

路基各部分計算与設計

M · A · 甫利什曼 著

人民鐵道出版社

序 言

苏联共产党第十九次代表大会关于第五个五年计划的指令向铁路运输提出了一系列的重要任务。对于线路业务情况的改善给了很大注意。在解决这个任务当中，健全、稳固、耐久、便宜的路基的设计问题，具有特别重要的意义。

在计算和设计路基各组成部分的领域中，很多俄罗斯学者的卓越成就，给了我们在这方面广阔的实际可能性。

苏维埃政权年代中，在路基领域内的成就更是特别多。科学院士 Ф. П. 薩瓦運斯基，Н. Н. 巴甫洛夫斯基；苏联科学院通讯院士 Н. М. 格尔謝万諾夫，Н. А. 崔托維奇，В. В. 薩科洛夫斯基，В. Н. 維捷尼索夫；教授 А. М. 伏洛洛夫，Г. М. 沙湖年慈，М. Н. 郭里式太因，В. П. 波諾馬廖夫等人著名的著作很鮮明地証明了这一点。

在这本参考書中所叙述的路基最主要組成部分的計算与设计方法，差不多全是根据 Г. М. 沙湖年慈的著作。

本参考書的内容是与交通部各高等学校中適用於建筑專業的『铁路线路的设置』課程設計大綱所规定的問題相一致的。

在本書中，部分地应用了我在 1940 及 1942 年所寫的参考書『路基設計方法及計算实例』的兩個版本中的材料。我希望这本小書不僅是對於作課程設計或畢業設計的学生們有用，並且對於铁路运输設計机关也是有用的。

教授 М. А. 甫利什曼

於德涅泊罗彼得罗夫斯克

目 錄

序言

第一章 路基穩定斷面的計算與設計	1
§1. 高路堤穩定計算圖解分析法	1
§2. 河灘路堤边坡穩定計算法	11
§3. 路堤边坡穩定郭里式太因教授計算法	20
§4. 滑動面預先決定了的情況下路基边坡穩定沙湖 年慈教授計算法	26
§5. 路塹边坡穩定沙湖年慈教授分析計算法	29
§6. 高路堤堤身不容許剩餘壓實變形的計算	32
§7. 路塹體內垂直應力計算法	35
第二章 排水溝設計與水力計算法	45
§1. 排水溝設計的一般原則	45
§2. 排水溝水力計算法	48
§3. 排水溝實際設計與計算的簡化方法的說明	56
§4. 排水溝水力計算例題	60
第三章 路塹內防止凍隆措施的設計與計算	67
§1. 盲溝的設計及計算	68
§2. 爐渣墊層的設計與計算	84
§3. 關於防止凍隆措施各方案近似比較方法的問題	88
附錄	90

第一章 路基穩定斷面的計算與設計

所謂穩定路基的計算，是指路基穩定程度與堅固程度的計算而言。這種或那種計算彼此是不可分地聯系着的，因為它們都決定於同樣的一些土壤的基本計算特性。這些土壤基本計算特性是：內摩擦角，單位黏聚力，土壤單位重。

土壤計算特性的數值不是固定不變的。它們是土壤濕度、密度、溫度等等的函數。而土壤的濕度、密度、溫度隨着時間變化。

這樣，為了建成穩定的路基，就產生了以下幾個任務：調整地表水流與地下水流；人工填筑路堤的壓實；路基基身合理斷面的設計；支撐、防水及其他建築物的設置。

我們先來研究高路堤边坡穩定計算問題。

§1. 高路堤穩定計算圖解分析法

開始我們先敘述一下已經設計了的（或現有的）路堤的边坡穩定檢算原則，然後我們講在整個未來路堤高度內具有相等穩定程度边坡的新路堤斷面的設計方法。

甲）現有路堤的边坡穩定檢算方法

設已知路堤橫斷面如圖一所示，並根據實驗室的分析確定土壤性質如下：單位重 γ (m/m^3)，單位黏聚力 C (m/m^2) 和內摩擦角 φ (度)。

在着手進行計算，也就是說在着手進行必要的圖解之前，必須先考慮臨時載重的作用。臨時載重用畫在基床上的虛土柱來代替。虛土柱的高度 h_0 由下列關係式決定：

$$h_0 = \frac{p}{\gamma a} \quad (1)$$

式中 p ——單位長度內的臨時載重量;
 γ ——土壤單位重;
 a ——枕木長度。

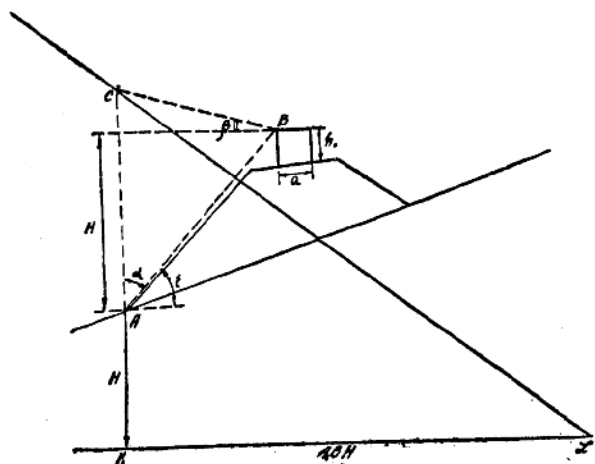


圖 1

假如給出的是雙綫區間，那麼就要設兩個虛土柱(參看圖2)°

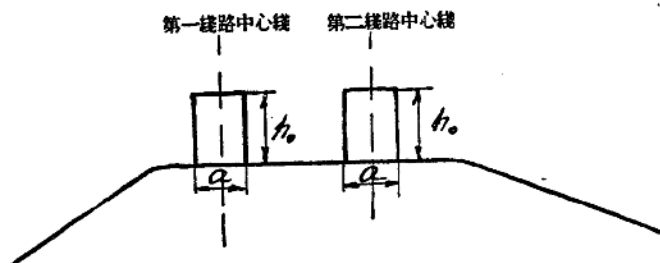


圖 2

通常，穩定計算是在檢查與圖紙成垂直方向的單位長的路堤斷面下進行的。如設下滑土體的滑動面為圓柱形，就必須作此下滑土體的可能滑動曲綫。為此，必須首先確定可能滑動曲綫圓心綫的位置。

可以用兩種方法來制作圓心綫。

第一法。

a) 引虛边坡 AB ，並量得角 ϵ （例如用量角器）。角 ϵ 是虛边坡 AB 與通過 A 点的水平綫在 A 点所組成的。

6) 按圖 3 所示之圖表來決定角 α 及 β ；角 α 與 β 是角 ϵ 的函數。沿反時針方向在 A 点自虛边坡 AB 作 α 角；沿時針方向在 B 点自通過 B 点的水平綫作 β 角。 α 與 β 角作好后，它們的外邊相交成 C 点。

Б) 自 A 点量边坡之虛高 (H)（參看圖 1）。自 A 点沿垂直綫向下敷以求得之 H 值至 K 点；自 K 点沿水平方向向右截以等於 $4.5H$ 的綫段 $\overline{KL}$ 。

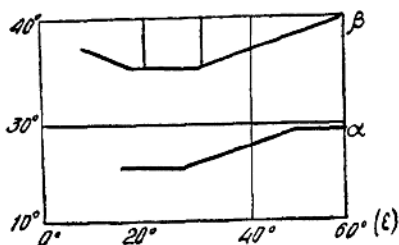


圖 3

г) L, C 兩点以直綫相聯。此直綫即作為土壤之可能坍塌曲綫圓心的分佈地帶。

第二法。

作圓心綫的第二法較第一法簡單得多。此法歸結於自 B 点引一與水平方向成 36° 角之直綫 BC （也即圓心綫）（參看圖 4）。

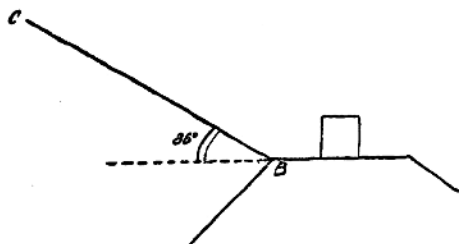


圖 4

可能坍塌曲線的圓心綫作成后，必須作几个这样預料的曲線（即圓曲線），並且对每个曲線計算边坡穩定系数。

作可能坍塌曲線的方法如下：

假設可能坍塌曲線經過簡單型边坡之基底 A （圖 5）和以下諸点中之一點：1（沿路基中綫）；2, 3（在枕木兩端）；4（在路基頂肩）；在路基边坡上之 5, 6。

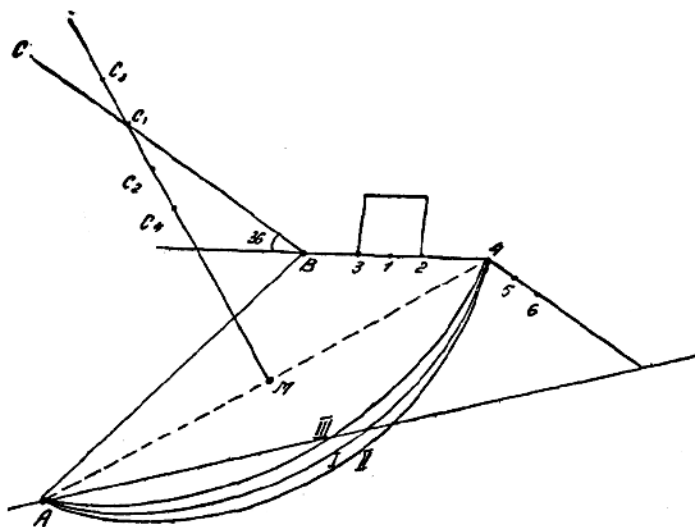


圖 5

假定說，开始我們作了通过 $A-4$ 的一條曲線，然后作了通过 $A-2$ ， $A-5$ 等兩條曲線。假如對於 $A-4$ 曲線的穩定系数是最小的，那么就沒有必要由 2 再向左，或由 5 再向右作曲線了。假如最小的穩定系数符合於曲線 $A-2$ ，那就需要檢查对曲線 $A-1$ 等的穩定系数值了。

对每條曲線，例如对 $A-4$ ，也需要計算最小的可能的穩定系数。为了这个目的就必需作几个不同半徑的曲線通过兩個固定

点，例如 $A-4$ 。

作曲线的技术如下。假如坍塌曲线将经过 $A-4$ 两点。将此两点连以直线，显然这条直线就是各曲线的弦。自此弦的中点 (M 点) 作垂直线与圆心线 BC 交于 C_1 点， C_1 乃可能曲线之中心。将圆规脚放在 C_1 点上，然后将圆规张至 C_1A (或 C_14) 之大小，作圆弧 $A-I-4$ 。以后再在此 $A-4$ 弦的垂直线上选一点 C_2 ，并作圆弧 $A-II-4$ 。最后选择 C_3 点，并作弧 $A-III-4$ 。

对于每一条曲线都要计算稳定系数。同时，假如对于圆心是 C_2 的曲线求得之稳定系数小于符合于圆心 C_1 之稳定系数，那么第三个控制计算 (为了寻找最小的稳定系数) 就必须是对以 C_4 (低於圆心 C_2) 为圆心的曲线去进行，而不是对以 C_3 为圆心的曲线。

现在我们来研究一下对任何一条可能坍塌曲线的稳定系数计算方法。

如众所知，稳定系数按下式来计算：

$$K = \frac{f \cdot \gamma \cdot \Sigma \omega_i \cos \beta_i + cl + [\gamma \Sigma \omega_i \sin \beta_i]_{\text{заер.}}}{[\gamma \Sigma \omega_i \sin \beta_i]_{\text{сдвиг.}}} \quad (2)$$

这里： f ——路堤土壤摩擦系数，并且

$$f = \operatorname{tg} \varphi, \text{ 其中 } \varphi \text{——摩擦角;}$$

γ ——土壤单位重;

C ——单位黏聚力;

l ——坍塌曲线长度，并且

$$l = \frac{\pi r \beta_\varphi}{180},$$

其中 r ——坍塌曲线半径， β_φ ——与圆弧 l 对应的中心角。

假如稳定系数 $K \geq 1.5$ ，路堤边坡即认为是稳定的。

Г. М. 沙湖年慈教授* 指出，假如土壤设计特性是由该路堤内土壤的特别实验室试验所求得的，就可以采取 $K \geq 1.2$ 。

在作完某一个坍塌曲线之后，下滑土体即分割为若干宽 2—5

* Г. М. 沙湖年慈教授“线路与线路业务”，铁路运输出版社1949年版第44页。

公尺的条子（参看圖 6）。这些条子乃由垂直划綫組成。頂好这些划綫画在所有的下滑土体外形的轉折处。

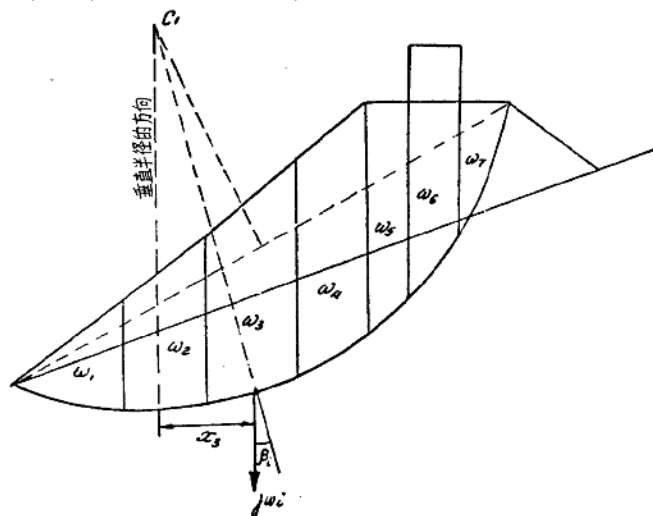


圖 6

为了計算必須知道每个条子的面積 ω_i 和角 β_i 。角 β_i 系由条子重量的垂直向量与法綫組成的（参看圖 6）。

实际上所指出的这些任务这样來完成：找所有条子的近似面積，就像找簡單圖形——三角形，梯形的面積一样；而角 β_i 或用量角器量，或按正弦求得。按正弦求角 β_i 准确得多。

后一个方法这样來作。知道了条子重心在曲綫上的投影点以后，經過这个投影点引一水平綫直至与垂直的半徑相交（参看圖 6，在圖 6 中为了举例表示出从垂直的半徑到第三个条子的重心投影的距离 x_3 ）。

按比例尺量好 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 之后，就來計算：

$$\sin \beta_1 = \frac{x_1}{r}; \sin \beta_2 = \frac{x_2}{r}; \dots, \sin \beta_n = \frac{x_n}{r};$$

其中 r ——坍塌曲綫半徑。

知道了 $\sin \beta_i$ ，很容易找 β_i ；顯然也很容易找 $\cos \beta_i$ 。

当完成了以上所指出的各步驟及預先量了尺寸以后，就能着手按公式（2）直接決定穩定系数了。只是应当指出，僅在条重的切分力（ $\gamma \omega_i \sin \beta_i$ ）方向与滑动方向相反时，切分力才列入分子中（例如，圖 6 的 ω_1 条中）；或者說，只是對於那些在曲綫的垂直半徑之左的条子才把这个分力列入分子中（參看圖 6）。

与決定 $\Sigma \omega_i \cos \beta_i$ 及 $\Sigma \omega_i \sin \beta_i$ 相联系的計算中的最繁重部分在下列形式（表 1）的表格中進行是最便利的。

表 1

順 号	$\sin \beta_i$	β_i	$\cos \beta_i$	ω_i	γ	$\gamma \omega_i$	$\gamma \omega_i \cos \beta_i$	$f = \tan \phi$	$f \gamma \omega_i \cos \beta_i$	$[\gamma \omega_i \sin \beta_i]_{\text{сн.}}$	$[\gamma \omega_i \sin \beta_i]_{\text{уд.}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
									$\Sigma f \gamma \omega_i \cos \beta_i$	$[\Sigma \gamma \omega_i \sin \beta_i]_{\text{сн.}}$	$[\Sigma \gamma \omega_i \sin \beta_i]_{\text{уд.}}$

上述的現有路基断面边坡穩定檢算法，適於簡單的情況，即当路堤边坡为直綫时（边坡坡度为不变数）。

我們对具有曲折外形（如圖 7）的路堤边坡穩定計算法作一些补充。

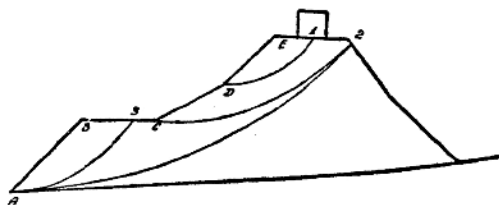


圖 7

在这种情况下必須确信，在任何高度上，在所有断面轉折

处，路堤应同样地稳定。因而必须求得几个最小的稳定系数及与这些系数相适应的极限曲线（它们要通过所有断面的转折点）。

利用已经叙述过的直线边坡稳定算法时，应当完成相似的一些步骤，例如，对曲线 Д-1（Д-2等），С-2（С-1等），А-2（А-1等），А-3（А-С等）（参看图7）。

只有对路堤边坡稳定作了这样详尽的检查以后，才能对这一问题得出最后结论。

乙) 设计新的高路堤时边坡稳定算法

如已指出的，由我们设计的路堤的稳定性决定于以下几个条件：

а) 在路堤整个高度内应有的边坡均等稳定性；б) 由于列车载重及自重不产生剩余变形。估计到这个重要的情况，设计路堤断面时便不得不考虑选择这样一些土壤设计特性，以便它们既能满足于未来路堤在工作中不产生沉陷，又能满足于路堤边坡的可靠的稳定性。为此就应当选择需要的土壤单位重，这个土壤单位重要符合于所要求的土壤压实程度，而要求的土壤压实程度是不允许剩余变形的。

在这种情况下，采取以下的计算步骤。

1. 把路堤看作顶端载有连续集中荷重的无限弹性楔体（参看图8）。

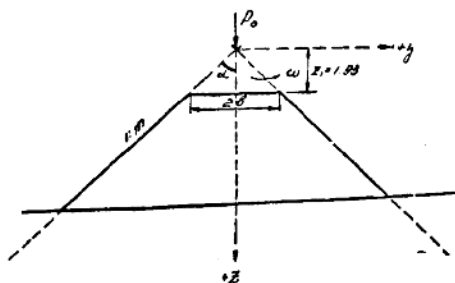


圖 8

$$P_0 = p - \gamma \omega = p - \gamma \frac{b^2}{m}, \quad (3)$$

其中 p ——单位长度内临时荷重；

b ——基床之半寬；

γ ——尋求的路堤土壤平均單位重。

(在計算中我們將採取在基床中點之土壤單位重*)。

求 γ 的計算按次第漸近法進行。

2. 計算由臨時荷重及自重 in 基床中點所發生的應力。

$$\sigma = - \left(\frac{2P_0}{2\alpha + \sin 2\alpha} \cdot \frac{z^3}{(z^2 + y^2)^2} + \gamma h \right), \quad (4)$$

其中 z, y ——路堤上該點之座標；

α ——在圖 8 上所示之角；

h ——在路堤內該點上之土柱高度。

在 1:1.5 边坡的情況下對於所選擇的點 (對此點 $y = 0$) 將得到：

$$\sigma = - \left(\frac{P_0}{1.444z} + \gamma h \right) \quad (5)$$

3. 利用壓縮曲綫 (圖 9) 和計算應力值 σ_p 來近似地按下式求設計孔隙比：

$$\varepsilon_p = \varepsilon_H - \frac{\varepsilon_H - \varepsilon_K}{\sigma_n} \cdot \sigma, \quad (6)$$

其中字母意義由圖 9 自明。

4. 計算干土單位重：

$$\delta_p = \frac{\Delta}{1 + \varepsilon_p}, \quad (7)$$

其中 Δ ——土壤顆粒比重。

5. 計算土壤單位重：

$$\gamma_p = \delta_p (1 + W), \quad (8)$$

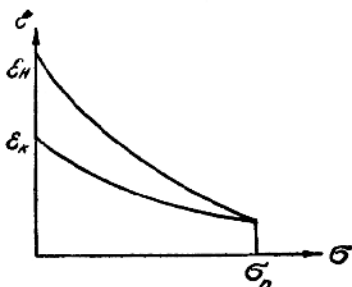


圖 9

* 有時採取在路基中綫路堤半高處的土壤單位重。

其中 W ——土壤的重量含水率。

6. 將求得之 γ_p 与在式 (3) 中所假設者相比較, 若按式 (8) 求得之 γ_p 值与在式 (3) 中所採用者不符合时, 則採用 γ_r (按式 (8) 求得者) 按此程序重新計算。

7. 这样, 求得平均的設計單位重后, 可着手計劃已知高度的路堤的橫断面。为此, 首先应將臨時連續荷重用土壤虛柱体來代替。該虛土柱分佈於枕木全長上, 其高度为

$$h_0 = \frac{p}{\gamma_p a}, \quad (9)$$

其中 p ——臨時連續荷重;

γ_p ——按式 (8) 求得之土壤設計單位重(按照第六点);

a ——枕木長。

8. 我們开始从路堤的上部繪制它的断面。通常設計路堤上部使其具有 1:1.5 坡度的边坡。

按現行技術条例對於沙(粗沙及中沙)及土夾石來說, 边坡为 1:1.5 的路堤高 (H_1) 是 10 公尺。對於能用來建筑路堤的其他土壤則为 6 公尺。

路堤下部 (H_2, H_3) 边坡之坡度应依路堤之全高及土壤設計特性之不同而進行个别設計。僅能建議下列路堤漸次平緩的边坡設計的約略概数:

在路堤总高 ~ 10 公尺时:

$H_1 = 6$ 公尺	1:m = 1:1.5
$H_2 = 3$ 公尺—6 公尺	1:m = 1:1.75
$H_3 = 0—3$ 公尺	1:m = 1:2

在路堤总高 ~ 20 公尺时:

$H_1 = 6$ 公尺	1:m = 1:1.5
$H_2 = 6$ 公尺—8 公尺	1:m = 1:1.75
$H_3 = 8$ 公尺—6 公尺	1:m = 1:2

当路堤总高超过 10 公尺时, 往往不僅要設計向下漸次平緩的

边坡，而且也要設計馬道填土。平常馬道填土高大致等於路堤总高的 $\frac{1}{3}$ 。由設計一个在全部高度內具有均等穩定程度的路堤的条件出發，馬道的寬可在一个很大的範圍內（从4到12公尺）來選擇。

9. 从路堤上部开始，穩定計算漸次進行至路堤边坡的所有構成部分。同时，可以利用叙述过的現有路堤計算法（參看本章第二節末之实例）。

§2. 河灘路堤边坡穩定計算法

在河灘上洪水中路堤被水包圍着。一般認為最危險的是河灘水退落时期。在这种場合下饱和了的堤体的浸潤綫的形式是向上突出狀的；而與水的滲透有关的动水力，其方向乃由堤心指向路堤的兩個边坡。同时，按圖10所示之圖案進行計算，此圖案符合於下一前提，即假設在达到高水位后河灘水突然退落。从圖案也可看明白，浸潤綫用兩条具有平均傾斜度 $J_{cp.}$ 的直綫來代替。对各种不同土壤的 $J_{cp.}$ 值列入表13中。应当指出，大多数場合下对砂質黏土可採用 $J_{cp.} = 0.08$ 。

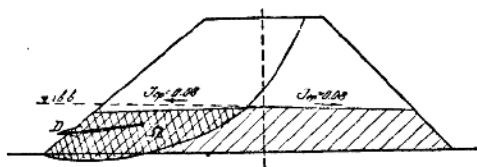


圖 10

按下式近似地計算动水压力值 D （參看圖10）：

$$D = J_{cp.} \Omega \quad (10)$$

其中 $J_{cp.}$ —— 浸潤綫平均坡度；

Ω —— 坍塌稜体含水部分之面積（圖10上之十字交叉陰影体）。

按照下列程序做河灘路堤穩定計算。

1. 作在本章第一節中所敘述過的適用於普通路堤（干路堤）的所有制圖。

假設土壤可能坍塌曲綫已作好，如圖 11 所示。

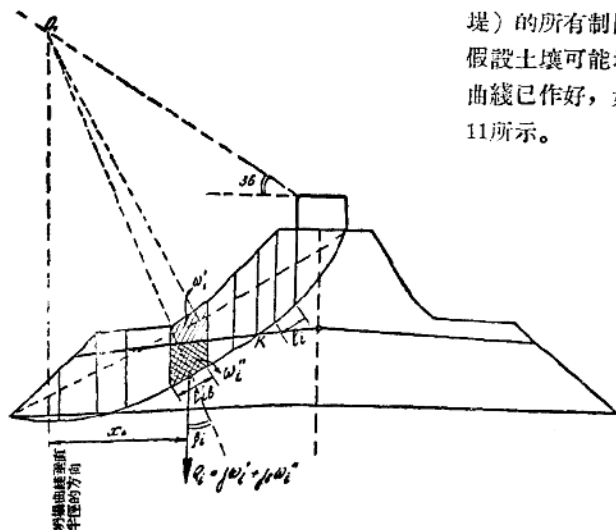


圖 11

2. 按以下之擴展式計算边坡穩定系数。

$$K = \frac{f\gamma \sum \omega_i \cos \beta_i + f_0 \sum (\gamma \omega_i' + \gamma_0 \omega_i'') \cos \beta_i + \gamma \sum \omega_i \sin \beta_i + [\sum (\gamma \omega_i' + \gamma_0 \omega_i'') \sin \beta_i]_{cd} + D}{\frac{c \sum l_i + c_0 \sum l_{i0} + [\sum (\gamma \omega_i' + \gamma_0 \omega_i'') \sin \beta_i]_{\gamma \theta}}{\gamma \sum \omega_i \sin \beta_i + [\sum (\gamma \omega_i' + \gamma_0 \omega_i'') \sin \beta_i]_{cd} + D}} \quad (11)$$

其中 f ——干土摩擦系数， $f = \tan \varphi$ （ φ ——內摩擦角）；

f_0 ——受水懸浮作用之土壤的摩擦系数。可以近似地採用
 $f_0 = 0.75 f$ ；

c ——干土之單位黏聚力；

c_0 ——受水懸浮作用之土壤的單位黏聚力。可以近似地採用
 $c_0 = 0.5 c$ ；

γ ——干土之單位重。假如設計新路堤，就要採用按本章

§1乙目中方法所求得之使压实路堤不產生沉陷之 γ 值。

γ_s ——湿土（懸浮土）之單位重。 γ_s 值可按下式求得：

$$\gamma_s = \frac{\Delta - 1}{1 + \epsilon_p}, \quad (12)$$

其中 Δ ——土壤比重；

ϵ_p ——設計孔隙比（參看式 6）；

ω_i ——位於『K』点右面之第 i 条的面積（參看圖 11）；

ω'_i ——位於『K』点左面第 i 条面積的干燥部分；

ω''_i ——位於『K』点左面第 i 条面積的湿部分；

Σl_i ——坍塌曲綫在干燥部分之綫段（ l_i ）总長（『K』点之右）；

Σl_{is} ——坍塌曲綫在湿部分之綫段（ l_{is} ）总長（『K』点之左）；

β_i ——条重量之垂直向量与对該条半徑之方向所組成的角度（參看圖 11）；

D ——按式（10）所求得之动水压力值。

为了按式（11）計算穩定系数（ K ）簡單起見，利用下表比較方便。

假如穩定系数 $K \geq 1.2-1.5$ ，則像对普通路堤同样的，可以認為路堤河灘部分是穩定的。在本節之末列举一个河灘路堤边坡穩定計算实例。現在指出一点，在需要進行干燥多層路堤穩定計算时，所敘述的河灘路堤边坡穩定計算法可以很成功地來採用。只是在这种情况下应当決定在每層中之土壤的設計特性，随后即利用由第二層或第三層土壤之特性代替 f_s ， C_s 及 γ_s 的式（11）。很顯然，此时只是 $D = 0$ 。

河灘路堤橫断面設計及其边坡穩定計算实例

对計算有以下的原始資料：

表 2

坍場曲綫號碼	条子號碼	α_i	$\sin \beta_i$	$\cos \beta_i$	ω_i		$\gamma \omega'_i$	$\gamma \omega \omega'_i$	$\gamma \omega'_i + \gamma \omega \omega'_i = \zeta_i$	$Q_i \cos \beta_i$	$f Q_i \cos \beta_i$	$f_e Q_i \cos \beta_i$	$Q_i \sin \beta_i$		l_i / l_{ie}	Cl_i	Cel_{ie}
					ω'_i	ω''_i							推動的	制止的			
											$\Sigma f Q_i \cos \beta_i$	$\Sigma f_e Q_i \cos \beta_i$	$[\Sigma Q_i \sin \beta_i] \text{ 全}$	$[\Sigma Q_i \sin \beta_i] \text{ 平}$	$\Sigma l_i / \Sigma l_{ie}$	ΣCl_i	ΣCel_{ie}

路堤高 $H=13$ 公尺。

地面橫向坡度 $1/11$ 。

綫路数——1。

土粒比重 $\Delta=2.71$ 。

臨時荷重 $P=11 \frac{T}{\text{п. м.}}$ (噸/延公尺)。

在自然濕度下路堤土壤之內摩擦角 $\varphi=25^\circ$ 。

路堤基礎土壤之內摩擦角 $\varphi=27^\circ$ 。

在自然濕度下路堤土壤的單位黏聚力 $C=1.2 \text{ м/м}^2$ 。

路堤基礎土壤的單位黏聚力 $C=1.5 \text{ м/м}^2$ 。

路堤土壤濕度 23 %。

路堤基礎標高——100。

高水位標高——103。

浸潤綫平均傾斜度——0.08。

路堤基礎土壤(濕度為20%)之單位重 $\gamma=2.1 \text{ м/м}^3$ 。