

基于不同破坏类型的加筋土挡墙土压力分析

张帆 朱登远

(长安大学公路学院, 陕西西安 710064)

【摘要】 依托设计的加筋土挡土墙研究模型, 结合前人的分析成果, 通过公式推导, 对挡土墙墙后加筋土体的土压力、似粘聚力、似摩擦角及破坏类型进行了研究。通过对工程实例的研究总结, 得出加筋土挡土墙墙后填土主要有摩擦型破坏和拉断型破坏两种破坏型式; 公式推导结果表明: 对于不同的破坏类型, 墙后填土内的摩擦角和粘聚力随填土高度变化, 但二者的变化趋势不同, 在拉断型破坏中, 其填土中的“似粘聚力”随拉筋的垂直层间距的变化较明显; 在相同的填土高度下, 认为加筋挡土墙更易发生拉断型破坏。

【关键词】 路基工程; 加筋土挡墙; 强度模型; 摩擦型; 拉断型

【中图分类号】 TU 476.4

【文献标识码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2013.02.002

Analysis of Lateral soil Pressure for Reinforced Earth Retaining Wall Based on Different forms of Failure

Zhang Fan Zhu Dengyuan

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064 China.)

【Abstract】 This paper Based on designed reinforced soil retaining wall model, combined with the analysis of previous studies, through the derivation of the formulas, the earth pressure, the pseudo-cohesion, the pseudo-friction angle and the destruction forms of the reinforced soil retaining wall were studied. According to the summary, the forms of the failure mode of reinforced earth retaining wall can be divided as friction failure and pull off failure. Derived results showed that; for the different failure forms, the changes of the friction and the cohesions were different, especially for the pull off failure, the changel of the likely cohesion followed by the vertical layer spacing of the reinforcement was obvious. And it was more easier to happen the pull off failure when the filling heights were the same.

【Key words】 subgrade; reinforced earth retaining wall; strength model; friction failure; tensile failure

0 引言

随着对加筋材料性能研究的不断深入, 以及应用理论的发展, 加筋土挡土墙的使用日渐广泛。加筋挡土墙是利用现代加筋土技术修建的一种支挡结构物, 是指由填土、拉带和镶面砌块组成的加筋土承受土体侧压力的挡土墙, 由填料、在填料中布置的加筋以及墙面板三部分组成^[1], 其基本结构见图 1。

作为一种支挡结构, 加筋土挡土墙设计的关键是拉筋拉力的计算, 而拉筋拉力是由筋土间的摩阻力提供, 且墙面板上的土压力最终等于筋土间摩阻力, 以抵消墙背的土压力。因此加筋土挡土墙设计的关键是怎样确定墙背土压力。

目前, 墙背土压力的计算方法有库仑合力法、库

仑力矩法、正应力均匀分布法、正应力梯形分布法、正应力梅氏分布法、Osman 能量法、经验法和公路变系数法等, 其基本理论是对朗肯土压力理论公式进行修正, 其中公路变系数法更能合理解释一些实际土压力分布情况, 因而在加筋土挡土墙设计中得以广泛应用^[1]。

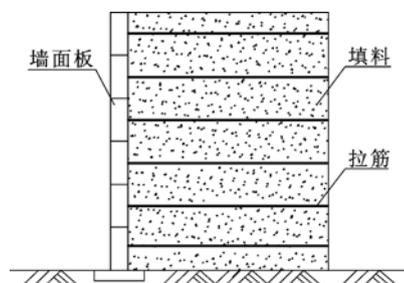


图 1 加筋挡土墙基本结构

尹亚雄等人通过对阳涉线双侧加筋土挡土墙进行试验研究,总结分析了墙面变形、墙背土压力的分布、基底应力分布等变化特点,并验证了简化的0.3H法设计的合理性^[2]。

王祥等人则通过对梅坎铁路双级土工格栅加筋土挡墙的墙面板水平土压力、垂直土压力及土工格栅变形的原位观测,分析了墙面板水平土压力的变化及分布规律、垂直土压力变化及土工格栅的变形随填高及时间的变化规律,并对挡土墙的破裂面进行了探讨^[3]。

此外,周亦涛,周世良等人均通过不同的方法对加筋土挡土的墙背土压力进行了研究。周亦涛利用微元法建立了加筋土挡土的墙背土压力计算模型,并推导了墙背的土压力强度和合力的理论公式^[4]。而周世良则通过现场试验的方法对加筋土挡土的墙背土压力进行了研究^[5]。

虽然不同的学者已对加筋土挡土墙墙背土压力的大小及分布情况进行了大量的研究,但对墙后加筋土体破坏型式的研究较少。本文通过理论分析,从加筋土体的受力出发,对加筋土挡土墙墙后土体的破坏进行了分析研究。

1 加筋土强度模型的建立

根据前人大量的试验研究表明,试样在加筋后试样的强度都有不同程度的提高,但其破坏面与最大主应力作用面的夹角仍为 $\alpha=45^\circ+\frac{\varphi}{2}$ 。对于研究本文研究的加筋土挡土墙而言,设拉筋的垂直距离为 h, m ,拉筋材料的直径为 t, m ,加筋材料的抗拉强度 $R_T, kN/m$,填土为无粘性土,重度为 $\gamma, kN/m^3$,内摩擦角为 $\varphi(^{\circ})$,筋土界面的“似摩擦系数”为 $f^{[6-7]}$ 。建立分析模型见图2。

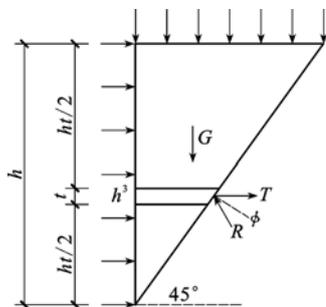


图2 加筋土强度模型

根据试验研究,加筋土的破坏形式主要分为拉断型破坏和摩擦型破坏,所谓拉断型破坏即加筋土达到极限应力状态时,拉筋材料因抗拉强度不足被拉断而发生的破坏,筋土界面拉筋作用在填土上的

剪力 T 由拉筋的抗拉强度来控制。

而所谓摩擦型破坏即当试样发生破坏时,假定土与拉筋接触面上的摩擦力得到充分的发挥,即各点的剪应力均为:

$$\tau = \sigma_1 f$$

分布状态见图3,呈辐射状分布。筋土界面作用在填土上的拉力 F 由筋土间的极限抗拉强度 T_R 来控制,即:

$$F = T_R$$

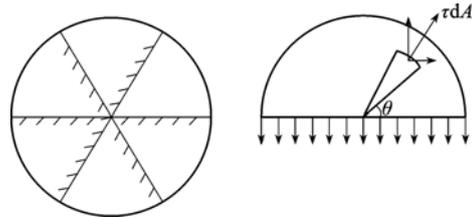


图3 剪应力分布图

而:

$$T_R = \sqrt{K_a} f h (\sigma_1 + 0.5 \gamma h)$$

由于在砂土体内增设筋体,根据研究,相当于砂土内出现一个粘聚力,称之为“似粘聚力”^[8-9]。

因此对于图2中的土体模型,其主应力 σ_3 可按式(1)计算:

$$\sigma_3 = K_a (\sigma_1 + \frac{1}{2} \gamma h) - 2 c_R \sqrt{K_a} \quad (1)$$

式中: c_R 即为摩擦型破坏下产生的似粘聚力。

但对图2进行受力分析可知,在水平方向上 σ_3 也可以按式(2)计算:

$$\sigma_3 = K_a (\sigma_1 + 0.5 \gamma h) - T_R =$$

$$K_a (\sigma_1 + 0.5 \gamma h) - \sqrt{K_a} f h (\sigma_1 + 0.5 \gamma h) \quad (2)$$

结合(1)式和(2)式可得,摩擦型破坏下的似粘聚力 c_R 为:

$$c_R = 0.5 f (\sigma_1 + 0.5 \gamma h) \quad (3)$$

从(3)式中可以看出, c_R 与大主应力有关,且由于土体中增加了筋体,实际上相当于提高了墙后填土的内摩擦角和粘聚力,因此将(1)式改写成增加内摩擦角的表达式:

$$\sigma_3 = (K_a - f \sqrt{K_a}) (\sigma_1 + 0.5 \gamma h)$$

在无加筋的情况下,对于无粘性土体,其墙后填土中的 σ_3 为:

$$\sigma_3 = \gamma h K_a$$

且:

$$K_a = \left[\tan \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right]^2$$

则对于加筋土中的摩擦型破坏而言,由于已假

设在改变了内摩擦角,所以综合上式可得:

$$K_a - f \sqrt{K_a} = \left[\tan \left[45^\circ - \frac{\varphi_R}{2} \right] \right]^2$$

进一步推导可得:

$$\varphi_R = 90^\circ - 2 \arctan \sqrt{K_a - f \sqrt{K_a}} \quad (4)$$

与(4)式相比较,薛晓辉等人在《基于粘着破坏的加筋土挡墙土压力分析》一文中提出的公式为^[10]:

$$\varphi_R = 45^\circ + \arctan \sqrt{K_a - f \sqrt{K_a}}$$

二者存在差异。

2 基于“准粘聚力”受力模型的建立

通过对加筋土体进行水平方向受力平衡分析,可得:

$$E + cH \cot \theta = R \sin(\theta - \varphi)$$

通过对加筋土体进行竖向受力平衡分析,可得:

$$\frac{q_0 H + \gamma H^2 / 2}{\tan \theta} = E \tan \delta + cH + R \cos(\theta - \varphi)$$

联立可得作用在加筋土挡土墙墙背上的侧向土压力合力 E :

$$E = \frac{\cos \delta \sin(\theta - \varphi)}{\tan \theta \cos(\theta - \varphi - \delta)} \left(q_0 H + \frac{1}{2} \gamma H^2 \right) - \frac{\cos \delta \cos \varphi}{\sin \theta \cos(\theta - \varphi - \delta)} cH \quad (5)$$

当准粘聚力 $c=0$ 时,上式即为库仑土压力公式。

3 摩擦型破坏时的加筋土挡土墙土压力

令 $c=0$ 和 $\varphi=\varphi_R$,可得摩擦型破坏时作用在加筋土挡土墙背上的水平土压力合力 E :

$$E = \frac{\cos \delta \sin(\theta - \varphi)}{\tan \theta \cos(\theta - \varphi - \delta)} \left(q_0 H + \frac{1}{2} \gamma H^2 \right)$$

当 $\delta=0$ 时,并在上式中取 $\theta=45^\circ + \frac{\varphi}{2}$,则:

$$E = \frac{\sin \left[45^\circ - \frac{\varphi_R}{2} \right]}{\tan \left(45^\circ + \frac{\varphi_R}{2} \right) \cos \left[45^\circ - \frac{\varphi_R}{2} \right]} \cdot \left[q_0 H + \frac{1}{2} \gamma H^2 \right] =$$

$$\left[\tan \left[45^\circ - \frac{\varphi_R}{2} \right] \right]^2 \cdot \left[q_0 H + \frac{1}{2} \gamma H^2 \right]$$

又,在加筋土挡墙中,

$$\left[\tan \left[45^\circ - \frac{\varphi_R}{2} \right] \right]^2 = K_a'$$

所以,基于摩擦型破坏的加筋土挡土墙的土压力为:

$$E = K_a' \left[q_0 H + \frac{1}{2} \gamma H^2 \right] = (K_a - f \sqrt{K_a}) (q_0 H + 0.5 \gamma H^2) \quad (6)$$

其中,当筋土界面之间的“似摩擦系数” $f=0$

时,式(6)即为按朗肯土压力理论求得的墙背填土的主动土压力:

$$E = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (7)$$

分析式(6)可得,加筋后的挡土墙土体的主动土压力小于无加筋的土体的主动土压力:

$$K_a > K_a - f \sqrt{K_a}$$

这主要是由于加筋体与土体接触面之间存在着摩擦力,筋体对土体的变形产生了一定的约束,导致土体在荷载作用下的变形减小,墙背土压力减小。

将(6)与(7)两式相比,加筋后改变的主要是主动土压力系数 K_a ,而主动土压力系数仅与内摩擦角有关,所以,对于墙后填土为无粘性砂土时,增设加筋材料,改变的主要是填土的内摩擦角,对于粘聚力的影响可以忽略不计。

4 摩擦型破坏与拉断型破坏挡土墙土压力的比较

与摩擦型破坏相比,拉断型破坏时的 σ_3 可按下式计算:

$$\sigma_3 = K_a \left[\sigma_1 + \frac{1}{2} \gamma h \right] - \frac{R_T}{h} =$$

$$K_a (\sigma_1 + 0.5 \gamma h) - 2 c_T \sqrt{K_a}$$

式中, c_T 为拉断型破坏下的“似粘聚力系数”,根据推导:

$$c_T = \frac{R_T}{2h} \tan \left[45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right] \quad (8)$$

令 $c=c_T$,由公式(5)和公式(8)可得在拉断型破坏下作用在加筋土挡土墙背上的水平土压力 E :

$$E = \frac{\cos \delta \sin(\theta - \varphi)}{\tan \theta \cos(\theta - \varphi - \delta)} \left(q_0 H + \frac{1}{2} \gamma H^2 \right) -$$

$$\frac{\cos \delta \cos \varphi \tan \left[45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right] R_T H}{\sin \theta \cos(\theta - \varphi - \delta) 2h} \quad (9)$$

当 $\delta=0$,并令式(9)中取 $\theta=45^\circ + \frac{\varphi}{2}$,可得,此时土压力的表达式:

$$E = K_a \left[q_0 H + \frac{1}{2} \gamma H^2 \right] - \frac{H}{h} R_T$$

4.1 “似粘聚力系数”的比较

摩擦型破坏的“似粘聚力系数” c_R :

$$c_R = 0.5 f (\sigma_1 + 0.5 \gamma h) \quad (10)$$

拉断型破坏的“似粘聚力系数” c_T :

$$c_T = \frac{R_T}{2h} \tan \left[45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right] \quad (11)$$

根据上式可知,摩擦型破坏的“似粘聚力系数” c_R 与筋土界面的摩擦系数 f 和拉筋之间垂直层间距 h 有关,而拉断型破坏的“似粘聚力系数” c_T 与加

筋材的抗拉强度 R_T 和拉筋之间垂直层间距 h 有关。而 c_R 的大小与拉筋之间垂直层间距 h 成线性关系,即 c_R 会随着 h 的增大而增大,但 c_T 的大小与 h 成反比。

基于上述分析,本文认为可以通过改变拉筋之间垂直层间距 h 的大小,使得加筋土体的 c_R 和 c_T 发挥程度达到最大。

设加筋土挡土墙墙后填土筋土之间的“似摩擦系数” $f=0.25$,大主应力 $\sigma_1=42\text{ kPa}$,填土的重度 $\gamma=17\text{ kN/m}^3$,内摩擦角 $\varphi=22^\circ$,加筋材料的抗拉强度 $R_T=7\text{ kN/m}$,则根据式(10)和(11),取不同的间距 h ,绘制“似粘聚力”的变化曲线(见图4)。

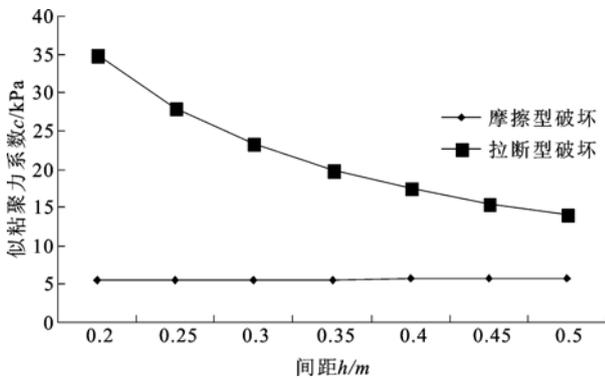


图4 “似粘聚力”随拉筋之间垂直层间距的变化规律

从图4中可以看出,随着 h 的增大,对于拉断型破坏而言, c_T 变化较大,且呈递减趋势;而对于摩擦型破坏而言, c_R 虽然呈递增趋势,但其变化不是很明显,即 h 的变化主要是引起拉断型破坏的“似粘聚力”的改变。

4.2 挡土墙土压力比较

根据推导公式,比较在两种不同的破坏形式下,基于朗肯土压力计算的墙后填土土压力的大小。

摩擦型破坏:

$$E_a = (K_a - f \sqrt{K_a})(q_0 H + 0.5 \gamma H^2) \quad (12)$$

拉断型破坏:

$$E_a = K_a (q_0 H + 0.5 \gamma H^2) - \frac{H}{h} R_T \quad (13)$$

对(12)式进行化简:

$$E_a = K_a (q_0 H + 0.5 \gamma H^2) - f \sqrt{K_a} (q_0 H + 0.5 \gamma H^2) \quad (14)$$

对比(13)式和(14)式可得,土压力计算公式中的 $K_a(q_0 H + 0.5 \gamma H^2)$ 相同,但后面部分不同。通过比较,在相同高度 H 的墙后填土作用下,加筋挡土

墙土体更容易发生拉断型破坏。

结合公式,分析加筋土挡土墙在摩擦型破坏和拉断型破坏下的土压力,并对在相同的填土高度下两种破坏类型的发生情况进行对比,认为在相同的填土高度作用下,墙后填土更容易发生拉断型破坏。

5 结论

本文主要对加筋土挡土墙墙后填土的受力和破坏类型进行了对比分析,通过分析得出以下结论:

1) 当在墙后填土中增设筋体后,会改变加筋土体的内摩擦角和粘聚力。加筋土挡土墙后填土的破坏模式可以分为摩擦型破坏和拉断型破坏,但是对于不同的破坏模式,土体摩擦角和粘聚力的增量和变化是不同的;

2) 根据公式分析,在相同高度填土作用下,墙后填土更易发生拉断型破坏。

参考文献

[1] 常倩倩. 加筋间距对加筋挡土墙破坏模式及临界高度的影响[D]. 南京:河海大学,2007.

[2] 尹亚雄,潘保田,王生新. 阳涉线加筋土挡土墙试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(S2):2916-2919.

[3] 王祥,徐林荣. 双级土工格栅加筋土挡土墙的测试分析[J]. 岩土工程学报,2003,25(3):20-24.

[4] 周亦涛,杨广庆,梁小勇,等. 加筋土挡土墙背土压力分布规律研究[J]. 国防交通工程和技术,2010(1):25-28.

[5] 周世良,何光春,汪承志,等. 台阶式加筋土挡土墙模型试验研究[J]. 岩土工程学报,2007,29(1):152-156.

[6] 刘泽,杨果林,申超,等. 加筋土结构系统的可靠性分析[J]. 中南大学学报(自然科学版),2012,43(3):1160-1165.

[7] 凌天清,周滨,吴春波,等. 筋土界面摩擦特性影响因素分析[J]. 交通运输工程学报,2009,9(5):7-12.

[8] 雷胜友. 加筋土高挡墙的研究[J]. 西安公路交通大学研究报告,1999,12.

[9] 雷胜友. 加筋土强度的新认识[J]. 西北建筑工程学院学报,2000,17(3):10-13.

[10] 薛晓辉,周亦涛,梁小勇,等. 基于粘着破坏的加筋土挡土墙土压力分析[J]. 勘察科学技术,2010(4):11-13.