



连云港抛石围堤下软基固结度计算

苏俊剑^{1,2}, 龚永康²

(1. 同济大学, 上海 200092; 2. 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

摘要: 连云港徐圩港区某抛石围堤工程项目, 需进行围堤下软基沉降观测及固结度计算。砂被和排水板施工后围堤尚未出水, 抛石后围堤在最低潮位出水时安放沉降板所得的累计沉降量有缺失, 所得固结度偏小, 因此提出采用工前工后钻孔探摸法确定软基实际沉降量可得到与工程实际相符合的固结度。同时, 采用钢筋笼骨架 + 袋装碎石的围护方法在抛石施工前安放沉降板, 可得到相对正确的累计沉降量和固结度, 值得应用和推广。

关键词: 抛石围堤; 软基; 固结度; 监测方法

中图分类号: U 655. 54 文献标志码: A 文章编号: 1002-4972(2015)12-0144-04

Calculation of consolidation degree of soft foundation under riprap border dike in Lianyungang

SU Jun-jian^{1,2}, GONG Yong-kang²

(1. Tongji University, Shanghai 200092, China;
2. Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: Settlement observation and calculation of degree of consolidation are carried out for the soft foundation under the riprap border dike in Xuwei port area in Lianyungang. The border dike can't break the water surface after sand quilt and drainage plate construction, and the cumulative settlement is lost when putting the settlement plate at the lowest tidal level, and the degree of consolidation is relatively small. Thus the drilling method before and after construction is applied to achieve the real settlement and degree of consolidation. Moreover, putting the settlement plate before the riprap construction with the enclosure protection method using steel reinforcement cage frame plus gravel bag, we can get the relatively correct settlement and degree of consolidation, so it is worthy of popularizing.

Keywords: riprap border dike; soft foundation; degree of consolidation; monitor method

1 工程概况

连云港徐圩港区某抛石围堤为充填袋斜坡堤结构, 长 1 304 m, 堤顶高程 7.0 m, 顶宽 8.0 m, 围堤内、外侧高程 3.0 ~ 5.0 m 处设置镇压平台, 平台宽 5 ~ 15 m, 内坡 1:1.5, 外坡上坡 1:1.5, 下坡 1:2。地基采用排水板 + 砂被处理, 排水板打设间距 1.0 m, 深度穿过淤泥层, 进入硬土层深度不小于 1.5 m。堤身结构采用充填袋和开山石混和。断面布置见图 1。

2 固结度计算及存在问题

如图 1 所示, 按设计要求在砂被及排水板安装完成后立即在砂被顶面布置表面沉降板, 然后观测抛石围堤施工期间软基的沉降量, 用以计算软基固结度 (砂被及排水板施工期间的沉降量忽略不计)。而实际操作时, 因砂被施工完后仍然位于水下, 此时安装沉降板无法固定和测量, 在抛石至低潮位出水后才开挖埋设表面沉降板, 此时沉降观测丢失了抛石施工前期的沉降量。

收稿日期: 2015-06-10
作者简介: 苏俊剑 (1979—), 男, 高级工程师, 从事港口工程地基与材料的研究。

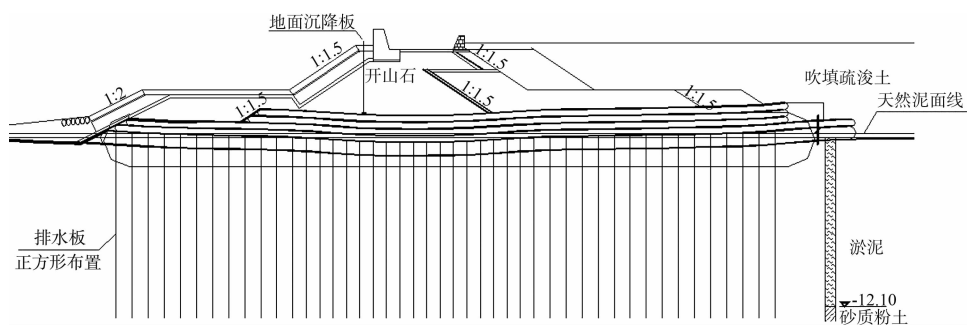


图 1 连云港徐圩港区某围堤断面布置

2.1 固结度计算方法

2.1.1 *e-p* 曲线法

地基理论计算沉降量参考港口工程地基规范 JTS 147-1—2010^[1] 中 7.7.2 条的规定:

$$s_{d\infty} = m_s \sum \frac{e_{1i} - e_{2i}}{1 + e_{1i}} h_i \tag{1}$$

式中: $s_{d\infty}$ 为地基最终沉降量设计值; m_s 修正系数, 按经验选取或由现场试验确定; e_{1i} 、 e_{2i} 分别为第 i 层土受到的平均自重应力设计值和平均最终应力设计值压缩稳定时的孔隙比设计值, 可取均值; h_i 为第 i 层土的厚度。

实测累计沉降量为 S_t , 则固结度为:

$$U = (S_t / S_{d\infty}) \times 100\% \tag{2}$$

2.1.2 实测沉降曲线预测法

参考港口工程地基规范 JTS 147-1—2010^[1] 中 7.3.2 条的规定, 采用“经验双曲线”法进行拟合计算, 即根据已拟合的实测 $S-t$ 光滑曲线, 按下列公式推算:

$$S_{\infty} = S_0 + 1/\beta \tag{3}$$

$$S_t = S_0 + /(\alpha + \beta t) \tag{4}$$

式中: S_{∞} 为地基的最终沉降量; 满载时, S_0 即 $t = 0$ 时的地基沉降量; S_t 某时刻的地基沉降量; α 、 β 为与地基及荷载有关的常数; t 从满载开始的时间。

实测累计沉降量为 S_t , 则固结度为:

$$U = (S_t / S_{\infty}) \times 100\% \tag{5}$$

2.2 固结度计算

以 A 断面为例, 加固前淤泥层厚度为 12.3 m, $e-p$ 曲线如图 2 所示, 淤泥层的天然密度平均值为 1.6 t/m³。堆载石头层厚度为 7.95 m, 砂垫层厚度为 0.79 m, 取石头层的平均密度为 2.0 t/m³, 砂

垫层的平均重度为 1.7 t/m³, 则附加应力总和约为 170 kPa。计算后所得最终沉降量分别为 1.16、1.57 m, 最终沉降量取平均值为 1.37 m。抛石施工完成后该断面实测累计沉降量为 0.72 m。则固结度为: $(0.72/1.37) \times 100\% = 52.6\%$ 。因丢失抛石施工前期沉降观测数据, 固结度明显偏小。

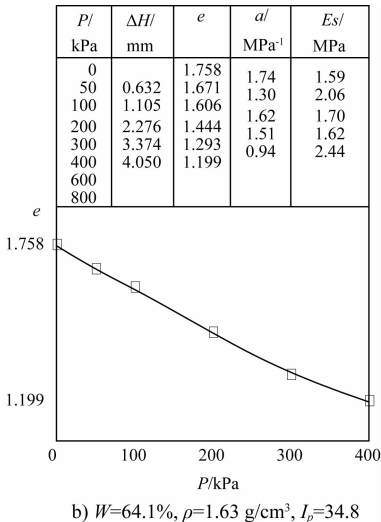
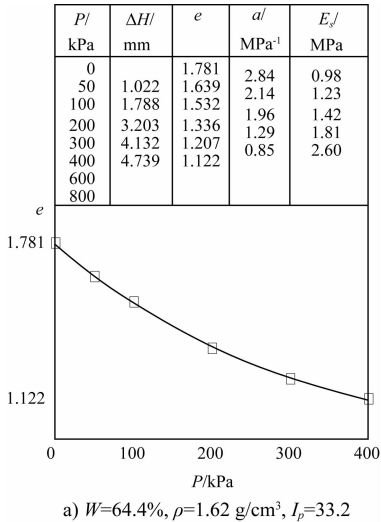


图 2 A 断面典型 *e-p* 曲线

此外，对实测沉降光滑曲线采用双曲线法拟合计算。由计算得出最终沉降量 $S_{\infty}=0.96\text{ m}$ ，则固结度为 $(0.72/0.96)\times 100\%=75\%$ 。同样因丢失抛石施工前期沉降观测数据，固结度计算也偏小。

3 固结度计算的解决方法

3.1 钻孔探摸法弥补

如上述 A 断面，工前（孔号 X-25）淤泥面高程（连云港高程） -0.09 m ，工后（孔号 X2）淤泥面高

程 -1.27 m ，则工前工后沉降量为 1.18 m 。图 3 为该断面工前工后钻孔剖面对比，表 1 为该钻孔工前工后淤泥层土体物理性质参数。

则根据钻孔探摸所得淤泥层的沉降量，根据 $e-p$ 曲线法软基的固结度为： $(1.18/1.37)\times 100\%=86.1\%$ 。该结果较为符合工程实际情况：抛石施工结束近 2 a，软基固结度达到 80% 以上。同时，根据实测沉降曲线运用双曲线法进行推算软基固结度（表 2）。

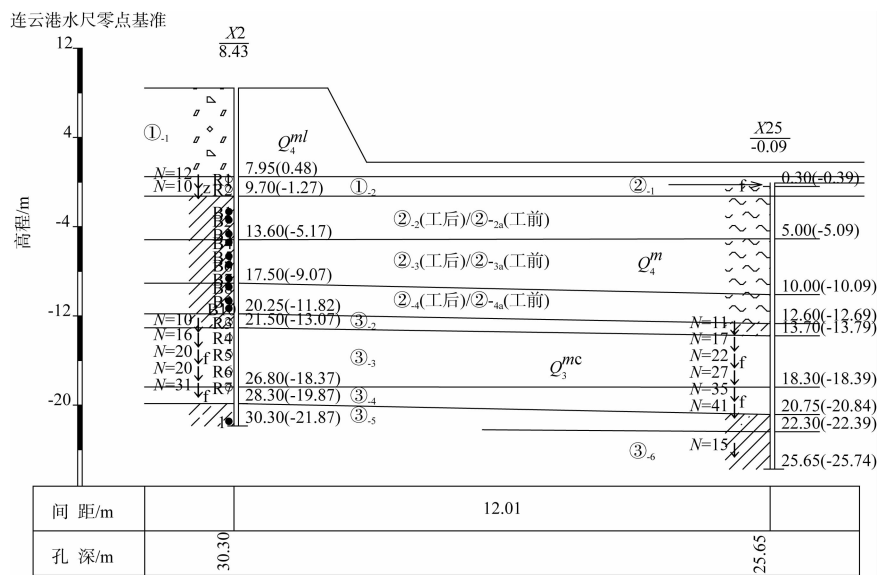


图 3 A 断面工前工后钻孔剖面对比

表 1 工前工后钻孔探摸土工参数对比

工程状态	取样孔代号	取土高程/m	含水率 W/%	湿密度 $\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	干密度 $\rho_d/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	孔隙比 e	塑性指数 I_p	土样分类与定名
工前	A	-5.59 ~ -6.09	67.0	1.61	0.96	1.842	29.8	淤泥
工后	A-1	-4.47 ~ -4.72	46.5	1.73	1.18	1.320	19.4	淤泥质黏土

表 2 A 断面沉降曲线拟合计算

观测断面	实测累计沉降量 S_t/mm	满载时沉降量 S_0 (钻孔探摸) / mm	残余沉降量 S/mm	目前固结度 U (规范) / %
A	720	460	240	83.1

由此看出 2 种方法所得固结度相近，均与实际吻合。

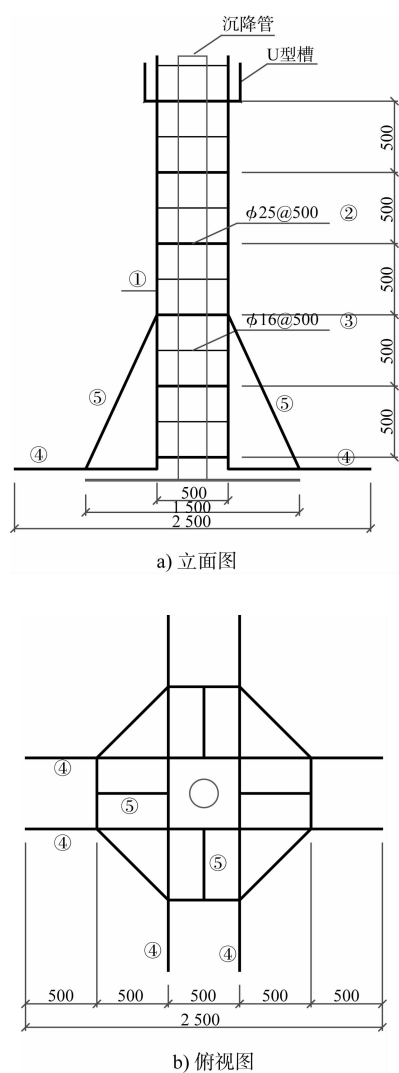
3.2 观测手段改进

在不采用桩基监测平台^[2]、自动化监测系统^[3]即不显著增加监测成本的前提下，更新观测手段，测出抛石施工全过程的累计沉降量。

如图 4 所示，由 4 根 $\phi 25$ 的竖向钢筋形成边长 500 mm 的正方形钢筋骨架，与竖向钢筋相交的横向钢筋为 $\phi 25@500$ 和 $\phi 16@500$ ，由此形成竖向钢筋筒体骨架结构。为了使得该竖向筒体能够站立在砂被上，在钢筋筒体底部焊接出 1 000 mm $\phi 25$ 的横向钢筋。同时为了进一步增加整个结构的整

体性, 底部横向钢筋之间再焊接一道 $\phi 25$ 的横向钢筋、底部横向钢筋与竖向钢筋之间设置了 $\phi 25$ 的斜向支撑钢筋。焊接成型后即可吊装就位。为了接长方便, 在顶部设置 U 型槽, 方便绑扎接长。

施工时水上作业: 先安放表面沉降板, 然后安装钢筋笼保护装置, 在钢筋笼内部及外侧均抛填一定数量的袋装碎石, 用以固定和保护沉降管, 不受海浪振动、船只碰撞的影响。而后可使用 GPS 测量沉降值。抛石施工时先接长沉降管和钢筋笼, 后进行抛石施工。



注: ①竖向钢筋; ② $\phi 25 @ 500$ 横向钢筋; ③ $\phi 16 @ 500$ 横向钢筋;
④1 000 mm $\phi 25$ 横向钢筋; ⑤ $\phi 25$ 斜向支撑钢筋。

图 4 钢筋笼骨架立面图和俯视图 (单位: mm)

在该工程 A 断面附近的 B 点处进行钢筋笼骨

架保护沉降管的试验, 观测相同时间后累计沉降量值为 1.22 m, 则根据 $e-p$ 曲线法软基的固结度为: $(1.22/1.37) \times 100\% = 89.0\%$ 。同时运用双曲线法进行最终沉降量的计算, 得出最终沉降量 $S_{\infty} = 1.46$ m, 则固结度为 83.6% (表 3)。

表 3 A 断面沉降曲线拟合计算			
观测断面	实测累计沉降量 S_t /mm	残余沉降量 S /mm	目前固结度 U (规范)/%
B 点	1 220	240	83.6

由此可见, 采用钢筋笼骨架保护沉降管效果较好, 抛石施工到该处时谨慎施工, 没有造成破坏, 且无论是运用 $e-p$ 曲线法或经验双曲线法进行固结度计算, 均与工程实际情况比较吻合。

5 结语

- 1) 连云港抛石围堤下软基固结度计算对表面沉降量的观测要求较高, 需观测砂被和排水板施工完成后抛石施工产生的软基沉降量。抛石出水后安放表层沉降板所得的固结度与实际固结度相比偏小。
- 2) 工前工后钻孔探摸弥补法可以较为真实地得到软基沉降量和固结度, 同时在埋设表面沉降板时增加钢筋笼骨架 + 袋装碎石结构对沉降管进行保护, 可以得到砂被和排水板施工完成后抛石施工产生的软基沉降量。
- 3) 采用钢筋笼骨架 + 袋装碎石结构保护沉降管的方法, 与桩基监测平台和全自动监测相比, 费用低, 效果好, 且所得固结度与工程实际相吻合, 可以在工程应用中加以推广。

参考文献:

[1] JTS 147-1—2010 港口工程地基规范 [S].
[2] 杨胜. 浅谈斜坡堤稳定性监测施工工艺[J]. 中国水运, 2014, 14(11): 363-364.
[3] 焦志斌, 李运辉. 滩海人工岛工程安全监测自动化系统与预警模式研究[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(9): 1 712-1 715.

(本文编辑 郭雪珍)