

基于分位数回归的剪切波速变化规律

张晋磊, 李世峰, 陈康

(河北工程大学 河北省资源勘测重点实验室, 河北 邯郸 056038)

摘要: 本文收集了邯郸市40个场地实测的剪切波速值, 经过统计整理, 采用分位数回归法对粉土、粉质粘土剪切波速随深度的变化规律进行分析, 建立了分位数回归模型, 并计算了回归参数, 得出分位数回归曲线方程。结果表明, 粉土的剪切波速值受埋深的影响为单向性; 而埋深对粉质粘土剪切波速值的影响呈先增大后减小趋势。

关键词: 剪切波速; 埋深; 分位数回归

中图分类号: TU415

文献标识码: A

A quantile regression analysis on variation of shear wave velocity

ZHANG Jin-lei, LI Shi-feng, CHEN Kang

(Key laboratory of Resource Survey and Research of Hebei Province, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: The forty original data of shear wave velocity in Handan area that had been collected were analyzed by using the quantile regression, the quantile regression models of two kinds of soil had been obtained by analyzing the changing law of shear wave velocity with depth increasing. The regression parameters and regression curve equation were obtained. The results show that the effect of depth to silt's shear wave velocity is unipolarity, and the effect of depth to silt's shear wave velocity show a trend of first increase and then decrease.

Key words: shear wave velocity; depth; quantile regression

剪切波速值在岩土工程勘察中有着广泛的应用, 例如划分场地土类型, 估算地震刚度和固有周期, 判断场地液化, 计算场地土层的动弹性模量等^[1]。对于某一特定地区, 在漫长的地质年代中形成了特定的地层结构, 每个年代的沉积物具有各自的物理力学性质。在岩土工程勘察中, 不同土层由于埋深不同经历的地质作用不同, 在进行剪切波速测试时会得到不同的值。在这之前, 各地学者对剪切波速与埋深的关系做出过详细的统计研究^[2-8]。本文利用最近几年发展起来的分位数回归的方法对邯郸市的剪切波速值资料进行分析, 以此找到剪切波速值 V_s 与埋深 H 之间的变化规律。

1 分位数回归模型的建立及估计

分位数回归最早是由 Koenker 和 Bassett 提

出, 并不断加以改进。分位数回归目标函数是一个加权的绝对残差和^[9]。

考虑实值随机变量 Y , 其右连续分布函数为 $F(y) = P(Y \leq y)$, Y 的第 τ 分位数函数为

$$F^{-1}(\tau) = \inf\{x \cdot F(y) \geq \tau\}$$

则 $F^{-1}(\tau)$ 为 Y 的 τ 分位数函数, 令 $F^{-1}(\tau) = Q(\tau)$ 则 $Q(\tau)$ 即为 Y 的 τ 分位数函数。

分位数回归的本质是通过 τ 取 0~1 之间的任何值, 调节回归平面的位置和方向, 让自变量估计因变量的不同分位数, 它能在一定程度上代表所有数据的信息, 但更侧重于特定区域的数据。分位数回归可以拟合一族曲线, 当自变量对不同部分的因变量的分布产生不同影响时, 能更加全面的刻画条件分布的大体特征。从而对整个数据分布作出全面而较准确的分析^[10-12]。

2 实证分析

2.1 原始数据分析

本文收集的原始资料为邯郸市区内几个具有代表性的勘察场地的剪切波速值。场地在市区分布均匀,基本可以反映市区内土层的分布情况。对原始数据进行整理后,选定粉土和粉质粘土二类土进行分析研究。由原始数据散点图,可以看出二类土的剪切波速值 V_s 与埋深 H 之间呈现某种趋势见图 1,随着埋深的增加,各类土的剪切波速值也在增加。

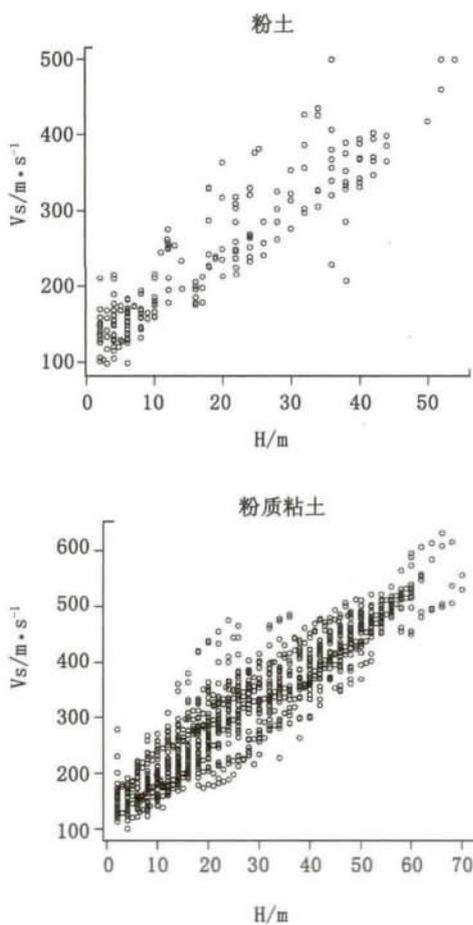


图1 粉土与粉质粘土的原始数据散点图

Fig.1 The raw data scatter of silt and silty clay

粉土的埋深较粉质粘土要浅,在每个深度处都有粉质粘土被揭露,说明粉质粘土的分布非常广泛,在平面和剖面上都很稳定。而粉土在某些深度上有缺失,钻孔揭露认为粉土是以夹层的形式存在于粉质粘土中。在数据变化中,粉质粘土与粉土相对较稳定,异常值很少,同一深度处剪切波速值相差很大。

2.2 剪切波速值与埋深分位数回归分析

分析粉土的剪切波速值 V_s 与埋深 H 的线性关系,采用一元线性条件分位数回归模型

$$Q_Y(\tau|x) = \beta_0(\tau) + H\beta_1(\tau) \quad (0 < \tau < 1)$$

式中 H - 埋深; $\beta_0(\tau)$ 和 $\beta_1(\tau)$ - 分位数回归参数。

运用统计软件 R 进行求解得到参数估计值见表 1。

表 1 粉土的剪切波速值关于埋深分位数回归参数估计值
Tab.1 Quantile regression parameter estimates of silt shear wave velocity and depth

τ	$\hat{\beta}_0(\tau)$	$\hat{\beta}_1(\tau)$
0.05	89.11	5.56
0.1	90.50	6.10
0.25	102.12	6.08
0.5	122.81	6.03
0.75	141.17	6.57
0.9	159.05	7.54
0.95	179.14	7.71

由表 1 可以看出,在不同的分位数 τ 下,随着深度的变化,剪切波速的变化是不同的,即由于土层赋存环境存在差异,导致不同的地区即使同一深度处,同一种土,剪切波速也是不一样的。而且斜率值 $\hat{\beta}_1(\tau)$ 随着 τ 值的增加而增大,说明不同地区粉土的剪切波速值受深度的影响不一致,并且剪切波速值整体相对较高的地区,其受到埋深的影响大一些。例如在 $\tau=0.05$,深度每增加 1 m,剪切波速值增加约 5.56 m/s; $\tau=0.95$,深度每增加 1 m,剪切波速值增加约 7.71 m/s。

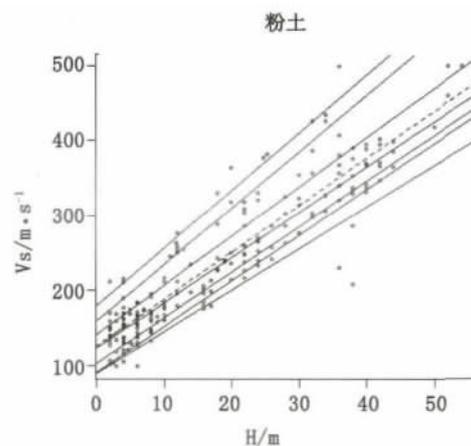


图2 粉土的剪切波速值关于埋深的分位数回归

Fig.2 Quantile regression of silt shear wave velocity and depth

图 2 中 8 条直线从下到上依次为: $\tau=0.05$ 、 0.1 、 0.25 、 0.5 、 0.75 、 0.9 、 0.95 分位数回归直线,

其中的虚线是最小二乘回归直线。

分析粉质粘土,采用与粉土一样的回归模型。计算得到的参数估计值见表2。

表2 粉质粘土的剪切波速值关于埋深的分位数回归参数估计值

Tab.2 Quantile regression parameter estimates of silty clay shear wave velocity and depth

τ	$\hat{\beta}_0(\tau)$	$\hat{\beta}_1(\tau)$
0.05	83.82	5.97
0.1	90.00	6.25
0.25	107.31	6.54
0.5	131.47	6.56
0.75	166.19	6.39
0.9	201.11	6.17
0.95	226.24	5.95

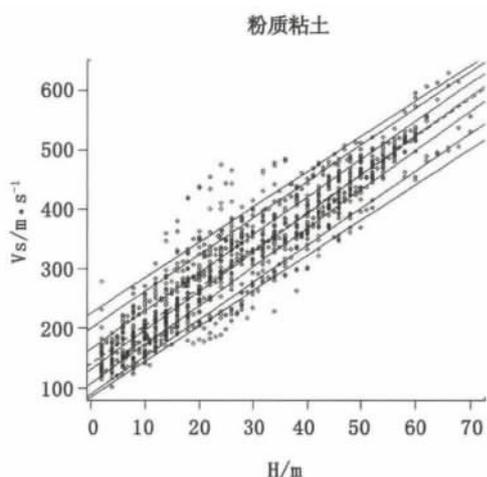


图3 粉质粘土的剪切波速值关于埋深的分位数回归

Fig.3 Quantile regression of silty clay shear wave velocity and depth

由表2可以看出,粉质粘土与粉土一样,在不同的分位数 τ 下,随着深度的变化,剪切波速的变化也是不同的。但是,斜率值 $\hat{\beta}_1(\tau)$ 随着 τ 值的增加先增大后减小,大致以 $\tau=0.5$ 为界。这与前两类土完全不一样,这样的趋势说明可能某些地区

的粉质粘土具有相似的性质,即土的剪切波速值随埋深的变化规律是一致的,剪切波速值较大的地区与较小的地区,其受到埋深的影响是一致的。

图3中8条直线从下到上依次为: $\tau=0.05$ 、 0.1 、 0.25 、 0.5 、 0.75 、 0.9 、 0.95 分位数回归直线,其中的虚线是最小二乘回归直线。

以上是对二类土进行的分析,分别得出二类土的分位数回归曲线方程见表3和表4。

二类土,其分析结果各不相同。其中粉土的剪切波速值受埋深的影响趋势是单向的,在剪切波速值整体较高的地区与较低的地区的影响不同,说明该地区两类土的剪切波速值变化规律不一致。而粉质粘土与粉土不同,其剪切波速值受埋深的影响,趋势大致为先增大后减小,说明某些地区的剪切波速值变化规律表现为一致。通过分析我们得出,在整个研究区内,各类土的剪切波速值与埋深的变化规律是不尽相同的,所以在实际工程中,应当选择正确合适的模型进行预测,才有可能得到准确的结果。

同时也说明,分位数回归能够全面的描述数据,可以得到比一般线性回归更多的信息。因为一般线性回归只能得到一条直线,并且异常值还可能影响回归的效果,从图2、图3可以看出,其中最小二乘回归线(虚线)位于中位数($\tau=0.5$)回归线之上,说明数据偏左分布,不是正态分布^[13]。中位数回归不受异常值的影响,只是数据由大到小排序的结果,因而表示的关系较准确。

3 结论

- 1) 粉土、粉质粘土的剪切波速与土层深度具有显著的相关性。
- 2) 分位数回归精确地描述了粉土、粉质粘土的剪切波速值随埋深的分布特征。

表3 分位数回归曲线方程

Tab.3 Quantile regression curve equation

土样类型	$\tau=0.05$	$\tau=0.1$	$\tau=0.25$	$\tau=0.5$
粉土	$V_s = 89.11 + 5.56H$	$V_s = 90.5 + 6.1H$	$V_s = 102.12 + 6.08H$	$V_s = 122.81 + 6.03H$
粉质粘土	$V_s = 83.82 + 5.97H$	$V_s = 90 + 6.25H$	$V_s = 107.31 + 6.54H$	$V_s = 131.47 + 6.56H$

表4 分位数回归曲线方程

Tab.4 Quantile regression curve equation

土样类型	$\tau=0.75$	$\tau=0.9$	$\tau=0.95$
粉土	$V_s = 141.17 + 6.57H$	$V_s = 159.05 + 7.54H$	$V_s = 179.14 + 7.71H$
粉质粘土	$V_s = 166.19 + 6.39H$	$V_s = 201.11 + 6.17H$	$V_s = 226.24 + 5.95H$

3) 粉土的剪切波速值受埋深的影响为单向性的, 而埋深对粉质粘土剪切波速值的影响呈先增大后减小趋势。

参考文献:

- [1] 李英虎. 剪切波速在工程地震中的应用[J]. 工程勘察, 1991, (5): 65-67.
- [2] 王邦圆, 李世峰, 王帮团. 邯郸市区场地土剪切波速与埋深相关性分析[J]. 河北工程大学: 自然科学版, 2013, 30(3): 92-95.
- [3] 陈国兴, 徐建龙, 袁灿勤. 南京城区岩土体剪切波速与土层深度的关系[J]. 南京建筑工程学院学报, 1998, (2): 32-37.
- [4] 邱志刚, 薄景山, 罗奇峰. 土壤剪切波速与埋深关系的统计分析[J]. 世界地震工程, 2011, 27(3): 81-88.
- [5] 齐鑫, 丁浩. 下辽河平原区剪切波速与土层埋深关系分析[J]. 世界地震工程, 2012, 28(3): 151-156.
- [6] 李平, 薄景山, 孙有为, 等. 西昌市场地剪切波速与土层深度经验关系[J]. 世界地震工程, 2010, 26(4):

(上接第70页) 同时在供水结构上发生改变, 在以地表水为主要水源基础上, 再生水超过地下水成为第二大水源。从分配成果可知, 2020年三亚市缺水率为0.7%, 主要是农业用水上存在缺口, 其他用户均能得到满足。三亚市水资源优化配置为促进水资源开发利用、经济社会发展及生态稳定有重要意义。

参考文献:

- [1] 甘治国, 蒋云钟, 鲁帆, 等. 北京市水资源配置模拟模型研究[J]. 水利学报, 2008, 39(1): 91-95.
- [2] 游进军, 王浩, 甘泓. 水资源系统模拟模型研究进展[J]. 水科学进展, 2006, 17(3): 425-429.

(上接第77页)

参考文献:

- [1] 王腾蛟, 张镭, 张博凯, 等. 城市下垫面对河谷城市兰州冬季热岛效应及边界层结构的影响[J]. 气象学报, 2013, 71(6): 1115-1129.
- [2] 牟雪洁, 赵昕奕. 珠三角地区地表温度与土地利用类型关系[J]. 地理研究, 2012, 31(9): 1589-1597.
- [3] 李艳红, 李智才, 周晋红, 等. 基于自动站资料的太原城市热岛研究[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(12): 173-179.
- [4] 邓莲堂, 束炯, 李朝颐. 上海城市热岛的变化特征分析

13-17.

- [7] 刘红帅, 郑桐, 齐文浩, 等. 常规土类剪切波速与埋深的关系分析[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(7): 1142-1149.
- [8] 战吉艳, 陈国兴, 刘建达. 苏州城区深软场地土剪切波速与土层深度的经验关系[J]. 世界地震工程, 2009, 25(2): 11-17.
- [9] 韩月丽, 史道济, 刘宁. 分位数回归在海平面高度影响因素分析中的应用[J]. 海洋技术, 2009, 28(3): 83-86.
- [10] 关静. 分位数回归理论及其应用[D]. 天津: 天津大学, 2008.
- [11] 赵云川, 李琦, 陈江. 分位数回归在岩体力学参数选取中的应用[J]. 工程地质学报, 2012, 20(2): 283-288.
- [12] 陈建宝, 丁军军. 分位数回归技术综述[J]. 统计与信息论坛, 2008, 23(3): 89-95.
- [13] 苏瑜, 万宇艳. 分位数回归的思想与简单应用[J]. 统计教育, 2009, (10): 58-61.

(责任编辑 刘存英)

- [3] 李群, 贾明敏, 陈南祥, 等. 优化与模拟耦合模型在水资源合理配置中的应[J]. 水土保持, 2007, 21(5): 142-146.
- [4] 夏云林. 水资源系统优化配置研究进展与展望[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(2): 150-156.
- [5] 游进军, 甘泓, 王浩. 基于规则的水资源系统模拟[J]. 水利学报, 2005, 36(9): 1043-105.
- [6] 朱启林, 甘泓, 游进军, 等. 基于规则的水资源配置模型应用研究[J]. 水利水电技术, 2009, 40(3): 1-4.
- [7] 谷媛媛, 矫振宽, 朱红玉, 等. 区域多水源联合调配供水研究[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2008, 25(4): 69-72.

(责任编辑 刘存英)

[J]. 热带气象学报, 2001, 17(3): 273-280.

- [5] 江学顶, 夏北成, 郭冻, 等. 广州城市热岛空间分布及时域-频域多尺度变化特征[J]. 应用生态学报, 2007, 18(1): 133-139.
- [6] 骆杨, 周锁铨, 孙善磊, 等. 杭州城市热岛空间分布及时域-频域多尺度变化特征[J]. 生态环境学报, 2009, 18(6): 2200-2205.
- [7] 张立杰, 李磊, 江崑, 等. 基于自动站观测资料的深圳城市热岛研究[J]. 气候与环境研究, 2011, 16(4): 479-486.

(责任编辑 刘存英)