

# 用联系数的方法进行桩基极限承载力的预估

张清河 林建华

(华侨大学土木工程系, 福建 泉州 362011)

**摘要** 运用集对分析中的联系数的方法,对两种类似桩基的试桩资料进行对比分析.挖掘出这两种桩基的同一和差异的数据成分,可以对未达到极限承载力桩基进行预估,从而获得单桩极限承载力.同时用工程实例加以证实,为推断单桩极限承载力提供了一种新方法.

**关键词** 集对分析, 联系数, 桩基, 单桩极限承载力, 预估

**中图分类号** TU 473.1<sup>+</sup>1 TU 413.4

**文献标识码** A

目前,现场静载荷试验是确定单桩竖向极限承载力的最可靠的方法.但是,由于静载试验的费用高、试验时间较长、有些试验桩将作为工程桩使用等因素,所以许多桩基的静载试验往往没有或不能达到桩的极限荷载.这对建筑的安全性和经济性产生很大影响.为了推断未达到极限承载力桩基的极限承载力,国内外许多学者进行了深入的研究.通常的方法是假定桩基静载  $Q-S$  曲线的数学方程式,由试验测得极限荷载以前的各组荷载与沉降数据,从而定出该假定方程中各常数.然后用外推法预估桩的极限承载力.常见的推断方法有双曲线法、抛物线法、指数方程法等<sup>[1]</sup>.比如赵明华、胡志清提出了调整双曲线法<sup>[2]</sup>,于秉坤、齐武郎用最佳拟合法确定单桩极限承载力<sup>[3]</sup>,郭大兵、郭靖则采用灰色系统理论来估算桩基的极限承载力<sup>[4]</sup>.本文将达到极限承载力与未达到极限承载力桩基的  $Q-S$  曲线数据,进行分析对比.运用集对分析理论的预测技术<sup>[5]</sup>,推断出未达到极限承载力桩基的极限承载力.

## 1 集对分析的类推预测法

根据集对分析理论,对于给定2个集合  $A$  和  $B$ ,并设这2个集合组成集对  $H=(A, B)$ .对集对  $H$  的特性展开分析,得到  $N$  个特性.其中有  $G$  个为集对  $H$  中的两个集合  $A$  和  $B$  所共同具有;在  $P$  个特性上集合  $A$  和  $B$  相对立;在其余的  $F(F=N-G-P)$  个特性上既不相相互对立,又不为这2个集合所共同具有.那么,称比值  $a=G/N$  为同一度,  $b=F/N$  为差异度,  $c=P/N$  为对立度.并用式子  $\mu(W)=a+bi+cj$  表示,  $\mu$  称为  $A, B$  这2个集合的联系度,其中  $i, j \in [1, 1]$ .在本问题中,  $j=0$ ,同时运算分析时,  $\mu$  又可以看成一个数,并称为联系数.现举例说明如何用联系数进行数据挖掘问题.为了比较数值4和3的同异反关系,可以将4看成  $3+1i$ .这样,  $3+1i$  与3构成的集对,同一性数值为3,差异性数值为1.这时  $i$  表示差异性的符号,同时取  $i=1$ .对于具有类似桩基型式的两根试桩,将它们作为一个集合对子加以分析.(1)将总沉降分成若干均匀的分级沉降,并将原始试桩的  $Q-S$  数据转换为均匀的分级沉降与对应的分级荷载.(2)在相同分级沉降的条件下,把达到极限荷载桩基的分级荷载,与未达到极限承载力桩基的分级荷载作分析比较.寻找出两根桩基的分级荷载的同一性数值和差异性数值,并求出它们的联系数表达式.(3)根据步骤(2)得出的联系数表达式,预测出未达到极限承载力桩基的极限承载力.

**收稿日期** 2003-07-18

**作者简介** 张清河(1963-),男,副教授,主要从事工程技术经济与管理与桩基工程的研究. E-mail: hqutnzqh@hqu.edu.cn

**基金项目** 华侨大学科研基金资助项目(H016)

2 工程应用实例

例如,某开发区 2# 厂房采用人工挖孔桩,C9 桩  $D=800\text{ mm}$ ,扩大头直径  $=2\,200\text{ mm}$ ,桩入土深度  $h=6.35\text{ m}$ ,持力层为残积砂质粘性土,静载试验数据见表 1.表中  $Q$  为荷载, $t$  为历时, $S$  为分级沉降量, $S$  为累计沉降量.D5 桩  $D=800\text{ mm}$ ,扩大头直径  $=2\,200\text{ mm}$ ,桩入土深度  $h=8.29\text{ m}$ ,其静载试验数据见表 2.这两根桩的  $Q-S$  曲线见图 1.

为了给该地区其它建筑桩基设计提供参考,有必要对那些未达到极限承载力桩基进行预估,以获得其单桩极限承载力.本工程静载试验的  $Q-S$  曲线是缓变型.《建筑桩基技术规范》(JGJ 94-94)规定可根据沉降确定单桩极限承载力:对于缓变型  $Q-S$  曲线,一般可取沉降  $S=40\sim 60\text{ mm}$  对应的荷载;对于大直径桩可取  $S=0.03\sim 0.06D$  ( $D$  为桩端直径,大桩径取低值,小桩径取高值)所对应的荷载值.这里,假设取  $S=50\text{ mm}$  对应的荷载为单桩极限承载力.

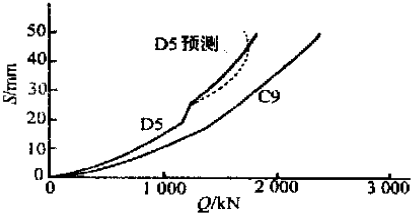


表 1 2# 厂房 C9 桩  $Q-S$  试验成果汇总表

序号	$Q/\text{kN}$	$t/\text{mm}$	$S/\text{mm}$	$S/\text{mm}$	序号	$Q/\text{kN}$	$t/\text{mm}$	$S/\text{mm}$	$S/\text{mm}$
1	460	120	3.69	3.69	8	2 070	240	7.82	39.18
2	690	120	2.24	5.93	9	2 360	240	8.34	49.52
3	920	120	3.47	9.40	10	1 840	60	- 2.16	45.36
4	1 150	120	4.10	13.50	11	1 380	60	- 3.27	42.09
5	1 380	120	4.52	18.02	12	920	60	- 4.08	38.01
6	1 610	150	6.26	24.28	13	460	60	- 4.81	33.20
7	1 840	210	7.08	31.36	14	0	180	- 5.44	27.76

当累计沉降达到  $S=50\text{ mm}$  时,通过线性外推可求得 C9 桩对应的承载力  $Q=2\,375\text{ kN}$

表 2 2# 厂房 D5 桩  $P-S$  试验成果汇总表

序号	$Q/\text{kN}$	$t/\text{mm}$	$S/\text{mm}$	$S/\text{mm}$	序号	$Q/\text{kN}$	$t/\text{mm}$	$S/\text{mm}$	$S/\text{mm}$
1	380	120	4.21	4.21	8	1610	210	7.22	39.40
2	570	120	2.39	6.60	9	1800	240	9.76	49.16
3	60	120	3.14	9.74	10	1420	60	- 2.16	47.00
4	950	120	4.62	14.36	11	1140	60	- 3.26	43.74
5	1140	120	4.96	19.32	12	760	60	- 3.78	39.96
6	1230	150	6.26	25.58	13	380	60	- 4.47	35.49
7	1420	180	6.60	32.18	14	0	180	- 6.21	29.28

当累计沉降达到  $S=50\text{ mm}$  时,通过线性外推可求得 D5 桩对应的承载力  $Q=1\,816\text{ kN}$

从表 1 和表 2 可以得出,这两根试桩的每级荷载值不一样,对应的分级沉降也不一样,按上节介绍的分析步骤(1),先将分级沉降  $S$  设为  $5\text{ mm}$ .假设取累积沉降达到  $50\text{ mm}$  对应的荷载为单桩极限承载力.这样,表 1 和表 2 就转换为表 3 和表 4. 可通过数值法或作图法,求出每分级沉降  $S$  下对应的分

表 3 2# 厂房 C9 桩  $S-Q$  汇总表

序号	$S/\text{mm}$	$S/\text{mm}$	$Q/\text{kN}$	$Q$	序号	$S/\text{mm}$	$S/\text{mm}$	$Q/\text{kN}$	$Q$
1	5	5	600	600	6	5	30	1 825	175
2	5	10	950	350	7	5	35	1 975	150
3	5	15	1 225	275	8	5	40	2 125	150
4	5	20	1 495	270	9	5	45	2 275	150
5	5	25	1 650	155	10	5	50	2 375	100

级荷载  $Q$ ,或者在试桩时就做好每均级沉降下的分级荷载记录.这里需要说明的是,原试桩第 9 级的荷载为桩基极限承载力,而现在将  $50\text{ mm}$  进行 10 等分后,变成第 10 级荷载才是桩基极限承载力.

为验证本文方法,假设 2# 厂房 D5 桩仅加载至第 7 级,即第 8,9,10 级加载试验值未知.将 D5 与 C9 当成两个集合对子,C9 与 D5 在相同  $S$  下, $Q$  的差异值详见表 5.表中  $Q_c$  表示 C9 的  $Q$  值, $Q_D$  表示 D5 的  $Q$  值, $Q$  表示 C9 与 D5 的  $Q$  之差值.由此,可得 D5 与 C9 (图 1) 的联系数表

表 4 2# 厂房 D5 桩 S - P 汇总表

序号	S/mm	S/mm	Q/kN	Q	序号	S/mm	S/mm	Q/kN	Q
1	5	5	468	468	6	5	30	1 400	180
2	5	10	760	292	7	5	35	1 515	115
3	5	15	965	205	8	5	40	1 610	95
4	5	20	1 150	185	9	5	45	1 700	90
5	5	25	1 220	70	10	5	50	1 816	116

表 5 2# 厂房 C9 与 D5 的 Q 的差异值

序号	QC/kN	QD/kN	Q	序号	QC/kN	QD/kN	Q	序号	QC/kN	QD/kN	Q
1	600	468	132	5	175	70	85	9	150		
2	350	292	58	6	175	180	- 5	10	100		
3	275	205	70	7	150	115	35	平均值	237. 5		65. 7
4	250	185	85	8	150						

达式  $u = 237.5 + 65.7 i$ 。此时差异度最大,所以取  $i = - 1$ 。上式可作为 D5 桩以后各分级荷载的预测式,可得 D5 桩的  $Q_8 = 84.3 \text{ kN}$ ,  $Q_9 = 84.3 \text{ kN}$ ,  $Q_{10} = 84.3 \text{ kN}$ ,以及对应的  $Q_8 = 1\,529 \text{ kN}$ ,  $Q_9 = 1\,684 \text{ kN}$ ,  $Q_{10} = 1\,718 \text{ kN}$ 。 $Q_{10}$ 即为 D5 桩的极限承载力。单桩极限荷载实测值与预估值之差  $= 1\,816 - 1\,718 = 98 \text{ kN}$ ,误差百分率(%)  $= 98 \div 1\,816 = 5.3 \quad 5.0$ 。这一预测结果偏向保守。采用该法对 1# 和 3# 厂房若干根桩进行预估,误差均在 5%以内。限于篇幅,在此不一一列出。D5 的预测曲线,如图 1 所示。

3 结束语

(1) 在同一地区的相同桩型,而且  $Q$ - $S$  曲线为缓变型时,可以用这一方法对单桩极限承载力进行预测,以供设计作参考。(2) 对于  $Q$ - $S$  曲线为陡降型曲线时,由于陡降点的出现无法预料,所以应用这一方法时应慎重。(3) 当有大量试验数据时,这一方法还可应用于不同桩型条件下的比较,但这时需要对预估公式乘以一个修正系数。

参 考 文 献

1 徐攸在,刘兴满. 桩的动测新技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1989. 44~95  
2 赵明华,胡志清. 预估试桩极限承载力的调整双曲线法[J]. 建筑结构,1995,3(3):47~52  
3 于秉坤,齐武郎. 用最佳拟合法确定单桩极限承载力[J]. 岩土工程技术,1994,1(1):34~37  
4 郭大兵,郭 靖. 桩基极限承载力的灰色预测[J]. 工业建筑,1996,2(4):45~53  
5 赵克勤. 集对分析及应用初步[M]. 杭州:浙江省科学技术出版社,2000. 170~172

Predicting Ultimate Bearing Capacity of Pile Foundation by Connection Number Method

Zhang Qinghe Lin Jianhua

(Dept. of Civil Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou, China)

**Abstract** A comparative analysis is made on test pile data from two kinds of similar pile foundations by using the method of connection number in set pair analysis. By tapping for identical and different data ingredients of both of them, the pile foundation which has not yet attained ultimate bearing capacity can be predicted. thus the ultimate bearing capacity of single pile is obtained. Confirming by engineering example, a new method for inferring ultimate bearing capacity is offered.

**Keywords** set pair analysis, connection number, pile foundation, ultimate bearing capacity of single pile, prediction