强夯加固近期粗粒填土塌陷特征的研究

林世文 ,包俊超 ,兰荣旺
(辽宁有色勘察研究院二分院 ,铁岭　112001)

[摘　要]强夯加固近期粗粒填土时 ,夯点部位的土体明显产生了漏斗式塌陷 ,并且有数条环状和根状裂隙。针对这种特殊的地质特征 ,说明了由大孔隙到小孔隙 ,填土要经过瞬间的 3 个变化过程 ,而且在有效加固深度内土体呈“逆向转换 ”规律 ,同时分析了为什么夯点土体在成分均一的条件下 ,不同部位承载力悬殊这一关键性问题 ,对夯点间距的设计提供了理论依据。

[关键词]粗粒填土　塌陷　冲击力　变化过程　逆向转换
[中图分类号]TU472. 3　[文献标识码]A　[文章编号]0495 - 5331(2001)06 - 0091 - 03

1　粗粒填土产生塌陷现象

强夯加固近期回填的粗粒填土 ,由于孔隙大 ,加之土中粘粒成分小于 35 % ,天然含水量低于 15 % ,产生了明显的塌陷现象 ,并伴随着发育环状裂隙和根状裂隙。当填土中混有较多的砾石时 ,即使含水量较高 ,也会产生塌陷现象。

2　夯点土体塌陷与裂隙的形成

2. 1　漏斗式塌陷

夯锤瞬间产生的冲击力 ,迫使锤底部土迅速下沉的同时 ,冲击力在夯锤周边的土体中形成挤压分力 ,导致了夯坑侧向土体孔隙缩小 ,土颗粒密度加大而下沉 ,并随着土颗粒与孔隙之间传递距离的加大而消失。只有在有效距离范围内下沉深度与挤压力传递距离成反比时 ,夯坑内壁土体下沉量最大 ,有效范围边缘最小 ,故而形成了漏斗式塌陷(图 1) 。其塌陷幅度 ,取决于两个因素 ,即填土厚度和总夯击能量。当填土厚度与总夯击能大时 ,塌陷幅度就大 ,反之塌陷幅度就小。

2. 2　环状裂隙与根状裂隙

夯坑周围土体在瞬间下沉的过程中 ,也是夯坑周围土体挤压力集中之时(图 2) 。当这种挤压力受场地土体限制时 ,伴随着冲击波反射产生的回弹力(图 3) ,从而推动土颗粒呈俯角向夯坑内位移 ,导致土体塌陷部位边缘拉力增大 ,当土颗粒之间的联结力小于回弹力所释放的拉力时断开 ,即形成了环状张裂隙。随着夯击能的增加 ,夯坑加深 ,夯坑周围土体挤压范围加大 ,下沉加深 ,塌陷面积加大 ,环状裂隙增多。经现场实测 ,环状裂隙间距与填土厚度和塌陷深度及塌陷面积有关 ,均以 1. 4 倍的距离逐级加宽。

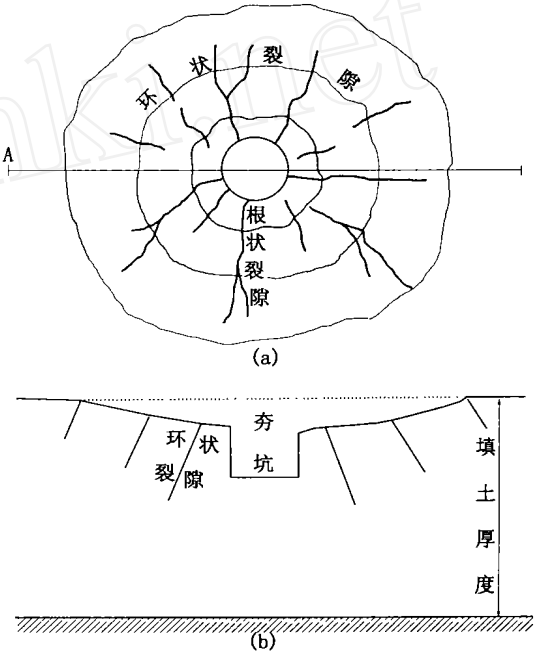

图 1　粗粒填土形成的漏斗式塌陷
(a) —漏斗式塌陷平面环状裂隙和根状裂隙 ;(b) —漏斗式塌陷剖面图

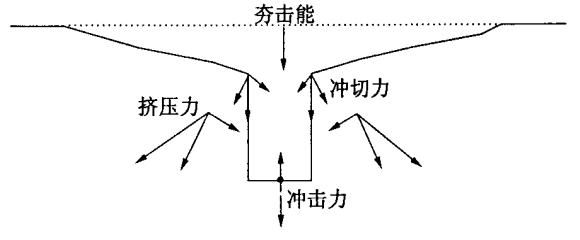

图 2　夯击能转化成剪切力和挤压力分布图

现场调查发现 ,形成环状裂隙之后 ,才形成放射状的根状裂隙。经分析研究 ,根状裂隙的形成 ,有利于夯坑周围土体回弹力的释放 ,同时也有助于土体的沉降。

[收稿日期]2001 - 01 - 02 ;[修订日期]2001 - 03 - 15 ;[责任编辑]王　玉。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

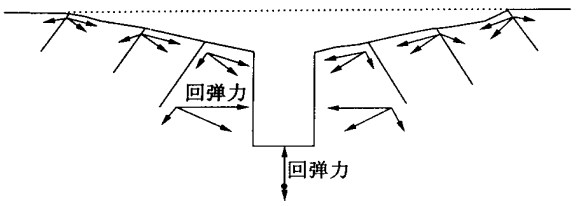

图 3　土体在坑周围产生回弹力分布图

2.3　漏斗式塌陷土体受力沉降区的划分

夯点土体在夯锤冲击作用下产生的塌陷由 6 部分沉降区组成(图 4)。依据受力,沉降次序排列如下:

冲击区(C) →速缩区(S) →气垫效应区(Q) →侧向挤密区(J) →振陷区(Z) →幅沦区(F)。

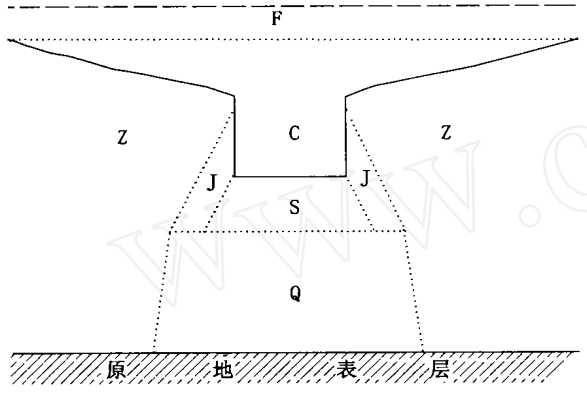

图 4　漏斗式塌陷土体不同沉降区划分
(图例说明见正文)

夯坑是由夯锤多次冲击形成。当土体受到首次冲击时,将锤底面积范围内最大受力厚度的土体冲击到初始形成的夯坑(C)底部之后,每次冲击的深度都在小于上一次冲击深度的情况下,将夯坑底部土体迫压到最佳密度。研究过程中发现,在夯锤二次冲击土体时,夯坑底部土由于颗粒密度的加大而形成一个相当于 1.2 倍锤底面积的初始速缩区(S),厚度约为夯锤直径的 1/4。此时速缩区底部土体[气垫效应区(Q)]孔隙中的空气具备了产生压缩性的半封闭条件,当夯锤再次冲击时,速缩区土颗粒继续加密,厚度增加到 1/3 夯锤直径时,气垫效应区土体孔隙中空气在夯锤冲击的瞬间将产生气垫效应,迫使受冲击的土体压缩量减小。然后加厚的速缩区在气垫效应和夯锤冲击力的夹迫下,向侧向挤出,即产生了侧向挤密区(J)。经现场原位测试和部分物理性试验证明,速缩区约以 25 角侧向挤出。随着夯坑深度的加大,坑壁侧向挤密土体不再横向发展,而是随着土体整体下沉。侧向挤密区周围的填土不仅受到该区土的挤密影响,而且主要是受冲击波的影响而下沉,这部分土体可划分为振陷区(Z)。而幅沦区(F)是多个夯坑土体在数次夯击振动下沉和填平夯坑后再夯击的场地整体沉降部分。

3　漏斗式塌陷土体的逆向转换

3.1　在夯击作用下土颗粒变化的 3 个阶段

夯点部位土体在夯锤冲击作用下,土体中孔隙、颗粒形态变化由以下 3 个阶级完成:即孔隙缩小阶段、颗粒形变阶段(对于不同的土颗粒成分,在该阶段也可称为"颗粒挤实阶段")、颗粒镶嵌阶段(图 5)。

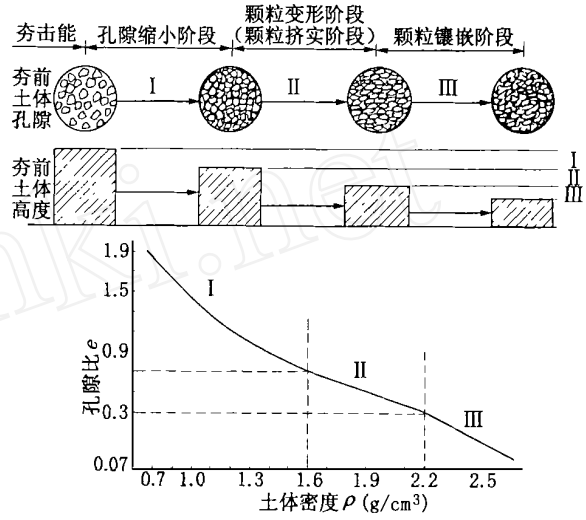

图 5　粗粒填土经夯实冲击发展的 3 个阶段

从图 5 不难看出,新近粗粒填土,具有较大空隙,在夯击作用下,土颗粒互相靠近,空隙减小,该阶段可称为孔隙缩小阶段。随着夯击能量的增加,土体孔隙继续减小,土颗粒达到接触挤压的状态,该阶段对于粘粒呈挤扁现象,可称为颗粒形变阶段,对于砂砾呈顶实现象,可称为颗粒挤实阶段。在夯击能继续作用下,土颗粒呈插楔现象,即颗粒镶嵌阶段,该阶段为粗粒填土加固的理想状态。

3.2　夯点轴心土体的逆向转换

实践证明,速缩区土体孔隙和土颗粒在初始阶段按上述前两个阶段发展,当达到第三阶段时,土体在垂直方向呈逆向发展。原因是在夯击能量不断累加的情况下,夯坑底面土体受冲击能量最大,加上气垫效应区的影响,最先到达颗粒镶嵌阶段(图 6)。这个阶段在一般情况下,占速缩区厚度的 30 %,70 %的土颗粒达到颗粒形变阶段。之下的气垫效应区全厚度土体为孔隙缩小阶段。从而夯坑底部土体垂直密度的排序为:Ⅲ→Ⅱ→Ⅰ,即从速缩区土颗粒镶嵌阶段过渡到土颗粒的形变阶段,之后过渡到气垫效应区的孔隙缩小阶段。因此,说明了漏斗式塌陷土体是以夯坑为轴心沉降的逆向转换。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

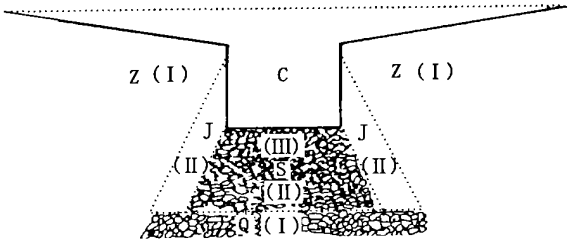

图 6　夯坑轴心土体孔隙、土颗粒 3 个阶段的逆向转换图

3.3　各沉降区承载力悬殊的原因

当粗粒土以砂粒、粘粒混杂在一起时,明显地体现上述 3 个阶段和夯点轴心土体的逆向转换的变化。对于夯点土体而言,由于受力的方式和能量不同,土颗粒发展阶段不一致(表 1)。除幅沦区没有土体外,仅速缩区完成了土颗粒发展的 3 个阶段。而气垫效应区和振陷区仅进入了第一阶段,或者刚好完成了第一阶段。虽然冲击区和侧向挤密区都进入了第二阶段,但是冲击区内(即夯坑)为夯间土所填,并常采用满夯处理,故不能全部完成颗粒形变阶段。

表 1　夯点土体各沉降区颗粒发展阶段

沉降区名称		冲击区(C)	速缩区(S)	气垫效应区(Q)	侧向挤密区(J)	振陷区(Z)	幅沦区(F)
土颗粒发展阶段	孔隙缩小阶段(Ⅰ)	√	√	√	√	√	—
	颗粒形变阶段(Ⅱ)	√	√	—	√	—	—
	颗粒镶嵌阶段(Ⅲ)	—	√	—	—	—	—

注:√:代表土颗粒完成和发展到该阶段;—:代表土颗粒没有发展到该阶段;幅沦区(F)最终没有土体。

由于各沉降区的受力方式和接收夯击能量不同,从而限制了土体整体的密实程度,是导致夯点土体各部位承载力悬殊的直接原因。一般情况下,速缩区承载力最大,是冲击区和侧向挤密区的 2.5～3 倍,是气垫效应区和振陷区的 5～10 倍。

4　确定夯点间距

依据近期粗粒填土漏斗式塌陷特征,划分了夯点土体不同受力形成的沉降区,从而确定了夯点间距的设计依据。当填土厚度 < 5 m 时,可采用下列公式计算夯点间距:

$$f_j = 2(\mathrm{ctg}\,65^\circ \times H_s + R + J_p)$$

式中 f_j —夯点间距(m);∠65°—速缩区底边锐角;H_s —速缩区厚度(m),相当于 2/3 锤径;R —夯锤半径(m);J_p —侧向挤密区水平宽度(m),取 0.3 m。

当填土厚度等于及大于 5 m 时,采用漏斗式塌陷半径作为夯点间距的设计依据,经数个强夯场地夯点塌陷统计列表如下(表 2),可供设计时参考。

表 2　近期粗粒填土夯点间距设计参考表

有效加固深度(m)	5	6	7	8	9	10	11	12
漏斗式塌陷半径(m)	3.0	3.7	4.4	5.1	5.8	6.5	7.2	7.9

5　结束语

夯点土体塌陷现象,是强夯加固填土地基的重要特征之一,除天然含水量较高的粘性土外,凡是近期和新近填土都将产生明显的塌陷现象。夯点土体各部位承载力悬殊的原因是由于夯点土体受力不均造成的。另外通过对漏斗式塌陷土体的受力区划分,也为夯点间距的设计提供了理论依据。

RESEARCH ON THE SUBSIDENCE CHARACTERISTICS OF THE SHORT - TERM BIG GRANULAR FILLING FOR REINFORCEMENT OF DYNAMIC COMPACTION

LIN Shi - wen, BAO Jun - chao, LAN Rong - wang

Abstract: Obviously at the ramming point the soil produces a funneled subsidence and a number of ringlike and rhizomorphous crannies when the short - term big granular filling is rammed. The particular geological characteristic is proved that from big aperture to small aperture the soil goes through three changing processes in a twinkling. Thereby a law is deduced that in the effective depth the rammed soil obeys the "inverse transformation". At the same time the key question is analyzed and studied why at the different place the supporting force of the soil is the great disparity under equal composition. Thereby the theoretical basis is provided on the design for the distance between rammed points.

Key words: Big granular filling; subsidence, wallop; three changing processes, inverse transformation

[第一作者简介]

林世文(1954 年 -),男,1978 年毕业于长春冶金地质学校,1991 年毕业于成都地质学院水文工程地质专业,曾任辽宁有色勘察研究院二分院总工程师,辽宁有色地质局一 ○六队总工程师,现从事岩土工程勘察、强夯等项目的研究工作。

通讯地址:辽宁省铁岭市　辽宁省有色地质局一 ○六队　邮政编码:112001

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net