

# Analysis and Application of Foundation Bearing Capacity in the Collapsible Loess and Dissolved Saline Soil Areas of Korla

Jun Jiang Jiang Yue\* Hao Jiang Erqin Zhou Zhidong Zhang

Xinjiang Tianhua Survey and Testing Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

## Abstract

Taking a petroleum project in Xinjiang as an example, the proposed project is located in Bayingolin Mongolian Autonomous Prefecture, Xinjiang, in the heart of the Eurasian continent and Xinjiang. Due to its unique natural environment and geological conditions, the loess in the project site not only has the characteristics of typical collapsible soil, but also has the characteristics of saline soil dissolution, which requires the selection of foundation treatment methods to be considered simultaneously. This article is based on a comprehensive analysis of the physical and mechanical properties of the soil in a chemical project site in Xinjiang, using data from immersion load tests, indoor collapsibility tests, and dissolution tests. It provides a reference for the theoretical analysis and practical application of the foundation bearing capacity of collapsible loess and dissolved saline soil in Xinjiang in the future.

## Keywords

collapsibility; solubility; load test; geotechnical test

# 关于库尔勒湿陷性黄土及溶陷性盐渍土地区地基承载力的分析和应用

蒋军 岳江\* 蒋浩 周二勤 张芝栋

新疆天华勘察检测有限公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

## 摘要

以新疆某石油项目为例, 拟建项目位于新疆巴音郭楞蒙古自治州, 地处欧亚大陆和新疆腹心地带。由于其独特的自然环境和地质条件, 项目所在地粉土除具备一般典型湿陷性土的特点外, 还具备盐渍土溶陷性的特点, 使得地基处理方式的选取要同时考虑。本文基于新疆某化工项目现场浸水载荷试验和室内湿陷性试验及溶陷性试验数据对比综合分析场地的物理力学性质, 为今后新疆湿陷性黄土和溶陷性盐渍土的地基承载力理论分析和实际应用提供参考。

## 关键词

湿陷性; 溶陷性; 载荷试验; 土工试验

## 1 引言

湿陷性黄土在我国主要分布在山西、陕西、甘肃大部分地区以及河南的西部, 在地域上分布由西北向东南, 黄土的密度、含水量和强度都是由小变大, 渗透性、压缩性和湿陷性都是由大变小, 颗粒组成由粗变细, 黏粒含量由少变多, 易溶盐含量由多变少, 显微结构特征由西北地区的粒状架空接触结构, 逐渐过渡到东南地区的凝块镶嵌胶结结构。

新疆湿陷性黄土的分布呈现北疆连续条状分布, 南疆零星分布, 受各种条件制约, 新疆黄土和盐渍土的研究及其

处理与工程应用落后于内地先进地区, 随着国家西部大开发及援疆工作的大力开展, 特别是 2010 年以来, 新疆基建行业迅猛, 许多项目在新疆生根, 为新疆岩土工程提供了良好的机遇。

## 2 概况

本次现场进行了 29 点天然地基静载荷试验和 23 点浸水地基静载荷试验, 判定地基承载力, 同时探井取 I 级不扰动土样 (深度 3.0m) 进行室内湿陷性试验和溶陷性试验, 共计超过 2000 件。本次试验日期 2018 年 09 月~ 2020 年 06 月。

本场地地形平坦开阔, 整体地势大致呈北高南低, 东高西低趋势, 场地土类型属中软土, 场地类别 III 类建筑场地, 抗震设防烈度 8 度, 地震分组第二组, 有效峰值加速度 0.20g, 特征周期 0.42s, 属抗震不利地段, 场地为非自重湿陷性场地, 黄土湿陷程度轻微~强烈, 盐渍土溶陷程度轻微~强, 且不

【作者简介】蒋军 (1971-), 男, 中国新疆奇台人, 本科, 工程师, 从事地基基础检测研究。

【通讯作者】岳江 (1990-), 男, 中国甘肃酒泉人, 从事应用物理学研究。

具备盐胀性。

场地地层简要分述如下：

①粉土：褐黄色~青灰色，稍湿，松散，部分钻孔含植物根系，表层可见白色结晶盐薄层，干强度低，韧性低，部分夹有粉质黏土透镜体、粉细砂薄层，具有溶陷性、湿陷性，强度低。湿陷系数 0.005 ~ 0.084，溶陷性系数 0.003 ~ 0.084。

②粉土：青灰色，饱和，松散，位于地下水位以下，呈软塑状态，摇振反应中等，干强度低，韧性低，压缩性高，易液化。

③粉土：褐黄色~青灰色，饱和，稍密~密实，切面较粗糙，摇振反应中等，干强度较低，韧性低，手搓有轻微砂感。该层中多夹有粉砂薄层，部分钻孔为粉土与粉细砂互层。

④粉土：褐黄色~青灰色，饱和，中密~密实，粉土切面较粗糙，摇振反应中等，干强度较低，韧性低，夹有粉细砂层，手搓偶有黏着感。

⑤粉细砂：青灰色，饱和，中密~密实，砂质均匀，级配不良，主要成分为石英、长石及少量云母，含少量粉土薄层。

⑥粉土：褐黄~青灰色，很湿，密实，摇振反应轻微，干强度高，韧性较高，局部手搓有轻微砂感。该层中多夹有粉质黏土及粉细砂薄层，部分区域内以互层状出现，可见贝壳、芒硝结晶颗粒。

⑦粉质黏土：棕红色，可塑~硬塑状态，塑性较低，结构较均匀，无摇振反应，切面稍有光泽，韧性中等，干强度高，部分含芒硝结晶颗粒。

⑧粉土：褐黄，湿，密实，摇振反应轻微，干强度高，局部手搓有轻微砂感。

场地地下水埋深 3.3m ~ 4.4m，地下水类型主要为孔隙

潜水，地下水流方向为由东北向西南径流，补给来源主要为北侧山区以及融雪水入渗补给，有少量的季节性降水入渗补给。正常年份地下水年变幅 1.5m。

### 3 试验方法

#### 3.1 静载荷试验

本次试验在①粉土层，标高为 -0.5m，承压板面积为 0.5m<sup>2</sup>，共计进行了 29 点天然地基静载荷试验和 23 点浸水地基静载荷试，其中 18 点为同一处分别设置一点天然地基静载荷试验和一点浸水地基静载荷试验。

#### 3.2 室内试验

黄土湿陷性试验：本次黄土湿陷性试验选用单线法，每组试验不少于 5 个环刀试样，在天然湿度下分别加至不同的规定压力下沉稳定后，浸水饱和，附加下沉稳定，试验终止。

盐渍土溶陷性试验：本次盐渍土溶陷性试验选用单线法，逐级加载至载荷变形稳定，当加荷到试验的浸水压力且变形稳定后，加淡水使试样浸水溶滤，读取浸水后试样变形量至稳定为止，继续逐级加荷到终止压力，读取各级变形量至稳定为止。

### 4 试验结果

#### 4.1 静载荷试验

场地①粉土层天然地基承载力特征值  $f_{ak}=61\sim 180\text{kPa}$ ， $\bar{f}_{ak}=100\text{kPa}$ 。通过对现场试验数据和钻孔资料对比分析，场地①粉土层天然地基承载力特征值差异较大主要是受软弱下卧层的影响。根据现场①粉土标准贯入试验 57 点次数据的统计值， $N'$  最小值 2.9，最大值 5.0，平均值 3.6，标准值 3.3，判定天然地基承载力特征值  $f_{ak}\approx 110\text{kPa}$ ，与静载荷试验数据结果相符。

表 1 天然地基静载荷试验汇总表

编号	试验深度 (m)	累计历时 (min)	最大加载 (kPa)	最大沉降 (mm)	承载力特征值 (kPa)	对应沉降 (mm)	备注
ZH03	0.5	6320	240	53.30	120	8.48	
ZH05	0.5	9245	315	49.49	124	12.00	
ZH18	0.5	11270	420	49.87	122	12.00	
ZH26	0.5	9405	245	50.16	70	12.00	
ZH26*	0.5	6185	240	52.10	120	9.16	
ZH28	0.5	9720	350	48.97	141	12.00	
ZH32	0.5	9905	225	53.16	103	12.00	
ZH40	0.5	9170	150	51.33	69	12.00	
ZH69	0.5	12720	250	38.39	112	13.04	
ZH78	0.5	10005	175	57.48	88	11.85	
ZH88	0.5	7070	360	49.98	180	9.09	
ZH110	0.5	8230	280	49.94	123	12.00	
ZH116	0.5	8060	210	49.44	87	12.00	
ZH135	0.5	8780	150	57.62	64	12.00	
ZH143	0.5	9055	275	51.97	76	12.00	

续表 1

编号	试验深度 (m)	累计历时 (min)	最大加载 (kPa)	最大沉降 (mm)	承载力特征值 (kPa)	对应沉降 (mm)	备注
ZH173	0.5	8415	175	50.66	77	12.00	
ZH188	0.5	6980	270	51.56	117	12.00	
ZH243	0.5	9190	200	54.51	87	12.00	
ZH269	0.5	7070	270	50.60	125	12.00	
ZH275	0.5	8985	175	50.58	88	10.62	
ZH334	0.5	6860	240	51.42	101	12.00	
ZH394	0.5	10055	225	55.26	100	11.78	
ZH416	0.5	10140	250	55.06	95	12.00	
HK12	0.5	6545	210	52.43	65	12.00	
HK27	0.5	6410	150	51.73	61	12.00	
HK51	0.5	6710	180	51.25	77	12.00	
HZ09	0.5	7145	250	51.89	109	12.00	
JK21	0.5	7145	240	50.46	105	12.00	
KF10	0.5	6785	210	51.17	89	12.00	

表 2 浸水地基静载荷试验汇总表

编号	试验深度 (m)	累计历时 (min)	最大加载 (kPa)	最大沉降 (mm)	承载力特征值 (kPa)	对应沉降 (mm)	备注
ZH19	0.5	10120	105	51.26	37	12.00	
ZH32	0.5	13745	105	54.98	40	12.00	
ZH40	0.5	12705	75	54.78	32	12.00	
ZH69	0.5	14970	64	51.36	23	12.00	
ZH78	0.5	14045	56	55.02	15	12.00	
ZH110	0.5	10045	105	51.26	36	12.00	
ZH135	0.5	12285	54	51.82	18	12.00	
ZH143	0.5	14975	56	50.24	16	12.00	
ZH173	0.5	15390	64	52.66	27	12.00	
ZH243	0.5	16295	105	55.20	23	12.00	
ZH246	0.5	10405	70	48.20	23	12.00	
ZH246*	0.5	10405	80	52.00	24	12.00	
ZH275	0.5	13935	75	57.11	24	12.00	
ZH275*	0.5	10705	80	51.51	28	12.00	
ZH328	0.5	10870	90	51.02	35	12.00	
ZH394	0.5	13890	64	50.98	23	12.00	
ZH416	0.5	14125	72	49.30	28	12.00	
HK12	0.5	10005	50	52.66	12	12.00	
HK27	0.5	9985	50	51.24	14	12.00	
HK51	0.5	10360	80	52.72	22	12.00	
HZ09	0.5	10780	80	60.06	27	12.00	
JK21	0.5	10885	80	60.88	31	12.00	
KF10	0.5	10360	80	50.99	23	12.00	

场地①粉土层浸水地基承载力特征值  $f_{ak}=12\sim 40\text{kPa}$ ，对应沉降量  $s=12\text{mm}$ ， $\bar{f}_{ak}=25\text{kPa}$ 。通过对现场试验数据和室内土工试验资料比对分析，场地①粉土层浸水地基承载力特征值差异较大主要是受黄土湿陷性和盐渍土溶陷性的双重影响。

#### 4.2 室内试验

场地 3.0m 范围内黄土湿陷系数  $\delta_s=0.005 \sim 0.084$ ，平均值 0.035，湿陷程度为轻微~强烈，湿陷系数大于 0.015 的占 75% 以上，湿陷性总体分布中等。盐渍土溶陷系数  $\delta_{rs}=0.003 \sim 0.084$ ，平均值 0.037，溶陷程度为轻微~强，其中溶陷系数大于 0.01 的占 90% 以上，溶陷性总体分布为中等。

表3 土工试验成果汇总表

编号	取样深度 (m)	溶陷系数 $\delta_{rx}$	湿陷系数 $\delta_s$	自重湿陷压力 $p_z$	自重湿陷系数 $\delta_{zs}$	备注
T01-1	0.5-0.7	0.051	0.045	9	0.010	
T01-2	1.5-1.7	0.008	0.008	28	0.005	
T01-3	2.5-2.7	0.010	0.006	46	0.005	
T05-1	0.5-0.7	0.073	0.069	9	0.015	
T05-2	1.5-1.7	0.068	0.065	27	0.004	
T05-3	2.5-2.7	0.038	0.038	44	0.012	
T08-1	0.5-0.7	0.043	0.040	9	0.014	
T08-2	1.5-1.7	0.029	0.027	28	0.007	
T08-3	2.5-2.7	0.008	0.008	47	0.005	
T11-1	0.5-0.7	0.021	0.016	9	0.013	
T11-2	1.5-1.7	0.012	0.009	29	0.006	
T11-3	2.5-2.7	0.003	0.005	48	0.003	
T12-1	0.5-0.7	0.051	0.043	9	0.003	
T12-3	2.5-2.7	0.011	0.007	45	0.006	
T14-1	0.5-0.7	0.065	0.062	9	0.013	
T14-2	1.5-1.7	0.048	0.053	27	0.006	
T14-3	2.5-2.7	0.032	0.029	45	0.002	
T18-1	0.5-0.7	0.037	0.039	9	0.006	
T18-2	1.5-1.7	0.026	0.026	27	0.005	
T18-3	2.5-2.7	0.028	0.026	43	0.000	
T21-1	0.5-0.7	0.084	0.084	8	0.010	
T21-2	1.5-1.7	0.024	0.019	27	0.004	
T21-3	2.5-2.7	0.015	0.015	44	0.007	
T24-1	0.5-0.7	0.048	0.043	8	0.012	
T24-2	1.5-1.7	0.050	0.055	26	0.008	
T24-3	2.5-2.7	0.011	0.011	47	0.001	
T27-1	0.5-0.7	0.049	0.049	9	0.012	
T27-2	1.5-1.7	0.053	0.049	26	0.001	
T27-3	2.5-2.7	0.041	0.038	44	0.001	
T30-1	0.5-0.7	0.043	0.040	9	0.008	
T30-2	1.5-1.7	0.028	0.025	26	0.004	
T30-3	2.5-2.7	0.013	0.010	47	0.003	
T33-1	0.5-0.7	0.051	0.049	8	0.011	
T33-2	1.5-1.7	0.047	0.050	27	0.003	
T33-3	2.5-2.7	0.023	0.024	46	0.002	
T36-1	0.5-0.7	0.078	0.076	9	0.010	
T36-2	1.5-1.7	0.012	0.010	27	0.005	
T36-3	2.5-2.7	0.021	0.017	44	0.004	
T38-1	0.5-0.7	0.036	0.036	8	0.010	
T38-2	1.5-1.7	0.031	0.031	26	0.000	
T38-3	2.5-2.7	0.008	0.008	45	0.002	
T40-1	0.5-0.7	0.069	0.066	8	0.011	
T40-2	1.5-1.7	0.043	0.041	24	0.008	
T42-1	0.5-0.7	0.053	0.056	8	0.010	
T42-2	1.5-1.7	0.028	0.028	27	0.007	
T45-1	0.5-0.7	0.053	0.046	8	0.013	
T45-2	1.5-1.7	0.043	0.041	26	0.005	
T45-3	2.5-2.7	0.032	0.034	45	0.002	
T47-1	0.5-0.7	0.067	0.064	8	0.007	
T47-2	1.5-1.7	0.021	0.017	26	0.006	
T47-3	2.5-2.7	0.026	0.026	41	0.003	

## 5 数据分析

浸水后场地①粉土的地基承载力特征值约为浸水前的1/4 ~ 1/3, 浸水后承载力下降比较明显。

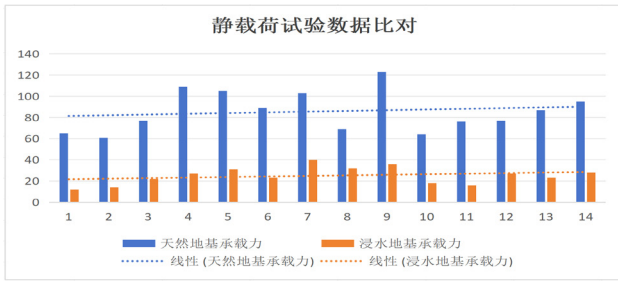


图 1

## 6 结论

针对浸水后承载力下降比较明显我们查阅了大量项目所在地相关资料, 尚未有人给出相关数据和验证, 为此我们进行了初步分析。试验区浸水后承载力下降比较明显的主要原因是黄土湿陷性和盐渍土溶陷性双重作用导致。

试验区黄土湿陷性总体分布为湿陷性中等, 由于黄土自然沉积过程中的物理化学等因素促使颗粒相互接触处产生了固化联结键, 具有一定的结构强度, 在其结构未被破坏前, 表现出压缩性低和强度高的特点, 不至于使其地基承载力偏小, 同时由于其特殊的地质环境条件, 沉积过程一般比较缓慢, 使得黄土颗粒间保持着高孔隙度, 尤其是处于上覆荷重不足的情况下, 黄土始终处于欠固结状态, 使得其地基承载力比一般粉土要偏低, 当黄土受水浸湿时, 结合水连接消失, 土中的水主要以自由水状态存在, 破坏了土粒之间的胶结物, 骨架强度随着降低, 土体在自重压力和附加压力作用下, 其结构迅速破坏, 土粒向大孔滑移, 粒间空隙减小, 从而导致大量的附加沉降。

试验区盐渍土溶陷性总体分布为溶陷性中等, 盐渍土厚度一般为 2 ~ 3m, 从现场可以明显的看到地表有一层白色薄层盐霜, 按照盐渍土的分布区域划分, 此类盐渍土属于内陆盐渍土(主要有水中水分蒸发后易溶盐聚集而成)。气候是引起本地区盐渍土的主要原因, 年降雨量少, 蒸发量很高, 在这种气候条件下, 土壤进行着强烈的蒸发, 含盐的地

下水不断随土壤毛细管上升, 水分蒸发, 盐分则聚积于土壤表层, 缺乏足够的水流将土壤表层的盐分带走, 致使土壤中盐分逐渐增多而形成盐霜、结皮和盐壳, 形成大面积盐渍土, 地形是促使本场地土壤积盐的另一个重要因素, 本地区处于塔里木盆地, 是一个封闭式盆地, 水和盐均无外流条件, 从天山含盐层带入的全部盐分均保留着盆地中, 场地地下水流速较慢, 沉积物为细颗粒土, 地下水水位较高, 加之受干旱气候影响, 高含盐量的地下水不断上升至地面, 随着蒸发将盐分累积于地表, 形成盐渍土。盐渍土在干燥状态时, 强度较高、承载力较大, 但在浸水状态下, 盐渍土中的易溶盐浸水浸泡后溶解、流失, 致使土体结构松散, 在土的饱和自重压力和附加压力作用下, 强度和承载力迅速降低。

## 7 结语

因笔者水平有限, 根据现有资料着重分析了项目所在地地基承载力浸水前后变化大小和引起变化的主要原因, 具体工程所在地地基承载力特征值浸水后下降至原来的1/4 ~ 1/3 仅是统计了 52 组数据得出的结果, 还有待于更多大量数据的进一步考证, 是否可以有相关软件来计算或模拟浸水前后承载力变化之间存在的关联; 承载力降低明显, 究竟是黄土湿陷性的影响大还是盐渍土的溶陷性影响大仍有待于进一步考证, 或者湿陷性溶陷性之间是否存在关联; 类似于既具有黄土湿陷性又具有盐渍土溶陷性的场地, 应该着重考虑湿陷性还是溶陷性。新疆本身具有湿陷性黄土和溶陷性盐渍土地域的特征, 但相关资料相对短缺, 对有志于新疆湿陷性黄土和溶陷性盐渍土研究的学者及来新疆工作的岩土人, 希望能有一定的参考价值。诚挚的感谢岳江和周二勤在野外现场环境条件十分恶劣的情况下坚持完成了所有试验, 感谢注册岩土工程师张芝栋对本文论述的指导, 感谢张月提供的室内土工试验成果, 在此祝你们在未来的道路上事业有成, 一帆风顺。

## 参考文献

- [1] 《新疆岩土工程技术研究》1998.08, 赵祖禄著。
- [2] 《湿陷性黄土载荷试验分析》2021年9月, 张长城, 丁冰, 刘彬著。
- [3] 《工程地质手册》(第五版)。