

文章编号: 0451-0712(2007)02-0075-04

中图分类号: TU441.3

文献标识码: B

关于《公路桥涵地基与基础设计规范》 液塑限试验方法的讨论

赵明华, 陈 兆, 刘晓明

(湖南大学岩土工程研究所 长沙市 410082)

摘 要: 我国有多种液塑限试验方法分别在不同的规范中使用。各规范液塑限试验方法的不统一, 给岩土勘察和工程设计带来很多不便。在提出液塑限试验方法优越性评价标准的基础上, 利用已有资料, 对各种液塑限试验方法的优越性进行了探讨。结合国内外现状, 考虑与国际接轨的要求, 对新修订的《公路桥涵地基与基础设计规范》提出了采用 76 g 锥入土深度 17 mm 的方法测量液限和入土深度 2 mm 的方法测量塑限的意见。

关键词: 液限; 塑限; 试验方法; 评价标准

液塑限是土工基本试验之一, 在土类划分、土体状态判别方面具有重要作用, 但由于各国、各行业技术发展背景的差异, 国内外对液塑限测定发展出了多种实验方法。常用的液限试验方法有 4 种: (1) 76 g 圆锥仪, 锥角 30°, 沉入土中 10 mm; (2) 76 g 圆锥仪, 锥角 30°, 沉入土中 17 mm; (3) 100 g 圆锥仪, 锥角 30°, 沉入土中 20 mm; (4) 卡氏碟式仪法。而塑限试验方法有 3 种: (1) 76 g 圆锥仪沉入土中 2 mm; (2) 100 g 圆锥仪沉入土中 h_p (h_p 根据土体液限按经验公式确定); (3) 搓条法。各方法分别被各国行业规范所采用, 如对于土的液限, 我国《岩土工程勘察规范》、《建筑地基基础设计规范》采用 76 g 平衡锥, 入土深度 10 mm 测定, 《公路土工试验规程》采用 100 g 平衡锥, 入土深度 20 mm 测定, 而国外则多采用卡氏碟式仪法测定。不同的试验方法得到的结果与土体“真实”液塑限偏差必然不一。众所周知, 液塑限指标在确定土体土质、振动液化特性乃至地基承载力等诸多地基土工程特性方面都有重要作用, 若在规范中采用偏差较大的实验方法得到液塑限结果会给后续地基基础设计带来不可预计的不利影响。为对已颁布 20 余年的《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 024-85) (本文简称《公桥基规》) 进行修订, 本文在对各试验方法进行技术评价的基础上, 结合国内现状, 提出对《公桥基规》采用液塑限试验方法的修订意见。

1 液塑限试验方法的技术评价标准

液塑限是土质基本指标, 对于土质判断、土体状态划分以及工程性质确定都有重要作用, 因此在推荐规范选择合适的试验方法之前, 应对各方法的技术先进性进行评价。

根据土力学定义, 液限为土体由可塑状态转化到流动状态的界限含水量, 而土体由可塑状态转化到半固态的界限含水量则为塑限。在对土体液塑限的定义中, 有 3 个状态需要明确其本质: (1) 所谓可塑, 此时土体应具有一定的抗剪强度, 而又可在超过其强度外力作用下可以发生任意变形而不出现裂缝; (2) 所谓流动状态则表示土体抗剪强度为零, 当然, 土体发生任意变形也不会出现裂缝; (3) 而半固态则是对应土体具有一定强度, 但在超过其强度外力的作用下土体产生塑性变形时会出现裂缝。从土力学的定义可知, 土体可塑性的本质在于发生不可恢复变形而不出现裂缝, 这应归因于土颗粒间结合水的作用。结合水对周围的土颗粒均具有引力, 因此土体可表现出一定强度, 而在受外力后发生的塑性剪切变形不产生裂缝是因为土体变形是由颗粒沿着结合水层转动完成, 因此颗粒间不会出现裂缝。如果土颗粒间的水膜厚度增大 (土体含水量提高), 使得土颗粒间出现自由水, 结合水对周围颗粒的引力消失, 土颗粒间的抗剪强度将为零, 这时土体进入液态。相反, 如果土颗粒间的水膜厚度减薄 (土体含

水量下降),当有颗粒之间的结合水厚度为零时,这些颗粒直接接触,如受到超过其强度的外力作用时,这些直接接触的颗粒间产生相互移动就会出现裂缝,土体进入半固态。这时土体的强度来源也发生了变化,颗粒间的抗剪强度由可塑态的结合水提供变成由颗粒间的摩擦力和粘聚力提供,而摩擦力和粘聚力所能提供的作用力远大于结合水。因此随着土体含水量减少,直接接触颗粒的增多,抗剪强度提高很快。

液塑限是划分土体物理变形性能的临界值,在各种液塑限测试方法中,除碟式仪法和搓条法是根据土体物理变形性能特征直接测试外,其他圆锥仪方法均为采用强度特征间接测定。不同方法技术上有差别,作为指导工程建设的规范应首先考虑技术上更先进的液塑限测试方法,因此需对各间接测定方法的先进性进行评价。

根据前述分析可知,土体从可塑状态进入液限,是从具有一定强度的状态向强度为零变化,故处于液限状态的土体,其力学特征应为剪切强度趋于零而非零的临界状态。因此各测量液限的方法应以能够标示出土体强度尽可能小而非零的状态为佳。而土体进入半固态的力学标志是随着含水量减少其抗剪强度的提高很快。因此,各测量塑限的方法以能够标示土体在由可塑态向半固态转化过程中强度急剧增大的临界点为佳。

2 各常用方法评价

2.1 液限测试方法评价

1979 年水电部在修订《土工试验规程》(SDA01—79)过程中,曾组织全国 13 个单位对各地 16 种土用光电式液限仪进行液塑限对比试验,并对分别处于各方法所测液限的土体测试其不排水抗剪强度如表 1 所示。同时,还对卡氏碟式仪与 76 g 平衡锥的测值做了对比分析,当取显著水平 $\alpha=0.05$ 时进行“t”检验,发现 76 g 平衡锥下沉 10 mm 时所测液限与卡氏碟式仪液限有显著差异(除 4 个低液限土外,因低液限土在进行碟式仪试验时会发生振动液化现象而使测定的液限偏低,不宜作为对比试验土样);而取 76 g 平衡锥下沉 17 mm 时,其含水量与 ASTM 碟式仪液限均无显著性差异(除 4 个低液限土及特殊土)。

从该次试验对比可以看出,76 g 锥以入土深度 17 mm 作为液限和 100 g 锥以入土深度 20 mm 作为

表 1 土体用不同方法所测液限的抗剪强度

抗剪强度	76 g 锥 17 mm	76 g 锥 10 mm	卡氏碟 式仪	100 g 锥 20 mm
范围值 kPa	1.3~2.7	3.1~7.1	0.7~3.7	1.2~2.6
平均值 kPa	1.9	5.3	1.9	1.9

液限时抗剪强度与卡氏碟式仪液限时的强度基本一致;采用碟式液限仪、76 g 锥入土深度 17 mm、100 g 锥入土深度 20 mm 测量处于液限状态的土体其抗剪强度均在 1.9 kPa 左右,而 76 g 锥入土深度 10 mm 的土体达 5.3 kPa。因此根据前文所述评价标准,各方法中,76 g 锥入土深度 10 mm 的方法测量液限是这些方法中最差的。

2.2 塑限测试方法

水利部单位还曾对 19 种土(液限 23.7%~67.0%,塑限 14.8%~40.0%,塑性指数 8.9~27.0)测试其 76 g 圆锥入土深度与抗剪强度关系的试验(对强度小于 8.0 kPa 的土用小十字板剪切仪测试其抗剪强度,对强度大于 10 kPa 的土用无侧限压缩试验)。随着含水量的降低,圆锥入土深度下降,统计得到抗剪强度与 76 g 圆锥入土深度关系曲线如图 1 所示。从图 1 可看出,随着入土深度的降低,其抗剪强度逐渐增大,在某一深度附近,强度变化很快。根据前述的评价标准可知,土体塑限应在随含水量下降抗剪强度变化剧烈段。从两端引两直线交于一点,该点的入土深度约为 1.8 mm。因此水利部《土工试验规程》将 2 mm 入土深度对应的土体含水量定为液限,而该点对应的土体抗剪强度大概是 120 kPa。

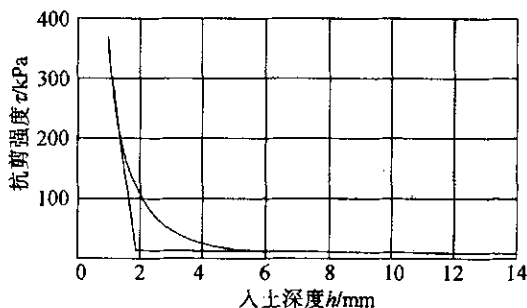


图 1 入土深度与抗剪强度关系

在各种塑限测试方法中,搓条法是根据土体物理变形性能特征提出的直接测定方法,其优越性难以用力学效果评价,但是根据 Skempton、Northey、Dennehy、Arrowsmith、Arrowsmith、Wroth 等人的试验,发现由土体在搓条法求的塑限状态时的平均

抗剪强度为112.2~132.7 kPa。该强度与76 g 锥入土深度2 mm 对应塑限的土体的强度是相近的,说明这两种方法在技术上相近。

对于100 g 锥、入土深度 h_p 的测试方法,1979年水利电力部13个单位对16种土的试验结果初步表明:76 g 锥入土深度2 mm 与搓条法没有差别,而100 g 锥入土深度 h_p 的差别较大。近年来,由于100 g 锥入土深度 h_p 的测试方法只有《公路土工试验规程》采用,在地基勘察中很少采用该方法,其测试结果的偏差也很少为人关注。所以在塑限试验方法的上,76 g 锥入土深度2 mm 方法和搓条法更优越。

3 《公桥基规》的修订意见

3.1 各方法的应用背景

1932年卡萨格兰德设计的卡氏碟式仪是最早的液限试验方法,目前被美国的ASTM标准、英国的BS、德国的DIN以及欧美其他国家、亚洲的日本、印度等所采用,是国际主流方法。1953年前我国也用卡氏碟式仪法做液限试验,直到苏联标准的引进而终止。76 g 平衡圆锥仪法是1942年由苏联瓦西里耶夫提出,该方法以76 g 平衡锥入土深度10 mm 时的含水量定义为液限,自1949年列入苏联国家标准后至今仍是俄罗斯等独联体国家的国家标准。受前苏联影响,该方法亦成为我国的主流测试方法,如《岩土工程勘察规范》、《建筑地基基础设计规范》以及公路、铁路等行业标准。由于该方法在我国应用广泛,在2000年后修订的各规范标准中仍继续沿用,但是一直以来都有不同意见。76 g 平衡锥入土深度17 mm 的液限试验方法,国外没有,我国原先也没有,是1990年在制定《土的分类标准》(GBJ145-90)时提出的,后又列入《土工试验方法标准》(GBJ123-88)。该方法的提出与我国推广应用“塑性图”有关。塑性图上的A线方程与线方程中的液限都是基于碟式仪法,于是提出了测试结果与卡式碟式仪法相近的17 mm 方法。由于10 mm 液限在我国已广泛应用,因此在《土工试验方法标准》(GBJ123-88)中应用17 mm 的同时保留10 mm 方法,分别称为10 mm 液限和17 mm 液限,但在即将修订完成的2006版中,10 mm 液限将不再保留。至于100 g 平衡锥入土深度20 mm 液限试验方法,仅在我国交通系统使用,国外没有,国内其他部门也极少使用。

对于塑限,与卡式碟式仪法配套的直接测定的搓条法一直在国外沿用。1956年瓦西里耶夫提出以

76 g 平衡锥入土深度2 mm 时的含水量为塑限,确立了液塑限联合测定法。此后,国内外学者对用锥式仪联合测定液塑限做了大量研究,都认为该法测定塑限是可靠的,我国也一直沿用至今没有争议。

3.2 《公桥基规》的修订意见

随着我国市场经济的深入,工程建设市场日益开放,计划经济体制下的行业分割也在逐渐打破,工程勘察设计日趋市场化,进入WTO后在工程设计领域与国际接轨的趋势也日趋强烈。在此经济建设的大环境下,我国各行业规范分别采用不同的试验方法不仅给勘察单位对土的分类和工程性质的确定带来了不便,更给相关行业资料和工程经验共享及工程设计市场化设置了障碍,因此各规范尽量采用统一的试验方法的呼声不断。在前述常用的方法中,尤其是采用锥式仪的间接测试方法在我国均有较普遍的应用,《岩土工程勘察规范》和《土的分类标准》均为国标,分别采用76 g 锥10 mm 和76 g 锥17 mm;而与本次修订的《公桥基规》同为交通行业标准的《公路土工试验规程》采用方法100 g 锥。因此除碟式仪及搓条法外,本次修订的《公桥基规》应在锥式仪方法中选择,具体选择何种方法,主要应考虑测试方法的技术先进性以及与原规范的衔接。

从技术评价上看,76 g 的平衡锥法10 mm 液限,如前文所述,该方法测试结果与“真实值”偏差更大。采用该方法所测 w_L 结果偏小,使用该结果将使土体 I_L 计算偏大,导致对土体的状态判别结果偏差,如:采用该结果在试验室判断为流塑,而现场判断可能为软塑。因此采用76 g 锥入土深度10 mm 测试液限的方法并不理想。100 g 锥虽是交通行业标准《公路土工试验规程》的方法,除1979年水利部试验反映该方法偏差较大外,无其他可靠资料对其重新认定,这主要是在地基勘察中很少采用该方法,导致勘察人员不关心该方法的偏差所致。从这个角度看,100 g 锥的方法也不理想。根据以上对比分析,从技术上考虑,采用76 g 平衡锥,入土深度17 mm 测定土的液限及入土深度2 mm 测定土的塑限的方法是理想的。

从衔接上考虑,目前国内应用最多的方法是76 g 锥10 mm 液限,而且已经应用50多年,这是该方法很难被舍弃的重要理由。事实上,17 mm 液限与10 mm 液限测试结果之间存在很强的线性关系,容易建立两者的经验关系式。因此,如果各地区建立了相应的关系式,采用17 mm 液限并不妨碍在工程中

继续应用过去积累的经验,而且与过去 50 年的经验相比,在更长久的将来采用一种并不优越的方法也是得不偿失的。另外,这两种方法的测试结果分别与国外普遍采用的卡氏碟式仪和搓条法所得结果相近,有利于我国工程设计与国际接轨。综上所述,新修订的《公路桥涵地基基础设计规范》推荐采用 76 g 锥入土深度 17 mm 的方法测量液限,入土深度 2 mm 的方法测量塑限。

4 结语

液塑限指标是土工基本指标之一,是确定地基土工程特性的重要参考依据。根据技术比较和现状分析,结合与国际接轨的考虑,新修订的《公路桥涵地基基础设计规范》推荐采用 76 g 锥入土深度 17 mm 的方法测量液限,入土深度 2 mm 的方法测量塑限。

参考文献:

- [1] GB50021—2001,岩土工程勘察规范[S].
- [2] GBJ 7—89,建筑地基基础设计规范[S].
- [3] JTJ051—93,公路土工试验规程[S].
- [4] JTJ024—85,公路桥涵地基与基础设计规范[S].

- [5] SL 237—1999,土工试验规程[S].
- [6] 方涤华.淤泥质土定名的讨论[J].水利水电科技进展,1998,18(2).
- [7] 李文英.关于液限试验方法的讨论[J].工程勘察,2006,(7).
- [8] 周鸿逵.关于液限标准的几个问题[J].岩土工程学报,1992,14(6).
- [9] 张其昌.关于土的液限问题的讨论[J].岩土工程技术,1996,(3).
- [10] 王兴林.用 76 g 液限仪测定土的塑限[J].地质试验室,1992,8(5).
- [11] 胡莹,周向阳.界限含水量试验的探讨[J].青海大学学报(自然科学版),2002,20(6).
- [12] 钱鸿雁.土的液限塑限联合测定法的改进[J].岩土工程学报,1983,5(1).
- [13] 周鸿逵,蒋淑青,等.液限、塑限标准的选定[J].岩土工程学报,1985,7(4).
- [14] GBJ 123—88,土工试验方法与标准[S].
- [15] 周序源,张剑峰.界限含水量试验的现状与展望[J].岩土工程学报,1985,7(3).
- [16] 舒玉,叶朝良,李向国.关于 17 mm 液限与 10 mm 液限之间的关系[J].土工基础,1999,13(2).

Discussion About Liquid-Plastic Limit Testing Method in Specification for Design of Ground Base and Foundation of Highway Bridges and Culverts

ZHAO Ming-hua, CHEN Zhao, LIU Xiao-ming

(Institute of Geotechnical Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: There are many liquid-plastic testing methods functioning in different specifications in China. But due to their inconsistency, a lot of inconveniences are made in the process of soil exploration and projects design. On the basis of evaluation standards of the superiority of liquid-plastic testing methods, the various kinds of testing methods and their advantages are discussed using the available materials. Considering both the domestic and the international situation, a suggestion is put forward for the newly revised Specification for Design of Ground Base and Foundation of Highway Bridges and Culverts, that a 76 g cone penetrates the soil 17 mm in depth to measure the liquid limit and 2 mm in depth to measure the plastic limit.

Key words: liquid limit; plastic limit; testing methods; evaluation standards