

DOI: 10.11779/CJGE201507026

对“盾构隧道施工松动土压力计算方法研究”讨论的答复

黎春林

(铜陵学院建筑工程学院, 安徽 铜陵 244000)

中图分类号: TU47 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2015)07-1355-02

作者简介: 黎春林(1971-), 男, 安徽宿松人, 博士, 副教授, 主要从事岩土工程设计研究。E-mail: lichunlin111@126.com。

Reply to discussion on “Method for calculating loosening earth pressure during construction of shield tunnels”

LI Chun-lin

(Department of Civil and Structural Engineering, Tongling University, Tongling 244000, China)

首先感谢姜培杰博士对“盾构隧道施工松动土压力计算方法研究”(以下简称原文)的关注和讨论, 现针对提出的几个问题回复如下:

(1) 关于位移曲线与土拱曲线的关系问题

土拱的形成是土体在力的作用下产生不均匀位移, 调动自身抗剪强度以抵抗外力的结果。土拱曲线和位移曲线虽然概念上有所不同, 但关系密切。对于土拱曲线的形状, Handy<sup>[1]</sup>将土拱曲线定义为小主应力轨迹, 其形状为悬链线。Park 等<sup>[2]</sup>则假定土拱曲线为一段圆弧曲线。对于拱顶土体的位移曲线形状, James<sup>[3]</sup>认为当土体中存在空隙时, 空隙上方土体实际位移曲线是悬链线, 形状和小主应力轨迹是一致的, 如图 1 所示。

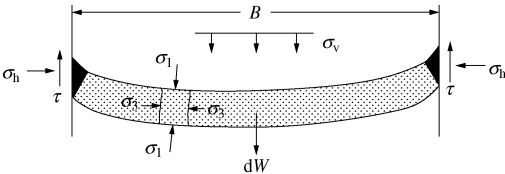


图 1 土拱微单元悬链线形状<sup>[3]</sup>

Fig. 1 Catenary representation of differential elements of soil arching

虽然土拱曲线和位移曲线的实际形状是悬链线, 但如果采用悬链线求解, 过程将变得非常复杂, 因此原文采用圆弧曲线来代表实际的悬链线求取  $\theta$  以简化计算。一些学者在讨论挡土墙后土体的土拱效应对土压力分布的影响时, 也采用了将悬链线简化为圆弧的近似处理方法<sup>[4-5]</sup>, 认为这一简化处理对结果的影响可以忽略。

其实在大跨距、小弧垂情况下悬链线和圆弧曲线差别很小, 下面作对比分析。假定滑动土柱宽度为  $B=12\text{ m}$ , 拱顶土体跨中最大位移取  $S_{\max}=20\text{ mm}$  (地层损失较小) 和  $S_{\max}=60\text{ mm}$  (地层损失较大) 两种情况, 分别采用悬链线和圆弧进行曲线拟合, 对曲线的差别作一比较, 如图 2 所示。

从图 2 可以看出, 两种曲线基本重合, 从这里可以看出在土体沉降不是很大的情况下, 圆弧和悬链线差别很小。因盾构施工土体沉降  $S_{\max}$  相对于土柱宽度  $B$  其值都非常小, 满足大跨距、小弧垂的条件, 所以原文对土拱曲线和位移曲线没有采用复杂的悬链线, 而是采用圆弧来简化处理是可以满足工程的精度要求的。

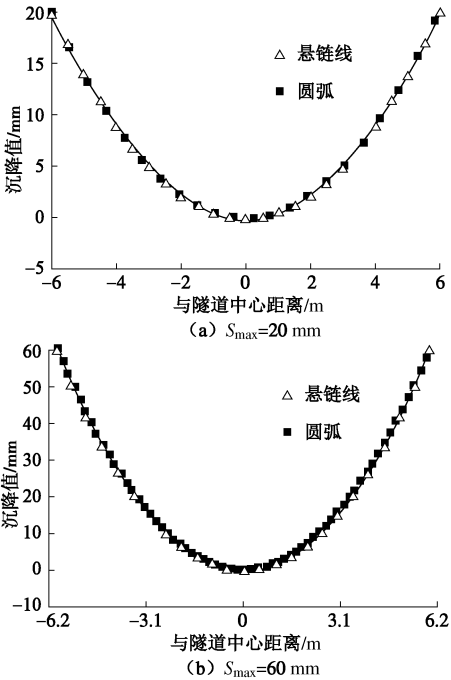


图 2 相同沉降量和跨距下悬链线和圆弧拟合对比

Fig. 2 Comparison of fitting curves between catenary method and circular arc method under same settlement and span

(2) 关于原文黏性土松动土压力计算模型及公式中的黏

基金项目: 国家自然科学基金项目(51108078); 安徽省自然科学基金项目(1408085ME98); 铜陵学院人才科研启动基金项目(2012tlxyrc07)  
收稿日期: 2015-02-26

聚力  $c$  的正确理解

原文为简化分析,主要是针对砂性土为例进行研究,这一点在原文有交代。对于黏性土,考虑到土颗粒之间存在黏聚力,在公式中增加了黏聚力  $c$ ,但此黏聚力不能和土体抗剪强度公式中的黏聚力等同,就像我们不能将土体内的剪应力等同于土体抗剪强度一样,除非土体处于极限平衡状态。也就是说,原文公式中的黏聚力  $c$  实质是指土颗粒间因存在相对移动趋势实际发挥作用的黏聚力,其大小也与土拱效应的发挥有关系,当土拱效应充分发挥,土体滑裂面上剪应力等于土体抗剪强度,黏聚力  $c$  达到极值,此时和抗剪强度指标中的  $c$  等同;当土体中没有沉降差,土拱效应不存在时,此时  $c$  的大小则将为零。原文思想的核心是讨论当隧道拱顶位移受限制、土体强度没有充分发挥时,将土体的实际剪应力代替太沙基公式中的抗剪强度对隧道拱顶松动土压力公式进行了推导,因此,无论是土中黏聚力还是摩擦力都比库仑定律抗剪强度表达式中相应的部分要小。当然,笔者在原文中没有具体分析黏性土实际发挥作用的黏聚力  $c$  和土拱效应发挥的关系,仅仅做了一个定性分析,在这里要特别感谢姜培杰博士在讨论稿中针对黏性土所做的进一步推演工作。

(3) 关于原文图 6 拱顶位移的单位问题

原文图 6 拱顶位移单位是 mm 无误。为方便原文方法的工程应用,现根据原文算例提供的工程条件,附详细计算过程如下。隧道直径 6.2 m,覆土厚度 20 m,砂性土,土的重度 20 kN/m<sup>3</sup>,土的内摩擦角  $\varphi=15^\circ$ ,以拱顶位移  $S=60$  mm 为例。

原文推荐方法:  $K_a = \tan^2(45^\circ - \varphi/2) = 0.59$ ,

$$B_1 = R \cot\left(\frac{\pi/4 + \varphi/2}{2}\right) = 6.29, \quad \tan\theta = \frac{B_1}{2S} - \frac{S}{2B_1} = 52.38,$$

$$A_1 = \frac{1 + K_a \tan^2\theta}{\tan^2\theta + K_a} \cdot \frac{(1 - K_a) \tan\theta}{1 + K_a \tan^2\theta} = 0.0783, \quad \sigma_v = \frac{B_1 \gamma}{A_1} \left(1 - e^{-\frac{A_1 h}{B_1}}\right)$$

= 354.09 kPa。松动土压力  $\sigma_v$  与原始土压力  $\sigma_{cz}$  之比:  $\sigma_v/\sigma_{cz} = 0.885$ 。不同的盾尾空隙下,原文图 6 相关参数的计算结果详见表 1, 2。

表 1 当  $\varphi=15^\circ$  时不同的盾尾空隙下的松动土压力与原始土压力之比

Table 1 Values of  $\sigma_v/\sigma_{cz}$  relative to  $S$  for  $\varphi=15^\circ$

$S/m$	$B_1/m$	$\tan\theta$	$A_1$	$\sigma_v/\text{kPa}$	$\sigma_v/\sigma_{cz}$
0.005	6.29	628.62	0.0065	395.88	0.990
0.010	6.29	314.31	0.0130	391.81	0.980
0.015	6.29	209.54	0.0196	387.80	0.970
0.020	6.29	157.15	0.0261	383.85	0.960
0.025	6.29	125.72	0.0326	379.95	0.950
0.030	6.29	104.77	0.0391	376.10	0.940
0.035	6.29	89.80	0.0457	372.31	0.931
0.040	6.29	78.57	0.0522	368.56	0.921
0.045	6.29	69.84	0.0587	364.87	0.912
0.050	6.29	62.86	0.0652	361.23	0.903
0.055	6.29	57.14	0.0717	357.64	0.894
0.060	6.29	52.38	0.0783	354.09	0.885
0.065	6.29	48.35	0.0848	350.59	0.876
0.070	6.29	44.90	0.0913	347.15	0.868
0.075	6.29	41.90	0.0978	343.74	0.859
0.080	6.29	39.28	0.1043	340.39	0.851

表 2 当  $\varphi=30^\circ$  时不同的盾尾空隙下的松动土压力与原始土压力之比

Table 2 Values of  $\sigma_v/\sigma_{cz}$  relative to  $S$  for  $\varphi=30^\circ$

$S/m$	$B_1/m$	$\tan\theta$	$A_1$	$\sigma_v/\text{kPa}$	$\sigma_v/\sigma_{cz}$
0.005	5.37	536.94	0.0124	390.89	0.977
0.010	5.37	268.47	0.0248	382.06	0.955
0.015	5.37	178.98	0.0372	373.49	0.934
0.020	5.37	134.23	0.0497	365.18	0.913
0.025	5.37	107.38	0.0621	357.12	0.893
0.030	5.37	89.49	0.0745	349.30	0.873
0.035	5.37	76.70	0.0869	341.71	0.854
0.040	5.37	67.11	0.0993	334.35	0.836
0.045	5.37	59.66	0.1117	327.20	0.818
0.050	5.37	53.69	0.1242	320.26	0.801
0.055	5.37	48.81	0.1366	313.52	0.784
0.060	5.37	44.74	0.1490	306.98	0.767
0.065	5.37	41.30	0.1614	300.63	0.752
0.070	5.37	38.35	0.1738	294.46	0.736
0.075	5.37	35.79	0.1862	288.47	0.721
0.080	5.37	33.55	0.1986	282.65	0.707

注:  $\sigma_v$  为松动土压力,  $\sigma_{cz}$  为原始土压力

参考文献:

[1] HANDY R L. The arch in soil arching[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1985, **111**(3): 302 - 317.

[2] PARK K H, SALGADO R. Estimation of active earth pressure against rigid retaining wall considering arching effect[J]. Géotechnique, 2003, **53**(7): 643 - 653.

[3] JAMESM A. The Anatomy of soil arching[J]. Geotextiles and Geomembranes, 1994, **13**: 317 - 329.

[4] 应宏伟, 蒋 波, 谢康和. 考虑土拱效应的挡土墙主动土压力分布[J]. 岩土工程学报, 2007, **29**(5): 717 - 722. (YING Hong-wei, JIANG Bo, XIE Kang-he. Distribution of active earth pressure against retaining walls considering arching effects[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, **29**(5): 717 - 722. (in Chinese))

[5] 蒋 波. 挡土结构土拱效应及土压力理论研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005. (JIANG Bo. Studies on soil arching effect and earth pressure for retaining structure[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005. (in Chinese))