

膨胀土加筋挡土墙现场试验研究与分析

邓国华, 邵生俊, 程新星

(西安理工大学 水电学院岩土所, 陕西 西安 710048)

[摘要] 利用现场试验研究了膨胀土加筋挡土墙稳定性的影响因素。结果表明, 在填筑高度较小的情况下, 土压力增长较快, 实测竖向土压力大于单位面积上的覆土质量, 土压力系数逐渐增大; 随着填土高度的增大, 实测竖向土压力逐渐收敛并小于单位面积上的覆土质量, 土压力系数也逐渐降低; 降雨导致竖向土压力和侧向土压力均降低, 但土压力系数增大, 最大可达1.75。应变监测结果表明, 膨胀土加筋挡土墙不会发生浅层滑坡, 潜在的滑动面为深层楔形体; 距面板1.5m内外土体压实度不同不仅不利于筋带抗拉强度的发挥, 而且会导致墙体产生较大的不均匀沉降, 因此建议整个场地采用统一压实度。结合研究结果, 最后对膨胀土加筋挡土墙的施工提出了有益的建议。

[关键词] 膨胀土; 加筋挡土墙; 现场试验; 筋带应变; 压实度

[中图分类号] TU 443; TU413.6+2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-9387(2007)02-0220-05

Field study and analysis of reinforced earth wall for expansive soils

DENG Guo-hua, SHAO Sheng-jun, CHEN G X in-xing

(Institute of Geotechnical Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: The field tests have been done in order to study factors which affect the stability of reinforced earth wall. The results show that earth pressure increases quickly and vertical earth pressure in situ is greater than soil weight of unit area and coefficient of earth pressure is gradually enhanced when the filling height is low. Along with the increase of filling height, vertical earth pressure is convergent and less than soil weight of unit area. In the mean time coefficient of earth pressure is gradually decreased. The rainfall decreases vertical earth pressure and lateral earth pressure, but coefficient of earth pressure increases. Reinforced earth wall would happen not in shallow coast but in deep wedgy coast according to strain results of reinforced strips. The compact degree for expansive soils within 1.5 meters should be consistent with outside, otherwise it would induce uneven settlement and reinforced wouldn't be strips effective. At last some suggestions have been put forward for construction of reinforced expansive earth wall in situ.

Key words: expansive soil; reinforced earth wall; field test; strain of reinforced strip; compact degree

大量研究表明, 近十几年以来, 有关膨胀土的基础工程、引水隧洞和渠道边坡失稳而导致严重经济损失的工程实例很多^[1-2]。因此, 有关文献直接将膨胀土称为灾害性膨胀土^[3]。究其原因, 主要归结于膨胀土的三性, 即胀缩性、裂隙性及超固结性。膨胀土的胀缩性主要取决于蒙脱石的含量, 可以说蒙脱石是膨胀土具有特殊性质的主要物质基础, 在一定荷

重作用情况下, 这种胀缩性通过膨胀量和膨胀力表现出来。膨胀土的裂隙性与胀缩性密切相关, 由于大气的影响, 膨胀土失水干缩产生原生裂隙, 而不均匀沉降、开挖卸荷将引起次生沉裂隙, 次生裂隙的产生与土体的某种不稳定性态相联系^[4]。超固结特性主要是由于上覆土层的侵蚀而形成的, 当这种由于超压密而储存的内部能量得到释放或者减弱时, 就会

· [收稿日期] 2006-01-11

[作者简介] 邓国华(1979-), 男, 甘肃武威人, 博士研究生, 主要从事动力学研究。E-mail: gh_deng@163.com

引起较大的侧向位移或者导致土体强度的降低, 这均不利于土体的稳定。包承纲^[4]对非饱和膨胀土的性质和膨胀土边坡稳定问题进行了详细的论述和总结, 认为裂隙性是影响边坡稳定问题的关键因素, 膨胀性是产生裂隙的内因, 而超固结性是促进因素。正是由于这三性的影响, 加之降雨引起土体抗剪强度降低, 从而导致了膨胀土边坡一般在降雨期间和降雨后发生滑坡。Ng 等^[5]、詹良通等^[6]对降雨入渗条件下的膨胀土边坡进行了综合监测, 系统地阐述了降雨入渗对膨胀土边坡土体吸力、应力状态以及变形的影响, 取得了较为丰富和宝贵的原位观测资料。文献[7-11], 对膨胀土边坡的稳定性进行了分析, 分别模拟了降雨、裂隙等对边坡稳定性的影响, 得出了许多有益的结论。但以上研究都是针对膨胀土边坡开展的, 而加筋挡土墙由于面板和筋带的存在, 大大改变了膨胀土体的受力状态, 致使膨胀土加筋挡土墙在降雨条件下的工作性状和破坏形态均发生了变化。本研究针对这一问题, 在参考前人对膨胀土工程研究的基础上, 结合某膨胀土加筋挡土墙工程开展了一系列的现场试验研究, 从现场监测和实践经验出发, 分析了膨胀土地区修建加筋土挡土墙时所存在的问题, 并提出了一些有益的建议。

1 工程概况

拟建的加筋挡土墙工程位于陕西安康市区东北 10 km 的汉滨区关庙镇皂树村。所在区域内塬、梁、沟、壑发育。加筋挡土墙位于哑铃型山梁顶部, 山梁基本呈东西走向, 梁顶由于平整造地(20 世纪 70 年代)相对较平缓, 南北方向为北陡南缓的斜坡, 北面沟道由于长年受水冲刷基岩出露, 沟内 1 年大部分时间流水不断; 南坡稍缓有两个缓沟, 斜坡呈台梯状, 且有成片 and 零星墓穴分布; 区内无明显陡坎, 根据现场勘测所址区未发现泥石流、滑坡等不良地质现象。该区地基岩土属弱膨胀性岩土, 加筋挡土墙设计高度 10 m, 全长 276.6 m, 筋带采用 CAT30020B 型钢塑复合拉筋带, 表面有粗糙花纹, 室内模型试验表明, 其单根抗拉强度为 5~6 kN。面板为 1 m × 0.5 m × 0.25 m 的钢筋混凝土面板。挡土墙横向用弱混凝土砂浆连接, 竖向采用弱混凝土砂浆和钢筋棍(连接相邻两块面板, 确保挡土墙面板不发生单个突出或者内陷)连接, 水平方向每 20 m 设有伸缩沉降缝。本次加筋挡土墙的施工期正值当地的雨季(5~8 月), 这不仅增加了施工难度, 考验了设计的合理性, 而且也为膨胀土加筋挡土墙的研究提供了契机。

2 加筋挡土墙的结构与监测项目

2.1 结构

加筋挡土墙由面板、筋带、碎石反滤层和填土构成(图1)。筋带竖向间距 50 cm, 水平向每 1 m 铺设 12 根, 呈扇形展开, 挡土墙底部 6 层筋带长 8 m, 中部 10 层长 9 m, 顶部 4 层长 6 m。碎石反滤层厚 30 cm。本文根据填土与面板的距离又将填土分为距面板 1.5 m 内填土和距面板 1.5 m 外填土。之所以这样区分填土, 是由于目前规范对这部分土体的压实度要求不一^[12]。

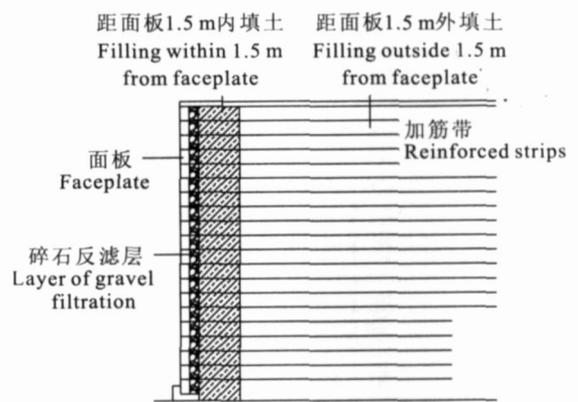


图1 加筋挡土墙的结构

Fig. 1 Structure of reinforced earth wall

2.2 监测项目

选取两个加筋挡土墙设计断面进行现场试验监测, 内容包括土压力监测和筋带应变监测。进行土压力监测可以了解挡土墙墙背所承受的侧向土压力及土压力随填土高度的变化情况, 以分析挡土墙面板的工作状态及其土压力的变化规律。筋带应变监测有助于了解挡土墙内部土体与筋带的作用机理及滑坡面的位置。

众所周知, 对于加筋挡土墙工程, 压实度是控制工程成败最关键的因素, 距离面板 1.5 m 内外选用不同的压实度到底是否合理, 加筋挡土墙的各个组成部分对挡土墙起什么作用, 下文将结合现场试验结果一一进行讨论。

3 结果与分析

3.1 面板

现场试验时在面板后埋设土压力盒(具有代表性), 其监测结果(图2、图3)表明, 由于大型压路机的碾压和面板对土体的约束, 在填筑高度较小的情况下, 土压力增加较快, 实测竖向土压力大于单位面积

上覆土质量,土压力系数逐渐增大;而随着填土高度的增大,实测竖向土压力逐渐收敛并小于单位面积上的覆土质量,土压力系数也逐渐降低。填筑至1.5 m高度时遭遇降雨天气,降雨导致竖向土压力和侧向土压力均降低,在填筑高度较小的情况下,土体在竖向可以自由膨胀,故竖向土压力的降低幅度较大,

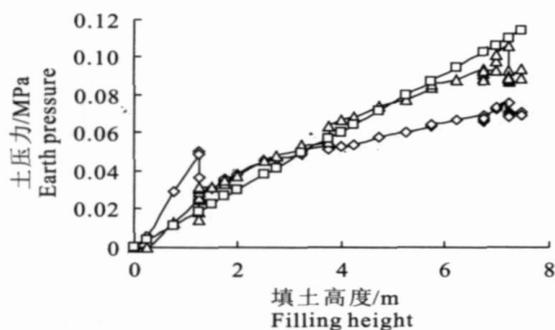


图2 土压力与填土高度的关系
- - - 竖向土压力; - - - 侧向土压力;
- - - 单位面积上覆土质量

Fig. 2 Relation between earth pressure and filling height
- - - Vertical earth pressure; - - - lateral earth pressure;
- - - Soil weight of unit area

面板是加筋挡土墙的第一道防线,也是施工验收的主要内容,面板的平整与否直接影响着挡土墙工程的建设质量^[12]。一般情况下,设计时对挡土墙的整体稳定性十分关注,根据极限平衡分析法算出的安全系数均较大,因此挡土墙的整体稳定性良好,即在降雨条件下填土也不会存在任何问题。而挡土墙面板的局部凸出却是任何一个加筋挡土墙工程均存在的问题,只不过大小有别。面板发生局部凸出的内因是其侧向土压力的增大;外因主要有两个,即雨水的渗入和大型压路机对填土的碾压。施工过程中,膨胀土遇水后孔隙水压力上升,吸力下降,导致土体的抗剪强度下降,在自重荷载作用下发生较大的侧向位移,使得侧向土压力增大。如图3中曲线突变之处,正是由于降雨的影响,1.5 m处侧向土压力系数达到1.75。另一方面,膨胀土在上覆土压力较大时,其竖向膨胀受到较大限制,而侧向膨胀受到的限制较小,这也导致了侧向土压力的增大。大型压路机对填土的碾压,必然会造成土体发生瞬时的侧向位移,这种瞬时位移大部分是不可恢复的,因此也会导致面板的凸出;与此同时,安装面板本身也会产生一定的误差。故可用下式表示面板的总侧向位移:

$$u = u_1 + u_2 + u_3 \quad (1)$$

式中: u 为面板侧向总位移, u_1 为土体变形引起的面

而侧向由于面板和筋带的约束,使得侧向土压力降低幅度较小,从而导致土压力系数增大,最大时可达1.75。可以认为,土压力减小的原因是降雨导致了土体膨胀,从而使重型压路机碾压形成的强结构性得到释放,而其膨胀量也由两部分构成,即膨胀土自身的膨胀量和结构性应力释放后土体的回胀量。

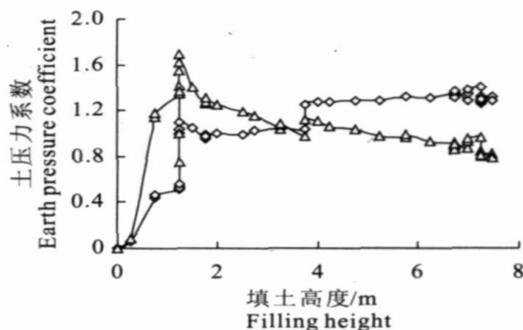


图3 土压力系数与填土高度的关系
- - - 侧向土压力/竖向土压力;
- - - 侧向土压力/单位面积上覆土质量

Fig. 3 Relation between earth pressure coefficient and filling height
- - - Lateral earth pressure/vertical earth pressure
- - - Lateral earth pressure/soil weight of unit area

板位移, u_2 为碾压产生的位移, u_3 为施工误差。

对于挡土墙运行过程中发生的面板局部凸出问题,工程师们普遍认为这是挡土墙发生整体破坏的前兆,为了便于观察工程的运行状态以及保持工程的外观质量,有必要对其进行相应的加固和校正处理。由式(1)可知,如果面板的侧向位移是由 u_1 引起,则应予以重视。而事实上在现场施工时土体自身可能还来不及变形,此时 u_2, u_3 构成了面板的侧向总位移,导致面板的局部突出。与此同时,如果某一部分筋带由于人为因素铺设得较为松弛,那么当作用于面板上的土压力增大时,筋带由于不能发挥其显著的抗拉作用,也会导致面板的局部凸出。因此对于挡土墙中的面板工程,要视具体情况来评价。施工中的面板凸出可以通过校正来调整,也可以在加筋挡土墙施工完成后再统一整平,即对面板进行“装潢”,用混凝土将其表面抹平,这样相比面板的校正更省工,而且美观大方。

3.2 筋带

筋带由于其显著的抗拉强度,约束了挡土墙面板和土体的侧向变形和竖向位移,对挡土墙的整体稳定性和局部稳定性非常有利。筋带应变的监测结果见图4~6。

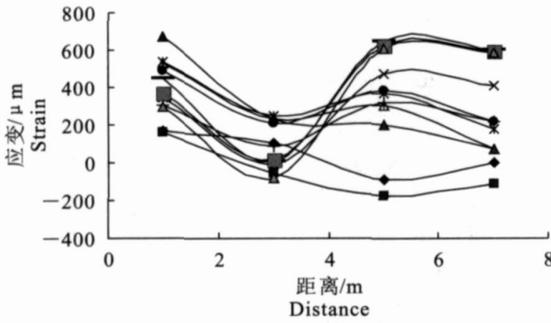


图4 挡土墙底层筋带的应变
Fig.4 Strain of reinforced strips at the bottom of earth wall

- ◆ .2005-05-10; ■ .2005-05-11; ▲ .2005-05-23;
- △ .2005-05-24; ✖ .2005-06-01; ● .2005-06-02;
- ⊕ .2005-06-04; ✕ .2005-06-13; ○ .2005-06-15;
- .2005-06-17; ▲ .2005-06-19

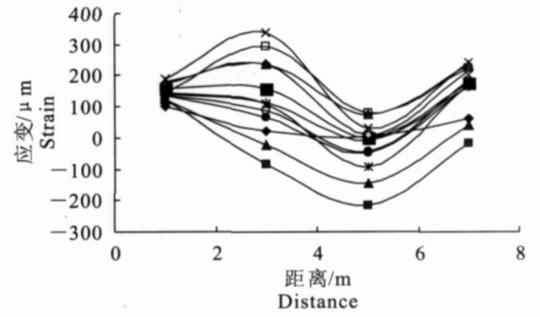


图5 挡土墙中层筋带的应变
Fig.5 Strain of reinforced strips in the middle of earth wall

- ◆ .2005-06-02; ■ .2005-06-04; ▲ .2005-06-13;
- ✖ .2005-06-15; ○ .2005-06-17; ● .2005-06-19;
- ⊕ .2005-07-16; ✕ .2005-07-18; ■ .2005-07-19;
- ◇ .2005-07-20; □ .2005-07-21; ▲ .2005-07-22;
- ✖ .2005-07-24

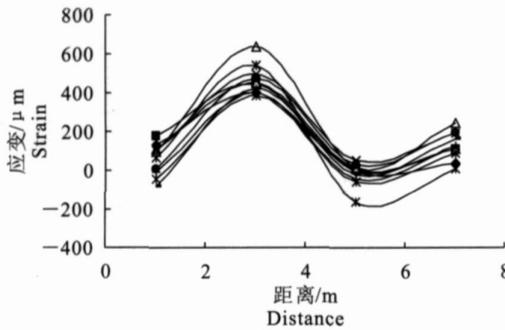


图6 挡土墙上层筋带的应变
Fig.6 Strain of reinforced strips at the top of earth wall

- ◆ .2005-06-17; ■ .2005-06-19; ▲ .2005-07-15;
- ✖ .2005-07-16; ✕ .2005-07-18; ● .2005-07-19;
- ⊕ .2005-07-20; ○ .2005-07-21; ✖ .2005-07-22;
- ▲ .2005-07-24

图4~ 6表明, 筋带应变随着填筑高度的增加而逐渐向土体的内部发展, 底层较大应变出现在距面板1 m 处; 由于筋带尾部在铺设过程中没有拉紧, 在

该处也表现出了较大的应变; 中层和上层的最大应变出现在距面板3 m 处。膨胀土挡土墙由于筋带的作用, 改变了其整体的力学性能, 不会发生与膨胀土边坡类似的浅层滑坡^[4]。因此, 其潜在的滑坡形式为深层的大体积滑坡。现场监测可知, 筋带应变均较小, 表明挡土墙安全稳定。文献[13]认为, 施工完成后筋带的最终变形如图7所示。筋带所承受的拉力也可以分解成2个分力, 从而将筋带的破坏位置界定在距面板1.5 m 内。事实上, 距面板1.5 m 内填土和距面板1.5 m 外填土的压实度存在差异。现场观察表明, 降雨停工一段时间后, 距面板1.5 m 内填土明显低于外侧土体, 此时筋带变形成“U”型(图8), 这样不但不利于发挥筋带显著的抗拉强度, 还会导致侧向土压力的增大和不均匀沉降。因此, 距面板1.5 m 内外采用不同的压实度, 不仅不利于筋带抗拉强度的发挥, 而且会产生不均匀沉降。

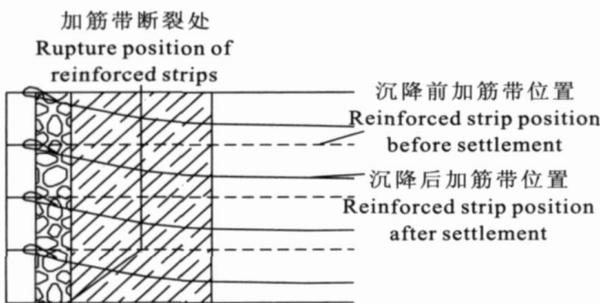


图7 筋带沉降示意图

Fig 7 Sketch map of reinforced strips settlement

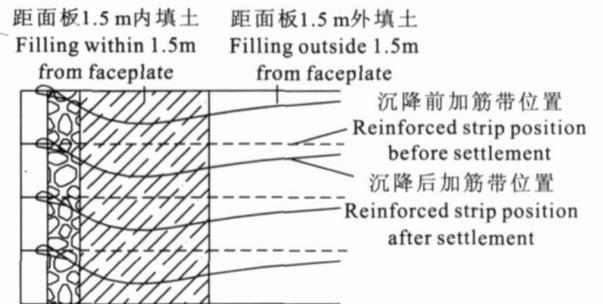


图8 筋带沉降示意图

Fig 8 Sketch map of reinforced strips settlement

3.3 碎石反滤层

挡土墙的施工中, 面板后30 cm 的碎石反滤层作为加筋挡土墙的排水通道, 有关规范对其密实度

有一定的要求^[12]。现场工程师担心对30 cm 的碎石反滤层进行夯实, 会导致面板外凸; 而施工人员认为只要碎石反滤层级配良好, 可以不用夯实。实际上,



面板是否平整可以通过校正来完成,而碎石反滤层如果不进行夯实,其自身会随填筑高度的增加而产生较大的沉降,同时也会带动面板以及周围土体产生沉降,而且其不均匀沉降又改变了筋带的受力状态,使筋带的抗拉强度不能有效地用来抵抗土体的侧向变形。与此同时,由于其压实度不够,从而给膨胀土提供了侧向膨胀的空间,在临界膨胀与不膨胀的深度处有可能形成滑裂面,给工程带来隐患。因此,从工程安全的角度考虑,碎石反滤层务必夯实。

3.4 距面板1.5m内填土

上文已经提到,为了保证挡土墙面板的平整性,距离面板1.5m内土体的压实度较距离面板1.5m外土体的压实度低。规范规定^[12],距离面板1.5m内土体的压实度不小于93%,而距离面板1.5m外土体的压实度应不小于95%。在这种情况下,对于同一种土体,不同的压实度必然会导致不同的沉降。本次现场监测中可以清晰地观察到,降雨后1.5m分界线两侧土体的竖向位移不一致,1.5m以内土体发生了较小的膨胀,而1.5m以外土体产生的膨胀较大。可想而知,加筋挡土体内部在覆土压力的作用下,压实度较小的地方肯定会发生较大的沉降,而压实度较大的地方产生的沉降较小,沉降不均匀对上部建筑物来说是绝对不允许的。

3.5 距面板1.5m外填土

膨胀土的三个特性在降雨条件下才会较充分地发挥。距离面板1.5m以外土体对加筋挡土墙破坏的贡献表现在两个方面:一是膨胀力导致土体变形;二是裂隙为雨水提供通道,导致土体抗剪强度降低。土压力监测结果表明,这两个方面均对膨胀土加筋挡土墙的稳定性的构成了很大威胁。因此,膨胀土在降雨季节施工要特别注意防水,同时,在降雨后进行施工前,对其表层土体应翻松压实,然后再施工。

4 结论与建议

现场土压力监测结果表明,降雨导致土压力系数急剧增大,最大可达1.75。侧向土压力增大导致的面板局部凸出,可以通过及时校正来调整,也可以在加筋挡土墙施工完成后再统一整平。筋带应变监测结果表明,膨胀土挡土墙不会发生浅层滑坡,潜在滑坡形式为深层大体积滑坡。距面板1.5m内外土体采用不同的压实度,不仅不利于筋带抗拉强度的发挥,而且还会引起不均匀沉降,故建议整个场地采用统一压实度。结合本次现场监测,认为膨胀土加筋挡土墙在施工过程中应注意以下几个问题:

1) 雨季施工要做好防水工作。在直壁加筋挡土

墙工程的雨季施工中,以膨胀土或弱膨胀土为填料存在着较大的安全隐患。若不做好防水工作,雨水直接进入土体内部不仅会导致土体膨胀,使面板向外凸出,而且还会降低土体的抗剪强度。与此同时,一旦降雨结束,表层膨胀土还没有来得及产生裂隙或者裂隙还没有延伸到土体内部,此时内部膨胀土的渗透系数比较小,短时间内水分无法排出,如果继续填筑,势必存在一个软弱夹层,这对工程非常不利。

2) 面板后约1.5m以内的土体压实度应严格控制,否则不仅会导致填土体发生不均匀沉降,而且不利于筋带抗拉强度的发挥。

3) 面板后的碎石反滤层也应夯实,土体填筑结束后再统一整平因夯实碎石滤层而外凸的墙面。

4) 在雨季施工中,应注意控制合理的施工速度,并制定统一的施工方案。对同一层加筋挡土墙应同期施工,切勿先在一侧施工或填筑到一定高度后,再施工填筑另一侧。这样会严重损害挡土墙的整体性,从而导致不均匀沉降的发生。

致谢: 陕西省电力设计研究院李斌工程师以及重庆永固加筋厂高燕工程师在现场给予了大力帮助,特表谢忱!

[参考文献]

- [1] 刘特洪 工程中的膨胀土问题[M]. 北京: 中国建筑工程出版社, 1997.
- [2] 区 马, 张克绪, 周敏锋 膨胀土引起的工程灾害及其教训——苏丹国的情况[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(4): 119-123
- [3] 谭罗荣, 张梅英, 邵梧敏, 等 灾害性膨胀土的微结构特征及其工程性质[J]. 岩土工程学报, 1994, 16(2): 48-57.
- [4] 包承纲 非饱和膨胀土的性质和膨胀土边坡稳定问题[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(1): 1-15
- [5] Ng C W W, Zhan L T, Bao C G, et al Penance of an unsaturated expansive soil slope subjected to artificial rain fall infiltration[J]. Geotechnique, 2003, 53(2): 43-157.
- [6] 詹良通, 吴宏伟, 包承纲 降雨入渗条件下非饱和膨胀土的综合监测[J]. 岩土力学, 2003, 24(2): 151-158
- [7] 姚海林, 郑少河, 陈守义 考虑裂隙及雨水入渗影响的膨胀土边坡稳定分析[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(5): 606-609.
- [8] 孟黔灵 膨胀土的裂隙性对边坡稳定的影响[J]. 公路, 2001, 45(10): 137-140
- [9] 姚海林, 郑少河, 李文斌, 等 降雨入渗对非饱和膨胀土边坡稳定性影响的参数研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(7): 1034-1039.
- [10] 陈善雄, 陈守义 考虑降雨的非饱和土边坡稳定性分析方法[J]. 岩土力学, 2001, 22(4): 447-450
- [11] 袁俊平, 殷宗泽 考虑裂隙非饱和膨胀土边坡入渗模型与数值模拟[J]. 岩土力学, 2004, 25(10): 1581-1586
- [12] 中华人民共和国交通部标准 公路加筋土工程设计及施工规范汇编[S]. 北京: 人民交通出版社, 1993: 27-28
- [13] 林 彤, 翁家清 加筋土高挡墙局部破坏原因及修复方案探讨[J]. 人民长江, 1999, 30(11): 26-27.