

刚性基础下碱液加固地基湿陷问题讨论

中国兵器工业北方勘察研究院 陈追田

【摘要】本文讨论了刚性基础下碱液加固地基防止湿陷的可能性，推导出临界湿陷置换率，为碱液加固法处理黄土湿陷性提供了一个定量设计指标，应用于某工程，得到良好效果。

【Abstract】 The possibility of the collapsing of the ground stabilized by alkali liquid under the rigid foundation is discussed, and the translating rate of the critical collapsing is deduced in this paper. The quantitative design index is proved for the processing loess collapsing with the method of stabilizing by alkali liquid. This method was used in one engineering and good effect was obtained.

一、问题的提出

碱液加固法处理黄土湿陷性早在60年代就获得了成功。其消除湿陷的原理是：碱液加固柱体本身已不具有湿陷性，而且它的强度和刚度又远大于柱间未加固土体的强度和刚度，在刚性基础下，上部荷载由加固柱体与柱间土共同承担，显然基底应力向加固柱体集中，使柱间未加固土体压应力减小，降低土体遇水湿陷的可能性。目前碱液加固法设计中并未很好地考虑湿陷问题，多通过模拟碱液加固地基工作状态进行复合地基载荷试验来调整和确定设计方案，缺乏定量设计依据，具盲目性。由黄土湿陷性概念可知：刚性基础下碱液加固地基中的柱间未加固土体的应力尽管得到减小，但它的湿陷特性并未改变，依然存在湿陷的可能，当其压应力大于湿陷起始压力时，地基遇水便会湿陷，而一旦湿陷，基底压力将完全由碱液加固柱体承担，如果加固柱体强度不能满足要求，地基将失稳破坏。本文将推导出当柱间土压应力等于其湿陷起始压力时这一临界湿陷状态的置换率，作为碱液加固法控制地基湿陷破坏的设计标准。

二、临界湿陷置换率

碱液加固复合地基中加固柱体、柱间土应力分布表示为：

$$p = mp_p + (1 - m)p_s \quad (1)$$

式中 p ——基底压力；

p_p ——加固柱体竖向应力；

p_s ——柱间土竖向应力；

m ——置换率。

该式已广泛用于复合地基计算，同样适宜碱液加固复合地基。在刚性基础下，柱体与柱间土竖向变形具有协调性，即有：

$$s_p = s_s \quad (2)$$

式中 s_p 、 s_s ——加固柱体、柱间土的竖向变形。

根据加固柱体、柱间土载荷试验成果（见图1），由弹性理论可知：

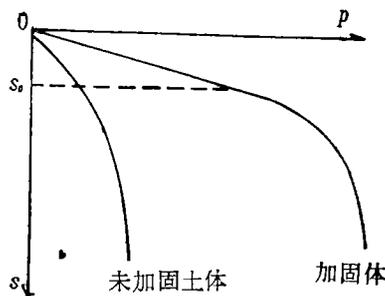


图1 载荷试验 $p-s$ 曲线

$$E_p = w_0(1 - \mu_p^2) \sqrt{A} \cdot \frac{p_p}{s_p} \quad (3)$$

$$E_s = w_0(1 - \mu_s^2) \sqrt{A} \cdot \frac{p_s}{s_s} \quad (4)$$

式中 E_p 、 E_s ——加固柱体与柱间土的变形模量；

μ_p 、 μ_s ——加固柱体与柱间土的波松

比, $\mu_p < \mu_s$;

A ——承压板面积;

w_0 ——与承载板尺寸、形状、刚度有关的系数, w_0 取值见表1。

表 1 刚性荷载板 w_0 表

l/b	1	1.5	2	3	4	5	10	圆形
w_0	0.88	1.08	1.22	1.44	1.61	1.72	2.12	0.79

由式(2)、(3)、(4)可得:

$$\frac{p_p}{p_s} = \frac{E_p}{E_s} \cdot \frac{1 - \mu_s^2}{1 - \mu_p^2} = n \quad (\text{应力比}) \quad (5)$$

当不具备荷载试验条件时,也可采用式(6),由压缩模量 E_{s1-2} 换算变形模量 E ,即:

$$E = \left(1 - \frac{2\mu^2}{1 - \mu}\right) E_{s1-2} \quad (6)$$

应当指出,式(5)仅是柱、土应力比 n 求法的一种,还有其它方法,可参考文献[1]。

将式(5)代入式(1)得:

$$m = \frac{\frac{p}{p_s} - 1}{n - 1} = \frac{p - p_s}{(n - 1)p_s} \quad (7)$$

既有建(构)筑物地基加固,基底压力 p 为定值,而且一定的碱液加固试验条件下,加固柱体强度和变形特征也是一定的。那么在一定的应力水平下,可以认为应力比 n 为定值,显然,此时,置换率 m 与柱间土压应力 p_s 呈递减函数关系, m 越小, p_s 越大,遇水湿陷的可能性越大,当 p_s 大于湿陷起始压力 p_{sk} 时,柱间土遇水湿陷,称 $p_s = p_{sk}$ 时的置换率为临界湿陷置换率,用“ m_0 ”表示,表达式为:

$$m_0 = \frac{p - p_{sk}}{(n - 1)p_{sk}} \quad (8)$$

若使基础下柱间土不发生湿陷,设计时置换率应大于 m_0 值。当置换率小于 m_0 时,地基遇水,柱间土湿陷,同时有 $p_s = 0$,基底

压力将全部由加固柱体承担,当加固柱体承载力小于 $\frac{p}{m_0}$ 时,地基将失去稳定,即使加

固柱体承载力大于 $\frac{p}{m_0}$,从水的存在及建

(构)筑物以后使用上也是不利的。所以考虑地基及建(构)筑物的安全,设计置换率应大于临界湿陷置换率。即:

$$m > m_0 \quad (9)$$

当然,式(9)仅是控制复合地基土不产生湿陷的定量标准,在设计上同时还应该使置换率满足复合地基强度和变形(压缩变形)要求。

三、工程实例

河北某化肥厂5000m²气柜建筑在新近沉积黄土状土之上,基础型式为毛石混凝土环形基础,基础埋深2.5m,气柜工作时的基底压力 $p = 100\text{kPa}$,1989年10月基础施工及设备安装完毕,之后进行气柜试运行,在10月15日地基发生不均匀变形,导致气柜不能正常运行。事故发生后,该厂委托我院进行调查处理,调查表明:产生事故的主要原因是新近沉积黄土状土湿陷变形以及含水量增大、承载力降低所致。经过调查研究采用碱液加固法处理地基土湿陷性,增强地基土强度,然后调整气柜高差的方案。

试验表明:新近沉积黄土状土具有非自重湿陷性,其 p_{sk} 值为:2.50m处:34kPa,4.00m处:59kPa,5.00m处:102kPa;压缩模量 $E_{s1-2} = 3.0\text{MPa}$;波松比 μ_s 取0.30。

经过现场碱液加固试验:加固柱体压缩模量 E_{s1-2} 为32.6MPa;强度增长4.1倍;波松比 μ_s 取0.27。

由于该工程时间紧,厂方经济紧张,未能做现场荷载试验,所以柱体与柱间土应力比 n 的计算,是经过式(6)换算后代入式(5)计算得出 $n = 11.48$,将该值代入式(8)得: $m_0 = 0.185$ 。

(下转第15页)

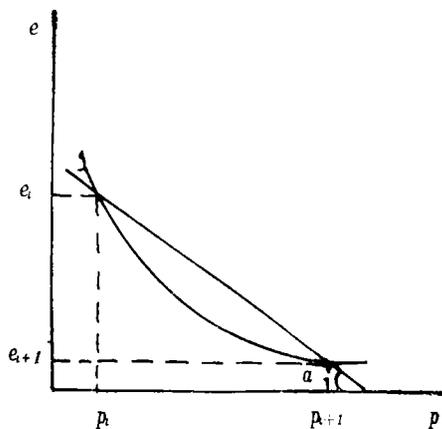


图 3

$$a = \operatorname{tg} \alpha = \frac{e_i - e_{i+1}}{p_{i+1} - p_i} \quad (19)$$

由虎克定律可知:

$$p_i = E \cdot \varepsilon_i \quad (20)$$

$$p_{i+1} = E \cdot \varepsilon_{i+1} \quad (21)$$

式(20)、(21)的 E 即为试样的压缩模量 E_s 。

将式(20)、(21)代入式(19)得:

$$a = \frac{e_i - e_{i+1}}{E(\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i)} \quad (22)$$

将式(17)、(18)中的 ε_i 代入式(22), 整

理后得:

$$E = \frac{1 + e_0}{a} \quad (23)$$

式(23)与“规范”给定的 E , 计算式一致。

2. “标准” E_s 计算式与“规范” E_s 计算式的关系

p_i 到 p_{i+1} 压力区间的压缩模量 E_s 。“标准”给定的计算式是式(1), 即 $E_s = \frac{p_{i+1} - p_i}{\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i}$ 。将式(17)、(18)的 ε_i 、 ε_{i+1} 和式(20)、(21)的 p_i 、 p_{i+1} 代入式(1)并整理得:

$$E_s = E, \text{ 从式(23)知 } E = \frac{1 + e_0}{a}$$

$$\text{故 } E_s = \frac{1 + e_0}{a} \quad (24)$$

式(24)与“规范”计算式完全一致。

三、结论

(一) “标准”与“规范”给定的 E_s 计算式, 虽然形式不同, 但实质相同, 可以互换使用。它们是有理论依据的。

(二) $E_s = \frac{1 + e_i}{a}$ 计算式缺乏理论依据, 是错误的, 应该舍弃。

(上接第12页)

设计中置换率 m 取0.239, $m > m_0$ 。

用 $m = 0.239$ 进行复合地基强度及变形验算均满足设计要求。

该处理工程于1990年3月22日结束, 4月2日试运行一次成功, 投入正式生产至今已3年零6个月, 地基未发生任何问题, 说明地基加固工程是成功的, 并得到厂方的好评; 同时证明本文所提出的设计参数及计算方法是适宜的, 具有实际意义。

四、结束语

碱液加固法处理黄土湿陷性并不能改变基础下未加固土体的湿陷特性, 依然存在地基土湿陷的可能, 所以方案设计不但应该满足复合地基强度和变形(压缩变形)要求,

还应该考虑柱间土湿陷问题, 即应该有:
 $m > m_0$ 。

临界湿陷置换率 m_0 这一指标, 为碱液加固法处理黄土湿陷性提供了一个定量标准, 它可以减少工作盲目性, 具有一定实际意义。

本文得到王长科同志的指导, 并提出了具体意见, 此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 韩杰、叶书麟. 复合地基应力特性分析. 工程勘察. 1993年, 第5期
- 2 史如平、韩选江主编. 土力学与地基工程. 上海交大出版社, 1990. 5