

酸碱污染土压缩特性的室内试验研究

朱春鹏, 刘汉龙, 张晓璐

(河海大学岩土工程水利部重点实验室, 岩土工程科学研究所, 江苏 南京 210098)

摘 要: 随着我国工业化进程加速, 工业企业对地基土污染问题已成为较为严重的环境岩土工程问题。酸碱污染使地基土改性。为此, 通过人工方法制备了 4 种不同浓度的酸、碱污染土, 对不同浓度酸碱污染土的压缩变形性质研究。试验结果表明, 随着污染浓度的增加酸碱污染土的压缩系数增大, 回弹指数也增大, 而前期固结压力是减小的。碱污染土的压缩系数变化比酸污染土大。并对影响酸碱污染土压缩性的各种因素进行分析研究, 包括土污染前后的粒度分析、塑性指数、含水率分析以及孔隙比。同时, 研究了土在污染前后压缩性质变化对地基土的勘察评价造成的影响。

关键词: 压缩试验; 压缩曲线; 回弹指数; 压缩系数; 前期固结压力

中图分类号: TU441

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2008)10-1477-07

作者简介: 朱春鹏(1979-), 男, 江苏扬州人, 博士研究生, 主要从事环境岩土工程方面的研究。E-mail: zcpeng@163.com。

Laboratory tests on compression characteristics of soil polluted by acid and alkali

ZHU Chun-peng, LIU Han-long, ZHANG Xiao-lu

(Key Laboratory for Geotechnical Engineering of the Ministry of Water Resources, Institute of Geotechnical Engineering,

Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: With the process of accelerative industrialization in China, the polluted foundation soil by industrial organizations had become serious environmental geotechnical problems. The properties of foundation soil have been changed by acid and alkali pollution. Soil specimens polluted by acid and alkali of 4 different concentration were artificially prepared. The compressible and deformable properties of polluted soil were studied. It was concluded that the rebound index, coefficient of compressibility and pre-consolidation pressure of polluted soil increased with the increase of the concentration, and the variation of the compression coefficient of soil polluted by acid was greater than that by alkali. All kinds of factors influencing the compressibility of polluted soil were analyzed, including grain-size distribution, plasticity index, moisture content and void ratio. The influence of variation of the compressibility of soil before and after pollution on the evaluation of the polluted foundation soil was studied.

Key words: compression test; compression curve; rebound index; coefficient of compressibility; pre-consolidation pressure

0 引 言

随着我国工业化进程不断加快, 某些对环境造成较为严重污染的制造业仍在国民经济中占有相当比重, 使的环境遭到相当严重的破坏, 这其中工业企业对地基土污染问题就是较为严重的环境岩土工程问题。地基土的污染类型多样, 现有的污染土的工程事例报道和造成的建构筑物破坏的事故多集中在酸碱造成的污染。例如, 某化工厂硫酸库主体工程为 6 个贮酸罐, 建成使用后因酸罐地基长期受酸性物质的侵蚀, 地基基础发生变形, 并不断加剧, 造成输酸管道漏酸, 并影响到正常生产。在这期间, 对汇水槽地基进行了换土工程处理, 但未从根本上解决贮酸罐地基的变形

问题。因此, 研究酸碱污染土的工程性质, 探讨酸碱污染土的污染机理和勘察评价, 因地制宜采取整治措施, 对稳定建设工程质量, 保护环境具有重要意义^[1]。前人也对酸、碱污染土的压缩性质也做过一些试验研究, 如傅世法等^[2]、李琦等^[3]和李相然等^[4], 主要研究酸、碱污染对土压缩性大小的影响, 并未对影响酸、碱污染土压缩性因素进行较全面的分析, 而对酸、碱污染土腐蚀机理的研究也很少涉及。有的也涉及了, 如徐永利等^[5]、路世豹等^[6]和李相然等^[4], 但通常只给出了宏观上的机理解释, 或者以几个化学反应方程式

说明土的腐蚀机理。现有的研究基本都是针对具体的工程,以岩土工程勘察评价为目的。

本文通过人工制备的酸碱污染土,研究了不同浓度酸碱污染土的压缩变形性质,以及对影响酸碱污染土压缩性的各种因素进行分析研究。同时,研究了土在污染前后压缩性质变化对地基土的勘察评价造成的影响。

1 酸碱污染土的人工制备

1.1 土样的选取

试验用的土样取自于宁波市绕城公路的施工工地,原状土样的类型是淤泥质黏土,含少量有机质,取土深度约为 2 m。

1.2 实验思路与方法

实验思路是通过土与不同的酸碱溶液反应后,把土样放入压缩仪中测定土的压缩性指标,研究地基土污染后压缩性质的变化规律。实验在常温常压下进行的,先把土置于不同浓度的酸碱溶液中浸泡然后测定土压缩性指标,再进行对比分析研究。

实验中配置的酸碱溶液:酸溶液为 HCl 浓度分别为 1%, 4%, 8%, 12%; 碱溶液为 NaOH 浓度为 4%, 8%, 12%, 16%。

具体实验方案及步骤:原状样用取土器取出,用 30 cm×2 cm 规格的环刀切成试样后,环刀两端加滤纸用透水石封盖,放置于配好的溶液中浸泡,浸泡时间为 7 d。

2 室内压缩试验研究

2.1 压缩曲线分析

土压缩曲线的形状与土的物质组成、结构状态以及受荷历史有关。不同浓度的酸污染土和碱污染土的压缩曲线见图 1,从图中可见,在第一级荷重 0~25 kPa 时,酸碱污染土的压缩量都比原状土的压缩量大,在图中表现为酸碱污染土的压缩曲线斜率比原状土的陡,且随着酸碱浓度的增加曲线斜率是不断增大的,造成这样的原因是:原状土在受到第一级较轻荷重的作用下,土体的压缩变形主要是由于土体孔隙体积减小所致,土结构连接并未发生破坏,土结构主要发生弹性变形。此时原状土的压缩变形主要以弹性变形为主^[7]。

对于酸碱污染土,由于在受第一级荷重作用前土已经受到酸碱污染,导致土中成分发生变化,土中的胶体受到腐蚀,土结构连接减弱甚至丧失。因而酸碱污染土在第一级较轻荷重作用下的压缩变形除了土体中孔隙水排除所产生的弹性变形外还包括土结构连接

发生破坏和变位产生的塑性变形,这就与原状土的压缩变形有了明显的不同^[4]。因此,污染土在第一级荷重 0~25 kPa 时的压缩变形量要比原状土的大,反映在曲线上就是酸碱污染土的压缩曲线斜率比原状土的陡。

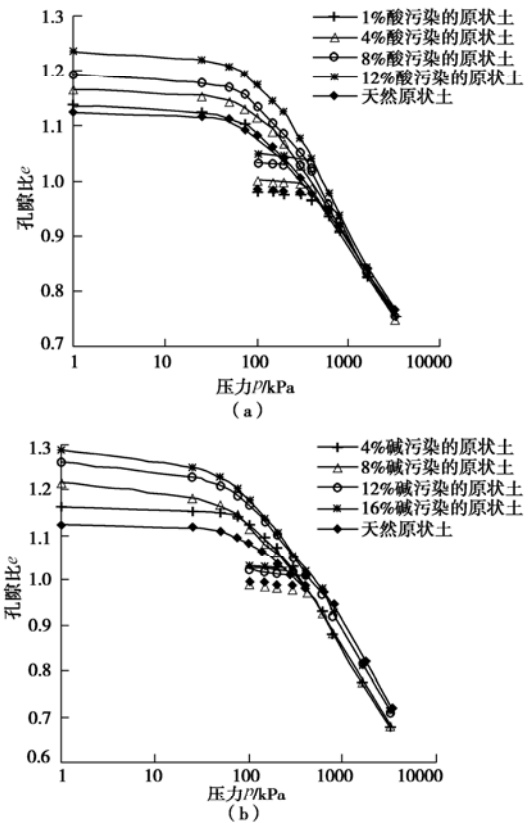


图 1 酸碱污染土的压缩回弹曲线

Fig. 1 Compression and rebound curves of polluted soils

此外,从上图还可发现,酸碱污染土的初始孔隙比 e_0 都比原状土的大,且随着酸碱浓度的增加污染土的初始空隙比也是增大的,具体见图 2 所示。由图可见,碱污染比酸污染更能使原状土的孔隙比增加。产生这样的原因:当土受到酸碱污染时,通常不考虑原生矿物包括长石、云母、辉石等(除原生碳酸岩矿物外)与酸碱的作用。也不考虑黏土矿物与酸碱的作用,因为次生矿物中的黏土矿物通常在自然界也较稳定,难以与酸碱发生强烈反应,所以主要考虑土中的各种胶体、可溶性盐和游离氧化物与酸碱发生的作用。

酸污染土孔隙比的增加主要就是由于土中的各种胶体、可溶性盐以及游离氧化物被酸溶蚀所致,且随着酸浓度的增大这种溶蚀也增大,污染土的孔隙比也增大。对于碱污染土,一方面由于土中的各种胶体、可溶性盐以及游离氧化物被碱溶蚀导致土的孔隙比增大,另一方面还因为随着碱浓度的增大,碱污染土溶液中的 pH 值也愈大,与黏粒中的矿物包括次生二氧化硅、游离氧化物、黏土矿物的等电 pH 值差值也愈

大, 则黏粒的热力学电位愈大, 电动电位也愈大, 黏粒表面的负电荷也愈大, 同时溶液中大量 Na^+ 进入固定层和扩散层, 使得固定层和扩散层变厚使得弱结合水增加, 削弱了粒间的连接力, 增大了粒间距离, 从而使土体积膨胀, 土体膨胀后密度变小, 也使得土的孔隙比增大, 且孔隙比的增大随着碱浓度的增加, 土体膨胀的增加而增大^[8]。所以碱污染比酸污染更能使原状土的孔隙比增加。

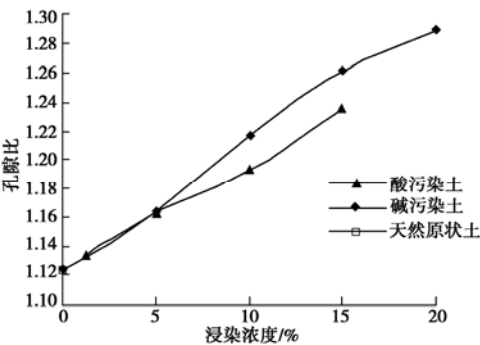


图 2 酸碱污染土的孔隙比与酸碱浓度的关系

Fig. 2 Relationship between void ratio of polluted soils and concentration of acid and alkali

2.2 压缩试验的指标分析

(1) 压缩系数 a_v

根据室内压缩实验, 由压缩曲线可得到表示土压缩性大小的指标包括压缩系数 a_v 、压缩模量 E_s 、压缩指数 C_c 、回弹指数 C_s 等, 而压缩系数是表示土压缩性大小的主要指标。不同浓度酸碱污染土的压缩系数 a_{1-2} 见图 3。对图中的曲线用 $y = a'_{1-2} \exp(ax/(x^b + c))$ 拟合。

酸污染土:

$$y = a'_{1-2} \exp(0.371x/(x^{1.558} + 0.0627)),$$
$$r = 0.988。$$

碱污染土:

$$y = a'_{1-2} \exp(0.4264x/(x^{0.9229} + 0.074)),$$
$$r = 0.995。$$

其中 x 表示浓度; y 表示污染后土的压缩系数 a_{1-2} ; a'_{1-2} 表示原状土的压缩系数, $a'_{1-2} = 0.41$ 。

由图 3 可见, 随着酸碱浓度的增加土的压缩系数是不断增大, 且碱污染比酸污染更能使土的压缩系数增大, 也就是碱污染土比酸污染土的压缩性强。对于被酸污染的土, 由于土中的各种胶体、可溶性盐和游离氧化物被酸溶蚀, 孔隙比增大, 土结构连接被削弱, 使得土粒在外力作用下更容易发生位移, 孔隙体积减少的很快, 因而土的压缩性比原状土的大。但对于碱污染土, 碱溶蚀土中的各种胶体要比酸弱, 土结构连

接削弱的也较酸污染土少, 土的压缩性应比比酸污染土小才对, 事实并非这样, 还有个重要的原因是碱溶液中大量的 Na^+ 进扩散层, 使得弱结合水增加, 削弱了粒间的结构连接。土粒间的结构连接在碱溶液的两方面作用下得到了很大的削弱, 因此碱污染土比酸污染土的压缩性强。

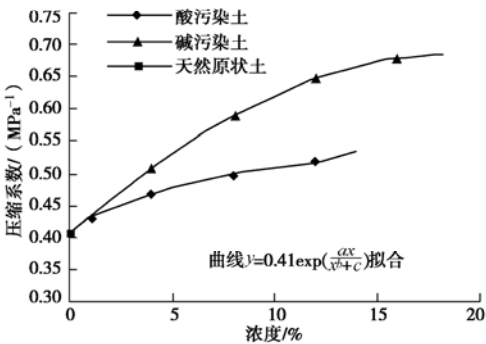


图 3 酸碱污染土的压缩系数与酸碱浓度的关系

Fig. 3 Relationship between coefficient of compressibility of polluted soils and concentration of acid and alkali

由于酸碱污染土的压缩性都比原状土强, 所以在勘察评价中应注意在同一场地被污染的地区与未被污染的地区压缩性可有比较明显的差异, 可使得建筑物产生较大的差异沉降导致建筑物开裂甚至破坏。如本试验中原状土为中等压缩性土, 而污染后即成为高压缩性土了。

此外, 也要注意区分酸污染土与碱污染土压缩性增大的差异, 如在实际中, 在已建建筑物后土中发生污染, 往往是酸污染导致建筑物产生差异沉降导致建筑物开裂以至破坏, 而碱污染却较少发生。其原因在于, 土受到碱污染后, 由于在上覆建筑物荷载压力的作用下, 土体积基本没有膨胀, 粒间的结构连接也较少的削弱, 此时只是土中的胶体被溶蚀而使得压缩性变强, 但这与酸污染导致土压缩性变强相比较而言是比较弱的了, 因而多是酸污染土容易发生差异沉降破坏。

(2) 压缩模量 E_s

不同浓度酸碱污染土的压缩模量见图 4。由图可知, 酸碱污染土的压缩模量都比原状土小, 且随着浓度的增加, 碱污染土压缩模量的减小比酸污染土的大。由公式 $E_s = (1 + e_0)/a_v$ 可知, 压缩模量 E_s 除了与压缩系数 a_v 有关, 还与土的初始孔隙比 e_0 有关。在实际运用压缩性指标进行污染土的计算时, 建议采用压缩模量或体积压缩系数这个指标, 因为压缩模量即考虑了污染土压缩系数的变化, 也考虑了初始孔隙比的变化, 较为全面。

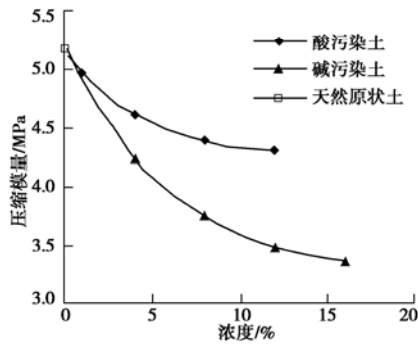


图4 酸碱污染土的压缩模量与酸碱浓度的关系

Fig. 4 Relationship between modulus of compressibility of polluted soils and concentration of acid and alkali

(3) 回弹指数 C_s

不同浓度酸碱污染土的回弹指数值见图 5。从图可见, 酸碱污染土的回弹指数值都比原状土的高, 且酸污染土的回弹指数值都比同浓度的碱污染土的回弹指数值高。产生的原因: 在较大的外荷载作用下, 土颗粒接触点处的结合水膜变薄, 一部分扩散层中的水从颗粒接触点处被挤出, 使得弱结合水层中水分子密度和阳离子浓度增高, 且酸污染土的弱结合水层中阳离子浓度增高比碱污染土的大, 而碱污染土的弱结合水层中阳离子浓度增高比原状土的大。在卸荷过程中, 接触点处的压力减小, 被挤出的水重新吸入土粒间, 使已变薄的弱结合水膜又重新恢复变厚, 因而使土具有弹性变形即回弹。土中的弱结合水层中水分子密度和阳离子浓度越大其吸入的水分越多, 弱结合水膜变的愈厚, 土具有的回弹变形愈大, 故酸碱污染土的回弹指数值都比原状土的高, 且随着酸碱浓度的增大污染土的回弹指数值也增大^[9]。

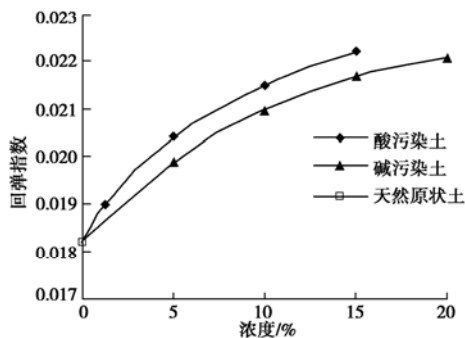


图5 酸碱污染土的回弹指数与酸碱浓度的关系

Fig. 5 Relationship between rebound index of polluted soils and concentration of acid and alkali

2.3 土前期固结压力的研究

前期固结压力是指天然土层在历史上所经受的包括自重压力和其他荷载作用形成的最大竖向有效固结

压力。在固结压力的作用下可以使土层压密, 颗粒之间的接触点增多, 结构的接触连接强度增加, 当卸荷再加荷到固结压力时, 已固化的结构连接强度不会被破坏, 而颗粒间的连接强度, 不仅是在物理压密过程中产生的, 也可以是在土结构形成过程中经物理—化学或化学作用以及干湿冷热交替的环境作用下缓慢产生的^[10]。所以前期固结压力 p_c (也有人称之为结构屈服压力 σ_k) 由两部分组成, 一是土层过去历史上曾受的最大固结压力 p'_c , 另一为土的结构连接力 p_s , 即

$$p_c = p'_c + p_s \quad (1)$$

本试验所用土样取土深度约为 2 m, 但由于所取土样位于宁波软土的一个较薄的硬壳层上, 土的工程性质较好, 结构强度较大。酸碱污染土和原状土的前期固结压力见表 1。可见, 随着酸碱浓度的增大, 其前期固结压力是不断减小的。

土受到酸碱污染后, 使得土的结构连接减弱甚至破坏, 已经固化的结构连接强度遭到削弱, 削弱的颗粒间的连接强度不仅包括物理压密过程中产生的, 而且也包括在化学作用及环境作用下产生的, 也就是酸碱污染使得土的最大固结压力 p'_c 和结构连接力 p_s 都减小。本试验用的土为结构强度较大的土, 可认为酸碱污染使最大固结压力 p'_c 的减小很少, 可忽略。此时, $p'_c = \sigma_{sz}$, σ_{sz} 为上覆土层的自重压力。由式 (1), 可得到结构连接力 p_s 的值。土结构连接力 p_s 与酸碱浓度的关系见图 6。由图可见, 随着酸碱浓度的增加, 土的结构连接力是不断减小的, 并且酸污染比碱污染更容易使土结构连接力减小。

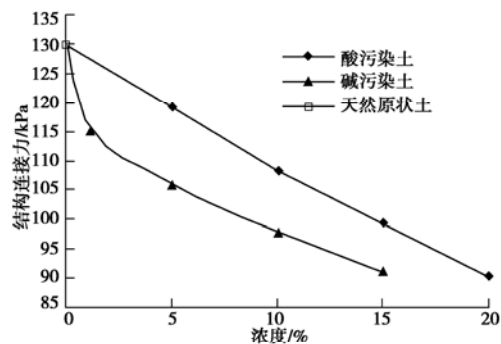


图6 污染土的结构连接力与污染浓度的关系

Fig. 6 Relationship between the structural strength of polluted soils and concentration of acid and alkali

同时, 也应注意到, 当原状土为正常固结土时, 即 $p_s = 0$, $p_c = p'_c = \sigma_{sz}$ 。此时, 土受到酸碱污染后, 土受到的最大固结压力是 p'_c 减小的, 也就是土污染后的前期固结压力 p'_c 减小了, 即 $p'_c < p_c$, 而污染后的上覆土层压力 $\sigma_{sz}^* \approx \sigma_{sz}$, 故 $OCR = p'_c / \sigma_{sz}^* \approx p'_c / \sigma_{sz} <$

表 1 原状土和不同酸碱浓度污染土的前期固结压力

Table 1 Pre-consolidation pressure for various polluted soils and undisturbed samples									
前期固结压力	原状土	碱污染的浓度				酸污染的浓度			
		4%	8%	12%	16%	1%	4%	8%	12%
p_c/kPa	164.7	153.9	143.1	134.2	125.3	149.9	140.9	132.7	126.3

$p_c/\sigma_{sz}=1$ ，土污染后的土超固结比小于 1。也就是，当正常固结地基土受到酸、碱污染后，地基土实际上已不是正常固结土了，而是变成了一种似欠固结土，也可称为化学扰动土。故在进行地基沉降分析时要注意此问题。

3 酸碱污染土压缩性质的影响因素

3.1 土粒度成分和矿物成分对压缩性质的影响

土受到酸碱污染后，土中各种胶体、可溶性盐和游离氧化物与酸碱发生作用使得土结构连接被削弱，导致土中的一些团聚结构破坏，致使土的粒度成分发生变化，尤其是污染后的土，其黏粒含量发生较明显的改变^[11]。见图 7，从图中可见随着碱浓度的增加，其污染土的黏粒含量是基本增加的，压缩系数也是增大的，但对于酸污染土，在酸浓度较低时，黏粒含量是迅速增加的，但高浓度时黏粒含量却是减少的，主要是由于大量 H^+ 使得有的黏土颗粒表面带正电荷，有的黏土颗粒表面带负电荷，土颗粒间的连结变强，颗粒试验时由于黏土颗粒表面正负电荷的引力使得土颗粒较难分散，因而出现酸污染土黏粒含量随着浓度的增加而减小，而压缩系数却是不断增加的，可见酸污染土黏粒含量的改变只是影响土压缩性质的一个因素。

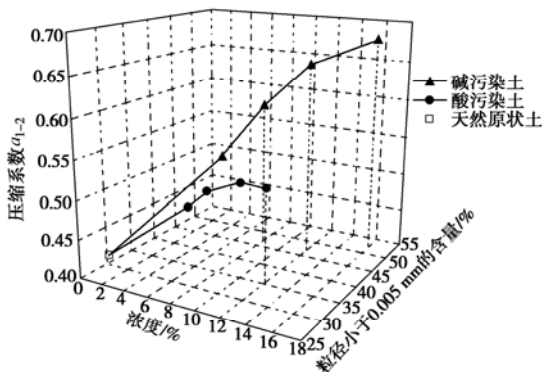


图 7 酸碱污染土黏粒含量与压缩系数的关系

Fig. 7 Relationship between clay content of polluted soils and coefficient of compressibility

塑性指数在一定程度上反映了土的粒度成分和矿物成分，因而用塑性指数这个指标能综合的说明粒度和矿物成分对压缩性的影响^[12-13]。土受到酸碱污染后，土的塑性指数发生了变化，其与压缩系数的关系见图 8。由图可知，对于碱污染的土随着污染浓度的

增大，土的塑性指数也是增大，土的压缩系数也增大，即土的压缩性增强，而酸污染土，随着酸浓度的增大，土的塑性却是减小的，压缩系数反而增大，这就与一般饱和黏性土不同。

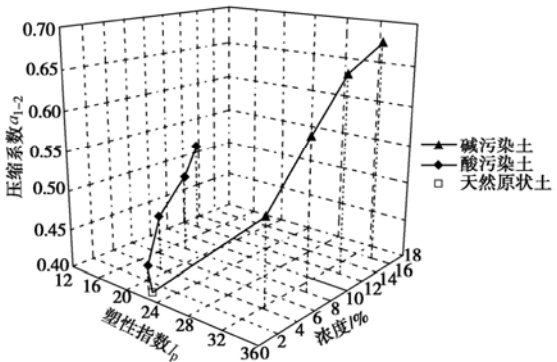


图 8 酸碱污染塑性指数与压缩系数的关系

Fig. 8 Relationship between plasticity index of polluted soils and coefficient of compressibility

3.2 土的孔隙比对压缩性质的影响

土能被压缩主要是由于土孔隙中的水分和气体被挤出，土粒相互移动靠拢，孔隙体积减小而引起的^[14]。为了研究污染土样孔隙比 e 与酸、碱浓度 n_c 及压力 p 的关系，可假定在 $e-\lg p$ 图中 e 与 $\lg p$ 成线性关系，斜率的绝对值就是压缩指数 C_c 。这样酸、碱污染土压缩曲线在 $e-n_c-\lg p$ 空间构成了纵横直线交织而成的曲面，相应的表达式可写成

$$e = a + \alpha n_c + b \lg \frac{p}{p_0} + \beta \cdot n_c \cdot \lg \frac{p}{p_0} \quad (2)$$

式中 a, α, b 和 β 为给定参数； n_c 为酸碱的质量的百分比浓度； p_0 为 p 的单位压力，主要是消除压力 p 的量纲。当 $n_c=0, p_0=p$ ，即土为受污染，同时未受荷载压缩时，式 (2) 可写成

$$e = a = e_0 \quad (3)$$

其中， e_0 为原状土的初始孔隙比。当 $n_c=0$ 时，式 (2) 可写成

$$e = a + b \lg \frac{p}{p_0} = e_0 + b \lg \frac{p}{p_0} \quad (4)$$

式 (4) 可写成 $\frac{e_0 - e}{\lg(p/p_0)} = -b$ ，

上式左面就是压缩指数的定义。故得到

$$b = -C_c \quad (5)$$

其中， C_c 为原状土样的压缩指数。把式 (3)、(5) 代

入式(2)中,得

$$e = e_0 + \alpha n_c - C_c \lg \frac{p}{p_0} + \beta \cdot n_c \cdot \lg \frac{p}{p_0} \quad (6)$$

对于给定的浓度 n_c , 则有

$$e = e_0 + \alpha n_c - (C_c - \beta \cdot n_c) \lg(p/p_0) \quad (7)$$

若令

$$e_0(n_c) = e_0 + \alpha n_c, \quad \lambda(n_c) = C_c - \beta n_c \quad (8)$$

式(7)可表示为

$$e = e_0(n_c) - \lambda(n_c) \lg(p/p_0) \quad (9)$$

由式(9), 根据假定可知:

$$e_0(n_c) = e_0^*, \quad \lambda(n_c) = C_c^* \quad (10)$$

其中, e_0^* 为土受到污染后的初始孔隙比, C_c^* 为污染土的压缩指数。式(8)可写成

$$e_0^* = e_0 + \alpha n_c, \quad C_c^* = C_c - \beta n_c \quad (10)$$

根据式(10), 取不同浓度的污染土样和原状土, 测定其基本指标计算出受不同浓度污染土样的初始孔隙比 e_0^* 和原状土的初始孔隙比 e_0 , 并进行压缩试验得到不同浓度污染土样的压缩指数 C_c^* 和原状土的压缩指数 C_c , 根据式(10)进行拟合得到参数 α , β 的值。酸污染原状土 $e-n_c-\lg p$ 空间的曲面拟合为

$$e = 1.124 + 0.9293n_c - (0.16 + 1.2756n_c) \lg(p/p_0);$$

同样碱污染原状土的拟合曲面为

$$e = 1.124 + 1.0817n_c - (0.16 + 1.4n_c) \lg(p/p_0)。$$

根据式(7)可以类比的写出酸、碱污染土等压固结实验的 $e-n_c-\ln p$ 的关系, 即为

$$e = e_0 + \alpha n_c - (\lambda_0 - \beta \cdot n_c) \ln(p/p_0) \quad (11)$$

其中, λ_0 表示原状土样在 $e-\ln p$ 上的斜率。

3.3 土的微观结构对压缩性质的影响

土的微观结构是影响其工程性质的本质因素, 为了深入了解酸碱污染土压缩特性改变的本质原因, 开展了酸、碱污染前后土体微观结构的研究。采用扫描电子显微镜对原状样和被浓度分别为 1%, 4%, 8% 和 12% 的 HCl 溶液以及被浓度分别为 4%, 8%, 12% 和 16% 的 NaOH 溶液浸泡污染后的土样进行观测。观测照片见图 10。采用河海大学岩土所自主开发研制的 GeoImage 程序对扫描电镜后得到的土体微观图片进行分析并提取结构参数。

在众多参数中, 一般情况下, 颗粒定向度与压缩系数呈负相关关系, 即随颗粒定向度的减小压缩系数增大, 也就是说, 土体的排列方向越整齐, 压缩性能越高。酸碱污染土压缩系数 a_{1-2} 与颗粒定向度的关系见图 9。从图中可见, 随着酸浓度的增加, 颗粒定向度是不断降低的, 酸污染土的压缩系数随着颗粒定向度的减少而增加, 但增加的趋势随着颗粒定向度的减少逐渐变缓。但对于碱污染土, 在低浓度时, 如图中当浓度低于 4% 时, 随着碱浓度的增加颗粒定向度却

是增加的, 压缩系数随着颗粒定向度的增加也是增加的, 但在较高浓度时, 随着碱浓度的增加, 颗粒定向度是不断降低的, 土的压缩系数随着颗粒定向度的减少而增加。

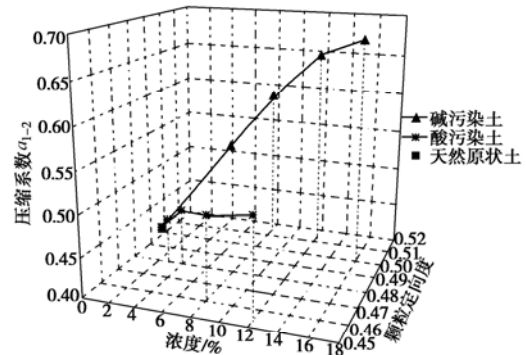


图 9 酸、碱污染土压缩系数与颗粒定向度的关系

Fig. 9 Relationship between granular orientation degree of polluted soils and coefficient of compressibility
附扫描电镜照片 (放大 1000 倍):

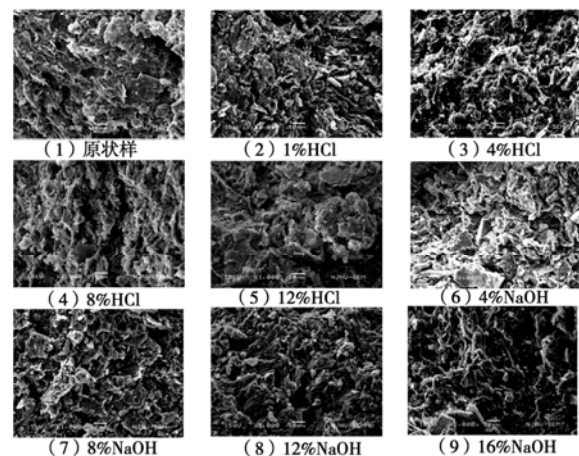


图 10 酸、碱污染土扫描电镜照片

Fig. 10 Photos of polluted soil by scanning electron microscope

4 结 论

(1) 酸碱污染土在第一级荷重 0~25 kPa 作用下的压缩变形除了土体中孔隙水排除所产生的弹性变形外还包括土结构连接发生破坏和变位产生的塑性变形, 因而酸碱污染土的压缩量都比原状土的压缩量大。且随着酸碱浓度的增加曲线斜率不断增大, 反映在曲线上就是酸碱污染土的压缩曲线斜率比原状土的陡。

(2) 随着酸碱浓度的增加土的压缩系数是不断增大, 且碱污染比酸污染更能使土的压缩系数增大, 即碱污染土比酸污染土的压缩性强。在勘察评价中应注意在同一场地被污染的地区与未被污染的地区压缩性有比较明显的差异, 可使得建筑物产生较大的差异沉降导致建筑物开裂甚至破坏。同时, 也要注意区分

酸污染土与碱污染土压缩性增大的差异。

(3) 酸碱污染土的压缩模量都比原状土小,且随着浓度的增加,碱污染土压缩模量的减小比酸污染土的大。在实际运用压缩性指标进行污染土的计算时,建议采用压缩模量或体积压缩系数这个指标。

(4) 随着酸碱浓度的增加,土的结构连接力是不断减小的,并且酸污染比碱污染更容易使土结构连接力减小。

(5) 随着碱浓度的增加,其污染土的黏粒含量是基本增加的,压缩系数也是增大的;酸污染土黏粒含量随着浓度的增加而减小,而压缩系数却是不断增加的,酸污染土黏粒含量的改变只是影响土压缩性质的一个因素。

(6) 对于碱污染的土随着污染浓度的增大,土的塑性指数也是增大,土的压缩系数也增大;而酸污染土,随着酸浓度的增大,土的塑性却是减小的,压缩系数反而增大,这就与一般饱和黏性土不同。在相同浓度下,碱污染比酸污染更能使原状土的含水率和孔隙比增加。

(7) 对于酸污染土,随着酸浓度的增加,其颗粒定向度是不断降低的,压缩系数不断增加,增加的趋势随着颗粒定向度的减少逐渐变缓。但对于碱污染土,在低浓度时,随着碱浓度的增加颗粒定向度却是增加的,压缩系数也是增加的,而在较高浓度时,随着碱浓度的增加,颗粒定向度是不断降低的,土的压缩系数随着颗粒定向度的减少而增加。

参考文献:

- [1] 朱春鹏, 刘汉龙. 污染土的工程性质研究进展[J]. 岩土力学, 2007, 28(3): 625 - 630. (ZHU Chun-peng, LIU Han-long. Study on engineering properties of polluted soil [J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(3): 625 - 630. (in Chinese))
- [2] 傅世法, 林颂恩. 污染土的岩土工程问题[J]. 工程勘察, 1989(3): 14 - 16. (FU Shi-fa, LIN Song-en. Geotechnical problem of pollution soil[J]. Geotechnical Investigation and Surveying, 1989(3): 14 - 16. (in Chinese))
- [3] 李琦, 施斌, 王有诚. 造纸厂废碱液污染土的环境岩土工程研究[J]. 环境污染与防治, 1999, 19(5): 16 - 18. (LI Qi, SHI Bin, WANG You-cheng. Environmental-geotechnical properties of soils contaminated by waste alkaline liquor from paper mills[J]. Environmental Contamination and Prevention, 1999, 19(5): 16 - 18. (in Chinese))
- [4] 李相然, 姚志祥, 曹振斌. 济南典型地区地基土污染腐蚀性质变异研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(8): 1229 - 1233. (LI Xiang-ran, YAO Zhi-xiang, CAO Zhen-bin. Study on physical and mechanical property variation of pollution erosive foundation soils in typical district of Jinan [J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(8): 1229 - 1233. (in Chinese))
- [5] 徐永利, 王雪莉. 宝鸡某场地污染土的分析评价[J]. 陕西地质, 1996, 14(2): 99 - 103. (XU Yong-li, WANG Xue-li. Analysis and assessment of pollution soil in a place of Baoji[J]. Geology of Shanxi, 1996, 14(2): 99 - 103. (in Chinese))
- [6] 路世豹, 张建新, 雷扬, 等. 某硫酸库地基污染机制的探讨[J]. 岩土工程界, 2002, 6(5): 37 - 39. (LU Shi-bao, ZHANG Jian-xin, LEI Yang, et al. Discuss the polluted mechanism for a foundation of vitriol storeroom[J]. Geotechnical Engineering World, 2002, 6(5): 37 - 39. (in Chinese))
- [7] OLSON R E, MESRI G. Mechanisms controlling the compressibility of clay[J]. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, 1970, 96(6): 1863 - 1878.
- [8] 唐大雄, 刘佑荣, 等. 工程岩土学[M]. 第二版. 北京: 地质出版社, 1999: 36. (TANG Da-xiong, LIN You-rong, et al. Rocks and soils engineering[M]. 2ed. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 36. (in Chinese))
- [9] 高国瑞. 近代土质学[M]. 南京: 东南大学出版社, 1990: 212 - 222. (GAO Guo-rui. Recent soils science[M]. Nanjing: Southeast University Press, 1990: 212 - 222. (in Chinese))
- [10] 王国欣, 肖树芳, 周旺高. 原状结构性土先期固结压力及结构强度的确定[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(2): 249 - 251. (WANG Guo-xin, XIAO Shu-fang, ZHOU Wang-gao. Determination of pre-consolidation pressure and structural strength of undisturbed structure soils[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2003, 25(2): 249 - 251. (in Chinese))
- [11] 刘汉龙, 朱春鹏, 张晓璐. 酸碱污染土基本物理性质的室内测试研究[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(8): 1213 - 1217. (LIU Han-long, ZHU Chun-peng, ZHANG Xiao-lu. Fundamental physical properties of soils polluted by acid and alkali in laboratory[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2008, 30(8): 1213 - 1217. (in Chinese))
- [12] MITCHELL J K, KENICHI Soga. Fundamentals of soil behavior[M]. 3rd edition. New Jersey: John Wiley & Son, 2005.
- [13] LEONARDS G A, ALTSCHAEFFI A G. Compressibility of clay[J]. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, 1964, 90(5): 135 - 155.
- [14] BOLT G H. Physico-chemical analysis of the compressibility of pure clays[J]. Geotechnique, 1956, 6(2): 86 - 93.