

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2018.05.015

徐州地区含砂姜黏土层渗透特性研究

耿培刚¹, 李志明¹, 郭 嫚²

(1. 徐州市城市轨道交通有限责任公司, 江苏 徐州 221000;

2. 上海元易勘测设计有限公司, 上海 201210)

摘 要: 徐州地区第⑤₃₋₄黏土层普遍含有数量不等的姜结石, 对土体性质(尤其是渗透性)产生较大差异。为了研究含砂姜黏土的渗透性, 以实际工程为依托, 通过现场全取芯试验、室内土工试验和现场抽水试验结果, 分析含砂姜黏土层的物理力学性质, 找出影响该土层渗透性的主要因素; 对比分析姜结石含量不同时, 确定该黏土层渗透系数的取值范围, 并分析强渗透性对工程的影响以及采取的工程措施。建议今后工程勘察中, 加强含砂姜黏土的室内颗分试验, 并做水文地质勘察, 查明含砂姜黏土的渗透性。

关键词: 含砂姜黏土; 物理力学性质; 渗透性

中图分类号: TU42

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2018)05-0082-05

Permeability Characteristics of Lime Concretion Clay in Xuzhou

GENG Peigang¹, LI Zhiming¹, GUO Man²

(1. Xuzhou Rail Transit Co., Ltd., Xuzhou, Jiangsu 221000, China;

2. Shanghai Yuanyi Survey and Design Co., Ltd., Shanghai 201210, China)

Abstract: The ⑤₃₋₄ clay layer in Xuzhou area generally contains different amounts of ginger stone, which results in heterogeneity in soil properties, especially permeability. In order to analyze the permeability of the lime concretion clay, based on actual engineering, the physical and mechanical properties of the lime concretion clay layer were analyzed and the main factors affecting the permeability of the soil layer were found out through the results of full core test, laboratory soil tests and field pumping test. Comparative analysis of the different content of lime concretion, the value range of the permeability coefficient of the clay layer was determined, and the influence of strong permeability on engineering as well as corresponding engineering measures to be taken were analyzed. It is suggested that further engineering investigation should be carried out to strengthen indoor particle separation experiment of lime concretion clay, and to do hydrogeological reconnaissance to find out the permeability of lime concretion clay.

Keywords: lime concretion clay; physical and mechanical properties; permeability

徐州地区隶属徐淮平原区, 该地区土层普遍分布特殊含砂姜黏土层(俗称:老黏土), 黏土中含有不均等的钙质结核, 简称含砂姜黏土(学名:含钙质结核土), 土层工程地质命名为第⑤₃₋₄含砂姜黏土层^[1]。根据以往的工程经验认为该层为隔水层, 为一种不透水层。直到徐州城市轨道交通1、2、3号线建设, 由于开挖基坑较深, 当开挖到该层土时发现部分工点出现透水甚至富水现象。左德祥^[2]对徐州含砂姜黏土的相关研究表明, 含砂姜黏土具有良好的透水性, 钙质结核的含量对于黏土的性状及性质产

生很大的影响。王小龙等^[3]通过对徐州地区钙质结核黏土工程性质的研究, 认为钙质结核土一般具有结构性、非均质性和膨胀性并对其膨胀性、强度变化特征进行了研究。汪志涛^[4]对淮北平原的钙质结核的渗透性进行研究, 得出钙质结核黏土比普通黏土层渗透性好, 且出水量较大。因此, 含砂姜黏土属于特殊的黏性土, 不能将该层简单的当作黏土层考虑。为了降低地铁施工中水对基坑开挖产生的风险, 需对该层土体的渗透性作进一步研究。

土体的渗透系数综合反映了水在土体孔隙中流

动的难易程度,受土体性质^[5](粒径大小与级配、孔隙比、结构等)的影响。本文以徐州地区 2 号线二环北路站为依托,通过现场全取芯试验和室内土工试验研究土体的性质,通过对比室内土工试验与现场抽水试验得到含砂姜黏土的渗透系数,最终得出适于徐州地区第⑤₃₋₄层含砂姜黏土的渗透系数范围。

1 徐州地区含砂姜黏土物理性质研究

在徐州 2 号线二环北路站南北端头井处分别做一组全取芯试验,孔号 1#、2#,取样间距 0.5 m,取样深度 20 m~38 m。通过室内物理性质试验、渗透试验等得出土体性质,得出渗透系数的主要影响因素。

1.1 试验场地工程地质分层

试验场地工程地质分层见表 1。

表 1 试验场地工程地质分层表

层号	土层命名	土层厚度/m	层底埋深/m
①	杂填土	2.0	2.0
② ₂₋₁	淤泥质黏土	2.6	4.6
② ₃₋₃	黏土	4.3	8.9
② ₃₋₄	黏土	7.4	16.3
② ₅₋₁	黏质粉土	2.0	18.3
② ₅₋₂	黏质粉土	1.6	19.9
⑤ ₃₋₄	黏土	16.5	36.4

1.2 含砂姜黏土粒径大小和级配

根据颗粒分析二环北路站 2 个全取芯土样各粒径含量,分别取相同粒组的平均值,则各粒组含量如图 1 所示;各组粒径所占百分比如表 2 所示(颗粒粒径≥0.075 mm 的姜结石)。经统计分析可知第⑤₃₋₄含砂姜黏土层中黏土约占整个土样的 62.6%~73.9%,平均含量 68.1%;姜结石含量分别在 37.4%~26.1%,平均含量 31.9%,约占整个土样的 1/3;姜结石粒径大小不一,含砂姜黏土为不均匀土。

表 2 颗粒组成百分比

粒径/mm	>10	10~5	5~2	2~0.5	0.5~0.25	0.25~0.075	0.075~0.05
含量/%		9.9	5.4	6.5	3.4	6.6	68.1

1.3 孔隙比和饱和度

对土样的孔隙比和饱和度分析,如表 3 所示:徐州地区含砂姜黏土孔隙比 e 变化范围 0.54~0.91,平均值 0.69;饱和度 S_r 变化范围在 81%~100%,平均值 93.2%,则第⑤₃₋₄含砂姜黏土是高饱和度的黏性土。

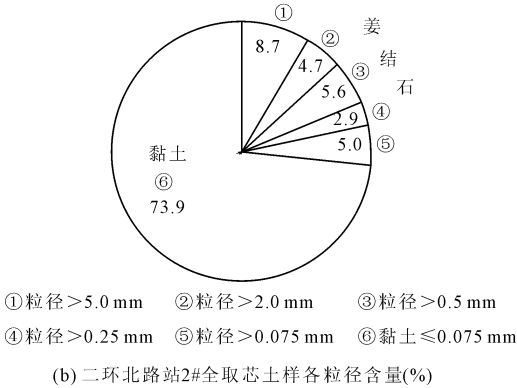
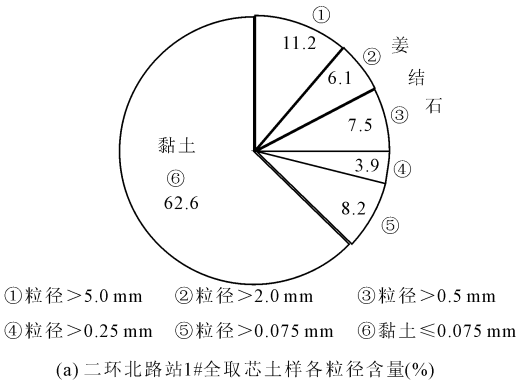


图 1 全取芯土样中黏土和姜结石所占比重

表 3 含砂姜黏土物理性质统计

站点	统计项目	孔隙比 e	饱和度 $S_r/\%$	液限 $W_L/\%$	塑限 $W_P/\%$	土性命名
二环北路站	最大值	0.54	81.0	31.4	17.6	黏土
	最小值	0.91	100.0	55.6	27.4	黏土
	平均值	0.69	93.2	43.6	22.3	黏土

1.4 含砂姜黏土的结构特性

进一步整理和收集徐州地铁 2 号线沿线勘察报告和相关资料,⑤₃₋₄含砂姜黏土层矿物组成以伊/混层矿物和蒙脱石为主,其次含有伊利石、高岭石、埃洛石、绿泥石等。由于伊利石有明显的吸水膨胀、失水收缩特性,根据《膨胀土地区建筑技术规范》^[6](GB 50112—2013)、《岩土工程勘察规范》^[7](GB 50021—2001),膨胀率>40%为膨胀土。徐州地区砂姜黏土的自由膨胀率分别在 32%~69%之间。按膨胀性指标对砂姜黏土分类(自由膨胀率小于 40%为非膨胀土),可知含砂姜黏土属于弱膨胀的范围,其膨胀性差异较大。

因此,徐州地区含砂姜黏土属于弱膨胀土,从收缩性来讲,含砂姜黏土具有一定的收缩性。因而在施工和设计中要注意含砂姜黏土失水后发生收缩,破坏土的结构,降低含砂姜黏土力学强度的影响。

1.5 渗透性影响因素分析

对渗透性影响因素进行分析,以下三个方面为主要影响因素:

(1) 粒径大小和级配。影响土体渗透系数的主要因素之一为粒径大小和级配,由于水体通过土体必定与土体孔隙直径的大小相关,含砂姜黏土的姜结石与黏性土的结合处必然存在孔隙,则为水流提供必要的路径,对渗透系数产生巨大影响^[8]。

(2) 孔隙比^[9]。影响土体渗透性的另一个主要因素为孔隙比。有效孔隙比是土体中孔隙体积多少直接量度,在实际渗流中代表了实际过水体积的大小。

(3) 土体结构。从宏观上来看,含砂姜黏土中含约 1/3 的姜结石,含砂姜黏土又有弱膨胀性,且失水后易发生收缩,吸水膨胀,在长期循环作用下,土体结构被重塑,土体内部会出现孔隙,也增加孔隙体积,影响土体的渗透性^[10-11]。

2 含砂姜黏土的渗透性研究

渗透系数代表土渗透性强弱的定量指标,是进行渗流计算时必须用到的基本参数。理论上,同地区同类型的土,无论是室内试验还是现场试验,得出的渗透系数差别不大。而徐州地区存在的区域性特殊土含砂姜黏土却出现反常现象:当姜结石含量较多时,室内试验与现场试验得出的渗透系数相差悬殊,为了研究清楚该层砂姜黏土的渗透性,本文对比分析这两种方法得到的该层土渗透系数范围。

2.1 室内土工试验

本文除在二环北路站做全取芯试验之外,还在物资市场站、苏堤北路站、杏山子站、奔腾大道站分别做了全取芯试验,具体站点位置分布如图 2 所示。

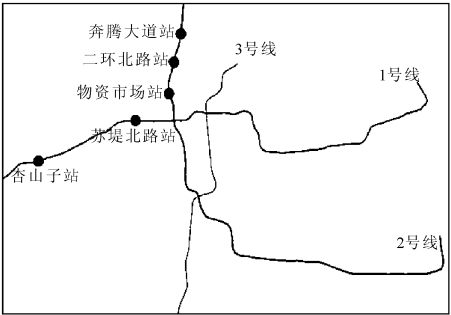


图 2 全取芯站点位置图

根据土工试验规范,室内渗透试验是利用 4 cm 的环刀取土样,土样经过饱和后,用渗透仪测定土的渗透性。则渗透试验计算结果如表 4 所示。由表 4

可知,土的渗透系数大部分数量级为 10^{-6} cm/s ~ 10^{-8} cm/s,研究区域土体的渗透系数属于弱透水的黏土范畴。

表 4 室内渗透试验统计表

站点	土样 编号	渗透系数/(cm·s ⁻¹)		土的 命名
		垂直 K_v	水平 K_h	
二环北路	1-1	1.77×10^{-7}	2.32×10^{-7}	黏土
	1-2	3.87×10^{-7}	4.59×10^{-7}	黏土
	1-3	1.43×10^{-7}	1.79×10^{-7}	黏土
物资市场站	2-1	2.43×10^{-7}	3.16×10^{-7}	黏土
	2-2	1.16×10^{-7}	2.17×10^{-7}	黏土
	2-3	1.31×10^{-7}	1.79×10^{-7}	黏土
苏堤北路站	3-1	1.64×10^{-7}	1.27×10^{-7}	黏土
	3-2	7.51×10^{-8}	9.72×10^{-8}	黏土
	3-3	1.90×10^{-7}	1.77×10^{-7}	黏土
杏山子站	4-1	1.44×10^{-7}	2.41×10^{-6}	黏土
	4-2	1.19×10^{-7}	3.49×10^{-7}	黏土
	4-3	2.45×10^{-7}	3.45×10^{-7}	黏土
奔腾大道站	4-1	2.15×10^{-7}	2.39×10^{-7}	黏土
	4-2	1.77×10^{-7}	2.66×10^{-7}	黏土
	4-3	2.52×10^{-7}	3.41×10^{-7}	黏土

2.2 二环北路站现场抽水试验

在徐州地铁 2 号线二环北路站布置抽水孔,现场钻孔成井,在井中抽水,量测各观测井的水头高度和流量,利用 AquiferTest 软件中泰斯法、泰斯水位恢复法对观测数据进行渗透系数求解。

2.2.1 试验井布孔方案

在二环北路站基坑内布置 1 口抽水井 J7 井,选取 5 口观测井。其中 J4、J6、G21 距离抽水井分别为 58.7 m、30.0 m、12.5 m,设计井深为 35.0 m,试验井过滤器位于 24.0 m ~ 34.0 m;JG3 深层第⑤₃₋₄层承压含水层试验井,距离抽水井 24.8 m,设计井深为 40.0 m,试验井过滤器位于 34.0 m ~ 39.0 m;H9 为浅部第⑤₃₋₄层承压含水层试验井,设计井深为 26.0 m。各井的平面布置图如图 3 所示。

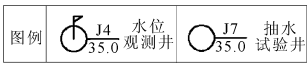
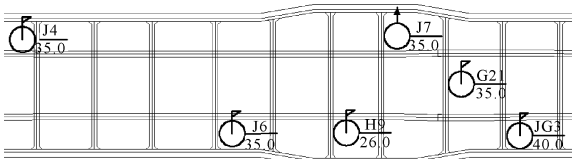


图 3 抽水试验井平面布置图

2.2.2 求解原理

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 s}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial s}{\partial r} = \frac{\mu^*}{T} \frac{\partial s}{\partial t}, t > 0, 0 < r < \infty \\ s(r, 0) = 0, 0 < r < \infty \\ s(\infty, t) = 0, \frac{\partial s}{\partial r} \Big|_{r \rightarrow \infty} = 0, t > 0 \\ \lim_{r \rightarrow 0} r \frac{\partial s}{\partial r} = -\frac{Q}{2\pi T} \end{cases} \quad (1)$$

由此得出泰斯公式:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_{\frac{r^2}{4at}}^{\infty} \frac{e^{-y}}{r^2} \frac{r^2}{4ay^2} dy = \frac{Q}{4\pi T} \int_{\mu}^{\infty} \frac{e^{-y}}{y} dy \quad (2)$$

其中: $\mu = \frac{r^2}{4at} = \frac{r^2 \mu^*}{4Tt}$ 用 $W(\mu) = \int_{\mu}^{\infty} \frac{e^{-y}}{y} dy$ 代替上式指数积分得到 $s = \frac{Q}{4\pi T} W(\mu)$

为计算方便,将 $W(\mu)$ 展开成级数形式:

$$W(\mu) = \int_{\mu}^{\infty} \frac{e^{-y}}{y} dy = -0.577216 - \ln \mu + \mu - \sum_{n=2}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} \frac{\mu^n}{n!} \quad (3)$$

得: $T = \frac{2.3Q}{4\pi \Delta s}, S = \frac{2.25Tt_0}{r^2} \quad (4)$

泰斯水位恢复法公式:

$$s' = \frac{Q}{4\pi T} [W(u) - W(u')] = \frac{Q}{4\pi T} \left(\ln \frac{4Tt}{r^2 S} - \ln \frac{4Tt'}{r^2 S'} \right) \quad (5)$$

2.2.3 抽水试验水位降深与时间的关系及求参结果

根据图 4 各观测井降深与时间的关系曲线图,利用 AquiferTest 软件,可得到抽水试验时各观测井的渗透系数(即泰斯曲线对应渗透系数)、水位恢复时各观测井的渗透系数(即泰斯水位恢复法对应渗透系数),具体结果如表 5 所示。

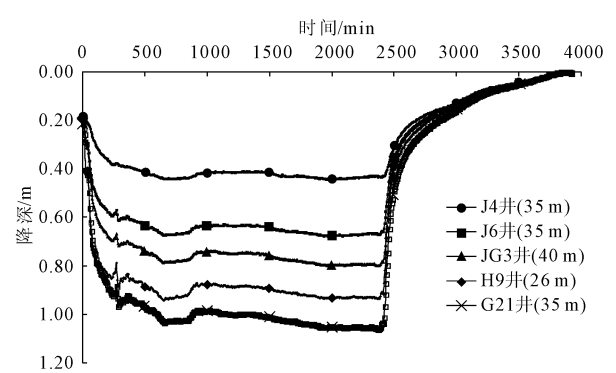


图 4 抽水试验时各观测井降深与时间关系曲线

2.3 对比分析室内试验和现场试验

对比表 4 和表 5 的渗透系数,可知室内土工试

表 5 各观测井渗透系数统计表

层位	抽水井 编号	观测井 编号	渗透系数/(cm·s ⁻¹)	
			泰斯曲线法	泰斯恢复法
⑤ ₃₋₄	J7	J4	2.80 × 10 ⁻³	—
		J6	2.50 × 10 ⁻³	2.1 × 10 ⁻³
		JG3	1.90 × 10 ⁻³	1.7 × 10 ⁻³
		G21	1.05 × 10 ⁻³	1.3 × 10 ⁻³
		H9	2.10 × 10 ⁻³	1.6 × 10 ⁻³

验所得的渗透系数(10⁻⁶ cm/s ~ 10⁻⁸ cm/s)与现场试验(10⁻³ cm/s)所得结果相差 10³ ~ 10⁵ 个数量级,差别较大。在实际工程建设中,渗透系数的取值主要依据以下几点考虑:

(1) 试验类型优缺点^[12-13]。室内试验的准确性受土的扰动、土体结构、颗粒级配、密度、温度以及仪器的精度等因素影响较大,精确性有待确定。现场试验法消除了土层结构及分布因素的影响,结果较为准确。

(2) 含砂姜黏土的结构性^[14]。由于姜结石粒径较大,室内试验为了减少尺寸效应的影响^[15],会选择姜结石含量少的黏土样做渗透试验,因此忽略了姜结石对渗透性的影响。根据全取芯试验颗粒分析表明,姜结石含量约占整个土样的 1/3,所占比重较大,则不应忽略姜结石对渗透性的影响。当姜结石含量较多时,现场抽水试验可在不破坏土层结构的情况下得出的渗透系数,所得结果较准确。

根据现场抽水试验,表 4 现场抽水试验的渗透系数更接近实际情况,渗透系数范围为(1 ~ 5) × 10⁻³ cm/s。

3 渗透系数差异对工程的影响及相关措施

从上述试验结果可知,姜结石含量不等时,含砂姜黏土渗透系数差异较大,为 10⁻³ ~ 10⁻⁵ 的数量级,这么大的差异将会对工程产生巨大的影响,具体如下:

渗透系数差异对工程的影响:

(1) 由于含砂姜黏土的渗透性有较大差异,工程施工时,容易造成对渗透系数判别不准,当控制不好承压水时,易造成基坑涌水现象,影响工程工期,增加工程成本。

(2) 由于含砂姜黏土所含承压水的量不能确定,做不到按需降水,降水过多,会引起周边环境不均匀沉降、周边建筑出现裂缝等现象;降水过少,控

制不住承压水,会造成基坑漏水、漏浆。

(3) 承压水处理不当,会延误工期,甚至停工整顿,间接增加工程成本。

需要采取的相关措施:

(1) 对含砂姜黏土进行室内颗分试验。

(2) 对姜结石含量高的地区,建议做水文地质勘察,探明含砂姜黏土承压含水层渗透性,做到按需降水,减少承压水对工程建设的影响。

4 结 论

(1) 含砂姜黏土的姜结石约占整个土样的 1/3,属于不均匀不连续性土。

(2) 影响含砂姜黏土渗透性的主要因素为颗粒级配、孔隙比,而姜结石的含量对砂姜黏土的渗透性具有重要影响。

(3) 徐州地区⑤₃₋₄层含砂姜黏土室内试验渗透系数只能代表黏土的性质;对含较多姜结石的含砂姜黏土的渗透系数以现场试验为主。

(4) 当姜结石含量在 3%~5%时,含砂姜黏土的渗透系数与室内试验的渗透系数相当,可作为不含姜结石或含量较少时含砂姜黏土的渗透系数;当姜结石含量约占整个土样的 1/3 时,含砂姜黏土的渗透系数为 $(1 \sim 5) \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 。

(5) 加强含砂姜黏土的室内颗分试验,并做水文地质勘察,查明含砂姜黏土的渗透性。在工程施工方面做到按需降水。

参考文献:

- [1] 蓝天鹏,黄兴怀,熊福才,等.钙质结核土微观结构分形特征研究[J].工程与建设,2015,29(4):552-554.
- [2] 左德祥.含砂姜黏土赋水性及其对地铁施工的影响

[J].工程勘察,2017(2):37-40.

- [3] 王小龙,任亚群,任治军.钙质结核黏土地基工程性质研究[J].勘察科学技术,2014(S1):66-69.
- [4] 汪志涛.安徽某电厂含钙质结核黏土渗透特性的试验研究[J].中国水运,2015,15(5):309-310.
- [5] 李广信,张丙印,于玉贞.土力学[M].2版.北京:清华大学出版社,1994:46-78.
- [6] 膨胀土地区建筑技术规范:GB 50112—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [7] 岩土工程勘察规范:GB 50021—2001[S].北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [8] 刘振宇,冯文凯,谭欢,等.全、强风化砂岩填料粗细比对渗透系数影响研究[J].水利与建筑工程学报,2016,14(5):26-29.
- [9] 庄心善,郑飞,陶高梁,等.饱和黏性土孔隙性对渗透系数的影响研究[J].湖北工业大学学报,2013,28(5):93-95.
- [10] 袁俊平,丁巍,蔺彦玲,等.浸水历时对裂隙膨胀土渗透性的影响[J].水利与建筑工程学报,2014,12(1):83-86.
- [11] 曾玲玲,蔡超.结构性对黏性土渗透性状的影响研究[J].福建工程学院学报,2012,10(3):230-234.
- [12] 叶正强,李爱群,杨国华,等.黏性土的渗透规律性研究[J].东南大学学报,1999,29(5):121-125.
- [13] 余亚男,余飞,戴张俊,等.淮北平原典型地质体成因规律及工程影响分析[J].科学技术与工程,2012,12(5):1001-1006.
- [14] 施国军,吴道祥,徐冬生,等.淮北平原钙质结核土的结构类型和成因分析[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2010,33(11):1681-1693.
- [15] 蓝天鹏,吴道祥,杨远杰,等.钙质结核土及其大型直剪试验研究[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2012,35(2):257-261.