

一种新型楔形拉筋加筋土挡墙的原型观测^{*}

The prototype measurement of retaining wall reinforced by a new type of wedgy tied reinforcement

陈 群 何昌荣
(四川大学水电学院, 成都, 610065)

文 摘 对南昆铁路广西田林站内一座新型钢筋混凝土楔形拉筋加筋土挡墙的拉筋拉力、填土沉降、墙面板土压力、面板水平位移以及施加列车荷载后的变化进行了原型观测。分析研究了拉筋拉力随填土厚度的增大而变化及其分布规律, 墙面板土压力和水平位移、填土沉降量的时间变化和分布规律及其影响因素。

关键词 原型观测, 加筋土挡墙, 楔形拉筋

中图法分类号 TU 413. 62 **文献标识码** A **文章编号** 1000- 4548(2000) 03- 0289- 05

作者简介 陈群, 女, 1972年生, 1997年在四川大学水利系获得硕士学位, 现为四川大学讲师, 在读博士。

Chen Qun He Changrong

(Hydroelectric Institute, Sichuan University, Chengdu, 610065)

Abstract In this paper, the prototype measurement for the tensions of the reinforcements, the earthfill settlements, the lateral earth pressures on the facing, the displacements of the facing and their changes under the train load of a retaining wall, which located at the Tianlin station, Guangxi province, on Nankun railway and reinforced by a new type of reinforcing bar and wedgy concrete block reinforcement, were described. The tension distribution law of the tied reinforcement and their changes with earth filling, and the change and distribution law and their influence factors of the lateral earth pressures on the facing, the horizontal displacements and the earthfill settlements were analyzed and studied.

Key words prototype measurement, reinforced retaining wall, wedgy tied reinforcement

1 前 言

土体加筋技术在我国两千多年前的汉长城就使用过, 并保存至今。以前的加筋材料为竹、草、木、植物枝条等, 且凭经验修建。现代加筋土技术主要在材料、理论、施工技术等方面区别于古代加筋土技术。

现代加筋土理论是法国 H. Vidal 于 1966 年提出的, 随后, 法国建成了世界上第一座加筋土挡墙^[1]。迄今, 加筋土挡墙的发展仅三十余年历史, 但由于这种结构本身的优越性, 它的发展速度相当迅速。我国第一座加筋土挡墙于 1979 年在云南省田坝矿区建成^[2]。法国^[1]早在 1968 年对修建于娜艾斯- 曼顿(Nice- Menton) 高速公路上的一座最早的大型加筋土挡墙进行了原型研究, 70 年代开始进行实验室试验。1976 年, 美国^[3]对洛杉矶一高速公路上的加筋土挡墙进行了原型观测和有限元分析。1978 年美国 Al- Hussaini^[4]等人在美国陆军工程水道试验站对一座高 12 英尺(3.66 m)、长 16 英尺(4.88 m)、宽 10 英尺(3.10 m) 的加筋土挡墙进行了原型观测及现场拉拔试验。1989 年 Juran^[5]对采用三种不同的土工合成材料加筋的挡墙进行了室内模型试验。我国赵炎华^[6] 1987 年在云南小龙潭煤矿做了钢筋加筋土挡墙

的原型测试。1993 年杜鸿梁和张师德^[7]对土工织物加筋土路肩挡墙进行了离心模型试验研究。这些研究工作都推动了加筋土结构的进一步发展和应用。

由于加筋土挡墙由面板、拉筋和填土相互协调作用而维持其稳定, 机理较复杂, 用试验和计算手段很难模拟其实际工作状态, 原型观测则是一种最直接可靠的手段。但国内在原型观测方面所做工作较少, 尤其是对一些较新型的加筋材料。国外最早采用的加筋材料多为镀锌钢带、钢条、钢格栅、铝合金带等。近期又采用了土工格栅、聚乙烯条带等土工合成材料。我国较多采用土工带、钢塑带、玻纤带。本文所描述的加筋土挡墙采用了国内外较少使用的钢筋混凝土楔形拉筋, 它既可节省钢材, 又比各种土工带拉筋能更好地限制墙体位移。该工程全长 114.6 m, 最大墙高 11.09 m, 是国内第一座对此种型式拉筋进行原型观测的挡墙。面板采用钢筋混凝土“十”字形预制板, 板厚 10~ 12 cm, 每块面板上焊接两条钢筋混凝土楔形拉筋, 见图 1(a) 及(b)。图示为长 2m 的拉筋, 可焊接成图(c) 中长 6~ 8 m 的拉筋条。本工程 1996 年 8 月 7 日竣工, 1998 年 4 月 18 日专门对施加列车荷载进行测试。

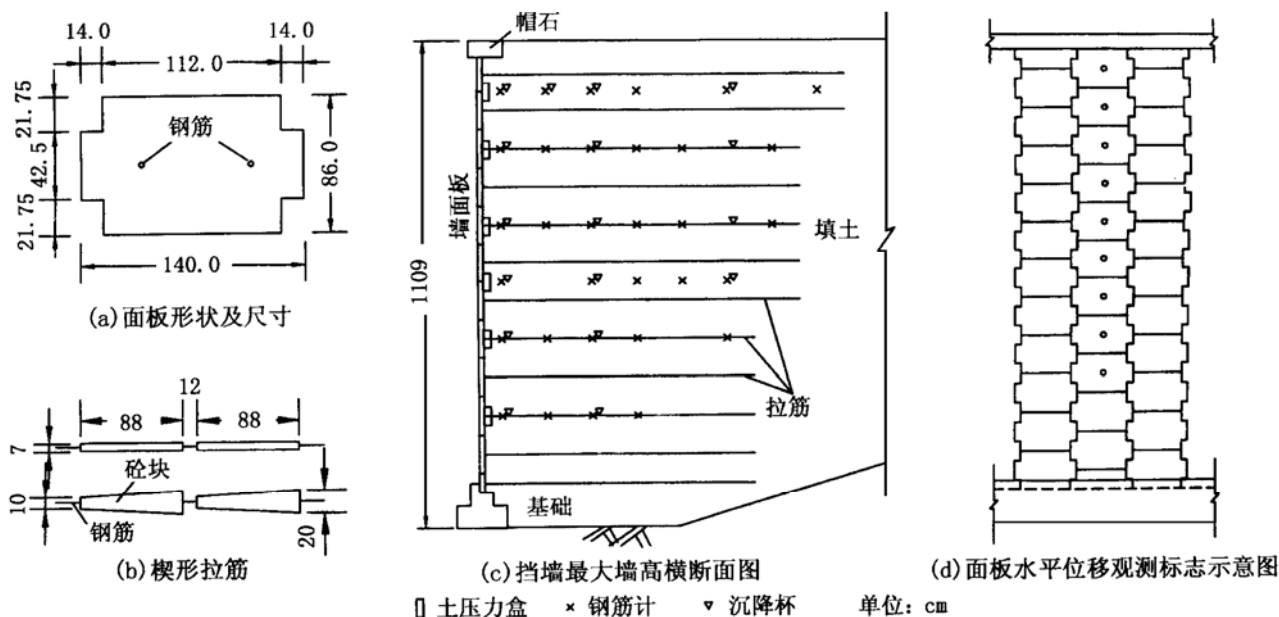


图 1 面板、拉筋及仪器布置图

Fig. 1 Arrangement of the facing, tie reinforcement and instrument

2 仪器布置及观测的实施

按墙体受力及变形特点设计了仪器的布置方案。选取最大墙高断面为观测断面, 各种仪器沿墙高分 6 层埋设, 自基础到墙顶分别为 1~6 层, 各层距基础顶面的距离分别为 1.72, 3.44, 4.73, 6.02, 7.44, 9.03 m, 每层沿水平方向布置若干个测点。总体布置图见图 1 (c) (d)。

2.1 钢筋计和拉筋拉力

拉筋拉力采用钢弦式钢筋计来测量。共埋设钢筋计 32 支, 1~6 层分别为 4, 5, 5, 6, 6, 6 支, 编号为 T_{11} , T_{12} , ..., T_{65} , T_{66} , 两下标分别表示层数和从面板开始的水平序号。钢筋计预埋于混凝土块中与螺纹钢筋焊牢, 观测钢筋所受拉力。带有钢筋计的拉筋的埋入与施工同步, 每填一至两层土进行一次测试 (每层填土厚为 0.43 m), 直到竣工后一年多时间。

2.2 土压力盒与面板土压力

对面板所受的侧向土压力用土压力盒来量测。共埋设 6 个土压力盒, 每层 1 个。为了保证感应膜平行于面板, 特制了能固定土压力盒的带有凹槽的混凝土块, 把土压力盒放入其中, 四周用橡皮泥堵塞, 再把混凝土块与面板粘连。

2.3 沉降杯与填土沉降

采用自制的沉降杯来观测填土的沉降, 如图 2 所示。沉降杯分 6 层共埋设 17 个, 第 1~2 层各 2 个, 距面板分别为 0.5, 2.5 m, 第 3~5 层各 3 个, 距面板分别为 0.5, 2.5, 5.5 m, 第 6 层埋设 4 个, 距面板分别为 0.5, 1.5, 2.5, 5.5 m, 编号为 S_{11} , S_{12} , ..., S_{63} , S_{64} , 规则同钢筋计。沉降杯埋入后也随施工过程填土高度的增加连续观测。

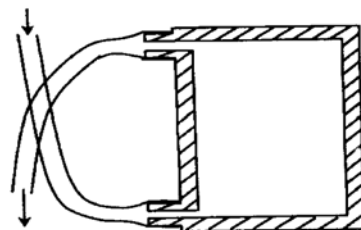


图 2 沉降杯示意图

Fig. 2 Sketch of settlement cup

2.4 墙面板水平位移

墙面板水平位移观测是在最大墙高断面沿墙高每一面板中心造孔, 插入一根较粗的钢筋并与面板粘结牢固, 在钢筋上设置位移观测标记, 利用高精度的经纬仪来观测墙面板的水平位移。观测标志示意图见图 1 (d), 此项观测自竣工开始到营运初期一年多时间。

3 回填料物理力学性质

墙后回填料为粘土、砂夹卵石。在现场进行了多次检验, 平均含水量为 9.3%, 湿密度为 2.19 g/cm^3 。室内三轴排水试验测得 $c_d = 40 \text{ kPa}$, $\varphi_d = 27.5^\circ$ 。因此朗肯主动土压力系数为:

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \varphi/2) = 0.368 \quad (1)$$

静止土压力系数 K_0 用 Jaky 公式估算可得:

$$K_0 = 1 - \sin \varphi = 0.538 \quad (2)$$

其中 φ 为土的有效内摩擦角, 可取 φ_d 值。

4 观测结果分析

4.1 拉筋拉力

在施工过程中拉筋拉力随填土高度变化的规律、拉力沿筋长和墙高的分布以及施加列车荷载后的拉筋拉力可由图3来说明:

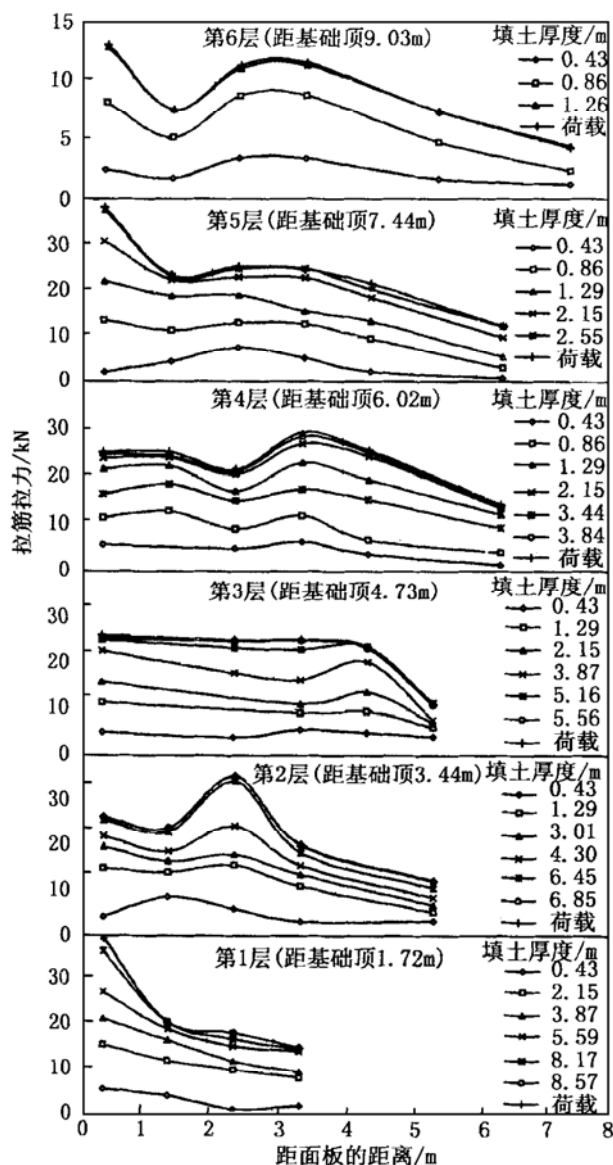


图3 拉筋拉力随填土及荷载的变化

Fig. 3 Change of the tied reinforcement tension with earth filling and load

(1) 在施工过程中, 各层拉筋拉力随上覆填土厚度的增大而增大。填土厚度变化时, 每层拉筋拉力沿筋长的分布规律大致保持不变, 但不同层拉筋的拉力沿筋长的分布规律不尽相同。

(2) 除第1层拉筋外, 各层拉筋拉力都出现双峰值现象。第一个峰值都出现在离面板最近的测点处, 其中最大值为 39.75 kN, 出现于第1层拉筋。第二峰值的出现又随拉筋所处的墙高位置而变化; 第2层在距面板约 2.5 m 处, 第3层在 4.0 m 处, 从第4层开始, 第二峰值的位置又向面板靠近, 第4、5、6层分别约为 3.4、3.3 m。

(3) 第二峰值点沿墙高方向的连线可作为加筋土挡墙中锚固区与非锚固区的分界线, 亦即最可能发生破坏的滑动面。在验算加筋土挡墙的稳定性的时, 只能考虑筋条位于锚固区部分所起的抗拔作用。

(4) 两个拉力峰值产生的原因不同, 第一个峰值是由于填土侧向土压力作用于面板, 因而拉力在面板处有个峰值。第二峰值的产生是土体自重、填土对拉筋的摩阻力等共同作用的结果。

(5) 列车荷载对拉筋拉力的影响很小, 原因是列车荷载相对于填土自重来说很小, 且影响范围也很小。因荷载而产生的最大拉力增量仅为 1.28 kN, 出现于第5层拉筋。

为了考虑竣工后的拉筋受力情况, 绘出第2层拉筋拉力在竣工一年半时间内的时程变化图, 见图4。挡墙于1996年8月7日正式竣工, 1997年4月18日施加列车荷载。由图4可知, 竣工后半年内拉筋拉力持续微量增大, 反映了在此期间墙体的应力和变形都未最终稳定。之后, 各钢筋计受力变化减小, 渐趋稳定。列车荷载对拉筋受力的影响很小。

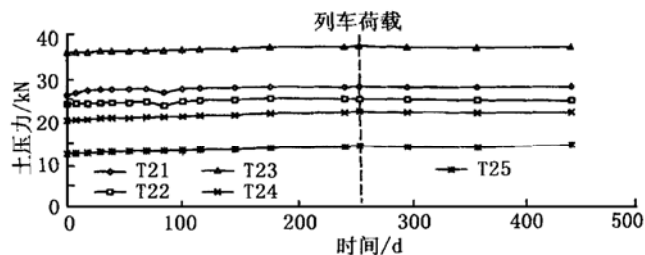


图4 拉筋拉力时程图

Fig. 4 Time curve of the tied reinforcement tension

4.2 墙背土压力

墙背土压力在施工过程中随上覆填土厚度的增大而增大的规律如图5所示。 h 为从基础顶部算起的填土高度, 图中显示出:

(1) 每个土压力盒所测的土压力均随填土高度的增大而增大。

(2) 墙背土压力受最初一两层填土的影响较大。例如, 埋在墙高 1.72 m 处的土压力盒当填土厚为 $h = 1.72$ m 时, 土压力值由 0 增大到 25 kPa, 而当 $h = 6.02$ m, 侧向土压力值仅增大 10 kPa 左右。可见, 在施工过程中, 墙背土压力不随填土高度增大而线性增大, 这是由于填第 1、2 层土时, 碾压对新填土层作用较大, 土体被压侧向变形明显, 因而对面板的压力增量也相应较大。继续填土和碾压时, 产生应力扩散和吸能耗能作用, 土压力的增量就相应减小。

(3) 墙背土压力沿墙高从墙顶到墙底由零增至最大值。

图5中的虚线和点划线分别是用经典朗肯理论求出的主动土压力和静止土压力沿墙高的分布曲线($K_a = 0.368$, $K_0 = 0.538$, 不考虑粘聚力 c)。由图5可知, 实测土压力在墙高 $2/5$ 以上介于主动土压力与被动土压力之间, 但在墙高 $2/5$ 以下部分, 实测值小于计算的主动土压力值, 说明加筋提高了土体强度, 使墙体下部的土压力值比主动土压力还小。图6为竣工后一年多时间土压力的时程变化曲线。竣工半年内土压力稍有波动, 总的趋势是稍有增长, 之后就趋于稳定。列车荷载引起的土压力增量最大值仅为 7 kPa 。说明墙体应力在竣工后渐渐趋于稳定。

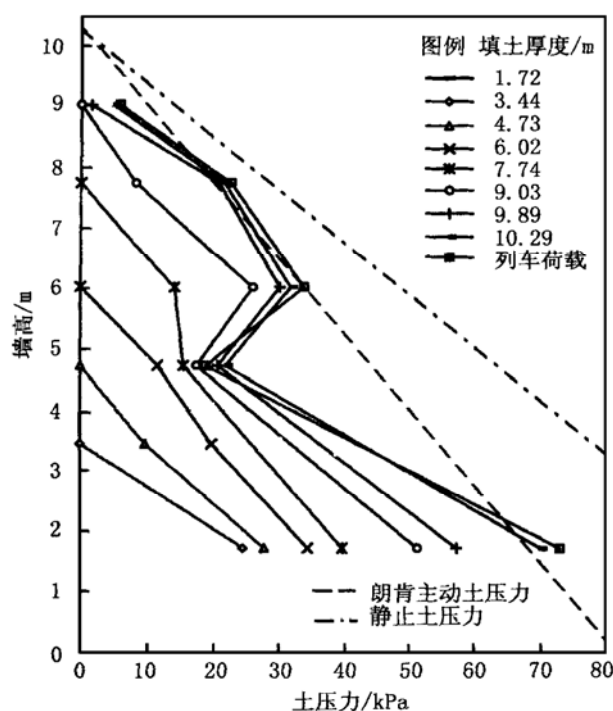


图5 墙背土压力

Fig. 5 Earth pressure on the wall back

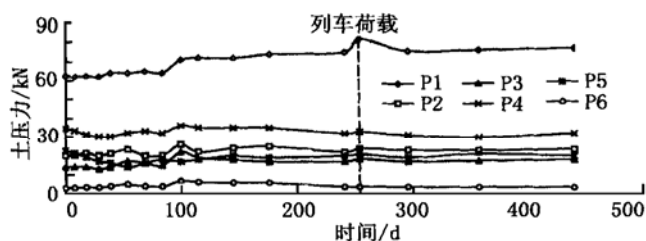


图6 墙面板土压力时程图

Fig. 6 Time curve of earth pressure on the facing

4.3 墙面板水平位移

墙面板水平位移从竣工后开始观测。图7绘出竣工后一个多月内的两次观测结果及施加列车荷载时面板的变形情况。从图7可看出, 水平位移是墙体中部大, 上下两端小。最大水平位移发生在墙高约 $1/2$ 处, 至1996年9月底, 其值仅为 0.31 cm , 说明竣工后变位

很小, 趋于稳定。1997年4月18日列车荷载作用时, 最大位移增量约为 0.05 cm , 列车荷载对墙体中上部影响较大, 对墙高 4 m 以下部分几乎没有影响。

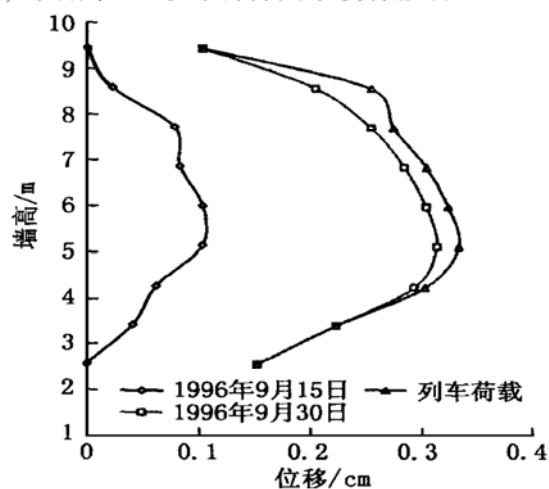


图7 面板水平位移

Fig. 7 Horizontal displacement of the face

4.4 填土沉降

图8中绘出第135层沉降杯观测的沉降量随填土高度变化的情况, 图9为竣工时各层沉降杯观测值在墙断面上的分布。

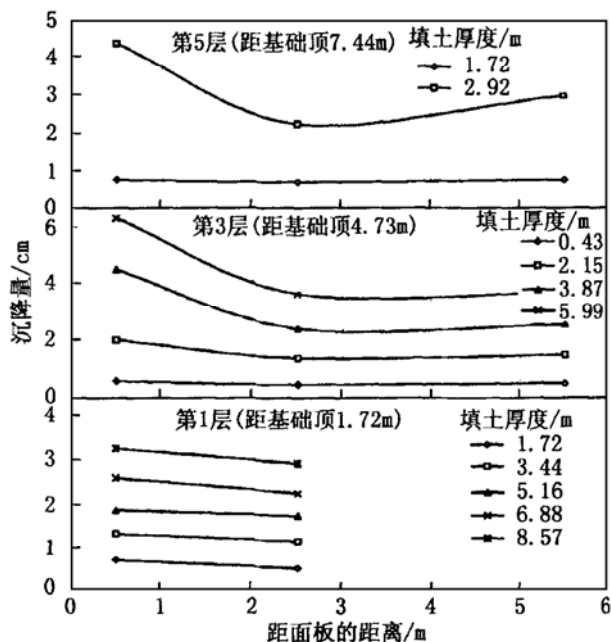


图8 沉降量随填土厚度的变化

Fig. 8 Change of settlement with the earth filling

(1) 沉降量随填土高度增大而增大, 且基本呈线性增长。

(2) 沿水平方向沉降很不均匀。靠面板 1.5 m 范围内的土体沉降量较大, 最大值为 6.65 cm , 位于第3层紧挨面板处。这主要是由于施工过程中此范围内的土体靠面板太近, 不能用机械碾压, 只能用人工夯实,

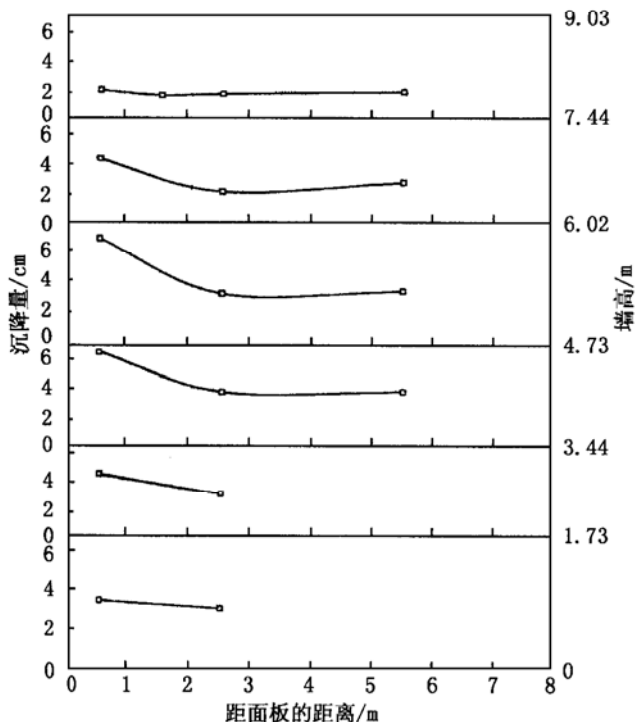


图9 沉降量在墙断面的分布

Fig. 9 Settlement distribution on the cross section of the wall 因而密实度较低, 沉降量较大。距面板约 3 m 处的沉降量最小, 向后又稍有增大。

(3) 沿墙高方向, 沉降量是中部的 2、3、4 层较大, 顶部和底部的 1、5、6 层较小, 这是因为地基的沉降量很小, 故墙底的土体总沉降量较小。而墙顶的土体填筑时, 下部土体已经碾压密实并完成了大部分沉降量, 沉降量增量不断变小, 因而总沉降量也不如墙体中部大。经过机械碾压填土的最大沉降量在竣工时约为 4.0 cm。图 10 为最顶层(即第 6 层)沉降杯观测的沉降量在竣工后的时程变化图。由图 10 可知, 沉降量增量随时间增长非线性递减, 大约竣工半年后沉降就趋于稳定。竣工后到沉降稳定时的沉降量增量约为 1.6 cm。

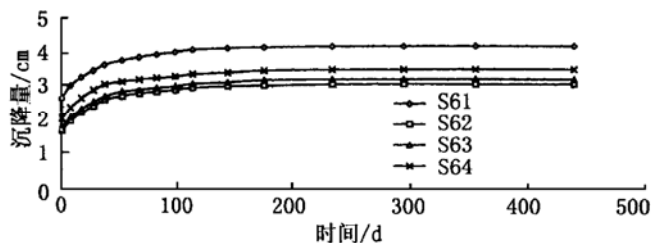


图10 第6层沉降观测值时程图

Fig. 10 Time curve of measured settlement of the sixth layer

5 结 论

从原型观测的结果及分析可得出以下结论:

(1) 每一条混凝土楔形拉筋所受的拉力沿筋长均出现双峰值现象。第一个峰值紧挨面板, 第二峰值距面板的距离则随筋条所在墙高位置而改变。第二峰值

点的连线可作为划分加筋土挡墙锚固区与非锚固区的依据。第二峰值点连线在 0.45 倍墙高以上距面板的距离近似为一常数, 约为 $0.33H$ (H 为墙高), 在墙顶稍向面板靠近。在 $0.45H$ 以下部分, 第二峰值逐渐向面板靠近。从拉力第二峰值的轨迹来看, 挡墙拉筋并不一定是墙顶最长, 但墙顶拉筋可以限制墙体位移, 有利于墙体稳定。另外, 在拉筋设计时还应考虑在不同墙高处应采用不同强度的拉筋。

(2) 竣工后墙面板水平位移最大值仅为 3 mm 左右, 表明已趋于稳定。列车荷载的影响很小。水平位移沿墙高呈鼓形分布, 中间较大, 底部和顶部较小。

(3) 墙面板土压力在墙体上部介于朗肯主动土压力和 Jaky 静止土压力之间, 因面板位移较小, 达不到主动极限状态。在墙体下部, 土压力小于主动土压力, 主要是因为加筋使土体强度提高, 同时受地面约束影响, 侧向土压力减小。在墙体中部由于面板位移相比最大, 土压力值出现突变性减小, 说明面板土压力受水平位移的影响。

(4) 填土的压实密度直接影响填土的沉降量。经机械碾压的填土最大沉降量约为 4.0 cm, 仅为墙高的 0.36% (竣工时), 最终沉降量约为墙高的 0.54%, 说明机械碾压密实度能够满足工程要求。施工中应特别注意的是靠近面板处填土的压实问题。

衷心感谢铁道部第二勘测设计研究院曾令录高级工程师的指导和大力协助。在南昆铁路广西田林工地长达半年的现场仪器埋设和观测过程中, 得到铁道部第二工程局南昆铁路指挥部各级领导及现场工人们的大力支持和帮助, 谨表谢意。

参 考 文 献

- Schlosser F, Long N T. Recent result in French research on reinforced earth. ASCE, 1974, **100**(CO3): 223~ 237
- 时钟伦. 回顾我国加筋土挡墙的发展概况. 路基工程, 1991, **35**(5): 67~ 72
- Romstad K M, Herrmann L R. Integrated study of reinforced earth - II: behavior and design. ASCE, 1976, **102**(GT6): 577 ~ 591
- Al Hussaini M, Perry E B. Field experiment of reinforced earth wall. ASCE, 1978, **104**(GT3): 307~ 322
- Juran I, Christopher B. Laboratory model study on geosynthetic reinforced soil retaining walls. ASCE, 1989, **115**(GT7): 905~ 925
- 赵炎华. 加筋土剪胀区配筋法的现场原型试验. 路基工程, 1987, **12**(3): 26~ 39
- 杜鸿梁, 张师德. 土工织物加筋土路肩挡墙离心试验报告. 路基工程, 1993, **51**(6): 41~ 46