

# 浅谈市政道路软基处理方法

施有志

(福建省厦门市公路局,福建厦门 361009)

**摘要:** 该文阐述市政道路软基处理的一般方法,并对这些方法进行评价,分析市政道路软基处理的特点及国外市政道路管道建设的主要方法,最后通过工程实例分析新型市政道路软基处理方法及处理效果。

**关键词:** 市政道路;软基处理;方法评价

**中图分类号:** U416.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2007)04-0105-05

## 0 前言

随着城市规模的逐渐扩大及城市建设的高速发展,城市市政道路建设进行得如火如荼。在软基路段建设市政道路,面临市政道路软基处理的问题。市政道路工程有其自身的特点:如市政道路一般荷载都不太大(高填方处除外),对地基承载力的要求不太高。对于刚性路面结构而言,路面结构整体性好,刚度比较大,对地基变形有一定的适应能力;对于柔性路面结构而言,即使由于路基的少量不均匀沉降而导致路面产生微小裂缝,只需稍加修补后也不影响道路的正常使用的,但市政道路下埋设的管线对沉降要求相对较高。市政道路需要铺设各类管线,包括给水、排水管道,如污水管、雨水管、市政供水管道等,另外还有电力、通讯管道、煤气管道等。这些管道的铺设对路基的沉降都有一定的要求,其中以污水管、雨水管对路基沉降的要求最为严格,当管线软基压缩沉降和侧向位移时,管体产生纵向弯曲,致使管道失稳,在最薄弱处产生破裂而漏水。国内对此尚无统一的规定,人们对于差异沉降造成的管道破裂问题重视不够,通常没有对管线的软基进行特殊处理。近年来市政道路管线软基处理逐渐受到关注,但国

内相关的资料很少。本文阐述市政道路软基处理的一般方法,并对这些方法进行评价,分析市政道路软基处理的特点及国外市政道路管道建设的主要方法,最后通过工程实例分析新型市政道路软基处理方法及处理效果。

## 1 城市道路软基处理的常用方法

20世纪80年代以来,我国的公路建设进入了快速发展时期,软土地区修建了许多条高速公路,在此期间从国外引进了不少软基处理技术,其中应用最多的有:属于排水固结法的塑料排水板(或袋装砂井)堆载预压(或真空预压)法;属于化学加固的水泥土搅拌法(包括粉喷桩和浆喷桩),以及各种土工合成材料加筋垫层。在国内,目前市政道路的软基处理基本上借用高速公路的软基处理方法,根据目前国内的实际情况,常用的处理方法主要有以下几种方法。

### (1)换填垫层法

换填垫层法就是将路基一定深度范围的软弱土层(采用人工或机械开发等方式),换填好的土、砂、石或石屑等材料,并经压(夯)实做成压缩性低、承载力高的垫层。根据换填方式的不同可分为:换填土、抛石挤淤法及爆破挤淤法。

### (2)堆载预压法

该法是在工程建造之前,用大于或等于设计荷载的填上荷载进行预压,促使地基提前固结沉予以排除。

收稿日期:2006-12-21

作者简介:施有志(1976-),男,福建晋江人,工程师,从事公路、隧道、桥梁的建设管理工作。

坏,除了要保证沥青路面各结构层尤其是沥青面层的品质,增强其抗病害能力外,必须处理好沥青路面渗水,做到“防”、“排”结合。“防”就是要搞好路面防渗,防止雨水通过沥青面层空隙或缝隙,或者由分隔带或路肩向路面结构内部侵渗。“排”就是要做好路面内、外部排水,一方面要将渗入路面结构内部的水分排出,避免长时间积滞在路面内部而造成破坏;另一方面就是要通过排水设施,将有可能向沥青路面内部形成侵渗的路表水,及时

### 参考文献

- [1]公路沥青路面设计规范(JTJ014-97)[S].
- [2]公路排水设计规范(JTJ018-97)[S].
- [3]公路土工合成材料应用技术规范(JTJ/T019-98)[S].
- [4]公路路面基层施工技术规范(JTJ034-2000)[S].
- [5]沥青路面施工及验收规范(GB 50092-96)[S].
- [6]公路改性沥青路面施工技术规范(JTJ036-98)[S].
- [7]沙庆林.高等级公路半刚性基层沥青路面[M].北京:人民交通出版社,1997.



降,消除大部分工后沉降,提高地基的强度。当工后沉降满足要求,强度指标达到设计要求的数值后,修筑道路路面。

### (3)加载预压排水固结法

加载预压排水固结法是预先对地基加载,通过排水体排水,使地基土固结,以提高其承载力,并减少其工后沉降。以前排水体常采用袋装砂井,并在顶上铺上一层土工布加筋垫层,既可做为横向排水通道,又可均化不均匀沉降。袋装砂井的质量受施工质量影响较大,若袋中砂灌得不够密实时,放入孔中,砂遇水将下沉,导致砂井上部脱空,不能与砂垫层连通,以致水无法排出,因此袋装砂井逐渐被塑料排水带所代替。与袋装砂井相比,塑料排水带具有施打速度较快、效率高、施工机械轻便、对软基扰动较小、可工厂化生产、抗折能力较强、受施工影响小等优点。

### (4)强夯法

强夯是将重锤(10 t以上)从高处(10 m以上)自由落下,反复多次夯击土体,迫使一定范围内的土体压密,以提高地基土的承载力,减少沉降。一般适用于非饱和、粗颗粒含量较高的土质,对于饱和度较高的粘性土,一般来说处理效果不显著,尤其淤泥和淤泥质土地基,处理效果更差。这些土也有采用强夯法加袋装砂井(或塑料排水带)进行综合处理的,该方法在深圳地区有一些成功的应用实例<sup>[1]</sup>,但处理效果受施工质量的制约严重,从全国来看,总体处理效果不理想。国内外相继采用了在夯坑内回填块石、碎石、砂或其他粗颗粒材料,通过夯击排开软土,从而在地基中形成块(碎)石墩。这种方法即强夯置换法<sup>[2]</sup>。

### (5)深层搅拌法

深层搅拌法是用水泥或其他材料作为固化剂的主剂,通过深层搅拌机械将软土和固化剂强制搅拌,利用固化剂和软土之间所产生的一系列物理化学反应,形成具有一定强度的加固体。深层搅拌法分为喷浆搅拌法和喷粉搅拌法。此类地基应视为复合地基,桩土共同承担应力。目前国内常用于加固淤泥、淤泥质土、粉土和含水量较高且地基承载力标准值不大于120 kPa的粘性土,当处理泥炭土或地下水具有侵蚀性,宜通过试验确定其适用性。

### (6)粉煤灰碎石桩

粉煤灰碎石桩(CFG)法,是利用工业废料(粉煤灰)与碎石(或砂、石屑)掺入适量水泥形成的胶凝体。它具有一定的强度、良好的和易性、流动性及容易灌注等特点,粉煤灰碎石桩与周围土体

形成低标号混凝土桩复合地基,可节省水泥及砂的用量。这样有利于混合料强度发挥、废物利用、减轻环境污染,避免了炭化作用。

### (7)加筋法

在软土地基上沿水平方向铺设一层或多层的加筋材料,并与填料组成一定厚度的加筋垫层,可以提高地基的承载力,均化地基应力,减少地基的不均匀沉降<sup>[3]</sup>。但当地基中具有较厚的软土,如果单纯用加筋垫层来处理,即使承载力满足要求,地基也会产生较大的不均匀沉降,难以从根本上解决问题。从减小沉降方面考虑,水泥深层搅拌桩不失为一种有效的处理方案,其形成的水泥土桩复合地基的基本工作性状是:桩和桩间土的变形协调,充分发挥桩间土的作用,可以提高地基的承载力,减小地基的沉降。当软基较厚,且对承载力和沉降要求较为严格的地基处理时,可以考虑综合加筋垫层和水泥深层搅拌桩的优点,用加筋垫层和水泥深层搅拌桩复合地基联合处理软基。在加筋垫层的作用下,充分发挥水泥土桩与桩间土共同作用的特性,提高地基的承载力,减小地基的沉降,均化地基的不均匀沉降。当加筋垫层采用新型高强土工格栅配合砂碎石时,其复合地基的整体强度大大提高,处理效果更为明显。

## 2 城市道路软基处理方法评价

换填垫层法是最常用的软基处理方法之一,在地区市政道路工程中应用最多,但换填处理只能在软土层厚度较薄的情况下使用。软土层较厚时,换填处理的工程量大,施工比较困难,造价也很高。堆载预压法排水固结时间长,因此工期也较长,而且只能适用于软土不太厚的情况,如果时间允许,可单独使用,如果工期紧,可结合排水固结法一起使用。对正常压密的深厚软粘土而言,加载预压排水固结法是经济有效的软基处理方法,但用此方法处理后,由于软土厚度大,总沉降、工后沉降及差异沉降都较大,无法达到预期的要求,不均匀沉降对市政管线的破坏也较大。强夯法一般不宜用于加固饱和软粘土,因为易形成“橡皮土”,夯后地基承载力降低,强夯置换法虽有较多成功的应用经验,但至今尚未形成一套设计计算方法,处理效果与置换所夯填的材料有关,对差异沉降的控制较差,一般用于处理大面积填海等工程,并应通过试夯确定设计参数。深层搅拌法和粉煤灰碎石桩适用于高饱和深厚软土、工期要求紧迫、路堤荷载较大且工后沉降控制较严的工程,能迅速增加地基承载力,减小沉降,但造价较高,一



般用于处理桥头跳车或对地下管线沉降控制较严的路段,对有机质含量较多的淤泥应通过配合比试验确定是否可用。加筋法可以有效地减小路基的工后沉降,抑制地下管线的变形,且工程造价较低,是简单、经济、有效的均衡差异沉降的措施。

### 3 城市道路软基处理的特点

城市道路下埋设的管道对路基的沉降有一定要求,其中以污水管和雨水管对路基沉降的要求最为严格,目前国内对此尚无统一规定,有些地方的技术规范要求沉降引起的管道接口相对转角小于 $L/100$ ( $L$ 为每节管的长度),通常要求管道地基的工后沉降小于10 cm。污水管和雨水管一般均属于无压自流管道,有设计要求的自清流速,管道铺设要求有一定的坡度,若路基的工后差异沉降太大,将会导致管道排水能力下降、淤堵等,严重的还将导致管道损坏折断、污水外流,对环境造成污染。软基的不均匀沉降对管道产生的损坏主要有:(1)在采用橡胶圈密封的承插口处,往往是橡胶圈被挤出;在采用打口方式的承插口处,接口易松脱发生漏水事故。(2)造成钢管在焊接口处断裂,裂缝一般为环向,呈中间大两边小的形状。(3)管道伸缩节的接头易被拉裂。(4)阀门的法兰被拉裂或皮垫被损坏而造成漏水。(5)在局部有大石块的管基或管渠交叉处,普通铸铁管或UPVC管易断裂。

以前,通常未对管线的软基进行特殊处理。在道路修建好后,由于管线下软基的不均匀沉降,导致管线不能正常运作,断裂损坏的情况时有发生,遇到这类情况,只好通过开挖路面进行维修。这不但给城市的交通和人们的生活带来许多不便,而且在人力、财力和物力上造成很大浪费。近年来,这个问题开始受到关注,但由于目前尚无关于市政管线地基沉降要求的统一规定,因此基本上是借用高速公路对软基处理的要求。高速公路一般路段的工后沉降要求 $\geq 30$  cm,目前城市主干道管线地基的工后沉降一般要求 $\geq 10$  cm。因此,市政道路的软基处理比相同等级的一般公路要求更高,这也使得市政道路的软基处理费用变得昂贵。因此,寻求解决市政道路管线软基差异沉降的可靠、经济的方法,具有重大的社会、经济效益。

### 4 国外市政道路管道建设的主要方法

在国外,发达国家对城市管线采用共同沟技术,共同沟亦称“地下综合管廊”,即在地下建造集约化隧道,集电力、通讯、燃气、上下水等各种市政

管线于一体,同时设置专门的检修口、吊装口和监测控制系统。早在19世纪,法国、英国、德国就开始建造共同沟。到20世纪,美国、西班牙、俄罗斯、日本、匈牙利等国也开始兴建共同沟。当今发达国家普遍采用共同沟。国外共同沟建设的突出特点:一是立法优先,如已建共同沟路段禁止开挖,对共同沟的产权、地下空间有偿使用等问题有所规定。二是整体规划,必须将共同沟与地铁、地下综合体等地下工程统一纳入城市地下空间规划。

目前,我国市政管线(网)的建设大都还是各自为政。由于在管理体制上存在条块分割、交叉重复、多头管理等问题,导致建设共同沟面临道路开挖难、执法管理难、资金落实难等层层阻碍,因此,短期内无法大范围实施,目前仅在上海等少数城市有所尝试。

### 5 新型市政道路软基处理方法探讨

市政管线基础的软基处理,若采用一般高等级公路的处理方案,往往难以满足管线对沉降的要求。如整个道路断面都按管线基础的要求进行软基处理,则造价太高。应综合考虑不同管线对沉降的要求以及地质条件、工期、经济等方面因素,采用不同的软基处理方案。以下介绍某城市一级主干道的软基处理方案,探讨新型市政道路软基处理的方案及处理效果。

#### 5.1 工程概况<sup>[4]</sup>

泉州市大坪山隧道连接线道路工程,全长4.71 km,路面标准宽度50 m,双向六车道,是泉州市东(洛江区)西(丰泽区)交通骨架工程,城市主干道“二纵”之一,为城市一级主干道。其中软基路段长2.53 km,几乎占全长的一半,软基处理是该工程最主要的分项控制工程之一,因此设置了若干试验段,实施动态设计和信息化施工。该工程位于人工围海造田区,长期受潮汐影响。场地上部为人工填土,厚度仅0.5 m左右,密实度及均匀性差,工程性质不良。下卧淤泥层厚10~15 m,属高压缩性、低透水性、低强度的软弱土体,淤泥的各项物理力学指标见表1。

道路标准横断面及管线布置如图1所示。污水管、雨水管以及预留煤气管位布置在非机动车道下,交通信号电缆和路灯电缆布置在非机分隔带下,其余管线布置在人行道下。

#### 5.2 软基处理方案

该道路工程为城市主干道,管线很多,雨、污水管线埋设较深(最深达7 m),对沉降敏感,软基路段均为填方路堤,工期紧。为了满足路基两侧的



表1 淤泥的物理力学性质指标

含水量 w (%)	重度 r (kN/m <sup>3</sup> )	孔隙比 e	液限 W <sub>L</sub> (%)	塑限 W <sub>p</sub> (%)	塑性指数 I <sub>p</sub>	液性指数 I <sub>L</sub>	直剪试验(快剪)		压缩试验		渗透系数	有机质含量 (%)
							C(kPa)	φ(°)	a <sub>1-2</sub> (MPa <sup>-1</sup> )	E <sub>s</sub> (MPa)	KE-06(cm/s)	
*62.1	15.9	1.69	48.2	30.3	18.2	1.76	13.4	1.9	1.71	1.62	3.3	3.2
**37.7-81.4	14.6-17.4	1.08-2.23	31.1-62.4	23.5-39.1	11.0-25.3	1.21-2.39	8.0-19.2	0.9-2.3	0.54-2.69	0.23-2.78	1.2-7.7	2.1-6.6

注:表1中,\*指标为平均值,\*\*为范围。

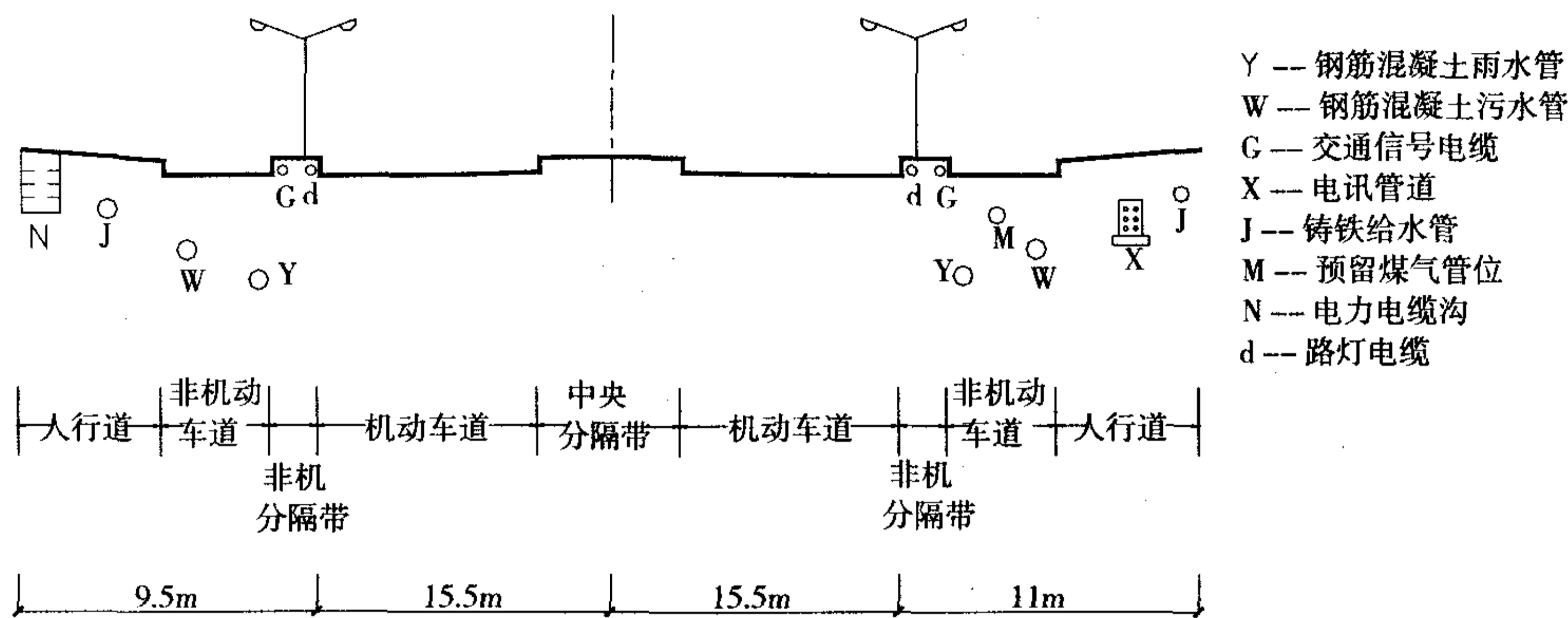


图1 道路标准横断面及管线布置图

雨、污水深埋管基工后沉降 ≤ 10 cm 的要求,在保证工程质量的前提下,尽量降低造价,该工程提出了国内首创的中央机动车道下采用袋装砂井配合堆载预压排水固结处理,非机动车道及人行道下采用粉喷桩复合地基处理的设计方案。袋装砂井的直径为 70 mm,间距为 1.2 m,三角形布置,水泥土搅拌桩直径为 500 mm,间距 1.0 m,三角形布置,袋装砂井和水泥土搅拌桩均穿过淤泥层和淤泥夹砂层,进入粉质粘土层,砂垫层厚 0.5 m,一层单向土工格栅加筋,如图 2 所示。约 40% 的路基采用粉喷桩处理,约 60% 的路基采用袋装砂井排水固结处理。因为粉喷桩处理的单价约 32 元/延 m,而袋装砂井排水固结处理的单价约 3.5 元/延 m,仅为粉喷桩处理费用的 1/10。因此,软基处理费用可节省一半左右,超过 1 000 万元。

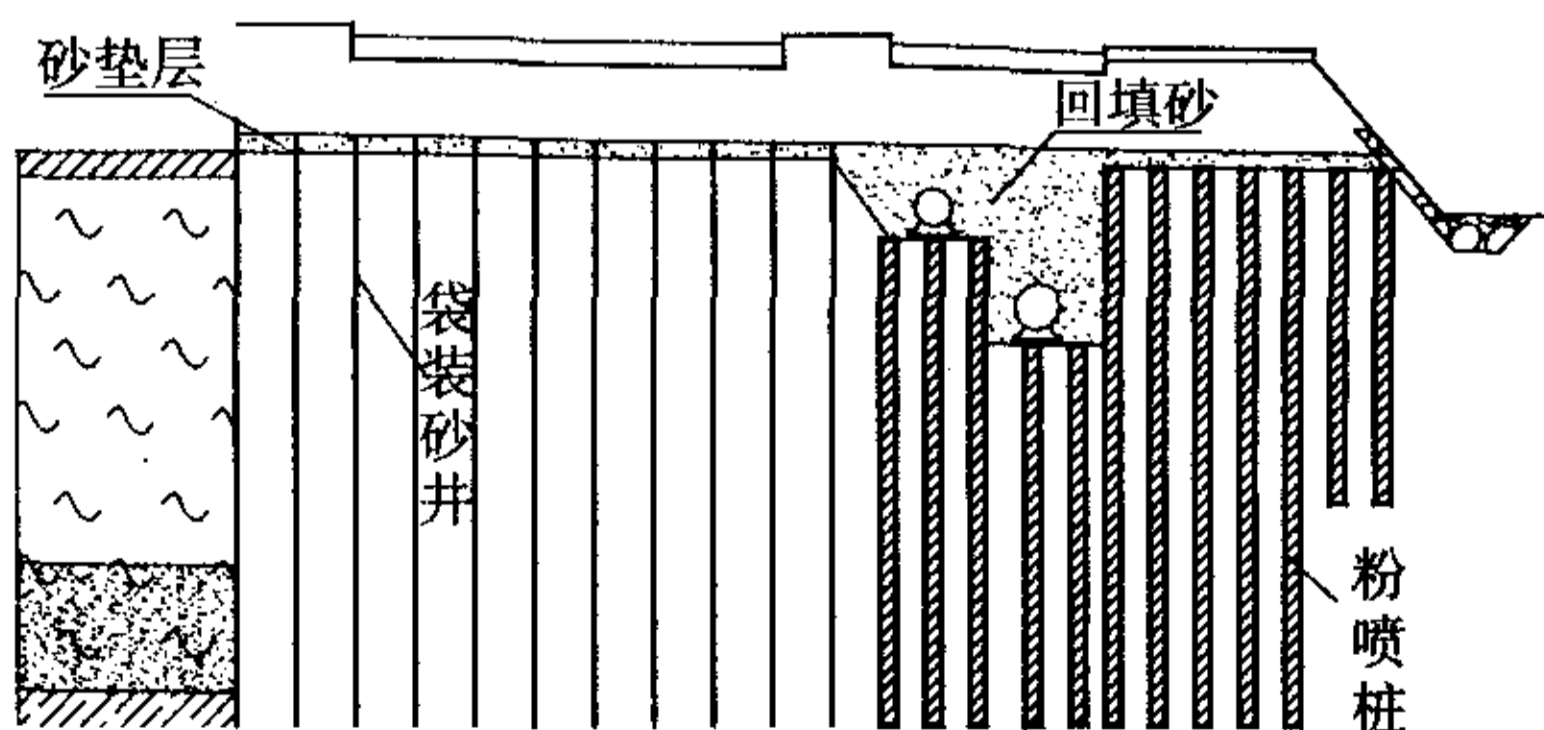


图2 软基处理标准横断面图

### 5.3 处理效果评论

为了检验这种“中间软、两边硬”的地基处理方案的可行性,在路中心、两种处理方法交界处的两侧、路肩以及坡脚处埋设了总沉降盘、分层沉降盘、孔隙水压力计、测斜管、土压力盒和水位计进行观测。仪器埋设如图 3 所示。

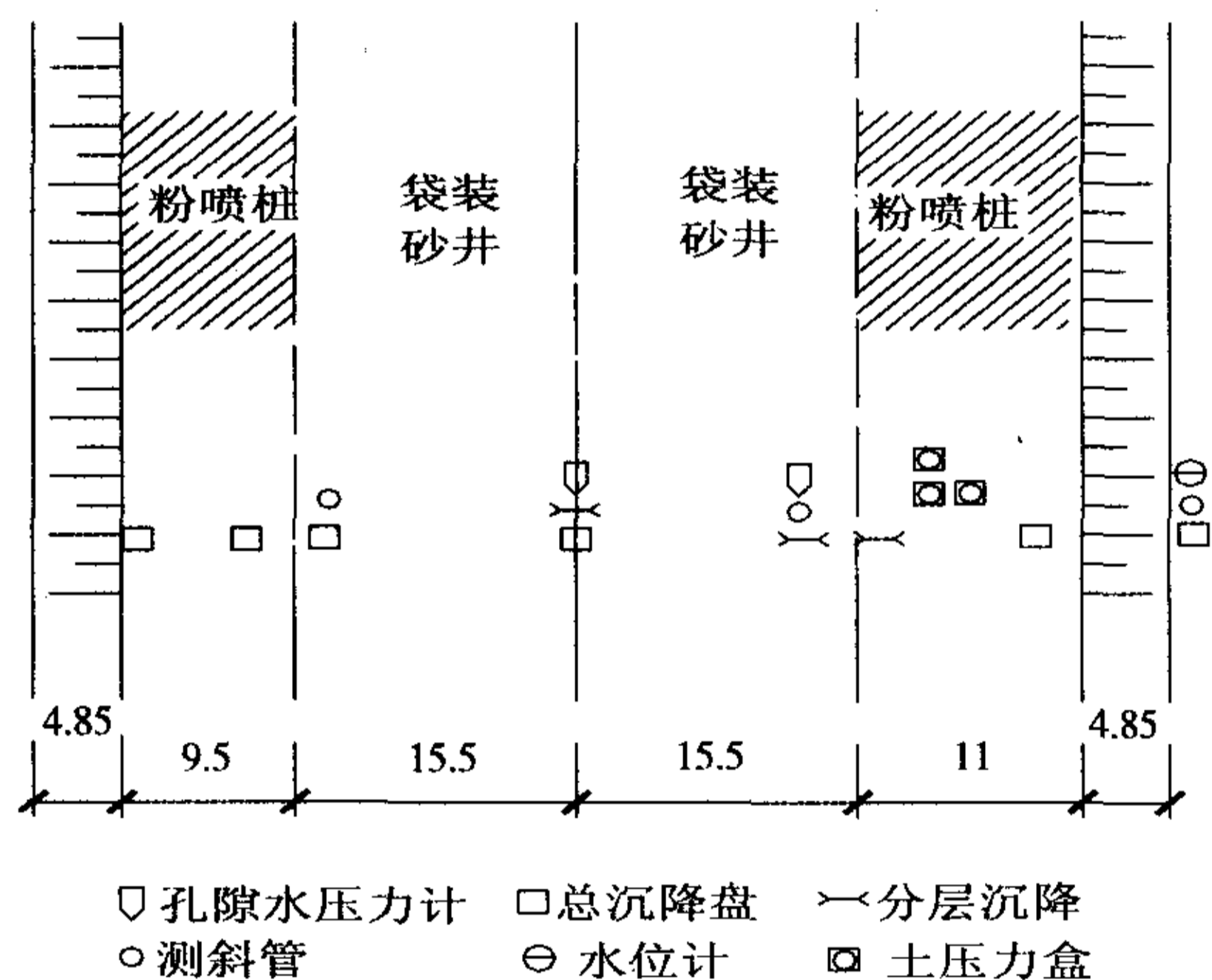


图3 试验监测仪器埋设布置图

通过观测,可以得出以下结论:

(1)袋装砂井处理段内,最大的总沉降量发生在路中,为 1 269 mm。两侧粉喷桩处理段内,最大的总沉降量发生在交界处,为 254 mm,约为路中最大沉降量的 20%。在上部填土荷载的作用下,袋装砂井处理段和粉喷桩处理段之间产生了较大的差异沉降,最大差异沉降达 717 mm。

(2)中部袋装砂井处理区向两侧粉喷桩处理区的侧向位移(最大值为 241.16 mm),明显大于坡脚处的侧向位移(最大值为 48.87 mm),坡脚处最大侧向位移位于地表,两侧交界处的最大侧向位移均发生在地表以下 5~6 m 深的淤泥层中。

(3)袋装砂井处理段路,基压缩范围随填土的加高而变深,压缩量随深度由大变小,80%~85% 的压缩量发生在地表下 8 m 范围内,压缩层范围主要位于粉质粘土层以上 13 m~16 m 的淤泥和



淤泥夹砂层。

(4)粉喷桩处理段与袋装砂井处理段相比,复合地基的压缩量很小,压缩层在地表以下到15~18 m范围内,压缩量的大小与深度无关,主要受粉喷桩施工质量控制。

(5)各测点的孔隙水压力基本上随着填土高度的增大而增大,加荷间歇期,孔隙水压力逐渐消散,加载435 d后,土层的固结度达到85%~95%。

(6)水泥土搅拌桩复合地基中,土应力和桩应力都随着填土高度的增大而增大,在停止填土后的堆载期间,随着土体的固结,桩应力逐渐减小,桩土应力比由1.88逐渐减小至1.11。

通过对该工程实例的研究分析表明,这种复合处理方案——在同一断面的不同位置采用不同的软基处理方案(中间为排水固结法处理,两侧为水泥土搅拌法处理),能显著提高管线地基的承载力,满足管线对沉降的要求,大幅降低造价。但是同时还存在一些问题:采用这种方案使得同一断面的地基土模量不同,中间软、两侧硬,在荷载作用下,中间软的部分沉降大,两侧硬的部分沉降小,导致在两种处理方法的交界处产生较大的差异沉降,造成交界处路堤开裂。同时中间软的部分向两侧流动,挤压两侧的粉喷桩,导致产生较大的侧向位移。鉴于粉喷桩抗水平剪切的能力差,在管线开挖施工中容易导致粉喷桩因受剪失去稳定。

## 6 结语

在软基路段建设市政道路,面临软基处理的问题。目前市政道路的软基处理基本上是借用高速公路的软基处理方法,主要处理方法有:换填垫层法、堆载预压法、加载预压排水固结法、强夯法、深层搅拌法、粉煤灰碎石桩、加筋法。上述各种方法有其适用范围,但由于城市道路需要埋设

各类管线,因此对工后沉降的要求比高速公路要高。由于软基处理方法不当,产生管线下软基的不均匀沉降,导致管线不能正常运作甚至断裂损坏,因此,寻求解决市政道路管线软基差异沉降问题的可靠、经济的方法,具有重大的社会、经济效益。在国外,发达国家对城市管线早已采用共同沟技术,基于我国的国情,短期内无法大范围实施。市政管线基础的软基处理,若采用一般高等级公路的处理方案,往往难以满足管线对沉降的要求,若整个道路断面都按管线基础的要求进行软基处理,则造价太高,所以应综合考虑不同管线对沉降的要求以及地质条件、工期、经济等方面的因素,采用不同的软基处理方案。本文通过工程实例分析新型的市政道路软基处理方法——在同一断面的不同位置采用不同的软基处理方案(中间为排水固结法处理,两侧为水泥土搅拌法处理),实测表明,该处理方法能显著提高管线地基的承载力,满足管线对沉降的要求,大幅降低造价。但是同时还存在一些问题:采用这种方案使得同一断面的地基土模量不同,中间软,两侧硬,在荷载作用下,中间软的部分沉降大,两侧硬的部分沉降小,导致在两种处理方法的交界处产生较大的差异沉降,造成交界处路堤开裂;同时中间软的部分向两侧流动,挤压两侧的粉喷桩,导致产生较大的侧向位移。因此,需要进一步改进设计,寻求更合理、经济的市政道路软基处理方案和施工方法。

## 参考文献

- [1]周爱忠,雷和全.浅谈深圳地区市政道路工程中软弱地基的处理[J].地基处理,1999,10(3):52-57.
- [2]地基处理手册(第二版)编写委员会.地基处理手册(第二版)[M].中国建筑工业出版社,2000,255-266.
- [3]冯时和.加筋碎石在城市道路软土路基处理中的应用[J].交通标准化,2006(9):152-154.
- [4]马时冬,等.泉州大坪山隧道连接线道路工程软基处理试验检测总报告[R].华侨大学土木工程检测中心,2004.

## 我国首座多功能特大跨海大桥通过工可评审

我国首座同时具备交通、供水、供电功能及主辅结合的特大跨海大桥——温州市大门大桥的工程可行性研究报告于近日通过浙江省交通厅、省公路局、省港航局的专家评审。该大桥连接乐清市与洞头县大门镇小门岛,跨乐清湾沙头水道,于小门岛最西端登陆后,与已建成的大门、小门岛连岛工程北端相接。大门大桥工程全长10.65 km,桥宽24.5 m,双向四车道,其中大桥主桥为双塔双索面斜拉桥,该工程总投资14.76亿元,计划年内开工,2011年9月竣工。