

沧州地区第四纪黏性土高压固结试验分析

李亮, 邢怀学, 葛伟亚, 田福金, 李云峰, 常晓军

中国地质调查局南京地调中心, 南京, 210016

本文通过高压固结试验对沧州地面沉降区典型第四纪黏性土进行试验分析, 以尝试找出沉降区黏性土压缩固结规律和特性, 为进一步的研究地面沉降规律、防止其发生和扩大沉降具有一定的现实意义。

本试验以《土工试验规程》SL237-1999 为主要试验依据, 按照原状土室内试验要求制备样品, 采用快速固结法来对先期固结压力、压缩指数、回弹指数、压缩系数等进行测定。试验地点为中国地质大学(武汉)工程学院水工楼高压固结实验室, 通过三联高压固结仪对 100 多组样品进行高压固结试验, 并对结果进行分析处理, 得出沧州第四纪黏性土具有以下固结特性:

(1) 不同埋深试样变形量随时间变化特征: 选取不同埋深具有代表性的粘性土试样, 对比其压缩变形量随时间的变化特征, 得出以下特点: ①各个试验样品或同一样品在不同压力下, 施加压力的前 2000 秒内试验样品的变形量较大, 2000 秒之后逐渐趋于稳定, 7000 秒后, 单位时间内的变形量已经几乎稳定; ②同一试验粘性土样品在不同的压力下其变形量变化差别很多, 基本表现为压力越大变形量越大, 主要是随压力的增加, 试验粘性土样品孔隙被压缩, 孔隙水不断排出, 于是体积下降所致; 而对于样品编号原 42 的粘性土样品, 其在 800kPa 下的变形量为 0.25mm, 而在 3200kPa 下的变形量则只要 0.227mm。这种情况可以根据粘性土样品埋深做如下的解释: 原 42 号样品埋深在第三含水组, 是地下水汲取的主要地层, 经过长期不断的地下水汲取, 该地层有效应力不断增加, 使其土体颗粒骨架能够承受一定程度的压力, 表现出来就是样品具有一定的抗变形能力, 而当压力达到 800kPa 时, 其抗变形能力不能抵抗压力, 样品开始有较大幅度的下降, 继续加压则样品下降与规律 1 相同; ③不同埋深的粘性土试验样品在同一级压力下其最终

的变形量差别也很大, 基本呈现出随深度增加而变形量逐渐减小的趋势。

(2) 不同埋深试样累计变形量随压力变化特征: 从试验结果分析得到: ①试验粘性土样品的变形量随压力的增加表现为不断增大的趋势, 初期变化剧烈, 随后逐渐变平缓, 埋深较大的样品其变平缓的趋势也越快越明显, 这其中原 42 变化比原 63 更快一些, 原因是由于不断汲取地下水原 42 不断被压密, 使其结构比原 63 更加密实; ②样品编号原 22 在中间有一段变形量急剧增加的阶段, 说明样品在这个阶段压密速度增加, 表明在小压力下原 22 有一定的抗压能力, 800Kpa 时压力才被迅速的压缩; ③随着压力的不断增大, 浅层土的变形量明显大于深层土的变形量, 这是因为浅层土结构较之深层土要松散, 可压缩性要高, 而原 42 则是四个样品中最为密实的样品, 所以压缩量要小于原 63。

(3) 不同埋深试样压缩系数随压力变化特征: 根据室内高压固结试验得到的结果做压缩系数-压力关系比较得出: ①压缩系数随压力的增大呈现总体减小的趋势, 并且在压力较小阶段变化剧烈, 随着压力的增大变化逐渐平缓, 对于埋深较小的粘性土样品, 其压缩系数变化越剧烈, 造成这种趋势的原因是在较小压力时大孔隙较多, 于是在压力下被压密, 同时克服了颗粒之间的内聚力, 结构单元的连接性降低, 表现在压缩系数上就是急剧减小, 而当压力增大时候, 大、中孔隙的变化相对小压力下的变化量会减小, 被压缩的孔隙以超微孔隙和粒内孔隙为主, 而这些孔隙较小, 孔隙内以结合水为主, 结合水不易被破坏, 所以较小的孔隙变化量较小, 同时自由水多排出, 剩余结合水不易排出也会增大抗压性, 于是压缩系数较小, 另外压力的增大也会增加土体内部结构的强度, 也是导致压缩系数较小的原因; ②在压力初期, 压缩系数变化都有一个波峰, 即压力系数压力的增大先增大后减小, 是由于

注: 本文为中国地质调查局项目“华北平原地面沉降调查与监测综合研究”资助项目(编号 1212010540906)的研究成果。

收稿日期: 2013-03-13; 改回日期: 2013-03-31; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 李亮, Email: liliangkuangda@163.com。

土体经过先压缩后回弹再压缩的反复过程所形成的；③从土体的不同埋深来看，浅层土曲线要高于深层土曲线，这说明浅层土的压缩系数要大于同等压力下的深层土压缩系数，说明随试验样品埋深的增加压缩系数有总体逐渐减小的趋势，同时说明浅层土的可压缩性要高于深层土。

(4) 粘性土固结系数 C_v 与固结时间 t 的关系：试验开始时期前期样品的变化速度较快，读数又比较密集，所以在试验开始的一分钟内读数往往很不准确，同时压缩时采用砝码人工加压，属于瞬间加压，在开始阶段样品的变化较大，极小的时间误差下可能造成较大的读数误差，所以压缩试验的前一分钟内读数不能作为有效数据来使用。

通常计算固结系数的方法有以下几种：时间对数法、时间平方根法、反弯点法、三点法、scott 法（王钟琦等，1986），其中时间对数法和时间平方根法是半经验方法，分别求固结度为 50% 和 90% 时的固结系数，主要缺点是结果具有较大的离散性和不确定性；反弯点法可以较准确的求得固结度为 70% 时的固结系数；三点法可以较准确的求得前期的固结系数；scott 法较准确并且可以计算多维渗水情况，但较繁琐，使用不方便。

分析总结以上几种求取固结系数的方法，三点法可以准确的求得前期的固结系数并且方便实用，所以本文通过三点法的公式演变来解决试验开始阶段数据不足的问题。

根据三点法的公式演变对前期较少的数据进行插值补充，同时求其固结系数 C_v ，并进行对比。结果表明前期固结系数 C_v 急剧下降，变化较大，插值后比插值前变化更为剧烈，且更符合实际更具有代表性。

结合对试验初期的固结系数插值和计算得到任意时刻的固结系数 C_v 值，可以看出粘性土试验样品的固结系数 C_v 随时间的变化有如下特征：①试验粘性土样品固结系数 C_v 在固结前期随时间急剧减小，随后减小速度下降并逐渐变缓，最后趋于与 x 轴（时间轴）平行，并且在前 3000 秒变化剧烈，3000 秒之后变化趋于稳定；②对于不同埋深粘性土试验样品，其在同一压力下的固结系数也有逐渐变小的趋势，在 200kPa、800kPa、3200kPa 压力下分别比较，随着埋深增加，固结系数变化逐渐平稳。

(5) 同一压力下孔隙比 e 与时间 t 的关系：不同埋深土样有不同的孔隙比 e ，而在压力的作用下，

孔隙比 e 并不是固定的值，而是随着时间的进行不断减小的变量，从试验中可以看出孔隙比 e 前期变化较快，后期逐渐平缓，最后几乎为定值。

由于样品压缩时间较长，达到 80000 秒以上，而在后半段孔隙比 e 的变化不明显，所以笔者取用前 8000 秒内孔隙比 e 的变化趋势，更好更直观的表现出孔隙比的变化特征。从数据中可以看出，孔隙比 e 的变化在前 2000 秒内剧烈减小，2000 秒之后减小的速度明显的降低，并且随着埋深的增加，变化的幅度也具有逐渐减小的趋势，如原 1 变化量 > 原 11 > 原 63 > 原 42，原 42 变化量之所以比原 63 要小，是因为原 42 处于第三含水组，是地下水汲取的主要含水层，不断的汲取地下水使得原 42 被不断的压缩，土体密实度加大，抗压能力增强，所以变化量小于原 63。

(6) 相同埋深样品饱水回弹与不饱水回弹的对比：为了研究饱水回弹对粘性土样品的影响，笔者在试验中对同样深度的样品做了对比试验，其中一组按照原装样进行压缩和回弹，另一组同样进行压缩，但在回弹的时候进行饱水，经过相同的压力和压缩-回弹时间从而得到对比试验数据。

分段对比曲线可以看出，压缩初期样品孔隙比相同；相同的压力和压缩时间下，饱水样品的孔隙比变化量小于自然含水量下样品的孔隙比变化量，说明在压缩的过程中通过排水而消耗了一部分压力；在回弹过程中，两者都形成滞回圈，表明在压力减小时两者都具有要恢复到压缩前状态的趋势；而饱水回弹曲线的滞回圈明显的大于非饱和回弹曲线，这说明在回弹过程中，一部分水分随着样品的回弹而进入孔隙中，抵消了一部分压力，即由固体颗粒骨架承担的一部分有效应力转化成了超静孔隙水压力，使回弹幅度增大；从最终沉降量看，饱水回弹曲线在 4MkPa 情况下的总孔隙变化量要小于非饱水回弹曲线在 3.2MkPa 情况下的孔隙比变化量，这说明了在粘性土中超静孔隙水压力承担了不可以忽略的相当重要的一部分压力。

参考文献

- 胡瑞林，李向全，官国琳，叶浩. 1995. 粘性土微结构定量模型及其工程地质特性研究[M]. 北京: 地质出版社.
- 潘建永，陈刚，胡成，马峰. 2009. 9. 基于 ERDAS 研究华北平原第四系粘土微观孔隙分形特征[J]. 地质科技情报.
- 苗晋杰，陈刚，潘建永，马峰. 2009. 5. 华北平原典型粘性土体固结特性的实验研究[J]. 地质科技情报.