

滨海软土地层机械法联络通道施工影响监测分析

梅清俊¹, 朱瑶宏^{1*}, 马永政², 吴彩霞¹

(1. 宁波大学 土木与环境工程学院, 浙江 宁波 315211; 2. 宁波工程学院 建筑与交通工程学院, 浙江 宁波 315016)

摘要: 机械法联络通道 T 接施工技术是一种施工软土地区地铁联络通道的新型工法, 具有全程机械化、施工周期短、可直接切削主隧道和洞口等优点. 以宁波地铁 3 号线某联络通道工程为研究对象, 通过监测分析研究新工法对周围地层、主隧道结构等的施工影响. 结果表明: 受交叉施工影响, 联络通道纵向靠近主隧道的地表沉降较大, 靠近联络通道中央影响较小; 横向中心位置地表沉降较大, 两侧影响较小; 主隧道结构沉降及隧道断面收敛变形较小; 顶推过程对周围地层影响明显, 但水平地面受影响较小, 表明地层总体沉降量小, 基本可控. 此外, 采用 peck 曲线和高斯曲线分别描述纵横向地面沉降的变化特征, 采用回归分析确定了沉降曲线参数, 与实际监测结果相比, 两者拟合良好.

关键词: 滨海软土; 联络通道; 盾构法; 监测; 回归分析

中图分类号: U455.43

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2021) 02-0073-07

地铁联络通道是主隧道之间的连接通道, 因其施工场地狭小, 采取安全措施难度大, 往往对施工工艺要求较高. 以施工开挖机械化程度为标准, 可将联络通道施工方法分为机械法和非机械法两大类. 非机械法施工技术即借助矿山法或管棚法进行开挖, 对于软土地层往往需要预加固处理, 加固措施包括冻结法、深层搅拌法以及高压旋喷法等^[1]. 以浙江滨海地区为例, 软土地层具有抗剪强度低、压缩性高、灵敏度高、含水量高等特点, 冻结法应用广泛^[2], 但冻结法在施工过程中的实际效果受多种因素制约, 如冻结管接头断裂、钻头逆止阀失效等, 从而造成冻结壁融化、冻土强度降低, 影响施工进度. 机械法施工目前主要包括盾构法和顶管法, 一般需要在主隧道连接旁通道处预留洞门, 便于机械法施工^[3]. 近年来, 以“微加固、可切削、严密封、强支护”为主要特征的机械法联络通道 T 接施工技术应运而生, 该方法具有施工快速、成本低、安全性高、环境影响小等优点^[4]. 由于 T 接施工是直接切削主隧道衬砌壁, 施工效率大

幅提高, 已视为一种全机械的施工技术.

盾构隧道施工会对周围地层产生扰动影响^[5]. 联络通道施工不仅对周围地层有影响, 而且对主隧道会产生一定的安全隐患, 即在已被扰动土体上产生二次扰动. 有关这方面的研究颇丰, 如李宁等^[6]、赵建平^[7]、光辉等^[8]通过对冻结法施工联络通道的监测分析, 研究了隧道及地表沉降规律, 探讨其对主隧道的影响; 杨勇勇^[9]通过对杭州地铁 1 号线某区间隧道的联络通道冻结法施工理论分析和数值模拟, 研究了地表沉降和主隧道位移的影响; 牛俊涛^[10]通过数值分析研究了天津地铁 6 号线某区间联络通道冻结法施工对上方铁路的影响, 结果表明联络通道正上方地表沉降最大. 上述研究主要针对冻结法加矿山法, 目前针对机械法施工影响的研究较为鲜见. 尽管宁波等地在地铁联络通道工程建设中已实施了多条全机械盾构法或顶管法施工, 但目前仍缺少这类方法对相关施工影响的研究报道^[11].

本文通过监测和统计分析, 探究联络通道机

收稿日期: 2020-06-16.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal.g.nbu.edu.cn/>

基金项目: 浙江省基础公益研究计划项目 (LGF19E080004).

第一作者: 梅清俊 (1995 -), 男, 浙江宁波人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 隧道地下结构设计与施工安全. E-mail: 1589554168@qq.com

*通信作者: 朱瑶宏 (1960 -), 男, 浙江宁波人, 教授级高级工程师, 主要研究方向: 地下空间与轨道交通. E-mail: zhuyaohong@nbu.edu.cn

械法 T 接施工对主隧道及周边软土地基位移变形的影响规律, 以期为类似联络通道施工提供参考。

1 工程背景

1.1 工程概况

以宁波 3 号线一期工程儿童公园站至樱花公园站区间联络通道为研究对象, 施工区域的土层特性见表 1, 其中固结快剪中 C 为黏聚力, ϕ 为内摩擦角。隧道中心埋深 18.7 m, 区间间距 17 m。该联络通道位于中兴路下方, 东侧为华宏国际中心(6 层砼房、30 层砼房等), 水平最小距离 25.02 m; 西侧为崇光大厦(3 层砼房), 水平距离 49.24 m。

联络通道管片内径 2 650 mm, 厚度 250 mm, 外径 3 150 mm。衬砌环间采用错缝拼装, 环宽 0.55 m, 楔形量 8.7 mm。主隧道外径 6 200 mm, 联络通道处采用 6 块(3 环)钢混特殊管片, 环宽均为 1 500 mm, 不设楔形量, 采用通缝拼装。

1.2 施工方案与进度

该联络通道采用全机械盾构法施工, 施工步骤为: (1)完成台车运输掘进机设备, 安置反力架等施工前准备; (2)采用套筒法始发, 掘进机主机与始发套筒间存在 65 mm 间隙, 主机进洞后联络通道管片与套筒间间隔 135 mm, 采用 3 道钢丝刷和盾尾油脂进行密封; (3)通过掘进机顶推切削特殊管片混凝土完成出洞, 并在洞门接口处施做钢结构(尾处也按钢结构设计和施做); (4)洞门接口处需要进行特殊设计以保证接口处无渗水通道, 并采取注浆措施进行洞门封堵; (5)开始正环推进、拼装预制管片结构, 同时在盾尾注浆, 一共推进 22 环; (6)待撤离掘进机后, 施做洞门接口, 安装防火门。

监测施工步骤为: S-1 阶段, 盾构机下井运输

至始发位置, 内支撑系统运送至指定位置并施加预顶力, 调整盾构机进入始发姿态, 各部位准备工作就绪; S-2 阶段, 处始发掘进状态, 盾构机刀盘切削管片, 同时进行封堵施工防止刀尖磨穿管片时因外部水土荷载而引起侧漏; S-3 阶段, 盾构机刀盘磨穿管片进入土层, 并继续向前推进; S-4 阶段, 掘进隧道前段, 刀盘进入土层, 开始掘进, 同时通过管片预留的注浆孔, 注入水泥-水玻璃浆液; S-5 阶段, 盾构机掘进至联络通道中段; S-6 阶段, 盾构机掘进至联络通道后半段, 同时进行壁后注浆; S-7 阶段, 接收端各部位准备就绪, 接收套筒安装完成, 内支撑体系施加预顶力, 盾构机到达预定位置进行接收; S-8 阶段, 联络通道完成, 清理收尾。

1.3 监测方案

1.3.1 地面沉降及土层水平位移监测

地表隆沉监测点布置如图 1 所示。以联络通道为中心, 正上方地面投影外侧两边 20 m 内布置 4 条沉降断面, 断面间距为 6 m(5 环), 测点间距分别为 4 m(2 环)、4.8 m(4 环)、6.0 m(5 环)、7.2 m(6 环)。编号按 XD(SD)+环号+测点号编制。另布置土体水平位移监测点 CX 在联络通道中心线上, 距离主隧道右行线 7 m。

地面深层沉降监测点布置时须穿透路面结构硬壳层, 沉降标杆采用 $\Phi 25$ mm 螺纹钢标杆, 螺纹钢标杆应深入原状土 60 cm 以上, 沉降标杆外侧采用内径大于 13 cm 的金属套管保护。保护套管内的螺纹钢标杆间隙须用黄砂回填。金属套管顶部设置管盖, 管盖安装须稳固, 与原地面齐平。为确保测量精度, 螺纹钢标杆顶部应在管盖下 20 cm 为宜。轴线监测点、进出洞剖面监测点宜采用这种方式埋设, 然后采用水准仪测量。水平位移监测采用数字

表 1 土体工程特性参数

层号	名称	厚度/ m	含水 率/%	孔隙 比	塑性指 数/%	液性 指数	天然重度/ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	固结快剪		压缩模 量/MPa
								C/kPa	$\phi/(\circ)$	
① ₁	杂填土	1.86	29.37	0.82	16.40	0.52	19.37	47.20	15.12	4.82
① ₂	黏土	1.05	32.71	0.92	18.72	1.27	18.20	15.11	12.17	3.63
① ₃	淤泥质黏土	5.22	37.53	0.97	19.43	1.49	17.11	10.73	10.14	2.35
② _{2T}	淤泥	4.04	39.68	1.04	19.95	1.60	16.42	7.60	8.65	1.99
② ₂	淤泥质黏土	4.18	37.21	0.97	18.42	1.39	17.10	11.65	11.21	2.34
③ ₂	粉质黏土	4.16	34.60	0.89	16.63	0.87	18.30	16.80	18.83	4.47
⑤ ₁	黏土	1.51	25.23	0.64	14.21	0.42	18.91	33.21	13.86	6.24

测斜仪监测。

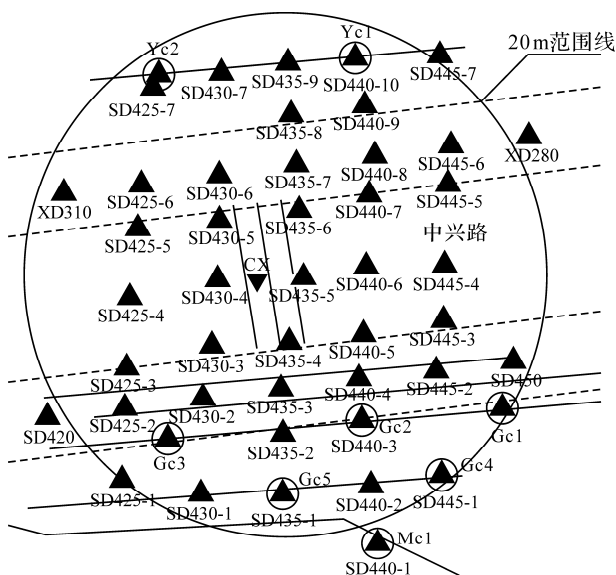


图1 地面监测点布置

1.3.2 隧道结构变形位移监测

主要包括主隧道拱底沉降和隧道断面收敛变形, 分别在联络通道两侧主隧道拱底各 50 m (42 环) 范围内布设 25 个监测点, 按每 6 m (5 环) 布置 1 个拱底沉降监测点, 在两侧主隧道各 10 环内按每 3 m 加密 1 个拱底沉降监测点, 点号按测点记号+环号编制。另外在联络通道两侧主隧道各 50 m (42 环)

范围内布设 11 个水平收敛监测断面, 按每 12 m (10 环) 布置 1 个监测断面, 如图 2 所示。

2 监测结果分析

2.1 联络通道纵向与横向地表沉降

首先分析联络通道施工推进过程中纵向地表沉降。以联络通道正上方的一组测点(SD435-1~SD435-9)和联络通道左上方的一组测点(SD430-1~SD430-7)为纵向地表沉降的 2 条监测断面, 地表沉降监测结果如图 3 所示。从图 3 可知, 靠近主隧道右行线的沉降相对比靠近主隧道左行线的沉降小, 反映了小盾构机顶推过程对前方土体有一定程度的隆起影响, 但总体影响不大。在联络通道 S-2 阶段, 地层有少量沉降, 在 S-3 阶段地层有较明显的下沉。但随后的注浆能明显抑制这种较大幅度的沉降, 使沉降趋于稳定。中间的突起可能是两边主隧道经开挖扰动后土体的二次沉降大于中间的沉降量。在 S-7 和 S-8 阶段, 开挖完成后浆液固结, 压力消散, 因此地层又会有少许沉降, 其沉降量在 2 mm 以内。总体上, 纵向地表沉降在 4 mm 以内。

为分析联络通道施工推进过程中横向地表沉降, 以垂直联络通道方向的一组测点(SD425-4、SD430-4、SD435-5、SD440-6、SD445-4)为横向中

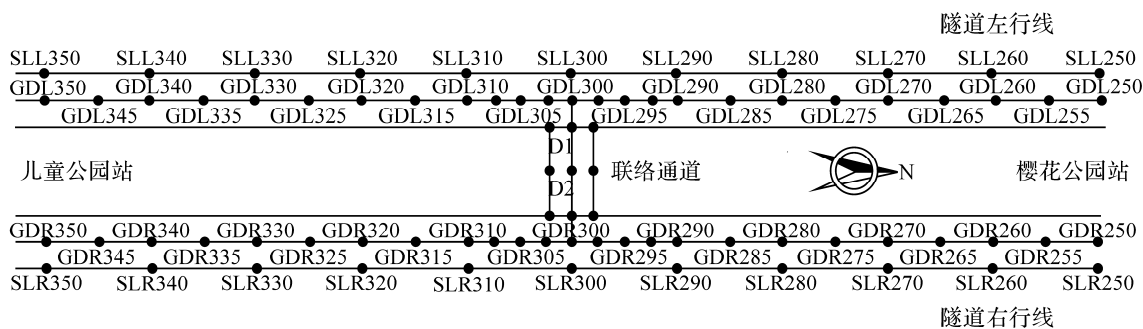


图2 隧道内监测点平面布置

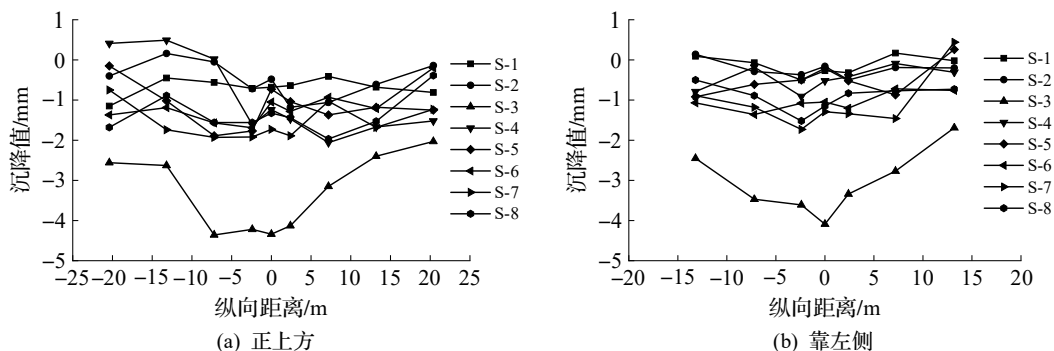


图3 纵向地表沉降

心线的地表沉降监测断面 H-1, 以右行线主隧道方向的一组测点(SD420、SD425-2、SD430-2、SD435-3、SD440-4、SD445-2、SD450)为下侧横向地表沉降的监测断面 H-2; 以左行线主隧道方向的一组测点(XD310、SD425-6、SD430-6、SD435-7、SD440-8、SD445-6、XD380)为上侧横向地表沉降的监测断面 H-3, 3 个断面地表沉降的监测结果如图 4 所示。

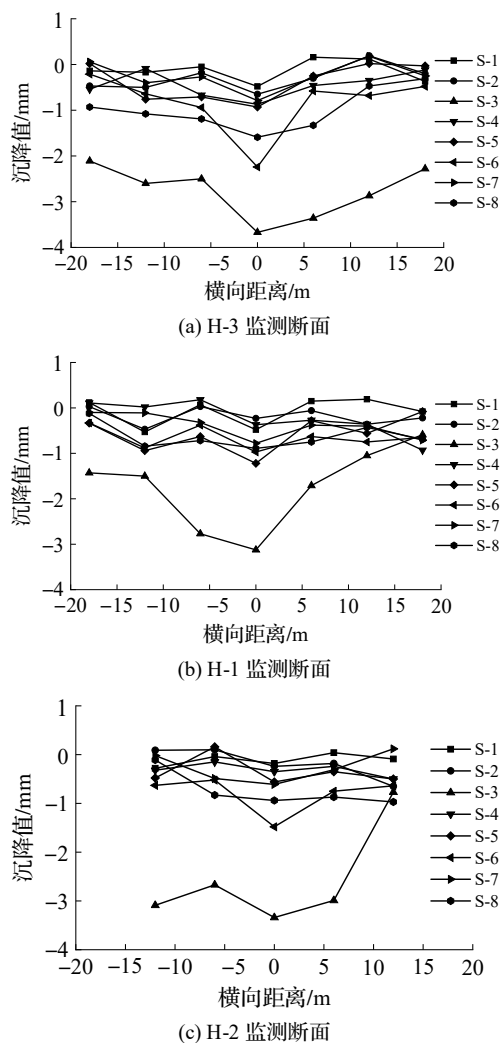


图 4 横向地表沉降

从图 4 可知, 3 个监测断面的沉降曲线存在相似规律, 随着联络通道的开挖, 沉降不断增大, 在 S-3 阶段切削土体时有明显的沉降, 但随后的注浆又能在一定程度上阻止沉降, 其中联络通道正上方的 SD435-5 测点沉降最为明显。在 S-7、S-8 阶段, 开挖完成后浆液固结, 压力消散地层又会有少量的沉降, 沉降量在 1 mm 以内。横向地表总体沉降

在 1.5 mm 以内。图 4 沉降曲线表明, 联络通道施工对其正上方影响最大, 影响幅度随着与联络通道距离增大而减小。

2.2 周围土体水平位移

联络通道横向土体水平位移如图 5 所示。从图 5 可以看出, 在联络通道施工过程中, 土体受盾构机挤压向两边移动, 在盾构机附近土体的横向移动幅度最大可达 23 mm, 总体横向移动幅度不超过 25 mm。

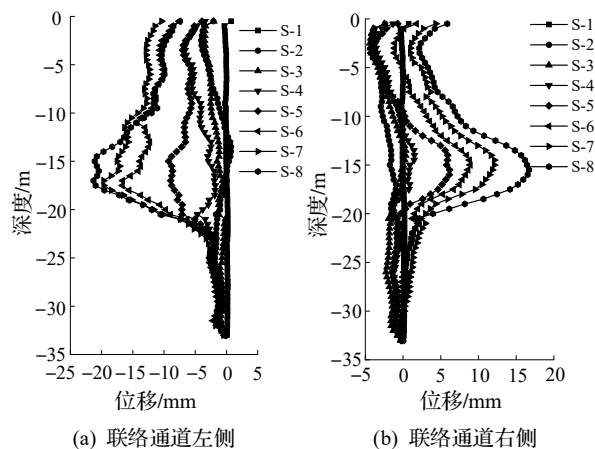


图 5 土体横向水平位移

图 6 为联络通道周围土体的纵向水平位移。从图 6 可知, 在联络通道施工中, 土体沿着盾构推进方向移动, 在盾构机附近土体的纵向位移最大幅度可达 25 mm, 总体位移不超过 25 mm。同时可知, 在机械法联络通道的施工中对深度超过 25 m 以下土体的扰动不明显。

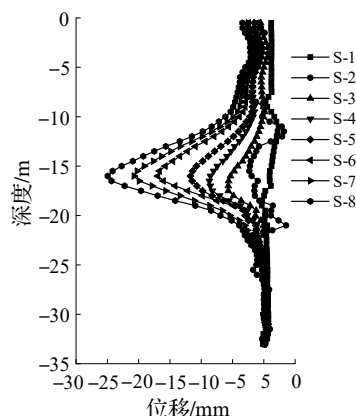


图 6 土体纵向水平位移

2.3 沉降变化

以左行线主隧道为例, 测得拱底沉降如图 7 所示。从图 7 可知, 联络通道开挖环主隧道附近出现

明显沉降, 而远离联络通道开挖段靠近樱花公园站的主隧道有隆升趋势, 隆升幅度在 2.5 mm 以内。总体上, 主隧道沉降幅度不超过 2 mm, 其原因可能为盾构掘进过程中推力过大, 抑或一次衬砌时注浆压力过大。

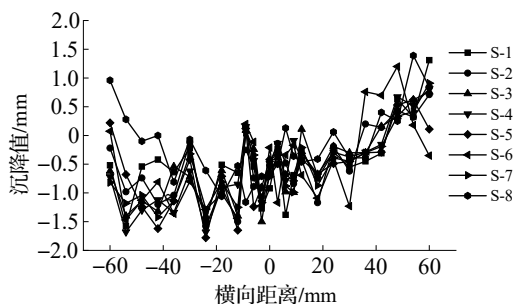


图7 主隧道左行线拱底沉降

2.4 收敛变化

主隧道左行线的净空收敛曲线如图8所示。从图8可看出: 离联络通道 T 接位置越近, 主隧道净空收敛值相对越大, 受影响越明显, 但总体上联络通道开挖贯通对已有主隧道收敛变形影响较小, 一般在-1.5~2.5 mm 以内。右行线结果类似。

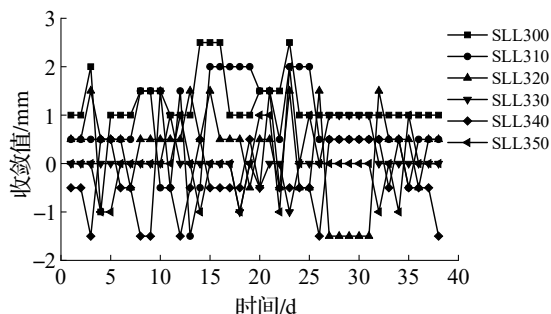


图8 左行线隧道管片收敛值

3 地表沉降规律统计分析

3.1 横向地表沉降分析

联络通道施工过程中, 横向地表沉降体现“沉降槽”特征(图4), 参照地表沉降分布的经典 peck 公式^[12]:

$$S(x) = S_{\max} e^{(-x^2/(2k^2))}, \quad (1)$$

$$S_{\max} = V_i / \sqrt{2\pi k} \approx V_i / (2.5k), \quad (2)$$

式中: $S(x)$ 为隧道中心 x 处的地表沉降, mm; $S_{\max}$ 为隧道中心处沉降量的最大值, mm; x 为距隧道中心的水平距离, m; V_i 为隧道单位长度上的地层损失, $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$; k 为沉降槽的宽度系数, m。

式(1)和(2)中假定隧道开挖所形成的地面沉降槽的体积等于土体地层损失的体积, 用正态分布曲线描述横向地表沉降特征, 可将式(1)化为如下对数形式:

$$\ln S(x) = \ln S_{\max} + (1/k^2)(-x^2/2), \quad (3)$$

进一步令 $\hat{y} = \ln S(x)$, $\hat{a} = \ln S_{\max}$, $\hat{b} = 1/k^2$, 得:

$$\hat{y} = \hat{a} + \hat{b}(-x^2/2), \quad (4)$$

系数 $\hat{a}$ 和 $\hat{b}$ 回归分析计算变换过程为:

$$\hat{b} = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}, \quad \hat{a} = \overline{\ln S(x_i)} - \hat{b} \overline{(-x^2/2)}, \quad (5)$$

$$S_{xy} = \sum \left((-x^2/2) \ln S(x_i) \right) - (1/n) \sum (-x^2/2) \sum \ln S(x_i), \quad (6)$$

$$S_{xx} = \sum (-x_i^2/2)^2 - (1/n) \left(\sum x_i^2/2 \right)^2, \quad (7)$$

$$S_{yy} = \sum \ln^2 S(x_i) - (1/n) \left(\sum \ln S(x_i) \right)^2, \quad (8)$$

式中: x_i 为第 i 个监测点距离隧道轴线的距离; n 为所有监测点的个数。

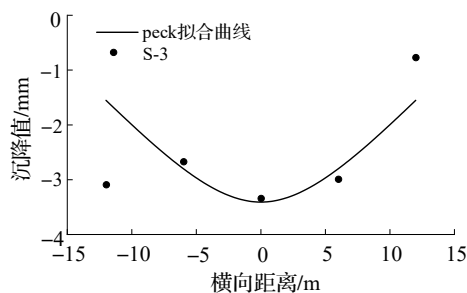
选取联络通道 3 个监测断面 H-1、H-2、H-3, 根据上述方法进行回归分析, 其中断面 H-1 的沉降结果见表 2。可得对数形式的 peck 曲线方程为:

$$\ln S(x) = 1.23 + 0.011(-x^2/2), \quad (9)$$

同样可得 H-2 断面和 H-3 断面的回归参数 $\hat{a}$ 和 $\hat{b}$ 分别为 1.18、0.002 和 0.91、0.007。以 S-3 阶段为例, 图9给出了拟合后的 peck 曲线与实测数据点的对比结果。

表2 H-1 断面的沉降结果

样本点	x/m	$S(x)/\text{mm}$	$-x^2/2$	$\ln S(x)$
1	-12	3.09	-72	1.13
2	-6	2.67	-18	0.98
3	0	3.34	0	1.21
4	6	2.99	-18	1.10
5	12	0.77	-72	-0.26



(a) H-3 断面

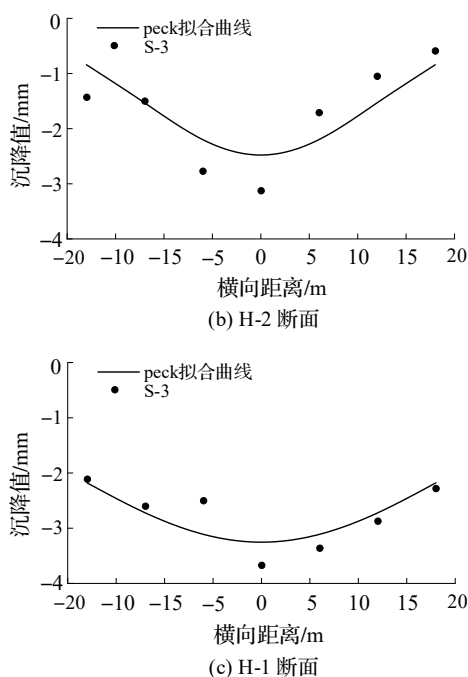


图9 拟合后 peck 曲线与实测数据对比

3.2 纵向地表沉降分析

从图3的纵断面沉降可看出,机械法联络通道开挖引起的地面纵向沉降有别于普通盾构开挖,在机械法联络通道开挖过程中由于存在两端主隧道,所以两端的沉降较少,实测曲线呈现凹槽形状,这一纵向沉降现象目前尚无文献报道。由于沉降槽近似正态分布,因此本文采用高斯模型结合实测数据得到拟合经验公式,并用其估算地表纵向沉降,高斯经验公式为:

$$S = A \exp\left(-\frac{(x/B)^2}{2}\right), \quad (10)$$

式中: S 为联络通道上方地表沉降, mm; x 为距联络通道的纵向水平距离, m; A 、 B 为常数系数。

对式(10)取对数,其形式可变为:

$$y = a + bt, \quad (11)$$

其中: $y = \ln S$, $a = \ln A$, $b = -1/B^2$, $t = x^2$ 。

根据样本残差平方和取极值,可推得上述系数的统计解为:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}, \quad (12)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{t}, \quad (13)$$

其中: $\bar{t} = \sum_{i=1}^n t_i / n$, $\bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i / n$ 。

为检验回归分析得到的经验公式与实测数据的线性相关程度,设线性相关系数 r 为:

$$r = \sqrt{b^2 \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2 / \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (14)$$

式中: r 越接近 1, 表示线性相关程度越高; 当 $r = 0$ 时, 表示线性不相关。

在多数现场监测中, 当 $r > 0.8$ 时认为该经验公式可靠。

选取联络通道正上方的纵向中心线(对应测点组(SD435-1~SD435-9))地面沉降数据作为研究对象, 根据上述方法进行线性回归分析, 结果见表3。

表3 纵断面沉降数据回归分析结果

测点	x/m	$S(x)/mm$	$-x^2/2$	$\ln(-S)$
1	-20.4	-2.56	416.16	0.94
2	-13.2	-2.63	174.24	0.97
3	-7.2	-4.36	51.84	1.47
4	-2.4	-4.22	5.76	1.44
5	0.0	-4.34	0.00	1.47
6	2.4	-4.13	5.76	1.42
7	7.2	-3.15	51.84	1.15
8	13.2	-2.40	174.24	0.88
9	20.4	-2.03	416.16	0.71

通过计算, 可得纵断面的线性回归方程为:

$$y = 1.38 - 0.0015t, \quad (15)$$

临界值 $r = 0.86 > 0.8$ 。

从拟合后经验公式曲线与实测数据对比结果(图10)可知, 二者吻合度较高, 表明经验公式可靠。

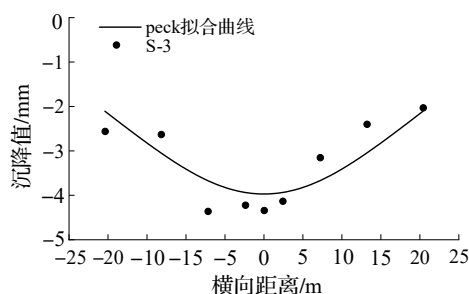


图10 纵断面拟合后经验公式曲线与实测值对比

4 结论

(1)机械法切削掘进施工过程对地表纵横方向沉降影响可控, 最大沉降值为 3~4 mm。纵向靠近主隧道地表沉降明显, 联络通道中心土体受交叉扰动小, 沉降较小; 横向中线位置沉降大两侧小。注浆措施对控制施工过程中的地表沉降效果明显。(2)施工对既有主隧道的收敛变形影响较小, 一般

在-1.5~2.5 mm 之间, 对隧道水平向几乎无影响。(3)盾构机推进过程中同等埋深附近受扰动土层纵向水平位移明显, 幅度在 23~25 mm 之间, 但对顶部土层及 25 m 深度以下土体无明显影响。(4)施工中联络通道横向地表沉降槽可用 peck 曲线拟合, 基于回归分析确定了曲线参数。同样, 采用高斯模型曲线可描述纵向地表沉降特征并确定其参数。该方法可用于类似联络通道施工影响的预测。

参考文献:

- [1] 王宁, 谢益民. 地铁联络通道在软土地基中土体加固方法浅析[J]. 隧道建设, 2007, 27(S2):513-517.
- [2] 陈朝晖. 地铁旁通道冻结法施工常见安全问题的应急处理[J]. 岩土工程界, 2007(10):56-59.
- [3] 陈裕康, 何立军. 地铁联络通道顶管法施工技术及其分析[J]. 岩土工程界, 2007(12):48-51.
- [4] 朱瑶宏, 董子博, 尹铁锋, 等. 地下空间联络通道微加固机械法 T 接技术探索[C]//中国土木工程学会 2017 年学术年会论文集. 上海, 2017:138-147.
- [5] 唐少帅, 洪勇, 李苍松, 等. 考虑流固耦合的富水软土盾构施工地表沉降分析[J]. 青岛理工大学学报, 2020, 41(1):21-27.
- [6] 李宁, 王胜利, 邵钢. 冻结法施工地铁旁通道引起的隧道及地表沉降规律研究[J]. 现代隧道技术, 2010, 47(1):41-44.
- [7] 赵建平. 联络通道施工对隧道的影响分析[J]. 低温建筑技术, 2013, 35(4):115-117.
- [8] 光辉, 高燕, 胡俊. 软土地区某隧道联络通道施工地表沉降监测分析[J]. 公路工程, 2017, 42(3):95-97; 179.
- [9] 杨勇勇. 隧道联络通道开挖对地表沉降和隧道位移的影响研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [10] 牛俊涛. 软土地区盾构区间联络通道施工对上方铁路影响[J]. 天津建设科技, 2019, 29(2):47-49.
- [11] 孙龙飞, 陈振雷, 李坚成. 盾构法开挖地铁联络通道对地表沉降的影响研究[J]. 岩土工程技术, 2019, 33(4):197-201; 213.
- [12] Peck R B. Deep excavation and tunneling in soft ground [C]//Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Mexico, Mexico City, 1969:225-290.

Monitoring and analysis of the influence of mechanical connecting passage construction in coastal soft soil layer

MEI Qingjun¹, ZHU Yaohong^{1*}, MA Yongzheng², WU Caixia¹

(1.School of Civil and Environmental Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.School of Architecture and Traffic Engineering, Ningbo University of Technology, Ningbo 315016, China)

Abstract: The T-connection construction technology of mechanical connection passage is a new method for constructing subway connection passage in soft soil area. It has the advantages of short mechanization cycle, direct cutting of the main tunnel, and only requiring micro-reinforcement at the entrance of the tunnel. By taking a connecting passage project of Ningbo Metro Line 3 as the research object, the construction impact on the surrounding stratum and the main tunnel structure with this new construction method is monitored and analyzed. The results show that due to the effect of the cross-construction, the surface settlement of the connecting channel near the main tunnel is relatively larger in the longitudinal direction, and the impact is smaller when it is close to the center of the connecting channel. The surface settlement in the center of the horizontal position is larger and those in the two sides are smaller. The structural settlement of the main tunnel and the deformation of the tunnel section are small. The pushing process has obvious impact on the surrounding stratum, but the horizontal ground is less affected. In all, the overall settlement is small and basically under control. In addition, the study uses peck curve and Gaussian curve to describe the characteristics of horizontal and vertical land subsidence respectively, and regression analysis is performed to determine the parameters of the subsidence law curve, which fits well with the corresponding monitoring results.

Key words: coastal soft soil; connecting passage; shield method; monitoring; regression analysis

(责任编辑 史小丽)