

超高三级加筋土挡墙聚丙烯复合拉筋的拉力研究

Study on tension of polypropylene compound reinforcement in super high reinforced earth retaining wall with three steps

林彤^{1, 2}

(1. 武汉大学 土木建筑工程学院, 武汉 430071; 2. 中国地质大学 工程学院, 武汉 430074)

中图分类号: TU 435

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2002)04-0532-03

作者简介: 林彤(1964-), 女, 广东中山人, 副教授, 在站博士后, 主要从事软土地基处理、地基基础等与岩土工程和地质工程有关的教学、科研和生产工作。

1 引言^{*}

加筋土挡墙是由填土、在填土中布置的带状拉筋和挡墙面板组成的整体复合结构, 其重量轻、构件可预制、墙面可直立或倾斜, 且施工简单、工程造价低, 已有一定量用于三峡移民工程建设中。该结构形式复杂, 三种组成材料的性质差别较大。本文采用离心模拟技术研究加筋土挡墙中带状拉筋的拉力。该技术是评定工程设计和工程措施、检验数值计算方法、进行机理研究和探索新理论以及分析工程事故的重要手段。

2 加筋土挡墙的离心模型试验

三峡移民工程中某道路加筋土挡墙^[1]共分三级(见图1): 第三级挡墙为钢筋混凝土钻孔灌注桩基础, 桩直径为1.4 m, 桩长29 m, 嵌入下部基岩5 m; 第二级和第一级挡墙均为钢筋混凝土条形基础, 其长度为41 m; 挡墙面板为250 cm厚的矩形钢筋混凝土板, 采用带状钢丝聚丙烯复合拉筋(CAT复合拉筋)。据其拉力大小, 分别采用了两种CAT复合拉筋: CAT30020筋带, 用于第一级挡墙整个墙高和第二级挡墙的上半部分; CAT50022用于第二级挡墙的下半部分及第三级挡墙。挖方的角砾土用作挡墙的填土。

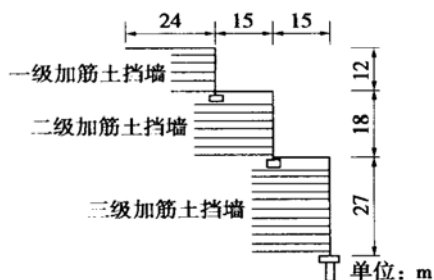


图1 加筋土挡墙示意图

Fig. 1 Reinforced earth retaining wall

根据等应力相似理论, 将原加筋土挡墙做相似模拟。取模型比尺 $n = 120g$, 则变为相应的一级模型加筋

土挡墙(墙高10 cm)、二级模型加筋土挡墙(墙高15 cm)和三级模型加筋土挡墙(墙高22.5 cm)。由模型加筋土挡墙的总高度(47.5 cm)选取模型箱, 故模型的宽度由模型箱确定, 为210 mm。加筋土挡墙模型的长度则根据实际工程情况选取: 一级、二级和三级加筋土挡墙模型的长度分别为45、57、5.70 cm; 相应的加筋土挡墙模型的体积分别为450 mm×210 mm×100 mm(长×宽×高), 575 mm×210 mm×150 mm和700 mm×210 mm×225 mm。取工业铝合金(弹性模量 $E = 70 \text{ GPa}$, 泊松比 $\mu = 0.30$)作为钢砼面板的替代材料。由 $n = 120g$ 和拉筋设计允许拉力的相似准则, 算出CAT30020复合拉筋在模型中的截面尺寸为宽5 mm, 厚度2 mm, 拉筋根数为7根; CAT50022拉筋对应的尺寸为宽10 mm, 厚度2.2 mm, 拉筋根数为13根。在模型加筋土挡墙中, 拉筋种类、根数和安装位置与原型一一对应, 以保证满足相似准则。

加筋土挡墙模型采用的填土, 是根据工程现场填土土样的颗粒级配、含水量和重度等物理力学指标相似的原则选用的, 并有一部分现场土样。

离心模型试验模拟施工开始到结束(施工期)。据相似准则给出模型运转的时间为62.2 min。

3 试验成果分析

3.1 拉筋上各点拉力与时间的关系

在第一级模型加筋土挡墙面板上, 从上而下, 将三根布置应变片的拉筋分别称为1号、2号和3号拉筋, 其上各布置3个应变片。据应变片的应变大小, 可算出拉筋上相应点的拉力大小。图2为1号拉筋上离面板最近和最远点的拉力 T 随时间 t 的变化曲线。

在离心模型试验初期, CAT拉筋的拉力随着加速度的增加(加荷过程)而增加, 到达某时刻($t = 10 \text{ min}$)时, 拉筋的拉力达到最大值。之后, 虽然加速度值在不断增

* 基金项目: 国家移民局重点项目

收稿日期: 2001-10-11

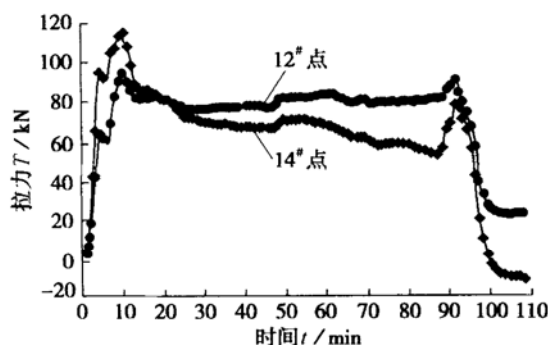
图2 12[#], 14[#]点时间—拉力曲线

Fig. 2 Time-tension curve

加, 但拉筋的拉力却随加荷时间的增加而小幅减小。在 $t = 23 \text{ min}$ (加速度 $a = 120g$) 时, 拉筋拉力随时间延长而呈小幅度减小; 在 $t = 87 \text{ min}$ ($a = 120g$) 时施工期结束。随后减小加速度(卸荷), 拉筋的拉力却有一个短时间的增大, 之后便随着加速度的减小而减小, 最后($t = 108 \text{ min}$, $a = 0$) 趋近于某值; 且拉筋拉力较大值点, 离开面板有一定的距离, 基本上出现了两个拉力峰值点。

不难发现, 拉筋拉力的两个峰值点, 均出现在加荷和卸荷时间段内。由此可知, 加筋土挡墙不论是加荷, 还是卸荷, 对 CAT 拉筋的拉力都有很大影响, 将直接导致拉筋拉力的增大, 使其受力条件恶化。更进一步, 如果拉筋的拉力增大到大于其允许的抗拉强度时, 势必引起拉筋断裂, 从而使加筋土挡墙破坏。

3.2 不同拉筋的拉力分析

(1) 单根拉筋不同时刻的拉力分析

在四个不同的时刻, 1 号、2 号和 3 号拉筋的拉力 T 与其长度 L 的关系曲线分别见图 3~5。

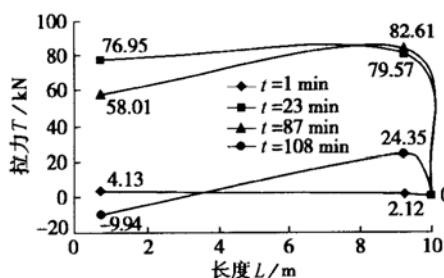


图3 1号拉筋各时刻拉力—筋长关系曲线

Fig. 3 Tension-length curve of reinforcement No. 1

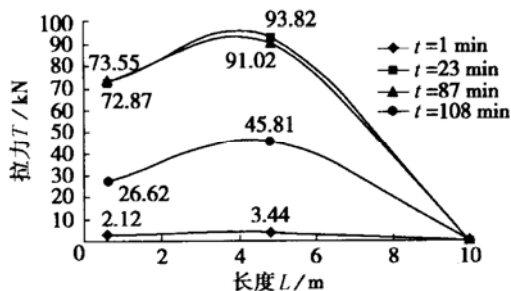


图4 2号拉筋各时刻拉力—筋长关系曲线

Fig. 4 Tension-length curve of reinforcement No. 2

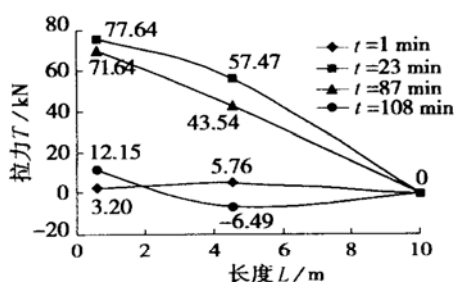


图5 3号拉筋各时刻拉力—筋长关系曲线

Fig. 5 Tension-length curve of reinforcement No. 3

从图 3 可见, 1 号拉筋靠近面板处的拉力并非最大, 离开面板越远, 其拉力由大变小, 至末端拉力减小为零。且不同时刻, 拉筋上同一点的拉力不相同; 同一时刻, 拉筋上不同点的拉力也不相同。

同样, 2 号拉筋位于一级加筋土挡墙的中部, 在离开面板较远处, 其拉力比中部的拉力小, 但却比拉筋末端的拉力大, 拉筋末端拉力为零。在整个拉筋长度上, 拉筋拉力先随其长度而增加, 到达临界点后则随长度而减小。不同时刻, 拉筋上同一点的拉力不相同; 同一时刻, 拉筋上不同点的拉力也不相同。

3 号拉筋在离开面板较近处的拉力比中部的拉力大, 且拉力随筋长的增加而减小, 拉筋末端拉筋的拉力为零。同样表现出不同时刻拉筋上同一点的拉力不同; 同一时刻, 拉筋上不同点的拉力也不相同。

可见, 三根拉筋的拉力与筋长在不同时刻的变化规律各不相同。但在加荷过程中(从 $t = 1 \text{ min}$ 到 $t = 23 \text{ min}$), 三根拉筋的拉力都在增加; 在卸荷过程中(从 $t = 87 \text{ min}$ 到 $t = 108 \text{ min}$), 三根拉筋的拉力都在减小。但位于挡墙面板不同位置处的三根拉筋, 拉力的增加幅度和减小幅度均不相同。在离面板最近的点处, 3 号拉筋的拉力增加了 74.4 kN , 为最大, 1 号拉筋增加了 72.8 kN , 居中, 2 号拉筋增加了 70.7 kN , 为最小; 在拉筋中后部的点处, 2 号拉筋的拉力增加了 90.4 kN , 1 号拉筋增加了 77.6 kN , 3 号拉筋增加了 51.7 kN 。

在卸荷过程中, 离面板最近的点处, 3 号拉筋的拉力减小 59.5 kN , 1 号拉筋减小 48.1 kN , 2 号拉筋减小 46.9 kN ; 在拉筋中后部的点处, 1 号拉筋拉力减小 58.3 kN , 3 号拉筋减小 50.0 kN , 1 号拉筋减小 45.2 kN 。

(2) 三根拉筋带拉力的比较

$t = 1 \text{ min}$ 时三根拉筋的拉力与长度的关系见图 6。离面板最近处, 1 号拉筋的拉力最大, 3 号居中, 2 号最小; 拉筋的中间部位, 3 号拉筋的拉力最大, 2 号和 1 号的拉力很接近; 拉筋的末端, 三根拉筋的拉力都为零。

比较可知, 靠近面板的点, 加荷时拉筋拉力的增加量大, 卸荷时拉力的减小量也大; 但在拉筋中后部的点处, 其拉力的增加和减小就没有这样的规律。图 7~9

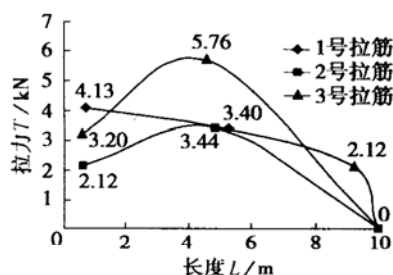
图 6 3 根拉筋拉力对比 ($t = 1 \text{ min}$)

Fig. 6 Comparison between tension-length curves of No. 1, No. 2 and No. 3

各为 $t = 23 \text{ min}$ ($a = 120g$), $t = 87 \text{ min}$ ($a = 120g$) 和 $t = 108 \text{ min}$ ($a = 0$) 时三根拉筋的拉力与其长度的关系曲线。从测试结果来看, 拉筋拉力沿拉筋长度的分布比较复杂。除最上层的 1 号拉筋上的拉力最大值出现在距离面板较近处以外, 其它二层拉筋(2 号和 3 号拉筋)的拉力分布曲线规律相同: 同一层拉筋上, 拉筋的最大拉力不出现在拉筋与面板的连接处, 而是出现在拉筋的筋长中部与面板间的某位置, 且 2 号和 3 号拉筋的最大拉力位置大约在距离面板 4~5 m 间。王永和、李宁军^[2]在工程现场测试的拉筋拉力分布情况, 与本次加筋土挡墙离心试验中的 2 号和 3 号拉筋的拉力分布规律有相似之处, 即拉筋的拉力沿筋长的分布较复杂, 但大部分拉筋的拉力分布曲线都有一个规律: 同一层上拉筋拉力的最大值不在筋带与面板连接处, 而在筋长中部与面板之间的某个位置。但他们测得的拉筋最大拉力点大约在拉筋总长的 1/3 处, 而且是靠近面板这一边的。

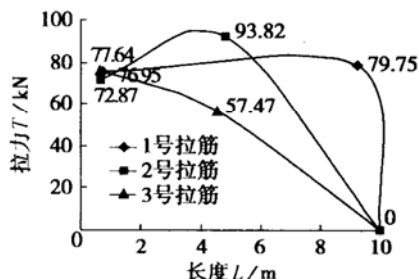
图 7 3 根拉筋拉力对比 ($t = 23 \text{ min}$)

Fig. 7 Comparison between tension-length curves of No. 1, No. 2 and No. 3

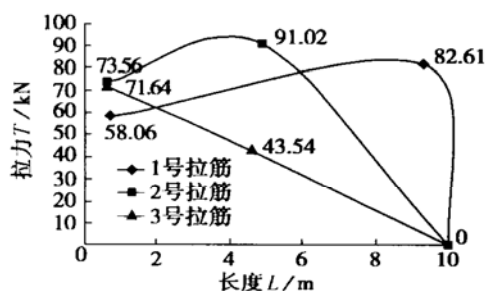
图 8 3 根拉筋拉力对比 ($t = 87 \text{ min}$)

Fig. 8 Comparison between tension-length curves of No. 1, No. 2 and No. 3

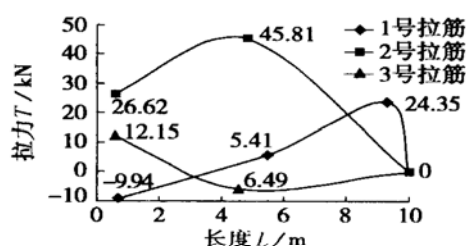
图 9 3 根拉筋拉力对比 ($t = 108 \text{ min}$)

Fig. 9 Comparison between tension-length curves of No. 1, No. 2 and No. 3

按照加筋土挡墙破裂面位于墙面 $0.3H$ 处(即 $0.3H$ 法^[3])计算, 拉筋最大拉力点应该距离面板 3.6 m, 与本次离心模型试验的结果略有差异, 原因可能是离心模型试验中应变片的贴片不容易控制而造成的。

另外, 本次试验得出加筋土挡墙墙面上的拉筋位于不同的高度, 拉筋所受的拉力也不相同。这一点应引起足够的重视, 因为, 不同的拉筋拉力, 导致工程设计中采用的拉筋类型有所不同, 所以, 必需满足受力最大的拉筋的抗拉强度, 才能够保证拉筋不会断裂破坏, 即每一层拉筋的强度都应该进行验算^[4]。

4 结 论

(1) CAT 复合拉筋对改善加筋土的变形效果不很明显。(2) 在一定的上部荷载范围内, 拉筋的拉力随加荷量的增大而增加; 拉力随加荷时间的延长呈动态变化, 出现了两个峰值点; 填土密实程度是影响 CAT 拉筋拉力的因素之一。(3) 在加筋土挡墙的不同高度上, 相应的 CAT 拉筋拉力大小不同, 分布规律也不相同。拉筋中的最大拉力沿墙高出现在第一级加筋土挡墙背底面处; 此外, 在第一级挡墙顶部平台下的第一层拉筋中也出现了较大的拉力值, 加上此处水平位移也最大, 故应在上述两处增大拉筋的强度。(4) 加筋土挡墙的设计计算应该从内部稳定性和外部稳定性两个方面进行, 土压力计算、拉筋的长度、截面选取等等, 宜严格根据有关规范进行。(5) 加筋土挡墙是一种整体复合结构, 只要其内部稳定性或者外部稳定性有一条不满足, 则挡墙就会产生相应形式的破坏。

参考文献:

- [1] 林 彤. 超高加筋土挡墙的离心模型试验及其在三峡库区移民工程中的应用研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2000.
- [2] 王永和, 李宁军. 加筋土挡墙试验研究[J]. 长沙铁道学院学报, 1989, 7: 88-98.
- [3] TBJ 25-90, 铁路路基支挡结构设计规则[S]. 北京: 中国铁道出版社, 1994.
- [4] 公路加筋土工程设计及施工规范汇编[M]. 北京: 人民交通出版社, 1993.