

DOI: 10.11779/CJGE201507025

关于“盾构隧道施工松动土压力计算方法研究”的讨论

姜培杰^{1,2}, 徐颖¹

(1. 安徽理工大学土木建筑学院, 安徽 淮南 232001; 2. 安徽理工大学土木工程博士后科研流动站, 安徽 淮南 232001)

Discussion on “Method for calculating loosening earth pressure during construction of shield tunnels”

LOU Pei-jie^{1,2}, XU Ying¹

(1. School of Civil and Architectural Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China; 2. Center for Post-doctoral Studies of Civil Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2015)07-1353-02

作者简介: 姜培杰(1981-), 男, 博士, 讲师, 主要从事岩石力学、土力学方面的研究工作。E-mail: 470474720@qq.com。

《岩土工程学报》2014年第9期刊登了题为“盾构隧道施工松动土压力计算方法研究^[1]”的文章(以下称之为“原文”)。原文提出了一种可以考虑地层损失和管片刚度的松动土压力计算公式, 这一研究内容既新颖也有很强的工程应用价值。不过, 原文所给出的研究方法尚存在一些问题, 笔者在此提出这些问题, 欲与其他学者探讨。

(1) 位移曲线与土拱曲线是两个概念, 因而基于拱顶位移得到的主应力旋转角 θ 是错误的。

主应力旋转角 θ 是原文的主要参数, 也是原文理论成立的基础。其可进行如下理解: 如图1所示, 主应力旋转角 θ 表示的滑动面处大主应力与水平向夹角。

原文中式(25)给出了拱顶位移和 θ 之间的关系, 其成立的前提是盾构隧道顶部土拱曲线与沉降曲线重合。

盾构隧道顶部土拱曲线指的是土体中小主应力轨迹线, 在这条曲线上, 主应力数值大小相同, 其本质上是人们想象的一条曲线。而位移曲线是土体实际位移, 与土拱曲线属于两个概念, 两者不能混为一谈。原文根据隧顶位移得到的 θ , 其成立的基础是位移曲线与土拱曲线重合。由前所述, 两种曲线事实上是两种不同类型的曲线, 实际工程中也不可能完全重合。因此, 原文给出的理论基础是错误的。

(2) 原文给出的黏性土松动土压力计算模型及公式(20), (21), (23)在推导过程中存在错误。

原文给出的黏性土松动土压力计算模型为

$$d\sigma_v = \left(\gamma - \frac{2A_1\sigma_v}{B} - \frac{2c}{B} \right) dh \quad (1)$$

式(1)的错误在于: A_1 是在砂性土条件下推导的, 并不能简单直接的移植到黏性土的分析中。

如图2所示为松动土压力的基本计算模型, 据其建立的微分方程为

$$d\sigma_v = \left(\gamma - \frac{2\tau}{B} \right) dh \quad (2)$$

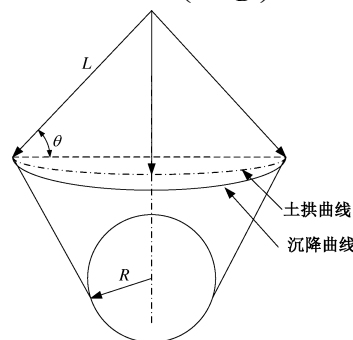


图1 $\tan \theta$ 计算示意图

Fig. 1 Calculation of $\tan \theta$

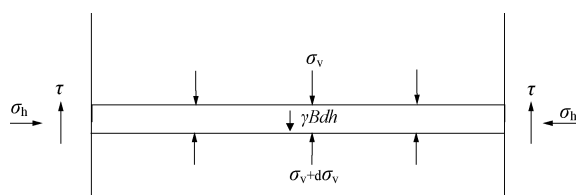


图2 黏性土松动区土体平衡示意图

Fig. 2 Free body in loosening zone of cohesive soils

对比式(1)、(2)可知: 原文认为对于黏性土而言, 考虑土拱效应的剪切应力为

$$\tau = A_1 \sigma_v + c \quad (3)$$

式(3)在黏性土应力摩尔圆中事实上并不能成立, 可通过一特例来进行说明: 当土体完全无土拱效应时即主应力轴没有旋转时, 此时 $\sigma_v = \sigma_1 = \gamma h + q$, 且 $\tau = 0$ 。而根据原文的模型得到的结果为 $\sigma_v < \sigma_1$, $\tau = c$ 。由此可知, 原文中给出的黏

性土松动土压力计算模型存在较大缺陷。

下面给出正确的黏性土松动土压力求解模型。

如图 3 所示, 采用坐标平移法^[2-3]进行求解, 新旧坐标系关系为

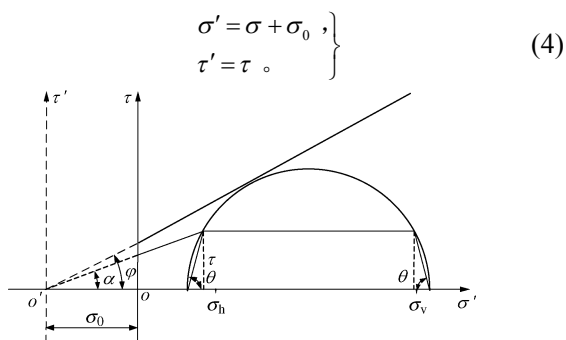


图 3 应力莫尔圆分析

Fig. 3 Analysis of Mohr's circle

此时, 侧压力系数可采用下式求解:

$$\left. \begin{aligned} K' &= \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v} = \frac{1 + K_a \tan^2 \theta}{\tan^2 \theta + K_a}, \\ K &= K' + (K' - 1) \frac{\sigma_0}{\sigma_v}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

特别的, 当没有土拱效应时, T5 可退化为^[2-3]

$$\left. \begin{aligned} K' &= \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v} = \frac{\sigma'_3}{\sigma'_1} = K_a, \\ K &= K' + (K' - 1) \frac{\sigma_0}{\sigma_v}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

土中剪切应力 τ 为

$$\tau = \frac{K' \sigma'_v (1 - K_a \tan \theta)}{1 + K_a \tan^2 \theta} = A_1 \sigma'_v. \quad (7)$$

本文得到的剪切应力在当土体完全无土拱效应时即主应力轴没有旋转时, 此时得到的剪切应力满足 $\tau = 0$ 。

将式 (7) 代入式 (2) 得

$$d\sigma_v = \left(\gamma - \frac{2A_1\sigma_v}{B} - \frac{2A_1\sigma_0}{B} \right) dh. \quad (8)$$

将边界条件 $h=0$, $\sigma_v=q$ 代入式 (8), 可得黏性土的不完全土拱松动土压力应为

$$\sigma_v = \frac{B_1\gamma - A_1\sigma_0}{A_1} (1 - e^{-\frac{A_1}{B_1}\gamma}) + qe^{-\frac{A_1}{B_1}\gamma}, \quad (9)$$

当 $c=0$ kPa 时, 式 (9) 可退化为

$$\sigma_v = \frac{B_1\gamma}{A_1} (1 - e^{-\frac{A_1}{B_1}\gamma}) + qe^{-\frac{A_1}{B_1}\gamma}. \quad (10)$$

式 (10) 表明本文法与原文法在求解砂性土时结果是相同的, 不同之处在于求解黏性土松动土压力时结果不同。

下面用一个算例来说明本文法与原文法之间的区别: 某隧道采用盾构法施工, 隧道直径 10 m, 覆土厚度为 20 m, 隧道轴线埋深 25 m, 土体参数为: $\varphi=30^\circ$, $c=10$ kPa, 拱顶位移分别为 0, 10, 20, ..., 120 mm。

由图 4 可知, 原文法的求解结果较本文法偏小, 原文法夸大了土拱效应的效果 (错计 c 的影响), 对于工程应用可能偏于不安全。

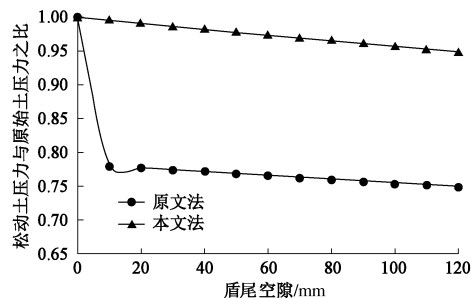


图 4 本文法与原文法计算结果对比

Fig. 4 Comparison of results between proposed and original methods

此外, 原文图 6 给出的算例应为拱顶位移分别取 5, 10, 15, ..., 80 cm 下的松动土压力与原始土压力之比。

参考文献:

- [1] 黎春林. 盾构隧道施工松动土压力计算方法研究[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(9): 1714 - 1720. (LI Chun-lin. Method for calculating loosening earth pressure during construction of shield tunnels[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2014, 36(9): 1714 - 1720. (in Chinese))
- [2] LI L, AUBERTIN M, BELEM T. Development of a 3D analytical solution to evaluate stresses in backfilled vertical openings[R]. Montréal: École Polytechnique de Montréal, 2005.
- [3] LI L, DUBÉ J S, AUBERTIN M. An extension of Marston's solution for the stresses in backfilled trenches with inclined walls[J]. Geotechnical and Geological Engineering, 2013, 31(4): 1027 - 1039.