

成都工学院图书馆

基本馆藏

328314

水利水电科学研究院

科学研究论文集

第 6 集

(土 工)



中国工业出版社

140.4

目 录

用一个試样測定三軸不排水强度指标的試驗研究·····	朱思哲 苏宝石 (1)
西北一种击实黄土料的压縮与强度特性·····	蔣彭年 刘令瑤 (17)
关于天然鋪盖与人工鋪盖的計算問題·····	徐家海 (23)
用深层爆炸法加密砂基及研究其液化可能性·····	蔣国澄 張文正 (30)
土压盒試驗研究綜述·····	曹健人 (44)
土坝坝体应力分析綜述·····	卞富宗 (59)
土坝坝体塑流問題商榷·····	卞富宗 刘令瑤 (85)
水工地基灌浆技术·····	刘嘉材 (92)
用附加剂改善水泥浆液性质的初步研究·····	張作璠 郭玉花 (108)
定向爆破筑坝中几項工程地质問題·····	杜永廉 (118)

用一个試样測定三軸不排水 强度指标的試驗研究

朱思哲 苏宝石

【提 要】本文介紹了用一个試样測定三軸不排水强度指标的試驗研究及試驗方法。根据用各种不同土类（砂土，壤土，粘土）及不同結構土（天然結構土及重塑結構土）所进行的比較試驗，表明用一个試样測定的三軸不排水强度指标与通常习用試驗所測定的三軸不排水强度指标偏差很小，可以在实践中应用。采用这个方法不但可以节省土样，而且可縮短試驗時間。本文同时对試驗原理作了簡要討論。

一、前 言

用三軸剪力試驗測定土的强度指标 c 、 φ （或有效强度指标 c' 、 φ' ），通常都是用三个至四个試样，分別在不同的四周应力 σ_3 下測定其破坏强度。較之直接剪切試驗，不但操作嫌复杂，而且需要較多的試样。尤其是对于地基原状土样，有时不可能取得很多的样品，要进行三軸剪力試驗，就不得不受到一定限制。因此，用較少的試样来同样測定出强度指标就显得必要了。

比尔（De Beer）曾介紹了用一个試样作封閉試驗（Cell test）來測定强度指标的方法⁽¹⁾。这种方法由于受室压力的影响很大，而且所得指标偏小，因而受到了一些人的反对。

肯尼（T.C.Kenney）也曾經介紹了用一个試样作固結不排水剪与排水剪來測定有效强度指标 c' 、 φ' 的方法⁽²⁾。他所采取的破坏标准是按預先假定的破坏变形确定的。試样的破坏变形，不仅与土的性质（如密度、含水量及顆粒組成）有关，也与所受的四周应力大小有关。所以用一个固定的破坏变形并不能代表所有土类的破坏变形。

此外，泰勒（D.W.Taylor）和佛雷敏（H.D.Fleming）等人也曾进行过类似的試驗。

虽然曾經有人进行了这方面的尝试工作，但迄今所見到的資料还不多，在实践中亦不敢采用由一个試样測定的强度指标。从1958年起，我們曾陆陸續續用一个試样进行三軸不排水剪試驗，并与通常习用的方法比較。

二、試驗方法及試驗的土类

1. 破坏标准的确定及試驗步骤: 土的应力应变关系曲线随土的性质而不同, 有两种

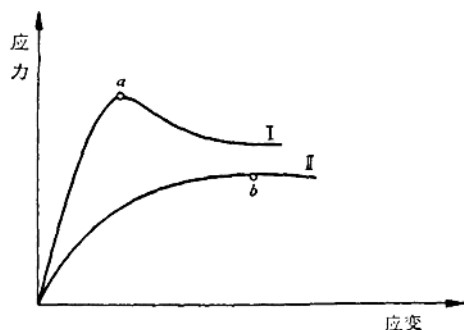


图 1

种类型: 结构性强的土以及坚硬土具有如图 1 中的曲线 I 的形状, 而松软土或重塑土, 其应力应变曲线如图 1 中的曲线 II 所示。曲线上的 a 点及 b 点分别代表破坏点的强度, 即土达到破坏点后, 应力不再增加, 或者稍稍下降。利用这一特性可以比较准确地测知试样是否达到极限状态。

应力控制式三轴仪, 不能准确地测定 a 点或 b 点。因此, 在整个试验中均采用应变控制式三轴剪仪。

试验的步骤是: 把制备好了的试样装于三轴仪上, 照通常试验方法加第 I 级四周应力 σ_3 , 然后加轴向应力; 待应力环

表 1 土的物理性指标

土样编号	比重 G_s	液性限度 W_L (%)	塑性限度 W_P (%)	塑性指数 I_P	颗粒组成 (%)				土 的 分 类	有效 粒径 D_{10} (毫米)	均匀 系数	备 注
					>0.05 (毫米)	0.05~ 0.005 (毫米)	<0.005 (毫米)	<0.002 (毫米)				
A1	2.64	—	—	—	100.0	0.0	0.0	0.0	粗砂	0.5	1.4	重 塑 土
A2	2.65	—	—	—	100.0	0.0	0.0	0.0	细砂	0.12	1.8	
A3	2.70	—	—	—	97.0	3.0	0.0	0.0	风化砂	0.13	12.7	
B1	2.68	25.2	16.7	8.5	24.0	62.0	14.0	9.0	壤土	—	—	
B2	—	—	—	—	16.0	44.0	21.0	19.0	壤土	—	—	
B3	2.72	24.1	19.5	4.6	15.0	66.0	19.0	9.3	壤土	—	—	
B4	2.72	32.9	20.0	12.9	21.2	17.0	21.0	17.3	砾质壤土	—	—	
B5	2.72	32.9	20.0	12.9	21.2	17.0	21.0	17.3	砾质壤土	—	—	
B6	—	—	—	—	—	—	—	—	粘土	—	—	原 状 土
B7	2.76	56.9	30.7	26.2	8.0	55.0	37.0	4.0	粘土	—	—	
B8	2.69	22.1	16.5	5.6	46.5	38.5	13.0	0.0	轻壤土	—	—	
C1	2.72	27.2	16.9	10.3	24.6	64.7	10.7	—	轻粉质壤土	—	—	
C2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
C3	2.71	27.8	18.2	9.6	19.0	62.0	19.0	13.0	中粉质壤土	—	—	
C4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
C5	2.70	38.8	22.4	16.4	5.0	63.0	32.0	0.0	粘土	—	—	
C6	2.70	25.6	15.1	10.5	29.0	33.0	38.0	27.0	粘土	—	—	
C7	2.70	29.2	16.7	12.5	20.0	35.0	45.0	33.0	粘土	—	—	

上量表读数增加到接近稳定（即接近 a 点或 b 点）时，停止施加轴向应力，而施加第Ⅲ级四周应力增量 $\Delta\sigma_3$ 。此时应力环因受 $\Delta\sigma_3$ 的作用，变形有所增加，故在施加 $\Delta\sigma_3$ 后，把钢环读数调整到原来的读数。接着再继续施加轴向应力，直到钢环量表读数稳定为止。然后再施加第Ⅲ级四周应力增量，……。整个试验过程的应力应变关系如图 2a 所示。根据曲线的纵轴（取作直径）、相应的四周应力 σ_3 繪莫尔圆及强度包线，可得到图 2b 所示的图形。

2. 用上述方法对 18 个不同地区不同类型的土样进行了试验。这些土的物理性质列于表 1 中。

除了 A3 试样的直径为 10 厘米，高为 20 厘米外，所有试样都制备成直径 3.8 厘米、高 8 厘米。絕大多数土样是进行不排水剪力试验，轴向应变速率为 1~2 %/分钟。只有 C6 及 C7 两土样测定了孔隙压力，轴向应变速率为 0.11 %/分钟。为了比较，每一

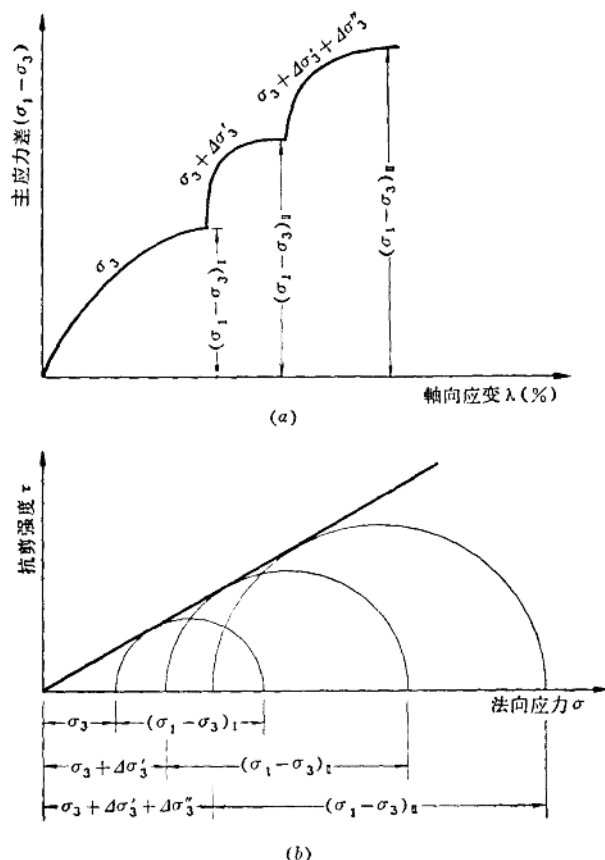


图 2

續表

土 样 编 号	试 验 方 法	含 水 量 $w(\%)$			容 重 γ (克/厘米 ³)			干 容 重 γ_d (克/厘米 ³)			饱 和 度 S_w (%)	四 周 应 力 σ_3 (公斤/厘米 ²)	强 度 指 标						破 坏 应 变 $\lambda(\%)$						
		几个 试样	一个 试样	I	几个 试样	一个 试样	I	几个 试样	一个 试样	I			c, φ (总值)			c', φ' (有效值)			几个 试样		一个 试样				
													I	I	I	I	I	I	I	I		I	I	I	
B ₃	不 排 水 剪	17.0	17.0	—	1.87	1.87	1.60	1.60	—	1	3.00	3.65	—	—	—	0.70	1.1	—	—	—	—	—	—	—	—
		17.0	17.0	—	1.87	1.87	1.60	1.60	—	2	4.10	4.65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		17.0	17.0	—	1.87	1.87	1.60	1.60	—	3	5.40	5.12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		17.0	17.0	—	1.87	1.87	1.60	1.60	—	4	6.00	—	—	—	—	20°	16.5°	—	—	—	—	—	—	—	
B ₄	不 排 水 剪	24.0	24.5	24.5	2.04	2.05	1.65	1.62	1.63	0	—	0.07	0.07	0.12	0.03	0.08	—	—	—	—	—	—	—	1.5	3.00
		24.0	24.0	—	2.04	2.04	1.65	1.65	—	0.5	0.22	0.13	0.14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7.0	4.75	5.5
		24.0	24.0	—	2.02	2.02	1.63	1.63	—	1	0.20	0.16	0.16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.50	6.50	6.75
		24.5	24.5	—	2.02	2.02	1.63	1.63	—	2	0.26	0.20	0.18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.00	8.00	8.75
		24.3	24.3	—	2.02	2.02	1.62	1.62	—	3	0.32	0.22	0.19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.75	9.25	11.00
		24.3	24.3	—	2.01	2.01	1.61	1.61	—	4	0.33	0.30	0.22	1°	0.8°	0.8°	—	—	—	—	—	—	11.75	10.50	11.75
B ₅	不 排 水 剪	20.2	20.2	20.2	1.92	1.91	1.61	1.59	1.60	0	0.71	0.57	0.57	0.45	0.35	0.35	—	—	—	—	—	—	5.96	2.48	3.23
		20.2	20.2	—	1.92	1.92	1.60	1.60	—	0.5	1.10	0.82	0.91	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10.0	4.72	6.20
		20.2	20.2	—	1.93	1.93	1.61	1.61	—	1	1.56	1.06	1.07	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.68	8.45	8.95
		20.2	20.2	—	1.93	1.93	1.60	1.60	—	2	1.51	1.32	1.32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14.80	11.42	11.65
		20.2	20.2	—	1.91	1.91	1.59	1.59	—	3	1.49	1.46	1.52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12.80	13.40	13.15
		20.2	20.2	—	1.91	1.91	1.59	1.59	—	4	1.61	1.65	1.81	4.5°	5.5°	6°	—	—	—	—	—	—	13.90	14.40	14.40
B ₆	不 排 水 剪	—	30.0	30.0	—	1.86	1.87	—	1.43	1.44	—	0	0.58	0.59	0.36	0.33	0.30	—	—	—	—	—	—	10.5	9.0
		30.0	30.0	—	1.87	1.87	1.44	1.44	—	0.5	0.80	0.67	0.66	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12.5	13.0	13.0
		30.0	30.0	—	1.86	1.86	1.43	1.43	—	1	0.81	0.74	0.74	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18.7	20.8	18.8
		30.0	30.0	—	1.87	1.87	1.44	1.44	—	2	1.06	0.80	0.85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20.0	26.5	25.0
		30.0	30.0	—	1.88	1.88	1.45	1.45	—	3	1.04	0.82	0.87	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25.0	30.0	27.0
		30.0	30.0	—	1.88	1.88	1.45	1.45	—	4	1.05	0.87	0.89	2°	1.5°	2°	—	—	—	—	—	—	21.0	34.0	33.0

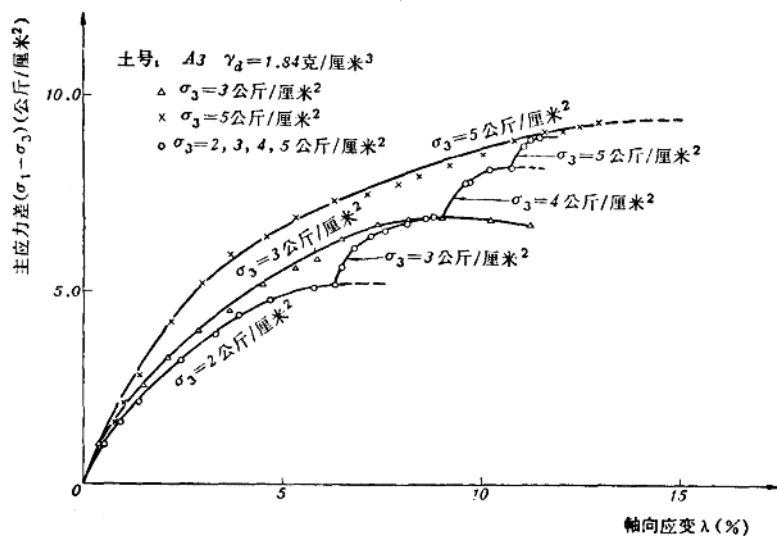
續表

土 样 编 号	试 验 方 法	含 水 量 $w(\%)$		容 重 γ (克/厘米 ³)		干 容 重 γ_d (克/厘米 ³)		饱 和 度 S_w (%)	四 周 应 力 σ_3 (公斤/厘米 ²)	破 坏 主 应 力 差 ($\sigma_1 - \sigma_3$) (公斤/厘米 ²)		强 度 指 标				破 坏 应 变 $\lambda(\%)$					
		几个 试样	一个 试样	几个 试样	一个 试样	几个 试样	一个 试样			几个 试样	一个 试样	几个 试样	一个 试样	几个 试样	一个 试样	几个 试样	一个 试样				
B7	不 排 水 剪	—	33.7	32.5	—	1.85	1.81	—	1.38	1.37	—	0.40	0.49	0.35	0.35	0.32	—	—	11.7	6.5	
		35.5	—	—	1.83	—	—	—	0.5	0.43	0.47	0.57	—	—	—	—	—	—	10.3	14.0	9.5
		33.9	—	—	1.80	—	—	—	1	0.60	0.79	0.66	—	—	—	—	—	—	10.0	18.5	13.5
		34.0	—	—	1.83	—	—	—	2	0.69	0.81	0.67	—	—	—	—	—	—	13.0	20.8	19.0
		34.6	—	—	1.84	—	—	—	3	0.65	0.79	0.69	—	—	—	—	—	—	12.0	23.2	23.5
		31.8	—	—	1.83	—	—	—	4	0.73	0.78	0.71	0°	0°	0°	—	—	17.5	25.0	27.3	
B8	不 排 水 剪	—	11.1	11.6	—	1.89	1.89	—	1.67	1.63	—	1.02	1.03	0.30	0.20	0.20	—	—	1.20	2.24	
		11.0	—	—	1.85	—	—	—	0.5	2.08	1.84	1.73	—	—	—	—	—	2.75	3.97	4.72	
		11.5	—	—	1.86	—	—	—	1	2.86	2.59	2.42	—	—	—	—	—	3.25	6.96	8.20	
		11.2	—	—	1.86	—	—	—	2	4.62	4.24	4.18	—	—	—	—	—	9.75	10.44	12.66	
		11.3	—	—	1.87	—	—	—	3	6.26	6.40	6.25	—	—	—	—	—	13.00	15.15	19.65	
		11.4	—	—	1.86	—	—	50	4	8.45	8.48	8.07	28.5°	29°	29°	—	—	15.90	23.10	26.60	
C1	不 排 水 剪	—	—	—	1.48	1.51	1.49	—	1	0.96	1.00	0.97	0	0	0	—	—	7.7	5.8	6.8	
		—	—	—	1.49	—	—	—	2	2.17	2.22	2.14	—	—	—	—	—	11.8	11.3	14.8	
		—	—	—	1.48	—	—	—	3	3.83	3.66	3.54	—	—	—	—	—	13.8	17.8	20.8	
		—	—	—	1.49	—	—	—	4	5.30	5.03	4.97	22°	22°	21.5°	—	—	15.5	22.0	27.0	
C2	不 排 水 剪	—	—	—	1.57	1.54	—	—	1	3.59	3.72	—	—	—	—	—	—	5.8	2.3	—	
		—	—	—	1.47	—	—	—	2	4.24	4.85	—	—	—	—	—	—	6.3	6.3	—	
		—	—	—	1.54	—	—	—	3	7.44	7.47	—	—	—	—	—	—	8.3	17.5	—	
		—	—	—	1.53	—	—	—	4	9.15	8.65	—	—	—	—	—	—	13.5	37.5	—	
C3	不 排 水 剪	—	—	—	1.79	1.56	1.75	—	1	2.51	1.50	2.39	0.45	0.20	0.42	—	—	5.3	6.8	6.25	
		—	—	—	1.74	—	—	—	2	3.54	2.51	3.43	—	—	—	—	—	9.5	12.5	12.5	
		—	—	—	1.69	—	—	—	3	4.99	3.63	4.55	—	—	—	—	—	17.0	22.7	18.6	
		—	—	—	1.79	—	—	—	4	5.92	4.88	5.55	21.5°	20°	20°	—	—	17.5	30.2	24.5	

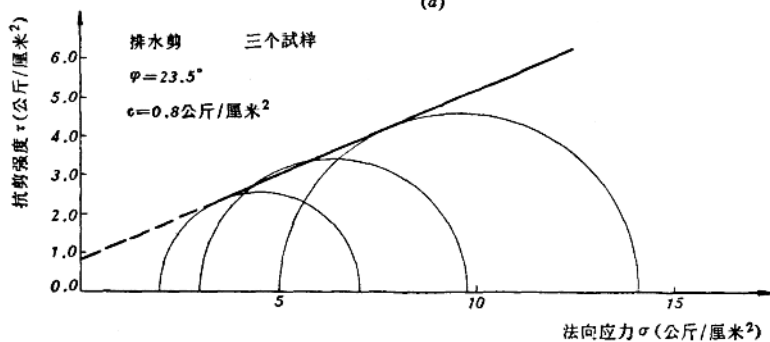
續表

土 样 编 号	试 验 方 法	含 水 量 $w(\%)$		容 重 γ (克/厘米 ³)		干 容 重 γ_d (克/厘米 ³)		饱 和 度 S_w (%)	四 周 应 力 σ_3 (公斤/厘米 ²)	破 坏 主 应 力 差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ (公斤/厘米 ²)		强 度 指 标				破 坏 应 变 $\lambda(\%)$			
		几个 试样	一个 试样	几个 试样	一个 试样	几个 试样	一个 试样			几个 试样	一个 试样	几个 试样	一个 试样	几个 试样	一个 试样	几个 试样	一个 试样	几个 试样	一个 试样
I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II		
C4	不 排 水 剪	—	—	1.65	1.75	1.70	—	—	1	1.61	1.97	0.40	0.75	0.5	—	—	—	—	
		—	—	1.76	—	—	—	—	2	2.51	2.28	2.03	—	—	—	—	—	—	
		—	—	1.77	—	—	—	—	3	2.98	2.44	2.28	—	—	—	—	—	—	
		—	—	1.73	—	—	—	—	4	2.94	2.46	2.44	14°	8°	11°	—	—	—	
C5	不 排 水 剪	19.4	19.4	18.8	1.76	1.76	1.78	1.47	1.47	1.5	2.34	2.35	2.18	0.85	0.90	0.90	—	—	
		19.0	—	1.76	—	—	—	1.47	—	0.5	—	2.82	2.47	—	—	—	—	—	
		19.0	—	1.76	—	—	—	1.47	—	1	2.87	3.31	2.69	—	—	—	—	—	
		18.8	—	1.74	—	—	—	1.47	—	2	3.77	4.08	2.90	—	—	—	—	—	
C6	不 排 水 剪	18.8	—	1.76	—	—	—	1.48	—	3	3.29	4.59	2.96	—	—	—	—	—	
		18.8	—	1.75	—	—	—	1.48	—	4	4.96	5.18	3.75	14.5°	16°	11°	—	—	
		19.4	19.7	—	2.12	2.11	—	1.77	1.76	0.5	2.65	2.75	—	1.05	1.01	—	0.95	0.95	
		20.2	—	2.12	—	—	—	1.76	—	1	3.05	2.99	—	—	—	—	—	—	
C7	不 排 水 剪	19.7	—	2.12	—	—	—	1.76	—	2	3.17	3.37	—	—	—	—	—	—	
		21.3	—	2.12	—	—	—	1.75	—	3	3.44	3.81	—	8.5°	10°	—	13.5°	13.5°	
		19.3	19.5	—	2.05	2.04	—	1.71	1.71	0.5	2.92	2.52	—	1.13	0.8	—	1.03	0.8	
		19.2	—	2.05	—	—	—	1.72	—	1	3.47	2.74	—	—	—	—	—	—	
C7	不 排 水 剪	20.9	—	2.04	—	—	—	1.70	—	2	3.58	3.26	—	—	—	—	—	—	
		20.9	—	2.04	—	—	—	1.69	—	3	3.67	4.04	—	—	—	—	—	—	
		20.1	—	2.04	—	—	—	1.70	—	4	4.51	4.82	—	11°	14°	—	13°	16°	
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

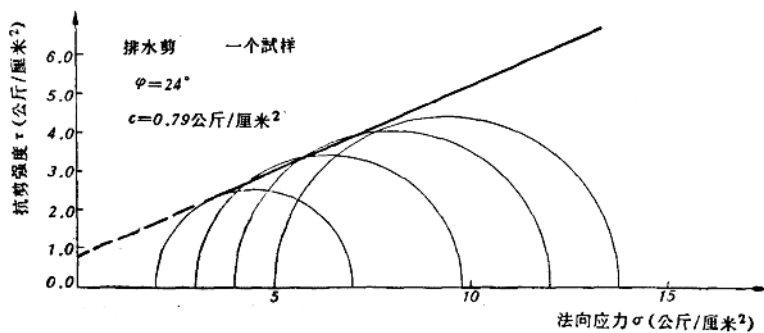
注: 表内 c 及 c' 值以公斤/厘米² 計; φ 及 φ' 值以度計。



(a)



(b)



(c)

图 3

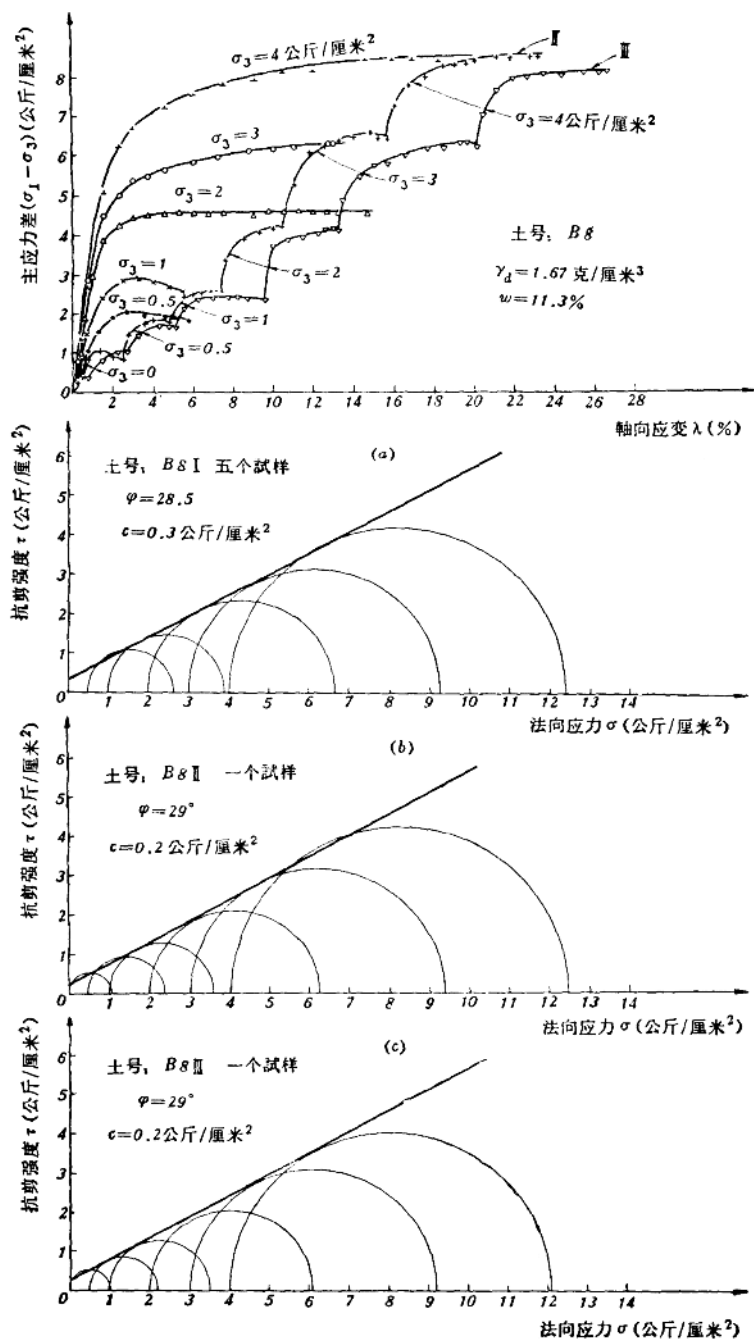


图 4

种土样都进行了两组试验：一组是用一个试样照上述方法进行试验；另一组是按通常习用方法用3~5个试样进行试验。试验的总成果列于表2中。表2中的Ⅰ表示按通常习用方法测定的结果，Ⅱ及Ⅲ表示用一个试样测定的结果。

三、成果比较

1. 应力应变关系：图3a是对风化砂用两种方法测定的应力应变关系。这两种方法所测定的破坏应变很接近。但对于粘性土，破坏应变并不一致，用一个试样测定的破坏应变一般都偏大（见图4a）。两者的破坏应变尽管不一致，但所测得的强度指标相差不大（见图3b, c及图4b, c, d）。

2. 图5是各种不同土样在四周应力 $\sigma_3 = 2$ 公斤/厘米²作用下，用两种方法测定的破坏主应力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ 的关系图。图6a, b是分别用两种方法测定的 c 、 φ 值的关系图。这些图表明，大多数的试验点分布在靠近45°直线的地方，只有少数点子偏离比较远。 φ 值的最大差值是6°，这是极个别的；70%的点子差值都小于2°。 c 值的最大差值是0.35公斤/厘米²，80%的点子差值都小于0.1公斤/厘米²。从表2及图

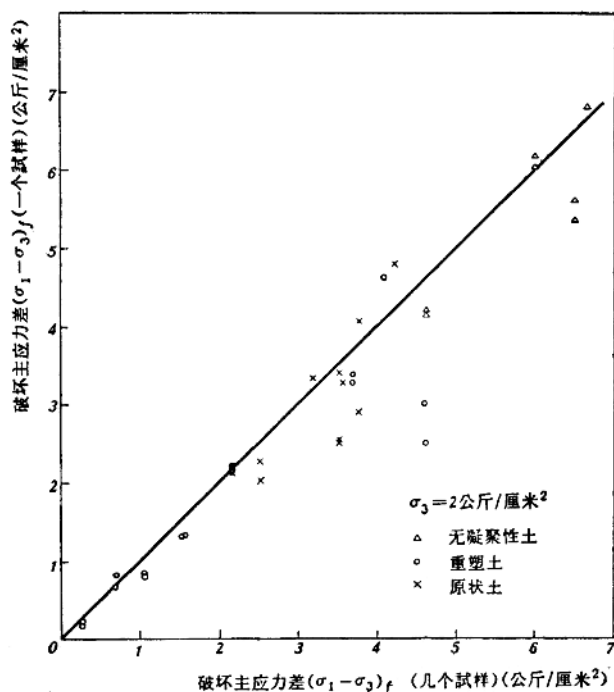


图 5

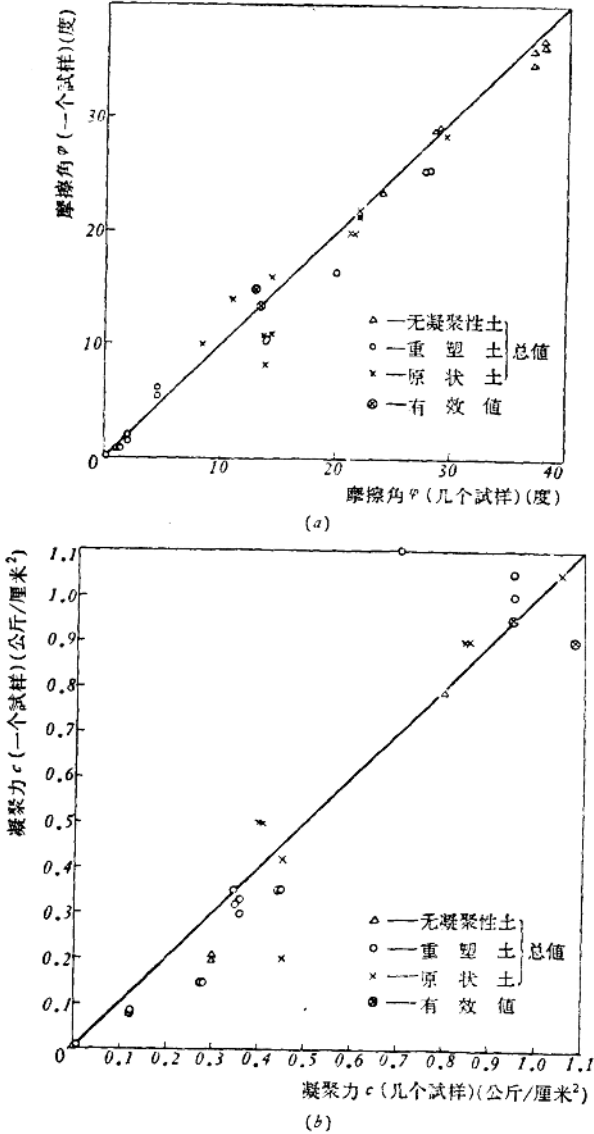


图 6

6 a, b 可以看出, 一个試样所測得的 c 、 φ 值大都偏低。这种現象是比較容易理解的, 因为用一个試样測定 c 、 φ 值时, 試样所受的破坏变形总是比較大的。不过从实用观点看, 上述差值是可以允許的。

四、討 論

1. 用一个試样測定强度指标 c 、 φ 值, 是假定試样的 c 、 φ 值不因应力状态的变化而改变; 破裂面的傾角 $\alpha \left(= 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$ 在第一次出現后, 即保持不变。

通常习用的三軸剪力試驗方法, 是取三个或四个試样分別在不同的四周应力 σ_3 下使达到破坏。每个試样达到破坏而形成破裂面之前, 必須克服摩擦力和凝聚力(粘性土)或摩擦力(砂性土)。用一个試样作試驗时, 在第Ⅰ級四周应力 σ_3 下, 試样达到破坏而形成破裂面之前, 和通常的試驗过程一样; 而在增加第Ⅱ級应力增量 $\Delta\sigma_3$ 后, 在破裂面上增加相应的法向应力 $\Delta\sigma$, 因而增加了相应的摩擦力 $\Delta\tau$ 。要使試样沿破裂面繼續移动, 則必須另克服这一部分摩擦力增量 $\Delta\tau$ 。其过程可以用下列图例說明:

設試样为粘性土, 图7a是試样在第Ⅰ級四周应力 σ_3 作用下, 增加軸向应力 ΔP_1 达到破坏的状态。这时, 它的应力状态如图7d中应力圆Ⅰ所示。将包綫延长与 σ 軸交于 O' 点。破裂面与大主应力 σ_1 面之間的傾角是 $\alpha \left(= 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$ 。此时作用在破裂面上的法向应力及剪应力是,

$$\sigma = \sigma'_3 + (\sigma'_1 - \sigma'_3) \cos^2 \alpha = \sigma_3 + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi} + (\sigma_1 - \sigma_3) \cos^2 \alpha, \quad (1)$$

$$\tau = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \sin 2\alpha = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\alpha, \quad (2)$$

以及
$$\sigma'_1 = \sigma'_3 \operatorname{tg}^2 \alpha, \quad \sigma_1 + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi} = \left(\sigma_3 + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi} \right)^2 \operatorname{tg} \alpha. \quad (3)$$

如此时再施加第Ⅱ級四周应力增量 $\Delta\sigma_3$, 如图7b所示, 則試样由极限平衡状态回复到稳定平衡状态, 試样不再沿破裂面繼續移动。設前一破裂面之傾角 α 不变, 作用在該面上的法向应力及剪应力是:

$$\sigma' = \sigma'_3 + \Delta\sigma_3 + (\sigma'_1 - \sigma'_3) \cos^2 \alpha = \sigma_3 + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi} + \Delta\sigma_3 + (\sigma_1 - \sigma_3) \cos^2 \alpha, \quad (4)$$

$$\tau' = \tau = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \sin 2\alpha = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\alpha. \quad (5)$$

其应力状态如图7d中的应力圆Ⅱ所示。

在試样上繼續增加軸向应力 ΔP_2 , 使試样再处于极限状态, 即使試样又沿破裂面(此时傾角 α 不变)重新移动, 如图7c所示。

此时的应力状态如图7d上的应力圆Ⅲ所示。破裂面上的法向应力及剪应力是:

$$\sigma'' = \sigma_3 + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi} + \Delta\sigma_3 + (\sigma_1 - \sigma_3) \cos^2 \alpha + (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \cos^2 \alpha, \quad (6)$$

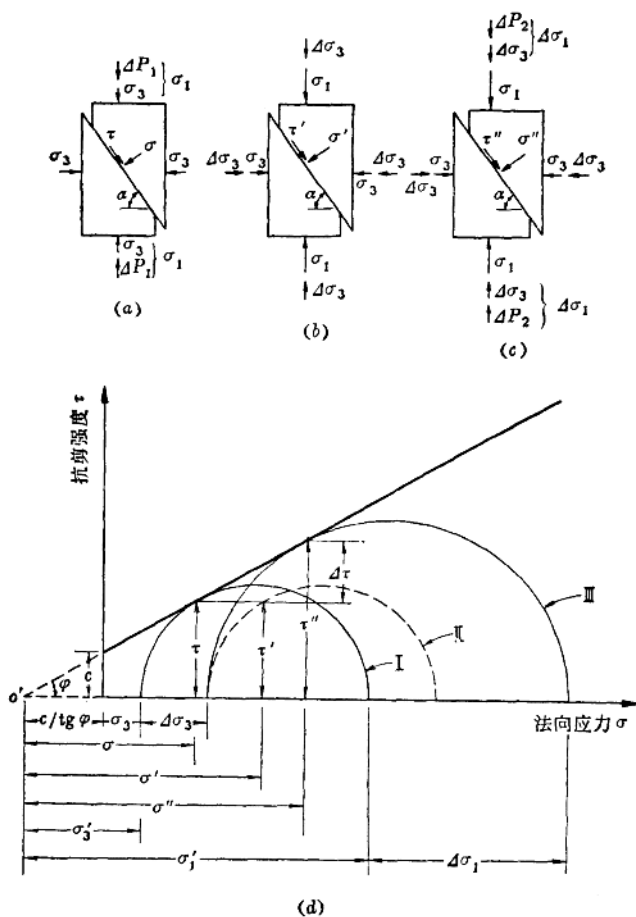


图 7

$$\tau'' = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\alpha + \frac{\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3}{2} \sin 2\alpha, \quad (7)$$

$$\sigma'_1 + \Delta\sigma_1 = (\sigma'_3 + \Delta\sigma_3) \operatorname{tg}^2 \alpha. \quad (8)$$

从式(6)、(7)、(8)分别减去式(1)、(2)、(3), 得:

$$\Delta\sigma = \sigma'' - \sigma = \Delta\sigma_3 + (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \cos^2 \alpha,$$

$$\Delta\tau = \tau'' - \tau = \frac{\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3}{2} \sin 2\alpha,$$

$$\Delta\sigma_1 = \Delta\sigma_3 \operatorname{tg}^2 \alpha.$$

以上三式是砂性土的极限平衡表达式。这表明施加第Ⅰ级四周应力增量 $\Delta\sigma_3$ 后, 只增加了摩擦强度增量 $\Delta\tau$ 。因此, 施加第Ⅰ级四周应力增量 $\Delta\sigma_3$ 后测得的总强度包括第

I 級四周应力 σ_3 作用下的强度 τ 以及第 II 級四周应力增量 $\Delta\sigma_3$ 作用下的强度增量 $\Delta\tau$ 两部分。在第 I 級四周应力 σ_3 作用下所测定的总强度包括摩擦力 $\sigma \operatorname{tg} \varphi$ 及凝聚力 c ;

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi;$$

而施加第 II 級四周应力增量 $\Delta\sigma_3$ 后, 所测得的强度增量 $\Delta\tau$ 只包括摩擦力部分, $\Delta\tau = \Delta\sigma \operatorname{tg} \varphi$ 。它与试样原来所具有的 c 值的大小无关。

土的凝聚力 c 值反映颗粒之间的分子力以及颗粒结构排列、胶结物质等的影响, 它与外作用力无关。用一个试样作试验时, 这些因素已反映在第 I 級四周应力 σ_3 作用下所测定的总强度内。

用一个试样作试验和通常习用的试验方法原则上没有什么区别, 只是在求强度包线时, 要避免重复施加外力克服凝聚力 c 这一部分阻力。

因此, 用一个试样分級施加四周应力测定总强度指标 c 、 φ (或有效强度指标 c' 、 φ'), 无论对有结构性土或重塑土都是适用的。

2. 孔隙压力系数的测定问题: 在 18 个土样中, 选定了 C_6 及 C_7 两土样测定孔隙压力。虽然这两个土样的有效强度指标 c' 及 φ' 很接近, 但由于试验资料少, 剪切过程中的孔隙压力变化不很明显。不过根据孔隙压力系数概念, 同样可计算 A_f 、 $\bar{A}_f$ 、 B 、 $\bar{B}$ 等值。图 8 表示用一个试样进行排水剪测孔隙压力, 所测得的主应力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_t$ 和孔隙压力 Δu 与轴向应变 λ 的关系示意图。

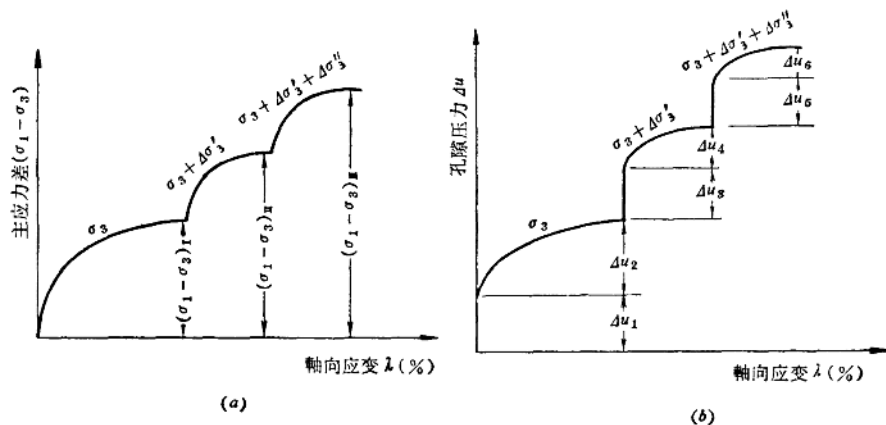


图 8

根据孔隙压力关系式:

$$\Delta u = B[\sigma_3 + A_f(\sigma_1 - \sigma_3)] = B\sigma_3 + \bar{A}_f(\sigma_1 - \sigma_3),$$

总的孔隙压力分为两部分, 即四周应力 σ_3 所引起的孔隙压力, 如图 8b 中的 Δu_1 、 Δu_3 、 Δu_5 , 以及剪切过程中所产生的孔隙压力, 如图 8b 中的 Δu_2 、 Δu_4 、 Δu_6 等。因此, 可以计算各级四周应力作用下及剪切过程中的孔隙压力系数。根据图 8:

第 I 級四周应力 σ_3 作用下,

$$B = \frac{\Delta u_1}{\sigma_3}, \quad \bar{B} = \frac{\Delta u_1 + \Delta u_2}{\sigma_1}$$

$$A_f = \frac{\Delta u_2}{B(\sigma_1 - \sigma_3)_I}, \quad \bar{A}_f = \frac{\Delta u_2}{(\sigma_1 - \sigma_3)_I}$$

第Ⅱ級四周应力 $\sigma_3 + \Delta\sigma_3$ 作用下,

$$B = \frac{\Delta u_1 + \Delta u_3}{\sigma_3 + \Delta\sigma_3}, \quad \bar{B} = \frac{\Delta u_1 + \Delta u_2 + \Delta u_3 + \Delta u_4}{(\sigma_1 + \Delta\sigma_3) + (\sigma_1 - \sigma_3)_{II}}$$

$$A_f = \frac{\Delta u_2 + \Delta u_4}{B(\sigma_1 - \sigma_3)_{II}}, \quad \bar{A}_f = \frac{\Delta u_2 + \Delta u_4}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{II}}$$

同样可計算第Ⅲ級、第Ⅳ級四周应力作用下及剪切过程中的孔隙压力系数。

表 3 是按上述方法計算的孔隙压力系数。

表 3 两种方法測定的孔隙压力系数比較

四周应力 σ_3 (公斤/厘米 ²)	B		$\bar{B}$		A_f		$\bar{A}_f$	
	I	II	I	II	I	II	I	II
0.5	0.210	0.262	0.026	0.059	0.070	0.069	0.016	0.018
1	0.253	0.144	0.050	0.052	0.008	0.132	0.002	0.019
2	0.157	0.128	0.074	0.061	0.025	0.156	0.004	0.020
3	0.075	0.100	0.081	0.061	0.020	0.300	0.015	0.030
4	0.113	0.101	0.089	0.077	0.270	0.535	0.031	0.054

土样编号C1, 平均 $\gamma_d=1.70$ 克/厘米³, 饱和度 $S_w=0.91$ 。

I——通常习用方法測定的数值;

II——用一个試样測定的数值。

从上列結果看来, 用一个試样測定的 B 及 $\bar{B}$ 值与通常习用方法測得者比較接近, 但一般略偏低; 而用一个試样測得的 A_f 及 $\bar{A}_f$ 值則偏大, 且差值較大。因試驗資料积累不多, 很难肯定是什么原因, 还需要进一步加以試驗研究。

3. 根据对各种不同类型土的比較, 用一个試样測定强度指标, 各种土都是适用的。不过, 对于砂土以及干容重大的粘性土, 两种方法測定的总强度指标 c 、 φ 值, 差值較小; 而对于軟塑性土, 差值較大(見表2中的B2、B3土样)。这是因为軟塑性土破坏变形較大, 在第Ⅲ級、第Ⅳ級四周应力下破坏时, 試样已变成鼓形。不过其差值是在实际应用的許可范围以內。

4. 試驗結果表明, 用一个試样測定的应力圆都能很好地切于强度包綫; 而通常习用方法所測定的应力圆, 由于几个試样并不一定都能均匀一致, 往往不能很好地切于强度包綫。因此, 如果遇到各試样不均匀的情况, 可以考虑不必按通常习用方法用几个試样求得一个平均的总强度指标 c 、 φ (或有效强度指标 c' 、 φ'), 而改用用一个試样作試驗的方法, 分別求得代表不同土质情况的总强度指标 c 、 φ (或有效强度指