

高液限土直接填筑路堤自密沉降计算分析

郭先凯¹ 徐奋强^{2*}

(南京勘察工程有限公司¹, 南京 210007; 南京工程学院建筑工程学院², 南京 211167)

摘要 高液限土具有多次干湿循环强度趋稳的特点,采用与强度有关的固结压缩理论计算高液限土直接填筑路堤的沉降并不完善。故高液限土路堤自密沉降成为设计、施工的关键。现结合广梧高速公路高液限土直接填筑的工程实践,引入空气率指标,依据土体固、液、气三相物理指标的变化特点和相互关系,获得高液限土直接填筑路堤的自密沉降计算结果,并与分层总和法、积分法及实测结果对比分析表明,该计算方法能获得较好的可靠性。

关键词 高液限土 直接填筑 自密沉降 空气率

中图法分类号 TU442; **文献标志码** A

高液限土在我国南方省份分布较广,为减少弃方节省造价、保护自然环境,通过施工工艺的改善,甚至降低压实度要求,将其用于高速公路路堤直接填筑的成功实例逐见报道^[1-3]。高液限土施工土体最优含水率接近于塑限,易造成高液限土路堤吸水变形,膨胀、开裂等病害,解决方法一般是采用包盖法、掺料改良和降低压实度直接填筑^[4]。由于高液限土具强度低,液限高,保水性强,水稳定性差的特点,路堤自密沉降问题是需要解决的难题。有研究证明,自然环境因素的多次干、湿交替循环作用并不对高液限土的强度产生较大的影响^[5,6]。如此用传统的与强度有关的固结沉降计算理论并不完全适于高液限土路堤的车沉降变形计算。高液限土在填筑过程时,土的汽、液、固三相中液相和土颗粒是不可压缩的,加之其较强的保水性因素,压实过程就是固体颗粒与液体重新排列,气体挤出的过程,土中汽体含量的大小能准确反映土料的密实程度。而空气率就是反映路堤沉降的关键。空气率指标是从高液限土体汽、液、固三相组成的角度考虑高液限土压实困难,液限高、保水性强的特点而汽相却变化灵敏的优势来计算土体的沉降变形

问题。

目前以空气率指标控制高液限土填筑的问题逐渐被重视和研究^[7,8],但仍需系统化、量化分析。现以高液限土填筑的长期研究成果为依据,分析一定压实度条件下的空气率、含水率的改变与土体总体积之间的变化关系,进而解决高液限土路堤自密沉降变形的计算问题。

1 空气率指标理论分析

空气率可定义为:土体中空气所占体积与总体积之比,以百分数计^[9]。如式(1)所示。

$$v_a = \frac{V_a}{V} \times 100\% = \left[1 - \rho_d \left(\omega + \frac{1}{G_s} \right) / \rho_{w1} \right] \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中, v_a 为土体空气率(%); ρ_d 为土体的干密度, (g/cm^3); ρ_{w1} 为纯水在 4℃ 时的密度,等于 1 g/cm^3 , G_s 为土粒相对密度; ω 为土体含水率(%)。

$$\text{由空气率概念知: } v_a = \frac{V_a}{V} \times 100\% \quad (2)$$

则

$$e = \frac{\omega G_s}{\rho_{w1}} + \frac{v_a (1 + \omega G_s)}{\rho_{w1} (1 - v_a)} = \frac{v_a + \omega G_s}{\rho_{w1} (1 - v_a)} \quad (3)$$

土体变形量

$$\Delta H = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H_0 \quad (4)$$

2013年5月31日收到

* 通信作者简介:徐奋强,男,南京工程学院建筑科学院讲师,硕士。
研究方向:桥梁与隧道。E-mail:xfq102@sina.com。

$$\Delta H = \Delta e H_0 K \rho_{\max} / G_s =$$
$$\frac{1}{G_s} K \rho_{\max} H_0 \frac{1}{\rho_{w1}} \left[\frac{v_{a0} + \omega_0 G_s}{1 - v_{a0}} - \frac{v_{a1} + \omega_1 G_s}{1 - v_{a1}} \right] \approx$$
$$K \rho_{\max} \frac{1}{\rho_{w1}} H_0 \frac{G_s \Delta \omega + \Delta v_a}{G_s (1 - v_{a0} - v_{a1})} \quad (\text{忽略平方项无穷小量}) \approx$$
$$K \rho_{\max} \frac{1}{\rho_{w1}} H_0 \frac{\Delta \omega}{(1 - v_{a0} - v_{a1})} \quad (5)$$

最终以空气率、压实度、最大干密度为参数的高液限土直接填筑路堤的变形计算表达式为

$$\Delta H \approx K \rho_{\max} \frac{1}{\rho_{w1}} H_0 \frac{\Delta \omega}{(1 - v_{a0} - v_{a1})} \quad (6)$$

式(6)中, K 为路基压实度(%) ; $\rho_{\max}$ 为土体的最大干密度, (g/cm³) ; ρ_{w1} 为纯水在 4 ℃ 时的密度, 等于 1 g/cm³ ; H_0 为路堤填筑高度(m) ; $\Delta \omega$ 为含水率的变化量(%) ; v_{a0} 为高液限土填筑压实初始空气率(%) ; v_{a1} 为高液限土填筑压实后空气率(%) 。

从公式可以看出, 高液限土直接填筑路堤的变形主要受土体含水率和空气率变化的影响, 这与实际情况比较相符合。利用该公式很方便地计算出路堤自填筑到不同阶段的胀缩变形量, 而不受土体强度参数的制约。只要获得施工土体不同阶段的含水率、初始空气率及压实度就可计算出某一阶段由于孔隙水的排出(或增湿)、空气率减小而导致路堤的变形量。利用该计算方法也可以依据室内试验参数预测高液限土路堤不同运营阶段的沉降变形, 用以指导确定路堤的最大设计高度。

2 积分法计算原理

如将高液限土路堤看成整体, 计算基本公式为

$$S = \frac{a_v}{1 + e_1} p H \quad (7)$$

根据条形基底竖向均布荷载作用模型, 设路面宽 24.5 m, 路堤两侧坡比为 1:1.5。压缩层上部荷载等效为: $p_{\text{等效}} = \text{车辆荷载}(25 \text{ kPa}) + 1 \text{ m 路面结构层荷载}(20 \text{ kPa}) + \text{上层路堤荷载}(20H_1)$, 在压缩层内沿深度 z 取微断面 dz , 根据力的平衡原理, 微断面上部外荷载为

$$p_n = \frac{24.5}{24.5 + 3z} p_{\text{等效}} \quad (8)$$

微断面上部土体自重荷载为: $\sigma = \gamma z$ 。微断面所受总荷载为 $p = p_n + \sigma$ 。

最终路堤自密沉降量为

$$S = \int_0^h \frac{a_v}{1 + e_1} p dz = \frac{a_v}{1 + e_1} \int_0^h (p_n + \sigma) dz =$$
$$\frac{a_v}{1 + e_1} \left(\int_0^h p_n dz + \int_0^h \sigma dz \right) =$$
$$\frac{a_v}{1 + e_1} \left[\frac{49}{6} p_{\text{等效}} (\ln(3h + 24.5) - \ln 24.5) + \frac{1}{2} \gamma h^2 \right] \quad (9)$$

式(9)中, e_1 为土粒初始孔隙比; a_v 为压缩系数(MPa⁻¹) ; γ 为土体重度(kN/m³) ; h 为计算压缩层厚度(m)。

3 计算对比分析

现以课题组广梧高速长期沉降监测的某 10 m 高路堤工程为例分析说明, 并与分层总和法、积分法计算结果对比分析。该 10 m 高路堤去除封顶和封底土外, 高液限土直接填筑为 6 m, 其物理、力学参数如表 1、表 2 及图 1、图 2 所示, 计算结果见表 3 所示。

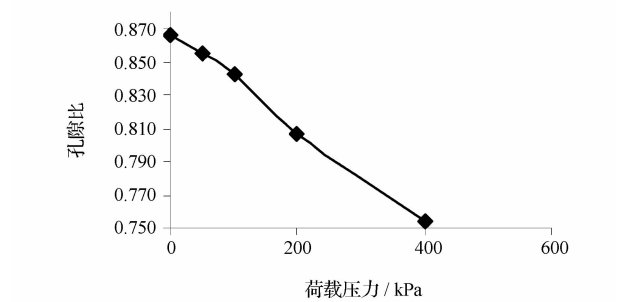


图1 压实度为90%的土样压缩曲线

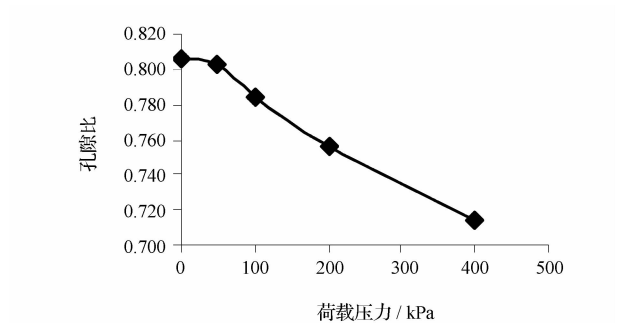


图2 压实度为93%的土样压缩曲线

表 1 高液限黏土土体击实、比重试验成果

最优含水率 /%	施工含水率 /%	最大干密度 /(g·cm ⁻³)	土粒 比重	24 月含水率 /%
20.2	23.2	1.65	2.70	22.3

表 2 高液限黏土土体固结试验成果

压实度/%	压缩系数 a_v /MPa ⁻¹	压缩模量 E_s /MPa
90	0.358	5.218
93	0.279	6.475

表 3 高液限黏土土体自密沉降量计算结果

压实度 /%	空气率法 /cm	分层总合法 /cm	积分法 /cm	实测 /cm
90	11.8	18.57	20.0	0.80
93	11.2	11.60	16.40	

4 计算结论分析

(1) 路堤的沉降变形受土体的含水率变化影响较大,而空气率指标对沉降变形影响较小,这也和实际相符合,因高液限土体的保水性强,在压密状态中,水不易排出而空气率含量又较小,一般在 4%~14% 区间,固土体的变形也较小,主要是由于空气的排出及其他结构性改变而导致。

(2) 改变压实度对高液限土路堤自密沉降影响不大,说明可以采用降低压实度并在填土含水率大于最优含水率的可控范围内进行填筑施工。从而较好地解释了降低压实度填筑高液限土路堤的可行性。

(3) 以压实度、空气率、最大干密度等为参数的沉降变形计算式所获得沉降值与常规的沉降计算结果偏差较大,主要因为该理论是以实际发生的空气体积的缩小而发生的实际量的变化为计算依据

的,是与实际状态相符的。而常规的沉降计算,是以强度参数压缩系数 a_{v1-2} 为依据的,而其随路堤的高度和土体强度的改变而改变,高液限土的特性就是细颗粒多,压缩性强,理论上导致传统沉降计算与实际有偏差较大。

(4) 三种理论计算值都较实测路堤自密沉降值差距较大,一方面实测的历间较短,还有沉降变形的趋势,另一方面,理论计算参数通过室内理想状态下获取,与现实有差异,说明高液限土直接填筑路堤的自密沉降计算理论尚不成熟,还有待进一步研究。

参 考 文 献

1 蔡卓生,唐汉坤. 惠普高速公路路基高液限土处治. 广东公路交通, 2002;(3):29—30

2 李 振. 高液限土填筑路基的处理技术. 公路交通技术, 2005;2(1):14—16

3 张 宁,邓 捷,吴立坚. 福建高液限土的工程特性研究. 公路, 2009;12(12):143—146

4 李结全. 多雨地区高液限土路基填筑方法试验研究. 南宁:广西大学, 2007

5 方庆军,洪宝宁,林丽贤,等. 干湿循环下高液限黏土与高液限粉土压缩特性比较研究, 四川大学学报, 2011;6(43):73—77

6 慕现杰,张小平. 干湿循环条件下膨胀土力学性能试验研究. 岩土力学, 2008;11(28):580—582

7 靳建明. 路基土密实度测试方法研究综述. 路基工程, 2011;(2):1—3

8 李小勇,富志根. 路基压实密度气囊检测方法研究. 岩土工程学报, 2003;(5):619—623

9 李书华. 高液限土填筑及压实控制标准研究. 南京:河海大学, 2009

Calculation Analysis on Self-compacting Settlement of High Liquid Limit Soil Direct Filling Embankment

GUO Xian-kai¹, XU Fen-qiang^{2*}

(Nanjing Exploration Engineering Co., Ltd¹, Nanjing 210007, P. R. China;

College of Architecture and Civil Engineering, Nanjing Institute of Technology², Nanjing 211167, P. R. China)

[Abstract] It's not appropriate to calculate high liquid limit soil's direct filling embankment own deformation with theory of compression and consolidation, for it's strength is stable with more Wetting-drying Cycles. The reliability of settlement of embankment consolidation is the key to solve the problem of design and construction for direct filling embankment. Combined with project fact, carry on air rate indicator comparative analysis. The calculation formula developed are based on the deformative characteristics and the relationship between soil's solid, liquid and gas. The settlement calculation results indicate that the method can get better reliable result than layer-wise summation method and integration method.

[Key words] high liquid limit soil direct filling self-compacting settlement air rate

(上接第 10045 页)

Research on Undrained Shear Strength of Dredged Slurries after Self-consolidation

XU Gui-zhong¹, BIE Xue-qing², ZHOU Jin-xing³

(Department of Civil Engineering, Yancheng Institute of Technology¹, Yancheng 210008, P. R. China;

Institute of Jiangsu Engineering and Research², Yangzhou 225002, P. R. China;

Qingdao Construction Engineering Co. LTD³, Qingdao 266061, P. R. China)

[Abstract] Plate penetration tests on undrained shear strength were performed on dredged slurries after self-consolidation, which indicates that the undrained shear strength of dredged slurries after self-consolidation decreases nonlinearly with water content increasing and is larger than the undrained strength of reconstituted dredged slurries at the same condition. Besides, the undrained shear strength of dredged slurries after self-consolidation increases with effective stress increasing when effective stress is larger than 0.2 kPa, but changes little with effective stress increasing when effective stress lower than 0.2 kPa, which is similar to the relationship between shear strength of nature clay and effective stress.

[Key words] dredged slurry undrained shear strength water content effective stress