

21 世纪应建立岩土材料的本构理论*

杨光华

(广东省水利水电科学研究所, 广州, 510610)

1 发展岩土等复杂材料本构理论的必要性

到目前为止, 大多数岩土本构模型的理论基础仍是经典的金属材料本构理论。与岩土材料比较, 金属材料是一种较简单的材料, 若把复杂材料的本构模型建立于简单材料的本构理论上, 显然会有很大的局限性。例如, 建立于广义虎克定律基础上的各种非线性弹性模型, 不能反映土的剪胀性, 典型的如 Duncan-Chang 模型。这是其理论基础所限定的。建立于经典弹塑性理论基础上的相关联或非关联流动法则的弹塑性模型, 由于其理论基础是假定了塑性应变增量方向具有唯一性, 若要由此理论建立的模型来反映加荷方向对塑性应变增量方向的影响是困难的。因此, 要较好地解决土的本构模型问题, 仅仅利用简单材料的本构理论是很不够的, 若总是在简单材料的理论基础上进行增补, 也难以彻底解决问题。这好比一幢已有的低层建筑要加层至高层建筑, 若不改变基础只是修修补补的加层是很难做到的一样。鉴于本构模型在现代土力学中的重要地位^[1], 寻求新的途径, 发展岩土类复杂材料的本构理论则显得非常必要。

2 土的本构理论发展的可能途径

土的本构模型研究的主要目的是建立土的应力-应变关系的数学模型, 以便用于有限元等数值分析, 这种关系应是一般坐标系下 6 个应力分量和 6 个应变分量的关系, 其增量形式为^[2]

$$\{d\sigma\}_{6 \times 1} = [D]_{6 \times 6} \{d\varepsilon\}_{6 \times 1} \quad (1)$$

式中 $\{d\sigma\}_{6 \times 1}$, $\{d\varepsilon\}_{6 \times 1}$ 分别为 6 个应力增量分量和 6 个应变增量分量, $[D]_{6 \times 6}$ 为一个六阶矩阵, 则本构模型的研究关键是如何合理确定矩阵 $[D]_{6 \times 6}$ 的问题。显然, 我们是很难直接由六维空间中的应力-应变试验去测定矩阵 $[D]_{6 \times 6}$ 的, 通常能做而又较现实的做法则是测定三维主空间中的应力应变关系

$$\{d\sigma_i\}_{3 \times 1} = [D_i]_{3 \times 3} \{d\varepsilon_i\}_{3 \times 1} \quad (2)$$

式中 $\{d\sigma_i\}_{3 \times 1}$, $\{d\varepsilon_i\}_{3 \times 1}$ 分别为 3 个主应力增量和 3 个主应变增量。如果在主空间中建立了式(2), 则余下的问题是如何由主空间中的式(2)去得到一般坐标空间下的式(1)。显然, 这是数学上的一个坐标变换问题^[2]。根据目前的研究, 有两类数学方法来解决这一问题, 一类是直接坐标变换法^[2, 3], 另一类是势函数法, 如数学势函数^[4, 5]、张量定律^[6]以及传统的弹性或塑性位势理论等。

直接坐标变换法是将三维主空间和一般六维空间的坐标变换矩阵 $[T]$ 代入式(2), $[T]$ 可以用应力或应变的增量表示, 但这时将会得到增量非线性的本构方程^[2]。要得到通常增量线性的本构方程, 则必须引入总量和增量的 3 个主方向相同的假设^[2], 这样 $[T]$ 可以用应力或应变的总量来表示, 由此才可得到增量线性的本构方程。

势函数表示的变换关系可从数学上得到, 例如可以由导数与坐标变换的关系得到^[4], 从而得到多重势面理论^[5], 也可以从张量定律出发来建立^[6]。当要得到增量线性的本构方程时, 同样必须要引入应力或应变总量与其增量的 3 个主方向相同的假设。这样, 其增量的坐标变换关系可以用总量分量来表示, 由此, 则可以得到全量或增量本构关系的统一表示形式——多重势面理论。

$$d\varepsilon_{ij}^e = \sum_{k=1}^3 \lambda_k \frac{\partial \varphi_k}{\partial \sigma_{ij}}, \quad \varepsilon_{ij} = \sum_{k=1}^3 A_k \frac{\partial w_k}{\partial \sigma_{ij}} \quad \text{或} \quad d\sigma_{ij}^e = \sum_{k=1}^3 \alpha_k \frac{\partial \Omega_k}{\partial \varepsilon_{ij}}, \quad \sigma_{ij} = \sum_{k=1}^3 B_k \cdot \frac{\partial F_k}{\partial \varepsilon_{ij}} \quad (3)$$

* 到稿日期: 1996-10-14.

其中势函数 $\varphi_k, w_k, \Omega_k, F_k (k=1, 2, 3)$ 梯度矢量线性无关, $\lambda_k, A_k, \alpha_k, B_k (k=1, 2, 3)$ 则是由主空间试验来确定的参数。特殊情况下, 多重势面理论将退化为弹性势或塑性位势理论, 当材料的本构关系不满足位势理论的条件时, 则可用多重势面理论来表达。这是建立于数学理论基础上的具有更为一般性的理论, 从这里还进一步揭示了经典弹性势与塑性位势理论的数学基础, 其数学实质也是一种坐标变换。这为从三维主空间到六维一般坐标空间的变换提供了一套更为完善和普遍的理论。这一理论比经典理论具有更广的适应性, 可望发展用于表述像岩土类材料这样复杂介质的本构关系。

参 考 文 献

- 1 沈珠江. 关于土力学发展前景的设想. 岩土工程学报, 1994, 16(1): 100~ 111.
- 2 杨光华. 岩土类工程材料应力-应变本构理论的基本数学问题. 见: 岩土力学数值方法的工程应用. 上海: 同济大学出版社, 1990. 214~ 219.
- 3 Matsuoka H, Nakai T. Stress-Strain Relationship of Soil Based on the “SMP” Constitutive Equations of Soils. In: Proc Specialty Session 9, 9th ICSMFE, 1977, 153.
- 4 杨光华. 岩土类工程材料本构关系的势函数模型理论. 见: 第四届全国岩土力学数值分析与解析方法会议论文集. 武汉测绘科技大学出版社, 1991.
- 5 杨光华. 岩土类材料的多重势面弹塑性本构模型理论. 岩土工程学报, 1997, 13(5): 99~ 107.
- 6 杨光华. 岩土类工程材料本构方程的一个张量普遍形式定律. 见: 水工结构工程理论与应用. 大连海运学院出版社, 1993. 315~ 321.

关于“原状取土还是原位测试”一文的讨论*

邹越强

(合肥工业大学土木系, 230009)

《岩土工程学报》1996年第5期“原状取土还是原位测试”(以下简称“原文”)一文提出的某些论点, 有值得商榷的地方。我们可在 $e - \lg p$ 坐标上考虑一下室内试验(得到室内压缩试验曲线)和现场原位在建筑物等荷载作用下所发生的土体压缩情况(此时 $e - \lg p$ 坐标上的曲线通常称为现场原始压缩曲线, 大量试验证明此线近似为一直线, 只是在高压下才略有偏移。即“在实用压力范围内这线段呈一直线”^[1])。我们把这两种情况绘在 $e - \lg p$ 坐标上(如图1所示), 可见原位测试求得的是 C_c (而不是“原文”所述的 C_i)。室内试验可直接测定 C_i (而不是“原文”所述的 C_c)并可推求 C_c (这里 C_i 可广义地理解为初始压缩指数或切线压缩指数)。

通过室内试验推求现场原始压缩曲线(C_c)方法的准确程度可通过人工制备结构性粘土的办法来验证。此项研究工作国内早已开展, 并在先期固结压力的研究方面取得了一些成果。不断改进用室内试验推求 C_c 的方法可

使应力释放引起的扰动对分析结果的影响不断地减小^[2, 3], 以达到工程实用的目的。从现有的研究结果看, 只要取土技术比较细致, 推求现场原始压缩曲线的方法比较正确, 用室内试验推求的 C_c 的精度就比较高。

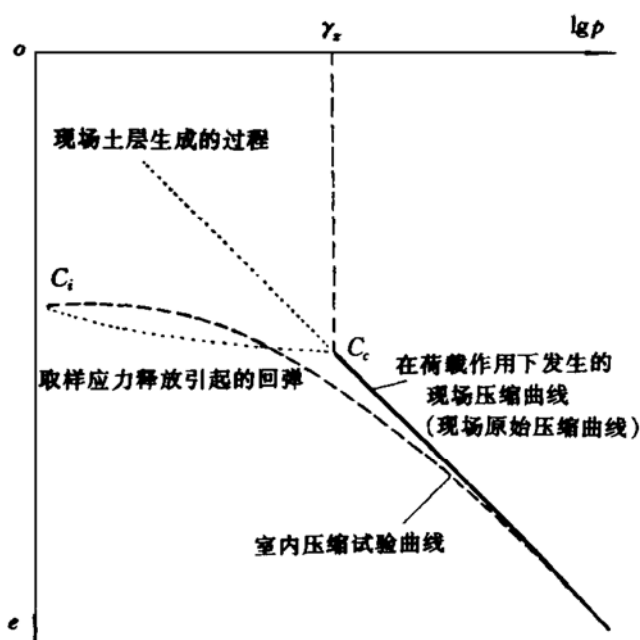


图1

* 到稿日期: 1996-12-25.