关于“对‘地基沉降计算的新方法’的讨论”的答复

REPLY TO “DISCUSSION ON ‘NEW COMPUTATION METHOD FOR SOIL FOUNDATION SETTLEMENTS’”

杨光华(YANG Guanghua)

(广东省水利水电科学研究院，广东 广州　510610)

(*Guangdong Provincial Research Institute of Water Conservancy and Hydropower*，*Guangzhou*，*Guangdong* 510610，*China*)

中图分类号：TU 43　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1000－6915(2009)10－2157－02

1　对门 楷高级工程师等讨论的答复

门 楷高级工程师等对笔者切线模量法的讨论其实已在《岩土工程学报》2009 年第 2 期里进行了答复[1]。实无必要再重复，但既然又提出，本文仅就对切线模量法的质疑再答复如下。对于切线模量法与弦线模量法两者不同之处，可参考弦线模量法的提出者焦五一先生讨论稿的观点即可。

1.1　对第 1 个问题的答复

(1) 关于假设 $s=\infty$ 时，$b=1/p_{\mathrm{u}}$ 的问题，请注意，切线模量法的公式是假设压板试验的 *p-s* 曲线为双曲线方程而得到的[2]，双曲线方程的渐近线，即是 $s\to\infty$，这是曲线方程性质可以得到的，当其不符合双曲线时需要另作研究，对此已有介绍[3]，不再重复。

(2) 极限承载力是地基强度计算的基本问题，是目前一般地基设计都要计算的，已经相对较成熟和公认。由于切线模量法建议 c，φ 值是通过试验反算而得到，用什么公式反算就用什么公式计算承载力，用 Prandtl 公式反算参数，就用它计算承载力，不存在什么问题。

(3) a 与 E_0 关系是假设土的压板试验的 *p-s* 曲线为双曲线方程而推导的，实际土的 *p-s* 不符合双曲线可另作研究。另外土是复杂的，也有很多土 *p-s* 曲线并不存在直线段。

(4) 关于 E_0 的确定问题，目前可靠的方法是通过原位压板试验来得到。这是沉降计算能较准确的根本，既然要提高精度就应进行原位试验，要减少压板试验要通过较多的试验来总结 E_0 与其他简单试验指标的经验关系，从而才可减少直接试验而通过间接经验确定。

1.2　对第 2 个问题的答复

(1) 第一个问题请见杨光华[1]的答复。

(2) 笔者认为讨论文的概念有待商榷。土的切线模量是非线性的，是与应力状态有关的，不仅是与土的物理指标有关的。切线模量法中 E_0 用于反映土的初始变形特性，反映了土的初始物理特性，p/p_{u} 是反映应力水平的影响，是正确的，与邓肯－张模型的概念是一致的，这是土的本构特性的基本概念问题。

(3) 该点讨论文理解可能不正确。不同的土层，即使 p 相同，切线模量 E_t 也是不同的。由于不同土层 E_0，c，φ 都不同，切线模量按 $E_t=(1-p/p_{\mathrm{u}})E_0$ 计算，不同土层即使 p 相同，E_0 不同，p_{u} 也不同，相同的 p 时，可计算得到不同的 E_t，不会是相同的 E_t。讨论文中提到的淤泥和砂质黏土的 E_0，c，φ 都相同吗？不同土性这些力学参数是不同的，也就不会是相同的 p 有相同的 E_t。请对照切线模量公式认真计算。

(4) 土的切线模量既然是非线性的，怎能与应力状态无关呢？这是土的基本概念问题。切线模量法用 E_0 反映初始变形特性，用于反映土体的基本物理特性，用 p/p_{u} 反映应力水平的影响，与邓肯－张模型的理念是一样的，是符合土的基本变形特性的，是正确的。反映土的变形特性不一定非要用孔隙比、含水量等参数的，邓肯－张模型不是也没用这些参数吗？

对于弦线模量法，笔者以前的论文已有论述，不再重复。

1.3　小 结

切线模量法的概念是正确的，是符合土的变形特性的。当然，切线模量法也还有待于完善的问题，如对各种土的适应性问题等。切线模量法考虑了土的原状性和非线性特点，方法简便，将会是解决地基沉降计算中较实用的方法。讨论文对切线模量法的理解可能是不正确的，有些是属于基本概念理解不准确产生的问题。

收稿日期：2009－06－05；**修回日期：**2009－09－20

作者简介：杨光华(1962－)，男，博士，1982 年毕业于武汉水利电力学院，现任教授级高级工程师、博士生导师，主要从事土的本构理论、深基坑工程、高层建筑基础工程和软土工程的教学与研究工作。E-mail：ygh@gdsky.com.cn

2　对焦五一教授讨论的答复

焦教授做了一个较好的计算，同时对切线模量法与弦线模量法的差异的观点也很正确，正如讨论文中所指出的其不同之处在于弦线模量值决定于地基中各点的附加应力，而切线模量法决定于应力水平，或荷载水平。实际上土的非线性特性很大程度是取决于应力水平的。经典的土的本构邓肯－张模型就是一个很好的例子，因此，根据土的变形特性，切线模量法采用应力水平或荷载水平确定切线模量值的思想是合理的，也是符合土的变形特性的。

讨论稿中表 1 的计算结果显示了各计算方法可较好的考虑土的非线性，结果差别也不大，这是因为各种方法的参数来源于同一试验数据，用于计算参数来源的试验数据。同时对于同一方程，切线模量法和割线模量法其理论公式是一样的，结果不应有大的差异。

讨论稿中表 2 的计算结果恰好可以反映切线模量法的合理性。对于基础尺寸大小不同的情况，小尺寸的基础，极限承载力低，相同基底压力时，非线性明显，对于大尺寸的基础，极限承载力大，相同基底压力时非线性没那样的明显，这正是切线模量法可以解决用小压板试验曲线计算大尺寸基础沉降的特点。以表 2 中双曲线模量极限荷载①的切线模量计算结果为例，当基底压力由 210 kPa 增大为 630 kPa 时，对于基础边长为 2 m 时，其沉降由 0.49 cm 增加到 3.26 cm，增加了 6.6 倍，而此时荷载仅增加了 3 倍，说明非线性明显；但对于基础尺寸为 40 m 的基础，同样荷载增加了 3 倍，但其沉降则由 4.74 cm 增加至 15.57 cm，倍数为 3.3，近似于线性状态，这是由于实际的大尺寸深埋基础，其极限承载力考虑深、宽修正后要远比小尺寸压板要大，这样相同基底压力下应力水平低，大尺寸深埋基础在相同的压力下其变形仍近似于线性状态，这正好反映了土的非线性特性。其实按切线模量法的参数[2]计算，对于 40 m 的基础尺寸，埋深 12 m，基础宽度修正即使按 6 m 计算，其极限承载力可达 3 920 kPa 的理论值，因此，即使是基底应力 630 kPa，其安全系数达 6.2，荷载水平只有 0.16，说明地基确是接近处于线性状态的，因而沉降增加与荷载的增加的倍数基本相同是合理的，因此切线模量法可较好地考虑了沉降的非线性。极端情况下，当基础尺寸无限大时，则相当于一维压缩，显然不存在应力非线性的问题。但如果按小尺寸压板试验得到的 1 000 kPa 的极限承载力，则当基底应力为 630 kPa 时，则其安全系数仅为 1.58，荷载水平已达 0.63，显然已进入明显的非线性状态，这就是相同基底应力而非线性程度不同的原因。

同样情况，对于弦线模量软件计算，则当荷载由 210 kPa 增大到 630 kPa 时，基础尺寸为 2 m 时，沉降由 0.47 cm 增大到 3.42 cm，增大了 7.3 倍，而对于 40 m 的大基础，沉降由 5.49 cm 增加至 33.73 cm，增大了 6.1 倍，两者的非线性程度接近，其原因可能正是弦体模量值取决于附加应力的结果，反映不了应力水平产生的非线性，这是不太合理的。这是与按应力水平确定模量值的新方法的差异。

当同样是小尺寸基础时，如基础宽度为 2 m，当基底压力由 210 kPa 增大为 630 kPa 时，切线模量法的沉降由 0.49 cm 增加到 3.26 cm，增加了 6.6 倍， 弦线模量软件计算沉降由 0.47 cm 增大到 3.42 cm，增大了 7.3 倍，切线模量法与弦线模量法结果是接近的，其原因在于此时的基础尺寸较接近于试验所用的压板尺寸，这是因为对于同一条试验曲线而言，附加应力和应力水平都是同一个点，其模量值相同或接近的结果。

至于双曲线模型方程的直接应用，应要注意应用的条件，切线模量法有较好的通用性。利用原位压板试验曲线用于解决基础沉降计算的问题是一个很好和值得发展的方法，弦线性模量法和切线模量法其思想目标是一致的，但如何更好地完善和发展则需要更多人的共同努力，才能使地基沉降计算这一个难题获得更好的解决。切线模量法采用应力水平，或荷载水平来确定模量值可以更好的反映土的非线性特性，解决了小尺寸压板试验用于大尺寸基础的沉降计算问题，是一个合理可行的方法。

参考文献(References)：

[1] 杨光华. 对“‘地基非线性沉降计算的原状土切线模量法’一文的讨论”的答复[J]. 岩土工程学报，2009，31(2)：311－312.(YNAG Guanghua. Reply to“ discussion on ‘Nonliear settlement computation of the soil foundation with the undisturbed soil tangent modulus method’”[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering，2009，31(2)：311－312.(in Chinese))

[2] 杨光华. 地基非线性沉降计算的原状土切线模量法[J]. 岩土工程学报，2006，28(11)：1 927－1 931.(YNAG Guanghua. Nonliear settlement computation of the soil foundation with the undisturbed soil tangent modulus method[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering，2006，28(11)：1 927－1 931.(in Chinese))

[3] 杨光华. 地基沉降计算的新方法[J]. 岩石力学与工程学报，2008，27(4)：679－686.(YNAG Guanghua. New computation method for soil foundation settlements[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering，2008，27(4)：679－686.(in Chinese))