

基礎穩定計算圖解法

М.И. 高尔布諾夫——波沙道夫

В.В. 克來契美尔

建 築 工 程 出 版 社

內容提要 本書介紹按地基極限狀態計算基礎穩定性的新方法。按此方法繪製的圖解大大地簡化了計算。

書中考慮到受中心垂直荷載的有砌置深度和無砌置深度的基礎，考慮到任意大小和形狀以及具有任意容重和內摩擦角的非粘性土壤的基礎。

本書可供民用、工業及水工建築物基礎工程設計人員參考之用。

原本說明

書 名 ГРАФИКИ ДЛЯ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ
ФУНДАМЕНТОВ

編 著 者 М. И. Горбунов-Посадов, В. В. Кречмер

出 版 者 Государственное издательство литературы
по строительству и архитектуре

**出版地點
及 時 間** Москва—1951

基礎穩定計算圖解法

王正宏 譯

*

建築工程出版社出版（北京市東城門外南鐘士路）

（北京市書刊出版業營業許可證出字第052號）

建築工程出版社印刷廠印刷·新華書店發行

書號321 42千字 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張 1 $\frac{7}{8}$ 插頁

1956年8月第1版 1956年8月第1次印刷

印數：1—8,500冊 定價（10）0.32元

目 錄

序 言	4
概 論	6
一、圖解法的用途	6
二、按圓柱滑動面假設的克萊和太沙基計算方法的缺點	9
三、所建議的基礎穩定性計算法的原理	15
第一部分 根据改良圓柱滑動面的圖解法解求基礎 穩定性問題	22
一、基本假設。計算圖	22
二、臨界荷載公式的推導。對於求未知數的聯立方程式的結論	28
三、估算 β 和 R 值的數字例題	34
四、補充意見	36
第二部分 按圓柱滑動面假設計算基礎穩定性的圖解法	47
一、概說	47
二、利用圖解計算	50
三、計算例題	54
參考書籍	61

序 言

工業、民用及水工建築物的基礎地基穩定性計算，對於蘇聯大規模的工程建設，具有特殊重大的意義。

偉大的共產主義建設，高聳房屋和巨大工廠的建築，由基礎將巨大荷載加於土壤。設計師們不得不最大限度地而且可靠地利用地基的承載力。可是現有的按許可壓力計算地基的方法日益不能滿足計算方面不斷增長的需要。要充分利用地基的承載力，必須轉向按基礎上面建築物的強度和使用條件，並按地基本身的穩定性和強度達到極限狀態的最進步的計算方法上面去。

在研究建築物地基穩定性問題方面，蘇聯科學大大地超過了外國的技術思想。我國作家們根據已知的滑動面形狀的假設（Г. Е. 巴烏蓋爾、И. К. 揚柯夫斯基、Н. М. 格爾西萬諾夫、И. И. 拉烏普曼、М. М. 葛立興、Б. М. 洛索夫斯基、М. М. 索柯爾斯基、Г. А. 杜布羅娃等），並根據應用於土壤的彈性理論（И. А. 米略也夫、Н. П. 布壽來夫斯基、Д. Е. 鮑爾辛、И. В. 耶魯鮑爾斯基、В. А. 佛洛林、И. И. 莫洛索夫）和塑性理論（С. И. 拜爾柴斯基、В. И. 洛伏道柴夫、В. В. 索科洛夫斯基、С. С. 高盧希蓋維奇），首先研究出了最完善的穩定性計算方法。目前，蘇聯建築科學家們根據彈性理論和塑性理論的混合解法，正在努力發展最精確的地基穩定性計算方法。

我們所建議的用於在非粘性土壤條件下受垂直荷載作用的基礎地基穩定性計算圖解法，不要求十分精確，而要求非常迅速地 and 十分可靠地核算穩定性。它們是根據圓柱滑動面的假設繪製而成的，這種假設在實際計算中應用最廣。

本書介紹了在試驗上和理論上应用这一假設的根据。作者在利用圓柱滑動面假設時，力圖避免太沙基和克萊所引用的与靜力学相違背的方法，同時合理地簡化了計算。

作者對於 Д.Е. 鮑尔辛對本書提供的寶貴指示和資料，謹致以衷心的感謝。

概 論

一、圖解法的用途

本書介紹一種迅速而可靠的圖解法，以計算受垂直荷載作用的民用、工業及水工建築物中長條矩形基礎下地基的穩定性。其中考慮到任意大小的基礎和任意的砌置深度及地基土壤為具有任意內摩擦角和容重的非粘性土壤。圖解法是根據圓柱滑動面的假設以改良方法繪製而成的。雖然不要求精確的解答，但這樣一種核算穩定性的方法比用其他類似的方法可以得出更可靠的結果，並且在任何情況下所費的時間和勞力都是相當小的。

由於地基穩定性計算和強度計算方面的現狀，這一類的圖解法才得早日問世。

共產主義建設的巨大建築，要求建築師們精確地考慮到土壤的物理力學性質、基礎的大小、基礎上面建築物的剛度及其使用特徵，以便最大限度地利用地基土壤的承載力。各種土壤的許可壓力的標準數值，經過實際的檢驗，已經不能滿足設計師們的要求，因為這數值不能考慮到一些頭等重要的因素，例如基礎的寬度及其砌置深度。此外，按許可壓力計算，不能同時滿足對於地基的兩種不同的要求：一方面是限制沉降的數值（或不均勻沉降），另一方面是保證地基的強度和穩定性。

按許可壓力進行土壤計算，是過去通用的以許可應力計算結構的一種形式，需要代以極限狀態的計算，這種方法在目前要算是最先進的了。正由於這種方法的創立，在編擬建築工程規章[10]各部分時，地基計算的方法獲得了解決。在建築工程規章設計中，

除了按極限沉降計算以外，還要求按第一種極限狀態進行地基的穩定性和強度的計算，以代替按許可壓力的核算。在第一種極限狀態下，地基喪失了抵抗外荷載的能力，或得到殘餘的變形而不許可地基繼續被使用。

只有具備了一種十分簡單同時有根據的計算地基的強度和穩定性方法，才能保證滿足建築工程規章中的要求。

蘇維埃的學者們在地基穩定性問題的研究方面，曾完成了巨大的工作。他們的研究是由幾個方面進行的。

現行方法中的一部分把彈性理論公式應用於土壤應力狀態的計算。首先提出穩定性問題的，是俄羅斯學者 И.А. 米略也夫(1914年)和 Н.И. 布壽來夫斯基(1923年)。這種方法要確定臨界荷載，而臨界荷載相當於地基土壤中即使只有一點開始發生流動的情況，或相當於整個建築物下面有一個區域的土體發生了流動的情況。第一種情況相當於小臨界荷載，這時在實際上非但完全不危及地基的穩定性，同時對地基強度也完全無妨；此外，在任何荷載下，在剛體基礎的下面有土體處於塑性狀態的一個區域。按第二種情況決定臨界荷載是有內在矛盾的，因為當土壤中的塑性變形區域發展到一定程度時，嚴格說來，彈性理論公式已經不能適用了。

其他一種方法係根據松散體靜力學，可以視為一種土壤的綜合性塑性理論。蘇聯科學院通訊院士 В.В. 索科洛夫斯基(1942年)[4]，首先根據這一理論做出了土壤穩定性的詳盡的解答。但應指出，當應用松散體靜力學解決建築物地基的穩定性問題時，應假設所有土壤皆處於極限平衡狀態。

既然土壤在喪失穩定性時，有一部分處於彈性狀態，有一部分處於塑性狀態，則應視為從松散體極限平衡理論中的彈性理論混合問題來求得更正確的解決。但是為解決這個問題所需要的時間和勞力是不少的。

除上述比較嚴格的方法外，還有很多基於有關滑動面形狀的各種不同的簡化假設的方法，這方法認為當建築物喪失穩定性時，它們下面的土壤沿着這些滑動面發生滑動。其中最常用的是：(1) H.M. 格爾西萬諾夫[1]、И.И. 拉烏普曼[11]及 Г.А. 杜布羅娃[12]方法。這些方法所採用的計算圖，早在 1889 年就由俄羅斯學者 И.К. 揚柯夫斯基提出；根據這個計算圖，由建築物所引起的地基滑動土層是由兩個三稜土體組成的；(2) 由圓柱滑動面假設所決定的方法。這個假設的優點是簡單，同時按實際觀察又很符合於建築物下土體破壞的真實圖象[6]。其次，它也近似地反映了砂槽中砂基試驗研究的結果。最後，應指出，在極限荷載下，按彈性理論求得的塑性區域周界曲線的形狀也是十分接近圓形的[16]。

可惜，當這個簡單的並且與真實情況相接近的假設被利用於實際時，却由於外國學者太沙基和克萊依此原理所提出的極端不好的解法而導致十分繁重和複雜的計算。儘管後來在某些個別問題中，這一計算曾被略微簡化（參閱例如 M.M. 索柯爾斯基的著作[7]），但畢竟現在，甚至在最簡單的情況中，按克萊和太沙基的方法計算，需要化費很多的勞力。此外，正如下面所要指出的，克萊和太沙基方法所依據的論點是與靜力學相矛盾的。

蘇維埃學者 M.M. 葛立興[9]和 B.M. 洛索夫斯基[6]曾作了成功的嘗試，以改良圓柱滑動面法，但在使計算方法趨於簡化這方面，並沒有獲得成功。此外，在這一解法中，地基穩定性是根據一個相應於設計荷載的所謂穩定係數的結果來說明的。同時，在計算時要求根據極限狀態找出每種土壤的與已知荷載無關的承載力的數值（極限荷載）；極限荷載對設計荷載的比值就是該設計荷載的穩定安全係數。

以上情況促使我們來研究另一種計算方法，使它既有嚴格的靜力學上的根據，同時又能繪出大大簡化計算的圖解法。本書所

要介紹的圖解法僅限於受垂直中心荷載的有砌置深度和無砌置深度的基礎，並且假設土壤是非粘性的(砂、卵石、砂壤土以及一般具有內摩擦力而凝聚係數等於零或很小的土壤)^①。但應指出，所建議的方法也易於概括其他計算圖。特別是目前我們已經研究了处在混合荷載(垂直荷載和水平荷載)作用下的基礎以及擋土牆的穩定計算方法。如果所編製的圖解法在實踐中證明有效，它們還需要補充以其他的圖解法。

迄目前為止，圓柱滑動面的假設，主要是用於斜坡以及擋土牆和壩基的穩定性計算，但不用於受垂直荷載的基礎地基的計算。這樣做並不是因為上述假設應用於這種情況不能很好地符合真實性。相反地，正如上述圓柱滑動面的假設已經得到了最好的試驗證明。在基礎地基中，這個假設所以不被利用，僅是因為受垂直荷載的基礎地基穩定性的計算一般是不需要的，而代以更基本的許可壓力的核算。

最後要指出，雖然根據圖解法定出的極限荷載要大於按其他簡化方法和公式求出的極限荷載，但由於以下將要談到的一些原因，可以知道它們是比用試驗方法確定出來的極限荷載為小。因此，用圖解法求得的極限荷載，應視為極限荷載可能數值的下限。

二、按圓柱滑動面假設的克萊 和太沙基計算方法的缺點

根據圓柱滑動面的假設，在解決極限平衡的平面問題時，需要定出極限平衡破壞時土壤發生剪切的滑動圓弧(投影在圖面上)的圓心位置及其半徑的大小。

因此，需要從無數個可能的圓弧中，挑選出一個為建築物下面

① 顯然可知，在利用所述的圖解法核算地基穩定性時，並不是說就不需要計算地基的沉降。

具有最小穩定性的圓柱土體所限定的圓弧。

由任何一個圓弧劃分出來的土體的穩定係數，克萊[2]和太沙基[3]建議用下面的比值：

$$k = \frac{\tan \varphi}{\tan \rho}, \quad (1)$$

式中： ρ —當被劃分出來的圓弧狀土體達到極限平衡狀態時，假定的土體內摩擦角；

φ —實際的內摩擦角。

當(1)式比值為最小時，被圓弧所限定的土體的穩定性亦將最小。這時相應的最小 k 值，即被用作地基的穩定係數。

因此，解決地基穩定性的問題（當地表外廓線、有效荷載分佈的特性和大小為已知時），在於找出滑動圓柱面、圓心位置及半徑大小，這些在已知條件下能給出最小的 k 值。

如果對於該面從計算中定出的 k 值小於1，則穩定性就沒有保證，土體就會滑動。當 k 值大於1時，穩定性就有保證，同時 k 值比1大得愈多，穩定的可靠性就愈大。當 $k=1$ 時，地基達到了極限平衡。

但是，要從所有可能圓柱滑動面中，挑選出一個最危險的圓柱滑動面是十分複雜的問題。克萊和太沙基曾經給出了任意大小的半徑，並選擇了任意的滑動圓心。然後算出相應於這些半徑和圓心的穩定係數 k ，並且逐步地查明 k 值隨圓心位置和半徑大小而變化的總趨勢，這樣就可以找出未知的土壤圓柱體。

後來，雖然由於某些著作，特別是M.M. 索柯爾斯基[7]的作品，將這一試繪的方法在很多的計算圖中作了某些簡化，但現在也還是很費事而且不可靠。為要估計其困難性，就得考慮到在確定每一個所考慮的滑動弧的 k 值時，都是費力的工作。如果所考慮的滑動弧很多，常需化費許多煞費精力的勞動。

克萊和太沙基方法的缺點還不止於此。問題在於用他們所建議的方法來確定 k 值，不但有困難，而且這種方法本身所依據的假設是不符合靜力學原理的，

為了說明這一點，我們來看一看克萊和太沙基方法確定 k 值的步驟。

為了確定作用在分割出來的圓柱土體上的滑動力和抵抗力，他們兩位建議把這個土體分成若干寬度相等的垂直長條。如果在長條表面上有外荷載（有效荷載）作用，則該長條不取用真實的高度，而取用假定的高度，以便使該土條（沿整個假定的高度，具有與土壤同一的容重）具有等於作用在土條上的總重量（連同土條上的有效荷載在內）。這種計算圖用於最簡單形式的重力式岸牆的計算情況，如圖 1〔6〕所示。

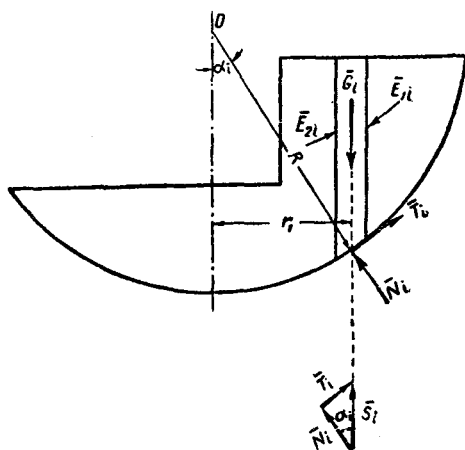


圖 1. 按圓柱滑動面假設的太沙基和克萊方法的計算圖

我們知道，在每一塊分割出來的土條上，除相應的重量 $\bar{G}_i$ 和沿滑動弧來自不動土體的反力外，還有來自相鄰土條的反力 $\bar{E}_{1i}$ 和

$\bar{B}_i$ 作用。但是这些反力的分佈規律是不知道的。太沙基認為可以完全捨棄这些反力，而認為土条只處於自重和滑動弧上反力的作用之下。我們在下面將談到克萊對於同一問題方面的看法。

將與摩擦力有關的反力 $\bar{S}_i$ 分解成切向和法向分力：

$$\bar{S}_i = \bar{T}_i + \bar{N}_i, \quad (2)$$

考慮到作用線 $\bar{N}_i$ 必須通過 O 點，同時 $\bar{S}_i$ 和 $\bar{G}_i$ 二向量模數相等 ($S_i = G_i$)，故可得下列公式：

$$T_i = G_i \sin \alpha_i; \quad (3)$$

$$N_i = G_i \cos \alpha_i, \quad (4)$$

式中： α_i —相應於截取土條的中心角。

另一方面，如果土壤中沒有凝聚力，而內摩擦角為 ρ ，則在達極限平衡時（只有此情況下）一定會得到：

$$T_i = N_i \operatorname{tg} \rho, \quad (5)$$

或是根據公式(4)：

$$T_i = G_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \rho. \quad (6)$$

但須注意，如將公式(3)與(6)比較，則得：

$$G_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \rho = G_i \sin \alpha_i, \quad (7)$$

或

$$\alpha_i = \rho. \quad (8)$$

ρ 值可視為常數，但 α_i 角却隨着各個土條而改變。因此，按太沙基對於問題的提法所得到的等式(8)是不可能成立的。從這一點就可以得出結論：太沙基的計算圖是不符合靜力學的。如果太沙基在確定未知數 ρ 值時是根據各個土條單獨達到極限平衡的條件，顯然也會得到上述的情況。但是在太沙基的解法中，極限平衡條件是為整個滑動土體而寫出的。這時可以看到，因為只有每一個單獨土條滿足極限平衡條件時才正確的等式(5)仍舊在被採用，所以(8)式的矛盾依然存在，雖然在討論過程中這一點已經被揭露

但沒有闡明。

現在再來談談太沙基的解法。

他把整個滑動土體的極限平衡條件寫成兩個力矩的等式：一個是力圖促使土體滑動的所有的力所形成的滑動力矩 M_{cda} ，另一個是阻止滑動的力所形成的穩定力矩 M_{ycm} 。作用在每一塊土條上的重力形成了滑動力矩。如果以 $\gamma_i = R \sin \alpha_i$ 表示從這些力的作用線到通過滑動圓弧中心垂直線的距离，則得：

$$M_{cda} = \sum G_i \gamma_i = R \sum G_i \sin \alpha_i, \quad (9)$$

符號 $\sum$ 表示包括所有的分割土條。

當內摩擦角為 ρ 時，假想滑動土體的 M_{ycm} 值決定於摩擦力所產生的力矩。根據等式(6)，可得：

$$M_{ycm} = \sum T_i R = R \operatorname{tg} \rho \sum G_i \cos \alpha_i. \quad (10)$$

當達到極限平衡時， $M_{cda} = M_{ycm}$ ，或

$$R \sum G_i \sin \alpha_i = R \operatorname{tg} \rho \sum G_i \cos \alpha_i. \quad (11)$$

於是未知摩擦係數可由下列等式求得：

$$\operatorname{tg} \rho = \frac{\sum G_i \sin \alpha_i}{\sum G_i \cos \alpha_i}. \quad (12)$$

根據等式(12)和(1)，可得穩定係數如下：

$$k = \frac{\operatorname{tg} \varphi \sum G_i \cos \alpha_i}{\sum G_i \sin \alpha_i}. \quad (13)$$

真實土體的 M_{ycm} 值是將公式(10)中的 $\operatorname{tg} \rho$ 代以 $\operatorname{tg} \varphi$ 而得的。因此，從公式(13)、(9)及(10)，可知穩定係數同時也等於 M_{ycm} 對 M_{cda} 的比值：

$$k = \frac{M_{ycm}}{M_{cda}}. \quad (14)$$

克萊的解法[2]與太沙基的解法完全相似，差別只在於克萊完全任意假設：為考慮反力 $\bar{E}_{1i}$ 和 $\bar{E}_{2i}$ ，可將用作解求滑動圓弧上反

力的法向分力的公式(4)代以下列公式:

$$N_i = G_i. \quad (15)$$

按照这一假设, 稳定係数的公式根据克萊可寫成:

$$k = \frac{\operatorname{tg} \varphi \sum G_i}{\sum G_i \sin \alpha_i}. \quad (16)$$

現在轉回來談談對於克萊和太沙基解法的批評性的意見。我們注意到, 這兩位作者利用了由許多土条所組成的整個土體的極限平衡條件, 而沒有把這個條件用於各個單獨的土条, 因而他們就抹煞了由於捨棄各土条之間的反力而來的錯誤作用, 不僅是避開了(8)式的矛盾。實際上, 他們對問題的提法, 是無意中假設了被捨棄的由摩擦力所造成的反力相互抵消了, 因此就不會影响到方程式(11)中的 M_{cda} 和 M_{ycm} 的數值。

但是, 這一類的假設是完全不正確的。各土条間作用於滑動弧切線方向的反力的分力, 參加到土条剪切力裏面去, 因此, 它們部分地為摩擦力所平衡, 而不是彼此相互平衡。從另一方面來看, 這些反力的垂直分力會改變公式(5)中 N_i 的數值 但不一定如克萊所假設的那樣), 因而它們會影響到作用於土条上的摩擦力數值。

關於可以將土条之間的反力捨而不計的假設將導致荒謬的結果。可以清楚地看到, 從這個情況中, 即如果沒有這些反力, 則在滑動土体左邊的土条 (圖 1), 僅僅在自重 $\bar{G}_i$ 的作用下就會力圖向下、而不是向上移動; 因此, “左邊”土条上摩擦力的方向就會與“右邊”的相反, 並且摩擦力不再是抵抗土体滑動的力而變成促使土壤滑動的力。這是與物理力學本質相違背的。克萊和太沙基避開了這種荒謬的情況, 而要求在实际計算中把“左邊”土条的摩擦力方向看成與“右邊”的具有同一方向, 這種要求是毫無根據的。

當極限平衡破壞時, “左邊”土条力圖向上移動, 僅是因為土条間的反力作用, 這與“左邊”土条的重力作用相反。這個事實說明

了这些反力是很可觀的。因此为克萊-太沙基的計算圖而辯解的另一种論据，即認為这些反力比重力为小的說法，是無法立足的。

因此，太沙基和克萊的計算圖，非但不能精確地滿足靜力学方程式所規定的極限平衡条件，甚至要近似地滿足都不行。按照这种計算圖，固然各个独立的土条不能滿足極限平衡条件，就是整个土体亦復如此，因为它们們的滑動力和抵抗力的總和數值是沒有根据的。

有時人們为克萊和太沙基的計算圖辯護，說这种計算圖或多或少能反映極限平衡的情况，甚至加於各个独立土条上的力系不符合於靜力学方程式時也是如此。他們解釋說，在有摩擦力存在時，不一定要完全滿足靜力学方程式。例如，如果一个物体处于斜面上，在与斜面相切的不同數值的支持力下，它可能处于平衡状态，但这些數值要大於物体開始向下移動時的極限數值，並小於物体開始向上運動時的極限數值。

但是在我們的問題中，所考慮的不僅是平衡，而且是極限平衡，並且不僅是整个滑動弧要滿足極限平衡条件，就是滑動弧上的每一个部分也要滿足極限平衡条件（这些部分相应於按所研究的圖所分割成的独立移動土条的寬度）。这样一种处于極限平衡状态的物体，必須滿足靜力学方程式。

圓柱滑動面假設的本身可能是沒有条件的。然而在利用这一假設時，正像其他的假設一样，必須有靜力学的根据。沒有这个条件，这个假設便不能認為是接近真实情况。所以利用克萊和太沙基的計算圖，只能說在表面上具有靜力学的計算根据，而沒有任何实际內容。

三、所建議的基礎穩定性計算法的原理

所建議的計算方法是以下列主要假設為基礎的。

1. 問題是按整個滑動土體達到極限平衡狀態的條件，而不是按其中任何一點達到極限應力狀態的條件解決的。這就是說，我們要求僅僅是靠近滑動土體圓柱滑動面邊界處各點的應力達到極限狀態。這種提法是完全有根據的，因為我們所採取的關於圓柱滑動面的假設，使我們可以認為整個土體力圖沿着滑動面轉動，但各別土粒之間並無相對位移，因此，滑動土體被視為剛體。

對問題這樣的提法常稱為古典法。這種提法的優點在於：如果採用了關於滑動面形式的近似假設，則進一步的計算便可以精確地按照靜力學的假設進行。

我們在第一節中所提到的 H.M. 格爾西萬諾夫的方法 [1]，也是建立在確定極限平衡狀態的基礎上的。M.M. 葛立興 [9] 和 B.M. 洛索夫斯基 [6] 建議將古典法應用於滑動圓弧。可惜，這兩位作者並沒有能完全利用古典方法來直接分析求解，而是與克萊和太沙基一樣，建議用試繪法定出危險的滑動圓弧。

克萊和太沙基的解法，既不屬於極限應力狀態的情況，也不屬於古典剛體理論的範疇，因為一方面他們假定了在滑動土體內部的各個原素體的土壤有垂直位移發生，但另一方面卻又考慮僅僅在滑動面上達到總體極限平衡狀態。

2. 其次，在克萊和太沙基的方法中，穩定係數 k 是一個未知數。在我們的解法中，穩定係數 (14) 取用相應於極限平衡狀態時的數值 ($k=1$)，而滑動土體的半徑和圓心的位置却是未知數。但是這些數值可以這樣來求得，即使其相應於若干可能滑動弧中最危險的情況，亦即相應於足以使基礎獲得最小荷載的圓弧。

但須注意，在穩定性計算中，危險滑動弧的半徑和位置具有輔助的意義；而設計師們最感興趣的主要數值，是相應於危險滑動圓弧的最小荷載，換句話說，是在一定的穩定係數下許可作用於地基的極限荷載。

3. 符合於圓柱滑動面的極限荷載，是通過找尋滑動圓弧的分析方法求出的，但這個滑動弧要與土體受到最小有效荷載的情況相當。因此，藉試繪法以確定危險滑動圓弧就沒有必要了。

4. 在所建議的解決地基穩定性的方法中，僅僅考慮了無粘性土壤，亦即土壤沒有粘性或者粘性甚微可以不計的情況。雖然如此，我們所建議的方法向具有凝聚力的土壤那方面發展，却並沒有原則性的以及數學上的困難。

再要說明，在問題中我們僅考慮了地基土壤是均質的情況，而把滑動土體整個深度內的內摩擦角和土壤容重視為常數。

此外，大家都知道，在實踐中，設計師們經常會遇到非均質的地基。

此時，如果地基土壤中並不含有那種接近地面的、具有很大凝聚係數的土層，以及除下面我們所要談到的一些其他的例外情況外，我們建議利用我們的方法（更精確些說，根據它的原理所作出的圖解法），並採用某些平均值作為內摩擦角（ φ ）係數和容重（ γ ）的數值。

這一建議的論點基於一種想像，即：圓柱滑動面假設的本身乃是十分近似的假設，因此欲將真正土體內的非均質性加以某種修正，實際上是毫無意義的。

我們可以確信，藉圖解法求得的結果比按克萊和太沙基的計算圖求得的結果更為接近實際情況，縱然在克萊和太沙基方法中考慮了各部分土體內摩擦係數和容重的變化。

但是，很顯然，如果很難相信基於地基土層的特性，滑動土體會具有圓柱形的邊界面，或者預料滑動會發生在某一個特別非均質的土層交界面上，則我們所建議的方法就完全不能應用。例如，在接近基礎底處有岩石的或半岩石的下臥層，或是在砂土地基中