

文章编号: 1000-7598-(2007) 增刊-0635-04

基于引力场的基坑坑壁土压力计算方法与实践

姜晨光¹, 贺勇², 朱烨昕³, 姜科³, 顾持真³

(1. 江南大学 土木工程学院, 无锡 214122; 2. 青岛农业大学, 青岛 266109; 3. 无锡市建设局, 无锡 214031)

摘要: 由于对岩土本构关系认知上的差异, 人们提出了各种各样的基坑坑壁土压力计算方法, 这些方法对推动岩土力学的发展起到了许多积极作用。客观上讲, 现有的这些基坑坑壁土压力计算方法没有一个能够非常真实、非常准确地反映基坑坑壁土压力的变化。以地心引力为依据, 结合大量的基坑坑壁土压力实测数据, 提出了一种基于引力场的基坑坑壁土压力计算方法。给出了相应的计算公式和应用实例。

关键词: 基坑工程; 土压力; 计算; 坑壁; 引力场

中图分类号: TU413.62; TU 432

文献标识码: A

Calculation method and practice of foundation pit pit-wall soil pressure based on gravitational field

JIANG Chen-guang¹, HE Yong², ZHU Ye-xin³, JIANG Ke³, GU Chi-zhen³

(1. College of Civil Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China; 3. Construction Bureau of Wuxi City, Wuxi 214031, China)

Abstract: Due to the difference of cognizing relations of rock structure, all kinds of methods of the foundation pit pit-wall soil pressure are put forward, which has impelled the development of rock mechanics greatly. Impersonally speaking, none of these calculation methods exiting now can reflect the change of the foundation pit pit-wall soil pressure very truly and exactly. According to centrifugal force, combined with plentiful truly measured data of the foundation pit pit-wall soil pressure, a calculation method of the foundation pit pit-wall soil pressure based on gravitational field is put forward. Corresponding calculation formula and application examples are offered.

Key words: foundation pit engineering; soil pressure; calculation; pit-wall; gravitational field

1 引言

基坑工程支护设计的关键是正确计算作用在支护结构上的荷载, 支护结构荷载的最主要来源就是坑壁土压力。由于对岩土本构关系认知上的差异, 人们提出了各种各样的基坑坑壁土压力计算方法, 这些方法对推动岩土力学的发展起到了许多积极作用。目前对坑壁土压力计算惯常采用的仍然是库伦(C.A.Coulomb)土压力理论、朗肯(Rankine)土压力理论、太沙基(Terzaghi)理论等等, 当然也采用时髦的有限元理论、神经网络技术、遗传算法等^[1-3]。上述土压力计算方法各有所长、难分伯仲。客观上讲, 现有的这些基坑坑壁土压力计算方

法没有一个能够非常真实、非常准确地反映基坑坑壁土压力的变化。为此, 笔者与科研组致力于基坑土压力合理计算方法的研究工作已有十几个年头, 进行了大量的原位监测与分析工作。以大量原位监测数据为依据, 根据地心引力学说, 提出了一种较为符合实际情况的、基于引力场的基坑坑壁土压力计算方法。基于引力场的基坑坑壁土压力计算方法在5年的实际工程应用中有着良好的表现, 本文予以介绍。

2 基于引力场的基坑侧压力计算方法

众所周知, 地球上的任何物质都受到地心引力的影响, 地心引力是各种作用的基本力源。基于引

收稿日期: 2007-06-18

基金项目: 国家自然科学基金(No. 79160173); 无锡市建设科研基金(No. 2006-10); 江南大学211建设重点项目基金(No. 2004012)

作者简介: 姜晨光, 男, 1964年生, 教授, 江南大学土木工程学院副院长, IHA国际会员, 国家自然科学基金评议专家, 江苏省高级职称评审委员会委员, 目前主要从事岩土工程领域的相关研究与教学工作。E-mail: jiangcg999@yahoo.com.cn

力场的基坑坑壁土压力计算方法基本原理见图 1。为简化计算分析过程,将地表简化为圆球面、地球简化为圆球(图 1 为断面图), R 为地球平均半径($R = 6\,371\,000\text{ m}$); O 为地球的质心; AG 为基坑坑壁, AB, BC, CD, DE, EF, FG 为性质不同的沉积岩土层, $A \sim G$ 点的标高依次为 $H_A \sim H_G$, 在地心引力作用下能够对坑壁产生侧压力的岩土体区域为弧边直角三角形 $AG'G$ 称之为侧压区。

侧压区内对抗壁 AB 段产生侧压力的区域为弧边直角三角形 $AB'B$; 对抗壁 AC 段产生侧压力的区域为弧边直角三角形 $AC'C$; 对抗壁 AD 段产生侧压力的区域为弧边直角三角形 $AD'D$; 对抗壁 AE 段产生侧压力的区域为弧边直角三角形 $AE'E$; 对抗壁 AF 段产生侧压力的区域为弧边直角三角形 $AF'F$; 对抗壁 AG 段产生侧压力的区域为弧边直角三角形 $AG'G$ 。

为了便于运算,本文中涉及的所有角度均以弧度为单位。

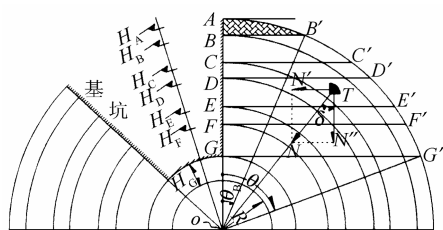


图 1 基于引力场的基坑侧压力计算原理

Fig.1 The calculation principle of the foundation pit pit-wall soil pressure based on gravitational field

2.1 由地表到基坑内任何一个标高点的均布侧压力计算方法

为便于阐述计算过程,以坑壁 AG 段为例,地表到基坑内任何一个标高点 G 的侧压区为弧边直角三角形 $AG'G$ 。

在直角三角形 $\triangle OG'G$ 中, $OG' = OA = R + H_A$, $OG = R + H_G$, 侧压区地心张角 θ 为

$$\theta = \arccos(OG/OG') = \arccos(R + H_G / R + H_A) \quad (1)$$

扇形 AOG' 的面积 S_1 为

$$S_1 = [\pi(R + H_A)^2] \theta / (2\pi) = (R + H_A)^2 (\theta / 2) \quad (2)$$

直角三角形 $\triangle GOG'$ 的面积 S_2 为

$$S_2 = [(R + H_G)(R + H_A) \sin \theta] / 2S \quad (3)$$

侧压区 AGG' 的面积 S 为

$$S = S_1 - S_2 = (R + H_A)^2 \theta / 2 - [(R + H_G)(R + H_A) \sin \theta] / 2 \quad (4)$$

假设侧压区计算段宽度为 L 、侧压区的岩土体平均重度为 γ , 则侧压区内岩土体的总质量 Q 为

$$Q = SL \gamma \quad (5)$$

假设侧压区内有一个质量为 dq 的微元 T , 微元 T 所受到的地心引力 N 可以分解为与基坑侧壁垂直的压力 N' 和 N' 的切向力 N'' , N'' 与 N 的夹角为 δ , 侧压区可认为是若干个像 T 一样的微元的集合, 侧压区内各个微元的 δ 的变化区间为 $[0, \theta]$ 。因为 θ 很小, 所以 δ 也很小。故侧压区内各个微元对基坑侧壁产生的侧压力 dN' 可以表达为

$$dN' = (dq) \sin(d\delta) \quad (6)$$

因为 δ 很小, 故 $\sin(d\delta) = d\delta$ 。故侧压区内各个微元对基坑侧壁产生的侧压力 dN' 可以进一步表达为 $dN' = (dq)(d\delta)$, 则侧压区各个微元对基坑侧壁产生的总侧压力 Q 可以表达为

$$Q = \int dN' = \int_0^\theta \int_0^L dq d\delta = Q\theta = SL\gamma\theta \quad (7)$$

则侧压区的均布侧压力为

$$W = Q / [L(H_A - H_B)] = SL\gamma\theta /$$

$$[L(H_A - H_B)] = S\gamma\theta / (H_A - H_B) \quad (8)$$

根据以上方法可以计算由地表(A)到基坑内任何一个标高点的均布侧压力。假设基坑内某一标高点的高程为 i , 则只需要用 i 点高程 H_i 代替以上各式的 B 点高程 H_B , 即可。

各个沉积岩土层对抗壁的有效侧压压程为

$$D_i = (R + H_A) \theta_i \quad (9)$$

AB 沉积岩土层对抗壁的有效侧压压程为弧 AB' ; BC 沉积岩土层对抗壁的有效侧压压程为弧 BC' ; CD 沉积岩土层对抗壁的有效侧压压程为弧 CD' ; DE 沉积岩土层对抗壁的有效侧压压程为弧 DE' ; EF 沉积岩土层对抗壁的有效侧压压程为弧 EF' ; FG 沉积岩土层对抗壁的有效侧压压程为弧 FG' ; ...。

侧压区岩土体平均重度 γ 为侧压区内各岩土层(层厚 d_i) 岩土重度 γ_i 的加权平均值, 计算公式为

$$\gamma = \sum(d_i \gamma_i) / \sum d_i \quad (10)$$

2.2 基坑内任意 2 个相邻标高点间的均布侧压力计算方法

为便于阐述计算过程,以坑壁 BC 两个相邻标高点为例。

AB 竖段侧压区的均布侧压力为 W_{AB} , AB 竖段侧压区的总侧压力为 Q_{AB} 。

$$Q_{AB} = W_{AB} [L \times (H_A - H_B)] \quad (11)$$

AC 竖段侧压区的均布侧压力为 W_{AC} , AC 竖段侧压区的总侧压力为 Q_{AC} 。

$$Q_{AC} = W_{AC} [L(H_A - H_B)] \quad (12)$$

则 BC 竖段侧压区的总侧压力为

$$Q_{BC} = Q_{AC} - Q_{AB} \quad (13)$$

BC 竖段侧压区的均布侧压力为

$$W_{BC} = Q_{BC} / [L(H_B - H_C)] \quad (14)$$

依次类推, 对于 $j, j+1$ 点, 可以计算出 W_{Aj} 、 Q_{Aj} 和 $W_{A(j+1)}$ 、 $Q_{A(j+1)}$ 。进而计算出 $Q_{j(j+1)}$ 、 $W_{j(j+1)}$ 。

计算公式:

j 到 $j+1$ 竖段侧压区的总侧压力为

$$Q_{j(j+1)} = Q_{A(j+1)} - Q_{Aj} \quad (15)$$

j 到 $j+1$ 竖段侧压区的均布侧压力为

$$W_{j(j+1)} = Q_{j(j+1)} / [L(H_{j+1} - H_j)] \quad (16)$$

3 实 例

喜盈门大厦基坑深 18.52 m, 地质勘探获得的相关岩土信息见表 1。基于引力场的基坑坑壁土压力计算方法的计算结果也见表 1, 表中岩土层名称用代码表示, I 代表杂填土、II 代表淤泥质粉质黏土、III 代表淤泥质黏土、IV 代表粉质黏土。

表 1 喜盈门大厦基坑坑壁土压力计算结果

Table 1 The calculation results of the foundation pit pit-wall soil pressure of Xiyingmen Mansion based on gravitational field

层序	点号	高程 H/m	名称	岩土层厚度 d_i/m	岩土层重度 $\gamma_i / kN \cdot m^{-3}$	区段平均重度 $\gamma_i / kN \cdot m^{-3}$	$\theta / 10^{-4}$	有效侧压压程 D / km	$S_1 / 10^{10} m^2$	$S_2 / 10^{10} m^2$	S / m^2	$Q_{Aj} \times L / kN$	W_{Aj} / kPa	Q_{ij} / kN	W_{ij} / kPa
	A	4.17													
①	B	2.10	I	2.07	16.9	16.9	8.06	5	1.636 0	1.636 0	7 087	96	47	96	47
②	C	-0.54	II	2.64	18.3	17.7	9.22	8	2.467 8	2.467 8	24 329	523	111	426	162
③	D	-2.20	IV	1.66	19.3	18.1	14.1	9	2.869 9	2.869 9	38 264	980	154	457	275
④	E	-4.53	III	2.33	18.8	18.3	16.5	10	3.354 0	3.354 0	61 072	1 846	212	866	372
⑤	F	-5.81	IV	1.28	18.5	18.3	17.7	11	3.592 2	3.592 2	75 033	2 432	244	32	25
⑥	G	-12.97	II	7.16	18.1	18.2	23.2	15	4.707 6	4.707 6	168 870	7 139	417	244	382
⑦			IV	4.66 (1.38)	19.0	18.3	24.1	15	4.893 5	4.893 5	189 668	8 362	452	35	25
	K	-14.35													
⑧			III	12.22	17.5										

基于引力场的喜盈门大厦基坑坑壁土压力计算结果, 与预埋土压力盒的监测结果间有着很高的吻合度, 最大相对偏差为 20.1%, 平均相对偏差为 11.2%。

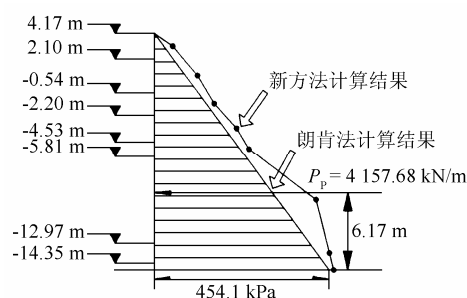


图 2 新方法与朗肯法的比较

Fig.2 Checked the new method against the Rankine method

基于引力场的喜盈门大厦基坑坑壁土压力计算结果与朗肯土压力计算结果的比较见图 2, 可见朗肯土压力的计算结果比本文提出的方法偏小, 朗肯土压力的计算结果与预埋土压力盒的监测结果比较也是略微偏小的。

4 结 语

基于引力场的基坑坑壁土压力计算方法是建立在经典物理学基础之上的, 具有理论上的严密性与科学性。5 年的野外原位监测实验和实际工程应用证明, 基于引力场的基坑坑壁土压力计算方法的计算结果与基坑坑壁土压力的实际情况具有很好的符合性, 以基于引力场的基坑坑壁土压力计算方法进行的切合实际的基坑支护设计能有效改善基坑支

护结构的应力布局、减小基坑的位移、改善基坑的位移布局、节省基坑支护费用。基于引力场的基坑坑壁土压力计算方法可以方便地实现计算机程式化计算,只要将相关参数输入计算机,计算机就可以马上计算出任意区段的总侧压力和均布侧压力。限于水平、学识和实验条件与数量,本文提出的基于引力场的基坑坑壁土压力计算方法难免片面、考虑不周、甚至存在谬误,方法的进一步完善还有待于更多实际工程的应用检验与修正。希望本文能对基坑工程科学的发展与技术进步有所帮助、有所贡献。

参 考 文 献

[1] Barton N. R, Choubey V. Suggested methods for the

quantitative description of discontinuities in rock masses[J]. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts**, 1978, 15(6): 319—368.

[2] Hoek E, Brown E. Empirical strength criterion for rock masses[J]. **Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE**, 1992, GT9(9): 1 013—1 035.

[3] Morti J, Cundall P A. Mixed discretization procedure for accurate solution of plasticity problem[J]. **International Journal for Numerical Methods in Engineering**, 1982, (6): 129—139.