

文章编号:1006-7329(2001)02-0022-04

有效应力强度指标与 总应力强度指标之间的换算关系

程相华

(铁道部第十四局二处, 山东泰安 271000)

摘要:通过理论分析,建立有效应力强度指标和总应力强度指标之间的换算关系,并编制了两种强度指标之间的实用换算系数表。

关键词:有效应力; 总应力; 强度指标; 换算系数

中图分类号:TU432

文献标识码:A

由于勘察单位的常规试验报告不提供有效应力强度指标,所以目前大部分开挖工程的设计,都是采用总应力强度指标 $c_{\sigma}, \varphi_{\sigma}$ 。但是在地下水水位以下,采用总应力强度指标 $c_{\sigma}, \varphi_{\sigma}$ 进行土压力计算,往往造成较大的误差,设计人员对工程的安全度难以把握。必要时,需用有效应力强度指标 c', φ' 对水压力和土压力分别进行计算。既然最基本的土性指标 c', φ' 不被勘察单位的常规试验所提供,那么就十分有必要从理论上加以推导两种指标之间的换算关系。

1 换算关系的理论基础

土体在天然状态(见图1);有效自重应力为 p_0' ,静止孔隙水压力 u_0 ,则

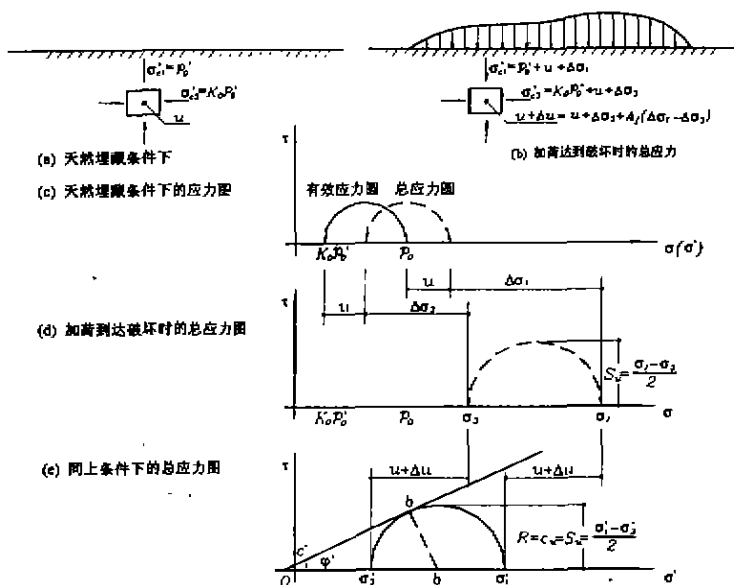


图1 p_0'/S_u 公式的推导

• 收稿日期,2000-04-08

作者简介,程相华(1963-),男,山东巨野人,工程师,主要从事道路路基研究。

$$\begin{cases} \sigma_{c1} = p_0' + u_0 \\ \sigma_{c2} = K_0 p_0' + u_0 \end{cases}$$

在荷载作用下达达到破坏时总应力增量 $\Delta\sigma_1, \Delta\sigma_3$

$$\begin{cases} \sigma_1 = \sigma_{c1} + \Delta\sigma_1 = p_0' + u_0 + \Delta\sigma_1 \\ \sigma_3 = \sigma_{c3} + \Delta\sigma_3 = K_0 p_0' + u_0 + \Delta\sigma_3 \\ \Delta\sigma_1 = \sigma_1 - p_0' - u_0 \\ \Delta\sigma_3 = \sigma_3 - K_0 p_0' - u_0 \end{cases}$$

$$\Delta u = \Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)u = u_0 + \Delta u$$

$$\begin{cases} \sigma_1' = \sigma_1 - u = p_0' + \Delta\sigma_1 - [\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_3)] = p_0' + (1-A)(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \\ \sigma_3' = \sigma_3 - u = p_0' - A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \end{cases}$$

$$\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3 = \sigma_1 - \sigma_3 - p_0' + K_0 p_0' = 2S_u - p_0'(1 - K_0)$$

$$\begin{cases} \sigma_1' = p_0' + (1-A)[2S_u - p_0'(1 - K_0)] \\ \sigma_3' = K_0 p_0' - A[2S_u - p_0'(1 - K_0)] \end{cases} \quad (1)$$

$$S_u = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = bb' = (Ob + c' \operatorname{ctg} \phi) \sin \phi = Ob \sin \phi + c' \cos \phi = \frac{1}{2}(\sigma_1' + \sigma_3') \sin \phi + c' \cos \phi$$

将(1)式代入得:

$$S_u = p_0' \sin \phi [K_0 + A(1 - K_0)] + (1 - 2A) S_u \sin \phi + c' \cos \phi$$

对于正常固结的粘土, $c' = 0$, 因而得

$$\frac{p_0'}{S_u} = \frac{1 + (2A - 1) \sin \phi}{[K_0 + A(1 - K_0)] \sin \phi} \quad (2)$$

以强度路径的观点(见图2)

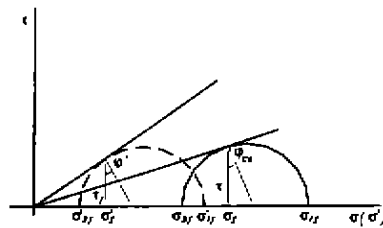


图2 $c_w = 0$ 时的极限应力圆

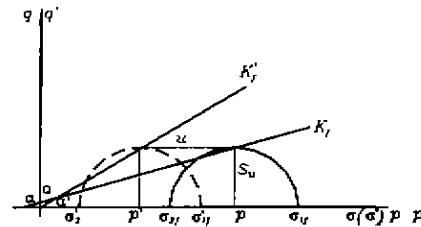


图3 $c_w \neq 0$ 时的极限应力圆

$$\frac{\sigma_1'}{S_u} = \frac{\sigma_1 - u}{S_u} = \frac{p + S_u - u}{S_u} = \frac{p}{S_u} + 1 - \frac{u}{S_u} \quad (3)$$

$$u = A(\sigma_1 - \sigma_3) = 2AS_u$$

$$\frac{\sigma_1'}{S_u} = \frac{p}{S_u} + 1 - 2A$$

$$S_u = p \operatorname{tg} \alpha + a$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \sin \phi_w$$

$\frac{p}{S_u} = \frac{1}{\sin \phi_w + a/p}$ 代入(3)得

$$\frac{\sigma_1'}{S_u} = \frac{1}{\sin \phi_w + a/p} + 1 - 2A \quad (4)$$

$$\frac{\sigma_1'}{S_u} = \frac{p_0' + (1-A)[2S_u - p_0'(1 - K_0)]}{S_u} = \frac{p_0'}{S_u} [K_0 + A(1 - K_0)] + 2 - 2A \quad (5)$$

将(2)代入(5)得

$$\frac{1 + (1-A) \sin \phi}{\sin \phi} + 2 - 2A = \frac{1}{\sin \phi_w + a/p} + 1 - 2A$$

$$\sin\phi = \frac{\sin\varphi_u + a/p}{1 - 2A\sin\varphi_u - 2Aa/p} \tag{6}$$

其中 $a = c_{cu} \cos\varphi_u$

2 公式的检验及实用表格

2.1 $c_{cu}=0$ 的情况

若 $c_{cu}=0$, 则

$$\sin\phi = \frac{1}{1 - 2A\sin\varphi_u} \sin\varphi_u \tag{7}$$

该公式还可以从另一个角度推出:

$$\sin\phi = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3 - 2\Delta u} = \frac{\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3}}{1 - \frac{2\Delta u}{\sigma_1 + \sigma_3}} = \frac{\sin\varphi_u}{1 - \frac{2\Delta u}{\sigma_1 + \sigma_3}} = k\sin\varphi_u$$

其中: $k = \frac{1}{1 - \frac{2\Delta u}{\sigma_1 + \sigma_3}}$

饱和土的常规三轴固结不排水试验, 剪切时 $\Delta\sigma_3=0, \Delta u=A(\sigma_1 - \sigma_3)$

$$k = \frac{1}{1 - \frac{2A(\sigma_1 - \sigma_3)}{\sigma_1 + \sigma_3}} = \frac{1}{1 - 2A\sin\varphi_u}$$

则 $\sin\phi = \frac{1}{1 - 2A\sin\varphi_u} \sin\varphi_u$ 与公式(7)完全相同, 证明前一种推导方法没有错误。

$$\phi = \arcsin(k\sin\varphi_u)$$

令 $k' = \frac{\phi}{\varphi_u} = \frac{\arcsin(k\sin\varphi_u)}{\varphi_u}$

则有了 φ_u 及 A 的值就可以利用表 1 得出有效应力指标 ϕ 的值。从表 1 可以看出不同土类(即孔隙水压力系数 A 不同或塑性指数 I_p 不同, 两指标之间的差值不同, 粘土的 ϕ/φ_u 的值较大。对于砂土, 其 φ_u 大致在 $20^\circ \sim 30^\circ$ 之间; 粉质粘土和粘土质粉土在 $10^\circ \sim 25^\circ$ 之间; 粘性土在 $8^\circ \sim 20^\circ$ 之间, 其 A 的值在 $0.4 \sim 0.7$ 之间。则表 1 可实用 k' 值如下表 2。中间数值可以近似使用差值法。

表 1 不同土类的 k' 值

土类	A	φ_u						备注
		8	10	15	20	25	30	
砂土 $I_p < 3$	0	1	1	1	1	1	1	
	0.05	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	
	0.10	1.03	1.04	1.06	1.08	1.10	1.12	
粉质粘土	0.15	1.04	1.06	1.09	1.12	1.16	1.20	
	0.20	1.06	1.08	1.12	1.17	1.22	1.29	
粘质粉土	0.25	1.08	1.10	1.15	1.22	1.30		
	$I_p < 17$	0.30	1.09	1.12	1.19	1.27	1.38	
粘土 $I_p > 17$	0.35	1.11	1.14	1.23	1.34	1.45		粉质砂土
	0.40	1.13	1.16	1.27	1.40			$I_p < 7$
	0.45	1.14	1.19	1.32	1.48			
	0.50	1.16	1.22	1.36	1.57			
	0.60	1.20	1.27	1.47	1.77			
	0.70	1.24	1.33	1.60	2.05			
	0.80	1.29	1.39	1.75				
	0.90	1.34	1.47	1.91				
	1.00	1.39	1.55	2.17				

表2 不同土类的实用 k' 值

土类	A	φ_w					备注	
		8	10	15	20	25		30
砂土	0.05				1.04	1.05	1.06	
$I_p < 3$	0.10				1.08	1.10	1.12	
	0.15		1.06	1.09	1.12	1.16		
粉质粘土	0.20		1.08	1.12	1.17	1.22		
粘质粉土	0.25		1.10	1.15	1.22	1.30		
$I_p < 17$	0.30		1.12	1.19	1.27	1.38		粉质砂土
	0.35		1.14	1.23	1.34	1.45		$I_p < 7$
	0.40	1.13	1.16	1.27	1.40			
粘土	0.45	1.14	1.19	1.32	1.48			
	0.50	1.16	1.22	1.36	1.57			
$I_p > 17$	0.60	1.20	1.27	1.47	1.77			
	0.70	1.24	1.33	1.60	2.05			

2.2 $c_{sw} \neq 0$ 的情况

对于 $c_{sw} \neq 0$ 的情况, 因为 a/p 相对较小, 所以公式(6)可化为:

$$\sin \phi = \frac{\sin \varphi_w + \frac{a}{p}}{1 - 2A \sin \varphi_w - 2A \frac{a}{p}} \approx \frac{\sin \varphi_w}{1 - 2A \sin \varphi_w} + \frac{a/p}{1 - 2A \sin \varphi_w}$$

其中 $a = c_{sw} \cos \varphi_w$, p 值难于确定, 因而此种情形还有待于进一步的探讨。

3 结语

1) 在缺乏试验资料的情况下, 通过查表计算, 得到最基本的土性指标 c' , ϕ , 水压力与土压力的准确分析就有据可依了, 这对工程实践意义重大。

2) 表格主要适用于正常固结饱和软粘土, 对超固结土不适用。

3) $c_{sw} \neq 0$ 情况下, ϕ 推导公式的建立还需要更深一步的分析。

参考文献:

- [1] 胡中雄. 土力学与环境土工学[M]. 上海: 同济大学出版社, 1997
- [2] 刘建航, 等. 基坑工程手册[M]. 上海: 同济大学出版社, 1997
- [3] 周志道, 陈幼雄. 当前深基坑维护存在的问题与对策[J]. 工业建筑, 1995, (9)

Conversion Relationship between Two Strength Indices for Effective Stress and Total Stress

CHENG Xiang-hua

(The 14th Department of Railway Ministry, Taian 271000, China)

Abstract: The conversion relationship between two strength indices is established by theoretical analysis for the effective stress and total stress. The practical conversion coefficient table is built on the relationship between two strength indices.

Keywords: effective stress; total stress; strength index; conversion coefficient