

文章编号:1671-8879(2006)03-0039-04

桥台柔性搭板的数值仿真

张宏光, 谢永利

(长安大学 桥梁与隧道陕西省重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘要:针对高等级公路路桥过渡段出现桥头跳车病害,结合土工格室楔形柔性搭板处治方法,应用 Marc 非线性有限元软件,对经过楔形柔性搭板加固的台后填土变形及力学特性进行数值仿真分析。结果表明:楔形柔性搭板能够有效减小因地基沉降所引发的桥台台后填土沉降;桥台台后填土顶面曲线及填土内部塑性区域的分布在不同土质及不同沉降条件下差异明显。最后提出了针对不同土质及不同沉降条件下楔形柔性搭板的设计优化方案。

关键词:桥梁工程;楔型柔性搭板;桥头跳车;Marc 软件;数值仿真

中图分类号:U443.21 **文献标识码:**A

Numerical Simulation of Wedge-Shaped Flexible Approach Slab Abutment

ZHANG Hong-guang, XIE Yong-li

(Key Laboratory for Bridge and Tunnel of Shaanxi Province, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: Aimed at the jump disease at abutment joint on the high-grade highway, combined with the application of geocell wedge-shaped flexible approach slab, the deformation and mechanics characters of filling behind bridge abutment were analyzed by MARC, which is a nonlinear finite element analysis program. The results show that the wedge-shaped flexible approach slab can effectively decrease the settlement of filling at back abutment which was caused by the ground subsidence, and there are obvious differences at curves of superface and the plastic region in filling when the soil texture and subsidence conditions are different. The designing optimization settlement scheme for wedge-shaped flexible approach slab against different soil texture and subsidence conditions was put forward. 1 tab, 10 figs, 8 refs.

Key words: bridge engineering; wedge-shaped flexible approach slab; jump at abutment joint; Marc program; numerical simulation

0 引言

桥台土工格室^[1-2]柔性搭板是一种新兴台后填土的处治方法,实践证明它对于降低台后填土的压缩性,消除由于路基填土压缩所产生的台背处的差

异沉降是十分有效的^[3-4],但是它能否有效降低因填土处地基沉降而引起的路面下沉还有待于进一步的探讨。为此,本文在假定路基土在充分压实的情况下(忽略路基土本身产生的压缩),通过数值仿真分析,验证土工格室柔性搭板对于消化由地基沉降所

收稿日期:2005-04-20

基金项目:国家西部交通建设科技项目(200131881259)

作者简介:张宏光(1972-),男,吉林长春人,讲师,博士研究生。

引发的路面沉降是否有效,以及通过对比论证此种方法应用于不同土质有效性的差别,寻找台后填土的塑性开展区范围,提出最优化的设计方案,使得在同样的材料用量上达到最好的加固效果,进一步从本质上认识土工格室的加固机理。

1 数值仿真方案设计

运用计算机数值仿真,只要给定材料特性、边界条件及相应的计算方法,就可以得到相应的各项指标,并且几乎不受工况个数的限制。当然,数值仿真技术运用的正确与否也取决于给定的材料特性及边界条件的正确性,以及是否选择了正确的计算方法。本文即是依托实体工程(甘肃省古浪—永昌高速公路 30 余座中小桥)模型试验^[5],应用数值仿真技术,对其中典型桥台柔性搭板布置形式应用 Marc 软件进行仿真分析。

1.1 土工材料的本构关系

影响土本构关系的因素很多,事实上没有任何一种模型能考虑所有的影响因素,也不可能有一种模型能够适用于所有的土类以及各种土工问题。比较实用的办法是结合具体的土工问题,建立既能考虑影响土体应力-应变关系的主要因素,且在参数的确定和计算方法的处理上又不太复杂的简化模型。结合工程问题的实际及软件所提供的本构模型的接口状况,选用 Mohr-Coulomb 准则作为本次数值模拟的屈服判断条件。

为了数学描述的方便,在 Marc 软件中一般用另一种屈服准则,即 Drucker-Prager 准则来代替。Drucker-Prager 准则是 Von Mises 屈服条件的推广,其表达式为

$$f = \alpha I_1 + \sqrt{J_2} - k = 0$$

式中: I_1 为应力张量第一不变量; J_2 为应力偏张量的第二不变量; α 、 k 均为正的常数。

1.2 楔形搭板模型特点及处理

在仿真分析中由于土工格室的存在,使得模型本身带有很多不同于其他土工材料的特殊性问题,而对于这类特殊问题处理的好坏将直接影响到模型仿真的效果。

1.2.1 柔性搭板复合体特性及仿真处理

土体本身只能承受很小的拉应力或根本不能承受拉应力,其抗剪强度也较弱,而经过土工格室加劲的柔性搭板复合体不但使其具有较强的抗拉能力,其抗剪能力也得到大大加强。可见,土工格室柔性搭板与周围土体相比,已具有完全不同的特性,且更

接近于连续介质,因此可以将土工格室及其内填土看作是具有一定抗压、抗弯拉和抗剪切能力的柔性板复合体。

另外,柔性板复合体与其他土工材料加劲体不同之处还有:土工布及土工格栅等加劲材料具有“薄膜”受力特点,具有较强的抗拉性能,而不具有抗压性能,且由于“薄膜”较薄,一般不具备抗弯性能;土工格室为筋材立放经超声波焊接而成,立面高度较高,与压实土结合后,具有一定的抗弯拉能力。

1.2.2 柔性搭板与上下土层间相互作用的特点及仿真处理

土工格室与其中填土作为柔性板复合体,其力学性质显著与周围土体不同,因而就存在如何处理二者接触面的问题。

按上述分析,可将柔性板复合体看作一连续介质,既能够承受一定弯拉应力,又能够承受一定的剪应力,它与周围土层间的相互作用是通过接触面的压剪应力来传递的;另外模型试验也表明,沉降板(模拟地基)下沉时,在柔性板复合体与上下土层的接触面上,有明显的错动痕迹,因此在仿真时应特别定义为接触问题,其接触面的摩擦系数可认为是土的内摩擦系数。

1.2.3 填土与两侧挡板、沉降板之间相互作用的处理

通过对 9 个工况模型试验的观察,可明显看到,大多数工况下在近桥台处最下层填土区域及左侧挡板(模拟桥台)附近区域存在明显的板土分离现象。因此在数值仿真时,可将填土定义为“可变形接触体”,而将两侧挡板及沉降板定义为“刚性接触体”,同时定义二者之间的摩擦系数、接触后分离所需的分离力、接触容差及可能的过盈值等。

1.2.4 模型中土体力学指标 c 、 φ 值的选取

模型试验选择了两种土样:中砂和实际依托工程用黄土(取自甘肃)^[6-8]。

(1)填土为中砂。中砂在加筋之前可直接采用室内试验数据,即 $c=2.5$ kPa, $\varphi=35^\circ$;加筋之后,取 $c=33.7$ kPa, $\varphi=40^\circ$ 。

(2)填土为黄土。加筋之前同样采用室内试验数据,即 $c=24.3$ kPa, $\varphi=21.5^\circ$;加筋之后,取 $c=64.4$ kPa, $\varphi=27^\circ$ 。

1.3 模型建立及单元划分

数值仿真共拟定 4 个工况,各工况的填土类型和地基沉降类型等见表 1。为了便于与相应模型试验作比较,数值模型大小与模型试验一致,也取为 1:5,沉降高度取 8 cm(对应实体工程为 40 cm)。

具体纵断面布置见图 1 所示。

表 1 数值仿真各工况设计

工况	填土类型	土工格室布置型式	地基沉降类型	备注
1	中砂	上密下疏布置	分四级均匀降至 8 cm	同模型试验中工况 1
2	黄土	上密下疏布置	分四级均匀降至 8 cm	同模型试验中工况 3
3	中砂	上密下疏布置	近桥台侧分四级降至 8 cm	同模型试验中工况 7
4	黄土	上密下疏布置	近桥台侧分四级降至 8 cm	同模型试验中工况 9

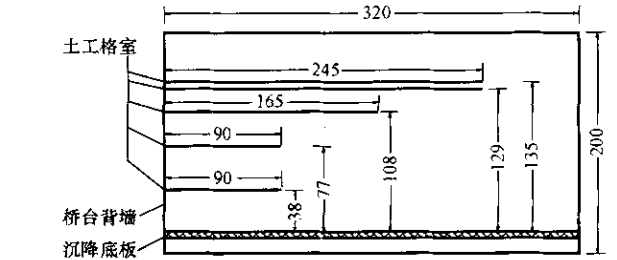


图 1 模型仿真中各工况土工格室布置 (单位:cm)

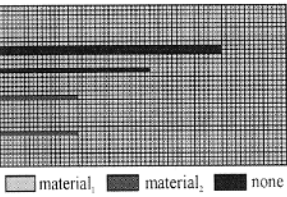


图 2 单元划分及材料定义

单元划分见图 2, 共计 2 305 个结点, 2 304 个平面 4 节点单元, 其中 material₁ 表示土体单元, material₂ 表示土工格室单元。

2 仿真结果分析

针对所拟定的 4 种工况(表 1), 分别用 Marc 软件进行计算, 计算结果包括 3 个方面的内容: 各单元体的竖向位移、竖向压应力及塑性区域分布等, 因篇幅有限, 现仅就竖向位移和塑性区域分布进行分析。

2.1 竖向位移仿真分析

为便于研究, 在数据的后处理上将其以云图的形式表示(图 3~图 10), 各图中水平方向代表模型的长度方向, 竖直方向代表模型的高度方向; 左右两条竖直线段表示模型试验中的左右挡板, 土工格室即固定在左侧边板上(见图 1); 上部水平线段代表填土顶面在地基未沉降时的初始位置; 图中着色区表示填土变形的最终状态。

图 3~图 6 分别为各工况条件下, 填土随地基沉降所呈现的各层土竖向位移云图。图中深色区域表示竖向位移较大, 浅色区域表示竖向位移较小; 图形左侧区域有表示竖向位移大小的定量标尺。

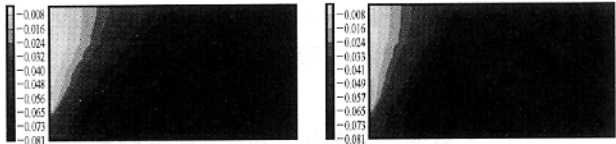


图 3 工况 1 竖向位移云图



图 4 工况 2 竖向位移云图

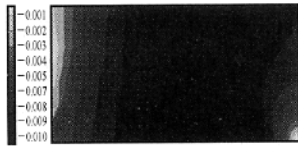


图 5 工况 3 竖向位移云图



图 6 工况 4 竖向位移云图

(1) 从图 3、图 4 中可以看出, 在底板沉降的过程中, 两种工况都存在填土与左边板上部、底板左侧相离的现象, 这与实际的模型试验是相吻合的。所不同的是, 工况 1(砂土)的填土顶面所呈现的过渡曲线较工况 2(黄土)更为平缓, 按模型比例换算后, 前者过渡长度约为 11.0 m, 后者过渡长度约为 7.5 m。

(2) 从图 3、图 5 中可以看出, 当底板只在近桥端单侧沉降时(工况 3), 其填土顶面过渡曲线要较双侧均匀沉降(工况 1)缓和得多, 其最大沉降点位于偏左(桥台侧)位置, 在此点左侧同时伴有板土分离现象。

(3) 从图 5、图 6 中可以看出, 同样是在近桥端单侧沉降的情况下, 工况 4 比工况 3 填土顶面过渡曲线更为平顺, 且其最下层填土几乎与沉降板完全脱离, 底部最大沉降值较小, 位于中部偏右的位置, 可见此处 c 值(粘聚力)起了相当大的作用。

2.2 塑性区域分布仿真分析

图 7~图 10 分别为各工况条件下, 填土随地基(沉降板)沉降所呈现的各层土塑性开展区云图。图中深色区域表示塑性变形较小, 浅色区域表示塑性变形较大, 右侧深灰色区域表示弹性变形区域; 图形左侧区域有表示塑性应变大小的定量标尺。

(1) 图 7 表明, 当填土为砂土, 且沉降板产生均匀竖向沉降时, 其塑性开展区呈现为倒三角形, 为左侧挡板(桥台背墙)和一条与竖直线呈 50° 左右的直

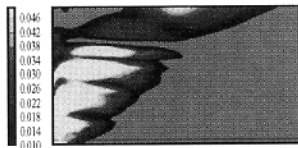


图 7 工况 1 塑性开展区云图

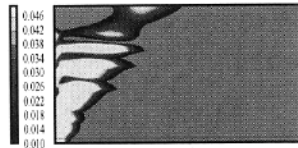


图 8 工况 2 塑性开展区云图

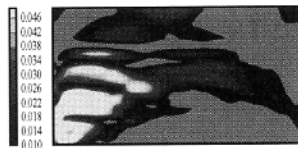


图 9 工况 3 塑性开展区云图

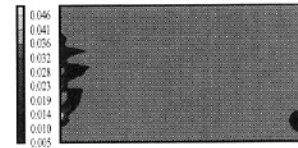


图 10 工况 4 塑性开展区云图

线所包含的区域,并被格室分割呈若干个小的区域。可以看出,土工格室对于限制砂性土塑性区的开展有着极其重要的作用。

(2) 图 8 表明,当填土为黄土,且沉降板产生均匀竖向沉降时,其塑性开展区也呈现为倒三角形,为左侧挡板(桥台背墙)和一条与竖直线呈 30° 左右的直线所包含的区域,并被格室分割呈若干个小的区域。可以看出,土工格室对于限制粘性土塑性区的开展也有着较为重要的作用。

(3) 图 9 表明,当填土为砂土,且沉降板产生近桥台处单侧竖向沉降时,其塑性开展区从左侧近桥台处扩展到右侧,其区域较图 7 有明显不同,且范围较广。

(4) 图 10 表明,当填土为黄土,且沉降板产生近桥台处单侧竖向沉降时,其塑性开展区仅位于土工格室与挡板(桥台背墙)连接处附近。

3 结 语

(1) 楔形柔性搭板对于消除由于地基沉降所引起的台后跳车现象效果明显,就地基产生均匀沉降而言,楔形柔性搭板加固砂土的效果更为明显,其填土表面的沉降过渡曲线较填土为黄土时更为平缓。

(2) 沉降条件的不同会直接影响到填土塑性区的形成,不同工况下所形成的填土塑性开展区域的形状是不同的,因此土工格室楔形柔性搭板的布置也应与此相适应,包括土工格室的长短、分布等。

(3) 土工格室对于限制填土塑性区域的开展非常有效,二者相互影响,即土工格室的布置决定着填土塑性区域的开展,而填土塑性区域的开展反过来又指导着土工格室的布置。计算表明,只有当土工格室的长度超出填土塑性开展区域时,楔形柔性搭板才能发挥最大效能。

参考文献:

References:

- [1] John N W M. Geotextiles[Z]. London: Blackie and Son Co Ltd, 1987.
- [2] 土工合成材料工程应用手册编写委员会. 土工合成材料工程应用手册[M]. 北京: 中国建筑出版社, 1994.

Manual Compile Committee. Geotechnical Composite Material Technical Application Manual[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1994.

- [3] 冯瑞玲, 谢永利, 方 磊. 柔性基础下复合地基的数值分析[J]. 中国公路学报, 2003, 16(1): 40-42.
FENG Rui-ling, XIE Yong-li, FANG Lei. Numerical Analysis of the Composite Ground under the Flexible Foundation[J]. China Journal of Highway and Transport, 2003, 16(1): 40-42.
- [4] 俞永华, 谢永利, 杨晓华. 桥头楔形柔性搭板作用性状的仿真[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(6): 29-32.
YU Yong-hua, XIE Yong-li, YANG Xiao-hua. Simulation of Active Mechanic of Wedge Flexible Approach Slab at Bridge Abutment[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(6): 29-32.
- [5] 张宏光, 谢永利, 杨晓华. 楔形柔性搭板模型试验[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2005, 25(3): 54-57.
ZHANG Hong-guang, XIE Yong-li, YANG Xiao-hua. Model Experiment of Wedge-Shaped Flexible Approach Slab Abutment[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(3): 54-57.
- [6] 张洪亮, 胡长顺, 刘保健, 等. 压实石灰黄土力学特性试验[J]. 交通运输工程学报, 2003, 3(4): 13-16.
ZHANG Hong-liang, HU Chang-shun, LIU Bao-jian, et al. Mechanical Properties Experiment of Compacted Loess-Lime[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003, 3(4): 13-16.
- [7] 方 磊, 谢永利. 柔性基础下复合地基桩土应力比模型试验[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2005, 25(2): 30-32.
FANG Lei, XIE Yong-li. Model Experiment of Pile-soil Stress Ratio of Composite Ground under Flexible Foundation[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(2): 30-32.
- [8] 刘保健, 支喜兰, 谢永利. 公路工程中黄土湿陷性问题分析[J]. 中国公路学报, 2005, 18(4): 27-31.
LIU Bao-jian, ZHI Xi-lan, XIE Yong-li. Analysis of Problems on Loess Hydrocompaction in Highway Engineering[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(4): 27-31.