

残积土地基标准强度的统计分析

张国祥^{*}

(长沙铁道学院)

提 要 本文通过残积土荷载试验结果的统计和地基承载力的理论分析,说明确定地基承载力标准值时,不仅要考虑土变形参数的影响,而且要考虑土强度参数的影响。在地基可靠度规改中,用单一的压缩模量确定地基承载力标准值有待于改进,并提出相应的确定方法(部规改项目)。

主题词 残积土 荷载试验 地基承载力标准值 确定方法

1 概述

当地基发生向基础两侧挤出的破坏时,基础的沉降量早已达到不能使用的程度,地基的破坏属于柔性破坏,一般受基础沉降量控制。土的强度性质决定了地基容许充分下沉极限承载力大小,土的变形性质决定了基础的沉降量随荷载大小变化速率大小,土的强度指标与变形参数之间没有必然联系,如未充分压缩的土,其压缩性大,破坏时强度指标不一定低。强度指标主要取决于土的结构、粗细程度和含水量等,与破坏前土的变形过程关系不大。

通过分析可知,地基承载力标准值的确定应考虑以下三个方面影响因素:(1)土的强度性质,如强度指标 H/C ; (2)变形性质,如:压缩模量、变形模量及泊松比系数等;(3)基础的容许相对沉降量大小 S/B ,一般取 $S/B = 0.06$ 作为容许值,最好根据基础实际情况决定。该三方面的因素之间有一定的影响,但并没有必然的联系,因此,用单一的变形指标确定地基标准强度误差很大,荷载试验结果的统计分析已证实了该结论。

过去,《桥规》中残积土的基本容许承载力表,只考虑了压缩模量的一个参数,并没有考虑土的强度性质。因为《桥规》中基本容许承载力,只根据荷载试验中 $P_{0.02}$ 或比例极限确定,其值很小,在此荷载作用下,地基基本上处于弹性状态, $S/B = 0.02$ 的荷载与 E_{S1-2} 应该近似线怀关系。因此,残积土基本容许承载力只考虑压缩模量一个参数是可以的。但地基基础规改应用概率统计为基础的极限状态设计方法,制定地基承载力标准强度 R_0 表,必须根据地基的极限承载力统计而得,而地基的极限承载力肯定与土的强度指标有关。因此,地基承载力标准值表,除考虑反映土的变形性质的压缩模量 E_{S1-2} 参数外,最好还引入反映土体强度性质的参数。

^{*} 本文收稿日期:1998-04-21 张国祥 讲师 长沙铁道学院土木系 邮编:410075

2 荷载试验的 $P-S/B$ 曲线

由大量的荷载试验结果回归表明: $P-S/B$ 曲线可用双曲线、指数曲线、抛物线等形式来模拟,但双曲线比较简单,比较好地接近 $P-S/B$ 曲线,如图 1所示,其方程可以写为

$$P=\frac{S/B}{\frac{1}{P_u}+k^{\circ} S/B}$$

(1)

式中: P, S ——荷载和沉降量;
 k ——回归系数;
 B ——荷载板的尺寸。

$P-S/B$ 曲线的初线斜率为 $1/a$,与土的变形性质有关;极限承载力为 $1/k$,与土的强度指标 H, C 有关。系数 a, k 可由荷载试验数据,用最小二乘法确定。

3 地基极限承载力 P_{ult} 及地基承载力标准值 R_0

地基极限承载力 (不考虑变形时)

$$P_{ult}=\frac{1}{k}$$

(6)

图 1 荷载试验的 $P-S/B$ 曲线

地基承载力标准值,既考虑地基的极限承载力 P_{ult} 又考虑地基的变形大小,一般取 $S/B=0.06$ 值对应的荷载,将 $S/B=0.06$ 代入 (1)得

$$P_u=\frac{0.06}{\frac{1}{P_u}+0.06k}$$

(7)

由全国各地的残积土荷载试验结果回归分析,可得 P_u, P_{ult} 基本承载力 ϕ_0 ,部分结果见表

1

表 1 残积土地基标准强度 R_0 及极限承载力 P_u 的试验值

压缩模量 M Pa	斜率 $1/a$ M Pa	粘聚力 M Pa	内摩擦角	极 限 值 P_{ult} M Pa	标准强度 R_0 M Pa	基本承载力 M Pa
0.82	3.54	30.00	80.00	580.77	344.72	195.00
5.30	164.58	29.20	98.00	1601.36	1444.29	950.00
5.76	6.04	12.00	49.00	400.97	369.65	250.00
6.05	0.01	25.00	22.00	280.20	186.66	108.00
6.33	21.80			1681.03	894.20	450.00
6.53	21.81			1696.15	897.10	460.00
6.88	31.96			1000.43	792.07	400.00
6.88	22.60			999.57	728.87	450.00

续表 1

压缩模量 M Pa	斜率 $1/a_r$ M Pa	粘 聚 力 M Pa	内摩擦角	极 限 值 P_{ult} M Pa	标准强度 R_0 M Pa	基本承载力 M Pa
6. 94	1. 80	11. 00	57. 00	401. 19	312. 28	150. 00
7. 12	37. 01	28. 10	39. 00	1905. 30	1178. 47	550. 00
7. 19	8. 43	13. 00	72. 00	401. 37	378. 27	250. 00
7. 24	11. 88	20. 00	55. 00	852. 97	560. 72	350. 00
7. 70	10. 45	12. 10	58. 00	783. 23	523. 81	300. 00
7. 85	0. 09			310. 35	248. 97	180. 00
8. 23	85. 88	27. 10	47. 00	1345. 19	1159. 01	450. 00
8. 50	9. 92	17. 00	54. 00	917. 52	533. 03	300. 00
8. 88	9. 57			585. 02	464. 66	300. 00
9. 95	9. 33	19. 00	49. 00	658. 84	481. 27	320. 00
12. 80	13. 56			1224. 29	652. 39	290. 00
13. 93	23. 90	12. 00	70. 00	788. 86	646. 63	250. 00
14. 11	12. 70		69. 67	531. 88	330. 00	
16. 06	8. 22	9. 50	84. 00	782. 03	480. 44	260. 00
16. 06	8. 62	9. 50	84. 00	757. 43	486. 32	290. 00
16. 50	7. 24	10. 00	85. 00	515. 49	420. 09	230. 00
16. 70	28. 08	24. 50	68. 00	1604. 39	978. 75	300. 00
17. 60	75. 45	28. 10	43. 00	1094. 63	968. 13	375. 00
17. 91	7. 97			1187. 78	490. 83	250. 00
18. 33	8. 07	19. 00	99. 00	603. 58	451. 61	159. 00
18. 64	3. 73			464. 64	359. 21	200. 00
18. 67	27. 29			822. 11	679. 25	500. 00
19. 00	23. 50			842. 35	670. 20	450. 00
20. 00	25. 14			849. 54	682. 71	490. 00
21. 75	20. 54			1784. 49	885. 40	410. 00
22. 00	14. 91			1904. 78	752. 92	350. 00
23. 14	106. 58	27. 60	138. 00	1780. 14	1489. 58	750. 00
25. 14	13. 29			1110. 35	630. 95	350. 00
40. 50	7. 72			786. 73	469. 19	300. 00

4 地基标准强度的理论公式

由表 1 可知,压缩模量 E_{s1-2} 从 1.41 MPa 增加到 40.50 MPa,地基标准承载力值 R_0 并无明显的增加,仍至出现明显相反的结果,残积土只按 E_{s1-2} 大小确定标准承载力值是不合适的,增加土的强度参数确实 R_0 会更合适些

其由式 (6) 可知, R_0 与 a, k 有关,因此,要 R_0 建立与土的物理力学指标的关系,需建立 a, k 与土的物理力学指标的关系,由 (1) 式得

$$T_i = \frac{d(S/B)}{dP} = \frac{T}{(1 - kP_i)^2} \quad (8)$$

$$\frac{1}{T_i} = \frac{(1 - kP_i)^2}{T} \quad (9)$$

$1/T$ 表示 $P-S/B$ 曲线在 P_i 压力处切线斜率,其值随压力 P_i 的大小而变化。由弹性理论导得均布面积荷载下的地基沉降量计算公式得

$$T_i = \frac{d(S/B)}{dP} = \frac{k(1 - \quad)^2}{E_0} \quad (10)$$

式中 E_0 —— 变形模量;

\quad —— 泊松比系数;

k —— 荷载板的形状系数,圆形 $k = 0.7854$, 方形 $k = 0.8862$

代入 (9) 得由荷载试验得到的变形模量 E_0

$$E_0 = \frac{k(1 - \quad)^2}{T_i} \quad (11)$$

压缩模量与变形模量的理论关系

$$E_0 = \left[1 - \frac{2 \quad^2}{1 - \quad} \right] E_s \quad (12)$$

代入 (11) 得

$$\frac{1}{T_i} = \frac{(1 - kP_i)^2}{T} = \frac{E_s (1 - \frac{2 \quad^2}{1 - \quad})}{k(1 - \quad)^2} \quad (13)$$

由 (13) 可知, E_s 与 $1/a_i$ 成线性关系,但土并非理想的线性变形体,加之取样扰动和试验等误差, $1/a_i$ 与 E_s 的关系并不能用 (13) 式确定,可由荷载试验确定 $1/a_i$ 及室内压缩试验确定的 E_s 按直线回归分析得经验关系,如图 2 所示

$$\frac{1}{T_i} = 0.49E_s + 5034.4 \quad (14)$$

$$\frac{1}{T_i} = \frac{0.49E_s + 5034.4}{(1 - kP_i)^2} \quad (15)$$

式中 E_s —— 为 100-200 kPa 压力段的压数模量;

P_i —— 取 290 kPa

由 (9) 可知道 $1/k$ 为极限承载力 P_{ult} ,其大小与土的强度指标 H, C 和荷载板尺寸 B 等有关,通过理论分析得地基承载力的近似理论计算公式为

$$P'_{ult} = mcC + m_b \quad (16)$$

$$m_c = \frac{2(1 + \frac{m_c^2}{m_0^3})}{m_0^3} \quad (17)$$

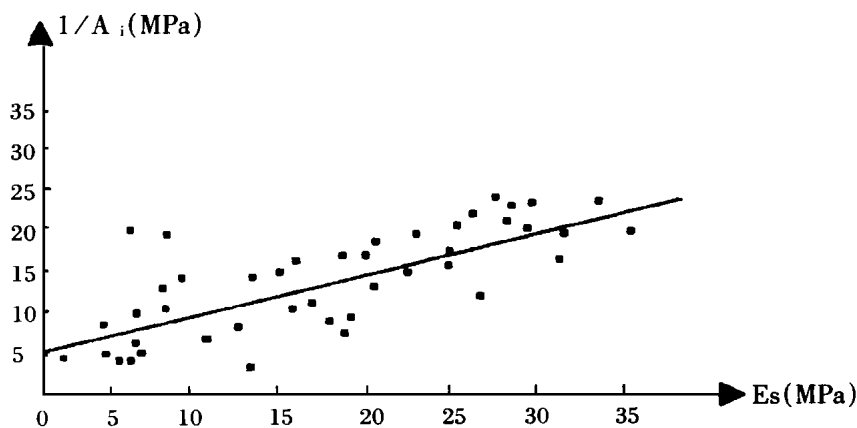


图 2 荷载试验的 $1/a_i$ 及压缩模量 E_s 回归曲线

$$m_b = \frac{1 - m_0^4}{2m_0^5} V_B \quad (18)$$

$$m_0 = \tan(45^\circ + \phi/2) \quad (19)$$

式中: V ——土的容量,取 18 kN/m^3 ;

B ——荷载板的宽度,取 0.7071 m ;

H C ——土的强度指标。

系数 m_c, m_b 只与土的内摩擦角 H 有关。

假定地基的极限承载力近似理论值与荷载试验值近似线性关系,如图 3 所示,回归分析得

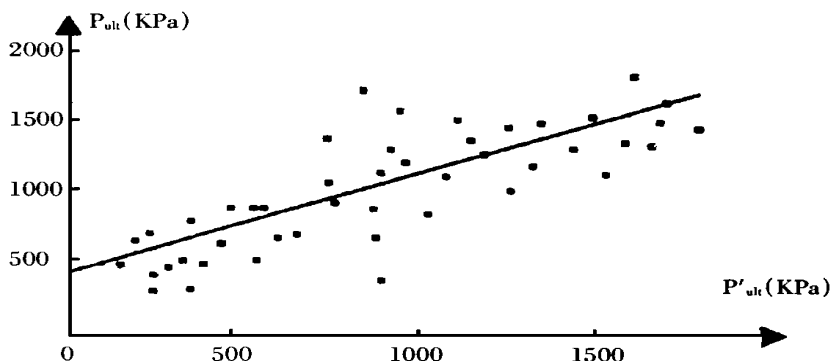


图 3 地基极限承载力理论值与试验值回归曲线

$$P_{ult} = \frac{1}{k} = 0.75P'_{ult} + 422.7 \quad (20)$$

代入 (15) 式得

$$T = \frac{(0.75P'_{ult} + 132.7)^2}{(0.75P'_{ult} + 422.7)^2 (0.49E_s + 5034.2)} \quad (21)$$

将 (20) (21) 式代入 (6) 式得

$$R_0=\frac{0.06(0.49E_{s+}+5034.4)(0.75P'_{ult+}+422.7)^2}{(0.75P'_{ult+}+132.7)^2+0.06(0.49E_{s+}+5034.4)(0.75P'_{ult+}+422.7)}$$

(22)

式中压缩模量 E_s 由室内压缩试验确定,对应的压力段为 100~ 200 kPa,地基极限承载力的理论估计值按 (16)式计算确定。

5 残积土地基标准强度 R_0 表

残积土地基标准强度 R_0 表可由式 (22)制定,如表 2,安全系数 $K=1.8\sim 2.2$,表的变异系数 $C_V=0.32$ 表中有两个参数 E_s, P'_{ult} ,由 E_s, P'_{ult} 查表 2可得 R_0 其中强度参数 P'_{ult} 相当于不考虑变形时地基极限承载的理论值,可由土的强度指标查表 3得。由表 2可以看出,压缩模量较小时,地基标准强度值 R_0 与 P'_{ult} 关系不大,压缩模量较大时,主要受与 P'_{ult} 控制

表 2 残积土地基标准强度 R_0 (kPa)表

压缩模量 M Pa 参数 P'_{ult} KPa	4. 0	6. 0	8. 0	10. 0	12. 0	14. 0	16. 0	18. 0	20. 0
100	410	420	420	430					
200	420	440	450	460	470				
600	450	480	500	520	540	560	580		
1000		490	520	550	580	600	630	650	
1400			530	560	600	630	660	680	710
1800				570	610	640	680	710	740
2200					620	650	690	720	760

表 3 地基的强度参数 P_{ult} (kPa)表

粘聚力 C kPa 摩擦角 Φ	00. 0	30. 0	60. 0	90. 0	120. 0	150. 0
6. 00	3. 5	152. 5	301. 0	450. 0	599. 0	747. 5
8. 00	5. 5	165. 5	326. 0	486. 5	646. 5	807. 0
10. 00	7. 5	180. 5	353. 5	526. 5	699. 5	873. 0
12. 00	10. 0	197. 5	384. 5	571. 5	758. 5	945. 5
14. 00	13. 5	216. 0	418. 5	621. 5	824. 0	1026. 5
16. 00	17. 5	237. 5	457. 0	677. 0	897. 0	1116. 5
18. 00	22. 5	261. 5	500. 5	739. 5	978. 5	1217. 5
20. 00	28. 5	289. 0	549. 5	810. 0	1070. 5	1331. 0
22. 00	36. 0	320. 5	605. 0	889. 5	1174. 0	1458. 0
24. 00	45. 0	356. 5	668. 0	979. 5	1291. 0	1602. 5
26. 00	56. 5	398. 5	740. 0	1082. 0	1424. 0	1766. 0
28. 00	70. 5	477. 0	823. 5	1199. 5	1576. 0	1952. 5
30. 00	88. 0	503. 5	919. 5	1335. 0	1750. 5	2166. 5

6 地基标准强度 R_0 查表值与试验值对比分析

由地基标准强度 R_0 查表值与试验对比如表 4.对比分析得表 2的变异系数 $C_v= 0.30$
表 4 地基标准强度值与试验值对比分析表

压缩模量 MPa	内摩擦角	粘 聚 力 MPa	极 限 值 $P_{ult} kPa$	R_0 试验值 kPa	R_0 查表 2值 kPa
3.82	30.00	80.00	1186.90	344.72	449.11
5.76	12.00	49.00	315.76	369.65	458.25
6.94	11.00	57.00	350.50	312.28	472.48
7.70	12.10	58.00	373.16	523.81	481.72
7.19	13.00	72.00	479.67	378.27	487.92
7.24	20.00	55.00	504.16	560.72	490.46
9.95	19.00	49.00	432.97	481.27	508.17
13.97	12.00	70.00	447.06	646.63	539.09
16.06	9.50	84.00	482.00	486.32	559.24
16.06	9.50	84.00	482.00	480.44	559.24
16.50	10.00	85.00	498.23	420.09	565.19
16.70	24.50	68.00	776.50	978.75	612.28
17.60	28.10	43.00	620.01	968.13	595.34
18.33	19.00	99.00	852.12	451.61	636.91

参考文献

1 黄文熙．土的工程性质．北京:水力电力出版社,1983
2 高大钊．土力学可靠性原量．北京中国建筑出工业版社,1989
3 龚晓南．土塑性力学．浙江大学出版社,1990

STATISTIC ANALYSIS ON STANDARD BEARING CAPACITY OF ELUVIAL SOIL

Zhang Guoxiang

Changsha Railway University

Abstract In this paper, through the statistics of eluvial soil load test results, it is concluded that we have not only to consider the effects of soil deformation but also to consider the effects of soil strength in the determination of eluvial soil standard bearing capacity. In the formulation of the ground reliability standard, it remains to be improved that the eluvial soil standard bearing capacity is determined only by one modulus of compressibility. The determining method is also presented.

Keywords eluvial soil; load test; standard bearing capacity; determination method