



关于“地基非线性沉降计算的原状土切线模量法”的讨论

李仁平

(三峡大学土木水电学院, 湖北 宜昌 443002)

中图分类号: TU433 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2007)07-1108-02

作者简介: 李仁平(1965-), 男, 博士, 副教授, 主要从事岩土工程的教学科研工作。E-mail: l.r.p@163.com。

《岩土工程学报》2006年第11期“地基非线性沉降计算的原状土切线模量法”一文(以下简称“原文”)提出了一种依据载荷试验成果确定原状土切线模量,然后按分层总和法计算地基沉降的新方法。杨光华教授此文的方法与文献[1]的分析思路有些不谋而合,但计算方法有诸多不同。拜读原文后,笔者有如下意见与杨教授商榷。

(1) 有关附加应力的修正问题

原文依据^{#3}试验点载荷试验成果得到的切线模量方程计算压板沉降,得到的荷载沉降曲线与试验曲线偏离较多,在附加应力210 kPa处压板的计算沉降比试验沉降高出50%以上。笔者认为产生偏差的主要原因是压板影响范围内的实际附加应力分布与理论计算结果之间有偏差造成。Boussinesq应力解是依据弹性体假定推求得到的,而土体是非均质非线性弹性体,因此采用Boussinesq应力解计算地基沉降难免会产生偏差。

笔者提出的修正切线模量方程为

$$E'_i = (1 - \beta b p_2)^2 E_0 / \beta = (1 - \beta R_f p_z / p_u)^2 E_0 / \beta \quad (1)$$

式中, E_0 为初始切线模量, $E_0 = \Omega d / a$, a , b 为双曲线拟合参数, β 为附加应力修正系数, E_0 / β 为修正初始切线模量, d 为承压板的直径或边长。 Ω 跟压板形状及土体泊松比 μ 有关,对于方形压板, $\Omega = 0.88(1 - \mu^2)$,对于圆形压板,笔者建议取 $\Omega = 0.79(1 + \mu^2)$ 。地基总的沉降计算公式为

$$s = \sum_{i=1}^n \Delta s_i = \sum_{i=1}^n \frac{p_{zi} \Delta h_i}{E'_i} \quad (2)$$

取 β 为0.899时,采用上述修正切线模量方程计算得到的各级荷载沉降与试验值完全吻合^[2](见图1),表明采用Boussinesq理论附加应力较实际应力偏高约10%。修正初始切线模量为98.52 MPa,比原文计算得到的73.78 MPa提高了33.9%。

(2) 影响沉降和极限承载力的尺寸效应问题

诚如原文所指出的,压板试验是小尺寸的试验,如何把小尺寸的试验结果用于大尺寸的基础沉降,还需要深入研究。原文把^{#3}点的压板直径为80 cm的载荷试验数据计算得到的切线模量,用来计算面积达40 m×40 m的基础沉降会因为地基的非均质性而造成误差。具体来说,地下室底板以下主要为③-2土层,局部为③-1土层,③-2土层标贯击数 N 在13.6~20.2间,变动范围较大,受基础附加应力分布影响的土体压缩层厚度达20 m,而压板试验影响深度小于2.0 m。因此,用^{#3}

点试验结果得到的切线模量计算整个压缩层的沉降,其计算结果是否准确带有不确定性。

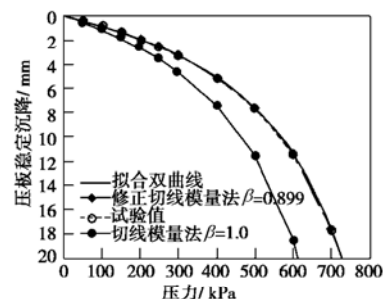


图1 圆形压板试验曲线与沉降计算曲线的比较

Fig. 1 The comparison of the computing results with the testing results

原文虽然考虑了极限荷载 p_u 随深度增加的情况,但未考虑初始切线模量 E_0 随深度增加而增加的情况,实际上, E_0 随深度增加而增加造成的影响比 p_u 的影响要大。此外,原文确定不同深度 p_u 的计算方法是基于Prandtl半经验半理论公式而非原位试验,势必带来新的无法预料的误差。

此外,原文按压缩模量计算得到的沉降值达到880 mm,可能是未考虑基础埋深的补偿作用,才会有如此大的计算结果。规范法计算地基沉降是按照附加应力进行计算的,原文基础埋深达到12.0 m,基底上覆土压力约为 $12.0 \times 18.0 = 216.0$ kPa > 210 kPa,属于超补偿基础,因此笔者有理由认为沉降计算只需考虑开挖所产生的基坑回弹即可。

(3) 原文对破坏比 R_f 的定义疑似有误,有误用之嫌

Duncan-Chang基于三轴试验得到的切线模量方程中的破坏比 R_f 有非常明确的物理意义,笔者认为可参照确定。压板试验中的极限荷载 p_u 通常指地基破坏之前的那一级荷载,而非沉降无限大的情况,其对应的沉降变形一般不超过10 cm,其大小受人为因素影响,跟加载级数大小有关。为避免二者的混淆,笔者建议将变形无限大的荷载称为破坏荷载或最大荷载 p_r ,且有 $b = 1/p_r$,实际上该荷载不存在,如果引入破坏比 $R_f = p_u/p_r$,则 R_f 表示极限荷载接近最大破坏荷载的程度。当破坏比从1.0

讨论稿收稿日期: 2006-12-18

答复稿收稿日期: 2007-01-26

变化到 0.8, 意味着 p_u 从 p_f 变化到 0.8 p_f , 实际上拟合参数 b 没有发生变化, 故曲线形状不会改变。而原文破坏比从 1.0 变化到 0.8, 实质表示 p_f (即 $1/b$ 值) 发生变化。原文破坏比从 1.0 变化到 0.8, 计算沉降从 46.4 mm 增加 46.6 mm, 变化极小, 说明在附加应力水平不太高的情况下改变 p_f 对沉降结果的影响甚小, 可以忽略。比较而言, 初始切线模量 E_0 的变化对沉降影响较显著, 初始切线模量的大小主要与围压有关, 故随深度增加而增加, 而原文对此并未加以考虑。

原文为笔者提供了一个很好的工程算例, 笔者采用修正切线模量方程, 并利用 SPT 的原位测试成果确定出基础接触压力影响范围内任意测试点的修正切线模量, 据此计算得到的沉降为 39.7 mm, 与实测的 40 mm 极为吻合。

螺旋板载荷试验及工程验证的计算分析均表明^[2], 采用修正切线模量法计算地基沉降, 附加应力只需采用基底接触压力按 Boussinesq 应力解计算得到的附加应力分布就能够得到准确

的结果, 而无需考虑基础埋深补偿效应及基坑回弹效应, 这给工程应用带来极大方便。

该算例的沉降计算只有一个点, 而且施加的建筑荷载也只是估算, 所以该方法的推广还有待接受更多工程实践的检验。

参考文献:

- [1] 李仁平. 用双曲线切线模量方程计算地基非线性沉降[J]. 岩土力学, 2006. (LI Ren-ping. The non-linear ground settlement calculated by hyperbolic curve tangent modulus equation[J]. Rock and Mechanics, received in Aug. 2006. (in Chinese))
- [2] 李仁平, 陈福全. 对沉降计算中变形参数的几点思考[J]. 岩土力学 (S1). 2007. (LI Ren-ping, CHEN Fu-quan. Some considerations about parameters of deformation of settlement prediction[J]. Rock and Mechanics (S1), 2007. (in Chinese))

对“地基非线性沉降计算的原状土切线模量法”讨论的答复

杨光华

(广东省水利水电科学研究院, 广东 广州 510610)

中图分类号: TU433 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2007)07-1109-02

作者简介: 杨光华(1962-), 男, 教授级高级工程师, 博士, 博士生导师, 总工程师, 主要从事土的本构理论、基坑工程、高层建筑基础工程和软土工程等方面的科研、设计和咨询工作。E-mail: ygh@gdsky.com.cn。

欢迎李仁平对“地基非线性沉降计算的原状土切线模量法”^[1] (下称原文) 一文的讨论。笔者所在单位对广东各种岩土条件曾做了大量的压板试验^[2], 同时一直研究利用双曲线拟合压板试验曲线用于基础沉降计算的方法^[3-5]。应该说由于土的原状结构性, 利用原位试验参数进行基础沉降计算是一个值得发展的方向。利用双曲线方程的优点主要是参数较少, 在经过一定的经验积累后可望对所涉及的参数获得较好的结果, 其所需参数只是初始切线模量和极限荷载, 然后通过切线模型方法, 用于地基的沉降计算, 方法简便, 可以一定程度克服取样扰动的影响, 目的是发展一个简便实用方法, 以提高计算精度。诚然, 增加参数和复杂性, 可能会提高精度, 但也会失去一定的简便性, 这就要求在满足精度情况下尽量简化, 这样工程上才能更好地推广应用, 就像分层总和法, 可能有很多不足, 但目前仍是工程界基础沉降计算中的主要方法一样, 就因为其简便实用而具有强大的生命力。

(1) 关于附加应力的修正问题

土体本身具有非线性, 各向异性, 考虑复杂条件下的应力解的研究已有不少工作, 切线模量法选择 Boussinesq 解, 目的是该解较简单。至于计算误差, 岩土工程本身离散性就大, 同一工程不同地点的试验曲线已存在差异, 见原文, 毫米级的精

确意义是不大的, 原文对压板试验计算的 $p-s$ 曲线有误, 正确结果如图 1 所示, 由图可见计算值并没有大于试验值。

对于初始切线模量的修正问题, 由于双曲线模型有两个参数, 分别为初始切线模量, 极限承载力, 讨论文提出对初始切线模量进行修正是一个好的想法, 但修正系数的合理取值仍有待进一步研究。

(2) 尺寸效应问题

切线模量法是在一定的假设条件下所建立的方法, 尺寸效应是通过理论模型来解决的, 至于是否有更准确的模型有待于研究, 讨论文中所提出的问题都是值得进一步研究的。但对于岩土工程, 由于其岩土材料分布的变异性就较大, 要一一细致去研究, 仍有很多工作要做, 原文思想只是提出一个简便实用而又可提高计算准确度的方法, 以便于工程应用, 对于各种复杂因素的细致研究有待于各位同行的共同努力去完善。

原工程实例的计算未考虑卸荷回弹的影响, 若用压板试验参数计算时, 由于压板试验是在基底处进行的, 可以不考虑, 若用压缩模量 E_s 则应考虑, 原文未考虑卸载影响, 计算沉降是偏大的, 但广东的许多工程实践表明, 对于结构性较强的硬土, 压缩模量值 E_s 是偏小的, 用其计算沉降是偏大的, 这不仅是卸荷回弹的问题。文献[6]中是另一个可供参考的实践案例。