

盾构隧道新技术

中铁西南科学研究院
信息研究室译

(内部资料, 仅供参考)

2001 年 11 月

盾构隧道新技术

中铁西南科学研究院
信息研究室译
(内部资料, 仅供参考)

序 言

盾构施工法的设想，是 19 世纪初期在英国诞生的。之后，大约经过了 100 年才引进到日本，反复多次试行错误，力求提高技术，在这短短的 20~30 年间，城市隧道技术得到了飞速发展。

当初作为城市隧道的建设技术而采用盾构施工法的目的是不给道路交通造成障碍，对用明挖法施工时的地基下沉和噪声、振动等建设公害的发生采取的相应措施。盾构施工法，在充分达成当初这一目的的同时，也在各方面尽力进行适应软弱地基和砾石地基等广范围的地基的、传统施工法施工困难的现场条件的、面对提高安全性、施工精度和经济施工等的研究和技术开发。这种结果，在开挖隧道方面，可说是大致达成了完成目标，今天，作为城市隧道的施工方法而成了不可缺少的一般技术。

这样，虽然在短期内建立了作为城市隧道的施工技术而确立了地位的盾构施工法，但现在却更加以施工的合理化为大致目标，致力于自动装置化和自动化、以及作为新展开的大深度地下利用等特殊断面形状和形态下进行开挖的技术的研究开发等，其中一部分已经到了实施的状况。

鉴于这样的状况，《隧道与地下》编辑委员会决定，对包括日本国内盾构施工法的发展过程在内的全部盾构技术的最新技术为中心进行总结，并介绍给读者。因此，编辑委员会成立了《盾构隧道新技术》连载讲座小委员会（小委员长 铃木 章），进行连载讲座的编辑、执笔。

其结果，可向《隧道与地下》的读者诸君提供从 1990 年 6 月到 1992 年 7 月共计达 26 回的有关盾构隧道新技术的情报。幸而，在实际业务工作者之间听闻把该丛书应用于实践的话，非常高兴。在这种情况下，希望把此成果做成册子的要求首先从国内开始，迅速遍及中国、韩国等。因此，经小委员会的成员研究的结果，决定重新组织“盾构隧道新技术研究会”（代表 铃木 章），响应大家的要求。

对于册子的出版，虽然在讲座执笔时由于纸张数量的关系不能进行充分记述，在讲座期间又因开发研究结束而开始转移到实施的新技术等，但在一个形式的完成要改变全体结构的同时，必须加以润色、修改。这些一连串的工作，在委托给研究会各位成员的同时，也请各位讲座执笔者分担。

此外，从本讲座的宗旨是应用于实际工作的这一观点，决定以现场技术人员应用多的《管片的设计例》、《地基位移的预测事例》、《施工计划书的作成程序》为参照资料一并附上。在这些参照资料之中，关于管片的标准设计，请允许从新开的（盾构隧道的衬砌技术）讲座中摘录下来。

本书以具有实际业务工作经验者为中心，总结了最近的盾构隧道的新技术。本书的特征，在总结了盾构施工法的变迁和将来技术开发的方向性的现状之后，对新技术分成调查·计划篇、设计·施

工篇，对其理论和实践则用软件、硬件进行记载。此外，附录中对于管片的设计、地基位移预测分析、施工计划，在设计例中也作了介绍，以便即时把这些情况运用到实践中去，成为隧道技术人员需要的内容。

最后，本书若能给盾构隧道的同仁有所裨益，则幸甚。

编 译 者

目 录

序 言

第1章 概 说	1
1. 盾构施工法的变迁和将来技术开发的方向性	3
1 盾构施工法的历史	3
1-1 盾构施工法诞生以前的隧道施工法	3
1-2 盾构施工法登场	3
1-2-1 盾构施工法的发明和改进	4
1-2-2 布鲁涅尔以后的盾构施工法	4
2 日本盾构施工法的历史	4
2-1 盾构施工法的引进和发展的经过	4
2-2 盾构施工法的现状	7
3 今后技术开发的方向性	11
第2章 调查、计划篇	13
1. 盾构施工法的调查技术	15
1 前 言	15
2 盾构工程中采取调查的方法	15
3 基本计划时的调查(初步调查)	15
3-1 选址条件调查	17
3-2 障碍物件调查	17
3-3 地形及土质调查	17
3-4 周边环境调查	17
3-5 施工实绩调查	17
4 设计时的调查(基本调查、详细调查)	17
4-1 基本调查	19
4-2 详细调查	19
5 施工时的调查(确认调查、管理调查)	20
5-1 确认调查	21
5-2 管理调查	21
6 施工后的调查(跟踪调查)	22
7 结 语	22
2. 断面及线形规划	23
1 前 言	23
2 断面及线形	23
2-1 净空及断面形状	23

2-2 不同用途的净空断面概要	23
2-2-1 铁路、公路隧道	23
2-2-2 下水道隧道	23
2-2-3 上水道隧道	23
2-2-4 电力、通信隧道	23
2-2-5 同时设置的使用隧道	24
2-3 隧道线形	25
2-2-1 平面线形	25
2-2-2 覆 土	25
2-2-3 坡 度	26
3 铁路用盾构	26
3-1 净空断面	26
3-1-1 断面的形状	26
3-1-2 单线盾构隧道的净空断面	26
3-1-3 复线盾构隧道的净空断面	28
3-1-4 其他的断面形状的实例	28
(1) 车站盾构	28
(2) 多圆形盾构	28
(3) 小型地铁盾构	30
3-2 线 形	30
3-2-1 线形规划	30
3-2-2 平面线形的注意点	30
3-2-3 纵断面线形的注意点	31
4 下水道盾构	31
3-1 断面与坡度	31
3-1-1 断面形状	31
3-1-2 内径及坡度	31
3-2 曲线半径	32
5 今后的断面与线形的展开趋势	32
3. 盾构机的种类和选择	35
1 盾构机的结构和装备	35
1-1 盾构机的种类和机构	35
1-2 盾构机的结构和装备	35
1-2-1 主 体	35
(1) 外 板	36
(2) 盾尾密封	36
(3) 中间弯曲机构	37
1-2-2 推进机构	37
1-2-3 切削刀头	38
(1) 切削刀头形状	38
(2) 切削刀具	38
(3) 支承方式	39
(4) 切削刀装备扭矩	39
(5) 土砂密封	39

1-2-4 添加材料灌注装置（土压式）	40
1-2-5 混合搅拌机构、排土机构（土压式）	40
1-2-6 送排泥机构和搅拌机构（泥水式）	40
1-2-7 管片拼装机构	41
1-2-8 附属机构	41
(1) 衬背灌浆装置	41
(2) 测量装置	41
(3) 其 它	42
1-3 大断面盾构例	42
1-3-1 土压式盾构	42
1-3-2 泥水式盾构	42
1-4 适用型复合地质盾构实例	44
2 现有的盾构机种类和选定方法	45
2-1 前 言	45
2-2 盾构的种类	45
1-2-1 人工挖掘式盾构	45
1-2-2 半机械挖掘式盾构	46
1-2-3 机械挖掘式盾构	46
1-2-4 机械挖掘式和密闭型的共同机构	47
(1) 切削刀头	47
(2) 切削刀支承方式	47
(3) 切削刀具	48
1-2-5 闭胸式盾构	48
1-2-6 泥水式盾构	49
1-2-7 土压式盾构	49
(1) 土压盾构	50
(2) 泥土压盾构	50
2-3 盾构机种的选定	51
2-3-1 冲积粘性土	52
2-3-2 洪积粘性土	52
(1) 全面敞开型盾构	53
(2) 密闭型盾构	53
2-3-3 砂质土	53
(1) 泥水式盾构	53
(2) 泥土压盾构	54
2-3-4 砂砾、卵石	54
(1) 泥水式盾构	54
(2) 泥土压盾构	55
2-3-5 泥 岩	55
(1) 全面敞开型盾构	55
(2) 密闭型盾构	55
2-4 结 语	56
4. 新盾构法	58
1 对大断面化、大深度化、长距离化的展望	58

1-1 前 言	58
1-2 对大断面化的展望	58
1-2-1 断面增大的趋势	58
1-2-2 对超大直径实施的步骤	58
1-2-3 技术上的可能性	59
1-3 对大深度化的展望	60
1-3-1 向大深度化(高水压力下)发展的趋势	60
1-3-2 高水压力下施工的步骤	60
1-3-3 对大深度化的展望	61
1-4 对长距离化的展望	62
1-4-1 长距离化的趋势	62
1-4-2 长距离盾构的步骤	62
(1) 盾构机的耐久性	63
(2) 快速施工	64
1-4-3 对长距离化、快速施工的展望	64
1-5 新的盾构技术	65
1-6 总 结	65
 第 3 章 设计、施工篇	67
1. 衬 砌	69
1 一次衬砌的设计	69
1-1 前 言	69
1-2 一次衬砌设计的概要	69
1-2-1 设计的基本条件	69
1-2-2 荷载的种类和组合	69
(1) 垂直及水平土压力	69
(2) 水压力	70
(3) 自 重	70
(4) 地基反力	70
1-2-3 设计法	70
1-3 设计方法	72
1-3-1 惯用设计法	72
1-3-2 修正惯用设计法	73
1-3-3 多铰系圆环分析法	73
1-3-4 梁—弹簧模型分析法	73
1-4 设计上的注意点	74
1-4-1 构件的设计	74
(1) 主 梁	74
(2) 背板(外板)	75
(3) 纵 肋	75
(4) 管片接头	75
(5) 环接头	76
1-4-2 小半径曲线	77

1-4-3 地震时	77
1-5 今后的课题	77
2 二次衬砌的设计和施工	77
2-1 前 言	77
2-2 一般的二次衬砌的设计	78
2-2-1 结构设计	78
2-2-2 衬砌厚度	79
2-2-3 养护时间	79
2-2-4 使用材料	79
2-3 一般的二次衬砌施工	79
2-3-1 施工流程	79
2-3-2 混凝土工程	80
(1) 准 备	80
(2) 浇筑混凝土	80
(3) 混凝土养护	80
(4) 二次衬砌混凝土浇筑时的注意点	81
2-3-3 模 板	81
2-3-4 钢 筋	82
2-4 脱模时二次衬砌合理结构稳定评价方法	82
2-4-1 结构分析模型和结构稳定的评价方法	82
2-4-2 少龄期混凝土的物性值的特征	82
(1) 变形模量 (E)	83
(2) 强度常数 (C, Φ)	83
2-4-3 现场施工管理 (累计温度的运用)	83
2-4-4 现场施工实验	84
(1) 实验概要	84
(2) 实验结果	85
2-5 有关二次衬砌设计、施工的其他技术	86
2-5-1 隧道轴向设计和二次衬砌	86
2-5-2 一次、二次衬砌之间的防水薄板	86
2-6 结 语	86
3 盾构隧道的防水技术	87
3-1 前 言	87
3-2 在管片接头面实施的防水	87
3-2-1 用密封材料防水	87
(1) 用密封材料进行止水的看法	88
(2) 确认止水条件的实验事例	89
3-2-2 在管片接头面实施的其他防水	90
3-3 采用二次衬砌防水	91
3-3-1 防水板的种类	91
3-3-2 用防水板止水的观点	91
3-3-3 防水板材料的安装法	92
3-3-4 防水板的接合方法	92

3-4 结 语	93
2. 竖井的设计和施工设备	94
1 竖井的设计和施工	94
1-1 竖井的种类	94
1-1-1 始发竖井	94
1-1-2 到达竖井	94
1-1-3 中间竖井	94
1-2 竖井的形状和施工法	94
1-2-1 形 状	94
1-2-2 施工法	95
1-3 竖井的设计	95
1-3-1 结构形式的研究	96
1-3-2 打桩挡土墙类竖井的要点	96
(1) 支护的形式	96
(2) 打桩深度的研究	96
(3) 断面研究	96
1-3-3 有关沉箱类竖井的要点	96
(1) 沉箱施工法型式的研究	96
(2) 构件的研究	96
1-4 竖井的施工	96
1-4-1 钢板桩竖井	96
1-4-2 SMW 竖井	98
(1) 钻孔时	98
(2) 开挖竖井时	98
1-4-3 气压沉箱竖井	98
1-4-4 开口沉箱竖井	98
1-4-5 地下连续墙竖井	99
1-5 最近的工程事例	100
1-5-1 工程概要	100
(1) 施工环境	100
(2) 土质概要和竖井断面	100
1-5-2 地下连续墙的施工	100
(1) 开挖单元分块	100
(2) 标准开挖周期和开挖精度	100
(3) 稳定液	100
(4) 钢筋笼架设	100
(5) 混凝土浇筑	102
1-5-3 始发竖井的开挖	102
(1) 开 挖	102
(2) 补强环混凝土	102
(3) 闸 井	102
(4) 地下连续墙的质量	102
(5) 地下连续墙的量测结果	102

3. 临时设备	103
1 临时设备的计划	103
1-1 临时设备的种类	103
1-2 配置计划	103
1-3 成套设备	103
1-3-1 添加材料设备	103
(1) 材料的选定	103
(2) 代表性的添加材料和特征	105
(3) 成套设备的实例	105
1-3-2 泥水处理成套设备	105
1-4 洞内土砂搬出设备	107
1-4-1 土压式盾构的搬出设备	108
(1) 轨道方式	108
(2) 管道方式	108
1-4-2 泥水输送设备	109
1-5 运转控制设备	110
1-5-1 土压式盾构机的运转控制设备	110
1-5-2 泥水式盾构机的运转控制设备	110
1-6 器材搬入设备	110
1-7 洞外设备	110
1-7-1 土砂搬出设备	110
(1) 门式起重机方式	111
(2) 抓斗方式	111
(3) 吊斗提升用塔架方式	111
(4) 垂直输送机方式	111
1-7-2 物资器材搬入、搬出设备	111
1-7-3 物资器材储料场设备	111
1-7-4 开挖土处理装置	111
1-7-5 污水处理设备	112
1-7-6 隔音设备	112
1-8 安全设备(除气压施工法外)	112
4. 盾构工程的自动化	114
1 前言	114
2 掘进管理系统	114
2-1 开发过程	114
2-2 系统的功能和构成	114
2-3 系统的事例	115
3 方向控制系统	115
3-1 开发过程	115
3-2 系统的功能和构成	115
3-3 自动量测系统	116
3-3-1 光学式	116
3-3-2 旋转罗盘式	118
3-4 推进控制系统	118

4 管片自动化拼装装置	119
4-1 开发过程	119
4-2 自动装置的概况	120
4-2-1 管片的供给	120
4-2-2 管片的抓取	120
4-2-3 管片的定位	120
4-2-4 螺栓紧固	122
4-3 自动装置的成果与课题	122
5 自动搬运系统	123
5-1 开发过程	123
5-2 系统概要	123
5-2-1 在地上部分进行的搬运	123
5-2-2 地上至竖井下的搬运	123
5-2-3 洞内搬运	124
6 其他自动化技术	125
6-1 自我诊断系统	125
6-2 箱体输送	125
7 总 结	125
5. 掘进和施工管理	126
1 盾构掘进和施工管理	126
1-1 前 言	126
1-2 掘进管理	126
1-3 开挖管理	127
1-3-1 泥水式盾构的开挖管理	127
(1) 开挖面管理	127
(2) 开挖土方量管理	130
(3) 盾构机管理	130
1-3-2 土压式盾构的开挖管理	131
(1) 开挖面管理	131
(2) 开挖土方量管理	132
1-3-3 开挖面坍塌探测	132
1-4 线形管理	132
1-5 衬背灌浆管理	133
1-5-1 浓 度	134
1-5-2 水泥泛浆率	135
1-5-3 凝胶时间	135
1-5-4 压缩强度	135
1-6 一次衬砌管理	135
1-6-1 拼 装	135
1-6-2 防 水	135
1-6-3 位 置	135
1-7 结 语	136
2 盾构机的始发和到达	136
2-1 前 言	136

2-2 盾构的始发	136
2-2-1 始发形态	136
2-2-2 始发设备	137
(1) 始发台、反力支承、临时拼装管片	137
(2) 入口衬垫	137
2-2-3 始发顺序	138
(1) 始发准备作业	138
(2) 拆除临时墙	138
(3) 掘进	138
2-3 盾构机的到达	138
2-3-1 到达的形态	138
(1) 到达后拆除挡土墙、再推进的方法	139
(2) 事先拆除挡土墙、使盾构机到达的方法	139
2-3-2 到达的顺序	139
(1) 在到达竖井前的掘进	139
(2) 盾构机的到达	140
(3) 拆除临时墙	140
2-4 始发、到达竖井的地基改良	140
2-4-1 化学药液注浆施工法	140
(1) 计算方法	140
(2) 改良断面的研究	140
(3) 施工	140
2-4-2 高压喷射灌注施工法	141
(1) 计算方法	141
(2) 设计强度和安全系数	142
(3) 改良断面的研究	142
(4) 有效直径的设定和配置	142
(5) 施工	143
2-4-3 冻结施工法	143
(1) 计算方法	143
(2) 设计强度与安全系数	143
(3) 改良断面的研究	143
(4) 冻结管径和埋设间隔	143
(5) 施工	144
2-5 始发、到达的注意事项	144
2-5-1 始发时的注意事项	144
(1) 始发台	144
(2) 始发洞口	144
(3) 反力支承	144
(4) 入口衬垫	144
(5) 临时墙拆除前的确认	144
(6) 始发前的确认	144
(7) 始发后的确认事项	144
2-5-2 到达的注意事项	144

(1) 刚到达前的掘进	144
(2) 临时墙拆除前的确认	145
(3) 盾构机外周的止水处理	145
2-6 今后的课题	145
3 衬背灌浆施工法和注浆效果	145
3-1 前 言	145
3-2 衬背灌浆的目的	145
3-3 衬背灌浆材料	146
3-3-1 根据使用材料特性进行的分类	146
3-3-2 根据注浆状态进行的分类	146
3-4 衬背灌浆的观点及其效果	148
3-4-1 应灌注和充填的空隙	148
3-4-2 注浆量	148
3-4-3 注浆压力	149
3-4-4 地基特性和衬背灌浆材料	150
3-4-5 小半径曲线施工	150
3-5 衬背灌浆的施工	150
3-5-1 衬背灌浆方式的分类	151
(1) 同时注浆方式	151
(2) 半同时注浆方式	151
(3) 即时注浆方式	151
(4) 后方注浆方式	151
3-5-2 衬背灌浆设备	151
(1) 主要机器	152
(2) 设备方式	152
3-6 结 语	153
4 曲线施工和地下接合	153
4-1 小半径曲线施工	153
4-1-1 盾构机	154
(1) 盾构机长	154
(2) 仿形切削刀装置	154
(3) 中间弯曲机构	154
(4) 切削刀偏心机构和切削刀弯曲机构	155
4-1-2 管 片	156
(1) 管片宽度	156
(2) 楔形管片	156
(3) 缩小管片	156
(4) 管片的改良	156
4-1-3 辅助施工法	157
4-1-4 衬背灌浆	157
4-1-5 可垂直弯曲的盾构施工法	157
4-1-6 小半径曲线的施工实绩	158
4-2 地下接合	158
4-2-1 使用辅助施工法的地下接合	158

4-2-2 机械的地下接合	159
(1) 刀盘引入方式	159
(2) 防护罩挤压方式	160
(3) 贯入环方式	160
4-2-3 机械的地下接合的问题点	160
4-2-4 地下接合的施工实绩	160
5 辅助施工法的种类和选择	160
5-1 辅助施工法的应用	160
5-1-1 用于开挖面稳定的辅助施工法	161
5-1-2 用于特殊条件下施工的辅助施工法	161
(1) 防止地基下沉	161
(2) 邻近施工	162
(3) 小半径曲线施工	163
(4) 地下接合	163
(5) 其 他	164
5-2 为了始发和到达的辅助施工法	164
5-2-1 始发部分的辅助施工法	164
5-2-2 到达部分的辅助施工法	165
5-3 辅助施工法的种类	165
5-3-1 气压施工法	165
5-3-2 降低地下水位施工法	165
5-3-3 化学药液注浆施工法	166
5-3-4 高压喷射注浆施工法	167
5-3-5 冻结施工法	170
6. 邻近施工和环境对策	173
1 邻近施工和对策	173
1-1 前 言	173
1-2 从事邻近施工的方法	173
1-3 邻近施工影响的研究	176
1-3-1 邻近施工中所预料的问题点	176
1-3-2 邻近程度的判断	176
1-3-3 地基和邻近构筑物的动态预测	178
1-3-4 原有构筑物的受损容许值	179
1-4 对策施工法和效果确认	180
1-4-1 对策施工法的种类与选定	180
1-4-2 对策施工法的试验施工及其效果的确认	180
1-5 邻近施工时的动态量测管理	183
1-6 结 语	184
2 托换基础和障碍物对策	184
2-1 前 言	184
2-2 障碍物的调查	184
2-3 对付障碍物的基本方法	186
2-4 托换基础	187
2-4-1 概 要	187

2-4-2 调 查	188
2-4-3 施 工	188
(1) 耐压板方式	188
(2) 新建基础方式	188
(3) 新设基础和耐压板兼用方式	189
2-4-4 施工管理	189
(1) 预加荷载	190
(2) 量测管理	190
2-5 障碍物对策	190
2-5-1 盾构机掘进的切削拆除方式	191
2-5-2 从地面上、障碍物内部事先进行拆除	191
(1) 事先从障碍物内部拆除	192
(2) 通过竖井、横向坑道事先拆除	192
2-5-3 从盾构开挖面进行的机内拆除	193
2-6 今后的课题	194
3 盾构工程和环境对策	195
3-1 前 言	195
3-2 盾构工程中环境对策的特征	195
3-3 环境对策的推行方法	195
3-4 相关法规	196
3-4-1 公害对策的基本法	197
3-4-2 噪声限制法	197
3-4-3 振动限制法	200
3-4-4 防止公害条例	200
3-5 影响环境的因素及其对策	200
3-5-1 噪声、振动	200
(1) 发生原因	200
(2) 对 策	201
3-5-2 地基下沉	203
(1) 伴随盾构的掘进而引发下沉的原因及其对策	203
(2) 竖井部分地基下沉的原因及其对策	203
3-5-3 防止水质的污染	203
3-5-4 降低地下水位	204
3-5-5 缺 氧	204
3-5-6 废弃物(弃土)	205
(1) 晒 干	205
(2) 强制脱水	206
(3) 添加水泥系改良材料	206
(4) 添加石灰系改良材料	206
(5) 添加高分子系改良剂	206
3-5-7 日照、景观	207
3-6 今后的课题	208
7. 新施工法的现状和将来的展望	209

1 自由断面盾构施工法 (纵椭圆形断面)	209
1-1 盾构机	209
1-2 纵椭圆形管片	209
1-3 从开发到实际应用	210
1-4 本施工法在计划上的考虑	210
2 异形断面盾构	211
2-1 盾构机	211
2-2 衬砌结构	211
2-3 开发阶段	212
3 分岔、接合盾构	212
3-1 接合方式	212
3-2 分离方式	214
3-3 开发阶段	215
4 球体盾构 (喇叭形) 施工法	215
4-1 盾构机	215
4-2 从开发到实际应用	215
4-3 本施工法计划上的考虑	216
5 总 结	216
6 双圆形、矩形和扩大盾构机的开发动向	216
6-1 前 言	216
6-2 双圆形盾构	217
6-2-1 开发的经过	217
6-2-2 开挖、排土机构	218
6-2-3 管 片	219
6-2-4 施工性	220
6-2-5 施工实例	221
(1) MF 盾构施工法	222
(2) DOT 施工法	222
(3) H&V 盾构施工法	223
6-2-6 技术开发的动向	223
6-3 矩形盾构	224
6-3-1 以前的矩形盾构	224
6-3-2 新颖的矩形盾构	225
6-4 扩大盾构	226
6-4-1 开发的经过及其用途	226
6-4-2 施工法的概要和施工顺序	227
6-4-3 施工法的特征	227
6-4-4 施工实例	228
(1) 圆周盾构	228
(2) 扩大盾构	228
7 ECL 施工法	230
7-1 前 言	230
7-2 ECL 施工法开发的经过和现状	230
7-3 ECL 施工法的概况	231
7-4 施工实绩	233