

成层土地基承载力的计算机模拟

王英浩¹, 杨永新¹, 齐海峰²

(1. 内蒙古科技大学建筑与土木工程学院, 包头 014010; 2. 铁道部第五勘察设计院东北分院, 哈尔滨 150006)

摘要:许多经典的土力学理论中涉及地基承载力计算公式, 都是针对均质地基而言的, 不能用于非均质地基。但实际工程中往往遇到的是成层土, 且各层土的物理、力学性质不尽相同, 有时差别较大, 故地基承载力的计算仅依靠理论公式不够精确, 且与实际情况有出入。本文就双层地基承载力及破坏形式的计算机模拟进行了分析讨论, 为工程设计人员确定建设场地的地基承载力和地基可能发生的破坏形式提供了一定的参考依据。

关键词:双层地基; 承载力; 计算机模拟

作者简介:王英浩(1978—), 男, 内蒙古包头人, 内蒙古科技大学讲师, 主要从事岩土工程及土的冻胀性质研究。

0 引言

地基承载力是在地基土的压力变形曲线线性变形阶段内相应于不超过比例界限点的地基压力值。在众多土力学的经典理论中, 有很多地基承载力公式, 如太沙基、汉森极限承载力公式等只适用于均质土, 但众所周知, 土层本身就是成层分布的, 而且各层土的物理、力学性质指标差别较大, 成层土的地基破坏模式与均质土地基的破坏模式有很大的差别。到目前为止, 有关成层土地基实际的破坏模式人们了解得还不够全面, 不够深刻, 对于成层土的地基承载力计算在理论上还没有得到很好的解决, 只能采用近似的方法计算处理。

1 一些近似计算的方法

主要的近似计算方法^[1]有:

1.1 扩散角法

该法在我国和日本的建筑规范中应用。该理论假定上部基底附加压力向下以一定的角度、方向线性扩散。常用此法验算软弱下卧层的地基承载力。

1.2 汉森加权平均法(Hansen, J. B)

此法应用于我国《港口工程地基规范》中。该理论先计算受力层的最大深度(临界深度、有效深度), 然后按厚度或面积的加权平均值求得有效深

度范围内各土层物理力学性质指标 γ 、 c 和 ϕ , 从而将成层土看成均质土, 按均质土的公式求极限承载力即可。

1.3 迈耶霍夫(Meyxhof, g. g)和汉纳(Hanna A. M)提出的剪切破坏理论

该理论主要应用于由两层土体(硬壳层和软弱下卧层)组成的双层地基情况。当基底土厚度 H 与基底宽度 B 相比较小时, 认为上部土层将发生冲剪破坏, 而在下部土层则出现整体剪切破坏。

1.4 假定不同滑移面方法(地基滑移线理论)

(1) 同济大学徐超、高大钊等的方法^[2]

对上海软土地基, 假定地基破坏符合太沙基和普朗德尔的研究成果。地基破坏仍为整体剪切破坏。将 c 、 ϕ 按滑移面长度进行加权: λ 在 Z_{\max} 范围内采用土层厚度加权, 并求得有效深度范围内各土层物理力学性质指标 γ 、 c 和 ϕ , 然后可以套用太沙基公式或其他公式(均质型)计算双层地基承载力。

(2) 浙江大学谢康和、刘干斌等的方法^[3]

根据极限平衡理论, 假定了复合双层地基(CFG 桩、石灰桩、振冲法等)的滑移线形状, 并由此推导了其极限承载力计算方法。通过和太沙基承载力公式进行的对比计算发现: 当内摩擦角较小时, 两种方法计算结果相近, 但随着内摩擦角的增大, 两种方法计算结果出现了一定的偏差; 此外, 黏聚力、容重对极限承载力的影响远小于内摩

擦角的影响。

(3) 内蒙古科技大学杨永新等的方法^[4]

基于极限平衡滑移线理论,采用差分算法及土层交界面处理公式编制了适合上层软、下层硬(饱和黏土除外)的土层组合的双层地基数值计算程序,并由程序得到了均质地基和双层地基的滑移线网和承载力曲线。

2 有关 ANSYS 计算程序的模拟和结果分析

后勤工程学院孔位学、郑颖人等人已作过单层地基极限承载力的 ANSYS 模拟分析,而笔者首先通过单层地基附加应力的计算与理论相对比,再次说明 ANSYS 程序在土力学应力分析方面的可用性,然后对包头地区常见的双层地基进行了模拟分析。

2.1 单层地基附加应力的 ANSYS 分析

(1) 计算参数及网格划分

仅单层地基时选择柔性荷载,土层的计算参数及加荷方式如图 1 所示,其中 E 为土的弹性模量, μ 为土的泊松比,计算附加应力时不考虑地基土自重,模型采用 Plane42 单元,有限元模型如图 2 所示, b 为 2 m,模型的宽度 20 m,高度 10 m,单元数目 19 632,节点数目 19 933。

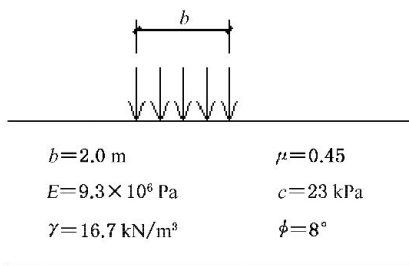


图 1 土层的计算参数及加荷方式

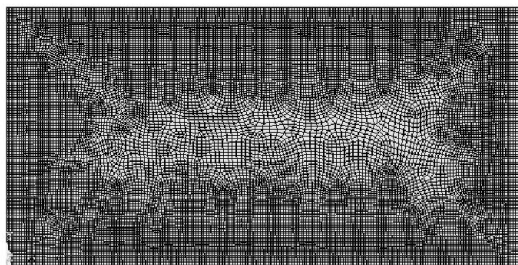


图 2 有限元模型

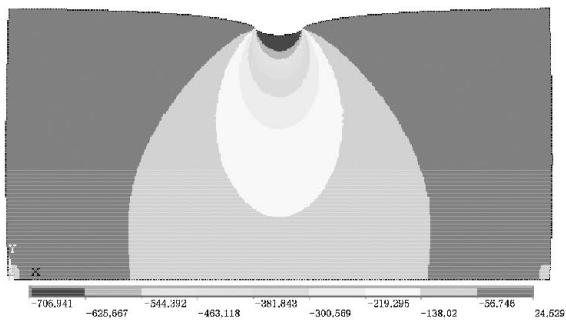


图 3 σ_z 应力等值云图

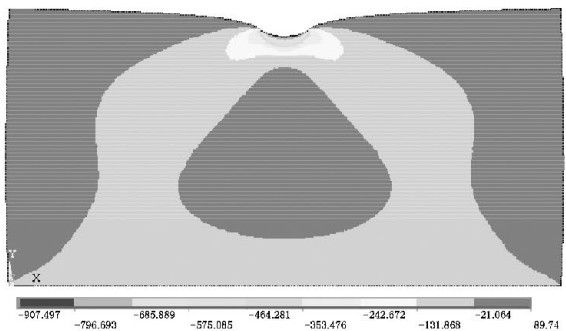


图 4 σ_x 的应力等值云图

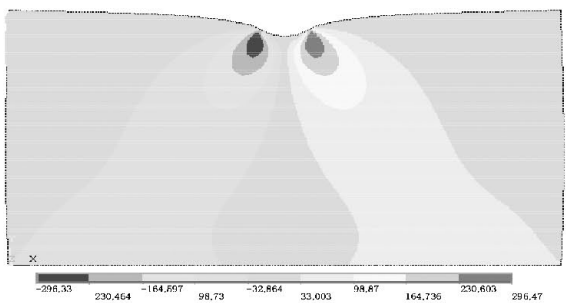


图 5 τ_{xz} 的剪切应力等值云图

(2) 模拟结果分析

由图 3 可以得到下列结论:

① σ_z 不仅发生在荷载面积以下,而且分布在荷载面积以外相当大的范围之下,这就是所谓的地基附加应力的扩散分布。

② 在离基础底面(地基表面)不同深度 z 处各个水平面上,以基础底面中心点下轴线的 σ_z 最大,随着距离中轴线愈远愈小。

③ 在荷载分布范围内任意点沿着垂线的 σ_z 数值,随着深度越向下越小。

分析图 4 和图 5 可知: σ_x 的影响范围较浅,所以基础下地基的侧向变形主要发生在浅层; τ_{xz} 的最大值出现在荷载边缘,所以位于基础边缘下的土容易发生剪切滑动而出现塑性变形区。

当 $P=1\ 000\ \text{Pa}$ 时基础中心下不同深度处的附加应力数值与手算的 z 方向的附加应力的比较结果如表 1 和图 6 所示。

表 1 ANSYS 结果与手工计算结果对比表

土层深度	ANSYS 结果	手工计算	误差(%)
0	999.73	1 000	0.0
0.5	956.55	960	0.4
1	824.71	820	0.5
1.5	663.02	670	1.3
2	559.63	550	1.4
2.5	473.29	460	2.3
3	402.25	400	0.2
4	313.97	310	0.0
6	209.9	210	2.9
8	161.46	160	4.1

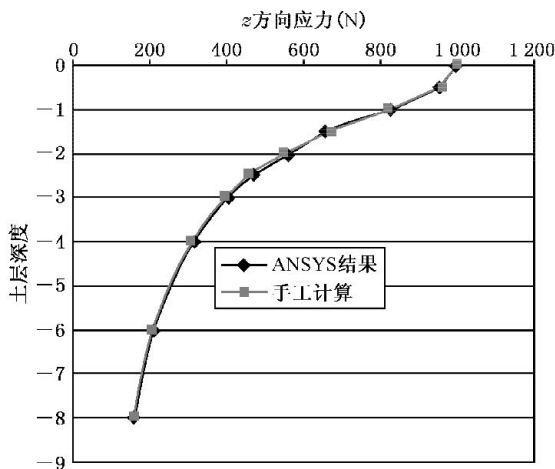


图 6 σ_z - z 对比曲线

从 ANSYS 的模拟曲线与理论计算结果可以看出,不仅与理论很好地吻合,且与手工计算的结果误差均在 5% 以内,这说明了 ANSYS 结果的正确性,同时也说明了 ANSYS 在土力学方面的可用性。

2.2 双层地基承载力的 ANSYS 分析

(1) 计算参数及网格划分

本模型主要用于分析包头地区上层粉土,下层砂土的双层地基,对其极限承载力进行分析,基础宽度 $b=2.0\ \text{m}$,基础埋深 $1.5\ \text{m}$,基础下上层土厚度 $1.5\ \text{m}$,模型的宽度取 $10\ \text{m}$,模型的高度取 $10\ \text{m}$,取膨胀角 $\phi_t = \phi$,计算简图如图 7 所示,计算参数如表 2 所示,模型采用 Plane42 单元,计算土的自重应力。为了计算结果的精确,有效地利用电脑资源,本模型采用对称性模型,只取模型的一半来计算。单元数为 1 980,节点数为 2 085,有限元模型如图 8 所示。

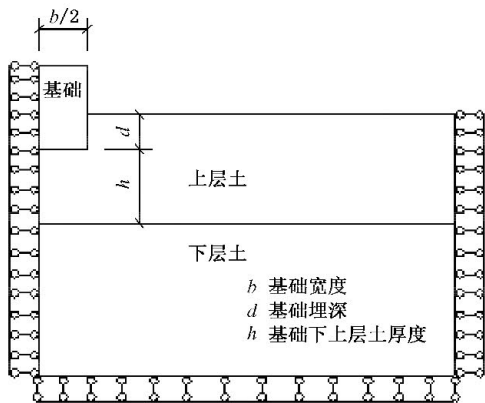


图 7 双层地基计算模型

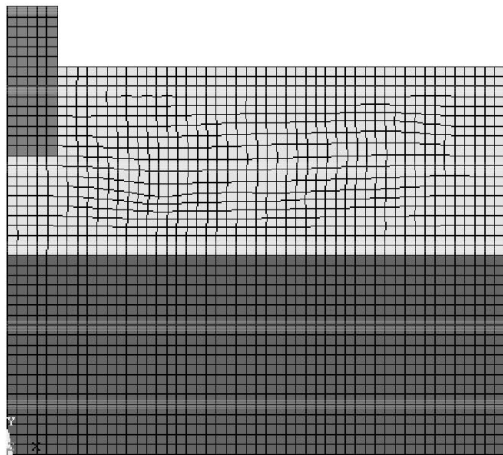


图 8 有限元模型

表 2 各土层计算参数表

名称	弹性模量 E_0 (MPa)	泊松比 μ	黏聚力 C (kPa)	摩擦角 ϕ ($^\circ$)	密度 ρ (kg/m^3)
混凝土基础	3 000	0.15	—	—	2 500
上层土	9.3	0.45	8	23	1 670
下层土	5.4	0.35	0	30	1 820

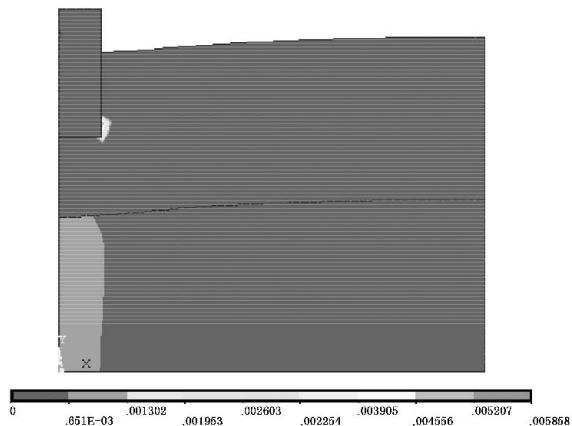


图 9 开始出现塑性区

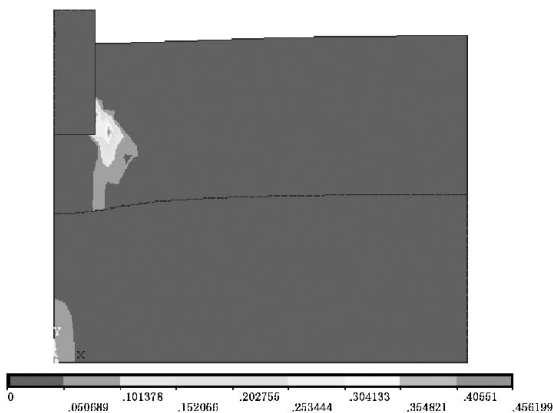


图 10 塑性区向下发展

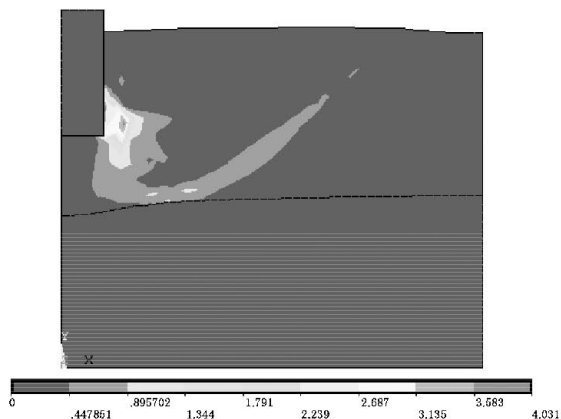


图 13 塑性区开始向地面发展

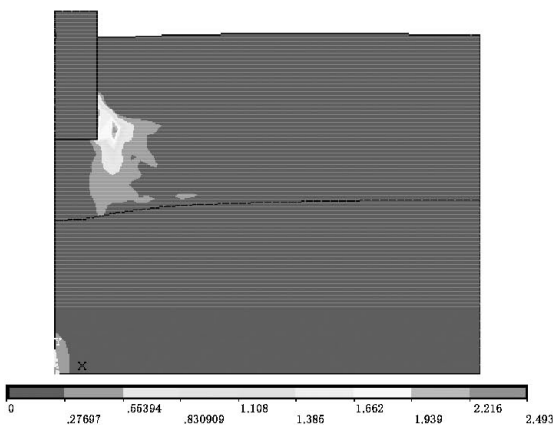


图 11 塑性区到达界面

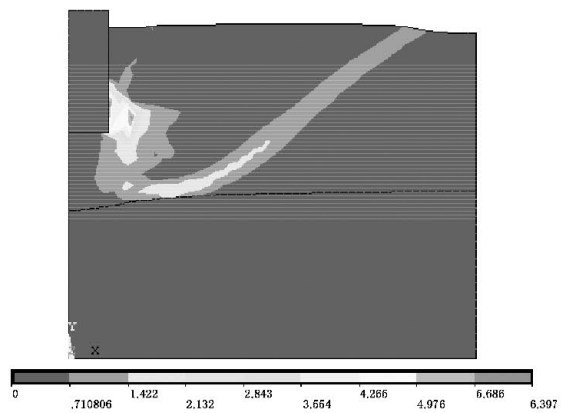


图 14 形成连通的塑性区

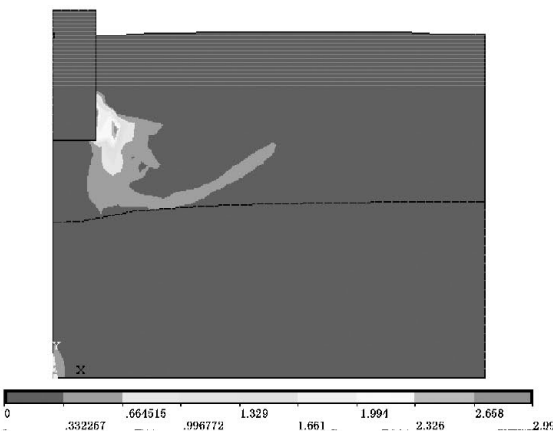


图 12 塑性区开始向两边发展

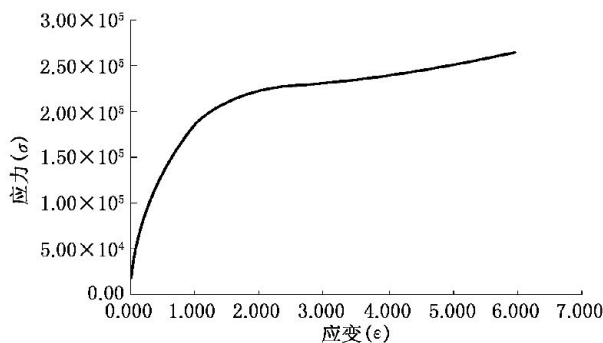


图 15 499 号节点的应力应变曲线

(2) 分析及结论

图 9~图 14 展示了基础由刚开始出现塑性区一直到形成连通的塑性区(破坏)的全过程,从有限元计算的结果可以得到以下结论:地基中塑性区首先出现在基础边角处的上层土中,随着荷载的增加,塑性区向交界面处土层扩展,由于上层土

相对较软,塑性区扩展较快,塑性区再往下的发展分为 3 种情况;

① 当基础下上层土的厚度很大时,滑裂面不到达分界面,破坏形式同单层地基。

② 当基础下上层土的厚度较小时,塑性区到达下层土表面,由于下层相对较硬,塑性区不穿过下层土,而是沿着分界面先向两边发展,然后向地面发展,最后形成连通区,达到破坏,地基达到极

限承载力。

③ 当基础下上层土的厚度很小时,塑性区到达下层土表面并且穿过下层土,继续向下发展,但是向下发展的距离较小,然后开始向两边、再向地面发展,最后形成连通区,形成较复杂的滑动面以致破坏,地基达到极限承载力。

为了分析地基中某一点的应力-应变情况,所以取出基础边角的地基节点 499 号节点,并对其进行应力-应变分析,499 号节点的应力-应变曲线如图 15 所示。从图中可以看出,当力较小时地基处于弹性阶段,此时应力-应变符合弹性本构关系;随着应力的逐渐增大,地基变形进入硬化阶段,此时的变形既有弹性变形也有永久变形;随着应变的增加,屈服应力也不断增加,直到破坏状态。

对模型进行极限承载力计算:ANSYS 极限承载力的计算结果为 952 kPa;汉森加权公式极限承载力计算的结果为 862 kPa。

3 结 语

(1) 用 ANSYS 程序模拟包头地区双层地基

的破坏形式及计算相应的承载力。破坏形式及承载力的计算均比较接近于实际情况。

(2) 计算机程序模拟时的各项参数可以按实际情况来选取,对工程设计人员的设计有着参考和辅助的作用。

(3) 模型的建立是基于包头地区上软下硬的土层,针对上硬下软等其他特殊双层地基的破坏形式和承载力的探讨是今后研究的方向之一。

参 考 文 献

- [1] 钱家欢,殷宗泽. 土工原理与计算[M]. 北京:中国水利水电出版社,2000.
- [2] 徐超,高大钊. 双层地基承载力问题的研究[J]. 工程勘察,1999(5).
- [3] 谢康和,刘干斌. 复合双层地基的极限承载力计算[J]. 土木工程学报,2004(4).
- [4] 杨永新,高建红,高建明,等. 双层地基极限承载力的数值分析[J]. 包头钢铁学院学报,2003(2).