

香港全风化花岗岩的固结特性

赵建军¹,王思敬²,尚彦军²,岳中琦³

(1. 河海大学土木工程学院,江苏 南京 210098; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100029;
3. 香港大学,香港)

摘要 对采自香港地区全风化花岗岩原状土样进行了固结试验研究,结果表明:其先期固结压力及超固结比明显偏大,且先期固结压力在深度上表现出异常现象;在固结压力持续增加的条件下,3 种土的压缩系数和固结系数逐步减小,开始减小速率比较大,之后趋于平缓,呈近似负指数关系,但压缩系数的变化幅度比固结系数大;全风化花岗岩由于风化所产生的特殊的物理、化学及矿物成分变化和所具有的结构强度是造成其固结特性的主要原因。

关键词 全风化花岗岩 固结 先期固结压力 超固结比 固结系数

中图分类号 :P584 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2005)01-0085-04

香港地区陆地总面积约为 1 075 km²,基岩及其残积土的分布面积占 80% 以上,其中火山岩及其残积土分布面积占 48%,花岗岩及其残积土分布面积占 28%^[1,2]。全风化花岗岩是花岗岩体在物理、化学及生物等风化营力作用下,使其结构、成分、性质等产生了不同程度变异的岩石。风化岩具有“似土非岩”的性质,其性质与原岩完全不同,但与一般沉积土体亦有很大差别。为探明全风化花岗岩的固结特性及造成这些特性的本质因素,用香港九龙地区 2 个场地的 3 个探坑中大量的原状样品进行了化学、矿物和微结构及力学性质等分析研究。

1 全风化花岗岩的固结试验

试验土样采自香港九龙观塘(KT)的 1 个探坑和石硤尾(SKM1 和 SKM2)的 2 个探坑。石硤尾边坡出露的核石为红褐色中粗粒半自形黑云花岗岩。全风化土体中有残留的缓倾原生冷凝面、中等倾斜的剪节理。前者呈灰黑色条带,后者呈褐黄色条斑结构。样品开挖容易,风干后成散土状。观塘所采样品为褐黄色细粒全风化花岗岩,夹有粗大钾长石斑晶条块。探坑中见有 1 组剪节理和 1 组张节理。样品较硬,切削不易且易沿着陡倾节理面张开。

原状土样的主要粒度成分及物理指标见表 1。按粒度组成,观塘的样品,在粒径上差别很大,在取样深度范围内基本是自上而下风化减弱,粒度变粗,黏粒含量减少,按粒度划分逐步从粉细砂过渡到砾砂。游离氧化物含量较多。石硤尾的样品粒度相对于观塘较细,黏粒和游离氧化物含量较多,其中游离氧化铁的含量明显增多。

探坑中所取的土样为 30 cm × 30 cm × 30 cm 的立方体,固结试验所用的土样用环刀在探坑土样中切取。所取土样必须完全充满固结环刀,环刀两端必须修平,遇到有凹坑存在的地方要用所切下的土填补、压实,但尽可能地避免凹坑存在,以免影响测量结果的准确性。土样直径为 61.8 mm,高 20 mm,每组试验取 1 个土样。土样采用抽真空方法进行饱和,真空压力为 1 个标准大气压,抽完真空后浸水饱和 10 h 以上。试样饱和后移至固结容器内,并向固结容器内注满蒸馏水。由于固结试验历时较长,在整个试验过程中水分蒸发较大,因此在试验过程中适当向固结容器内补充蒸馏水。

由于国内目前尚没有针对风化岩的试验标准,因此原则上以 GB/T50123—1999《土工试验方法标准》为主。考虑到风化花岗岩的特殊性,同时参照香港地区的 CDG 力学试验方法^[3],用快速固结法进行试验。

表 1 全风化花岗岩的物质组成

Table 1 Composition of CDG

样品号	深度 /m	粒度成分/%					物理化学性质				
		> 2 mm	2 ~ 0.05 mm	0.05 ~		< 0.002 mm	游离氧化物含量/%			pH 值	比表面积/ (m ² ·g ⁻¹)
				0.005 mm	0.002 mm		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃		
KT06	0.9 ~ 1.2	8.45	85.81	1.73	0.39	3.61	2.29	0.28	1.78	5.36	48.73
KT10	1.8 ~ 2.1	47.25	48.05	1.45	0.25	3.00	2.51	0.43	1.93	5.84	47.86
SKM1-06	2.1 ~ 2.4	47.05	44.15	5.30	0.63	2.88	2.94	0.83	2.12	4.89	79.35
SKM1-07	2.7 ~ 3.0	45.62	45.21	5.51	0.64	3.02	2.50	0.78	1.84	4.55	81.43
SKM2-01	0.2 ~ 0.5	31.16	47.93	10.72	2.81	7.38	2.43	1.16	1.87	4.50	81.67
SKM2-05	1.7 ~ 2.0	22.21	65.03	7.45	1.15	4.16	3.56	1.07	2.93	4.60	76.79

2 全风化花岗岩的固结特性及成因分析

2.1 先期固结压力

土的先期固结压力,传统理论是指天然土层在历史上所经受过的最大的固结压力(用 P_c 表示).确定 P_c 最常用的方法是卡萨格兰德建议的经验作图法. P_c 与现有土的有效覆盖压力(自重应力)之比称为超固结比,记作 OCR ,用来定量描述土的天然压密状态.按照 P_c 与现有压力相对比的状况,可将土分为正常固结土、超固结土和欠固结土 3 类.笔者对这 3 类土进行了高压固结试验,并用卡萨格兰德建议的经验作图法计算了其先期固结压力,结果见表 2.

试验结果表明,3 类土的先期固结压力及 OCR 值明显偏大,依固结类型的定义均属“超固结土”.其中观塘土样的先期固结压力及 OCR 值最大,SKM1 的较小,SKM2 居中.此外,其先期固结压力在深度上表现出异常现象,即先期固结压力不随深度的增加而增加,而是随深度的增加而减小, OCR 值也表现出如王清等^[4]所述的自上而下逐渐减小的趋势.总体来说,土的先期固结压力呈现出一定程度的无规律性.

土的性质与其成因有密切联系,而经历了一系列变化的土必然有与之相适应的组成和结构,这就决定了在不同历史阶段和特定环境下土的独特性质.因而对造成全风化花岗岩先期固结压力及 OCR 值异常的原因,必须从土的成因上进行分析.先期固结压力只不过是一个压力界限,超过其限值的压力会使土的压缩性剧增.先期固结压力的存在或超固结性状的成因可归结为应力历史的和非应力历史的 2 类.前者,最常见的是覆盖层的剥蚀,其他还有人工挖土减压或地基预压堆载的卸除、冰川消融、地下水长期下降后回升及靠近地表的土层干缩等;后者则有土粒间的化学胶结、孔隙水离子成分改变、土体次固结和老化等.非应力历史成因的超固结土的先期固结压力称为似(或准)先期固结压力.现场地质调查显示,所取土样均为浅表地层的,在探坑内,未见覆盖层的剥蚀及地层的变动,该地层是同一地质时期形成的,因此超固结形状不是由于应力历史成因造成的,而应归结于非应力历史成因.

土的 P_c 值不仅能反映土的受荷历史、后生变化、胶结强度等,而且在某种程度上能综合反映土的力学性质.因此, P_c 值不仅取决于土的自重应力,还取决于土本身的因素、物质组成和形成环境等.这些因素具体表现在粒度、矿物成分、交换离子类型及含量、游离氧化物、结构类型、含水量、围压和温度等,其中最重要的是成分和结构.

对于全风化花岗岩来说,原岩在风化营力的作用下,结构、成分、性质等产生不同程度的变异,其原岩结构已不清晰.研究表明^[5],尽管花岗岩由于富含硅而难以化学风化,但在香港地区炎热、湿润、多雨的气候条件下,在长期的水岩化学作用和生物化学作用下,仍可导致岩石化学成分、矿物成分、岩石组构和结构发生变化.岩石的化学风化作用首先表现为硅铝酸盐矿物的水解、水化作用,即首先发生碱金属(K,Na)和碱土金属(Ca,Mg)离子的水解淋失(由于离子半径不同,Na⁺,Mg²⁺,Ca²⁺的水解和淋失要比 K⁺ 容易得多).在低价金属离子水解淋失的同时,伴生了硅铝酸盐矿物(如长石、云母、角闪石等)脱硅作用的发生,使长石、云母、角闪石转化成伊利石、蒙脱石、绿泥石等黏土矿物.在近地表氧化带岩石中 Fe²⁺ 水解并迅速氧化成高铁的氧化物

表 2 先期固结压力和超固结比

Table 2 Preconsolidation pressure and overconsolidation ratio

样品号	深度/m	P_c /kPa	OCR
KT06	0.9 ~ 1.2	290.3	12.10
KT10	1.8 ~ 2.1	271.9	6.47
SKM1-06	2.1 ~ 2.4	136.8	3.68
SKM1-07	2.7 ~ 3.0	128.9	2.15
SKM2-01	0.2 ~ 0.5	284.6	28.46
SKM2-05	1.7 ~ 2.0	182.7	4.57

和氢氧化物,并由于其化学惰性而残留在风化壳的表层. Si^{4+} 水解水化成 SiO_2 胶体并向地下迁移,水解水化作用进一步发生而使介质呈酸性.在酸性环境下,造成大量高岭石和埃洛石的形成.

通过 X 射线衍射分析,得到 3 类土的黏土矿物含量,见表 3.在酸性环境下,游离氧化物对颗粒集合体(主要是 0.01 ~ 0.005 mm 粒径的颗粒)有很强的胶结作用^[6].黏土矿物颗粒表面是带负电的,这使得它能够吸引阳离子及其他极性分子,因此其吸附能力与其阳离子交换量成正比.由于黏土矿物是很细小的扁平颗粒,颗粒表面具有很强的与水相互作用的能力,表面积越大,这种能力就越强,故其吸附能力与比表面积密切相关.在酸性环境下,游离氧化物带有正电荷,与带负电荷的黏土矿物相互吸引形成黏土颗粒团粒.这些颗粒团粒又有可能环绕较粗的颗粒而形成薄膜,或者可以作为粗粒部分所形成的孔隙中的填充料,这种作用使土体具有较大的结构强度,造成风化花岗岩 P_c 值和 OCR 值偏大.

可以说,风化花岗岩中的黏粒含量、黏土矿物含量、游离氧化物的含量、阳离子交换量、比表面积这几种因素造成其 P_c 值和 OCR 值偏大,但如何定量分析其影响大小及各影响因素之间的关系仍需进一步研究.

2.2 压缩系数和固结系数

固结试验表明,3 种土的压缩系数和固结系数在固结压力持续增加的条件下会逐步减小,开始减小速率比较大,之后趋于平缓,呈近似负指数关系.在高压下,都有一平直段,说明其固结特性在高压下趋于稳定,并逐步趋于一个稳定值(图 1、图 2).但固结系数降低的幅度明显小于压缩系数.

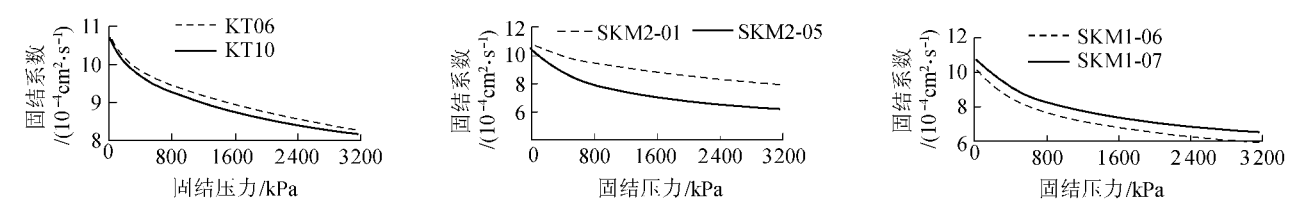


图 1 固结系数与固结压力的关系

Fig.1 Relation between the coefficient of consolidation and pressure

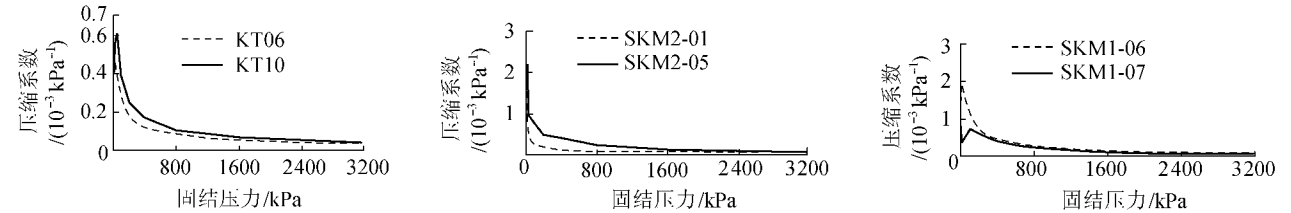


图 2 压缩系数和固结压力的关系

Fig.2 Relation between the coefficient of compressibility and pressure

花岗岩基岩在氧、水和溶于水中的各种酸的作用下,母岩遭受氧化、水解、水化、溶解和碳酸化等作用,母岩的矿物成分和化学成分会发生本质的变化,斜长石、正长石和黑云母经风化主要变为高岭土.石英经物理作用发生机械破碎,但矿物成分不变或变化很小.这种破碎或分离不发生相对移动,所以,原结构很少发生变化.因此,风化花岗岩具有明显的结构性.正因为风化花岗岩具有明显的结构性,使得它具有一定的结构强度.全风化花岗岩结构强度的存在可以很好地解释它的压缩系数和固结系数随压力变化的情况.结构强度主要取决于矿物成分,花岗岩中长石经化学风化(水解作用、碳酸化作用等)向黏土矿物转化.长石风化后,产生游离的铝硅酸(高岭石等)、可溶性的碳酸盐和二氧化硅,这些微粒矿物成分经过长期的物理、化学作用,在粗颗粒的长石、石英的接触面或点处产生胶结物,这些胶结物使风化岩具有较大的结构强度.

正常压密状态中压力和密度的一一对应关系,反映了压力引起压密作用的成效,这就是压力对压密的有效性.在较低压力时,由于土体孔隙较大,孔隙度高,结构相对疏松,因此其压缩系数很高,随着压力的增大,

土体逐步被压密,结构强度也逐步遭到破坏,压缩系数迅速降低并趋于稳定.由于土体具有结构强度,土骨架刚度增大,降低了压力对土的压密作用,在单向固结压力较低时,固结压力在压密土体的同时还会破坏土体结构强度并导致结构坍塌,这使得压缩系数比高压时时要大,但压密土体必须克服土体的结构强度,这一过程无疑使固结稳定的时间延长了,因此固结系数的降低速率就没有压缩系数表现得那么明显.当单向固结压力增大到能完全克服土体的结构强度时,压缩量的变化会逐步趋稳,同时土体内几乎不存在结构强度,固结压力的作用也就主要表现为改变土体的孔隙大小和分布,与低压力时相比,这一过程所需时间逐步降低且趋于稳定,表现在固结系数上,就是在固结压力持续增加的条件下固结系数会逐步减小,开始减小速率比较大,之后趋于平缓.李作勤^[7,8]认为,结构强度的存在会使土的力学指标不随固结压力线性增长,单位固结压力下的力学关系是不归一的,且结构强度越大,离开“归一化”性状就越远.笔者认为,随着固结压力增大,结构强度会逐步被破坏,力学性指标与固结压力的关系将逐步趋于“归一化”.

3 结 论

通过对采自香港地区2处边坡3个探坑中6组全风化花岗岩原状土样的固结试验,得出如下结论:

- a. 先期固结压力及超固结比明显偏大,且先期固结压力在深度上表现出异常现象.这种异常现象不是由于应力原因造成的,而是由于花岗岩在风化过程中所形成的特殊成分和结构所造成的.主要影响因素为风化花岗岩中的黏粒含量、黏土矿物含量、游离氧化物的含量、阳离子交换量、比表面积等.
- b. 在固结压力持续增加的条件下,3种土的压缩系数和固结系数逐步减小,开始减小速率比较大,之后趋于平缓,呈近似负指数关系,但压缩系数的变化幅度比固结系数大.这种压缩性特点是全风化花岗岩经历风化作用所产生的结构强度造成的.

参考文献:

- [1] 曲永新,吴宏伟,尚彦军.华南花岗岩残积土红土化程度的地带性与香港该类土不发育的原因[J].工程地质学报,2000,8(1):16—20.
- [2] 尚彦军,吴宏伟,曲永新.花岗岩风化程度的化学指标及微观结构特征对比——以香港九龙地区为例[J].地质科学,2001,36(3):279—294.
- [3] Geospec 3—2001 Model specification for soil testing[S].
- [4] 王清,陈剑平,蒋惠忠.先期固结压力理论的新认识[J].长春地质学院学报,1996,26(1):59—63.
- [5] 吴宏伟,尚彦军,曲永新.香港花岗岩风化分级化学指标体系与风化壳分带[J].工程地质学报,1999,7(2):125—134.
- [6] 罗鸿禧.游离氧化铁对红色黏土工程性质的影响[J].岩土力学,1987,8(2):29—36.
- [7] 李作勤.关于黏土压密类型的鉴别问题[J].岩土工程学报,1984,6(1):67—78.
- [8] 李作勤.有结构强度的欠压密土的力学性质[J].岩土工程学报,1982,4(1):34—45.

Consolidation characteristics of completely decomposed granite in Hong Kong

ZHAO Jian-jun¹, WANG Si-jing², SHANG Yan-jun², YUE Zhong-qi³

(1. College of Civil Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;

2. Institute of Geology, CAS, Beijing 100029, China; 3. Hong Kong University, Hong Kong)

Abstract Based on consolidation tests of 3 kinds of Completely Decomposed Granite (CDG) from Hong Kong, some conclusions are drawn: the values of preconsolidation pressure and overconsolidation ratio are extremely large; the preconsolidation pressure shows abnormal variation with the buried depth of soil; the consolidation coefficient and the compressibility coefficient decrease with the increase of the normal pressure; the relation between the normal pressure and the coefficients of consolidation and compression demonstrates an approximate negative exponential function; the main factors causing the consolidation of SDG lie in the special mineral constituents, chemical composition and structural strength due to weathering.

Key words Completely Decomposed Granite (CDG); consolidation; preconsolidation pressure; overconsolidation ratio; coefficient of consolidation