

# 机场道面大面积高填土沉降稳定分析

翁兴中<sup>1</sup>, 杜俭<sup>1</sup>, 洪建军<sup>2</sup>, 陆明<sup>2</sup>

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 成空勘察设计院, 四川 成都 610041)

**摘要:**确定了引起高填土沉降的主要原因。根据高填土的施工特点,建立了高填土沉降的计算模型。基于分层总和法原则,建立了考虑施工方式和填筑时间的高填土沉降的计算方法;并结合绵阳机场,对高填土沉降稳定进行了分析。计算结果与实测结果相吻合,说明所提出的方法可以反映高填土的整个沉降过程。提出了缩短高填土沉降稳定时间的措施。

**关键词:**高填土;沉降;稳定

**中图分类号:**V351;U416.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2001)05-0007-04

民航绵阳南郊机场场区位于绵阳市南7 km的松包梁上。整个场区位于吴家湾—松包梁—汤家湾这条西北—东南向狭长丘陵台阶上。由于场区位于丘陵台阶上,造成土方工程大填大挖。最大填土深度为28.28 m。像填土如此多且填土深度较深的机场土方工程在国内是不多见的。由于飞机场区对土基的稳定性要求高,且飞行场区的面积大。因此,需要对高填土的沉降稳定进行分析研究。

该机场位于龙门山前缘到四川盆地过渡带的盆地丘陵区;座落在侏罗系泥质粉砂岩、砂质岩为基岩的Ⅱ~Ⅳ级阶地组成的丘状台地上,其成因类型属侵蚀堆积地貌,系更新世河流溪沟侵蚀堆积而成。构筑道面土基材料主要是粘质土、粉质粘土、粉土。粘质土分布面积最广,近于覆盖全区。粘质土属伊利石~高岭石(蒙脱石)~蒙脱石(高岭石)型弱膨胀土,其自由膨胀率( $\delta_{ep}$ )在40~65之间的样品数占80%,具有弱膨胀潜势。

对于填土的固结理论和沉降稳定分析,国内开展过相应的研究<sup>[1-3]</sup>;对于填土的沉降往往考虑填土施工完后的沉降变形情况;它适用于填土高度不高的填土的沉降变形,用来计算高填土的沉降则会带来较大的误差。因此,有必要提出一种考虑高填土整个沉降过程的计算方法。基于分层总和法原则,在沉降计算中考虑了填土的填筑方式和填筑时间对沉降稳定影响的基础上,建立了高填土沉降稳定的计算方法。该方法不仅可以考虑填土施工完成后对沉降的影响,而且考虑了填土施工方式和施工时间对沉降的影响。因此,它可以反映高填土沉降稳定的整个过程。通过对绵阳机场高填土沉降稳定的计算,并将计算结果与实测数据进行对比分析,证明所建立的高填土沉降稳定计算方法较好地反映了实际高填土沉降过程。因此,可用该方法进行高填土的沉降稳定分析。

## 1 沉降计算理论

高填土的沉降包括三个方面:一是原状土在填土和道面结构重量作用下发生的沉降;二是填土本身在自重作用下发生的沉降;三是填土在飞机荷载作用下产生的沉降。飞机荷载作用深度约为5~6 m,且飞机荷载的作用是瞬时的。因此,飞机荷载作用对高填土的沉降稳定的影响是很小的,在沉降稳定计算中可以忽略不计。

根据高填土的施工特点,高填土的沉降稳定计算采用图1所示的计算模型。

### 1.1 基本假设

收稿日期:2001-02-28

基金项目:成空勘测设计院资助项目

作者简介:翁兴中(1962-),男,浙江金华人,教授,主要从事机场道面研究。

1) 按施工的层数分层计算沉降, 当计算某一层  $j$  对下面土层的作用时, 该土层作为附加荷载, 并按半无限体上条形荷载进行计算;

2)  $j$  层以下的填土层按自重应力进行计算;

3) 随着应力水平的提高, 填土逐渐被压实, 压缩模量逐渐提高, 其应力应变关系符合  $e \sim p$  或  $E_s \sim p$  曲线。

## 1.2 计算理论

对第  $i$  层填土, 其施工完成时间为  $t_i (i = 1, \dots, n)$ , 填筑完工后至某一时刻  $T (T > t_i)$  产生的压缩量为

$$S_T = S_{T(i)} + S_{LT(i)} \quad (1)$$

式中,  $S_{T(i)}$  为第  $i$  层填土由于自身重量以及它上面的填土荷载引起的该层自身压缩量在  $T$  时刻已经完成的部分;  $S_{LT(i)}$  为第  $i$  层填土下面的土层从  $t_i$  到  $T$  时刻发生的固结沉降值。

$$\text{对于 } S_{T(i)} \text{ 有} \quad S_{T(i)} = \sum_{j=i+1}^n S_{(i,j)} \times U_{T(i,j)} \quad (2)$$

式中,  $U_{T(i,j)}$  为第  $i$  层填土由于第  $j$  层填土所引起的压缩量  $S_{(i,j)}$  在  $T$  时刻的固结度, 固结时间为  $\Delta T = T - t_i$ 。

$$\text{对于 } S_{LT(i)} \text{ 有} \quad S_{LT(i)} = S_{LT(i)1} - S_{LT(i)2} \quad (3)$$

$$S_{LT(i)1} = \sum_{k=1}^{i-1} \sum_{j=k+1}^n S_{(k,j)} \times U_{T(k,j)} \quad (4)$$

$$S_{LT(i)2} = \sum_{k=1}^{i-1} \sum_{j=k+1}^n S_{(k,j)} \times U_{T(k,i,j)} \quad (5)$$

式中,  $S_{LT(i)1}$  为第  $i$  层填土下面的土层 ( $1 \sim (i-1)$ ) 层从填筑时刻  $T$  时刻所产生的固结沉降;  $S_{LT(i)2}$  为第  $i$  层填土下面的土层 ( $1 \sim (i-1)$ ) 层从填筑时到第  $i$  层填筑完毕后已经产生的固结沉降。式中,  $U_{T(k,j)}$  为第  $k$  层填土 ( $k < i$ ) 由于第  $j$  层填土 ( $j > k$ ) 而引起的自身压缩量  $S_{(k,j)}$  在第  $j$  层填筑完毕后到  $T$  时刻产生的固结度, 固结时间为  $(T - t_i)$ 。  $U_{T(k,i,j)}$  为第  $k$  层填土由于第  $j$  层填土填筑 ( $i > j > k$ ) 而引起的自身压缩量  $S_{(k,j)}$  在第  $j$  层填筑完毕后第  $i$  层填筑完成这段时间的固结度, 固结时间为  $(t_i - t_j)$ 。

固结度按太沙基一维固结理论计算。计算公式为

$$U_t = 1 - \frac{(\frac{\pi}{2}\alpha - \alpha + 1)}{1 + \alpha} \frac{32}{\pi^3} e^{-\frac{\pi^2}{4} T_v} \quad (6)$$

## 2 沉降观测

为了确定高填土的沉降观测, 对不同区域的高填土的沉降进行观测。观测的目的主要是: 1) 监测填土层和原地面的沉降变化; 2) 进行填土工程质量评价, 为道面设计和施工提供依据; 3) 验算沉降理论的正确性。观测网络为  $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 。从 1998 年 1 月 22 日至 1998 年 7 月 15 日近半年的观测, 其测得的结果见表 1。设计的土基压实度要求如表 2 所示。

表 1 部分观测点沉降值

编号	压实度	填土高度/m	观测的总沉降量/mm
1	90 区	10.5	9.0
2	95 区	11.25	4.6
3	90 区	16.0	40
4	90 区	8.25	12
5	98 区	9.20	5.6

表 2 设计要求填土的压实度

项 目	m	压实度
高填方区道槽	0 ~ 1	0.98
(H > 6)	1 ~ 6	0.95
(98 区)	> 6	0.93
一般道槽区	0 ~ 1	0.98
(H < 6)	1 ~ 6	0.95
(98 区)	> 6	0.93
95 区	0 ~ 0.4	0.95
	> 0.4	0.90
90 区		0.90

## 3 沉降稳定分析

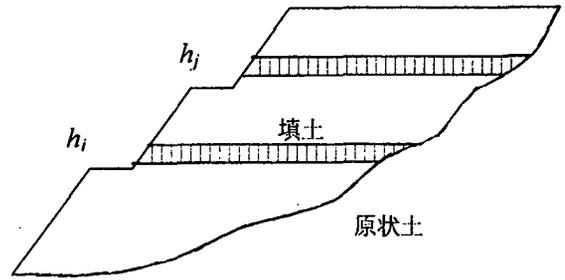


图 1 高填土沉降计算模型

为计算填土的沉降,对地基土和填土的土性参数进行了测定(见表 3、表 4、表 5)。

表 3 地基土的力学指标

孔号	土名	含水量/%	密度/(g/cm <sup>3</sup> )	孔隙比	塑限	塑性指数	压缩模量/MPa	内聚力/kPa	内摩擦角
ZK15	粉土	29.8	1.87	0.915	23.6	9.2	10.4	12.5	18.1
ZK11	粉土	31.7	2.02	0.786	24.6	9.6	8.9	16.1	16.8
ZK9	粉土	23.6	1.90	0.801	21.3	7.9	10.3	13.8	17.9
ZK6	粘土	30.3	2.07	0.716	24.9	23.5	10.5	17.5	21.9
ZK13	粘土	26.9	2.01	0.736	24.8	14.1	10.6	13.2	18.2
ZK10	粘土	24.2	2.08	0.644	23.1	16.2	8.9	14.6	19.4

表 4 填土的力学指标

试件编号	含水量	密度/(g/cm <sup>3</sup> )	内聚力/kPa	内摩擦角
1	18.0	1.88	110	14.0
2	19.8	1.98	58	18.3
3	22.0	2.10	30	15.0
4	18.0	2.09	100	14.5
5	26.6	1.99	26	11.7
6	30.2	1.94	16	12.5

表 5 填土的压缩指标

试件编号	压缩模量/MPa <sup>-1</sup>				渗透系数/m/d × 10 <sup>-5</sup>							
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.18	0.22	0.23	0.36	0.34	9.6	7.9	7.5	4.8	5.1	1.05	
2	0.08	0.18	0.28	0.40	0.28	20.8	9.3	6.0	4.2	6.0	4.21	
3	0.08	0.26	0.34	0.32	0.16	20.0	6.2	4.7	4.9	9.8	4.16	

注:压缩模量和渗透系数中第 1 列数字(简称 1:)为 0 ~ 50kPa;2:50 ~ 100 kPa;3:100 ~ 200 kPa;4:200 ~ 400 kPa;5:400 ~ 700 kPa。

理论计算结果与实际观测结果见表 6。从表的对比中可以看出,理论计算值与实际观测值吻合。说明本文建立的高填土沉降计算方法可以较好地反映高填土的沉降变化情况,可用来进行高填土的沉降计算。

表 6 理论计算值实测值对比

压实区	填土高度/mm	观察天数	观测值/mm	计算值/mm	误差
95 区	10.3	160	10	10.3	3%
90 区	10.5	48	9	8.72	3.1%

计算出不同填土高度沉降随时间变化情况如表 7 所示。

表 7 不同填土高度沉降随时间变化(95 区)

填土高度/m	沉 降 变 化/mm			
	1 年	2 年	3 年	30 年
10	13.89	16.00	16.57	16.82
15	18.57	24.01	26.41	28.91
20	27.00	37.66	43.69	55.18
25	32.84	48.27	58.20	86.75
30	37.94	57.65	71.27	123.67

道面设计寿命为 30 年<sup>[4]</sup>。因此,可以把高填土 30 年的沉降作为最终沉降。这样就可以得到不同填土高度在不同时间内的固结度。可以得出:某一时刻填土的固结度随深度的增加而减少,开始时衰减较快,随着深度的增加而逐渐变慢。说明填土的高度越高,达到稳定沉降所需的时间越长。

图 2 为填土的压实度与最终沉降关系。从图中可以看出:压实度越高,最终沉降量就越小,同时其固结时间(即达到稳定沉降的时间)越短。填土越高,压实度的影响就越大。因此,可以认为提高高填土的压实度,对于减小高填土的最终沉降量和加快高填土的沉降固结是一项很有效的措施。所以在高填土施工中应

尽量提高高填土的压实度,以减小高填土的最终沉降量和缩短沉降稳定的时间。

为了缩短高填土的沉降稳定的时间,在地基与填土层之间增设一层碎石过滤层,厚度为30 cm。其目的是加快地基土和填土的排水作用,使土中的孔隙水尽快地排除掉,起到了缩短沉降稳定的时间,其效果是显著的。

#### 4 结论

1) 建立起了高填土沉降计算方法,较好地解决了高填土在施工过程及整个沉降过程中的沉降计算问题。该方法可以推广到任一高填土的沉降计算。

2) 高填土的沉降量与填土高度和压实度有关。填土越高,填土的最终沉降量就越大,其稳定沉降时间就越长。填土的压实度越高,填土的最终沉降量就越小,其稳定沉降的时间就越短。

3) 为了加快填土的沉降,在地基与填土之间铺设碎石过滤层,起到加快排除土中孔隙水的作用;同时,相应地提高填土的压实度。这两项措施起到了缩短沉降稳定时间的作用。经一年后,高填土的沉降基本达到稳定。

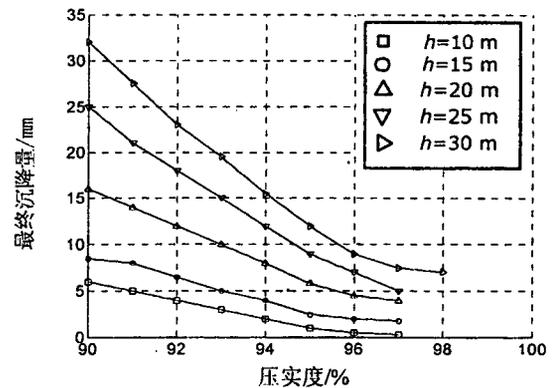


图2 不同填土高度下最终沉降量与压实度关系

#### 参考文献:

- [1] 曾国熙. 砂井地基固结理论的新发展[A]. 中国土木工程学会第五届土力学及基础工程学术会议论文集[C]. 北京:中国建筑出版社,1990.
- [2] 卞守中. 某机场堆载预压试验成果的初步分析[A]. 中国土木工程学会第五届土力学及基础工程学术会议论文集[C]. 北京:中国建筑出版社,1990.
- [3] 沈珠江. 软土地基固结变形计算模式的评价[J]. 土木工程学报,1984,(2):10-13.
- [4] 冷培义,翁兴中,蔡良才. 机场道面设计[M]. 北京:人民交通出版社,1995.

### A Settlement Stabilization Analysis of Airfield Pavement Great Area High Filling

WENG Xing-zhong<sup>1</sup>, DU Jian<sup>1</sup>, HONG Jian-jun<sup>2</sup>, LU Ming<sup>2</sup>

(1. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038 China;  
2. Chengdu Air Force Reconnaissance and Design Office, Chengdu 610041, China)

**Abstract** · With the main contributors to high filling settlement determined, a calculating model is set up according to the characteristics of high filling construction. On the principle of Layers - summation, a calculating method of high filling settlement is presented in consideration of construction mode and time. And an analysis of high filling settlement stabilization is made in Mianyang Airfield. The calculating results are in agreement with the measuring results, which proves the method applicable for the calculation of the total settlement course of high filling. This paper also discusses the steps of shortening the high filling settlement stabilization time.

**Key words**: high filling; settlement; stabilization