

# $K_0 \neq 1$ 时的地基临塑载荷和临界载荷近似计算公式

梅岭<sup>1,2</sup>, 梅国雄<sup>\*2</sup>, 易宗发<sup>3</sup>

(1. 江苏科技大学 土木工程与建筑学院, 镇江 212003; 南京工业大学 土木工程学院, 南京 210009;  
3. 江西省交通厅 科技教育处, 南昌 330001)

**摘要:**地基弹塑性承载力  $p_{cr}$ 、 $p_{1/4}$  的公式在推导过程中, 为方便求解, 一般假设地基土体的静止土压力系数  $K_0 = 1$ , 即把自重应力场看成是静水应力。这一假定实际上人为地增加了地基土的侧向压力, 使土体处于加密状态, 从而过高地估计了地基承载力。考虑  $K_0 \neq 1$  的前提下, 由地基土中一点的应力状态, 根据莫尔-库伦破坏准则, 得到该点的临塑、临界载荷的近似公式。该公式修正了一些学者在  $K_0 \neq 1$  时推导地基弹塑性承载力公式过程中的缺陷, 也弥补了现有公式的局限性, 得到了土体抗剪强度参数  $c$ 、 $\varphi$  在不同的  $K_0$  下对地基临界载荷  $p_{1/4}$  的影响, 给出了该近似公式的适用条件。

**关键词:** 静止土压力系数; 临塑载荷; 临界载荷; 近似公式  
**中图分类号:** TU473.1<sup>+</sup>3 **文献标识码:** A

## 1 目前 $p_{cr}$ 和 $p_{1/4}$ 公式存在的问题

现有的地基临塑载荷 ( $p_{cr}$ ) 和临界载荷 ( $p_{1/4}$ ) 公式, 是条形基础受到竖向荷载作用下, 根据弹性理论推导得到的<sup>[1]</sup>。如图 1 所示, 地基中任意一点  $M$  受到由均布条形荷载引起的附加大、小主应力和自重应力, 但因二者作用方向不一致, 不能直接相加, 此时假定在极限平衡区土的静止土压力系数  $K_0 = 1$ , 即把自重应力场看成是静水应力状态, 在同一深度处各个方向上应力均相等, 则两项应力可以相互叠加, 最后得到地基的临塑载荷和临界载荷公式。但严格来讲, 静止土压力系数  $K_0 \neq 1$ , 即在  $M$  点产生的附加大、小主应力方向与自重应力方向并不一致, 所以这两项应力不可以相互叠加。

文献[2,3]取消了  $K_0 = 1$  这一假定, 并得到了相应的临塑载荷和临界载荷近似计算公式。在求取  $M$  点的总应力时, 根据  $M$  点的自重应力求出它的附加主应力  $\sigma_1$  和  $\sigma_3$  方向上的正应力和剪应力, 然后把这两项应力进行叠加。但此时  $M$  点的总应力方向并非是其主应力方向; 另外, 文献[2,3] 分别推得了  $M$  点至基础底面的垂直距离  $Z$  和临界载荷

$p_{1/4}$  的表达式, 再将表达式分别对图 1 中的  $\alpha$  和  $\beta$  求偏导, 最后得到临界载荷的近似计算公式。但是, 由几何关系可知,  $\alpha$  和  $\beta$  可以相互表示, 也即文献[2, 3] 分别对  $\alpha$  和  $\beta$  求偏导是不合适的。文献[4] 把  $M$  点  $x$  和  $z$  方向上的附加应力以及自重应力进行叠加, 得到  $M$  点的应力状态后求得该点的主应力。但文献[4] 根据极限平衡条件, 只得到了基础中心点下的临塑载荷及临界载荷计算公式这一特例。

## 2 近似公式推导

### 2.1 临塑、临界载荷近似公式

如图 1 所示为一条形基础, 基础宽度为  $B$ , 埋深为  $D$ , 均布条形荷载  $p$  作用在基底。基础埋深  $D$

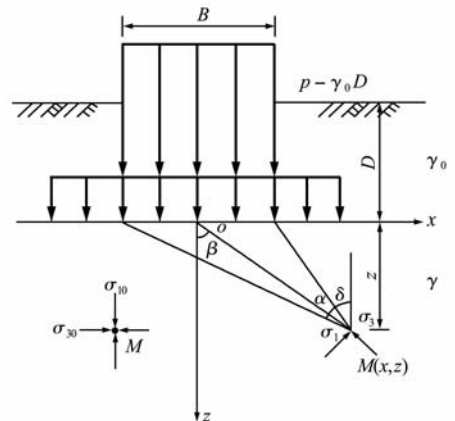


图 1 条形均布荷载下地基内任一点受力图  
Fig. 1 Reacting force distribution of foundation soil under rigid foundation

收稿日期:2008-11-04; 修改稿收到日期:2009-11-09.  
基金项目:国家自然科学基金项目(50608038)资助项目.  
作者简介:梅岭(1982-),男,讲师;  
梅国雄\*(1975-),男,教授,博士生导师  
(E-mail: meiguox@163.com);  
易宗发(1965-),男,副教授.

范围内的土层加权平均重度为  $\gamma_0$ , 基础下土层重度为  $\gamma$ , 地下水位以下取有效重度。土体的抗剪强度参数为  $c, \varphi$ , 土的静止土压力系数为  $K_0$ 。

基底附加压力  $p_0$  对地基内任一点  $M$  产生的附加应力为<sup>[5]</sup>:

$$\sigma'_z = \frac{p_0}{\pi} \{ \alpha + \sin \alpha \cos(\alpha + 2\delta) \} \quad (1)$$

$$\sigma'_x = \frac{p_0}{\pi} \{ \alpha - \sin \alpha \cos(\alpha + 2\delta) \} \quad (2)$$

$$\tau'_{xz} = \frac{p_0}{\pi} \sin \alpha \sin(\alpha + 2\delta) \quad (3)$$

又土体在  $M$  点产生的自重应力为

$$\sigma_{cz} = \gamma_0 D + \gamma z, \sigma_{cx} = K_0 (\gamma_0 D + \gamma z), \tau_{czx} = 0 \quad (4 \sim 6)$$

把式(1~3)分别与式(4~6)相加即得  $M$  点的总应力为

$$\sigma_z = \frac{p_0}{\pi} \{ \alpha + \sin \alpha \cos(\alpha + 2\delta) \} + \gamma_0 D + \gamma z \quad (7)$$

$$\sigma_x = \frac{p_0}{\pi} \{ \alpha - \sin \alpha \cos(\alpha + 2\delta) \} + K_0 (\gamma_0 D + \gamma z) \quad (8)$$

$$\tau_{xz} = \frac{p_0}{\pi} \sin \alpha \sin(\alpha + 2\delta) \quad (9)$$

由式(7~9)可以得到  $M$  点的主应力:

$$\sigma_1 = \frac{p_0}{\pi} \alpha + \frac{1 + K_0}{2} (\gamma_0 D + \gamma z) \pm \sqrt{\left[ \frac{p_0}{\pi} \sin \alpha \cos(\alpha + 2\delta) + \frac{1 - K_0}{2} (\gamma_0 D + \gamma z) \right]^2 + \left[ \frac{p_0}{\pi} \sin \alpha \sin(\alpha + 2\delta) \right]^2} \quad (10)$$

由于

$$\sqrt{a^2 + b^2} \approx 0.96a + 0.37b \approx 1.0a + 0.38b^{[6]} \quad (11)$$

所以

$$\sigma_1 = \frac{p_0}{\pi} \{ \alpha + \sin \alpha \cos(\alpha + 2\delta) + 0.38 \sin \alpha \sin(\alpha + 2\delta) \} + (\gamma_0 D + \gamma z) \quad (12)$$

$$\sigma_3 = \frac{p_0}{\pi} \{ \alpha - \sin \alpha \cos(\alpha + 2\delta) - 0.38 \sin \alpha \sin(\alpha + 2\delta) \} + K_0 (\gamma_0 D + \gamma z) \quad (13)$$

又根据莫尔-库伦破坏准则,当  $M$  点达到极限平衡时,有

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) + 2c \tan(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \quad (14)$$

把式(12,13)代入式(14)并整理可得

$$z = \frac{p_0}{\gamma \pi} \left\{ \frac{\sin \alpha \cos(\alpha + 2\delta) + 0.38 \sin \alpha \sin(\alpha + 2\delta)}{\sin \varphi} - \alpha \right\} \times \frac{1 - \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}{1 - K_0 \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})} - \frac{c}{\tan \varphi} \frac{1 - \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}{1 - K_0 \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})} - \frac{\gamma_0 D}{\gamma} \quad (15)$$

由近似等式(11),上式中

$$\sin \alpha \cos(\alpha + 2\delta) + 0.38 \sin \alpha \sin(\alpha + 2\delta) = \sin \alpha \{ \cos(\alpha + 2\delta) + 0.38 \sin(\alpha + 2\delta) \} \approx \sin \alpha \sqrt{\cos^2(\alpha + 2\delta) + \sin^2(\alpha + 2\delta)} = \sin \alpha$$

代入式(15)可得

$$z = \frac{p_0}{\gamma \pi} \left( \frac{\sin \alpha}{\sin \varphi} - \alpha \right) \frac{1 - \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}{1 - K_0 \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})} - \frac{c}{\tan \varphi} \frac{1 - \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}{1 - K_0 \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})} - \frac{\gamma_0 D}{\gamma} \quad (16)$$

当地基土性质一定时,  $z$  是  $\alpha$  的函数,为求  $z$  的最大值,将式(16)对  $\alpha$  求导,并令其导数等于零,即

$$\frac{dz}{d\alpha} = \frac{p_0}{\gamma \pi} \left( \frac{\cos \alpha}{\sin \varphi} - 1 \right) = 0$$

所以  $\alpha = \frac{\pi}{2} - \varphi$ , 代入式(16)得

$$z_{\max} = \frac{p_0}{\gamma \pi} \left( \cot \varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi \right) \frac{1 - \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}{1 - K_0 \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})} - \frac{c}{\tan \varphi} \frac{1 - \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}{1 - K_0 \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})} - \frac{\gamma_0 D}{\gamma} \quad (17)$$

由式(17)可以求得基底的附加压力为

$$p_0 = \frac{\pi}{\cot \varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi} \frac{1 - K_0 \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}{1 - \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})} \gamma z_{\max} + \frac{\pi}{\cot \varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi} \frac{1 - K_0 \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}{1 - \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})} \gamma_0 D + \frac{c \pi \cot \varphi}{\cot \varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi} \quad (18)$$

$$\text{令 } N_c = \frac{\pi \cot \varphi}{\cot \varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi}, N_\gamma = N_c \tan \varphi,$$

把  $p_0 = p - \gamma D$  代入式(18) 可得基底压力为

$$p = \frac{1 - K_0 \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}{1 - \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})} \gamma z_{\max} N_\gamma + [N_\gamma \cdot \frac{1 - K_0 \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}{1 - \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})} + 1] \gamma_0 D + c N_c \quad (19)$$

若求临塑荷载, 则取最大深度  $z_{\max} = 0$ , 并代入式(19) 得

$$p_{cr} = [N_\gamma \cdot \frac{1 - K_0 \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}{1 - \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})} + 1] \gamma_0 D + c N_c \quad (20)$$

上式令  $K_0 = 1$ , 即得现有的临塑荷载计算式<sup>[1]</sup>。

若令  $z_{\max} = B/3, B/4$ , 代入式(19) 即可得到相当于地基中塑性区最大深度为  $B/3, B/4$  的荷载, 即临界荷载  $p_{1/3}, p_{1/4}$ 。

$$p_{1/3} = \frac{1 - K_0 \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}{1 - \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})} \gamma N_{\gamma^{1/3}} + [N_\gamma \cdot \frac{1 - K_0 \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}{1 - \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})} + 1] \gamma_0 D + c N_c \quad (21)$$

$$\text{式中 } N_{\gamma^{1/3}} = \frac{\pi}{3(\cot\varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi)} = \frac{1}{3} N_c \tan\varphi$$

$$p_{1/4} = \frac{1 - K_0 \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}{1 - \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})} \gamma N_{\gamma^{1/4}} + [N_\gamma \cdot \frac{1 - K_0 \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}{1 - \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})} + 1] \gamma_0 D + c N_c \quad (22)$$

$$\text{式中 } N_{\gamma^{1/4}} = \frac{\pi}{4(\cot\varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi)} = \frac{1}{4} N_c \tan\varphi$$

同样, 当  $K_0 = 1$ , 即得现有的临界荷载计算公式, 且  $K_0 = 1$  时的  $p_{1/4}$  计算公式在  $\varphi \leq 22^\circ$  时, 其承载力系数与我国地基规范中求地基承载力特征值公式的承载力系数一致<sup>[7]</sup>。

## 2.2 算例分析

为与近似公式所得结果相比较, 利用 MATLAB

语言编制程序来求解地基弹塑性承载力数值解。得到  $M$  点的主应力表达式后, 根据莫尔 - 库伦破坏准则, 得到当  $M$  点达到极限平衡时关于均布条形荷载  $p$  的方程。给定  $M$  点在深度方向上的坐标  $Z$ , 如  $z = 0$  或  $z = B/4$ , 可得到关于临塑荷载  $p_{cr}$  或临界荷载  $p_{1/4}$  的方程, 输入土体的基本参数, 让  $M$  点的横坐标  $X$  在一定范围内取值, 解方程并取合理解就可得到不同  $X$  下的承载力, 取其中的最小值, 即为该地基的临塑荷载  $p_{cr}$  或临界荷载  $p_{1/4}$ 。

**算例** 一条形基础, 宽  $B = 3 \text{ m}$ , 埋置深度为  $D = 1 \text{ m}$ , 地基土的天然重度  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ , 土的抗剪强度参数  $c = 10 \text{ kPa}$ ,  $\varphi = 10^\circ$ , 不考虑地下水的影响, 求地基的承载力  $p_{cr}$  和  $p_{1/4}$ 。

本算例假设土体充分固结, 近似取  $\varphi' = \varphi$ , 即  $K_0 = 1 - \sin\varphi = 0.83$ , 结合已知参数, 代入式(20, 22) 即可得到  $p_{cr}$  和  $p_{1/4}$ , 把结果与其他方法作比较, 具体结果见表 1。

表 1 不同方法求取地基临塑临界荷载结果比较

Tab.1 Comparison of results between different methods

方法 结果	近似公式		数值方法		现有 公式
	$K_0 = 0.83$	$K_0 = 1$	$K_0 = 0.83$	$K_0 = 1$	
$p_{cr}/\text{kPa}$	66.6	75.0	58.7	74.6	75.0
$p_{1/4}/\text{kPa}$	70.9	84.8	64.3	85.1	84.8

由表 1 可知, 当  $K_0$  退化到 1 时, 用近似公式得到的临塑荷载和临界荷载数值解与土力学教材中方法所得结果相一致。用于对比的数值方法, 当  $K_0 = 1$  时, 所得结果与现有公式结果基本吻合, 它们之间的误差仅是由取值的精确度不同而造成, 这也证明了该程序的正确性。

由表 1 还可以知道, 由于近似公式考虑  $K_0 \neq 1$ , 所得结果要比土力学教材中的方法小, 其中临界荷载  $p_{1/4}$  在  $K_0 \neq 1$  比  $K_0 = 1$  时小 30% 之多, 这是因为当假设  $K_0 = 1$  时, 也即假设土体处于静水压力的状态下, 使土体人为地处于加密状态, 所得临塑荷载和临界荷载必然偏大。这一现象也被悉尼大学的 Poulos(2001) 等在第 15 届国际土力学和岩土工程大会上提出<sup>[8]</sup>“对于某些问题, 近年来的进展验证了传统的不正确性, 其中包括 Terzaghi 的承载力理论, 这种理论常常过高地估计浅基础的承载能力”的观点所证实<sup>[9]</sup>。而且, 目前有些地区的工程中, 用临界荷载承载力公式确定的地基承载力特征值远大于按变形确定的承载力特征值<sup>[4]</sup>, 这说明了临界荷载承载力公式的推导过程中假设  $K_0 = 1$

是不合适的。数值方法也取消了这一假定,所以结果与近似公式所得结果差异较小。但由于在推导公式过程中的近似,导致结果比数值方法所得结果偏大。

### 3 参数分析

#### 3.1 黏聚力 $c$ 变化时 $K_0$ 对临界荷载的影响

为分析在不同黏聚力  $c$  的条件下,  $K_0$  对临界荷载的影响,取  $\varphi = 10^\circ$ ,  $c$  分别取 10 kPa, 20 kPa 和 40 kPa, 其余参数同 2.2 中的算例。利用近似公式, 分别求出不同的  $c$  值条件下, 地基土临界荷载  $p_{1/4}$  与  $K_0$  的相关关系, 并与数值解相比较, 具体结果如图 2 所示。

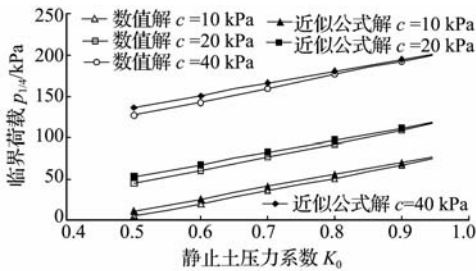


图 2 静止土压力系数与临界荷载关系图 ( $\varphi = 10^\circ$ )  
Fig. 2 Relationship between  $K_0$  and  $p_{1/4}$  ( $\varphi = 10^\circ$ )

由图 2 可知, 临界荷载  $p_{1/4}$  随着  $K_0$  的增大大致呈线性增加。随着黏聚力  $c$  的增大, 临界荷载也逐渐增加, 并且, 当  $c$  取不同值时, 临界荷载  $p_{1/4}$  与  $K_0$  的关系线基本平行, 即随着  $K_0$  的增大, 在不同的黏聚力  $c$  下, 临界荷载  $p_{1/4}$  的变化率是相同的。所以,  $\varphi$  一定时, 增大相同的侧限量  $\Delta K_0$ , 不管土体的黏聚力多大, 其承载力的增加量基本一致。数值解也有类似的规律, 与近似公式解较接近, 但结果偏小。

从图 2 也可以看出, 当  $K_0$  较小时, 数值解与近似公式结果相差较大, 随着  $K_0$  的增大, 两者的差异越来越小, 直至  $K_0 = 1$  时两结果相重合。

#### 3.2 摩擦角 $\varphi$ 变化时 $K_0$ 对临界荷载的影响

为分析在不同摩擦角  $\varphi$  的条件下,  $K_0$  对临界荷载的影响, 取  $c = 20$  kPa,  $\varphi$  取  $10^\circ, 25^\circ, 35^\circ$  之间取值, 其余参数同 2.2 中的算例。利用近似公式, 分别求出不同的  $\varphi$ , 地基土临界荷载  $p_{1/4}$  随  $K_0$  变化而变化的情况, 具体结果如图 3 所示。

由图 3 同样可以看出, 临界荷载  $p_{1/4}$  与  $K_0$  之间大致呈线性关系,  $K_0$  增加,  $p_{1/4}$  随之增加。随着摩擦角  $\varphi$  的增大,  $p_{1/4}$  也逐渐增大。当摩擦角  $\varphi$  较小时, 随着  $K_0$  的增加, 临界荷载  $p_{1/4}$  的增长比较缓

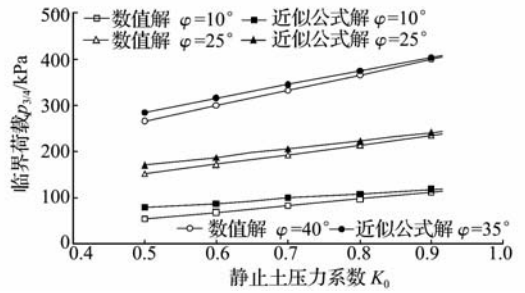


图 3 静止土压力系数与临界荷载关系图 ( $c = 20$  kPa)  
Fig. 3 Relationship between  $K_0$  and  $p_{1/4}$  ( $c = 20$  kPa)

慢, 当  $\varphi$  逐渐增大, 临界荷载  $p_{1/4}$  与  $K_0$  的关系线越来越陡, 斜率越来越大,  $p_{1/4}$  增长迅速。所以,  $c$  一定时, 增大相同的侧限量  $\Delta K_0$ , 摩擦角较小的土体承载力的提高量比摩擦角较大土体承载力的提高量小。数值解也与近似公式解有类似规律, 近似公式解与之较为接近, 但同样, 近似公式所得结果大。

从图 3 还可以看出与图 2 同样的规律, 即当  $K_0$  较小时, 数值解与近似公式结果相差较大, 随着  $K_0$  的增大, 两者的差异越来越小, 直至  $K_0 = 1$  时两结果相重合。

这主要是因为本文在推导的临界荷载近似公式过程中, 由于近似而产生了折减系数  $\frac{1 - K_0 \tan^2(45^\circ + \varphi/2)}{1 - \tan^2(45^\circ + \varphi/2)}$ , 该系数必须大于等于零, 即  $K_0 \geq \frac{1}{\tan^2(45^\circ + \varphi/2)}$ , 当  $\varphi$  越小,  $K_0$  的取值范围就越小, 如果  $K_0$  的值在其取值范围之外, 就会产生误差, 且  $K_0$  越小, 误差越大, 从而导致近似公式解与数值解的差异越大。所以近似公式有其适用条件, 为确定此条件, 现做如下分析。

### 4 近似公式的适用范围

从图 2 和图 3 都可以看出, 近似公式所得结果比数值法结果小, 两者之间的差异随着  $K_0$  的增大逐渐减小。分析它们之间差异随  $K_0$  变化的规律, 结果见图 4 和图 5。

由图 4 可知,  $K_0$  从 0.5 变化到 1, 近似解与数值解之间的差异也从 25% 左右减小到 0, 当  $K_0$  增大到 0.7 后, 两结果之间的差异基本上在 10% 以内, 而且它们之间的差异受黏聚力  $c$  的不同影响不大。

从图 5 可以看出, 在  $K_0$  从 0.5 逐渐增大到 1 的过程中, 近似解与数值解之间的差异也逐渐减小。当  $K_0$  较小时, 两结果的差异较大, 且摩擦角  $\varphi$  越小, 它们之间的差异越大。所以, 摩擦角的变化, 对两种方法所得结果差异的影响较大。针对摩擦角较

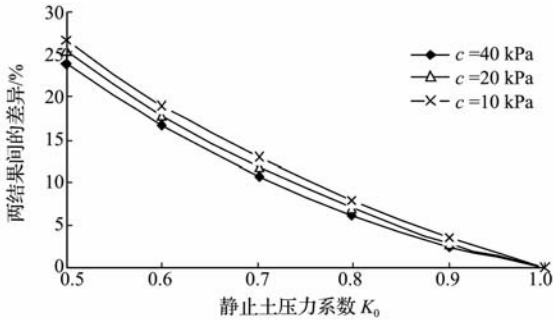


图 4 不同黏聚力 c 时两结果之间差异随静止土压力系数变化的关系图(φ = 10°)

Fig. 4 Relationship between K0 and difference of the two methods with variant c (φ = 10°)

大的情况(如在 25° 以上),当 K0 约增大到 0.7 之后,两结果的差异基本在 10% 以内;针对较小摩擦角的情况(如在 10° 左右),K0 增大到 0.8 左右,两结果的差异才精确到 10% 以内。

所以,近似公式对于摩擦角较大的土体,当其静止土压力系数在 0.7 ~ 1 之间时,所得结果较好;对于摩擦角较小的土体,当其静止土压力系数在 0.8 ~ 1 之间时,所得结果较好。

对于正常固结土的静止土压力系数,目前最为常用的即为 1944 年由 Jaky 提出的公式<sup>[10]</sup> 经简化后得到的近似公式为  $K_0 = 1 - \sin \varphi'$ ,其中  $\varphi'$  为土的有效内摩擦角,若土体充分固结, $\varphi'$  近似取内摩擦角  $\varphi$ 。此时,有  $K_0 \geq \frac{1}{\tan^2(45^\circ + \varphi/2)}$  恒成立,所以在这种情况下用近似公式可以得到较好效果。

### 5 结 论

在考虑  $K_0 \neq 1$  的前提下,由地基土中一点的应力状态,根据莫尔 - 库伦破坏准则,得到该点的临塑、临界荷载的近似公式。该方法改正了文献[2, 3] 在推导地基弹塑性承载力公式过程中的一些缺陷,也弥补了文献[4] 所得公式的局限性,并与地基弹塑性承载力的数值解相比较,得到一些有益的结论。

(1) 当假设  $K_0 = 1$  时,也即假设土体处于静水压力的状态下,从而使土体人为地处于加密状态,所得临塑荷载和临界荷载必然偏大。

(2) 当土体抗剪强度参数  $c, \varphi$  一定时, $K_0$  与临界荷载  $p_{1/4}$  的关系近似呈线性变化, $K_0$  越大, $p_{1/4}$  越大。

(3) 内摩擦角  $\varphi$  一定时,增大相同的侧限量  $\Delta K_0$ ,不管土体的黏聚力多大,地基承载力的增加量基本一致;黏聚力  $c$  一定时,增大相同的侧限量

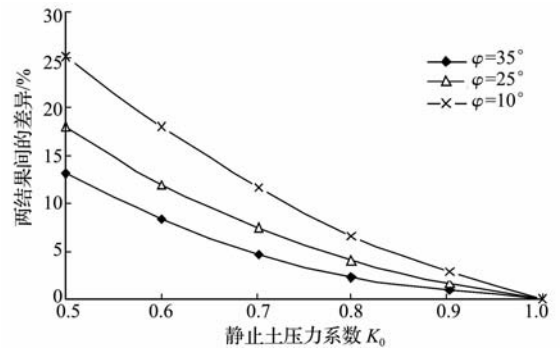


图 5 不同摩擦角 φ 时两结果之间差异随静止土压力系数变化的关系图(c = 20 kPa)

Fig. 5 Relationship between K0 and difference of the two methods with variant φ (c = 20 kPa)

$\Delta K_0$ ,摩擦角较小的土体承载力的提高量比摩擦角较大土体承载力的提高量小。

(4) 土体黏聚力的不同对近似公式所得结果影响不大,当  $K_0$  增大到 0.7 后,用近似公式所得结果较好;对于摩擦角较大的土体,当其静止土压力系数在 0.7 ~ 1 之间时,用近似公式所得结果较好;对于摩擦角较小的土体,当其静止土压力系数在 0.8 ~ 1 之间时,用近似公式所得结果较好。

(5) 对于正常固结土,其静止土压力系数取  $1 - \sin \varphi'$  时,用近似公式可以得到较精确的地基临塑及临界承载力。

### 参考文献 (References):

[1] Craig R F. *Soil mechanics* [M]. Chapman & Hall, 1995, 296-299.

[2] 赵树德. 地基弹塑性承载力  $K_0 \neq 1$  时的计算公式 [J]. 西安建筑科技大学学报, 1995, 27(3): 294-298. (ZHAO Shu-de. Formulation of bearing capacity of subgrade with  $K_0 \neq 1$  [J]. *J Xi'an Univ of Arch & Tech*, 1995, 27(3): 294-298. (in Chinese))

[3] 薛 晖, 刘军勇. 地基临界荷载的探讨 [J]. 路基工程, 2005(6): 47-50. (XUE Hui, LIU Jun-yong. Study on critical edge pressure of foundation [J]. *Subgrade Engineering*, 2005(6): 47-50. (in Chinese))

[4] 崔江余, 宋金峰. 地基临塑荷载的分析 [J]. 工程力学, 1998, 15(4): 96-100. (CUI Jiang-yu, SONG Jin-feng. The analysis of the critical edge pressure for subsoil [J]. *Engineering Mechanics*, 1998, 15(4): 96-100. (in Chinese))

[5] Poulos H G. Davis E H. 岩土力学弹性解 [M]. 孙勃兰, 译. 北京: 中国矿业大学出版社, 1990. (Poulos H G. Davis E D. *Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics* [M]. Beijing: China University of Mining Technology Press, 1990. (in Chinese))

- [6] 现代工程数学编委会. 现代工程数学手册(第1卷) [M]. 武汉:华中工学院出版社,1985. (*Modern Engineering Mathematics Editorial Committee. Modern Engineering Mathematics Handbook (Vol. 1) [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1987. (in Chinese)*)
- [7] GB 50007-2002 建筑地基基础设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002. (GB50007-2002 Code for design of building foundation [S]. Beijing: China Building Industry Press, 2002. (in Chinese))
- [8] Poulos H G, Carter J P, Small J C. Foundations and retaining structures-research and practice[A]. Proc. 15th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering[C], Istanbul, Turkey, 2001.
- [9] 张在明,周宏磊,高文生. 建筑地基基础设计中若干理论与实践问题的综述[A]. 第十届土力学及岩土工程学术会议论文集[C]. 北京:科学出版社,2007:12-31. (ZHANG Zai-ming, ZHOU Hong-lei, GAO Wen-sheng. Review of some problems of theory and practice in foundation design[A]. Proc. of the 10th Conf. on Soil Mechanics & Geotechnical Engineering [C]. Beijing: Science Press, 2007: 12-31. (in Chinese))
- [10] Jaky J. The Coefficient of earth pressure at rest[J]. *Journal of the Society of Hungarian Architects and Engineers*, 1944, **21**(3): 211-221.

## Approximate formulas of critical edge pressure and critical load of subsoil with $K_0 \neq 1$

MEI Ling<sup>1,2</sup>, MEI Guo-xiong<sup>\*2</sup>, YI Zong-fa<sup>3</sup>

(1. School of Civil and Architecture Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003;

2. College of Civil Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China;

3. Jiangxi Communications Department, Nanchang 330001, China)

**Abstract:** When it proposes calculation formulas of critical edge pressure  $p_{cr}$  of subsoil and critical load  $p_{1/4}$ , coefficient of earth pressure at rest  $K_0$  equals to 1. It means that the field of geostatic stress equal to hydrostatic state stress. This supposal increases the lateral load of subsoil, and makes the subsoil be in intensive state, that results in a higher bearing capacity of subsoil. Determining the stress state of one point in subsoil, then proposing approximate formulas of subsoil critical edge pressure and critical load when  $K_0 \neq 1$  based on Mohr-Coulomb criterion. This method corrects some calculating mistakes when it proposes calculation formulas of subsoil bearing capacity which obtains  $K_0 \neq 1$  by some scholars. And it compensates the limitation of some other calculation formulas. The influence of shear strength indexes on critical load of subsoil is found. Conditions which are applicable to the approximate formula are given.

**Key words:** coefficient of earth pressure at rest; critical edge pressure; critical load; approximate formula