

文章编号: 1000-7598(2013)03-0727-04

静止土压力系数探究

强 跃^{1,2,3}, 赵明阶², 林军志², 程龙飞¹, 李 莉¹, 何泽平¹

(1. 重庆三峡学院 土木工程学院, 重庆 404100; 2. 重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074;
3. 重庆交通大学 交通土建工程材料国家地方联合工程实验室, 重庆 400074)

摘 要: 静止土压力系数是岩土工程领域中一个至关重要的参数, 是确定水平场地的应力状态和计算静止土压力的基础。但目前对静止土压力系数的研究还不够。对自然堆积而成处于临界状态的砂堆内应力状态进行分析, 推导出自然固结土的静止土压力系数的理论表达式, 并与砂性土静止土压力系数表达式 $k_0 = 0.95 - \sin\varphi$ 和黏性土静止土压力系数表达式 $k_0 = 1 - \sin\varphi$ 进行对比, 结果表明, 推导的静止土压力公式与砂性土常用表达式非常吻合, 与黏性土常用表达式存在一定偏差。文中给出的静止土压力系数公式和推导, 较为科学合理地阐述了常用静止土压力系数的由来, 有效弥补了当前这块研究的空白, 为静止土压力系数的室内、现场试验和经验公式的推导提供了理论支撑, 起到了一定的推进作用。

关 键 词: 静止土压力系数; 砂堆三棱柱; 抛物线假设

中图分类号: TU 432

文献标识码: A

Research on coefficient of earth pressure at rest

QIANG Yue^{1,2,3}, ZHAO Ming-jie², LIN Jun-zhi², CHENG Long-fei¹, LI Li¹, HE Ze-ping¹

(1. College of Civil Engineering, Chongqing Three Gorges University, Chongqing 404100, China; 2. School of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 3. National and Local Joint Engineering Laboratory of Transportation and Civil Engineering Materials, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: The coefficient of earth pressure at rest is a critical parameter in the field of geotechnical engineering, which is the foundation of determining the stress state in horizontal site and the calculation of earth pressure at rest. However, at present the study of the coefficient of earth pressure at rest is not enough. The theoretical formula of coefficient of earth pressure at rest of normally consolidated soils is derived from the analysis of the internal stress state of sand prism with natural accumulation stayed in a critical state. Compared with the formula $k_0 = 0.95 - \sin\varphi$ (k_0 stands for the coefficient of earth pressure at rest, φ stands for the inner friction angel of soil; the same as below) proposed for the coefficient of earth pressure at rest on sandy soil and with the formula $k_0 = 1 - \sin\varphi$ proposed for the coefficient of earth pressure at rest on clay; the results show that the formula for the coefficient of earth pressure at rest matches very well with the regular formula for sandy soil and has a little bias with the formula proposed for clay. The formula and its derivation of the coefficient of earth pressure at rest in this paper are scientific and reasonable to express its origin, which makes up the blank in this study area, provides the theoretical support and plays a certain role in the promotion of the derivation of the coefficient of earth pressure at rest of indoor, field test and empirical formula.

Key words: coefficient of earth pressure at rest; sand prism; parabolic hypothesis

1 引 言

静止土压力系数是岩土工程领域中一个被广泛应用的重要参数, 是确定水平场地中应力状态、计算静止土压力和进行数值模拟的基础。静止土压力系数的取值对挡土结构物上的土压力分布、桩-土间的相互作用等方面有直接影响。

解决岩土工程问题时经常需要已知初始应力状态, 当土的类型和加载历史已知时, 静止土压力系数是最常用的系数之一。涉及到自然固结土时, 静止土压力系数的一般表达式^[1]为

$$k_0 = 1 - \sin\varphi \quad (1)$$

式中: k_0 为静止土压力系数; φ 为土体内摩擦角。

不少学者基于压塑性理论和临界状态土力学推

收稿日期: 2012-02-03

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(No.51279219); 重庆市自然科学基金(No.CSTC2010BB1315); 重庆市城乡建设委员会项目(城科字 2011 第 2-89 号); 重庆交通大学交通土建工程材料国家地方联合工程实验室开放基金项目(No. LHSYS2012-001); 三峡库区库岸地质灾害预防与科研创新团队科研项目。
第一作者简介: 强跃, 男, 1981 年生, 博士, 讲师, 从事岩土工程研究。E-mail: qiangyue-320@163.com

导 II 区剪应力分布表达式为

$$\tau = \tau_1 \frac{x^2}{x_1^2} \quad (10)$$

将式 (7) 和式 (9) 代入式 (10), 得

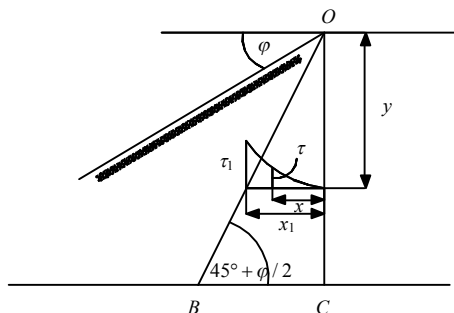


图3 剪应力分布

Fig.3 Distribution of shear stress τ

$$\tau = \frac{x^2}{y} \gamma \sin \varphi \tan(45^\circ + \varphi/2) \quad (11)$$

将式 (11) 代入式 (4), 得

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = \gamma - \frac{\partial \tau}{\partial x} = \gamma - \frac{2x}{y} \gamma \sin \varphi \tan(45^\circ + \varphi/2) \quad (12)$$

对式 (12) 积分, 得

$$\sigma_y = y\gamma - 2x\gamma \sin \varphi \tan(45^\circ + \varphi/2) \ln y + f(x) \quad (13)$$

而 OB 上满足

$$y = x_1 \tan(45^\circ + \varphi/2) \quad (14)$$

$$\sigma_y = x_1 \gamma \frac{1 + \sin^2 \varphi}{\cos \varphi} \quad (15)$$

将式 (14) 和式 (15) 代入式 (13), 得

$$f(x) = 2x\gamma \sin \varphi \tan(45^\circ + \varphi/2) \ln x \tan(45^\circ + \varphi/2) - x\gamma \sin \varphi \cot(45^\circ + \varphi/2) \quad (16)$$

于是式 (13) 改写为

$$\sigma_y = y\gamma - 2x\gamma \sin \varphi \tan(45^\circ + \varphi/2) \ln \frac{y}{x \tan(45^\circ + \varphi/2)} - x\gamma \sin \varphi \tan(45^\circ - \varphi/2) \quad (17)$$

在 OC 上 $x=0$, 由式 (17) 得

$$\sigma_{y0} = y\gamma \quad (18)$$

按式 (4) 来确定 σ_x , 得

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} = -\frac{\partial \tau}{\partial y} = \frac{x^2}{y^2} \gamma \sin \varphi \tan(45^\circ + \varphi/2) \quad (19)$$

对式 (19) 积分, 得

$$\sigma_x = \frac{x^3}{3y^2} \gamma \sin \varphi \tan(45^\circ + \varphi/2) + g(y) \quad (20)$$

在 OC 上, $\sigma_x = \sigma_{x0}$, 得

$$g(y) = \sigma_{x0} \quad (21)$$

同时在 OB 上, 由式 (7) 和式 (9), 得

$$\sigma_x = \sigma_{x1} = x_1 \gamma \cos \varphi = y\gamma(1 - \sin \varphi) \quad (22)$$

将式 (22) 代入式 (20), 得

$$\sigma_{x0} = y\gamma(1 - \sin \varphi) \frac{1 + \frac{2}{3} \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad (23)$$

由式 (23) 和式 (18), 可得

$$k_0 = \frac{\sigma_{x0}}{\sigma_{y0}} = (1 - \sin \varphi) \frac{1 + \frac{2}{3} \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad (24)$$

或者

$$k_0 = \left(1 + \frac{2}{3} \sin \varphi\right) \tan^2(45^\circ - \varphi/2) \quad (25)$$

4 静止土压力系数

表 1 为多种不同材料自然堆积形成的三棱柱, 其静止土压力系数和内摩擦角均满足式 (24)。

表1 各材料的内摩擦角、重度、静止土压力系数
Table 1 Friction angle, unit weight, coefficient of earth pressure at rest for each material

材料	内摩擦角 /($^\circ$)	重度 /(kN/m^3)	静止土压力系数 K_0
淤泥	20	19	0.593
细砂	26	19	0.505
粗砂	32	18	0.416
砾石	35	18	0.378
水泥	40	14	0.310

将式 (24) 和式 (1) 相比, 取式 (24) 中的系数定义为

$$z = f(\varphi) = \frac{1 + \frac{2}{3} \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad (26)$$

如图 4 所示, 式 (26) 通常取 $z=0.9$ 。

Mayne 等^[10]建议砂性土静止土压力系数取 $k_0 = 0.95 - \sin \varphi$, 黏性土静止土压力系数取 $k_0 = 1 - \sin \varphi$, 与式 (24) 推导的理论值进行对比, 如图 5 所示。从图 5 可以看出, Mayne 等建议的砂性土静止土压力系数表达式与理论值非常吻合, 黏性土静止土压力系数表达式与理论值存在较小的偏差, 同时也证明了本文中为了求解 II 区内应力分布所做的抛物线假设的合理性。根据上述推导和对比, 可得给出的静止土压力系数公式, 较为科学合理地阐述了常用静止土压力系数的由来, 有效弥补了当

前这块研究的空白,为静止土压力系数的室内、现场试验和经验公式的推导提供了一定理论支撑,起到了推进作用。

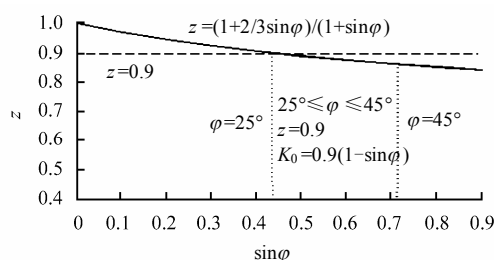


图4 $z=f(\varphi)$ 曲线
Fig.4 Curve of $z=f(\varphi)$

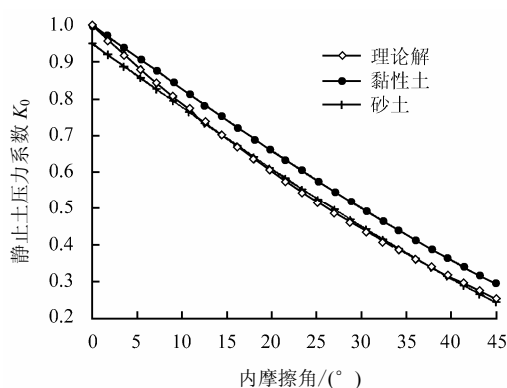


图5 静止土压力系数
Fig.5 Coefficients of earth pressure at rest

5 结 论

通过对砂堆三棱柱内应力状态的分析,推导静止土压力系数理论表达式,并得出以下结论:

(1) 砂堆三棱柱内应力状态可以分为 I 区和 II 区, I 区内应力分布完全明了, II 区内应力状态未知。基于 II 区边界 OB 和 OC 应力对 II 区内应力分布所做的抛物线假设,使得 II 区内应力状态得解,进而推导出静止土压力系数的理论表达式。

(2) 将通常所用的静止土压力系数表达式与理论表达式比对发现,砂性土静止土压力系数推荐表达式 $k_0 = 0.95 - \sin \varphi$ 与理论表达式(式(24))非常吻合,黏性土静止土压力系数推荐表达式 $k_0 = 1 - \sin \varphi$ 与理论表达式(式(24))偏差较小。

(3) 上述比对的高吻合度同时也论证了 II 区内抛物线分布的剪应力假设是合理的,其他假设在进一步研究中。

参 考 文 献

- [1] 陈祖煜. 土质边坡稳定分析——原理、方法、程序[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [2] 宋飞, 张建民, 刘超. 各向异性砂土 K_0 试验研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(12): 361—368.
SONG Fei, ZHANG Jian-min, LIU Chao. Experimental study of K_0 of anisotropic sand[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2010, 31(12): 361—368.
- [3] 谢雪宁, 赵瑞斌, 张彦. 湖沼相土 K_0 值与微结构参数的关联性分析[J]. 岩土工程技术, 2011, 25(3): 110—118.
XIE Xue-ning, ZHAO Rui-bin, ZHANG Yan. The analysis of the relevancy between K_0 with the microcosmic feature parameter about the limnetic facies sedimentary soil[J]. **Geotechnical Engineering Technique**, 2011, 25(3): 110—118.
- [4] 史宏彦, 谢定义, 汪闻韶. 确定无黏性土静止土压力系数的一个理论公式[J]. 水利学报, 2001, (4): 394—398.
SHI Hong-yan, XIE Ding-yi, WANG Wen-shao. A theoretical formula determining the coefficient of earth pressure at rest for cohesionless soil[J]. **Journal of Hydraulic Engineering**, 2001, (4): 394—398.
- [5] 史宏彦, 谢定义. 用应力矢量本构模型确定无黏性土的静止土压力系数[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(6): 3627—3634.
SHI Hong-yan, XIE Ding-yi. Determination of coefficient of earth pressure at rest for cohesionless soil by using stress[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2000, 19(6): 3627—3634.
- [6] 姜安龙, 郭云英, 高大钊. 静止土压力系数研究[J]. 岩土工程技术, 2003, (6): 381—387.
JIANG An-long, GUO Yun-ying, GAO Da-zhao. The study of coefficient of earth pressure at rest[J]. **Geotechnical Engineering Technique**, 2003, (6): 381—387.
- [7] 栾茂田, 张振东, 许成顺, 等. K_0 固结条件下砂土的循环剪切特性试验研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(9): 2323—2328.
LUAN Mao-tian, ZHANG Zhen-dong, XU Cheng-shun, et al. Experimental studies of cyclic shear characteristic of sand under K_0 consolidation condition[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2008, 29(9): 2323—2328.
- [8] 宋飞, 张建民, 刘超. 各向异性砂土 K_0 试验研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(12): 3727—3732.
SONG Fei, ZHANG Jian-min, LIU Chao. Experimental study of K_0 of anisotropic sand[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2010, 31(12): 3727—3732.
- [9] BROOKER E W, IRELAND H O. Earth pressures at rest related to stress history[J]. **Canadian Geotechnical Journal**, 1965, 2(1): 1—15.
- [10] MAYNE P W, KULHAWY F H. K_0 -OCR Relationships in soil[J]. **Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE**, 1982, 108(6): 851—872.