

软弱层带抗剪强度经验公式

刘宏力, 石豫川, 刘汉超

(成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059)

摘要: 软弱层带是控制岩体稳定性的重要边界条件。软弱层带的工程特性是其物质基础与环境条件共同作用的结果。研究表明软弱层带的抗剪强度与塑性、干密度和含水量具有明显的相关性, 并提出了抗剪强度与三因子之间的经验公式。

关键词: 软弱层带; 抗剪强度; 塑限; 干密度; 含水量

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)06-0039-03

Experience Formula of Shear Strength of the Weak Layer

L I U Hong-li, SH I Yu-chuan, L I U Han-chao

(College of Environment and Civil Engineering of Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The weak layers are the most important boundaries controlling rock mass stability. The engineering properties of the weak layer are controlled by the basic substance and environment conditions. The study shows that a good correlativity exists among shear strength, plastic limit, dry density and moisture content, and the experience formula about it is given.

Key words: weak layer; shear strength; plastic limit; dry density; moisture content

1 前言

软弱层带(包括软弱夹层和断层)是岩体中物理力学性质或工程特性最差的结构面,是控制岩体稳定性的主要弱面。近年来,众多的大型工程的建设,针对工程区软弱层带进行了大量的试验和研究,特别是对软弱层带的破碎物质(断层泥和夹泥)的研究。但是到目前为止由于现场试验场地的限制,针对软弱层带的力学参数的选取并没有完好的解决。

众所周知,软弱层带赋存于复杂的地质环境中,它的工程特性是其物质基础与环境条件共同作用的结果。软弱层带的物质基础主要是指颗粒组成、矿物成分和化学成分等等;环境条件主要是地应力、地下水和地温等。软弱层带的力学参数的选取必须充分的考虑上述因素。作者收集龙羊峡^[1]、李家峡^[2]、向家坝^[3]和积水峡^[4]等数个水电站的软弱层带的试验资料,从中选取130余组数据进行统计和分析。这些试验数据都经过严格的取样和试验得到的。

从中选用容重、孔隙比、比重、饱和度、液限、塑限、含水量、干密度8个因子来评价软弱层带(破碎物质为断层泥和夹泥)的力学参数,经过聚类分析和逐步判别统计方法,最终采用塑限、含水量和干密度3个因子来评价软弱层带(破碎物质为断层泥和夹泥)得力学参数。

2 因子介绍

2.1 塑限因子

土的可塑性指标与土的颗粒组成、矿物成分、活动性、吸

附水的表面电荷强度等有关,因此能较好的反映出土的某些物理特性^[5]。黏土矿物中最常见和最重要的是蒙脱石、伊利石和高岭石三大组,其次为混层矿物和绿泥石^[6]。

蒙脱石进入泥化的最低含水量相当于伊利石的液限含水量,即在蒙脱石还是在固态时,以伊利石为主的夹泥以进入液态,即蒙脱石矿物对夹泥的强度具有明显的控制作用,在相同的条件下,蒙脱石含量高的夹泥,强度高^[7]。聂德新等人提出蒙脱石与塑限指标的经验关系式:

$$W_p = 0.253K + 10$$

式中: K ——蒙脱石的含量; W_p ——塑限。

经过对130余组的数据统计分析,初次提出塑限因子对摩擦系数的影响权重见表1:

表1 不同塑限下的权重

塑限/%	10~12	12~15	15~16.5	16.5~20	20~25	25~35.3
权重(1/h)	1.2	2.3	3	4	4.7	6

2.2 干密度(ρ_d)因子

受地应力作用软弱层带发生压缩变形,孔隙比和干密度随之发生改变。因此干密度不仅反映了夹泥的密实度或结构,同时也反映了夹泥孔隙比的高低,即揭示地应力环境,还表征了夹泥颗粒的接触类型。在相同条件下,高干密度的夹泥,孔隙比低,结构密实,接触类型多为同相接触^[8],这预示夹泥又较高的强度,反之亦然。见图1,为蒙脱石含量大于55%时,干密度与摩擦系数的关系曲线。

2.3 含水量(w)因子

含水量对夹泥强度的影响,其原因在与当夹泥的含水量

* 收稿日期: 2004-12-05

作者简介: 刘宏力(1979-),男,硕士研究生,地质工程专业,研究方向为地质灾害预测与防治。

大于液限或接近液限时, 颗粒间的接触大多呈现凝聚接触, 粒间多为结合水或自由水包围, 颗粒间的摩擦强度几乎全部丧失, 而结构强度是靠分子长距离的相互作用而获得, 因而很少。当夹泥含水量降低, 并与对应围压相适应时, 夹泥颗粒间的接触增多, 结合水为强结合水, 此时摩擦系数增大, 内聚力也增大。对于矿物成分、粒度成分相同的夹泥, 随着含水量的增加夹泥的摩擦系数降低, 且具有明显的相关性。可见图 2, 为蒙脱石含量 20% ~ 25%, 干密度 2.0 ~ 2.1 g/cm³ 时, 含水量与摩擦系数的关系曲线。

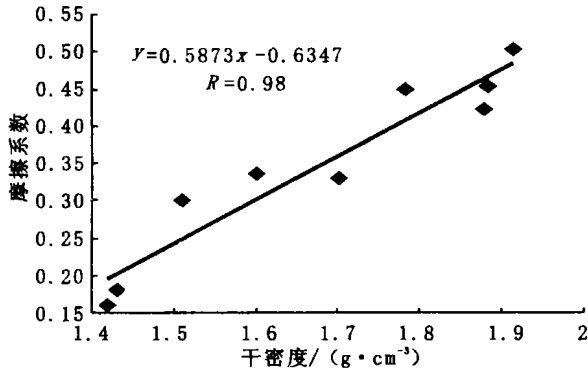


图1 摩擦系数(tgφ与干密度(ρ_d)相关曲线

对于软弱夹层的内聚力, 当获取的试样中含有少量粗颗粒, 且粗颗粒在剪切时恰处于剪切面时, 会导致强度变化较大, 无法建立它们之间的关系式。最后对颗粒组成、黏土矿物成分相同的夹泥, 对 23 组数据进行回归分析得到内聚力与含水量和干密度的关系式:

3 夹泥抗剪强度与塑限、干密度和含水量的关系

对 120 余组的数据进行回归分析得到对弱夹层的摩擦系数 tg(φ) 与塑限、干密度和含水量的关系:

$$\text{tg}(\varphi) = -0.12 + 0.065 \times 1h - 0.019 \times W + 0.324 \times \rho_d$$
$$r = 0.893 \tag{1}$$

式中: φ——内摩擦角; 1h——塑限权重。

上式表明软弱夹层的摩擦系数与其塑限、干密度和含水量具有较好的相关性。

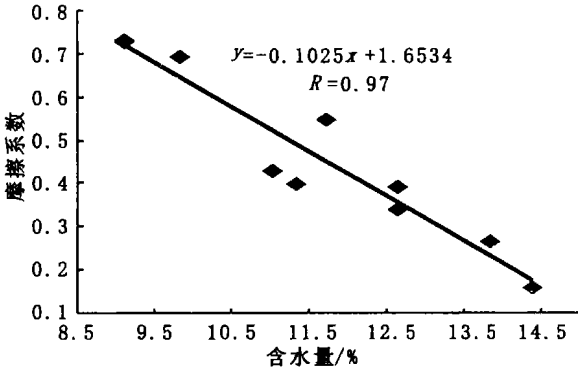


图2 摩擦系数(tgφ与含水量(W)相关曲线

$$C = -0.32175 + 0.7763\rho_d - 0.7304\lg W$$
$$r = 0.933 \tag{2}$$

式中: C——内聚力。

上式表明软弱夹层的内聚力与其含水量和干密度在相同的条件下具有好的相关性。

表2 成果对照表

工程 序号	含水量	干密度	塑限 权重	tg(φ) (试验)	tg(φ) (公式)	工程 序号	含水量	干密度	塑限 权重	tg(φ) (试验)	tg(φ) (公式)
李家峡						67	7.61	2	2.3	0.65	0.5329
1	30.3	1.43	4.7	0.08	0.0731	68	6.92	2.095	2.3	0.629	0.5768
2	34.42	1.42	6	0.16	0.0761	69	7.14	1.972	2.3	0.47	0.5328
3	19.5	1.71	6	0.42	0.4535	70	10.14	1.829	2.3	0.45	0.4294
4	18.39	1.71	4	0.35	0.3446	71	4.87	1.921	3.5	0.7	0.6374
5	18.17	1.62	4	0.298	0.3011	72	9.537	1.999	2.3	0.45	0.496
6	16.47	1.75	4	0.395	0.3941	73	12.2	1.97	3.5	0.281	0.514
7	18.62	1.756	4.7	0.41	0.4007	74	8.35	1.966	3	0.483	0.5533
8	15.67	1.857	4	0.37	0.4439	75	12.64	2.086	3	0.34	0.5107
9	16.6	1.745	4	0.35	0.39	76	13.83	2.084	3	0.265	0.4874
10	17.5	1.84	3	0.303	0.3387	77	10.46	2.2	3	0.462	0.5891
11	15.65	1.85	4	0.49	0.4421	78	10.03	2.261	4	0.655	0.682
12	12.66	1.82	2.3	0.4	0.3786	79	9.487	2.208	4	0.624	0.6751
13	18.22	1.734	3	0.215	0.2906	80	8.283	2.299	4	0.725	0.7275
14	24.78	1.55	4	0.163	0.1714	81	11.04	2.131	3	0.41	0.5557
15	26.96	1.47	4.7	0.213	0.1495	82	10.73	2.121	3	0.45	0.5583
16	9.41	1.9	3	0.505	0.5118	83	8.45	2.208	4	0.688	0.6948
17	11.2	1.85	3	0.46	0.4616	84	21.8	1.716	3	0.028	0.2168
18	24.54	1.49	4	0.363	0.1565	85	20.65	1.765	3	0.068	0.2545
19	26.61	1.48	4	0.07	0.1139	86	17.35	1.934	3	0.1	0.372
20	12.1	1.95	2.3	0.5	0.4314	87	14.4	2.01	3	0.16	0.4526
21	14.71	1.97	2.3	0.261	0.3883	88	12.63	2.045	3	0.39	0.4976
22	17.34	1.87	4.7	0.545	0.4619	89	11.34	2.043	3	0.398	0.5215
23	19.7	1.81	4.7	0.473	0.3976	90	9.71	2.189	3	0.64	0.5997
24	20.35	1.79	4.7	0.39	0.3788	91	17.88	1.9	3	0.077	0.3509
25	15.7	1.89	3	0.407	0.3891	92	12.835	2.038	2.3	0.3	0.4459
26	8.76	1.97	1.2	0.36	0.4298	93	11.2	1.996	2.3	0.464	0.4634
27	10.23	1.96	2.3	0.349	0.4702						

续表												
工程 序号	含水量	干密度	塑限 权重	tg(φ) (试验)	tg(φ) (公式)	工程序号	含水量	干密度	塑限 权重	tg(φ) (试验)	tg(φ) (公式)	
28	11. 65	1. 87	4	0. 49	0. 5245	94	11. 23	1. 994	3	0. 44	0. 5077	
29	8. 31	1. 95	3	0. 41	0. 5489	龙羊峡 95	28. 5	1. 51	6	0. 301	0. 2177	
30	7. 64	2. 01	4. 7	0. 82	0. 6916		17. 8	1. 783	6	0. 548	0. 5095	
31	20. 16	1. 6	6	0. 335	0. 4054		15. 9	1. 821	4. 7	0. 358	0. 4734	
32	12. 06	1. 79	3	0. 28	0. 4258		13. 23	1. 882	4. 7	0. 454	0. 5439	
33	12. 05	1. 88	1. 2	0. 35	0. 3382		10. 48	1. 913	4. 7	0. 502	0. 6062	
34	12. 29	1. 9	4	0. 15	0. 5221		12. 9	1. 878	4. 7	0. 422	0. 5489	
35	12. 89	1. 89	4	0. 23	0. 5075	101	18. 72	1. 741	4	0. 389	0. 3484	
积水峡												
36	8. 03	2. 147	4	0. 667	0. 6831	102	16. 11	1. 856	4	0. 414	0. 4353	
37	8. 73	2. 143	4	0. 75	0. 6685	103	9. 84	2. 021	4	0. 694	0. 6078	
38	13. 61	1. 848	3	0. 22	0. 4152	104	23. 02	1. 586	3	0. 176	0. 1515	
39	13. 07	1. 827	3	0. 195	0. 4186	105	18. 2	1. 726	3	0. 266	0. 2884	
40	17. 27	1. 876	3	0. 07	0. 3547	106	10. 88	1. 984	3	0. 657	0. 5111	
41	16. 08	1. 904	3	0. 115	0. 3864	107	9. 1	2. 081	3	0. 726	0. 5763	
42	11. 02	2. 067	3	0. 43	0. 5353	108	14. 7	1. 861	2. 3	0. 334	0. 3532	
43	10. 33	1. 867	1. 2	0. 36	0. 3666	109	9. 532	2. 113	2. 3	0. 514	0. 533	
44	12. 36	1. 975	3	0. 18	0. 4801	110	12. 72	1. 916	2. 3	0. 39	0. 4086	
45	6. 95	2. 178	1. 2	0. 475	0. 5316	111	9. 14	2. 172	2. 3	0. 553	0. 5596	
46	6. 946	2. 104	1. 2	0. 654	0. 5077	112	7. 74	2. 172	2. 3	0. 622	0. 5862	
47	5. 34	1. 929	1. 2	0. 51	0. 4815	113	20. 23	1. 866	4	0. 416	0. 3602	
48	4. 934	1. 955	1. 2	0. 5	0. 4977	114	15. 07	1. 954	3	0. 374	0. 4218	
49	6. 53	1. 999	2. 3	0. 49	0. 5531	115	13. 2	1. 926	3	0. 416	0. 4482	
50	7. 427	1. 871	1. 2	0. 37	0. 4231	116	11. 72	2. 003	4	0. 548	0. 5663	
51	11. 83	1. 992	4	0. 518	0. 5606	117	9. 1	2. 064	4	0. 729	0. 6358	
52	17. 7	1. 648	4	0. 165	0. 3377	118	13. 9	2. 046	2. 3	0. 325	0. 4283	
53	16. 78	1. 678	4	0. 299	0. 3649	119	14. 3	2. 021	2. 3	0. 34	0. 4126	
54	17. 81	1. 723	4	0. 37	0. 3599	120	11. 92	2. 019	2. 3	0. 551	0. 4572	
55	16. 86	1. 788	4	0. 404	0. 399	121	6. 5	2. 263	2. 3	0. 691	0. 6392	
56	6. 76	2. 14	3	0. 62	0. 6399	122	11. 9	2. 154	2. 3	0. 699	0. 5013	
57	11. 35	2. 137	3	0. 35	0. 5517	向家坝 123		17. 54	1. 918	4. 7	0. 494	0. 4737
58	7. 9	2. 177	3	0. 94	0. 6302	(PD 35- 38- 40) 124	15. 06	1. 981	4. 7	0. 538	0. 5412	
59	8. 66	2. 186	3	0. 5	0. 6187	(PD 35- 38- 100) 125	8. 55	2. 026	4. 7	0. 746	0. 7295	
60	6. 9	2. 179	4	0. 64	0. 7149	(PD 34- 36- 105-) 126	7. 68	2. 145	2. 3	0. 561	0. 5786	
61	8. 5	2. 083	4	0. 773	0. 6534	(PD 39- 20- 110) 127	15. 31	1. 703	4	0. 383	0. 4009	
62	5. 34	2. 136	2. 3	0. 482	0. 6201	(PD 37- 112- 20) 128	9	2. 119	2. 3	0. 545	0. 5451	
63	5. 408	2. 083	2. 3	0. 477	0. 6016	(PD 37- 112- 40) 129	7. 58	2. 176	2. 3	0. 561	0. 5905	
64	8. 55	1. 99	2. 3	0. 296	0. 5118	(PD 37- 112- 100) 130	20. 1	1. 623	4	0. 278	0. 284	
65	10. 43	1. 961	2. 3	0. 6	0. 4667	(PD 37- 120- 0) 131	19. 7	1. 653	4	0. 321	0. 3013	
66	8. 825	2. 088	2. 3	0. 52	0. 5383	(PD 37- 120- 10) 132						

4 验算及工程实例

张俅元等人对向家坝水电站针对坝址软弱夹层研究^[3]中, 在进行夹泥强度试验同时认真测定其各项物理性质指标。在进行软弱夹层的取样试验过程中, 为了尽可能获取天然条件下软弱夹层的真实物理性质指标, 考虑了平硐周围岩体松动圈对软弱夹层物理力学性质的影响和取样对软弱夹层原始状态的破坏程度, 而采取先炸去夹层上覆盖岩体界面

参考文献:

[1] 聂德新 黄河龙羊峡水电站坝址软弱夹层研究报告[R] 成都: 成都理工学院, 1993
[2] 聂德新 黄河李家峡水电站坝址软弱夹层研究报告[R] 成都: 成都理工学院, 1993
[3] 张俅元, 等 坝址岩石及软弱夹层研究[M] 成都: 成都科技大学出版社, 1993
[4] 聂德新 黄河积石峡水电站峡口坝段软弱夹层工程特性研究报告[R] 成都: 成都理工学院, 1990
[5] 常士骧, 等 工程地质手册(第三版)[S] 北京: 中国建筑工业出版社, 1992
[6] 孔德坊, 等 工程岩土学[M] 北京: 地质出版社, 1992
[7] 聂德新 岩土工程参数取值课件[M] 成都: 成都理工大学, 2001
[8] 奥西泼夫 黏土类土和岩石的强度与变形性能的本质[M] 李生林, 等译 北京: 地质出版社, 1985

以上岩石, 且保证距夹层面有一定的厚度, 以免损坏夹层; 然后让石工剥去界面以上剩余岩石, 迅速切取环刀剪切样和测定物理性质指标的岩样。坝址 T32- 6 地层中的软弱夹泥各项物理性质试验数据见表 2 (序号 123~ 132)。

用经验公式(1) 来计算软弱夹层的强度发特性, 从表2 中可以得出用经验公式算出来的摩擦系数与试验得到的数据相差很少, 因此用经验公式求解软弱夹泥的摩擦系数完全可考的, 特别在勘察阶段的初期, 并且具有省时, 省工, 省钱优点。