

变形分析通用法在水准点稳定性 分析中的应用

王永跃

(中航勘察设计研究院 北京 100086)

【摘要】本文首先简要介绍了用变形分析通用法^[1]进行水准监测网水准点(含基准点,工作基点)稳定性分析的基本原理及步骤。然后结合实例讨论了其适用的条件并得出一些有益的结论。

【关键词】稳健估计 变形模型 水准点 应用

【Abstract】 This paper introduces the principles and steps of the general deformation method to analyse the stability of bench mark. And discusses the suitable conditions through practical cases, and proposes some useful conclusions.

【Key words】 Stability Estimate, Deformation model, Bench mark, Application

0 引言

水准监测网水准点稳定性分析的依据是网点的复测高程差 d ,而复测高程差 d 的成分是较为复杂的。为了能从 d 中合理地分离出点的变形信息,国内外测量学者进行了很多研究,提出了不少的分析方法。本文要介绍的是文献^[1]提出的变形分析通用法(以下简称通用法)。

1 通用法的基本原理

在对观测数据进行初步分析的基础上,根据稳健估计原理建立一个受网中不稳定点

影响小的监测网的参考系,以发现变形体可能的变形状态,进而提出可能的变形模型。然后,借助假设检验原理对所提出的模型的合理性进行统计分析,最终获得一个与实际相符的变形模型,求出变形体实际位移的估值。以下为通用法的计算步骤。

1.1 平差各期观测成果

设有水准监测网的任意两期观测成果,经过观测数据的筛选,将粗差剔除。假定网中任一点为固定点分别对这两期观测成果做经典自由网平差,分别获得各期网点的高程

作者简介:王永跃,男,工程师。1996年毕业于武汉测绘科技大学。主要从事工程测量专业的实际工作。

(2) 节约用水和一水多用

应提高水的复用率,特别是用水大户如420厂、132厂、65厂等,从而节约用水,并减少废水的排放量;

(3) 切断污染源

在旧城改造和新城扩建时,配合环城干道的修建,实行清、污水管道分流,将污水汇集于城南三瓦窑以南,进入三瓦窑污水处理厂,经处理达到“三废”排放标准后的污水排放于三瓦窑(三江汇合处)以下河段;

(4) 市政府出台维护整治府南河成果

的政策措施,加强市民环境意识的教育,进一步整治沙河,真正成为成都市千百万人民的母亲河;

(5) 坚决贯彻谁污染谁治理的原则,征收排污费。

政府应采取行政手段对排污大户限期进行整改,未经处理的废水不准排入市区三条河内,影响水环境,并按排污量和可能污染的程度进行收费,但毒性指标严重超标直接危及人们生命的工厂只能令其停产。

收稿日期:1996-10-29

向量 H^i 、 H^j 及位移向量 $d^{(j-1)}$ 以及各期观测的单位权验后观测方差： \hat{S}_1^2 、 \hat{S}_2^2 。

在 \hat{S}_1^2 与 \hat{S}_2^2 统计相等的前提下（要做统计假设检验）由下式计算两周期联合验后单位权方差

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{(V^T P V)^{(i)} + (V^T P V)^{(j)}}{f_1 + f_2} \quad (1)$$

式中 f_1 、 f_2 分别为两周期水准监测网中的多余观测数。

1.2 鉴别不稳定的点

为了有利于网中不稳定点的鉴别，文献[1]提出用稳健估计的原理定义监测网的参考系。对于高程网就是根据位移向量一次范数最小准则，把1.1得到的网点的位移值按大小顺序排列，取中间一个作为参考系的平移参数。当 d_i 的个数为偶数时，可取中间两个的任意一个。通过高程网的上下平移，获得一个较为切合实际的位移场。这个过程相当于取位移值居中间的点为稳定点作经典平差。通过平差变换可得到网点位移的稳健估值向量 d_D 及它的协因数阵 Q_{d_D} 作出原假设 H_0 ：第 K 号点为稳定点。

$$\text{若 } \frac{d_k^2}{Q_{d_k d_k} \cdot \hat{\sigma}_0^2} < F_\alpha(1, f_1 + f_2) \quad (2)$$

则接受 H_0 ，否则就认为第 K 号点在显著水平 α 下可能不稳定。

1.3 不稳定点位移估值的计算及其显著性检验

1.2中应用稳健估计原理主要是为了定义一个受网中不稳定点影响小的较理想的参考系，使位移场少受扭曲，有利于不稳定点鉴别，而不是用于变形参数的估计。所以，1.2中所获得的 d_D 还不是最或是值。因此，在所有可能的不稳定点被找出以后，还要估计它们的实际位移的估值，并对其作显著性检验。

根据1.2所获得的网点的变形信息，可以初建如下含有待定变形参数的数学模型——变形模型去模拟实际的变形。

$$d + \delta = \bar{B} \cdot C \quad (3)$$

式中： C ——向量包含了不稳定点的位移；
 \bar{B} ——相应的模型矩阵；其构成详见[1]；
 δ ——残差向量；
 d ——监测网中全部点的位移向量。

应用最小二乘准则，以全部网点的位移值作“观测值”，以不稳定点的实际位移的估值为未知数，以 P_d 为观测权对(3)式作经典的间接平差，就可得到：

$$\hat{C} = (\bar{B}^T P_d \bar{B})^{-1} \cdot \bar{B}^T P_d \cdot d \quad (4)$$

$$Q_{\hat{C}} = (\bar{B}^T P_d \bar{B})^{-1} \quad (5)$$

上式中， $P_d = N_1(N_1 + N_2)^{-1} \cdot N_2$ 可以证明[2]，当两期观测的条件相同，且具有不变设计时，

$$N_1 = N_2 = N$$

$$P_d = N/2 \quad (6)$$

初建变形模型(3)是否与实际变形状态相符合，需要进行检验。作出原假设 H_0 ：不稳定点的位移是显著的。

$$\text{若 } \frac{\hat{C}_i^2}{Q_{\hat{C}_i \hat{C}_i} \cdot \hat{\sigma}_0^2} > F_\alpha(1, f_1 + f_2) \quad (7)$$

则接受原假设 H_0 ，否则说明该点并非不稳定点，应将其并入稳定点组。这时需修改变形模型(3)，重复进行变形参数 C 的估计及检验。

1.4 变形模型的整体检验

把(4)式所得到的 \hat{C} 值回代(3)式可求得残差向量 δ 并按下式计算残差二次型

$$\delta^T P_d \delta = d^T P_d d - \hat{C}^T Q_{\hat{C}}^{-1} \hat{C} \quad (8)$$

倘若变形模型选得合适，那么(8)式结果应是反映稳定点组高程变化的二次型。由此而计算的单位权观测方差的估值应与 $\hat{\sigma}_0^2$ 是来自同一正态母体且都是同一正态母体方差的无偏估计。作出原假设 H_0 ，所选变形模型是合理的。

$$\text{若 } \frac{\delta^T P_d \delta}{dfc \cdot \hat{\sigma}_0^2} < F_\alpha(df, f_1 + f_2) \quad (9)$$

则接受原假设 H_0 ，否则说明变形模型(3)还有未顾及到的变形存在，应寻找变形模型不合适的原因，提出新的变形模型，重复变形参数 C 的估计及假设检验的全过程，直至检验通过为止。

$$(9) \text{ 式中, } dfc = R(P_d) - \dim(\hat{C}_i)$$

需指出，(7)式和(9)式是对所选变形模型所作的两种检验，哪一种检验不通过都要修改变形模型(3)，所以检验的过程也是寻求合理的变形模型的过程。

2 实例

图1是一个用于监视施工建筑物沉降的水准监测网，由水准点（作为变形监测基准点或工作基点来使用）和沉降观测点两部分组成，其中虚线内为施工区。我们取第1期和第9期（建筑物封顶）两期观测成果进行分析，观测成果列于表1。

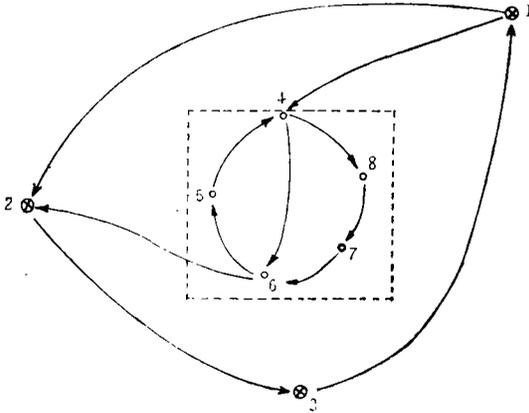


图 1

2.1 平差各期观测成果

首先假定1号点为固定点分别平差两期观测成果得到

$$d = (0, -0.07, 0.09, -13.26, -4.59, -7.60, -23.01, -21.64)^T$$

$$\hat{\sigma}_d^2 = 0.1159(\text{mm})^2$$

2.2 鉴别不稳定的点

将 d_i 值按大小顺序排列后，得到中间值所对应的点为5号点。以5号点为新的平差基准作平差变换就得网点位移的稳健估计值 d_D 。

表 1 沉降观测成果

序号	起点	终点	观测高差/mm		测站数
			第1期	第9期	
1	1	2	401.49	400.75	6
2	2	3	463.38	463.21	4
3	3	1	-864.53	-865.43	10
4	1	4	-6643.47	-6656.39	11
5	4	6	59.56	64.52	12
6	6	5	-47.44	-44.15	11
7	5	4	-11.18	-19.62	9
8	4	8	41.21	33.85	9
9	8	7	-32.35	-32.12	14
10	7	6	44.62	61.63	14
11	6	2	6986.38	6994.16	8

$d_D = (4.59, 4.52, 4.68, -8.67, 0, -3.01, -18.42, -17.05)^T$ 及 Qd_D (限于篇幅就略去)。

按(2)式鉴别不稳定的点。取 $\alpha = 0.05$, $F_{\alpha}(1, 8) = 5.3$ 就得到检验结果：除去5号点外，均是不稳定点。然而，这一结果与建筑工地实际情况是不相符的。通过实际分析，我们发现，这是由于网中有半数以上的点是不稳定的（位于施工区内的点），且其垂直位移会随建筑物荷载的增加而呈现趋向性，所以当我们把全部点的位移值排列后，其中间值一定是个异常值，所对应的点必是一个不稳定点。由此而定义的参考基准就会受到不稳定点位移的影响，使求出的 d_D 不能体现稳健性而失真。那么由这样一组失真的位移值进行不稳定点的鉴别就会得出错误的结论。

那么在网中既有水准点又有沉降观测点的情况下，如何应用通用法呢？笔者认为，取网中水准点的高程变差依稳健估计原理定义监测网的参考系是合理的。

由2.1平差的结果看，1、2、3点高程变差排列的中间值所对应的点是1号点。取1号点为稳定点作稳健估计得到新的位移

(下转第64页)

列特征相近,而中间缺陷频峰没有。这可能与设置缺陷尺寸相对桩规模不够明显,而且与模型桩裸露平卧在地面上,在空气介质中测试,桩底反射讯号比缺陷强所致。这一点,如果在测试中不加以注意,势必造成误判。

(5) 对于小模型桩(长度2.5m),尽管规模小,由于设置的缺陷位置明显合理,又埋在土介质中垂直测试,其传递函数(或导纳)曲线,反映缺陷位置明显,这是由于土介质的阻尼作用,使桩底反射减弱,缺陷反射突出。具体参见《瞬态机械阻抗法在桩完整性检测中的应用》一文。

(6) 测试表明,反射波法波形由于“盲区”的限制,对于浅部缺陷判断效果较差,而且激振时的高频干扰,50周干扰都会影响波形畸变。而瞬态机械阻抗法的传递函数测试正好可以克服这个问题,因此,用机械阻抗法的导纳曲线判断桩身结构完整性比单纯用时域波形判断更可靠,还可以利用测算桩

的导纳值、动刚度值来判断桩身质量和桩的承载能力。笔者认为,综合两个方法,时域波形和导纳曲线判断更为理想。

(7) 使用高档次的动测仪器,不但仪器性能好,测试数据稳定,能对讯号数据进行多功能技术数据处理。如分析加窗问题,对脉冲讯号采用E、F窗为佳,对时域波形讯号还可以作自相关、互相关、功率谱、倒频谱、希尔伯特变换等处理,这样可以有助于明显缺陷、桩底讯号,使判断提高准确性。

参 考 文 献

- 1 《基桩低应变动测规程》(JGJ93-93). 中华人民共和国行业标准, 1994
- 2 徐攸在, 刘兴满. 桩的动测新技术. 北京, 中国建筑工业出版社, 1989
- 3 林苏雄, 陈国尧. 瞬态机械阻抗法在桩完整性检测中的应用. 见桩基工程检测技术. 北京: 中国建材工业出版社, 1993. 9

收稿日期: 1996-01-04

(上接第58页)

场,再按(2)式进行不稳定点的鉴别,就可得到理想的分析结果: 1、2、3点是稳定点,其余点为不稳定点。按(4)式得到不稳定点的实际位移的估值为:

$$\hat{C}_4 = -13.23(\text{mm})$$

$$\hat{C}_5 = -4.55(\text{mm})$$

$$\hat{C}_6 = -7.56(\text{mm})$$

$$\hat{C}_7 = -22.97(\text{mm})$$

$$\hat{C}_8 = -21.61(\text{mm})$$

这一结果是比较符合实际情况的。(7)式检验的结果表明,不稳定点的位移是显著的,(9)式检验的结果表明,变形模型是合理的。

由以上原理介绍及实例讨论,我们可得出以下几点认识。

(1) 应用变形分析通用法是有条件的。当网中多数点无异常,高程变差呈随机

变化时,应用稳健估计原理定义监测网的参考基准可获得较为直观的且符合实际的位移场,有利于网中不稳定点的鉴别。

(2) 当网中半数以上的点有异常,特别当这些点的异常值呈现趋向性时,可在具体分析的基础上,在局部水准点范围内应用稳健估计原理定义监测网的参考系,亦可得到较好的分析结果。

3 结束语

由于本人水平有限,文中错误之处在所难免,欢迎批评指正。

本文在撰写过程中,得到了武汉测绘科技大学张琰、李宝桂老师的悉心指导,在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- 1 陈永奇. 变形观测数据处理. 北京: 测绘出版社, 1988
- 2 李青岳, 陈永奇. 工程测量学. 北京: 测绘出版社, 1993

收稿日期: 1996-11-27