

Soaking Test of Collapsible Loess Roadbed in Pakistan

Gang Wang, Xiao Tian, Zhiyong Liu, Kelei Han, Xiaoxing Huang, Xiyuan Lu

Overseas Branch of Zhongjiao Road and Bridge Construction Co., Ltd., Beijing
Email: 312110633@qq.com

Received: Apr. 24th, 2019; accepted: May 9th, 2019; published: May 16th, 2019

Abstract

In the experimental section of collapsible loess subgrade in Pakistan, a large *in-situ* flooding test was conducted to study the rule of water infiltration of the subgrade after the subgrade was immersed in water, and the influence of the subgrade soil subsidence on the subgrade settlement. The results show that in the actual project, it is necessary to strengthen the prevention and drainage measures of the compacted pile section to avoid local water accumulation and ensure driving safety.

Keywords

Subgrade, Collapsible Loess, *In-Situ* Immersion Test, Compaction Pile

巴基斯坦湿陷性黄土路基浸水试验研究

王 钢, 田 晓, 刘志勇, 韩克磊, 黄晓星, 吕溪源

中交路桥建设有限公司海外分公司, 北京
Email: 312110633@qq.com

收稿日期: 2019年4月24日; 录用日期: 2019年5月9日; 发布日期: 2019年5月16日

摘 要

在巴基斯坦湿陷性黄土路基试验段, 运用大型原位浸水试验, 研究路基浸水后柱锤冲扩桩和挤密桩地基的浸水规律以及地基土湿陷对路基沉降的影响。研究结果表明: 在实际工程中, 一定要加强挤密桩路段的防排水措施, 避免局部积水, 以保证行车安全。

关键词

路基, 湿陷性黄土, 原位浸水试验, 挤密桩



1. 引言

湿陷性黄土作为一种特殊土, 该土颗粒筛分属于细粒土[1], 液塑限测定属于高液限粘土, 规范要求用于路基填筑的土, 液限不得大于 50%, 否则须改良处理; 该土 CBR 勉强满足路基要求(下路 93 区 CBR 大于 3.0, 上路堤 94 区大于 4.0), 但是存在不满足要求的风险, 土的膨胀量过大; 最佳含水量和天然含水量相差过大, 晾晒困难, 无法满足快速路基填筑施工。

国内的湿陷性黄土地基处治措施不能完全照搬到本工程中[2]: 由于土的工程特性受地理、气候等因素影响较大, 国内黄土形成环境为北温带干旱和半干旱气候条件, 而中巴经济走廊地区的湿陷性土为典型亚热带湿润气候[3], 导致该地区的湿陷性土与国内湿陷性黄土工程特性不能等同[4], 也导致国内的湿陷性黄土地基处理措施不能完全适应于本工程[5]。

2. 依托项目概况

中巴经济走廊 Havelian 至 Thakot 段公路工程(118.057 km), 起于 Havelian, 途径 Abbottabad、Mansehra 和 Shinkiari, 终于 Thakot, 主要经过 Abbottabad, Mansehra 和 Battagram 地区。坐标范围: 东经 73°8'4.42"~72°55'47.16"、北纬 34°3'45.92"~34°46'29.34", 项目区域海拔范围 860 m~1880 m。

本项目具有如下特点:

1) 气候具有五个季节, 典型的强降雨季风气候。该区域是典型的亚热带湿润气候, 可分为 5 个季节, 冬季(11 月~2 月), 春季(3, 4 月), 夏季(5, 6 月), 雨季季风(7, 8 月)和秋季(9, 10 月)。多年平均降水量在 1142.1 mm, 丰水年降雨量在 1759.4 mm, 旱年降水量在 354 mm, 且降水年内分布不均, 7 至 8 月降雨量较大, 10 月至翌年 1 月降水量最小。这种气候对湿陷性土地基的承载能力及稳定性影响极大。

2) 因此以 Havelian 至 Thakot 段公路工程为依托, 开展现场调研及大型现场原位测试试验研究, 提出典型气候条件下湿陷性土的湿陷工程特性、湿陷系数阈值及其湿陷变形机理; 在此基础上, 通过物理模型试验等得到亚热带湿润气候条件下湿陷性土地基处理措施及其稳定性评价指标, 以便有效指导本地区公路工程建设和施工。

3. 湿陷性黄土路基浸水试验

本研究依托巴基斯坦 Havelian 至 Thakot 段公路工程进行原位浸水试验。

3.1. 试验坑设计

3.1.1. 测点布设

①浅标点: 距离试坑边较近的标点间距较小, 往外间距逐渐增大, 坑外最远的浅标点在试坑外 1 倍试坑直径处。

浅标点由一根直杆和与其垂直焊接的底板组成。标杆上部固定一根钢卷尺, 钢卷尺的最小刻度为 1 mm。

②深标点: 分为 10 m 以内、10 m~20 m 和 20 m 以下等不同的部分布设。

深标点由多跟机械式连接的镀锌管和与其垂直焊接的底板组成, 深标点的重量与埋设位置处原上覆土自重大致相同。标杆上部固定一根钢卷尺, 作为沉降观测的标尺, 钢卷尺的最小刻度为 1 mm, 标杆外面套一根塑料管, 以确保沉降板能够自由沉降, 长度与深部沉降板埋深相当。塑料管外回填中粗砂, 使

深标点客观上也起到了加强渗水的作用。深标点钻孔的垂直度、孔底浮渣厚度等因素将会影响量测的精度。深标点埋设流程如图 1 所示。

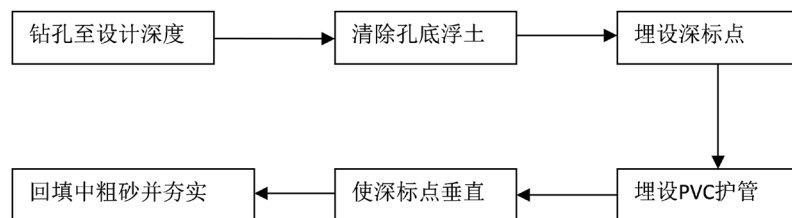


Figure 1. Flow chart of deep punctation embedding
图 1. 深标点埋设流程图

为确保深标点安装质量，制定“渗水试验钻孔技术要求”，如表 1 所示，供试验场地参照执行。

Table 1. Technical requirements for drilling in site pit immersion test of collapsible loess
表 1. 湿陷性黄土现场试坑浸水试验钻孔技术要求

序号	项目	技术要求	备注
1	钻孔位置偏差	不大于 5 cm	
2	钻孔深度偏差	+5 cm, -5 cm	“-”表示超标
3	垂直度	钻孔中心位移不大于 4 cm	
4	孔径	Φ108 mm (取样钻孔 Φ120 mm)	
5	浮渣厚度	不大于 10 cm	应尽可能清除孔底浮渣
6	取样钻孔	用静压法取样，进行湿陷性试验、含水率试验和密度试验。	湿陷性试样在送检前，应保存在现场有遮盖的坑中。
7	地质编录	详细记录地层变化，提出钻孔地质编录资料。	

③渗水孔

为了加强渗水强度，加快地基土层的浸水饱和，在浸水坑内由深标点测线组成的每个扇形区内都布置了 1~2 个渗水孔(孔径 Φ127 mm)，孔内充填砂砾石。

3.1.2. 传感器类型及布设

本次浸水试验埋设的传感器包括土压力传感器、孔隙水压力传感器、土壤水分传感器以及试坑外围的张力计[6]。这主要是针对黄土湿陷机理而设计的，土压力及孔隙水压力传感器是观测试坑浸水过程黄土压力变化情况，根据现场变形监测，建立黄土湿陷与压力之间的关系，土壤水分传感器可以实时反馈试坑下部土体的含水量变化，不仅可以直观了解黄土的浸润情况，还可以建立黄土湿陷与含水量定量关系。张力计是测量黄土内部的基质吸力(毛细力)，实际上就是孔隙水压力和孔隙气压力的差值。据前人研究，当黄土浸水后，孔隙被水占据，基质吸力丧失，从而产生湿陷，设计张力计就是进一步探讨黄土湿陷毛细力假说。

土压力传感器拟采用 JDTYJ 系列振弦式土压力计，埋置深度 1 m~10 m，2 台/m，共十个层位。假定黄土密度为 1.5 g/cm³~2.0 g/cm³，则 10 m 处压力为 0.15 MPa~0.20 MPa，考虑测量等外在因素，选用 0.20 MPa 量程的 10 台，0.30 MPa 量程的 10 台；孔隙水压力传感器拟采用 JDTYJ 系列振弦式孔隙水压力计，埋置深度 1 m~10 m，2 台/m，共十个层位。水的密度为 10 g/cm³，则 10 m 处水压力为 0.10 MPa，考虑测量等外在因素，选用 0.10 MPa 量程的 10 台，0.20 MPa 量程的 10 台；土壤水分传感器选用 DBT-1 土壤

水分传感器,埋置深度 1 m~10 m, 1 台/m, 共十个层位。因为要测到 10 m 深度, 所以需要把电缆长度加到 10 m 以上, 需和厂家沟通; 张力计选用指针式土壤张力仪, 埋在试坑周围(距试坑边界不大于 0.3 m), 量程为 100 kPa, 管长 0.15 m、0.30 m、0.60 m、0.90 m、1.20 m 共 5 种规格, 每个规格的 5 台。

数据采集器拟选用福禄克 2635 便携式数据采集器, 用来接受传感器输出信号。接受事项包括电压、电阻和频率, 量程满足接收需要。

3.1.3. 各试坑设计与测点布设

1) DK230 + 200 试验场地

依据设计单位提供的勘察资料, 试坑 1 标点埋设图如图 2 所示。

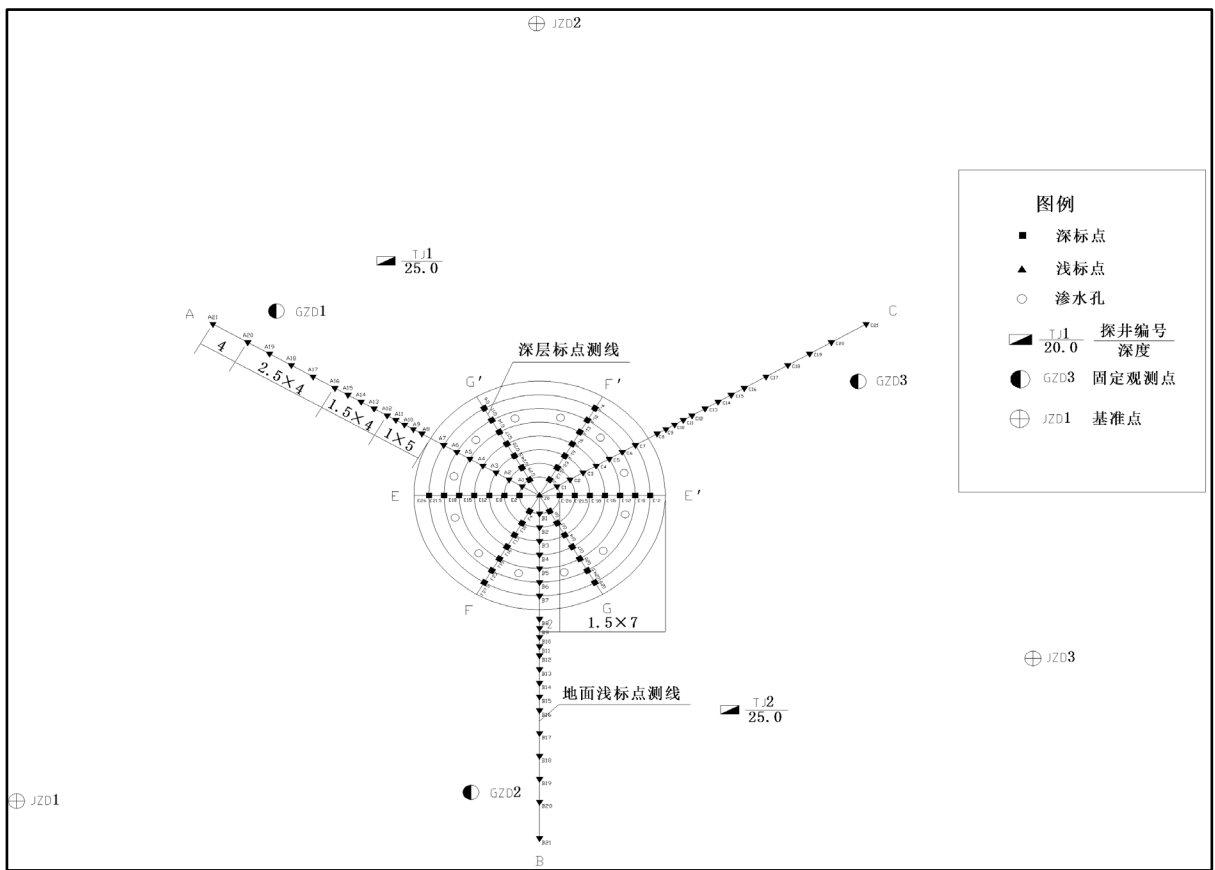


Figure 2. Punctuation map of Test Pit 1

图 2. 试坑 1 标点埋设图

各测点基本参数如表 2 所示。

Table 2. Test Pit 1 Punctuation parameter table

表 2. 试坑 1 标点参数表

测线编号	标点编号(标点底深度/m)	标点性质
A	Z0 (0.5), A1-A21 (0.5)	浅标点
B	B1-B21 (0.5)	浅标点
C	C1-C21 (0.5)	浅标点

Continued

E-E'	E2 (2), E8 (8), E12 (12), E15 (15), E18 (18), E21.5 (21.5), E26 (26) E'2 (2), E'8 (8), E'12 (12), E'15 (15), E'18 (18), E'21.5 (21.5), E'26 (26)	深标点
F-F'	F4 (4), F10 (10), F13 (13), F16 (16), F19 (19), F23 (23), F27.5 (27.5) F'4 (4), F'10 (10), F'13 (13), F'16 (16), F'19 (19), F'23 (23), F'27.5 (27.5)	深标点
G-G'	G2 (2), G8 (8), G12 (12), G15 (15), G18 (18), G21.5 (21.5), G26 (26) G'2 (2), G'8 (8), G'12 (12), G'15 (15), G'18 (18), G'21.5 (21.5), G'26 (26)	深标点

在上述场地旁边,设计一个坑底经过灰土改良处理的试坑,进行浸水试验。试坑直径为 15 m 的圆形,坑底灰土垫层处理厚度 0.5 m,共布设测点 51 个,其中试坑内地表设浅标点 12 个,试坑外的地表浅标点 15 个,最远的浅标点设计在坑外 5 m 处;试坑内设深标点 24 个,最深的深标点设置 15 m,如图 3 所示。

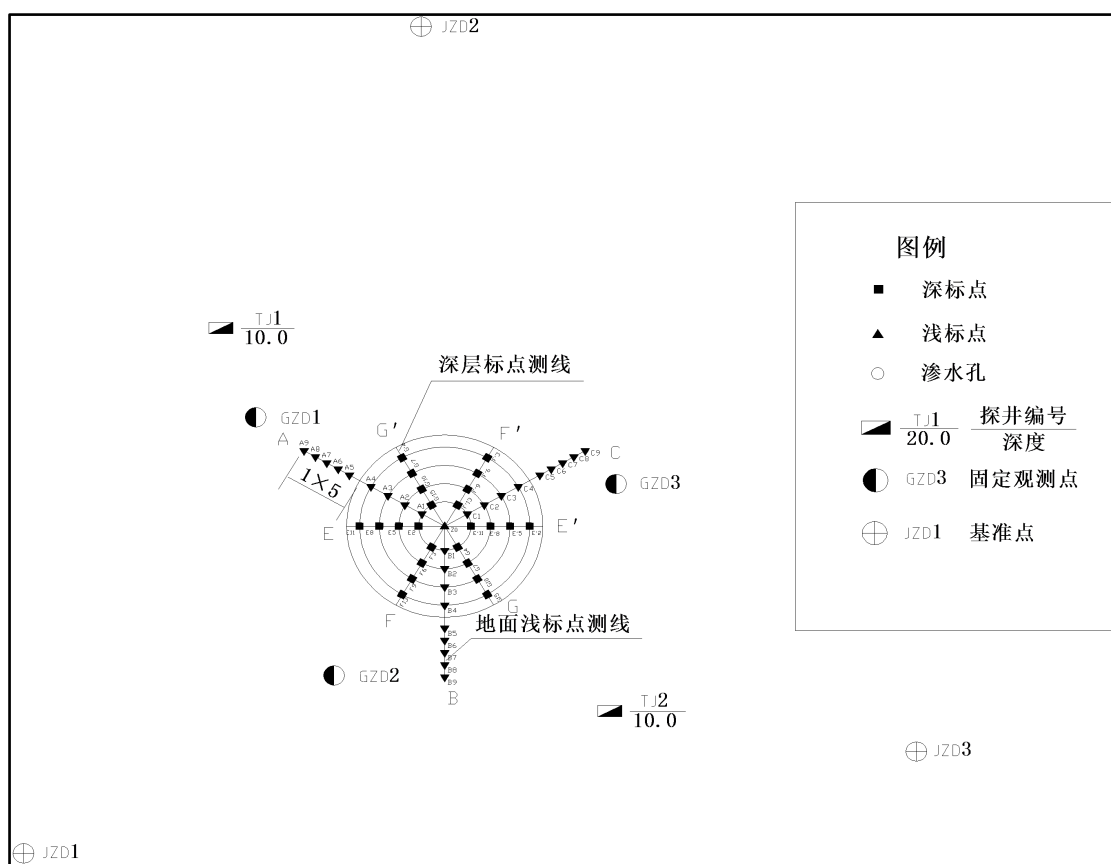


Figure 3. Punctuation map of Test Pit 2

图 3. 试坑 2 标点埋设图

各测点基本参数如表 3 所示。

Table 3. Test Pit 2 Punctuation parameter table

表 3. 试坑 2 标点参数表

测线编号	标点编号(标点底深度/m)	标点性质
A	Z0 (0.5), A1-A9 (0.5)	浅标点
B	B1-B9 (0.5)	浅标点

Continued

C	C1-C9 (0.5)	浅标点
E	E2 (2), E5 (5), E8 (8), E11 (11) E'2 (2), E'5 (5), E'8 (8), E'11 (11)	深标点
F	F3 (3), F6 (6), F9 (9), F13 (13) F'3 (3), F'6 (6), F'9 (9), F'13 (13)	深标点
G	G4 (4), G7 (7), G10 (10), G15 (15) G'4 (4), G'7 (7), G'10 (10), G'15 (15)	深标点

3.2. 沉降观测情况

根据本项工程特点,采用相对高程基准。基准网有 3~4 个基准点及若干个工作基点组成,布设呈闭合、附合水准路线等形式。基准点埋设按地面下 4 m 控制,采用 $\Phi 108$ mm 现浇混凝土标石,地表周围 $\Phi 600$ mm 范围内换填 30 cm 厚的 3:7 灰土并夯密,使其周围地面略凸以避免积水。基准点在沉降观测开始之前 7 天进行埋设并设置保护标志,试验值班人员做好对基准点的保护工作。

基准网是监测观测点沉降点变化的依据,监测网中基准点的稳定性如何,直接关系到沉降观测的精度。为了保证观测的精度,按照二级变形测量的精度要求,采用几何水准测量方法,定期的对沉降观测基准网进行复测,检查基准点的高差变化,分析基准点的稳定性,保证观测成果的真实可靠。复测期间尽量保持网形、观测线路不变,使用同一仪器及设备,固定专人观测。

沉降观测浅标点和深标点埋设完成后,每天测读一次高程,待初值稳定后,作为初读数,正式浸水前再测一次,并与上述初读数进行校核。此外,还要采用不同的水准基点,进行校核。浸水时每天固定时间对各观测点进行定时观测,每天观测一次,对前期变形发展较快的浸水场地,加密观测频率。每次观测时保持观测方法、观测线路、测站数不变,使用同一仪器和设备。

浸水前后场地不同深度和位置处含水率的变化情况反映出浸湿影响深度和径向浸湿范围。采用在场地特定位置打孔测定含水率,根据浸水前后含水率的变化来确定浸湿范围的方法。

具体布设如下:

①浸水前,在试坑内利用渗水孔和部分深标点孔,另外在试坑一侧打 5 个深孔,各孔含水率作为浸水前场地的初始含水率。

②试验过程中级湿陷变形稳定后停止之前,在试坑周围及试坑一侧前述打好的 5 个钻孔旁再打孔,取样进行含水率试验,以了解浸湿范围和土体含水率变化情况。

③停止进水后,在试坑内沿轴线均匀打孔,测定浸水后各层土的含水率变化情况,并进行浸水前后土层含水率对比。

3.3. 裂缝观测

裂隙是黄土湿陷性的直观反映,其发生发展规律研究是本次试验的重要内容之一。试验中对试坑周围地裂缝的出现时间、平面位置、形状变化、裂缝宽度和错台高度等进行测量及时绘制成图和以照片形式记录。为了了解裂缝在深度方向上的产状,对典型裂缝进行挖探。

3.4. 孔隙水压力观测

在试坑内外不同深度埋设孔隙水压力传感器,通过数据采集器接收传感器的数据,从而对孔隙水在浸水试验过程中的压力变化进行研究。

3.5. 试验终止条件

1) 湿陷稳定标准

浸水过程中始终保持试坑内的水头高度在 30 cm~40 cm 之间, 至地层湿陷稳定后停水, 稳定标准为后面 5 天的平均湿陷量小于 1 mm/d。

2) 停水后终止观测条件

试坑停止浸水后, 继续观测不少于 10 天, 当出现连续 5 天的平均沉降量不大于 1 mm/d 时, 终止观测。

4. 试验结果

根据现场浸水试坑内外地表沉降量、浸水试坑内深部沉降量、裂缝发生发展情况、浸水前后土体含水率变化等, 结合室内土工试验结果, 得到以下几方面结果:

1) 路基浸水规律: 浸水期间断面含水率变化沿土体深度经历了天然非饱和状态、非饱和入渗状态和饱和入渗状态。

2) 停住浸水后路基浸水规律: 停水后, 由于供水条件不足, 土体孔隙中的水在重力作用下向下运动, 含水率逐渐降低, 并逐渐趋于稳定。

5. 结论

1) 浸水期间断面含水率变化沿土体深度经历了天然非饱和状态、非饱和入渗状态和饱和入渗状态。

2) 停水后, 由于供水条件不足, 土体孔隙中的水在重力作用下向下运动, 含水率逐渐降低, 并逐渐趋于稳定。

3) 以巴基斯坦 Havelian 至 Thakot 段公路工程为依托, 通过试验等得到亚热带湿润气候条件下湿陷性土地基处理措施, 从而有效指导本地区公路工程建设的设计和施工。

参考文献

- [1] 中华人民共和国建设部. GB50025-2004 湿陷性黄土地区建筑规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [2] 黄雪峰, 陈正汉, 等. 大厚度自重湿陷性黄土地地湿陷性变形特征的大型现场浸水试验研究[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(3): 382-389.
- [3] 刘保健, 谢永利, 于友成. 黄土非饱和入渗规律原位试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(24): 4156-4160.
- [4] 黄瑜, 史继宁, 等. 湿陷性黄土注水渗透特性原位试验研究[J]. 陕西电力, 2010, 11(23): 84-87.
- [5] 孙鹏德, 魏子龙, 洪武. 湿陷性黄土原位注水素土挤密桩施工技术研究[J]. 四川建材, 2018, 5(44): 91-93.
- [6] 刘炜. 素土挤密桩处理湿陷性黄土地基的实践与分析[J]. 山西煤炭管理干部学院学报, 2011, 24(3): 87-89.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org