

· 室内试验 ·



港珠澳大桥西人工岛室内试验结果比对及分析

郭玉华, 祝刘文, 翁奕

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东广州 510230)

摘要: 通过对港珠澳大桥西人工岛精细化勘察和常规勘察获得的各种室内抗剪强度试验结果的对比分析, 研究不同勘察工艺造成原状样的抗剪强度差异的原因, 并分析总结各种强度之间的差异性和关联性, 为后续研究该地区的黏性土强度提供参考。

关键词: 港珠澳大桥; 黏性土; 室内试验; 抗剪强度; 比对与分析

中图分类号: TU 413

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)07-0090-05

Comparison and analysis of laboratory test results for west artificial island of Hong Kong-Zhuhai-Macau bridge

GUO Yu-hua, ZHU Liu-wen, WENG Yi

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

Abstract: According to the comparison of different shear strength test results gained from fine and common soil investigation in west artificial island of Hong Kong-Zhuhai-Macau bridge, we analyze the difference of shear strength caused by sampling methods, and analyze the correlation and otherness of different shear strengths, which provides a reference for the shear strength of cohesive soil in future research.

Key words: Hong Kong-Zhuhai-Macau bridge; cohesive soil; laboratory test; shear strength; comparison and analysis

港珠澳大桥工程岛隧项目是港珠澳大桥项目的控制性工程, 而设计团队为中国交通建设集团联合体, 所采用的岩土设计参数必须来源于精细化勘察获得的准确可靠的试验数据, 才能保证设计精益求精。由中交第四航务工程勘察设计院有限公司承担本次岛隧工程地质勘察, 投入了大量的人力和物力, 采用国际标准的船机、原位测试和室内试验等设备, 并在室内试验过程中与设计保持良好沟通, 做到尽量模拟现场边界条件进行试验, 所获得的试验结果得到了中外专家的一致好评。在此基础上, 收集了前期在西人工岛采用常规勘察方法完成的土工试验资料, 结合本次精细化勘察所取原状样的室内试验结果进行比对分

析, 总结不同勘察工艺对取土质量的影响、造成抗剪强度的偏差及各种室内强度试验结果之间的差异性和关联性, 并对该地区的土质特点及指标的合理性等问题进行探讨。

1 土的物理指标

表1是港珠澳大桥工程西人工岛项目前期常规勘察和本次精细化勘察的土层划分和物理指标统计结果对比, 表中各土层的含水量对比是接近的, 由于取土位置的差异, 小的偏差难免存在; 比重指标本次数据是通过大量实测后统计的结果, 以前数据是根据港工规范给出的经验数值; 液性指数反映土的物理指标与力学指标的间接关

收稿日期: 2013-05-13

作者简介: 郭玉华(1959—), 男, 高级工程师, 主要从事岩土测试及技术管理工作。

系,对于同一类土来说,液性指数越低,土质越硬,抗压强度越大,本地区的液性指数相对于力学指标,整体偏大;液塑限指标用于土类划分,结合含水量指标和土壤成因,能够全面体现土体

的状态。各土层的物理指标基本上反映了两次钻探划分的土层是接近的,具有可比性。至于塑性指数的差异,原因在于人为因素造成偏差,但不影响土层的划分。

表1 土的物理指标

土层编号	深度/m	定名	常规勘察						精细化勘察					
			W/%	$\rho/(t \cdot m^{-3})$	G_s	$S_r/\%$	$W_L/\%$	I_p	W/%	$\rho/(t \cdot m^{-3})$	G_s	$S_r/\%$	$W_L/\%$	I_p
① ₁	-7.84 ~ -11.59	淤泥	71.8	1.54	2.74	98.5	45.7	21.8	73.3	1.56	2.69	98.9	46.7	17.5
① ₂	-11.67 ~ -18.13	淤泥	62.9	1.57	2.74	96.8	45.8	22.0	61.3	1.62	2.69	97.5	45.6	18.3
① ₃	-18.19 ~ -30.96	淤泥质土	48.9	1.68	2.74	97.3	42.7	20.6	49.3	1.71	2.69	97.6	42.7	16.4
② ₁₋₁	-29.17 ~ -32.24	粉质黏土	26.2	1.92	2.72	95.0	29.0	13.1	27.5	1.93	2.71	93.3	31.0	11.4
③ ₂	-36.15 ~ -43.81	粉质黏土夹砂	31.5	1.83	2.72	95.3	30.5	13.5	33.0	1.86	2.70	95.9	32.5	11.0
③ ₃₋₁	-33.23 ~ -38.96	粉质黏土	30.4	1.86	2.72	95.1	31.4	13.9	33.9	1.85	2.70	96.9	34.9	13.1

2 直剪快剪的比对

直剪快剪(q)、三轴不固结不排水剪切(UU)及无侧限抗压试验(q_u)是直接反映原状土体力学强度的常规指标。由于直剪仪操作简便,模拟现场滑动破坏的原理清晰以及对该指标的应用历史悠久,积累了丰富的经验,所以前后两次该地区土层的土工试验,直剪快剪仍是基本指标之一。本次比对直接采用地质报告的土层分层及统计结果并计算两次试验的差异程度,见表2。

表2 直剪快剪抗剪强度 τ 值

土层编号	常规勘察/精细化勘察/		变化幅度/ %	P/kPa
	kPa	kPa		
① ₁ 淤泥	5.7			
① ₂ 淤泥	9.1	19.5	114	100
① ₃ 淤泥质土	17.7	29.5	67	100
② ₁₋₁ 粉质黏土	50.5	77.0	53	200
③ ₂ 粉质黏土夹砂	83.1	96.1	16	200
③ ₃₋₁ 粉质黏土	58.4	100.1	71	200
③ ₃₋₂ 粉质黏土	54.5	100	83	200

注: $\tau=C+P^* \tan \phi$ 。

表中①层为软土层,下卧②₁, ③₂, ③₃层为粉质黏土,局部夹粉细砂。①₁层由于将开挖,本次土工试验无统计指标。①₂为淤泥,土质软弱,极易扰动,本次新的钻探工艺在此层的土样抗剪强度指标提高幅度最大。①₃层为淤泥质黏土,土质抵抗扰动的能力稍强,强度指标提高的幅度相对较小。②₁和③₂层分别为53%和16%。③₃₋₁和③₃₋₂

层深度已达30 m以下,传统的钻探工艺对取土的扰动较大,所以此次取土工艺的优势也得到了明显的体现,分别提高了71%和83%。

从表1和表2的物理指标及强度随深度的分布情况来看,精细化勘察取得的土样的直剪快剪试验指标相对合理。另一方面,也反映了抗剪强度提高的程度除了与土质的抗扰动性有关外,同时还与取土深度等因素有关。

3 直剪快剪和三轴不固结不排水强度的比对

新的规范明确规定渗透系数大于 10^{-6} cm/s的土质不宜采用直剪试验,在国际上三轴仪基本上代替了直剪仪的操作,所以三轴UU指标的应用及经验积累已是发展的趋势。本次港珠澳大桥项目由于采用中英标双规范,除了直剪试验外,同时进行了大量的三轴剪切试验,因此为本次的三轴UU与直剪快剪比对创造了条件,对比结果见表3。

表3反映了如下问题:与常规勘察试验结果比较,不论是 C_q 和 ϕ_q ,还是 C_{uu} 和 ϕ_{uu} 指标,精细化勘察的指标均大于常规勘察。当然 C 和 ϕ 值的大小,除了与土质本身的抗剪强度有关外,还与竖向荷重组合有关。同样的土质,不同的竖向荷重序列, C 和 ϕ 值有一定的差异。荷重序列越大,高灵敏度的黏性土 C 值越大, ϕ 值越小,甚至可能出现负值;对于易排水的土质,情况则相反。所以 C 和 ϕ 值是相对参数,无法进行直接比对,其合理性必

表3 室内试验不排水剪切强度对比

土层编号	直接剪切试验				三轴不固结不排水剪试验			
	精细化勘察		常规勘察		精细化勘察		常规勘察	
	C/kPa	$\varphi/(\circ)$	C/kPa	$\varphi/(\circ)$	C/kPa	$\varphi/(\circ)$	C/kPa	$\varphi/(\circ)$
① ₁ 淤泥			5.5	0.1			6.9	0.1
① ₂ 淤泥	12.5	4.0	8.2	0.5	11.8	2.5	9.8	0.1
① ₃ 淤泥质土	25.7	2.2	13.7	2.3	24.4	1.2	15.9	1.0
② ₁₋₁ 粉质黏土	41.4	10.1	24.5	7.4	26.8	4.6	23.0	2.9
③ ₂ 粉质黏土夹砂	31.1	18.0	25.0	16.2	50.0	1.1	29.3	5.9
③ ₃₋₁ 粉质黏土	27.7	19.9	20.2	10.8	35.5	2.6	26.4	4.3
③ ₃₋₂ 粉质黏土	48.8	14.3	25.0	8.4	64.5	5.2	30.8	2.5

须考虑竖向荷重的组合, 考虑样品所在土层的深度、附加应力以及前期固结压力等因素。

对于①层的软黏土, 精细化勘察和常规勘察获得的 C_q 和 φ_q 参数与 C_{uu} 和 φ_{uu} 参数差值均很小(0~1.7)。实际上影响软土直剪强度的不合理因素较其它土质相对较小。主要原因: 1) 软黏土排水性差, 渗透系数 K 一般小于 10^{-6} cm/s; 2) 灵敏度较高的黏性土, 小应变下抗剪强度即接近最大值, 直剪仪应力分布不均的缺陷对其影响不大; 3) 土质抗剪强度低, 对仪器的反作用有限, 能形成较好的剪切面。综上所述, 两次钻探各获得软土层的直剪快剪(q)与三轴不固结不排水剪切(UU)强度指标较接近, 说明软土的快剪试验可代替三轴UU试验。

在应用一些国外试验室三轴指标时发现, 对于软土层的不固结不排水剪切的 φ 值均取值0。从理论上讲软黏土的剪切位移不存在颗粒间的咬合作用, 取0值有一定的道理, 但实际上UU试验存在数值不大的 φ 值。软黏土的抗剪强度主要体现在粘聚力或有效应力, 在一定范围内, 增加围压能提高粘聚力, 当围压大于土的前期固结压力 P_c 时, 土体结构开始部分破坏, 抗剪强度随之下降, 所以只要围压不大于前期固结压力, 一般都会有一定的 φ 值存在。

软黏土下卧的土层(②₁, ③₂, ③₃层)属粉质黏土(局部夹粉细砂), 塑性指数 I_p 在11~14。此类土直接剪切时往往出现排水现象。竖向荷载越大, 土质压密排水的现象越明显, 抗剪强度因此提高。根据经验, 此层土质除了排水影响因素外, 还存在直剪仪应力分布不均匀和剪切面收缩, 造成

小的竖向荷载下抗剪强度偏低等影响因素。所以直剪结果与三轴UU比对存在 C 值较低、 φ 值偏大的不合理结果。建议此类土质采用三轴指标。

4 直剪固快的比对

直剪固快(C_q)是一组样品在仪器上进行不同的竖向荷载下固结, 沉降稳定后进行快剪的试验。当样品进行剪切的时候, 各样品的物理状态是不同的。对于黏性土, 存在土颗粒间结构破坏的压力, 一般称之为前期固结压力 P_c (C 点对应法向压力), 以 P_c 作为零界点, 作抗剪强度与法向压力关系图(图1)。

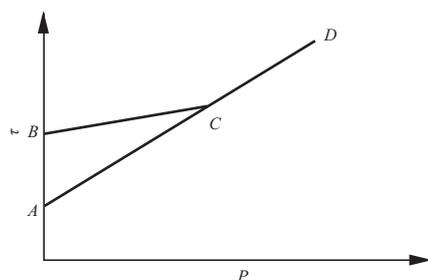


图1 抗剪强度与法向压力的关系

从图1可以看出, 抗剪强度随竖向荷载增长不一定连续。 AD 是一组流动的淤泥抗剪强度与法向压力线性曲线, 由于每一级的竖向荷载均大于 P_c , τ - P 线成良好的直线关系; BCD 是一组硬的黏性土, BC 段的固结呈局部弹性压密, 土颗粒间仍存在着原始的有效应力; 随着竖向压力的增大, 土颗粒间存在排水压密及结构力的破坏, 土体抗剪强度增长缓慢; CD 段是竖向荷载大于 P_c 时的 τ - P 线走向规律, 由于颗粒间无结构力的因素, 只要土质相同, τ - P 线在足够大的竖向压力下与软土

的AD线重叠。所以直剪固快由于受到剪切前对样品的再固结,重新塑造了土体的性状,取土质量的高低无法直接体现。换言之,固快的C和 ϕ 值是

土质原始状态在竖向荷载作用下的综合反映,不同的荷载序列,结果可能不同。表4是前后两次钻探直剪固快试验的对比。

表4 直剪固快试验指标对比

土层编号	常规勘察		精细化勘察		C值提高的幅度/%	ϕ 值提高的幅度/%
	C/kPa	$\phi/(\circ)$	C/kPa	$\phi/(\circ)$		
① ₁ 淤泥	8.1	14.3	2.4	18.9		
① ₂ 淤泥	11.6	14.8	4.5	17.9		
① ₃ 淤泥质土	10.9	14.4	13.5	15.1		
② ₁₋₁ 粉质黏土	13.8	18.9	25.4	21.8	84	15
③ ₂ 粉质黏土夹砂	16.8	22.4	22.7	25.0	35	12
③ ₃₋₁ 粉质黏土	17.2	20.4	32.4	21.8	88	7
③ ₃₋₂ 粉质黏土	20.0	17.8	44.6	19.1	123	7

从表4可以看出,①层的软黏土土质相近,塑性指数在15~20。在竖向压力200 kPa的作用下,抗剪强度均在55 kPa左右。精细化勘察的C值分别为2.4, 4.5和13.5 kPa,体现了土体抗剪强度随深度的加深而增长; ϕ 值分别为18.9°、17.9°和15.1°,与图1相吻合。对于②₁~③₃层的粉质黏土(局部夹粉细砂),取土质量的影响因素主要体现在C值。由于土体强度较大,前两级竖向荷载对其结构破坏有限,仍保留了较为完整的初始结构力。从C值提高的程度来看,②₁~③₃层分别为84%、35%、88%和123%,与表2中抗剪强度 τ 的提高比例相当;对于 ϕ 值的对比,精细化勘察分别提高了15%、12%、7%和7%,与C值提高的幅度比较低很多。所以取土质量的高低,对于强度较低的①层淤泥,直接固快的C和 ϕ 值体现不明显,但对于可塑具有一定结构性强度的②₁~③₃层的粉质黏土(局部夹粉细砂),C值变化明显。

5 直剪固快与固结不排水剪切的对比

表5是前后两次勘察三轴固结不排水剪切试验(CU)的成果统计。一般来说,纯的淤泥质土固结后呈黏土状态,剪切时排水影响不大且脆性破坏,所以CU的 ϕ 值与 C_q 对比相差不大(表4, 5)。根据经验, C_q 的 ϕ 值大于CU的 ϕ 值0°~2°,差异大小主要与塑性指数有关。在条件局限的情况下,软黏土的 C_q 指标修正后可以替代CU。

但对于软土下卧的②₁~③₃层的粉质黏土(局

部夹粉细砂),本次固结不排水剪切的C值分别比常规勘察提高了119%, 90%和191%。对于该土层的 C_q 与CU比对,C和 ϕ 值的差异是明显的。造成此类土差异的原因:1)排水因素,由于夹粉细砂剪切过程中随着排水而增加强度,特别是大的竖向荷载下排水现象更加明显,造成了竖向荷载下的剪切强度偏大;2)应力分布不均,随着剪切盒的位移,剪切面上受力不均及有效受力面减少,造成强度偏低;3)小的竖向荷载下土体的强度对仪器的反作用明显,由于剪切盒偏轻,出现“顶”起现象,造成无明确的剪切面,剪切强度偏低。所以小的竖向荷载往往会造成C值偏低,而大的竖向荷载却造成 ϕ 值偏大,这样必然造成C值偏小, ϕ 值偏大。建议此类土应使用三轴CU指标。

6 结语

1)精细化勘察无论从现场采取原状样质量、原状样保管及运输等方面均优于常规勘察,使得原状样的扰动程度相对较少,室内抗剪强度试验值较常规勘察有较大的提高。

2)表层①淤泥及淤泥质土,精细化勘察获得的直接剪切试验与三轴不固结不排水试验值接近,在缺少三轴UU试验值时,可以采用直接剪切试验代替UU试验值。

3)对于具有一定强度的夹砂黏性土,直接剪切试验受排水、应力分布不均匀及剪切面收缩的影响,直接剪切试验值较UU或CU试验差异明显,

表5 三轴固结不排水试验指标统计对比

土层编号	常规勘察				精细化勘察				C 值提高的幅度/%	C' 值提高的幅度/%
	C/kPa		φ/(°)		C/kPa		φ/(°)			
① ₁ 淤泥	8.4	5.0	14.5	22.2						
① ₂ 淤泥	12.3	8.9	14.6	23.0	8.0	8.0	17.0	29.9		
① ₃ 淤泥质土	15.7	10.4	15.6	23.3	14.5	8.6	14.3	26.1		
② ₁₋₁ 粉质黏土	23.0	16.6	18.3	22.6	34.5	20.4	18.6	27.0		
③ ₂ 粉质黏土夹砂	32.5	22.2	21.1	28.0	71.4	46.2	18.0	25.9	119	108
③ ₃₋₁ 粉质黏土	25.9	17.1	18.6	25.5	49.3	33.3	16.9	23.6	90	95
③ ₃₋₂ 粉质黏土	33.5	21.3	18.5	25.2	97.4	68.6	13.3	20.9	191	222

此类土的抗剪强度值建议采用三轴试验值。

于夹砂的黏性土，取土质量高低，在凝聚力上差异明显。

4) 对于低强度的软土层，直接固结快剪是在受剪前对样品进行再固结，重新塑造了土体性状，取样质量难于在直接剪切参数中体现，但对

(本文编辑 武亚庆)

· 消 息 ·

中港公司中标阿联酋阿基曼港改建项目

6月26日，中港公司与项目业主Hutchison Ajman International Terminal（香港和记黄埔）联合举办了阿联酋阿基曼港改建项目的开工典礼暨正式破土动工仪式。阿基曼港务局、和记黄埔阿基曼港营运公司、中港阿联酋区域公司相关负责同志和当地政府官员出席典礼。

阿基曼港改建工程是以工业冷库为主的多系统建筑类项目，由中国港湾承建，合同额8 630万迪拉姆（约2 400万美元）。项目包括冷库及宿舍区建造和机电系统安装、集装箱堆场改造，其中冷库和宿舍区合同工期9个月，集装箱堆场改造合同工期11个月。

阿基曼港改建项目意义重大，项目完工后，将大大提升阿基曼港的运营能力，助力阿联酋经济发展。

摘编自《中国交通建设网》

振华重工中标营口港港机项目

6月20日，振华重工与营口港举行2台岸桥和23台门机的签约仪式。此次签约的港机设备计划于2014年4月起分批交付。

据悉，振华重工与营口港的合作，迄今已有20年历史，营口港几乎所有港机设备均来自振华重工。截至目前，振华重工已为营口港提供了22台岸桥、149台门机、6台卸船机和2台装船机。

振华重工将继续竭诚为营口港提供“技术优、质量优、服务优”的港机产品和服务。双方在传统港机业务上的继续合作将不断深化，未来还将开辟在总承包、投资等领域的合作，全面提升合作层次和合作内涵。

摘编自《中国交通建设网》