

In Sand Gravel Stratum Retaining and Protection of Foundation Excavation Design and Discussion of Construction Technology

Wu Liu

Beijing Geological Engineering Design Institute, Beijing
Email: liuwu1832@163.com

Received: Dec. 24th, 2012; revised: Jan. 21st, 2013; accepted: Jan. 29th, 2013

Abstract: This article mainly from the sandy cobble stratum classification features, special structure and site construction conditions in three aspects, on foundation pit supporting structure design and construction technology of choice, conduct in-depth systematic analysis and demonstration, in order to in sand gravel stratum retaining and protection of foundation excavation design scheme more scientific, feasible, economic.

Keywords: Retaining and Protection of Foundation Excavation Design; The Sandy Gravel Stratum Feature Classification; Natural Graded Sand Gravel Stratum with Special Structure; Site Construction Conditions; Selection of Construction Technology

在砂卵石地层中的基坑支护结构设计及施工工艺探讨

刘 伍

北京市地质工程设计研究院, 北京
Email: liuwu1832@163.com

收稿日期: 2012年12月24日; 修回日期: 2013年1月21日; 录用日期: 2013年1月29日

摘 要: 主要从砂卵石地层的分类特征、特殊结构及场内施工条件等三个方面, 对基坑支护结构设计及施工工艺选择, 进行深入、系统的分析论证, 力求在砂卵石地层中的基坑支护设计方案更科学、可行、经济。

关键词: 基坑支护结构设计; 砂卵石地层的特征分类; 天然级配砂卵石地层的特殊结构; 场内施工条件; 施工工艺选择

1. 引言

在砂卵石地层中进行基坑支护设计及施工时, 往往会出现因重视不够, 造成施工单位无法执行支护设计方案及施工浪费现象。具体表现为土钉成孔通常采用传统的洛阳铲, 但在砂卵石地层中施工时, 如仍采用洛阳铲成孔, 就会因卵砾的阻碍作用, 很难做到正常成孔, 如配合铁锹掏挖, 造出的土钉孔洞就像狼窝虎穴, 并常引起顶部的进一步坍塌, 造成钉孔周围的土体大范围的松动, 随后的孔内注浆也很难做到充满, 最终形成了“短而粗大, 顶部塌陷, 浆液不能充

满, 实际成本很高, 拉拔力实际没有或很小的怪异土钉”, 这种错误做法目前在施工中并不少见。这种现象的存在主要源于对砂卵石地层的特殊性认识不够, 没有采用更科学合理的支护设计理念及选择针对性的施工工艺所致。

此外, 天然级配砂卵石地层具有特殊的结构, 这种特殊结构对基坑支护设计是有利的, 但在基坑支护设计计算中通常被忽略不计, 本人认为, 当考虑这种特殊结构对基坑支护设计计算的特殊贡献时, 基坑支护设计方案会更科学、更经济, 同时并不影响其安全

性。

目前,针对砂卵石地层的基坑支护论文并不很多,主要原因是认为砂卵石地层简单、宜于设计、易于施工,其中的论文多以分析某一更可行的施工方法为主,关于不同性状的地层支护设计论述不多,针对天然级配砂卵石地层具有特殊的结构,并探讨在基坑支护中如何利用挖潜的论文很稀少。本次论文较全面的覆盖了上述问题,并主要以分类概要式论述为主,目的是对砂卵石地层中的基坑支护设计、施工工作有一较全面、深入的认识。

2. 砂卵石地层的特征分类对基坑支护结构设计及施工工艺选择的影响分析

砂卵石地层从成因及时间上可分为回填砂卵石、新近沉积砂卵石、一般第四系沉积砂卵石;从强度上可分为松散、稍密、中密、密实;从级配上可分为差、一般、较好;从有无漂石上可分含与不含^[1-3]。显然,砂卵石地层的这几种特征分类状态对基坑支护结构

设计及施工工艺的选择影响极大,需要逐一进行针对性分析。参见表 1。

3. 天然级配砂卵石地层的特殊结构及其对基坑支护结构设计的贡献分析

3.1. 对库伦抗剪强度理论的常规理解

根据土的抗剪强度理论,库伦的表达式为(参见图 1):

无粘性土 $\tau_f = \delta \tan g\varphi$ 粘性土 $\tau_f = c + \delta \tan g\varphi$
 式中 τ_f ——抗剪强度, kPa; δ ——总应力, kPa; c ——土的粘聚力,或称内聚力, kPa; φ ——土的内摩擦角, (°)。

库伦认为,无粘性土的抗剪强度是由土粒间的滑动摩擦以及凹凸面间的镶嵌作用所产生的(咬合)摩阻力,其大小决定于土粒表面的粗糙度、土的密实度以及颗粒级配等因素。粘性土和粉土的抗剪强度由摩阻力及粘聚力组成,粘聚力是由于粘土颗粒之间的胶结

Table 1. Classification of sandy cobble stratum of the foundation pit supporting structure design and construction technology of the impact analysis checklist
 表 1. 砂卵石地层的特征分类对基坑支护结构设计及施工工艺选择的影响分析一览表

砂卵石地层的特征分类		自稳性	对基坑支护结构设计的影响	对施工工艺选择的影响	
分类依据	分类级别				
1	成因及形成时间	回填砂卵石			
		无序回填	差 - 极差	非常不利	应采用防塌孔施工工艺
		按规范回填碾压或夯实	较好	有利	不易塌孔, 但难钻进
		新近沉积砂卵石	差 - 一般	不利	采用防塌孔施工工艺
2	强度	一般第四系沉积砂卵石	一般 - 较好	有利	不易塌孔, 但难钻进
		松散	差 - 极差	非常不利	应采用防塌孔施工工艺
		稍密	差 - 一般	不利	应采用防塌孔施工工艺
		中密	一般 - 较好	有利	不易塌孔, 但难钻进
		密实	较好 - 好	有利	不易塌孔, 钻进难度极大
3	天然级配	差	差 - 极差	非常不利	应采用防塌孔施工工艺
		一般	差 - 一般	不利	应采用防塌孔施工工艺
		较好	一般 - 较好	有利	不易塌孔, 但难钻进
4	漂石有无	好	较好 - 好	有利	不易塌孔, 钻进难度极大
		有	-	-	易塌孔, 土钉、锚杆须采用跟管冲击钻进成孔; 排桩采用冲击钻机成孔, 当无地下水时, 可采用砼护壁人工挖孔
		无	-	-	土钉、锚杆宜采用跟管冲击钻进成孔; 排桩宜采用旋挖钻机成孔, 当无地下水时, 可采用砼护壁人工挖孔

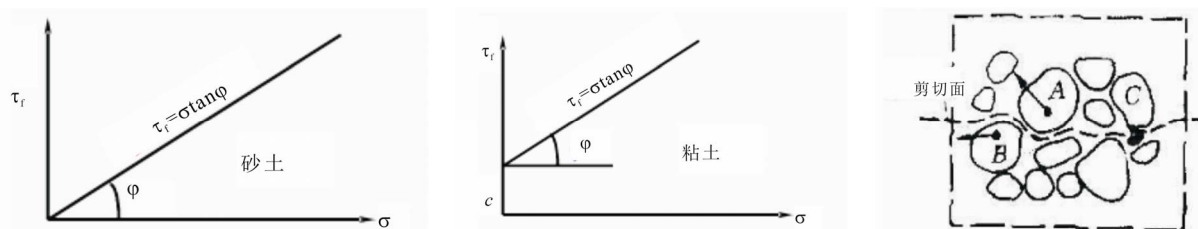


Figure 1. Coulomb principle diagram
图 1. 库仑原理图示

作用和静电引力效应等因素引起的^[4]。

根据库伦原理，无粘性土的抗剪强度决定于有效法向应力和内摩擦角，不存在粘聚力。密实状态的无粘性土的内摩擦角与初始孔隙比、土粒表面的粗糙度以及颗粒级配等因素有关，松散状态的无粘性土的内摩擦角与干燥时的天然休止角相等(天然休止角是指干燥无粘性土堆积起来所形成的最大坡角)^[4]。

3.2. 实际工作中对库伦抗剪强度理论的新理解

3.2.1. 关于“粘聚力 C 值”

在实际工作中，尤其在河流冲积形成的砂卵石地层中，砂卵石地层表现的抗剪强度不仅是颗粒间的滑动与镶嵌咬合所产生的摩阻力，还有水流冲积条件下形成的卵石定向排列，由此产生了迭瓦状结构^[3]，形成了另外一种力，类似于“粘聚力”，此种力在库伦公式中是没有显示的，在目前的基坑支护计算中也是被忽略的。

天然级配砂卵石地层的最大特点就是：“由于河水的流动冲刷作用，使卵石在沉积过程中产生了定向排列，并促成了相邻卵石间以迭瓦状形式接触，相邻卵石间的空隙被砂砾、泥土等完全充填，经此冲积作用及后来的覆土长期压密作用，将砂卵石土层造就成了一个具有内部紧密联结的一个整体，使其具有了一定粘聚力效果的特性^[3]。”参见图 2。

天然级配砂卵石地层的这种特殊结构可以称为“迭瓦状结构”^[3]，因此，在基坑支护设计中，不应按一般的散体颗粒土层来理解套用天然级配砂卵石地层的土力学性质及进行参数取值。

在基坑支护设计计算中，一般的习惯，认为所有的砂卵石地层(不论是松散的，还是河流冲积天然级配的)均是散体材料，C 值均取 0。显然，河流冲积形成

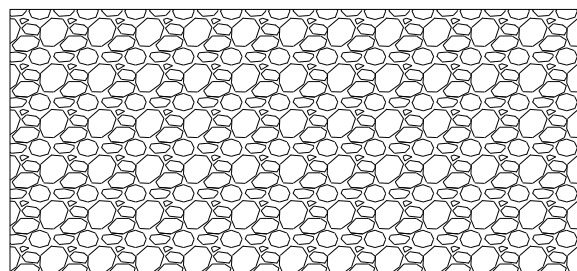


Figure 2. Schematic diagram of natural gradation gravel stratum structure alluvial origin
图 2. 河流冲积成因的天然级配砂卵石地层结构示意图

的天然级配砂卵石地层中的 C 值并不等于零，且存在很大潜力，当在考虑 C 值不等于零时，基坑支护设计计算结果会明显不同，会更经济，也更便于施工工艺选择，同时并不影响其安全性。

另外，在现代河床的中上游地段，常会看到有砂卵石巨型采坑，许多采坑侧壁呈直立状，深度 10~20 m，比比皆是，在无外力干扰情况下，其自然稳定时间一般可持续几年，这种深大直立坑壁的存在，就是河流冲积形成的天然级配砂卵石地层具有 C 值，且潜力很大的有力证据。参见表 2。

3.2.2. 关于“内摩擦角 φ 值”

岩土工程勘察报告中给定的砂卵石内摩擦角 φ 值，几乎都是经验值，由于客观条件所限，不可能进行实地的现场剪切试验，φ 值基本是按松散状态下给定的。显然，密度越大的砂卵石地层，给出的摩擦角 φ 值越保守。

综上所述，在传统的勘察报告中，河流冲积形成的砂卵石地层中的 C 值均取 0，未考虑“迭瓦状结构”^[3]提供的“似粘聚力”^[5]，给出的摩擦角 φ 值也较保守。

4. 场内施工条件对基坑支护结构设计及施工工艺选择的影响分析

场内施工条件对基坑支护结构设计及施工工艺

选择影响非常大，对砂卵石地层基坑来说，当场内可用空间足够大时，应尽可能采用放缓坡的支护结构型式，以降低施工工艺选择的压力；当场内可用空间狭窄时，就会被迫选择直立坡(或陡坡)的支护结构型式，这对施工工艺选择影响很大。参见表 3。

5. 基坑支护计算示例

根据上述关于 C、φ 值取值的探讨，专门模拟了

一个在某一砂卵石地层组合中的土钉墙基坑支护设计计算示例，参见图 4。计算结果表明：C、φ 值调整后，上下土钉减少一道，土钉长度变短了，钢筋截面变细了，而基坑安全性并未受到影响。经估算，变动前土钉墙综合单价约 245 元/m，变动后土钉墙综合单价约 210 元/m，差价约 14.3%，显然，变动后的支护计算结果明显经济了。当然，本文对 C、φ 值的合理取值仅是一种探讨，仍需进一步研究证实。

Table 2. Natural sand gravel strata mechanics parameters recommended list^[1-3,5-9]
表 2. 天然级配砂卵石地层力学参数取值建议一览表^[1-3,5-9]

密度	卵石接触形式及充填物含量	粘聚力 C (kPa)		内摩擦角 φ (°)		土体与锚固体极限摩阻力标准值 qsi(kPa)	
		习惯采用	本次建议值	习惯采用	本次建议值	习惯采用	本次建议值
松散	卵石排列混乱，大部分不接触，充填物占总质量的>40%	0	0	5~10	5~10	20~60	20~60
稍密	卵石交错排列，少部分接触，充填物占总质量的 40%	0	5~10	10~20	20~30	60~150	60~150
中密	卵石交错排列，大部分接触，充填物占总质量的 30%~40%	0	10~20	20~30	40~50	150~200	150~200
密实	卵石交错排列，连续接触，充填物占总质量的<30%	0	20~30	30~40	50~60	200~260	200~300

备注：本表中 C、φ 值建议值仅代表本人意见，其取值大小主要参照类比粉土、粘性土自稳程度及其 C 值的对应关系，同时借鉴相关论文中的砂卵石统计值，C、φ 值建议值的合理性有待进一步验证，目前仅具有象征意义。

Table 3. The construction conditions of foundation pit supporting structure selection and construction technology choices impact analysis statistics

表 3. 场内施工条件对基坑支护结构选型及施工工艺选择影响分析统计表

场内可用空间	支护结构型式选择	施工工艺选择	槽顶 2.0 m 以外地面荷载	地下管线	经济比较
足够大时	1) 插筋补强	铺钢板网，击入“T”字筋压覆			成本很低
	采用放缓坡 2) 一般土钉墙 (必要时可在坡面设置多个坡线段或 1~多个台阶)	锚管施工：气动凿岩机夯入花管、注浆 ^[6]			成本较低
狭窄时	1) 直立坡(或陡坡)土钉墙	锚管施工：气动凿岩机夯入花管、注浆 ^[6]			成本一般
	2) 直立坡(或陡坡)复合土钉墙 ^[6]	自钻式冲击锚杆、注浆 ^[10] ；参见图 3	≤20 kPa	均未考虑地下管线的影	成本较高
	采用直立坡或陡坡 1) 锚杆施工：潜孔锤跟管钻进				
	2) 支护排桩施工：旋挖钻进 当含漂石较多时，应采用冲击钻进；无地下水时，可采用砼护壁人工挖孔 ^[11]				成本高
	3) 桩锚支护结构				
	4) 其他支护结构型式暂不考虑	-			-

备注：1) 钢花管制作及夯入土体：钢花管采用 Φ 42 mm、壁厚 3.5 mm 国标无缝钢管，按设计长度加工成形。前端加工成尖锥形，尖锥长度 10 cm，用电焊将锥尖焊牢。前段管壁上每隔 20 cm 交错钻眼，呈梅花形布置，眼孔直径 6~8 mm。尾部留止浆段，长度不小于 30 cm。采用 YT-28 风动凿岩机将制作好的钢花管直接夯入砂卵石土体中，当无法夯入时，可采用 YT-28 风动凿岩机直接成孔，再将钢花管置入孔内。2) 自钻式锚杆简介：由中空锚杆杆体，合金钻头，连接套，止浆塞，垫板，螺母组成。中空锚杆兼作钻和注浆管，注浆前可作吹尘管去尘，注浆时浆液通过中空锚杆从钻头喷出，填充锚杆的钻孔和地层裂隙，使锚杆管体，形成钢管水泥柱，起到加固的作用，钻头的大小可控制钻孔的大小，一般钻孔的 2 到 3 倍；它是集钻孔、注浆、锚固等多功能的新型高科技支护产品；采用台车或手持式凿岩机将安装好钻头的锚杆钻进至设计深度。杆体长短灵活，锚杆如需加长，可用联结套进行联结，然后通过钻机钻进^[10]；参见图 3。3) 禁止成孔方法：施工单位在土钉、锚杆成孔时，原则上禁止采用铁锹掏挖成孔，严禁将设计的斜向下方锚杆改变成斜向上方成孔。



Figure 3. KX self-propelled grouting bolt
图 3. KX 自进式注浆锚杆

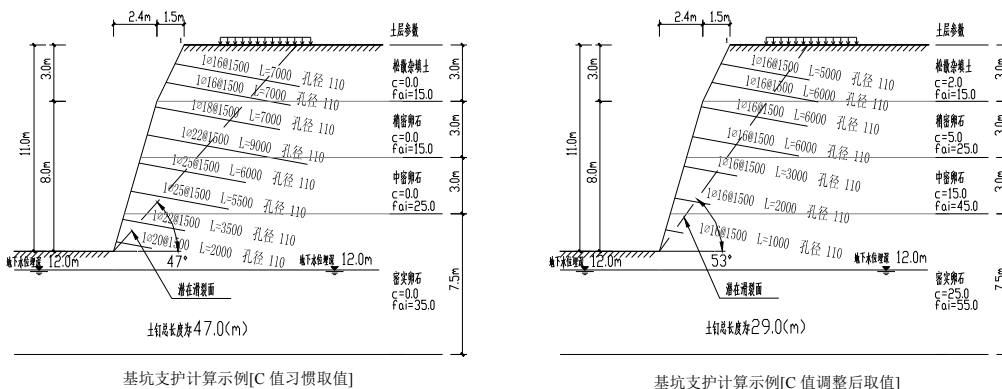


Figure 4. Schematic diagram of a sand and gravel strata of the soil nailing retaining wall design profile comparison of calculation results
图 4. 在某一砂卵石地层中的土钉墙基坑支护设计剖面计算结果比较示意图

6. 结论

通过以上论述，本人认为达到了如下效果：

1) 找出了目前在砂卵石地层中的基坑支护设计方案常存在可行性差及施工工艺选择不当现象产生的原因，提出了针对性的解决办法；

2) 对砂卵石地层进行了特征分类，从而对卵石地层的自身特点认识得更清晰、更全面，有助于在砂卵石地层中的基坑支护设计、施工工作更有针对性；

3) 根据河流冲积成因的天然级配砂卵石地层具有“迭瓦状结构”^[3]，具有“似粘聚力”^[5]效果，本人认为其 C 值不等于零，应善加利用。此外，河流冲积成因的天然级配砂卵石地层的 ϕ 值不应按天然休止角估算，应考虑地层的密度状态，充分挖潜。调整后的 C、 ϕ 值可以使基坑支护设计工作更科学、支护成本更低，同时，并不影响其安全性；

4) 如何更准确的获取天然级配砂卵石地层的 C、 ϕ 值，建议有条件时，可在现场进行直剪试验，并注意从各种工程实例中收集关于天然级配砂卵石地层的 C、 ϕ 值实测的信息，以探求对天然级配砂卵石地

层的 C 值的准确认识。

参考文献 (References)

- [1] JGJ120-2012, 建筑基坑支护技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [2] GB50330-2002, 建筑边坡工程技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [3] 工程地质手册编委会. 工程地质手册(第四版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [4] 东南大学, 浙江大学, 湖南大学, 苏州科技大学, 合编. 土力学(第三版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [5] 陈希哲. 粗粒土的强度与咬合力的试验研究[J]. 工程力学, 1994, 11(4): 56-63.
- [6] GB50739-2011, 复合土钉墙基坑支护技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.
- [7] 张玲玲, 姚勇. 川西北地区砂卵石土抗剪强度影响因素分析[J]. 硅谷, 2008, 18: 4-5.
- [8] 赵兵, 黄荣. 成都地区砂卵石的抗剪强度探讨[J]. 价值工程, 2011, 18: 60-61.
- [9] 徐然, 刘小平. 土钉墙技术在砂卵石地层深基坑支护中的应用[J]. 水电站设计, 2009, 1: 70-72.
- [10] 黄常波, 白建民, 刘焱辉, 刘欧丁, 王强伟. 自钻式锚杆在砂卵石地层深基坑施工工法[Z], 2008.
- [11] JGJ94-2008, 建筑桩基技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.