

# 砂卵石换填地基在洛(阳)南新区高层建筑中的应用

黄志强, 胡书礼, 任鸿飞, 吴建军

(河南省有色金属地质矿产局第六地质大队, 河南 洛阳 471002)

**摘要:**从粗粒土振动压实特性、砂卵石地基承载力特征及作用三方面对砂卵石换填地基进行了分析总结, 通过工程实例证明人工换填的砂卵石地基承载力较高, 沉降量小且均匀, 能够满足高层建筑基础设计要求, 适宜在洛(阳)南新区高层建筑地基处理中推广。

**关键词:**砂卵石; 高层建筑; 换填法; 粗粒土

**中图分类号:** TU472.2<sup>+</sup>1    **文献标识码:** B    **文章编号:** 1672-7428(2008)01-0048-04

**Application of Foundation Replacement by Sandy Pebble for High-level building in Luonan New Zone of Luoyang City/HUANG Zhi-qiang, HU Shu-li, REN Hong-fei, WU Jian-jun** (No.6 Geological Brigade for Henan Nonferrous Metals, Luoyang Henan 471002, China)

**Abstract:** Analysis was made on sandy pebble replacing foundation in the character of vibrating compression, bearing capacity of sandy pebble ground and its function. It was proved that bearing capacity of artificial sandy pebble replacing foundation was better with small and uniform settlement, and was suitable to be applied for high-level buildings in Luonan new zone of Luoyang City.

**Key words:** sandy pebble; high-level building; replacing method; coarse-grained soil

砂卵石属于粗粒土的范畴, 在自然界分布广泛、储量丰富, 具有良好的工程使用性能。其主要特点是透水性强、承载力高、压实密度大、沉降变形小, 是一种优良的换填材料。长期以来, 由于人们对其振动压实特性和承载力特征认识不清, 使得砂卵石粗粒土在高层建筑地基处理中的应用没有取得应有的效果。

## 1 振动压实特性与地基承载力特征

### 1.1 粗粒土振动压实特性

据郭庆国编著的《粗粒土的工程特性及应用》<sup>[1]</sup>, 陈希哲(1994)<sup>[2]</sup>, 王皆伟、王汝恒(2006)<sup>[3]</sup>等的研究成果, 一般认为粗粒料形成骨架, 细粒料充填孔隙。粗粒土的抗剪强度由细料本身的强度、粗料间的强度、粗细料间的强度 3 部分组成, 水对抗剪强度影响不大。级配优良、密实度较大的饱和砂卵石土, 抗液化能力较强。当饱和度低于 50% 时, 试样不会发生液化。粗粒土工程特性主要指标为干密度和相对密实度, 渗透系数是粘粒细粒含量及颗粒组成级配等指标的综合反映。影响粗粒土工程特性的因素主要是粗料含量  $P$  (表示大于 5 mm 粒径的粗颗粒的百分含量) 和含泥量 ( $d < 0.1$  mm 的颗粒

含量)。粗料含量 30% 和 70% 为影响粗粒土工程特性因素的 2 个特征点。对砂卵石换填施工来说, 粗料含量 ( $P_s$ ) 70% 更有实用意义。影响换填质量的 2 个因素是选料和碾压。

### 1.2 砂卵石地基承载力特征

在 0 ~ 1000 kPa 荷载作用下, 沉降变形大致呈线形变化关系。不论天然的还是人工换填的砂卵石地基, 其承载力是比较高的。工程地质条件好的砂卵石天然地基的承载力性能优于人工换填的地基。主要原因是在天然地基经过长时间的沉积后变得较密实, 大部分呈现近似线性曲线(图 1a) 形态, 而换填地基部分为下凹型曲线(图 1b) 形态, 主要是初期压密变形阶段沉降稍大, 砂卵石级配不良和碾压施工质量不好所致。只要换填砂卵石级配合合理、碾压施工质量好, 人工地基也可胜似天然。用试验得到的, 经深、宽修正后的砂卵石承载力特征值  $f_{ak}$  来进行结构设计, 具有一定的安全保证。

### 1.3 砂卵石换填地基的主要作用

- (1) 可以大幅度地提高地基承载力和减少地基沉降量;
- (2) 加速软弱土层排水固结;
- (3) 防止冻胀和消除膨胀土的胀缩作用。

收稿日期: 2007-10-08

作者简介: 黄志强(1971-), 男(汉族), 河南新安人, 河南省有色金属地质矿产局第六地质大队注册土木(岩土)工程师, 水文地质与工程地质专业, 工程硕士, 从事岩土工程勘察、设计与施工及矿山水文环地质工作, 河南省洛阳市中州东路付 50 号, hzq654321@163.com。

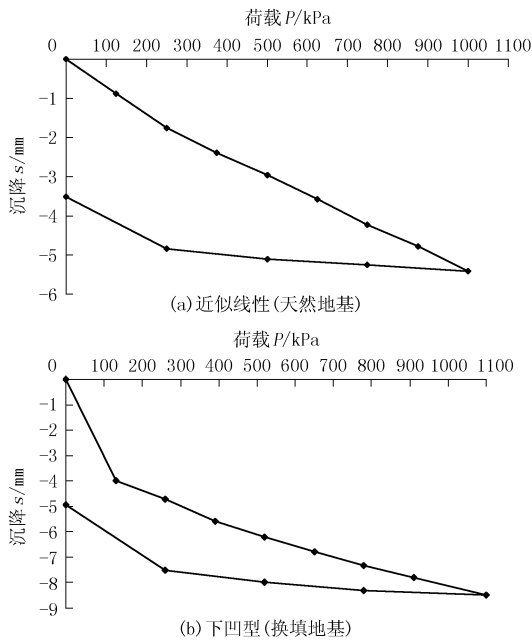


图 1 换填地基静力荷载试验 P-s 曲线

2 工程实例

本文以洛阳市高层次人才居住小区 4 号住宅楼为例,对砂卵石粗粒土换填技术进行说明,供类似工程借鉴和参考。

2.1 工程概况

洛阳市高层次人才居住小区位于洛河南岸,共 5 栋高层住宅楼。其中 4 号楼,地上 26 层,地下 1 层,总高度 80 m,长 52.0 m,宽 14.8 m,建筑面积 19587 m<sup>2</sup>。筏板基础、剪力墙结构,设计基础最小埋置深度 5.5 m,基底压力 380 kPa。

2.2 岩土工程条件

据岩土工程勘察报告,该场地属洛河的河漫滩,土层为第四纪冲、洪积成因,呈上细下粗的典型二元结构特征。自上而下地层分布为:杂填土、黄土状粉土、泥质卵石、粉砂、卵石、圆砾、卵石和圆砾层。各土层分布及物理力学指标见表 1。场地地面标高为 139.00 m。

勘察期间地下水稳定水位埋深约 9.0 m,水位标高约 130.05 m。地下水类型属孔隙潜水,水量丰富,赋存于砂卵石中,地下水位年变幅在 2.0 ~ 3.0 m。受洛河橡皮坝蓄水的影响,地下水位有所上升。

2.3 地基处理方案

由表 1 可以看出,第④层卵石在 6.5 ~ 10.0 m 之间中夹有 3 层软弱透镜体,均匀性较差,第④<sub>1</sub>层泥卵石主要分布在基坑的西北角,第④<sub>2</sub>层圆砾主要

分布在基坑的中部,第④<sub>3</sub>层粉土夹中细砂主要分布在基坑的东-东南角,10.0 m 以下地质条件良好,未发现有软弱夹层。由于基础埋深 5.5 m,若在天然地基上采用筏板基础,那么就得以第④层卵石为持力层,但经软弱下卧层验算,④<sub>1</sub> ~ ④<sub>3</sub>都不满足要求,因此必须对地基进行处理。常用的方法是采用桩基、高压旋喷或注浆,但都因为费用较高或在卵石层中成孔困难而被否定。根据工程特点、地质条件、工期和造价综合分析,决定采用砂卵石换填压实垫层地基处理方案。

表 1 各土层分布及物理力学指标

层号	土层名称	层厚 /m	修正 N <sub>120</sub> /击	修正标准贯/击	承载力特征值/kPa	变形模量/MPa
①	杂填土	0.5 ~ 2.0				
②	黄土状粉土	0.3 ~ 1.0		14.6	160	8
③	粉砂	0.2 ~ 2.0		18.9	180	21
④	卵石	6.5 ~ 10.0	16.8		450	31
④ <sub>1</sub>	泥卵石	0.4 ~ 2.7	3.1		200	14
④ <sub>2</sub>	圆砾	0.8 ~ 2.9	6.3		350	24
④ <sub>3</sub>	粉土夹中细砂	0.8 ~ 0.9		7.6	120	13
⑤	圆砾	2.4 ~ 3.0	13.1		420	28
⑥	卵石	4.9 ~ 5.8	24.4		550	34
⑦	圆砾	最大 7.5	16.2		500	32

处理方案为:将 10.0 m 以浅的软弱层全部挖除后,用级配良好的砂卵石碾压换填置换。卵石:圆砾:中砂(质量比) = 4: 3: 3,每层铺设厚度 300 mm,压实系数大于 0.97,砂卵石最大干密度 ρ<sub>s</sub> ≥ 2.1 × 10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>,地基承载力 f<sub>ak</sub> ≥ 380 kPa,变形模量 E<sub>s</sub> ≥ 40 MPa。若施工期间水位发生变化,需要进行基坑降水时,可采用管井法降水。

2.4 砂卵石料的配比选择

经过对周围 3 个石料场的考察和取样分析后,认定下列一组样干密度最大,级配良好,表明该种料大小颗粒相互充填效果较好,具体数据见表 2(试验单位:洛阳市建豫建筑检测试验所)。

表 2 砂卵石料筛分结果表

筛孔尺寸/mm	筛余量/g	分计筛余/%	累计筛余/%
50.0	105	1.4	1
40.0	710	9.3	11
31.5	1405	18.4	29
25.0	1100	14.4	44
20.0	1675	8.9	52
16.0	465	6.1	58
10.0	535	7.0	65
5.0	435	5.7	71
底	2185	28.7	100

注:(1)最大干密度:2.26 × 10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>; (2)最优含水率:6.0%; (3)卵石占总量的 71%,砂占总量的 29%。

## 2.5 砂卵石垫层的施工工艺

### 2.5.1 施工工艺流程

施工准备→测量定位→基坑开挖→地基验槽→分层铺摊级配砂石→分层碾压→分层检验→静荷载检验。

### 2.5.2 主要施工方法

(1) 基底地质起伏变化较大,持力层不均匀,对达不到承载力的第④<sub>1</sub>~④<sub>3</sub>层土进行局部开挖至满足设计要求后,用级配砂石分层换填至坑底设计标高。

(2) 由于该工程占地面积小,砂石换填分层进行施工,如需接槎,接槎部位相互错开距离 $\geq 50$  cm,形成台阶或斜坡式,层层错开,确保接槎处的施工质量。

(3) 分层铺设人工级配砂石,按照指定料场和实验室出具的级配砂石配合比,用自卸车运至坑底每层位置,用推土机按控制标高推摊平整,用15 t振动压路机碾压,待达到设计要求后按规范要求进行取样检测,合格后再进行下一层换填。

### 2.5.3 施工工艺参数

(1) 为确保基础承载力要求,砂石垫层处理范围尺寸,按建设单位、设计单位及地勘部门和监理单位现场所定方案,将楼筏基四周换填深度按1:1外放(即换填深度:外放宽度)处理。

(2) 分层铺填厚度 $\leq 300$  mm,首层200 mm,若有地下水可增至800 mm,分层厚度偏差 $\pm 50$  mm。

(3) 碾压设备用20 t振动压路机,压实遍数不少于10遍,轮迹搭压宽度不少于1/3,压实系数不小于0.97;第一遍铺摊前先进行原槽底碾压。

(4) 材料控制:级配要符合配合比设计要求,不

含植物残体、垃圾等,含泥量 $< 5\%$ ;砂为中砂,含泥量 $\leq 5\%$ ;砂石料含泥量 $\leq 5\%$ ,石含量 $\geq 70\%$ 。

(5) 每换填层采用埋设纯砂点作为取样测试点,每300 m<sup>2</sup>取一点,将试样用天平秤和酒精测试含水率、干容重,确定压实系数,最佳含水量 $\pm 2\%$ 。经测定中砂的最大干密度 $1.87 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>,最优含水率10.3%。

(6) 压实换填地基承载力特征值 $\geq 380$  kPa,检测数量不少于3点。

## 2.6 基坑开挖中采取的措施

基坑开挖深度最深达10 m,为了保证坑底施工安全,对坑壁进行了全喷锚支护,上部土体采用土钉,下部采用挂网处理。在施工期间,恰逢洛河橡皮坝蓄水,引起区域地下水位上升,造成基底在地下水位以下,故采用管井降水,即在基坑内布置6眼孔径1000 mm、深6 m的降水井,采用混凝土井管。由于砂卵石水量丰富,对基坑底部局部有积水的地方采用现浇素混凝土处理。为防止管井的抽取作用造成砂卵石中细颗粒的流失,在砂卵石回填至设计标高处,对管井底进行封井后压浆处理。

## 2.7 砂卵石垫层的质量检验

据在埋设12个纯砂点取样检测和现场抽取砂卵石进行筛分检测结果,干密度 $\rho \geq 1.87 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>,平均 $1.98 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>,粗料 $P_5$ 在64.6%~88.7%之间,平均值72.78%,含泥量最大为2.1%,均满足设计要求。

现场经静力载荷试验检测<sup>[4]</sup>( $P-s$ 曲线见图2),结果表明,当荷载达1000 kPa时, $P-s$ 曲线均未出现极限荷载,沉降最大值8.49 mm,地基承载力特征值500 kPa,满足设计380 kPa的要求。

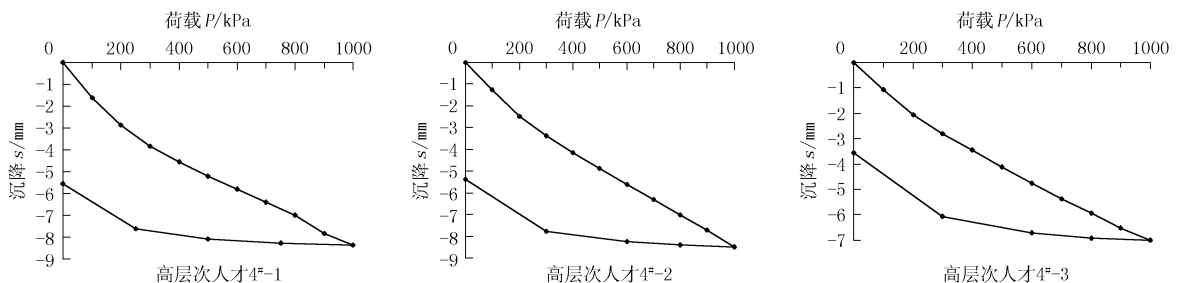


图2 砂卵石换填地基静力载荷试验 $P-s$ 曲线

注:压板直径1.10 m。(试验单位:洛阳市建工基桩检测有限公司)

## 2.8 建筑物沉降观测

在建筑物周围共布置了14个沉降观测点,从2004年6月22日 $\pm 0.000$ 始至2005年8月30日竣工共观测31次,观测结果曲线见图3(观测单位:

河南省第六建筑工程公司第二分公司)。由图3可知,最小沉降量4 mm,最大沉降量6 mm,从13层分点沉降已开始稳定,至22层结顶全部点沉降已完全趋于稳定,变形较小,沉降均匀。

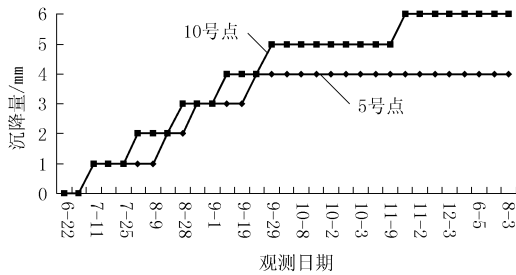


图3 5号和10号点沉降观测曲线(2004~2005)

## 2.9 处理效果与经济效益

该工程采用砂卵石换填垫层处理不均匀地基,增强了地基强度,改善了土的受力条件,减小了沉降变形,使沉降均匀。经初步工程决算,折算单位建筑面积的费用为16.9元,而桩基方案折算单位建筑面积的费用为27.4元,每平方米的建筑面积节约费用10.5元(38.4%),经济效益显著。从垫层施工到填筑完成共历时25天,若采用桩基,需50天才能完成。砂卵石换填取材方便,施工简单。

## 3 结语

(1)通过本次工程实践,进一步证明了粗料含量 $P_s = 70\%$ 的意义。对高层建筑来说,宜采用重型(15~25 t)的振动碾压机进行碾压。对洛阳市区而言,卵石:圆砾:中粗砂的配比宜为4:3:3,砂卵石粗粒土振动碾压遍数应大于6~8遍,摊铺厚度

取300~500 mm,填筑时的行车速度控制在2~4 km/h为宜。

(2)在0~1000 kPa荷载作用下,砂卵石地基静力荷载试验 $P-s$ 曲线形态都可看作近似直线。人工换填的砂卵石地基具有高的地基承载力。目前,据收集到的现场静力荷载试验资料,天然地基最大承载力特征值大于880 kPa,换填地基最大承载力特征值大于560 kPa。

(3)设计前要充分了解场地的工程地质、水文地质和周围环境条件,确定场地是否适宜砂卵石垫层的施工。在施工中要注意碾压方法和质量检测。

近几年来,随着洛南新区的开发,采用砂石垫层施工项目很多,根据反馈信息,大多工程竣工后,沉降均匀,沉降量小,无不均匀沉降等不良现象,说明砂卵石换填垫层确实能满足设计要求,适宜在洛阳市区高层建筑地基处理中推广。

## 参考文献:

- [1] 郭庆国.粗粒土的工程特性及应用[M].郑州:黄河水利出版社,1998.11-16.
- [2] 陈希哲.粗粒土的强度与咬合力的试验研究[J].工程力学,1994,4.
- [3] 王皆伟,王汝恒.四川地区砂卵石土动强度试验分析[J].四川建筑科学研究,2006,(32).
- [4] 刘奋勇,等.洛阳市洛南新区高层次人才居住小区1~5号砂卵石垫层地基承载力静载试验报告[Z].洛阳市建工基桩检测有限公司,2004.

## 入岩旋挖钻机引爆2007年CONEXPO亚洲工程机械博览会

2007年CONEXPO亚洲工程机械博览会已于2007年12月7日在广州胜利落幕,期间展示国内外领先制造商在建筑相关设备、产品和服务领域内的最新技术与创新。携强大的产品阵容参展,迄今为止最大参展规模。再次展示了企业的雄厚实力。

整个展示区在展会现场十分醒目,展区宽大,机器摆设整齐,给观众一种强大的震慑力和吸引力。在本次展会上北京三一重机推出公司最新自主研发设计的2款新产品,SR220R入岩旋挖钻机、SH350D连续墙抓斗。SR220R的研

制成功,标志着世界级难题——旋挖钻机入岩技术取得重大突破。解决了旋挖钻机不适应特种工况的入岩难题,极大的拓展了旋挖钻机的施工广度和深度,产品技术达到国际领先水平。至此,三一成为国际上极少数能制造专业入岩旋挖设备的企业,填补了国内入岩钻机的空白,对我国旋挖钻机入岩工法的应用和推广将起到极大的推动作用。

SR220R入岩旋挖钻机的亮相吸引了众多的协会领导、企业领导、用户朋友以及业内知名媒体的高度关注,同时表示入岩能力的提升,将带动桩工行业新一轮的经济增长。

## 溧阳市南山竹海旅游区地热钻井选址论证工作完成

中国地质调查局网站消息 由江苏地调院地热中心编制的《江苏省溧阳市横涧镇李家园地区地热钻井选址调查报告》日前通过专家评审。根据《报告》,拟在溧阳市横涧镇李家园地区选定3处地热钻井井位。

横涧镇李家园地区位于溧阳市南部丘陵山区,地处苏浙皖三省交界,著名的南山竹海旅游区就坐落在此,这是一个集资源利用、生态保护和旅游观光于一体的世外桃源。

早在上世纪60年代,该地区就曾发现有地热溢出,位于李家园村东边的“沸水塘”名称即由此而来。为了发展生态、旅游经济,充分发挥溧阳市南山竹海这一得天独厚的自然资源,江苏地调院受溧阳市南山竹海旅游度假区有限公司委托,在该地区开展地热普查,并对普查区深部地热地质条件进行综合研究,最终选定3处地热钻井井位。根据专家建议,拟初步选定1号井位进行钻探查证。