

第十章 單桁に生ずる剪力及び彎曲力率

第一節 影響線に關する總説

(1) 荷重 (Loads)

桁に作用する外力の内始めから與へられたものを荷重と云ひ、荷重に應じて支點に生ずるものを支反力と云ふ。荷重の内桁の自重、路床及び横構などの重量の如く、常に桁に働くものを靜(死)荷重(Dead load)と云ひ、列車、自動車、群集の如く時々桁に乗りかゝるものを動(活)荷重(Live load)と云ふ。桁のある長さになつて分布された所謂分布荷重の内桁に沿うて一様に分布されたものを等布荷重と云ひ、一般に次の記號を用ふ。

q = 單位長に働く等布靜荷重

p = 單位長に働く等布動荷重

尚ほ q 及び p を別々に採り扱つた場合に支點反力 A_q, A_p 、彎曲力率 M_q, M_p 等の記號を用ふ。

桁の何れの點にも荷重が直接作用し得る場合を直接荷重(Direct loading)と云ひ、Fig. 196 に示す如く中間桁を配置し桁の格點(Panel point) h, i, j, \dots 上に荷重を傳へる場合を間接荷重(Indirect Loading)と云ふ。尙この際格點に働く荷重を格點荷重(Panel load)と云ひ、格點間の桁部分を格間(Panel)、又その長さを格間長(Panel length)と云ふ。

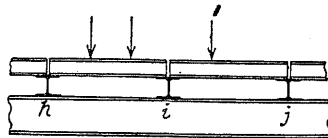


Fig. 193

靜荷重は桁の寸法、構造等を假定して試算的に計算するか或は經驗式によつて見出す事が出来るが、動荷重に對しては構造物の種類に應じて適當なものを選ばなければならない。例へば 1925 年 2 月制定の獨逸國有鐵道一等線路に於ける列車荷重は Fig. 197 (a) に示す如き炭水車附機關車二輛の前後に或は一方に Fig. 197 (b) に示す如き貨車多數を連結したものをとり、又昭和 3 年(1928 年) 3 月制定の我國鐵道省列車荷重及びその配置は

Fig. 198 (a), (b) に示すもの、内何れかその部材に大なる應力を生ずべきものをとる様にしてゐる。

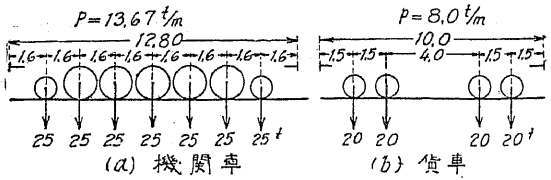
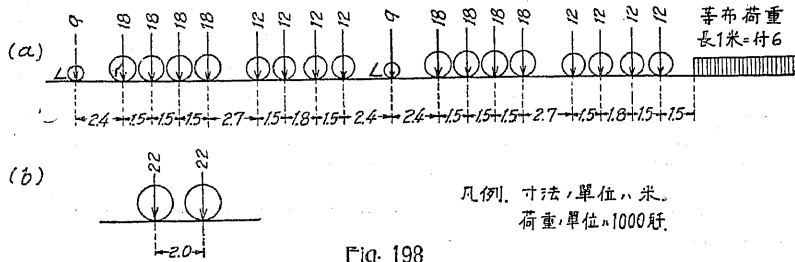


Fig. 197



凡例. 寸法, 単位, 米. 荷重, 単位, 1000 斤.

Fig. 198

尚ほこの際最も注意すべきは設計に用ひる列車荷重として、現在實際に運轉してゐる最大車輛の寸法及び軸重量をそのまま採つてはならないと云ふ事である。何故ならば軸荷重は車輪が轉動する場合には色々の變化を受け、その様子を静力學的に精密に見出す事は困難であるからこの變化を撃衝係數 (Impact coefficient) の内に含ませる必要があるし、又機關車、貨車などは時勢と共に改良を加へられるものであるからその寸法、重量の變化をも考慮して適當な重量及び配置を定める必要があるからである。Fig. 199 は日本、獨逸、及び米國に於ける機關車軸荷重が年と共に著しく増加する有様を示したものである。

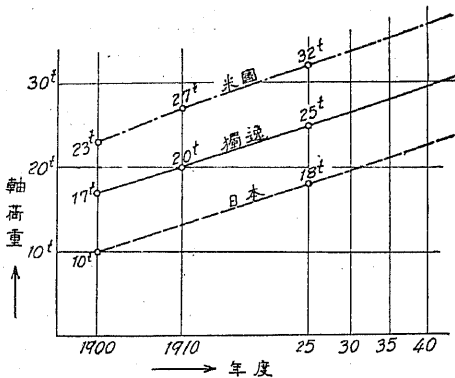


Fig. 199

列車荷重及び其の他の色々の動荷重から生ずる最大彎曲力率及び最大剪力を求めるには影響線を利用するが便利であるから以下順次影響線に就いて説明を加へよう。

〔2〕 支反力 (Reactions)

今桁に作用する外力は桁の平面内にあるものとし、又力及び溫度變化から生ずる桁及び支臺の變化は微小であるから、之れを無視して桁及び支臺は原形のまゝとして荷重及び支反力の間に平衡條件が成立するものと假定する。従つて總べての外力は非弾性桁及び支臺に作用する如く考へ、その位置及び方向を一定に保つものとする。然らば Fig. 200 に示す様に一つの桁が一端は固定鉸にて、他端は一直線に沿つて動く鉸支點で支へられてゐる時にはその支點反力 A 及び B はたやすく見出す事が出来る。即ち反力 A は鉸を通り滑面 ab に直角に働く事を知るべく、又三力の平衡の條件より是非とも反力 B は合力 R と支反力 A との交點 C を通る必要があるから R , A , 及び B の方面が凡べてわかる事になる。従つて反力 A 及び B は圖の如く容易に力の三角形を描いて求める事が出来る。この際可動支鉸の滑面が水平であれば Fig. 201 に示す如く垂直荷重に對する支反力は A , B 共に垂直となる。Fig. 201 の如き桁を稱して單桁 (Simple beam) と云ふ。この場合支點に生ずる未知數 (即ち各々の支點反力の働點、方向、大さ) は三つである。然るに剛性體に作用する平面上にある力を任意の座標軸に關して表せば、

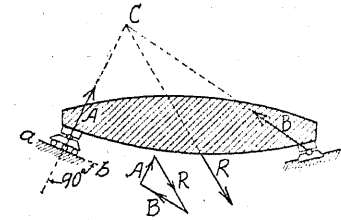


Fig. 200

(a) x 軸の方向の分力の和 = 0
 (b) y 軸の方向の分力の和 = 0
 (c) 任意の極點に對する力率の和 = 0

なる三つの條件が成立する。故にこの三條件から三つの未知數を求め得るのであつて、例へば Fig. 201 に於いて支點 B を力率の極點とすれば $Al - Rb = 0$, $\therefore A = \frac{Rb}{l}$ として A を得べく、又垂直方向の分力の和を零とおけば $R -$

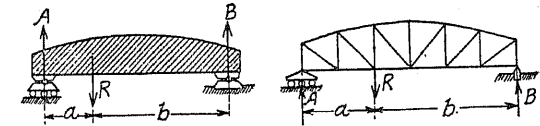


Fig. 201

$(A+B) = 0 \therefore B = R-A = \frac{Rz}{l}$ として B を求める事が出来る。斯くの如く荷重から生ずる桁の支反力が單に靜力學的平衡條件のみから見出される場合を外的靜定桁と云ひ、之れに反し彈性理論を用ひるにあらざれば見出し能はざる場合を外的不靜定桁と云ふ。例へば Fig. 202 に示す如く一つの

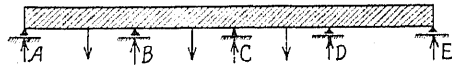


Fig. 202

固定支點及び二以上の可動支點に乗る連續桁 (Continuous beam) に於ける様である。一般に固定支點に二つ (支反力の大き及び方向) 可動支點に一つ (支力の大き) づゝの未知數を生ずるが故に n 個の支點 (その内一つは固定支點にして他は凡べて可動支點とする) を有する連續桁の場合には $(n+1)$ 個の未知數があり、その三つは上にのべた靜力學的平衡條件から求める事が出来るから、結局 $(n-2)$ 個の條件式を缺く事になる。是等は桁の彈性變形を考へて見出す事が出来るのであるが n 個の支點に乗る連續桁は $(n-2)$ 次の外的不靜定であると云ふ事が出来る。

〔3〕 影響線の意義 (Meaning of influence line)

桁に於いて種々の位置に平行に働く動荷重が一つの未知數 Z に及ぼす影響を知る事は極めて重要な問題である。この場合 Z としては Fig. 203 に示す如き二鉸拱の水平支反力、或は彎曲力率 M 、剪力 Q 、其の他色々ものを表し得るも常に次の事を假定する。

(1) 荷重 P から生ずる Z の値は P の値に比例し、 $Z = P \cdot \eta$ にて表し得る。茲に η は P に無關係な係數を示してゐる。

(2) 聯行荷重列 (Travelling load system) によつて生ずる Z の値は種々の荷重 P が生ずる Z の値の和に等しい。

以上の如く假定し個々の集中荷重 (Concentrated load) P_1, P_2, P_3, \dots がある位置にて夫々 $Z = P_1\eta_1, Z = P_2\eta_2, Z = P_3\eta_3, \dots$ を生ずるものとすれば全體が同時に働いた場合には

$$(1) \quad Z = P_1\eta_1 + P_2\eta_2 + P_3\eta_3 + \dots$$

となる。 Z を見出す爲に桁の上を轉動する荷重 $P = 1$ の Z に対する影響 η

を出来るだけ多くの點にて求め是等を直線 AB からの縦距として立てれば Fig. 203 の如き曲線を得るべく、この曲線を稱して影響線 (Influence line) と云ひ、この曲線と基線 AB とから挟まれた面を影響面 (Influence face) と云ふ。影響線が求められれば如何なる荷重列に對してもそれから生ずる Z の値は影響線にて荷重 P_1, P_2, P_3, \dots に相當する縦距 $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots$ を測つて公式 (1) を應用すれば容易に求められる事になる。尚ほ此の影響線を利用して荷重列を移動せしめ Z の最大値を見出す事も出来るのである。

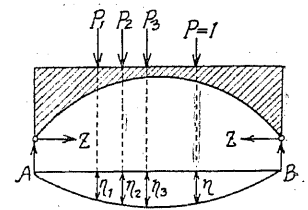


Fig. 203

普通荷重は垂直に働くものとし、又基線 AB を水平に選んでゐる。

次に間接荷重の場合であるが Fig. 204 に示す如く荷重 P が格點 $(m-1)$, m 間に於いて m から x の距離に在れば格點荷重 P_{m-1}, P_m は夫々次の如くなる。

$$(2) \quad P_{m-1} = P \frac{x}{\lambda}, \quad P_m = P \frac{\lambda-x}{\lambda}$$

今或る値 Z に對して畫かれた影響線は點 $(m-1)$ 、及び m に於いて夫々縦距 η_{m-1} 、及び η_m を有し、又荷重 P の下にて η を有するものとすれば明らかに

$$P\eta = P_{m-1}\eta_{m-1} + P_m\eta_m$$

なるべく、之れに公式 (2) を代入すれば

$$(3) \quad \eta = \eta_{m-1} \frac{x}{\lambda} + \eta_m \frac{\lambda-x}{\lambda}$$

となる。然るにこの (3) 式は明らかに x の一次式であるが故に二格點間の影響線はたしかに直線である事を知るのである。

〔4〕 等布荷重の影響

Fig. 205 に於いて ALB を Z に對する影響線とし、桁上に A から x_1 の距離より x_2 の距離迄 $p t/m$ なる等布荷重が乗つた場合を考へよう。今 A から

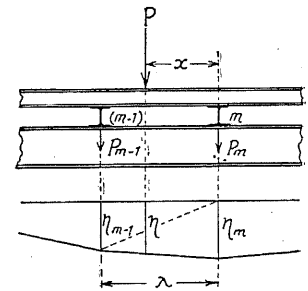


Fig. 204

x の距離に於ける影響線の縦距を η_x とすれば微分荷重 $p \cdot dx$ の影響は $pdx \cdot \eta_x$ であるが故に全等布荷重に對しては

$$(4) \quad Z = p \int_{x_1}^{x_2} \eta_x \cdot dx = p\delta$$

となる。茲に δ は $(x_2 - x_1)$ 區間内の影響面の面積とする。

一般に影響線は Fig. 206 に示す様に正負の符號をとる事が多いのであつて、この場合影響線が基線 AB を切る點 C を稱して荷重分割點或は零點と云ふ。この様に正負の兩部分のある場合には等布静荷重 (g) 及び動荷重 (p) に依る Z の最大値 (Z_{max}) 及び最小値 (Z_{min}) は夫々 Fig.

206 に示す如き荷重状態に起るのであつて次の關係式を得る。

$$(5) \quad Z_{max} = g\delta_+ - g\delta_-$$

$$(6) \quad Z_{min} = g\delta_+ - g\delta_-$$

茲に $g = p + q$, F_+ = 正號影響面面積, F_- = 負號影響面面積

上の Z_{max} , Z_{min} を稱して Z の極限值 (Limiting value) と云ひ、添字 max , min は夫々代數的の最大、最小の意義である。

尚ほ Fig. 207 に示す如く間接荷重にして且つ同一格間長なる場合には屢近似法が用ひられる。即ち荷重を格點に集中してそれに格點の縦距を乗する様にするのであつて Fig. 207 に示す場合には

$$Z_{max} = g\lambda(\eta_1 + \eta_2 + \eta_3) - g\lambda(\eta_4 + \eta_6 + \eta_6 + \eta_7)$$

$$Z_{min} = g\lambda(\eta_1 + \eta_2 + \eta_3) - g\lambda(\eta_4 + \eta_5 + \eta_6 + \eta_7)$$

となる。茲に $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots$ は格點 1, 2, 3, \dots に相當する影響線の縦距を表

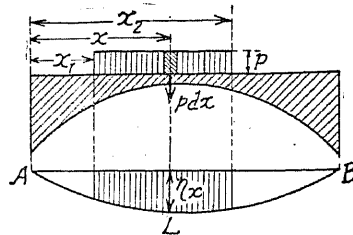


Fig. 205

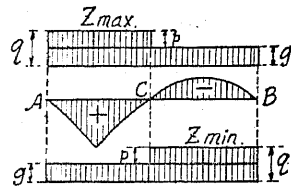


Fig. 206

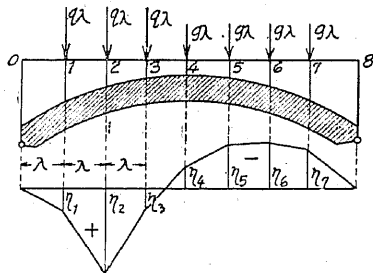


Fig. 207

してゐる。今

Σ_+ = 正號格點縦距の和

Σ_- = 負號格點縦距の和

とすれば次の式を得る。

$$(7) \quad \begin{cases} Z_{max} = q\lambda\Sigma_+ - g\lambda\Sigma_- \\ Z_{min} = g\lambda\Sigma_+ - q\lambda\Sigma_- \end{cases}$$

この公式 (7) は實際より稍大なるものを與ふ。何故ならば例へば Z_{max} を求める爲正號區劃に q 、負號區劃に g を以つて荷重すれば格點 (3) に來る實際の荷重 (P_3) は一部分は格點 (4) に傳へられるから $q\lambda$ より小であるべく、又格點 (4) の實際の荷重 (P_4) は $g\lambda$ より大である。従つて公式 (7) の Z_{max} は精密の値より大なる結果を與へ、又公式 (7) からの $(-Z_{min})$ も精密の値より大となる。

Z の内静荷重のみに對しては

$$(8) \quad Z_g = g(\delta_+ - \delta_-)$$

となり、同一格間長 λ に對しては

$$(9) \quad Z_g = g\lambda(\Sigma_+ - \Sigma_-)$$

となる。而してこの公式 (8) 及び (9) の結果は精密に一致するのである。

〔5〕 聯行荷重列の影響

列車荷重の如き聯行荷重列が桁上を通過する場合に生ずる極限值 Z_{max} , Z_{min} を求めるには荷重を種々異なる位置に置いて得たる Z の値を比較し、その最大絶對値を採るのを普通とする。而してこの際 Z_{max} か Z_{min} を求めるかに應じて荷重列を紙片にかいて、夫々影響線正號區劃か負號區劃に對して動かしてみるものであつて、荷重列は正負に連続するものと考へないのである。若し影響線が小數邊の多角形から成る場合には、荷重列の最危險位置を次の如くして見出す事が出来る。今 Fig. 208 に於いて $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$ を影響線邊の AB に對する傾斜角、 R_1, R_2, R_3, \dots を區間 AC, CD, DE, \dots 上にある荷重の合力とし、荷重列を右方へ ϵ だけ移動せしめて考へて見る。但しこの際移動前に一つの區間内にあつ

た荷重は移動後も同一區間内にあるものと假定する。然らば縦距 η は夫々次の値だけ増加する。即ち、區間 AC にある各荷重に對しては $\xi \operatorname{tg} \alpha_1$

” CD ” ” $\xi \operatorname{tg} \alpha_2$

従つて Z の増加は

$$(10) \quad \Delta Z = (R_1 \operatorname{tg} \alpha_1 + R_2 \operatorname{tg} \alpha_2 + R_3 \operatorname{tg} \alpha_3 + \dots) \xi$$

となる。上式中括弧内の値を圖式的に求めるには一直線 ab 上に力 R_1, R_2, R_3, \dots をならべ點 a よりその邊 I, II, III, が夫々影響線の邊と平行になる様に、且つその角點 c', d', e', \dots は夫々 c, d, e, \dots 上に立てられた垂直線 cc', dd', ee', \dots 上にある様にして多角形 $a'c'd'e', \dots$ を作る。然らばこの多角形が點 b を通る垂直線上にて切りとる長さ bb' は次の如くなる。

$$bb' = R_1 \operatorname{tg} \alpha_1 + R_2 \operatorname{tg} \alpha_2 + R_3 \operatorname{tg} \alpha_3 + \dots$$

従つて bb' が正號即ち b' が b の上方にあれば荷重列を右へ移動する事によつて Z の値は増加する事を知る。従つて始めに假定せられた位置は最危險でない事になる。同様に荷重列を左方へ移動して終點 a' が a の上方若しくは下方にくるかにしたがつて Z が増加するか、或は減少するかを知る事が出来る。

Fig. 208 に於いては荷重列中の一つの荷重例へば P_3 を影響線の一角點 E に置いたが故に、荷重列を右方若しくは左方に移動するかに従つてこの荷重 P_3 を區間 EF 若しくは DE に屬せしめたのである。而してこの場合第一の移動により b' は b の下位に、又第二の移動により a' は a の下位にくる事を知つたが故に P_3 が E にある時 Fig. 208 の如き影響線を有する Z に對して最危險の位置となる事を知るのである。斯くの如く荷重列の危險位置を見出すには重量大なる

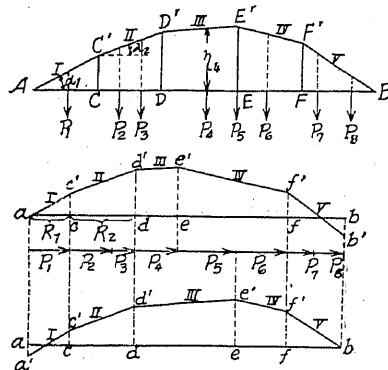


Fig. 203

る荷重を影響線の最大なる縦距の所に置き、 b' が b の下方に、又 a' も a の下方にあると云ふ條件を満たす様にすればよい。尚ほ此の際注意すべきは荷重列の最危險位置に對しては一荷重が是非とも影響線の角點に来てゐると云ふ事である。若し然らざれば荷重列を右方或は左方に移動した際に合力 R は常にすべて一定であるから ΔZ が二つの反対方面の運動によつて單に符號を異にするのみで、その何れか一つは必ず正號となる。従つてその位置は最大の Z を與へざる事になるからである。

第二節 靜荷重より生ずる剪力及び彎曲力率

(1) 直接荷重 (Direct loading)

(1) 集中荷重

(a) 支反力

Fig. 209 に示す如き單桁 AB に垂直荷重 P_1, P_2, P_3, P_4 が働く場合を考へるに支反力 A 及び B は何れも垂直に向ふべきを以つて、その値は Fig. 18 に就いて説明した様にして圖式的に求める事が出来る。即ち荷重 P_1, P_2, P_3, P_4 を垂直線上にならべて力示圖 DE を作り、任意の極點 O から極線 I, II, V を

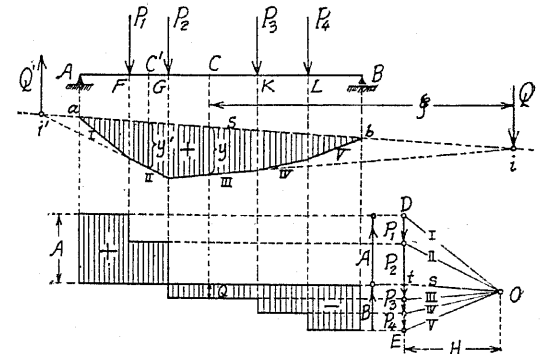


Fig. 209

きひそれに應じて索多角形 I II V を畫く。そしてこの索多角形が支點垂直線を切る點 a, b をむすび結合線を求めるならば、極點 O から結合線 st に平行に引かれた直線 st は力の和即ち $\overline{DE} = \sum P$ を二つに分ち $\overline{tD} = A, \overline{Et} = B$ を與へるのである。

尚ほ前節にのべた様に計算的に之れを求めると

$$A = \sum \frac{P_b}{l}, \quad B = \sum \frac{Pa}{l}, \quad \Sigma P = A+B$$

となる。茲に a 及び b は夫々荷重 P の A 及び B 支點よりの距離を表すものとする。

(b) 剪力

任意の一點 C に於ける垂直断面により桁を二つの部分に分ち、左側の桁部分に働く外力の合力 Q を求めれば上方に向ふものを正號とする時

$$Q = A - P_1 - P_2$$

となる。この Q を稱して點 C に於ける**剪力** (Shearing force) と云ふ。この Q なる力は固定と考へられた右側の桁部分に對し、左側の桁部分を上方に滑動せしめんとする力であつて、断面 C に生ずる剪應力と平衡をたもつのである。Fig. 209 の力示圖に於いては C 點の剪力 Q は極線 s と III の間にある長さであつて、此の場合 $P_1 + P_2 > A$ なるを以つて負號を有し下方に向ふ。而して Q の働く位置は A, P_1, P_2 の三力に對する索多角形の端邊 s 及び III の交點 i であつて Q の値及び i の位置は P_2 及び P_3 の間にある總べての断面に對し同一である事を知る。同様に力 P_1 と P_2 の間にある断面の剪力は $Q' = A - P_1$ であつて正號を有し索多角形邊 s と II の交點 i' を通して上方に向ふ。従つて今極線 s, I, II, III, \dots と索多角形邊 s, I, II, III, \dots を比較するに索多角形にて s と他の邊 I, II, \dots との交點が夫々考へてゐる断面の右にあれば剪力は正號となり、之れに反して左にあれば負號となるのであつて、之れを換言すれば剪力 Q は索線と結合線 s との間にある長さ y が桁に沿うて増加する間は正號にして、之れに反し減少する間は負號であると云ふ事が出来る。従つて Culmann の力率圖の最大縱距の點即ち最大彎曲力率の點に於いて剪力はその符號を變ずる事を知る。之れを逆に云へば剪力が零なる點に最大彎曲力率が生ずると云ふ事になるのであつて、桁の理論に於いて極めて大切な事實である。

尚ほ断面 C の剪力は前述の様に $Q = A - P_1 - P_2$ であるが $A+B = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$ なる關係上 $A - P_1 - P_2 = -B + P_3 + P_4$

$$\therefore Q = -B + P_3 + P_4 = -(B - P_3 - P_4)$$

となる。故に右側の桁部分を考へる時には下方に向ふ力を正號とする事が必要である。

(c) 彎曲力率

桁部分 AC に働く外力の断面 C の重心に關する力率の和を断面 C の**彎曲力率** (Bending moment) と云ひ、時計針の方向の力率を正號とする。この値は圖式的には索多角形に於ける縱距 y と極距 H の積に等しいのであつて、Fig. 209 に示す様に、總べての荷重が下向なれば桁中何れの點にても彎曲力率は正號となるのである。何故ならば C 點の右側の外力 A, P_1, P_2 の合力 Q が C の右側にあれば上述の如く Q は點 i を通し下向きに働くを以つて右廻りの力率 $M = Qy$ を生ずる事になり、又 Q が C の左側にあれば Q は上向きに働き同様に右廻りの力率を生ずるが故である。要するに兩端にて支へられ單に下向きの荷重を受ける時には桁の總べての點に於いて、 $M = +Hy$ なる彎曲力率を生ずる様になるのである。

尚ほ彎曲力率を求める際點 C の右側にある力を以つて表すならば BC 部分に働く外力の合力は AC の部分に働く外力の合力と大き等しくして方向反對なるを以つて時計針の廻轉方向を負號とする事を要する。

上に述べた如く索多角形を應用し力率 M を求める方法は Culmann によつて始めて考案されたものであるから、索多角形と結合線 s の間の面を稱して Culmann 面と云ふ。

例題 Fig. 209 に於いて $AB = 5m$ とし、荷重の働點の A よりの距離を夫々 $0.8m, 2.0m, 2.9m, 4.3m$ とし、又 $P_1 = 2,000kg, P_2 = 2,500kg, P_3 = 800kg, P_4 = 1,200kg$ とする時最大彎曲力率と剪力を求めよ。

今 $H = 2,000kg$ としては索多角形を畫けば P_2 の下にて $y_{max} = 2.48m$ となる。

$$\therefore M_{max} = H y_{max} = 2,000 \cdot 2.48 = 4,960 kg-m$$

この場合桁が一定断面を有するものとすれば G 断面の最大應力は第九章第一節公式 (31) によつて

$$\sigma_1 = \frac{M_{max} e_1}{I}, \quad \sigma_2 = -\frac{M_{max} e_2}{I}$$

として求める事が出来る。

又支反力は $A = 3,680 \text{ kg}$, $B = 2,820 \text{ kg}$ となるを以つて

$$Q_{I'} = 1,680 \text{ kg}, \quad Q_{II'} = -820 \text{ kg}, \quad Q_{IC} = -1,620 \text{ kg}, \quad Q_{L} = -2,820 \text{ kg}$$

となる。

(2) 分布荷重

Fig. 210 に示す様に単桁が連続分布せる荷重を受けた場合を考へ、支點 A から x の距離にある断面 I に於ける荷重の強さを q_x とすれば I と dx だけ隔つた第二断面 II との間にある荷重 $q_x dx$ が支點 A 及び B に及ぼす支反力は夫々

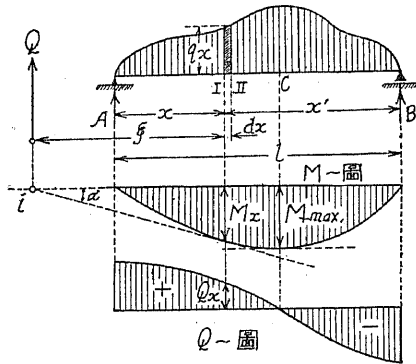


Fig. 210

$$dA = q_x dx \cdot \frac{x'}{l}, \quad dB = q_x dx \cdot \frac{x}{l}$$

となる。従つて A, B の全支反力は夫々

$$A = \int_0^l q_x \frac{x'}{l} dx, \quad B = \int_0^l q_x \frac{x}{l} dx$$

となる。又断面 I に於ける剪力は

$$Q_x = A - \int_0^x q_x dx = -B + \int_0^x q_x dx$$

となり、更に断面 II に於ける剪力を $Q_x + dQ_x$ とすれば

$$Q_x + dQ_x = A - \int_0^x q_x dx - q_x dx$$

となるを以つて、結局 I, II 兩断面間の剪力の増加 dQ_x は次式によつて與へられる。

$$dQ_x = -q_x dx$$

$$(1) \quad \therefore \frac{dQ_x}{dx} = -q_x$$

即ち桁の一點に於ける剪力の微分商は絶対値に於いてその點に於ける荷重の強さに等しく、符號反對である事を知る。

次に断面 I 及び II に於ける彎曲力率は各々

$$M_x = Q_x \xi, \quad M_x + dM_x = Q_x(\xi + dx) - q_x dx \cdot \frac{dx}{2}$$

となる。而して第二式の右邊の第二項は二次の微分小であるから他の項に比して無視し得るを以つて上の二式の差を作れば次の關係式を得る。

$$dM_x = Q_x(\xi + dx) - Q_x \xi = Q_x dx$$

$$(2) \quad \therefore \frac{dM_x}{dx} = Q_x$$

(2) 式を更に微分し (1) 式の關係を入れると

$$(3) \quad \frac{d^2 M_x}{dx^2} = \frac{dQ_x}{dx} = -q_x$$

となる。(2) 式より知る如く M_x が max 或は min である場合には $\frac{dM_x}{dx} = Q_x = 0$ となる。所が前述の如く単桁に於いては徑間内に最小彎曲力率を生ずる點は存在しないが故に、彎曲力率が最大なる點の剪力は零である事を知る。この性質を利用すれば彎曲力率の圖を畫く事なく、最大彎曲力率の生ずる點即ち最危險の點を容易に定める事が出来るのである。尙ほ集中荷重の場合には前に述べた如く剪力圖は階段的に變化するが故に外見上眞の零點がない様であるが、剪力がその符號を變ずる點に於いて最大彎曲力率を生ずる事は容易に考へ得る所である。

Fig. 210 の如き連続分布荷重の場合に於いて

$$tg \alpha = \frac{dM_x}{dx} = Q_x = \frac{M_x}{\xi}$$

となり、特に點 C に於いて $tg \alpha = \frac{dM_x}{dx} = Q_x = 0$ となるを以つて C 點に於ける M_x の値は最大となつてゐる。

(3) 部分等布荷重 (Uniform partial load)

多くの集中荷重が微分長 dx の間隔を以つて働く場合には平衡索多角形は曲線となるわけであるが等布荷重の場合にも多數の微分集中荷重が、微分間隔をへだて、連続的に作用するものと考へ得るが故に矢張この場合の索多角形も一

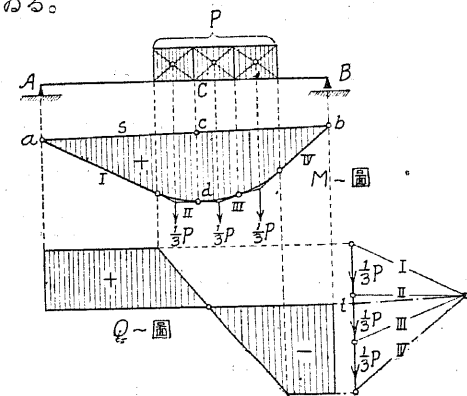


Fig. 211

つの曲線となる。従つてこの索線を畫くには先づ等布荷重を或る區分に分けて、各々の部分の荷重をその重心に働く集中荷重と考へ索多角形を畫き、これに内接する曲線をひけばよい。Fig. 211 に於いては荷重面を三個の相等しい區分に分けて、上述の如き作圖法を行ひ索線即ち彎曲力率圖を求め、剪力圖をその下に畫きたるものである。索線を畫く方法の證明は既に第二章第五節〔4〕に於いて述べた様であつて、荷重分割點に相當する索多角形の縦距、たとへば Fig. 211 に於ける \overline{cd} の如きは正しき索線の縦距を與へてゐるのである。

(4) 全徑間等布荷重 (Uniform total load)

Fig. 212 に示す様に全徑間 l に等布荷重 q がある場合には支反力 A 及び B は共に $q \frac{l}{2}$ となり支點 A から x の距離にある斷面の剪力は

$$(4) \quad Q_x = A - qx = q \left(\frac{l}{2} - x \right)$$

となる。従つて Q_x は x の値に応じて直線的に變化することを知るを以つて、圖に示す様に兩端に夫々 $+\frac{1}{2}ql$, $-\frac{1}{2}ql$ をとりその間を直線にて結べば茲に Q -圖を得る。

又同點に於ける彎曲力率は

$$(5) \quad M_x = Ax - qx \frac{x}{2} = q \frac{l}{2} x - qx \frac{x}{2} = \frac{q}{2} x (l - x) = \frac{qx x'}{2}$$

となる。従つて M_x は拋物線的に變化し最大彎曲力率は $Q_x = 0$ 、即ち $x = \frac{l}{2}$ なる點に生じその値は次式によつて與へられる。

$$(6) \quad M_{max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{Pl}{8}, \text{ 但し } P = ql$$

而して M 圖を畫くには Fig. 212 (c) に示す如くすればよい。即ち $\overline{NS} = \frac{1}{8}ql^2$ とし、 A 及び S を結ぶ直線が C に於ける AB への垂直線と E に於いて交るものとし、更に E を通る水平線と A に於ける支點垂直線との交點を F とし、 F と S を結ぶ直線と C に於ける垂直線との交點を I とすれば $\overline{IC} = M_x$ となる。何故ならば

$$\begin{aligned} \overline{CE} &= \frac{ql^2}{8} \frac{x_1}{l}, & \overline{EI} &= \overline{AF} \frac{x''}{l} = \overline{CE} \frac{x''}{l} \\ \therefore \overline{CI} &= \overline{CE} + \overline{EI} = \frac{ql^2}{8} \frac{x}{l} \left(1 + \frac{x''}{l} \right) = \frac{qx x'}{2} \end{aligned}$$

となるからである。従つて Fig. 212 (c) に示す様に等分點 1, 2, 3, …… についで同一の方法を繰返せば茲に M 圖を得る事になる。

尚ほ Fig. 212 (a) に於いて等布荷重を點 G に於いて二分して qx 及び $q(l-x)$ とし、それ等が夫々重心 S_1 及び S_2 に働くものと考へ、力示圖 ab 上に $\overline{ca} = qx$, $\overline{bc} = q(l-x)$ をとつて極點 O に就いて索多角形 I, II, III を畫く。然らば點 G の直下の縦距 y はその點に於ける彎曲力率 M_G に比例する ($M_G = Hy$ なるを以つて極距 $H = 1$ とすれば $M_G = y$ となる)。この際作圖の便宜上 O 點は $\overline{ab} = ql$ の二等分點 t を通して基線 AB に平行な直線上にとる様にする。次に x の値従つて

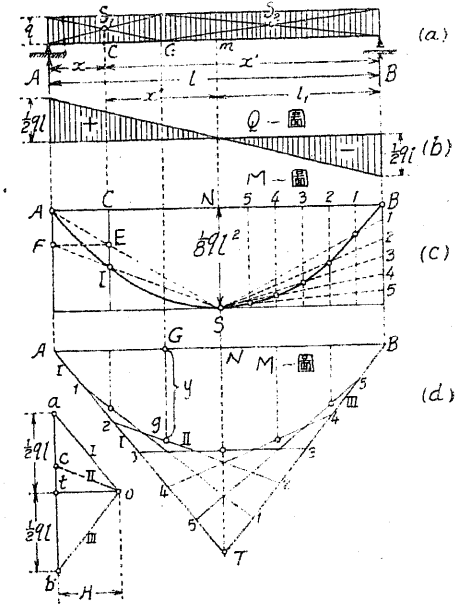


Fig. 212

力示圖に於ける $\overline{Oc} = \mathbb{I}$ を種々に變化し同様の作圖を繰返せば各々の x に對する索線上の點を得る事になる。而してこの場合索多角形に於ける \mathbb{I} なる邊の水平投影長は常に $\frac{l}{2}$ であり、而も彎曲力率圖は邊 \mathbb{I} に切するべきであるが故にこの性質を應用して Fig. 212 (d) に示す如き作圖法を行へば、茲に M 圖を得る事が出来る。即ち $\overline{NT} = \frac{1}{4}ql^2$ とし AT, BT を同數に等分し、對應分割點を結べば種々の x に對する邊 \mathbb{I} の位置を知る事になるを以つて、是等に内接する曲線は求める M 圖を與へる事になる。この場合基線 AB は圖に於いては水平をとつたのであるが任意の傾斜を有してゐても差支へない。

(2) 間接荷重 (Indirect loading)

(1) 集中荷重

Fig. 213 に示す様に荷重 P_1, P_2, \dots が横桁を経て主桁に傳へられる場合若し

端の横桁が支點の直上にあれば、その支點反力 A 及び B は荷重が直接主桁に乗る場合に等しい。何故ならば各荷重の格點への分力に就いて支點のまはりの静力率を求めると、或は合力 P に就いて静力率を求めると共に同一結果となるからであつて、例へば各荷重の支點 B に関する静力率の和を M_B とすれば $A = \frac{M_B}{l}$ によつて與へられる。同一の理由からして

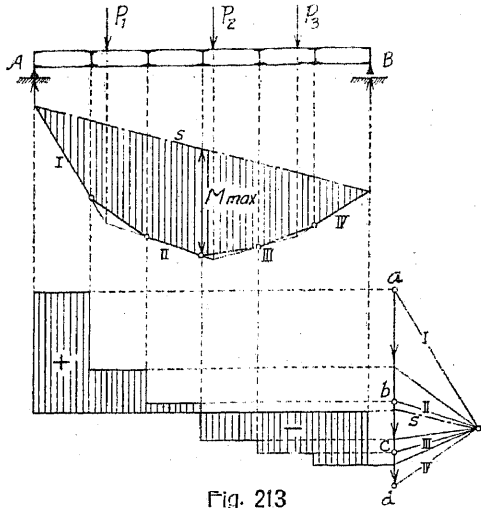


Fig. 213

一格點の左にある力のこの格點に對する力率は、その力が横桁により格點を経て主桁に傳へられるか或は直接桁に働くに係らず、共に同一結果を與へるが故に各格點断面に生ずる力率は間接荷重も直接荷重も同一である。尚ほ格點間に於いては桁の彎曲力率は直線的に變化すべきであるが故に、間接荷重に對する彎曲力率圖を求めるには先づ直接荷重として索多角形を畫き、その邊と各格點を通る垂直線との交點を求め、是等の交點を直線にて結べばよい事になる。次に剪力は格點間にては一定なるべきを以つて剪力圖は階段的形狀をなす。Fig. 213 は以上の説明に基き集中荷重に對する彎

曲力率圖及び剪力圖を畫いたものである。

(2) 等布荷重

桁が等布荷重 q を全徑間に受ける場合の彎曲力率圖は Fig. 214 に示す如く直接荷重に對する彎曲力率圖を畫き、格點に相當する點を直線にて結んで得られるので

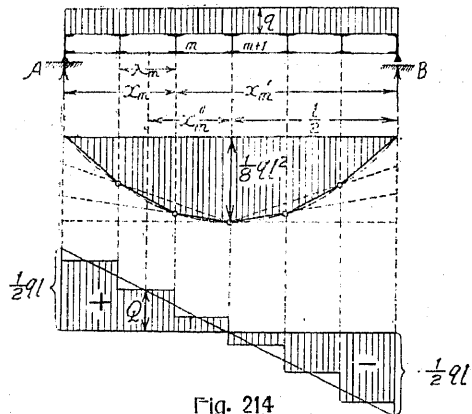


Fig. 214

ある。

その剪力に關しては圖の如く横桁の乗る所の格點 m の支點 A 及び B からの距離を夫々 x_m 及び x'_m 、 m 番目の格間長を λ_m 、その格間中點の桁中點からの距離 x''_m を以つて表し、 m 番目の格間に於ける荷重 $q\lambda_m$ が格點 $(m-1)$ 及び m に $\frac{1}{2}q\lambda_m$ づゝ分けて傳はるものと考へればその格間に於ける剪力は次式によつて與へられる。

$$Q = \frac{ql}{2} - qx_{m-1} - \frac{q\lambda_m}{2} = qx''_m$$

従つて Fig. 214 の如く夫々 $x = 0$ 、 $x = l$ に於いて縦距 $+\frac{1}{2}ql$ 、 $-\frac{1}{2}ql$ をたて、直線にて結べば各格間中點に相當する縦距はその格間に於ける剪力を與へる事になり容易に剪力圖を畫く事が出来る。

第三節 剪力及び彎曲力率に對する影響線及び極限值

(1) 直接荷重に對する剪力

(1) 影響線

Fig. 215 (a) に示す様に桁 AB 上に集中荷重 P が働き支點 A からの距離を a とし、 B からの距離を b とする時、支反力 A 及び B は次の方程式によつて定められる。即ち支點 A 及び B のまはりの静力率の和を夫々零とおいて、

$$\begin{aligned} Al - Pb &= 0, & Bl - Pa &= 0 \\ \therefore (1) \quad \begin{cases} A = \frac{Pb}{l} \\ B = \frac{Pa}{l} \end{cases} \end{aligned}$$

となる。従つて A 及び B は共に P に比例することとなり、本章第一節(3)にのべた事により支反力 A 及び B に對する影響線の方程式は各々次の如くなる。

$$(2) \quad \eta_1 = 1 \cdot \frac{b}{l} \quad \text{及び} \quad \eta_2 = 1 \cdot \frac{a}{l}$$

従つて支反力 A の影響線は點 B にては縦距が零にして、點 A にては縦距 1

なる如き直線となり、従つて又 A~面は高さ 1 なる直角三角形となる。同様にして支反力 B の影響線は點 A にては縦距零にして、點 B にては縦距 1 なる如き直線となり、従つて又 B~面は A~面と同様に高さ 1 なる直角三角形となり、A 面に對し鏡像の位置をとる事になる。

今點 C を桁に於ける任意の断面とする時、荷重 P_1 のみが AC 間に作用すれば C 點に於ける剪力は桁部分 CB に働く外力を考へて $Q = -B$ となる。

従つて C 點から左側の桁部分に荷重が働いた場合の Q の影響線は B~線と一致し、單にその符號を異にするのみである。全く同様にして P_2 のみが CB 間に作用すれば C 點に於ける剪力は桁部分 AC に働く外力を考へて $Q = A$ となるを以つて C 點から右側の桁部分に荷重が働いた場合の Q の影響線は A~線と一致する。かくして結局 C 断面の剪力に對する影響面は Fig. 215 (b) に於いて影線を施せる部分となり、荷重 P_1 及び P_2 に對しては

$$(3) \quad Q = -P_1\eta_1 + P_2\eta_2$$

となる。この影響線を利用して容易に極限值 $max Q$ 及び $min Q$ を定める事が出来るのであつて特に等布荷重に對し極めて便利に利用せられる。

(2) 等布荷重に對する $max Q$ 及び $min Q$

Fig. 215 及び Fig. 216 に於いて

g = 等布静荷重、 p = 等布動荷重、 l = 徑間

x = 支點 A から點 C 迄の距離、 x' = 支點 B から點 C 迄の距離

x'' = 桁中點から點 C 迄の距離

とする時、 $\overline{NL}_2 = \overline{AJ} \frac{x'}{l} = 1 \frac{x'}{l}$ なるを以つて

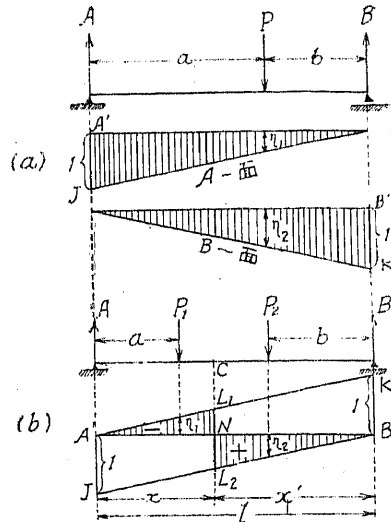


Fig. 215

$$\text{正號部分の影響面面積} = \delta_+ = \Delta B'NL_2 = \overline{NL}_2 \frac{x'}{2} = \frac{x'^2}{2l}$$

$$\text{負號部分の影響面面積} = \delta_- = \Delta A'NL_1 = \overline{NL}_1 \frac{x}{2} = \frac{x^2}{2l}$$

となる。然るに剪力 Q を Q_p 及び Q_g に分ちて考へれば Q_p は影響面の正號部分 x' が p を以つて蔽はれた時最大なるが故に

$$(4) \quad max Q_p = p\delta_+ = \frac{px'^2}{2l}$$

となる、この値を基線 A'B' 上の C に

對應する點 C' に於ける縦距 C'J としてとればその端點 J は相集りて一つの曲線 B'OJD を作る事になり、而もその曲線は $x' = 0$ にて 0, $x' = l$ にて $-\frac{1}{2}pl$ の縦距を有し B が頂點なる如き拋物線となる。この場合點 J を作圖的に求めるには A をとほる垂直線上に $A'D = \frac{1}{2}pl$ と取り、B'D を引きこれが C を通る垂直線と交る點 E を求める。次に水平線 EF と A'D との交點 F を求め B'F と C'E との交點を J とすればこれが求める點となる。何故ならば

$$\overline{C'E} = \overline{A'D} \frac{x'}{l}, \quad \overline{C'J} = \overline{A'F} \frac{x'}{l} = \overline{A'D} \frac{x'^2}{l^2} = \frac{px'^2}{2l}$$

となるからである。

次に静荷重 g の影響は

$$(5) \quad Q_g = g \frac{l}{2} - gx'' = gx''$$

なるを以つて $x'' = \pm \frac{l}{2}$ 即ち支點 A 及び B の垂直線上に夫々 $+g \frac{l}{2}$ 及び $-g \frac{l}{2}$ をとり、その端點 A'', B'' を結べば Q_g 圖を畫く事を得る。

かくして得た $max Q_p$ ~圖と Q_g ~圖を合成して Fig. 216 の如くすればその影線部分は $max Q$ ~圖を與へる事になり零點 O の右側の點にては何れも $max Q$ は負號をもつ事になる。

次に Fig. 216 に示す剪力圖の鏡像は任意點 C の左側が動荷重にて蔽はれた場合の剪力圖、即ち $min Q$ ~圖を與へる事になるのであつて、断面 C に對する $min Q$ の値は支點 B から x の距離にて測られた拋物線 DJB' と直線 A''B'' と

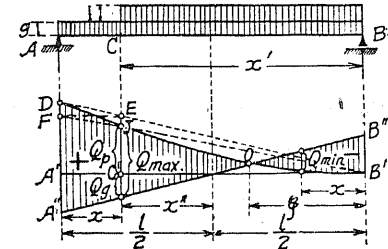


Fig. 216

の間にある縦距の符號を變じたものとして表される。従つて $x < \xi$ ならば $min Q$ は正號、 $x > \xi$ ならば負號をもつ事になる。故に A 及び B から測つて ξ と $\frac{l}{2}$ との間にある點に對して $max Q$ は正號、 $min Q$ は負號をもつ事になり、この部分に交番應力が生ずる事を知るのである。

(2) 間接荷重に對する剪力

(1) 影響線

Fig. 217 に於いて桁格間 F_1, F_2 上の任意の一點 C を考へる場合、格間 F_1 の左に唯 P_1 及び F_2 の右に唯 P_2 のみが作用するものとすれば断面 C の剪力は點 C の左側或は右側を考へて

$$(a) \quad Q = A - P_1$$

或は (b) $Q = -B + P_2$

となる。従つて P_1 のみを取ると (b) 式から $Q = -B$ となり、 P_2 のみを取ると (a) 式から $Q = +A$ となるを以つて格間 F_1F_2 上の任意の一點 C に對する剪力影響線として $A'L_1$ 及び $B'L_2$ を定める事が出来る。而して格間 F_1F_2 上に來る荷重に對しては本章第一節〔2〕に説明した所により影響線は直線的に變化するものであるから、結局 F_1F_2 間の任意の一點 C に對する剪力影響線は格間 F_1F_2 の外側に於いては直接荷重として見出したものと一致し、格間 F_1F_2 の内側に於いては F_1 及び F_2 に於ける縦距の端點 L_1 及び L_2 を結ぶ直線となり、従つて Fig. 217 に於いて影線を施せる如き影響面を得る。この影響線を利用して容易に $max Q$ 及び $min Q$ を求める事が出来る。

(2) 等布荷重に對する $max Q$ 及び $min Q$

Fig. 217 に於いて

$$R_2 L_2 = A'J \frac{x'}{l} = 1 \frac{x'}{l}$$

なるを以つて、格間 F_1F_2 間の任意断面の剪力に對する正號影響面の面積 δ_+ を求めると、

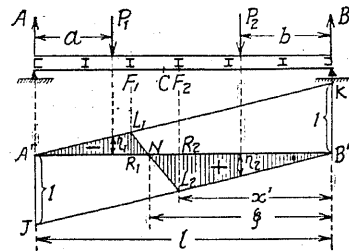


Fig. 217

$$\delta_+ = \Delta NL_2 B' = \overline{R_2 L_2} \frac{\xi}{2} = \frac{x' \xi}{2l}$$

となる。而して動荷重による格間 F_1F_2 の最大正號剪力は區分 $B'N$ が p を以つて荷重せられた場合であるから、次の關係を得る。

$$(6) \quad max Q_p = p \delta_+ = \frac{pl}{2} \frac{x'}{l} \frac{\xi}{l}$$

この値を圖式的に定めるには Fig. 218 に示す如く二つの平行線 AK 及び BJ から各格間に於いて零點 N を決定し、 N 及び F_2 を通じて垂直線 I 及び II を引く。次に基線 $A'B'$ をひき A' を通ずる垂直線上に $A'D = \frac{pl}{2}$ として D を定め、 DB' 線と垂直線 I との交點を E とする。更に E を通る水平線と $A'D$ との交りて F とする時 FB' と垂直線 I との交點 H は所要の點となるので

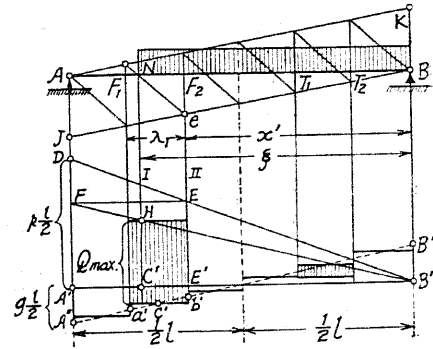


Fig. 218

あつて、格間 F_1F_2 間の任意の断面に於ける $max Q_p$ は縦距 $\overline{C'H}$ によつて與えられる。何故ならば

$$\overline{C'H} = \overline{A'F} \frac{\xi}{l} = \overline{E'E} \frac{\xi}{l} = \overline{A'D} \frac{x'}{l} \frac{\xi}{l} = \frac{pl}{2} \frac{x'}{l} \frac{\xi}{l}$$

$$\therefore \overline{C'H} = max Q_p$$

となるからである。同様の作圖を繰返せば各格間に對する $max Q_p \sim$ 圖を求める事が出来る。次に静荷重 g から生ずる剪力 Q_g を求める爲、 $\overline{A'A''} = \overline{B'B''} = \frac{1}{2} gl$ とし直線 $A''B''$ を引き各格間中點に相當する縦距を求めればその格間に於ける静荷重による剪力 Q_g を得る。斯くして得たる $max Q_p \sim$ 圖と $Q_g \sim$ 圖を合成すれば茲に $max Q \sim$ 圖を得るわけであつて、此の場合は直接荷重の時と異り各格間に於て夫々 $max Q$ は一定値をとるのである。尚ほこの場合格間 T_1T_2 に於ける如く $max Q$ は負號をとり得る事を注意すべきである。

次に格間 F_1F_2 に於ける $min Q$ は桁部分 AN が p を以つて蔽はれた時であつ

て、すでに前項に於いて述べた様に最小剪力圖即ち $min Q \sim$ 圖は $max Q \sim$ 圖の鏡像にしてその符號を逆にしたものとなる。

例へば Fig. 218 に於いて $l = 18 m, \lambda = 3 m, g = 1.2 t/m, p = 4.8 t/m$ とすれば

$$\overline{A'D} = \frac{pl}{2} = 43.2 t, \quad \overline{A'A'} = \overline{B'B'} = \frac{gl}{2} = 10.8 t$$

となるを以つて、縮尺 $20 t = 10 mm$ として前述の如き作用を行へば次の結果を得る。

$$\begin{aligned} max Q_1 &= +45.00 t, & max Q_3 &= +14.76 t, & max Q_5 &= -3.96 t \\ max Q_2 &= +28.44 t, & max Q_4 &= +3.96 t, & max Q_6 &= -9.00 t \end{aligned}$$

而して桁はその中點に對して對稱なるを以つて

$$\begin{aligned} min Q_1 &= +9.00 t, & min Q_3 &= -3.96 t, & min Q_5 &= -28.44 t \\ min Q_2 &= +3.96 t, & min Q_4 &= -14.76 t, & min Q_6 &= -45.00 t \end{aligned}$$

となる。従つて第一、第二格間に於ける剪力は常に正にして、第五、第六格間に於ける剪力は常に負となり、其の他の格間にては荷重状態の如何により正又は負となる事を知る。

尚ほ等布荷重に對する剪力は計算的にも求める事が出来るのであつて、Fig. 219 に示す如き桁に於いて支點 A から數へて m 番目の格間に對しては公式 (5) 及び (6) より $\xi = \frac{l\lambda'_m}{l-\lambda_m}$ として、

$$(7) \quad max Q_m = +\frac{p\lambda_m'^2}{2(l-\lambda_m)} + g\lambda_m''$$

$$(8) \quad min Q_m = -\frac{p\lambda_m'^2}{2(l-\lambda_m)} + g\lambda_m''$$

となる。若しこの場合格間長一定ならば公式 (7) の第一項は拋物線となり、その曲線は Fig. 216 に於ける $max Q_n \sim$ 圖の $\overline{A'D} = \frac{pl}{2}$

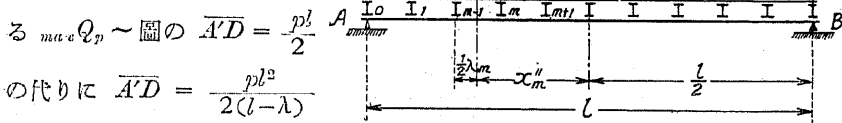


Fig. 219

と採ればよい。又この拋物線

の鏡像が公式 (8) の第一項となる事は云ふまでもない。

〔3〕直接荷重に對する彎曲力率

Fig. 220 に示す桁 AB 上の一 $点 C$ に對する彎曲力率の影響線を求める爲、先づ $点 C$ の右側に荷重 P_2 のみが働くものとすれば、桁部分 AC に働く外力は

支反力 A のみであるから C 點の力率は $M = A \cdot x$ となる。従つて BC 間に於ける M の影響線は Fig. 215 (a) に示す $A \sim$ 線に x を乗じたものとなり、

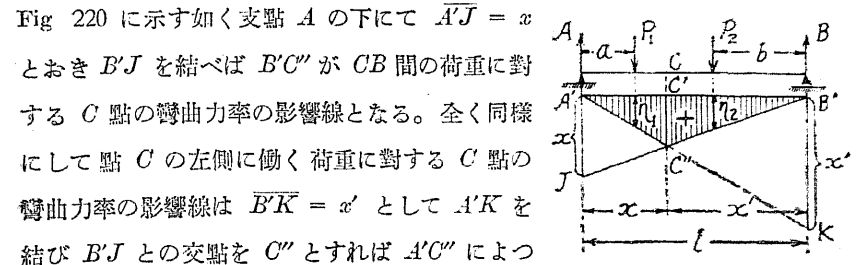


Fig. 220

Fig 220 に示す如く支點 A の下にて $\overline{A'J} = x$ とおき $B'J$ を結べば $B'C''$ が CB 間の荷重に對する C 點の彎曲力率の影響線となる。全く同様にして $点 C$ の左側に働く荷重に對する C 點の彎曲力率の影響線は $\overline{B'K} = x'$ として $A'K$ を結び $B'J$ との交點を C'' とすれば $A'C''$ によつて表される事になる。この場合 C'' なる交點は C

の直下に來るべきを以つて、影響線を定めるには $A'J$ 若しくは $B'K$ の内何れか一方を描き C の直下に C'' 點を決定すれば充分である。

$$M = P_1\eta_1 + P_2\eta_2$$

となる。

尚ほ等布荷重に對する最大彎曲力率は全徑間に載荷した場合であつて丁度 Fig 212 (c) に示す如き彎曲力率圖を得る。

〔4〕間接荷重に對する彎曲力率

Fig. 221 に示す如く格間 F_1F_2 間にある斷面 C に對しては、動荷重が F_1 の左又は F_2 の右にあれば彎曲力率は直接荷重の場合と同一であり、而も影響線は F_1 及び F_2 の間にては直線的に變化すべきを以つて、 C 點の彎曲力率に對する影響線は先づ直接荷重に對する影響線 $A'C''B'$ を書き、 F_1 及び F_2 に相當する點 L_1 及び L_2 を直線にて結べばよい事になり、結局圖に影線を施した如きものを得る。

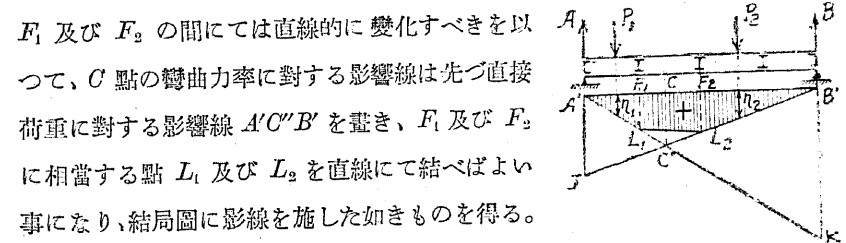


Fig. 221

尚ほ間接等布荷重に對する最大彎曲力率圖は Fig. 212 (c) に示す如き直接等布荷重に對する最大彎曲力率圖 ASB に於いて格點に相當する點を求めそれらを直線にて結べばよい事になる。

第四節 聯行荷重列による彎曲力率及び剪力

(1) 間接荷重

聯行荷重列から生ずる彎曲力率及び剪力は前節に於いて述べた様に影響線を用ひて求める事が出来るが、尙ほ次の例題を以つて説明する如き方法によつて便利に計算する事が出来る。

今 Fig. 222 に示す如き二つの主桁(支間 $l = 48\text{ m}$ 、格間 $\lambda = 4.0\text{ m}$)を有する複線鐵道橋を考へ、聯行荷重列として Fig. 197 (a) に示す機關車二輛とこれに連続する多數の同圖 (b) に示す如き貨車をとるならば、一つの桁に對し一軌道分の荷重即ち軸荷重が作用する事になる。次に複線鐵道橋の自重に關しては獨逸國有鐵道 1,903 年制定の標準列車荷重(軸荷重 17 t)に對し次の經驗式がある (Schaper : Eiserne Brücken, S. 110. Berlin 1,922. 参照)。

$$g = (1,500 + 74l) + 1,360 \text{ kg/m}$$

茲に l は支間を Meter にて表したものである。従つて只今の場合 $l = 48\text{ m}$ として、 $g = 6,412 \text{ kg/m}$ となる。然るにこの式は軸荷重 17 t に對するものであるから 1,925 年制定の軸荷重 25 t の場合にはその 50% を増すものと假定し $g = 9,618 \text{ kg/m}$ となる。従つて此の場合一つの桁に對しては $\frac{1}{2}g \doteq 48\text{ t/m}$ の等布靜荷重が作用する事として計算を進めよう。

(1) 剪 力

Fig. 217 に於いて説明した様に最大正號剪力 $max Q_p$ は考へてゐる格間にある荷重分割點の右のみに荷重が作用した時に起るのであつて、特に今考へてゐる如く二輛の機關車を先頭として B から A に向つて進む如き聯行荷重列の場合には、一般に第一荷重が考へてゐる格間の右横桁上に乗つた場合 $max Q_p$ を與へることが多い。この荷重状態を稱して荷重の**基本位置**(Grundstellung)と云ふ。今 Fig. 222 に於いて第七格間に對する荷重の基本位置は圖の如く P_1 が横桁 7 まで進んだ時であつて、その格間内にある任意斷面 SS の剪力 $Q_{p,7}$ はこの場合その斷面の左側を考へる事により、直に其の荷重状態に對する反力 $A_{p,7}$ によつて

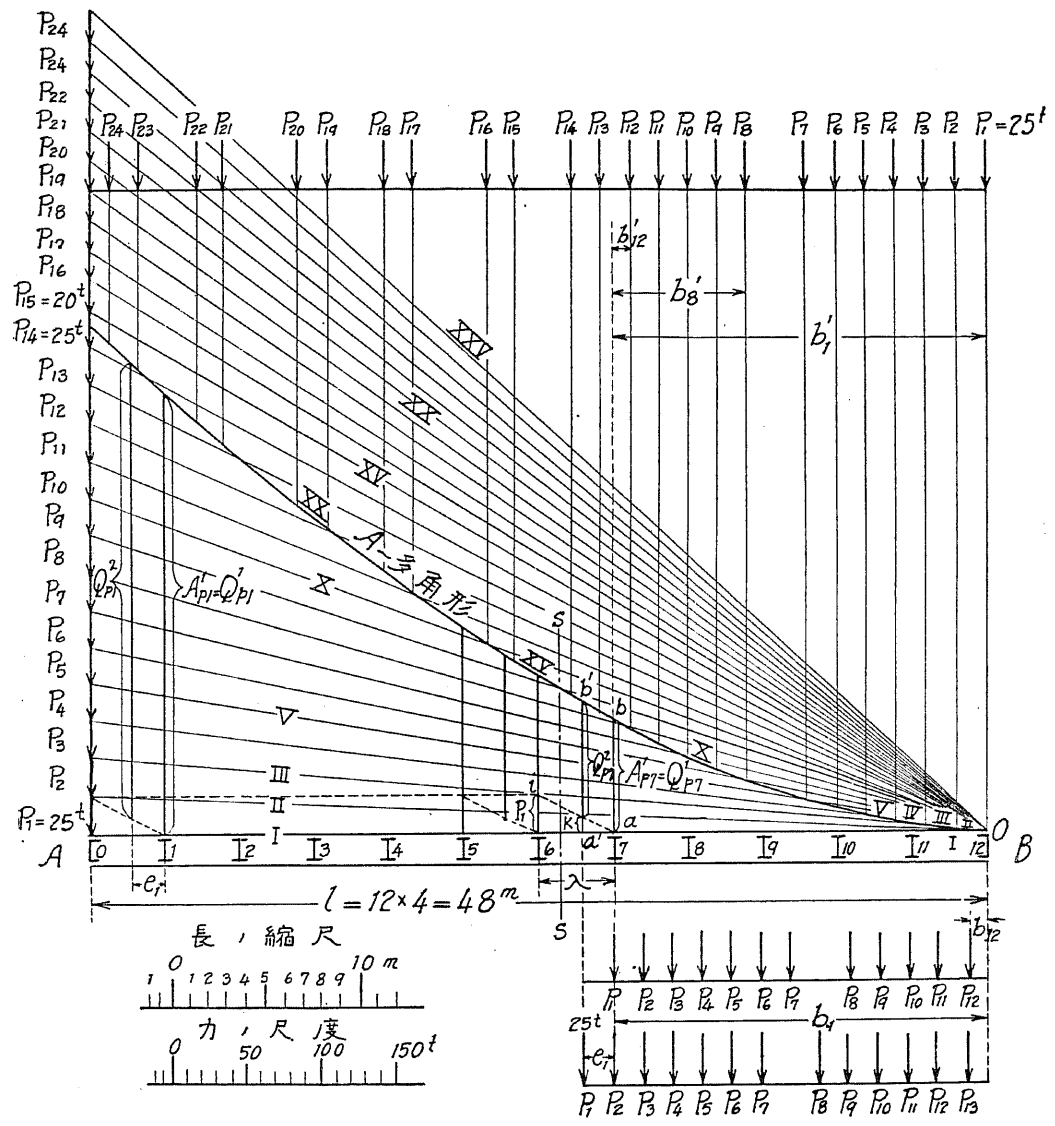


Fig. 222

與へられる事を知る。 A_{p7}^1 を計算的に求める爲支點 B に関する力率を零とおけば、

$$A_{p7}^1 l - \sum_i P_i b = 0 \quad \therefore A_{p7}^1 = \frac{1}{l} \sum_i P_i b$$

となる。この A_{p7}^1 即ち荷重の基本位置に對する格間剪力 Q_{p7}^1 は簡単に作圖的に求める事が出来るのであつて、その爲にはまづ Fig. 222 に示す様に列車を A から B の方へ進めて第一荷重が B の上にくる様にし、又左支點 A を通る垂直線上に P_1, P_2, P_3, \dots の順序に荷重を配列し、以つて力示線とし l なる極距を有する極點 O を選んで荷重に對し索多角形（邊 I 及び II は夫々極線 I 及び II と一致する）を畫く。然らば極距 l と格點 7 に於ける索多角形の縦距 \overline{ab} との積 $l \cdot \overline{ab}$ は格點 7 に關するそれより右にある荷重 P_1, P_2, \dots, P_n の力率を與へる事になる。今格點 7 からこれらの荷重までの距離を b'_1, b'_2, \dots とすれば

$$l \cdot \overline{ab} = \sum_i P_i b'_i; \quad \text{又 } b'_1 = b_1, \quad b'_2 = b_2, \dots$$

$$\therefore \overline{ab} = \frac{1}{l} \sum_i P_i b'_i = \frac{1}{l} \sum_i P_i b = A_{p7}^1$$

となる。一般に A_{pm}^1 を以つて荷重列が格點 m まで進んだ時の左支反力とし、基本位置に於いて生ずる格間 m の剪力を Q_{pm}^1 とすれば

$$A_{pm}^1 = Q_{pm}^1$$

となり、この値は夫々上記索多角形の各格點に對する縦距として與へられる。この意味に於いてこの索多角形を稱して $A \sim$ 多角形と云ふ。

次に B から A に向つて進む列車の第二荷重 P_2 が横桁 7 の上に乗つた場合を考へ、 e_1 を以つて第一荷重との距離とすれば、第七格間に於ける剪力は $Q_{p7}^2 = A_{p7}^2 - P_1 \frac{e_1}{\lambda}$ となる。而して A_{p7}^2 は上述 P_1 が格點 7 にある場合と同様に考へて $A \sim$ 多角形の縦距 $\overline{a'b'}$ によつて與へられる事を知るを以つて、この値より $K = P_1 \frac{e_1}{\lambda}$ を引けば Q_{p7}^2 を得る事になる。尙ほ K は圖の如く格點 6 の上に P_1 をとりその端點 i を 7 と結ぶ事により容易に求める事が出来る。かくして得た Q_{p7}^2 が前に求めた $Q_{p7}^1 = A_{p7}^1$ に比し大となれば、第二の位置の方が基本位置よりも大なる剪力を與へる事になるのであつて、例へば第一格間にては第二荷重が横桁 1 の上に乗つた時最大剪力を與へる事になる。尙ほ又 Fig. 223 に示

す様に、第三荷重が横桁 m の上にある場合には横桁 $(m-1)$ の上に働く壓力は $P_1 \frac{e_1+e_2}{\lambda_m} + P_2 \frac{e_2}{\lambda_m}$ なるを以つて第 m 格間の断面剪力 Q_{pm}^3 は次の如くなる。

$$Q_{pm}^3 = A_{pm}^3 - P_1 \frac{e_1+e_2}{\lambda_m} - P_2 \frac{e_2}{\lambda_m} = A_{pm}^3 - P \frac{e_1+e_2}{\lambda_m}$$

茲に $P = P_1 + P_2 \frac{e_2}{e_1+e_2}$ とする。 A_{pm}^3 は A ~多角形に於いて P_1 の下に於て測られた縦距にして、 P 及び Q_{pm}^3 を求める作圖法を示せば Fig. 223 の様である。特に $P_2 = P_1$, $e_1 = e_2$ の場合には $P = 1.5 P_1$ となる。更に格間が著しく大なれば P_3 が m 格點にくる場合に就いて考へる必要があるのであつて、この時には上記公式の P の代りに

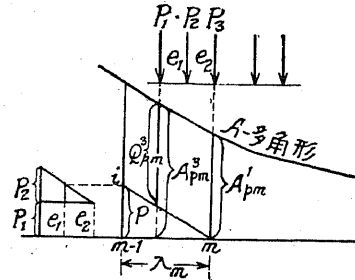


Fig. 223

$$P = P_1 + \frac{P_2(e_2+e_3) + P_3 e_3}{e_1+e_2+e_3}$$

となり、 $Q_{pm}^4 = A_{pm}^4 - P \frac{e_1+e_2+e_3}{\lambda_m}$ として格間剪力を與へる事になる。而して前と同様にして作圖的に P 及び Q_{pm}^4 も求める事が出来る。

上の如くして夫々 P_1, P_2, \dots が格點 m に来る時の格間剪力を求め、それ等の内の最大なるものを以つて $max Q_{pm}$ とすればよいが、この場合 $max Q_{pm}$ を生ずる爲には、何番目の荷重が格點 m にあるべきかを計算的に容易に求める事が出来るのであつて、以下その方法について説明をしよう。

今桁の上に乗る總べての荷重の和を ΣP 、又第 m 格間上にある荷重の和を $\Sigma P'$ (但し m 格點上にある荷重を含む) とし、第 m 格間にある荷重の格點 m からの距離を夫々 b_1, b_2, \dots とすれば、

$$Q_{pm} = \frac{1}{l} \Sigma P b - \frac{1}{\lambda_m} \Sigma P' b'$$

となる。今列車を $db = db'$ だけ左の方へ移動せしめた爲に生ずる Q_{pm} の増加を dQ_{pm} とすれば明らかに、

$$dQ_{pm} = db \left[\frac{\Sigma P}{l} - \frac{\Sigma P'}{\lambda_m} \right]$$

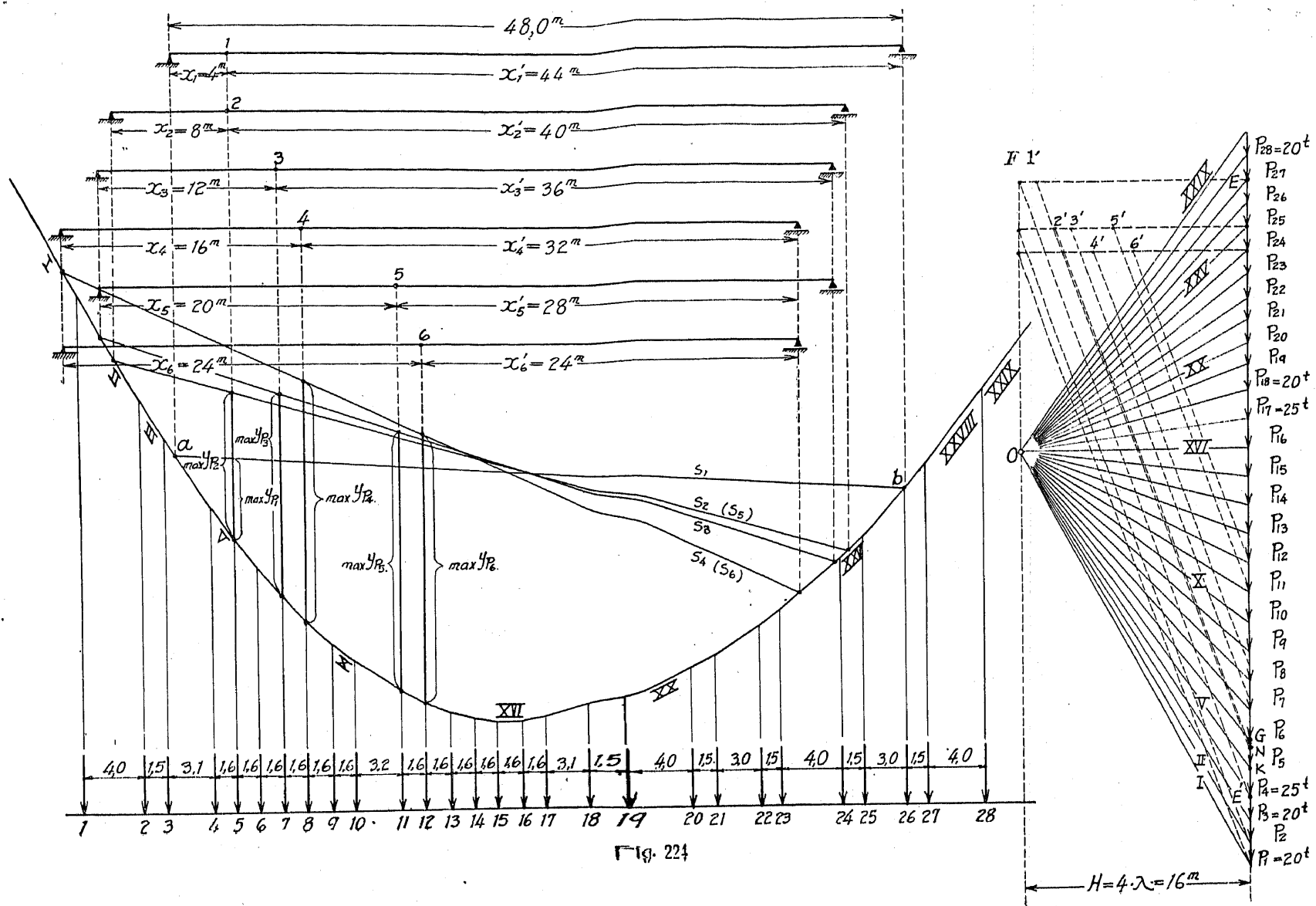


Fig. 224

となるを以つて、 $\frac{\Sigma P}{l} > \frac{\Sigma P'}{\lambda_m}$ ならば移動によつて Q_{pm} は増加する。従つて荷重の基本位置が最も危険なる爲には $\Sigma P' = P_1$ とした時 $dQ_{pm} < 0$ なるべきを以つて $\frac{\Sigma P}{l} < \frac{P_1}{\lambda_m}$ 、従つて $\Sigma P < \frac{l}{\lambda_m} P_1$ なるを要する。若し之れに反し $\Sigma P > \frac{l}{\lambda_m} P_1$ ならば第二の位置に就いて考へ、 $\Sigma P < \frac{l}{\lambda_m} (P_1 + P_2)$ なるか否かを檢しこの條件が成立すれば第二の位置が最危険なる事を知るるのであつて、順次此の方法を繰返す事によつて容易に $max Q_{pm}$ に対する荷重位置を求める事が出来る。今この方法を Fig. 222 に示す桁について行へば總べての格間に對し、 $l:\lambda = 12$ 、 $\frac{l}{\lambda} P_1 = 12 \cdot 25 = 300 t$ となるを以つて例へば第六格間に對し、 $\Sigma_1^6 P = 350 t > 300 t$ となる。而してこの格間より左の格間に對しては何れも同様の事が成立するを以つて、これ等の格間に對しては基本位置が $max Q_{pm}$ を與へない事を知るるのであつて、第二の位置に就いて考へて見なければならぬ。然るに第一格間についてさへも $\Sigma_1^1 P = 530 t$ となりて $\frac{l}{\lambda} (P_1 + P_2) = 600 t$ より小となるを以つて、是等の格間に對しては何れも第二の荷重位置が最危険である事を知る。同様にして桁の右半分の格間に對しては基本位置が $max Q_{pm}$ を與へる事を確める事が出来る。かくして $max Q_{pm}$ に対する荷重位置を知れば Fig. 222 の如く圖式的にこの値を求める事が出来るし、又計算的には次節に述べる方法を用ふればよい。

尙ほ米國及び我國に於ける標準列車荷重の如く集中荷重の後に等布荷重がある場合には等布荷重を約 $2m$ 毎に區劃し、集中荷重と考へれば近似的にその結果を求める事が出来る。

次に靜荷重の影響は Fig. 214 に示す様であつて、茲に再び述べる事を略して置く。

(2) 彎曲力率

Fig. 197 に示した機關車二輛の前後に同圖 (b) に示す貨車が多數に連続する如き聯行荷重列によつて Fig. 224 に示す如き桁の格點 1, 2, 3……に惹き起さるべき最大彎曲力率を求める方法を説明しよう。

先づ支間 $l = 48m$ 上に乗り得るより少し多くの荷重列に對して索多角形を畫

く。この場合力示圖としては垂直線上に下から上方に向つて P_1, P_2, P_3, \dots の順序に $5t = 1mm$ の尺度で荷重をおき、又極距として $H = 4\lambda = 4 \cdot 4.0 = 16m$ をとる。次にこの聯行荷重列によつて格點 1 に生ずべき最大彎曲力率 $max M_{p1}$ を求める爲に、或る一つの荷重たとへば P_5 が格點 1 の上にくる様に桁 AB を動し、支點を通する垂直線が索多角形邊と交る點 a 及び b を求める。而して a 及び b を結合線 s_1 を以つて結び、格點 1 の下で測られた縦距を y_{p1}^0 とすればこの荷重状態に対する格點 1 の彎曲力率 M_{p1}^0 は $H \cdot y_{p1}^0$ によつて與へられる。斯くして求められた M_{p1}^0 が果して $max M_{p1}$ を與へるか否かを検する方法を述べ

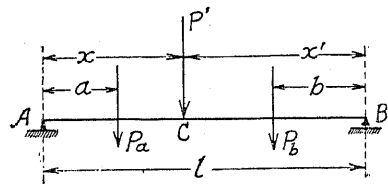


Fig. 225

ば次の如し。今 Fig. 225 に示す如く A から x の距離にある點 C の左側にある荷重の合力を P_a 、又右側にある荷重の合力を P_b とし、 C 點にある荷重を P' とする。然らば C 點の力率 $M_{p,c}$ は次式にて與へられる。

$$M_{p,c} = \frac{x}{l} P_b \cdot b + \frac{x'}{l} P_a \cdot a + \frac{xx'}{l} P'$$

今列車を db だけ左方に進行せしめたとすればその時の C の力率は $dM_{p,c}$ だけ變化して

$$\begin{aligned} M_{p,c} + dM_{p,c} &= \frac{x}{l} P_b (b+db) + \frac{x'}{l} P_a (a-db) + \frac{x'P'}{l} (x-db) \\ &= \frac{x}{l} P_b \cdot b + \frac{x'}{l} P_a \cdot a + \frac{xx'}{l} P' + \frac{xdb}{l} P_b - \frac{x'db}{l} (P_a + P') \\ &= M_{p,c} + \frac{db}{l} [xP_b - x'(P_a + P')] \end{aligned}$$

となる。従つて $dM_{p,c}$ が負號なる爲には

$$(1) \quad xP_b < x'(P_a + P') \quad \text{即ち} \quad \frac{P_b}{P_a + P'} < \frac{x'}{x}$$

なるを要し、同様に da だけ右方に移動する事に依つて生ずる C 點の力率の變化 $dM_{p,c}$ が負號なる爲には

$$(2) \quad P_a x' < x(P_b + P') \quad \text{即ち} \quad \frac{P_b + P'}{P_a} < \frac{x'}{x}$$

なることを要する。従つて Fig. 225 の如き荷重状態が $max M_{p,c}$ を與へる爲に必要にして充分な條件は上記不等式 (1) 及び (2) が同時に満足されると云ふ事であらねばならぬ。茲に於いて再び初めの問題に戻り、格點 1 に P_5 がある時果して $max M_{p1}$ を與へるか否かをしらべて見よう。Fig. 224 に於いて力示圖上 $\overline{EE'}$ をこの場合桁 AB 上に乗り得る荷重 ($P_4 \sim P_{25}$) の總和とし、 $\overline{EF} = 4\lambda = 16m$ 、 $\overline{E'F} = \frac{x'_1}{l} \overline{EF} = \frac{44}{3}m$ とする。而して F と E' を結び $1'N$ を FE' に平行にひけば $1'N$ は考へてゐる格點 1 の上にくる荷重 P_5 と出遇ふ事になる。従つて Fig. 225 と比較し、

$$\begin{aligned} \overline{EG} &= \sum_{i=4}^{25} P = P_b, & \overline{GK} &= P_5 = P', & \overline{KE'} &= P_4 = P_a; \\ \frac{\overline{EN}}{\overline{NE'}} &= \frac{\overline{E'F}}{\overline{F'F}} = \frac{x'_1}{x_1}, & \frac{\overline{EG}}{\overline{GE'}} &< \frac{x'_1}{x_1}, & \frac{\overline{EK}}{\overline{KE'}} &> \frac{x'_1}{x_1} \end{aligned}$$

となるを以つて確に

$$\frac{P_b}{P_a + P'} < \frac{x'_1}{x_1}, \quad \frac{P_b + P'}{P_a} > \frac{x'_1}{x_1}$$

なる所要の條件が成立する事になる。依つて P_5 が格點 1 にある時の M_{p1}^0 は $max M_{p1}$ を與へる事になる。要するに上の如き作圖にて得たる N 點が當該格點上にくる荷重 P' 上にあれば確にその荷重状態はその格點に對し $max M_{p1}$ を與へるのであつて、この場合荷重の境に N がくればその兩方の荷重を格點に置き、 y_{p1} を求めその大なる方をとらねばならない。

以上の方法を繰返し行ひたる結果、この桁に於いては格點 2, 3, 4, 5, 及び 6 に最大力率を生ずる荷重状態は夫々荷重 P_6, P_7, P_8, P_{11} , 及び P_{12} がその格點上にくる時であつて、結合線 s_1, s_2, s_3, \dots に對し夫々索線縦距 $max y_{p2}, max y_{p3}, max y_{p4}, max y_{p5}$ 及び $max y_{p6}$ を得ることになる。圖上より $max y_{p6}$ を測りて各格點に於ける最大力率を求めれば次の如し。

$$\begin{aligned} max M_{p6} &= 16 \cdot 230 = 3,680 \text{ tm}, & max M_{p3} &= 16 \cdot 172 = 2,752 \text{ tm} \\ max M_{p5} &= 16 \cdot 227 = 3,632 \text{ ''}, & max M_{p2} &= 16 \cdot 127 = 2,032 \text{ ''} \\ max M_{p4} &= 16 \cdot 211 = 3,376 \text{ ''}, & max M_{p1} &= 16 \cdot 70 = 1,120 \text{ ''} \end{aligned}$$

次に静荷重 g による力率 M_{g1} を $M_{g1} = \frac{g \cdot x_{max}^2}{2}$ なる公式より計算すれば

$$\begin{aligned} M_{g6} &= 4.8 \cdot 24 \cdot 24 = 2,765 \text{ tm}, & M_{g3} &= 4.8 \cdot 12 \cdot 36 = 2,074 \text{ tm} \\ M_{g5} &= 4.8 \cdot 20 \cdot 28 = 2,688 \text{ ''}, & M_{g2} &= 4.8 \cdot 8 \cdot 40 = 1,536 \text{ ''} \\ M_{g4} &= 4.8 \cdot 16 \cdot 32 = 2,458 \text{ ''}, & M_{g1} &= 4.8 \cdot 4 \cdot 44 = 845 \text{ ''} \end{aligned}$$

となる。従つて活死荷重による最大彎曲力率は $max M_m = \varphi max M_{pm} + M_{gm}$ として

$$max M_0 = 7,991 tm, \quad max M_1 = 7,252 tm, \quad max M_2 = 4,421 tm$$

$$max M_3 = 7,845 tm, \quad max M_4 = 5,982 tm, \quad max M_5 = 2,435 tm$$

となる。茲に φ は衝撃係数であつて $\varphi = 1.42$ として計算してある。

斯くして求めた各格點の $max M_{pm}$ 及び M_{gm} を夫々 Fig. 226 に示す如く基線の上及び下に格點縦距として立てその端點を結びて多角形 I 及び I' を得る時、この兩多角形の間に挟まれた部分を以つて桁に對する最大彎曲力率圖とする事が出来る。尤もこの場合横桁間の断面に對しては I 線は聯行荷重列による實際の最大彎曲力率より稍大にすぎる値を與へることになる。何故ならば例へば格點 3 と 4 の間の断面 C に對しては I 線の與へる縦距 M_{pc} は次の式の如くなる。

$$M_{pc} = max M_{p3} + (max M_{p4} - max M_{p3}) \frac{\xi}{\lambda} = max M_{p3} \cdot \frac{\xi'}{\lambda} + max M_{p4} \cdot \frac{\xi}{\lambda}$$

然るに $max M_{pc}$ を與へる荷重状態に對する格點 3 及び 4 の力率を M_{p3} 及び M_{p4} とすれば Fig. 213 に就いて説明した如く、或る荷重状態に對する彎曲力率圖は格點間にては直線的に變化すべきを以つて

$$max M_{pc} = M_{p3} + (M_{p4} - M_{p3}) \frac{\xi}{\lambda} = M_{p3} \frac{\xi'}{\lambda} + M_{p4} \frac{\xi}{\lambda}$$

となる。然るに $max M_{p3}$ と $max M_{p4}$ の荷重状態は一般に異なるを以つて、少くとも $max M_{p3} > M_{p3}$ か $max M_{p4} > M_{p4}$ の何れかゞ成立する。従つてたしかに $M_{p3} > max M_{p3}$ となる、即ち線 I によつて與へられる縦距は實際の格點間断面の最大力率より大なる値を與へることになる。しかし乍らこの誤差は極めて小であつて、而も靜荷重の内桁自重の如く一部分は直接荷重として働くものあるに係らず、全部間接荷重として靜荷重に對する力率圖 I' を畫きたるを以つて、Fig. 226 に示す力率圖にては全體として考へると I 線による誤差は幾分 I' 線による誤差によつて相殺される事になつてゐる。尙ほ格點間断面 C に於ける

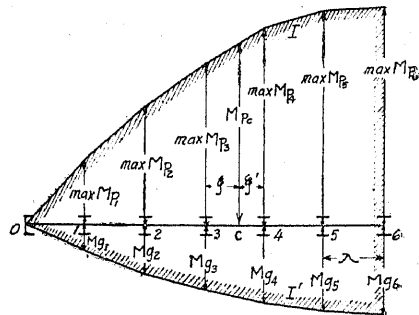


Fig. 226

る最大縦距 $max y_{pc}$ を正しく定めんとする時は、Fig. 227 に示す如く一つの重い荷重が先づ $(m-1)$ 格點に乗る様に荷重列を置き、且つ結合線 s の他に格間 λ に相當する結合線 s' を引く。然らば C 點直下の直線 s, s' 間にある長さが點 C に對する縦距即ち y_{pc} を與へる事になる。何故ならば前に證明した様に間接荷重に對する力率多角形は直接荷重に對する索多角形の内にあつて、

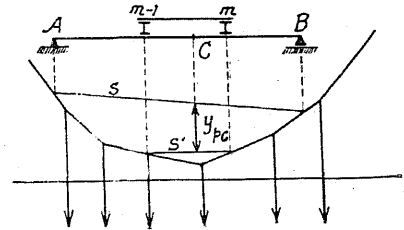


Fig. 227

其の角點を横桁を通する垂直線と索線との交點と爲すものであるからである。同様にして格點 m 上に重い荷重の來る場合をも考へ、斯くして求められた y_{pc} の内最大なるものをつつてその断面 C に對する最大縦距、即ち $max y_{pc}$ とすればよい。

(2) 直接荷重

(1) 剪力

桁上任意の一断面 C に於ける最大正號剪力は普通聯行荷重列が右支點 B から左支點 A に向つて進みその先頭荷重が、その断面上に乗つた時起ると云ふ事は剪力影響線より想像出来る事であつて、この場合 $max Q_{pc}$ は支點反力 $A_{p,c}$ と相等しい。従つて Fig. 222 に示す如く例へば断面 7 に對する $max Q_{p7}$ は A~多角形の縦距 $\bar{ab} = A_{p7}$ によつて與へられる事になる。尙ほ聯行荷重列の配列の如何により時として第二、第三、……荷重が夫々その断面に來た時最大正號剪力を與へる事もあるのであるから、これ等の場合についても最初に求めた剪力の値と比較してみる必要がある。例へば第二荷重が断面 7 の上に來た時は $Q_{p7} = -P_1$ となり、 A_{p7} は前述の如く P_1 の下にある A~多角形縦距 $\bar{a'b'}$ によつて與へられる。第三荷重、第四荷重、……が断面 7 の上に來た時も同様にして剪力を求める事を得べく、これ等の各場合に就いて求めた剪力の内最大なるものをつつて $max Q_{p7}$ とすればよい。

しかし乍ら一般に直接荷重は小徑間の場合に起るものであるから、鐵道橋及び

道路橋の何れに對しても $max Q_{pc}$ は C 點に第一荷重が來る時起る事多く、從つて一般には小徑間に於ける $max Q_{pc}$ は $A \sim$ 多角形の C 點に對する縦距に相等しいと云ふ事が出来る。

(2) 彎曲力率

聯行荷重列によつて桁上任意の一點に生ずる最大彎曲力率は前項(2)に於いて格點に就いて述べたと同様の方法によつて求める事を得べく、又等布荷重 $g = p+g$ による彎曲力率は $M_g = \frac{1}{2} g x x'$ として求める事が出来る。

尙ほ小徑間の桁に對しては靜荷重 g が動荷重に比して比較的大となるものであるが、この場合二つの集中荷重 P_1 及び P_2 が乗り得るものとし、その時の最大彎曲力率を求める方法を説明しよう。Fig. 228 に示す如く桁の長さ AB より大なる CD 上に分布された等布荷重を集

中荷重の作用線にて三つに區分し、その各を G_1, G_2 及び G_3 とする。次に集中荷重 G_1, P_1, G_2, P_2 及び G_3 に對して任意の極距 H を以つて索多角形 $C'E$ $FGJKD'$ を描き、 $C'EF, FGJ, JKD'$ 間をその兩端が夫々索多角形邊に切する

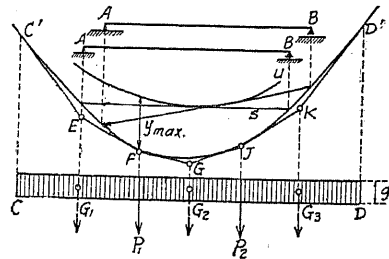


Fig. 228

如き拋物線にて結ぶ時、茲に等布荷重 g 及び集中荷重 P_1, P_2 に對する索線を得るわけであるが、この場合例へば FGJ 間をその兩端が夫々 FG, JG に切する如き拋物線にて結ぶには、Fig. 229 に示す如く邊 FG 及び GJ を同數に等分して

對應點を結び、是等に切する曲線を畫けばよい。斯くして索線を畫きたる後桁を種々の位置に動し、各々に相當する結合線 s の包圍曲線 u を求める。而して索線と u の間にある最大縦距 y_{max} を定めるとき桁 AB に於ける最大彎曲力率は次の式にて與へられる。

$$M = H y_{max}$$

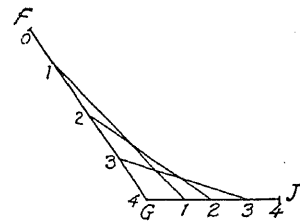


Fig. 229

第五節 表を利用して聯行荷重列による支反力、剪力、及び力率を求める方法

(1) 支反力及び剪力

(1) 支反力

Fig. 230 に示す如く聯行荷重列が支點 B から左方に一格點 m まで進み、その時桁上に乗る荷重を $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ とする。今 $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$ を以つて是等の荷重の支點 B からの距離とし、又 $e_1, e_2, e_3, \dots, e_{n-1}$ を以つて最後荷重 P_n からの距離とすれば支反力 A_{pm}^1 は次の式にて與へられる。

$$A_{pm}^1 = \frac{P_1 b_1 + P_2 b_2 + P_3 b_3 + \dots + P_n b_n}{l} = \frac{\sum^n P b}{l}$$

$$= \frac{\sum^n F(b_n + e)}{l} = \frac{1}{l} (b_n \sum^n P + \sum^n P e)$$

更に $\sum^n P = \mathfrak{P}_n, \sum^n P e = \mathfrak{E}_n$ とすれば

$$A_{pm}^1 = \frac{1}{l} (\mathfrak{P}_n b_n + \mathfrak{E}_n)$$

となる。この $\mathfrak{P}_n, \mathfrak{E}_n$ の値は聯行荷重列に就いて一度計算しておけばよく、又その計算に際しては $\mathfrak{E}_{n+1} = \mathfrak{E}_n + \mathfrak{P}_n e_n$ なる關係式を用ひると非常に便利である。茲に e_n は P_{n+1} と P_n との間隔を表す。

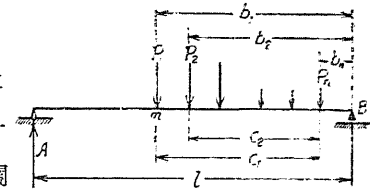


Fig. 230

今一例として Fig. 197 に示す獨逸國有鐵道規定の貨物列車が機關車二輛を先頭として進み來る場合を考へ、 n (桁に乗る荷重數)、 e_1 (P_1 から P_n 迄の距離即ち列車長)、 b_1 の最大最小の範圍、 $\mathfrak{P}_n, \mathfrak{E}_n$ 及び荷重の内譯を計算表にすれば第 1 表の如くなる。

この表を用ひて徑間 48.0 m の桁に於いて第一荷重が $b_1 = 44.0$ m 迄進んだ場合の支反力 A_{p1}^1 を求めるに、

$$n = 22, \quad e_1 = 42.5 \text{ m}, \quad \mathfrak{P}_n = 510 \text{ t}, \quad \mathfrak{E}_n = 12,315 \text{ tm}$$

なるを以つて $b_n = 44.0 - 42.5 = 1.5$ m として、

$$A_{p1}^1 = \frac{510 \cdot 1.5 + 12,315}{48} = \frac{13,080}{48} = 272.5 \text{ t}$$

第 1 表

	機 關 車							機 關 車							貨 車			貨 車				
重量(ton)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	20	20	20	20	20	20	20	20
間隔(m)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	3.2	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	3.1	1.5	4.0	1.5	3.0	1.5	4.0	1.5	
n	c_1 (m)	b_1 (m)		P_n (t)	E_n (m)	荷 重																
1	0	0 ~ 1.6		25	0	1.25																
2	1.6	1.6 ~ 3.2		50	40	2.25																
3	3.2	3.2 ~ 4.8		75	120	3.25																
4	4.8	4.8 ~ 6.4		100	240	4.25																
5	6.4	6.4 ~ 8.0		125	400	5.25																
6	8.0	8.0 ~ 9.6		150	600	6.25																
7	9.6	9.6 ~ 12.8		175	840	7.25																
8	12.8	12.8 ~ 14.4		200	1,400	8.25																
9	14.4	14.4 ~ 16.0		225	1,720	9.25																
10	16.0	16.0 ~ 17.6		250	2,080	10.25																
11	17.6	17.6 ~ 19.2		275	2,480	11.25																
12	19.2	19.2 ~ 20.8		300	2,920	12.25																
13	20.8	20.8 ~ 22.4		325	3,400	13.25																
14	22.4	22.4 ~ 25.5		350	3,920	14.25																
15	25.5	25.5 ~ 27.0		370	5,005	14.25 + 1.20																
16	27.0	27.0 ~ 31.0		390	5,560	14.25 + 2.20																
17	31.0	31.0 ~ 32.5		410	7,120	14.25 + 3.20																
18	32.5	32.5 ~ 35.5		430	7,735	14.25 + 4.20																
19	35.5	35.5 ~ 37.0		450	9,025	14.25 + 5.20																
20	37.0	37.0 ~ 41.0		470	9,700	14.25 + 6.20																
21	41.0	41.0 ~ 42.5		490	11,580	14.25 + 7.20																
22	42.5	42.5 ~ 45.5		510	12,315	14.25 + 8.20																
23	45.5	45.5 ~ 47.0		530	13,845	14.25 + 9.20																
24	47.0	47.0 ~ 51.0		550	14,640	14.25 + 10.20																
25	51.0	51.0 ~ 52.5		570	16,840	14.25 + 11.20																
26	52.5	52.5 ~ 55.5		590	17,695	14.25 + 12.20																
27	55.5	55.5 ~ 57.0		610	19,465	14.25 + 13.20																
28	57.0	57.0 ~ 61.0		630	20,380	14.25 + 14.20																
29	61.0	61.0 ~ 62.5		650	22,900	14.25 + 15.20																
30	62.5	62.5 ~ 65.5		670	23,875	14.25 + 16.20																

となる。

又最大支反力 $max A_p$ を求めるに表より

$$n = 24, \quad c_1 = 47.0 \text{ m}, \quad P_n = 550 \text{ t}, \quad E_n = 14,640 \text{ m}$$

なるを以つて $b_n = 48.0 - 47.0 = 1.0 \text{ m}$ として、

$$max A_p = \frac{550 \cdot 1 + 14,640}{48} = \frac{15,190}{48} = 316.46 \text{ t}$$

となる。

(2) 剪 力

Fig. 222 に於いて圖式的に解いた問題の結果を茲に表を用ひて計算的に求めよう。先づ静荷重 $g = 4.8 \text{ t/m}$ による各格間剪力を求めるに一般に $Q_{gm} = g x_m''$ (Fig. 219 参照) にて與へられるを以つて、第一、第二、……、第六格間に對し夫々 $x_m'' = -\frac{11}{2}\lambda, -\frac{9}{2}\lambda, \dots, -\frac{1}{2}\lambda$ として、 $Q_{gm} = +105.6 \text{ t}, +86.4 \text{ t}, +67.2 \text{ t}, +48.0 \text{ t}, +28.8 \text{ t}, +9.6 \text{ t}$ を得る。尚ほ第七、第八、……、第十二格間に對しては夫々第六、第五、……、第一格間に大さ等しくして符號反對な剪力を得る。

次に動荷重に對しては第一表を利用するのであつて、先づ荷重 P_1 を格點 m

第 2 表

格 點 m	$\Sigma P (t)$		$\frac{l}{\lambda} \cdot P_1$	$\frac{l}{\lambda} (P_1 + P_2)$	摘 要
	點 m に P_1	點 m に P_2			
1	510	530	300	600	$\Sigma P > \frac{l}{\lambda} P_1$
2	470	490	"	"	又 $\Sigma P < \frac{l}{\lambda} (P_1 + P_2)$ 故に P_2 が m にある時 $max Q_p$ となる
3	450	470	"	"	
4	410	430	"	"	
5	390	390	"	"	
6	350	370	"	"	
7		300	"	"	
8		250	"	"	
9		175	"	"	
10		150	"	"	
11		75	"	"	
12		25	"	"	

の上に乗せ、 $\Sigma P < \frac{l}{\lambda} P_1$ なるか否かを検し、若しこの条件が成立すれば基本位置が最危険なる事を知るべく、反対にこの条件の成立しない時には更に P_2 を m の上に乗せ $\Sigma P < \frac{l}{\lambda} (P_1 + P_2)$ なるかを検する。順次かくして最危険の荷重位置を定めるわけであるが、この計算例にては $\frac{l}{\lambda} = 12$, $\frac{l}{\lambda} P_1 = 12 \cdot 25 = 300t$, $\frac{l}{\lambda} (P_1 + P_2) = 600t$ となるを以つて、第2表の如くして $max Q_y$ を與へる荷重位置を定める事が出来る。

次に Q_{ym} は一般に次の式にて與へられる。

$$Q'_{ym} = \frac{1}{l} \Sigma P b - \frac{1}{\lambda} \Sigma P' b' = A'_{ym} - \frac{1}{\lambda} \Sigma F' b' = \frac{1}{l} (\Sigma_n b_n + \Sigma_n \epsilon_n) - \frac{1}{\lambda} \Sigma P' b'$$

従つて第一格間より第六格間に對しては $\frac{1}{\lambda} \Sigma P' b' = \frac{1}{4} \cdot 25 \cdot 1.6 = 10t$, 第七格間より第十二格間迄に對しては $\frac{1}{\lambda} \Sigma P' b' = 0$ として第一表を利用して $max Q_{ym}$ を計算すれば第3表の如くなる。

第3表

m	x' (m)	$x'+1.6$ (m)	e_1 (m)	b_n (m)	P_n (t)	ϵ_n (tm)	$\Sigma_n b_n$ (tm)	$\Sigma_n b_n + \epsilon_n$ (tm)	$A'_{ym} = \frac{\Sigma_n b_n + \epsilon_n}{l}$ 又は A'_{ym} (t)	$max Q_{ym}$ (t)
1	44	45.6	45.5	0.1	530	13,845	53	138,98	289.4	279.4
2	40	41.6	41.0	0.6	490	11,580	294	118.74	247.4	237.4
3	36	37.6	37.0	0.6	470	9,700	282	9,982	208.0	198.0
4	32	33.6	32.5	1.1	430	7,735	473	8,208	171.0	161.0
5	28	29.6	27.0	2.6	390	5,560	1,014	6,574	137.0	127.0
6	24	25.6	25.5	0.1	370	5,005	37	5,042	105.0	95.0
7	20	21.6	19.2	0.8	300	2,920	240	3,160	65.8	65.8
8	16	17.6	16.0	0	250	2,080	0	2,080	43.3	43.3
9	12	13.6	9.6	2.4	175	840	420	1,260	26.3	26.3
10	8	9.6	8.0	0	150	600	0	600	12.5	12.5
11	4	5.6	3.2	0.8	75	120	60	180	3.8	3.8

更に $max Q_m = \varphi \cdot max Q_{ym} + Q_{gm}$ として活死荷重による最大正號剪力 $max Q_m$ を計算し、併せて $min Q_1 = -max Q_{12}$, $min Q_2 = -max Q_{11}$, ……として最大負號剪力 $min Q_m$ を求めると第4表の如くなる。茲に φ は衝擊係數であつて $\varphi = 1.42$ と採つて計算してゐる。

第4圖

m	Q_{gm} (t)	$\varphi \cdot max Q_{ym}$ (t)	$max Q_m$ (t)	$min Q_m$ (t)
1	105.6	396.7	502.3	105.6
2	86.4	337.1	423.5	81.0
3	67.2	281.2	348.4	49.4
4	48.0	228.6	276.6	10.7
5	28.8	180.3	209.1	- 32.7
6	9.6	134.9	144.5	- 83.8
7	- 9.6	93.4	83.8	- 144.5
8	- 28.8	61.5	32.7	- 209.1
9	- 48.0	37.3	- 10.7	- 276.6
10	- 67.2	17.8	- 49.4	- 348.4
11	- 86.4	5.4	- 81.0	- 423.5
12	- 105.6	0	- 105.6	- 502.3

(2) 彎曲力率

(1) 桁上の一断面に於ける最大力率 $max M_{ym}$

Fig. 231 に示す如く聯行荷重列が支點 B を通り左方に向つて進む場合第 r 荷重 P_r (圖にては P_{10}) が格點 m の上にあればその断面に生ずる彎曲力率は、 $M'_{ym} = A'_{ym} x_m - \epsilon_r$ となる。然るに一方に於いて $A'_{ym} = \frac{\Sigma_n P b}{l} = \frac{\Sigma_n b_n + \epsilon_n}{l}$ なるを以つて次の公式を得る。

$$(1) \quad M'_{ym} = \frac{x_m}{l} (\Sigma_n b_n + \epsilon_n) - \epsilon_r$$

今この荷重列を db だけ左方へ進めると A'_{ym} は $\frac{1}{l} \Sigma_n P \cdot db$ だけ、従つて又 M'_{ym} は $dM'_{ym} = db \left[\frac{\Sigma_n P}{l} x_m - \Sigma_n P \right]$ だけ増す事になる。従つて P_r が m

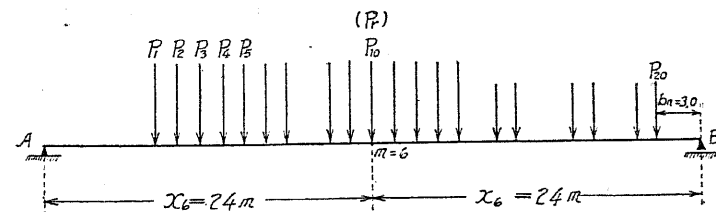


Fig. 231

格點にある時 $max M_{pm}$ を與へる爲には $\sum^n P \frac{x_m}{l} < \sum_r^r P$, 即ち

$$(I) \leftarrow \frac{\sum^n P_n}{\sum_r^r P_r} < \frac{l}{x_m}$$

なる事を要する。同様にして荷重列を dx だけ右方に動かし次の条件が成立すべき事を知る。

$$(II) \rightarrow \frac{\sum^n P_n}{\sum_{r-1}^{r-1} P_r} > \frac{l}{x_m}$$

従つて P_r が m 格點にある時 $max M_{pm}$ を與へるに必要なして充分な条件は不等式 (I) 及び (II) が同時に満足されると云ふ事である。尚ほ聯行荷重列の長さ長き時その配列の如何により以上の条件を満す荷重位置が、二、三ある時があるもその場合の力率の差は極めて僅かである。

計算例： Fig. 222 に示す桁に於いて中央格點 $m = 6$ に對する最大力率を求めるに、Fig. 231 に示す荷重位置を考へれば第 1 表より $n = 20$, $r = 10$ として、

$$\leftarrow (I) \frac{\sum_{10}^{20} P_n}{\sum_{10}^{10} P_r} = \frac{470}{250} < \frac{l}{x_6} = 2$$

$$\rightarrow (II) \frac{\sum_{9}^{20} P_n}{\sum_9^9 P_r} = \frac{470}{225} > \frac{l}{x_6} = 2$$

となるを以つて確に P_{10} が格點 6 にある時 $max M_{p6}$ を與へる。従つて

$$b_1 = 16.0 + 24.0 = 40.0 \text{ m}, \quad c_1 = 37.0 \text{ m}, \quad b_2 = b_1 - c_1 = 3.0 \text{ m}$$

$$max M_{p6} = \frac{x_m}{l} (\sum^n P_n b_n + \sum_r^r P_r) - \sum_r^r P_r = \frac{1}{2} (470 \cdot 3 + 9,700) - 2,080 = 5,555 - 2,080 = 3,475 \text{ tm}$$

となる。

尚ほ前節例題に於けるが如く機關車二輛の前後に貨車を連結する場合には桁上に乗る得る荷重の先頭であるべき種々の P に對して第 1 表を作つて置く事が必要である。

(2) 直接荷重の場合聯行荷重列によつて生ずる桁の最大彎曲力率の位置及びその値

Fig. 232 に於いて一點 C に荷重 P_r が乗るものとし、

$\sum P$ = 桁上に乗る荷重の總和

c = 支點 B から $\sum P$ 迄の距離

s = 點 C から $\sum P$ 迄の距離

t = 荷重 P_n から $\sum P$ 迄の距離

とすれば點 C の彎曲力率は次式によつて與へられる。

$$M_{p,c} = (\sum P) \frac{c}{l} x - \sum_r^r P_r$$

今桁に乗る荷重は變らざるものとし

Fig. 232

$M_{p,c}$ は如何なる場合に最大となるかを知る爲に $\frac{dM_{p,c}}{dx} = 0$, 従つて $\frac{d(cx)}{dx} = 0$ としよう。然らば $cx = (l-s-x)x = (l-s)x - x^2$ 桁なるを以つて $l-s = 2x$, 即ち $x = \frac{l}{2} - \frac{s}{2}$ となる。従つて $c = l-s-x = \frac{l}{2} - \frac{s}{2} = x$, 即ち斷面 C と合力 $\sum P$ が中心から等距離にある時斷面 C の彎曲力率 $M_{p,c}$ は桁に於ける最大の力率 $max M_p$ を與へる事になる。聯行荷重列の場合には桁上に乗る荷重が色々變じ得るを以つて、一般には試算的に上の様な条件を満す様に點 C に荷重 P_r を置き次の公式 (2) から計算せる $max M_p$ を比較して最大値を取り所要の答とする。

$$(2) \quad max M_p = (\sum P) \frac{x^2}{l} - \sum_r^r P_r$$

計算例： Fig. 233 に於いて $r = 10$, $n = 20$ とすれば

$$t = \frac{\sum P c}{\sum P} = \frac{9,700}{470} = 20.64 \text{ m}, \quad C_0 = 37.0 - 16.0 = 21.00 \text{ m}$$

なるを以て、點 C と $\sum P$ との間隔は $s = 21.00 - 20.64 = 0.36 \text{ m}$ となる。従つて、

$$x = \frac{l}{2} - \frac{s}{2} = 24.00 - 0.18 = 23.82 \text{ m}$$

$$\therefore max M_p = (\sum P) \frac{x^2}{l} - \sum_r^r P_r = \frac{470 \cdot (23.82)^2}{48} - 2,080 = 470 \cdot \frac{567.39}{48} - 2,080 = 5,555.7 - 2,080 = 3,475.7 \text{ tm}$$

この場合桁の中點 $x = 24.0 \text{ m}$ に於いては $M_p = 3,475 \text{ tm}$ にして最大彎曲力率 $max M_p = 3,475.7 \text{ tm}$ と大差はない。

次に我
國及び米
國に於け
る鐵道橋
に對する
標準示方

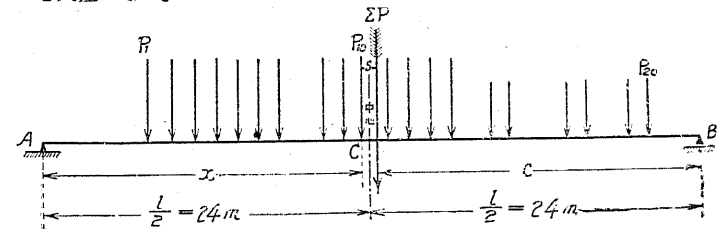


Fig. 233

書に示す様に機關車二輛の次に等布荷重 p が連続する時、最大彎曲力率を生ずる點が集中荷重の下に起る様な場合には、その最大彎曲力率を生ずる點を求めるに等布荷重を $1m$ 毎に集中して作用するものと考へるのが實用上便利である。

尙ほ橋梁の徑間大にして Fig. 234 に示す様に貨車軸重の下で最大彎曲力率を生ずる様な場合には、貨車軸重を機關車軸重の後方約 $3.0m$ から始まる等布荷重 p を以つて置換へると容易に計算する事が出来る。即ち Fig. 234 に示す記號を用ひて A 支點より x

の距離にある點の力率を求めるに荷重を點 x の右にある px' と左にある ΣP 及び $p(x-\xi)$ とに分

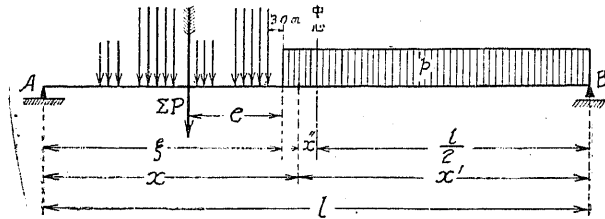


Fig. 234

けて考へれば次の式を得る。

$$M_{px} = (px') \frac{x'}{2l} x + \Sigma P \cdot \frac{(\xi - e)}{l} x' + p(x - \xi) \frac{x + \xi}{2l} x'$$

$$= \frac{pxx'}{2} - \frac{x'}{l} (\Sigma P)e + \frac{x'}{l} (\xi \Sigma P - \frac{p\xi^2}{2})$$

従つて断面 x の力率 M_{px} を最大ならしめる爲には $\frac{dM_{px}}{d\xi} = 0$ として、

$$(3) \quad \xi = \frac{\Sigma P}{p}$$

なる條件式を得る。公式 (3) より ξ の値は x に無關係なるを知るを以つて何れの断面 x (勿論 $x \geq \xi$ なるを要する) に對してもその断面に最大力率を生ずる爲には ξ は常に一定値 $\frac{\Sigma P}{p}$ である事を要すと云ふ事が出来る。この關係を M_{px} の式に挿入し、

$$(4) \quad \max M_{px} = \frac{pxx'}{2} + \frac{x'}{l} (\Sigma P \frac{\xi}{2} - e \Sigma P)$$

$$= \frac{pxx'}{2} + \Sigma P \frac{x'}{l} (\frac{\Sigma P}{2p} - e)$$

となる。桁中最大の力率を生ずる断面を求める爲 $\frac{dM_{px}}{dx} = 0$ とすれば、

$$(5) \quad \frac{l}{2} - x = x'' = \frac{\Sigma P (\frac{\Sigma P}{2p} - e)}{pl}$$

となる。この値を更に公式 (4) に挿入して桁中最大の力率 $\max M_p$ を求めると次の如し。

$$(6) \quad \max M_p = \frac{px^2}{2} = \frac{p}{2} \left(\frac{\Sigma P (\frac{\Sigma P}{2p} - e)}{pl} + \frac{l}{2} \right)^2$$

〔3〕 最大彎曲力率を求める近似法

桁上多數の點に於いて聯行荷重列から生ずる最大彎曲力率を一々精密に計算する事は頗る煩雜であるから、近似的に桁の最大彎曲力率圖を Fig. 235 に示す如く、兩側を

拋物線とし中央 $0.12l$ の間は直線である様な曲線を以つて表す事がある。即ち中央 $0.12l$ の間の最大彎曲力率は一樣に $\max M_p$ とし、兩側の拋物線の部分に對しては

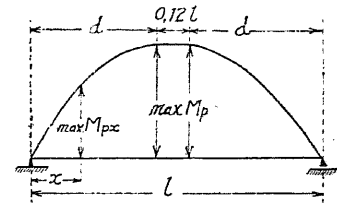


Fig. 235

第 5 表

支間 l (m)	$\max M_p$ (tm)		支間 l (m)	$\max M_p$	
	日	獨逸		日	獨逸
4	27.00	35.00	18	352.40	571.00
5	40.50	53.75	19	387.80	632.00
6	55.68	72.70	20	425.80	693.00
7	73.44	98.75	21	464.00	762.00
8	91.26	130.00	22	502.80	831.00
9	110.82	161.30	23	544.60	911.50
10	131.06	197.50	24	587.60	992.00
11	152.92	241.25	25	632.00	1,078.00
12	177.36	285.00	26	679.00	1,164.00
13	203.60	329.00	27	727.00	1,254.50
14	229.80	373.00	28	775.80	1,345.00
15	257.60	417.00	29	825.80	1,440.50
16	286.80	461.00	30	878.20	1,536.00
17	318.80	516.00			

$$(7) \quad \frac{\max M_{px}}{\max M_p} = \frac{x(2d-x)}{d^2}; \quad \text{茲に } d = 0.44l$$

とする。

今我國鐵道省規定標準荷重 $K. 18$ (Fig. 198) 及び獨逸國有鐵道規定標準荷重 (Fig. 197) によつて支間 lm の單桁に生ずべき最大彎曲力率 $\max M_p$ を計算し、表示すれば第 5 表の如くなる。而してこの $\max M_p$ を用ひて公式 (7) により $\max M_{px}$ を計算するには第 6 表に依れば便利であつて、此の場合 $\frac{x}{l}$ の中間の値に對しては直線的に變化するものと考へ $\Delta \frac{\max M_{px}}{\max M_p} : \Delta \frac{x}{l}$ の値を利用すればよい。

第 6 表

$\frac{x}{l}$	$\frac{\max M_{px}}{\max M_p}$	$\frac{\Delta \max M_{px}}{\max M_p} : \frac{\Delta \frac{x}{l}}$	$\frac{x}{l}$	$\frac{\max M_{px}}{\max M_p}$	$\frac{\Delta \max M_{px}}{\max M_p} : \frac{\Delta \frac{x}{l}}$	$\frac{x}{l}$	$\frac{\max M_{px}}{\max M_p}$	$\frac{\Delta \max M_{px}}{\max M_p} : \frac{\Delta \frac{x}{l}}$
0.00	0.000	4.5	0.17	0.623	2.8	0.34	0.948	1.0
0.01	0.045	4.4	0.18	0.651	2.6	0.35	0.958	0.9
0.02	0.089	4.3	0.19	0.677	2.6	0.36	0.967	0.7
0.03	0.132	4.2	0.20	0.703	2.4	0.37	0.974	0.7
0.04	0.174	4.0	0.21	0.727	2.3	0.38	0.981	0.6
0.05	0.214	4.0	0.22	0.750	2.2	0.39	0.987	0.5
0.06	0.254	3.9	0.23	0.772	2.1	0.40	0.992	0.3
0.07	0.293	3.8	0.24	0.793	2.0	0.41	0.995	0.3
0.08	0.331	3.6	0.25	0.813	2.0	0.42	0.998	0.1
0.09	0.367	3.6	0.26	0.833	1.8	0.43	0.999	0.1
0.10	0.403	3.4	0.27	0.851	1.7	0.44	1.000	0
0.11	0.437	3.4	0.28	0.868	1.6	0.45	1.000	0
0.12	0.471	3.2	0.29	0.884	1.5	0.46	1.000	0
0.13	0.503	3.2	0.30	0.899	1.4	0.47	1.000	0
0.14	0.535	3.0	0.31	0.913	1.3	0.48	1.000	0
0.15	0.565	3.0	0.32	0.926	1.1	0.49	1.000	0
0.16	0.595	2.8	0.33	0.937	1.1	0.50	1.000	0
0.17	0.623		0.34	0.948				

計算例：支間 18.2 m の單桁に於いて支點から 3.0 m の點に對し、我國鐵道省規定標準列車荷重によつて生ずべき最大彎曲力率を求めよう。

$$\max M_p = 352.40 + 0.2 \cdot 45.4 = 361.48 \text{ tm}$$

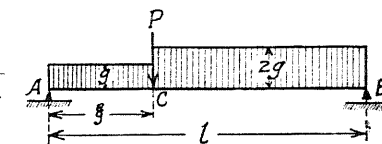
$$\frac{x}{l} = \frac{3}{18.2} = 0.165$$

$$\begin{aligned} \max M_{px} &= (0.595 + 0.005 \cdot 2.8) \max M_p = (0.595 + 0.014) \cdot 361.48 \\ &= 0.609 \cdot 361.48 = 220.14 \text{ t-m} \end{aligned}$$

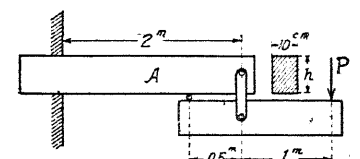
練習問題 11

(1) 圖の如く AC 及び CB 間に夫々等布荷重 g 及び $2g$ を荷ひ且つ C 點に集中荷重 P を受ける場合 ξ が如何なる値を有する時 C 點の力率最大となるか。

$$(答) \quad \xi = 1 + \frac{2}{3} \frac{P}{g} - \frac{1}{3} \sqrt{3l^2 + 6l \frac{P}{g} + 4 \frac{P^2}{g^2}}$$



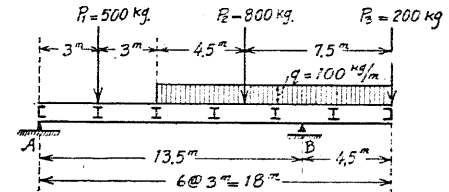
(2) 桁に於ける最大彎曲力率を生ずる點より左及び右にある荷重の重心が各其の端よりの距離を a, b とし、荷上の總荷重を W とすれば最大彎曲力率は $W \cdot \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$ なる事を證せ。



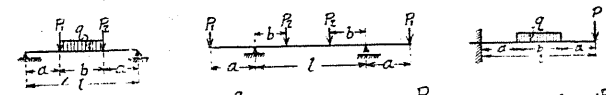
(3) 圖に於いて荷重 P が 400 kg なる時木桁 A の高さ h を決定せよ。但し木の許容彎曲應力は 80 kg/cm² とする。

$$(答) \quad h = 30 \text{ cm}$$

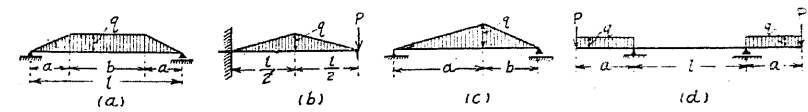
(4) 圖の如く徑間 18.0 m の桁が間接荷重を受けた時その彎曲力率圖及び剪力圖を畫け。



(5) 次圖に示す如き荷重を受ける桁の彎曲力率圖及び剪力圖を求めよ。



(6) 次に示す桁に就き最大彎曲力率及びその位置を求む。



$$(答) \quad (a) \quad \max M = \frac{q}{24} \{8a^2 + 12ab + 3b^2\}, \quad x = \frac{l}{2}$$

$$(b) \quad \max M = -Pl - \frac{1}{4}ql^2, \quad \text{支點}$$

$$(c) \max M = \frac{q}{3a} \left(\frac{a^2 + 2ab}{3} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad x = \sqrt{\frac{a^2 + 2ab}{3}}$$

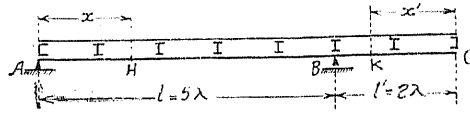
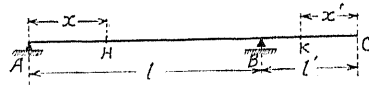
$$(d) \max M = -Pa - \frac{1}{2}pl^2, \quad \text{中央徑間}$$

(8) 圖に示す如き桁に於いて

(a) A 及び B に於ける支反力

(b) 断面 II 及び K に於ける剪力

(c) 断面 B, H, 及び K に於ける彎曲力率に対する影響線を描け。

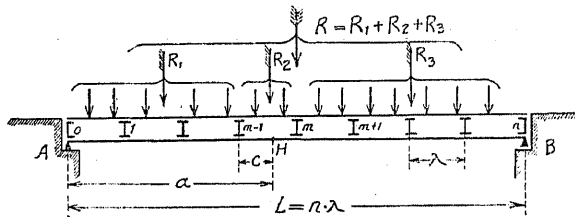


(9) 圖の如き間接荷

重を受けた桁に於いて任意断面 H に於ける彎曲力率が最小なる爲には、

$$\frac{R}{L} = \frac{R_1 + R_2 \frac{c}{\lambda}}{a} \quad \text{なる}$$

条件が必要なる事を證す。



(10) 圖の如き可動起重機 (自重 5t) が 1t の荷を支へて桁 AB を通過する時

(a) 支點 A 及び B に於ける

最大支反力、

(b) 断面 H に於ける最大、

最小剪力、

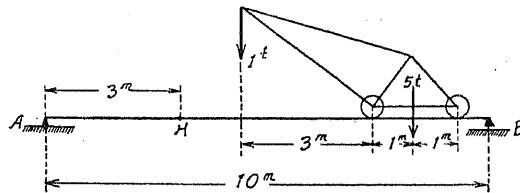
(c) 断面 H に於ける最大

彎曲力率、

(d) 桁に於ける絶対最大彎曲力率の起る位置及びその値

を求む。 (答) (a) 5.8t, 5t, (b) 4t, -1t, (c) 12tm,

$$(d) A \text{ より } 4\frac{5}{6}m, \quad 14\frac{1}{60}tm$$



(11) 圖の如き

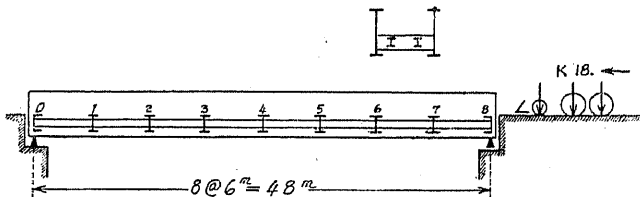
48m 徑間の下路

鉄桁を我國鐵道省

規定 K. 18 なる

列車荷重が通過す

る時



(a) 支點 A 及び B に於ける最大支反力

(b) 第二格間に於ける最大剪力

(c) 格點 (3) に於ける最大彎曲力率を求む。

(答) (a) 98.97t, 86.70t (b) 62.12t, (c) 1,003.55tm