

文章编号:1673-9469(2012)03-0027-03

大面积堆载作用下地基变形影响分析

孙晓东^{1,2}

(1. 大地工程开发(集团)有限公司, 北京 100102; 2. 天津城市建设学院, 天津 300384)

摘要:通过具体工程实例,对大面积堆载作用下软土地基变形进行了详细计算与分析,并与复合地基处理后的地基变形量进行了对比。分析认为大面积堆载对地基变形影响深度较大,超出了常规荷载作用下的影响深度;与复合地基相比,大面积堆载地基变形量要多出25倍左右;大面积堆载影响深度范围内,要考虑负摩阻力作用。

关键词:大面积堆载;地基变形;影响深度;复合地基

中图分类号:TU 433

文献标识码:A

Analysis on the deformation of foundation in large-scale preloading field

SUN Xiao-dong^{1,2}

(1. Dadi Engineering Development Co., Ltd, Beijing 100102, China; 2. Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China)

Abstract:Based on the engineering examples, the detailed calculation and analysis on the role of foundation deformation with large-scale preloading were carried out and compared with the deformation of composite foundation treatment. The results showed that the influence depth of foundation deformation under the large-scale preloading was large, and exceed the influence depth of conventional load depth; compared with the composite foundation, the deformation of foundation under large-scale preloading was 25 times more than composite foundation; the negative skin friction should be considered in influence depth range under large-scale preloading.

Key words: large-scale preloading; deformation of foundation; influence depth; composite foundation

近年来在工业建筑中,尤其是煤炭行业,由于设计产能的因素,需要建造大型储煤场和产品仓,此类建筑物往往占地面大,堆料高度高,如河北曹妃甸某圆形储煤场直径120 m,堆煤高度达34 m。由此所产生的大面积堆载对地基的变形影响深度大、范围广,尤其在软土地区此种情形更为明显^[1]。假如在设计时未考虑到大面积堆载对地基变形产生的影响,将造成严重的后果,如建筑物地基产生不均匀沉降,导致地坪下沉、墙体开裂、及由此引发柱内倾等现象,严重影响建筑物安全^[2]。本文将就此问题结合工程实例加以计算和分析对

比,以供同类工程设计时参考。

1 大面积堆载沉降变形计算方法

规范[3]规定由地面荷载引起柱基内侧边缘中点的地基附加沉降计算值按分层总和法计算:

$$S = \psi_s S' = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{P_0}{E_{si}} (z_i \cdot \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \cdot \bar{\alpha}_{i-1}) \quad (1)$$

式中 s - 地基最终变形量; s' - 按分层总和法计算出的地基变形量; ψ_s - 沉降经验系数; n - 土层数; P_0 - 基础底面附加压力; E_{si} - 基础底面下第 i 层土的压缩模量; z_i, z_{i-1} - 基础底面至第 i 层土、第 $i-1$

收稿日期:2012-05-02

作者简介:孙晓东(1982-),男,河北涿鹿人,硕士,从事岩土工程勘察设计工作。

层土底面的距离; α_i, α_{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。

关于地基变形计算深度,规范[3]规定,应符合式(2)要求。

$$\Delta s'_n \leq 0.025 \sum_{i=1}^n \Delta s'_i \quad (2)$$

式中 $\Delta s'_i$ - 在计算深度范围内第 i 层土的计算变形值; $\Delta s'_n$ - 由计算深度向上取一定厚度 Δz 的土层计算变形值。

地面荷载计算范围:横向取 5 倍基础宽度,纵向为实际堆载长度,其作用面在基底平面处。当荷载范围横向宽度超过 5 倍基础宽度时,按 5 倍基础宽度计算。小于 5 倍基础宽度或荷载不均匀时,应换算成宽度为 5 倍基础宽度的等效均布地面荷载计算。

2 工程实例

2.1 条形储煤场

工程概况:山西长治某原煤储煤场,储煤长度 120 m、宽度 30 m。考虑后期堆煤高度 15 m,煤堆荷载取 150 kPa。场地地层见表 1。

表 1 场地地层

Tab. 1 Site formation

场地地层	层底深度/m	Esi/MPa
粉砂	8.0	4.7
粉粘	11	5.3
粉砂	14.3	4.5
粉粘	25	5.3
粉粘	30	15.2

模型选取:按长 120 m、宽 30 m 的堆煤场地实际情况,计算沉降最大值段的附加沉降。计算分四块:1、2 块长 $L=73$ m、宽 $b=15$ m,3、4 块长 $L=47$ m、宽 $b=15$ m,计算模型见图 1。

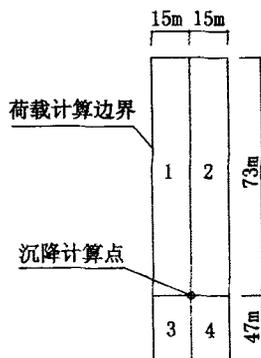


图 1 计算模型

Fig. 1 Calculation model

计算过程:据规范[3]分层总和法,变形从地

面算起,上返 1.2 m 验算变形影响深度,当 $\Delta S \leq 0.025S$ 停止计算。经计算深度到 30 m 时, $\Delta S/S = 0.014 < 0.025$,变形达到收敛,总沉降量 $S = 676$ mm。由此可见,此大面积堆载影响深度大,达 30 m,远远超出常规荷载作用下的影响深度^[4],且沉降变形大。

固结时间:变形影响深度 $H = 30$ m,孔隙比 $e = 0.8$,压缩系数 $a_v = 0.32 \text{ MPa}^{-1}$,渗透系数 $k = 0.87 \times 10^3 \text{ cm/a}$ 。

当土体固结度为 80%:由 $\alpha = 1.0, U_t = 0.8$,查得 $T_v = 0.6$,土的固结系数 $C_v = k(1+e)/r_w a_v = 4.89 \times 10^7 \text{ (cm}^2/\text{a)}$,固结时间 $t = T_v H^2 / C_v = 44$ d。

当土体固结度为 100%:由 $\alpha = 1.0, U_t = 1$,查得 $T_v = 0.95$,土的固结系数 $C_v = k(1+e)/r_w a_v = 4.89 \times 10^7 \text{ (cm}^2/\text{a)}$,固结时间 $t = T_v H^2 / C_v = 66$ d。

由上可知,大面积堆载地基变形大约在 44 d 后完成大部分沉降变形,在 66 d 后达到稳定。

2.2 圆形储煤场

工程概况:河北曹妃甸某圆形储煤场直径 120 m,最大堆煤高度 34 m,要求复合地基承载力 320 kPa,挡煤墙要求复合地基承载力 370 kPa,储煤场示意图见图 2,场地地层见表 2。

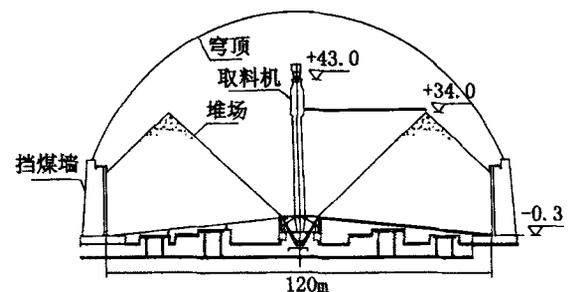


图 2 堆场示意图

Fig. 2 The schematic of yard

表 2 场地地层

Tab. 2 Site formation

场地地层	层底深度/m	Esi/MPa
粉砂	5.5	15.6
粉粘	13.8	3.0
粉砂	19.2	24.0
粉粘	24.7	5.0
粉粘	37.5	10.8
细砂	50	33.0

模型选取:以最高堆煤点为沉降点,变形从地面算起。将圆形堆场简化为矩形,左侧为 370 kPa

矩形荷载外加 50 kPa 矩形荷载产生的沉降变形 S_1 、 S_2 ，右侧为 320 kPa 三角形荷载产生的沉降变形 S_3 ，最终总沉降变形量： $S = S_1 + S_3 - S_2$ 。计算模型见图 3。

据规范[3]计算地面下 50 m 深度范围内各区沉降变形： $S_1 = 987$ mm， $S_2 = 112$ mm， $S_3 = 680$ mm。则最终总沉降变形量

$$S = S_1 + S_3 - S_2 = 1555 \text{ mm} \quad (3)$$

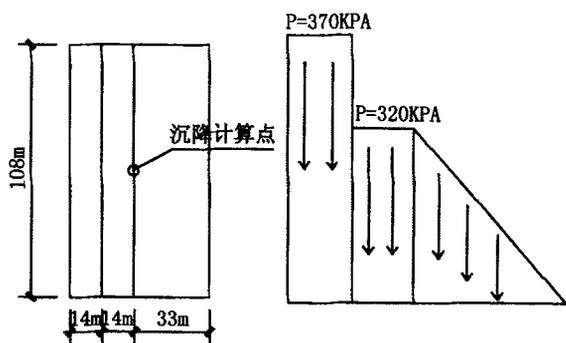


图3 计算模型

Fig. 3 Calculation model

由收敛条件求得，此大面积堆载最大影响深度为 26 m，变形影响深度范围内沉降变形为 1 260 mm。可见软土地区大面积堆载影响深度以下一定范围内沉降变形量依然较大，约 300 mm。如采用天然地基处理此场地，后期沉降惊人，设计人员必须对此问题引起重视，采取可靠措施控制好地基变形。

与复合地基变形对比：以曹妃甸圆形储煤场为例，设计拟采用砂石桩 + 素混凝土桩复合地基，文献[5]对此地基处理方式做了专门论述，阐述了组合型复合地基承载力及沉降变形的计算方法。

复合地基沉降变形依然分为三部分，计算模型同图 3。

素混凝土桩，桩径 600 mm，桩长 26 m，单桩承载力特征值 $R_{a1} = 1\ 358$ kN。砂石桩，桩径 600 mm，单桩竖向承载力特征值 $R_{a2} = 350$ kN，桩间土承载力特征值 $f_{sk} = 120$ kPa。素混凝土桩承载力发挥系数 η_1 取 0.8，砂石桩承载力发挥系数 η_2 取 0.7，桩间土承载力发挥系数 η_3 取 0.55，置换率 $m_1 = m_2 = 8.7\%$ 。

根据规程[6]计算组合型复合地基承载力

$$f_{spk} = \beta_1 m_1 R_{a1} / A_1 + \beta_2 m_2 R_{a2} / A_2 + \alpha \beta_1 \beta_2 (1 - m_1 - m_2) f_{ak} = 464 \text{ kPa} \quad (4)$$

根据规范[7]主控桩素混凝土桩复合地基承载力

$$f_{spk1} = \beta_1 m_1 R_{a1} / A + \alpha \beta_1 (1 - m) f_{ak} = 381 \text{ kPa} \quad (5)$$

据规范[3]复合地基土层压缩模量

$$\epsilon_1 = f_{ak} / f_{ak} = 4.8 \quad (6)$$

$$E_{spi}^1 = \epsilon_1 E_{si} \quad (7)$$

$$\epsilon_2 = f_{spk} / f_{spk1} = 1.2 \quad (8)$$

$$\epsilon = \epsilon_1 \epsilon_2 = 5.8 \quad (9)$$

$$E_{spi}^2 = \epsilon E_{si} \quad (10)$$

由分层总和法计算堆场总沉降量为

$$S = S_1 - S_2 + S_3 = 48 \text{ mm} \quad (11)$$

由上述计算结果分析可知，大面积堆载条件下未采取任何地基处理措施的地基沉降变形为 1 260 mm，采取地基处理措施后地基沉降变形仅为 48 mm，两者差别达 25 倍之多，所以对于大面积堆载情况，均应采取适宜方法进行地基处理。

3 大面积堆载条件下负摩阻力问题

大面积堆载影响深度范围内，桩侧应受到负摩阻力作用，文献[8-9]对此有专门论述。如果在桩基设计时未考虑或未能充分地考虑负摩阻力的影响，则会给工程建设带来安全隐患^[10]。

以曹妃甸圆形储煤场为例，不考虑大面积堆载影响深度，只考虑上部 19.3 m 吹填土的负摩阻力。设计参数不变，经计算组合型复合地基承载力 $f_{spk} = 464$ kPa > 320 kPa，满足设计要求。

若考虑大面积堆载影响深度，此 26 m 深度范围内桩侧土均按负摩阻力计算，中性点位置按表 3 计算^[11]。为保证数据的可靠性，在重要建筑物中，中性点深度应根据现场试验确定^[8]。本例仅作定性分析，故采用规范法。

经计算，素混凝土桩单桩承载力特征值 $R_{a1} = 704$ kN，组合型复合地基承载力 $f_{spk} = 303$ kPa < 320 kPa，不满足设计要求。若桩加长至 30 m，组合型复合地基承载力 $f_{spk} = 358$ kPa > 320 kPa，满足设计要求。由此可见，桩基设计时要充分地考虑负摩阻力的影响，必要时需加长桩长。

表 3 规范给出的中性点位置

Tab. 3 Depth of neutral point in national code

持力层性质	l_n/l_0
黏性土、粉土	0.5~0.6
中密以上砂	0.7~0.8
砾石、卵石	0.9

注： l_0 为桩周沉降变形土层下限深度。

(下转第 36 页)

粘贴不锈钢绞线网法与另外两种体外粘贴补强材料方法的加固机理基本相似。

5 结语

工程结构裂缝是个颇有现实意义亦颇受关注的的质量通病。上部结构长高比较大、土层分布不均匀、荷载分布不均匀、底层窗台过宽等都会引起地基基础的不均匀沉降,而由于不同原因引起的不均匀沉降所产生的裂缝其形态、走向、长度和宽度均具有不同的特征。在地基基础不均匀沉降的预防方面,可以从地质勘查、结构设计及施工入手。对于上部结构的加固,可以采用粘贴碳纤维、钢板和不锈钢绞线网等方法,其中碳纤维较其他两种方法造价低、质量轻的优点而被广泛运用。

(上接第 29 页)

4 结论

1)大面积堆载条件下对地基变形影响深度大,要超出常规荷载作用下的影响深度,因此要引起设计重视。大面积堆载情况下土体沉降在一定时间内会趋于稳定。

2)与复合地基相比,大面积堆载地基变形要多出 25 倍左右,可见进行地基处理的必要性。对于复杂形状的大面积堆载地基变形计算,需对模型进行必要的简化。

3)大面积堆载影响深度范围内,设计时需考虑桩身土体沉降产生的负摩阻力作用。

参考文献:

- [1] 介玉新,高燕,李广信,等. 城市建设中大面积荷载作用的影响深度探讨[J]. 工业建筑, 2007, 37(6): 57-62.
- [2] 王燕. 大面积堆载作用下的厂房天然地基设计的探讨[J]. 南京市政, 2001,(3): 47-50.

参考文献:

- [1] 王铁梦. 工程结构裂缝控制[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [2] 韩素芳,耿维恕. 钢筋混凝土结构裂缝控制指南[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [3] 吴乃鸣,刘永钱. 住宅地基基础沉降原因和预防[J]. 建筑与预算, 2004,25(2):46-47.
- [4] 富文权,韩素芳. 混凝土工程裂缝分析与控制[M]. 北京:中国铁道出版社,2003.
- [5] 张广泰,刘清,王克新. 碳纤维布加固钢筋混凝土梁的抗弯试验和数值分析[J]. 工业建筑,2009,39(8): 80-83.

(责任编辑 刘存英)

- [3] GB 50007-2011, 建筑地基基础设计规范[S].
- [4] 金宗川,顾国荣,韩黎明,等. 大面积堆载作用下软土地基变形特性[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(6): 1056-1060.
- [5] 王贵和,季荣生,马孝春. 碎石桩-CFG 桩组合型复合地基设计理论与工程实践[J]. 岩土工程技术, 2006, 20(5): 248-251.
- [6] JGJ/T210-2010, 刚-柔性复合地基技术规程[S].
- [7] JGJ 79-2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [8] 袁灯平,黄宏伟,程泽坤. 软土地基桩侧负摩阻力研究进展初探[J]. 土木工程学报, 2006, 39(2): 53-60.
- [9] 魏鉴栋,凌道盛,陈云敏. 受大面积堆载影响负摩擦桩的 Q-S 曲线分析[J]. 浙江大学学报:工学版, 2007, 41(1): 166-175.
- [10] 李玲玲,王立忠,邢月龙. 大直径钻孔灌注桩负摩阻力试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(3): 583-590.
- [11] JGJ 94-2008, 建筑桩基技术规范[S].

(责任编辑 刘存英)