

黄土湿陷变形的结构理论*

高国瑞

(南京建筑工程学院勘测系)

提 要

关于黄土湿陷变形的理论,有过各种各样的假说,如毛管假说、溶盐假说、胶体不足说、水膜楔入说以及欠压密理论等。从物理学、物理化学和地质学等各个方面对湿陷变形的原因作了解释,它们能说明问题的一个方面,但却都不能充分地解释所有的湿陷现象和变形本质。本文就是要在剖析各种假说(理论)基础上探索黄土湿陷变形的结构原因和应用结构理论来说明黄土湿陷变形的现象和本质。

一、几种黄土湿陷变形假说(理论)的讨论

关于黄土湿陷变形的几种假说,本文在笔者原综述^[1]的基础上进行了更深入的讨论分析。

(一)毛管假说

这种假说源于太沙基(1942)的毛管理论^[2]。太沙基认为:“潮湿砂土之所以能粘结在一起,是因砂土内的不连续水分聚集在颗粒接触处的水、气界面上,由毛细管表面张力所产生的法向力使砂土颗粒连结在一起(图1)。”

美国的Dudley(1970)不仅一再肯定毛细作用的存在,而且还指出:“颗粒间细粉粒集聚(图2)和粘土片的絮凝(图3)都是毛细弯液面退缩所形成的粒间胶结,浸水后不仅毛细张力消失而胶结的细粉粒和粘土片也将消散^[3]”。

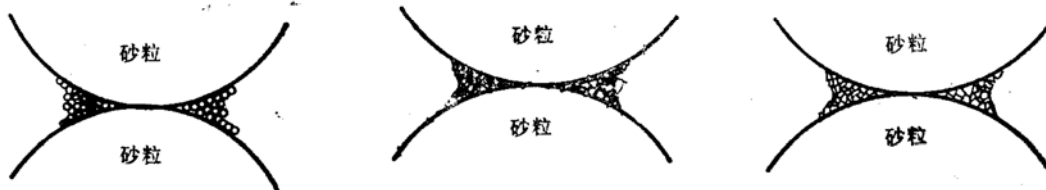


图1 弯液面张力产生的法向力 图2 砂粒与粉粒的毛细连结 图3 粘土絮状毛细连结

根据扫描电镜观察表明,黄土中粘粒大部分凝聚成凝聚体^[4],所以人们感到黄土中粉粒占优势。黄土是典型的不饱和土,含水量很低,粒间弯液面肯定存在,电镜照片中粒间粘土畴的集聚也证明这一点。但是毛管假说并不能解释为什么有的黄土湿陷,有的黄土不湿陷,

*本文为国家自然科学基金资助的项目。

到稿日期:1989年4月29日。

虽然它们的含水量和颗粒成分基本相同，只是它们的孔隙比不同。

(二) 溶盐假说

Попов(1950)认为：“黄土中的盐类有的易溶解于水，有的难溶于水，当黄土中含水量较低时，易溶盐处于微晶体状态，附在颗粒表面，起着胶结作用。受水浸后盐晶溶解，胶结作用消失，造成黄土湿陷^[5]。”这就是溶盐假说的根据。然而，Ларионов(1959)认为：“即使黄土中含水量只有10%左右，黄土中的易溶盐也是以溶解状态处于毛细弯液面中，因此不存在易溶盐的溶解问题^[6]”。根据电镜观察到的天然黄土的结构特征和比表面测定计算表明Ларионов的推断是正确的。但是不能否定易溶盐的作用，即使呈溶解状态也会影响到粒间的作用力大小，因为浸水必然改变孔隙中水溶液的电解质的浓度。根据van Olphen (1976)的论述^[7]，孔隙中水溶液电解质浓度高，粒间引力增大；浓度低粒间斥力增大。所以浸水会使粒间强度降低(图4)。故浸水湿陷和黄土中溶盐存在是有一定关系的。但正如前面所述的，这种假说无法解释所有的湿陷现象。

(三) 胶体不足说

Андрухин(1937)认为：“黄土的湿陷性是含有尺寸小于0.005mm的颗粒少于10%的土的固有性质，这种土缺少胶体分散部分。如有足够数量的胶体时，膨胀过程会防止湿陷发生^[8]”。

然而，兰州自重湿陷性黄土经分散剂分散之后粘粒含量高达30%，而X射线衍射分析表明主要粘土矿物成分是水云母，也有蒙脱石和高岭石^[1]。这就说明黄土的湿陷并不取决于粘土矿物的成分和含量，这是因为黄土中粘土表面活性为钙离子和微晶体碳酸钙所控制，普遍凝聚成集粒的结果。

(四) 水膜楔入说

粒间吸附水膜由于含水量降低或粒间压力增大都可以使水膜变薄，粒间水膜愈薄粒间凝聚强度就愈高。变薄了的水膜由于颗粒表面水化能的作用，力图使水膜恢复到原有的厚度。因此当土中含水量增加，水就具有楔入作用，使粒间距离拉开，从而水膜变厚，连结强度降低，Денисов(1953)极力主张这一观点^[9]。

水膜楔入对于土中粘土颗粒表面活性不受钙或其它高价离子(Fe^{3+} 或 Al^{3+})所控制时，才能充分发挥作用。黄土中粘粒被钙离子凝聚成集粒，在粘土颗粒表面活性为钙离子所控制时，水膜楔入能发挥多大作用尚难肯定。即使能发挥一定作用，只能表明粒间强度有所降低，而无法说明是湿陷的主要原因。

(五) 欠压密理论

人们早就发现黄土湿陷变形与它的密度有关，Денисов(1953)把黄土的低密度和黄土在干旱条件下堆积压密过程相联系，提出了“欠压密理论”^[9]。这个理论把复杂的物理化学作用

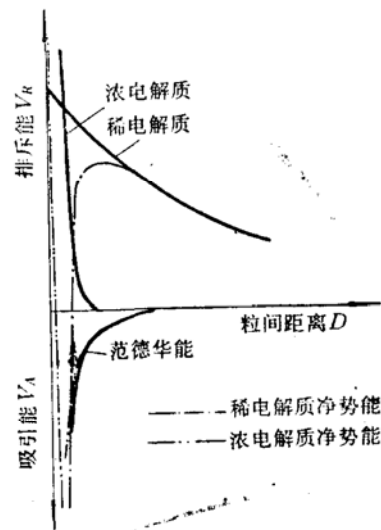


图4 不同电解质浓度的不同净势能

笼统地归纳为欠压密状态,避开了争论不休而暂时还不能证实的某些假说,所以它较容易为人们所接受。

但是这个理论并没有涉及到黄土湿陷变形的机理,只是强调了湿陷性黄土形成的物理过程。

(六)结构学说

人们很早就注意到黄土的湿陷变形和黄土的特殊结构有关,林崇义(1961)利用双目放大镜观察和对黄土中各种粒组在结构中所起的作用提出了黄土结构模型示意图^[10]。Ларионов(1965)运用偏光显微镜研究了苏联黄土微结构之后,将黄土结构划分粒状结构、集合体结构和粒状-集合体结构,并指出具有粒状结构的黄土,其抗水性、内聚力比具有集合体结构的黄土为低,但透水性却要高^[11]。与此同时Knight(1960)指出:“土的开放亚稳结构是造成湿陷的基本条件”^[12]由于测试技术的限制,所以以上这些结论在很大程度上带有推理性。随着现代科学技术的发展,特别是扫描电镜的应用和微区成分的X射线能谱探测,使这一学说获得迅速发展,到70年代末我国对黄土微结构和湿陷性的研究已进入一个新的阶段,不仅对黄土的湿陷机理作出了有说服力的解释,并且按微结构特征对黄土进行了工程地质分类,使这一学说从理论研究向工程应用跨出了有意义的一步^[13]。

二、黄土结构的层次和要素

大量研究表明,土的力学性质在很大程度上取决于土的结构,黄土的湿陷性也不例外。然而由于对结构的概念和含义认识不一致,表达土结构的模式也极为混乱^[14],所以给黄土结构的分析也带来了困难。结构分析表明,土的结构是有层次的,低层次的结构可以是高层次结构要素。如果把两个不同层次的结构要素混在一起分析就会抓不住事物的本质。黄土的结构也应当分层次进行分析,才能把握住黄土结构的各种要素。

扫描电镜观察表明,黄土结构中单个粘土片是罕见的,即使是由粘土片堆置成的粘土畴也很少分散于黄土中,大部分都聚集成由微晶碳酸钙凝聚的集粒(凝聚体),它有着鲜明的外部轮廓和单独发挥作用的功能(图5(a)),常常和原生碎屑矿物共同构成黄土结构的骨架颗粒(图5(b))。从空间结构力学观点分析,黄土结构就是由这些骨架颗粒连结成的空间结构体系。从“结构是有层次”这一概念分析,黄土骨架颗粒本身也是有结构的,它是由粘土畴以面-面、面-边、边-边形式连结成集粒这一层次的结构。如果把粘土畴的面-面、面-边和边-边连结形式作为黄土这一层次的结构进行分析,必然抓不住构成黄土结构的要素,也无法揭示黄土湿陷的机制。

三、黄土湿陷的机制

湿陷是黄土在荷重作用下浸水时所产生的突然下沉变形,所以人们早就知道导致黄土湿陷的外因是荷重和水,而外因主要是通过内因起作用的,那末黄土湿陷的内因又是什么呢?一般认为黄土湿陷的内因是由大量粉土粒级的颗粒组成的多孔松散体系所引起的。

根据在扫描电镜下观察到的湿陷性黄土的这种体系,就是由粒状构成的架空的接触式连结结构,也就是由集粒和碎屑组成的骨架颗粒相互连结成架空的结构体系(图5(b))。由于在

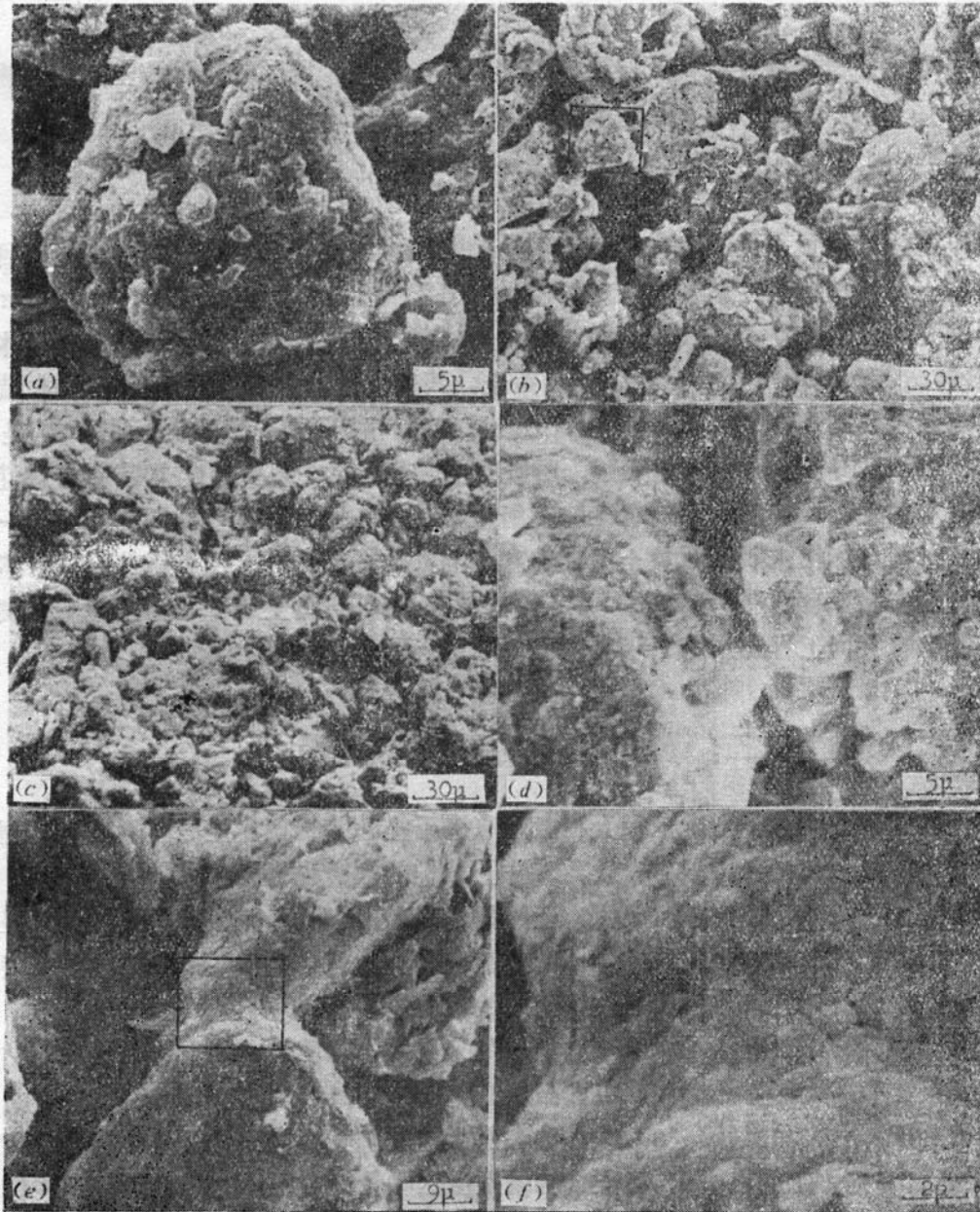


图5 扫描电镜照片

(a)刚性集粒 $\times 2000$; (b)粒状、架空、接触结构 $\times 330$; (c)粒状、镶嵌、胶结—接触结构 $\times 330$;
 (d)接触连结的形态 $\times 2000$; (e)粘粒胶结连结的形态 $\times 1100$; (f)粘粒胶结连结的局部放大 $\times 5400$ 。

电镜下观察的样品是经过干燥的，而湿陷性黄土的天然结构还含有一定量的孔隙水，它们主要集聚在颗粒连结处呈不连续分布(图6)，在这些水中含有各种易溶盐的离子，颗粒之间基本上是直接接触的，有些连结点处有少量胶凝物质集聚(图7)，这些物质有时是粘土畴，有时是无定形氧化物，有时为微晶态碳酸钙。这些就是湿陷性黄土的主要结构特征。

按照空间结构力学的观点，结构体系的强度和稳定性取决于骨架颗粒的刚度、单位体积内接触连结点的数目和强度。骨架颗粒中的碎屑的刚度是无容置疑的，通过试验并在电镜下

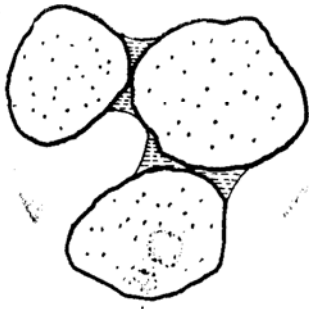


图6 粒间少量水的集聚

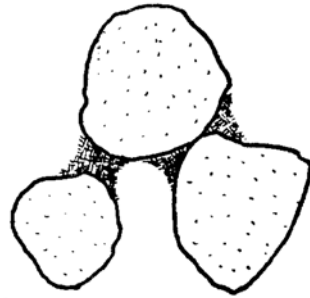


图7 粒间胶凝物质的集聚

观察表明，在一般工程荷载下浸水集粒并不变形和溃散^[15]。因此黄土结构体系的强度将取决于连结点的数目和强度。鉴于黄土结构中存在着除了正常配位排列的粒间孔隙外还存在着大量非正常配位排列的架空孔隙，这些孔隙有的孔径比周围颗粒大，有的则存在不同形式的“微形拱”而使配位数减少。因此单位体积内连结点的数目比较少，结构体系的总体强度应该不高。然而事实证明天然黄土却具有很好的力学性质，说明在干旱、半干旱环境中形成的连结点具有一定强度。这些连接点的强度有以下几个来源：

1. 上覆荷重所传递到连结点上的有效法向应力(p_1)，将使连结点获得强度；
2. 粒间毛管弯液面所派生的粒间法向应力(p_2)，也将使连结点获得附加强度；
3. 粒间接触面上存在的干摩擦系数 μ_1 或膜摩擦系数 μ_2 (为溶剂化膜的粘滞性所决定)，将阻碍颗粒的相对移动；
4. 接触连结处凝聚的少量胶凝物质(包括粘土畴、无定形物质和微晶碳酸盐)，将由这些物质分子间的引力所附加于接触处的连结强度。

以上几项都将因为含水量的变化而变化。如果土中含水量越少，毛管弯液面越深，所产生的毛细张力就越高；土中水越少，溶剂化膜越薄，粒间摩擦系数越高；土中水越少，胶凝物质间距离缩小，所产生的分子粘结力也越大。所以黄土在干燥环境下形成的结构连结强度是相当高的，足以抵抗住10m以上陡崖压力所产生的切向力而直立不垮。

如果土中水量增加，毛管张力引起的法向应力将迅速减小甚至消失；有效法向应力也会因孔隙水压增加而减小；双电层中离子浓度降低，排斥能将占优势；溶剂化膜增厚而粒间摩擦系数降低；胶凝物质间由于水膜楔入而距离拉大，分子粘结力变小。总之将大大削弱粒间连结强度。所以水这个外因是通过这些内因起作用的。

促使黄土湿陷的另一个外因——荷重(包括自重和附加荷重)也是通过内因起作用的。当外荷传递到连结点上的有效应力一般可以分解成切向力(T)和法向力(P)。连结点的变形与 T/P 的值有关，如 T/P 值大于粒间摩擦系数(μ)，则颗粒之间就产生相对移动。由于黄土结构中各个连结点所处的位置和接触方向不同，即使传到连结点上的应力相等，所产生的 T/P 比值也是不同的(图8)。所以加荷后连结点的滑移并不是同时发生的。在每一级荷重下总有一些连结点先产生移动，但在整个结构体系没有失去稳定之前，这些连结点的破坏和移动只产生少量变形。当移动的颗粒到达新的位置和其它颗粒重新接触，从而增加了颗粒的配位数，使得连结点上的 T/P 值 $< \mu$ ，所以变形逐渐停止，强度也将有所发展(图9，曲线d点之前)。继续加荷到变形明显增大(图9d点)，此时黄土结构中的架空孔隙部分被破坏，部分颗粒填充到架空孔隙的空腔中。如果进一步加荷就将使所有架空孔隙都被破坏，导致黄土结构的彻底重建(图9c点)。

以上是黄土在外荷作用下的变形过程，这种变形具有渐变性质。假如在增荷到一定荷级

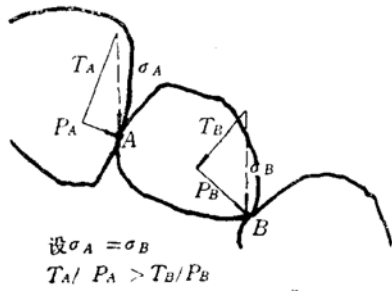


图8 不同方向连结点上的力

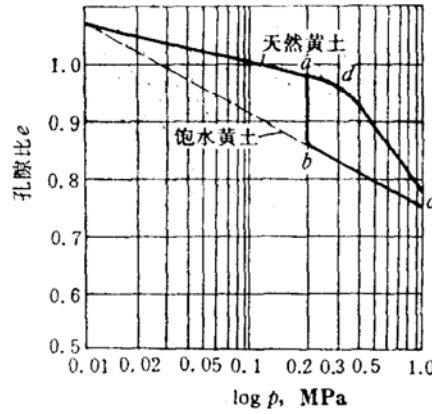


图9 黄土e-logp曲线

时(图9a点),突然浸水使结构连结强度骤然降低,所有浸水范围内连结点上的平均 T/P 比值大大超过粒间平均摩擦系数 $\bar{\mu}$,导致连结点几乎同时破裂(图9b点)。黄土的粒状架空结构体系立即迅速崩溃,骨架颗粒充填到架空孔隙的空腔中(图10),导致黄土湿陷的产生。这就是黄土湿陷变形的实质。

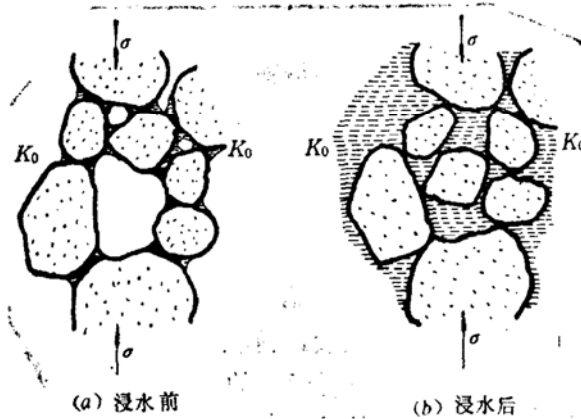


图10 浸水前后黄土结构示意图

由此可以看出黄土湿陷的最根本原因是黄土具有比较特殊的粒状架空结构体系,这个体系首先在堆积过程中形成非正常配位的架空孔隙,其次颗粒间的连结强度是在干旱、半干旱条件下形成的。其连结强度主要来源于上覆土层的压密和少量含溶解离子的水在粒间接触处所形成的毛细管力、双电层净势能、粒间摩擦系数以及少量胶凝物质的分子粘结力。这个粒状架空结构体系在外荷和水的共同作用下,必然迅速导致连结强度的降低,连结点破裂,架空孔隙和微形拱被破坏,整个结构体系失去稳定。这就是湿陷变形发展的机制。

四、运用结构理论对某些湿陷性问题的解释

(一)为什么有的黄土湿陷,有的不湿陷?

如前所述,黄土湿陷的根本原因是黄土具有粒状架空连结的结构体系。并不是所有的黄土结构都具有这种架空排列的体系,因为这种架空排列只有在干旱、半干旱气候条件下才能

形成和保存下来,如果由于某种原因,颗粒的架空排列改变为非架空的镶嵌排列(图5(c)),尽管黄土的其它特征仍保留,但黄土湿陷性却已经消失。深层黄土常常是这种情况,所以湿陷性黄土通常存在于上部10—20 m的土层内。

(二)黄土的湿陷性与密度的关系

大家知道,黄土的湿陷性与密度有着明显的联系,因此国内外都尝试过利用密度指标来鉴别黄土的湿陷性,但是所建立的一些关系式往往在这一地区有效,在另一地区却不能令人满意,故而一直没有能够在工程实践中得到有效地应用。黄土密度决定于土中的孔隙,电镜观察表明黄土中存在着四种孔隙:架空孔隙(非正常配位排列),粒间孔隙(正常配位排列),粒内孔隙和大孔隙。研究表明只有架空孔隙与湿陷直接有关^[4]。然而反映黄土的密度指标(孔隙度 n 、孔隙比 e 、干容重 ρ_d 等)中却包含了上述四种孔隙所占的体积在内。由于各地区黄土中这四种孔隙所占的比例不同,而现行试验方法又无法反映架空孔隙所占的比例。因此也就无法用孔隙比精确地反映湿陷性,所以黄土的湿陷性不能用单一密度指标来表达。

架空孔隙不仅关系到黄土湿陷性而且也关系到黄土的湿陷量。单位体积内架空孔隙的数量将决定黄土的相对湿陷量,实际上规范中规定的湿陷系数及其大小就是反映出单位体积中架空孔隙的多少,所以黄土湿陷性的强弱也是由黄土架空孔隙所决定。

(三)黄土的强度和湿度的关系

黄土的强度是在黄土结构形成过程中产生的。黄土在干旱条件下堆积,骨架颗粒之间的干摩擦阻碍颗粒紧密排列,而造成了大量非正常配位的架空孔隙。当土层还没有堆积得很厚时,在周期性干湿气候交替作用下,粒间接触处逐渐因为毛细弯液面退缩而留下少量胶凝物质(粘粒或无定形氧化物或微晶碳酸钙粒子)、水和溶解盐离子,使得颗粒间产生一定的连结强度,同时也使得这些架空孔隙周围相互连结的骨架颗粒,在上层土压力下能发挥“起拱”的作用。所以上部土层在干旱条件下不断增厚而加大的压力不能破坏这些微形“拱”,只有雨水浸入到这些“拱”中才有可能使这些微形“拱”变形或者重新排列成新的比较稳定的“拱”,构成新的架空孔隙。此时粒间的平均 T/P 比值和粒间平均摩擦系数 $\bar{\mu}$ 相平衡,也就是说此时土的结构强度和土的自重压力相适应。假如土中一直保持充分的湿度,那么土的结构强度是和上覆土自重相适应的,然而黄土地区的以干旱为主的气候环境必然会使黄土保持与环境相适应的低含水量,所以这时黄土的结构强度将超过土相应的自重压力。然而当雨水再度浸入时,黄土强度将又一次恢复到土自重压力的水平上。只有当土层增加的厚度超过雨水浸入影响范围,黄土浸水后的强度才不会再随土自重压力的增加而增加,而保持相对稳定,与此强度相适应的外部压力即人们通常称为的“湿陷起始压力”。所以,在自重湿陷黄土层中“湿陷起始压力”不随土自重压力变化,而在非自重湿陷性黄土中“湿陷起始压力”通常随土自重压力增大而增大。

实际上湿陷起始压力值的大小既反映了黄土浸水饱和的结构剩余强度,也反映了地区环境的气候条件。就结构剩余强度而言,超过这个压力黄土结构就将失去稳定而湿陷。所以浸水饱和时黄土的结构强度是最低的,而在天然含水量时黄土的结构强度是最高的。根据不同含水量下黄土无侧限抗压极限强度曲线(图11),可以知道黄土的强度随着湿度增加而降低。这也说明在不同压力下,使黄土结构破坏的含水量是不同的。这是因为黄土结构中颗粒间的摩擦系数随着水量增加而降低,所以与之相对应的导致结构失稳的压力也降低。这就是黄土

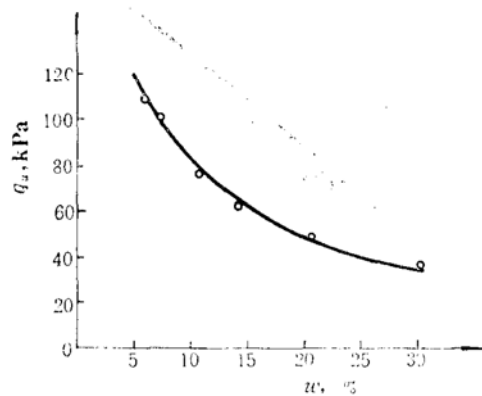


图11 黄土无侧限抗压强度和湿度的关系

强度和湿度关系的结构理论。就黄土地区环境气候条件而言,潮湿气候条件的降雨影响范围深于干旱气候地区,黄土中含水量也高于干旱地区,故湿陷起始压力也高于干旱地区,这和有些研究成果相一致^[10]。

(四)关于黄土的湿陷类型和“双层构造”问题

从理论上说,当黄土中各层的湿陷起始压力大于或等于土的自重压力时,这种黄土就应当属于非自重湿陷性黄土;如果小于土的自重压力则应属于自重湿陷性黄土。由于黄土的湿陷起始压力和形成架空结构体系的地区气候条件有着密切关系,一般来说干旱地区的湿陷起始压力常小于黄土自重压力,容易形成自重湿陷性黄土;而湿润地区的降雨渗入影响深度大,所以湿陷起始压力常常等于或大于土自重压力,容易形成非自重湿陷性黄土。但是对于层厚很大的湿陷性黄土,即使在比较湿润的地区,雨水也很难渗透到全部湿陷性土层中,所以在雨水影响范围以下的土层中常常保留着一层自重湿陷性黄土(一般在10m以下)。这种“双层构造”的黄土通常发生在黄土高原的东南部的比较湿润地区。必须指出:这种“双层构造”的湿陷性黄土容易被忽视,特别是下层的自重湿陷性黄土层,因为目前规定的一般勘探深度不超过10m,所以应当特别加以注意。

(五)黄土湿陷的敏感性问题

在工程实践中,常常遇到同是自重湿陷性黄土,由于湿陷变形的速度不同,对建筑物的危害也不相同。兰州地区黄土地基浸水后,在浸水的当天就发现建筑物出现严重的破坏和裂缝,甚至能听到建筑物脆性开裂的声音;而西安地区黄土地基浸水数月后才发现建筑物发生裂缝及比较轻微的破坏。产生这种湿陷敏感性的差别很容易从黄土的微结构特征中找到原因。

黄土湿陷变形的速度在很大程度上取决于架空结构体系中骨架颗粒连结的形式,如果连结的形式基本上是接触连结(图5(d)),那末接触面积很小,应力比较集中,抗位移的阻力较低,故而易于在浸水压力下迅速破坏;而胶结连结(图5(e,f))的接触面积大,应力相对地比较低,阻滞摩擦位移的阻力较高,浸水压力下的破坏比较缓慢。所以两者所反映的湿陷敏感性很不相同。因此在工程勘察中不仅应该评价湿陷性黄土的湿陷类型和湿陷等级,而且还应当鉴别黄土湿陷的敏感性。然而,现行规范中还缺乏简易可行的判别湿陷敏感性的方法,与常用的大坑野外浸水试验相比,结构分析法在经济和技术上都显示出明显的优越性。

五、结 语

黄土为什么具有湿陷性,一直是国内外岩土工作者所探求的重要课题。虽然有过各种假说和理论,并且争论了将近半个世纪,但迄今还没有获得一种大家公认的理论,能够完满地解释所有湿陷问题。

本文所提出的结构理论,是在前人各种理论的基础上,运用现代测试技术,综合了地质学、物理学和物理化学方面的新成就,针对湿陷性黄土独特的粒状架空结构体系,采用空间结构力学的分析方法并在密切结合工程勘察实践中逐步发展起来的。

这种理论不仅能充分阐明黄土湿陷变形的机制和黄土湿陷现象的本质,而且还能按这种理论对各类湿陷性黄土进行工程地质分类和进行黄土湿陷性的工程地质评价。

参 考 文 献

- [1] 高国瑞,兰州黄土显微结构和湿陷机理的探讨,兰州大学学报, No.2,1979,pp. 123-134.
- [2] Terzaghi, K., Soil Moisture and Capillary Phenomena in Soil, Ch. IXA in Vol. IX of «Physics of the Earth», McGraw-Hill, 1942,pp.186-187.
- [3] Dudley, J. H., Review of Collapsing Soil, J. Soil Mech. & Found. Div., ASCE Vol.96 No. SM3 1970,pp.935-939.
- [4] 高国瑞,黄土显微结构分类与湿陷性,中国科学, No.12,1980, pp.1203-1208.
- [5] Попов., В. В.,论黄土问题,工程地质专辑, No.2, 1953, pp.5-11.
- [6] Ларионов А.К., Лессовые породы их строительные свойства, Москва, 1955, pp.82-110.
- [7] van Olphen, H., An Introduction to Clay Colloid Chemistry, John Wiley & Sons, 1977, pp.37-43.
- [8] Андрухин, ф. Л., Свойства лессовых грунтов при ташкентского района и методы их изучения, Труды сред-Аз,Геолог, Треста,Ташкент Вып. 2,1937,pp. 72-79.
- [9] Денисов,Н.Я.,黄土与黄土状亚粘土的建筑性质,地质出版社, 1956, pp.96-115.
- [10] 林崇义,黄土的结构特征,黄土基本性质研究,科学出版社, 1961, pp.1-10.
- [11] Ларионов А. К., Structural Characteristic of Loess Soils for Evaluating their Constructional Properties, Proc. 6th Int.Conf. Soil Mech. Found. Eng., Vol. 1, 1965. pp. 64-68.
- [12] Knight, K., Collapse of Structure of Sandy Subsoils on Wetting, T. University of Witwatersrand, 1960.
- [13] 高国瑞,黄土显微结构分析及其在工程勘察中的应用,工程勘察, No.6,1980, pp. 25-28.
- [14] 高国瑞,细粒土结构专门术语、概念和分类命名的初步方案,水文地质工程地质, No. 1, 1986,pp.8-16.
- [15] 高国瑞,中国黄土的微结构,科学通报, No.24, 1980, pp.945-948.
- [16] 郑建国、张苏民,黄土湿陷起始压力和起始含水量,工程勘察, No.2, 1989,pp.6-10.

A Structure Theory for Collapsing Deformation of Loess Soils

Gao Guorui

(Nanjing Architectural and Civil Engineering Institute)

Abstract

There have been various hypotheses and theories concerning the collapsing deformation of loess soils, e.g. capillary effect, salt dissolution assumption, clay-colloidal shortage hypothesis, water-film wedge action and under-compaction theory. They partly explain the collapsing phenomenon in terms of physics, physico-chemical or geological mechanisms. However, these hypotheses or theories didn't fully expound the intrinsic nature of collapsing deformation phenomenon of loess soils.

In this paper the collapsing deformation of loess soils is analyzed and a structure theory for collapsing loess soils is proposed on the basis of analyses of all these hypotheses or theories, and then all phenomena and mechanisms of collapsing deformation of loess soils are clarified by the structure theory.