

# 科学家不应只是解释现象 ——关于岩土本构理论研究方向의 评述

## Scientists should not explain phenomena only

### ——A critical review of the research trend of constitutive theory for geomaterials

沈珠江

中图分类号: TU 4; N 05

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2005)12-1494-02

作者简介: 沈珠江(1933-), 男, 中国科学院院士, 主要从事土体极限分析、土的本构模型及数值模拟研究。

马克思曾经对哲学家提出批评,“哲学家们只是用不同的方式解释世界,而问题在于改变世界”。历史上不少哲学家随心所欲地解释世界,唯心主义哲学家如此,一些唯物主义哲学家也有这一倾向,例如中国古代哲学家的“阴阳五行学说”。科学家的任务是通过科学研究认识世界。与仅仅解释世界不同,认识世界首先要弄清现象发生的原因和机理,其次是提出的解释(假设、学说等)必须通过实践的检验。

从 Roscoe 提出剑桥模型算起,弹塑性理论引入岩土力学已有 40 多年历史。经过长期研究,人们逐渐认识到,经典的弹塑性模型不适用于岩土材料。对此,不同的学者提出了不同的解释。有的人认为应当增加屈服面的重数,于是提出了二重、三重屈服面模型。有的则引入边界面的概念,后来更有人提出次屈服面、超屈服面的概念。但相关论文的作者始终没有告诉人们,为什么要增加这些屈服面,这样做是否符合岩土的变形机理。在人们认识水平比较低的时候,采用简单的、杜撰的概念去解释现象,是不可避免的,如前面谈到的“阴阳五行学说”。因此在岩土本构理论研究的早期,围绕屈服面进行研究也是无可非议的。但在对岩土变形特性已有相当深入研究的今天,继续这样做是否合适,就值得讨论。

经典的弹塑性模型解释结果与实际观测到的岩土变形性状不符合主要表现在以下两个方面:①塑性应变增量方向不仅决定于应力总量,还与应力增量方向有关;②卸荷和中性变载时也有塑性应变产生,尤其是发现卸荷体缩现象。第一种现象否定了塑性势的存在,第二种现象否定了屈服面的存在。因此,修改现有的弹塑性理论使之更符合实际,就成为岩土力学家面临的重大任务。国内一些学者提出的一个解决方案是从塑性应变中分离出一部分,并称之为似弹性应变<sup>[1,2]</sup>。按这一思路的增量式可以写为

$$\Delta W = \{\sigma\}^T \{\Delta \varepsilon^e\} + \{\sigma\}^T \{\Delta \varepsilon^q\} + \{\sigma\}^T \{\Delta \varepsilon^p\} \quad (1)$$

式中  $\{\Delta \varepsilon^q\}$  即为似弹性应变增量。对于不破碎的颗粒材料,产生似弹性应变的原因有两个。一是除了颗粒之间的滑移以外,颗粒的转动也可能产生塑性应变。由晶体滑移机理基础上发展起来的经典塑性理论显然不能适应这一点。滑移取决于接触面上的总应力是否满足 Mohr-Coulomb 条件,而转动则与应力增量有关。塑性形变理论也称非线性弹性理论,可以在一定程度上反映应变增量与应力增量之间的关系。因此,流动法则不能描述的这一部分塑性应变可以看作一种似弹性应变。二是传统塑性理论把剪胀应变也看作塑性应变,但剪胀应变是可逆的,加荷时剪胀,卸荷时体缩(图 1)<sup>[3]</sup>。剪胀应变的可逆性与弹性应变类似,构成了另一种似弹性应变。由此可见,增加似弹性应变的修正方案充分考虑了砂土的真实变形机理。可是,近来国外有学者提出了另一种所谓的“耗散应力”的修正方案<sup>[4]</sup>。他把总应力划分成迁移应力  $\{\sigma^t\}$  和耗散应力  $\{\sigma^p\}$  两部分,即把式(1)改写为

$$\Delta W = \{\sigma\}^T \{\Delta \varepsilon^e\} + \{\sigma^t\}^T \{\Delta \varepsilon^p\} + \{\sigma^p\}^T \{\Delta \varepsilon^p\} \quad (2)$$

这一方案把原应力空间中的塑性势转换到所谓的耗散应力空间,从而让  $\{\sigma^p\}$  与  $\{\Delta \varepsilon^p\}$  满足正交流动法则(图 2)。式(1)和式(2)都是对经典弹塑性理论不符合实际的一种解释。前一种解释是从颗粒材料变形机理研究中提炼出来的,后一种则是该学者灵机一动构思出来的。这位学者把自己的理论与热力学定律联系起来,似乎是严格遵守热力学定律的。但是,不违背热力学定律的假设可以有很多,传统的塑性势假设和前面的似弹性应变假设都是如此。把热力学拉过来并不表明耗散势的假设比别的假设高明。

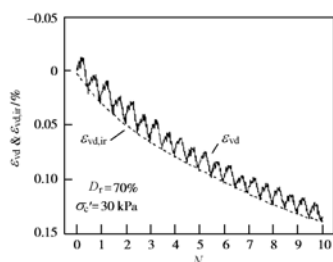


图 1 可逆与不可逆体应变

Fig. 1 Reversible and irreversible volumetric strain

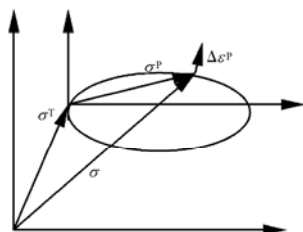


图 2 耗散势

Fig. 2 Dissipation potential

近来国内也有人从热力学定律出发讨论塑性理论的基本问题,并且试图从理论上证明塑性势函数的存在性<sup>[5]</sup>。笔者认为,对待一种理论,需要从正确性和适用性两方面进行分析。正确性体现在下列两点上:

①采用的基本假设不与上级定律和原理(热力学定律)相矛盾,②理论内部各要素(基本假设、判断、基本方程及其解答等)逻辑上不自相矛盾(自洽性)。例如塑性势函数的存在性与屈服面的外凸性是自洽的,而与“屈服面可以不唯一、不外凸”这样的判断相矛盾。但人们可以构造一个与这一判断自洽的新的基本假设,只要这一新假设不与热力学定律相矛盾,新的理论也是正确的。理论的正确性可以通过数学推理证明,但理论的适用性只有通过实践的检验才能判定。大家知道,塑性形变理论不把总应变区分为弹性应变和塑

性应变,采用的基本假设是应变总量与应力总量之间存在唯一性;而塑性流动理论把应变增量区分为弹性和塑性两部分,并采用了塑性应变增量方向唯一性(塑性势存在)的基本假设。两种理论采用的基本假设都不与热力学定律相矛盾,都可以从基本假设出发通过数学推理建立起自洽的理论体系。但这些与它们的适用性无关。当人们通过实验发现某一理论不适用时,要么放弃这一理论,要么对它进行修改。当前国内外大量的研究工作正是对传统的弹塑性理论进行修正。只要修正以后的基本假设不与热力学定律相矛盾,各种修改方案原则上都是允许的。例如由单一的塑性势面修改为多重势面或前面提到的耗散势面。但这并不意味着人们可以随心所欲地进行修改。因为修改的目的是改进理论的适用性,那么首先就要弄清楚原有理论适用性差的原因是什么,修改方案为什么能达到改进适用性的目的,这就意味着人们应当首先要进行变形机理的研究。但求凑合试验结果,不问一个“为什么”,恐怕不是科学研究的正确思路。

#### 参考文献:

- [1] 沈珠江.砂土本构理论的检讨与重建[A].第六届全国岩土力学数值分析与解析方法讨论会论文集[C].广东:广东科技出版社,1998.
- [2] 沈珠江. A granular medium model for liquefaction analysis of sands[J]. 岩土工程学报,1999,21(6): 742 - 748.
- [3] 张建民.砂土的可逆性与不可逆性剪胀规律[J].岩土工程学报,2000,22(1):12 - 17.
- [4] Collins I F, Kelly P A. A thermomechanical analysis of a family of soil models[J]. Geotechnique,2002,(7):507 - 518.
- [5] 胡亚元.关于率无关塑性力学和广义塑性力学的评论[J].岩土工程学报,2005,27(1):128 - 131.