

# 合肥地区膨胀土注浆试验研究

张坤勇 李 凡

( 河海大学岩土工程研究所, 南京 210098)

**【摘 要】** 针对合肥地区膨胀土进行劈裂注浆试验, 分析了注浆及复合土体形成的过程; 对注浆后形成的复合土体进行三轴固结排水剪试验, 结果表明经注浆后土体的强度得到显著改善, 同时, 复合土体应力应变关系仍符合邓肯模型规律。

**【关键词】** 膨胀土; 劈裂注浆; 三轴试验

**【中图分类号】** TU 41

## Grouting-test Study on Expansive Soil of Hefei Area

**【Abstract】** Basted on the grouting-test on expansive soil of Hefei local area, the process of grouting and combination soil is analyzed, and CD Triaxial-test is carried on the compound soil. Both the above tests verify the efficiency of the split grouting and the stress-strain relationship of combined soil can be explained by Duncan-Chang model.

**【Key words】** expansive soil; split grouting-test; triaxial-test

### 0 引 言

膨胀土<sup>[1]</sup>是在自然地质过程中形成的一种多裂隙并具有显著胀缩性的地质体, 粘粒主要成分由强亲水性矿物蒙脱石与伊利石组成。膨胀土具有吸水膨胀、失水收缩并且反复变形的性质, 以及土体中杂乱分布的裂隙, 对膨胀土地区的建筑物有严重的破坏作用。如不采取必要的工程措施, 就会造成结构物的开裂和破坏, 建筑场地的崩塌、滑坡和地裂等。

注浆<sup>[2]</sup>是膨胀土地基处理的一种方法, 劈裂注浆依靠较高的灌浆压力, 使浆液能克服地基中初始应力和土体抗拉强度, 使土体沿垂直小主应力的平面或土体强度最弱的平面上发生劈裂, 使渗入性灌浆不可灌的土体可顺利灌浆, 扩大浆液扩散范围, 在土层中产生条、脉、片状固结, 形成复合土体, 从而达到增强地基强度, 降低地层渗透性的目的。

### 1 膨胀土的一般特征

我国膨胀土的一般特征:

(1) 属高塑性粘土。粘土含量多达 35 % ~ 40 %, 液限一般为 40 % ~ 50 %, 塑性指数多在 22 ~ 35 之间。

(2) 自由膨胀率大于 40 %, 也有高达 100 % 的。

(3) 天然含水量接近或略小于塑限, 不同季节变化幅度为 3 % ~ 6 %, 常呈硬塑或坚硬状态。

(4) 天然孔隙比在 0.5 ~ 0.8 之间, 且随土体含水量的增剪而变化, 吸水时膨胀, 孔隙比加大; 失水时收缩, 孔隙比减少。

(5) 强度和压缩性随含水量的改变而显著变化。在天然条件下处于硬塑或坚硬状态时, 强度较高, 压缩性较低; 失水干缩时, 裂隙发育, 由于裂隙结构面的存在, 又可使土体失稳, 降低承载力; 大量吸水时, 土体强度会突然降低, 压缩性显著增高。

### 2 现场注浆试验

合肥是典型的膨胀土地区。根据钻孔揭

露和野外观察,区内膨胀土可以分为两层,上层一般为黄褐色粘土,硬塑—坚硬状态,含球状铁锰结核,裂隙发育;下部为黄色粘土,呈硬塑—坚硬状态,近垂直或水平的两组裂隙发育。由长期观测资料说明,合肥地区的膨胀土影响深度为3.0 m左右,其中影响剧烈深度为1.5 m左右;因为一般情况下天然地基的持力层在上述影响深度内,对于裂隙发育的膨胀土层,其强度和压缩性将随含水量的变化而显著改变,通常有必要进行地基处理。

为研究劈裂灌浆所形成的复合土的力学性质,进行了现场注浆试验和室内试验。

注浆试验场地的膨胀土层  $\rho=1.94 \text{ g/cm}^3$ ,  $e=0.67$ , 试验深度为1~3 m;浆液配比为质量(水):质量(水泥)=1:2;注浆使用SYB50-50-II型注浆泵,一次时注浆压力控制在0.1~0.3 MPa,低压慢注;二次注浆压力为3 MPa。

试验过程中,通过开挖观察可以发现劈裂注浆的三个阶段:

(1) 鼓泡压密阶段 浆液进入土体形成浆泡并向外扩张,使浆泡土体中引起复杂的径向和切向应力变化,紧靠浆泡处的土体受到严重的破坏和剪切,形成塑性变形区,使土体挤密。

(2) 劈裂阶段 浆液在注浆压力作用下,先后克服地层的初始应力和抗拉强度,使其沿垂直于小主应力的平面上发生劈裂,浆液由此进入,挤密土体,并与土体发生物理和化学作用,形成复合土体的浆脉。

(3) 被动土压力阶段 通过前两阶段的作用,土体得到初步加固,土中的软弱面,孔隙及裂隙都被填充满,此时浆液在较高压力作用下,克服土的被动土压力,挤密土体使其固结,同时浆脉周围的土体也被压密,最终形成了以浆脉网络为骨架的复合土体。

注入地层的浆液最初是聚集在注浆口附近,沿注浆管形成直径粗细相间的不规则柱体。当注浆压力达到一定程度,浆液就沿地层的结构面产生劈裂流动,在地层中形成方向各

异,厚薄不一的片状、条状和团块状的灌浆体,其具体形状由土体特征和注浆参数确定,分布也是随机的。

浆液劈裂流动方向总是发生在阻力最小的应力面上,由于正常固结土和欠固结土地基的小主应力是水平向的,因此初始劈裂主要是沿水平方向发展;随着灌浆压力增大,则水平应力逐渐转化为被动土压力状态,这时最大主应力基本呈水平向的,劈裂开始向竖直方向发展。浆液凝固后从整体上加强了土体,增加了土体的抗剪强度。

### 3 室内三轴试验<sup>[3]</sup>

注浆一周后开挖注浆土体,制成复合土三轴样(直径6.18 cm,高8 cm)并养护20 d。养护期满后,将试样进行抽气饱和后作三轴固结排水剪试验,试验按常规三轴试验标准进行,周围固结压力分别为50 kPa,100 kPa,200 kPa和400 kPa,剪切速率为0.018 mm/min。试验结果见表1。

表1 复合土在不同围压作用下的破坏应力

$\sigma_3/\text{kPa}$	$(\sigma_1 - \sigma_3)/\text{kPa}$	$\sigma_1/\text{kPa}$
50	1 278	1 328
100	1 392	1 492
200	1 577	1 777
400	1 932	2 332

试验结果表明,复合土破坏应力摩尔圆与土相似,而且在不同的围压作用下进行剪切的一组试样具有公切线,即抗剪强度包线,它与土的强度线相似,也近似呈直线(见图1),从而求得复合土的抗剪强度指标: $c=372 \text{ kPa}$ ,  $\varphi=27.5^\circ$ 。试验所用原状膨胀土的抗剪强度指标为: $c=68 \text{ kPa}$ ,  $\varphi=12.5^\circ$ ,由此可见复合土比原状土的抗剪强度指标有显著提高。

试验结果还表明,复合土的应力应变关系也呈现双曲线关系。不同围压下固结排水试验所测得的轴向应变  $\epsilon_a$  和偏应力  $q$  之间的关系见图2,从图中可以看出,复合土体经历了

(下转第115页)

究, 根据不同情况的网络计划工期进行探讨和分析, 有效地进行了进度和质量控制, 达到了要求的工期目标。

参 考 文 献

1 胡安邦. 桥梁施工及组织管理. 北京: 人民交通出

版社, 1999. 43~77

2 江景波. 网络计划技术. 北京: 冶金工业出版社, 1983. 133~159

3 浦再明. 网络法基本原理及其应用. 北京: 金盾出版社, 1985. 152~155

收稿日期: 2003-01-17

(上接第 103 页)

变形、硬化、直至破坏的过程, 其应力应变关系呈现良好的双曲线形态, 符合邓肯模型的特点。以 100 kPa 围压下的试验为例, 用双曲线拟合的结果见图 3。可见, 在对经注浆处理后的复合加固土体进行数值分析时, 邓肯非线性弹性模型仍然适用, 在有限元数值计算中, 可以采用邓肯一张非线性弹性模型进行分析。

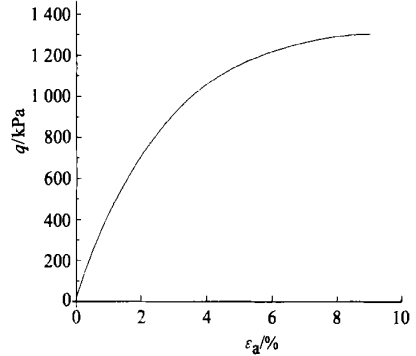


图 3 100 kPa 时曲线拟合结果

4 结 语

通过合肥地区现场膨胀土的劈裂注浆试验, 观察到注浆过程中浆液运动的规律, 并对复合土体强度的形成过程作了机理解释; 对注浆后形成的复合土的室内三轴试验表明, 膨胀土在经过注浆处理后, 力学性能得到改善, 土体强度较处理前显著提高, 复合土体应力应变关系曲线仍符合邓肯双曲线模型规律。

参 考 文 献

1 刘特洪. 工程建设中的膨胀土问题. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996. 4~5

2 叶书麟主编. 地基处理工程实例手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999. 369~370

3 GBJ 123-88 土工试验方法标准

收稿日期: 2002-12-16

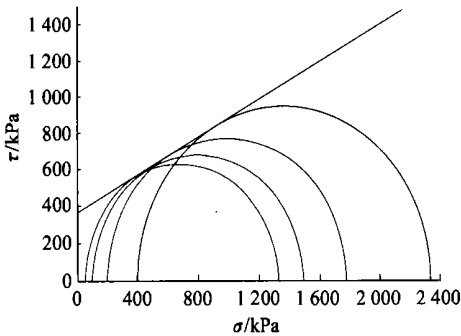


图 1 复合土各围压下的摩尔应力圆

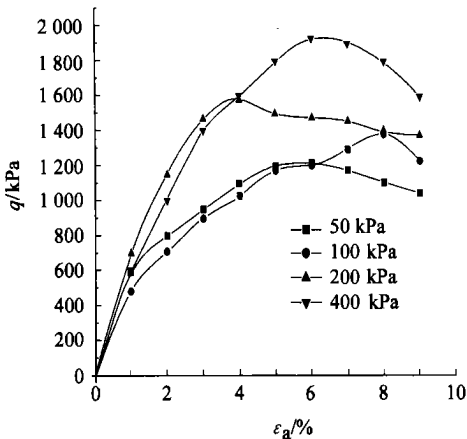


图 2 不同围压下复合土体应力—应变关系曲线