

双层地基变形特性的有限元分析

何中联¹ 孔艳² 苏健³

1. 中国建筑第八工程局有限公司大连分公司, 大连 116021; 2. 大连海事大学, 大连 116026; 3. 大连海洋大学, 大连 116023

摘要: 基于 Mohr-Coulomb 屈服准则, 利用有限元软件 Abaqus 建立有软弱下卧层的双层体系地基模型, 研究其应力和变形特性, 以及不同压力作用下对地基沉降变形的影响。结果表明, 由于上层土较软, 地基中塑性区首先出现在界面处的上层土中, 且发展较快; 随着荷载的增加, 塑性区向界面处上下土层均有扩展, 最后达到地基的极限承载力。该模型为研究具有应力扩散作用的上硬下软的双层地基的应力应变及沉降变形具有一定的实用价值。

关键词: 双层地基; 沉降变形; 有限元分析;

中图分类号: TU433 文献标识码: A 文章编号:

引言: 地基土具有压缩性能, 处理不合理将引起地基变形, 导致建筑物上部结构产生附加应力。若地基变形量过大, 将会影响建筑物的正常使用, 甚至危及建筑物的安全。对于砂性土地基, 其沉降主要是瞬时沉降。对于一般的粘性土地基, 当荷载刚加上时, 由于土骨架的弹塑性变形的结果, 地基将产生较小的瞬时沉降, 随后将是大量的随时间而发展主固结沉降和次固结沉降。而我国东部沿海地区, 上硬下软的双层地基是极为常见的。国内外研究学者对此进行了大量的研究工作, 并提出了基于弹性理论和弹塑性理论的线弹性理论范围和弹塑性理论范围内不同边界条件下的线性、非线性解析解和相关数值模型, 对进一步研究具有应力扩散效应的软土硬壳层的应力应变和沉降问题起到了很好的促进作用。本文将通过工程实例, 利用有限元软件 ABAQUS 进行弹塑性分析, 研究了荷载作用下该类地基中塑性区的产生和发展规律。

1 地基变形算例分析

1.1 土的本构模型

Mohr-Coulomb 破坏和强度准则在岩土工程中应用十分广泛。该模型是基于材料破坏时应力状态的莫尔圆提出的, 破坏线是与这些莫尔圆相切的

直线。Mohr-Coulomb 强度准则为

$$\tau = c - \sigma \tan \phi \quad (1)$$

式中， τ 为剪切强度， σ 为正应力， c 为材料的粘聚力， ϕ 为材料的内摩擦角。

其中莫尔圆中存在以下关系

$$\tau = s \cos \phi \quad (2)$$

$$\sigma = \sigma_m + s \sin \phi \quad (3)$$

把 τ 和 σ 代入公式 (1)，则 Mohr-Coulomb 准则可以写为

$$s + \sigma_m \sin \phi - c \cos \phi = 0 \quad (4)$$

式中， $s = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$ ； $\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$ 。

1.2 弹塑性分析

双层地基的承载力将随软硬地层条件的变化发生重大变化。由于硬壳层比软卧下层土的压缩模量大，土体强度高，在一定的外荷载作用下可以承担部分压力，软卧下层土由于硬壳层的扩散作用而没有发生较大变形。在不同层土体中，土的竖向不均匀性要比各层之间的差异要小得多，因此我们可以简化计算，假定土体在每一层中各向同性。同时，土是松散的颗粒体，且一般情况下，土体在实际工程中是受压的，计算中认为土不能承受拉力。

结合某工程实例，对于基础作用下的上硬下软双层地基变形弹塑性分析，上层土厚度 $Z=0.27\text{m}$ ，础长 $B=1.44\text{m}$ ，计算模型的宽度和高度为 7.2m 。

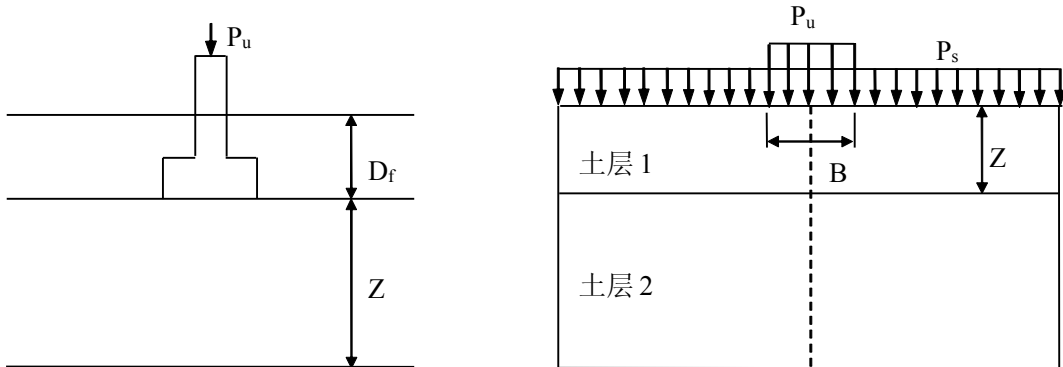


图 1.1 地基模型

图 1.2 地基计算模型

算模型

模型中，土层材料均采用 Mohr Coulomb 弹塑性本构关系，上下土层的物理力学参数见表 1.1 所示。

表 1.1 模型材料计算参数

材料类型	γ_d (kN/m ³)	c(kPa)	ψ (°)	E(kPa)	μ
土层 1	18	29.2	14	9819	0.35
土层 2	18	7	13	940	0.4

由于土不承受拉力，假定各层之间完全连接，不发生分离现象。土为半无限体，模型采用二维实体单元。有限元模型中的边界条件与实际土体状态相同，底层固结，由于侧面周围土压力的挤压与磨差作用，只约束土的水平自由度。加载方式与计算模型相一致。

2. 有限元分析结果

采用 Mohr-Coulomb 屈服准则，利用大型有限元程序 Abaqus 进行建模，图 2.1、2.2 及 2.3 所示的为土层应力应变分布云图。

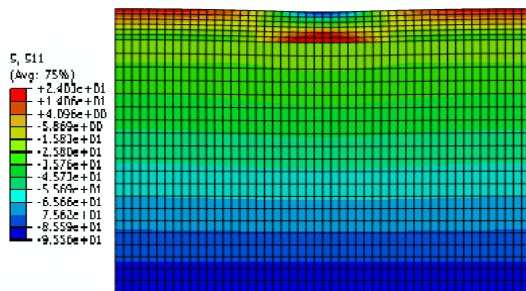


图 2.1 水平应力分布云图

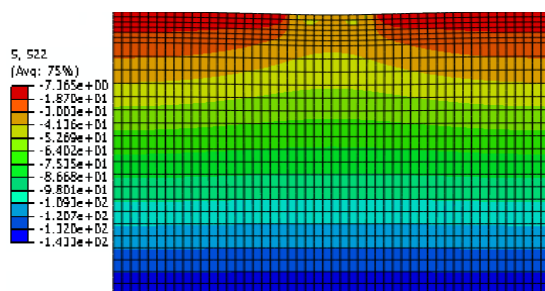


图 2.2 竖向应力分布云图

力分布云图

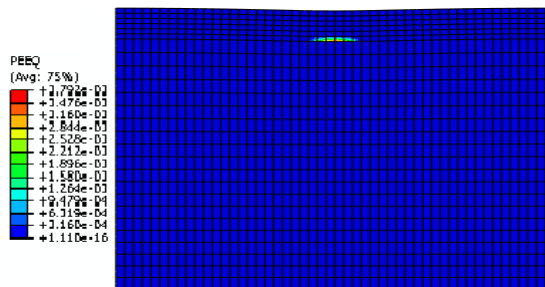
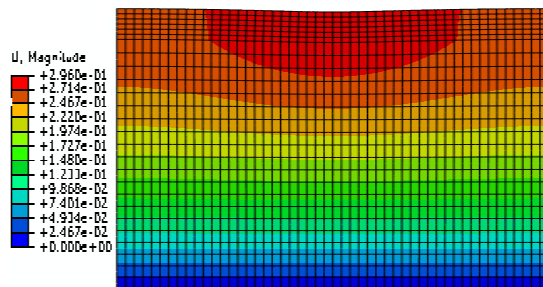


图 2.3 土层沉降变形分布云图

图 2.4

Pu=25kPa 时塑性应变分布图

由应力分布云图可以看出：在沿基底中心点 X 向，水平应力分布在软硬土层交界面处发生显著变化，上硬壳层应力明显大于下软卧层，承担外部主要荷载；竖向应力在上硬壳层土中变化坡度较陡，而在下层土中变化坡度较为平缓。两应力云图可以看出在两层地基交界面处出现了应力扩散现象。土的沉降变形也主要是由于上层土压缩产生。采用 Mohr-Coulomb 屈服准则，经过有限元计算得到的塑性应变图。当基底压力接近 25kPa 时，地基土首先在交界面的上层土中开始出现塑性区，且随着基底压力的增大，塑性区逐渐增大，当基底压力大于 56kPa 时，计算结果开始不收敛。

图 2.4、2.5 分别为基底压力为 25kPa 和 30kPa 时地基的塑性区分布图。

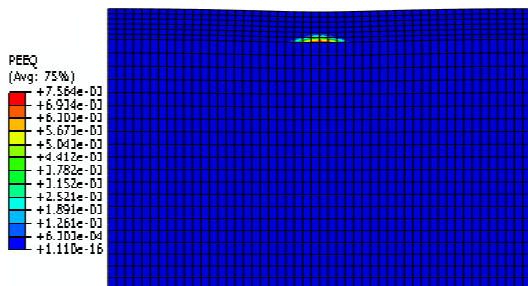


图 2.5 Pu=30kPa 时塑性应变分布图

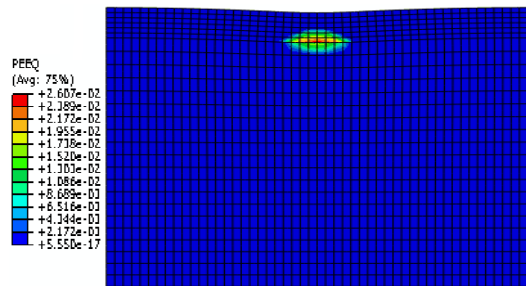


图 2.6 Pu=50kPa 时

塑性应变分布图

可以发现：地基土中塑性区只出现在上层土中，表明在外荷载相对较小时，由于硬壳层的应力扩散作用，下软卧土层没有太大的荷载作用；由图 2.6、2.7 可以看出，随着外荷载的增加，塑性区向交界面处上下土层均有扩展；且下软卧土层塑性区扩展较快。当基底压力高于 56kPa 时计算开始不收敛，说明该地基达到极限承载力而丧失了稳定性。

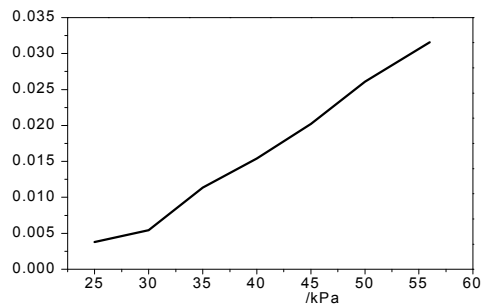
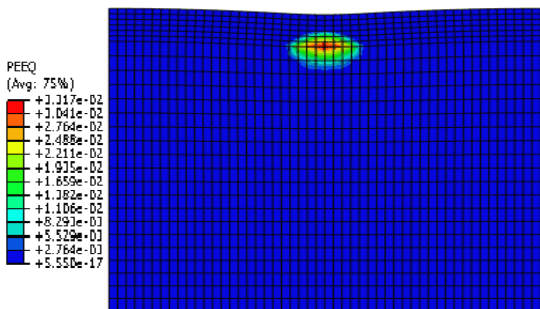


图 2.7 $P_u=56\text{kPa}$ 时塑性应变分布图

图 2.8 地基最大塑性

应变曲线

经过计算，得到各级荷载作用下地基的最大塑性应变，并作出如图 2.8 所示的 $P_u-\epsilon$ 曲线。从图中可以看出，当荷载较小时，地基最大塑性应变 $P_u-\epsilon$ 曲线变化比较平缓，随荷载的增加，由于地基土的塑性发展， $P_u-\epsilon$ 曲线偏离原直线，斜率也随之增大。表明，荷载较小时，地基土塑性应变发展缓慢，随着荷载的增加，塑性区扩展加快，最终土体破坏，计算不收敛。

3 结论 (1) 上硬下软双层地基土层的塑性应变首先出现在上下土层的界面处。随着荷载的增加，塑性区向交界面处上下土层均有扩展；且下软卧土层塑性区扩展较快。

(2) 对于软粘土等地基进行一定的上层处理，可以加快表层土体的应力扩散作用，增加地基的承载力。

(3) 采用 ABAQUS 提供的 Mohr-Coulomb 屈服准则，能够模拟上硬下软双层地基土的应力应变及塑性发展规律，该结果为此类研究提供了参考。

参考文献

- [1] 谢树彬. 双层地基的稳定性分析[J]. 土工基础, 1997, 11(1): 1-7.
- [2] 刘秀军. 上硬下软型地基强度和变形特性研究[J]. 青岛理工大学学报, 2008, 29(6): 37-41.
- [3] 廖红建, 王铁行. 岩土工程数值分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.

基金项目: 大连市交通科技项目

作者简介: 何中联, 男, 中国建筑第八工程局有限公司, 项目经理, 主要从事岩土及结构工程研究;

孔 艳, 女, 大连海事大学, 硕士, 主要从事岩土工程研究;

苏 健, 男, 大连海洋大学, 博士, 讲师, 主要从事岩土及桥隧工程研究;

双层地基变形特性的有限元分析

作者: [何中联](#), [孔艳](#), [苏健](#)
作者单位: [何中联\(中国建筑第八工程局有限公司大连分公司\)](#), [孔艳\(大连海事大学\)](#), [苏健\(大连海洋大学\)](#)
刊名: [城市建设理论研究\(电子版\)](#)
英文刊名: [ChengShi Jianshe LiLun Yan Jiu](#)
年, 卷(期): 2012(26)

引用本文格式: [何中联.孔艳.苏健 双层地基变形特性的有限元分析\[期刊论文\]-城市建设理论研究\(电子版\) 2012\(26\)](#)