

高速公路软基处理方案模糊评价因素

李志斌 叶观宝 徐超

(同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092)

【摘要】 模糊评价方法是高速公路软基处理方案优化设计中经常采用的一种方法, 这种评价方法的影响因素很多。介绍影响评价结果的评价因素, 举出工程实例来说明各个评价因素的影响。

【关键词】 高速公路; 软基处理; 模糊评价; 评价因素

【中图分类号】 TU 472

Evaluation Factors of Fuzzy Evaluation on Expressway Foundation Treatment Schemes

Li Zhibin Ye Guanbao Xu Chao

(Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092 China)

【Abstract】 Fuzzy Evaluation Method is a useful method in optimizing the design schemes for expressway foundation treatment, and it has some influential factors. The evaluation factors that influence the evaluating results are introduced firstly, and then a practical example to illustrate the influence of the evaluation factors is put forward.

【Key Words】 expressway; foundation treatment; Fuzzy Evaluation; evaluation factors

0 引言

由于高速公路对地基变形要求高、穿越地质单元多、线路长、工作量大, 在软土地基上修建高速公路, 尤其是在东部沿海地区, 其地基处理费用占总投资的比重是很大的, 一般需 1/3 左右, 甚至更大。高速公路软基处理方案的确定需要考虑相当多的因素, 不但有技术上的, 而且还有社会、经济上的, 包括场地土层的特点、构筑物对承载力及变形的要求、施工工期、造价、技术可靠度、施工质量控制以及环境影响等诸多因素。因此, 对高速公路软基处理方案的优化选择及设计, 必须进行多目标的综合分析。

在所考虑的目标中, 既有定量的, 也有定性的。定量目标中, 有的越大越好, 有的反之; 有的评价标准不一样; 有的指标带有模糊性。高速公路软基处理方案的评价不仅要有定量的计算方法, 而且需要专家的实践经验、理论知识并将其量化, 同时还应将不确定性及模糊因素的影响计入目标函数中, 更好地反映客观实际。用经典的数学方法来研究多目标评价问题, 以明确的边界代替了实际上模糊的界线, 人为地夸大了相邻目标之间的差别。简单地量化得出的结果势必会损失一些中间信息, 造成综合评价

的偏差。因此必须寻求一种建立在严格科学基础上的综合评价数学模型, 以适应工程建设的实际需要。赵建忠^[1]等发现基于模糊数学理论的模糊综合评价方法在高速公路软基处理方案的优化设计中是较为适宜的。在评价过程中需要考虑多种因素, 这些因素共同作用, 影响着高速公路软基处理方案的优化设计结果。

1 评价因素

在高速公路软基处理评价过程中, 对处理方案进行综合评价, 目的是比选出综合效果最佳的方案, 评价因素集为: 施工工期; 经济效益; 施工质量控制; 技术可靠度; 环境影响。

1.1 施工工期与经济效益

就高速公路软基处理, 施工工期与建设费用是一对矛盾, 如何处理这对矛盾, 合理选择设计处理方案, 目前也是困扰高速公路建设者的一大难题。本文认为不应将施工工期与建设费用两者分开考虑, 因为它们是有联系, 相互影响的, 应把两者联合起来考虑。例如使用粉(湿)喷桩复合地基处理软基, 虽然费用较高, 但能缩短工期, 对高速公路来说就意味着提前通车; 对投资者来说, 如果所建的高速公路能提早盈利, 就意味着多收益。

1.1.1 建设费用

设路堤顶面宽度为 b , 路堤底面宽度为 B , 取土距离为 10 km , 砂垫层厚度对于塑料排水板处理段按设计要求为 0.6 m , 水泥土搅拌桩处理段为 0.3 m 。以下是每处理 100 m 路段各种软基处理方法的工程造价。

1) 等载预压法

预压填土综合单价为 11 元/m^3 (含 1 km 运输费), 如果运输距离超过 1 km , 则每千米加收 1.3 元/m^3 的运输费, 填土费用为:

$$P_s = 11 + 9 \times 1.3 = 22.7, \text{ 元/m}^3 \quad (1)$$

在等载预压情况下, 为了减小由于路面施工早期的沉降, 真正实现等载预压, 将路面荷载换算为等效填土高度。一般等效填土高度为 1.0 m , 在路面施工前需将这层填土卸去。等载预压路段费用为:

$$C_d = b \times P_s \times 1.0 \times 100, \text{ 元} \quad (2)$$

2) 砂垫层

砂垫层用砂的单价为 70 元/m^3 , 铺设厚度为 h 的砂垫层时, 费用为

$$C_n = 100 \times 70 \times B \times h, \text{ 元} \quad (3)$$

3) 水泥土搅拌桩

当水泥掺入比为 12% 时, 水泥土搅拌桩的单价为 35 元/m , 置换率为 η , 面积为 A_p , 桩长为 l_p 时, 水泥土搅拌桩费用为

$$C_p = \frac{100 \times B \times \eta}{A_p} \times 35 \times l_p, \text{ 元} \quad (4)$$

4) 塑料排水板

常用的塑料排水板单价为 2.5 元/m , 间距为 $d \times d$, 桩长为 l_s 时, 塑料排水板的费用为:

$$C_s = \frac{100 \times B}{\frac{\sqrt{3}}{2} \times d^2} \times 2.5 \times l_s, \text{ 元} \quad (5)$$

1.1.2 社会效益

高速公路建设项目的社会效益是指全社会公路使用者所获得的直接效益, 反映在如下几个方面: 运输成本(客、货运)节约效益, 包括路程缩短效益、路况改善效益; 在途时间(货、客运)节约效益, 包括货运时间效益、旅客节约时间效益; 交通安全效益; 旧路拥挤改善效益。以上所述效益以外, 还有如提高国家声誉、节约能源消耗、提供就业机会、减少环境污染、巩固国防力量、促进文教卫生发展等难以计量但又不能忽视的社会效益, 因此, 在评估项目效益时, 必须加以阐明。

根据以上分析, 社会效益的估算不但需要

花费大量时间和精力, 而且还需要收集大量的历史资料以及做大量的现场实际调查。刘润芬^[4]提出高速公路提前一年通车, 大约每公里可多收益 300 多万元左右。

1.2 施工质量控制和技术可靠度

高速公路的施工质量控制和技术可靠度也是在软基处理方案的优化选择过程中所需考虑的因素。一些在高速公路软基处理中经常采用的方法, 如粉(湿)喷桩和塑料排水板等, 施工的质量控制和技术可靠度日趋成熟。

1.3 环境影响

高速公路建设是一项与自然环境紧密相关的工程, 高速公路网在促进国家经济发展和方便人民生活的时候, 也一定程度地破坏了自然生态环境。因此, 我国面临大规模的高速公路建设, 寻求一条高速公路建设与环境保护协调发展的道路倍受人们的关注^[3]。

在高速公路软基处理方案的优化选择及设计过程中, 根据待选方案的施工特点及施工材料, 环境因素主要有以下几个方面:

1.3.1 大气质量

是否有有害物质或其他污染物排入大气? 对大气质量产生什么影响? 影响程度如何? 等等。在各种高速公路软基处理方案中, 粉喷桩施工过程中存在着扬尘污染。水泥或石灰颗粒较大, 扬尘悬浮时间较短, 同时污染源也不大, 因此影响是局部的, 程度也较轻。如果施工场地附近有居民区或文物保护单位等应着重考虑。

1.3.2 水质

对水体功能和水的质量会产生什么影响? 影响程度如何? 会不会引起地面水和地下水枯竭或地下水水位降低? 是否把危险性废物或固体废物排入水体? 是否明显增加水体的沉积物? 对水体的温度有无显著影响? 等等。如果在软土层中夹有砂层, 在搅拌桩或粉喷桩施工过程中, 很有可能由于胶结材料(水泥、石灰等)来不及胶结, 而随地下水流失, 造成地下水水质污染。此外, 施工过程中泥浆随意排入地表水体, 将造成地表水水质恶化, 增加水体沉积物。真空堆载联合预压需要降低地下水水位, 但只是在局部范围内, 所能造成的区域环境影响也就较小。抽取的地下水如果随意排放, 特别是排入生活用水水源, 也有可能造成水源水污染。

1.3.3 环境噪声

噪声水平是否提高? 对附近的居民或野生生物

可能产生什么影响?所产生的噪声的性质和强度以及对当地的干扰程度如何?环境噪声主要是指在地基处理施工过程中产生的噪声,取决于施工过程中采用的施工机械。水泥土搅拌桩(粉喷桩)由于施工需要较大的动力,所产生的噪声较之其他地基处理方法大。真空堆载联合预压在整个预压过程中都需要抽水,产生的噪声强度可能不如粉喷桩施工,但发生时间长。

1.3.4 土壤污染和破坏

是否因排放大量固体废物占用和污染大片土地?是否影响原有固体废物管理和处理系统?是否排放和处置危险化学品造成土壤污染和土质破坏?在水泥土桩的成桩过程中,泥浆的随意排放不但可能造成水体污染,还可能造成土壤污染。砂井、砂石桩等在施工过程中要消耗大量的原材料(砂、石),由于处置不当也有可对环境造成影响。

叶观宝等提出为每个环境影响因子分配一个权值,见表1。

表1 环境影响因子权值分配⁴

环境影响因子	大气质量	水质	环境噪声	土壤污染与破坏
权值	0.1	0.4	0.3	0.2

2 模糊评价实例分析

2.1 土层及土工参数

高速公路地基第一层土为硬壳层,厚度一般不超过5m,本文取2m。硬壳层下面就为软土,均匀分布,均质,正常固结,其不排水抗剪强度 c_u 为

10~20 kPa,固结不排水内摩擦角 φ_{cu} 为 $5^\circ \sim 10^\circ$,压缩模量 E_s 为2.0~3.0 MPa,固结系数为 $0.5 \times 10^{-3} \sim 2 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$ (竖向固结系数与水平向固结系数取为相等)。地基压缩层总厚度为30m,层底为排水的粉质粘土层和砂砾层,其压缩模量为8~10 MPa。

表2 软基处理方案设计参数表

土层	厚度/m	固结系数 /($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	压缩模量 /MPa	填土重度 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)
硬壳层	2	0.002	5.0	
淤泥质粘土层	20	0.002	2.0	19
粉质粘土层	>8	0.002	8.0	

粉喷桩直径为50cm,压缩模量为120 MPa。塑料排水板100mm×4.5mm,设计间距取为1.50m。路堤填土重度为19 kN/m³,路堤顶面宽度为26m(四车道),路堤坡度为2,地基处理宽度取平均值为42m。

2.2 软基处理方法的选择和综合评价

现在分3种情况进行设计:不作处理;塑料排水板处理;粉(湿)喷桩处理。各种处理方法中改变处理深度以及预压方法,本文考虑6种处理方案:不处理+等载预压;17m塑料排水板+等载预压;22m塑料排水板+等载预压;17m塑料排水板+0.5m超载预压;22m塑料排水板+0.5m超载预压;17m粉(湿)喷桩。各个处理方案的沉降、预压期、费用、经济效益和总的效益的计算结果见下表3。

表3 每百米路段各种软基处理方法经济比较表

处理方法	施工期沉降/m	总沉降/m	预压期/d	费用/万元	经济效益	效益总计
不处理,等载预压	0.820	1.020	>10年	34.2	<-1980.0	<-2014.2
塑料排水板17m,等载预压	0.820	1.020	300	44.4	0.0	-44.4
塑料排水板22m,等载预压	0.820	1.020	150	47.3	94.5	47.2
塑料排水板17m,超载预压(0.5m)	0.820	1.020	180	50.3	75.6	25.3
塑料排水板22m,超载预压(0.5m)	0.820	1.020	120	53.2	113.4	60.2
粉(湿)喷桩(17m)	0.124	0.324		151.1	60.2	1.5

注:经济效益以方案2为基准

在此基础上进行其他方面的比较,包括施工工期、施工难易程度、机械化程度、质量与安全以及环境影响等方面,结果见表4。

由于各因素之间难以有明确的界线,任一因素等级之间处于模糊分布状态。运用专家调查法进行评判等级划分(本文分为5个等级,见表5),然后根据专家的意见对各因素获得某一评价结果的可能性进行

确定。下面以方案一的计算过程为例加以说明。

表4 各种软基处理方法一般性能的比较表

处理方法	施工工期	难易程度	机械化程度	质量与安全	环境影响
超载预压	长	方便	高	可靠	噪声小 污染少
塑料排水板	较短	方便	高	可靠	现场清洁
粉(湿)喷桩	短	较方便	高	较可靠	有少量噪声 及污染

表5 评判等级指标及权重分配表

因素	各评价等级的权重					0
	很好	较好	一般	较差	很差	
施工工期	0	0	0	0	1	0.15
费用及经济效益	0	0	0	0	1	0.4
施工质量控制	6/8	2/8	0	0	0	0.15
技术可靠度	4/8	4/8	0	0	0	0.2
环境影响	0	7/8	1/8	0	0	0.1

$$B = (0.15 \quad 0.4 \quad 0.15 \quad 0.20 \quad 0.1) \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 6/8 & 2/8 & 0 & 0 & 0 \\ 4/8 & 4/8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7/8 & 1/8 & 0 & 0 \end{pmatrix} =$$

$$(0.213 \quad 0.2 \quad 0.038 \quad 0.055)$$

方案1综合得分为 $p=2.529$ 。

表6 各方案综合得分表

1	2	3	4	5	6
不处理、 等载预压	塑料排水 板 17 m、 等载预压	塑料排水 板 22 m、 等载预压	塑料排水板 17 m、超载预 压(0.5 m)	塑料排水板 22 m、超载预 压(0.5 m)	粉(湿)喷 桩(17 m)
2.529	2.918	3.629	3.435	3.960	3.524

6种方案最后的优先度排序为:方案5>方案3>方案6>方案4>方案2>方案1。也就是说22 m的塑料排水板加上0.5 m的超载预压是此种工况下最优化的方案。

3 结论

1)高速公路软基处理方案的评价因素集为:施工工期;经济效益;施工质量控制;技术可靠度;环境影响。其中起主导作用的是施工工期、经济效益以及环境影响,施工质量控制和技术可靠度的影响相对较小,因为一些比较成熟的处理方案,它的施工质量控制和技术可靠度已经非常成熟。

2)环境的影响主要包括大气质量、水质、环境噪声、土壤的污染和破坏几个方面,其中水质和环境噪声在环境影响中占主导地位。

3)采用模糊评价方法,考虑各个评价因素的影响,可以得到高速公路软基处理的优化方案,对高速公路的建设具有重要的意义。

参 考 文 献

- 1 赵建忠. 高速公路软基处理方案的优化选择和设计: [学位论文]. 上海: 同济大学, 2002
- 2 刘润芬. 高路堤软基处理方法的技术经济分析比较: [学位论文]. 上海: 同济大学, 1996
- 3 周华国, 虞卓. 基于环境影响的交通建设项目方案优选. 中国公路学报, 1999, 12(3): 95~99
- 4 叶观宝, 兰宏亮, 赵建忠, 等. 高速公路软基处理优化设计研究. 第七届全国地基处理学术讨论会论文集. 2002

收稿日期 2004-08-14