

文章编号 :1007-649X(2001)01-0036-04

渗流引起的水压力及对水泥土挡土墙的影响

刘忠玉¹, 尚仰宏², 崔国游³

(1. 郑州工业大学土木建筑工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 兰州大学力学系, 甘肃 兰州 730000; 3. 郑州工业大学综合设计研究院, 河南 郑州 450002)

摘 要:通过计算水泥土挡土墙周围的渗流场,研究了墙侧水压力的变化规律.结果表明:水压力系数沿高程并非常数,且受到墙侧土层分布及其相对透水性、墙基土的透水性和下卧不透水层埋深等因素的严重影响.总体来说,考虑渗流时墙后的侧压力总小于不考虑渗流时的相应值,且当墙前的被动土压力系数较小时,考虑渗流时该侧的侧压力则大于不考虑渗流时的相应值,因此,这种情况有利于挡土墙的稳定.

关键词:渗流;水压力系数;水泥土;挡土墙

中图分类号:TV 432 **文献标识码:**A

0 引言

在基坑挡土墙设计中,当基坑开挖深度范围内存在地下水且有止水帷幕时,作用于挡土墙上的侧压力包括两部分:土压力和水压力.目前国内土压力的设计计算一般采用朗金土压力理论,而对水压力则按静水压力处理.事实上,仅当止水帷幕进入不透水层,挡墙两侧的孔隙水不产生渗流时,孔隙水对挡土墙的作用力才可视为静水压力.一般地,由于基坑内排水,造成挡土墙两侧存在水位差,使得孔隙水从墙后(非开挖侧)向墙前(开挖侧)渗流,沿流线水头逐渐减小,从而孔隙水压力也将发生变化,因而可以肯定作用在挡土墙上的水压力不再是静水压力,在墙后小于静水压力,而在墙前则大于静水压力,二者之间的关系可以水压力系数 K_w 来表示

$$K_w(z) = \frac{P_w(z)}{\gamma_w h_w(z)}, \quad (1)$$

式中: $P_w(z)$ 为高程 z 处的水压力; γ_w 为水的重度; $h_w(z)$ 为高程 z 处的水深.

在墙后, $K_w \geq 1$,一般称为折减系数,在墙前, $K_w \leq 1$,可称为放大系数.但是 K_w 如何取值,目前尚无定论.一般工程技术人员认为除砂层外,墙后

其它土层均可折减.文献[1]认为,根据土层的土质及渗水能力可取折减系数为 0.8~1.0.文献[2]通过对上海软土地基基坑工程大量的实测分析,认为折减系数为 0.5~1.0,但对墙前的放大系数没有说明.文献[3]对墙前和墙后的水压力提出了一套简化计算方法,但是没有考虑墙基土的透水性.

本文认为水压力的变化与墙周围的渗流场密切相关,而后者受土质、土层分布、基坑降水与回灌情况、开挖顺序及时间等因素的影响.因此要解决水压力问题,就必须考察渗流场.本文忽略基坑开挖引起的应力场的改变对渗流的影响,以水泥土挡土墙为例,针对墙侧不同的土层分布、墙基土的不同的透水性、下卧不透水层不同的埋深,以及坑底土是否加固等情况,通过求解渗流场,研究了作用在挡土墙上的水压力分布,考察了水压力系数对上述因素的依赖性,最后讨论了渗流对挡土墙稳定性的影响.

1 水泥土挡土墙周围土体的渗流方程及边界条件

考虑平面应变问题,取计算简图如图 1 所示, z 轴为基坑的对称轴, AB 和 EF 为基坑两侧的水

收稿日期 2000-10-16;修订日期 2001-01-05

基金项目 河南省科技攻关项目(981130411);河南省自然科学基金资助项目(984043200)

作者简介 刘忠玉(1968-)男,河南省延津县人,郑州工业大学讲师,兰州大学博士研究生,主要从事岩土力学方面

位面 ,GH 为下卧不透水层. 不计土颗粒及水的压缩 ,该渗流场控制方程为

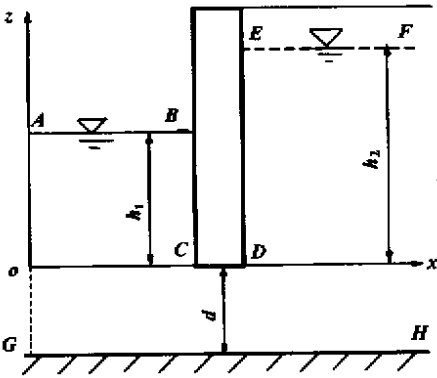


图 1 计算简图

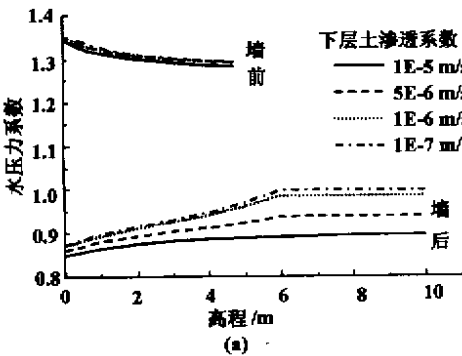
Fig.1 Schematic diagram of seepage field

$$\nabla^2 \varphi = 0 \quad (2)$$

式中 , $\varphi(x,z)$ 为 (x,z) 点的水头. 由于水泥土的渗透系数仅为 $10^{-8} \sim 10^{-10} \text{ m/s}^{[3]}$,可视为不透水. EF 作为自由水面 ,一般情况下并非平面 ,应随渗流时间的推移而变化 ,但采用回灌技术时 ,可视为不变. 另外渗流初期也可近似 EF 为平面. 本文仅考虑后两种情况对应的渗流场. 这样相应的边界条件为 :GA 段 ,法向流速 $v_n = 0$;AB 段 , $\varphi = h_1$;BCDE 段 , $v_n = 0$;EF 段 , $\varphi = h_2$;GH 段 , $v_n = 0$.

对该问题 ,可采用有限元法或边界元法求解 ,本文采用前者. 当求得渗流场后 ,即得到墙侧 BC ,DE 段的水头 ,则水压力为

$$P_w(z) = \gamma_w \cdot (\varphi - z) \quad (3)$$



然后 ,由式 (1) 即可得水压力系数.

2 算例结果

某基坑宽 30 m ,深 5 m ,水泥土挡土墙高 11 m 宽 3.2 m ,墙前水位和坑底面相平 ,墙后水位和地面相平. 本文针对墙侧不同的土层分布、墙基土的不同的透水性、不同的不透水层埋深、及坑底土是否加固等情况分别进行了计算 ,研究了对应情况下水压力系数的变化规律.

2.1 墙侧不同的土层分布

不失一般性 ,墙侧土分为两层 :上层土厚 5 m (或 8 m) ,渗透系数取 10^{-5} m/s ,下卧层的渗透系数分别取 10^{-5} (相当于均质土) , 5×10^{-6} , 10^{-6} , 10^{-7} m/s ,计算结果示于图 2. 从图中可看出 :水压力系数受土层的分布和透水性影响很大 ,墙后的水压力系数并非常数 ,在 0.85 和 1 之间变化 ,随高程而增大 ,随下层土的透水性的降低而增大 ,并且下层土的渗透系数越小 ,沿高程的变化越大 ,上层土中水压力系数越均匀且越接近 1. 而且 ,墙前的水压力系数也并非常数 ,在 1 和 1.35 之间变化 ,随高程而减小. 当上层土厚 5 m (即坑底为均匀土) 时 ,随下层土的透水性的降低而稍稍增大 (图 2(a)) ;而当上层土厚 8 m (即坑底土也分层) 时 ,则随下层土的透水性的降低而迅速减小 ,且上层土中水压力系数越接近 1 (图 2(b)) . 所以可以认为 :水头损失主要发生在相对弱透水层 ;当渗透系数相差很大 (比如 10 倍) 时 ,相对强透水层的水压力系数可近似取为 1.

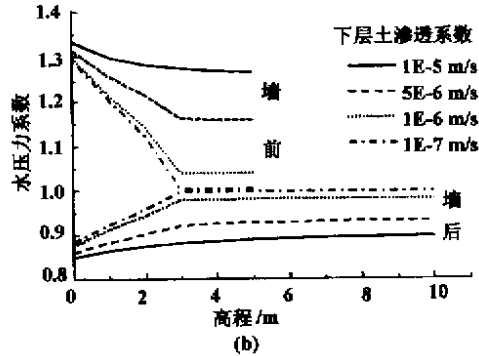


图 2 土层分布及透水性与水压力系数的关系

Fig.2 The relation between the coefficient of water pressure and the permeability of lower stratum

2.2 墙基土的不同的透水性

设墙侧土均匀 ,渗透系数取 10^{-5} m/s ,墙基的渗透系数分别取 10^{-5} (相当于均质土) , 5×10^{-6} , 10^{-6} , 5×10^{-7} , 10^{-7} m/s ,计算结果表明如图 3 所示 :后者严重影响墙侧的水压力系数. 随着墙基的渗透系数的减小 ,墙后水压力系数迅速增大 ,而墙

前水压力系数则减小 ,都越来越接近于 1 ,即墙基越不透水 ,作用于墙侧的水压力越接近于静水压力. 可以肯定当墙基完全不透水时 ,作用于墙侧的水压力即为静水压力.

2.3 不同的不透水层埋深

设整个透水层均匀,渗透系数为 10^{-5} m/s,下卧不透水层距墙底距离 d 分别为 50,25,10,5 和 1 m,由图 4 的计算结果可看出:高程越大,墙后的水压力系数越大,墙前的水压力系数越小,且受下卧不透水层埋深的影响也很大,后者越小,墙前的水压力系数越小,但对墙后而言,在 $d > 10$ m 时,水压力系数随 d 的减小略有减小;在 $d < 10$ m 时,水压力系数随 d 的减小反而增大;不过在 $d > 5$ m 时,变化不大,而在 $d < 5$ m 时,却增大很多。

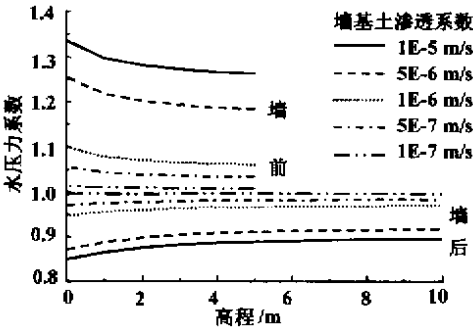


图 3 水压力系数与墙基土透水性的关系

Fig.3 The relation between the coefficient of water pressure and the permeability of the wall base soil

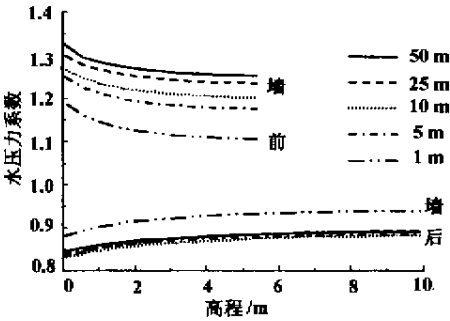


图 4 水压力系数与不透水层埋深的关系

Fig.4 The relation between the coefficient of water pressure and the buried depth of impervious stratum

2.4 坑底土加固

某些情况下,对坑底土进行的地基加固将影响到坑底土的透水性,从而,也会影响到作用在挡土墙上的水压力。取它的渗透系数分别为 10^{-5} , 10^{-6} , 5×10^{-7} , 10^{-7} m/s,而墙后和墙基土的渗透系数为 10^{-5} m/s,图 5 的计算结果表明了水压力系数的变化规律:墙两侧的水压力系数都随坑底土的透水性的降低而增大,且墙前的水压力将比静水压力大很多。

3 渗流对挡土墙稳定性的影响

从以上计算结果可以看出:水头主要损失在

相对透水性较低的土层,墙前的水压力大于静水压力,而墙后的水压力反而小于静水压力。这似乎意味着考虑渗流有利于挡土墙的稳定性,事实并非完全如此。由于渗流,孔隙水对土颗粒将产生渗透力,其方向顺着渗流方向,这样将使得墙后的竖向有效应力增大,而墙前的竖向有效应力减小,从而墙后的主动土压力增大,墙前的被动土压力减小,这不利于挡土墙的稳定。所以应综合考虑这两方面的影响。事实上,以均质土为例,墙后和墙前所受的侧压力可分别表示为^[3]

$$P_a = (\sigma'_z + i \cdot \gamma_w h_w) K_a - 2c \sqrt{K_a} + K_w \gamma_w h_w; \quad (4)$$

$$P_p = (\sigma'_z - i \cdot \gamma_w h_w) K_p + 2c \sqrt{K_p} + K_w \gamma_w h_w, \quad (5)$$

式中 σ'_z 为不考虑渗流时的竖向有效应力, K_a 和 K_p 分别为朗金主动土压力系数和被动土压力系数, c 为土的有效粘聚力, i 为水头梯度。按文献[3]建议,对墙后, i 可取墙侧的水头梯度 i_c ,对墙前则取墙侧的水头梯度 i_c 的 0.85 倍。很明显,墙侧的水头梯度 i_c 的绝对值为

$$i_c = |1 - K_w|。 \quad (6)$$

所以,式(4)和(5)与不考虑渗流时墙后和墙前所受的侧压力的差分别为

$$\Delta P_a = \gamma_w h_w \cdot (1 - K_w)(K_a - 1); \quad (7)$$

$$\Delta P_p = \gamma_w h_w \cdot (K_w - 1)(1 - 0.85 K_p)。 \quad (8)$$

由于墙后 K_w 和 K_a 都小于 1,所以 ΔP_a 总小于 0,即墙后考虑渗流的侧压力始终小于不考虑渗流的侧压力,这有利于挡土墙的稳定。而在墙前 K_w 和 K_p 都大于 1,若 $K_p < 1.176$, ΔP_p 大于 0,此时有利于挡土墙的稳定,否则, ΔP_p 小于 0,此时对挡土墙稳定性的影响要综合考虑墙两侧的侧压力。

另外由于墙前的渗流方向向上,如果水头梯度较大,有可能出现流砂等问题。而前面的计算表明,当加固坑底土引起透水性降低时,坑底水头梯度很大,甚至超过 0.8(见图 5),所以要慎重处理。

4 结论

通过计算水泥土挡土墙周围的渗流场,研究了墙侧的水压力与静水压力的关系,结果表明:墙前的水压力系数大于 1,随高程的增大而减小,墙后的水压力系数小于 1,随高程的增大而增大。同时它的大小,受到墙侧土层的分布和相对透水性、墙基土的透水性以及下卧不透水层埋深等因素的

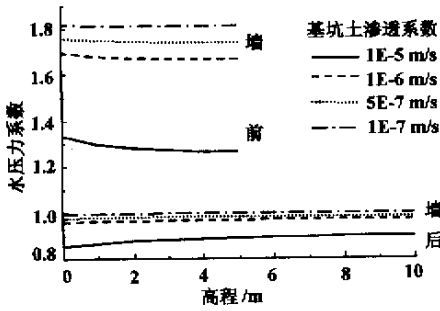


图 5 水压力系数与基坑土透水性的关系

Fig.5 The relation between the coefficient of water pressure and the permeability of the soil below pit

严重影响。另外考虑渗流时墙后的侧压力总小于不考虑渗流时的相应值,而在 $K_p < 1.176$ 时,考虑

渗流的墙前的侧压力大于不考虑渗流的相应值,这说明这种情况下不考虑渗流的常规的水泥土挡土墙的设计方法偏于保守。这些结论对有止水帷幕的其它形式的挡土墙同样适用。

参考文献：

- [1] 方小兵. 深层水泥土搅拌桩支护墙设计探讨[J]. 工程力学, 1998(增刊): 561-564.
- [2] 刘国彬, 黄院雄, 侯学渊. 水及土压力的实测研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(2): 205-210.
- [3] 龚晓南. 深基坑工程设计手册[M]. 北京: 中国建筑出版社, 1998. 28-156.
- [4] 刘忠玉, 崔国游, 宋聚奎, 等. 刚性挡土墙的水平位移计算[J]. 郑州工业大学学报, 2000, 21(3): 76-80.

Seepage – induced Water Pressure and Its Influence on the Stability of Cement – soil Retaining Wall

LIU Zhong – yu¹, SHANG Yang – hong², CUI Guo – you³

(1. Department of Civil & Building Engineering, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China; 2. Department of Mechanics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 3. Comprehensive Design and Research Institute, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China)

Abstract :The condition of water pressure acting on the both sides of cement – soil retaining wall is researched by computing the seepage field around the wall. It is illustrated that the coefficient of water pressure, which isn't constant along the height, is affected seriously by some factors, e.g., the distribution and relative hydraulic permeability of the soil beside the wall, the hydraulic permeability of its foundation, and the buried depth of the impervious layer. As a whole, the lateral pressure acting on the wall based on seepage is always smaller than that without regard to seepage in the non – excavated zone. Moreover, the pressure based on seepage is greater than that without regard to seepage in the excavated zone if the coefficient of passive pressure is smaller than 1.176. This case is of great advantage to the stability of the wall.

Key words :seepage; coefficient of water pressure; cement – soil; retaining wall