

文章编号: 1005—0523(2007)02—0058—04

软土地层中盾构施工对既有地铁沉降的影响分析

韦 凯

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 200331)

摘要:针对上海地铁七号线下穿地铁二号线的实际,利用 ADINA 软件对施工过程进行模拟,来分析盾构施工对既有地铁沉降的影响.通过对施工中不同影响因素的对比分析,发现由于土体超挖、不及时施作管片和注浆未紧跟等因素引起的不同应力释放率会对既有地铁沉降产生较大影响.

关 键 词:盾构隧道;应力释放率;三维有限元
中图分类号:U455.43 **文献标识码:**A

0 前言

随着上海基础设施的飞速发展,盾构隧道穿越既有地铁线路的现象会越来越多,施工中对既有线路沉降的控制是一直以来的难题.目前,许多文献(例如文献[1]、[2])就这方面的问题已经研究很多,并取得不少成果.但是,由于土体超挖、不及时施作管片和注浆未紧跟等因素引起的不同应力释放率对既有地铁沉降的影响分析还很少.鉴于此,本文针对上海地铁七号线斜穿地铁二号线的实际情况,利用 ADINA 软件建立三维有限元模型,通过对不同应力释放率和既有地铁线路上有无动荷载情况的分析,发现不同应力释放率对既有地铁线路沉降的影响较大.

1 隧道开挖的模拟

根据文献[3]可知,地层沉降的基本原因是地层损失和隧道周围地层受到扰动或剪切破坏的再固结.其中,地层损失和隧道开挖应力释放率引起的沉降,主要是因盾构机与土体之间的相互作用,导致了土体应力状态以及位移场的改变,由此引起的沉降,大都在施工期间会呈现出来.因为本文主要关心既有地铁在新隧道施工期间的沉降,所以对不同应力释放率的影响分析是必要的.

尽管开挖过程中盾构周边土体应力释放的情况较为复杂,但简化的看,主要有如下三种情况.如果不及及时地拼装管片或注浆,则盾构周边土体的部分卸荷力由土体自身承受;或者如果开挖之后立即施作管片,则管片将承受几乎所有的卸荷力;或者如果盾构周边土体达到稳定才注浆或施作管片,则土体承受几乎所有的卸荷力,管片受力为零.而在实际的施工过程,盾构周边土体持续变形到某个程度时,才施作管片的,所以两者之间有时间上的不连续,从而不同应力释放率引起的沉降差异也会有很大不同.鉴于此,在模拟土体开挖的过程中,ADINA 的单元死掉可以让其刚度在一段时间内变化,最终为零,这就可以用于模拟施工过程的时间效应.

2 工程背景

按照设计的要求,上海轨道交通 7 号线在龙阳路下穿地铁 2 号线,两线斜角约 45°,斜交处两线中心净距离 1.6 m.轨道交通 7 号线的埋深是 16.4 m,地铁 2 号线的埋深是 8.6 m.两轨道交通线叠交处的地质情况如下所示:

该地区地层为淤泥质软土层,根据物探资料,地层自上而下土层依次为:

(a)杂填土①,从地表而下厚度为 2 m,在 0~0.9 m 深度内,土中混碎石、煤渣等杂质,含植物根

茎;0.9~1.2 深度范围内含氧化铁锈斑,局部为粉质黏土;1.2~2.0 范围内含氧化晕斑迹,土层自上而下渐变软.

(b)褐黄色粉质粘土(②₁),该层土质不均,夹粉性土薄层,含云母.

(c)灰色淤泥质粉质粘土(③₁):饱和,流塑,夹薄层粉土,含云母.贝壳碎屑,切面光滑,高干强度、高韧性,高压缩性.

(d)灰色淤泥质粘土(④₁):饱和,流塑,夹薄层粉土,含云母.贝壳碎屑,切面光滑,高干强度、高韧性,高压缩性.

(e)灰色粘土(⑤₁),含腐植物和钙泥质结核,局部为粘质粉土.

(f)暗绿色粉质粘土(⑥),含氧化铁锈斑,夹钙质结核.

在有限元数值分析中,做适当假设和简化,模拟区域的地质剖面图(自上而下依次为 a~f 土层):

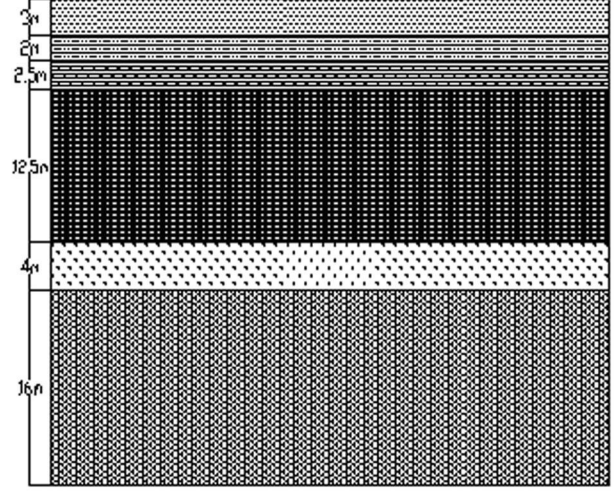


图 2—1 数值模型计算土层简化图

根据该地区的勘察资料,每层材料参数依据对其组分按厚度进行加权平均的处理方法而获得.模型材料的物理力学参数见表 2—1.

表 2—1 计算模型参数表

土层编号	密度 ρ/gcm^{-3}	峰值粘聚力 c/kPa	峰值内摩擦角 $\Phi/^\circ$	压缩模量 $E_{s0.1-0.2}/\text{MPa}$
①	—	—	—	—
② ₁	1.89	21	14.3	4.72
③ ₁	1.75	13	18.5	3.33
④ ₁	1.80	14	11.5	2.31
⑤ ₁	1.86	20	12.1	3.11
⑥	1.88	18	27.1	5.12
衬砌	2.5	—	—	20000

3 三维有限元模型

有限元模型尺寸长 96 m、宽 60 m、高 40 m,经过优化后的有限元网格如图 3—1、3—2 所示,共有 10 744 个单元.下部两隧道为开挖的下穿隧道(地铁七

号线),上部与之斜交的两隧道为既有地铁 2 号线.

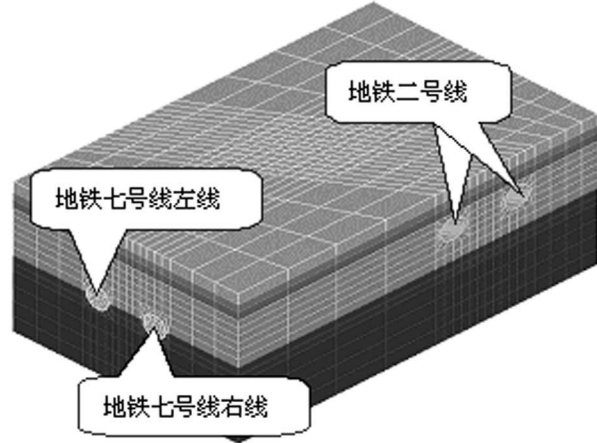


图 3—1 开挖前的三维有限元模型

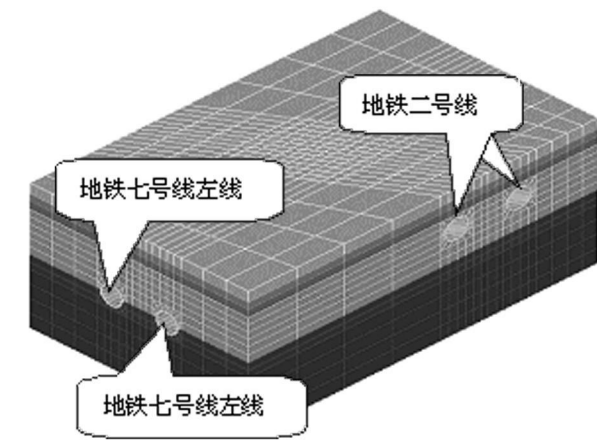


图 3—2 开挖后的三维有限元模型

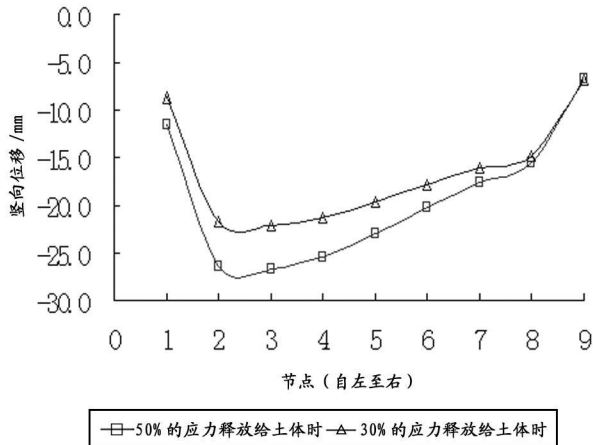
由于盾构隧道开挖是分步进行,所以本计算中模拟的开挖步是:隧道开挖时前五步开挖左线后五步开挖右线.第一步时,七号线左侧隧道的掘进面距离地铁二号线下方 2 m;第二步时,七号线左侧隧道的掘进面到达地铁二号线的侧下方;第三步时,七号线左侧隧道的掘进面通过地铁二号线的正下方;第四步时,七号线左侧隧道的掘进面完全通过地铁二号线的下方;第五步时,七号线左侧隧道完成地铁二号线地段的开挖;第六步至第十步是重复上述五步对地铁七号线右侧隧道进行开挖.

4 数值模拟结果分析

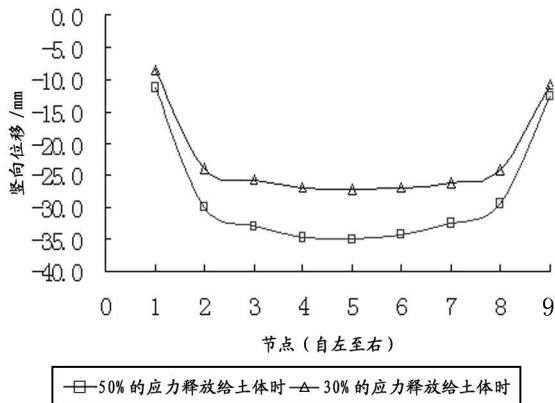
4.1 不同应力释放率的比较

由于施工中管片的施作往往不够及时,或者是由于注浆未能同步进行,所以在开挖隧道时一部分被释放的应力是作用在周围土体上的,这样管片周围土体就会在管片拼装完成前发生较大变形,从而影响既有地下铁道的安全.鉴于这种情况,首先分析不同应力释放率对既有地下线路位移的影响.在此,

比较两种情况,即:当有 30% 和 50% 的应力释放到管片周围土体时,分析既有地下线路位移的不同变化.这主要是因为 30% 的应力释放率是盾构施工的基本要求^[4],这时管片的施作和注浆基本能及时紧跟.而 50% 的应力释放率是盾构施工的不利情况,这时管片施作和注浆不及时,地层损失较正常施工大,所以需要比较分析在这两种应力释放率情况下既有地铁线路的位移变化规律.



(a) 第三步开挖时



(b) 第八步开挖时

图 4-1 不同释放率情况下既有线路沉降的比较

通过计算得到,当有 30% 被释放的应力作用在管片周围土体时,既有地铁最大沉降值为 27.40 mm,而如果 50% 被释放的应力作用在管片周围土体时,既有地铁的最大沉降值增至 35.07 mm. 为了方便说明问题,在道床位置沿着既有地下线路的纵向距离叠交中心位置处各 27.8 m 范围内,取出一组点,来分析该组点的竖向位移变化情况.

图 4-1(a)~(b),比较了不同应力释放率情况下,地铁 2 号线在地铁 7 号线第三和第八模拟开挖步时的沉降曲线.

从图中可以看出,在不同应力释放率情况下,尽管每一步开挖中既有地铁 2 号线竖向位移的变形趋势都是相同的,(即开挖隧道中线与既有线中线叠交

位置处容易发生较大沉降),但是,如果施工中管片周围土体吸收的释放应力越大,则既有地铁 2 号线的竖向位移就会越大,而且叠交位置两侧的位移差也会增加.也就是说,由于土体超挖、不及时施作管片和注浆未紧跟等因素造成的过大应力释放率,易于使既有线路产生不均匀沉降,甚至是失稳破坏.

此外,随着隧道开挖的进行,在既有地铁 2 号线道床位置中心点处,其竖向位移的变化也能反映应力释放率对既有轨道 2 号线的影响.如果在整个施工中应力释放率不变的话,随着开挖步的进行,应力释放率的作用会越来越明显,即同一位置各施工步的竖向位移差会随施工步的进行逐渐增加(如图 4-2 所示).

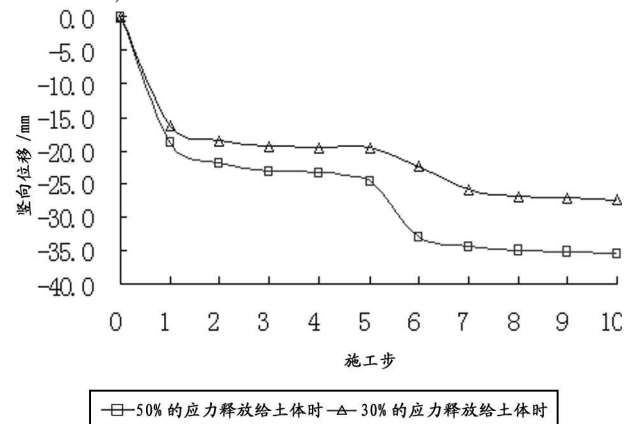


图 4-2 不同荷载释放率情况下既有地铁 2 号线在每一步开挖时的竖向位移比较

4.2 有无动荷载的比较

与其他地下管线不同,既有轨道线路在其他隧道开挖时,会时不时地有地铁通过.所以,有必要来分析,在其他隧道开挖时动荷载对既有轨道线路是否有影响,且有多大影响.鉴于此,依然采用上面的三维有限元模型来分析动荷载的影响.

根据《地铁设计规范》,上海地区轻轨车辆轴重为 110 kN,同时考虑到 2 号线运营时的振动影响还必须考虑动力系数,《规范》中规定对于地铁和轻轨的动力系数按铁路桥规公式计算后乘以 0.8 的系数.另外,在有无动荷载两种情况中均考虑不利情况,取 50% 的应力释放率.

计算结果表明:与无动荷载的情况相比,考虑动荷载后,地铁 2 号线最大沉降值为 36.08 mm,仅仅增加了 1.01 mm.

为了更为直观反映,在新隧道施工期间,列车动荷载作用的影响,将有无列车动荷载两种情况下既有线的沉降曲线做一个对比,如图 4-3(a)~(b)所示:

从图 4-3 可以看出,由于动荷载的作用,每一步开挖中既有地铁 2 号线竖向位移略有增加,但是

其影响效果不明显,基本上可以忽略不计.

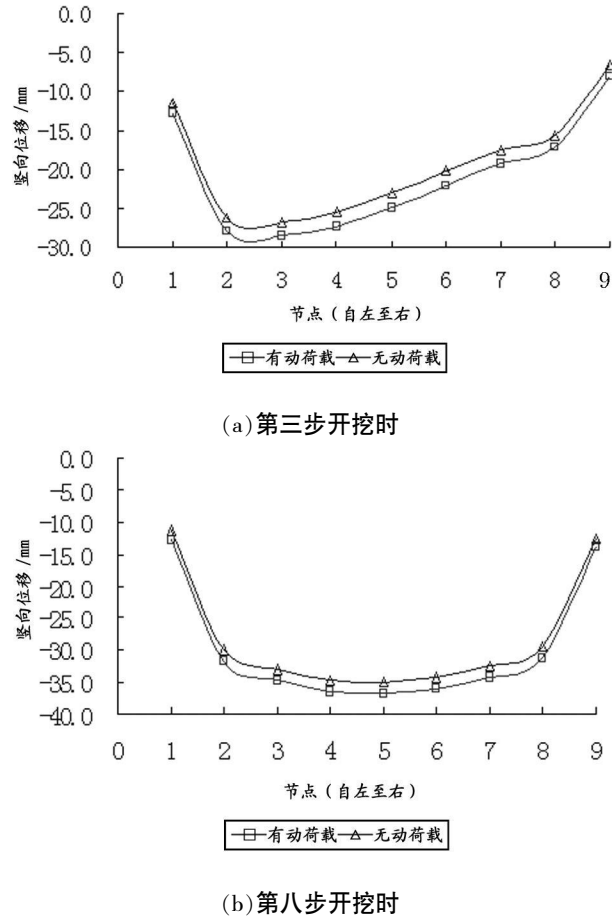


图 4—3 有无动荷载两种情况下既有 2 号线竖向位移比较

5 结论

(1) 在盾构下穿既有地铁线路时,由于土体超挖、不及时施作管片和注浆未紧跟等因素所造成的

过大应力释放率,对既有地铁的沉降有较大影响.通过有限元计算,发现当管片周围土体吸收 30%被释放的应力时,地铁二号线的最大沉降值为 27.40 mm,而当一片周围土体吸收 50%被释放的应力时,地铁二号线最大沉降值增为 35. 位置的位移差也会增加,尤其是两地铁线路叠交的位置,其内外两侧的沉降差可以达到 21.55 mm.

(2) 如果在整个施工中应力释放率不变的话,则既有线路上同一位置各施工步的竖向位移差会随着施工步逐渐增加,也就是说,由于不及时施加管片等因素所造成的沉降有随着时间的推移逐步递增发展的趋势.在不利情况下(即应力释放率为 50%时),对地铁二号线而言,道床中间位置各施工步的竖向位移差能从不到 2.38 mm 最终增至 8.08 mm 之多.因此当盾构掘进面下穿既有地铁时,应做好施工控制.

(3) 通过对比分析既有地铁线路上有无动荷载的两种情况,可以知道,由于动荷载的作用,每一步开挖中既有地铁 2 号线竖向位移略有增加,也就在 1.02 mm 范围内变化,所以其影响效果不明显,基本上可以忽略不计.

参考文献:

[1]李喆,张子新.相邻隧道施工对上海地铁二号线的影响分析[J].岩石力学与工程学报,2005,24(增1):5125—5129.
[2]王如路,刘建航,等.上海轨道交通 4 号线盾构隧道穿越地铁运营线路的监护工程[J].地下工程与隧道,2004,(3):50—53.
[3]张志强,何川,等.南京地铁盾构掘进施工的三维有限元仿真分析[J].铁道隧道,2005,27(1):84—89.
[4]曹伟彪,姚燕明.上海市轨道交通 8 号线(曲阜路—人民广场)区间隧道盾构穿越 2 号线影响分析[J].地下工程与隧道,2005,(3):7—12.

Analysis of the Underground Pipeline Deformation Control Factors with Shield Tunnel Excavation beneath It in Soft Soil

WEI Kai

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Ministry of Education,Tongji University,Shanghai 200331,China)

Abstract: According to the actual situation of the fact that Shanghai 7th Metro lines get through from beneath Shanghai 2nd Metro lines, the model built by the ANINA program is used to analyze the influence of the shield construction on the settlement of the existing Metro. Through the comparative analysis of the different influencing factors, it is found that the different stress release rates which result from more digging soil, not timely stitching segment and not timely grouting and so on greatly influence the settlement of the sewer.

Key words: shield tunnel; stress release rate; 3D finite element