



斯里兰卡科伦坡南港集装箱码头的 工程地质特征

马峰, 黄文生

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东广州510230)

摘要: 对斯里兰卡科伦坡南港集装箱码头工程的地质特征进行分析, 重点对作为码头持力层的花岗片麻岩工程性质进行分析。探讨该类地层条件下土的物理力学指标的选用、压缩和变形的计算、遇水变软和崩解等问题, 为类似工程提供借鉴和指导。

关键词: 科伦坡南港; 土的工程特性; 花岗片麻岩

中图分类号: U 656.1[†]35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)07-0075-05

Geotechnical engineering features of Colombo south harbor container terminal in Sri Lanka

MA Feng, HUANG Wen-sheng

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: The geotechnical engineering features of the project of Colombo south harbor container terminal are analyzed, and especially the characteristics of granitic gneiss as the bearing stratum are analyzed. Some issues are discussed such as the selection of physical and mechanical parameters, the calculation of the compression and deformation, and the softening and disintegrating when soils meet water, and so on. It is hoped to provide the reference and guidance for the future work.

Key words: Colombo south harbor; geotechnical engineering; granitic gneiss

斯里兰卡科伦坡南港集装箱码头工程合同额约3.27亿美元, 码头岸线长1 200 m, 陆域面积58 hm², 设计吞吐量240万TEU, 项目建成后可容纳世界最大的集装箱船只。该工程的实施是中斯两国在交通基础设施领域深入合作的又一范例。

本文通过科伦坡南港工程地质勘察所取得的第一手资料, 重点对花岗片麻岩风化岩的结构特点及工程特征进行分析, 对其物理力学指标的取用和现场基槽验收的岩性判断有一定的指导作用。

1 区域地质概况^[1]

根据斯里兰卡区域地质资料, 斯里兰卡岛超过90%地区由片麻状变质岩组成, 按岩石类型

和变质程度不同, 分为3个主要地层和1个次要地层, 分别被叫做Highland复合层(包括2个先前的东部Vjiayan复合层)、Wanni复合层(包括先前的西部Vijayan复合层、Kadugannnawa复合层)。Highland复合层的线状弓形褶皱带边界被东部Vijayan复合层和西部Wanni复合层限制。

斯里兰卡Highland复合层由高品位的变质沉积岩和均匀的变质火山岩组成。变质沉积岩主要为石英岩、大理石、钙化硅酸盐岩、石榴石-silimanite-石墨片麻岩、石榴麻粒岩、紫苏花岗片麻岩。Highland复合层由西南至东北穿过岛屿中心形成一条宽阔的地带, 包括整个中央丘陵地区和部分北方平原。

收稿日期: 2013-05-13

作者简介: 马峰(1963—), 男, 工程师, 主要从事岩土工程勘察。

Vijayan复合层分布于中央Highland复合层的东部,由黑云母-角闪石片麻岩、方柱石变质沉积岩带、紫苏花岗片麻岩组成。Vijayan复合层的其它突出地质特征表现为东海岸附近出现少量的深层花岗岩和酸性花岗岩,其中含有北西倾向的粗粒玄武岩岩脉。

Wanni复合层由一组类花岗片麻岩、紫苏花岗片麻岩、花岗岩等组成,伴随有多种闪长岩,如作为主要成份或部分含量的变质沉积岩等。

东南洼地主要由多种片麻岩组成(因Bintenne而得名),由海岸一直延伸到丘陵地区南部和东部断崖处,从南部的Hambantota延伸到北部的Kalkudah。

该组典型岩石一种为黑白带状岩石,其中浅色带富集石英和长石,深色带富集角闪石和黑云母;另一种岩石类型为棕红色片麻状花岗岩。这种类型的片麻岩归因于粉红色长石,粉红色长石由存在于其中的微红色氧化铁的少量剥落物而成。其中棕红色片麻岩在沿西面海岸带大量出露。

本项目就在斯里兰卡西海岸的中部,属于冲刷型海岸地貌,其基岩主要为白色带状构造明显、呈斑状结构的黑云母花岗片麻岩,颜色大都为灰白色,局部为棕红色。基岩面埋藏较浅,周围近岸地段可见大片露头。

2 主要岩土层的工程地质特征

已有资料显示斯里兰卡中南部均为区域变质作用形成的黑云母花岗片麻岩、碱性长石片麻岩等,其基岩面埋藏浅,岩性为致密坚硬状,其表层风化带残积土、全风化及强风化岩分布广、厚度薄,其上覆第四纪沉积物以砂性土为主,淤泥、淤泥质土和软黏土等软弱土层分布范围不广,较少揭露。

2.1 岩土层的特征及分布情况

本次勘察揭露的地层,从上到下主要分布有:

② 淤泥:灰色,饱和,很软,滑腻,含少量细中砂及贝壳碎,稍具臭味。该层在场区表层局部分布,层厚较小,厚约1.2 m。

③₁ 砂混淤泥:灰色,饱和,松散,以中粗砂为主,混较多淤泥及少量贝壳碎。该层分布较广泛,层厚在3.2 m左右。

③₂ 中粗砂:灰色、灰黄色,饱和,松散,局部稍密。该层分布较广泛,层厚约3.8 m。

③₃ 中、粗、砾砂(混黏性土):灰色、浅灰色,饱和,稍密-中密,局部混较多黏性土,呈砂混黏性土状。该层分布较广泛,层厚约2.5 m。

③₄ 黏性土混砂:浅灰色、灰黄色,湿,可塑,局部硬塑,以黏性土为主,混较多砂或砾。该层在场区部分地段分布,厚度较薄,约1.3 m。

③₅ 淤泥质土:灰色,饱和,软塑,含腐殖质,黏性大。该层仅在场区局部地段分布,层厚约1.1 m。

④ 残积土:灰黄色、灰白色,湿,可塑-硬塑,岩芯呈黏性土或砂质粉土状,手捏易散,遇水易软化崩解。该层在场区部分地段分布,层厚约1.5 m。

⑤₁ 全风化花岗片麻岩:灰黄色、灰白色,稍湿,岩芯呈坚硬砂质黏性土状,原岩矿物已基本风化成土状,原岩结构尚可辨认,岩芯手捏易散,遇水易软化崩解。该层在场区局部分布,层厚约1.5 m。

⑤₂ 强风化花岗片麻岩:灰黄色、灰白色,稍湿,岩芯呈坚硬砾质黏性土状或半岩半土状,含较多中风化岩碎块,原岩结构清晰可辨,岩芯手折可断,遇水易软化崩解。该层在场区较广泛分布。

⑤₃ 中风化花岗片麻岩:灰白色夹灰黑色条纹,岩质较硬,花岗片麻结构,块状构造,岩芯一般呈碎块状及短柱状,裂隙较发育,裂隙面常见褐黄色铁锈斑渲染,锤击声较脆,分布范围较广泛。

⑤₄ 微风化花岗片麻岩:灰白色夹灰黑色条纹,岩质坚硬,花岗片麻结构,块状构造,岩芯一般呈柱状及长柱状,矿物组成主要为石英、长石、云母及石榴石,裂隙不甚发育,裂隙面偶见浅黄色物质渲染,锤击声清脆,分布范围广泛。

2.2 典型工程地质剖面

图1为该区的典型工程地质剖面图。从图1中

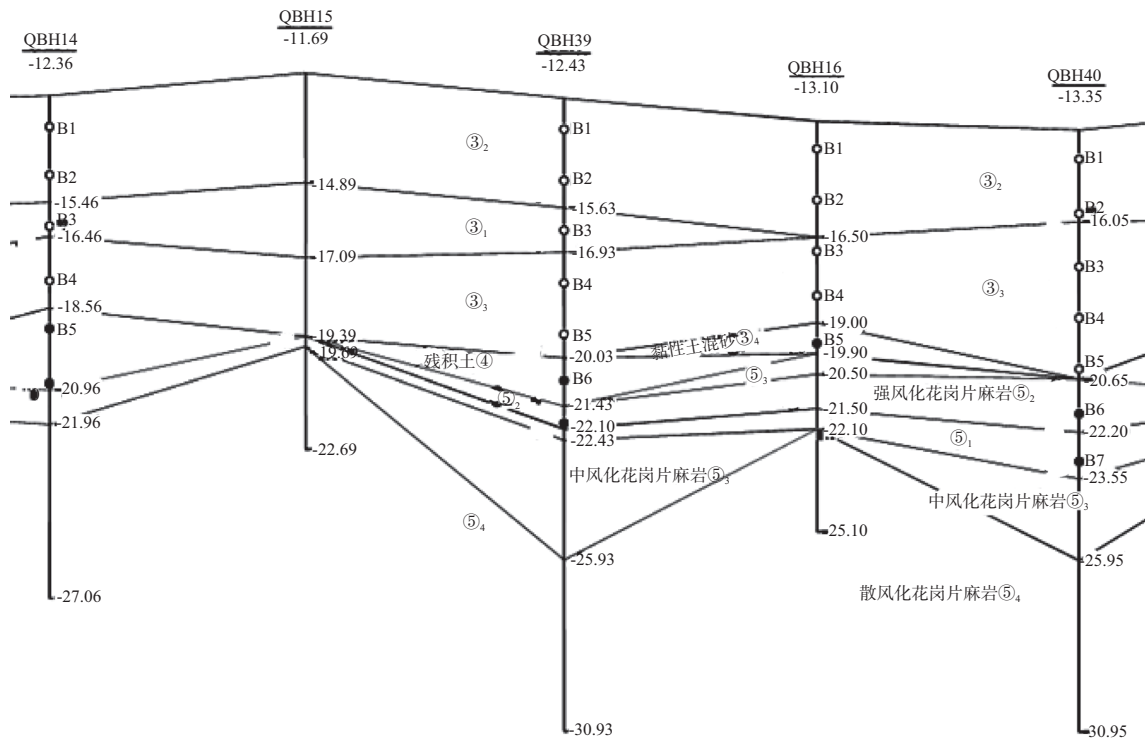


图1 典型地质剖面

可以看出, 该区基岩埋藏浅, 码头采用重力式基础是可行和经济的, 其中强风化、中风化和微风化花岗片麻岩是码头良好的地基基础持力层。

3 花岗片麻岩的工程特性

强风化花岗片麻岩作为可选的地基持力层, 由于自身的结构特点具有砂性土和黏性土的一些共同特征, 其物理力学指标的选用、压缩和变形的计算、遇水变软和崩解对基槽承载力的影响等问题的解决就显得尤为重要。

3.1 结构特点和岩性特征

1) 结构特点。

强风化花岗片麻岩主要由长石、黑云母、石英和少量角闪石等矿物组成, 由于风化不均匀, 存在粒径较粗的长石和颗粒较细的石英, 大部分地段往往存在球状风化的中风化碎块, 土质极度不均匀, 其岩芯表现为: 砂混黏性土状、黏性土混砂状、粉土状和半岩半土状。这对现场取样和室内土工试验的制样及试验造成较大的影响。

2) 岩性特征。

长石虽然表面看起来粒径大, 但是在外力作

用下和温度变化的影响下, 如钻进过程中钻具进行干烧取芯, 会产生比较高的温度, 这样, 长石马上会融化成粒径很小的高岭土, 而随着外力的增加, 在石英结构不变的情况下, 高岭土会随着石英的骨架快速溜走。这样, 在物理性质不变的情况下, 其力学性质就会明显下降, 主要体现在 C 值的增加和 ϕ 值的减少上。当然, 由于其颗粒的特殊性和土质的不均匀性, 也造成其压缩性的偏大, 主要体现在压缩系数的偏大上。由于长石容易风化成高岭土, 高岭土又具有极强的亲水性, 所以当花岗片麻岩风化层遇水时会马上变软、崩解, 强度也会马上降低。

3.2 现场取样及室内试验方法

1) 现场取样。

无论是国内标准、英国标准还是欧洲标准, 对于强风化岩的取样都没有明确有效的方法, 最好方法是采用三重管的取土器, 但是实际上也不能取到 1~2 级原状样。这是目前国内普遍存在的情况。本工程对强风化岩取样是采用三重管的美兹取土器进行的。首先由于土层不均且大部分风化层均有球状风化现象, 很多美兹取样管未能

装满土样，造成并加大了土样的扰动性。其次，由于风化层大部分地段较薄，当美兹取土器进入土层到一定深度时，可能就到基岩了，本来该取的土样就只能取到一半或者干脆就取不到，由于风化岩取样不易，为了增加该层土样做快剪指标，在干钻过程中，对一些好的芯样给予提取，但由于钻进过程中产生高温、高压，会使土样发生变化，力学指标发生偏差。

2) 室内试验方法。

由于强风化花岗片麻岩较粗的颗粒，室内试验制样不便，有时甚至制不成样。其次，由于试样粗细颗粒悬殊，容易产生应力集中点，变形加大，力学指标随之降低，容易增大指标的离散性。

直接快剪试验由于不能够很好的解决排水条件，很多情况下出现了边剪切边固结排水的情况，造成C值的偏低和φ值的偏高。所以目前对强风化土层比较好的室内试验方法是进行三轴剪切试验。但是，基于强风化土的特殊性、土工试验制样的局限性和读数过程的波动性，使得三轴剪切试验提供的指标也存在C值偏大、φ值偏小的问题（图2）。

3.3 容许承载力分析

根据现场标准贯入试验结果，强风化花岗片

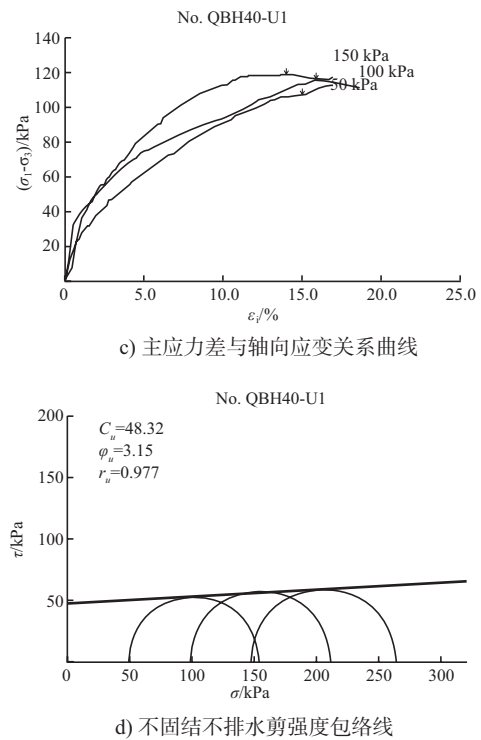
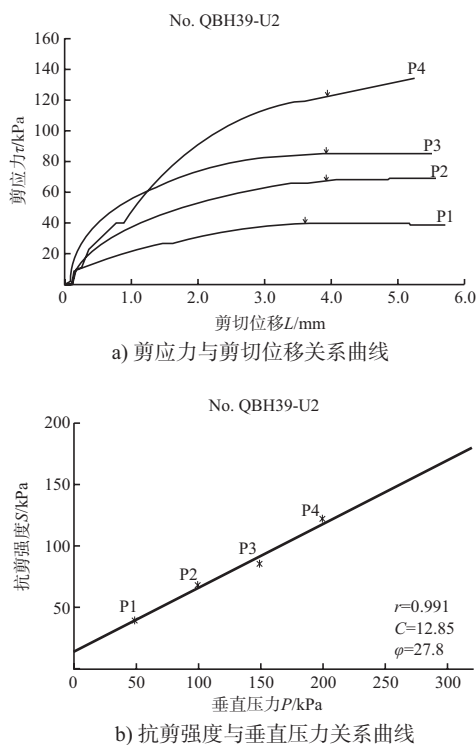


图2 强风化花岗片麻岩的室内试验成果

麻岩的标贯击数 $N > 50$ 击，且岩性大都呈半岩半土状，其地基承载力较高，可按 $f_a = 700$ kPa取值。

对中风化和微风化花岗片麻岩，根据国标 GB 50007—2002规范，对完整、较完整和较破碎的岩石地基承载力特征值（即容许承载力），可根据室内饱和单轴抗压强度计算，室内试验指标见表1。

$$f_a = \Psi_r f_{rk} \quad (1)$$

式中： f_a 为岩石地基承载力特征值（kPa）； f_{rk} 为岩石饱和单轴抗压强度标准值（kPa）； Ψ_r 为折减系数。

Ψ_r 可根据岩体完整程度以及结构面的间距、宽度、产状和组合，由地区经验确定。无经验时，对完整岩体可取0.5；对较完整岩体可取0.2~0.5；对较破碎岩体可取0.1~0.2。在这里，对中风化取 $\Psi_r = 0.1$ ，对微风化，取 $\Psi_r = 0.2$ 。

$$f_{rk} = \Psi f_{rm} \quad (2)$$

其中 $\Psi = 1 - (1.704/\sqrt{n} + 4.678/n^2) \delta$ (3)
 式中： f_{rm} 为岩石饱和单轴抗压强度平均值(kPa)； Ψ 为统计修正系数； n 为试样个数； δ 为变异系数。

根据表1统计计算：

中风化： $\Psi = 0.77$ ， $f_{rm} = 67.65$ MPa，

表1 岩石单轴饱和抗压强度试验结果

岩样编号	深度/m	饱和状态抗压强/MPa	岩石名称	统计情况
QBH16-Y1	9.00 ~ 9.33	31.5	中风化	统计个数 (n): 6
QBH31-Y1	10.65 ~ 10.90	99.3	中风化	最大值(max): 99.3
QBH37-Y1	12.80 ~ 13.12	63.4	中风化	最小值(min): 31.5
QBH37-Y2	15.20 ~ 15.38	99.3	中风化	平均值(c_p): 67.65
RBH03-Y1	10.78 ~ 11.00	46.7	中风化	标准差(σ): 27.46
RBH06-Y1	8.00 ~ 8.20	65.7	中风化	变异系数(δ): 0.41
QBH06-Y1	5.90 ~ 6.20	133.2	微风化	统计个数 (n): 6
QBH08-Y1	3.10 ~ 3.30	142.5	微风化	最大值(max): 155.6
QBH32-Y1	13.0 ~ 13.27	129.0	微风化	最小值(min): 113.8
QBH34-Y1	6.61 ~ 7.00	132.7	微风化	平均值(c_p): 134.47
QBH44-Y1	7.30 ~ 7.70	155.6	微风化	标准差(σ): 13.95
YBH07-Y1	8.80 ~ 9.20	113.8	微风化	变异系数(δ): 0.10

$f_a=0.77 \times 0.1 \times 67.65=5.209 \text{ MPa}=5\ 209 \text{ kPa}$ 。

微风化: $\Psi=0.94$, $f_{rm}=134.47 \text{ MPa}$,
 $f_a=0.94 \times 0.2 \times 134.47=25.28 \text{ MPa}=25\ 280 \text{ kPa}$ 。

4 结语

1) 由于强风化花岗片麻岩的特殊结构, 其室内试验取得的物理力学指标都存在离散性偏大问题, 相对来说, 标贯试验受外来扰动影响较小, 更能体现地层的原位强度, 以现场标准贯入试验击数作为设计依据是合适的。当然, 对以后其他相关工程, 也可以考虑采用其他现场原位测试方法来取得, 如旁压试验, 能够取得弹性模量和其他力学指标。

2) 半岩半土状风化岩试验强度往往反映的是软弱结构面的强度而不是土样骨架强度, 而试样中的软弱结构面在现场并不是贯通的。另外由于土样颗粒大小不匀, 制样过程中易形成空隙, 产生应力集中点。所以强风化岩的实验室强度往往比实际强度偏小。

3) 由于长石容易风化成高岭土, 高岭土又具

有极强的亲水性, 所以当强风化花岗片麻岩遇水时会马上变软、崩解, 强度也会马上随之降低, 这对码头基槽的开挖造成较大影响。按照相关工程经验, 为防止基槽底浸水变软影响承载力, 一般采用边挖基槽边抛石的施工方法, 最大限度减少基槽底的过水面积, 提高地基的承载力。

4) 对砂混淤泥层, 从施工现场开挖出来的土性来看, 其中下部大部分地段淤泥含量很少, 基本是中粗砂为主, 局部混有较多贝壳碎片, 水上、水下天然坡角应大于 30° , 作为护岸的天然地基持力层应该是可行的。

参考文献:

- [1] 斯里兰卡港务局. 斯里兰卡国家区域地质资料[R]. 斯里兰卡: 斯里兰卡港务局, 2008.
- [2] GB 50021—2001 岩土工程勘察规范[S].
- [3] 《工程地质手册》编委会. 工程地质手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.

(本文编辑 郭雪珍)