

文章编号 1000-5013(2002)01-060-05

福建高速公路软土特征及处理方法

翁 升 马时冬

(华侨大学土木工程系, 泉州 362011)

摘要 沿海地区高速公路的建设, 不可避免地要涉及到对软土地基的处理, 而软基路段往往是制约工期和造价的主要因素之一。文中具体分析闽南地区高速公路软土特征, 对排水固结、堆(超)载预压、水泥搅拌桩复合地基和水泥煤粉灰碎石桩等常用的软基处理方法进行评价。

关键词 福建高速公路建设, 软土特征, 物理力学性质, 软基处理措施

中图分类号 U 412.36⁺ 6(257) : U 416.1⁺ 60.4

文献标识码 A

1 软土的成因和性质

1.1 软土的概念

软土一般是指天然含水量大、压缩性高、承载力低的一种软塑到流塑状态的粘性土。它一般是在静水或缓慢的流水环境中沉积, 经生物、化学作用形成的。但含水量和承载力的高低, 目前尚没有一个统一标准。例如, 日本采用标准贯入击数、无侧限抗压强度、荷兰式贯入指数等3项指标来划分软土。德国采用“很容易搓捏的土”来划分软土。在国内, 铁道部建议以天然含水量接近或大于液限、孔隙比大于1、压缩模量小于4000 kPa、标准贯入击数小于2击、静力触探贯入阻力小于700 kPa、不排水强度小于25 kPa等6项指标来划分软土。建设部颁布的《GJ 83-91 软土地区工程地质勘察规范》, 规定凡符合外观的, 以灰色为主的细粘土、天然含水量(液限)、天然孔隙比($e > 1$)等3项指标划分软土。交通部颁布的《TJ 051-85 公路土工试验规范》则以天然含水量、孔隙比、压缩系数、饱和度和内摩擦角等5项指标来划分软土。为了有个统一简便的判别标准, 交通部颁布了《TJ 017-96 公路软土路堤设计与施工技术规范》。在总结经验的基础上, 对软土的划分标准采用天然含水量 $> 35\%$ 或液限、天然孔隙比 $e > 1.0$ 、十字板剪切强度 < 35 kPa等3项指标。凡符合指标的粘性土均为软土。闽南地区软土一般指淤泥和淤泥质土。其定量划分指标是当 $e > 1.5$ 时为淤泥; 而在 $1 < e < 1.5$ 间则为淤泥质土。

1.2 软土的成因

闽南沿海地区为典型的平原地貌, 期间偶有残丘点缀。区内河渠纵横交错, 水网密布, 河水受潮水顶托明显。由于河流冲积和海潮的进退作用, 广泛沉积了海陆交互相软土。软土为

收稿日期 2001-09-09 作者简介 翁 升(1974-), 男, 助教

基金项目 交通部行业联合科技攻关基金资助项目

Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

淤泥和淤泥质土, 大部分地区分布一层软土, 局部分布有两层软土, 上层多亚粘土层或亚砂土层, 下层为残积粘土土. 软土层平均厚度 10 ~ 15 m, 局部小于 5 m, 最厚达 23 m. 代表性地质剖面, 如图 1 所示. 由于海相软土沉积时多呈片堆组构, 故形成絮状结构.

1.3 软土的性质

根据泉厦、漳诏等高速公路软土资料统计, 闽南地区软土一般具有下面 5 点性质. (1) 较高的含水量. 淤泥质土的天然含水量一般为 30% ~ 50%, 淤泥的天然含水量一般为 70% ~ 80%. 因此, 土体一般均呈流塑状态. (2)

天然孔隙比较大. 淤泥质土天然孔隙比一般为 1.1, 淤泥的天然孔隙比一般为 2.0, 甚至大于 2.0. (3) 压缩性高. 淤泥的压缩系数一般为 2.5 kPa^{-1} , 淤泥质土的压缩系数一般在 $1.6 \sim 2.1 \text{ kPa}^{-1}$, 均属高压缩性土. 根据软基路段沉降的实测资料, 高速公路填土(填土高度一般为 5 ~ 6 m)后, 在深厚软基路段的沉降量一般都超过 1 m, 最大超过 2 m. 软土层深厚, 沉降越大. (4) 不排水抗剪强度低. 淤泥质土固结快剪凝聚力平均值 18.0 kPa, 淤泥固结快剪凝聚力平均值 11.5 kPa. 因此, 土体抵抗剪切变形能力差. 在施工过程中经常可以观测到, 即使只增加一层土(一般为 30 cm 厚), 软基的变形都会有显著的增加. (5) 固结系数小. 淤泥垂直固结系数 (C_v) 一般在 $0.5 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 左右. 这就意味着土体完成固结沉降所需的时间很长, 对施工工期影响较大.

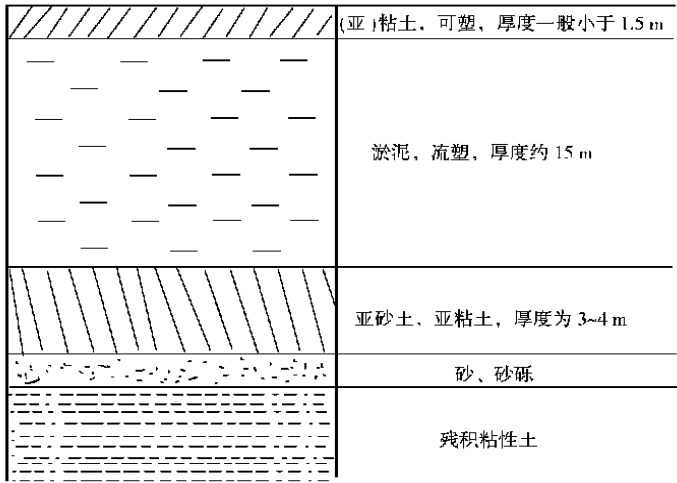


图 1 代表性地质剖面

2 软土处理方法^[1,2]

2.1 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土荷载进行预压, 促使地基提前固结沉降, 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, 修筑公路路面. 施工时采用分层填土碾压, 从而控制加荷速率, 避免地基发生破坏, 达到地基强度慢慢提高的效果. 该法施工简单, 不需要特殊的施工机械和材料, 但软土的排水固结时间较长, 因此工期一般较长. 所以这种方法只能用于软土不大深厚的情况. 公路工程上常先期对路基进行堆载预压, 再利用修筑桥梁的时间等待其慢慢固结. 如施工时间允许, 可单独使用; 如工期紧, 可结合排水固结法一起使用.

2.2 袋装砂井排水固结法

排水法都要结合堆(超)载预压进行. 袋装砂井排水法是, 在普通砂井的基础上发展起来的一种软土地基处理方法. 相对于普通砂井, 此法用砂少、施工方便、快捷. 它的布置一般采用

梅花形. 理论和实践表明, 袋装砂井的间距是影响固结速率的重要因素之一. 在附加荷载一定的条件下, 井距愈小, 固结愈快; 井距愈大, 固结愈慢. 所以, 在用袋装砂井处理软土地基时, 原则上采用“细而密”的方案. 由于施工机械的影响, 井距也不宜太小. 井距太小, 易使砂井周围的土受到扰动, 地基土强度受到一定程度的削弱, 并且会增加一定数量的沉降, 使土的固结系数降低. 一般袋装砂井的间路以 $1.0 \sim 1.5 \text{ m}$ 为宜. 当然, 具体工程要根据软土的特征和施工期限的要求计算确定. 目前, 袋装砂井排水法是高速公路软土地基处理中应用得最广泛的方法之一. 这种方法往往结合砂垫层、土工布、堆载预压或其它方法一起使用, 效果更好. 泉厦高速公路软基试验路段 1[#] 断面, 采用袋装砂井排水法结合堆载预压, 砂井间路 $1.0 \sim 1.6 \text{ m}$, 如图 2 所示. 通过实测数据的分析, 达到填土设计高度时, 沉降量为最终沉降量的 41.0%. 放置预压期达到 180 d 时, 完成总沉降的 72.3%.

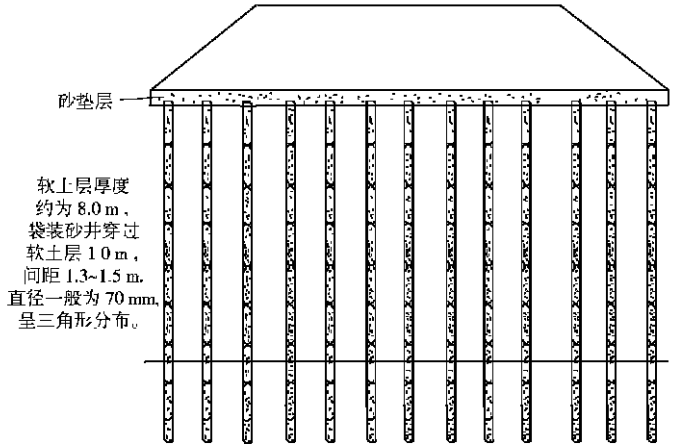


图 2 带装砂井示意图

这说明, 用袋装砂井排水处理软土地基, 也可以取得较好的效果. 对于砂源丰富的地区, 使用袋装砂井法处理软土地基, 只要施工得当, 质量就可以得到保证, 费用也较低. 需要指出的是, 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, 以至于水无法排出. 由于该方法施工质量受施工人员素质的影响较大, 所以目前逐渐被塑料排水板法代替.

2.3 塑料排水板法^[6]

该法与袋装砂井的作用原理相同, 设计方法也基本相同, 只是所用材料不一样而已. 目前, 国内厂家生产的多为宽 10 cm , 厚 4 mm 的带状塑料板, 其外包有滤膜. 与袋装砂井比较, 塑料排水板具有施打速度较快、效率高、施工机械轻便、对软土地基的扰动较小、可工厂化生产、抗折能力较强和受施工影响小等优点. 根据沈大高速公路软土地基处理资料, 塑料排水板相对于袋装砂井, 可节约 16% 的费用. 因此近年来, 在软土地基中得到广泛应用. 但由于国内厂家一哄而上, 造成塑料排水板产品供过于求, 产品质量不能保证, 影响了其对软土地基处理的效果, 使其发展受到了一定限制. 该法结合土工布加筋砂垫层一起使用效果更好. 泉厦、漳诏高速公路大部分一般路段的软土地段, 采用塑料排水板法结合土工布砂垫层进行处理, 其平面布置一般呈正方形, 间距 $1.0 \sim 1.5 \text{ m}$. 塑料排水板的打设长度一般根据软土厚度具体确定, 同时也要考虑软基压缩层的厚度. 在闽南地区, 当软土层厚度不超过 15 m 时, 大多采用该方法进行软基处理. 软土层厚度超过 20 m 时, 深层软土的排水效果不佳. 在本地区塑料排水板的打设长度一般不超过 20 m .

2.4 深层搅拌法

深层搅拌法(浆体和粉体), 是胶结法处理软土地基的一种. 它利用水泥作为固化剂, 通过

特制的深层搅拌机械, 将浆液或粉体与软土强行搅拌. 由于固化剂与软土之间所产生的一系列物理化学反应, 使软土固结成具有整体性、水稳定性和一定强度的地基, 以达到提高地基承载力、减少地基沉降量的目的. 此类地基应视为复合地基, 桩土共同承担应力. 它具有施工速度快、设备轻便、便于移动、方法容易掌握和工后沉降小等优点, 可较好地解决桥头跳车现象. 该方法在修建福建第一条高速公路泉厦高速公路时, 曾在晋江软基试验路段进行试验. 根据试验的实测结果证明, 采用该方法可以有效的减少沉降量和加速沉降稳定, 而且显著减少侧向位移. 可见, 在软基处理中, 采用该方法可取得较好效果. 桩径一般用 50 cm, 桩间距 1.5 ~ 2.5 m, 深度一般穿透软土地基. 当软土厚度大时, 桩长控制在 15 m 以内. 用该法处理软土地基, 大大缩短了软土地基沉降时间. 通过对桩进行抽芯、抗压及静载试验, 表明在保证施工质量的前提下, 深层搅拌桩复合地基能满足设计要求^[1].

2.5 粉煤灰碎石桩法

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、良好和易性、流动性及容易灌注等特点. 粉煤灰碎石桩一般根据工程地质条件、地下水位等, 采用锤击、振动冲击沉管灌注桩及干 (湿) 作业成孔灌注桩, 就地灌注桩施工工艺、施工设备进行施工. 粉煤灰碎石桩与周围土体形成低标号混凝土桩复合地基, 具有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、减轻环境污染的作用, 避免了炭化作用. 与其它柔性桩及散体材料桩复合地基相比, 它具有地基承载力高、沉降小的特点. 依靠桩帽和垫层材料与基础底面的摩擦, 使粉煤灰碎石桩复合地基具有一定抵抗水平荷载的能力. 其桩身可不配筋, 是一种有效、经济的地基处理方法, 适合于中等建筑物地基, 特别是软土地基加固处理. 南京造纸厂地基处理的静载试验表明, 粉煤灰碎石桩的加固效果比碎石桩复合地基好. 目前, 福建高速公路的路段过人涵洞、管道和桥台后过渡段等地基处理, 一般采用预压反开槽后打设粉煤灰碎石桩. 采用这种方法, 可以在短时间内提高地基强度, 能适应快速加载, 以此减少沉降量和加速沉降稳定. 实测结果也表明, 粉煤灰碎石桩复合地基能显著地减小侧向位移. 粉煤灰碎石桩与水泥搅拌桩相比, 其施工质量比较容易控制.

2.6 方法评价

以上几种软基处理方法在福建省高速公路建设中经常采用的. 其中, 堆载预压法最简单, 也最经济. 但它的软粘土固结慢, 预压时间长. 袋装砂井排水法和塑料排水板法适用在工后沉降要求相对较低的一般路段. 这两种方法简单、经济, 但为了取得较好的加固效果, 需要足够长的预压时间. 粉煤灰碎石桩 (CFG) 法、喷粉桩法能迅速增加地基承载力, 减小沉降, 但造价较高. 它适合用在工后沉降要求严格的桥头, 以及工期紧张的工程中.

3 结束语

各种地基处理方法都有它的适用范围、局限性和优缺点. 由于具体工程情况复杂, 工程地质条件千变万化, 各个工程间地基条件差别很大, 具体工程对地基的要求也不同. 同时, 机具、材料等条件也会因工作部门不同、地区不同而有较大的差别. 因此, 对每一个工程都要进行具体细致分析, 应从地基条件、处理要求、工程费用以及材料、机具来源等各方面进行综合考虑, 以确定合适的地基处理方法. 在确定地基处理方法时, 可根据工程具体情况, 对几种地基处理方法进行技术、经济, 以及施工进度等比较. 同时, 在确定地基处理方法时, 还要注意节约能

源、环境保护, 避免因为地基处理对地面水和地下水产生污染, 以及振动噪音对周围环境产生不良的影响等。

要做好软土地基的处理, 首先要搞好前期勘察设计工作。根据软土特征和物理力学指标, 通过比较分析, 选取合适的软土地基处理方法。笔者在此想强调的是, 在做好前期地质工作的同时, 要注意做好施工地质工作。在前期地质工作中, 由于各种勘察技术水平及其局限性, 期望在勘察阶段完全查明软土的地质特征仍是十分困难的, 加之经济、时间的因素, 勘察阶段不可能布置太大的工作量。公路规范规定, 软土路基路段每公里一般布置 2~4 个勘探点, 这只能保证基本上查明软土的特征。而要完全查明软土特征, 应相应地做好施工地质工作。国内部分高速公路在大规模施工前, 先期修筑试验段, 也正是体现这种思想。另外, 在软土地基处理过程中和施工后, 需做好监测工作。因为, 软土地基处理方法的加固效果并不是施工结束后就能全部发挥的。另一方面, 地基处理是隐蔽工程, 很难直接检验其加固效果。通过监测, 既可检查地基的处理效果, 又可总结设计、施工经验, 供以后的工作借鉴使用。

参 考 文 献

- 1 《地基处理手册》编写委员会编. 地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988. 56~57, 423~426
- 2 林宗元. 岩土工程治理手册[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1993. 216~217
- 3 翁 升, 马时冬. 土工布加筋砂垫层对路基变形和稳定的影响[J]. 岩土力学, 2001, 22(1): 42~46
- 4 孙雪峰. 桥头软基综合治理研究[D]:[学位论文]. 泉州: 华侨大学土木工程系, 1996. 41~43

Characteristics of Soft Subsoil along Expressway of Fujian and Methods for Its Treatment

Weng Sheng Ma Shidong

(Dept. of Civil Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract It is unavoidable for the construction of expressway in coastal region to touch upon the treatment of soft subsoil foundation, and the section of expressway with soft subsoil foundation is often one of factors restricting time limit for the project and cost of construction. Thus the authors specifically analyse the soft subsoil characteristic of expressway in South Fujian region; and evaluate methods commonly used for treating soft subsoil foundation which include dewatering and consolidation, overload and pre-compaction, composite foundation with cement mixing piles, and cement-coal ash-crushed stone piles.

Keywords construction of expressway in Fujian, soft subsoil characteristic, property of physical mechanics, measures for treating soft subsoil foundation