

城桂公路二期工程天然地基路堤填筑试验^{*}

邹 健

(中山市交通建设指挥部, 广东 中山 528400)

摘 要: 对城桂公路二期天然地基填筑试验过程中路堤破坏过程、破坏机理与路堤沉降特征进行了较全面地分析, 对于是否考虑填土强度及边沟影响的情况, 用不同参数预估天然地基路堤极限高度及计算相应的稳定检算安全系数, 将计算结果与实测结果进行比较, 得出了一些对本工程施工具有指导意义的结果。

关键词: 城桂公路; 天然地基; 路堤填筑

中图分类号: U412 文献标识码: A 文章编号: 0529-6579 (2003) S2-0179-05

中山市城桂公路二期工程长约 20 km, 全线淤泥、淤泥质土分布广泛, 工程性质极差, 地基稳定和沉降决定投资规模和施工工期。为确定地基变形和破坏模式、天然地基填筑极限高度和路堤设计临界高度, 选取合适的地基稳定计算参数, 确定合理的地基处理规模和合适的路基填筑控制速率, 以指导全线软土路基的设计和施工, 中山市交通建设指挥部决定在 K6+385~+450 段进行天然地基填筑试验。

1 工程地质概况

试验场地基本上为水田, 地势低, 施工期间海潮经茅湾河倒灌。勘探揭示, 试验段地层自上而下为:

(1) 种植土: 成分为粘土, 软塑~可塑, 黄褐色, 厚 0.2~0.4 m。本层为超固结土, OCR=4,

为相对硬层;

(2) 淤泥 1: 浅灰色, 流塑, 厚 3.2~3.73 m, 夹有海相贝壳、螺壳及云母碎片, 局部存在厚 0.1 m 左右的贝壳富集层。本层为欠固结土, OCR=0.87。

淤泥 2: 灰绿色, 流塑, 厚 1.4~3.4 m, 夹有海相贝壳、螺壳及云母碎片, 局部夹有细砂和卵石。本层为欠固结土, OCR=0.29~0.4, 平均值 0.31。

(3) 细砂: 灰色、灰绿色, 松散, 饱和, 厚 0~0.8 m, 夹有少量贝壳碎片。

(4) 粘土: 以棕黄色为主, 硬塑, 夹有 30% 左右的卵石、砾石。

试验段工程地质横断面见图 1, 各土层主要物理力学指标标准值如表 1、2 所示。

表 1 地基土主要物理性质室内土工试验成果表

Tab 1 The outcome form of soll mechanics experiment indoor of foundation soil's chief physical appearance

岩性	天然含水量 /%	天然密度 (g°cm ⁻³)	浮密度 (g°cm ⁻³)	孔隙比	塑限 /%	液限 /%	塑性 指数	液性 指数
淤泥 1	79.45	1.517	0.546	2.176	28.47	56.71	29.03	2.14
淤泥 2	89.1	1.484	0.508	2.424	28.08	56.52	29.42	2.66

表 2 地基土主要力学性质一览表

Tab 2 Chief mechanical property of foundation soll

岩性	室内土工试验						原位测试		
	三轴剪切试验		直接剪切试验		无侧限抗压强度		静力触探	十字板剪切试验	
	C _{ui} /kPa	φ _{ui} / (°)	C _q /kPa	φ _q / (°)	q _u /kPa	S _i	P _s /kPa	S _u /kPa	S _i
淤泥 1	5.816	0.356	2.74	4.52	3.627	2.92	187.4	8.59	3.11
淤泥 2	6.523	1.168	5.26	4.31	5.725	2.91	243.6	11.26	2.44

^{*} 收稿日期: 2003-08-01

作者简介: 邹健 (1967 年生), 男, 工程师, E-mail: rhwang@pub.guangzhou.gd.cn

2 路堤破坏过程

2002 年 4 月 11 日和 15 日分别完成 K6+423 ~ +450 段和 K6+385 ~ +421 段地表清淤, 18 日 15 时开始全段填土, 26 日 14 时, 路堤左侧和右侧分别达到破坏和临界状态。此时, 自清淤后的地面起算, 路堤填土高度 2.337 m。

2.1 左侧路堤破坏过程

4 月 24 日, 发现坡脚排水沟隆起, 地基沉降加快。25 日 7 时, K6+385 ~ +421 沟底显著隆起, 14 时, 在路堤左侧顶面发现零星细小裂缝, 坡脚土体较湿, 19 时开始填筑下一层填土。26 日 7 时, K6+385 ~ +410 路堤左侧顶面又发现零星裂缝, 宽度较以前有所增大, 12 时, 排水沟加速隆起, 14 时, 在碾压过程中, K6+385 ~ +423.3 路堤左侧地基失稳, 路堤顶面主裂缝最大宽度 7 cm, 主裂缝两侧有多条次生裂缝, 沟底已基本上隆至沟沿, 坡脚土体粘脚, 沟外围堰外翻, 堰外稻田轻微隆起。16 时 20 分, 沟底上隆至沟沿以上约 10 cm, 并在 K6+415 ~ +420 沟底出现 1~3 cm 裂缝, 17 时, 主裂缝延伸至 K6+430, 最大缝宽扩展至 17 cm, K6+395 ~ +422 沟底出现多条裂缝, 最大宽

度约 5 cm。27 日 7 时, 主裂缝延伸至 K6+430 路肩, 缝宽扩展至 20 cm, 沟底隆至沟沿以上 10~30 cm, K6+395 ~ +422 沟底裂缝基本贯通。27 日 17 时 30 分, K6+424.3 ~ +427 左 5.6 m 发现一条宽约 1.5 cm 裂缝, K6+425.7 ~ +439 左 6.5 m 也存在一条宽约 2 cm 的裂缝, K6+423.8 ~ +435 坡脚土体潮湿并有宽约 1 cm 的裂缝, 坡脚排水沟内外侧外移, 沟底明显隆起并局部出现长约 0.3 m、宽约 1~3 cm 的细小裂缝

2.2 右侧路堤稳定状况

4 月 28 日 7 时, K6+405 ~ +435.5 右侧 5 m 出现宽约 3 mm 的裂缝, 29 日 7 时, 裂缝扩展至 K6+400 ~ +442, 宽度 2 cm。

4 月 28 日 7 时, K6+400 ~ +405 右侧 1 m 发现宽约 2 mm 的裂缝, 18 时, 扩展至 K6+398 ~ +415。29 日 7 时, 发现 K6+425 ~ +440 右侧出现宽 1~2 cm 的裂缝, 该裂缝在 K6+425 ~ +430 位于路堤右侧 1 m, 在 K6+430 ~ +434 向中线延伸并沿中线发展, K6+422 ~ +435 坡脚土体呈泥状。

综上所述, K6+385 ~ +430 左侧路堤已达到破坏状态, 路堤其余部分则已接近临界状态。破坏前后的路堤和地面变化情况如图 1 所示。

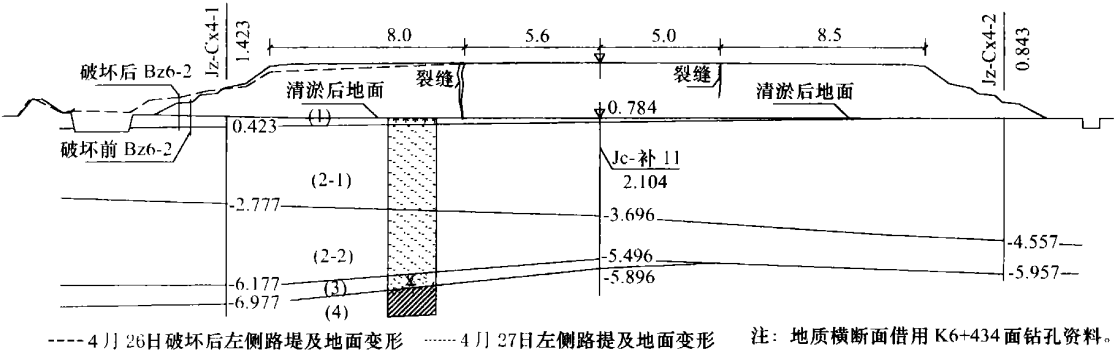


图 1 K6+405 断面路堤破坏前后对比及工程地质横断面图

Fig 1 Comparison of before and after roadbed destruction and cross-section drawing of engineering geology for section K6+405

3 路堤沉降特征

尽管地基失稳并未出现在设置沉降板的断面, 但该断面在路堤填筑停止 1~2 天之后出现了多条宽 2 cm 左右、深约 1.3 m 张裂缝, 说明该断面也基本处于临界状态, 因此, 沉降板的沉降特性反映了整个天然地基填筑路堤的沉降特性。由填土高度与沉降板沉降量关系 (图 2) 和地面沉降曲线 (图 3) (由于 4 月 18 日路堤填筑中, 所有沉降板均遭受不同程度的破坏。20 日 11 时 30 分完成沉降板的恢复。为确保观测资料的真实性和可比性, 图 2、图 3 中已将此前的观测数据舍弃), 可以看出:

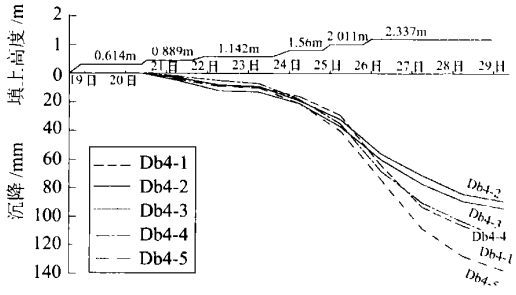


图 2 K6+434 断面填土高度与沉降板沉降量的关系

Fig 2 The relation between soil height and subsidence of settlement plate for K6+434 cross-section

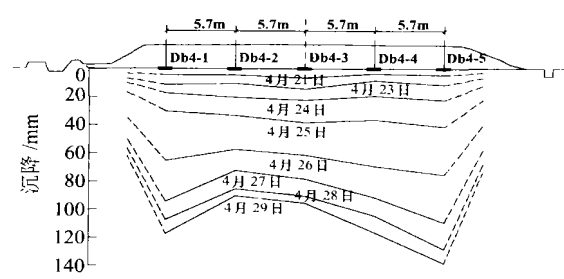


图3 K6+434断面地面沉降曲线

Fig. 3 The earth subsidence curve of K6+434 cross-section

(1) 路堤填高在 1.2 m 以内时, 地基沉降速率和沉降量都不大, 地基沉降速率在加荷之后加大, 而在荷载稳定后又很快减小, 沉降趋于稳定。

(2) 路堤填高超过 1.2 m 后, 由于填筑加速, 地基沉降速率和沉降量都发展较快, 并且两侧沉降板沉降速率逐渐超过路堤中心沉降板的沉降速率。路堤填高达到 2 m 之后, 路堤高度接近极限高度, 地基沉降速率和沉降量都迅速发展, 且两侧沉降板沉降速率显著超过路堤中心沉降板的沉降速率。

(3) 左侧路堤填高 2.337 m, 地基沉降速率和沉降量急剧发展, 路堤左侧地基失稳, 路堤开裂破坏。随着时间的推移, 路堤顶面又出现多条宽 2 cm 左右的裂缝, 裂缝逐渐发展, 基本延伸至路堤两端。

(4) 破坏之后的地基重新恢复平衡后, 沉降速率逐渐减小, 沉降趋于稳定。

路堤填筑高度接近极限填土高度时, 为避免加载过快造成路堤破坏, 《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》JTJ017 96 第 7.2.5 条规定“路堤中心线地面沉降速率每昼夜不大于 1.0 cm”, 而实际上对于本试验段这种非常软弱的地基, 荷载略略增加就会引起超过这一限度的路堤沉降速率。再者, 路堤地面沉降速率最大的位置不一定是路堤中心线地面。因此, 根据实际观测结果, 控制标准可定为: 路堤地面 (而非特指路堤中心线地面) 沉降速率 1.5 cm/d, 当沉降速率减小至 1 cm/d 以下时, 可以继续填筑。

4 路堤的破坏特征和机理

挖探显示: K6+405 断面左侧主裂缝贯穿整个路堤高度, 宽度由路堤顶面的 20 cm 逐渐减小并尖灭于基底淤泥中, 主裂缝裂面基本竖直; K6+425.5 m 右侧 5.8 m 处裂缝深约 1.3 m, 宽度随深度逐渐减小, 裂面略向路堤中线倾斜, 倾斜率约 7.5%; 裂缝之中除下部有一些松散细粒土外基本中空。从裂缝形式和发展情况看, 可以认为路堤裂

缝为张性裂缝。

根据地基的沉降特征路堤和路堤破坏过程以及路堤的裂缝特征, 可以认为路堤破坏的产生和发展过程是随着路堤填筑不断接近地基极限高度的过程中, 路肩附近地基软土率先形成塑性区, 侧向位移和竖向位移速率增大, 路堤两侧沉降速率逐渐超过路堤中心的沉降速率, 路堤沉降量由路堤中心至两侧坡脚增大, 路堤上部填土逐渐丧失强度。路堤上部裂缝的向下发展和地基软土塑性区的扩大二者相互促进, 最终造成路堤的破坏, 而路堤主裂缝附近的裂缝则是主裂缝的牵引所致, 它也是由上向下逐渐发展的。在路堤破坏 1~2 天后仍能观察到这种裂缝的张裂扩展。

5 不同强度参数计算结果与实测结果的比较

鉴于左侧路堤坡脚距临时排水沟仅 0.8 m 且排水沟的尺寸较大 (宽 2.5 m、深 0.5 m), 为判断排水沟对路堤稳定的影响, 以下分两种情况考虑:

- 5.1 考虑边沟影响, 路堤极限高度的计算和稳定性检算从边沟底起算
- 表 3 给出了不考虑填土强度 (a) 和考虑全部填土强度 (b) 以及考虑填土实际发挥的强度 (c) (即考虑路堤填土在路堤出现不均匀沉降时, 上部填土逐渐出现裂缝, 因而不考虑这部分填土的强度) 等 3 种情况下用不同参数预估天然地基路堤极限高度。表 4 给出了以上 3 种情况下用不同参数计算的天然地基填筑路堤稳定检算安全系数。
- 5.2 不考虑边沟影响, 路堤极限高度的计算和稳定性检算从清淤之后的地面起算

通过以上计算和实测结果的比较, 可以得到以下几点认识:

(1) 不论是路堤极限高度的预估, 还是路堤稳定性检算, 考虑路堤左侧边沟的影响与路堤的稳定情况更为接近, 而不考虑路堤左侧边沟的影响则在路堤极限高度的预估和路堤稳定性检算中偏于危险。

- (2) 不管是路堤极限高度的预估, 还是稳定性检算, 考虑路堤填土实际发挥的强度与路堤的稳定情况最为接近。
- (3) 无论是极限高度的估算, 还是稳定性检算, 应用静力触探指标、考虑填土强度预估的天然地基路堤填筑极限高度和稳定检算安全系数与路堤稳定实际情况最为接近, 而十字板剪切试验强度指标略大一些, 室内土工试验强度指标则明显偏小, 这与以下因素有关: ①试验场地地基土为中等灵敏

表 3 天然地基预估路堤极限高度¹⁾

Tah 3 The estimate roadbed's emergency altitude for natural foundation

项 目	室内土工试验强度指标			静力触探 强度指标	十字板剪切 强度指标	填筑 ²⁾ 实测
	三轴快剪	直接快剪	无侧限抗压强度			
(a) 极限高度/m	2.075	1.496	1.06	2.55	2.7	
(b) 堤极限高度/m	2.218	1.619	1.15	3.0	3.13	2.84
(c) 极限高度/m	2.25			2.78	2.96	
$k_{\min}$	1.0					

1) 填料密度为 18.4 kN/m^3 , 夯后快剪强度指标为: $c=12.3\text{ kPa}$, $\varphi=24.7^\circ$; 2) 填筑实测及计算极限高度从边沟底算起, 即其中包含了边沟深度。

表 4 天然地基填筑路堤稳定检算安全系数

Tah 4 The stable checked assurance factor for fill-up roadbed for natural foundation

项 目	室内土工试验强度指标			静力触探 强度指标	十字板剪切 强度指标
	三轴快剪	直接快剪	无侧限抗压强度		
不考虑填土强度	0.33	0.457	0.25	0.89	0.95
考虑全部填土强度	0.48	0.608	0.4	1.04	1.09
考虑填土实际发挥强度	0.39	0.531	0.313	0.98	1.04

度、触变性较强的非常软弱的高含水量、流塑状淤泥并夹有贝壳、云母碎片,因而在采取、运输原状土样以及切样和室内试验的过程中不可避免地造成一定程度的扰动,因而室内土工试验强度指标则明显偏小;②地基淤泥土层夹有少量贝壳、云母碎片,局部夹有细砂和卵石,这会造成十字板剪切试验强度指标的偏大。

6 结论和建议

在这一非常软弱且不存在硬壳层的地基上填筑路堤,应注意以下几点:

(1) 路堤的破坏是由于路堤路肩附近地基软土率先形成塑性区,侧向位移和竖向位移速率增大,路堤两侧沉降速率逐渐超过路堤中心的沉降速率,路堤沉降量由路堤中心至两侧坡脚增大,路堤上部填土强度逐渐丧失,路堤最终破坏。路基稳定检算和极限高度的预估应考虑路堤填土实际发挥的强度。

(2) 当路堤坡脚距边沟很近且边沟尺寸较大时,路基稳定检算和极限高度的预估应考虑边沟的影响。

(3) 路基稳定检算和极限高度的预估可采用静力触探或十字板剪切试验强度指标,而采用室内土工试验成果则偏于保守。

(4) 路堤极限高度为 2.84 m ,由此反算的地基

综合强度 $\tau_u=9.1\text{ kPa}$ 。考虑到路堤填筑前不仅已经清除了地表种植土厚 0.2 m 左右,而且该极限高度也包含部分淤泥层(厚约 0.5 m),建议路堤极限高度取为 2.5 m 。

(5) 当路堤填筑高度接近极限高度时应注意开始控制填土速率,每天填土厚度不宜超过 0.3 m 。

(6) 路堤地面沉降速率最大的位置不一定是路堤中心线地面,因此,路堤填筑的地面沉降速率控制值不应限定为路堤中心线地面。

(7) 从实际观测结果看,填土速率可以用路堤地面沉降 1.5 cm/d 作为控制指标,当沉降速率减小至 1 cm/d 以下时,可以继续填筑。值得指出的是,控制指标是参考指标,实际施工并不严格禁止突破,此时,应注意加密观测次数、分析路堤的稳定性,如有失稳可能则应立即停止填筑,直至路堤稳定。如果加载以后的第二、三天内,沉降速率仍然居高不下,则路堤有开裂甚至失稳的可能,此时,应根据观测、分析结果采取减载、反压等措施。

参考文献:

[1] 地基处理手册编写委员会.地基处理手册[M].第二版.北京:中国建筑工业出版社,2000.
[2] 中华人民共和国行业标准.建筑地基基础设计规范(GBJ7—89)[S].北京:中国建筑工业出版社,1989.

The Roadbed Reclamation Trial of Natural Foundation
for the Second Phase Project of Cheng Gui Highway

ZOU Jian

(Zhongshan City Locality Highway Project Administrative Station, Zhongshan, Guangdong 528400, China)

Abstract: The destroying procedure, destroying mechanism and subsidence character of roadbed in process of natural foundation reclamation trial are comprehensively analyzed. Different instance will appear when the intensity of fill and infection of the lateral ditch were taken into account. So, different parameters should be used to estimate the roadbed's natural foundation emergency altitude, to calculate the relevant stable checked assurance factor. And then, compare the calculated results with the measured results, some useful conclusions for this construction project will be achieved.

Key words: Chenggui Highway; atural foundation; roadbed reclamation