

文章编号: 1001- 4810(2005)02- 0135- 05

填石路堤变形观测方案设计与实施^{*}

彭建国¹, 刘小明², 刘江波²

(1. 湖南省交通规划勘测设计院, 湖南 长沙 410011; 2. 湖南大学岩土工程研究所, 湖南 长沙 410082)

摘 要: 本文介绍了“西部项目”中现场试验路段填石路堤变形观测的设计和实施过程; 针对填石路堤进行沉降观测存在的问题与监测中所采用的观测方法和设备进行了讨论, 并对其设计及实施过程进行了研究。观测结果分析表明, 所提出的实施方案及观测方法可行, 结果可靠, 对填石路堤变形观测工作有一定的实用价值。

关键词: 填石路堤; 变形观测; 水管式沉降仪; 剖面沉降仪

中图分类号: U 416.1; TU 433

文献标识码: A

1 概 述

随着我国高等级公路建设向西部地区的推进, 在岩溶地区修筑公路不可避免地大量采用当地石灰岩、页岩等材料。采用块石修筑路堤是一项古老的技术, 但是作为高等级公路还是近年来的事情, 在技术上缺乏相应的工程经验和基础数据支持, 对于填石路堤达一定高度后, 其对地基的作用情况, 填石路堤本身在自重、施工机械、运营荷载作用下的变形规律尚不清楚, 因此需要对填石路堤进行变形观测, 以取得相应数据以便分析填石路堤的变形规律, 进一步揭示山区地基在大荷载作用下的压缩规律, 填石压实后的状态, 以及验证设计沉降值, 为今后进行类似工程的施工积累经验。本文介绍了“西部项目”现场试验方案设计中针对填石路堤的特点和所处的地形、地质条件等情况对方案设计、观测方法选型、实施等方面所作的一些研究工作, 供同行参考。

2 现场试验路段变形观测内容

2.1 现场试验路段概况

依托工程湖南省常德至张家界高速公路, 路线总长为 160.7 km, 有大量土石混填路基。本项目试验路段设在 K85+ 480~ K85+ 850 段, 试验段起点 K85+

480 为路堤填切交界点, 根据路线纵断面图, 自 K85+ 517 至跨线桥常德侧台背回填终点 K85+ 633 长度约 110 m, 路堤填方高度接近 8 m, 该段拟采取灰岩填筑; 自跨线桥张家界侧台背回填起点 K85+ 693, 至 K85+ 850 长度约 160 m, 该段采用页岩填筑。

2.2 变形观测内容

与填土路堤相比较而言, 填石路堤有以下特点:

块石容重较大, 填石路堤对地基的作用力不同; 颗粒间孔隙很大, 水分可自由进入和排出, 因此地基固结边界条件与填土路堤不同; 填石路堤的颗粒之间仅存在摩阻力, 没有粘聚力, 地基的不均匀沉降可导致填料相互错动、松散, 导致长裂缝出现; 随着上部荷载的增加, 填石颗粒边角部位可能破碎, 导致路堤变形突变。因此对填石路堤整个施工过程进行监控, 需要取得以下数据: 取得地基各处沉降值; 填石路堤内部各位置沉降变形量; 填石路堤边坡竖直和水平方向的变形量。

变形观测断面自 K85+ 520 起, 至跨线桥常德侧灰岩填筑段共布置 3 个断面: K85+ 520, K85+ 570, K85+ 620。自跨线桥张家界侧台背回填起点 K85+ 693 起, 至试验路段终点页岩填筑段共布置 3 个断面: K85+ 710, K85+ 760, K85+ 810。对每个断面, 布置地基沉降监测点 3 个, 分别位于路基中桩和 2 个边桩位置处, 由此可以得到路堤底面在不同时间不同填

^{*} 资助项目: 交通部西部交通建设科技项目“岩溶地区公路基础设计与施工技术研究”(编号: 2002- 318- 000- 19)

第一作者简介: 彭建国(1964-), 男, 湖南望城人, 教授级高工, 主要从事公路桥梁设计与管理工作。

收稿日期: 2005- 02- 25

筑高度下产生的沉降量。为监测地基上荷载变化情况,在相应位置埋设了土压力盒。在路基距路基顶面 $1/4$ 、 $1/2$ 高度,以及距离地面 0.8m 高度处,设置沉降观测点,进行路堤内部沉降观测。在相应高度的路堤边坡处预埋一定数量钢筋,用来测量路堤边坡的位移。钢筋需有一定长度,通过对钢筋指向的变化在一定程度上还可以指示路堤内部变形梯度的情况。

3 观测方法和设备的选型

3.1 沉降板观测方法

沉降板观测方法是最常用的沉降观测方法,其原理和方法众所周知。沉降板观测法的优点在于方法原理、板体制作简单,费用低廉,是很好的工后沉降观测方法。但是如果用作高路堤施工内部沉降观测方法,这会给施工带来不小的影响。沉降板的高程传递管材需要在每层填筑后进行接长,影响施工进度;管材在路堤碾压过程中可能被压路机械碾压变形、断裂,影响观测精度,而且这一影响的大小是无法估计的。

3.2 水管式沉降仪

水管式沉降仪观测路堤沉降量的方法是根据连通器原理,利用相同气压下液体在连通管两端口保持同一水平面的原理制成:当在观测端测知连通管一个端口(测量端)的液面高程时,若测量端的高程变化,势必引起观测端的高程变化。水管式沉降仪主要由:沉降墩、管路系统(进水管、排水管、气管、保护管)和观测系统组成(图1)。这一方法与沉降板法相比最明显的优势在于沉降板法是将标高数据采用管材从竖直方向引出使之可以测量,而该方法是将路基、地基内部一点的高程水平引出,使之可以测量。该方法显著的优点在于,一旦该系统安装完成,观测时对路堤上部施工没有影响,在路基施工中也可观测。路堤压实机械也不会对观测结果产生影响。

3.3 剖面式沉降仪

剖面沉降仪可连续测读结构物下部的地表沉降

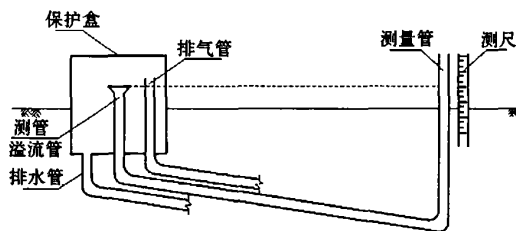


图1 水管式沉降仪原理示意图

Fig. 1 Sketch map showing the working principle of water pipe type settlement instrument

量,具有不影响地表以上的施工,不破坏上部结构物的完整等优点。该产品可广泛应用于软基加固、堤坝、高速公路、铁路、储油罐、堆载试验等岩土工程的地表沉降观测中。使用前,在地表埋设沉降管,测量时,将测头沿管道移动,由此可测出沉降管的高程变化(图2)。该方法也是从水平测量高程数据,因此不会对施工产生干扰,缺点是价格较高。

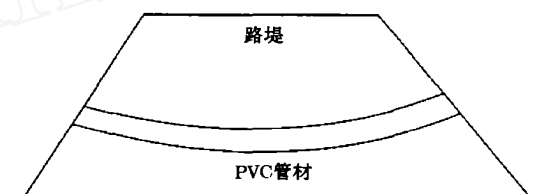


图2 剖面式沉降仪示意图

Fig. 2 Sketch map showing the principle of section type settlement instrument

根据本研究观测方案的要求,决定在路基顶面采用沉降板对路堤进行观测。对于地基沉降观测,水管式沉降仪和剖面沉降仪都可供选择^[1]。但是考虑到剖面沉降仪要求路基两侧地面标高基本相同,而山区斜坡地基较多,两侧标高有时差别很大,水管式沉降仪适用面更广,因此对地基沉降采用水管式沉降仪观测。对于路堤沉降采用剖面沉降仪是合适的,但要避免块石压碎管材。具体观测点与仪器布置见图3。

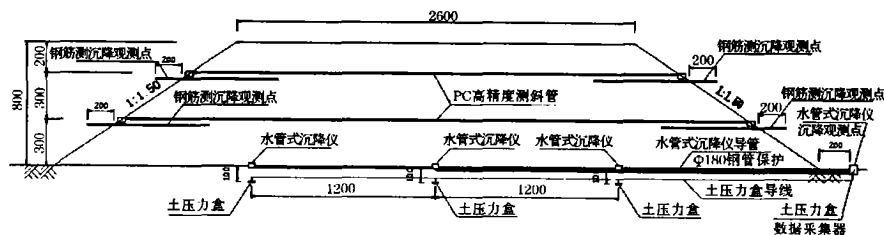


图3 沉降观测布置图

Fig. 3 Layout of settlement observation section

4 沉降观测方案实施

4.1 水管式沉降仪法

4.1.1 观测方法设计与实施

水管式沉降仪有多个厂家生产供选择,也可自行制作。2003年以前公路行业没有该种仪器的应用报道。2004年有文献认为水管式沉降仪测量精度因气泡影响,测量效果较差。在本研究中,整个系统自行设计,通过试验发现该种设备如果在应用中能够注意以下问题,测量效果是比较可靠的。

管路系统管径足够大。在过小的管径中一旦管路中存在气泡,气泡、水在管材中形成较强烈的表面张力,水要在管材中流动需要克服较大的表面张力,因此导致系统测量端与观测端水位标高不同也能稳定。因此该系统的管路系统的管径应有足够大。通过试验,发现当管路直径大于10mm后,即使管路内部含有较多气泡,水体也可在管路中自由流动。

管路埋设纵坡应顺直,不能有起伏。注水时顺直的纵坡可以保证管路中的气泡被水体排除。使用过程中,气泡还会从水中逸出,因此,管路应保持顺直以便气泡顺着管道滑动到管路测量端部排出。

测量过程需细心、耐心。水管式沉降仪是采用连通器原理制成的设备,两端部水位平衡需要一定时间,注水进入要缓慢,不能引起水位的振荡。

水管式沉降仪埋设方法的要点和步骤:

埋设线路的开挖。沿埋设线开挖埋设沟槽时应注意,由于随着填筑高度的增加,沉降墩随着路基的下沉不断下沉,引起埋设在沟槽中的管路坡度变小,甚至出现反坡,这样会导致进入沉降墩中的水在高出溢流管口时无法自由溢出,将会引起大的误差。因此,沟槽应保证3%~5%的坡度,埋设坡度取决于测点可能沉降的大小,和管路沿线沉降量的大小,其值应能始终保证测点沉降量的可测性。其坡度可采用水准仪来控制。

测头和管路的设置。将测头置于基床面上,连接各管路,将各管路外套一保护管(图4),保护管强度和刚度要高,管节不宜太长,连接水管、测量系统和供水系统。在观测台中连接沉降仪测头和竖管的管子,其所有点上的高程都应低于所连接的测头的高程。然后进行通水检查。所有接头应不漏水、不漏气。调试测管水位达到稳定后,应测记初始读数。

在人工压实回填土时,应注意由于管路柔性比较大,容易变形,可在沟槽中填筑细砂稳固管路,为保证回填压实效果,宜采用水撼法。各种沉降仪器埋设

过程均应很好保护,做好施工记录,如编号、安装位置、安装日期、测点始测高程、人工填筑情况、回填土料性质、气象因素、参加埋设人员等等均填入考证表内,并附位置图、结构示意图。



图4 水管式沉降仪量测端外观图

Fig. 4 Outside view of measuring end of water pipe type settlement instrument

4.1.2 观测结果

在本项目现场试验中,观测断面底部埋设3个沉降墩,然后用铺设在圆钢管内的塑料软管将沉降墩内和路堤外测观测井内的观测点连接起来。观测时,由观测井向软管内注水,直至有水从沉降墩内溢出。根据连通器原理,沉降墩内和观测井内观测点的水位总是保持一致的,通过读取观测井测点的水位标高即可知沉降墩内测点的高程,从而达到监测路堤整体沉降的目的。根据水管式沉降仪数据可绘制沉降-时间曲线,其中K85+600断面中墩结果如图5所示。由图可见,随着填筑高度的增加,测得路堤底面沉降结果可较好地用双曲线拟合,符合沉降发展规律,并且该结果可与相同测点的剖面式沉降仪结果比较以核对数据的合理性,从下文的比较过程可看出,此试验结果比较合理。

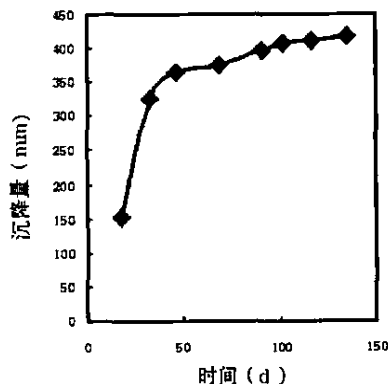


图5 K85+600断面中墩沉降-时间曲线

Fig. 5 Settlement-time curve of pier K85+600

4 2 剖面式沉降仪法

4 2 1 仪器构造及原理

剖面式沉降仪由测斜管、导轮、外壳、输出专用电缆、测读仪和牵引钢丝等几部分组成。其工作原理如下: 将被测量管沿水平方向埋设, 测管内其中一组十字导向槽与地面成 90° 将测斜管上下轮放入测管导向槽^[2], 由牵引钢丝顺测管将传感器拉至各测点, 可测出测管各段轴线与水平线的夹角, 从而可计算出测管的空间位置。因为测管与结构物变形一致, 由此可知结构物沉降量。具体埋设、测量可根据说明书进行, 需要注意的是, 剖面式沉降仪一般在土体地基中应用较多, 对于填石路堤而言, 粒径大、不规则的块石容易将管道压坏, 因此埋设时要注意, 并在管道周围回填碎石进行保护^[3], 图 6 是剖面式沉降仪埋设的侧面图。



图 6 剖面式沉降仪测管埋设外观图

Fig. 6 Outside view of the imbedded pipe of section-type settlement instrument

4 2 2 沉降结果计算方法

当岩(土)体发生变位时, 测斜管也随之变位, 测头在测斜管内自下而上逐段测量, 因为测斜管两个固定轮中心间距(L)是固定的(本试验采用仪器为 202mm), 所以位移增量(Δ_i)就可以通过每一深度内的倾角(θ)变化反映出来, 即

$$\Delta_i = L \cdot \sin \theta$$

若把每段的水平位移增量自下而上逐段累加($\sum \Delta_i$), 便可得到孔口的总位移(δ):

$$\delta = \sum_{i=1}^n \Delta_i = \sum_{i=1}^n L \sin \theta$$

对于伺服加速度计式测斜仪而言, 其测斜是通过探头内加速度计测量重力矢量 g 在传感器轴线垂直面上的分量大小来实现的, 其位移增量(Δ_i)可表示为:

$$\Delta_i = \frac{(U_{out} - K_0)}{K_1} L$$

式中: U_{out} 为测量时的电压输出(mv); K_0 为测斜

仪水平时的零位输出(mv), 一般试验前需进行校准; K_1 为电压灵敏度在 $1g$ 下的输出(mv); 将 K_1 归化为 2020mv, 又由 $L = 202\text{mm}$, 代入上式, 则得

$$\Delta_i = 0.1(U_{out} - K_0)$$

实际量测中, 量测距离往往大于测斜管两个固定轮中心间距。此时, 假设每个量测距离内倾斜角度相同, 即为测斜管所测得角度。其处理方法如图 7 所示。试验结果证明这样假设误差在允许范围以内, 并且量测距离越接近测斜管两个固定轮中心间距, 精度越高。

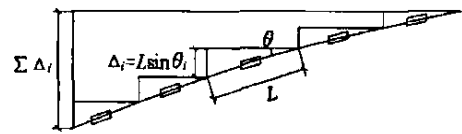


图 7 剖面式沉降仪实际测量中的处理方法

Fig. 7 Treatment method in practical measuring by section-type settlement instrument

4 2 3 沉降值结果与误差调整

断面内各测点沉降值均以两管口的沉降作为基准逐段得出, 管口沉降通过每次的管口水准测量得到。其过程类似采用两个基准点的水准高程测量, 故误差调整亦可采用水准测量中各测点高程的调整方法。即从管口 A 沉降逐段累加到管口 B 后得到 B 的计算沉降 S_j , 与实际水准测得的沉降 S_s 比较, 把两者的差值 $S_s - S_j$ 平均分配到各测点, 作为各点沉降量调整值。即为各测点最终计算沉降:

$$S_i = S_i + \frac{S_s - S_j}{n}$$

式中 n 为测段数。

剖面式沉降仪测量得到的数据反映的实际上是 PVC 管埋设处路堤在某个时刻的高程, 故将同一 PVC 管在不同时间的量测数据绘制在一张图表中, 即可看出路堤沉降随时间的变化情况。图 8 为 K80+600 断面第一层剖面沉降仪数据不同时间高程图。由图可见 K80+600 断面路堤本身沉降较均匀。

4 3 沉降观测结果的印证

由于剖面式沉降仪在两个不同时刻的高程差就是这段时间内该测点的沉降量, 由剖面式沉降仪结果计算 K80+600 断面中点的沉降量, 与前面水管式沉降仪所得结果比较如表 1 所示。从表中数据可看出, 两种沉降仪在同一测点测得沉降值比较接近, 剖面式沉降仪较水管式沉降仪所得结果大些, 这是因为水管式沉降仪测得的是路堤底部沉降量, 而剖面式沉降仪

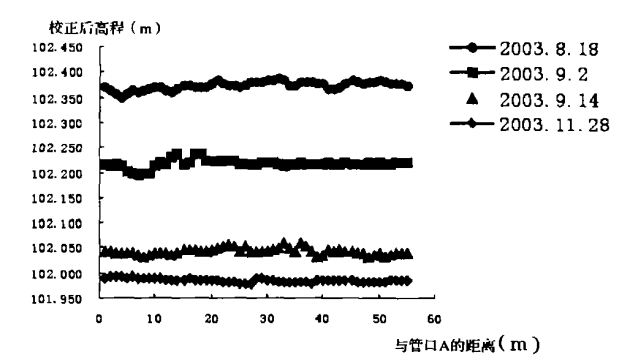


图 8 K80+ 600 断面第一层剖面式沉降仪不同时间高程
Fig. 8 Elevation-time curve of the first layer of section-type settlement instrument on section K80+ 600

表 1 两种沉降仪在 K80+ 600 断面中点测得沉降值比较
Tab. 1 Comparison of the measured settlement value by two different kinds of settlement instruments on section K80+ 600

天数	总沉降量(mm)	
	水管式沉降仪	剖面式沉降仪
15	144	151
27	312	321
100	380	392

测得结果是路堤底部以上堤身中某点的沉降量。剖面式沉降仪测得沉降量较水管式测得沉降量大,说明路堤填料本身在不断发生压缩变形,且由数据可看出,路堤填料压缩变形量逐渐减小。由此可以看出,两种沉降仪所得结果得到了较好的吻合,所得结果合理可靠。

5 结 语

高填石路堤的变形观测有着重要的意义,“西部项目”中针对山区填石路堤的特点进行了观测方案的设计,对几种观测方法的实施进行了初步探讨。现场试验中采用水管式沉降仪、剖面式沉降仪等方法进行了变形观测研究。本文以此为背景,针对填石路堤观测的常见问题,如沉降点的布设、观测方法选择、观测成果处理与分析等进行了分析,并对水管式沉降仪、剖面式沉降仪的设计、使用进行了研究,希望对以后填石路堤变形观测工作能有所帮助。

参考文献

[1] 吴建, 刘擎. 振弦式剖面沉降仪在软基堤坝施工监测中的应用[J]. 岩土工程技术, 2002(4): 195- 197.
[2] 马水山, 张保军, 汤平. 钻孔测斜仪在滑坡体深部变形监测中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1996(7): 109- 114.
[3] 黎莉. 高填石路堤施工沉降观测及质量控制方法研究[D]. 湖南大学硕士学位论文, 2001.

DESIGN AND PRACTICE FOR THE SCHEME OF OBSERVATION OF ROCKFILL EMBANKMENT'S SETTLEMENT

PEN G Jian-guo¹, L IU Xiao-ming², L IU Jiang-bo²

(1. Hunan Institute of Communications Planning, Survey and Design, Changsha, Hunan 410011, China;
2. Geotechnical Engineering Institute, Hunan University, Changsha, Hunan 410082, China)

Abstract: The design and practice for the rockfill embankment settlement observation is introduced in this paper. Based on the problems in settlement observation, the observation method and equipment are discussed firstly. Then, the method of designing and implement process are studied. The result of the practice shows that the observation method is feasible and the result is reliable, and may be adopted in engineering practice.
Key words: Rockfill embankment; Observation of settlement; Water-pipe type settlement instrument; Section type settlement instrument