

论山区高填方路堤沉降变形分析

李思水

安徽省合肥市庐江县交通运输局, 安徽 合肥 231500

[摘要]高填方路堤是山区公路的常见的路基形式之一, 沉降问题一直是高填方路堤研究的一个重要课题。针对高填方路堤沉降问题, 通过室内离心试验模拟与数值模拟试验计算分析, 对高填方路堤沉降变形进行了较全面的分析, 为高填方路堤沉降控制提供一定的参考依据。

[关键词]高填方路堤; 沉降; 离心模拟; 数值模拟

DOI: 10.33142/sca.v3i6.2472

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

Discussion on Analysis of Settlement Deformation of High Fill Embankment in Mountainous Area

LI Sishui

Anhui Hefei Lujiang Transportation Bureau, Hefei, Anhui, 231500, China

Abstract: High fill embankment is one of the common subgrade forms of mountain highway and settlement problem has always been an important topic in the study of high fill embankment. In view of the settlement of high fill embankment, the settlement deformation of high embankment is analyzed comprehensively through the simulation of indoor centrifugal test and numerical simulation test, which provides a reference for the settlement control of high fill embankment.

Keywords: high fill embankment; settlement; centrifugal simulation; numerical simulation

随着山区公路建设的发展, 高填方路堤已成为了山区公路的的常见路基形式之一。如何有效地控制沉降问题是高填方路堤研究的一个重要课题。

本文针对高填方路堤沉降问题, 用离心模型试验模拟高填方路堤在不同填筑高度、不同施工工艺下的沉降变形和影响因素, 为高填方路堤沉降预测模型和控制沉降的施工方法提供一定的试验基础资料。另外运用有限元分析软件 ANSYS 对高填方路堤进行数值模拟, 分析其沉降变形规律, 并与离心模拟试验结果进行对比, 为高填方路堤沉降控制提供一定的参考依据。

1 离心模拟试验

土工离心模拟试验技术是当前岩土工程研究采用的一项物理模拟技术。利用离心机提供的离心力模拟重力, 按相似准则, 将原型的几何形状按比例缩小, 用相同物理性状的土体制成模型, 使其在离心力场中的应力状态与原型在重力场中一致, 以研究工程性状的测试技术。其基本特点是由原材料制作模型, 在原应力状态下, 直接观察土体的变形形态及其破坏过程^[1]。本次离心模拟试验主要做了以下两个方面的内容:

- (1) 模拟路堤在不同填筑高度(20m、30m、40m)沉降的沉降变形特征;
- (2) 模拟路堤在不同施工工艺(分层碾压、分层强夯)下沉降变形特征。

1.1 试验模型设计

为了更直观的研究在不同填筑高度和施工工艺下, 路堤自身压缩沉降变形, 试验设置模型箱。

模型箱内填筑体的高度为 0.4m, 通过调节离心机的离心加速度(50g、75g、100g)模拟路堤在不同填筑高度(20m、30m、40m)的沉降变形情况; 通过在同一模型箱里一次成型两个模型(中部采用 2cm 的木板隔离), 左侧强夯, 右侧碾压, 模拟路堤在不同施工工艺下沉降变形情况。

1.2 离心模拟结果分析

利用离心模型试验对在不同填筑高度, 不同施工工艺下填筑体沉降特征进行分析, 得到以下规律:

- (1) 路堤随着填筑高度的增大, 沉降值增加;

(2) 路堤分层沉降规律显著, 路堤 1/3 高度范围内沉降较小, 1/3~2/3 高度范围内沉降明显增大, 最大沉降值出现在 2/3 以上的底部范围内;

(3) 通过强夯和碾压的比较, 强夯能明显减小高填方路堤的沉降值。

2 数值模拟试验

ANSYS 是最为通用和有效的有限元软件之一。通过 ANSYS 有限元软件模拟高填路堤在自身重力作用下沉降变形进行数值模拟分析, 并将数值模拟结果与离心模拟结果进行对比分析。

2.1 土体本构模型

路堤都是颗粒状材料如土壤这样的材料填筑而成, 此类材料受压屈服强度远大于受拉屈服强度, 且材料受剪时, 颗粒会膨胀, 常用的 VonMises 屈服准则不适合这类材料。在土力学中常用的屈服准则有 Mohr-Coulomb (简称 MC) 等准则。另一个能更准确描述这类材料的强度准则为 Drucker - Pargger (简称 DP) 屈服准则, 使用 DP 屈服准则的材料简称 DP 材料^[1]。在岩土、土壤的有限元分析中, 采用 DP 材料可以得到较为精确的结果。

考虑到静水压力的影响, 可以得到 DP 准则的屈服函数为:

$$F = aJ_1 + \sqrt{J_2} - k = 0$$

式中: J_1 为球张量, J_2 为偏张量,

J_1 其表达式为:

$$J_1 = -\frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3},$$

J_2 其表达式为:

$$J_2 = \frac{1}{6}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]$$

a, k 为 DP 准则材料常数, 在平面应变状态下

$$a = \frac{\sin \varphi}{\sqrt{3}\sqrt{3 + \sin^2 \varphi}}, \quad k = \frac{\sqrt{3}c \cos \varphi}{\sqrt{3}\sqrt{3 + \sin^2 \varphi}}$$

当 $\varphi > 0$, DP 准则在主应力空间内切于 MC 屈服面的一个圆锥面; 当 $\varphi = 0$ 时, 它退化为 VonMises 屈服准则。DP 准则可以避免 MC 准则屈服面在棱角处引起的数值上的奇异点。^{[2][3]}

DP 模型适用于颗粒状材料, 能够比较准确的描述土体的力学变形行为。在 ANSYS 中, DP 材料的材料参数包括黏聚力 c 、内摩擦角 φ 、膨胀角 f 。其中 c, φ 值可由室内试验得到。膨胀角是控制体积膨胀的大小。 $f=0$ 时, 不膨胀; $f=\varphi$ 时, 严重膨胀。保守计算, 本文取 $f=0$ 。

2.2 数值模型设计

路基在空间中是一条线状构造物, 对于路基的沉降可看做平面应变问题来处理。本次数值模拟采用二维平面实体对路堤沉降进行分析, 并提出以下假定条件: (1) 假设路堤填料为理想弹塑性体; (2) 不考虑地基沉降变形, 认为地基在路堤填筑前已完成了固结沉降; (3) 只考虑由路堤自身重力引起的自身压缩沉降变形, 不考虑汽车荷载等其他因素对其造成的影响。

考虑到离心模型边界条件为: 填筑体上表面自由, 两侧面限制水平位移, 底面为固定边界。但是实际的路基边界为: 填筑体上表面和两侧面完全自由, 因为不考虑地基变形影响, 路基底面可以假定为固定边界。为了对比两种边界条件下沉降变形情况, 在数值模拟建了两组模型: 一组为离心模型的边界条件, 一组为实际路堤的边界条件。

2.3 数值模拟结果分析

2.3.1 最大沉降值^{[4][5]}

利用有限元软件 ANSYS 对上述数值模型 1、2 在不同施工工艺 (强夯、碾压)、不同高度 (20m、30m、40m) 下高填方路堤的沉降变形进行分析计算。

可知，路基最大沉降值随着填筑高度的增加而增大，分层强夯能明显减小路基沉降。取数模 1（两侧面约束）为例，图 1 为其路基竖向变形云图，如下所示：

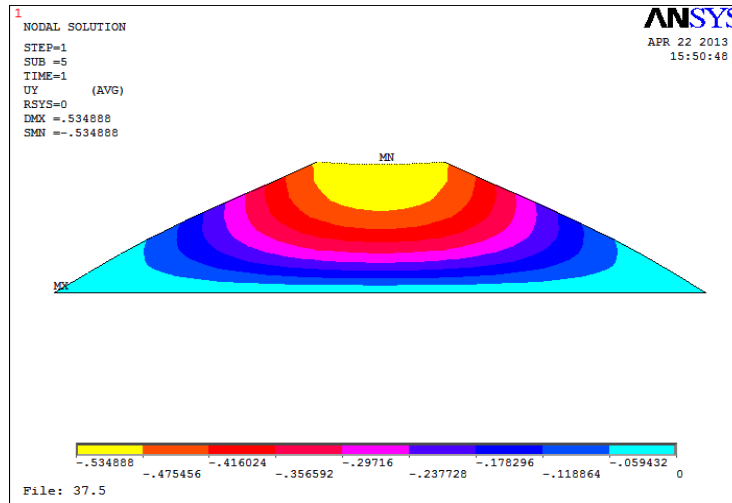


图 1 数模 1（两侧面约束）路堤竖向变形云图

2.3.2 材料参数对沉降的影响

为了分析材料参数对路基沉降的影响，取路基高度 40m，边坡为 1:1.5，路基宽度为 28m，路基底部自由度全约束。

(1) 变形模量 E 对沉降的影响

取填筑体密度为 $2.033\text{g}/\text{cm}^3$ ，泊松比为 0.3，变形模量分别取 10MPa、20MPa、30MPa。试验结果如图 2 所示，由图 2 可知，随着变形模量的增大，路基最大沉降值和路基每层的沉降量都在减小，说明对于高填方路堤施工可以通过提高压实度，增大变形模量来减小高填方路堤的沉降。也可以采用土石混填路堤填料，来减小路堤沉降。

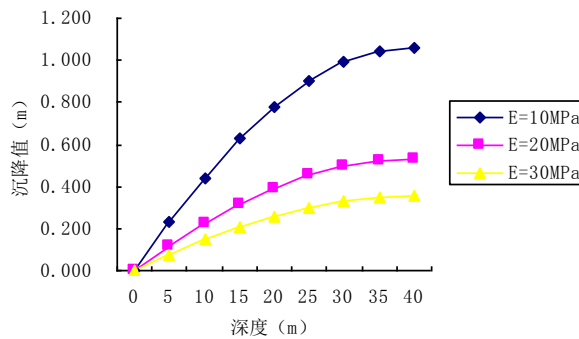


图 2 变形模量 E 与路基中线沉降量关系图

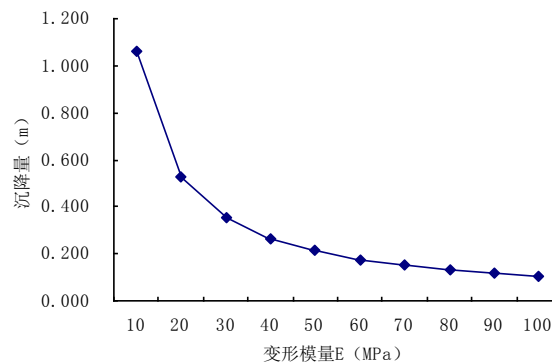


图 3 变形模量 E 与最大沉降量关系图

图3为变形模量E与最大沉降量之间的关系图,由图可以看出,变形模量由10Mpa增加到30Mpa,路堤沉降明显减小,减小幅度很大(1.06m~0.353m);随着变形模量进一步增大(40Mpa~100Mpa),路基沉降虽然在减小,但减小幅度明显降低。

3 结束语

(1)当路堤高度超过20m,沉降值达到0.3m~1.3m,沉降值不可忽略。

(2)在高填方路堤施工中,应该通过采用优质填料(如土石混填),提高压实度减小高填方路堤沉降变形。但随着压实度达到一定值后,再继续增加压实度,对减小路基沉降效果不是太明显,所以路基施工中,一般情况下采用过大的压实度没有必要。

(3)通过离心模拟和数值模拟两种技术反复分析高填方路堤压缩沉降变形规律,使得分析的结果更具可靠性,为高填方路堤设计、施工提供优质的方案,保证工程安全完工。

[参考文献]

- [1]杜延龄,韩连兵.土工离心模型试验技术[M].北京:中国水利水电出版社,2010.
- [2]钱家欢,殷宗泽.土工原理与计算(第2版)[M].北京:中国水利水电出版社,1996.
- [3]卢延浩,刘祖德.高等土力学[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [4]吴俊,陈开圣,龙万学.高填方路基变形有限元数值模拟[J].公路工程,2009,34(2):27-33.
- [5]何兆益,周虎鑫.高填方路堤填筑体沉降的三维有限元分析[J].重庆交通学院学报,2000,19(3):58-61.

作者简介:李思水(1966-),男,汉,安徽宿松县,高级工程师,本科,主要从事路桥工程管理研究。