加筋土柔性桥台性能的 FLAC数值分析

席永慧　项　宝
(同济大学建筑工程系)

摘　要　采用有限差分程序 FLAC5.0来模拟加筋土柔性桥台,计算出土工格栅加筋土桥台结构的墙面板水平位移,加筋材料的内力与变形,讨论了应力在加筋土结构中的扩散形式,并与实测数据进行比较,提出加筋土桥台的应用方法。

关键词　有限差分法　加筋土　桥台　挡土墙　土工格栅

过去的 20年内,世界上建成了几十座加筋土桥台结构,加筋土桥台的一个显著特征是其在一定情况下可替代桩的使用,降低工程造价,解决桩基桥台与路基沉降不均匀产生的路桥过渡段问题[1~3]。

1　材料本构模型

(1) 土体本构模型:土工格栅加筋土挡土墙的填土大多为砂土,其在剪切作用下有剪胀剪缩现象;此外,砂土的强度及应力应变特性与砂土所受压力相关,压力小时剪胀现象更明显。本文采用目前岩土工程中广泛应用的 Mohr - Coulomb本构模型,Mohr - Coulomb屈服准则表达式如下:[4]

$$f = \tau_n - c - \sigma_n \tan\phi = 0$$

利用应力不变量可表示为:

$$f(I_1, J_2, \theta) = \frac{1}{3} I_1 \sin\phi + \sqrt{J_2}\sin\left(\theta + \frac{\pi}{3}\right) + \frac{\sqrt{J_2}}{\sqrt{3}}\cos\left(\theta + \frac{\pi}{3}\right)\sin\phi - c\cos\phi = 0$$

式中:τ_n—剪应力;σ_n—法向应力;c—粘聚力;ϕ—内摩擦角;($0° \le \theta \le 60°$)。

(2) 加筋材料本构模型及模拟:土工格栅的受力特点是只能受拉,不能受压,且抗弯刚度很小,与薄膜材料的受力特点相似,由于土工格栅材料的抗拉强度和模量比较大,拉伸曲线在应力较小的情况下(一般小于 5%)呈直线,考虑到土工格栅在填土中所受到的拉力远小于其抗拉强度,可以将土工格栅的本构关系近似地看成线弹性关系[1]。

(3) 面板材料及桥台基础的本构模型:面板材料与桥台基础均为混凝土结构,其强度与模量均远大于土体,在应力远小于其强度时,近似地呈线性关系,所以采用线弹性本构模型进行分析。

收稿日期〕 2007 - 6 - 06

2　数值模拟计算

本文采用了有限差分软件 FLAC5.0进行数值模拟。FLAC程序采用的是快速拉格朗日方法,它基于显式差分法来求解运动方程和动力方程。FLAC除了自身强大的岩土工程分析能力外,还提供了内嵌扩展语言 FISH,极大地增加了其功能和控制的灵活性。用户可以根据试验结果添加自己的本构模型,并对计算过程进行物理控制,如模型的分步制作、分步加载,破坏监控等[4,5]。

本文分析的是 Mike Adams设计 Founders/Meadows桥台[1,6],桥跨度为 34.5m,桥台结构墙面板高 6m,共铺设了 15层土工格栅加筋材料,在最底层的加筋材料长度为 7.8m,其上各层逐渐加长,各层土工格栅的间距为 40cm,其结构如图 1所示。

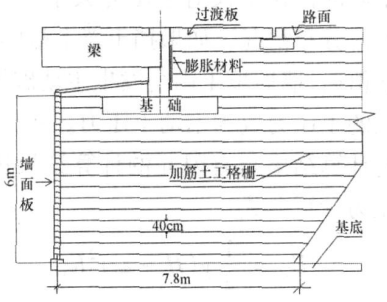


图 1　加筋土横截面示意图

该加筋土桥台的数值计算模型如图 2所示,为了更加准确地模拟该桥台,选取了挡土墙面板前后各 20m、深度 10m的下层土体来考虑,在前后两个竖直面上施加水平方向位移约束,在底层边界施加数值方向的位移约束,桥台基础使用阶段荷载为 150kPa·m^{-2},路面使用阶段荷载为 25 kPa·m^{-2}。

本文采用 FLAC内置的 Mohr - Coulomb本构模

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

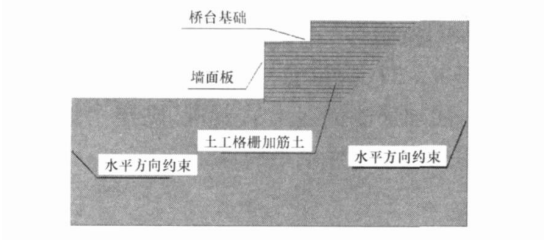


图 2 加筋土结构计算分析模型

型来模拟加筋土桥台结构的土体单元,其中 Mohr - Coulomb模型参数如表 1所示。

表 1 土体单元的 M - C模型参数

密度	粘聚力 c	内摩擦角	泊松比	弹性模量	剪胀角	抗拉强度
20kN·m^{-3}	7kPa	39°	0.3	8.0·10^{7}	10°	4.0·10^{3}

土工格栅加筋土材料采用 FLAC内置的条形锚单元 Strip来模拟。条形锚是一种专门设计用来模拟薄的、平面加筋条形结构。其受力特点为能在拉或压应力下屈服,而且可以定义其破坏极限,条形锚提供了剪切抵抗力,但是不能提供弯矩 (图 3)。土工格栅在此分析中只承受拉力,其模型参数如同表 2。

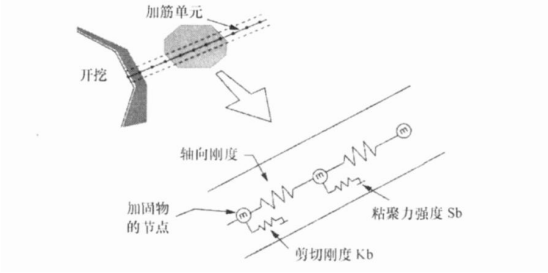


图 3 条形锚单元 (Strip)的力学模型

表 2 条形锚单元 (Strip)部分计算参数

筋材永久设计强度	筋土接触面摩擦角	筋材厚度	条形锚接触面粘聚力	条形锚界面的剪切刚度
50 kN·m^{-1}	30°	0.01m	1.8·10^{7}N·m^{-1}	1.0·10^{5}Pa

文中采用二维梁单元 (Beam)来模拟面板和桥台基础的混凝土结构。FLAC中的 Beam单元是具有两个端点的标准的梁单元,每个端节点具有三个自由度 (两个位移、一个转动)。定义梁单元包括它的材料和几何特性两方面,而且假定材料和几何特性在每个单元没有变化。一般地,梁被假定为轴向拉压破坏极限的线弹性材料。还可以指定其最大弯矩。本文采用的梁单元参数如表 3所示。

表 3 挡土墙面板及基础梁单元参数取值

密度	弹性模量	泊松比	与土界面摩擦角	与土界面粘聚力
2500kg·m^{-3}	3.0·10^{10}Pa	0.2	30°	20kPa

3 结果分析

采用 FLAC对此加筋土桥台结构进行分析,可以得到墙面板的侧向变形、土工格栅加筋材料的内力及变形、土体的应力和应变、基础的沉降等计算结果。

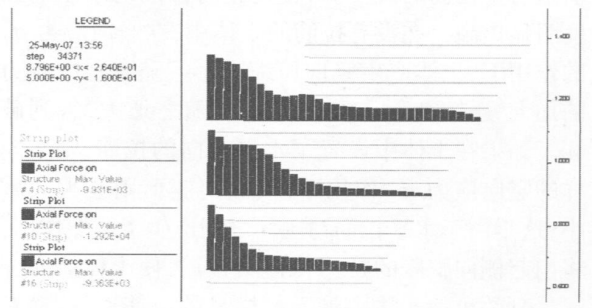


图 4 加筋土桥台土工格栅内力土

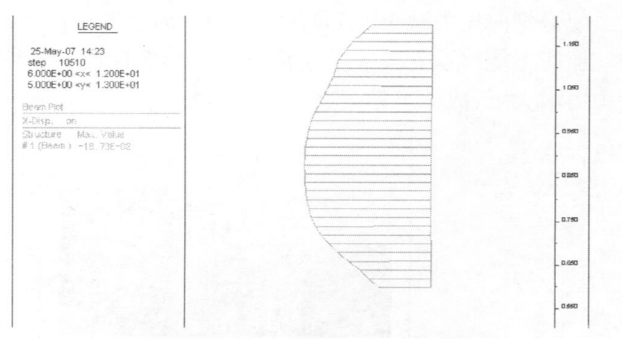


图 5 加筋土桥台墙面板水平位移

土工格栅加筋材料的内力如图 3所示,本文中选取了第 2层、第 8层以及第 14层 3个土工格栅的内力与实测结果进行比较分析。模拟计算得到的土工格栅最大内力均发生在土工格栅与墙面板的连接处,分别为 9.931kN·m^{-1},12.92kN·m^{-1},9.363kN·m^{-1},远远小于连接件的设计连接强度 58kN·m^{-1},而在工程竣工通车 35个月后,实测的上述 3层土工格栅分别为 7.7kN·m^{-1},9.2kN·m^{-1},7.3kN·m^{-1}[2,3],FLAC模拟计算结果相比偏小,可能是由于在使用一定时期后,土体的强度有所增强的结果,而土工格栅随时间的蠕变效应也可能是一个影响因素。

图 5显示出加筋土桥台墙面板的水平位移,其最大水平位移产生与墙面板一半高度处,最大值为 18.73mm,与实测最大位移 20mm相比,数据偏小,原因可能是忽略了土工格栅材料及土的蠕变效应。

图 6显示出加筋土桥台的土体的水平位移,从图中可以发现加筋土桥台结构中的加筋土材料改变了土体的受力的形式。在有加筋材料的部分,土体

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的 X方向的位移受到约束。该结果可用准粘聚力理论来进行解释。准粘聚力理论认为:加筋土结构可以看做是各向异性的复合材料,通常采用的拉筋,其弹性模量远大于填土。在这种情况下,拉筋与填土的共同作用,包括填土的抗剪力、填土与拉筋的摩擦阻力及拉筋的抗拉力,使得带有拉筋的填土的强度明显提高。在没有拉筋的土体中,在竖向应力 σ_1 的作用下,土体产生竖向压缩变形。随着竖向应力的加大,压缩变形和侧向变形也随之加大,直到破坏。如果在土体中设置了水平方向的拉筋,则在同样的竖向应力 σ_1 作用下,其侧向变形则会大大减小,这是由于水平拉筋与土体之间产生了摩擦作用,将引起侧向膨胀的拉力传递给拉筋,使土体侧向变形受到约束。土体中加入高模量的拉筋后,拉筋对土体提供了一个约束力 σ_R,即水平应力增量 $\Delta\sigma_3$,使得侧向压力减小,亦即在相同的轴向变形条件下,加筋土能够承受较大的主应力差,相当于土体粘聚力增大了,故称准粘聚力[7]。

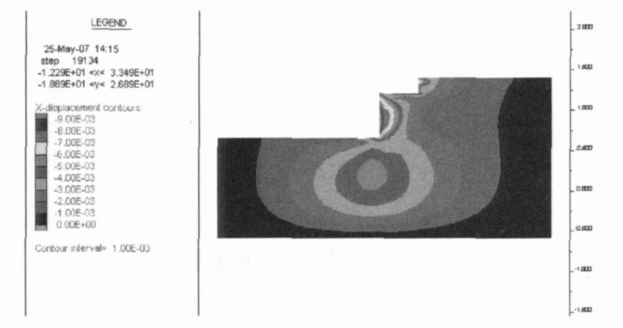


图 6 加筋土桥台水平位移图

从加筋材料的数值计算结果可以看出,摩擦加筋理论可以很好地解释本结构中加筋材料的受力形式,土工格栅材料的轴向内力由面板往内逐步减小。摩擦加筋理论认为:在加筋土结构中,由填土自重和外力产生的土压力作用于墙面板,通过墙面板上的拉筋连接件将此土压力传递给拉筋,存在着将拉筋从土中拉出的可能,而拉筋又被填土压住,于是填土与拉筋之间的摩擦力阻止拉筋被拔出。因此,只要拉筋材料具有足够的强度,并与土产生足够的摩阻力,则加筋的土体就可保持稳定。设由土的水平推力在该微分段所引起的拉力 $dT = T_1 - T_2$,(假定拉力沿拉筋长度呈非均匀分布),垂直作用的土重和外荷载为竖向力 N,拉筋与土之间的摩擦系数为 f,拉筋宽度为 b,作用于长 dl 的拉筋条上下两面垂直力为 $2N\,b\,dl$,拉筋与土体之间的摩擦阻力为 $2N\,f\,b\,dl$。如果 $2N\,f\,b\,dl > dT$,则拉筋与土体之间不会出现滑动。如果每一层加筋能满足上式要求,则整个加筋土结构的内部抗拔稳定性就得到保证[7]。

4 结论

采用有限差分程序 FLAC能够相当准确地模拟加筋土桥台结构的内力和变形情况,FLAC内置了比较丰富的材料本构模型以及结构单元,这些也为完成建模提供了方便。采用条形锚单元能够比较好地描述土工格栅与土的相互作用。

土工格栅向下变形,格栅被拉伸,形成一层向上的抗力,格栅层起着“网兜”的作用,提高了填土的整体承载能力。

土工格栅的加筋作用降低了柔性桥台内部滑动破坏的可能性,潜在的滑动面与未铺土工格栅的桥台结构不同,呈现出非连续的特征。

采用加筋土摩擦加筋理论可以很好地解释本结构中加筋材料的受力形式,土工格栅材料的轴向内力由面板往内逐步减小。

采用准粘聚力理论可以很好地解释加筋土体内应力应变关系的变化,土体的承载力明显的提高,而桥台基础以及路面的沉降明显的减小。

参 考 文 献

[1] Sam M. B., Jonathan T. H. GRS bridge abutments - an effective means to alleviate bridge approach settlement. Geotextiles and Geomembranes, 2003 (21): 177 - 196.

[2] 周志刚, 郑健龙, 宋蔚涛. 土工格栅加筋柔性桥台的机理分析. 中国公路学报, 2000, 13 (1): 18 - 21.

[3] 周志刚, 郑健龙. 公路土工合成材料设计原理及工程应用. 北京: 人民交通出版社. 2001.

[4] 刘 波. FLAC原理、实例与应用指南. 北京: 人民交通出版社, 2005.

[5] 陶连金, Richard J. Bathurs 土工格栅加筋边坡坡顶条基极限荷载的预测. 土木工程学报, 2005, 38 (7): 107 - 111.

[6] Abu - Hejleh, Zornberg, J. G. 2002, "Monitored Displacements of Unique Geosynthetic Reinforced Bridge Abutments", Geosynthetics International, Vol 9, No. 1, 71 - 95.

[7] 杨果林, 等. 现代加筋土挡土结构. 北京: 煤炭工业出版社. 2002.

第一作者通讯地址: 上海市杨浦区武东路 100号 0509信箱
邮编: 200092

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net