

9222/63

地基极限承载力的计算

郑大同编

中国建筑工业出版社

地基极限承载力的计算

郑大同 编

中国建筑工业出版社

本书主要介绍几个著名的地基极限承载力计算公式，其中有：普朗德尔课题、太沙基课题、梅耶霍夫课题、别列赞策夫课题、魏西克课题等。分别叙述了这些课题的假设条件、适用范围，以及其他学者对这些课题的评价和讨论，并对这些公式作了详细的推导。

本书可供土木工程科研、设计人员参考。

地基极限承载力的计算

郑大同 编

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本：850×1168毫米1/32 印张：4 字数：108 千字

1979年10月第一版 1979年10月第一次印刷

印数：1—44,140册 定价：0.40元

统一书号：15040·3621

目 录

绪言	1
一、普朗德尔课题	3
(一) 概述	3
(二) 普朗德尔公式的推导	5
(三) 对于普朗德尔公式的修正	9
二、太沙基课题	11
(一) 概述	11
(二) 太沙基公式的推导	13
(三) 对于太沙基公式的讨论	16
(四) 例题	17
三、梅耶霍夫课题	19
(一) 概述	19
(二) 梅耶霍夫公式的推导	19
(三) 对梅耶霍夫公式的说明和讨论	30
(四) 基础底面为楔形端的情况	33
(五) 局部剪切破坏	35
(六) 偏心荷载和倾斜荷载	38
(七) 例题	42
四、别列赞策夫课题	45
(一) 概述	45
(二) 别列赞策夫公式的推导	46
(三) 例题	55
五、魏西克课题	56
(一) 概述	56
(二) 例题	60
(三) 魏西克关于孔扩张的理论	65
1. 球形孔课题的推导	66

2.圆筒形孔课题的推导	79
3.平均体积应变的估值	85
4.超孔隙水压力的估值	96
(四)例题	103
(五)曲线型破坏包络线	111
(六)例题	117
后记	120
参考资料	121

绪 言

在讨论浅基础、深基础、桩基础和静力触探等资料中，往往涉及到一些地基极限承载力的公式，而数十年来在工程实践中，所应用的地基承载力的公式又极为繁多，本书不可能把这些公式全部收集起来加以讨论。在这方面，苏联学者，例如B.B. 索科洛夫斯基（Соколовский）、B.Г. 别列赞策夫（Березанцев）等人关于地基承载力的研究，我们已经比较熟悉，但对于桩基础的承载力，别列赞策夫在1961年曾发表了一个实用的计算方法，在此将对其公式推导的内容加以介绍。本文介绍了从20年代到70年代几个有代表性的课题：（一）20年代的L. 普朗德尔（Prandtl）课题；（二）40年代的K. 太沙基（Terzaghi）课题；（三）50年代的G.G. 梅耶霍夫（Meyerhof）课题；（四）60年代的别列赞策夫课题；（五）70年代的A.S. 魏西克（Vesić）课题〔其中也包括了毕肖普、希尔、摩特（Bishop、Hill、Mott）和巴利（M.M. Baligh）等人的课题〕。

1920年普朗德尔首先根据塑性平衡理论导出了介质达到极限荷载时，沿着曲面发生滑动的数学方程，但他的研究结果只适用于无重量的介质的极限平衡平面课题。随后不少学者根据他研究的结果，进一步作了不同形式的修正，以便在工程实践中加以利用。40年代太沙基根据与普朗德尔相似的概念，导出了考虑地基土自重影响的极限承载力公式，考虑了由于地基土的内聚力、土的容重以及覆土压力的影响，用三个作为土的内摩擦角函数的承载力系数表示出来。他所建议的方法是用迭加方法得出的近似公式。除此而外，也和普朗德尔所根据的假定条件一样，把地基土看作是是不可变形的刚塑性材料。基于这种假定所导出的公式只能适用于地基土整体剪切破坏的情况。当地基土处于局部剪切破坏或刺入剪切破坏时，这个公式给出的极限承载力值就显得偏大了。针对这种情况，太沙基曾建议仍用原来的公式，但采用降低

了土的参数 φ 、 c 值进行计算。另一方面, 根据近年来对于地基承载力的研究指出, 太沙基承载力公式计算的结果往往过高地估计了地基的承载力。50 年代梅耶霍夫进一步考虑了基础底面以上, 土体发生抗剪强度的影响, 从而提出了浅基础和深基础的极限承载力公式。由于梅耶霍夫也是把地基土看作是刚塑性材料, 因此他所导得的公式也只能适用于地基土的整体剪切破坏的情况。针对地基土处于局部剪切破坏的情况, 他引用了毕肖普、希尔和摩特关于球形孔或圆筒形孔内压力扩张理论的解答来估算地基的承载力。但是, 毕肖普等的理论解限于 $\varphi = 0$ 的介质, 而且在推导公式的过程中没有考虑塑性区内体积变化的影响。直到 70 年代, 魏西克所提出的地基极限承载力的计算时, 把地基土的破坏机理分别三种不同的模式: 整体剪切破坏、局部剪切破坏以及刺入剪切破坏。与此同时, 他提出了判定地基土破坏模式的刚度指标。这种刚度指标是根据他发展的关于球形孔和圆筒形孔内压力扩张理论而得出的。在这理论中, 他假定了介质是具有内聚性和摩擦两种性质, 并考虑了在塑性区内介质体积变化的影响。本书对于这部分详细地介绍了理论推导的内容, 原因是这个课题的解不仅能应用到浅基础和深基础的地基承载力的计算方面, 而且在许多地质问题上, 诸如对于旁压仪试验的解释, 爆炸形成的弹坑, 锚体所发生的阻力, 以及估算在不排水条件下孔内发生的孔隙水压力等问题都可以得到实际的应用。同时也结合了 1976 年 M. M. 巴利在这理论的基础上考虑了采用曲线型的摩尔破坏包络线的影响, 这对于深基础、桩基础和静力触探的理论具有重要的意义。

最后必须指出的是, 目前所看到的关于地基承载力的论述, 还远远不能满足工程实践上的需要。通过这里所介绍的几个课题的解答, 也不能说明数十年来在这方面所发展的全部过程。除了理论性的研究探讨外, 各国学者还做了大量的室内模型试验和现场量测试验。地基承载力的课题所涉及的面很广, 影响因素也较多, 我们必须在理论上进行深入的探讨, 并在工程实践中不断积累资料, 总结经验。

一、普朗德尔课题

(一) 概 述

普朗德尔于1920年^[1,2]根据塑性平衡的观点,研究了坚硬物体压入较软的、均匀的、各向同性材料的过程,导出了下列公式:

$$\begin{aligned} q_f &= \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi} \left[\operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} - 1 \right] \\ &= c \cdot \operatorname{ctg} \varphi \left[\left(\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \right) e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} - 1 \right] \end{aligned} \quad (1-1)$$

式中 q_f ——极限压应力;

φ ——材料的内摩擦角;

c ——材料的内聚力。

人们把他的解应用到地基承载力的课题上。考虑宽度为 B 、无摩擦的条形承压板,压入土体中如图 1-1 所示。假定了承压板底面与土之间是光滑的,因此土楔 ABC 中主应力的方向是竖直的,滑动面 AC 与承压板底面成 $\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$ 角,也就是说 $\triangle ABC$ 是朗肯的主动状态区。由于土楔 ABC 向下位移,把附近的土挤向两侧,因此土楔 ADF 和 BEG 成为朗肯的被动状态区。 $\angle DFA$ 与 $\angle EGB$ 都等于 $\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$ 。主动土楔与被动土楔之间的过渡区 ACD 与 BCE 是辐射向剪切区, CD 和 CE 面是对数螺线,而主动及被动土楔的破坏面与对数螺线相切。因此, $GECD F$ 面以上的土体处于塑性平衡状态,而其余部位的土则处于弹性平衡状态。

根据普朗德尔的假定条件,式 (1-1) 适用于条形基础(平面课题)作用在具有 c 、 φ 的土体上。可是由式 (1-1) 可以看

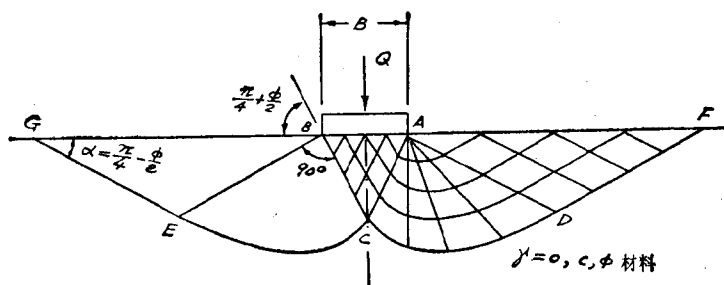


图 1-1 普朗德尔课题

出, 当 $c = 0$ 时, $q_f = 0$ 。这个结果与实际试验结果不相符合。这是由于在推导公式时, 假定了承压板下土的容重等于零而引起的误差。其次, 当地基土的内摩擦角 $\varphi = 0$ 时, 把 $\varphi = 0$ 代入式 (1-1) 中, 得出的 q_f 为不定形式, 因此要应用数学中的罗彼塔 (L'Hôpital) 法则, 于是有:

$$\begin{aligned} \lim_{\varphi \rightarrow 0} q_f &= \lim_{\varphi \rightarrow 0} \frac{c \cdot \frac{d}{d\varphi} \left\{ \left[\operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \right] e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} - 1 \right\}}{\frac{d}{d\varphi} (\operatorname{tg} \varphi)} \\ &= \lim_{\varphi \rightarrow 0} \left\{ \frac{c \left[2 \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \sec^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \frac{1}{2} e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} \right.}{\sec^2 \varphi} \right. \\ &\quad \left. + \frac{\pi \sec^2 \varphi \cdot e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} \cdot \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right)}{\sec^2 \varphi} \right\} \\ &= (2 + \pi)c = 5.14c. \end{aligned} \quad (1-2)$$

也就是说, 当 $\varphi = 0$ 时, $q_f = 5.14c$ 。

基础一般都具有一定的埋置深度。当基础的埋置深度较浅时^①, 为了简化起见, 忽略不计地表面 GF 以上土的抗剪强度 (图 1-2a), 而只将这部分土作为超载, 以压力 $q = \gamma D_f$ 加在 GF 面上。

① 所谓浅基础, 一般定义为其埋置深度 D_f 等于或小于条形基础的宽度 B 。

(二) 普朗德尔公式的推导

普氏应用塑性平衡原理推导公式时, 假定材料的容重为零, 所得的滑动面形成了两个对称的被动状态区及一个主动状态区, 中间夹着对数螺线的过渡区, 这样就有可能不用高深的数学微分方程来求解, 而用力系平衡方法求得他所导得的公式。

由于考虑了覆土压力 $q = \gamma D_f$ 的影响, 普氏原来导得的式 (1-1) 就成为如下的形式^[3]:

$$\begin{aligned} q_f &= (q + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi) \cdot \operatorname{tg}^2 \left(-\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} - c \cdot \operatorname{ctg} \varphi \\ &= q \operatorname{tg}^2 \left(-\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi \left[\operatorname{tg}^2 \left(-\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \right. \\ &\quad \times e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} - 1 \left. \right] = q \left(\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \right) e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} \\ &\quad + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi \left[\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \cdot e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} - 1 \right] = q N_q + c N_c \end{aligned} \quad (1-3)$$

$$\text{式中 } N_q = e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} \cdot \operatorname{tg}^2 \left(-\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) = e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} \cdot \left(\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \right) \quad (1-4)$$

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \varphi \quad (1-5)$$

对于砂土地基, $c = 0$ 时:

$$q_f = q \cdot \operatorname{tg}^2 \left(-\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} = q N_q \quad (1-6)$$

对于粘土, $\varphi = 0$ 时:

$$q_f = 5.14c + \gamma D_f = c N_c + q N_q \quad (1-7)$$

其中 $N_c = 5.14$, $N_q = 1$

为了推导极限荷载的公式, 考虑作用在土体 $OCDI$ 上的力系, 如图 (1-2b) 所示。

对数螺线 CD 的方程为: $r = r_0 e^{\theta \operatorname{tg} \varphi}$, 其符号的意义示于图 1-2a。由图可看出:

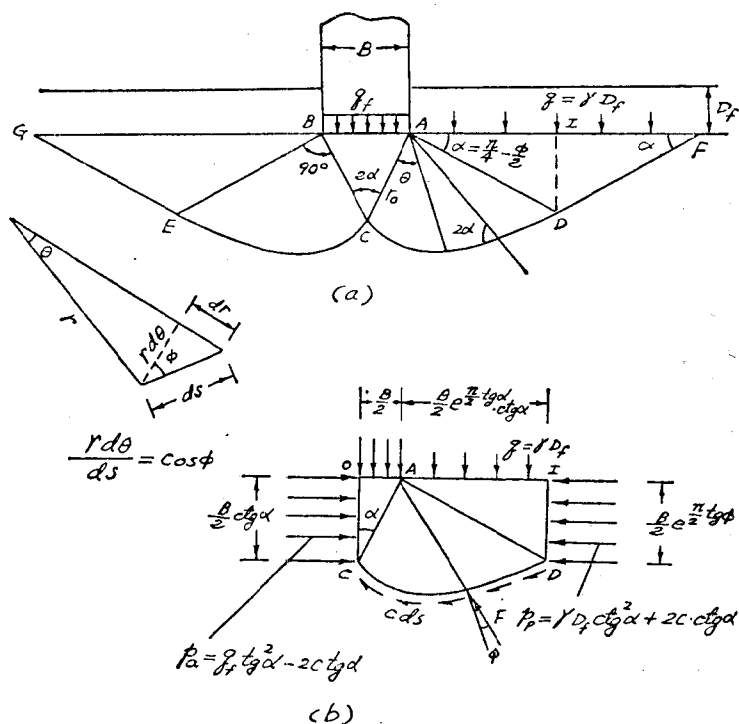


图 1-2 普朗德尔课题的推导

$$r_0 = \overline{AC} = \frac{B}{2} \csc \alpha \quad \alpha = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}$$

$$r = \frac{B}{2} \csc \alpha \cdot e^{\frac{\pi}{2} \tan \varphi}$$

因此, $\overline{AD} = \frac{B}{2} e^{\frac{\pi}{2} \tan \varphi} \cdot \csc \alpha$

于是, $\overline{AI} = \overline{AD} \cos \alpha = \frac{B}{2} e^{\frac{\pi}{2} \tan \varphi} \cdot \cot \alpha$

$$\overline{ID} = \overline{AD} \sin \alpha = \frac{B}{2} e^{\frac{\pi}{2} \tan \varphi}$$

根据假定, 把土体 $OCDI$ 的重量略去不计。从图 1-2b 可看

出，作用在对数螺线 CD 上任意点的法向力与摩擦力的合力 F ，都通过对数螺线的中心点。这样，就可以把 A 点作为矩心，得：

$$\begin{aligned}
 M_{q_f} &= q_f \cdot \frac{1}{2} \left(-\frac{B}{2} \right)^2 = -\frac{B^2}{8} q_f \\
 M_{p_a} &= p_a \cdot \frac{1}{2} \left(-\frac{B}{2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha \right)^2 = (q_f \operatorname{tg}^2 \alpha - 2c \cdot \operatorname{tg} \alpha) \\
 &\quad \times \frac{1}{2} \left(-\frac{B}{2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha \right)^2 = \frac{B^2}{8} q_f - \frac{B^2}{4} c \cdot \operatorname{ctg} \alpha \\
 M_q &= q \cdot \frac{1}{2} \left(-\frac{B}{2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha \cdot e^{\frac{\pi}{2} \cdot \operatorname{tg} \varphi} \right)^2 \\
 &= \frac{B^2}{8} \gamma D_f e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} \cdot \operatorname{ctg}^2 \alpha \\
 M_{p_p} &= p_p \cdot \frac{1}{2} \left(-\frac{B}{2} \cdot e^{\frac{\pi}{2} \operatorname{tg} \varphi} \right)^2 \\
 &= (\gamma D_f \cdot \operatorname{ctg}^2 \alpha + 2c \cdot \operatorname{ctg} \alpha) \cdot \frac{1}{2} \left(-\frac{B}{2} \cdot e^{\frac{\pi}{2} \operatorname{tg} \varphi} \right)^2 \\
 &= \frac{B^2}{8} \gamma D_f e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} \cdot \operatorname{ctg}^2 \alpha + \frac{cB^2}{4} \cdot e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} \cdot \operatorname{ctg} \alpha \\
 M_c &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} c \cdot ds \cdot \cos \varphi \cdot r = c \int_0^{\frac{\pi}{2}} r^2 d\theta \\
 &= c \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left(\frac{B}{2} \cdot e^{\theta \operatorname{tg} \varphi} \csc \alpha \right)^2 d\theta = \frac{cB^2 \csc^2 \alpha}{4} \\
 &\quad \times \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{2\theta \operatorname{tg} \varphi} d\theta = \frac{cB^2 \csc^2 \alpha}{4} \left[\frac{1}{2 \operatorname{tg} \varphi} e^{2\theta \operatorname{tg} \varphi} \right]_0^{\frac{\pi}{2}} \\
 &= \frac{cB^2 \csc^2 \alpha}{8 \operatorname{tg} \varphi} (e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} - 1)
 \end{aligned}$$

平衡条件： $\sum M_A = M_{q_f} + M_{p_a} - M_q - M_{p_p} - M_c = 0$ ，得：

$$q_f \frac{B^2}{8} + q_f \frac{B^2}{8} - \frac{B^2 c}{4} \cdot \operatorname{ctg} \alpha - \gamma D_f \frac{B^2}{8} \cdot e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} \cdot \operatorname{ctg}^2 \alpha$$

$$\begin{aligned}
 & -\gamma D_f \frac{B^2}{8} e^{\pi t \xi \varphi} \cdot \operatorname{ctg}^2 \alpha - \frac{B^2 c}{4} e^{\pi t \xi \varphi} \cdot \operatorname{ctg} \alpha \\
 & - \frac{B^2 c}{8} \cdot \frac{\csc^2 \alpha}{\operatorname{tg} \varphi} \cdot e^{\pi t \xi \varphi} + \frac{B^2 c}{8} \frac{\csc^2 \alpha}{\operatorname{tg} \varphi} = 0
 \end{aligned}$$

解出 q_f , 得:

$$\begin{aligned}
 q_f &= c \cdot \operatorname{ctg} \alpha + \gamma D_f e^{\pi t \xi \varphi} \cdot \operatorname{ctg}^2 \alpha + c \cdot e^{\pi t \xi \varphi} \cdot \operatorname{ctg} \alpha \\
 &+ \frac{c}{2} \frac{\csc^2 \alpha}{\operatorname{tg} \varphi} \cdot e^{\pi t \xi \varphi} - \frac{c}{2} \frac{\csc^2 \alpha}{\operatorname{tg} \varphi} \\
 &= \gamma D_f e^{\pi t \xi \varphi} \cdot \operatorname{ctg}^2 \alpha + c e^{\pi t \xi \varphi} \cdot \operatorname{ctg} \alpha \\
 &+ \frac{c}{2} \frac{\csc^2 \alpha}{\operatorname{tg} \varphi} e^{\pi t \xi \varphi} + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi - \frac{c}{2} \frac{\csc^2 \alpha}{\operatorname{tg} \varphi} \\
 &= \gamma D_f e^{\pi t \xi \varphi} \cdot \operatorname{ctg}^2 \alpha + c \left(\operatorname{ctg} \alpha + \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \varphi \cdot \csc^2 \alpha \right) e^{\pi t \xi \varphi} \\
 &+ c \left(\operatorname{ctg} \alpha - \frac{1}{2} \cdot \operatorname{ctg} \varphi \cdot \csc^2 \alpha \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \therefore \operatorname{ctg} \alpha + \frac{1}{2} \cdot \operatorname{ctg} \varphi \cdot \csc^2 \alpha &= \operatorname{ctg} \varphi \cdot \left(\operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi \right. \\
 &+ \left. \frac{1}{2} \cdot \csc^2 \alpha \right) = \operatorname{ctg} \varphi \cdot \left[\operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - 2\alpha \right) \right. \\
 &+ \left. \frac{1}{2} \cdot \csc^2 \alpha \right] = \operatorname{ctg} \varphi \cdot \left(\operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} 2\alpha \right. \\
 &+ \left. \frac{1}{2} \cdot \csc^2 \alpha \right) = \operatorname{ctg} \varphi \cdot \left(\operatorname{ctg} \alpha \cdot \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}{2 \operatorname{tg} \alpha} \right. \\
 &+ \left. \frac{1}{2} \cdot \csc^2 \alpha \right) = \operatorname{ctg} \varphi \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \operatorname{ctg}^2 \alpha - \frac{1}{2} \right. \\
 &+ \left. \frac{1}{2} \cdot \csc^2 \alpha \right) = \operatorname{ctg} \varphi \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \operatorname{ctg}^2 \alpha \right. \\
 &+ \left. \frac{1}{2} \cdot \operatorname{ctg}^2 \alpha \right) = \operatorname{ctg} \varphi \cdot \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}
 \end{aligned}$$

同理:

$$\begin{aligned}
 \therefore \operatorname{ctg} \alpha - \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \varphi \cdot \csc^2 \alpha &= \operatorname{ctg} \alpha - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha} \\
 \times (1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha) &= \operatorname{ctg} \alpha - \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot (1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha)}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}
 \end{aligned}$$

$$= -\frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha} = -\operatorname{ctg} \varphi$$

上面的推导中，利用了下列关系式：

$$\operatorname{ctg} \varphi = \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi}{2} - 2\alpha \right) = \operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - 2\alpha \right) = \operatorname{ctg} 2\alpha = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}{2 \operatorname{tg} \alpha}$$

$$\csc^2 \alpha = \operatorname{ctg}^2 \alpha + 1$$

$$\therefore q_t = \gamma D_t e^{\pi t \operatorname{tg} \varphi} \cdot \operatorname{ctg}^2 \alpha + c \cdot e^{\pi t \operatorname{tg} \varphi} \cdot \operatorname{ctg} \varphi$$

$$\times \left(\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \right) - c \cdot \operatorname{ctg} \varphi$$

$$= (q + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi) \cdot e^{\pi t \operatorname{tg} \varphi} \cdot \operatorname{ctg}^2 \alpha - c \cdot \operatorname{ctg} \alpha$$

$$= (q + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi) \cdot \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot e^{\pi t \operatorname{tg} \varphi} - c \cdot \operatorname{ctg} \varphi$$

$$= (q + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi) e^{\pi t \operatorname{tg} \varphi} \cdot \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} - c \cdot \operatorname{ctg} \varphi \quad (1-3)$$

可以看出，普朗德尔的极限承载力公式与条形基础的宽度 B 无关；这是由于推导公式时忽略不计地基土的容重。因此普朗德公式是一个近似公式。

(三) 对于普朗德公式的修正

1. 太沙基曾建议，由于 $c=0$ 时， $q_t=0$ ，因此在普氏原来导出的公式里，在 c 之外另加上 $c' = \gamma t \cdot \operatorname{tg} \varphi$ ，其中（图 1-1、1-2）：

$$t = \frac{\text{面积 } ABGECDFA}{\text{长度 } GECD F};$$

γ = 地基土的容重；

φ = 地基土的内摩擦角。

由此得：

$$q_t = \frac{c + c'}{\operatorname{tg} \varphi} \left[\operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot e^{\pi t \operatorname{tg} \varphi} - 1 \right] \quad (1-8)$$

2.D.W. 泰勒 (Taylor) ^[4] 对普氏公式作了如下的修正:

$$q_f = \left[\frac{c}{\operatorname{tg} \varphi} + \frac{1}{2} \gamma B \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \right] \\ \times \left[\operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} - 1 \right] \quad (1-9)$$

公式 (1-9) 右边方括号内第 2 项 $\frac{1}{2} \gamma B \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right)$ 是泰勒所加。这考虑到了覆土压力所引起的强度影响, 就是假定塑性平衡状态的土体 (即图 1-1、图 1-2 的土体 $ABGECDFA$) 的平均抗剪强度近似地等于

$$c + p \cdot \operatorname{tg} \varphi = c + \gamma \left[\frac{B}{2} \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \right] \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

最后, 应当指出, 应用塑性平衡理论推导普朗德尔公式的方法也可在文献 [5] 中找到。关于普朗德尔课题的进一步讨论可参考文献 [6、7、8]。

二、太沙基课题

(一) 概 述

太沙基^[9]根据和普朗德尔相似的假定，导出了地基的极限承载力公式如下：

$$q_f = cN_c + \gamma D_f N_q + \frac{1}{2} B \gamma N_\gamma \quad (2-1)$$

式中 N_c 、 N_q 和 N_γ 都是无因次承载力系数，为 φ 的函数，可由图(2-5)查出；

c ——地基土的内聚力；

γ ——地基土的容重；

D_f ——基础埋置深度；

B ——基础的宽度；

φ ——地基土的内摩擦角。

式(2-1)适用于宽度为 B 的条形基础，埋置深度为 D_f ，放置在具有 φ 、 c 的地基上。

太沙基地基极限承载力的理论，是根据普朗德尔不计地基土容重所得出的滑线，即 CD 部分为对数螺线， DF 部分为直线，如图(2-1)所示。我们知道，根据极限平衡理论，如果计及地基土的容重时，塑性区内的两组滑线就不一定都是直线了^[5]；也不能写成数学公式的形式，而要求用数值计算求解微分方程。因此，太沙基所导得的公式(2-1)虽然计及了地基土的容重，但他忽略了土的容重对于滑线形状的影响。其次，他假定基础底面不是光滑的，而是与土之间具有相当大的摩擦，因此沿着 AB 面不发生剪切位移。由于这样的假定，那么 ABC 区内就不是朗肯的主动状态，而是处于弹性状态，因此三角形土楔 ABC 只能

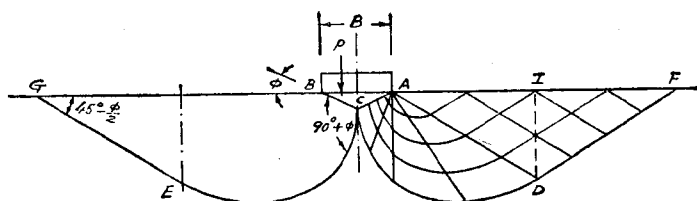


图 2-1 太沙基课题

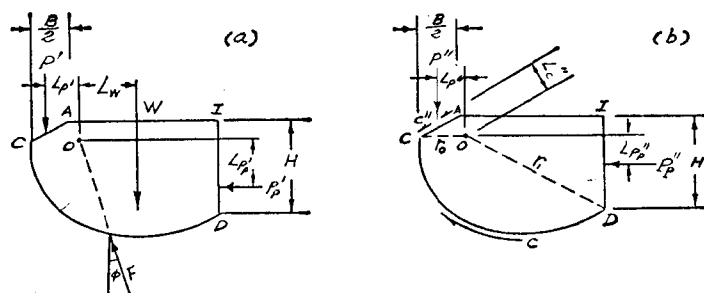


图 2-2 太沙基课题的推导

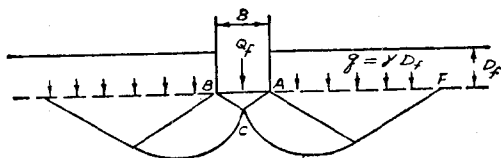


图 2-3 浅基础

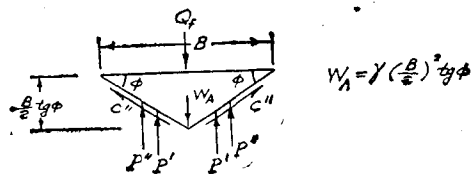


图 2-4