

软土地基桩侧负摩阻力亟待解决的几个关键问题

1 中性点的确定

桩基[负摩阻力产生的原因](#),但是如何正确计算负摩阻力导致的下拉荷载,需首先解决的一个关键问题就是中性点深度如何合理确定。中性点深度受到桩土相互作用的各种因素的影响而呈明显的动态变化,考虑中如何反映施工过程以及以后使用过程中可能遇到的因素变化等,对于负摩阻力桩的合理设计等意义重大。由于中性点是桩土相对位移为零的点,而桩的压缩变形较易确定,故从土体沉降量的准确计算方面来确定中性点深度。(中性点唯一吗?不见得)

2 现场原位测试及测试技术

由于桩土相互作用的复杂性、原位测试费用等原因,桩侧表面负摩阻力的现场原位测试仍然少见。仅仅依靠那些层层简化的理论公式或者实测数据不多的经验公式是解决不了问题的,将来将会出现越来越多的负摩阻力问题,如城市中的环境岩土工程问题、沿海沿江超高填土码头、围海造陆工程等都不可避免遇到负摩阻力问题。从规范角度强调应做一定比例的桩的负摩阻力原位试验,这对于验证并完善桩基负摩阻力的计算方法等具有重要意义。另外,在存在负摩阻力的桩基中,桩基的静载试验如何反映负摩阻力的存在及大小一直是一个难点。建议对重大工程应采用先进测试仪器做负摩阻力的长期测试观测,包括桩、土体各控制断面点的沉降以及桩身轴力测试等,同时应做好优化工作。

3 桩侧负摩阻力的合理计算

实际上桩侧表面负摩阻力的发挥及大小与桩土的相对位移密切相关,因此桩侧负摩阻力并不是都同时达到极限,即具有不同步性。而目前的研究中,基本上都是采用理想弹塑性模型,即认为桩侧负摩阻力发挥到极限值后保持恒定,而实际情况远非如此,这主要是由桩土相互作用的复杂性所决定的。特别是近年来各种大直径超长桩以及各种新型桩的出现,对桩侧表面负摩阻力的确定提出了新的课题与挑战。对特定类型地基土体可通过室内模型试验,结合有关现场测试数据,建立起负摩阻力与桩土相对位移的关系以及负摩阻力与地表沉降量之间的关系,从而才能更科学地计算负摩阻力产生的下拉荷载。

4 桩土界面摩擦试验亟待加强

各种地下结构与岩土体的共同作用研究能否反映实际,除了结构与岩土体本构模型外,还可以说在于两者界面力学特性能否反映实际,国内外较多学者对此也做了大量研究,如 Goodman、Desai、Bosscher、Clough、Zienkiewicz及国内的殷宗泽等。桩土的共同作用机理也不例外,正确了解桩土接触面力学特性并选定合适的力学参数,对于正确计算桩侧表面负摩阻力等具有重要意义,因此对桩土界面的力学特性及参数进行专门研究很有必要。目前国内水利系统的坝基工程对界面摩擦试验研究较多,而实际上坝基与岩土体的摩擦界面与桩土体摩擦界面的受力条件不同,前者的法向压力多为常压力,而后者的法向压力多呈线性变化。另外,各种材料类型的桩与土体的界面的粗糙程度也不一样,如:钻孔桩的桩-土界面较粗糙,预制桩的桩-土界面较光滑。文献研究了砂土与结构的界面相对粗糙度对接触面力学性质和变形机理的影响。建议

结合现有桩土界面摩擦试验成果,通过有关典型的负摩阻力实测数据来反演桩土界面力学参数具有重要意义。

5 结构性软土损伤对桩负摩阻力影响研究

从广义上讲,土都具有结构性。不同的学者对黏性土的结构性研究表明:结构性强的原状黏性土具有明显的结构屈服压力 P_s ,且 P_s 均大于上覆有效压力,沈珠江(1998)、龚晓南(2000)等的研究表明:当黏性土的结构性被破坏即损伤后,其强度性质及固结系数均发生急剧降低,最后与重塑土的性质相同。因此结构性强的软土损伤将对地基沉降产生影响,进而直接影响桩土的相对位移,故对桩侧表面负摩阻力将产生根本性影响。建议重点分析软土结构性破坏后对土体的力学及变形指标主要是土体压缩模量、内聚力、内摩擦角以及土体固结系数等的影响,从参数敏感性分析角度来研究软土结构性损伤对桩负摩阻力的影响。

6 软土流变效应对负摩阻力的影响研究

流变性实际上包含蠕变、黏滞、松弛、长期强度等方面,其主要的工程表现为变形的长期性,软土因具有大孔隙比、高含水量、高压缩性等特点,其流变性将更加明显。若在设计中对软土的流变性认识不足,则对软土地基中的各类建(构)筑物可能产生的下拉荷载预估不充分,必将导致一些工程隐患。利用合适的流变模型来计算桩、土体沉降量,进而确定桩基中性点深度,并通过负摩阻力与桩土相对位移的关系等最终确定下拉荷载的大小。

7 负摩阻力的施工效应分析

施工因素将使得负摩阻力的产生与变化以及负摩阻力荷载和上部结构荷载的组合过程变得复杂。例如,打入桩基的负摩阻力及其对桩基沉降的影响,不仅涉及到桩与桩基几何尺寸、桩周土类型与渗透性,还涉及到群桩和上部结构施工等因素。文献利用三维有限元分析模型,分析了填土堆载作用下桩侧表面负摩阻力随上部结构施工过程的动态变化规律结果表明负摩阻力产生的下拉荷载随施工过程呈非线性变化。但由于岩土工程的复杂性,施工因素复杂,对负摩阻力的施工效应仍需大力研究,建议目前仍以数值计算方法为主。

8 水平荷载对负摩阻力的影响研究

建在软土地基上的高速公路桥涵工程以及港口高填土高桩码头中,桩基在承受下拉荷载的同时往往还要承受桩侧填土或者波浪力等产生的水平推力作用,以前的研究多集中于竖向荷载作用对桩基水平承载力的影响或者仅仅在竖向荷载作用下来讨论负摩阻力问题,而关于水平荷载对负摩阻力及下拉荷载影响的研究目前还未见有相关文献。建议可从水平荷载对桩土竖向变形及对桩侧摩阻力两方面的影响来着手研究。

9 群桩负摩阻力计算

与承受正摩擦力的群桩一样,承受负摩擦力的群桩也具有特殊的群桩效应。群桩中平均每根桩负摩阻力比单根桩小,群桩中作用于边桩和角桩的负摩阻力大于中心桩上的负摩阻力,这就是负摩阻力的群桩效应。由于群桩—土体—承台的复杂的共同作用,使得中间桩桩土相对位移减少,从而使内部桩段上的负摩阻力大大减弱甚至消除,导致桩体的

中性点上移，降低了群桩的总体负摩阻力。以往的研究主要是借鉴承受正摩阻力群桩的做法而引入一个负摩阻力群桩效应系数，而截至目前，国内外对承受正摩阻力的群桩效应问题还没有完全解决，再加上近年来大直径超长桩及超大规模群桩基础的出现，对承受正、负摩阻力的群桩的研究均提出了新的更高的要求和挑战。借鉴群桩效应系数的优点，通过对比室内单、群桩模型负摩阻力试验结果，通过数值计算方法进行复杂群桩的负摩阻力分布的研究。

10 软土地区消减桩基负摩阻力的优化工程措施

目前，主要从桩身几何构造、软土地基本身、[改善桩土界面特性以及施工](#)等几个方面采取相应工程措施来消减桩侧表面负摩阻力。如：在桩的承载能力满足要求的前提下，可尽量减小桩径、降低桩体刚度；采用适当的地基处理措施以减少桩周土层沉降；采用沥青涂层以增加桩土界面的光滑程度；采用套管法或隔离桩法来承受下拉荷载；施工时采用合适的施桩顺序、施桩速度等，基坑开挖应确保支护结构的稳定性，以及高填土及上部结构的分段施工等措施均有利于减小桩侧表面负摩阻力及下拉荷载。采用更为经济、有效的消减负摩阻力的优化工程措施是发展所需。

软土地基桩侧负摩阻力产生的原因

软土地基是一种软弱地基，其具有“三高三低”的基本特性。近年来，软土地基中桩的设计直径、设计长度及设计荷载也越来越大。但由于多种原因引起桩周土层下沉量大于桩身下沉量的桩长范围内时将产

生桩周负摩阻力,其产生的下拉荷载作用到桩上,可能将造成桩身破坏、桩端地基屈服或破坏以及上部结构不均匀沉降。如何合理地考虑桩基表面负摩阻力对桩基础的作用是桩基设计中长期存在的问题之一,也日益引起工程界重视。由于桩、土性质的复杂性、荷载及施工条件的多变性以及桩土相互作用的复杂性等影响,导致桩侧表面负摩阻力及下拉荷载的计算尤为复杂。

软土地基桩侧表面负摩阻力产生原因

当地基结构物和地基土产生相对位移时,地下结构物的侧面就作用有摩阻力,当地下结构物的沉降大于地基土的沉降时,摩阻力为正;反之,当地基土的沉降大于地下结构物的沉降时,摩阻力为负。桩基负摩阻力产生的最本质原因在于出现桩周土沉降大于桩身沉降的相对位移。在软土地基中以下几种情况可能诱发负摩阻力产生:

1. 位于桩周的欠固结软黏土或新近填土在自重作用下产生新的固结;
2. 大面积地面堆载使桩周土层压缩固结下沉;
3. 灵敏度较高的饱水黏性土,受打桩等施工扰动影响,使原来地面壅高,桩间土内总压力和附加超静水压力都普遍增高,软土触变性增强,随后又产生新的固结下沉;
4. 城市建设过程中出现的环境岩土工程问题引起的地面沉降也可能产生桩基负摩阻力,如:

1. 深基坑开挖 :其将导致土体应力释放而产生释放变形 ,在坑周导致的地面下沉作用在相邻建筑物桩基上可能产生负摩阻力 ;另外 ,超深基坑开挖导致土体的深层位移等也将产生负摩阻力 ;
2. 地下工程 :随着地下空间的开发利用 ,城市中地下工程越来越多 ,如地下铁道、地下街、地下商场和地下污水合流工程等 ,由于这类工程往往是在浅层地下掘进进行的 ,由于开挖工作面不稳定造成的土体损失、土体应力释放及扰动土体重新固结 ,将会造成地面土体大量级变形 ,也可能会对上部或相邻建筑物桩基产生附加力 ,即负摩阻力 ;
3. 无节制地抽取地下水以及工程建设施工疏排水等 ,使土体有效应力增加 ,必将会导致土体附加沉陷 ,从而对影响范围内的桩基产生负摩阻力 ;
4. 地面过大堆载及相邻建筑物自重悬殊等引起的附加沉陷 也将会对相邻建筑物桩基产生负摩阻力 ;
5. 溶洞塌陷、土洞塌陷等造成的上部土体沉降而产生的负摩阻力问题 ;
6. 液化性土层在外动力作用下发生液化导致地面沉陷而发生的负摩阻力问题

复合地基与复合桩基的区别

复合地基和复合桩基两种相同之处 ,都是在天然地基不能满足设计承载力要求情况下 ,考虑桩土共同承担上部荷载 ,这是区别于纯端承桩的一个方面。在工程中实际情况表明 ,桩基单纯依靠端阻力承担荷载的情况很少。

本文认为复合地基和复合桩基之间的区别应该从以下几个方面考虑 :

1. 应该从传力路径上区别 : 复合桩基较复合地基传力更明确。复合桩基 : 上部荷载 - 承台 - 桩 - 桩间土。复合地基 : 上部荷载 - 垫层 - 加固层 (桩土混合区域)。
2. 荷载传递深度上区分 : 复合地基处理深度较桩基要浅 , 其目的还是以处理地基提高地基土的承载力为目的。桩基础则是其作用是将上部结构荷载通过桩身传到地基深部强度较高、压缩性较小的岩 (土) 层上 , 从而提供更高的承载能力并减小基础沉降和不均匀沉降。
3. 从处理目的上区分 : 复合地基的目标是提高地基的承载力 , 改善地基土性能。复合桩基的目的是把上部作用直接传递到深层持力层 , 但其在承台下部受力机理则与复合地基差不多。
4. 桩身材料上区分 : 复合桩基 , 为全刚性。复合地基 : 散体 , 半刚 , 刚。
5. 桩土共同作用上区分 : 复合桩基考虑桩身尺寸效应 , 复合地基则不然。这反映出 , 复合桩基中的基桩可以单独分离出来考虑受力计算 , 而复合地基必须作为整体进行研究 , 单独剥离出来基桩将毫无意义。

桩筏基础设计的演化进展浅析

1 桩筏基础设计的演化

高层建筑桩筏基础的设计近 20 多年来从原理和实践方面都发生了一系列演化，大体可分为 3 类模式：

1. “纯桩”模式，不论是端承型桩还是摩擦型桩、低承台还是高承台，一律由桩承担全部荷载，不考虑基底土的分担作用，这是传统的并仍为一些岩土工程设计者沿用的模式；
2. 复合桩基模式，对于非端承桩、基底土为非液化、非湿陷性、非欠固结土的条件下，考虑桩间土分担一部分荷载，如 JGJ94-94 的有关规定；
3. 按控制变形设计的复合疏桩基础模式，一种情况是地基土承载力不足，由疏桩弥补其不足，另一种情况是地基土承载力虽满足要求，但沉降过大，布置疏桩以减小沉降。前者称为协力桩基 (Assistant pile)，后者称为减沉桩基 (Settlement reducing pile)；二者在满足承载力要求的前提下，控制沉降变形，且均应为摩擦型疏桩，以较大程度地发挥桩间土的承载力作用。近年来，上海、浙江等地已建成按控沉疏桩桩基础原理设计建成多层住宅数百幢，伦敦和法兰克福已建成高层建筑疏桩基础工程。

2 控制变形疏桩基础的应用问题

控沉疏桩基础的设计原理是基于这样一些前提条件：

1. 桩的极限承载力不出现“零强度”破坏，即容许桩侧阻和端阻达到极限值状态，而不容许出现零强度破坏的桩身材料强度达到极限；换言之，桩身强度的安全系数不得小于土支承阻力的 2 倍；

2. 确保桩-土-筏组成有效的共同作用体系，即基底土必为非液化、非湿陷性、非欠固结土，并具有一定的承载力，以确保桩达到极限承载力后地基土仍具有足够的潜在承载力。软土地区高层建筑采用控沉疏桩基础的可能性和经济性不大，因为要确保桩、土总体承载力具有足够安全度，而地基土的贡献率不大，导致桩数多，桩距小。

3 变刚度调平设计

控制建筑物的差异变形，以降低筏板内力和上部结构次应力、减小板厚、配筋、改善使用功能，这是按控制变形设计的基本目标。为了实现这一目标，我们提出以上部结构-筏板-桩土共同作用分析为基础的变刚度调平设计。其基本原理是根据初始布桩进行共同作用分析所得的沉降等值线，实施变桩距、或变桩径、变桩长（视具体条件而定）布桩，破除均匀布桩或外密内疏布桩概念；对于地基土承载力满足要求但变形不均的情况下，实施局部布桩，破除纯天然地基概念；既利用桩间土分担荷载，又利用结构、筏板、桩调整变形的能力。通过共同作用的迭代耦合计算最终实现调平（差异变形减至最小）设计。