

分层总和法在某建筑地基沉降预测中的应用与分析

曹海军

南京东大岩土工程勘察设计研究院有限公司, 江苏 南京
Email: 286278820@qq.com

收稿日期: 2020年9月4日; 录用日期: 2020年9月18日; 发布日期: 2020年9月25日

摘要

建筑地基沉降是岩土工程领域的一个难点, 在建筑设计和施工前常要预测建筑物的地基沉降, 从而采取措施将建筑地基沉降控制在规范和设计要求的范围内, 现常用的地基沉降计算和预测方法是分层总和法, 本文介绍了分层总和法的原理, 并运用于某具体的厂区分段堆场、钢料堆场、部件工场、切割工场的地基沉降预测计算中, 通过沉降实测值与沉降预测值对比, 表明分层总和法能很好地运用于场地地基沉降的预测。

关键词

分层总合法, 地基沉降, 沉降预测, 荷载, 附加应力系数

Application and Analysis of Layerwise Summation Method in Ground Settlement Prediction of One Factory

Haijun Cao

Nanjing SEU Geotechnical Engineering Investigation and Design Research Institute Co. Ltd., Nanjing Jiangsu
Email: 286278820@qq.com

Received: Sep. 4th, 2020; accepted: Sep. 18th, 2020; published: Sep. 25th, 2020

Abstract

The settlement of building foundation is a difficult point in geotechnical engineering. It is often

necessary to predict the foundation settlement of the proposed building before design and construction, so as to take measures to control the settlement of building foundation within the scope of specifications and design requirements. The commonly calculation and prediction method of foundation settlement is layerwise summation method. This article introduced layerwise summation method and applied it to the calculation of floor settlement in a specific plant, such as sectional storage yard, steel yard, component workshop and cutting workshop. By comparing the measured settlement with the predicted settlement, the results showed that the layerwise summation method can be well applied to the settlement prediction of the site.

Keywords

Layerwise Summation Method, Floor Subsidence, Settlement Prediction, Load, Additional Stress Coefficient

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

分层总和法是目前计算地基变形的一种比较成熟的方法,虽然条件假设与实际地层条件不完全吻合,但计算结果还是能反映地基沉降规律,我国建筑业已经把分层总和法列为变形计算的主要方法,应用十分广泛。某厂区地基场地主要为开挖完山体后的回填。根据老的地形图,局部填土厚度较厚,最厚约为20.00 m。回填材料主要为碎石,根据调查,回填后的填土未经过有效的处理,因此,场地建成至今,地面沉降及差异沉降较严重,根据最新资料显示,最大沉降量已超过300 mm。应建设单位要求,对该厂区内的地基进行沉降预测计算。本文介绍了分层总和法[1] [2] [3] [4] [5]的原理,并运用于该厂区内分段堆场、钢料堆场、部件工场、切割工场的沉降预测计算中,通过沉降实测值与沉降预测值对比,表明分层总和法能很好地运用于场地地基沉降的预测[6] [7] [8] [9]。

2. 分层总和法

根据《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2011)第5.3.5条计算地基变形时,地基内的应力分布,可采用各向同性均质变形体理论,其最终变形量可按式进行计算[10]:

$$S = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{P_0}{E_{si}} (Z_i \bar{\alpha}_i - Z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1})$$

s ——地面最终沉降量(mm);

s' ——按分层总和法计算出的地面沉降量(mm);

ψ_s ——沉降计算经验系数;

n ——地面变形计算深度范围内划分的土层数;

p_0 ——对应于荷载效应准永久组合时的基础底面处的附加应力(kPa);

E_{si} ——基础底面下第*i*层土的压缩模量(MPa),应取土的自重压力至土自重压力与附加压力之和的压力段计算;

z_i 、 z_{i-1} ——基础底面至第*i*层土、第*i-1*层土底面的距离(m);

$\bar{\alpha}_i$ 、 $\bar{\alpha}_{i-1}$ ——基础底面计算点至第*i*层土、第*i-1*层土底面范围内平均附加应力系数。

3. 工程地质概况

3.1. 地层分布特征

本场地属于海积平原和丘陵地貌，该段岸线多为开山回填后形成，根据勘察资料揭露该区域内的地层分布特征如下：

①₁ 填土：层厚约 0.80~20.00 m，主要成分为开山后回填的碎石，局部为块石，最大直径大于 20 cm，混碎石屑，充填物主要以砂、粘性土为主。根据原有地形，分布厚度变化较大。总体呈松散 - 中密状。

①₂ 灰黄色淤泥：层厚约 1.10~10.80 m，仅分布在水域，为新近沉积，层面起伏较大，厚度变化大，该层土状态差，流塑状，局部夹碎石颗粒。

①₃ 灰黄色碎石土：层厚约 1.40~7.80 m，碎石成分为凝灰岩，夹粘性土，局部夹淤泥。主要为坡积、残坡积形成。总体呈稍密状。状态不均，局部密实度较好。

③ 灰色淤泥质粘土：层厚约 2.20~18.80 m，层面起伏较大，场地内局部缺失，该层土局部夹薄层中粗砂。该层土无结构，状态差，钻进过程中，钻具自沉，流塑状。

④ 灰色粘土：层厚约 6.00~18.50 m，层面起伏较大，厚度变化大，该层土状态总体较③层好，局部夹状态较好的粉质粘土和状态较差的淤泥质土，软塑状。

⑤ 灰色粉质粘土：层厚约 1.40~11.90 m，层面起伏及厚度均较大，仅部分区域分布，分布不均，状态软塑。

⑥ 灰绿色粉质粘土：层厚约 2.30~16.60 m，层面起伏及厚度均较大，土层分布不均，该层土状态较好，可塑状，局部灰黄色。

⑨₁ 强风化凝灰岩：层厚约 1.60~2.70 m，岩样呈碎块状，该层动力触探击数约 8.0~50.0 击。

⑨₂ 中风化凝灰岩：本次勘探深度范围内未揭穿，层面起伏较大，由于岩石节理、裂隙发育，岩芯多呈碎块状和短柱状。

3.2. 土层物理力学性质参数

各土层的物理力学性质参数指标根据野外原位测试成果及室内土工试验指标，进行分析、分层统计。各土层的工程特性指标详见《土层工程特性指标参数表》(表 1)。

Table 1. Engineering characteristic index of soil layer

表 1. 土层工程特性指标参数表

土层名称	压缩系数 $a_{0.1 \sim 0.2}$ (MPa)	压缩模量 $E_{s0.1 \sim 0.2}$ (MPa)	直剪(固快)		标准贯入 N (击) 实测值	重型动力触探 N (击) 实测值
			内聚力 C (kPa)	内摩擦角 Φ (°)		
① ₁ 填土(碎石)						11.4
① ₂ 灰黄色淤泥	1.13	2.27	9	8.0		
① ₃ 碎石土						9.8
③ 灰色淤泥质粘土	0.96	2.41	13	12.0	1.5	
④ 灰色粘土	0.86	2.58	14	14.0	4.1	
⑤ 灰色粉质粘土	0.61	3.56	15	15.5	4.9	
⑥ 灰绿色粉质粘土	0.35	5.40	31	16.5	14.4	
⑨ ₁ 强风化凝灰岩						25.6
⑨ ₂ 中风化凝灰岩						

4. 沉降预测

4.1. 分段堆场沉降预测

分段堆场：均载 5 t/m^2 ；集中荷载 50 t ，间距大于 6 m ，接触面积 1 m^2 ；通道、道路上的大型分段运输平板车，单个车轮荷载 8 t /个。根据经验，对于集中荷载 50 t 的区域应进行适当的地基处理，如采用桩基或扩大基础面积及厚度等，若不处理，由于过大的集中荷载，必然引起较大的基础沉降，从而可能导致基础剪切破坏。本次仅针对均载为 5 t/m^2 的分段堆场进行沉降量预测计算，参考勘察报告中 Z15 钻孔的地层资料(见图 1)。

		现地面标高3.35m
填土	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$	原地面标高0.60m
粉质粘土	$E_s = 5.28 \text{ MPa}$	层厚1.20m
粉质粘土	$E_s = 3.75 \text{ MPa}$	层厚1.40m
淤泥质粉质粘土	$E_s = 2.69 \text{ MPa}$	层厚23.20m
粘土	$E_s = 3.12 \text{ MPa}$	层厚11.00m
粉质粘土	$E_s = 5.90 \text{ MPa}$	层厚2.40m
粉质粘土	$E_s = 5.67 \text{ MPa}$	层厚7.80m
凝灰岩		

Figure 1. Calculation of Z15 drill hole

图 1. Z15 钻孔算例示意图

原地面标高约 0.60 m ，现场地地面标高按 3.35 m 计，填土厚度约 2.75 m ，地下水埋深按 0.5 m 计，填土重度按 20 kN/m^3 ，则填土的荷载约 32.5 kPa ，总荷载约 82.5 kPa 。根据设计提供的平面示意图，估算该分段堆场面积 $300 \text{ m} \times 130 \text{ m}$ ，根据分层总和法公式计算得出该点的最终沉降量约 1400 mm 。

4.2. 部件工场沉降预测

		现地面标高3.70m
填土	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$	原地面标高1.62m
粉质粘土	$E_s = 5.28 \text{ MPa}$	层厚1.00m
粉质粘土	$E_s = 3.75 \text{ MPa}$	层厚1.50m
淤泥质粉质粘土	$E_s = 2.69 \text{ MPa}$	层厚21.90m
粘土	$E_s = 3.12 \text{ MPa}$	层厚10.80m
粉质粘土	$E_s = 5.90 \text{ MPa}$	层厚4.30m
粉质粘土	$E_s = 5.67 \text{ MPa}$	层厚2.60m
凝灰岩		

Figure 2. Calculation of Z110 drill hole

图 2. Z110 钻孔算例示意图

部件工场：均载 4 t/m^2 ，参考勘察报告 Z110 孔资料(见图 2)，原场地标高 1.62 m ，现场地地面标高按 3.70 m 计，填土厚度约 2.08 m ，地下水埋深按 0.5 m 计，填土重度按 20 kN/m^3 ，则填土的荷载约 25.80 kPa ，总荷载约 65.80 kPa 。根据设计提供的平面示意图，估算面积 $182 \text{ m} \times 126 \text{ m}$ ，根据分层总和法公式计算得出该点的最终沉降量约 1000 mm 。

4.3. 切割工场沉降预测

		现地面标高3.70m
填土	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$	原地面标高0.88m
粉质粘土	$E_s = 5.28 \text{ MPa}$	层厚4.70m
粉质粘土	$E_s = 3.75 \text{ MPa}$	层厚1.80m
	$E_s = 2.69 \text{ MPa}$	层厚19.70m
粘土	$E_s = 3.12 \text{ MPa}$	层厚4.70m
粉质粘土	$E_s = 5.90 \text{ MPa}$	层厚1.20m
粉质粘土	$E_s = 5.67 \text{ MPa}$	层厚2.20m
凝灰岩		

Figure 3. layering of Z140 drill hole

图 3. Z140 钻孔分层

切割工场：均载 3 t/m^2 ，参考勘察报告 Z140 孔资料(见图 3)，原场地标高约 0.88 m ，现场地地面标高按 3.70 m 计，填土厚度约 2.82 m ，地下水埋深按 0.5 m 计，填土重度按 20 kN/m^3 ，则填土的荷载约 33.20 kPa ，总荷载约 63.20 kPa 。根据设计提供的平面示意图，估算面积 $175 \text{ m} \times 110 \text{ m}$ ，根据分层总和法公式计算得出该点的最终沉降量约 550 mm 。

4.4. 钢料堆场沉降预测

		现地面标高3.65m
填土	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$	原地面标高3.20m
杂填土	$E_s = 8.00 \text{ MPa}$	层厚2.50m
粉质粘土	$E_s = 3.75 \text{ MPa}$	层厚0.60m
	$E_s = 2.69 \text{ MPa}$	层厚18.10m
凝灰岩		

Figure 4. Calculation of Z162 drill hole

图 4. Z162 钻孔算例示意图

钢料堆场：均载 8 t/m^2 ，参考勘察报告 Z162 孔资料(见图 4)，原场地标高约 3.20 m ，现场地地面标高按 3.65 m 计，填土厚度约 0.45 m ，地下水埋深按 0.5 m 计，填土重度按 20 kN/m^3 ，则填土的荷载约 9 kPa ，

总荷载约 89.0 kPa。估算面积 $85\text{ m} \times 27\text{ m}$ ，据上述公式计算得出该点的最终沉降量约 800 mm。各堆场及工场的沉降预测见表 2 所示。

Table 2. Settlement prediction of each yard and workshop
表 2. 各堆场及工场的沉降预测表

预估区	分段堆场	部件工场	切割工场	钢料堆场
荷载	50 + 32.5 (82.5 kPa)	40 + 25.8 (65.8 kPa)	30 + 33.2 (63.2 kPa)	80 + 9 (89 kPa)
估算面积(m × m)	300 m × 130 m	185 m × 177 m	155 m × 110 m	85 m × 27 m
中心点最终沉降量(mm)	1400	1000	550	800

5. 沉降实测

该厂从建厂时就设置了厂区沉降观测点，经过 15 年的观测，15 年的沉降累计值见表 3 所示。

Table 3. Settlement measuring value
表 3. 沉降实测值

预估区	分段堆场	部件工场	切割工场	钢料堆场
观测点	FDCJ05	BJCJ03	QGCJ08	GLCJ07
沉降累计值(mm)	1321	1085	676	735

通过沉降实测值与沉降预测值对比，两者数据差距接近 10%，能满足基地规范变形的要求[10]，发现分层总和法能很好的运用于该厂区地基沉降的预测。

6. 结论

1) 地基沉降计算是岩土工程工程设计中的重要内容，在建筑工程建设中，因沉降量或不均匀沉降量过大会影响建筑物的正常使用，有可能造成工程事故。因此在建筑设计和施工前常要预测建筑物的地基沉降，从而采取措施将建筑地基沉降控制在规范和设计要求的范围内。

2) 本文介绍了分层总和法，并运用于某具体的厂区分段堆场、钢料堆场、部件工场、切割工场的地基沉降预测计算中，通过沉降实测值与沉降预测值对比，表明分层总和法能很好地运用于场地地基沉降的预测。

3) 分层总和法预测建筑物沉降也有一定的缺陷，首先它假设建筑物地基是各向同性均质线性变形体，但实际土质并非是同性的均质线性变形体；其次从分层总和法的公式中可以看出沉降预测计算的准确性与土的压缩特性指标有着密切的关系，而土的压缩指标是在土工试验室中得出的结果，这也与岩土工程技术人员水平有着直接关系。因此，在运用分层总和法预测地基沉降时，地区经验和显得尤为重要。

参考文献

- [1] 童立元, 涂启柱, 刘松玉, 等. 基于孔压静力触探测试的改进分层总和法在软基沉降预测中的应用研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(S2): 679-682.
- [2] 刘金砺, 邱明兵, 秋仁东, 等. Mindlin 解均化应力分层总和法计算群桩基础沉降[J]. 土木工程学报, 2014, 47(5): 118-127.
- [3] 江勇顺, 唐浩, 李天斌. 基于 Duncan-Chang 模型的高层建筑物分层总和法沉降计算与场地变形分析[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2018, 45(5): 626-632.
- [4] Science-Earth Science (2019) Researchers at Shanghai University Have Reported New Data on Earth Science (3d Sta-

bility of Partially Saturated Soil Slopes after Rapid Drawdown by a New Layer-Wise Summation Method). *Science Letter*, **25**, 132-138.

- [5] 王甲春, 周先齐. 地基沉降量计算的规范法与分层总和法的对比分析[J]. 大学教育, 2019(9): 58-60.
- [6] 季荣, 胡一凡, 赵新年. 浅议分层总和法计算地基沉降的几个问题[J]. 广西水利水电, 2013(2): 15-18.
- [7] 沈扬, 杜文汉, 邱晨辰. 基于分层总和法的地基沉降计算教学反思[J]. 高等建筑教育, 2015, 24(5): 79-82.
- [8] 徐金明, 汤永净. 分层总和法计算沉降的几点改进[J]. 岩土力学, 2003(4): 518-521.
- [9] 何松龄. 分层总和法地基变形计算精度探讨[J]. 工程勘察, 1997(6): 10-13.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50007-2011 建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.