

病态嵌岩桩模糊综合诊断评定^{*}

The fuzzy evaluation and synthetic judgement method for rock socketed morbid pile

罗仁安 忻元跃

黄理兴

(湖北省建筑工程质量监督检验测试中心, 武汉, 430071) (中国科学院武汉岩土力学研究所, 武汉, 430071)

中图法分类号 TU 473.16

作者简介 罗仁安, 男, 1948年生, 总工程师, 高级工程师。主要从事结构工程研究和工程质量检测工作。

1 引言^{*}

人工挖孔嵌岩桩是一种常用的桩基型式, 当桩身混凝土出现严重缺陷(混凝土离析、蜂窝狗洞或者桩底沉渣等)时, 会影响桩基承载力, 降低桩基可靠度, 甚至留下重大隐患, 危及建筑物的安全使用。应力波反射

特征, 凭经验还可以大致判断缺陷的类型和损坏的严重程度。

2.2 钻芯取样

基本方法是在动测结果的基础上, 对存在桩身质量疑点的桩钻孔取芯, 根据芯样的完整情况, 来评判桩身质量。

一个钻孔芯样来判断评价桩的质量。

因此, 综合采纳反射波法与钻芯验桩法各自的优点, 用模糊数学的方法来处理检测数据, 可获得较佳的检测结果。

2 嵌岩桩检测理论及方法

2.1 反射波法理论与检测方法

反射波法理论基础是一维杆波动理论。波动方程为

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (1)$$

式中, $c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$

方程(1)的理论解是

$$u(x, t) = f(x - ct) + g(x + ct) \quad (2)$$

应力波 $f(x - ct)$ 和 $g(x + ct)$ 以初始形状不变的状态进行传播, 遇桩身缺陷时会产生反射与透射等。

其检测方法是: 用力锤在桩头激发出声波脉冲, 因为在桩身缺陷、桩底扩孔或嵌岩处其波阻抗发生变化, 向下传播的应力波产生了反射波。在桩顶安装传感器接受从缺陷处或桩底反射来的波信号。如已知波的传播速度, 即可计算出缺陷的位置。根据检测到的波形

3 模糊综合评判的数学原理

模糊综合评判(决策)是在模糊的环境中, 考虑了多种因素的影响, 对某事物作出综合决断或决策。模糊综合评判是模糊数学中最基本的应用方法之一。

3.1 模糊综合评判三要素

模糊综合评判模型有三个基本要素:

(1) 模糊因素集 假定某类事物由 n 个因素所决定, 构成因素集

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\} \quad (3)$$

(2) 评价集 又设所有可能出现的评语为 m 个, 构成评语集

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\} \quad (4)$$

(3) 单因素评判, 即模糊映射

$$f: U \rightarrow F(V) \quad (5)$$

$$u \mapsto f(u_i) = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$$

其中 $f(u_i)$ 是关于因素 u_i 的评语模糊向量, 是对 u_i 的一种评价; r_{ij} 表示第 u_i 个因素的评价 v_j 的隶属度, 即关于 u_i 具有评语 v_j 的程度。

由这三个基本要素即可得到模糊综合评判模型。

^{*} 到稿日期: 1999-03-19

3.2 求综合评判变换矩阵

根据 f 导出 U 到 V 的模糊关系矩阵,可以建立单因素综合评判矩阵如下:

$$R = R_f = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} = (r_{ij})_{n \times m} \quad (6)$$

3.3 单层综合决策模型

根据模糊数学矩阵的复合运算规则,可求得桩基质量的模糊综合评判矩阵 B ,单层综合决策模型为:

$$\begin{aligned} B &= A \cdot R \\ &= (a_1 \ a_2 \ \cdots \ a_n) \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \\ &= (b_1 \ b_2 \ \cdots \ b_n) \end{aligned} \quad (7)$$

其中 $B = (b_1 \ b_2 \ \cdots \ b_n)$ 是 V 上的模型集,是对事物的一个总体评价,也是作出决策的依据。

$$b_j = \bigvee_{k=1}^n (a_k \wedge r_{kj}) \quad (j = 1, 2, \cdots, m)$$

因为各因素对事物的影响是不一致的,故因素的权重分配可视为 U 上的模型集,记作

$$A = (a_1 \ a_2 \ \cdots \ a_n) \quad (8)$$

称作权重分配阵,它是对各因素的重要性的一个统一的权衡,满足归一化条件: $\sum_{i=1}^n a_i = 1$

对 B 进行归一化处理,即

$$B' = (b'_1 \ b'_2 \ \cdots \ b'_n) \quad (9)$$

根据总体评价 B' 及最大隶属原则,可以对该事物作出决策,从评判矩阵 B' 中各元素的大小可以看出桩基的好坏程度。

4 桩基质量模糊综合评定的应用

4.1 工程概况

湖北省某房地产公司在某市中心位置兴建国际贸易中心大厦,主楼23层,附楼12层,地下一层。该建筑物主体为框架剪力墙结构,基础采用人工挖孔灌注桩,桩径 $\phi 1.0 \text{ m} \sim \phi 2.6 \text{ m}$,桩长15~24 m,持力层为中风化岩,桩身混凝土强度设计等级C35,总桩数96根。

该建筑物场地地貌原为湖塘,80年代初期经人工填平。场地由上至下分成:杂填土,厚2.90~5.10 m;淤泥质粘土分三个亚层,3.0~4.8 m;粉质粘土,厚1.00~5.85 m;粘土,厚1.15~7.20 m;粉质粘土,厚4.90~8.50 m;角砾岩,上部强风化与中部中风化厚约

1.00~2.00 m;下部微风化岩,该层深度达20 m以上,为嵌岩桩持力层。

桩基施工完毕,经低应变动测检测桩身完整性,发现人工挖孔桩桩身混凝土存在严重缺陷,初步诊断评定有严重缺陷的桩36根。为了对低应变检测发现有问题的桩进行更深入地分析评定,先应用模糊数学的单因素综合分析判断,根据分析判断结果再决定对那根桩进行钻芯取样,获得该桩缺陷的位置、缺陷的性质、缺陷的程度等定量结论。

4.2 基桩低应变、钻芯取样和模糊综合总体质量评定

(1) 低应变法动测评定 采用低应变法动测主要是发现与判别存在质量问题的桩,如#76桩的波形图见图1。据应力波传播原理,知微风化基岩的密度远比桩身混凝土的密度要大,完好的嵌岩桩其桩底反射波应与桩顶入射波反向,见图2。而图1所示反射波与入射波同向,且波频变低,故判断该桩桩底可能有较厚沉渣。类似于#76桩的波形有30多根。

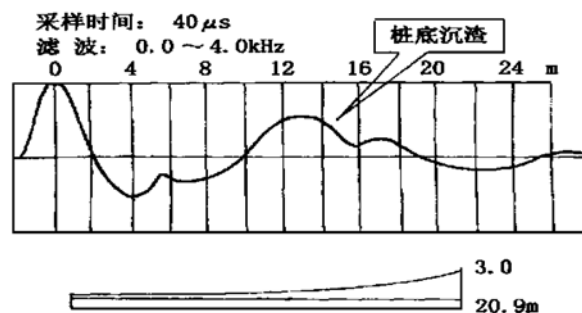


图1 #76桩测试波形图

Fig. 1 Waveshape character of #76 pile

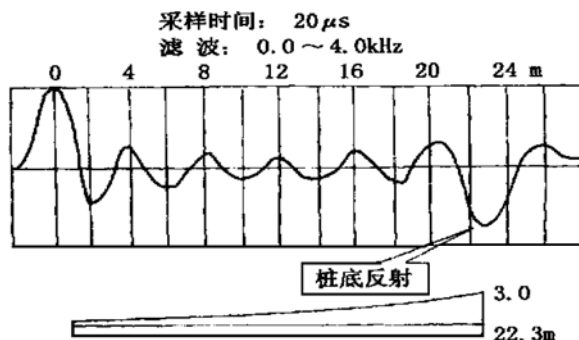


图2 #61嵌岩效果良好的嵌岩桩测试波形图

Fig. 2 Waveshape character of normal rock socketed pile (#61)

(2) 单层模糊综合分析

a) 单因素分析评判 对人工挖孔扩底嵌岩桩桩身质量的好坏评价,起决定作用的共有 $n = 4$ 个因素,它们包括桩身缺陷性质、桩底扩孔状况、嵌岩情况、混凝土强度。因此,人工挖孔扩底嵌岩桩桩身质量的因素

集为

$$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}$$

$$= \{\text{缺陷, 扩孔, 嵌岩, 混凝土}\}$$

把桩基低应变动测的结果评价分为 IV 类: 质量优良(桩身无缺陷、桩底扩孔好、嵌岩好无沉渣、混凝土强度高)为 I 类; 质量良(桩身有小缺陷、桩底扩孔一般、嵌岩较好、混凝土强度较高)为 II 类; 质量差(桩身有明显缺陷、桩底扩孔不明显、嵌岩差有沉渣、混凝土强度偏低)为 III 类; 质量极差(桩身有严重缺陷、桩底无扩孔、嵌岩极差有较厚沉渣、混凝土强度低)为 IV 类。因此, 每一因素有四种评价, $m = 4$ 构成评价集为

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$$

$$= \{\text{优良, 良, 差, 极差}\}$$

b) 建立综合评判变换矩 根据影响桩身质量和嵌岩质量的因素, 请专家和工程技术人员通过对# 76 桩的低应变波形图和有关的数据资料进行分析, 分别给出四个因素(桩身缺陷性质、桩底扩孔状况、嵌岩情况、混凝土强度)的评价。它主要是根据专家的经验来统计确定各个因素的隶属函数计算(有关计算见参考资料, 本文不累述), 从而得到综合评判变换矩阵

$$R = \begin{bmatrix} 0.42 & 0.36 & 0.21 & 0.01 \\ 0.00 & 0.13 & 0.39 & 0.52 \\ 0.00 & 0.10 & 0.35 & 0.55 \\ 0.24 & 0.26 & 0.31 & 0.19 \end{bmatrix}$$

c) 综合评判 各位专家和工程技术人员因经验及认识对本工程桩的影响因素的偏重程度不一样, 通过调查统计计算得到权数分配, 其构成权重阵为

$$A = (0.22 \quad 0.33 \quad 0.33 \quad 0.12)$$

根据式(7), 可得模糊综合评判矩阵为

$$B = (0.22 \quad 0.33 \quad 0.33 \quad 0.12) \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 0.42 & 0.36 & 0.21 & 0.01 \\ 0.00 & 0.13 & 0.39 & 0.52 \\ 0.00 & 0.10 & 0.35 & 0.55 \\ 0.24 & 0.26 & 0.31 & 0.19 \end{bmatrix}$$

$$= (0.22 \quad 0.22 \quad 0.22 \quad 0.33)$$

归一化, 得

$$B' = (0.22 \quad 0.22 \quad 0.22 \quad 0.34)$$

该桩属质量有问题的桩, 分析评定表明该桩属第 IV 类桩的可能性达 34%, 属 III-IV 类桩的可能性高达 56%, 因此应该进行钻芯取样判定桩底嵌岩质量。

(3) 钻芯取样结果验证 通过钻芯取样, 发现桩底沉渣厚度达 2 700 mm, 因而可以判定该嵌岩桩属质量有严重问题, 应判定为 IV 类桩。

因此, 综合低应变动测、模糊分析和钻芯验桩法评定三方面各自优点, 可以获得最佳的检测效果。

5 结 论

(1) 低应变动测能作定性分析而且测试方便, 钻芯取样结果直观但成本高且对桩身质量有影响, 模糊评定有量的概念但与专家的素质有关。因此用单独一种方法进行桩身质量评定都存在一定的局限性, 采取综合低应变动测、钻芯验桩法和模糊分析评定三方面各自优势, 可获得较好的检测效果。

(2) 桩的好坏评价, 信息资料或语言是模糊的, 应用模糊数学中的模糊综合分析判断桩基各因素, 优于常规的分析评定方法, 为桩基检测分析评定提供了一种新的分析方法。

参 考 文 献

- 1 罗仁安等. 桩基动态检测的模糊决策方法. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(增): 813~817
- 2 徐天平, 柯李文. PIT 低应变动力试桩理论及试验研究. 岩石力学与工程学报, 1995, 15(3): 294~300
- 3 周立运等. 桩基动测试验的应力波与打入阻力分析. 岩土工程学报, 1991, 13(4): 1~11
- 4 冯保成, 汪培庄. 模糊数学使用集粹. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991
- 5 李安贵等. 模糊数学及其应用. 北京: 冶金工业出版社, 1994
- 6 李洪兴等. 工程模糊数学方法及应用. 天津: 天津科学技术出版社, 1993