

基桩钻芯检测不确定度的评定

1 概述

目前，依据国家现行有关规范规程，基桩钻芯检测质量评价是从桩身混凝土芯样的完整性和抗压强度两方面进行评定。芯样的完整性是定性评定，芯样的抗压强度是定量评定，因此，基桩钻芯检测质量评定的不确定度评定只能通过芯样的抗压强度的不确定度评定得到。

2 基桩钻芯检测不确定度评定

2.1 不确定度评定对象 基桩钻芯检测

2.2 检测依据的方法标准 《建筑基桩检测技术规范》JGJ106-2003

《普通混凝土力学性能试验方法》GB/T50081-2002

2.3 数学模型 根据国家行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106-2003，桩身混凝土芯样抗压强度的计算公式为：

$$f_{cu} = \xi \cdot \frac{4F}{\pi d^2}$$

式中 f_{cu} 为混凝土芯样试件抗压强度 (MPa)，精确至 0.1Mpa；

F 为芯样试件抗压试验测得的破坏荷载 (N)；

D 为混凝土芯样试件的平均直径 (mm)；

ξ 为混凝土芯样试件抗压强度折算系数，宜取为 1.0

2.4 不确定度来源 混凝土芯样抗压强度测量不确定度的主要构成要素或分量包括压力标准不确定度 u_F 、芯样直径标准不确定度 u_D ，它们各有两个分量，共 4 个：

1) $u_{Fr}(\overline{R_C})$ ：试验机测量结果的重复性标准偏差 $s_{Fr}(\overline{R_C})$ ，可认为是随机效应引起的不确定度分量 $u_{Fr}(\overline{R_C})$ 。

2) u_{Fs} ：万能试验机的最大允许误差 MPE 所导致的标准偏差，可认为是系统效应引起的不确定度分量 u_{Fs} 。

3) $u_{Dr}(\overline{R_C})$ ：直径测量结果的重复性标准偏差 $s_{Dr}(\overline{R_C})$ ，可认为是随机效应引起的不确定度分量 $u_{Dr}(\overline{R_C})$ 。

4) u_{Ds} ：游标卡尺的最大允许示值误差 MPE 所导致的标准偏差，可认为是系统效应引起的不确定度分量 u_{Ds} 。



2.5 各分量不确定度的评定

1) $u_{Fr}(\overline{R_c})$ 的评定。

假定要检测的桩身混凝土设计强度等级为 C30, 抽检桩桩径为 900 mm, 钻芯 1 孔, 在该上中下各取一组 (每组分 3 块) 进行抗压强度试验。在这三组试验中, 每组有 3 块检测的平均值 R_j , 可得到 3 个残差:

$$v_{ij} = R_{ij} - \overline{R_j}$$

每组的残差平方和为: $\sum_{i=1}^3 v_{ij}^2 = \sum_{i=1}^3 (R_{ij} - \overline{R_j})^2$

3 组的残差平方和为: $\sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^3 v_{ij}^2 = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^3 (R_{ij} - \overline{R_j})^2$

3 组抗压强度数据分别为 (289kN、290kN、294kN)、(308kN、306kN、311kN)、(288kN、283kN、290kN), 求一次实验结果的重复性标准偏差 s_{Fr} 为:

$$S_{Fr}(R_{ci}) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^3 v_{ij}^2}{m(n-1)}} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^3 S_j^2} = 2.97 \text{ (kN)}$$

其中 m 为抗压强度试验组数, $m = 3$; n 为每组试验中的样本数, $n = 3$ 。

3 次的平均值 $\overline{R_c}$ 的重复性标准偏差 $s_{Fr}(\overline{R_c})$, 也就是随机效应导致的标准不确定度 $u_{Fr}(\overline{R_c})$ 。

$$s_{Fr}(\overline{R_c}) = u_{Fr}(\overline{R_c}) = \frac{S_{Fr}(R_{ci})}{\sqrt{3}} = 1.71 \text{ (kN)}$$

相对标准不确定度:

$$u_{rel}(F) = \frac{S_{Fr}(\overline{R_c})}{\overline{R_c}} = \frac{1.71}{295} = 0.58\%$$

$\overline{R_c}$ 为 3 组试验中所有抗压强度数据的平均值。

2) u_{Fr} 的评定。

所使用万能试验机测力误差为 $\pm 1\%$, 按均匀分布, 得试验机 MPE 值导致的相对标准不确定度:

$$u_{Fr} = u_{rel2}(F) = \frac{1\%}{\sqrt{3}} = 0.58\%$$

3) $u_{Dr}(\overline{R_c})$ 的评定。

3 组芯样直径 (108.0mm、108.5mm、108.0mm)、(108.0mm、108.5mm、108.5mm)、(108.5mm、

108.0mm、108.0mm)，求一次实验结果的重复性标准偏差 $s_{Dr}(\overline{R_c})$ 为：

$$S_{Dr}(R_{ci}) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^3 v_{ij}^2}{m(n-1)}} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^3 S_j^2} = 0.29 \text{ (mm)}$$

$$S_{Dr}(\overline{R_c}) = u_{Dr}(\overline{R_c}) = \frac{S_{Dr}(R_{ci})}{\sqrt{3}} = 0.17 \text{ (mm)}$$

相对标准不确定度：

$$u_{rel1}(D) = \frac{S_{Dr}(\overline{R_c})}{D} = \frac{0.17}{108.2} = 0.16\%$$

4) u_{Dr} 的评定。

采用的0~300mm游标卡尺MPE=0.02 mm，按均匀分布，得游标卡尺MPE所导致的标准不确定度：

$$u_{Dr} = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.01155 \text{ (mm)}$$

相对标准不确定度：

$$u_{rel2}(D) = \frac{u_{Dr}}{D} = \frac{0.01155}{108.2} = 0.01\%$$

2.6 相对合成标准不确定度 混凝土芯样强度的相对合成不确定度可表示为：

$$u_{rel}^2(f_{cu}) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i)$$

其中 $x_i = u_{Fr}(\overline{R_c})$ 、 u_{Fr} 、 $u_{Dr}(\overline{R_c})$ 、 u_{Dr} ， $i=1,2,3,4$ 。

$u_{Fr}(\overline{R_c})$ 、 u_{Fr} 、 $u_{Dr}(\overline{R_c})$ 、 u_{Dr} 等不确定度的传播系数可将 $f_{cu} = \xi \cdot \frac{4F}{\pi d^2}$ 代入式

$$u_{rel}^2(f_{cu}) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) \text{ 通过偏微分方法求解。}$$

由于各分量之间是互相独立的，则混凝土芯样强度的合成相对标准不确定度为：

$$u_{rel}^2(f_{cu}) = C^2(u_{Fr}(\overline{R_c}))u_{Fr}^2 + C^2(u_{Fr})u_{Fr}^2 + C^2(u_{Dr}(\overline{R_c}))u_{Dr}^2 + C^2(u_{Dr})u_{Dr}^2$$

对式(1)关于D、F求偏微分，可得：

$$\frac{\partial f_{cu}}{\partial D} = -\frac{8\alpha F}{\pi D^3} \partial D + \frac{4\alpha}{\pi D^2} \partial F$$

整理得：

$$\begin{cases} \frac{\partial f_{cu}}{\partial D} = \alpha \frac{4F}{\pi D^2} \frac{-2\partial D}{D} + \alpha \frac{4F}{\pi D^2} \frac{\partial F}{F} \\ \frac{\partial f_{cu}}{f_{cu}} = -2 \frac{\partial D}{D} + \frac{\partial \alpha}{\alpha} + \frac{\partial F}{F} \end{cases}$$

则式 (14) 中的传播系数: $C(u_{Fr}(\overline{R_c})) = C(u_{Fr}) = 1$; $C(u_{Dr}(\overline{R_c})) = C(u_{Dr}) = -2$

$$u_{rel}(f_{cu}) = \left[(0.58\%)^2 + (0.58\%)^2 + (-2 \times 0.16\%)^2 + (-2 \times 0.01\%)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 0.88\%$$

2.7 扩展相对不确定度

扩展相对不确定度可表示为:

$$u_{rel} = k_p \cdot u_{rel}(f_{cu})$$

其中, 在保证置信概率为 95%的前提下, 取 $k_p=2$, 则:

$$u_{rel} = k_p \cdot u_{rel}(f_{cu}) = 1.76\%$$

编制:

审核:

批准:

日期:

