

盾构隧道管片设计

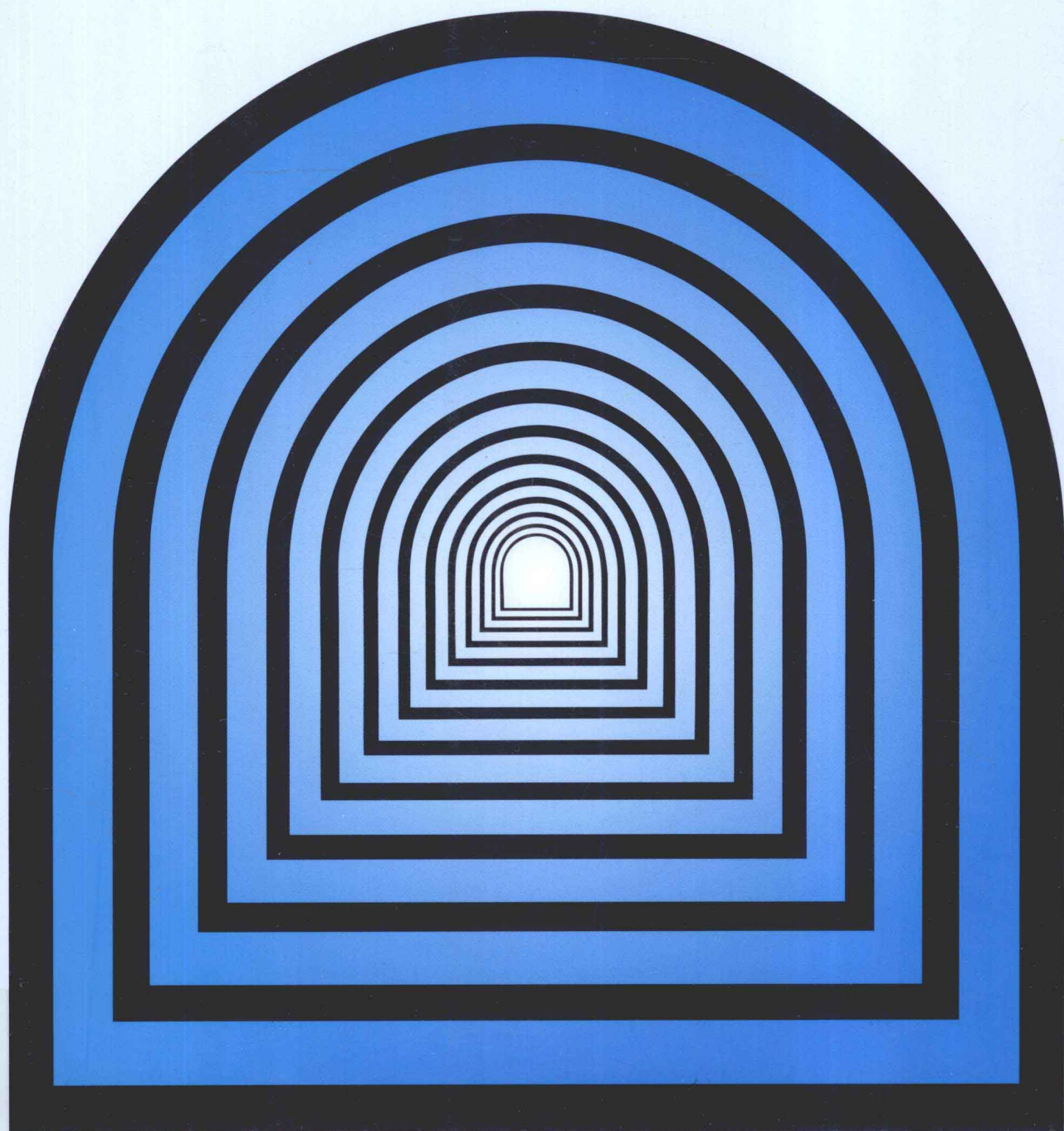
——从容许应力设计法到极限状态设计法

[日] 土木学会 组织编写

[日] 小泉 淳 主编

官林星 翻译

朱合华 周质炎 审校



中国建筑工业出版社

盾构隧道管片设计

——从容许应力设计法到极限状态设计法

[日] 土木学会 组织编写

[日] 小泉 淳 主编

官林星 翻译

朱合华 周质炎 审校

中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01-2011-5332 号

图书在版编目 (CIP) 数据

盾构隧道管片设计——从容许应力设计法到极限状态设计法 / (日) 小泉 淳主编, 官林星译. —北京: 中国工业出版社, 2011. 12
ISBN 978-7-112-13556-1

I. ①盾… II. ①小… ②官… III. ①隧道施工-盾构法-管片-设计 IV. ①U455.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 192095 号

本书系统论述了盾构隧道管片设计的两种方法, 即容许应力设计法和极限状态设计法。全文分为 5 部分, 从设计理念、设计流程出发详细阐述了盾构隧道管片的设计技术和理论, 汇集了日本目前盾构隧道设计领域的最新设计方法和科研成果, 并配带了具体的设计图纸。在第 V 篇给出了特殊管片的设计方法及设计过程中具体设计参数的计算方法等。相信本书的引进可以为从事盾构隧道设计和科研的工作者提供借鉴和帮助。

“原著: 日本土木学会発行「トンネル・ライブラリー第 23 号 セグメントの設計 [改訂版] (2010 年 2 月)」”

本书由日本国社团法人土木学会授权翻译出版

责任编辑: 刘婷婷 刘文昕
责任设计: 赵明霞
责任校对: 肖 剑 赵 颖

盾构隧道管片设计

——从容许应力设计法到极限状态设计法

[日] 土木学会 组织编写
[日] 小泉 淳 主编
官林星 翻译
朱合华 周质炎 审校

*

中国工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
北京红光制版公司制版
北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 880×1230 毫米 1/16 印张: 22¼ 插页: 6 字数: 810 千字
2012 年 3 月第一版 2012 年 3 月第一次印刷

定价: 78.00 元

ISBN 978-7-112-13556-1

(21339)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

译者序

本书原版由日本土木学会组织编写，在早稻田大学小泉淳教授的主持下由来自金泽工业大学、太平洋咨询公司（PCKK）、日本土木咨询公司、鹿岛建设、大成建设等机构的近 30 名活跃在日本盾构隧道技术第一线的技术工作者分别执笔。本书对盾构隧道管片的设计进行了全面缜密的论述，可以说是日本盾构隧道管片设计技术的结晶。此书细致全面的论述，图文并茂的特点也是译者决定将这本书介绍给中国盾构隧道技术设计者的初衷。

本书不同于盾构隧道设计规范，而更偏重于实际应用，是为那些正在从事或将要从事盾构隧道设计工作的技术工作者而编写的。它对规范进行了补充与深化，对那些在规范中很难规定的内容作了具体的分析，并给出了实例与相关设计图纸。本书分为 5 篇，分别是容许应力设计法，极限状态设计法，设计细则，设计计算实例，参考资料。在容许应力设计法中论述了传统的、技术者所熟悉的设计方法。在极限状态设计法中结合盾构隧道的结构力学特点，将极限状态设计法的基本理念引入到盾构隧道设计中，对安全系数、材料设计值作了解说。在设计细则中论述了管片设计中的具体细节如密封沟、接缝沟、注浆孔、接头角度、楔形环等。在设计计算实例中将容许应力设计法、极限状态设计法与管片种类如钢管片、铸铁管片、混凝土管片进行组合并示范了设计流程，同时提供了具体的设计图纸。在参考资料中主要为特殊情况下盾构隧道的施工，荷载计算，隧道的防水设计等提供详细的参考信息。

本书可作为相关设计单位、高校隧道工程与地下建筑工程专业的教师、研究生及高年级本科生的参考用书。盾构隧道技术工作者可以将自己的设计方法与本书中所述的理论进行对比，也可以参考书中的相关图纸。如果读者能从中吸收到一点经验或获得一点新的见解，译者将倍感高兴。

本书在翻译过程中得到原书主编小泉淳教授的支持，对译者在内容上把握不准的地方，均作了细致详细的解释。感谢原版书籍的统稿人太平洋咨询公司（PCKK）的清水辛范工程师，对译者在翻译过程中举棋不定的地方，均一一作了解答。在此表示感谢。

译者虽然努力表达原作的意图，但限于水平，难免有欠妥之处，望读者能不吝指教，以便改正。

官林星

2012 年 2 月

原 版 序

在都市中已成为隧道建设主流方法的盾构隧道施工方法于 1920 年在奥羽主线折渡隧道工程中第一次被引入我国,在这 90 年中取得了显著的发展。在盾构隧道施工方法引入时,无法想象的大断面隧道、非圆形隧道、深覆土或浅覆土隧道、长距离施工及超近施工、高速施工等隧道工程现在都可以平常地进行施工了。

在盾构施工方法引入我国初期,以铸铁管片与钢筋混凝土中子型管片等作为主流衬砌,但近年钢筋混凝土平板型管片、钢管片、铸铁管片等成为了主流。同时从这些管片的接头结构及螺栓接头出发,为了实现管片拼装的自动化、高速施工、制造成本的降低、二次衬砌省略等,提出并开发了多种接头结构,管片也真正地迎来了一个多样化的时代。

到目前为止管片设计是按照容许应力设计法进行的,在我国现行的设计规范中也大多采用了容许应力设计法。但是,近年因在隧道以外的结构物设计中一直在引入极限状态设计法与性能验算设计法,土木学会于 2006 年对《隧道设计规范(盾构施工法)及解说》进行了修订。在此次修订中对过去有使用实例的容许应力设计法进行记述的同时,新增了依据极限状态设计法进行管片设计的基本理念。

对那些长期使用容许应力设计法的盾构隧道技术者来说,对极限状态设计法还不是很习惯,说到底这可归因于很难建立周围受到地层支持的盾构隧道极限状态的基本概念。此外,在依据容许应力设计法进行管片设计中,对施工荷载的评价、接头刚度的评价、隧道纵断方向上力学行为的评价、地震时其力学行为的评价等,需因事而论。特别从年轻的技术者那儿也听到了不易应用于管片设计的意见。

在 1994 年作为隧道丛书出版了《管片设计》,但在 2006 年制定的《隧道设计规范(盾构施工法)及解说》出版之际,考虑到对管片的设计部分进行更加详细具体解说的参考图书的必要性,于 2007 年在土木学会“隧道工学委员会技术小委员会”的指导下,成立了“管片设计方法研究部门”,对《管片设计》进行了修订。在这个研究部门中,有大学教师,来自建设单位、建设咨询公司、管片制造商等活跃在第一线的众多的盾构技术者及参与隧道设计规范改定的技术者作为委员参与了编写。在这 2 年中举行了超过 50 次的研究部门会议及工作小组会议,经多次审议而成文。

本书由容许应力设计法,极限状态设计法,设计细则,设计计算实例,参考资料共 5 编构成。虽然可以独立地阅读各篇与各章,但为了达到系统理解管片设计的目的,特别推荐年轻的技术者要通读一遍全文。本书的特点是对那些在隧道设计规范中不好表述的实际工作,进行了更加详细的解说,采用了更多的图表与照片并记述了具体的计算方法与实例。对目前技术中不明确的事项,至少从为了能够得到管片衬砌偏于安全的设计结果的观点出发,记述了其考虑方法的基本理念。

将本书内容应用于实际的设计中时需要注意 3 点。首先,在本书中记述了很多的计算方法与实例,但并没有评价哪种方法好,哪种方法不好,也没有推荐特定的方法,始终只是记述了实际工作中所用的计算方法及其考虑方法的基本理念。换言之,采用哪种方法这依赖于从事实际工作的技术者的判断;第 2 点,设计计算算例是出于明示设计流程,有助于更好地理解容许应力设计法及极限状态设计法,但并

不表示是最佳的构件设计结果。因此，特别在依据极限状态设计法进行实际设计工作时，要根据极限状态设定几个荷载工况来进行结构计算，选择合适的衬砌结构显得尤为重要；第3点，考虑到读者阅读的方便性，参考资料只是现行设计规范中验算方法的一例。这里所述的事例并不是唯一的方法，有必要注意除此以外还有很多的验算方法与事例。

本书所记述的设计考虑方法并不是“遵此设计就没有问题”的所谓规范规定，而是接近于“帮助技术设计者扩展判断范围”的性能规定。管片所使用的材料及设计中所使用的容许应力、安全系数等，也只表示了其标准值，要根据地层条件及环境条件、隧道用途，具体情况具体对待，有必要对这些数值进行合理的判断。在设计中建立结构与荷载的模型是不可欠缺的，但对盾构隧道这样的结构物，这些不都是确定好的模型，因为有必要按照所要求的性能来进行管片设计。如果本书能对今后的管片设计起到一点帮助，我倍感荣幸。

最后对积极参与部门审议会议和本书写作，并为本书提供计算算例与参考资料的各位委员，以及长期支持委员参加部门活动的所属公司，表示由衷的感谢。

土木学会隧道工学委员会技术小委员会

管片设计方法研究部门

部门会长 小泉淳

2009年9月

隧道工学委员会技术小委员会 管片的设计方法研究部门

部门会长	小泉 淳	早稻田大学理工学术院创造理工学部社会环境工学科
干事长兼委员	清水 幸范	太平洋咨询株式会社交通技术本部铁道部
干事兼委员	阿南 健一	东电设计株式会社土木本部都市土木部
干事兼委员	岩波 基	长岗工业高等专门学校环境都市工学科
干事兼委员	齐藤 正幸	日本土木咨询株式会社事业统括本部 构造技术方案部
干事兼委员	西冈 严	大成建设株式会社东京分店土木部
干事兼委员	三户 宪二	西松建设株式会社土木技术部
委 员	今野 勉	株式会社 Kubota 恩加岛事业中心
委 员	入田 健一郎	清水建设株式会社土木技术本部盾构统括部
委 员	岩田 和实	GeoStar 株式会社管片事业部
委 员	荻野 竹敏	东京地下铁株式会社铁道本部改良建设部
委 员	木村 定雄	金泽工业大学环境建筑学部环境土木工学科地域防灾环境科学研究所
委 员	小林 一博	石川岛建材工业株式会社管片土木事业部技术部
委 员	近藤 纪夫	日本土木咨询株式会社事业统括本部
(前任)	大久保 健治	大丰建设株式会社技术本部技术开发部
委 员	铃木 润	东京都下水道局计划调整部
委 员	多田 幸夫	鹿岛建设株式会社土木设计本部工程设计部
委 员	名仓 浩	株式会社间组土木事业本部技术第一部
委 员	桥本 博英	石川岛建材工业株式会社管片土木事业部技术部
委 员	服部 佳文	大成建设株式会社土木本部土木设计部
委 员	藤沼 爱	东京地下铁株式会社铁道本部改良建设部
委 员	藤野 丰	GeoStar 株式会社管片事业部
委 员	松冈 馨	JFE 建材株式会社管片生产技术部
委 员	三木 章生	株式会社间组土木事业本部技术第一部
(前任)	宫下 英子	株式会社间组土木事业本部技术部
委 员	三宅 正人	新日本制铁株式会社建材开发技术部
委 员	向野 胜彦	株式会社 Kubota 产业机材营业部
委 员	吉田 公宏	株式会社大林组东京本社 生产技术部 盾构技术部
委 员	吉本 正浩	东京电力株式会社工务部

容许应力设计法小组

主 查	西冈 严	大成建设株式会社东京分店土木部
副主查	岩田 和实	GeoStar 株式会社管片事业部
委 员	入田 健一郎	清水建设株式会社土木技术本部盾构统括部
委 员	荻野 竹敏	东京地下铁株式会社铁道本部改良建设部
委 员	近藤 纪夫	日本土木咨询株式会社事业统括本部
(前任)	大久保 健治	大丰建设株式会社技术本部技术开发部
委 员	铃木 润	东京都下水道局计划调整部

委 员	服部 佳文	大成建设株式会社土木本部土木设计部
委 员	藤野 丰	GeoStar 株式会社管片事业部
委 员	松冈 馨	JFE 建材株式会社管片生产技术部
委 员	向野 胜彦	株式会社 Kubota 产业机材营业部

极限状态设计法小组

主 查	齐藤 正幸	日本土木咨询株式会社事业统括本部构造技术方案部
副主查	岩波 基	长岗工业高等专门学校环境都市工学科
委 员	阿南 健一	东电设计株式会社土木本部都市土木部
委 员	今野 勉	株式会社 Kubota 恩加岛事业中心
委 员	木村 定雄	金泽工业大学环境建筑学部环境土木工学科地域防灾环境科学研究所
委 员	小林 一博	石川岛建材工业株式会社管片土木事业部技术部
委 员	清水 幸范	太平洋咨询株式会社交通技术本部铁道部
委 员	多田 幸夫	鹿岛建设株式会社土木设计本部工程设计部
委 员	桥本 博英	石川岛建材工业株式会社管片土木事业部 技术部
委 员	藤沼 爱	东京地下铁株式会社铁道本部改良建设部
委 员	三木 章生	株式会社间组土木事业本部技术第一部
(前任)	宫下 英子	株式会社间组土木事业本部技术部
委 员	三户 宪二	西松建设株式会社土木技术部
委 员	三宅 正人	新日本制铁株式会社建材开发技术部
委 员	吉田 公宏	株式会社大林组东京本社生产技术部盾构技术部
委 员	吉本 正浩	东京电力株式会社工务部

设计计算实例小组

主 查	阿南 健一	东电设计株式会社土木本部都市土木部
副主查	岩田 和实	GeoStar 株式会社管片事业部
副主查	三宅 正人	新日本制铁株式会社建材开发技术部
委 员	今野 勉	株式会社 Kubota 恩加岛事业中心
委 员	小林 一博	石川岛建材工业株式会社管片土木事业部 技术部
委 员	桥本 博英	石川岛建材工业株式会社管片土木事业部 技术部
委 员	服部 佳文	大成建设株式会社土木本部土木设计部
委 员	藤沼 爱	东京地下铁株式会社铁道本部改良建设部
委 员	松冈 馨	JFE 建材株式会社管片生产技术部
委 员	向野 胜彦	株式会社 Kubota 产业机材营业部

参考资料小组

主 查	三户 宪二	西松建设株式会社土木技术部
副主查	入田 健一郎	清水建设株式会社土木技术本部盾构统括部
委 员	近藤 纪夫	日本土木咨询株式会社事业统括本部
委 员	铃木 润	东京都下水道局计划调整部
委 员	藤野 丰	GeoStar 株式会社管片事业部
委 员	三木 章生	株式会社间组土木事业本部技术第一部
委 员	吉本 正浩	东京电力株式会社工务部
执笔委员	增田 祐一	旭化成株式会社土木产业资材部
执笔委员	村上 初央	西松建设株式会社土木技术部

编辑小组

主查	岩波 基	长冈工业高等专门学校环境都市工学科
副主查	名仓 浩	株式会社间组土木事业本部技术第一部
委员	荻野 竹敏	东京地下铁株式会社铁道本部改良建设部
委员	齐藤 正幸	日本土木咨询株式会社事业统括本部构造技术方案部
委员	清水 幸范	太平洋咨询株式会社交通技术本部铁道部
委员	多田 幸夫	鹿岛建设株式会社土木设计本部工程设计部
委员	西岗 严	大成建设株式会社东京分店土木部
委员	吉田 公宏	株式会社大林组东京本社生产技术部 盾构技术部

目 录

第 I 篇 容许应力设计法

1 序论	1
1.1 前言	1
1.2 设计的基本原则与适用范围	2
1.3 相关规范与标准	4
1.4 衬砌结构的选定	5
1.4.1 一次衬砌的功能与种类	5
1.4.2 二次衬砌的功能与种类	6
1.4.3 管片的选定	10
1.5 结构计算的基本内容	11
1.6 名称与记号	11
1.6.1 名称	11
1.6.2 记号	15
1.7 设计文件	16
1.7.1 设计计算书	16
1.7.2 设计图	16
2 荷载	17
2.1 土压力与水压力的考虑方法	17
2.1.1 土压力	17
2.1.2 水压力	21
2.1.3 隧道抗浮验算	22
2.2 衬砌自重	22
2.3 地面超载的影响	23
2.3.1 评价地面超载影响的实例	23
2.3.2 基于弹性理论的地中应力计算法	23
2.4 地层抗力	24
2.4.1 惯用计算法对地层抗力的考虑方法	24
2.4.2 地层弹簧模型对地层抗力的考虑方法	24
2.5 施工荷载	25
2.5.1 千斤顶推力	25
2.5.2 壁后注浆压力	26
2.5.3 其他施工荷载	26
2.6 地震的影响	26
2.6.1 隧道及隧道周围地层稳定性的验算	27
2.6.2 地震影响的验算顺序与模型	27
2.7 其他应该考虑的荷载	29
2.7.1 邻近施工的影响	29
2.7.2 地层沉降的影响	30
2.7.3 平行设置隧道的影响	30

2.7.4	内部荷载	31
2.7.5	其他荷载	32
3	材料与容许应力	33
3.1	材料的种类与规格	33
3.2	材料的机械性能与形状尺寸	33
3.3	材料的弹性模量与泊松比	36
3.4	容许应力	36
3.5	容许应力的提高	40
4	管片形状与接头结构	41
4.1	管片外径与隧道内径	41
4.2	管片高度(厚度)	44
4.3	管片宽度	45
4.4	管片环的分块与K型管片	46
4.4.1	管片环的分块	46
4.4.2	K型管片的种类	46
4.5	接头结构	47
5	横断方向上的结构计算	50
5.1	概论	50
5.2	断面各量的确定	52
5.2.1	面板的有效宽度	52
5.2.2	主断面构件的断面性能	53
5.2.3	设计轴线	55
5.3	惯用算法及修正惯用算法	56
5.3.1	计算方法的基本考虑方式	56
5.3.2	设计用断面内力	58
5.4	梁-弹簧模型算法	60
5.4.1	计算方法的基础	61
5.4.2	设计用断面内力	63
5.4.3	各规范中的梁-弹簧模型算法	64
6	纵断方向上的结构计算	66
6.1	概述	66
6.2	结构分析模型	66
6.2.1	纵断方向的梁-弹簧模型	67
6.2.2	纵断方向上的等效刚度梁模型	68
6.2.3	地层等的模型化	70
6.2.4	纵断方向上的解析模型实例	70
7	构件设计	73
7.1	基本事项	73
7.2	钢铁管片	73
7.2.1	主断面设计	73
7.2.2	管片接头设计	74
7.2.3	环间接头设计	77
7.2.4	对千斤顶推力的设计	78
7.2.5	面板设计	79
7.3	混凝土管片	81
7.3.1	主断面设计	81

7.3.2 管片接头设计	84
7.3.3 环间接头设计	87
7.3.4 对千斤顶推力的验算	88
8 管片耐久性	89
8.1 关于耐久性的基本考虑方法	89
8.2 防水性能	90
8.2.1 漏水及其影响	90
8.2.2 防水措施概要	90
8.2.3 接头处的防水	92
8.3 裂缝验算	93
8.4 防腐蚀与防锈	94
8.4.1 钢铁管片与合成管片	94
8.4.2 混凝土管片	95

第Ⅱ篇 极限状态设计法

1 序论	97
1.1 前言	97
1.2 对应于设计目的的极限状态	97
1.3 设计使用年限	99
1.4 荷载效应与结构抗力的计算	100
1.5 安全系数与修正系数	100
1.6 符号	101
2 安全系数	102
2.1 材料分项系数	102
2.2 构件分项系数	103
2.3 荷载分项系数	104
2.4 结构计算分项系数	105
2.5 结构物重要性系数	106
2.6 抗震设计中安全系数的处理	106
2.7 修正系数	107
3 荷载	108
3.1 设计荷载的种类与标准值的计算	108
3.2 设计荷载的组合	109
4 材料的设计值	111
4.1 材料强度	111
4.2 应力-应变曲线	114
4.3 弹性模量	114
4.4 其他材料的设计值	114
5 荷载效应的计算	116
5.1 计算的基本原则	116
5.2 荷载效应的计算方法	116
5.2.1 结构计算模型	116
5.2.2 管片主断面模型	117
5.2.3 管片接头模型	119
5.2.4 环间接头模型	123
5.2.5 实际设计中对非线性特性的简易处理	123

6 结构抗力的计算与校核	124
6.1 对承载力极限状态的验算	124
6.1.1 承载力极限状态验算的一般事项	124
6.1.2 混凝土管片的验算	126
6.1.3 钢管片片的验算	131
6.2 对使用极限状态的验算	138
6.2.1 使用极限状态验算的一般事项	138
6.2.2 混凝土管片的验算	140
6.2.3 钢管片片的验算	141
6.2.4 裂缝宽度验算	144
6.2.5 管片环变形的验算	145
6.2.6 接头变形的验算	146

第Ⅲ篇 设计细则

1 主断面与接头的配置	148
1.1 钢管片	148
1.2 混凝土管片	148
2 纵肋	151
3 密封槽与接缝沟	152
3.1 密封槽	152
3.2 接缝沟	152
4 注浆孔与起吊环	154
4.1 注浆孔	154
4.2 起吊环	155
5 接头角度与插入角度	156
6 楔形环	157
6.1 楔形环的种类	157
6.2 楔形环的使用量	157
6.3 楔形环的楔形量	157
7 钢筋的一般要求	159
7.1 钢筋的保护层厚度与间距	159
7.2 钢筋的加工, 接头与固定	159
7.3 受力钢筋	160
7.4 分布钢筋, 架立钢筋及其他钢筋	160
8 其他	161
8.1 焊接	161
8.2 排气	162

第Ⅳ篇 设计计算实例

1 序论	164
1.1 关于设计计算实例	164
1.2 关于设计计算实例的注意事项	164
2 依据容许应力设计法的设计计算实例	167
2.1 钢管片实例	167
2.2 铸铁管片实例	173
2.3 混凝土管片实例	180

3 依据极限状态设计法的设计计算实例	187
3.1 钢管片实例	187
3.1.1 设计条件	187
3.1.2 使用极限状态的验算	189
3.1.3 承载力极限状态的验算	196
3.1.4 设计结果	203
3.1.5 设计图的制作	203
3.2 铸铁管片实例	204
3.2.1 设计条件	204
3.2.2 使用极限状态的验算	206
3.2.3 承载力极限状态的验算	212
3.2.4 设计结果	220
3.2.5 设计图的制作	220
3.3 混凝土管片实例	221
3.3.1 设计条件	221
3.3.2 使用极限状态的验算	224
3.3.3 承载力极限状态的验算	233
3.3.4 设计结果	239
3.3.5 设计图的制作	240

第V篇 参 考 资 料

1 特殊管片	241
1.1 具有特殊形状的管片	241
1.2 具有特殊功能的管片	245
1.3 对应各种施工条件的管片	249
2 接头的种类与分类	253
3 土压力与水压力的计算实例	256
3.1 土压力与水压力的计算流程	256
3.2 土压力与水压力计算方法实例	257
4 太沙基松弛土压力计算公式	259
5 由路面交通荷载引起的地面超载计算实例	261
6 大深度地下隧道的地面超载计算实例	263
7 铁路结构物中的地层抗力系数计算实例	265
8 由管片自重变形引起的地层抗力系数计算实例	266
9 施工荷载验算方法实例	269
9.1 施工荷载验算的现状	269
9.2 考虑隧道纵向上曲线施工时千斤顶推力与千斤顶组合方式影响的实例	269
9.3 管片加宽等引起的喇叭状拼装验算方法实例	270
9.4 壁后注浆压力验算实例	270
9.5 管片拼装器操作荷载实例	271
9.6 混凝土管片密封材料压缩反力验算方法实例	272
10 开口部设计法概要（《下水道临时设计手册》）	274
10.1 开口部带来的影响	274
10.2 开口部设计中应考虑荷载	274
11 高强度钢材的容许应力（草案）	277
11.1 《隧道设计规范》中对局部屈曲容许应力的说明	277

11.2	高强度钢材的容许应力(草案)	278
12	管片接头的转动弹簧系数	280
12.1	概要	280
12.2	根据实验的计算方法	280
12.3	理论和解析计算方法	282
12.3.1	村上-小泉方法	283
12.3.2	《铁路设计规范》中的方法	290
12.3.3	Leonhardt 公式	292
13	环间接头的剪切弹簧系数	294
13.1	概要	294
13.2	《铁路设计规范》中的计算方法	294
14	接头弹簧系数的设定实例	295
14.1	《内水压指南》中的参考实例	295
14.2	《东京高速公路设计要领》中的参考实例	295
15	盾构隧道纵断方向上的转动弹簧系数(理论计算方法)	299
15.1	依据志波等提案的计算方法	299
15.2	依据西野提案的计算方法	300
15.3	理论计算方法的注意点	300
16	盾构隧道纵断方向上等效抗弯刚度的推导	302
16.1	纵断方向上等效抗弯刚度的推导	302
16.1.1	变形协调条件	302
16.1.2	力的平衡条件	302
16.1.3	对变形协调条件及力的平衡条件的说明	302
16.1.4	等效抗弯刚度的推导	304
16.1.5	中和轴计算公式的推导	304
16.2	盾构隧道纵断方向的应力与接头拉力计算公式的推导	305
17	楔形环楔形量的计算方法	307
18	极限状态设计法的参考资料	309
18.1	铸铁管片的材料特性及局部屈曲	309
18.2	钢铁管片承载力极限状态的验算	313
18.3	使用极限状态的验算	317
19	密封材料	319
19.1	密封材料的历史	319
19.2	密封材料的种类	319
19.3	防水机理	320
19.4	密封材料,密封槽与防水性能	321
19.5	密封材料的设计方法	322
19.5.1	密封材料的初始验算项目	322
19.5.2	密封材料的设计条件	324
19.5.3	密封材料的形状,尺寸的计算	324
19.6	密封材料耐久性的验算实例	325
19.6.1	原材料自身的耐久性	325
19.6.2	防水性能的耐久性	326
19.7	密封材料的设计实例	327
19.7.1	设计条件	327
19.7.2	密封槽及密封材料的尺寸选定	327

19.7.3 针对防水密封材料的设计..... 328

19.7.4 管片拼装时密封材料的设计 329

19.7.5 密封槽与密封材料尺寸（例）的决定 329

20 防腐蚀与防锈，螺栓孔充填，接缝工程及螺栓密封..... 330

20.1 钢管片的涂装方法实例..... 330

20.2 接头构件的防腐蚀处理实例..... 330

20.3 注浆孔及起吊金属器具的防腐蚀对策实例..... 331

20.4 螺栓孔充填方法实例..... 332

20.5 接缝施工..... 333

20.6 螺栓密封..... 334

参考文献..... 336

第 I 篇 容许应力设计法

1 序 论

1.1 前言

盾构施工法主要是通过盾构机内部的土压力或者泥水压力与作用在开挖面上的土压力和水压力保持平衡的方式取得开挖面的稳定,同时使用坚固的盾构外壳支撑着隧道周边的地层,在盾构内部进行开挖和衬砌的施工,通过重复这样的过程建造隧道的一种施工方法。如图 I.1.1 所示,盾构隧道的衬砌是由一次衬砌及其内侧的二次衬砌组成。一次衬砌大多是由在工厂制作的圆弧状管片所组成,平常所说的衬砌施工就是把这些管片拼装成环的作业过程。二次衬砌大多为在一次衬砌内部直接浇筑的混凝土结构。

盾构隧道衬砌的主要作用可以分为以下三类:①承受着作用在隧道上的荷载,确保内部空间;②具有与隧道用途相对应的使用性能与耐久性能;③满足隧道施工条件和施工方法的要求。

关于①,大多将一次衬砌作为主要结构,只靠一次衬砌来承受荷载,但也有把一次衬砌和二次衬砌一起作为主体结构,二次衬砌承受部分荷载的考虑方法。关于②,主要是隧道投入使用后必须具有的功能,过去主要是靠二次衬砌来承担这些功能,但近年来,不设二次衬砌仅靠一次衬砌来承担隧道这些功能的工程也在增加。关于③,在盾构机内部拼装完成后的管片环为盾构机的掘进提供反力的同时,在盾尾通过后立即承受着壁后注浆压力的作用。这也是盾构隧道施工过程中一次衬砌所具有的特殊功能。

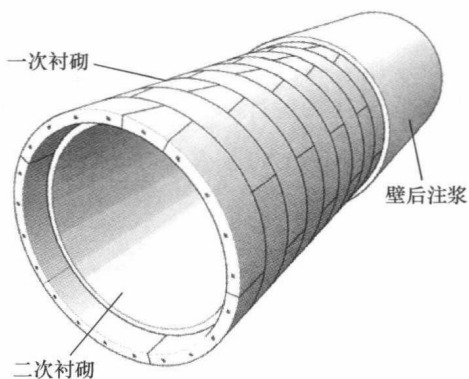


图 I.1.1 盾构隧道衬砌

为了实现衬砌的这些功能,在设计过程中就需要合理地评价管片拼装完成后和隧道施工完成后长期作用在管片上的荷载,并将这些荷载进行组合,同时还要考虑衬砌的耐久性能。

衬砌设计一般是通过容许应力设计法来进行的,这已经有了很多设计实例。但是,要考虑的荷载不仅有地层荷载,还要包括隧道的断面形状,结构及施工方法对荷载的影响,要正确评价这些荷载还存在着很多难题。同时,盾构隧道的一次衬砌是通过接头将管片连接起来的一种环状结构,所以在其结构计算中还必须合理地评价接头的位置与刚度。但在目前还无法合理地评价材料的劣化程度和衬砌安全性的关系。

本书对过去有很多设计成果的容许应力设计法进行详细具体解说的同时,还对 2006 年日本土木学会修订的《隧道设计规范(盾构施工法)及解说》中的极限状态设计法进行了解说。本篇的主要目的是明确一次衬砌与二次衬砌的功能,详细论述隧道横断面的结构计算的两种方法,即惯用计算法和梁-弹簧模型。惯用计算法具有较多的设计实例,而梁-弹簧模型可以合理地评价接头的位置和刚度。同时对主要用来评价地震影响及小半径曲线施工时的隧道纵向结构计算方法、管片的耐久性、防水性能等进行了更加详细的说明。

另外,关于地震的影响以及施工荷载的详细论述,可参考日本土木学会主编的隧道系列丛书第 19 号《盾构隧道的抗震研究》及第 17 号《盾构隧道的施工荷载》。