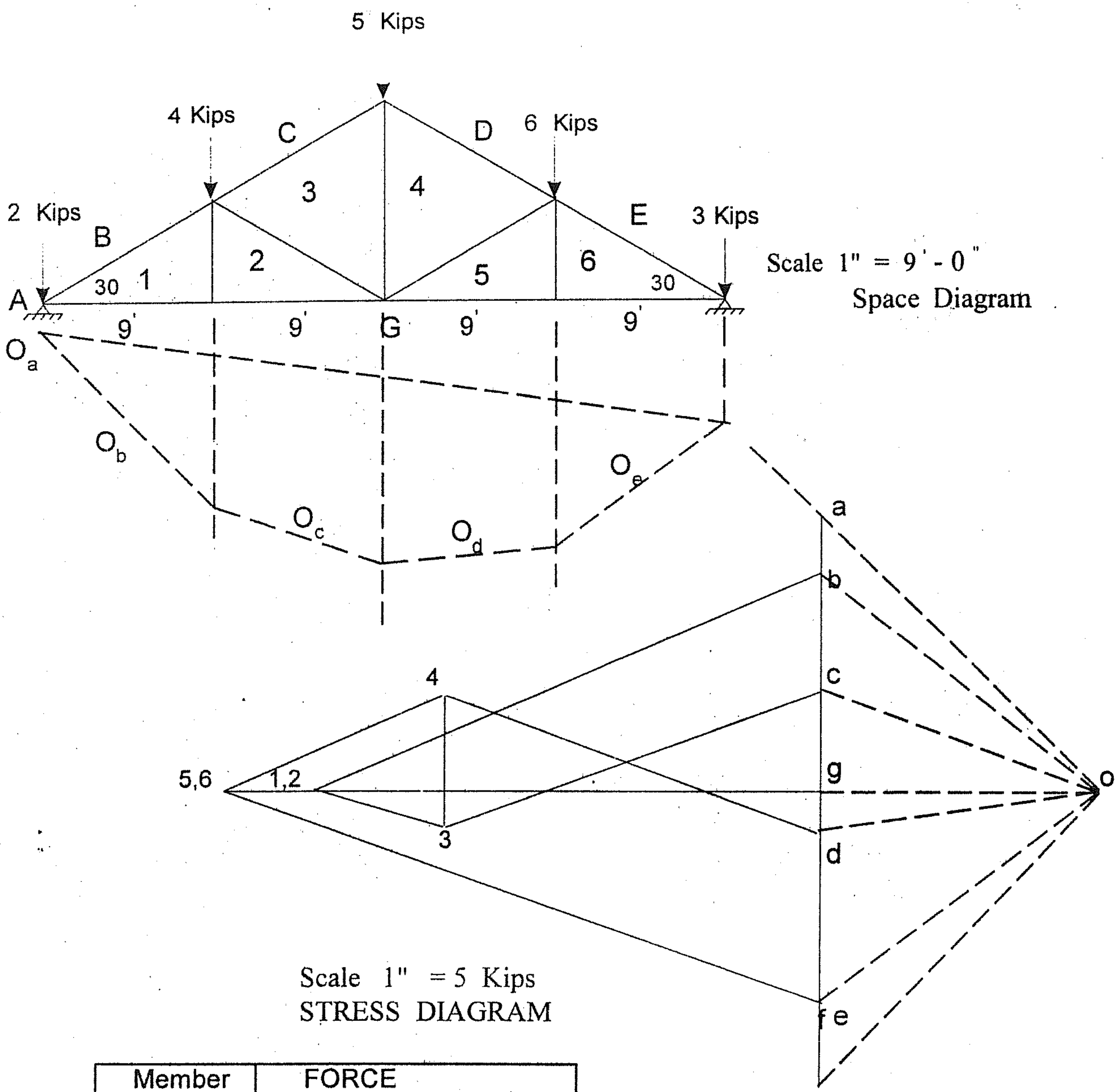
Scale 1" = 1 T
STRESS DIAGRAM



Scale 1" = $^2/_3$ T
STRESS DIAGRAM

Member		A1	B2	C4	D6	E7	F7	F5	F3	F1	1,2	2,3	3,4	4,5	5,6	67
FORCE	TENSION															
	COMPRESSION															

TRUSS WITH UNSYMMETRICAL LOADS

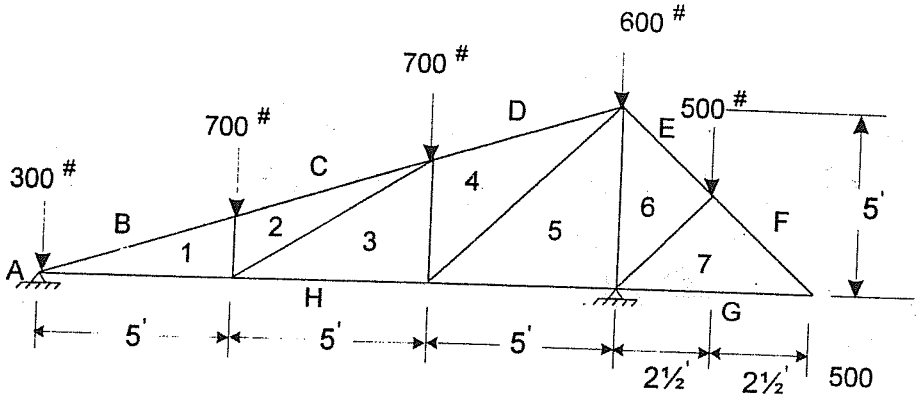


Scale 1" = 9'-0"
Space Diagram

Scale 1" = 5 Kips
STRESS DIAGRAM

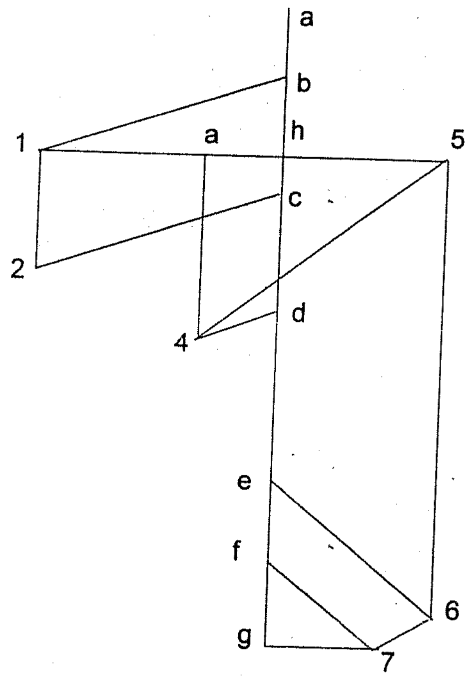
Member	FORCE	
	TENSION	COMPRESSION
B I	14^K	
C3	10^K	
D4	10^K	
E6	16^K	
G6		14^K
G5		14^k
G2		
G1		12^k
1,2		
2,3		4^K
3,4		
4,5		
5,6		

ဖော်ပြပါ Truss အတွက် Stress Diagram ကိုရေးဆွဲပြီး Member များကို Strue နှင့် Tie ခွဲခြားပြပါ။



Scale 1" = 5'-0"

Space Diagram

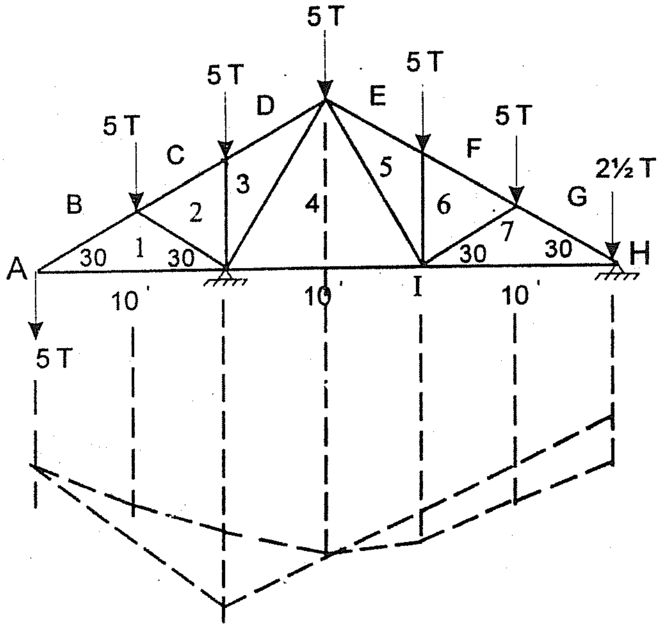


Scale 1" = 1000 #

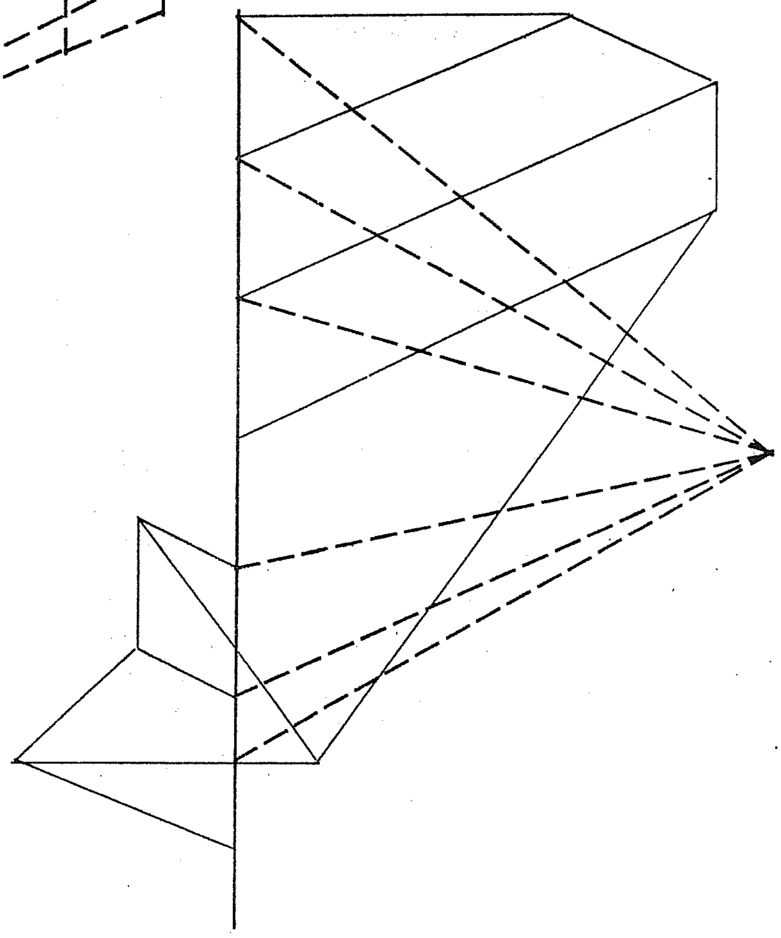
STRESS DIAGRAM

Member	FORCE	
	TENSION	COMPRESSION
B1		
C2		
D4		
E6		
F7		
G7		
H-5		
H-3		
H-1		
1-2		
2-,3		
3-4		
4-5		
5-6		
6-7		

အောက်ဖော်ပြပါ အမိုးဒိုင်းခွေအတွက် Stress Diagram ကိုရေးဆွဲပြီး Member များကို Strut နှင့် Tie ခွဲခြားပြပါ။

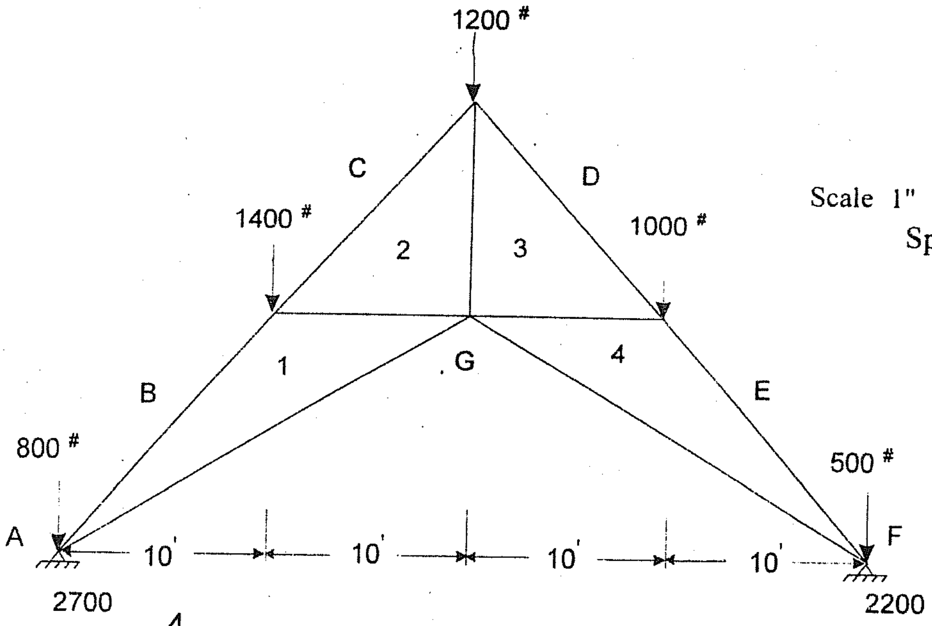


Scale 1" = 10 ' - 0
Space Diagram

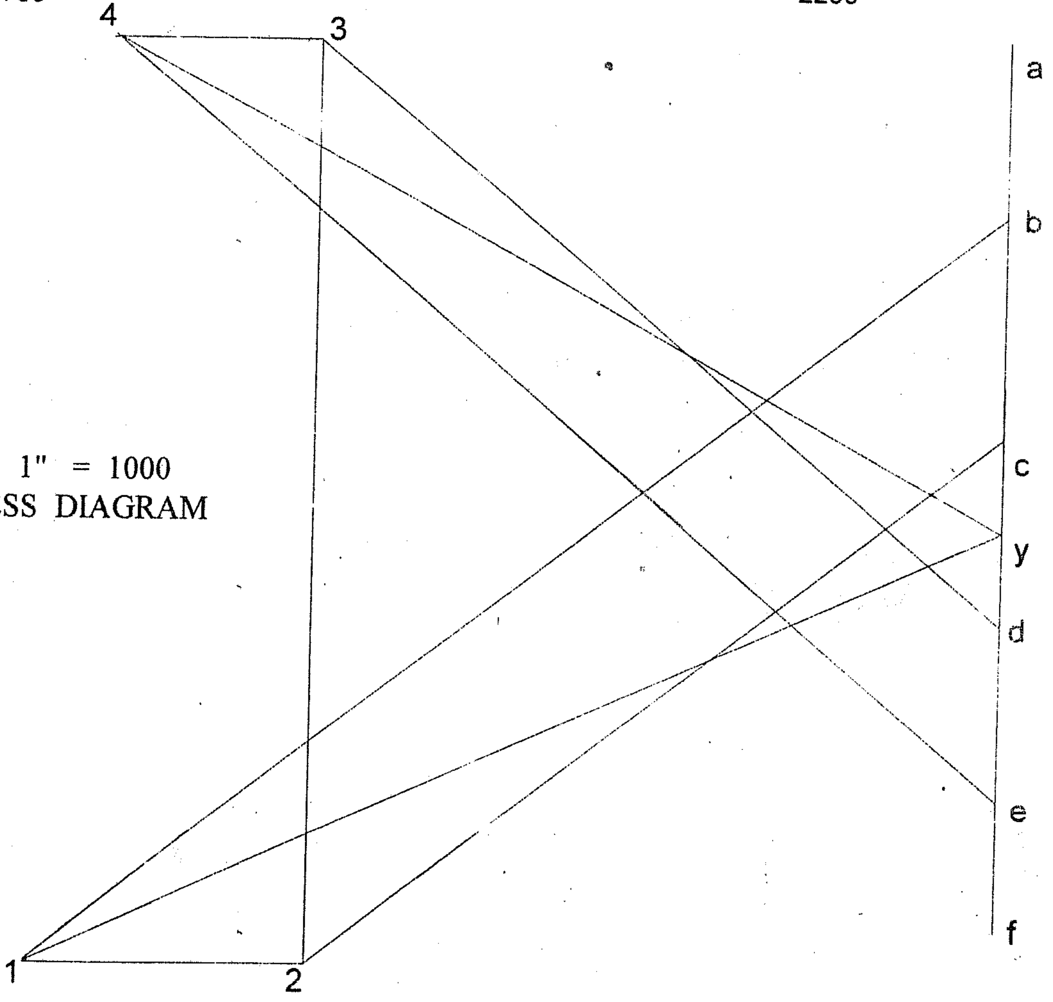


Scale 1" = 5.7
STRESS DIAGRAM

Member	FORCE	
	Tension	Compression
B I		
1-4		
C-2		
2-1		
D-3		
3-2		
E-5		
5-4		
4-3		
F-6		
6-5		
G-7		
7-6		
7-1		
1-4		

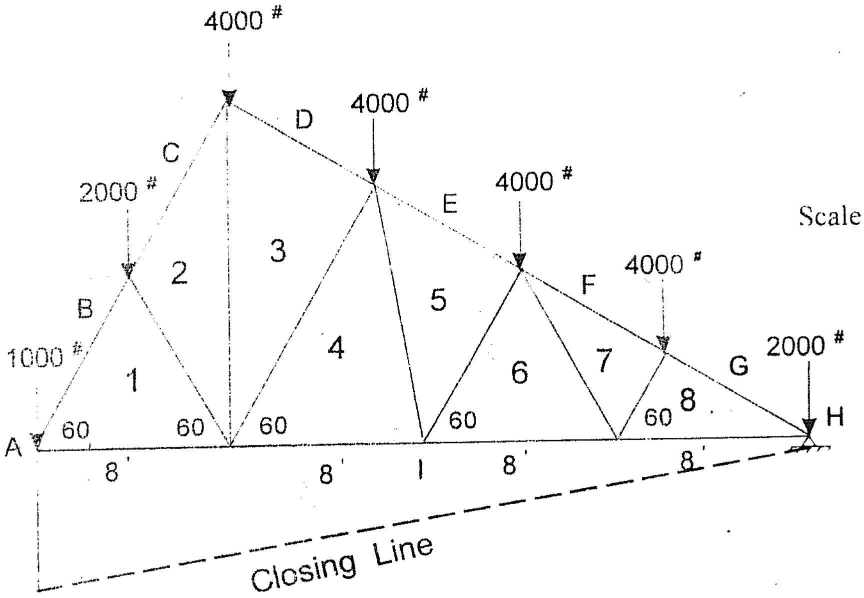


Scale 1" = 10' - 0"
Space Diagram

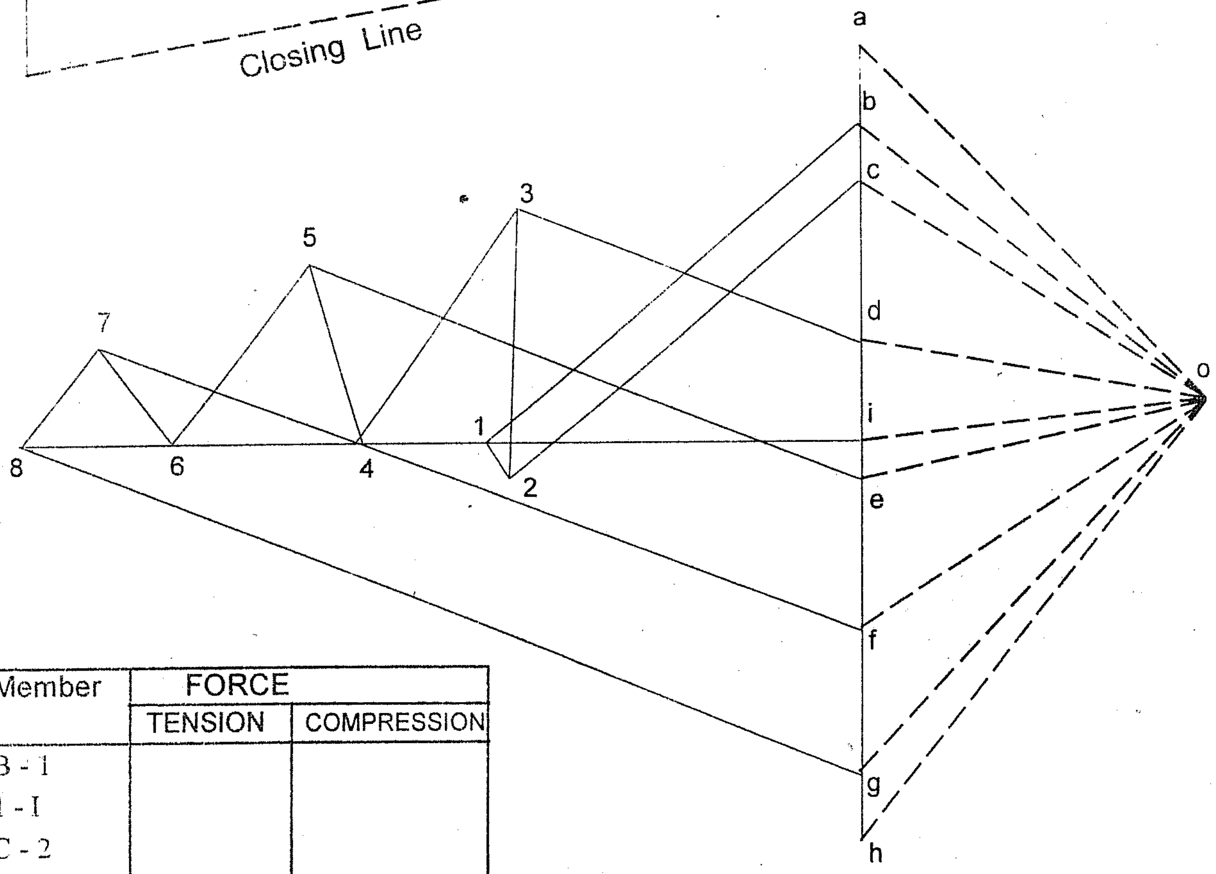


Scale 1" = 1000
STRESS DIAGRAM

Member		B-1	1-G	C-2	2-1	D-3	3-2	E-4	4-3	4-G
FORCE	TENSION									



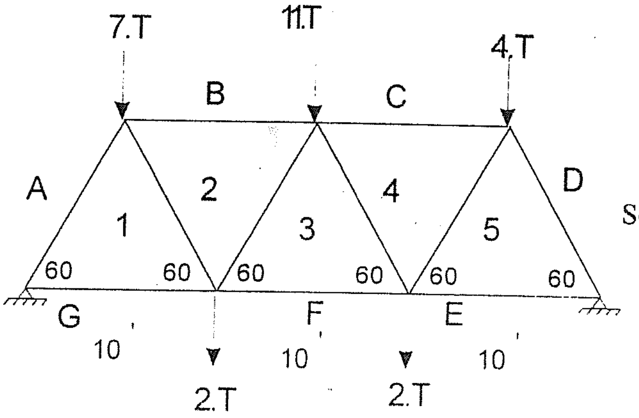
Scale 1" = 8'-0"
Space Diagram



Scale 1" = 400 #
STRESS DIAGRAM

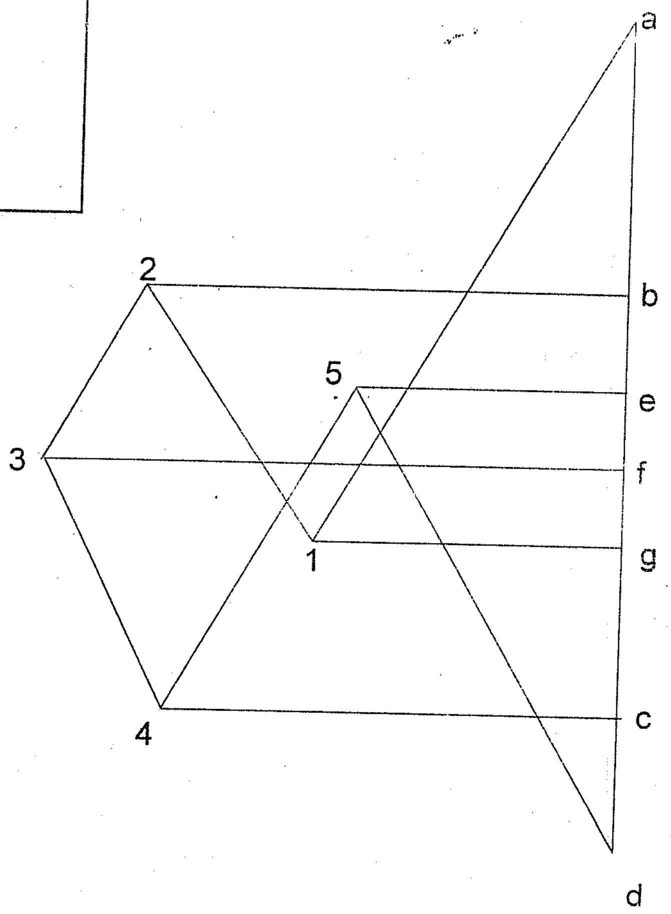
Member	FORCE	
	TENSION	COMPRESSION
B - 1		
1 - I		
C - 2		
2 - 1		
D - 3		
3 - 2		
E - 5		
5 - 4		
4 - 3		
F - 7		
7 - 6		
6 - 5		
G - 8		
8 - 7		
4 - I		
G - I		
8 - I		

ပုံတွင်ပြထားသော Braced Girder အတွက် Stress Diagram ရေးဆွဲပြီး (X) အမှတ်အသားပြထားသော Member များရှိ အားပမာဏနှင့် အမျိုးအစားကို ရှာပေးပါ။

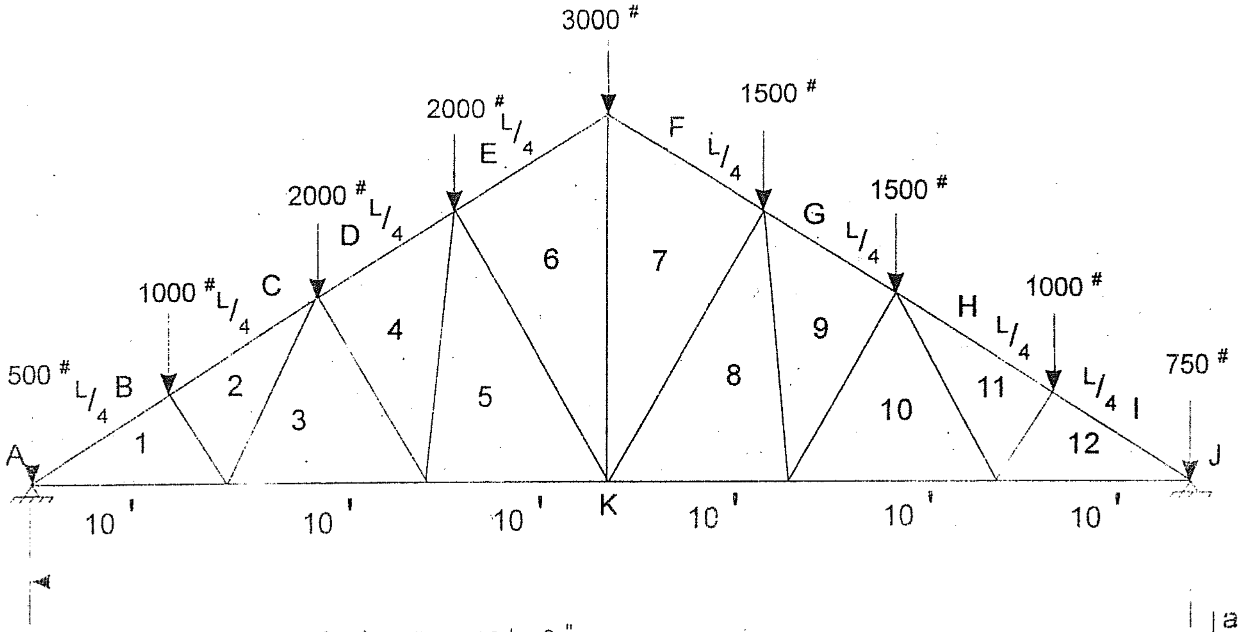


Scale 1" = 10'-0"
Space Diagram

Member	FORCE	
	TENSION	COMPRESSION
A- 1		
B-1		
C-4		
D-5		
E-5		
F-3		
G-1		
1-2		
2-3		
3-4		
4-5		



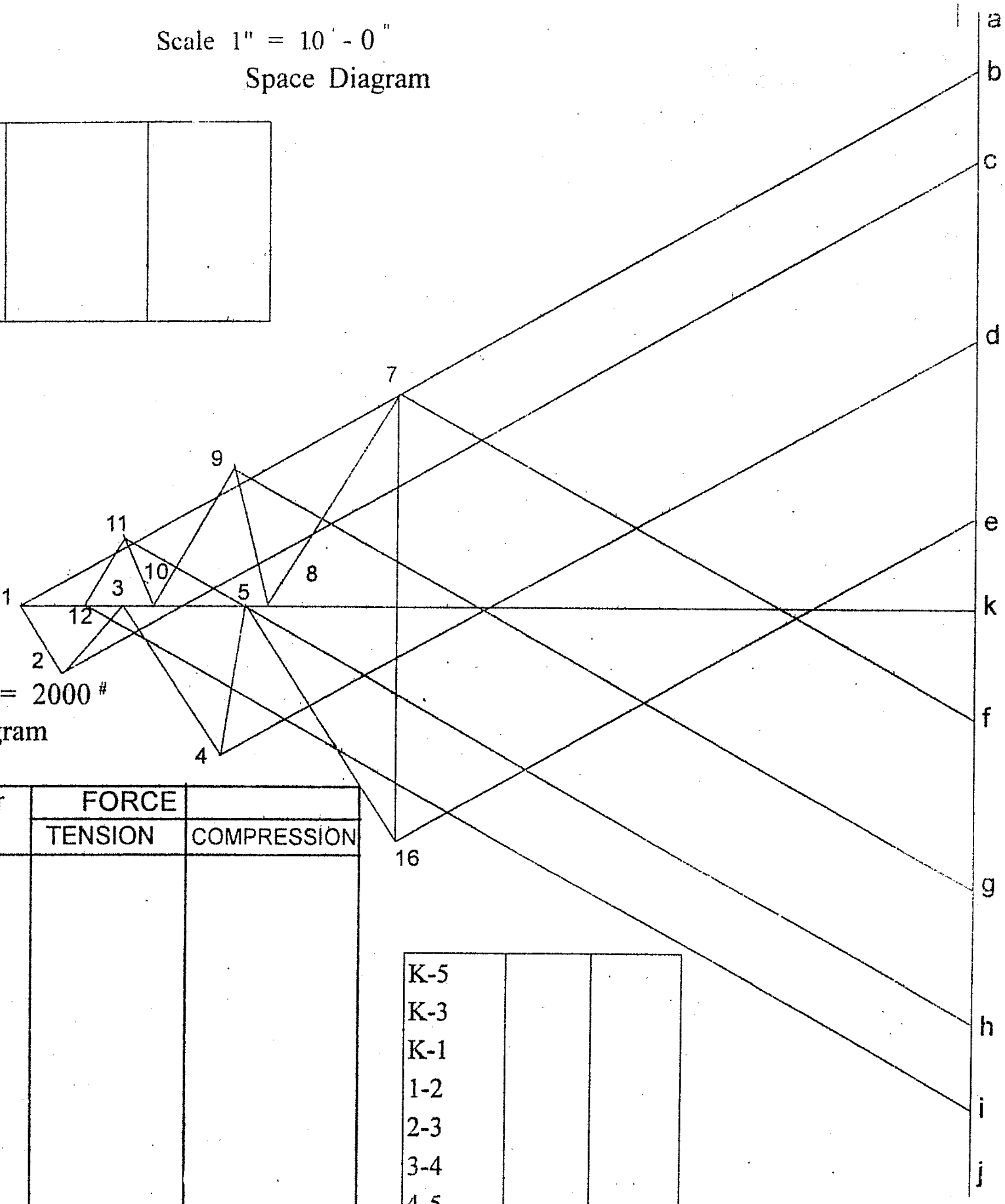
Scale 1" = 5'
STRESS DIAGRAM



Scale 1" = 10 ' - 0 "

Space Diagram

7-8		
8-9		
9-10		
10-11		
11-12		



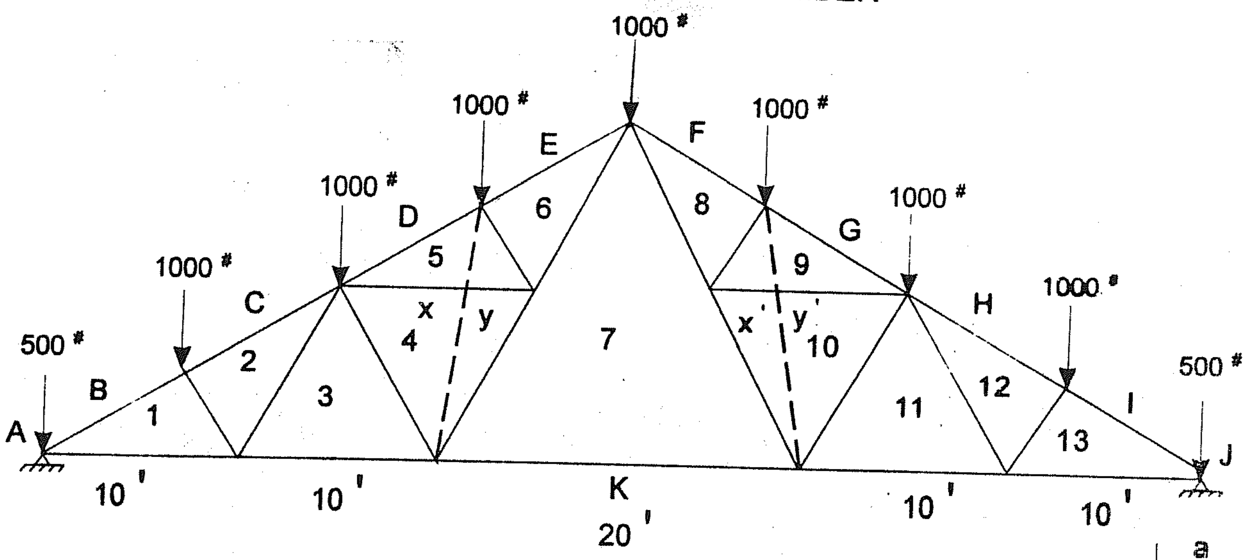
Scale 1" = 2000 #

Stress Diagram

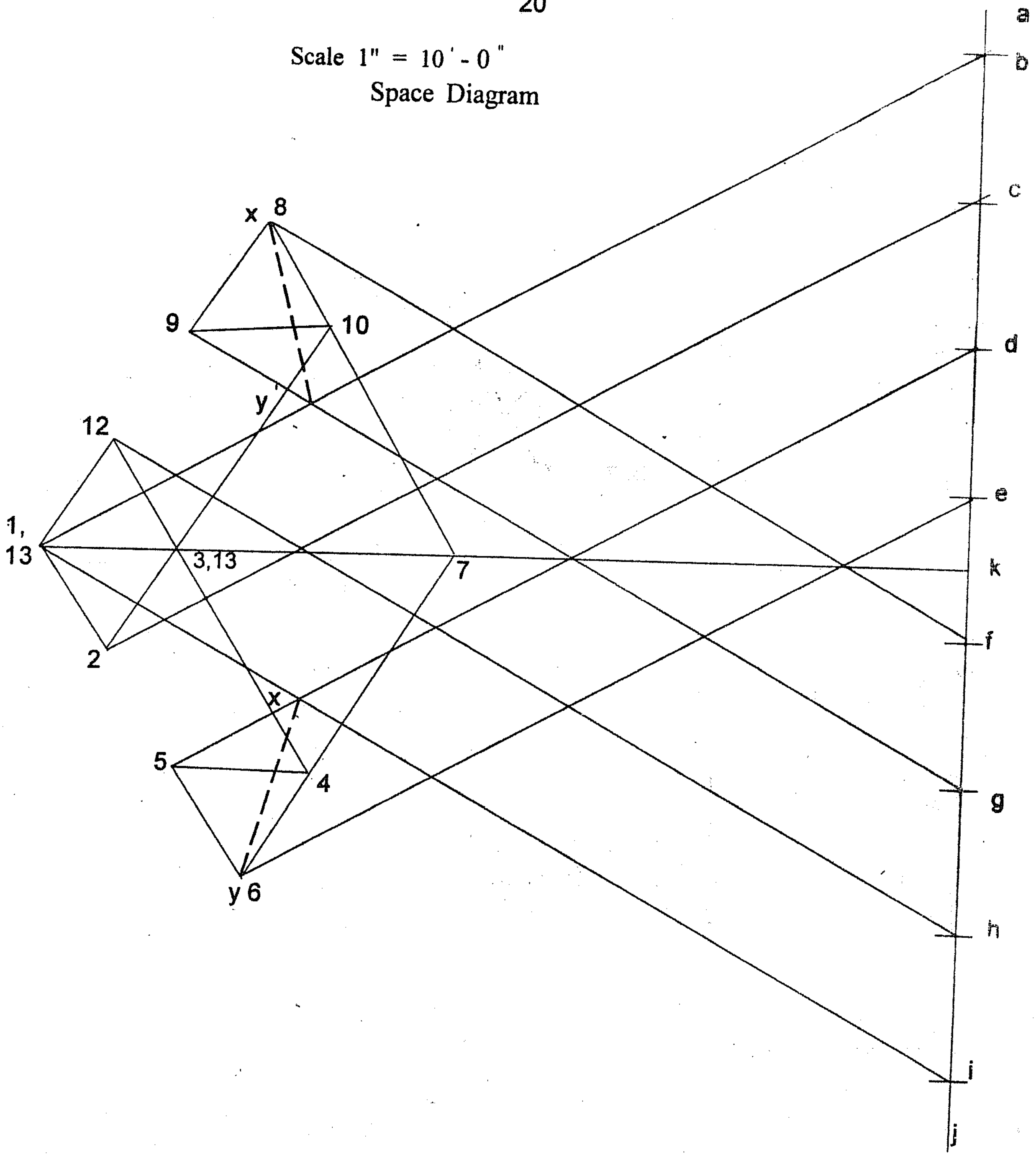
Member	FORCE	
	TENSION	COMPRESSION
B-1		
C-2		
D-4		
E-6		
F-7		
G-9		
H-11		
I-12		
K-12		
K-10		
K-8		

K-5		
K-3		
K-1		
1-2		
2-3		
3-4		
4-5		
6-7		

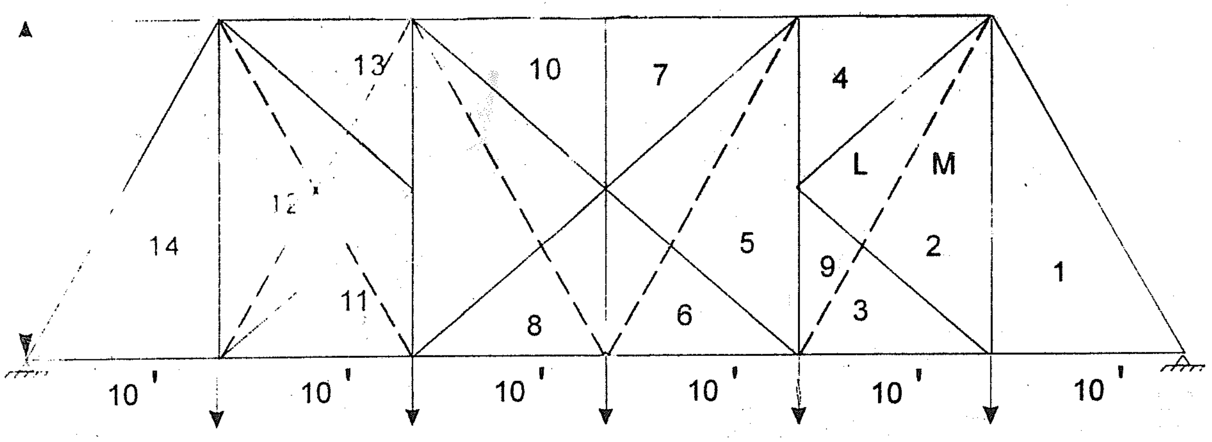
TRUSS WITH SUBSTITLTE MEMBER



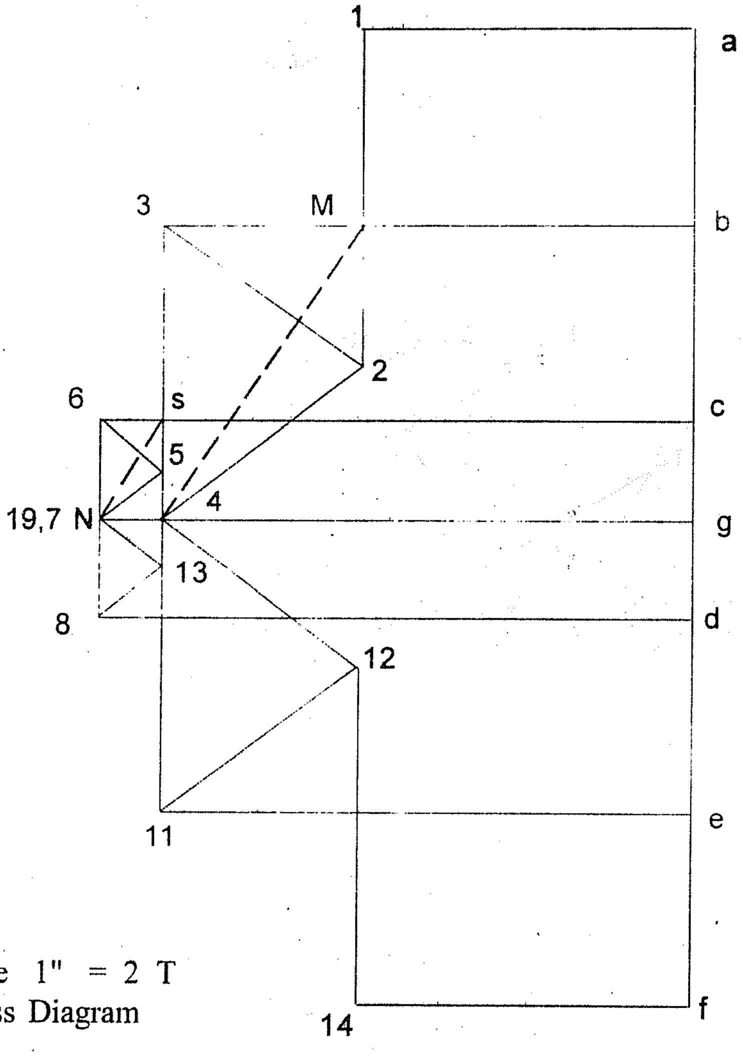
Scale 1" = 10'-0"
Space Diagram



K TRUSS



Scale 1" 10 - 0
Space Diagram



Member	FORCE	
	Tension	Compression
G-14		
G-13		
G-10		
G-7		
G-4		
G-1		
A-1		
B-3		
C-6		
D-8		
E-11		
F-14		
14-12		
12-13		
12-11		
13-9		
11-9		
9-10		
9-8		
10-7		
8-6		
7-5		
6-5		
5-4		

Scale 1" = 2 T
Stress Diagram