

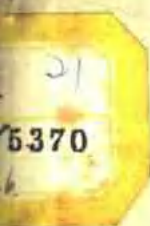
148550



苏联 С. И. 戈留諾夫著

非粘性土有压水力輸送 近似計算法

冶金工業部有色金屬設計總院翻譯



電力工業出版社

本書講述有壓水力輸送水頭損失的計算方法。作者根據水力学、相似性力学和泥沙运动理論，結合大批實驗資料，提出了計算水頭損失的合理方法，同時提出了確定挖泥船最优工作情況的方法。為了具體地說明計算方法，書中列舉了詳細的算例，並附有實用曲綫和大量有關的表格，計算時十分方便。

本書可供水利工程、冶金工程以及航运工程方面的技術人員在采用水力機械化時使用。

本書由董立德同志翻譯，王毓升同志校訂。在翻譯過程中，曾得到有色金屬選礦研究設計院靳海昌等同志的協助。

СПОСОБ ПРИБЛИЖИТЕЛЬНОГО РАСЧЕТА НАПОРНОГО
ГИДРОТРАНСПОРТА НЕКОТОРЫХ ГРУНТОВ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ МОРЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО 1955

非粘性土有壓水力輸送近似計算法

根據蘇聯國立動力出版社1955年莫斯科版翻譯

冶金工業部有色金屬設計總院翻譯

750G109

電力工業出版社出版(北京東黃城根)

北京市書刊出版業營業許可證出字第042號

北京市印刷一廠排印 新华書店發行

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 1 $\frac{1}{2}$ 印張 * 28千字

1958年4月北京第1版

1958年4月北京第1次印刷(0001—930冊)

統一書號: 15036·640 定價(第10類)0.22元

51

5/5370

K.6

目 录

緒言.....	2
1. 問題的提出.....	3
2. 換算實驗室測得的水力輸送水頭損失為原體的 水頭損失.....	5
3. 水頭損失的確定.....	22
4. 挖泥船最優工作情況的選擇。設置加壓泵的合理 性。水力輸送系統技術經濟指標的確定.....	26
5. 本書所採用的土壤分組與“建築法規”所採用的分 類的對照。按所建議的方法求得的結果與原體情 況以及與按臨界流速計算所得結果的比較.....	32

苏联电站部 动力设计总院	全苏B. E. 維捷涅也夫 水工科学研究所	水力机械化实验所
非粘性土有压水力輸送 近 似 計 算 法		C. И. 戈留諾夫

緒 言

現今所采用的非粘性土有压水力輸送計算法，不能滿足实际需要。因为：当前計算水力輸送临界速度的公式既多，而根据这些公式所求得的结果的差異又大，因而这些公式只能把設計人員弄得無所适从，以致使他們不得不多是重視經驗数据和各自的直观，而很少理会計算結果。

为了証明这一点，可以援引根据不同著者的公式而繪制的临界曲綫与顆粒平均直徑間的关系曲綫圖^①(圖1)。从該圖中可以看出：在同一条件下用不同的公式所求得的临界速度值相差5倍，而对于与速度平方成比例的水头損失來說，則相差25倍！

由于上述原因，水工科学研究所列宁格勒水力机械化实验所在1949—1953五年間进行了有压水力輸送的試驗研究工作，其中包括在与实际情况相接近的条件下(泥漿流量在500公升/秒以上)所进行的試驗。与此同时，實驗室并繼續收集和整理了其他試驗人員的試驗資料，并觀測了生产中的水力輸送情况。

由于这一工作的結果，提供了一个直接以試驗和生产数据为依据而不用临界速度这一概念和临界速度計算公式的水力輸送計

① 見B. E. 罗曼念科，吸泥机的有效情况和操作方法，河运出版社，1954，頁103。

算法。

1. 問題的提出

就現代的水力輸送理論水平而言，相似論和因次論是這一領域內的試驗數據和實際數據的最好的綜合方法。

這裡，問題的本身是非常繁雜的，但如僅僅研究其實用的一面，因而可以只以解決該問題的一部分為限，那麼問題是可以得到某些簡化的。

例如：為了確定水力輸送時的水頭損失：

在一般情況下，就要處理至少有九個變數的關係式：

$$I = \frac{P_1 - P_2}{\rho_w g L} = f(v; D; \varepsilon; \rho_w; \mu; \rho_s; d; \sigma)^*, \quad (1)$$

式中 P_1 和 P_2 ——長度為 L 的管段兩端的壓力；

v ——水流速度；

D ——管徑；

ε ——管子的絕對粗糙率；

* 管子的淤積雖然對於水頭損失有重大影響，但它本身即是上述變數的函數，因此沒有把它列入在內。

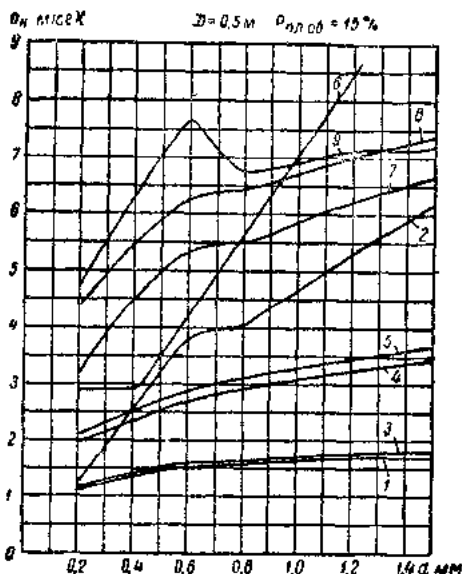


圖 1 临界速度与颗粒平均直径間的关系曲线圖
1—按罗叶尔公式；2—按劳玛念珂公式；3—按尤菲恩公式；4—按伊凡諾夫公式；5—按考杜利斯基公式；6—按叶夫道基莫夫公式；7—按傑明契也夫公式；8—按魏利加諾夫公式；9—按可諾羅茲公式。

ρ_w ——水的密度;

ρ_s ——沙子的密度;

μ ——水的粘性;

d ——固体颗粒粒度;

g ——重力加速度;

c ——泥漿稠度。

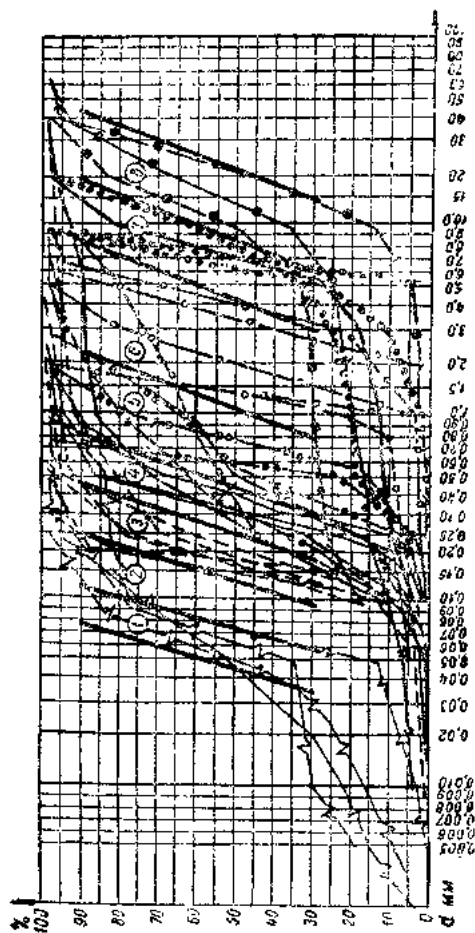


圖 2 本文內所利用的土壤的顆粒組成曲線圖。用作計算的土壤組 (1, 2, 3, ...) 依粗細線區分

此外，还要考虑一种情况，就是选来用以代表所有被輸送的任何顆粒組成的沙子的綫尺度，也是具有不确定的性質的。

但是，如果注意到大部分变数具有与現場相同的数值，并从而得知水头損失可以用試驗法求出，則應該說上述那种一般的計算法是可以避免的。而这时所剩下的問題則不过就是要根据其参变数的变化，將試驗所得的水头損失数值換算到原体而已。

的确，我們能够用原体的土壤进行試驗，而且这样可以避免在選擇顆粒粒度 d 的計算值时的那种專断性。这样在換算到原体时，顆粒粒度的值將始終自动的保持为常量，同时土壤密度 ρ_s 和表示液体特性的参数 ρ_w 和 μ 以及重力加速度 g 等也將保持为常量。

在經過实验而掌握到全部有实际意义的速度和稠度范围以后，就可以从所得出的結果中选择具有現場速度和稠度的点。这样余下的工作將不过就是把所得的水头損失按照管徑和管子的粗糙率的不同加以換算而已。

因此，关于已知顆粒組成的土壤以任意稠度在任一管徑和粗糙率的管中水力輸送时的水头損失計算問題，就变成了把用模型所測得的該土壤的水力輸送的水头損失，換算到更大直徑和另一粗糙率的管子上去的问题。

按照这样的提法，严格說来，对于每种具体的土壤都需要在实验室内进行实验。但是，素已积累起来的資料，已經足够用作(圖2)据以繪制最主要的顆粒范围，即从細粒砂起到大塊卵石止的水力輸送水头損失計算表。

2. 換算實驗室測得的水力輸送水头損失为原体的水头損失

水头損失可以根据下面人所共認的水力学公式計算：

$$H = \frac{\Lambda \cdot L \cdot v^2}{D \cdot 2g}, \quad (2)$$

式中 H ——在長 L 公尺的管段內的水头損失，以水柱公尺計；

Λ ——水流挾帶土壤流动时的阻力系数。

这样，問題就可以归結为：根据流动的条件来選擇 Λ 的計算值。

在相似論中証明：如將各个独立的变数換算成無因次数，則無因次独立变数的个数將随着有独立因次的变数的数目而減少^①。在此种情况下，可以减少三个变数。

这样，就可以將关系式(1)写为下面六个变数的函数：

$$\Lambda = f \left[\left(\frac{v \cdot D \cdot \rho_w}{\mu} \right); \left(\frac{\varepsilon}{D} \right); \left(\frac{v}{\sqrt{gd}} \right); \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right); \left(\frac{d}{D} \right); C \right]. \quad (3)$$

如果只以土壤的水力輸送为限，則由于土壤密度的变化范围很小($\rho_s \cdot g = 2.65 - 2.70$)，所以参数 $\left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right)$ 实际上是一个常数，因而可以不予考虑。設所求的具有五个变数的函数可以写成两个函数的和，而其中第一个函数由两个变数而定，第二个函数由其余的三个变数^②而定，即：

$$\Lambda = \left[\left(\frac{v \cdot D \cdot \rho_w}{\mu} \right); \left(\frac{\varepsilon}{D} \right); \left(\frac{v}{\sqrt{gd}} \right); \left(\frac{d}{D} \right); C \right] \\ = \lambda_w \left[\left(\frac{v \cdot D \cdot \rho_w}{\mu} \right); \left(\frac{\varepsilon}{D} \right) \right] + \lambda_s \left[\left(\frac{v}{\sqrt{gd}} \right); \left(\frac{d}{D} \right); C \right]. \quad (4)$$

① Л. С. 爱根遜：模型試驗，原載“苏联科学”，莫斯科，1952，頁 40。

② Л. П. 謝道夫：力学中的比率理論和相似理論的数学法，1944，頁 71。

在函数式(4)中,所有表示土壤的变数均包括在第二项,即被加数中。

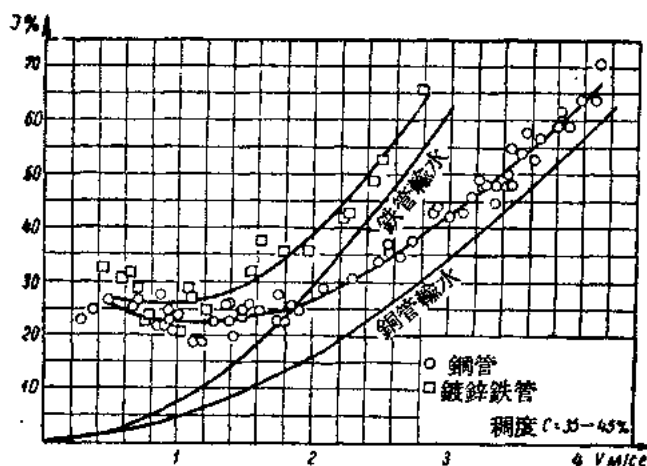


圖 3 $D=1$ 吋管中的水力坡度與速度的關係曲綫圖
(根據布萊奇的試驗, 1906年)

因此, 式中第一項的 λ_w 將是不挾帶土壤的水在流動時的阻力係數, 該阻力係數同 $\frac{v}{\sqrt{gd}}, \frac{d}{D}, C$ 這幾個與帶土壤水流有關的變數并無關係, 這是不需證明的。

式中第二項的 λ_s 可以當做由於水流中挾有土壤而引起的附加阻力係數來討論。為了證明可以採用附加阻力係數 λ_s 同相對粗糙率 $\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)$ 無關這一假定, 可以引用布萊奇(Blatch)的實驗結果。這一試驗是用同種泥沙在同直徑不同材料的管中進行的, 因而粗糙率 ε 的值可以說是不同的。

雖然在不同材料的管中水頭損失是顯然不同的(圖 3), 但兩條管子的附加阻力係數 λ_s 的值則是相同的(圖 4)。而這正是證明

了附加系数同相对粗糙率 $\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)$ 是没有关系的。

至于谈到 λ_w 与 $\left(\frac{v \cdot D \cdot \rho_w}{\mu}\right)$ 的关系，那么可以说在生产中可能遇到的 $\left(\frac{v \cdot D \cdot \rho_w}{\mu}\right)$ 值范围以内，就连不挟带土壤的水流的阻力系数 λ_w 实际上也可以看做与 $\left(\frac{v \cdot D \cdot \rho_w}{\mu}\right)$ 并無关系，由此可见，对于挟土壤水流的阻力系数来说，当然更是如此。

选择计算阻力系数 Δ 的任务，就在于分别确定水的阻力系数 λ_w 和挟沙水流的附加阻力系数 λ_s 。

其中第一项 λ_w 可以根据相应的水力学公式计算。根据全苏水工科学研究所水力机械化实验所的研究^①，当绝对粗糙率值固定为 $\varepsilon=0.15$ 公厘时，如用众所周知的水力学上的平方范围公式进行计算，则所得结果对于钢管来说是可以采用的。平方范围的公式如下：

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_w}} = 1.74 + 2 \log\left(\frac{R}{\varepsilon}\right) \quad (5)$$

上述粗糙率值($\varepsilon=0.15$)相当于正常使用 100—200 小时之后所测

建議在作輸泥管計算時採用的 λ_w 系數值 表 1

D (毫米)	$100\lambda_w$	D (毫米)	$100\lambda_w$
200	1.80	500	1.50
250	1.75	600	1.46
300	1.65	700	1.40
350	1.60	800	1.35
400	1.55	900	1.30
450	1.55	1000	1.30

① 這項研究工作是由助理研究員、技術科學副博士 B. A. 米林契也夫進行的。

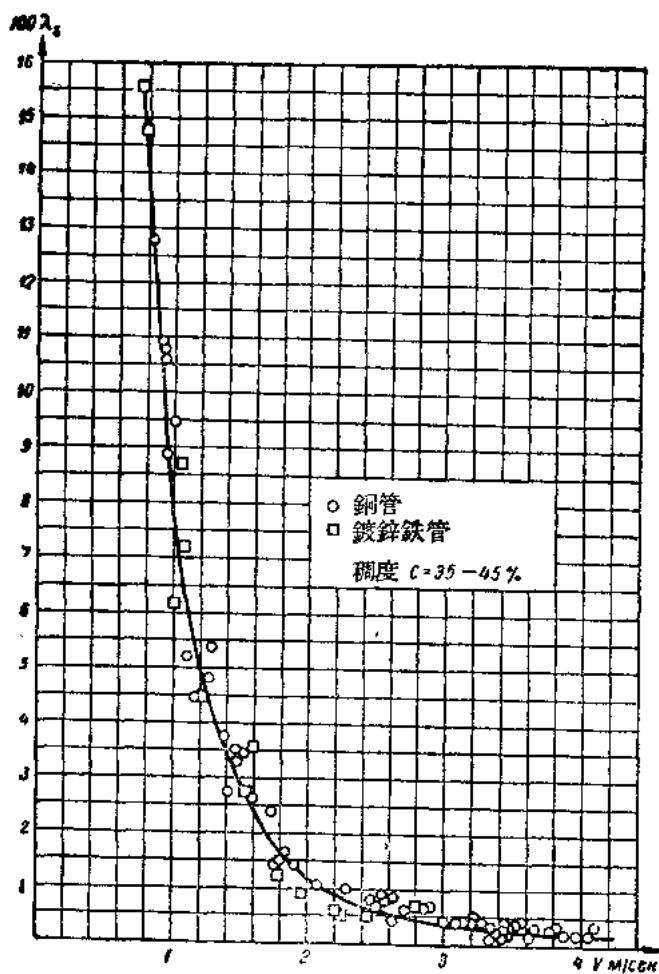


圖 4 $D=1$ 吋的管內的附加阻力系数与速度的关系曲线圖
(根据圖 3 布莱奇的試驗結果整理繪制)

得的輸泥管粗糙率，并且附有一定的安全系数。根据公式(5)所得出的 λ_w 的计算值載于表1。建議在实际工作中即利用該表以进行土壤的水力輸送計算。

为了得出附加阻力系数 λ_s 的計算值，实验所將收集到的全部資料按下列关系进行了整理：

$$\lambda_s = f\left[\left(\frac{v}{\sqrt{gd}}\right); \left(\frac{d}{D}\right); C\right]. \quad (6)$$

同时得知：假如实验是在比尺并不很小的設備内进行的（对于細沙 $D > 100$ 毫米，对于粗沙 $D > 200$ 毫米），那么該土壤的 λ_s 值实际上与管徑并無关系。換言之，假如不考虑在小直徑管子内所进行的試驗，那就可以不考虑 λ_s 与土壤的相对粒度 $\left(\frac{d}{D}\right)$ 的关系，并按下面只有两个变数的函数来确定土壤的 λ_s ：

$$\lambda_s = f\left[\left(\frac{v}{\sqrt{gd}}\right); C\right]. \quad (7)$$

而且，由于同一种土壤的 $\sqrt{gd}$ 值是不变的，那么，更方便的方法是將無因次数再还原为有因次数，因而每一种土壤的計算数值，可以下式表示：

$$\lambda_s = f(v; C). \quad (8)$$

用試驗設備确定了水力輸送給定土壤时的压力損失，并按关系式(8)加以整理后，就能做出該土壤在原体内的水力輸送計算。

到現在为止，已經积累了足够数量的实验資料，因此，不必再就个别情况进行实验。例如，对于圖2所示顆粒組成曲綫圖所代表的各种土壤，全苏水工科学研究院和其他部門就都會进行过水力輸送的研究工作。所有这些材料在編制計算表时都會被引用过。而整理这些資料的結果表明：可以將粒度組成相近的各种土壤合成一組，而在該組的范围以內，附加阻力系数值 $\lambda_s = f(v, C)$ 可以采用一个常数。这种方法在实际工作中是相当准确的。

关于土壤併組和編制計算表的程序的一些說明：由于一系列的原因（水流不可能固定、压力的波动等等）在同一条件下（管子的直徑相等）同一种土壤的水力輸送試驗所得到的諸点常常是分散的，而在曲綫圖上則分佈成一個帶。因此，只有当某几种顆粒組成相近的土壤，其試驗所得的諸点同处于一个帶內时，它們才能够被划入到一个組內。反之，如果有一种或几种土壤的試驗所得諸点經常超出到試驗点分佈帶之外，則这些土壤就將属于另外一組。

同样，將同一种土壤在不同直徑的管道中进行試驗时所得的諸点也合併成組。由于这样做的結果，小管徑管道的試驗結果被删除掉了，而在大管徑管道中的試驗結果則根据不同管徑共同具有的曲綫合併了起来。

这些曲綫是沿試驗点的分佈帶的上限繪出的，这样就加入了在計算上所必需的水头損失安全系数。而个别的偶然落到分佈帶外的点自然無需注意。

就是按照这样的方法，編制了8組土壤的附加阻力系数計算值与泥漿的速度和稠度的关系表2—9^①。

在作水力輸送設計时，建議不要采用粗豎綫左边的数字，因为这一部分是相当于泥漿管道工作不稳定，甚至有可能完全为泥土所堵塞的那种情况的。

各表中的平均稠度全是用重量百分率表示的。稠度化为其他表示法的数值表載于表17。

各組之間的界限見圖2和表10。

① 表3是按1和3两种土壤組間的內挿法編制的，因为其間的粒度間隔較大，而同时又沒有介于兩者之間的土壤試驗資料。

第一組土壤的附加阻力系数 λ 的計算值表 表 2

100 λ_s										
米/秒 C%	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00
5	—	4.50	1.65	1.00	0.70	0.50	0.35	0.25	0.20	0.15
10	—	5.50	2.40	1.45	1.05	0.70	0.55	0.35	0.30	0.25
15	—	6.50	2.95	1.85	1.30	0.85	0.70	0.45	0.40	0.35
20	—	7.50	3.40	2.20	1.45	1.10	0.80	0.55	0.50	0.45
25	—	—	3.75	2.45	1.60	1.25	0.90	0.65	0.60	0.50
30	—	—	4.10	2.70	1.75	1.35	1.00	0.75	0.65	0.55
35	—	—	4.45	2.90	1.90	1.45	1.10	0.85	0.70	0.60
40	—	—	4.75	3.05	2.05	1.50	1.15	0.95	0.75	0.65

米/秒 C%	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.25	5.50
5	0.10	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
10	0.20	0.20	0.15	0.15	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10	0.05
15	0.30	0.25	0.20	0.20	0.20	0.15	0.15	0.15	0.15	0.10
20	0.35	0.30	0.25	0.25	0.25	0.20	0.20	0.15	0.15	0.10
25	0.40	0.35	0.30	0.30	0.30	0.25	0.25	0.20	0.20	0.15
30	0.45	0.40	0.35	0.35	0.30	0.30	0.25	0.20	0.20	0.15
35	0.50	0.45	0.40	0.40	0.35	0.30	0.30	0.25	0.25	0.20
40	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35	0.35	0.30	0.25	0.25	0.20

第二組土壤的附加阻力系数 λ_s 的計算值表

長 3

1000 λ_s										
米/秒 C%	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00
5	—	—	6.40	2.85	1.50	0.80	0.50	0.35	0.25	0.20
10	—	—	7.65	3.80	2.05	1.30	0.85	0.65	0.45	0.35
15	—	—	8.60	4.25	2.50	1.65	1.10	0.85	0.65	0.50
20	—	—	10.0	5.00	3.00	2.05	1.40	1.05	0.80	0.60
25	—	—	—	5.80	3.60	2.45	1.65	1.25	0.95	0.70
30	—	—	—	6.45	4.05	2.80	1.90	1.40	1.05	0.80
35	—	—	—	6.90	4.40	3.05	2.10	1.55	1.15	0.90
40	—	—	—	7.15	4.55	3.15	2.20	1.65	1.25	1.00

米/秒 C%	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.25	5.50
5	0.15	0.10	0.10	0.16	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
10	0.25	0.20	0.20	0.26	0.15	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10
15	0.35	0.30	0.30	0.36	0.25	0.20	0.15	0.15	0.15	0.15
20	0.45	0.40	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.20	0.20	0.15
25	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.25	0.25	0.20
30	0.65	0.60	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30	0.30	0.25	0.20
35	0.75	0.65	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35	0.35	0.30	0.25
40	0.80	0.70	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25

第三組土壤的附加阻力系数 λ_s 的計算值表

表 4

100 λ_s										
米/秒 C%	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00
5	—	—	10.3	5.80	3.35	2.15	1.40	0.95	0.75	0.60
10	—	—	13.3	7.35	4.55	2.90	2.00	1.50	1.15	0.90
15	—	—	—	8.65	5.35	3.55	2.50	1.80	1.40	1.15
20	—	—	—	9.75	6.15	4.05	2.85	2.10	1.60	1.35
25	—	—	—	10.65	6.65	4.50	3.20	2.35	1.75	1.45
30	—	—	—	—	7.30	4.90	3.50	2.55	1.90	1.55
35	—	—	—	—	7.80	5.20	3.75	2.75	2.05	1.65
40	—	—	—	—	8.15	5.40	3.95	2.95	2.20	1.75

米/秒 C%	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.25	5.50
5	0.45	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0.10	0.05	0.05
10	0.70	0.55	0.45	0.40	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0.10
15	0.90	0.75	0.60	0.50	0.40	0.30	0.25	0.20	0.15	0.15
20	1.00	0.85	0.70	0.60	0.45	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
25	1.10	0.95	0.80	0.65	0.50	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
30	1.20	1.05	0.90	0.70	0.55	0.45	0.40	0.30	0.25	0.20
35	1.30	1.15	0.95	0.75	0.60	0.50	0.45	0.35	0.30	0.25
40	1.40	1.20	1.00	0.80	0.65	0.55	0.45	0.35	0.30	0.25

第四組土壤的附加阻力系数 λ 的計算值表

表 5

190 λ_s										
米/秒 C%	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00
5	—	—	—	9.50	5.50	3.65	2.35	1.80	1.30	1.00
10	—	—	—	12.0	7.50	4.80	3.40	2.45	1.80	1.45
15	—	—	—	—	9.00	5.80	4.65	3.00	2.25	1.75
20	—	—	—	—	10.1	6.65	4.60	3.40	2.55	2.00
25	—	—	—	—	11.0	7.50	5.10	3.75	2.85	2.20
30	—	—	—	—	—	7.90	5.50	4.05	3.10	2.40
35	—	—	—	—	—	8.40	5.80	4.25	3.25	2.55
40	—	—	—	—	—	9.00	6.00	4.40	3.40	2.65

米/秒 C%	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.25	5.50
5	0.75	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.20	0.15	0.10	0.10
10	1.10	0.90	0.75	0.60	0.45	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
15	1.35	1.10	0.90	0.75	0.55	0.45	0.40	0.30	0.25	0.20
20	1.55	1.30	1.00	0.85	0.65	0.55	0.45	0.35	0.30	0.25
25	1.70	1.40	1.10	0.95	0.75	0.60	0.50	0.40	0.35	0.30
30	1.85	1.50	1.20	1.05	0.80	0.65	0.55	0.45	0.40	0.35
35	1.95	1.60	1.30	1.10	0.85	0.70	0.60	0.50	0.45	0.40
40	2.05	1.70	1.35	1.15	0.90	0.75	0.65	0.55	0.50	0.45