

刚性下卧层对上部土层变形的影响

孔垂烛 邓安福

(重庆大学土木工程学院, 重庆 400045)

【摘要】 通过自编二维面向对象有限元程序计算, 对土岩组合地基中刚性下卧层埋藏深浅及刚度大小对上部土层变形的影响规律进行了分析, 得出了一些结论, 可为相关工程应用提供适当的参考。

【关键词】 刚性下卧层; 上部土层; 变形; 刚度

【中图分类号】 TU 433

Influence of Rigid Substratum on Upper Soil's Displacement

Kong Chuizhu Deng Anfu

(College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045 China)

【Abstract】 In soil-rock composite subgrade, rigid substratum affects the vertical displacement of upper soil. Through computation of two-dimensional object-oriented program of finite element, above influence is analyzed from two key aspects, the deepness of substratum and its rigidity. And some conclusions are drawn, which are useful for the similar engineering.

【Key Words】 rigid substratum; upper soil; vertical displacement; rigidity

0 引言

在土木工程中, 经常会遇到岩层上覆盖着不厚的土层的土岩组合地基, 这类地基的变形主要发生在有限深度的上部土层, 下面的岩层可视为刚性下卧层。《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002) 中计算地基变形时, 地基内的应力分布采用各向同性均质半无穷线性变形体理论^[1], 地基具有软弱下卧层时, 软弱下卧层中的应力有分散作用, 若资料缺乏, 就按均质半无穷线性变形体理论进行分析, 变形计算结果只是偏于保守, 但地基中具有刚性下卧层时, 土层与岩层的接触面上将出现应力集中现象(见图 1), 上部土层的变形量会增大, 如果再简单地按照均质半无穷线性变形体理论进行计算, 将会得出不安全的结论。

文献[2,3]中给出了土岩组合地基中刚性下卧层在上部土层中产生应力集中使得土层的变形量增大的一些定性结论, 但相关的定量分析与研究却不多, 也鲜见有关的报道。

在我国广大山区, 基岩埋藏较浅, 大量的工业与民用建筑经常会遇到具有刚性下卧层的地基, 这时按照传统方法进行设计的合理性与安全性, 则主要取决于下卧岩层对土层变形的影响程度。研究刚性

下卧层对上部土层变形的影响, 既有利于完善地基基础设计理论和方法, 又有利于指导山区地基合理设计。

数值分析是进行这方面研究的不可缺少的方法, 其中的有限元法在考虑岩土材料的非线性、各向异性特性上有较成熟的做法。依靠计算机技术, 利用有限元法进行计算分析, 除了具备经济快捷的优点外, 还可显示出定量对比的特长。本文利用 Visual C++ 编制二维面向对象有限元程序, 在此基础上计算分析刚性下卧层埋藏深度及其刚度对上部土层变形的影响。

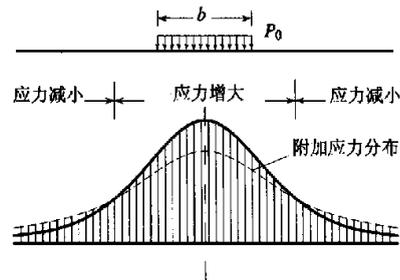


图 1 刚性下卧层引起的应力集中

1 有限元程序设计分析

有限元程序设计时可将问题简化为均布条形柔

性荷载作用下的平面应变问题,将土层和岩层都视为分层各向同性体。一般地基承载力设计值接近于或稍超过荷载-变形曲线的比例界限荷载,所以地基常处于直线变形阶段,但考虑到可能出现的局部基底反力集中使基础边缘岩土体进入塑性,所以进行弹塑性分析,屈服准则采用 Drucker-Prager 准则,本构关系采用理想弹-塑性模型,使用相关联的流动准则。有限单元采用八节点四边形平面等参单元,考虑土层和岩层在界面上能变形协调,故不设置接触单元。

在上面的分析基础上,根据弹塑性力学及有限元理论^[4~6]在 VisualC++ 6.0 集成开发环境中编写和调试面向对象有限元程序^[7~9]。面向对象的方法具有封装性、继承性和多态性的特点,开发出的程序易扩充、易维护。面向对象程序设计认为客观世界是由各种各样的对象组成,每种对象都有各自的属性和操作,不同对象间的相互作用构成了各种不同的客观系统。有共同属性和操作的对象可抽象成类,对象是类的实例化,程序的具体功能是通过对象的操作来实现的。本文程序中的类及类之间的联系见图 2,其中为了使程序具有良好的扩充性,具体的单元类和材料类是由各自的基类派生而来的。

2 计算参数及计算结果

刚性下卧层埋藏深浅可以用上部土层厚度 H_1 来表示。刚性下卧层刚度大小对上部土层变形的影响则可用岩层和土层的变形模量比 E_2/E_1 (E_1 为上部土层的变形模量, E_2 为下卧岩石的变形模量)来反应。将条形荷载设定为 180 kPa,基底宽度设定为 2 m,土层厚度分别取 1、2、4、5、10 m,

相应岩层厚度取为 49、48、46、45、40 m(计算深度取基础底面以下 50 m),以分析刚性下卧层深度对上部土层变形的影响。参考文献[3]中的数据,土层的变形模量 E_1 取为 7 MPa,下卧层的变形模量分别取为 $1E_1, 3E_1, 5E_1, 10E_1, 100E_1$,以考虑下卧层刚度对上部土层变形的影响。土层的泊松比取为 0.3,下卧层的泊松比取为 0.15。计算模型及参数见图 3。

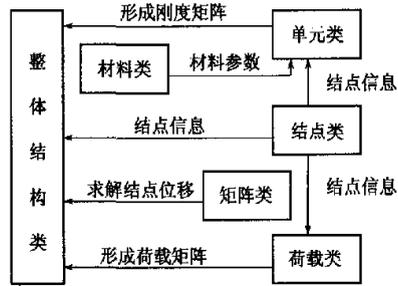


图 2 类及类的联系

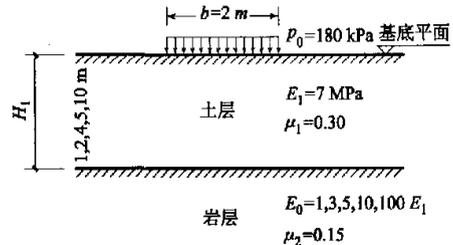


图 3 计算模型及参数

计算时,先针对不同土层厚度及不同的岩层和土层模量比,分别得出基础中心线下基础底面及土层和岩层界面处节点的竖向位移值,然后将二者相减,得到土层的变形量,计算结果见表 1。

表 1 地基变形计算结果

岩层和土层变形模量比 E_2/E_1	上部土层厚度 /m	基底竖向位移 /m	土岩界面竖向位移 /m	土层变形量 /m
1	1	0.136 36	0.120 96	0.015 40
	2	0.134 80	0.103 80	0.031 00
	4	0.133 64	0.083 61	0.050 03
	5	0.133 34	0.076 76	0.056 59
	10	0.132 69	0.055 10	0.077 58
3	1	0.059 97	0.042 29	0.017 69
	2	0.070 44	0.036 82	0.033 62
	4	0.082 85	0.030 07	0.052 77
	5	0.087 01	0.027 73	0.059 28
	10	0.100 15	0.020 17	0.079 98

续表

岩层和土层变形模量比 E_2/E_1	上部土层厚度 /m	基底竖向位移 /m	土岩界面竖向位移 /m	土层变形量 /m
5	1	0.044 14	0.025 74	0.018 40
	2	0.056 97	0.022 52	0.034 44
	4	0.072 13	0.018 48	0.053 65
	5	0.077 22	0.017 07	0.060 15
	10	0.093 23	0.012 47	0.080 76
10	1	0.032 07	0.013 04	0.019 04
	2	0.046 66	0.011 46	0.035 20
	4	0.063 91	0.009 45	0.054 46
	5	0.069 69	0.008 73	0.060 95
	10	0.087 89	0.006 41	0.081 48
100	1	0.029 98	0.010 32	0.019 67
	2	0.042 25	0.006 28	0.035 97
	4	0.056 32	0.000 97	0.055 35
	5	0.062 73	0.000 90	0.061 84
	10	0.082 95	0.000 66	0.082 29

3 计算结果归纳与分析

从表 1 可以看出,具有刚性下卧层的地基,其上部土层的变形量较均质地基($E_2/E_1=1$)相同厚度上部土层的变形量有所增加,而且随着上部土层的厚度以及岩层和土层的变形模量比的不同而有所不同。

利用表 1 的计算结果,求出具有刚性下卧层的地基中土层实际变形量与对应的均质地基上部等厚

土层变形量的比值,并将这一比值定义为上部土层变形量增大系数 α 。例如,上部土层厚度为 4 m,当岩层与土层变形模量比为 5 和 1 时,由表 1 可查得上部 4 m 土层的变形量分别为 0.053 65 m 和 0.050 03 m,则可以计算出此时的上部土层变形量增大系数 $\alpha=0.053 65/0.050 03=1.072 4$,其它计算结果见表 2。

表 2 土层变形量增大系数 α

上部土层厚度/m	变形量增大系数 α			
	$E_2/E_1=3$	$E_2/E_1=5$	$E_2/E_1=10$	$E_2/E_1=100$
1	1.148 6	1.194 8	1.236 4	1.277 2
2	1.084 3	1.111 0	1.135 3	1.160 2
4	1.054 8	1.072 4	1.088 5	1.106 3
5	1.047 7	1.063 1	1.077 2	1.092 8
10	1.030 9	1.040 9	1.050 3	1.060 6

为了直观,由表 2 中数据可绘出上部土层变形量增大系数 α 与上部土层厚度 H_1 的关系曲线(见图 4)。将岩层和土层变形模量比取常用对数,再结合表 2 中数据可绘出上部土层变形量增大系数与岩层和土层模量比的关系曲线(见图 5)。

由表 2 及图 4 和图 5 可以看出,不同情况下,上部土层变形量增大系数 α 从土层较厚、模量比较小时的 1.030 9 增大到土层较薄、模量比较大时的 1.277 2。当模量比 E_2/E_1 一定时,上部土层厚度 H_1 越小,即刚性下卧层埋藏越浅,系数 α 越大,上

部土层变形量增大越显著;上部土层厚度 H_1 一定时,模量比 E_2/E_1 越大,即下卧层刚度越大,系数 α 越大,上部土层变形量增大越明显。

还可看出,当 $H_1 > 4$ m,即 $H_1 > 2b$ ($b=2$ m,为基底宽度)时,不论 E_2/E_1 的取值大小,增大系数 α 基本上都小于 1.1,上部土层变形量增大幅度小于 10%,可以认为刚性下卧层对地基变形的影响已经很小,接近均匀地基的变形情况。可见,刚性下卧层对上部土层变形产生较大影响的深度是在基底下 2 倍基础宽度范围内。

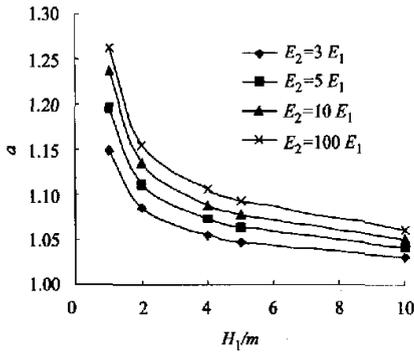


图4 下卧层埋深对土层变形的影响

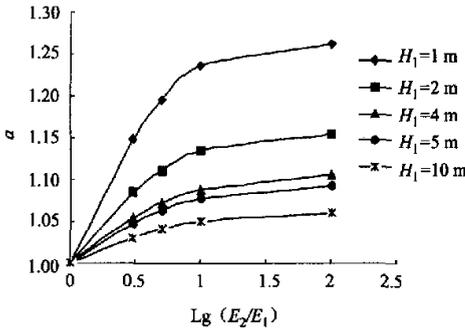


图5 岩层与土层模量比对土层变形的影响

从图4和图5可明显地看出,图4中的各曲线比较靠近且较陡峭,图5中的各曲线相离较远且较平缓,说明刚性下卧层的埋藏深度对上部土层变形的影响比其刚度的影响要大,是主要的影响因素。

4 结论

1)通过自编的二维有限元程序计算分析可以看出,土岩组合地基中刚性下卧层的存在使得上部土层的变形量增大,若再使用传统的基于均质半无穷

线性变形体理论的地基变形分析方法进行计算,将会使工程设计偏于不安全。

2)土岩组合地基中刚性下卧层埋藏越浅、刚度越大,则对上部土层变形的影响越显著,且刚性下卧层的埋藏深浅是主要的影响因素。

3)当埋藏深度大于基底宽度的2倍后,刚性下卧层对上部土层变形的影响已经很小,可以认为刚性下卧层的影响范围为基底下2倍基础宽度。

4)以上的分析和结论均把下卧基岩面视为水平,下卧基岩面倾斜的情况有待进一步探讨分析。

参 考 文 献

- 1 GB 50007—2002 建筑地基基础设计规范
- 2 雍景荣,朱凡,胡岱文. 土力学与基础工程. 成都:成都科技大学出版社,1995. 48~49
- 3 杨位洗. 地基及基础. 北京:中国建筑工业出版社(第三版),2000. 64~76
- 4 杨桂通. 弹塑性力学. 北京:人民教育出版社,1980. 81~88
- 5 屈智炯. 土的塑性力学. 成都:成都科技大学出版社,1987. 116~272
- 6 王勖成,邵敏. 有限单元法基本原理和数值方法. 北京:清华大学出版社,1996. 508~510
- 7 赵更新. 土木工程结构分析程序设计. 北京:中国水利水电出版社,2001. 176~271
- 8 吴晓涵. 面向对象结构分析程序设计. 北京:科学出版社,2002. 1~234
- 9 康博创作室. VisualC++ 程序设计自学教程. 北京:清华大学出版社,2002. 1~302

收稿日期:2005-08-01

(上接第302页)

- 2 李振,李鹏. 粗粒土直接剪切试验抗剪强度指标变化规律. 防渗技术,2002,8(1):11~14
- 3 Luis E Vand Roger M. Porosity Influence on the Shear Strength of Granular Material-clay Mixtures. Engineering Geology, 2000, 58(1): 125~136
- 4 陈希哲. 粗粒土的强度与咬合力的试验研究. 工程力学, 1994,11(4):56~63
- 5 范明桥,盛金保. 土强度指标 φ, c 的相关性. 岩土工程学报,1997,19(4):100~104
- 6 屈智炯,何昌荣,刘双光,等. 新型石渣坝——粗粒土筑坝

- 的理论与实践. 北京:中国水利水电出版社,2002. 12~14
- 7 王恭先. 滑坡防治. 北京:人民铁道出版社,1977. 163~164
- 8 华南工学院,南京工学院,浙江大学,等. 地基及基础. 北京:中国建筑工业出版社,1987. 41~45
- 9 南京水利科学研究所. SL237—1999 土工试验规程. 北京:中国水利水电出版社,2000

收稿日期:2005-06-29