

鐵路綫路上部建築 構件靜力計算

В·И·庫茲涅錯夫著

人民鐵道出版社

目 录

作者的話

第一章 鉄路綫路上部建筑構件靜力計算

§ 1. Н·П·甫澤列夫斯基教授的初始参数法(正比例法)	5
§ 2. 剪力計算及梁底切应力的影响	9
§ 3. 分布荷载的影响	11
§ 4. 不用正比例假定理論計算置於彈性基底上的梁	12
§ 5. 梁和基底的位移	16
§ 6. 軸向橫压应力的影响計算	17
§ 7. 置於彈性基底上的梁, 其任意点上載有集中力时所产生的 变形	17
§ 8. 對於梁中央載有两个对称的集中力时, 該梁所产生的变形	25
§ 9. 載有分布荷载时梁的变形	33
§ 10. 置於彈性半空間上的梁, 其某一点上載有集中力时的积分 方程式	35
§ 11. 置於彈性半空間上的梁, 对其中中央載有两个对称的集中力 时的积分方程式	36
§ 12. 置於彈性半空間上的梁, 其上載有不同荷载时的积分方程式	39
§ 13. 积分方程式的一般推演	43
§ 14. 积分方程式的解法	46
§ 15. 按彈性半空間理論計算鉄路枕木的实例	55
§ 16. 用彈性半空間理論計算梁的結果	62
§ 17. 用正比例法与彈性半空間理論計算枕木結果之比較	68
§ 18. 鋼軌靜力計算	74
§ 19. 按两个坐标軸計算置于連續彈性基底上的鋼軌(彈性理論	

的平面問題)	80
§ 20. 按三个坐标軸計算置于連續彈性基底上的鋼軌(空間問題)...	86

第二章 接 触 应 力

§ 1. 引言	94
§ 2. 在接触面上沒有切应力时，两个物体初次接触于一点上的 挤压	95
§ 3. 个别的情况	105
§ 4. 計算的示例	108
§ 5. 沿着綫开始相接触的兩個物体的压力，並考慮到接触面上 的切应力	114

参 考 文 献

作 者 的 話

鑑於鐵路通過能力和行車速度的提高，綫路上部建築靜力及動力計算的問題對運輸工作來說就具有了特殊的意義。

靜力計算系檢算鐵路綫路上部建築構件在承受機車車輛荷載時的堅固性；這種荷載可視之為靜荷載。至於動力計算則是計算與行車速度有影響的動力系數。

綫路上部建築構件的靜力計算：主要是計算綫路各構件內部在承受荷載時所產生的應力（例如：機車車輪對鋼軌所產生的壓力），計算這些構件的變形及其內部的應力。

在計算時，是將鋼軌視作支承在彈性支座上的多孔梁，或是把它看成為設在連續彈性基底上的梁。至於枕木，則是看作置在連續彈性基底上的梁。這樣一來，鐵路鋼軌和枕木的計算，可按照設在連續彈性基底上的梁計算方法進行之。

計算置於連續彈性基底上的梁的理論具有很大的實際意義。用此理論可以計算與房屋基礎有關的許多問題，計算鐵路綫路上部建築及隧道襯砌，以及設計水閘、船塢和其他水利工程建築物某些構件時，也可採用這個理論。這個理論不局限於與土壤直接有聯系的建築物才能採用，而且還頗有成效的可用於設計一系列的機器製造結構和在車輛製造業、器具製造業、以及一些其他的國民經濟部門中。

最初在計算置於連續彈性基底上的梁時，曾經是以在彈性基底面上每一點的彈性基底壓力強度與該點基底之下沉成正比例的假定理論為基礎的，也就是說：假定在該點上彈性基底的反力（抵抗力）和其他各點之下沉是沒有什麼關係的，因而就認為，

只是在梁將压力傳布到的地段表面上，才会产生彈性基底面的下沉。

但是，經驗証明，土壤或道碴表面的下沉，在基础或枕木范围以外也是同样会产生的。除此而外，还証明基底表面的下沉与作用在該表面的压力强度（或基底的反力强度）之間的关系，不仅取決於土壤及道碴的性質，而且还取決於基础及枕木的大小、傳布荷載的性質以及其他各种因素。

假若是把彈性基底当作一种各向同性的彈性半空間时，即否定正比例的假定理論，則这些基础和枕木作用的特点在理論上也是可以証明的。

本書第一章是研究綫路上部建筑各構件的計算問題，在这里既使用了彈性半空間法，也使用了正比例的假定理論。第二章在研究關於計算接触应力問題时，利用彈性半空間的方法。

教授 В·Н·庫茲涅錯夫

第一章 鐵路綫路上部建筑構件靜力計算

§ 1. H·Π·甫澤列夫斯基教授的初始参数法

(正比例法)

置於彈性基底上固定（不变）断面的梁（枕木，鋼軌，以及其它等等），其弯曲微分方程式为：

$$EIw''''(x) = q(x) - p(x), \quad (1,1)$$

式中 EI ——梁在弯曲时的刚度，以公斤/平方公分計算；

$q(x)$ ——梁上每一單位長度給定的主动荷載，以公斤/公分計算；

$p(x)$ ——彈性基底上每一單位的反力，以公斤/公分計算；

$w(x)$ ——梁軸的垂直位移（撓度），以公分計算。

根据正比例的假定理論，彈性基底面所受之荷載与其下沉之关系为：

$$p(x) = -cw(x), \quad (1,2)$$

式中 c ——比例系数，其值等於在 1 公分長的基底上促使其下沉 1 公分之力量的大小。

負号表示反力 $p(x)$ 作用的方向与位移 $w(x)$ 相反。

方程式 (1,1) 系梁之計算軸的位移与彈性基底接近之邊緣縱向纖維位移之間的差数，該数是無限小的。因此，可把 $w(x)$ 理解为基底之下沉及梁軸彈性綫之縱座标。当彈性基底为土壤时，則方程式 (1,2) 只适用于 $w(x)$ 在梁为正号的一些区段。

如果一个梁上有些区段沒有分佈荷載，例如作用於梁上只有

集中荷載時，則微分方程式 (1,1) 中之 $q(x)$ 應該等於零，這樣一來，其形式可寫成如下：

$$w^{IV}(x) + 4k^4 w(x) = 0, \quad (1,3)$$

式中 $k^4 = \frac{c}{4EI}$

方程式 (1,3) 之總積分為

$$w(x) = \sum_1^4 A_n e^{s_n x},$$

式中 A_n ——任意常數；

s_n ——適合於微分方程式 (1,3) 的特性曲線方程式

$s^4 + 4k^4 = 0$ 的根，等於：

$$s_1 = k + ik;$$

$$s_2 = k - ik;$$

$$s_3 = -k + ik;$$

$$s_4 = -k - ik.$$

上述微分方程式 (1,3) 的總積分可以變為下列形式：

$$w(x) = c_1 \operatorname{ch} kx \cos kx + c_2 \operatorname{ch} kx \sin kx + c_3 \operatorname{sh} kx \cos kx + c_4 \operatorname{sh} kx \sin kx \quad (1,4)$$

或

$$w(x) = e^{kx} (B_1 \cos kx + B_2 \sin kx) + e^{-kx} (B_3 \cos kx + B_4 \sin kx), \quad (1,5)$$

式中 C_1, C_2, C_3, C_4 是適應於 B_1, B_2, B_3, B_4 的任意常數；

這些數可以用常數 A_1, A_2, A_3, A_4 表示之。

任意常數可以用所謂之初始參數 w_0, φ_0, M_0 及 Q_0 表示，即初次在梁上所取之某一斷面（圖 1）相應的撓度，轉角（傾斜角），彎矩和剪力的各數值。

函數 $w(x)$ 及其微商在坐標起點上必須適合於下列各項條件：

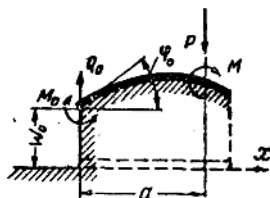


圖 1

$$\begin{aligned}w(x)|_{x=0} &= w_0; \\w'(x)|_{x=0} &= \varphi(x)|_{x=0} = \varphi_0; \\EIw''(x)|_{x=0} &= M(x)|_{x=0} = M_0; \\EIw'''(x)|_{x=0} &= Q(x)|_{x=0} = Q_0.\end{aligned}$$

位移之正方向 w 和 φ 及梁橫截面內之 M 和 Q 可見圖1.

以微分方程式 (1,3) 算出之 (1,4) 形式为基础, 並使自变数 $x=0$ 代入 $w(x)$ 及有关微商的方程式內, 則得下列方程式:

$$\begin{aligned}w_0 &= C_1; \\ \varphi_0 &= k(c_2 + c_3); \\ M_0 &= 2EI k^2 c_4; \\ Q_0 &= 2EI k^3(c_2 - c_3).\end{aligned}$$

由式中找出任意常数值:

$$\begin{aligned}c_1 &= w_0; \\ c_2 &= \frac{1}{2k} \varphi_0 + \frac{1}{4k^3 EI} Q_0; \\ c_3 &= \frac{1}{2k} \varphi_0 - \frac{1}{4k^3 EI} Q_0; \\ c_4 &= \frac{1}{2k^2 EI} M_0.\end{aligned}$$

將其代入撓度方程式 (1,4) 內, 便得:

$$w(x) = w_0 A_x + \frac{1}{k} \varphi_0 B_x + \frac{1}{k^2 EI} M_0 C_x + \frac{1}{k^3 EI} Q_0 D_x \quad (1,6)$$

式中 A_x, B_x, C_x, D_x 代表之函数为:

$$\left. \begin{aligned}A_x &= \operatorname{ch} kx \cos kx; \\ B_x &= \frac{1}{2} (\operatorname{ch} kx \sin kx + \operatorname{sh} kx \cos kx); \\ C_x &= \frac{1}{2} \operatorname{sh} kx \sin kx; \\ D_x &= \frac{1}{4} (\operatorname{ch} kx \sin kx - \operatorname{sh} kx \cos kx).\end{aligned} \right\} \quad (1,7)$$

A_x, B_x, C_x, D_x 之函数曲綫, 見圖2。

其數字所示之值已列入『彈性基底』一書中表內^①。

將 (1,6) 方程式中之剛度 EI ，以 $\frac{C}{4k^3}$ 值代之，即得：

$$w(x) = w_0 A_x + \frac{1}{k} \varphi_0 B_x + \frac{4k^2}{c} M_0 c_x + \frac{4k}{c} Q_0 D_x, \quad (1,8)$$

將方程式 (1,8) 先后微分之，即可得出 $\varphi(x)$, $M(x)$ 及 $Q(x)$ 各公式。

綜合其在梁上作用有集中橫向荷載系統 P_i 及彎矩 M_i 時 (見圖 1)，即可得出：

$$\left. \begin{aligned} w(x) &= w_0 A_x + \frac{1}{k} \varphi_0 B_x + \\ &+ \frac{4k^2}{c} \sum M_i c_{x-x_i} - \frac{4k}{c} \sum P_i D_{x-x_i}; \\ \varphi(x) &= \varphi_0 A_x + \frac{4k^3}{c} \sum M_i B_{x-x_i} - \\ &- \frac{4k^2}{c} \sum P_i c_{x-x_i} - 4k w_0 D_x; \\ M(x) &= \sum M_i A_{x-x_i} - \frac{1}{k} \sum P_i B_{x-x_i} - \\ &- \frac{c}{k^2} w_0 c_x - \frac{c}{k^3} \varphi_0 D_x; \\ Q(x) &= - \sum P_i A_{x-x_i} - \frac{c}{k} w_0 B_x - \\ &- \frac{c}{k^2} \varphi_0 c_x - 4k \sum M_i D_{x-x_i}. \end{aligned} \right\} (1,9)$$

梁的兩個初始參數往往在計算梁之前就是已知的，或者可以用兩個其他的初始參數來代替。因此在運用初始參數法時，無論遇到任何型的荷載及任何種類的連連接頭，其置於連續彈性基底上之梁的計算問題，經常需要解算帶有兩個未知數的兩個代數聯立方程式。

於是置於連續彈性基底上梁的計算理論就成為極普遍性的和不複雜的方法，因而也就成為一個完全合乎實際的一個計算方法。

① 見B·H·庫茲涅維夫所著“彈性基底”，1952年國家建築出版社。

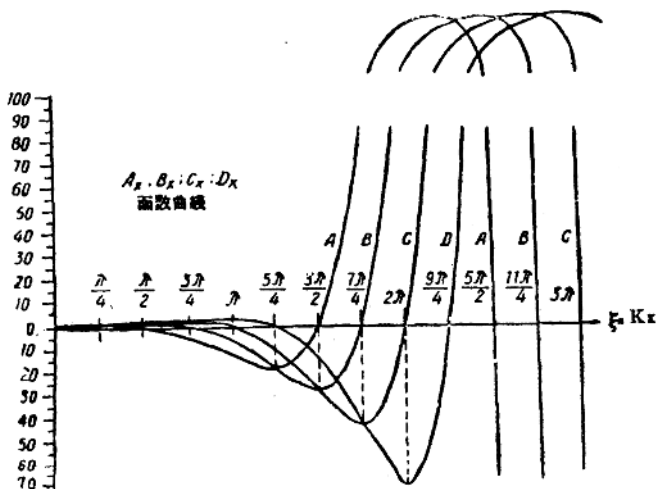


圖 2

§ 2. 剪力計算及梁底切應力的影响

a) 剪 力 計 算

除由弯矩所产生的垂直应力而外，在梁的横截面上还作用着由剪力所产生的切应力。切应力在某些情况下對於梁的变形影响頗大，故在計算时對於这一点必須予以考虑。

梁上任何截面的挠度 $w(x)$ 都是由於弯矩所引起的挠度 $w_1(x)$ 及因剪力所产生的挠度 $w_2(x)$ 而組成的：

$$w(x) = w_1(x) + w_2(x). \quad (1, 10)$$

微分这个方程式，即得

$$w'(x) = w'_1(x) + w'_2(x) = \varphi_1(x) + \varphi_2(x) = \varphi_1(x) - \frac{Qm}{GF};$$

$$w''(x) = \varphi'_1(x) - \frac{Q'm}{GF} = \frac{M(x)}{EI} - \frac{P(x)m}{GF},$$

或根据 (1, 2) 式得：

$$w''(x) = \frac{M(x)}{EI} + w(x) \frac{Gm}{GF};$$

$$w'''(x) = \frac{Q(x)}{EI} + \frac{w'(x)cm}{GF};$$

$$w^{IV}(x) = \frac{P(x)}{EI} + \frac{w''(x)cm}{GF}$$

又根据 (1,2) 式得

$$w^{IV}(x) - \frac{mc}{GF} w''(x) + \frac{c}{EI} w(x) = 0.$$

使相对横座标 $\xi = \frac{x}{a}$ 便得

$$w^{IV}(\xi) - 4s w''(\xi) + 4w(\xi) = 0, \quad (1,11)$$

式中 $s = \frac{mc}{4GFk^2};$

F ——梁横截面的面积;

G ——剪移的模量;

m ——梁横截面内切应力分布不平衡的系数; 对圆形物体 $m = 1.185$, 矩形物体 $m = 1.2$ 。

6) 梁底切应力影响的计算

如考虑由於梁底的縱向位移所产生之基底的切綫反力, 則置於彈性基底上梁的弯曲微分方程式將变为 (1,11) 的形式^①:

$$w^{IV}(\xi) + 4s_1 w''(\xi) + 4w(\xi) = 0. \quad (1,12)$$

式中 $s_1 = -\frac{ed^2}{4EI k^2};$

d ——梁的一半高度;

e ——彈性基底抵抗切綫位移的系数(其值类似於 c 值)。

在符合於初始参数方法的形式中, 积分方程式 (1,11) 及 (1,12) 之形式为:

$$w(\xi) = A_1 w(0) + B_1 w'(0) + C_1 w''(0) + D_1 w'''(0). \quad (1,13)$$

① И. В. 烏尔申教授著 “在彈性基底上薄板微分方程式的积分” 及其一些附录。建筑物的理論研究。見1949年建筑出版社出版的第四号彙編。

微商 $w'(0)$, $w''(0)$ 及 $w'''(0)$ 可以梁的初始参数表示之。

A_ξ , B_ξ , C_ξ , D_ξ 函数若把前面所列的函数 A_x , B_x , C_x , D_x [見 (1,7)] 彙总起来, 便得出下式:

$$\left. \begin{aligned} A_\xi &= \operatorname{ch} u \xi \cos v \xi - \frac{u^2 - v^2}{2uv} \operatorname{sh} u \xi \sin v \xi; \\ B_\xi &= \frac{3v^2 - u^2}{2v(u^2 + v^2)} \operatorname{ch} u \xi \sin v \xi + \\ &\quad + \frac{3u^2 - v^2}{2u(u^2 + v^2)} \operatorname{sh} u \xi \cos v \xi; \\ C_\xi &= -\frac{1}{2uv} \operatorname{sh} u \xi \sin v \xi; \\ D_\xi &= \frac{1}{2(u^2 + v^2)} \left(\frac{\operatorname{ch} u \xi \sin v \xi}{v} - \frac{\operatorname{sh} u \xi \cos v \xi}{u} \right). \end{aligned} \right\} \quad (1,14)$$

式中所採用的:

$$\left. \begin{aligned} u &= \sqrt{1+s}; & v &= \sqrt{1-s}; \\ \text{或者} & & & \\ u &= \sqrt{1-s_1}; & v &= \sqrt{1+s_1}. \end{aligned} \right\} \quad (1,15)$$

若設 $s=0$ (不包括剪力的影响) 或 $s_1=0$ (不包括梁底切应力的影响), 則將 $u=v=1$, 而 (1,14) 式內之函数即將变为 (1,7) 式內之函数。

§ 3. 分布荷载的影响

利用 (1,9) 公式, 可以得出計算分布荷载的附加影响公式。

为此, 對於每一个小段上 Δz_i 的荷载可用集中力代替之 (圖3)。那么, 分布荷载對於几个小段 Δz_n 之挠度 $w(x)$ 的影响值可使其近似於下列之总和形式:

$$\sum_{i=1}^{n-1} -\frac{4k}{C} q_i \Delta z_i D_{x-z_i}.$$

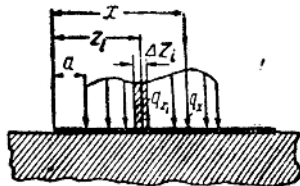


圖 3

为了精确地計算这个影响力，必須尽量使每一个小段 Δz_i 的数值趋近於零。將上式所列的总和改写为定积分，其下限 a 等於受荷载区段起点的座标，其上限 x 等於計算該分布荷载影响力終点的座标。則分佈荷载對於撓度的影响可以下列积分式表示之：

$$f(x) = -\frac{4k}{C} \int_a^x q_z D_{x-z} dz。$$

若使 $q_z = q = \text{const}$ ，則得：

$$f(x) = -\frac{4q}{C} \int_a^x D_{x-z} dz = \frac{1}{C} q (A_{x-a} - 1)。$$

該式為考慮在梁上作用有均布荷载撓曲方程式中的附加項，其作用的区段為自 $x=a$ 起，至欲研究的断面 x 处止。轉角、弯矩、剪力和基底反力各方程式的附加項均可用类似的方法求得之。其均布荷载的数值均列入表 1 內。

方程式 (1.9) 之附加項

表 1

撓度 $m(x)$	轉角 $\varphi(x)$	弯矩 $M(x)$	剪力 $Q(x)$	基底反力 $p(x)$
$\frac{1}{c} q (A_{x-a} - 1)$	$-\frac{4k}{c} q D_{x-a}$	$-\frac{1}{k^2} q C_{x-a}$	$-\frac{1}{k} q B_{x-a}$	$-q (A_{x-a} - 1)$

§ 4. 不用正比例假定理論計算置於彈性基底上的梁

(彈性半空間法)

前几节各計算公式所依据的正比例假定理論是假定彈性基底面上每一点的下沉，仅仅有賴於該点基底上梁底的压力强度。而实际上，下沉是与梁的整个底面傳到基底面上压力有关系。这种情况可以当作彈性基底來計算，例如可以看作为彈性半空間。

当在該彈性基底上作用有一集中力 p 时，其基底面的下沉則成圖 4 所示的形狀。由集中力到 a 点的距离为 x 时，則 a 点之下沉可以下列公式表示之。

$$w(x) = pf(x);$$

若 $x=0$ 时，則彈性半空間函数 $f(x)$ 即成为無限大。

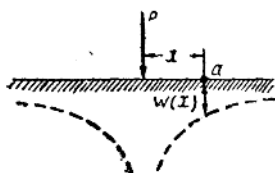


圖 4

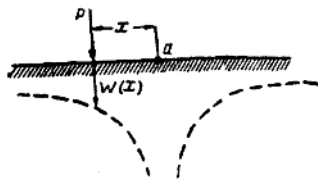


圖 5

圖 4 內所示之下沉圖可当作影响綫使用。如有一單位荷載置於 a 点 (圖 5) 上，即依該單位荷載在 a 点上繪一下沉圖，則該圖即將為 a 点的下沉影响綫。为了求算距作用力 p 為 x 距离的 a 点的下沉量，可將荷載下之縱座标乘以 p 值即可。

設梁上的荷載是按某一曲綫 $p(x)$ (圖 6) 分布到基底上，則可求出由坐标起点至 x 距离上之 a 点的下沉的一般算式。

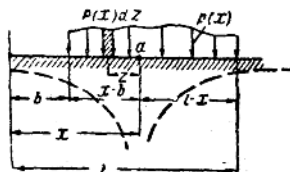


圖 6

將荷載分为無限多的集中荷載，並使每一个荷載等於 $p(x) dz$ 。其次繪出 a 点之下沉影响綫，使其縱座标等於 $f(z)$ 。如果把集中荷載乘以 $f(z)$ ，則 a 点之全部下沉將等於：

$$w(x) = \int_0^{x-b} p(x-z) f(z) dz + \int_0^{l-x} p(x+z) f(z) dz。$$

該式是不能进行积分的，因为在积分式內有未知函数 $p(x-z)$ 和 $p(x+z)$ 。

將算式 $w(x)$ 代入 (1,1) 方程式內，則得下列之微积分方程式：

$$w^{iv}(x) = \frac{d^4}{dx^4} \left\{ \int_0^{x-b} p(x-z) f(z) dz + \right.$$

$$+ \int_0^{1-x} p(x+z) f(z) dz \Big\} = - \frac{p(x)}{EI}.$$

要想精确地解此方程是很困难的。

为了进行下一步的推算，我們可以引用在彈性半空間理論中众所週知的表面下沉方程式，在該表面上作用有一个垂直的集中力（圖4）。

設边界表面（半空間面）之任意一点 a ，沿垂直方向的位移为 w ，則求位移 w 的方程式如下：

$$w(x) = \frac{1}{\pi E'_0} \cdot \frac{p}{r}, \quad (1,16)$$

式中 p ——作用於半空間上的垂直压力；

$$E'_0 = \frac{E_0}{1 - \mu_0^2};$$

E_0 ——半空間的彈性模量；

r ——由着力点 p 至 a 点的距离；

μ_0 ——橫向变形的系数（波桑系数）。

按公式 (1,16) 位移 w 与 x 值之关系，可見圖4之虛綫；隨着 a 点逐漸地接近於集中力 p 之着力点时，其位移 w 值即逐漸增大，及至 $x=0$ 时，則位移 w 即变为無限大。

但是，这种結論完全是一种形式，因为在实际情况中，像这样作用的集中力是不会有，而在公式 (1,16) 如作用有分布荷載时，則公式 (1,16) 就会得出一个最后的位移 w 值来。

承受分布荷載的彈性半空間表面任何一点之位移 w 值等於：

$$w(x_1, y_1) = \frac{1}{\pi E'_0} \int_F \frac{p(x, y) dF}{r}, \quad (1,17)$$

式中 dF ——彈性半空間表面上的微面积，在該面上作用有压力 $p(x, y)$ ，以公斤/平方公分計；

x_1 及 y_1 ——半空間表面上之研究点的座标；

x 及 y ——微面积 dF 的座标。

当梁为长方形，其底边之長、寬为 $2a$ 及 $2b$ ，而 x 、 y 之座标（圖 7）又在其中心时，則公式 (1,17) 应採用下列形式：

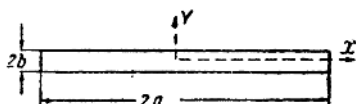


圖 7

$$w(x_1, y_1) = \frac{1}{\pi E'_0} \int_F \frac{p(x, y) dx dy}{r(x, y, x_1, y_1)}. \quad (1,18)$$

因为 $a \gg b$ ，那么，順着每一条平行於 Y 軸的直綫所受之压力 $p(x, y)$ ，可以用平均压力 $p_1(x)$ 代替之。

因此，公式 (1,18) 可以改写为：

$$w(x_1, y_1) = \frac{1}{\pi E'_0} \int_{-a-b}^{+a+b} \int_{-a-b}^{+a+b} \frac{p_1(x) dx dy}{\sqrt{(x_1-x)^2 + (y_1-y)^2}}. \quad (1,19)$$

为了积分我們可以把新的变数代入公式 (1,19) 內：

$$x_1 = a\xi;$$

$$y_1 = b\eta;$$

$$x = at;$$

$$y = bs;$$

$$b = a\Delta.$$

將公式 (1,19) 积分之后，則得

$$w(\xi, \eta) = \frac{a}{\pi E'_0} \int_{-1}^{+1} p_1(t) \left\{ \text{Ar sh } \frac{\Delta(\eta+1)}{|\xi-t|} - \text{Ar sh } \frac{\Delta(\eta-1)}{|\xi-t|} \right\} dt. \quad (1,20)$$

由於 $a \gg b$ ，則在 Y 軸上的弯曲就可以不加研究，設使 $\eta=0$ ，則

$$w(\xi) = \frac{2a}{\pi E'_0} \int_{-1}^{+1} p_1(t) \text{Ar sh } \frac{\Delta}{|\xi-t|} dt. \quad (1,21)$$

設若 $w(\xi) = a_0 \zeta_0$;

$$p(t) = 2b p_1(t).$$

則, (1,21) 方程式即成为下列形式

$$\zeta_0 = \frac{1}{n E_0' b} \int_{-1}^{+1} p(t) \operatorname{Arsh} \frac{\Delta}{|\xi - t|} dt = a_0 k_0(\xi), \quad (1,22)$$

式中

$$a_0 = \frac{1}{n E_0' b},$$

$$K_0(\xi) = \int_{-1}^{+1} p(t) \operatorname{Arsh} \frac{\Delta}{|\xi - t|} dt.$$

公式 (1,22) 乃是表述当梁之底部为长方形时, 其基底反力之分布与变形的关系。

§ 5. 梁和基底的位移

我們研究一下置於連續彈性基底上的梁, 其橫断面为長方形, 並承受有任意的荷載。

設使由於梁底垂直应力 σ_y (基底反力) 的作用, 对梁之橫断面下半部所产生的相对变形用 $\zeta(\xi)_{c.m.}$ 表示, 用 $\zeta(\xi)_0$ 表示基底的相对下沉, 並用 $\zeta_1(\xi)$ 表示梁橫断面重心的相对垂直位移。

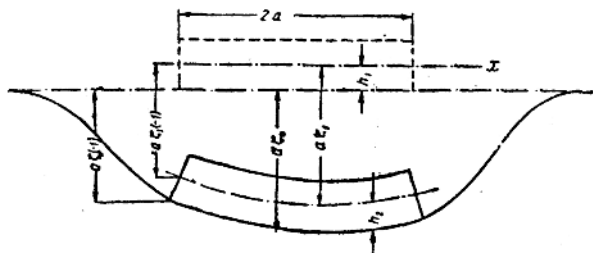


圖 8

則相对的变形、下沉及位移即等於下沉和位移变形的数值再用梁之一半長度 a 除之即得。至於他們彼此相互間的关系(圖8)