

文章编号: 1000-7598(2009)11-3393-06

基于统一强度理论的巷道围岩抗力系数研究

马青, 赵均海, 魏雪英

(长安大学 建筑工程学院, 西安 710061)

摘要: 在岩土工程中, 岩石抗力系数 K 反映了岩石抗力的大小, 是设计环节中需要确定的一个极为重要的基础计算参数。基于统一强度理论, 将巷道围岩视为多孔介质, 考虑地下水渗流作用的影响, 推导出了巷道围岩抗力系数计算统一公式, 改变公式中的参数可以退化为其他围岩条件或者其他强度理论条件下的围岩抗力系数计算公式。研究表明, 反映中间主应力对材料屈服影响的参数 b 、材料的黏聚力 c 、内摩擦角 φ 、孔隙水压力、地应力、衬砌压力均对围岩抗力系数 K 有一定影响。

关键词: 岩土工程; 统一强度理论; 围岩抗力系数; 渗透作用; 中间主应力效应

中图分类号: TU 43

文献标识码: A

Investigation of rock resistant coefficient in rocks around tunnel based on unified strength theory

MA Qing, ZHAO Jun-hai, WEI Xue-ying

(School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, China)

Abstract: The rock resistant coefficient K is an important parameter and it reflects the resistance of the rock around the tunnel in the geotechnical engineering. A formula of rock resistant coefficient is derived based on unified strength theory, which can be adopted to obtain rock resistant coefficient in other situations or strength theories simplified by assuming the parameter value in the formula. The strength differential effect, intermediate principal stress effect and the ground water permeation effect are considered in the formula. The results indicate that the coefficient b , cohesion c , friction angle φ , the pore water pressure, the in-situ stress and the lining pressure all have significant influences on the rock resistant coefficient K .

Key words: geotechnical engineering; unified strength theory; rock resistance coefficient; permeation effect; intermediate principal stress effect

1 引言

目前, 各种岩石工程, 包括开挖结构(井巷、矿井、洞室、隧道、巷道等)的建设规模和数量日益增多, 且朝着更大、更深方向发展。岩石抗力系数 K 反映了岩石抗力的大小, 是设计环节中需要确定的一个极为重要的基础计算参数。

工程中常用基于弹性理论的 Gallerkin 公式和钱令希公式确定岩石的抗力系数 K 。国内外学者基于塑性理论、摩尔-库仑屈服条件推导了岩石抗力系数的计算公式^[1-3], 考虑了岩石的强化、软化、拉压强度差效应等, 但结果只反映了岩石的塑性性能, 没有考虑岩石的中间主应力效应。大量岩石材料的真三轴试验结果也表明与摩尔-库仑强度准则不符。

统一强度理论能合理地考虑材料的拉压强度差效应、中间主应力效应等, 且具有明确的物理意义和分段线性的数学表达式, 已应用于许多领域并取得了很好的效果^[4-5]。也有学者用统一强度理论, 按有压水工隧洞模型, 考虑中间主应力影响, 对围岩抗力系数计算进行了研究, 但没有考虑地下水渗流对围岩抗力系数的影响^[6-7]。

本文基于统一强度理论, 将巷道围岩视为多孔介质, 考虑地下水渗流作用的影响, 推导出了巷道围岩抗力系数计算统一公式。该公式考虑了中间主应力的影响, 并且在所用平衡方程中考虑了孔隙水压力, 同时也考虑了地应力和衬砌作用力, 改变公式中的参数可以退化为其他围岩条件或者其他强度理论条件下的围岩抗力系数计算公式。

收稿日期: 2008-04-10

基金项目: 教育部博士点基金资助项目 (No. 20040710001); 陕西省自然科学基金项目 (No. SJ08E204)。

第一作者简介: 马青, 女, 1984年生, 博士研究生, 主要从事结构方面的研究。E-mail: maqing20032003@yahoo.com.cn

2 基本方程

2.1 统一强度理论

统一强度理论具有多种不同的表达形式, 在岩土工程中, 常用黏聚力 c 和内摩擦角 φ 作为材料的基本参数, 其统一强度理论可表述为^[8-9]

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 - \frac{b\sigma_2 + \sigma_3}{1+b} + \left(\sigma_1 + \frac{b\sigma_2 + \sigma_3}{1+b} \right) \sin \varphi &= 2c \cos \varphi \\ \sigma_2 &\leq \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin \varphi \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\sigma_1 + b\sigma_2}{1+b} - \sigma_3 + \left(\frac{\sigma_1 + b\sigma_2}{1+b} + \sigma_3 \right) \sin \varphi &= 2c \cos \varphi \\ \sigma_2 &\geq \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin \varphi \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中: σ_1 、 σ_2 和 σ_3 分别为单元体的最大主应力、中间主应力和最小主应力, 影响系数 $b(0 \leq b \leq 1)$ 反映中间主应力对材料屈服的影响称为屈服准则系数。

2.2 弹性阶段极坐标下的弹性应变

为了分析方便, 假设隧洞很长, 且岩石是均匀各向同性的理想弹塑性介质。忽略体力, 则该问题可视为轴对称平面应变问题, 以隧洞中心轴为 z 轴建立柱坐标系 (r, θ, z) , 则弹性阶段极坐标下的弹性应变为

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_r &= \frac{du_r}{dr} = \frac{1-\mu^2}{E} \left(\sigma_r - \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_\theta \right) \\ \varepsilon_\theta &= \frac{u_r}{r} = \frac{1-\mu^2}{E} \left(\sigma_\theta - \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_r \right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中: E 、 μ 分别为岩石的弹性模量和泊松比。

2.3 巷道计算的统一强度理论

在巷道, 由于衬砌墙背压力小于原岩压力, 塑性区应力条件满足统一强度理论式 (2), 该式可由

$\sigma_2 = \frac{m}{2}(\sigma_1 + \sigma_3)$ 改写为^[10]

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = -\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sin \varphi_t + c_t \cos \varphi_t \quad (4)$$

式中: $\sin \varphi_t = \frac{b(1-m) + (2+b+bm) \sin \varphi}{2+b+b \sin \varphi}$, φ_t 称为

材料统一摩擦角; $c_t = \frac{2(1+b)c \cos \varphi}{(2+b+b \sin \varphi) \cos \varphi_t}$, 为材

料统一黏聚力; m 为中间主应力系数^[10]。对于中间主应力有 $\sigma_2 = \frac{m}{2}(\sigma_1 + \sigma_3)$, 它可以通过理论和试验

来确定, 在弹性区可以取 $m=2\mu$, μ 为泊松比, 在塑性区可取 $m \rightarrow 1$ 。为了简单, 在下面的讨论中, 取 $m=2\mu$ 。

3 计算模型

取巷道断面的形状为圆形, 如图 1 所示, 巷道半径为 r_1 , 计算区域半径为 r_4 。一般情况下, 隧道围岩周围有环形裂缝区, 其厚度为 $r_2 - r_1$; 裂缝区外围是一层塑性区, 其厚度为 $r_3 - r_2$; 塑性区外围是弹性区, 其厚度为 $r_4 - r_3$ 。隧道围岩可视为 4 层有限环。裂缝区中只能传递径向压力, 切向抗拉强度为 0。假设围岩为均匀各向同性的多孔介质, 有效孔隙率为 ϕ , 在下面讨论中取弹性区、塑性区、裂缝区的有效孔隙率均一样。弹性模量为 E , 泊松比为 μ , 巷道地应力为 σ_b , 孔隙水压力为 P_0 。

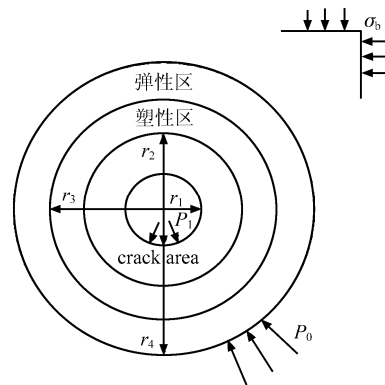


图1 计算简图

Fig.1 Simplified theoretical calculation model

4 圆形孔口弹塑性应力分析

4.1 塑性区内的应力

实际巷道衬砌墙背 $r=r_1$ 处内压小于原岩压力, 有 $\sigma_1 = \sigma_\theta$, $\sigma_3 = \sigma_r$, 将其代入式 (4), 得

$$\frac{\sigma_\theta - \sigma_r}{2} = -\frac{\sigma_\theta + \sigma_r}{2} \sin \varphi_t + c_t \cos \varphi_t \quad (5)$$

化简得

$$\sigma_\theta = \frac{1 - \sin \varphi_t}{1 + \sin \varphi_t} \sigma_r + c_t \frac{2 \cos \varphi_t}{1 + \sin \varphi_t} \quad (6)$$

将式 (6) 代入平衡方程^[11]:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} - \phi \frac{dP}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 \quad (7)$$

其中:

$$P = P_0 \left(\ln \frac{r_1}{r} \right) / \left(\ln \frac{r_1}{r_4} \right), r_1 \leq r \leq r_4 \quad (8)$$

解此线性方程得

$$\sigma_r = Dr^{-\frac{2\sin\varphi_t}{1+\sin\varphi_t}} + c_t \cot\varphi_t - \frac{P_0\phi(1+\sin\varphi_t)}{2\sin\varphi_t \ln \frac{r_1}{r_4}} \quad (9)$$

式中: D 为积分常数。

在裂缝区, 只能传递径向压力, 切向抗拉强度为 0, 此时应力平衡方程为^[11]

$$\frac{d\sigma_r}{dr} - \phi \frac{dP}{dr} + \frac{\sigma_r}{r} = 0 \quad (10)$$

对式 (10) 积分, 并以边界条件 $\sigma_{r/r=r_1} = -p_1$ 作为定解条件, 可以得到

$$\sigma_r = -\frac{P_0\phi}{\ln \frac{r_1}{r_4}} - \frac{r_1 p_1}{r} + \frac{P_0 r_1 \phi}{r \ln \frac{r_1}{r_4}} \quad (11)$$

由边界条件式 (11), 在 $r=r_2$ 时作为定解条件, 得塑性区内任一点的应力为

$$\sigma_r = \left(-\frac{P_0\phi}{\ln \frac{r_1}{r_4}} - \frac{r_1 p_1}{r_2} + \frac{P_0 r_1 \phi}{r_2 \ln \frac{r_1}{r_4}} - c_t \cot\varphi_t + \frac{P_0\phi(1+\sin\varphi_t)}{2\sin\varphi_t \ln \frac{r_1}{r_4}} \right) \left(\frac{r_2}{r} \right)^{\frac{2\sin\varphi_t}{1+\sin\varphi_t}} + c_t \cot\varphi_t - \frac{P_0\phi(1+\sin\varphi_t)}{2\sin\varphi_t \ln \frac{r_1}{r_4}} \quad (12)$$

$$\sigma_\theta = \frac{1-\sin\varphi_t}{1+\sin\varphi_t} \left(-\frac{P_0\phi}{\ln \frac{r_1}{r_4}} - \frac{r_1 p_1}{r_2} + \frac{P_0 r_1 \phi}{r_2 \ln \frac{r_1}{r_4}} - c_t \cot\varphi_t + \frac{P_0\phi(1+\sin\varphi_t)}{2\sin\varphi_t \ln \frac{r_1}{r_4}} \right) \left(\frac{r_2}{r} \right)^{\frac{2\sin\varphi_t}{1+\sin\varphi_t}} + c_t \cot\varphi_t - \frac{P_0\phi(1-\sin\varphi_t)}{2\sin\varphi_t \ln \frac{r_1}{r_4}} \quad (13)$$

4.2 弹性区应力和位移

平衡方程见式 (7), 几何方程为

$$\varepsilon_r = \frac{du}{dr}, \quad \varepsilon_\theta = \frac{u}{r}, \quad r_\theta = 0 \quad (14)$$

边界条件为

$$\sigma_{r/r=r_4} = -\sigma_b - \phi P_0 \quad (15)$$

$$\sigma_{r/r=r_3} = \left(-\frac{P_0\phi}{\ln \frac{r_1}{r_4}} - \frac{r_1 p_1}{r_2} + \frac{P_0 r_1 \phi}{r_2 \ln \frac{r_1}{r_4}} - c_t \cot\varphi_t + \frac{P_0\phi(1+\sin\varphi_t)}{2\sin\varphi_t \ln \frac{r_1}{r_4}} \right) \left(\frac{r_2}{r_3} \right)^{\frac{2\sin\varphi_t}{1+\sin\varphi_t}} + c_t \cot\varphi_t - \frac{P_0\phi(1+\sin\varphi_t)}{2\sin\varphi_t \ln \frac{r_1}{r_4}} \quad (16)$$

将式 (8)、(14)、(3) 代入式 (7) 得

$$\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} - \frac{u}{r^2} = \frac{Fv}{rE} \quad (17)$$

$$\text{式中: } v = \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{1-\mu}, \quad F = -\frac{\phi P_0}{\ln \left(\frac{r_1}{r_4} \right)}.$$

解方程式 (17) 得

$$u = c_1 r + \frac{c_2}{r} + \frac{Fv}{2E} r \ln r \quad (18)$$

式中: c_1, c_2 为积分常数。

由边界条件式 (13) 确定积分常数后, 得弹性区应力分布为

$$\sigma_r = -\sigma_b - \phi P_0 + \frac{F}{2}(1+v_1) \ln \frac{r}{r_4} + \frac{r_3^2}{r_3^2 - r_4^2} \left(\frac{r_4^2}{r^2} - 1 \right) \left(-\sigma_b - \phi P_0 - \sigma_{r/r=r_3}^p + \frac{F}{2}(1+v_1) \ln \frac{r_3}{r_4} \right) \quad (19)$$

$$\sigma_\theta = -\sigma_b - \phi P_0 + \frac{F}{2} \left((1+v_1) \ln \frac{r}{r_4} + (v_1 - 1) \right) - \frac{r_3^2}{r_3^2 - r_4^2} \left(\frac{r_4^2}{r^2} + 1 \right) \left(-\sigma_b - \phi P_0 - \sigma_{r/r=r_3}^p + \frac{F}{2}(1+v_1) \ln \frac{r_3}{r_4} \right) \quad (20)$$

由式 (19)、(20)、(3)、(14) 得

$$u_{r_3} = \left\{ \left[-\frac{P_0\phi}{\ln \frac{r_1}{r_4}} - \frac{r_1 p_1}{r_2} + \frac{P_0 r_1 \phi}{r_2 \ln \frac{r_1}{r_4}} - c_t \cot\varphi_t + \frac{P_0\phi(1+\sin\varphi_t)}{2\sin\varphi_t \ln \frac{r_1}{r_4}} \right] \left(\frac{r_2}{r_3} \right)^{\frac{2\sin\varphi_t}{1+\sin\varphi_t}} \left(\frac{1-\sin\varphi_t}{1+\sin\varphi_t} - \frac{\mu}{1-\mu} \right) + c_t \cot\varphi_t \frac{1-2\mu}{1-\mu} - \frac{P_0\phi \left(\frac{1-\sin\varphi_t}{2\sin\varphi_t} - \frac{\mu(1+\sin\varphi_t)}{2\sin\varphi_t(1-\mu)} \right)}{\ln \frac{r_1}{r_4}} \right\} \left(\frac{1-\mu^2}{E} r_3 \right) \quad (21)$$

4.3 塑性区位移

围岩塑性区位移由流动法则确定, 为了简单,

假定岩石体积变化为弹性的。由本构方程可得围岩塑性区位移满足下式:

$$\frac{du_r}{dr} + \frac{u_r}{r} = \frac{(1+\mu)(1-2\mu)(\sigma_r + \sigma_\theta)}{E} \quad (22)$$

将式 (13) 代入式 (22), 并解方程, 由边界条件式 (21) 确定积分常数后得到塑性区位移为

$$u_r = \frac{1}{r} \left\{ \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{E} \left(Ar_2^{\frac{2\sin\varphi_t}{1+\sin\varphi_t}} r^{\frac{2}{1+\sin\varphi_t}} + B \frac{r^2}{2} \right) + \left[A \left(\frac{r_2}{r_3} \right)^{\frac{2\sin\varphi_t}{1+\sin\varphi_t}} \left(\frac{1-\sin\varphi_t}{1+\sin\varphi_t} - \frac{\mu}{1-\mu} \right) + c_t \cot\varphi_t \frac{1-2\mu}{1-\mu} - \frac{P_0\phi \left(\frac{1-\sin\varphi_t}{2\sin\varphi_t} - \frac{\mu(1+\sin\varphi_t)}{2\sin\varphi_t(1-\mu)} \right)}{\ln \frac{r_1}{r_4}} \right] \frac{1-\mu^2}{E} r_3^2 - \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{E} \left(Ar_2^{\frac{2\sin\varphi_t}{1+\sin\varphi_t}} r_3^{\frac{2}{1+\sin\varphi_t}} + B \frac{r_3^2}{2} \right) \right\} \quad (23)$$

式中:

$$A = -\frac{P_0\phi}{\ln \frac{r_1}{r_4}} - \frac{r_1 p_1}{r_2} + \frac{P_0 r_1 \phi}{r_2 \ln \frac{r_1}{r_4}} - c_t \cot\varphi_t + \frac{P_0\phi(1+\sin\varphi_t)}{2\sin\varphi_t \ln \frac{r_1}{r_4}} \quad (24)$$

$$B = 2c_t \cot\varphi_t - \frac{P_0\phi}{\sin\varphi_t \ln \frac{r_1}{r_4}} \quad (25)$$

5 围岩抗力系数 K 的计算式

设裂缝区弹性模量为 E_0 , 由式 (11) 得裂缝区总的压缩量为

$$u_{r_2} - u_{r_1} = \int_{r_1}^{r_2} \left(-\frac{P_0\phi}{\ln \frac{r_1}{r_4}} - \frac{r_1 p_1}{r} + \frac{P_0 r_1 \phi}{r \ln \frac{r_1}{r_4}} \right) \frac{1}{E_0} dr \quad (26)$$

对式 (26) 积分, 并将式 (23) 在 $r=r_2$ 时代入得 u_{r_1} , 根据文克尔假定, 有:

$$K = \frac{P_1}{u_{r_1}} = \frac{P_1}{r_2} \left\{ \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{E} \left(Ar_2^2 + B \frac{r_2^2}{2} \right) + \frac{1-\mu^2}{E} r_3^2 + \left[A \left(\frac{r_2}{r_3} \right)^{\frac{2\sin\varphi_t}{1+\sin\varphi_t}} \left(\frac{1-\sin\varphi_t}{1+\sin\varphi_t} - \frac{\mu}{1-\mu} \right) + c_t \cot\varphi_t \frac{1-2\mu}{1-\mu} - \frac{P_0\phi \left(\frac{1-\sin\varphi_t}{2\sin\varphi_t} - \frac{\mu(1+\sin\varphi_t)}{2\sin\varphi_t(1-\mu)} \right)}{\ln \frac{r_1}{r_4}} \right] - \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{E} \left(Ar_2^{\frac{2\sin\varphi_t}{1+\sin\varphi_t}} r_3^{\frac{2}{1+\sin\varphi_t}} + B \frac{r_3^2}{2} \right) \right\} - \frac{1}{E_0} \left[\frac{-\phi P_0(r_2 - r_1)}{\ln \frac{r_1}{r_4}} + \left(-P_1 r_1 + \frac{P_0 \phi r_1}{\ln \frac{r_1}{r_4}} \right) (\ln r_2 - \ln r_1) \right] \quad (27)$$

$$A = -\frac{P_0\phi}{\ln \frac{r_1}{r_4}} - \frac{r_1 p_1}{r_2} + \frac{P_0 r_1 \phi}{r_2 \ln \frac{r_1}{r_4}} - c_t \cot\varphi_t + \frac{P_0\phi(1+\sin\varphi_t)}{2\sin\varphi_t \ln \frac{r_1}{r_4}} \quad (28)$$

$$B = 2c_t \cot\varphi_t - \frac{P_0\phi}{\sin\varphi_t \ln \frac{r_1}{r_4}} \quad (29)$$

6 比较和验证

为将式 (27) 与文献[11]中围岩抗力系数 K 的计算公式比较, 进而说明式 (27) 所具有的普遍性, 下面令 $P_0 = 0$, $\sigma_b = 0$, $F = 0$, $r_4 \rightarrow \infty$, 由 $(\sigma_r + \sigma_\theta)_{r=r_3}^p = (\sigma_r + \sigma_\theta)_{r=r_3}^c$ 得

$$r_3 = r_2 \left(\frac{c_t \cot\varphi_t + \frac{r_1 p_1}{r_2}}{c_t \cot\varphi_t + c_t \cos\varphi_t} \right)^{\frac{1+\sin\varphi_t}{2\sin\varphi_t}} \quad (30)$$

将式 (30) 代入式 (23) 得文献[12]中结果。

7 讨论

取文献[11]中计算实例: $r_1 = 2.5$ m, $r_3 = 2.463$ 93, $r_1 = 6.16$ m, $\mu = 0.3$, $\varphi = 30^\circ$, $c = 250$ kPa, $E_d = E_0 = 2 \times 10^7$ kPa, $\sigma_b = 10^3$ kPa, $p_1 = 280.847$ kPa,

$P_0=10^3$ kPa, $\varphi=0.2$ 。依照文献[13], 取 $r_2=r_1+1.23=3.73$ m; 依照文献[14]取 $r_4=10r_1=25$ m, 代入式(27), 得

$$K = 0.280\ 847 / \left\{ 0.968\ 9 \times 10^{-7} \times (A + 0.5B) + \frac{2.627 - 6.6 \sin \varphi_t}{1 + \sin \varphi_t} A \times 0.6^{\frac{2 \sin \varphi_t}{1 + \sin \varphi_t}} \times 10^{-7} + 2.627 \times c_t \times \cot \varphi_t \times 10^{-7} + \left(\frac{114.745}{\sin \varphi_t} - 287.13 \right) \times 10^{-7} - 0.069\ 7 \times 10^{-7} A \times 3.73^{\frac{2 \sin \varphi_t}{1 + \sin \varphi_t}} \times 6.16^{\frac{2}{1 + \sin \varphi_t}} - 1.322\ 3 \times 10^{-7} B + 130.4 \times 10^{-7} \right\} \quad (31)$$

其中:

$$\left. \begin{aligned} A &= -159.592 - c_t \cot \varphi_t - 86.859 \times \frac{1 + \sin \varphi_t}{2 \sin \varphi_t} \\ B &= 2c_t \cot \varphi_t + \frac{86.859}{\sin \varphi_t}, c_t = \frac{(1+b) \times 250 \times \cos \varphi}{(1+b+b \sin \varphi) \cos \varphi_t} \\ \sin \varphi_t &= \frac{0.4b + (2+b+0.6b) \sin \varphi}{1+b+b \sin \varphi} \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

由上式得出在 $c=250$ kPa 的情况下抗力系数 K 与 b 和 φ 之间的关系 (如图 2 所示)。图 3 给出在 $\varphi=30^\circ$ 的情况下, 抗力系数 K 与 b 和 c 之间的关系。

从图 2 可以看出, 在 $c=250$ kPa, K 随 b 的增大而减小, 随 φ 的增大而增大; 从图 3 可以看出, 在 $\varphi=30^\circ$ 时, K 随 b 的增大而减小, 随 c 的增大而增大。

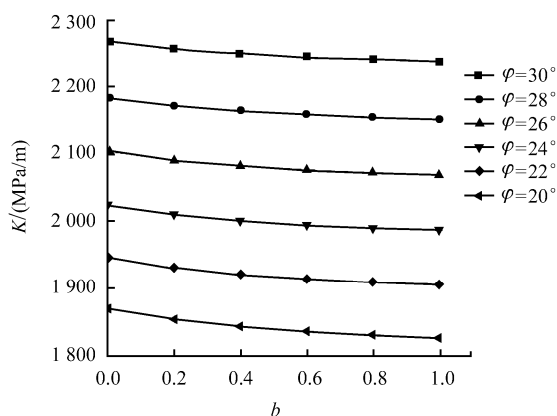


图 2 K 与 b 和 φ 之间的关系 ($c=250$ kPa)

Fig.2 Relationship between K and b , φ ($c=250$ kPa)

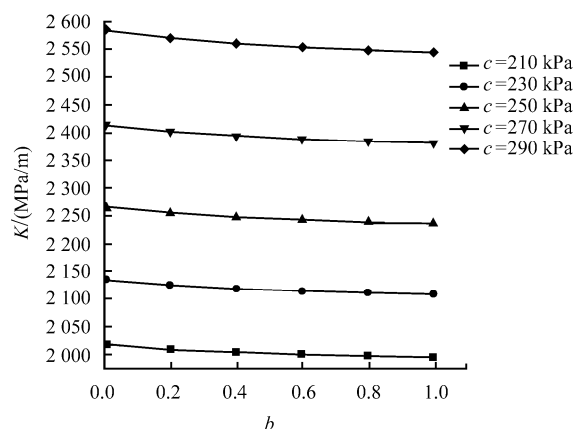


图 3 K 与 b 和 c 之间的关系 ($\varphi=30^\circ$)

Fig.3 Relationship between K and b , c ($\varphi=30^\circ$)

8 结 语

统一公式中围岩抗力系数 K 与系数 b 有关, 取 $b=0$, 即 $c_t=c$ 及 $\varphi_t=\varphi$, 则得到的公式是在岩土工程中大量应用的摩尔-库仑屈服准则条件下的围岩抗力系数计算公式, 取 $b=0$, φ 趋于 0, 可得基于 Tresca 准则的结果。如果围岩完全处于弹性状态, 还可得到钱令希公式及 Gallerkin 公式。本文的研究结果表明, 反映中间主应力对材料屈服影响的参数 b 、材料的黏聚力 c 、内摩擦角 φ 、孔隙水压力、地应力、衬砌压力均对围岩抗力系数 K 有一定影响。

参 考 文 献

- [1] 蔡晓鸿, 吕有年. 应用塑性强化理论推求圆形压力隧洞岩石抗力系数 K [J]. 岩土工程学报, 1984, 3(1): 44—56.
CAI Xiao-hong, LÜ You-nian. Rock resistant factor 'K' in circle pressure tunnel by plastic harding theory [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1984, 6(3): 44—56.
- [2] 蔡晓鸿. 圆形压力隧洞岩石抗力系数 K 的理论和计算 [J]. 工程力学, 1988, (3): 100—108.
CAI Xiao-hong. The theories and computation of the rock resistant factor 'K' in circular pressure tunnel [J]. Engineering Mechanics, 1988(3): 100—108.
- [3] 涂忠仁. 基于摩尔-库仑屈服准则计算隧道围岩抗力系数 [J]. 西部探矿工程, 2006, (01): 55—57.
TU Zhong-ren. Determination of rock resistant coefficient in road tunnel based on Mohr-Coulomb rule [J]. West-China Exploration Engineering, 2006, (01): 55—57.
- [4] YU M H. Advances in strength theories for materials under complex stress state in the 20th Century [J]. Appl. Mech. Rev., ASME, 2002, 55(3): 169—218.
- [5] YU M H. Unified strength theory and applications [M].

- Berlin: Springer-Verlag, 2004.
- [6] 徐栓强, 俞茂宏. 考虑中间主应力效应的隧洞岩石抗力系数的计算[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(增1): 4303—4305.
- XU Shuan-qiang, YU Mao-hong. Calculation of rock resistant factor in tunnel considering intermediate principal stress effect[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2004, 23 (Supp.1): 4303—4305.
- [7] 蔡晓鸿, 蔡勇斌, 蔡勇平, 等. 考虑中间主应力影响的压力隧洞围岩抗力系数通用计算式[J]. 岩土工程学报, 2007, 28(7): 1004—1008.
- CAI Xiao-hong, CAI Yong-bin, CAI Yong-ping, et al. Calculation of resistance coefficient of adjoining rock for pressure tunnels considering effect of intermediate principal stress[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2007, 28(7): 1004—1008.
- [8] 俞茂宏. 岩土类材料的统一强度理论及其应用[J]. 岩土工程学报, 1994, 16(2): 1—9.
- YU Mao-hong. Unified strength theory for geomaterials and its applications[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 1994, 16(2): 1—9.
- [9] YU M H. Unified strength theory and applications[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2004.
- [10] 俞茂宏, 杨松岩, 刘春阳, 等. 统一平面滑移线场理论[J]. 土木工程学报, 1997, 30(2): 15—26.
- YU Mao-hong, YANG Song-yan, LIU Chun-yang, et al. Unified plane-strain slip line field theory system[J]. **China Civil Engineering Journal**, 1997, 30(2): 15—26.
- [11] 蔡晓鸿, 蔡勇平. 水工压力隧洞结构应力计算[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.
- [12] 涂忠仁. 基于统一强度理论的公路隧道围岩抗力系数计算[J]. 重庆交通学院学报, 2006, (1): 27—30.
- TU Zhong-ren. Determination of rock resistant coefficient in road tunnel based on unified strength theory[J]. **Journal of Chongqing Jiaotong University**, 2006, (1): 27—30.
- [13] 涂忠仁, 孙钧, 蔡晓鸿. 海底隧道围岩抗力系数计算方法研究[J]. 岩土工程学报, 2006, 27(8): 1002—1007.
- TU Zhong-ren, SUN Jun, CAI Xiao-hong. Researches on calculation methods of rock resistant coefficients of submarine tunnels[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2006, 27(8): 1002—1007.
- [14] 荣传新, 程桦. 地下水渗流对巷道围岩稳定性影响的理论解[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(5): 741—744.
- RONG Chuan-xin, CHENG Hua. Stability analysis of rocks around tunnel with ground water permeation[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2004, 23(5): 741—744.

第4届中日岩土工程研讨会征文通知

会议宗旨: 第4届中日岩土工程研讨会将于2010年4月在拥有亚热带风光、兼有古老文化传统的世界旅游胜地日本冲绳召开。本次会议是继在北京(2003年)、上海(2005年)和重庆(2007年)成功召开的前3届会议之后的又一届学术研讨会。本届研讨会将致力于深入交流、学习中日两国在岩土力学与岩土工程领域的最新研究成果,探讨岩土力学与岩土工程的发展趋势,为中日两国从事岩土力学理论研究和工程应用的学者搭建一个共同研讨岩土工程发展方向和领域的学术平台。我们热诚欢迎国内从事岩土理论研究和工程应用的专家、学者、研究生以及工程技术人员积极投稿并参加会议。

会议主题: 现代岩土工程与发展

会议专题: ①地下空间技术; ②环境岩土工程; ③地基处理; ④防灾减灾; ⑤桩基工程; ⑥隧道工程; ⑦地震工程; ⑧土的特性及其模拟; ⑨数值模拟; ⑩重大工程实例。

主办单位: 中国土木工程学会土力学及岩土工程分会; 日本地盘工学会

承办单位: 日本地盘工学会国际部

重要日期: 提交全文截止日期为2009年11月30日; 论文录用通知日期为2009年12月15日; 修改稿提交截止日期为2010年01月15日。

会议时间: 2010年4月12~14日

会议地点: 日本冲绳

论文要求: ① 论文内容务必实事求是,不得侵犯他人著作权,不涉及保密内容,文责自负; ② 参会论文的文字为英文,要求论点明确,论据可靠,数据准确,文字精炼,引用文献明确出处; ③ 参会论文要体现作者的研究前沿; ④ 请务必注明作者详细通讯地址、邮编、联系电话及Email地址。

联系人: 侯伟 (13811891258)

投稿电子信箱: foursinojapanconf@163.com

邮编: 100191

地址: 北京市海淀区学院路37号北京航空航天大学交通科学与工程学院