

文章编号:1671-6833(2022)01-0076-07

# 隧道 Park 收敛模式正交下穿既有隧道影响分析

靳军伟<sup>1</sup>, 付柏毅<sup>1</sup>, 陈允斌<sup>2</sup>, 刘钢立<sup>3</sup>, 李明宇<sup>1</sup>

(1. 郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 山东正元建设工程有限责任公司, 山东 济南 250014;  
3. 中铁十五局集团城市轨道交通工程有限公司, 河南 洛阳 471000)

**摘要:** 针对传统力控制方法分析隧道正交下穿引起的地表和既有隧道变形过程复杂的问题, 基于 Park 收敛模型, 采用位移控制方法对隧道开挖引起的地表沉降以及既有隧道拱底变形进行研究。首先, 通过将工程实例地表沉降数据、所提方法以及传统力控制方法的结果进行对比, 验证位移控制方法在研究新建隧道垂直下穿既有隧道问题中的合理性, 然后使用 Park 的 4 种隧道收敛模式作为新建隧道的边界条件进行进一步分析。结果表明: 在给定隧道拱顶位移  $g$  的情况下, Park 的 4 种收敛模式引起的地表沉降槽、隧道拱底变形的形状和数值均存在一定差异; 相同土体损失和  $g$  值时, 收敛模式对地表沉降和隧道拱底变形的影响由大到小依次为圆形非均匀收敛、椭圆形收敛、椭圆形非均匀收敛、均匀收敛, 其中椭圆形收敛与椭圆形非均匀收敛的影响较为接近, 均匀收敛与实际的拟合效果最差。隧道正交下穿既有隧道导致的地表沉降与地层中既有隧道变形模式不同, 当隧道间距一定时, 地表沉降为高斯曲线, 而隧道变形可能表现为“W”形。

**关键词:** 隧道开挖; 位移控制方法; 数值分析; 隧道收敛模式; 既有隧道

**中图分类号:** TU454 **文献标志码:** A **doi:** 10. 13705/j. issn. 1671-6833. 2022. 01. 012

## 0 引言

随着我国大中城市地铁隧道的大规模建设, 新建隧道与既有地下结构, 如桩基础<sup>[1]</sup>、管线<sup>[2]</sup>、管廊<sup>[3]</sup>等近接施工的情况也越来越频繁。特别地, 新开挖隧道与既有隧道相互影响的问题已成为影响城市地铁安全运营的重要因素。

现有的针对新开挖隧道与既有隧道相互影响的研究, 按照研究手段的不同, 可以分为模型试验法、理论研究以及数值模拟法<sup>[4-6]</sup>。目前针对隧道正交下穿既有地铁隧道的分析研究多使用数值模拟的方法, 从隧道边界控制条件来看, 可分为力控制方法 (FCM) 和位移控制方法 (DCM)。

隧道施工数值模拟的力控制法主要通过控制隧道掘进过程中隧道周围边界的压力值, 如掌子面压力、注浆压力等参数来计算。Kavvas 等<sup>[7]</sup>通过施加面荷载考虑了掌子面压力和注浆压力等因素在土压平衡盾构三维施工模拟中的作用, 但其对地表变形的预测效果不佳, 认为需要引入更加复杂的本构模型才能实现; Peng 等<sup>[8]</sup>使用力法

对气压沉箱的具体施工过程进行了模拟, 研究了气压沉箱法施工对周围地层的影响, 但由于模拟中刀盘切割和挤压作用对周围土体产生反复的扰动而无法对周围土体位移进行精确描述。同时, 力控制法用于模拟盾构隧道施工时, 无论是在平面应变还是在三维条件下, 常会导致更浅、更宽的地面沉降槽以及更高的远场沉降<sup>[9-11]</sup>。为了克服这个问题, Cheng 等<sup>[12]</sup>提出基于隧道二维平面变形的位移控制方法 (DCM), 随后被诸多学者广泛应用于隧道开挖的相关岩土工程问题。

与力控制方法相比, 位移控制方法的优势在于能够准确把握隧道收敛变形<sup>[13]</sup>, 同时, 考虑到隧道边界的收敛模式对结果有着重要的影响, 位移控制方法可以采用更能反映隧道实际变形的非均匀收敛模型而不是简单的均匀收敛模型, 因此在研究隧道正交下穿既有地铁隧道影响中, 位移控制方法可以作为一种有效的研究手段。

在收敛控制模型研究方面, 目前针对隧道边界的位移控制方法研究大多采用 Park<sup>[14]</sup>提出的隧道边界收敛模型, 因其模型数学公式较为简单,

收稿日期: 2021-05-17; 修订日期: 2021-08-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51608490); 河南省住房和城乡建设科技计划项目 (K1816)

作者简介: 靳军伟 (1986—), 男, 河南林州人, 郑州大学讲师, 博士, 主要从事城市盾构隧道施工安全与建筑物保护方面的研究, E-mail: jinjunwei@zzu.edu.cn。

且对隧道收敛形式的概括比较全面。Cheng 等<sup>[12]</sup>基于 Park 收敛模式,采用数值模拟验证了圆形非均匀收敛模式应用于位移控制方法的可行性,但研究中并没有深入讨论 Park 其他几种收敛模式的差异。

Park<sup>[14]</sup>将隧道边界的变形概括为 4 种收敛模式并给出了不同模式下的隧道边界收敛位移计算公式,因此本文将 4 种不同的收敛模式应用于隧道正交下穿既有地铁隧道的问题中,通过与既有工程案例的对比分析,给出 Park 收敛边界在位移控制方法中的适用性及地表沉降和既有隧道的变形规律。

1 Park 的隧道收敛模式

开挖隧道的 Park 收敛模式分为 4 种,如图 1 所示:均匀收敛(BC-1)、圆形非均匀收敛(BC-2)、椭圆形收敛(BC-3)以及考虑隧道底部隆起变形的椭圆形非均匀收敛(BC-4)。在极坐标系中,不同收敛模式下隧道边界的收敛位移可以通过式(1)~(4)计算:

BC-1: $u_r(r=a)=-u_0$ ; (1)

BC-2: $u_r(r=a)=-u_0(1+\sin\theta)$ ; (2)

BC-3: $u_r(r=a)=-u_0\left(1+\sin\theta-\frac{1}{2}\cos^2\theta\right)$ ; (3)

BC-4: $u_r(r=a)=-\frac{u_0}{4}(5+3\sin\theta-3\cos^2\theta)$ 。 (4)

式中: $u_r$ 为隧道边界各点收敛位移; $a$ 为隧道半径; $u_0=g/2$ , $g$ 为间隙参数,代表隧道拱顶的径向位移。

得到间隙参数  $g$ ,即可根据公式推断出隧道边界各点的位移量。由于土体损失是盾构施工导致土体位移的主要原因<sup>[15]</sup>,可以采用土体损失率来对  $g$  值进行计算。土体损失率可以通过经验方法、反分析方法、现场实测法和理论方法<sup>[16]</sup>获得。根据 Loganathan 等<sup>[17]</sup>的研究,隧道以 BC-1 和 BC-2 方式收敛的情况下,间隙参数与土体损失可以通过式(5)建立关系:

$$V_{loss} = \frac{\pi\left(R + \frac{g}{2}\right)^2 - \pi R^2}{\pi R^2} \times 100\% = \frac{4gR + g^2}{4R^2} \times 100\%。$$
 (5)

则在已知土体损失率的情况下,间隙参数  $g$  可以通过式(6)获得:

$$g = 2R(\sqrt{1 + V_{loss}} - 1)。$$
 (6)

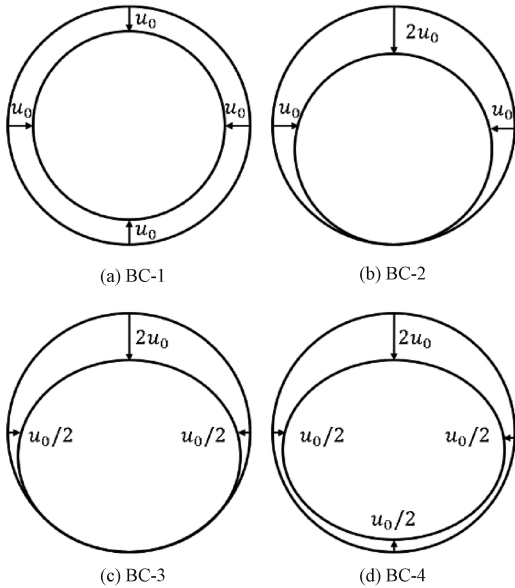


图 1 Park 的隧道收敛模式<sup>[14]</sup>

Figure 1 Tunnel convergence pattern of Park<sup>[14]</sup>

除了使用土体损失率计算得到外,间隙参数  $g$  也可以利用 Lee 等<sup>[18]</sup>提出的计算公式获得,如式(7)所示:

$$g = G_p + U_{3D}^* + \omega。$$
 (7)

式中: $G_p$ 为物理间隙,通常认为是开挖机具最大半径同隧道衬砌外径之差; $U_{3D}^*$ 为隧道开挖面的等效三维弹塑性变形; $\omega$ 为人工参数<sup>[13]</sup>。

Loganathan 等<sup>[17]</sup>的研究指出,在不排水情况下,采用土体损失和间隙参数的相互计算主要有两个优点:①可以考虑各种施工方法和隧道设备配置;②可以考虑土体的弹塑性质,因此本文选择采用土体损失来对间隙参数进行计算。

为了能将隧道收敛位移转化为可输入的数据,以隧道变形前的轮廓为基准建立如图 2 所示的笛卡尔坐标系(以 BC-2 为例),根据简单的几何关系,隧道边界各点在  $X$ 、 $Z$  方向的收敛位移可以分别利用下式得出:

$$u_x = u_r \cdot \cos\theta; \quad (8)$$

$$u_z = u_r \cdot \sin\theta。 \quad (9)$$

根据不同的隧道边界收敛位移公式,根据式(8)、(9)可分别获得开挖隧道边界各点在  $X$ 、 $Z$  方向的收敛位移,将该位移作为位移边界条件输入计算软件中对隧道周围土体位移进行计算,进而对上部既有隧道变形状况进行研究。

Cheng 等<sup>[12]</sup>已在 BC-2 的条件下使用位移控制方法对单隧道开挖引起的隧道周围土体位移和地表沉降进行了模拟,研究表明,在 BC-2 条件下,位移控制方法在单隧道开挖土体位移预测方面具

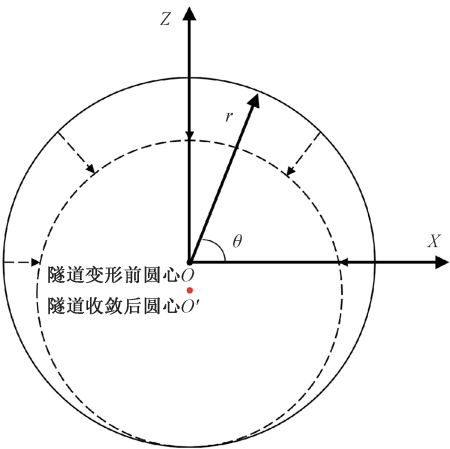


图 2 基于隧道变形前圆心建立的坐标系

Figure 2 Coordinate system based on the center of the tunnel before deformation

有良好的适用性,因此本文同样先采用 Park 非均匀收敛模型 BC-2 针对双隧道下穿的情况进行模拟以验证位移控制方法在双隧道应用中的合理性,然后对不同隧道收敛模式对地表沉降和既有隧道拱底变形的影响进行研究。

2 案例分析

2.1 计算模型

深圳地铁 9 号线梅村至上梅林隧道位于福田区,4 号线既有隧道外直径 6 m,周围的土层主要由填土,粉质黏土,砂质黏土和全风化、高度风化的混合岩组成,地层结构以及隧道相对位置如图 3 所示。

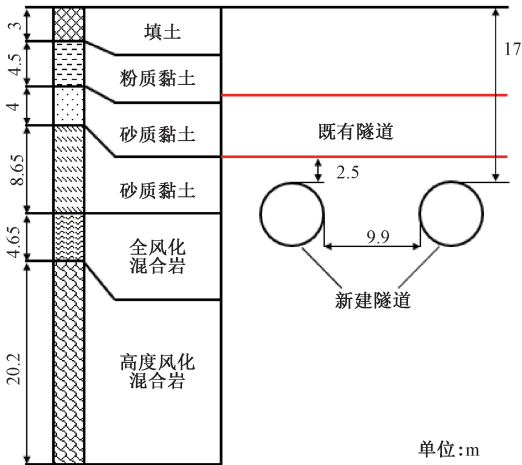


图 3 地层结构以及隧道相对位置<sup>[19]</sup>

Figure 3 Stratum and relative position of tunnels<sup>[19]</sup>

新建隧道埋深约 17 m,上半部为砂质黏土,下半部为全风化混合岩。隧道外直径均为 6.3 m,间距为 9.9 m,隧道间距大于 1.5D,因此认为相邻隧道的变形形式与土体损失关系较大,

而与各自变形形状关系较小,适用于 Park 收敛模式分析。新建隧道与深圳 4 号线既有隧道净距为 2.5 m,总土体损失率取 1.5%。分层土体物理力学参数见表 1,土体选用摩尔库伦本构模型。既有隧道衬砌参数见表 2,采用线弹性模型,计算模型见图 4。

表 1 分层土体物理力学参数<sup>[19]</sup>

Table 1 Physical and mechanical parameters of soil layers<sup>[19]</sup>

土层种类	土体密度/ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	弹性模 量/MPa	泊松比	内摩擦 角/( $^{\circ}$ )	粘聚 力/kPa
填土	1 989	2	0.3	12	10
粉质黏土	1 979	52.5	0.25	20	27
砂质黏土	1 897	77	0.25	26	21
砂质黏土	1 938	140	0.23	22.4	25.4
全风化 混合岩	1 999	227	0.2	25.4	29.8
高度风化 混合岩	2 020	385	0.18	25.4	45

表 2 既有隧道衬砌参数<sup>[19]</sup>

Table 2 Lining properties of existing tunnel<sup>[19]</sup>

管片厚度/mm	弹性模量/MPa	泊松比
350	$3.45\times10^4$	0.2

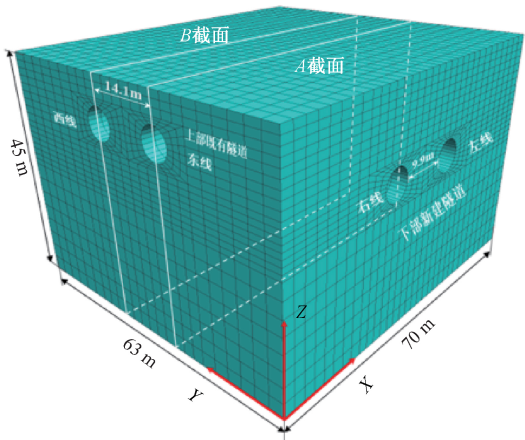


图 4 位移控制方法计算模型

Figure 4 Displacement controlled method computational model

模型在 X、Y、Z 方向上的尺寸分别为 70 m、63 m、45 m,共 39 936 个单元以及 41 386 个节点。位移边界设置:对模型的底面施加竖向约束,侧面施加水平向约束,模型顶面为自由面。

2.2 计算过程

(1)进行既有隧道的建模计算。包括既有隧道结构,如管片等的建立,然后对于土体进行参数赋值,进行初始平衡计算,以使土体形成自重应力场。

(2)利用土体损失计算新建隧道边界产生的收敛位移。在本案例中,下部新建隧道为平行、等直径的双隧道,同时其所处地层环境、开挖工况相似,因此为了简化计算,将新建隧道各取 0.75% 的土体损失率。将土体损失率代入式(6)中求得间隙参数  $g$ ,下方两隧道的  $g$  值均为 23.6 mm,然后针对 4 种不同的隧道收敛模式计算出各自隧道边界的位移。

(3)对新建隧道使用位移控制方法。根据步骤(2)中求出的两新建隧道边界各点收敛位移,对新建隧道边界进行位移控制,使下部两隧道逐步收敛到预定的收敛边界。为了使计算结果更加精确,通过 8 000 计算步将隧道逐步收敛至既定形状。

(4)计算结束,提取既有隧道拱底变形和地表变形。

2.3 地表沉降结果分析

图 5、图 6 给出了 A、B 两个典型截面(图 4)处的地表沉降量,其中 A、B 截面分别穿过两个既有隧道中线。数值模拟的结果与实测数据进行了比较,同时在图 5、图 6 中也给出了 Yin 等<sup>[19]</sup>使用力控制有限元法得出的 A、B 截面处的地表沉降曲线。实测与模拟结果显示,A、B 截面处地表沉降的最大值都出现在新建双隧道对称中心位置,其中 A、B 截面处实测的地表沉降最大值分别为 17.3 mm 和 15.5 mm。文献[19]采用力控制有限元法得出的地表沉降的最大值分别为 18.3 mm 和 19.0 mm,误差率分别为 5.78%和 22.58%;而采用本文方法得出的地表沉降最大值分别为 16.07 mm 和 16.07 mm,误差率分别为 7.11%和 3.68%。

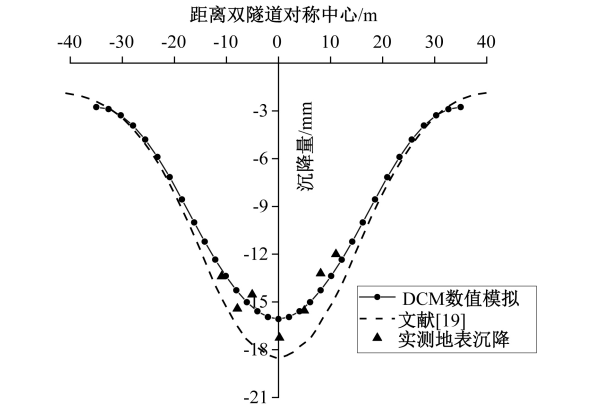


图 5 A 截面地表沉降数值模拟结果与实测对比  
Figure 5 Comparison of numerical simulation results and measuring data of surface settlement on cross section A

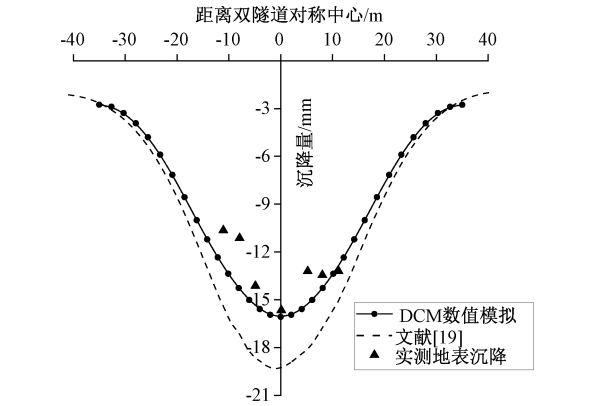


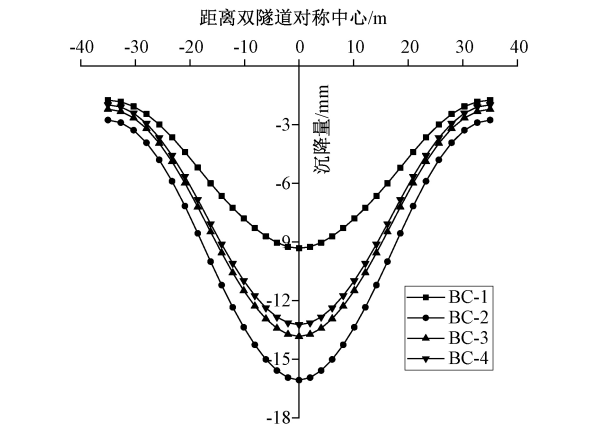
图 6 B 截面地表沉降数值模拟结果与实测对比  
Figure 6 Comparison of numerical simulation results and measuring data of surface settlement on cross section B

从图 5、图 6 中可以看出,使用力控制有限元数值模拟得出的地表最大沉降比实测数据大,同时其得出的沉降槽也比实测数据得到的“宽”;而使用 DCM 法对于沉降槽宽度的预测比力控制有限元法更“窄”,且更符合实际。使用位移控制方法得出的地表沉降槽更加接近实测数据。

从与实际数据和文献[19]的结果对比来看,本文所采用的方法能够更加准确地反映新建隧道开挖引起的土体位移关系,验证了使用位移控制方法在研究双隧道下穿问题时的合理性,可以采用该模型对其他变量进行进一步的研究。

2.4 基于 Park 的收敛模式的地表沉降对比分析

在既有数据条件下,针对 A、B 两个典型截面的地表沉降,进一步研究了双隧道开挖情况下 Park 不同收敛模式对地表沉降的影响,位移控制方法模拟结果如图 7(a)、7(b)所示。



(a) A 截面地表沉降槽

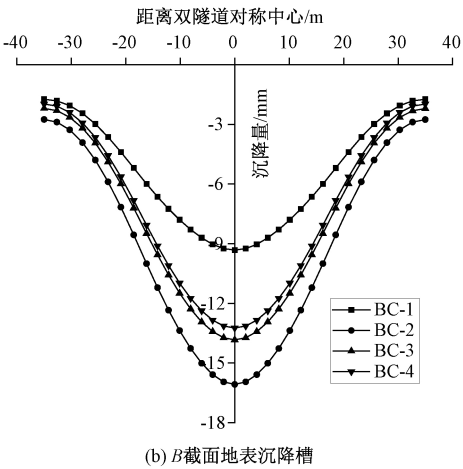


图7 Park收敛模式对地表沉降的影响  
Figure 7 Impact of Park convergence mode on ground settlement

从图7中可以看出,在左右线采取相同收敛模式、相同土体损失的情况下,相同收敛模式的既有隧道上方的地表沉降模拟结果基本相同,且呈现出正常的高斯曲线沉降模式。无论哪种收敛模式,沉降槽均在双隧道对称中心处取得了最大值,其中BC-2得到的地表沉降最大,使用BC-3和BC-4的收敛模式得出的地表沉降较为接近且都略小于BC-2。而使用BC-1的收敛模式得出的既有隧道拱底变形则明显小于其他3种收敛模式,其沉降槽宽度明显大于其他3种收敛模式。这是由于在4种隧道变形模式中,BC-1具有最大的拱底隆起变形,进而导致沉降槽变“宽”。

2.5 基于Park的收敛模式的既有隧道拱底变形对比分析

为了进一步研究新建双隧道开挖对既有隧道的影响,利用该模型对既有隧道拱底变形进行研究。由于新建隧道的右线先于左线穿过既有隧道,因此本文先对右线隧道使用位移控制算法。

按照Park的不同收敛模式,对右线隧道使用位移控制方法进行模拟,模拟结果如图8所示。从图中可以看出,BC-2收敛模式下得到的既有隧道拱底变形大于其他3种收敛模式,BC-3与BC-4的收敛模式得出的既有隧道拱底变形较为接近,BC-1的收敛模式得出的既有隧道拱底变形最小,且沉降槽宽度最大。

在双隧道同时开挖的情况下,使用Park不同的收敛模式得到的既有隧道拱底变形规律如图9所示。从图中可以看出,既有隧道的拱底变形不是规整的高斯曲线,在新建双隧道对称中心上方的拱底变形相比两侧的变形较小,而在两新建隧

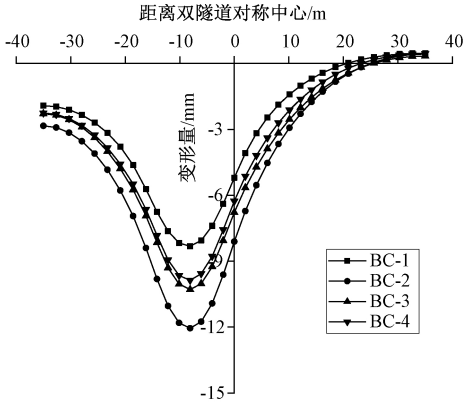


图8 单线开挖情况下Park收敛模式对既有隧道拱底纵向变形的影响  
Figure 8 Influence of Park convergence pattern on longitudinal deformation of arch bottom of existing tunnel under single tunnel excavation

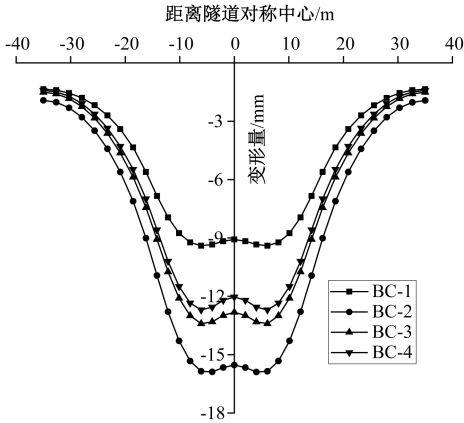


图9 双线开挖情况下Park收敛模式对既有隧道拱底纵向变形的影响  
Figure 9 Influence of Park convergence pattern on longitudinal deformation of arch bottom of existing tunnel under twin-tunnel excavation

道轴线上方附近达到最大,整体呈现一个“W”形。但BC-2依然取得了最大的拱底变形,BC-3与BC-4次之,BC-1最小。BC-3与BC-4的结果较为接近。

3 讨论

本文方法中的间隙参数 $g$ 值采用土体损失率计算得出,是目前使用较多的一种方法。其优点主要有:计算简便,快速高效;可以考虑各种施工方法和隧道设备配置;可以考虑土体的弹塑性性质。在以BC-1和BC-2为边界条件进行考虑时, $g$ 值的计算具有良好的数学意义,能够较为精确地描述该边界条件下 $g$ 值与土体损失的关系。

但这种方法同样存在一定的局限性:首先相较于Lee等<sup>[18]</sup>提供的 $g$ 值计算方法(式(7)),使用土体损失计算的 $g$ 值缺乏一定的物理意义;其

次,没有考虑到 BC-3 和 BC-4 特殊收敛形状对土体损失率的影响。为了简化计算,本文对 4 种收敛模式采用了相同的  $g$  值,从严谨的数学关系来看,此时 Park 的 4 个收敛模式所对应的实际土体损失值有较小的不同,大小关系为  $V_{BC-1} = V_{BC-2} > V_{BC-4} > V_{BC-3}$ 。

观察本文对于 4 种收敛模式的计算结果可以看出,无论是地表沉降还是既有隧道拱底变形都存在相同的特点:新建隧道的拱底变形量对结果会产生较大影响。当采用相同的  $g$  值时,计算 BC-1 和 BC-4 由于都考虑了新建隧道拱底的隆起,因此其最大沉降都低于其他两种收敛方式;同时比较 BC-3 和 BC-4 也不难看出,在收敛模式相似的情况下,考虑隧道拱底隆起的收敛模式将取得更小的地表沉降或既有隧道拱底变形。

4 结论

(1)本文所采用的计算方法简化了对隧道支护压力的复杂计算程序,仅需要计算间隙参数,更为简单、更容易控制,同时证明:采用 Park 收敛模式克服了力控制法计算造成的地层沉降槽较“宽”的缺点。

(2)Park 收敛模式中,BC-2 模式与实测结果最为接近,也最为简单,均匀收敛 BC-1 模式结果偏小。

(3)隧道正交下穿既有隧道导致的地表沉降与地层中既有隧道变形模式可能不同,当隧道间距一定时,地表沉降为高斯曲线,而隧道变形可能表现为“W”形。

(4)收敛模式相似的情况下,考虑隧道拱底隆起的收敛模式将取得更小的地表沉降或既有隧道拱底变形。

参考文献:

[1] 张洪锋.浅埋盾构隧道近接桩基础渗流应力耦合安全性分析[J].公路工程,2019,44(4):250-257.

[2] 郜新军,段鹏辉,王磊.基坑开挖对邻近管线变形影响及控制措施研究[J].郑州大学学报(工学版),2020,41(5):66-71.

[3] 杨友彬,裴利华,林东.综合管廊近接地铁线施工对既有隧道的影响研究[J].地下空间与工程学报,2019,15(增刊1):188-194.

[4] 李从安,李波,王志鹏,等.新建隧洞下穿既有隧道离心模型试验研究[J].中国水利水电科学研究院学报,2017,15(4):286-290.

[5] LIANG R Z.Simplified analytical method for evaluating the effects of overcrossing tunnelling on existing shield tunnels using the nonlinear Pasternak foundation model [J].Soils and foundations,2019,59(6):1711-1727.

[6] NG C W W, FONG K Y, LIU H L. The effects of existing horseshoe-shaped tunnel sizes on circular crossing tunnel interactions: three-dimensional numerical analyses [J].Tunnelling and underground space technology,2018,77:68-79.

[7] KAVVADAS M, LITSAS D, VAZAIOS I, et al. Development of a 3D finite element model for shield EPB tunnelling [J].Tunnelling and underground space technology,2017,65:22-34.

[8] PENG F L, WANG H L, TAN Y, et al. Field measurements and finite-element method simulation of a tunnel shaft constructed by pneumatic caisson method in Shanghai soft ground [J]. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering,2011,137(5):516-524.

[9] LECA E. Modelling and prediction for bored tunnels [C]//International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. London: ISSMGE, 1996:27-41.

[10] RAO D G. Modelling the variation of soil stiffness during sequential construction [D]. Cambridge: University of Cambridge,1996.

[11] STALLEBRASS S E, GRANT R J, TAYLOR R N. A finite element study of ground movements measured in centrifuge model tests of tunnels [C]//International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. London: ISSMGE, 1996: 595-600.

[12] CHENG C Y, DASARI G R, CHOW Y K, et al. Finite element analysis of tunnel-soil-pile interaction using displacement controlled model [J].Tunnelling and underground space technology,2007,22(4):450-466.

[13] 杜佐龙,黄茂松,李早.基于地层损失比的隧道开挖对临近群桩影响的 DCM 方法[J].岩土力学,2009,30(10):3043-3047.

[14] PARK K H. Elastic solution for tunneling-induced ground movements in clays [J].International journal of geomechanics,2004,4(4):310-318.

[15] 魏纲.盾构施工中土体损失引起的地面沉降预测 [J].岩土力学,2007,28(11):2375-2379.

[16] 魏纲.盾构隧道施工引起的土体损失率取值及分布研究 [J].岩土工程学报,2010,32(9):1354-1361.

[17] LOGANATHAN N, POULOS H G. Analytical prediction for tunneling-induced ground movements in clays [J]. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering,1998,124(9):846-856.

[ 18 ] LEE K M, ROWE R K, LO K Y. Subsidence owing to tunnelling. I. Estimating the gap parameter [ J ]. Canadian geotechnical journal, 1992, 29( 6 ) : 929–940.

excavation clearance of an under-crossing shield tunnel on existing shield tunnels [ J ]. Tunnelling and under-ground space technology, 2018, 78: 245–258.

[ 19 ] YIN M L, JIANG H, JIANG Y S, et al. Effect of the

Analysis of Existing Tunnels Deformation Induced by New Othogonal Tunneling  
Using Park Convergence Model

JIN Junwei<sup>1</sup>, FU Boyi<sup>1</sup>, CHEN Yunbin<sup>2</sup>, LIU Gangli<sup>3</sup>, LI Mingyu<sup>1</sup>

( 1.School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2.Shandong Zhengyuan Construction Engineering Co., Ltd., Jinan 250014, China; 3.China Railway 15th Bureau Group Urban Rail Transit Engineering Co., Ltd., Luoyang 471000, China)

**Abstract:** Due to the complexity of the traditional force controlled method in analyzing the deformation process of the ground and the existing tunnels caused by the orthogonal under-crossing of the tunnel, the displacement controlled method was adopted in this article to analyze the influence of tunnel excavation on the ground settlement and the longitudinal deformation of the arch bottom of the existing tunnels based on Park’s convergence model that described more realistic tunnel boundary deformation. Firstly, through the comparison of the measuring data with the calculation results of the method in this paper and the force controlled method, the feasibility of the displacement control method under newly built tunnels under-crossing existing tunnel was verified, and then the four tunnel convergence modes of Park were used as the boundary conditions on the new tunnel for further analysis. The comparison between the calculated results and the actual measurements showed that the results of the displacement control method for natural site settlement were very close to the measured data. The calculation results showed that, given the displacement of the tunnel vault  $g$ , there were certain differences in the shape and value of the ground settlement trough and the deformation of tunnel arch bottom caused by Park’s four convergence models. With the same soil loss and  $g$  value, the effects of convergence mode on surface settlement and the deformation of tunnel arch bottom were circular non-uniform convergence, elliptical convergence, elliptic non-uniform convergence, and uniform convergence in descending order. Among them, the effect of elliptical convergence and non-uniform convergence of ellipse was relatively close, while the uniform convergence and the actual measurements had the worst fitting effect. Surface settlement caused by tunnel construction and the deformation mode of existing tunnel was different, the surface settlement appeared as a Gaussian curve while the tunnel deformation may appear as a “W” shape when the distance between the tunnels was constant.

**Keywords:** tunnel excavation; displacement controlled method; numerical analysis; convergence model; existing tunnels