

砂土密实度的成因分析及其评价方法的探讨

孔祥国

(长江大学城市建设学院, 湖北荆州 434023)

【摘要】 砂土的密实程度是影响其工程性质的重要因素, 评价砂土密实度的方法很多, 但所得结果可能有差异, 通常认为这是试验方法不同引起的试验误差。实际上砂土的成因及埋藏条件、地下水也是影响砂土密实度的重要因素。承压水的承压力会改变土中有效自重应力的分布, 致使砂土密实度出现反常现象。工程中应注重砂土密实度的成因分析, 运用理论知识, 分辨各种评价方法的适用条件及其优缺点。

【关键词】 密实度; 相对密实度; 标准贯入; 承压水; 液化

【中图分类号】 P 642.11; TU 411

Formation Reasons for Sand Density and Study of Evaluation Methods

Kong Xiangguo

(School of Urban Construction, Yangtze University, Jinzhou Hubei 434023 China)

【Abstract】 The density of the sand is important factors for their engineering properties, the evaluation methods of sand density is more, but the results may have differences, usually means, this is testing error that is caused by different testing method. In fact, the causes of the sand formation and buried conditions, groundwater is also the important factors. The distribution of effective stress in the soil will be changed by the pressure of the confined water, and the anomaly of sand density may be formed. Project should focus on the analysis of the formation reasons for sand density, according to theoretical knowledge, to identify applicable conditions of various evaluation methods and their advantages and shortcoming.

【Key Words】 degree of density; relative density; SPT; confined water; liquefaction

0 引言

砂土的物理性质主要决定于密实度状态。砂土呈密实状态时, 强度较大, 是良好的天然地基; 呈稍密、松散状态时则是一种软弱地基, 尤其是饱和的粉、细砂, 稳定性很差, 在振动荷载作用下将发生液化现象。砂土的密实程度是影响其工程性质的重要因素, 判断砂土密实度的方法主要有三种: 即以孔隙比 e 为标准、以相对密实度 D_r 为标准、以标贯试验 N 值为标准等方法。此外, 根据静力触探等原位测试结果也可以确定砂土的密实度。这些评价方法在实际工程中已得到了广泛的运用, 但采用多种方法对某一砂土进行评价时, 其结果往往存在较大分歧, 究其原因, 通常认为这是试验方法、试验条件不同引起的试验误差。那么除此以外, 还有没有其它原因呢? 下面笔者将从试验、土的成因及埋藏条件、地下水的影响等几方面讨论砂土的密实度。

1 砂土密实度评价方法的比较

砂土的密实度在一定程度上可根据天然孔隙比 e 的大小来评定, 但对于级配相差较大的砂土, 则天然孔隙比 e 难以有效判定其相对高低。工程中为了准确判定砂土的密实度, 通常用相对密实度 D_r 来评价其密实度, 其表达式^[1]

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

D_r 值变化在 0 到 1 之间, 当 $D_r = 0$ 为最松状态, $D_r = 1$ 为最密实状态。根据 D_r 值可把砂土的密实状态划分为如下三种

$1 \geq D_r > 0.67$	密实
$0.67 \geq D_r > 0.33$	中密
$0.33 \geq D_r > 0$	松散

由于砂土的孔隙比 e 和相对密实度 D_r 值的确定均需采取原状砂样测定天然孔隙比, 且最大、最小孔隙比也难以测定, 因此这两种方法均易受到取

样等人为因素影响而失真。在砂垫层等填方工程中,一般根据最大干密度乘以0.85~0.98的折减系数作为施工质量控制指标。对于重要填方工程要求达到密实状态,可根据 $D_r=0.67$ 计算出最小填筑干密度作为填方施工质量控制标准;如果仅要求达到中密状态,则根据 $D_r=0.33$ 计算填筑干密度。由于相对密实度是根据天然孔隙比 e 与最松状态测值 e_{max} 和最密实状态测值 e_{min} 比较得出,且测值 e_{max} 和 e_{min} 在一定程度上反映了砂土的级配状况及压实性,故以相对密实度控制砂土填方工程的压实密度比仅根据最大干密度乘以某一折减系数其密实状态明确,因而较为合理^[2]。

标贯试验是一种原位测试手段,它是将探头打入土中一定深度所需击数 N 值来评价砂土密实度的方法,该方法克服了前两种方法存在的缺陷。标贯试验 N 值为一种原位测试结果,比较直接、真实地反映了砂土的密实度。但各种钻探方法对砂层原始状态的影响不一,获得的标贯 N 值也有一定差异。冲击钻对粉细砂层原始状态的影响较大,获得的标贯 N 值与实际相差较大,而回转钻对粉细砂层原始状态的影响较小,获得的标贯 N 值与实际比较接近^[3]。因此试验中要控制好垂直度、锤击速率,并根据建立的统计关系进行修正。通常根据砂土的标准贯入击数 N 值将其分为密实、中密、稍密和松散四种状态^[4-5]。可见在工程地质勘察中获得准确的标贯试验 N 值,对工程具有极其重要的意义。

确定了砂土的密实度,就可以确定其承载力和压缩模量等指标,为工程设计提供依据。由于每一种测定方法都有其适用性,使得测定结果往往有比较大的差异,显然这种差异与实验(试验)方法、手段和实验(试验)条件有关,有关这方面的研究已有一些成果,在此不作细述。那么,砂土的成因以及埋藏条件、地下水等因素对砂土的密实度又有何影响呢?下面将着重讨论。

2 砂土的成因及埋藏条件对砂土密实度的影响

埋藏于地层中的砂土形成都有一段时期,在漫长的地质年代中,成土时间对土的固结程度、密度和结构特性都有很大影响,同一时代的土特性相近,不同时代的土一般有较大差别。天然状态的砂土大多是流水作用的沉积物,具有透水性强、压密快和内摩擦角较大的特点。因砂土系单粒结构,在长期的有效自重应力作用下,砂土被逐渐压密。一般沉积时间早、埋深大的,所受土的自重应力就大,则砂土强度高,密实度好;反之则低。故浅层砂土的密实度以松散一稍

密居多,由浅至深,砂土的密实度从松散过渡为中密,最后到密实状态。当其处于地下水位之下和埋深小于15m时,可能因强震或机械震动而引起砂土液化。

3 振动荷载对砂土密实度的影响

众所周知,振动可以使砂土变得密实,使砂土的密实度提高。那么在漫长的地质年代中,各种动荷载包括人为振动和地震都可能对砂土的密实度造成影响。其中历史地震作用对砂土密实度的影响更显著,它使砂土密实度提高,粒间结构变得更加稳定,美国学者在振动台上的模拟试验证实了这一点^[6]。当然,强震或机械震动也会引起砂土液化,降低其密实度。所谓砂土的液化是指在地震循环剪切作用下,土中孔隙水压力(u)逐渐升高,直至 $\sigma=0$ 时,且当砂土 c 值为0时,则 $\tau=0$,此时砂土即发生“液化”。我国抗震规范中所说的“砂土液化”是指地震时地面出现喷砂、冒水现象才定为“液化”^[7]。因为只有喷砂、冒水(地下发生水土流失)才会使地基失效。规范中各种判别标准的数据来源其实都是“喷砂、冒水场地”或“未喷砂冒水场地”取得的。由此才有“上覆非液化土层厚度”和“地下水位深度”对液化(喷砂冒水)的抑制作用。近年来,有学者提出了以地貌单元(成因类型)、地层年代、地震烈度这三大要素组合进行判别的“砂土液化的工程地质判别法”^[8]。但应注意以下几个问题。

1) “液化点”问题

很多勘察报告都出现过“液化点”之说,往往因所谓“液化点”存在而将本不液化的砂层判为“轻微液化”,这样一判,就可能增加设计麻烦,使工程造价增加。其实所谓“液化点”就是标贯击数 N 的低值异常点。这种点往往是因砂土中有粘性土夹层(团块)或粉土夹层,或因试验操作不当造成的,应当删除。要注意:砂土液化判别本来是对“层”的判别,而非“点”的判别,是统计概念,不是由个别点而决定的。

2) 薄层粉土、粉质粘土与砂层互层的判别问题

二元结构冲积层往往在上部粘性土与下部砂砾石层之间存在过渡层,即粉、细砂层与粉土或粉质粘土互层。在这种频繁变化的互层中进行标贯试验,很难取得纯砂层标贯击数 N 的准确数据,数值普遍偏小。如何对待这种问题呢?一是在每次标贯后认真辨别标贯器中的土是否纯砂土,不是砂土的 N 值应该剔除。二是应测定粉、细砂层中的粘粒含量。多数情况下,这种互层土中的砂土或粉土都不液化,因为其中的粘性土夹层对砂土液化有抑制作用(即对砂土的流动具有阻隔作用)。实验证明:

粉细砂土中粘粒的含量是影响其液化的重要因素。当粉土中粘粒含量为 9% 左右时其抗液化强度最低; 粘粒含量小于 9%, 土中粘粒主要起润滑作用; 粘粒含量大于 9%, 粉粒被大量的粘粒层包围, 这些粘粒不但胶结粉粒, 而且自身也在固结, 随着粘粒含量增加, 粘粒对粉粒的胶结和自身结构的调整作用不断增强, 主要起稳定、镶嵌作用^[8-9]。也就是说, 随着粘粒含量的增加, 所含粘粒的作用由起润滑作用变为起密实、镶嵌作用, 其抗液化能力随粘粒含量的增加而提高。

4 地下水对砂土密实度的影响

地下水的影响会使标贯实测值偏小, 关于这一点早已为人们所接受^[10]。其原因很简单, 主要是地下水的“润滑”作用减小了标贯器与砂土之间的摩擦, 从而使得标贯击数减小了。在饱和砂土中, 标贯击数应考虑杆长和地下水的影响, 但我国目前尚未见有成熟的地下水校正方法。通常情况下, 随着砂土厚度的增加, 埋深加大, 形成时间增长, 砂土的标贯实测 N 值将变大, 砂土密实度则由松散、稍密逐渐过度到中密, 最后达到密实状态。究其原因, 是因为随着深度的增加, 土中有效自重应力增大; 时间加长, 土固结更充分, 从而使砂土越来越密实, 密实度提高。但也有一些反常情况, 需要引起重视。例如, 在长江流域荆江河段两岸的阶地上, 表层厚度不一的隔水层下埋藏着厚度较大的砂土层, 该砂土层中的承压水主要接受远源大气降水的侧向迳流补给和长江水的侧向补给, 迳流条件下部优于上部, 并以地下迳流和人工开采为主要排泄方式。在该区域, 经常会见到形成时间较久且埋藏厚度较大(达 20 多米)的砂土仍处于中密状态, 这又是何故呢? 经过分析发现, 这与承压水的分布及压力大小有关。该区域承压水位不高且较稳定, 一般在场地地表附近, 与长江水位有较大关联。由于埋藏在地下的砂土长期处在承压水的作用之下, 砂土上覆隔水层的土压力与承压水压力相互抵消或部分抵消, 致使向下传递的有效自重应力比潜水作用(假定)情况下减小了很多, 减小幅度与承压水的承压力有关, 见图 1 和图 2。图中第①层土为隔水层, 主要是粘性土, 厚度一般为 3~8 m, 现以 γ_1 、 h_1 表示该层土的天然重度和厚度; 第②层土为含水层, 主要是砂土, 该层土很厚, 一般在 20 m 以上, 分布其间的承压水水头在地表附近, 图中分别以 γ'_2 、 h 、 h_w 表示该层土的有效重度、厚度及承压水水头高度。

从图中可以看出:

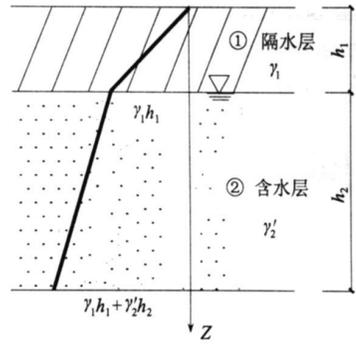


图 1 地下水为潜水时土中有效自重应力分布

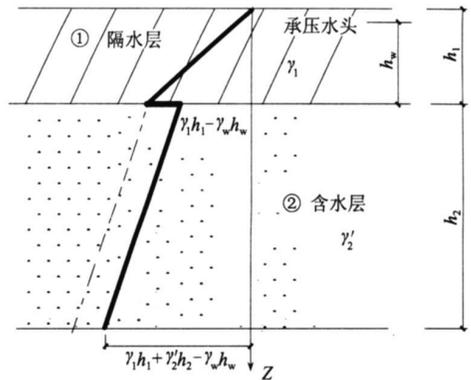


图 2 地下水为承压水时土中有效自重应力分布

地下水为潜水时, 第②层土底部有效自重应力为 $\gamma_1 h_1 + \gamma'_2 h_2$;

地下水为承压水时, 第②层土底部有效自重应力为 $\gamma_1 h_1 + \gamma'_2 h_2 - \gamma_w h_w$ 。

比较两种情况下土中有效自重应力的分布情况, 不难看出: 在不考虑其它荷载作用的情况下, 地下水为承压水时作用于砂土上的有效自重应力比潜水状态下始终小 $\gamma_w h_w$, 即承压水的承压力。因此, 砂土虽然形成时间较长, 埋藏深度大, 但由于作用在其上的有效自重应力并不大, 致使固结度不高, 密实度自然就没有想象的好了。显然, 如果承压水的压力足够大, 隔水层及其上覆的土压力就不能有效地向下传递, 砂土密实度的反常现象就越明显, 关于这一点需引起大家的足够重视。

5 结论

通过对砂土密实度的评价方法和影响因素分析, 得出如下结论:

1) 评价砂土密实度的方法虽然很多, 但所得结果可能不一致, 工程中要运用理论知识, 分辨各种评价方法的适用条件以及其优缺点, 得出合理的结论。

2) 砂土的成因以及埋藏条件对砂土的密实度

(下转第 311 页)

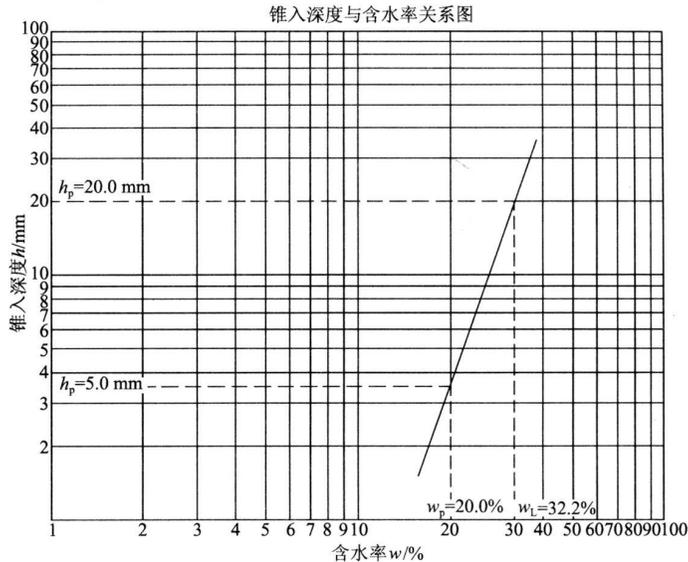


图 1 示例

3 结 论

1) 用 Excel 和 AutoCAD 联合绘制双对数函数图形,使人们从手工绘图中解放出来,同时既能充分发挥 Excel 数据处理准确性的优势,又能体现 AutoCAD 绘制图形规范性、美观性的特长,因此是一种非常方便、实用的方法。

2) 由于 CAD 在绘图上的优势,且自动生成脚本文件,可以通过 Excel 或其它的软件制作 CAD 的脚本文件,在 CAD 下运行,能收到事半功倍的效果。

参 考 文 献

[1] 王成春,萧雅云. Excel 函数应用秘笈[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2004.
 [2] JTGE 40—2007 公路土工试验规程[S].
 [3] 邱章云. 应用 Excel 编制 AutoCAD 脚本文件实现批量展点绘图[J]. 矿山测量, 2005(3): 52-54.

收稿日期: 2008-08-11

(上接第 291 页)

有很大影响。一般沉积时间早、埋深大的,所受土的自重应力就大,则砂土强度高,密实度好。

3) 地震作用对砂土密实度的影响非常显著,它使砂土密实度提高。但强震或机械震动会引起砂土液化。工程中要正确理解规范关于“砂土液化”的定义,建议采用“砂土液化的工程地质判别法”,注意“液化点”问题和薄层粉土、粉质粘土与砂层互层的判别问题。

4) 地下水的影响会使标贯实测值偏小。在工程中要注意不同类型的地下水对砂土密实度的影响是不同的,问题的实质是要看它们对有效自重应力的影响。承压水的承压力会改变土中有效自重应力的分布,导致砂土密实度异常,应引起重视。

参 考 文 献

[1] 张克恭,刘松玉,等. 土力学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005: 41-82.
 [2] 黄常艳. 影响砂土最大、最小孔隙比测值的因素探讨

[J]. 福建建筑高等专科学校学报, 2000, 2(2): 25-26.
 [3] 徐小明,张喜平. 钻探方法对粉细砂标贯试验值的影响[J]. 港工技术; 58-59.
 [4] 王奎华. 岩土工程勘察[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005: 106-113.
 [5] GB 50021—2001 岩土工程勘察规范[S].
 [6] 范士凯,粟怡然. 砂土液化的工程地质判别法[J]. 资源环境与工程, 2006, 20(B11): 595-600.
 [7] GB 50011—2001 建筑抗震设计规范[S].
 [8] 李立云,崔杰,等. 饱和粉土振动液化分析[J]. 岩土力学, 2005, 10(10): 1663-1666.
 [9] 朱建群. 含细粒砂土的强度特征与稳态性状研究[D]. 武汉: 中国科学院研究生院(武汉岩土力学研究所), 2007: 24-46
 [10] 卢进林. 饱和砂土中地下水对标贯击数影响的校正方法[J]. 广西地质, 1999, 12(1): 37-40.

收稿日期: 2008-08-25