

较破碎中等风化岩体桩的极限端阻力标准值

湛铠瑜

(中国煤炭科工集团重庆设计研究院, 重庆 400016)

【摘要】 针对将桩基置于较破碎中等风化岩体时需要提供其极限端阻力标准值而桩基规范中无中等风化岩体极限端阻力标准值的取值建议, 结合重庆地标和桩基规范通过理论推导获得了中等风化岩体的极限端阻力标准值计算公式; 通过理论计算结合桩基规范提出了较破碎中等风化岩体极限端阻力标准值的取值范围; 结合工程实际分析了较破碎中等风化岩体极限端阻力标准值取值范围的合理性。研究表明, 采用人工挖孔桩时, 较破碎中等风化软质岩的取值范围为 1 400~5 400 kPa, 较破碎中等风化硬质岩的取值范围为 5 400~21 700 kPa; 采用机械成孔桩时, 较破碎中等风化软质岩的取值范围为 1 200~4 600 kPa, 较破碎中等风化硬质岩的取值范围为 4 600~18 500 kPa; 较破碎中等风化极软岩与强风化软质岩的工程性质相似, 较破碎中等风化软岩好于强风化硬质岩的工程性质但不如密实状态卵(碎)石的工程性质, 较破碎中等风化较软岩与密实状态卵(碎)石的工程性质相似, 较破碎中等风化较硬岩好于密实状态卵(碎)石的工程性质。

【关键词】 桩基; 极限端阻力; 承载力; 较破碎中等风化岩体

【中图分类号】 TU 473

【文献标识码】 A

doi: 10. 3969/j. issn. 1007-2993. 2012. 06. 006

Research on Standard Value of Ultimate Shaft Resistance for Fragile Intermediary Weathered Bedrock

Zhan Kaiyu

(Chongqing Design & Research Institute, China Coal Technology & Engineering Group, Chongqing 400016, China)

【Abstract】 This paper presents a calculation formula and puts forward the value range of standard value of shaft resistance for fragile intermediary weathered bedrock because it needs to be provided when the pile was placed at the fragile intermediary weathered bedrock, but there was no value recommended of it in technical code of building pile foundations. And the value range of standard value of shaft resistance for fragile intermediary weathered bedrock was validated by engineering practice. The results show that the value range of standard value of shaft resistance was 1 400~5 400 kPa for soft rock and it was 5 400~21 700 kPa for hard rock under dry drilling, and it was 1 200~4 600 kPa for soft rock and it was 4 600~18 500 kPa for hard rock under mechanical hole building. And the engineering property of fragile intermediary weathered extremely soft rock is similar to strong weathered soft rock, the fragile intermediary weathered soft rock is inferior to compacting gravel, the fragile intermediary weathered relatively soft rock is similar to compacting gravel, the fragile intermediary weathered relatively hard rock is better than compacting gravel.

【Key words】 pile foundation; ultimate tip resistance; bearing capacity; fragile intermediary weathered sandstone

0 引言

桩基础已被广泛应用于建筑、桥梁等工程领域, 而桩基础的单桩竖向承载力直接影响着建筑物(构筑物)的安全性和经济性。当单桩竖向承载力实测值小于计算值时影响着建筑物的安全性, 而实测值远大于计算值时, 则严重增大了成本造价, 因此合理的计算单桩竖向承载力尤为重要, 与之相对应的计算单桩竖向承载力所需参数的取值也就显得尤为重要。

目前, 已有了大量学者对单桩竖向承载力进行了研究, 例如孔垂烛^[1]对桩基规范中嵌岩桩单桩竖向极限承载力的计算方法及原理进行了深入分析; 陈如连^[2]对桩基规范中桩端承载力特征值存在的问题进行了分析并提出了解决方法; 李家奇等^[3]对国内外不同地区砂土的桩端承载力的计算方法进行了比较分析并探讨了非常密实砂土中的桩端承载力取值。但对于较破碎中等风化岩体桩的端阻力标准值

相关的研究尚未见国内外公开发表。国家规范《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)(以下简称“桩基规范”)中关于嵌岩桩的单桩竖向承载力计算式只适用于完整、较完整岩体,而对于构造较发育地区(如重庆奉节等地区)的中等风化岩体往往较破碎,从而导致以较破碎中等风化岩体为持力层时无法采用嵌岩桩计算公式进行单桩竖向承载力计算。因此,对于较破碎中等风化岩体应提供桩的极限端阻力标准值,而桩基规范中并无取值建议。

本文结合重庆地区规范《建筑地基基础设计规范》(DBJ 50—047—2006)(以下简称“重庆地标”)中关于单桩竖向承载力的计算公式推导出中等风化岩体的极限端阻力标准值计算式,同时提出了较破碎中等风化岩体的极限端阻力标准值的取值范围,并结合工程实际对其取值范围的合理性进行了分析。

1 单桩竖向承载力特征值计算方法

1.1 桩基规范计算方法

桩基规范中的嵌岩桩单桩竖向承载力只适用于桩端置于完整、较完整岩体,因此将桩端置于较破碎的中等风化岩体时计算单桩极限承载力标准值不能采用嵌岩桩计算式,只能采用桩基规范中5.3.6章节中的计算式,单桩竖向极限承载力标准值计算式^[4]如下:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum \psi_{si} q_{sik} l_i + \psi_p q_{pk} A_p \quad (1)$$

则单桩竖向承载力特征值计算式^[4]为:

$$R_a = \frac{1}{2} Q_{uk} = \frac{1}{2} u \sum \psi_{si} q_{sik} l_i + \frac{1}{2} \psi_p q_{pk} A_p \quad (2)$$

1.2 重庆地标计算方法

重庆地标中单桩竖向承载力特征值计算式在规范中第8.3.7~8.3.10中有所阐述^[5],得出单桩竖向承载力特征值计算式如下:

$$R_a = \sum \psi_{si} \varphi_{si} f_{sia} u_i l_i + \psi_p \psi_c f_a A_p \quad (3)$$

根据《建筑地基基础设计规范》(DBJ 50—047—2006)^[5]和《工程地质勘察规范》(DBJ 50—043—2005)^[6]可知,地基承载力特征值计算式如下:

$$f_a = \gamma_i f_{uk} = \gamma_i f_{rk} \gamma_t \quad (4)$$

由式(3)和(4)得出:

单桩竖向承载力特征值计算式为:

$$R_a = \sum \psi_{si} \varphi_{si} f_{sia} u_i l_i + \psi_p \psi_c \gamma_i f_{rk} \gamma_t A_p \quad (5)$$

2 较破碎中等风化岩体的极限端阻力标准值

2.1 基本假设

基于本次主要探讨较破碎中等风化岩体桩的极限端阻力标准值取值范围,且为了便于理解和计算,本文基本假设如下:

1)在同一地质条件下,桩基规范和重庆地标计算所得的单桩竖向承载力特征值相等。

2)桩基规范中的总极限侧阻力标准值除以安全系数为桩侧土总侧阻力特征值,且与重庆地标中的桩侧土总摩阻力特征值相等。

3)桩基规范的端阻力尺寸效应系数与重庆地标中的端阻力尺寸效应系数相等(桩基规范中的端阻力尺寸效应系数没有持力层为岩体时的取值建议,且桩端持力层为土层时桩基规范的端阻力尺寸效应系数与重庆地标中的端阻力尺寸效应系数取值相同)。

2.2 中等风化岩体的极限端阻力标准值计算式

根据本文2.1章节中的基本假设,由式(2)和式(5)得出:

$$\frac{1}{2} \psi_p q_{pk} A_p = \psi_p \psi_c \gamma_i f_{rk} \gamma_t A_p \quad (6)$$

整理式(6)得:

$$q_{pk} = 2 \psi_c \gamma_i f_{rk} \gamma_t \quad (7)$$

式(1)~式(7)中, R_a 为单桩竖向承载力特征值; Q_{uk} 为单桩极限承载力标准值; Q_{sk} 为总极限侧阻力标准值; Q_{pk} 为极限端阻力标准值; u 为桩身周长; ψ_{si} 为桩侧阻力尺寸效应系数; q_{sik} 为第*i*层土极限侧阻力标准值; l_i 为桩周第*i*层土的厚度; ψ_p 为端阻力尺寸效应系数; q_{pk} 为极限端阻力标准值; A_p 为桩端面积; φ_{si} 为第*i*层土的桩侧土摩阻力折减系数; f_{sia} 为第*i*层土的摩阻力特征值; u_i 为第*i*层土层中的桩身周长; ψ_c 为工作条件系数,人工挖孔桩取1.0,机械成孔桩取0.8; f_a 为桩端地基承载力特征值; γ_i 为地基极限承载力分项系数,岩质地基取0.33; f_{rk} 为岩石抗压强度标准值; γ_t 为地基条件系数,岩体较破碎时取0.85~0.55。式(7)即为根据岩石抗压强度标准值计算中等风化岩体极限端阻力标准值的计算式。

2.3 较破碎中等风化岩体的极限端阻力标准值取值

结合岩石坚硬程度划分表按照式(7)分别计算较破碎中等风化极软岩、软岩、较软岩、较硬岩的极限端阻力标准值的取值范围(结合工程实际中很少有中等风化坚硬岩较破碎,因此不计算较破碎中等风化坚硬岩的极限端阻力标准值的取值范围;工程实际中绝大多数岩石的抗压强度标准值均大于2 500 kPa,因此计算较破碎中等风化极软岩时岩石抗压强度标准值最低值取2 500 kPa)。计算结果见表1。

表 1 较破碎中等风化岩体极限端阻力标准值 kPa

岩石类别	人工挖孔桩		机械成孔桩	
	$\gamma_1=0.55$	$\gamma_1=0.85$	$\gamma_1=0.55$	$\gamma_1=0.85$
极软岩	907~1 815	1 402~2 805	7 713~1 542	1 192~2 384
软岩	1 815~5 445	2 805~8 415	1 542~4 628	2 384~7 152
较软岩	5 445~10 890	8 415~16 830	4 628~9 256	7 152~14 305
较硬岩	10 890~21 780	16 830~33 660	9 256~18 513	14 305~28 611

考虑到与桩基规范一致,因此参考桩基规范将岩石分为软质岩和硬质岩,即将极软岩和软岩归为软质岩,较软岩和较硬岩归为硬质岩。综合分析桩基规范表 5.3.5-2 中桩的极限端阻力标准值取值范围并结合工程实际,桩的极限端阻力标准值建议取值范围的最小值取 $\gamma_1=0.85$ 时的计算值,最大值取 $\gamma_1=0.55$ 时的计算值,从而得出较破碎中等风化岩体极限端阻力标准值取值建议表见表 2。

表 2 较破碎中等风化岩体 q_{pk} 取值建议表 kPa

岩石类别	人工挖孔桩	机械成孔桩
软质岩	1 400~5 400	1 200~4 600
硬质岩	5 400~21 700	4 600~18 500

说明:根据岩石抗压强度标准值采用插值法取值或根据地区经验取值;采用插值法取值时,软质岩插值区间为 2.5~15 MPa,硬质岩插值区间为 15~60 MPa。

2.4 极限端阻力标准值取值范围合理性分析

按照表 2 采用插值法计算得出,岩石抗压强度标准值为 5 MPa 时,较破碎中等风化岩体在人工挖孔桩时的极限端阻力标准值为 2 200 kPa;岩石抗压强度标准值为 30 MPa 时,较破碎中等风化岩体在人工挖孔桩时的极限端阻力标准值为 10 833 kPa。即桩的极限端阻力标准值取值范围分别是,较破碎中等风化极软岩为 1 400~2 200 kPa,较破碎中等风化软岩为 2 200~5 400 kPa,较破碎中等风化较软岩为 5 400~10 833 kPa,较破碎中等风化较硬岩为 10 833~21 700 kPa。

由桩基规范表 5.3.5-2 和表 5.3.6-1 中关于各地层的极限端阻力标准值取值范围可知,强风化软质岩为 1 600~2 600 kPa,强风化硬质岩为 2 000~3 000 kPa,密实状态卵(碎)石为 7 000~11 000 kPa。综合对比分析本文和桩基规范的取值范围得出,较破碎中等风化极软岩的工程性质与强风化软质岩的工程性质相似;较破碎中等风化软岩的工程性质好于强风化硬质岩的工程性质但不如密实状态卵(碎)石工程性质;较破碎中等风化较软岩的工程性质与密实状态卵(碎)石工程性质相似;较破碎中等风化较硬岩的工程性质好于密实状态卵(碎)石工程性质。

结合工程实际,较破碎中等风化极软岩与强风化软质岩的工程性质相似是合理的;卵(碎)石包含物的主要成分为石灰岩,而石灰岩的岩石抗压强度标准值一般在 30 MPa 左右,密实状态的卵(碎)石也就类似于天然抗压强度 30 MPa 左右的中等风化岩石较破碎,所以较破碎中等风化较软岩与密实状态卵(碎)石工程性质相似是合理的;同时也就说明了较破碎中等风化软岩的工程性质介于强风化硬质岩的工程性质与密实状态卵(碎)石之间的合理性,以及较破碎中等风化较硬岩的工程性质好于密实状态卵(碎)石的合理性。结合本文表 2 的取值范围可知,岩石天然抗压强度标准值 30 MPa 时桩的极限端阻力标准值为 10 833 kPa,而桩基规范中密实状态卵(碎)石的极限端阻力标准值最大值可取 11 000 kPa,由此可知较破碎中等风化较软岩的极限端阻力标准值与密实状态卵石的极限端阻力标准值基本相等。前文已分析了较破碎中等风化较软岩的工程性质与密实状态卵石的工程性质相似的合理性,所以较破碎中等风化较软岩的极限端阻力标准值与密实状态卵石的极限端阻力标准值基本相等是合理的,由此说明本文较破碎中等风化岩体 q_{pk} 的取值范围是合理的。

3 本文存在的不足之处

1) 本文研究成果仅为理论推导,还没有深层载荷板试验对表 2 中的取值建议进行验证,这也将是作者下一步深入研究的方向。

2) 撰写本文的目的在于提出这个想法,从而引起同行对较破碎中等风化岩体极限端阻力标准值取值相关研究内容的重视,甚至于达到丰富和完善桩基规范中关于极限端阻力标准值取值建议表的相关内容。在有深层载荷板试验数据对本文进行验证前还无法应用于工程实践中。

4 结论

1) 结合重庆地标和桩基规范,通过理论推导获得了根据岩石抗压强度标准值计算中等风化岩体极限端阻力标准值的计算公式。

2) 根据推导获得的计算式,计算并提出了较破碎中等风化岩体的极限端阻力标准值的取值范围。采用人工挖孔桩时,较破碎中等风化软质岩的取值范围为 1 400~5 400 kPa,较破碎中等风化硬质岩的取值范围为 5 400~21 700 kPa;采用机械成孔桩时,较破碎中等风化软质岩的取值范围为 1 200~4 600 kPa,较破碎中等风化硬质岩的取值范围为 4 600~18 500 kPa。

(下转第 305 页)

4)复合土钉支护时水平位移最小,曲线呈“凸肚型”;仅搅拌桩支护时水平位移居中,曲线呈“近直线型”;仅土钉支护时水平位移最大,曲线呈“倒S型”。

参 考 文 献

- [1] Stocker M F, et al. Soil Nailing[J]. On Soil Reinforcement, Paris, 1979; 556-570.
- [2] G. Gassler, G. Gudehus. Soil Nailing-Some Aspects of New Technique [J]. Proceedings of 10th ICSMF, 1981, 5.
- [3] Bridle, R J. Soil Nailing Analysis and Design[J]. Ground Engineering, Sep. 1989.
- [4] Juran I, Elias, V. Ground Anchors and Soil Nails in

Retaining Structures. Foundation Engineering Handbook, Chapter 26 [M], Van Nostrand Reinhold Pub, 1991.

- [5] P. Unterreiner, B. Benhamida, F. Schlosser. Finite element modeling of the construction of a full-scale experimental soil-nailed wall [J]. Proceedings of the ICE-Ground Improvement, 1997, 1(1): 1-8.
- [6] Itasca Consulting Group, Inc. . PFC^{2D} user's manual[M]. Minneapolis; Itasca Consulting Group, Inc. , 2004.
- [7] 罗 勇,龚晓南,吴瑞潜. 桩墙结构的颗粒流数值模拟研究[J]. 科技通报, 2007, 23(6): 853-857.

收稿日期: 2012-09-12

(上接第 299 页)

3)综合对比分析本文极限端阻力标准值的取值范围与桩基规范中极限端阻力标准值的取值范围得出,较破碎中等风化极软岩的工程性质与强风化软质岩的工程性质相似;较破碎中等风化软岩的工程性质好于强风化硬质岩的工程性质但不如密实状态卵(碎)石的工程性质;较破碎中等风化较软岩的工程性质与密实状态卵(碎)石的工程性质相似;较破碎中等风化较硬岩的工程性质好于密实状态卵(碎)石的工程性质。同时分析了本文较破碎中等风化岩体 q_{pk} 取值范围的合理性。

参 考 文 献

- [1] 孔垂烛. 桩基规范中嵌岩桩竖向承载力计算方法[J]. 平顶山工学院学报, 2005, 14(6): 12-15.
- [2] 陈如连. 对桩基规范中 q_{pk} 的探讨[J]. 岩土工程学

报, 2011, 33(5): 831-832.

- [3] 李家奇,赵晓豹,李晓昭,等. 不同地区砂土中桩端承载力计算方法比较[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(5): 1007-1012, 1043.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ 94—2008. 建筑桩基技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [5] 重庆市建设委员会. DBJ 50—047—2006. 建筑地基基础设计规范[S]. 重庆: 重庆市建设技术发展中心, 2006.
- [6] 重庆市建设委员会. DBJ 50—043—2005. 工程地质勘察规范[S]. 重庆: 重庆市建设技术发展中心, 2005.

收稿日期: 2012-08-22