

文章编号: 1004-4140 (2003) 04-0043-05

弹性波反射法在探测软弱层中的应用

邓向军

(长沙市勘测设计研究院, 中国长沙 410007)

摘要: 目的 采用弹性波反射法确定桩基础、桩底下卧地层中的软弱层的新技术。方法: 以某实际工程为背景, 通过超前探测技术, 结果 经过实际开挖论证及竣工后的使用情况, 证明此技术具有节省工时、造价低的优势。结论 此技术既经济省时、又准确, 可供设计及施工人员参考。

关键词: 弹性波; 反射法; 软弱地层; 探测

中图分类号: P 319.2 TP 391.41

文献标识码: B

Reflect Elastic-wave technology to Detect weak Terrane

DENG Xiang-jun

(Changsha Institute of survey and design, Changsha 410007, China)

Abstract: Objective It is a new method that adopt reflect Elastic-wave technology to ascertain weak terrain under pile. **Methods and materials** Take a practical project for a background, by exceed detect technology. **Results** Practical digging up and the situation after building proved the technology save time and cheaper. **Conclusion** The technology is economical, save time and nicety, and it's a reference for architects and builders.

Keywords: elastic-wave; reflect technology; weak terrane; detect.

1 前言

随着城市建设迅速的发展, 高层建筑及桥梁等重要建筑物的兴建也日益增多, 其基础多采用大口径人工挖孔灌注桩, 其桩端持力层中是否存在溶洞及软弱夹层也成为影响工程质量的重要问题, 在湘东区的底砾岩中, 因古红盆沉积物来源有较多灰岩成份(如湘潭盆地、长沙盆地、平江盆地等)而称为“灰砾岩”, 灰砾岩多为钙质胶结, 岩溶发育, 并孔中可见溶孔、溶洞, 甚至暗河等岩溶形态, 但其岩层十分坚硬, 施工穿过该层的难度很大, 确定其下伏岩体中是否存在溶洞, 用一般的钻探或开挖方法, 就显得十分困难; 另外受构造运动的影响, 某些地区下伏基岩中存在着断层破碎带等软弱层, 仅凭开挖后验槽, 证实桩底肉眼所见的岩石的完整性, 却难以保证下卧层能否满足承载力验标的要求, 成为工程质量安全隐患。

本文以某实际工程为背景, 通过超前探测技术, 经过实际开挖论证及竣工后的使用情况, 证明这一技术具有节省工时、造价及准确的优势, 值得推广。

2 工程背景及场地地质情况简介

2.1 某建筑场地工程地质条件

素填土层厚 3.10m~3.80m, 层顶标高 38.14m~38.83m; 淤泥质亚粘土层厚 0.0m~3.90m, 层顶标高 34.53m~35.63m; 亚砂土层厚 1.20m, 层顶标高 34.25m; 细砂层厚 0.30m~2.0m, 层顶标高 31.04m~33.05m; 粗砂层厚 0.70m~1.70m, 层顶标高 31.04m~33.05m; 圆砾层厚 0.70m~3.60m, 层顶标高 30.74m~33.62m; 卵石层厚 0.80m~1.80m, 层顶标高 0.40m~31.03m; 残积亚粘土层厚 4.40m~13.80m, 层顶标高 28.54m~30.43m; 弱风化砾岩层 0.20m~2.0m; 层顶标高 22.24m~24.93m; 溶洞充填物层厚 0.90m~3.0m, 层顶标高 22.04m~23.93m; 微风化砾岩层厚 2.10m~4.70m, 层顶标高 16.6m~25.63m; 弱风化泥质粉砂岩层厚 1.60~11.30m, 层顶标高 12.6m~24.42m; 强风化泥质粉砂岩层厚 0.70m~2.60m, 层顶标高 9.4m~18.30m; 微风化泥质粉砂岩层厚 5.0m~6.40m, 层顶标高 -1.60m~12.03m。

2.2 采用超前探测技术将所有的桩底进行了检测

桥梁基础在施工过程中, 某些桩的桩底砾岩出现了一边为坚硬的岩层, 施工困难, 一边为溶洞充填物, 用铁钎可插入 1m 以上的现象, 为确保工程的安全及进度, 采用超前探测技术将所有的桩底进行了检测。以解决实际工程问题。

3 探测方法与工作

本次超前探测采用桩底脉冲弹性波反射法进行检测, 弹性波的波源为锤击产生。其理论基础为: 设桩底岩层某段为一分析单元, 其岩体介质密度、弹性波波速、截面面积分别用 ρ , C , A 表示, 则令

$$Z = \rho CA \quad (1-1-1)$$

并称为广义波阻抗。当岩体的物理性质发生变化时, 则相应的 ρ , C , A 发生变化其变化发生处称为波阻抗界面。其

$$n = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{\rho_1 C A_1}{\rho_2 C A_2} \quad (1-1-2)$$

并称为广义波阻抗比。设一维平面应力波沿岩体传播, 到达一与传播方向垂直的波阻抗界面(如图 1—1—1 所示)。

根据应力波理论, 由连续性条件和牛顿

第三定律有

$$U_I + U_R = U_T \quad (1-1-3)$$

$$A_I (\sigma_I + \sigma_R) = A_T \sigma_T \quad (1-1-4)$$

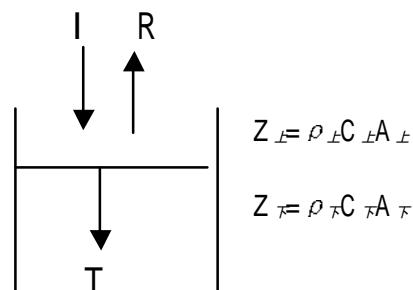


图 (1—1—1) 应力波的反射与透射

式中 U , σ 分别表示应力波的速度和应力, 下标 I, R, T 分别表示入射波、反射波和透射波。

由波阵面动量守恒条件，由式(1—1—4)得 $\rho_1C_1A(U_1-U_R)=\rho_2C_2U_T$ (1—1—5) 联立式(1—1—3), (1—1—5), 求解可得

$$\left. \begin{array}{l} U_R = -F U_1 \\ U_T = n T U_1 \end{array} \right\} \quad (1—1—6)$$

其中

$$F = \frac{1-n}{1+n} \quad \text{称为反射系数} \quad \left. \right\} \quad (1—1—7a)$$

$$T = \frac{2}{1+n} \quad \text{称为透射系数} \quad \left. \right\} \quad (1—1—7b)$$

式(1—1—6)就是小扰动应力波反射法中利用的弹性波与入射波的速度量的相位关系来作分析的重要关系式。

由于弱风化砾岩岩性坚硬，其波速大于软弱的溶洞充填物，在桩底弱风化砾岩上用锤击方法发射脉冲弹性波，当其下出现软弱的溶洞充填物时，弹性波发生同相反射，如不存在软弱层，则不存在此反射。在桩底布置高精度检波器，检测反射波的形状及其出现的位置，可判断该软弱存在与否及其出现的位置。

本此检测采用 RSM-24FD 工程检测仪和 28Hz 高精度垂直检波器，其主要技术指标为：采样间隔：10us~65536us；浮点模拟放大器：带宽：10Hz~4KHZ；放大倍数：1 倍~256 倍；浮点及 A/D 位数共 24 位；4 道独立并行同步；采样长度：512, 1K, 2K, 4K, 8K 供选置。脉冲弹性波由锤击产生，根据桩底砾岩层出露的面积不同，在每个桩孔桩底砾岩层上布置 3~4 个检测点，每一检测点重复检测 2 次，以保证检测数据的可靠性和可重复性。

根据检测结果与实际开挖验证，吻合程度在 90% 以上见附表 1 (46~47 页)。该建筑物在竣工后正常使用已一年^[1,2]。

4 结论

以应力波理论为基础，采用动力有限元的方法，分析了弹性波在岩体中反射时的基本特性及规律，重点指出在桩端浅层存在溶洞及软弱夹层等严重缺陷的反射波将出现特殊现象，其位置借助于频谱分析的方法予以确定，被证明是一种既快又准确的新方法，值得推广与研究。

参考文献：

- [1]《岩土工程勘察规范》(GBJ-0021-2001) [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2002.
- [2]《建筑桩基技术规范》(JGJ 94-94) [S]. 北京：中国建筑工业出版社，1995.

作者简介：邓向军(1971-)，男，大学本科，1994 年毕业于中南大学，现为长沙市勘测设计研究院工程师，从事地质勘测设计研究，曾发表《运用 Kv 值划分基岩风化破碎带的实例与分析》获湖南省第三届青年学术年会优秀论文一等奖。
E-mail:xjdeng666@sina.com

附表 1 检测结果：桩号位置为平行排列，由西-东，为 0-1-2，由南-北，为 1-18。

桩号	检测时桩孔标高及孔深(米)			检测结论
	井口标高	孔深	孔标高	
0-1	38.58	18.35	20.23	该桩孔桩底一部分达到坚硬砾岩层，其厚度为 50cm，其它部分为砂层
0-2	38.53	19.60	18.93	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，南边 1/4 面积其下 1.3 米有薄软层。
0-3	38.63	19.85	18.78	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，厚度已达到 3m，桩底中心偏北有 30cm 宽东西向软层。
0-4	38.63	19.10	19.53	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，厚度已达到 3m，其表面有软渣，建议清除。
0-5	38.68	19.02	19.66	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，厚度已达到 3m，东边小部面积下有薄软层。
0-6	38.64	19.02	19.62	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，厚度已达到 3 m。
0-7	39.03	18.66	19.96	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，厚度已达到 3 m。
0-8	38.64	19.15	19.49	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，厚度已达到 3 m。
0-9	39.03	18.97	20.06	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，厚度已达到 3 m。
0-10	38.77	18.50	20.27	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，南边 1/4 面积其下 0.7 m 左右有软层。
0-11	38.89	18.38	20.51	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，尚有 2 m 左右残积亚粘土⑥ (QeI)
0-12	38.78	17.75	21.03	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，北边 1/m 面积其下 1.6 m 左右有软层。
0-13	38.89	17.22	21.67	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，其下 1.4 m 左右有薄软层。
0-14	38.83	16.96	21.87	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，其下 4 m 以内未发现有软弱反射层。
0-15	38.92	17.26	21.66	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，其下 4 m 以内未发现有软弱反射层
0-16	38.97	16.72	22.00	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，其下 4 m 以内未发现有软弱反射层
0-17	38.98	19.02	19.96	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，其厚度大于 3m，但其表面有软渣，建议清除。
0-18	39.11	17.10	22.01	该桩孔桩底岩层复杂，其下 0.8~1.0 m 发现有软弱反射层，建议进一步处理探明其下岩层。
2-1	38.69	16.66	22.03	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，其厚度为 1.6 m 左右，其下为粉砂岩层。
2-2	38.74	16.76	21.98	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，其厚度大于 3 m
2-3	38.72	16.55	22.17	该桩孔桩底大部分已达到坚硬砾岩层，其厚度已大 3m，在北边有小区域的软弱层出露。

上接 46 页附表 1 检测结果：

2-4	38.90	15.85	23.05	该桩孔桩底大部分已达到坚硬砾岩层，其南边约 1/3 面积以下砾岩层厚度只有 1.2 m，其余砾岩层厚度大于 3 m。
2-5	38.83	16.68	22.15	该桩孔桩底大部分已达到坚硬砾岩层，其厚度大于 3 m。
2-6	38.78	16.05	22.73	该桩孔桩底大部分已达到坚硬砾岩层，厚度已大于 3 m，单该孔中心偏南有 30cm 宽东西向软层。
2-7	38.73	15.15	23.58	该桩孔桩底大部分已达到坚硬砾岩层，厚度为 1.5 m，单该孔中心偏南有 30cm 宽东西向软层，建议进一步处理。
2-8	38.62	14.85	23.77	该桩孔桩底大部分已达到了坚硬砾岩层，厚度大于 3 m。
2-9	38.62	16.11	22.51	已达到坚硬砾岩层，其中间有 20cm 左右宽软弱带，其余为砾岩层，其厚度大于 3 m，但该孔河侧有微弱的溶蚀。
2-10	38.62	14.75	23.87	该桩孔桩底大部分已达到坚硬砾岩层，厚度大于 3 m，但其表面有软渣，建议清除。
2-11	38.86	15.25	23.61	该桩孔桩底大部分已达到坚硬砾岩层，厚度大于 3 m。
2-12	38.93	16.25	22.68	该桩孔桩底大部分已达到坚硬砾岩层，厚度大于 3 m。
2-13	38.91	14.25	24.46	该桩孔桩底大部分已达到坚硬砾岩层，厚度大于 3 m。
2-14	38.93	14.70	24.23	该桩孔桩底周围已达到了坚硬砾岩层，但其中心有软柔层，周围坚硬砾岩层厚度大于 3 m.
2-15	38.74	14.26	24.48	该桩孔桩底大部分已达到坚硬砾岩层，厚度大于 3 m。
2-16	38.74	14.02	24.50	该桩孔桩底大部分已达到坚硬砾岩层，厚度大于 3 m。
2-17	38.69	12.10	24.60	该桩孔桩底大部分已达到坚硬砾岩层，厚度大于 1.2 m 左右，其下为粉砂岩层。
2-18	38.88	13.35	24.45	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，厚度大于 3 m。
1-1	33.35	20.55	12.80	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，厚度大于 3 m。
1-2	33.27	20.37	12.90	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，厚度大于 3 m。
1-3	33.29	19.99	13.30	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，厚度大于 3 m。
1-4	33.22	19.82	13.40	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，厚度大于 3 m。
1-5	33.14	20.34	12.80	坚硬砾岩层，厚度大于 3 m。但该桩底部软渣尚未清除干净，建议清除在旁边护壁部位约 20cm 大小溶蚀。
1-6	33.10	19.90	13.20	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，厚度大于 3 m。
1-7	32.97	20.47	12.50	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，厚度大于 3 m。
1-8	33.06	20.01	13.05	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，厚度大于 3 m。
1-9	32.83	20.13	12.70	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，其大部分厚度达到了 2.6 m，但局部其厚度只有 1.0 m 左右，建议对桩底进行处理。
1-10	32.29	20.19	11.90	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，厚度大于 3 m。
1-11	32.79	20.99	11.80	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，厚度大于 3 m。
1-12	32.94	21.44	11.50	该桩孔桩底已达到坚硬砾岩层，大部分厚度大于 3 m，但在局部其厚度只有 1.5 m 左右，并且有分布并不均匀，建议对桩底进行处理。