

(3) 原文在讨论溶洞内填充物对溶洞稳定的影响时, 近似认为溶洞内黏土对溶洞内壁提供 300 kPa 的径向应力。虽然原文也指出实际应力应更小, 但笔者认为其处理似过于简单, 因为溶洞内填充物情况复杂, 有全充填, 亦有半充填, 还有的填充物如下部分为性质很好的碎石土, 而上半部分为含水率很大的流塑性黏土等情况。因此, 如果充填的黏土与洞壁不是紧密接触(如后两种情况), 其根本不能为洞壁提供任何径向应力; 即使充填黏土与溶洞壁能够紧密接触, 但溶洞围岩的模量远大于黏土, 在溶洞围岩发生破坏时, 黏土所能提供的径向应力也是非常小的。

## 对“岩溶区含溶洞岩石地基稳定性分析”讨论的答复

刘之葵, 梁金城

(桂林工学院, 广西 桂林 541004)

中图分类号: TU 457

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2004)05-724-01

作者简介: 刘之葵(1968-), 男, 江西吉安人, 博士生, 主要从事岩土工程及地质灾害治理的教学科研工作。

首先感谢程晔先生对“岩溶区含溶洞岩石地基稳定性分析”一文(以下简称“原文”)提出的讨论, 原文能得到同行的关注, 感到十分高兴。下面对原文的讨论作出以下答复。

### (1) 关于弹性力学解适用范围

应用弹性力学求解圆形洞室的应力分布, 当洞室高度  $2a$  ( $a$  为洞室半径) 远小于其埋深时, 可直接采用弹性力学公式求解圆形洞室的应力重分布(应力集中)问题。随着距洞室中心距离  $r$  的逐渐增大, 则径向应力  $\sigma_r$  趋于加大, 环向应力  $\sigma_\theta$  将不断减小, 最终将恢复到初始应力状态, 例如在  $r = 5a$  处的应力与原始应力相差仅约 4%, 从误差角度来说, 满足工程要求, 因此原文 2.1(3) 中已指出: “只要基础底面至溶洞中心的距离大于  $5a$ , 就可用弹性力学齐尔西解答来解决溶洞围岩中的应力分布问题”。

自然界中多数溶洞的断面呈近圆形或似椭圆形, 还有不规则形状, 对圆形或近似椭圆形溶洞的应力求解, 原文式(1) (3) 已有表达。对不规则形状溶洞, 目前还很难准确获得溶洞围岩的应力分布公式, 但岩土工程手册的表 10-4-2 已给出了一些相对规则洞室的应力集中系数<sup>[1]</sup>, 可供参考。有些球形溶洞的应力分布, 则弹性理论<sup>[2]</sup>, 可推求得到(空)球形溶洞周围的环向应力  $\sigma_\theta = (1 + a^3/2r^3)P_0$  和径向应力  $\sigma_r = (1 - a^3/r^3)P_0$ , 式中  $P_0$  为围岩原始应力。距球心的距离  $r$  越大, 球形溶洞围岩的应力越趋于原始应力  $P_0$ , 当  $r = 3a$  时,  $\sigma_\theta = 1.02P_0$ ,  $\sigma_r = 0.96P_0$ , 与原始应力  $P_0$  误差不超过 4%, 从误差角度来说, 只要基础底面至溶洞中心的距离大于  $3a$ , 仍可适用弹性力学求解。

### (2) 关于常规的地基附加应力计算方法

地基附加应力  $\sigma_z$  的分布规律<sup>[3]</sup>: 在离基础底面某一深度  $Z$  处水平面上, 以基底中心点下轴线处的  $\sigma_z$  为最大, 随着距离中轴线愈来愈小; 在荷载分布范围内任意点沿垂线的  $\sigma_z$  值, 随深度愈向下愈小。由于  $\sigma_z$  的分布不能用一连续函数的表达式表示, 因此很难准确地计算其应力分布, 从工程实践简单实用出发, 原文采用中心点下的附加应力来代替平面的附加应力, 同时指出, 若要更准确计算, 原文 2.1(3) 中认为“也可分别取  $A$  点水平面上若干个点的附加应力平均值及  $B$  点竖直面上若干个

### 参考文献:

- [1] 刘之葵, 梁金城, 朱寿增, 等. 岩溶区含溶洞岩石地基稳定性分析[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(5): 629-633.
- [2] 沈明荣. 岩体力学[M]. 上海: 同济大学出版社, 1999.
- [3] 工程地质手册编写委员会. 工程地质手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992.
- [4] 朱百里. 计算土力学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990.

点的附加应力平均值, 但这样相对复杂”。

对于原文图 2 中双向受压情形, 考虑的只是垂直方向  $P$  和水平方向压力  $q$  的作用。对于  $A$  点处的压力  $P$  的大小, 是基础在该点处产生的附加应力  $\alpha_A P_0$  与土的自重应力  $\sigma_{cA}$  之和, 方向都垂直向下; 对于  $B$  点处的压力  $q$  的大小, 首先  $B$  点处所受垂直方向的压力, 是基础在  $B$  点处产生的附加应力  $\alpha_B P_0$  与土的自重应力  $\sigma_{cB}$  之和, 而该点的水平方向压力  $q$ , 就应该是该处垂直压力  $(\alpha_B P_0 + \sigma_{cB})$  乘以岩体的侧压力系数  $\lambda$ , 如原文的式(4)。

### (3) 关于溶洞内填充物对溶洞稳定性的影响

溶洞内的填充物确实是千变万化的, 有全充填的, 也有半充填的, 洞内填充物产生的应力有时甚至很小。原文 3.5 中, 假设洞内充填有黏土(黏土承载力设计值为 300 kPa), 其讨论的目的, 是针对当前在岩溶地区地基基础设计中, 许多工程设计人员认为“洞内有密实填充物时, 可不考虑溶洞对地基稳定性的不利影响”的不恰当观点, 而且《建筑地基基础设计规范》GBJ50007-2002 的第 6.5.4 条第 1 款也规定: 当溶洞被密实的沉积物填满, 其承载力超过 150 kPa, 且无被水冲蚀的可能性, 可不考虑溶洞对地基稳定性的影响”。基于此, 笔者举例最有利于溶洞稳定性的情形, 假设洞内填充物能提供 300 kPa 的应力, 原文经计算表明, 溶洞稳定性的性质未发生变化, 溶洞在顶底板处 ( $\theta = 90^\circ \sim 270^\circ$ ) 仍将产生破坏, 溶洞地基未必稳定; 若洞内填充物所提供的应力更小, 则更不利于溶洞地基的稳定。

### 参考文献:

- [1] 岩土工程手册编写委员会. 岩土工程手册[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994. 379-383.
- [2] 徐秉业, 黄炎, 刘信声, 等. 弹塑性力学及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1984. 78-80.
- [3] 华南理工大学, 等. 地基及基础[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998. 58-62.
- [4] GBJ50007-2002, 建筑地基基础设计规范[S].