

双圆盾构(DOT)隧道的地表沉降分析

朱洪高¹ 郑宜枫² 杨 滨³

(1. 河海大学岩土工程研究所 , 江苏 南京 210098 ; 2. 上海隧道工程股份有限公司 , 上海 200020 ;
3. 上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院 , 上海 200240)

摘要 : 分析了双圆盾构隧道的特点以及地表沉降的影响因素和不同计算方法 . 测试分析表明 : 双圆盾构隧道与圆形盾构隧道相比 , 双圆盾构隧道具有占用地下空间小、隧道断面形式多样化、切削面平衡操作简单、掘削土量少等优点 ; 而隧道几何形状和埋深 , 土体性质的施工扰动 , 隧道衬砌的变形 , 盾构推进的平衡压力、姿态 , 同步注浆等是影响地表沉降的主要因素 ; 最后得出双圆盾构隧道地表沉降与圆形盾构隧道具有相同的机理 , 但沉降值较大 . 双圆盾构隧道地表沉降槽的形态可以用正态函数表示 , 但最大沉降并不一定产生在隧道中心点 .

关键词 : 双圆盾构 ; 隧道 ; 地表沉降 ; 地层损失

中图分类号 : U452 **文献标识码** : A **文章编号** : 1000-198X(2007)02-0191-06

双圆盾构(Double-O-Tube-Method , 简称 DOT) 属于 MF(Multi-circular Face) 盾构工法的一种 . 所谓 MF 工法是指以几只圆形盾构机的切削刀盘 , 前后错开 , 并使一部分重叠 , 构筑多圆形断面的隧道工法 . 对圆形进行各种组合 , 可以构筑多种断面的隧道 . 而双圆盾构工法是利用泥水加压盾构的切削器轮辐形状 , 将 2 个切削器用同一个平面内的齿轮装配成盾构机来筑造隧道的工法 . 邻接的切削器不产生接触冲突 , 相互之间按相反的方向旋转 , 进行同步控制 . 世界上第一条双圆盾构由日本石川岛播磨日立建机联合制造 , 应用于广岛的新交通系统 . 我国是目前世界上掌握双圆盾构隧道技术仅有的 2 个国家之一 , 上海轨道交通 M8 线是我国第一条双圆盾构隧道 .

周文波等^[1-2]对双圆盾构隧道地表沉降的现场实测结果进行了分析 , 发现双圆盾构隧道的地表沉降比单个圆形隧道大 , 影响范围也相应增大 . 宋博等^[3-4]用数值分析方法研究双圆盾构隧道地表沉降的特性 , 认为双圆盾构隧道与圆形盾构隧道地表沉降具有相同的机理 . 朱洪高等^[5]根据圆形盾构隧道的解析解 , 采用位移叠加方法分析了双圆盾构隧道地表沉降特性 , 得到了与现场实测结果相同的规律性结论 . 本文分析了双圆盾构隧道地表沉降的影响因素 , 对 4 类计算方法进行了比较分析 , 找出了双圆盾构隧道地表沉降的规律 .

1 双圆盾构隧道的特点

1.1 双圆盾构隧道特点

a. 开挖空间小 . 如图 1 所示 , 双圆盾构与同一个大的圆形隧道相比 , 横断面开挖面积减少了 30% , 高度降低了 32% , 宽度则增加了 18% , 衬砌量减少了 28% . 与 2 个中等大小的圆形隧道相比 , 横断面开挖面积减少了 24% , 宽度减少了 14% , 衬砌量减少了 28% ; 同时 , 与盾构相配套的竖井的施工深度和宽度都可以相应的减小 .

b. 隧道断面形式多样化 . 圆形断面可以进行左右、上下等任意组合 , 以选择最适合于周边状况和工程条件的隧道断面形状 .

c. 切削器平衡操作简单 . 由于切削器被配置在同一平面中 , 切削阻力的平衡与圆形盾构一样简单 , 因此双圆盾构机在姿态控制、开挖面的稳定以及对不同土质适应性等方面 , 可以采用与圆形盾构相同的处理方式 .

收稿日期 : 2006-06-20

基金项目 : 国家自然科学基金资助项目(40201024)

作者简介 : 朱洪高(1966—) , 男 , 江苏无锡人 , 高级工程师 , 博士研究生 , 主要从事双圆盾构隧道衬砌管片内力和变形及其周围土体的变形分析研究 .

d. 利用圆形结构的力学特性,双圆盾构隧道的几何形状是圆形隧道的组合,因此其结构受力是合理和稳定的.

1.2 双圆盾构在建造地铁区间隧道方面的优势

a. 线路走向的选择更加灵活,双圆区间比单圆双线区间地铁隧道总宽度小,对地下空间要求降低,便于线路选取;同时,可以缩小隧道施工期间对周边构筑物的影响.

b. 减小工程造价,加快工程进度 (a)双圆盾构隧道(有部分相割重叠)开挖总面积比 2 个圆形隧道开挖总面积小 (b)车站井的宽度减小 (c)双圆盾构隧道的周长小于 2 个圆形隧道的周长,故隧道衬砌的钢筋混凝土工程量以及盾尾注浆量有所减少 (d)区间隧道旁通道可取消,或改成其他简易方式 (e)与双圆盾构相配套的侧式车站的造价较岛式车站低廉 (f)盾构施工场地及施工队伍的数量以及盾构转场、吊运、拆装的次数大为减少.

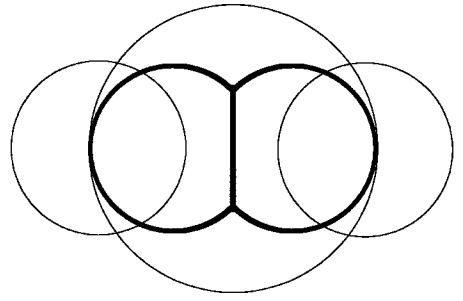


图 1 双圆隧道与单圆隧道断面比较

Fig.1 Comparison of cross-sections of DOT shield tunnel with circular shield tunnel

c. 双圆盾构隧道施工过程中避免了传统的 2 台盾构施工的相互影响,提高了隧道建设质量.

d. 幅条式刀盘的土压平衡双圆盾构的造价略低于 2 台相同圆形盾构的造价,且操作和控制性能与圆形土压平衡盾构相差不大.

2 双圆盾构隧道的地表沉降

2.1 双圆盾构地表沉降的影响因素

a. 隧道几何形状和埋深.隧道直径越大、曲线半径越小,盾构掘进过程中的超挖量就越大,地层损失就越大,沉降也越大,隧道埋深越大,地表沉降越小,影响范围更广.

b. 土体性质和施工扰动. $Peck^{[6]}$ 给出了盾构隧道沉降槽宽度系数 i 与土体内摩擦角 φ 及隧道埋深 z 之间的关系

$$i = z[\sqrt{2\pi}\tan(45^\circ - \varphi/2)]$$

式中: z ——隧道的埋深; φ ——土体的内摩擦角,成层土 φ 为各土层的加权平值.

c. 隧道衬砌变形.圆形盾构隧道衬砌的最大变形发生在圆顶的竖向位移和水平轴处的横向位移,双圆盾构隧道衬砌的最大变形产生在水平轴处的竖向位移和向外侧的水平位移,是由于双圆盾构法隧道衬砌具有中间立柱支撑,因此双圆盾构隧道的衬砌变形对地表沉降的影响可能比圆形盾构要小.

d. 盾构推进的平衡压力.盾构推进过程中的平衡压力从根本上改变了隧道周围土体的应力场分布,不仅会影响盾构掘进过程中的沉降,还会影响隧道后期沉降,是控制盾构掘进地表沉降的直接因素.根据平衡土压的大小,工作面的压力会处于 3 种状态:主动土压状态、静止土压状态、被动土压状态.理想情况应该保持为静止土压状态,此时理论上地表不会有隆沉,并且对前方和周围土体没有扰动.但是实践中往往使得平衡土压略大于静止土压,造成地表略微隆起,这样一方面可以防止地表沉降并抵消后期沉降,另一方面可以防止突发情况下盾构后退,克服工作面上过大的位移.平衡土压间接反映了盾构推进速度、出土速率等施工参数以及地表超载和土体状况的影响,因此,双圆盾构土压力的设定要根据两边螺旋机的出土速度进行调整.

e. 盾构推进的姿态.隧道设计轴线和双圆盾构机轴线存在较大的夹角时,盾构的实际开挖断面将超过设计的隧道断面,在盾构机周围产生多余的空洞或者局部的孔穴,这样不仅会加大地层损失,同时会加大对周围土体的扰动.

f. 同步注浆.盾构隧道同步注浆最主要的目的在于及时填充盾尾空隙,减少盾尾土体坍塌,从而控制地表沉降.一般而言,注浆量越多,填充效果越好,地表沉降应该越小.但实际工程中发现,如果注浆量大于某一值,注浆的效果就不太明显,且过大的注入体积会引起充分的浆体收缩,造成后期沉降的增大.实际注浆量一般取 1.4~2.0 倍的理论注浆量.双圆盾构隧道每环的注浆量为

$$Q = A\alpha L$$

式中: Q ——理论注浆量; A ——盾尾空隙的截面积; L ——千斤顶的行程; α ——注入速度.实际工程中注浆压力一般取 1.0~1.2 倍的上覆土压力.

2.2 双圆盾构隧道地表沉降计算方法

2.2.1 经验公式

Peck^[6]指出,地层损失是导致沉降槽出现的本质原因,地层损失是开挖土体体积和竣工隧道体积之差(竣工隧道的体积包括隧道外围包裹的压入浆体体积);在不考虑均质土体排水固结与蠕变的情况下,盾构推进后横向沉降槽的形态为一个似正态曲线,其分布曲线方程为

$$S(y) = S_{\max} \exp(-y^2/2i^2) \tag{1}$$

式中: $S(y)$ ——距开挖隧道中心线横向距离 y 处的地表沉降; $S_{\max}$ ——地表的最大沉降; i ——形状曲线反弯点横坐标(沉降槽宽度系数); y ——地表横向距隧道轴线的距离。

关于 i 的计算,不同文献给出了不同的经验公式,如:文献 7 给出的经验公式是

$$i/R = k(z/2R)^n$$

式中 k, n 是常数,黏土均取 1.0,砂分别取 0.63~0.82、0.36~0.97。文献 8 给出的经验公式是

$$i/R = (H/2R)^{0.8}$$

文献 9 给出的经验公式是

$$i/R = 1.15(H/2R)^{0.9}$$

Peck^[6]提出的地层损失的计算方法见表 1。Attewell^[7]提出的地层损失的计算公式为

$$V = i \sqrt{2AS_{\max}} \tag{2}$$

式中 A 为隧道开挖面积。Clough 等^[8]认为开挖面稳定系数和地层损失有关,并导出了塑性土层的地层损失与稳定比 C_u 之间的关系

$$V = 2V_0C_u \frac{1+\nu}{E_0} \exp(N_t - 1) \tag{3}$$

式中: ν ——泊松比; V_0 ——盾构理论排土量; N_t ——上层稳定比; E_0 ——土层弹性模量。

Attewell 等^[10]用统计分析方法得出了盾构隧道地层损失的扩散规律:沿隧道轴线向内松弛的地层损失向轴线上方及四周扩散,并随着地层扰动范围的扩大而减小,最后在地表形成一个倒弯顶的凹陷。对于横向地表沉降槽剖面,可以用正态概率曲线表示为

$$S(y) = \frac{V}{i \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{y^2}{2i^2}\right) \left[G\left(\frac{x-x_i}{i}\right) - G\left(\frac{x-x_f}{i}\right) \right] \tag{4}$$

式中: V ——盾构推进 1 m 引起的地层损失量; i ——沉降槽宽度系数; (x, y) ——地表相对于隧道中心线的坐标; x_i 和 x_f ——盾构推进起始点和盾构的位置; $G(x)$ ——误差函数。在距盾构掘进面 3 倍于隧道埋深的地方,盾构掘进面引起的地层损失可以忽略不计,此时该点横断面地表的沉降可以表述为

$$S(y) = \frac{V}{i \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{y^2}{2i^2}\right) \tag{5}$$

并且中心线上最大的地表沉降为 $S_{\max} = V/(\sqrt{2\pi} i)$ 。

2.2.2 随机介质理论

盾构隧道施工过程中土颗粒运动趋势很有规律,但很难将其视为简单的弹性体或弹塑性体。用经典力学的方法来分析单个土粒的运动状态,应用随机介质理论可以取得很好的效果^[11]。随机介质理论将隧道开挖看成无限的微小开挖,土体沉降被认为是无限微小开挖影响的叠加总和。

从统计观点可以将整个隧道开挖分解为无限多个无限小的开挖单元。隧道开挖对地表的影响,应等于整个开挖的许多无限小开挖单元对地表影响的总和。如果将长度、宽度和厚度均视为无限小的开挖,定义为单元开挖 $d\xi, d\zeta, d\eta$,在不排水固结的条件下,最终沉降槽的体积应等于土层损失的体积,故当开挖单元完全塌落时,其单元体积等于 $d\xi d\zeta d\eta$ 。以开挖单元中心为坐标原点,开挖单元完全塌落引起的地表沉降为^[10]

$$dS(x, y, z) = \frac{1}{r^2(z)} \exp\left[-\frac{\pi}{r^2(z)}(x^2 + y^2)\right] d\xi d\zeta d\eta \tag{6}$$

表 1 地层损失的计算方法^[6]

Table 1 Calculation method for stratum loss ^[6]		
地层损失类型	计算方法	地层损失率/%
盾构开挖面	$\pi R^2 h$	-2.0~2.0
沿盾壳	$2\pi Rl$	0.1~0.5
切口边缘	$0.1\pi R^2$	0.1
盾尾地下水位以下	$2\pi R(R-R_1)$	0~4.0
盾尾地下水位以上	$\pi R(R-R_1)$	0~2.0
曲线推进	$\pi R^2 l [\delta(R+R_c)]$	0.5~1.0
障碍物	Δ	0~0.5

注: R 为盾构外径; R_1 为隧道外径; l 为盾壳切口边缘后面凸起高度; h 为开挖面土体在盾构推进时单位长度向后的位移; l 为盾构的长度; R_c 为盾构推进的曲线半径; Δ 为盾构正面障碍物的凸出与盾构外围的面积。

垂直于隧道轴线断面上的地表沉降可以由 $d\zeta$ 的积分得到,即

$$dS(x) = \frac{\tan\beta}{\eta} \exp\left[-\frac{\pi \tan^2\beta}{\eta^2}(x-\xi)^2\right] d\xi d\eta \tag{7}$$
$$r(z) = z/\tan\beta$$

式中: $r(z)$ ——单元开挖在 z 方向上的主要影响半径; β ——隧道上部围岩的主要影响角,其值取决于开挖处的土层条件,可根据地质勘测资料选取,也可根据量测资料通过反分析方法计算得到。

假定要开挖的区域为 Ω ,则单元开挖采用坐标 ξ, ζ, η ,地表面采用 x, y, z ,竣工时隧道的断面为 ω .如图 2 所示,根据叠加原理,地表沉降应该是开挖范围 Ω 引起的沉降与竣工隧道断面 ω 引起的地表沉降之差:

$$S(x) = \iint_{\Omega-\omega} \frac{\tan\beta}{\eta} \exp\left[-\frac{\pi \tan^2\beta}{\eta^2}(x-\xi)^2\right] d\xi d\eta \tag{8}$$

从隧道单元开挖的影响函数方程可以看出,无论断面的形状如何,得到的曲线总是高斯曲线.随机介质理论不仅解释了 Peck 公式的机理,而且说明:单圆与双圆盾构在修建隧道时引起地表变形的机理相同,即从随机介质理论的角度来看,如果修建隧道所处的土质条件一样,那么两者的差别只在于由于开挖范围的差异而引起地表沉降槽的不同。

2.2.3 弹性解析解

Verruijt 等^[12]在考虑隧道均匀径向收缩产生地层损失的情况下,给出了弹性半空间中盾构隧道掘进引起的土体沉降公式

$$S(x) = -\epsilon R^2 \left(\frac{z_1}{r_1^2} + \frac{z_2}{r_2^2} \right) + \delta R^2 \left[\frac{z(kx^2 - z_1^2)}{r_1^4} + \frac{z(kx^2 - z_2^2)}{r_2^4} \right] + \frac{2\epsilon R^2}{m} \left[\frac{(m+1)z_2}{r_2^2} + \frac{mz(x^2 - z_2^2)}{r_2^4} \right] -$$
$$2\delta R h \left[\frac{x^2 - z_2^2}{r_2^4} + \frac{m}{m+1} \frac{2zz_2(3x^2 - z_2^2)}{r_2^6} \right] \tag{9}$$
$$z_1 = z - H \quad z_2 = z + H \quad r_1^2 = x^2 + z_1^2 \quad r_2^2 = x^2 + z_2^2 \quad m = 1/(1-2\nu) \quad k = \nu/(1-\nu)$$

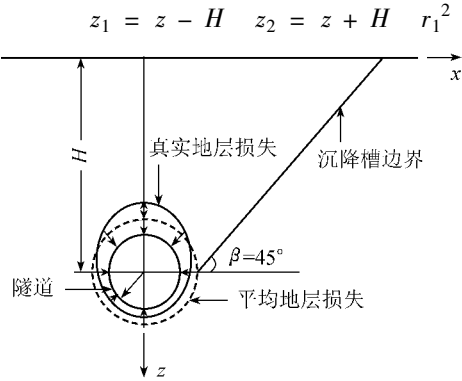


图 3 盾构隧道地层损失特性^[12]
Fig.3 Characteristics of stratum loss induced by shield tunnel

式中: ϵ ——均匀径向收缩引起的地层损失; δ ——衬砌压扁产生的地层损失; R, H ——隧道半径和埋深; ν ——泊松比。

Loganathan 等^[9]考虑到盾构隧道沉降和收缩的实际情况(图 3),得到地层损失的表达式为

$$\epsilon = -\frac{4gR + g^2}{4R^2} \exp\left\{-\left[\frac{1.38x^2}{(H+R)^2} + \frac{0.69z^2}{H^2}\right]\right\} \tag{10}$$

由式(9)和式(10)得到盾构隧道掘进引起的土体沉降为

$$S(x) = R^2 \left\{ -\frac{z-H}{x^2 + (z-H)^2} + (3-4\nu) \frac{z+H}{x^2 + (z+H)^2} - \right.$$
$$\left. \frac{2z[x^2 - (z+H)^2]}{[x^2 + (z+H)^2]^2} \right\} \frac{4gR + g^2}{4R^2} \cdot$$
$$\exp\left\{-\left[\frac{1.38x^2}{(H+R)^2} + \frac{0.69z^2}{H^2}\right]\right\} \tag{11}$$

Bobet 等^[13-14]在弹性半空间内导出了隧道施工引起的地表沉降,但没有考虑隧道压缩变形,只是认为地表沉降是由于隧道结构均匀收缩引起的,显然与事实不符. Park^[15-16]运用与 Bobet^[13]相同的 Airy 函数,得到土体的垂直位移为

$$S(x) = -\frac{3}{2E_u} \left\{ \frac{a_0}{r} \sin\theta + \frac{\gamma R^2}{2} [\ln(\sin^2\theta - \cos^2\theta) - \cos^2\theta] \right\} \tag{12}$$

式中 a_0 是常数。

双圆盾构隧道地表沉降的解析解可以由圆形隧道的解叠加得到^[5],如图 4 所示。

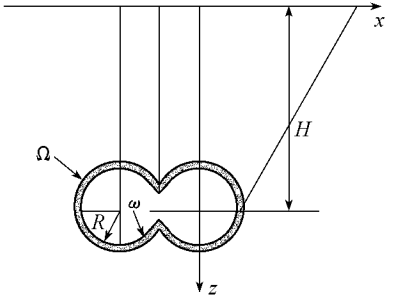


图 2 双圆盾构隧道开挖断面
Fig.2 Excavation cross-section of DOT shield tunnel

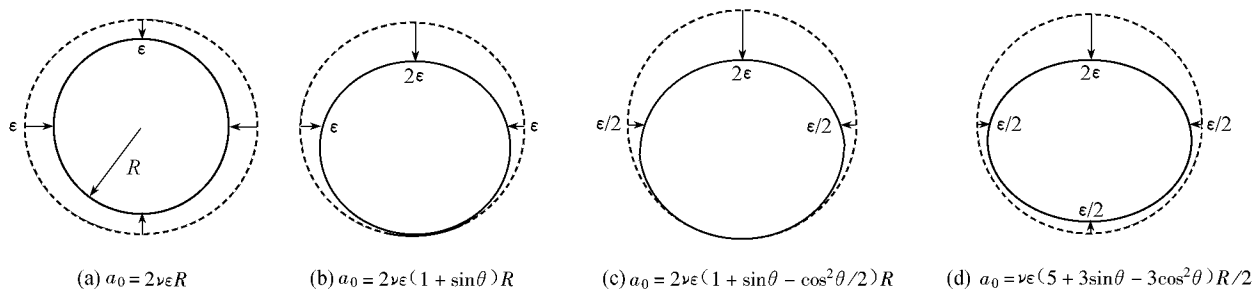


图 4 隧道变形特性^[15-16]

Fig.4 Characteristics of tunnel deformation

2.2.4 数值分析方法

宋博^[3]采用有限元法计算双圆盾构隧道的地表沉降特性,计算区域为:单边计算宽度为隧道半径外加 9D(对于横向三联双圆盾构,D 指其中一个圆的直径),下部区域取为 2.5D.上部边界采用齐次边界,认为左右两侧土体在水平方向位移被限制,但可以发生垂直位移,下部边界在 2 个方向上都被约束.采用四节点等参单元模拟双圆盾构隧道引起的地表沉降.有限元法计算结果表明(图 5)(a)双圆盾构隧道与圆形盾构隧道地表沉降槽的形态相同,基本均可用正态分布曲线表示(b)双圆盾构隧道与圆形盾构隧道地表沉降的影响范围大,最大沉降数值大.需要说明的是,双圆盾构隧道的地表最大沉降量发生在双圆隧道中心,这一点与实测结果不一致.鲁汉新^[4]采用 Anasys 软件分析了双圆盾构隧道地表沉降量,计算结果与实测结果相差较大,并且也存在文献[3]中的问题.有关双圆盾构隧道地表沉降的数值分析方法还处在探索中,相关的研究成果还不多见,目前一般采用 Abaqus 和 Flac3D 计算双圆盾构隧道的地表沉降量.

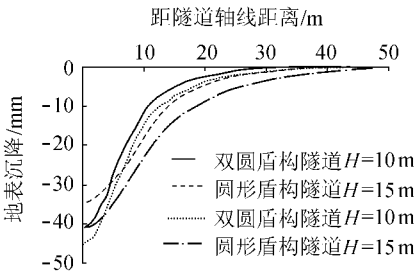


图 5 双圆盾构隧道地表沉降的有限元计算结果^[3]

Fig.5 Result of FEM for surface settlement induced by DOT shield tunnel

3 结 论

- a. 双圆盾构隧道与圆形盾构隧道相比具有很多优点.双圆盾构隧道地表沉降与圆形盾构隧道相比,地表沉降的原因机理相同,但沉降的数值比较大.
- b. 双圆盾构隧道地表沉降槽的形态可以用正态函数表示,但最大沉降并不一定产生在隧道中心点.
- c. 圆形盾构隧道地表沉降的计算方法同样可以用来计算双圆盾构隧道的地表沉降,将圆形盾构隧道的地表位移采用位移叠加方法就可以得到双圆盾构隧道的地表沉降.
- d. 双圆盾构隧道地表沉降的计算还需要进一步研究.在弹性解析解中,用地层损失一个参数来代替所有的影响因素值得商榷,目前有些隧道通过注浆可以将地层损失减小为 0,但地表沉降仍然有,有时还很大,无法用地层损失的概念来解释.双圆盾构隧道地表沉降的数值分析方法目前还不成熟.

参考文献:

[1] 周文波,顾春华.双圆盾构施工技术[J].现代隧道技术,2004,41(4):22-44.
[2] 周文波.双圆隧道施工对环境的影响[J].上海建设科技,2004(6):36-37.
[3] 宋博.双圆盾构隧道衬砌结构及施工技术[D].上海:同济大学,2003.
[4] 鲁汉新.双圆盾构法隧道地表沉降的预测及控制研究[D].上海:同济大学,2004.
[5] 朱洪高,郑宜枫,陈昊.双圆(DOT)盾构隧道引起土体位移的有限元分析[J].建筑科学与工程学报,2006(3):62-67.
[6] PECK R B. Deep excavations and tunneling in soft ground[C]//State of the Art Report Proc 7th Int Conf on Soil Mech and Found Engrg. Mexico: Mexico University Press, 1969: 225-290.
[7] ATTEWELL P B. Engineering contract site investigation and surface movements in tunneling work[G]//Soft Ground Tunneling-Failures and Displacements. Rotterdam: Balkema A A, 1981: 5-12.

- [8] CLOUGH G W , SCHMIDT B. Design and performance of excavations and tunnels in soft clay[G]//Soft Clay Engineering. Amsterdam : Elsevier ,1991 569-580.
- [9] LOGANATHAN N ,POULOS H G. Analytical prediction for tunneling-induced ground movement in clay[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ,1998 ,124(9) 846-856.
- [10] ATTEWELL E B ,SELBY A R. Soil movements induced by tunnelling and their effects on pipelines and structures[M]. London :Blackie & Son Ltd ,1986 352.
- [11] YANG J S ,LIU B C ,WANG M C. Modeling of tunneling-induced ground surface movements using stochastic medium theory[J]. Tunnelling and Underground Space Technology 2004 ,19 :113-123.
- [12] VE RRUIJT A ,BOOKER J R. Surface settlement due to deformation of a tunnel in an elastic half plan[J]. Geotechnique , 1996 46(4) : 753-756.
- [13] BOBET A. Analytical solutions for shallow tunnels in saturated ground[J]. Journal of Engineering Mechanics 2001 ,127(12) :1258-1266.
- [14] CHOU W I ,BOBET A. Predictions of ground deformation in shallow tunnels in clay[J]. Tunnelling and Underground Space Technology , 2002 ,17 3-19.
- [15] PARK K H. Elastic solution for tunnelling-induced ground movement in clay[J]. J of Geomech 2004 4(4) 310-318.
- [16] PARK K H. Analytical solution for tunnelling-induced ground movement in clays[J]. Tunnelling and Underground Space Technology , 2005 20(3-4) 249-264.

Analysis of surface settlement induced by DOT shield tunnel

ZHU Hong-gao¹ , ZHENG Yi-feng² , YANG Bin³

(1. *Geotechnical Research Institute of Hohai University , Nanjing 210098 , China ;*

2. *Shanghai Tunnel Engineering Co. , Ltd. , Shanghai 200020 , China ;*

3. *School of Naval Architecture , Ocean and Civil Engineering ,
Shanghai Jiao Tong University , Shanghai 200240 , China)*

Abstract :An analysis was made of the characteristics of DOT (double-o-tube) shield tunnels ,the influencing factors on the surface settlement and its calculation methods. Testing analysis shows that , as compared with the circular shield tunnel , the DOT shield tunnel is of some advantages , such as the low underground spatial occupancy , the diversification of tunnel cross-sections , the simple operation to ensure the balance of cutting faces , and the less soil excavation , and that the geometric shape and embedded depth of the shield tunnel , the construction interferences to soil property , the deformation of tunnel liners , the equilibrium pressure and form of the shield during the pushing process , and the synchronous grouting technique are the main factors influencing the surface settlement. Finally , it is concluded that the surface settlement induced by DOT shield tunnel is of the same mechanism with that by the circular shield tunnel , but the surface settlement induced by DOT shield tunnel is relatively large , and that the shape of settlement troughs induced by DOT shield tunnel can be expressed with the normal distribution function , but the maximum settlement does not always occur at the center of the tunnel.

Key words :DOT shield ; tunnel ; surface settlement ; stratum loss