

黄河故道区高速公路

湿软地基处治技术及稳定性研究

黄 杰 主编



黄河水利出版社

黄河故道区高速公路湿软地基 处治技术及稳定性研究

主编 黄 杰

黄河水利出版社
· 郑州 ·

内 容 提 要

本书对黄河故道区修筑高速公路常遇到的湿软地基,有针对性地提出了湿软地基处治比选方案,通过大量的试验结果和观测数据,系统深入地开展了湿软地基处治技术研究,进行了路堤沉降特性分析和路基边坡稳定性分析,并对湿软地基处治技术研究和分析结果进行了总结。

本书可供从事高速公路工程管理、勘察设计、监理、施工等方面的工程技术人员使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄河故道区高速公路湿软地基处治技术及稳定性研究/黄杰主编. —郑州:黄河水利出版社,2012.4
ISBN 978-7-5509-0227-5

I. ①黄… II. ①黄… III. ①黄河故道-高速公路-道路工程-软土地基-地基处理-研究
IV. ①U416.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第065409号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:850 mm × 1 168 mm 1/32

印张:4.875

字数:140千字

印数:1—1 000

版次:2012年4月第1版

印次:2012年4月第1次印刷

定价:20.00元

前 言

随着我国交通事业的迅猛发展,越来越多的高速公路在湿软地基上修筑。高速公路多为高路堤,湿软地基的存在:一则在施工期间,严重影响了工程施工的进度;二则会给运营阶段的高速公路带来沉降的隐患。关于高速公路湿软地基处治技术,国内外尤其是我国沿海地区有着大量的研究和实践经验,但是这些研究与实践经验大都基于滨海相淤泥质软黏土,具有显著的地域性特点。目前,在内陆河滩相和稻田区湿软地基上修筑高速公路的工程经验并不多。关于边坡的稳定性分析多是针对自然边坡,完善其计算理论,研究其稳定系数及对危险边坡进行技术处理等,对路堤边坡稳定性的敏感性研究尚不多见,人工边坡与自然边坡的稳定性影响因素的敏感性必然有所不同。人们通常只是在设计时对其进行稳定性验算,并没有过多关注各因素对边坡稳定性的影响水平。因此,本书主要针对黄河故道区内具有代表性的内陆河滩相和稻田区湿软地基,开展了湿软地基处治技术研究和路堤稳定性分析,有着很强的针对性和实用性。本书针对黄河故道区修筑高速公路常遇到的地下水位较高,地表下可液化土、湿软土层等不良地基易造成路基,尤其是高填方路基产生沉陷等主要病害,结合大量的试验和实践经验,对黄河故道区湿软地基处治技术深入开展了研究,提出了经济合理的处治方法和施工工艺,解决了影响正常施工的问题,减小路堤的工后沉降和侧向变形,确保高路堤边坡的稳定性及工程质量和工程施工进度。

本书主要依据兰考至许昌高速公路建设期间路线穿越黄河故道区内湿软地基的研究课题编写,对参加课题研究的长安大学陈忠达教授,以及配合课题研究的建设、设计、施工、监理、科研等单位 and 人员表示衷心的感谢。

由于编写时间紧迫,编写水平有限,书中疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者
2012 年 1 月

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 研究目的及意义	(1)
第二节 国内外研究综述	(2)
第三节 主要研究内容	(7)
第二章 研究方案	(8)
第一节 工程概况	(8)
第二节 湿软地基处治方案	(13)
第三节 沉降观测方案	(20)
第四节 侧向位移观测方案	(24)
第三章 湿软地基处治技术研究	(27)
第一节 粉喷桩处治技术	(27)
第二节 碎石桩处治技术	(36)
第三节 强夯处治技术	(46)
第四节 垫层处治技术	(56)
第五节 湿软地基处治效果与经济性分析	(62)
第六节 高速公路湿软地基处治建议	(74)
第四章 路堤沉降特性分析	(76)
第一节 湿软地基沉降预测	(76)
第二节 湿软地基沉降变形特性分析	(96)
第三节 考虑侧向位移的路堤沉降分析	(113)
第四节 路堤沉降稳定性分析	(123)
第五章 边坡稳定性分析	(127)
第一节 边坡稳定性评价方法	(127)
第二节 单因素敏感性分析	(133)

第三节 多因素敏感性的正交分析	(141)
第六章 主要研究结论	(146)
参考文献	(148)

第一章 绪 论

第一节 研究目的及意义

在路堤荷载作用下,地基土中的应力状态发生变化,必然引起地基变形。沉降可分为均匀沉降和非均匀沉降。当发生均匀沉降时,路基相对来说是安全的,而通常由于路堤高度差异和地基不均匀等,路基各部分的沉降或多或少总是不均匀的,使得路面相应产生不均匀变形。路基不均匀沉降超过一定的限度,将导致路面的功能性、结构性破坏,从而影响公路的正常运营。所以,高等级公路对工后沉降有很高的要求。由于高路堤本身填土荷载较大,加上施工期加载速度较快,土体除竖向沉降外,在剪应力作用下会产生侧向变形,这部分变形也会产生附加沉降。过大的侧向变形将会影响到边坡的稳定性,甚至导致边坡滑塌等病害。开展路基稳定性研究,对解决因工后沉降过大而导致路面平整度差和桥头跳车现象,或边坡失稳,保证公路的正常使用具有很大的意义。

兰考至许昌(兰许)高速公路总长约 170 km,途径水稻田区、黄河故道和液化土等不良地质条件地区,这些地区地下水位高,土质属中液限粉质黏土。据初步调查,这些路段的地表下可液化土或软弱土层厚度一般均为 1.0 ~ 3.0 m,其中可液化土层最大厚度达到 8.5 m,而黄河故道段淤泥层厚达 5.0 m 以上;沿线地基土质松软、含水量为 36.5% ~ 50.4%,个别地区含水量高达 52.9%,特别是 2003 年夏、秋两季,遭受多年不遇的、连续 4 个月的强降雨后,地表积水严重,甚至有些低洼地段表面长期积水,使地基更加湿软,以致于施工机械无法直接进入现场进行施工,严重影响了工程的施工进度。而且,以往工程实践表明,对不良地基处治的不完善,是造成公路路基,尤其是高填方路基产生沉陷

病害的主要原因。特别是对于兰许高速公路填土高度 9.0 ~ 10.0 m 的湿软地基路堤(立交工程路堤),沉降问题将会更为严重,势必会影响路基路面的稳定性。

鉴于此,结合兰许高速公路的具体情况 & 湿软地基的特点,深入开展高速公路湿软地基处治技术研究,提出经济合理的处治方法和施工工艺,以尽快解决影响正常施工的问题,减小路堤的工后沉降和侧向变形,对确保高路堤边坡的稳定性及工程质量和工程进度具有重要的现实意义。通过对实际工程的观测与分析,研究与其稳定性相关的诸多内容,对工程本身的安全可以起到控制及预测作用,其结论对相似条件的工程具有参考价值。

第二节 国内外研究综述

地基处理是古老而又年轻的领域,许多现代的地基处理技术都可在古代找到它的雏形。地基处理技术在我国有着悠久的历史,我国劳动人民在处理地基方面有着极其丰富的宝贵经验。据史料记载,早在 3 000 年前,我国已开始采用竹子、木头以及麦秸等来加固地基;2 000 年以前就已采用在软土中夯入碎石等压密土层的夯实法;另外,灰土和三合土的换土垫层法也是我国的传统建筑技术之一,在著名的万里长城的建设中,石灰就常常被用来加固软弱地基。随着公路建设的发展,我国公路地基处治技术也得到了长足的进步。基本的处治方法是置换、夯实、挤密、排水、胶结、加筋等。这些方法都已被实践证明是行之有效的。改革开放以来,我国的高速公路建设事业蓬勃发展,截至 2005 年年底,高速公路通车历程已突破 40 000 km。为了适应经济发展的需要,这些高速公路大多集中在沿海经济发达地区。但是,沿海经济发达地区多处于平原水网地带,地下水位高,表层地质层次沉积时代近,结构松软,土基含水量高,强度低,变形大,多为软土地基;同时,在我国长江、淮河流域还经常分布有膨胀土、液化土等软弱地基。在这些地区修建高速公路时,地基的变形和路堤的稳定是主要问题。我国大陆最早建成通车的高速公路是沪嘉高速公路,该路全长 18.5 km,路线

经过地区均为软土区,于1988年10月31日通车。之后又有京津塘高速公路(全长143 km,软土路段48 km)、广佛高速公路(全长15.7 km,软土路段4.43 km)、杭甬高速公路(全长145 km,软土路段91.65 km)、广深高速公路(全长122 km,软土路段34 km)等位于软土地区的高速公路建成通车。一次建成通车里程最长的软土地基上的高速公路是宁沪高速公路,该路全长274.08 km,软土路段92.29 km。我国的道路工程科技工作者,结合不同高速公路途径地区的地层、土质特性,进行了软弱地基的处治研究,取得了一定的成果,积累了大量的处治经验。

中交第一公路勘察设计院从京津塘高速公路的软基处理试验工程开始,对在软土地基上修建高速公路进行了若干个专项研究。其中包括京津塘高速公路软基处理综合技术试验研究,石(家庄)安(阳)高速公路具有较厚硬壳层河湖相软土试验研究,罗(源)宁(德)高速公路爆炸挤淤法处理公路软土地基试验研究,福(鼎)宁(德)高速公路真空联合堆载预压技术应用研究。江苏宁沪高速公路股份有限公司和河海大学等单位在宁沪高速公路的建设中,借鉴其他行业和地区软土地基设计、施工的经验及教训,对分布于宁沪沿线的软土进行了科学、系统的研究,形成了在软土地基上修筑高速公路的勘察、设计和施工、控制的成套技术,创造了宁沪高速公路江苏段软土地基路段路面一次铺筑成功的范例,有许多经验值得总结和推广。为了总结软土工程领域的科学研究成果和在交通土建工程中的实践经验,交通部公路司会同江苏省交通厅于2001年4月共同组织编写出版了《交通土建软土地基工程手册》。近三四十年来,国外在高速公路地基处理技术方面发展十分迅速,老方法得到了不断改进,新方法不断涌现。在20世纪60年代中期,从如何提高土的抗拉强度这一思路中,发展了土的“加筋法”;从如何有利于土的排水和加速固结这一基本观点出发,发展了土工织物、砂井预压和塑料排水板;从如何进行深层压密处理的方法考虑,发展了“强夯法”和“振动水冲法”等。另外,随着现代工业的发展,对高速公路地基处理提供了强大的生产手段:例如能制造起重量重达几十吨的专用地基加固施工机械;真空泵的问世,建立了真空预压法,生产

出了大于 200 个大气压的压缩空气机,从而产生了“高压喷射注浆法”等。特别是在过去 10 年内,高速公路地基加固技术范围变得明显广泛:不添加材料的永久性加固,例如表层压实、重锤压实、振动挤实等;添加材料的永久性加固,例如分层石灰及水泥加固、碎石桩或砂桩、石灰及水泥桩、灌浆法、加筋土、土工织物和纤维加固法等。

自从太沙基(1923)的有效应力原理及其固结理论问世以来,地基沉降计算理论的研究已取得了长足进展,关于地基沉降问题已形成多种计算方法,大致可分为三类:第一类是基于弹性理论结合太沙基固结理论的解析方法或称理论公式法。然而,经典的理论公式方法中荷载作用下地基中附加应力场是根据半无限空间各向同性弹性体理论计算的,土体压缩性是根据一维压缩试验确定的,并采用分层总和法来计算地基的沉降量,未考虑土体的非线性,以及土体侧向变形对沉降的影响,在不同地质条件、加载条件下沉降修正系数的选用也有一定难度。第二类是 Biot 固结理论结合多种本构模型的数值分析法。用数值分析方法时,对土体各种本构模型的识别以及模型参数的确定方面还存在着不同程度的困难,而且在有限元分析中一些问题的处理,有限元程序中若干工程措施的处理,需要进一步研究完善。第三类是根据实测资料推算沉降量与时间关系的预测方法,如指数曲线法、双曲线法、星野法、Asaoka 法及灰色预测法等。这些方法各有优势,其适用范围也各不相同,应区分不同的条件进行使用。

国内外对不均匀沉降做了大量的研究和实践工作。高速公路在荷载作用下,沉降是不可避免的。由于路堤高度差异和地基不均匀等,路基各部分的沉降或多或少总是不均匀的,使得路面产生不均匀变形。当不均匀变形超过了一定的限度,将导致路面的功能性、结构性破坏,使得公路的服务水平不能满足设计要求。1989 年日本道路协会指出:路堤中心处路面铺筑后 3 年的允许剩余沉降量根据道路的重要性确定,与桥梁构造物连接的路堤为 10 ~ 30 mm。但是,在实际设计中,日本限制并不严格,一些高速公路也并未按上述容许工后沉降进行设计。另据日本有关专家介绍:认为路堤的沉降并不构成问题,而与桥梁等构造邻接的路堤的工后沉降值得重视。交通部重庆公路科学研究所等单

位在天津新港地区软土地基上修筑公路路堤的试验研究报告中指出,对于高等级公路路堤铺筑路面 20 年内,容许工后沉降值为 30 ~ 50 mm,邻接梁等人工构筑物的路堤,容许工后沉降值定为 10 ~ 20 mm 较为适当,这一段长度,根据桥头路堤纵坡情况,可设为 50 ~ 100 m,与长路堤相接桥台可增设搭柱,以减少沉降错落的影响。对中低级公路,其软基加固主要考虑路基稳定要求,路堤中心容许残留沉降值不作规定,留待在使用过程中进一步观测并通过养护以纠正其有害的影响。沪嘉高速公路试验研究指出,沪嘉高速公路在桥台处设搭柱,邻近桥梁构造物的路堤取容许工后沉降值 10 mm,并在 50 m 范围内逐渐过渡到容许工后沉降值 30 mm,其沉降差为 0.4%;正常路段允许工后沉降值取 30 mm,其横向沉降差为 0.48% 尚属恰当。莘松高速公路在试验研究中指出,路堤的容许工后沉降值应根据路堤的高度来确定,当路堤高度大于 2.35 m 时,则容许沉降值为 10 ~ 15 mm;当路堤高度小于 2.35 m 时,则容许工后沉降值为 10 mm。合适的控制标准有必要继续进行研究。

侧向位移观测是路基稳定控制观测中的主要测量内容之一,又是评价和控制路基稳定性的重要依据。大量的工程实践和实际工程观测资料分析表明,软土路基侧向位移产生的沉降量占总沉降量比例较大,侧向位移不仅在施工加载期发生,而且在施工结束后长时间存在,甚至成为工后沉降值的重要组成部分。1998 年,广珠高速公路某标段在填筑路堤时土的侧向挤出将距坡脚 7 m 处的直径 1.2 m 的混凝土灌注桩挤偏了 26 cm。汕汾高速公路某段软土厚 15 m、路堤底宽 50 m、硬壳层厚 1 m。软基处理时按 1.5 m 间距施打桩长 15 m 的砂桩。由于施工期很短,软土来不及排水固结,以砂桩体积应有的排土量计,路堤两侧的地基土应被挤出 3.62 m。但是 1999 年砂桩打完后,地面未发生隆起。绝大部分本应被砂桩体挤出的地基土显然是从路基两侧挤出的。假定只有上部强度较低的软土才能被大量挤出,它挤出的位移将更大。可见,软土的实际侧向挤出量可以是很大的。1994 年马时冬对路堤下软土的侧向位移作了观测分析并详细介绍了 F. A. Tavenas 的观点。张诚厚等(1995)在沪宁高速公路建设中研究了剪切变形引起的附加沉

降量,得出了附加沉降量占沉降总量的 14% ~ 30% 的结论,是一个很大的进步。刘增贤和汤连生根据广珠高速公路灵山段实际观测资料,分析计算了其侧向挤出沉降量占总沉降量的 1/4 以上。周镜院士(1999)较全面地分析了剪应力下土体侧向变形问题。研究侧向位移与沉降的关系,对深入了解沉降的构成,探求沉降特性有一定的帮助。

我国对边坡稳定分析的研究起于 20 世纪 50 年代。特别是 20 世纪 60 年代以后,我国在土坡稳定分析的改进方面发展较快,并在某些方面作出了重大的贡献。如 70 年代潘家铮提出了滑坡极限分析的两条基本原理:极大值原理(滑坡体的滑面稳定时,则滑面上的反力及滑坡体内的内力皆能自行调整,以发挥最大的抗滑能力)和极小值原理(滑坡体如有可能沿许多滑面滑动,则失稳时它将沿抵抗力最小的那一个滑面破坏)。1978 年张天宝通过按瑞典法建立的简单土坡稳定系数函数的数值分析,全面归纳了最危险滑弧的变化规律。张天宝和阎中华都阐明了复合土坡最危险滑面分布的多极值规律。1981 年,孙君实利用模糊数学工具,建立了土坡稳定系数的模糊函数和模糊约束条件,提出了稳定系数的模糊解集和最小模糊解集概念,使长期以来人们在解土坡问题时在土条侧作用力问题上的随意性从此得到克服,使条分法成为一种独立的极限分析数学方法,并对土坡稳定分析的理论和方法方面进行了全面的研究,深刻地揭示了土坡稳定问题的力学原理,推动了土坡理论的深入发展。1986 年张天宝论述了产生黏性土土压力时的合理滑面形状,提出了求解黏性土土压力的圆弧滑面整体平衡法。王恭先(1988)、徐邦栋(1998)结合我国滑坡发生的实际情况进行了长期的研究,提出了滑坡稳定性判断的理论和方法,建立了通过分析滑坡的不同发育阶段和不同滑带土的强度特征,结合滑坡的状态综合应用各种方法确定滑带土参数的上、下界限法,并给出了抗剪强度参数选择中应考虑的基本因素;他们建立的理论和方法在滑坡工程实践中已取得了较好的效果。1999 年,马崇武提出了滑坡渐进破坏的演化模型,其基本原理是岩土边坡的失稳破坏并不是瞬间便发生整体破坏的,而是一个由局部破坏并且扩展以至形成滑面的渐进过程。

综上所述,关于高速公路湿软地基处治技术,国内外尤其是我国沿

海地区有着大量的研究和实践经验,但是这些研究与工程经验大都基于滨海相淤泥质软黏土,具有显著的地域性特点。目前,对于内陆河滩相和稻田区湿软地基上修筑高速公路的工程经验并不多。关于边坡的稳定性分析多是针对自然边坡的,完善其计算理论,研究其稳定系数及对危险边坡进行技术处理等。对路堤边坡稳定性的敏感性研究尚不多见,人工边坡与自然边坡的稳定性影响因素的敏感性必然有所不同。人们通常只是在设计时对它进行稳定性验算,并没有过多关注各因素对边坡稳定性的影响水平。因此,本书主要针对黄河故道区内具有代表性的兰许高速公路内陆河滩相和稻田区湿软地基,开展湿软地基处治技术研究和路堤稳定性分析,有着很强的针对性和实用性。

第三节 主要研究内容

本书的主要研究内容如下:

(1) 对兰许高速公路沿线进行勘探试验及取土样进行土性分析,确定沿线地质土层特点及湿软地基特性。

(2) 结合兰许高速公路沿线湿软地基的特点,通过试验段湿软地基处治实践,比选、确定湿软地基的处治方案,并结合工程实践,对湿软地基处治(粉喷桩、碎石桩、强夯及垫层处治技术)机制、适用范围、设计方法及施工工艺进行深入的分析研究。

(3) 结合沉降观测资料,拟用人工神经网络法及双曲线拟合法预测湿软地基的工后沉降,对兰许高速公路地基沉降特性进行分析,并对湿软地基处治效果与经济性进行分析,提出湿软地基处治建议。

(4) 采用平整度作为控制指标,研究不均匀沉降的标准。

(5) 采用边桩对试验路段进行侧向位移观测,并在对侧向位移特性分析的基础上,建立路堤变形模型,研究侧向位移与路堤沉降的关系。

(6) 通过单因素敏感性分析与路堤边坡稳定性稳定系数相关的因素,采用正交法研究多因素的敏感性。

第二章 研究方案

第一节 工程概况

一、项目简介

兰许高速公路王楼(省界)至兰考段位于河南省东部地区,是国家重点公路建设规划的日照至南阳公路中的一段,也是河南省规划的公路骨架网“五纵、四横、四通道”中的一条重要通道。

该工程起点位于豫、鲁两省交界处(山东省关庄和河南省王楼之间),在吕寨东跨 G310 线和连霍国道主干线,设兰考西枢纽互通式立交,再向西南约 1.098 km 为路线终点。按平原微丘区双向四车道公路标准,计算行车速度 120 km/h,路基宽 28 m。沿线地形平坦,不良地质主要有软土、可液化土、盐渍土等,该工程所在区地震基本烈度为 7 度。路线全长 44.906 km,由于沿线跨越多条已建公路,出现较多的立交工程,从而有许多的高填方路基。

该工程共分 5 个标段: A01 (K0 + 094 ~ K11 + 700)、A02 (K11 + 700 ~ K22 + 000)、A03 (K22 + 000 ~ K30 + 500)、A04 (K30 + 500 ~ K39 + 000)、A05 (K39 + 000 ~ K45 + 000)。

二、沿线地形、地貌,水文及地层岩性

(一)地形、地貌

工程所在的区域位于黄河的中下游,属淮河流域。根据地貌的成因类型和形态类型将本区的地貌划分为两个类型,即黄河故道区及背河洼地。其中 K0 + 094 ~ K34 + 350 段位于黄河故道区、K34 + 350 ~ K45 + 000 位于背河洼地。

黄河故道区分布于兰考与埇阳一带,地势较高,西高东低,地面标高为 61.50 ~ 71.30 m,相对高差 10.0 m 左右,地表平坦,农作物长势良好。

背河洼地分布于三义寨与罗王一带,位于黄河南大堤外侧,呈带状沿大堤分布,为黄河大堤侧渗所形成。地形平坦,地面标高为 66.50 ~ 67.30 m,地下水埋藏较浅、径流不畅,经过多年的人工改造,现已种植水稻。

(二) 水文

地表水系以黄河南岸大堤为分水岭,大堤以北为黄河流域,以南为淮河流域。该工程位于黄河大堤以南,属淮河流域。区内地表水主要为地面径流、入(过)境水和引黄灌渠三类。路线跨越的河流主要有四明河、圈章河等小型河流及引黄河总干渠、兰商、兰开干渠等。

地下水类型为松散岩类孔隙潜水,含水层主要为中、细砂层。黄河故道区地下水位埋深一般为 6.0 ~ 10.0 m,背河洼地一般为 1.0 ~ 3.0 m,主要接受大气降水(年平均降水量 678.2 mm)的垂直入渗补给与黄河及其灌溉干渠水的侧向入渗补给,顺地势由高处向低处缓慢径流;人工抽吸和蒸发是主要的排泄途径。

(三) 地层岩性

基底地层为太古界、元古界变质岩,上覆中生界地层,新生界地层厚度大。第四系发育完好,并平行不整合于第三系地层之上,总厚度约为 400 m,由松散沉积物组成,地层岩性详见表 2-1。

三、湿软地基情况

根据勘测结果,兰许高速公路沿线湿软地基主要为软土及可液化土,全线共有 14 个路段分布有软土层(见表 2-2),主要分布于黄河故道区,背河洼地区仅有零星分布,岩性以灰—灰黑色淤泥质黏土为主,局部为淤泥和淤泥质亚黏土。兰许高速公路软土层天然含水量一般为 36.10% ~ 52.90%,孔隙比为 1.005 ~ 1.483,快剪指标 $c = 9.0 \sim 48.0$ kPa, $\varphi = 3.5^\circ \sim 14.0^\circ$ 。一般软土层顶板埋深(单元土层层顶距地面的深度)为 1.8 ~ 15.0 m,个别达 20.5 m,厚度一般不大于 2 m,个别达

3.8 m,呈规模不大的层状或透镜状。

表 2-1 地层岩性

层号	名称	岩性	厚度(m)
1	全新统(Q ₄)	为黄河冲积物,岩性主要为灰黄—黄灰色亚砂土及亚黏土,粉细砂	30 ~ 40
2	上更新统(Q ₃)	为黄河冲积物,岩性主要为灰黄色、浅黄色中细砂、粉细砂夹多层亚砂土及亚黏土	50 ~ 60
3	中更新统(Q ₂)	为古黄河冲积扇堆积物,岩性主要为棕黄色、灰黄色厚层中细砂、粉细砂、亚砂土夹薄层黏土	70 ~ 80
4	下更新统(Q ₁)	为冰水—洪水冲积物,岩性为灰绿色、棕黄色亚黏土、亚砂土及含砾中粗砂	160 ~ 200

表 2-2 软土分布路段及主要物理力学性质指标

软土分布 里程	顶板埋深 (m)	厚度 (m)	ω (%)	孔隙比	快剪	
					c (kPa)	$\varphi(^{\circ})$
K0 + 000 ~ K6 + 000	5.0 ~ 14.3	1.10 ~ 3.30	37.70 ~ 50.30	1.088 ~ 1.483	11.0 ~ 48.0	5.0 ~ 14.0
K7 + 000 ~ K7 + 800	8.40 ~ 14.40	1.10 ~ 3.80	36.10 ~ 49.60	1.005 ~ 1.400	15.0 ~ 27.0	3.5 ~ 7.0
K12 + 400 ~ K12 + 750	8.60 ~ 21.50	1.20 ~ 2.00	46.30 ~ 46.80	1.317 ~ 1.380	21.0 ~ 27.0	6.0 ~ 7.0
K16 + 200 ~ K16 + 600	17.10	2.00	48.90	1.353	26.0	7.0
K18 + 750 ~ K19 + 050	15.40	1.20	43.50	1.221	14.0	4.0