反射技术推算混凝土支承桩竖向允许承载力的方法

王清玉

（水利部、能源部天津勘测设计院物探队）

用地震波反射技术估算混凝土支承桩允许的纵向支承能力，并用实例说明了其工作原理，用此法测试了500根支承桩，均取得了满意的效果。

关键词：地震波反射技术；混凝土支承桩承载力计算

近年来，无损检测桩基质量及确定桩基竖向允许承载力的各种方法发展很快，如弹性波反射法、动测法、水电效应法及机械阻抗法等。笔者介绍的方法是：在现有仪器（美国产ES—125，BISON—1580以及ES—1210F工程测震仪）条件下，利用弹性波反射技术推算混凝土支承桩竖向允许承载力。某水利委员会使用该法对500余根混凝土支承桩进行测试，取得了较好的效果。

反射法推算混凝土支承桩竖向允许承载力的过程

反射法检测桩基质量的原理和方法已为大家所熟知。反射法推算混凝土支承桩竖向允许承载力的过程是：依据反射法检测桩基质量的原理，求出弹性波沿桩身传播的平均纵波速度$\overline{V}_p$(m/s)，利用$\overline{V}_p$推定混凝土支承桩的竖向抗压强度R_a(t/m²)，进而推算混凝土支承桩竖向允许承载力$P(t)$。其公式为：

$$P=\frac{k}{\lambda}AR_a \qquad (1)$$

$$R_a=0.7\overline{V}_p-350 \qquad (2)$$

式（1）为半经验公式，通过下面的比较可以考查该式的可行性；式（2）是经过回归分析得出的，利用$\overline{V}_p$换算R_a的经验公式，对混凝土适用范围比较广。

式中 A——桩身横截面积(m²)；

k——混凝土不均匀系数，与$\overline{V}_p$有关（$k=0.525$）；

λ——安全系数，与桩入岩深度及基岩强度有关($\lambda=1.5\sim1.8$)。

下面让我们考查一下利用式（1）来推算混凝土支承桩竖向允许承载力的可行性。查阅有关规范[1]可知：

1．支承于岩层上的打入桩，振动下沉桩的允许承载力$P_a(t)$：

$$P_a=CAR_c \qquad (3)$$

式中R_c为天然湿度下岩石试块的单轴极限抗压强度（t/m²）；

A——桩底面积(m²)；

C——系数，均质无裂隙的岩层$C=0.45$，有严重裂隙的、风化的或易软化的$C=0.30$，一般$C=0.30\sim0.35$。

2．支承于岩层上与嵌入岩层内的钻（挖）孔灌注桩的允许承载力$P_a(t)$：

$$P_a=R_c(C_1A+C_2UD) \qquad (4)$$

式中，U——嵌入岩层内的桩孔周长(m)；

D——从新鲜岩面算起的嵌入深度(m)；

C_1、C_2——系数，依据岩石破碎程度和清底情况决定，按表1选用。

R_c、A意义同式（3）。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1

清孔情况	C_1		C_2		备注
	铁 规	路 规	铁 规	路 规	
良好	0.5	0.6	0.04	0.05	$D<0.5$ m时，C_1应乘0.7，$C_2=0$
一般	0.4	0.5	0.03	0.04	
较差	0.3	0.4	0.02	0.03	

《公路桥涵设计规范》规定：当支承在基岩上（包括嵌入基岩深度小于0.5m的钻孔桩）其允许承载力按式（3）计算。

又参考有关文献[2]可知：根据材料强度计算混凝土桩的竖向允许承载力，按下式

$$P_a=\frac{\phi}{R}\cdot R_a\cdot A \qquad (5)$$

式中ϕ为纵向弯曲系数，对于低承台桩基来说，考虑到土的侧压力作用$\phi=1$；

R——安全系数，对预制桩$R=1.55$，灌注桩$R=1.65$；

R_a——桩身竖向抗压设计强度(t/m²)；

A——桩身横截面积(m²)；

P_a——单桩竖向允许承载力(t)。

现将式（1）、式（3）进行比较：设$C=k/\lambda$，其中$C=0.30\sim0.35$，$k=0.525$，$\lambda=1.5\sim1.8$，则$\frac{k}{\lambda}=0.29\sim0.35$。

将式（1）和式（5）比较可知：二者形式完全相同，各对应因子的物理意义也基本一致。至于式（1）和式（4）的关系，我们将通过下面的实例予以说明。

综上所述，笔者认为：

（1）对于支承桩，主要是检查桩身质量及沉渣厚度，如果这方面满足规范要求，则其承载力应该能得到保证。

（2）按式（1）推算支承桩竖向允许承载力是比较严谨的，因而是可行的。

应 用 实 例

潘家口电厂家属区。施工区属低山丘陵

表 2

楼 号	桩 号	$\overline{V}_p$ (m/s)	$R_a=0.7\overline{V}_p-350$ (t/m²)	$P=\frac{k}{\lambda}AR_a$ (t)	$P_a=R_c(CA+C_0UD)$ (t)
4	1	3170	1825	125	127
	2	2941	1708	117	127
	4	3356	1999	137	142
	9	3133	1843	127	127
	10	3010	1757	121	127
	14	3330	1981	136	127
	15	3110	1827	126	127
	17	3330	1981	136	127
5	9	3389	2022	139	173
	1	3262	1933	133	127
	5	3180	1876	129	127
	6	3152	1856	128	127
	13	3300	1960	135	127
	14	3200	1890	130	127
	17	3300	1960	135	127
	18	3149	1854	128	127

注：4号楼4号桩$D=3$m；5号楼9号桩$D=4$m，其余D均为2.5m，$C_1=0.4$，$C_2=0.03$。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

谷地地貌。大部分为近年杂填土，回填厚度8.4～13.2m。其下有一层细砂，平均厚度1.65m。下伏岩层为太古界片麻岩，节理发育，呈半风化状态，风化厚度约5m。

桩基采用灌注桩，桩径0.5m，桩长14.2～17.0m，嵌入基岩深度2.5～4.0m。

4号楼、5号楼各有16根桩，分别选取8根进行了测试（表2）。

根据“第二届应力波理论在桩基工程中的应用国际专业会议”建议的$\overline{V}_p$与桩基混凝土强度质量类别的关系推定：4号楼的1、2、9、10和15号桩质量尚可，混凝土标号为150～200#，其余属良好桩，混凝土标号200#左右。实测桩基竖向允许承载力$P=117\sim137$t。

5号楼1、5、6、14和18号桩质量尚可，混凝土标号150～200#，其余属良好桩，混凝土标号为200#左右。实测桩基竖向允许承载力范围值为128～139t。

另外，表2还列出了利用式（4）计算的结果，比较可知：承载力实测值与计算值除5号楼9号桩相差稍大外，其余几根均很接近。故总的说来，测试成果是可靠的。甲方已依据我们的测试成果进行相应的工作。

结论与问题

1．工程实践证明：弹性波反射技术推算混凝土支承桩竖向允许承载力的方法值得重视（且利用$\overline{V}_p$可以推断桩身质量）。笔者建议在条件许可时，做一些动静对比，借以在实践中考查该法的实用性。

2．$R_a=0.7\overline{V}_p-350$为经验公式，对混凝土适用范围较广。当然，如果条件许可，可以做一定数量的混凝土试块，以便建立$R_a\sim\overline{V}_p$的相关关系。

3．使用该法时，应保证桩底沉渣厚度不大于10cm。

4．k的物理意义是不是衡量混凝土强度最小概率强度特征值与混凝土设计强度之间关系的一个物理量；λ是不是经过动静对比可以确定以及桩基嵌入岩层的深度范围，这些问题都有待于进一步探讨。

沈晓天高级工程师、庞学懋工程师对此次工作进行过指导，孙鸿儒高级工程师及唐中和工程师审阅本文，并提出许多修改意见，在此一并致谢。

参考文献

[1] 张苏民等，《工程地质手册》，中国建筑工业出版社，1981年.

[2] 周光龙等，《地基及基础》，中国建筑工业出版社，1981年.

[3] 李光泽等译，《混凝土非破损试验法》，中国建筑工业出版社.

Estimation of the Allowable Vertical Bearing Capacity of a Concrete Supporting Pile

Wang Qingyu

Seismic Wave reflection technique is used to estimate the allowable Vertical bearing capacity of a concrete supporting pile. The working principles are discussed with a practical example for illustration. About 500 piles haye been tested by using this method and satisfactory results were abhieved.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net