

# 广西花岗岩软土地基沉降预测及承载力评价

刘先林, 骆俊晖\*, 米德才

(广西交通设计集团有限公司, 广西南宁 530029)

**摘要:**为了精确预测广西花岗岩软土区域地基沉降量及承载性能,对软土参数变异性进行研究,对广西贵港至合浦高速公路项目中的区域花岗岩软土地基进行随机场建模,研究花岗岩软土压缩参数  $E_s$ 、强度参数  $c$ 、 $\varphi$  在空间变异性下的地基沉降,分析花岗岩软土不排水抗剪强度  $S_u$  在空间变异性下的地基承载力。结果表明:① 研究区域内的花岗岩软土参数  $E_s$ 、 $c$ 、 $\varphi$  服从对数正态分布,计算获得的随机场理论沉降值上下限与实测沉降值较为吻合;② 研究区域内的花岗岩软土参数  $S_u$  服从对数正态分布,基于随机场理论计算的地基极限承载力更为合理、安全,而采用传统固定参数  $S_u$  计算极限承载力则高估了实际地基承载力,结果较不安全;③ 研究结果可为软土地基沉降和地基承载力理论计算及实际工程提供参考。

**关键词:**随机场;软土地基;沉降;地基承载力

花岗岩残积土是由花岗岩经过自然风化作用后形成的具有特殊性质的软土,具有低强度、压缩性、易液化等不良性质。在工程建设中易引起地基不均匀沉降及地基承载力不足而造成路堤失稳等工程病害。

较多学者对花岗岩土层参数进行了探究。郭林坪等通过分析土体的关键物理参数,研究土体参数之间的相关关系,得出了花岗岩残积土地区工程建设中的相关指标公式,极大地推动了工程建设在花岗岩地区的发展;廖丽萍等通过对广西桂东南容县花岗岩残积土物理参数的关系进行研究,揭示了花岗岩的物理性质参数与土层粒度之间存在的联系;庞小朝等通过不同条件下花岗岩残积土的室内试验,对影响土体参数的敏感性因素进行分析总结,发现不同加载路径下土的参数性质存在较大差异。

基于花岗岩残积土的抗剪强度不确定及沉降计算及模型难以确定的学术及工程难题,该文根据土体参

数的空间随机变异性特征,利用 OptumG2 软件进行数值模拟,其原理在于将土体参数的变异性用对数正态分布来模拟,建立空间变异性的随机场模型,结合经典的蒙特卡洛随机理论进行计算,拟解决沉降及地基承载力计算中的变异性及不确定性问题,采用上下限法进行随机场下的沉降及极限承载力分析,结合工程实际沉降值,验证不同岩土参数的准确性,为工程建设过程中的沉降分析及模型选取提供建议。

## 1 随机场理论概述

岩土体具有一定的空间变异特性,而考虑空间效应的随机概率论方法称之为随机场理论。与随机概率的方法相比,随机场模型兼顾了土的随机性和结构性,而传统法仅考虑了土的随机性,忽略了土的结构性。

为考虑土的结构性及各项特性等特点,提出适合

- \*\*\*\*\*
- [4] 高庆丰. 软土地基路堤工后沉降计算与预测[D]. 浙江大学硕士学位论文, 2003.
- [5] 田其煌. 基于小波技术的软土路基沉降数据分析方法研究[D]. 河海大学硕士学位论文, 2007.
- [6] 曹文贵, 印鹏, 贺敏, 等. 考虑实测数据新旧程度的工后沉降单项模型预测方法[J]. 水文地质工程地质, 2015(6).
- [7] 王权. 龙永高速典型特殊土路基沉降特性研究[D]. 长沙理工大学硕士学位论文, 2014.
- [8] 李福琴. 灰色模型的稳定性和建模精度研究[D]. 武汉理工大学硕士学位论文, 2006.
- [9] 刘秀峰. GM(1,1)优化模型在变压器油中溶解气体浓度预测的应用研究[D]. 西华大学硕士学位论文, 2013.

收稿日期: 2020-02-20(修改稿)

作者简介: 刘先林, 男, 硕士, 高级工程师. E-mail: 154461842@qq.com

\* 通信作者: 骆俊晖, 男, 博士, 高级工程师. E-mail: 83569159@qq.com

的趋势函数对土性参数随机场模型进行去趋势化处理,即为基于随机场的去趋势法。

为简化研究,该文仅分析沿深度方向的一维随机场 $\tilde{Y}(z)$ ,其中 $z$ 为深度坐标。沿深度方向趋势分量函数为:

$$\bar{Y}(z) = E\{\tilde{Y}(z)\} \tag{1}$$

式中: $E\{\tilde{Y}(z)\}$ 为深度坐标 $z$ 时 $\tilde{Y}(z)$ 的均值。

波动分量函数:

$$Y(z) = \tilde{Y}(z) - \bar{Y}(z) \tag{2}$$

去趋势法均值:

$$\mu_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \tag{3}$$

去趋势法方差:

$$\sigma_2^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [Y(z_i)]^2 \tag{4}$$

去趋势法变异系数:

$$COV_2 = \sigma_2 / \bar{Y}(z) \tag{5}$$

## 2 基于随机场理论工程应用参数讨论和分析

### 2.1 随机场沉降分析

合理确定软土的压缩参数 $E_s$ 、强度参数 $c$ 、 $\varphi$ 对路基的压缩沉降和承载性能评价精度十分重要。通过对广西贵合高速公路花岗岩残积软土不固结不排水工况各参数进行分析,其结果如图1所示。

由图1可得:各参数均表现出显著的变异性。因此在进行路基沉降计算和承载能力计算过程中应当考虑土体参数的变异系数。据此,采用OptumG2软件进行研究,利用它可进行随机场分析和极限荷载分析。

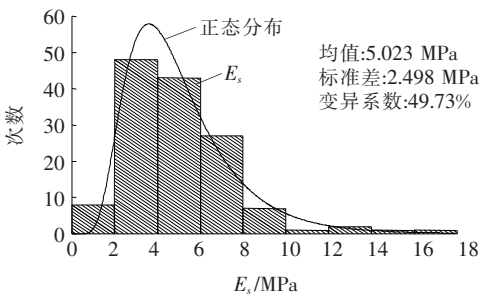
### 2.2 基于OptumG2建模

通过对广西贵合高速公路花岗岩软土地基进行研究,选用表1土体参数作为典型代表断面参数。其中含砂黏土参数为整个广西花岗岩软土区域统计参数的均值。采用OptumG2进行建模,上覆荷载为200 kPa,网格划分为2 000个。

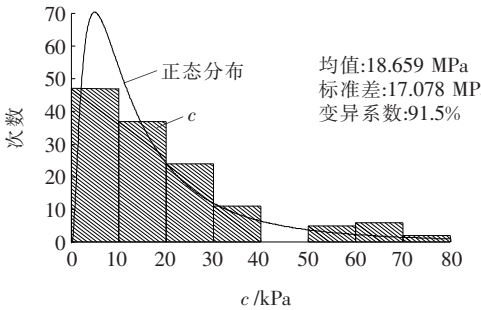
## 3 随机场沉降计算结果分析及讨论

### 3.1 随机场沉降量分析

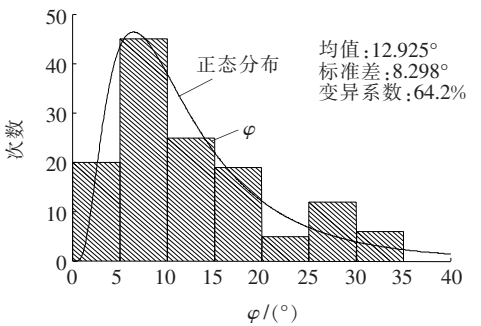
对广西贵合高速公路花岗岩区软土地基进行随机



(a)  $E_s$  的对数正态分布



(b)  $c$  的对数正态分布



(c)  $\varphi$  的对数正态分布

图1 压缩模量 $E_s$ 、黏聚力 $c$ 、内摩擦角 $\varphi$ 的对数正态分布

场沉降分析,采用上下限法进行求解,得出蒙特卡洛运行20次的最终沉降如图2所示。

由图2可以得出:由于网格划分密集且均匀,从第6次(约150 d)蒙特卡洛运行起,上下限解范围越来越合理,但是不同蒙特卡洛运行次数下地基最终沉降量变化较大,这是由含砂黏土参数的随机变化引起的。由图2得到实测值在上下限解的范围内,验证了模型的有效性及精度。

### 3.2 随机场沉降云图分析

图3为蒙特卡洛运行20次时的地基沉降云图上下限计算结果。

由图3可以得出:尽管依托工程中的土层含砂黏土参数存在一定变异性,但是当土体参数取为固定值时,地基沉降较为均匀,与实际工程不相符。因此,依托广西贵合高速公路花岗岩区软土地基考虑随机场的

表 1 广西贵合高速公路地基土层参数

土层	厚度/ m	重度/ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	压缩模量/ MPa	泊松比	黏聚力/ kPa	内摩擦角/ ( $^{\circ}$ )
换填海砂	1.5	21.0	20.0	0.25	0	25.0
砂土	1.5	19.0	14.5	0.25	0	30.0
含砂黏土	2.0	17.0	5.023(49.7%)	0.30	18.659(91.5%)	12.925(64.2%)
全风化花岗岩	5.0	19.5	15.0	0.25	45.0	10.0
强风化花岗岩	5.0	22.0	300.0	0.22	50.3	7.6

注:括号内为变异系数。

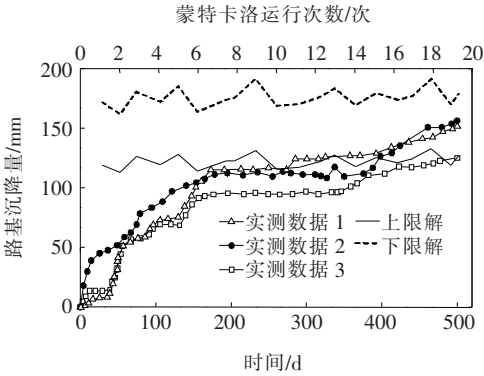


图 2 前 20 次蒙特卡洛运行地基沉降量与实测沉降对比图

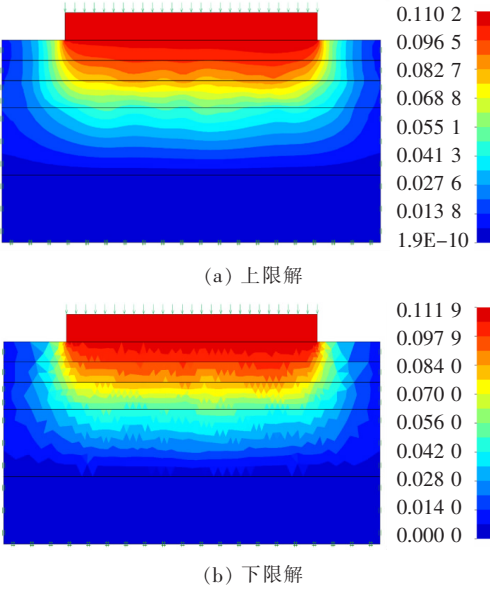


图 3 地基沉降云图(单位:mm)

沉降分析更为合理,能更好地模拟分析实际工程。

图 4 为土体参数随机分布与地基沉降关系图。

由图 4 可得:考虑随机场理论的土体参数随着运行次数的增长而变化,从而得出不同的上下限解,同时变化的范围根据考虑空间效应随机概率论确定,结果

更符合软土参数变异性特征及现场实际工程。

## 4 随机场地基承载力计算结果分析及讨论

### 4.1 土体不排水抗剪强度参数分布

对广西花岗岩软土进行不排水抗剪强度进行统计,结果如图 5 所示。

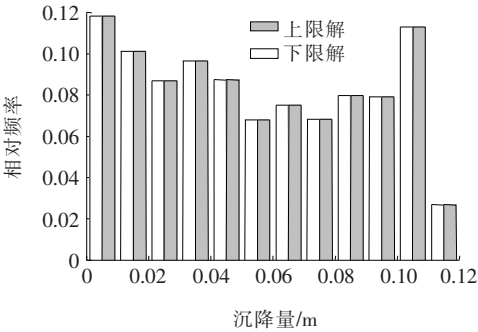


图 4 土体参数随机分布与地基沉降关系图

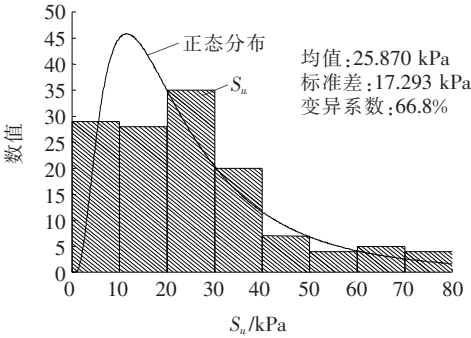


图 5 土体不排水抗剪强度对数正态分布图

由图 5 可得:广西贵合高速公路花岗岩区软土不排水抗剪强度分布较为符合对数正态分布,由此反映出该土具有明显的不均匀性分布,在工程沉降分析中,应结合参数的分布规律进行相关计算。结合理论及工程实际分析,利用参数的随机场变换得到相应的极限

荷载。

#### 4.2 不考虑随机场的地基极限荷载分析

相关岩土参数如表 1 所示,结合 25.87 kPa 的抗剪强度(不排水)进行分析,其他土层参数根据表 1 取值。网格划分为 2 000 个,进行极限强度分析,得出极限荷载上限值为 410 kPa,下限值为 409.6 kPa(图 6)。

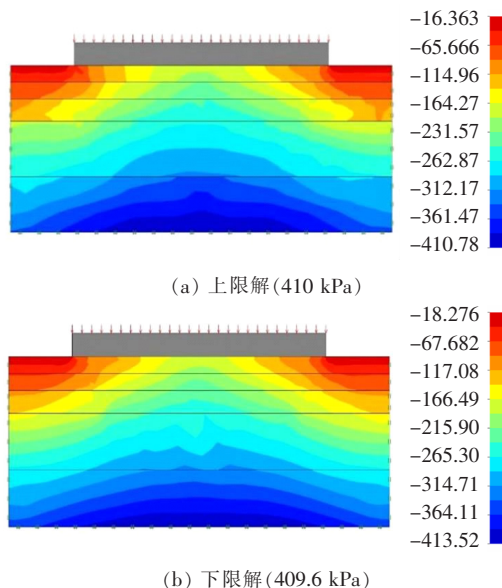


图 6 地基竖向应力分布云图(单位:kPa)

由图 6 可知:在固定花岗岩残积土的不排水抗剪强度后,计算得到的地基沉降趋于稳定。

#### 4.3 考虑随机场参数的地基极限荷载分析

利用如图 5 随机场代替土体参数中的不排水抗剪强度分布,采用上下限法进行地基极限荷载分析,运行 20 次蒙特卡洛计算,其结果如图 7 所示。

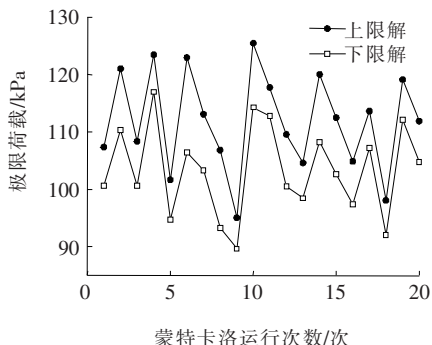


图 7 极限荷载变换情况

由图 7 可以得到:每运行一次蒙特卡洛法,地基软土的不排水抗剪强度将随机变化一次,所得的极限荷载同样也发生了变化。利用单一确定的数值进行承载力计算与实际不符,应利用随机场参数多次计算承载

力极限值,获得极限承载力的数值范围。

## 5 结论

通过对广西花岗岩软土地基进行随机场分析,在沉降分析中考虑了软土参数  $E_s$ 、 $c$ 、 $\varphi$  的空间变异性,在承载性能分析中考虑了花岗岩残积土抗剪强度参数  $S_u$  的空间变异性。所得结论如下:

(1) 通过对花岗岩软土区域进行参数统计可知软土参数  $E_s$ 、 $c$ 、 $\varphi$  服从对数正态分布,选取典型监测断面进行随机场建模,考虑了软土参数  $E_s$ 、 $c$ 、 $\varphi$  的空间变异性,模拟所得地基最终沉降值区间与实测断面最终沉降值较为一致,预测地基沉降时考虑地基土的空间变异性可更好地给出地基沉降区间。

(2) 对花岗岩残积土参数  $S_u$  进行统计可知其结果服从对数正态分布,建模过程中分别取  $S_u$  平均值、 $S_u$  随机分布进行地基极限承载力分析,表明仅取  $S_u$  平均值将高估地基的承载性能,因此在进行地基承载性能评价时应当考虑地基土参数的空间变异性。

#### 参考文献:

- [1] 骆俊晖,米德才,刘先林,等.软土工程特性研究与评价[J].中外公路,2017(6).
- [2] 刘光明.软土地基市政道路加宽工程路基差异沉降特性及处治措施综述[J].中外公路,2018(2).
- [3] 雷坚.基于随机场理论的边坡稳定可靠性及降雨滑坡风险分析[D].重庆大学硕士学位论文,2017.
- [4] 陈晓平,周秋娟,蔡晓英.高液限花岗岩残积土的物理特性和剪切特性[J].岩土工程学报,2011(6).
- [5] 郭林坪,孔令伟,徐超,等.厦门花岗岩残积土物理力学指标关联性定量表征初探[J].岩土力学,2018(S1).
- [6] 廖丽萍,文海涛,赵艳林,等.桂东南容县花岗岩残积土粒度分形与物理参数的关系[J].山地学报,2019(2).
- [7] 庞小朝,黄俊杰,苏栋,等.深圳地区原状花岗岩残积土硬化土模型参数的试验研究[J].岩土力学,2018(11).
- [8] 刘光明.软土地基市政道路加宽工程路基差异沉降特性及处治措施综述[J].中外公路,2018(2).
- [9] 张继周,缪林昌.岩土参数概率分布类型及其选择标准[J].岩石力学与工程学报,2009(a2).
- [10] 刘学.高速公路路堤沉降简化灰色动态预测模型解析[J].中外公路,2018(4).
- [11] 骆俊晖,缪林昌,李仞珏,等.考虑时间效应边界面模型在地铁工程中的应用[J].岩石力学与工程学报,2016(6).
- [12] 王伟.装配式箱梁桥拓宽中的基础沉降控制标准研究[J].中外公路,2018(5).