

# 地下建筑译文集

上海市隧道建设公司<sup>译</sup>  
同济大学地下建筑教研室

同济大学科学技术情报组编印

一九七三年九月

# 毛主席语录

思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。

对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

要采用先进技术，必须发挥我国人民的聪明才智，大搞科学试验。外国一切好的经验、好的技术，都要吸收过来，为我所用。学习外国必须同独创精神相结合。采用新技术必须同群众性的技术革新和技术革命运动相结合。必须实行科学研究、教学同生产相结合。

# 前 言

为了适应当前科研、教学与生产的需要,出版《地下建筑译文集》,以供有关单位研究参考。

本集选择以水底隧道施工技术方面的内容为主,另外加入一部分有关国内正在进行试验研究项目的参考译文。

为节省篇幅与制版工作,在部分译文中曾精简了其中次要的插图和照片;插图中的原文暂用加代号对照译文(附于插图下方)的办法作说明。

由于外文与技术知识水平有限,难免有错漏之处,望读者予以指正。

# 目 录

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| 一、引起世界所注目的泥水式盾构·····            | 1—13    |
| 二、使用先导盾构推进的双线隧道盾构法施工·····       | 14—26   |
| 三、用先导盾构对含水砂层进行降水的双线隧道盾构法施工····· | 27—28   |
| 四、用沉放法施工的东京港海底隧道工程现状·····       | 29—39   |
| 五、阿姆斯特丹市埃河公路隧道·····             | 40—64   |
| 六、旧金山湾隧道的抗震接头的设计·····           | 65—73   |
| 七、新奥地利隧道工程法·····                | 74—82   |
| 八、钢筋混凝土压弯构件斜截面的抗剪强度·····        | 83—107  |
| 九、管片衬砌防水工艺·····                 | 108—112 |

# 引起世界所注目的泥水式盾构

大平拓也

## 一、前言

盾构施工法近年来大有进步和发展，在地下铁道、上下水道、和其他管路等方面的建筑上出现了许多各种断面和各种型式的盾构。但就目前来说普通的盾构法施工其适应范围还是有限，随着地质条件不同往往还带来许多施工上的困难。所以对工程的安全性、或经济性方面还期待着要更进一步的改善。

日本铁道建设公团在京叶线的羽田隧道横贯森开崎运河河底处，采取了特殊的大型泥水加压式机械化盾构，它是在水底下不用气压情况下施工。泥水式盾构虽然在直径3米以下的小断面所谓压入式的已有过很多施工实例，但是一跃而用7米以上断面的大型盾构来建造水底隧道、我国(日本)还是首次、其中必有各种技术问题存在，还有待于今后进一步的改进和发展，但相比过去的盾构来说确是打破了框框。下面是关于本工程的概要和泥水加压式盾构法施工的报告。

## 二、京叶线

京叶线、羽田隧道和通过森开崎运河部分的概要：

京叶线是从川崎市的盐滨起通过东京湾岸的人造陆地，到千葉县的木更津，全长约100公里的铁道新线。和武藏线、小金线一起形成了所谓东京外环状线，特别是其中盐滨大井一段，与国家铁路东海道主线有密切关连，要求早日完成。此间的线路如图1所示，是一条由盐滨车站出发，进入地下，过多摩川河底，通东京国际空港西端部，再过森开崎运河河底，京滨三区的人造陆地和京滨运河，全长5980米的隧道。在大井夫头人造陆地上出地面，作为大井货物车站，再从这个人造陆地的北端进入地下，横穿品川运河底，在品川夫头向右折，穿过东京港航路的海底下。是以水底隧道为主体的特殊设计。

羽田隧道，由图1所示，横贯多摩川和京滨运河的部分是用沉埋法，空港内和京滨三区人造陆地部分用普通的手挖式气压盾构施工，在森开崎运河部分就是用本文所介绍的特殊的泥水加压式盾构法施工。由图2可知，横贯森开崎运河水底下部分约700米，京滨三区人造陆地南部竖井和空港北部竖井的距离约865米。

图3为外径7.10米单线圆形断面并列相距约15米的隧道。

从地质图了解到，中央部分是深的洪积层断面，隧道有时要进入土质交叉的冲积层里。洪积层是非常硬的砂质土，其N值在30~50以上。冲积层为N值在0~5的软弱的粉砂土层(Silt)。

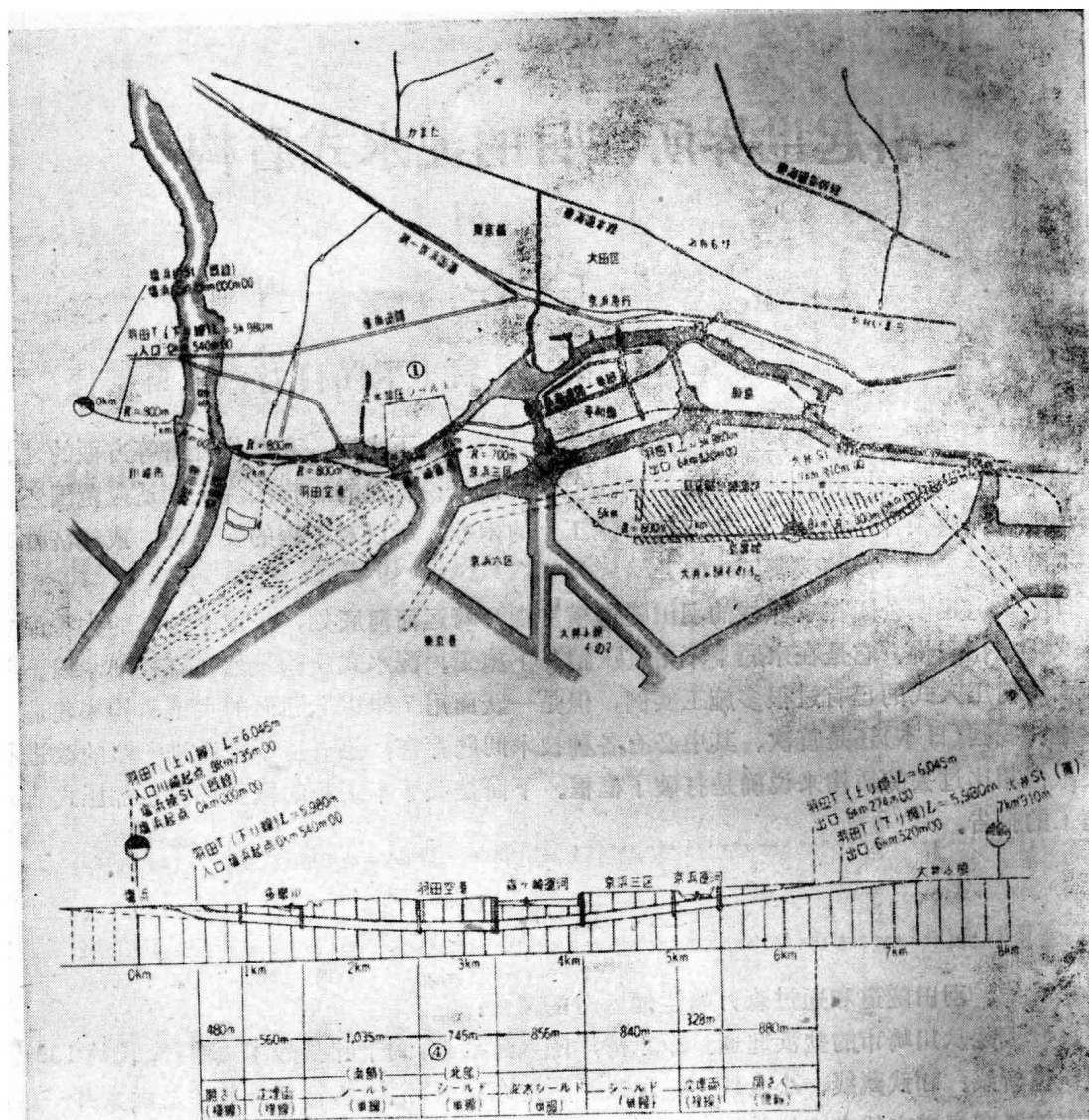


图1 京叶线，羽田隧道全图

- ①泥水加压盾构 ②沉埋段 ③(南部)盾构段 ④(北部)盾构段 ⑤泥水盾构段  
⑥盾构段 ⑦沉埋段 ⑧敞开区 ⑨大井货物站

隧道顶上的河面，正处于东京国际空港的A滑道正面，受到航空的限制，水面上的作业安排极为严格，盾构从京浜三区的竖井向空港方向掘进，经过慎重研究，采用密闭泥水加压式盾构，施工时不必加气压，这是最安全和最经济的方法。

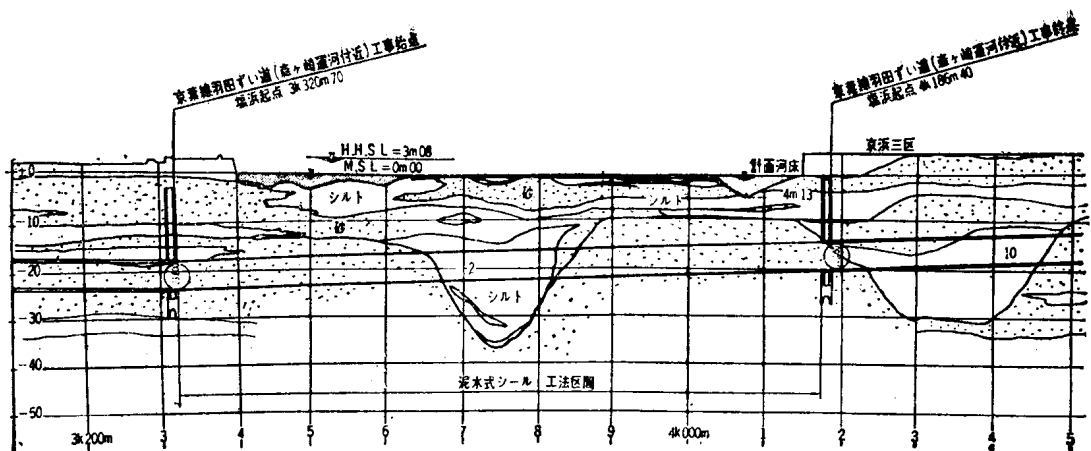


图2 羽田隧道森开崎运河部分线路纵断面地质图

①泥水式盾构法施工区間

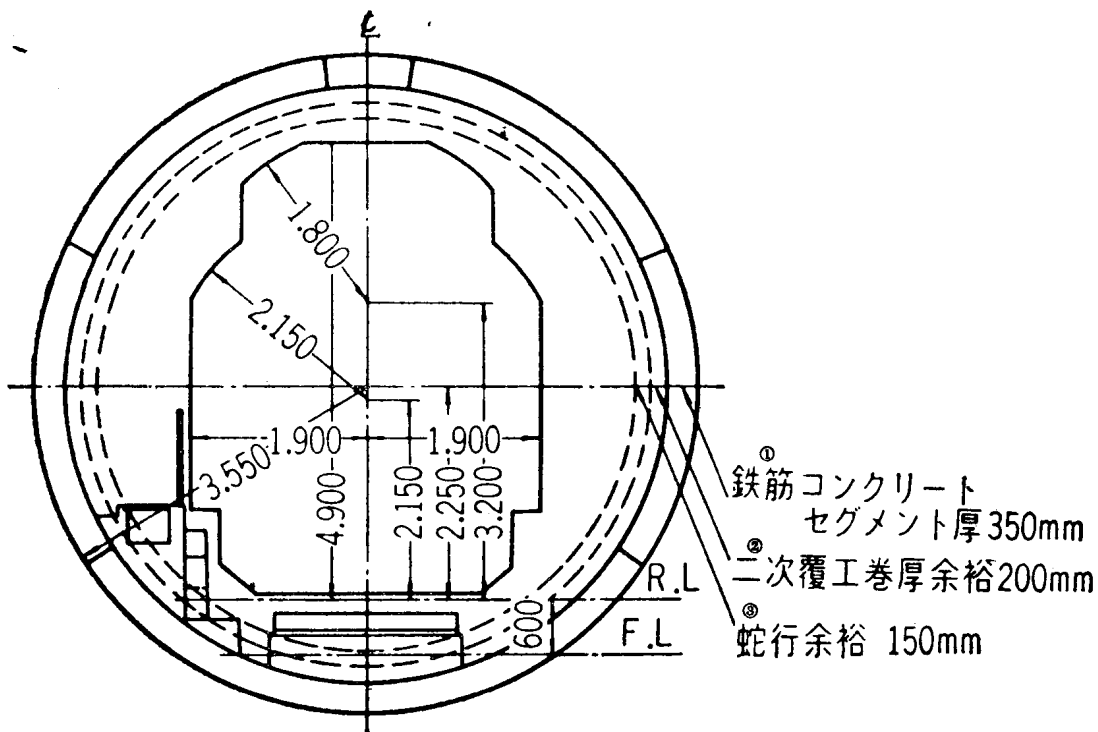
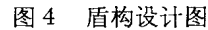


图3 隧道断面图

- ①钢筋混凝土管片厚 350 毫米 ②留第二次浇筑内壁厚度裕量 200 毫米  
③留蛇行裕量 150 毫米

### 三、泥水加压式盾构的一般考察

泥水加压式盾构,是把普通的盾构开启着的挖掘面,用一隔墙把机械掘削部分一起封闭,并在其隔墙前面充满泥水,由切削器掘削下来的土砂用搅拌器搅碎,并由管子将其泥水同时



- 4



(6) 泥水盾构虽然价钱高一些,但是由于效率高,和考虑到气压工不足的情况下,在经济上还是很有价值的。

表 1 盾 构 各 部 件

| 名 称   |        | 规 格                   |                                                                                                              |       |                                                                                     |       |      |
|-------|--------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|------|
| 盾 构   | 盾构本体   | 外 径                   | 7290                                                                                                         | 盾尾内径  | 7150                                                                                | 支 承 环 | 40   |
|       |        | 全 长                   | 6450                                                                                                         | 盾尾板厚  | 70                                                                                  | 前簷部板厚 | 40×2 |
|       | 盾构千斤顶  | 推力, 行程 压力             | 160T×1053×370 kg/cm <sup>2</sup> ×27只                                                                        |       |                                                                                     |       |      |
|       | 盾构动力   | 电 动 机                 | 18.5 kw ×3 台 (4 极)                                                                                           |       |                                                                                     |       |      |
|       |        | 油 泵                   | FG30 10/20 ×26 l/min ×370 kg/cm <sup>2</sup> ×3 台                                                            |       |                                                                                     |       |      |
| 切 削 器 | 切 削 器  | 外 径                   | 6900                                                                                                         |       |                                                                                     |       |      |
|       |        | 回 转 数                 | 0.86 r. p. m (油压 140 kg/cm <sup>2</sup> ),<br>0.52 r. p. m (油压 210 kg/cm <sup>2</sup> )                      |       |                                                                                     |       |      |
|       |        | 力 矩                   | 177 T-M (油压 140 kg/cm <sup>2</sup> ),<br>262 T-M (油压 210 kg/cm <sup>2</sup> )                                |       |                                                                                     |       |      |
|       | 切 削 动力 | 电 动 机                 | 55 KW, (6 极) ×4 台                                                                                            |       |                                                                                     |       |      |
|       |        | 油 泵                   | 2VS 0~200 l/min (油压 140 kg/cm <sup>2</sup> )<br>0~126 l/min (油压 210 kg/cm <sup>2</sup> )×4 台                 |       |                                                                                     |       |      |
|       |        | 油 马 达                 | 400 kg-M ×48 r. p. m (油压 140 kg/cm <sup>2</sup> )<br>590 kg-M ×375 r. p. m (油压 210 kg/cm <sup>2</sup> ) ×8 台 |       |                                                                                     |       |      |
|       | 千 斤 顶  | 切 削 器<br>移 动 千 斤 顶    | 130 T ×550行程 ×350 kg/cm <sup>2</sup> ×4 只                                                                    |       |                                                                                     |       |      |
|       |        |                       | 动 力                                                                                                          | 电动机   | 55 KW (4 极)×1 台                                                                     |       |      |
|       |        |                       |                                                                                                              | 油 泵   | FG <sub>6</sub> <sup>11/12</sup> 7.5 l/min (油压 350 kg/cm <sup>2</sup> )×1 台         |       |      |
|       |        | 反 作 用<br>千 斤 顶        | 80 T ×550 行程 ×350 kg/cm <sup>2</sup> ×2 只                                                                    |       |                                                                                     |       |      |
|       |        |                       | 动 力                                                                                                          | 电动机   | 5.5 KW (4 极)×1 台                                                                    |       |      |
|       |        |                       |                                                                                                              | 油 泵   | FG <sup>11/12</sup> 7.5 l/min (油压 350kg/cm <sup>2</sup> )                           |       |      |
|       |        | 壳 形<br>切 削 器<br>千 斤 顶 | 7 T× 280 行程 ×220 kg/cm <sup>2</sup> ×4 只                                                                     |       |                                                                                     |       |      |
|       |        |                       | 动 力                                                                                                          | 电动机   | 5.5 KW×4 极 ×1 台                                                                     |       |      |
|       |        |                       |                                                                                                              | 油 泵   | FG <sup>14/12</sup> 7.5 l/min (油压 350 kg/cm <sup>2</sup> )×1 台                      |       |      |
|       | 搅 拌 器  | 外 径                   | 1200                                                                                                         | 回转数   | 54 r. p. m (油压 140 kg/cm <sup>2</sup> ),<br>33 r. p. m (油压 210 kg/cm <sup>2</sup> ) |       |      |
|       | 拼 装 器  | 伸 缩 千 斤 顶             | 提升力                                                                                                          | 8.5 T | 伸出力                                                                                 | 13 T  |      |
| 电 动 机 | 电 源    | A. C. 200V 50∞        |                                                                                                              |       |                                                                                     |       |      |

#### 四、羽田隧道大型泥水加压式盾构施工法的设计概要

##### 1. 盾 构

图 4 就是在本工程中所用的泥水加压式盾构, 设计上是曾按下列几点来考虑的:

(a) 从地质图来看, 盾构必需在极端的硬软二种土质里掘进, 为此切削器要能在轴向作前后移动, (移动量 55 厘米) 在洪积层中, 切削器向前方推出, 而且伸出壳形切削头, 使前刀刃部分先进行掘削。

(b) 为防止在盾尾与管片之间的泥水泄漏, 采用了如图 5 所示由氯丁橡胶做的 L 型密封和 U 型密封。(它是藏在盾尾钢板中的, 由内部充气, 使其膨胀与管片外侧贴牢) 的双重装置。在更换 L 型密封时, 就用 U 型密封。密封效果经过试验, L 型的耐水压约  $2\text{kg/cm}^2$ , U 型的耐水压约  $4\text{kg/cm}^2$ 。

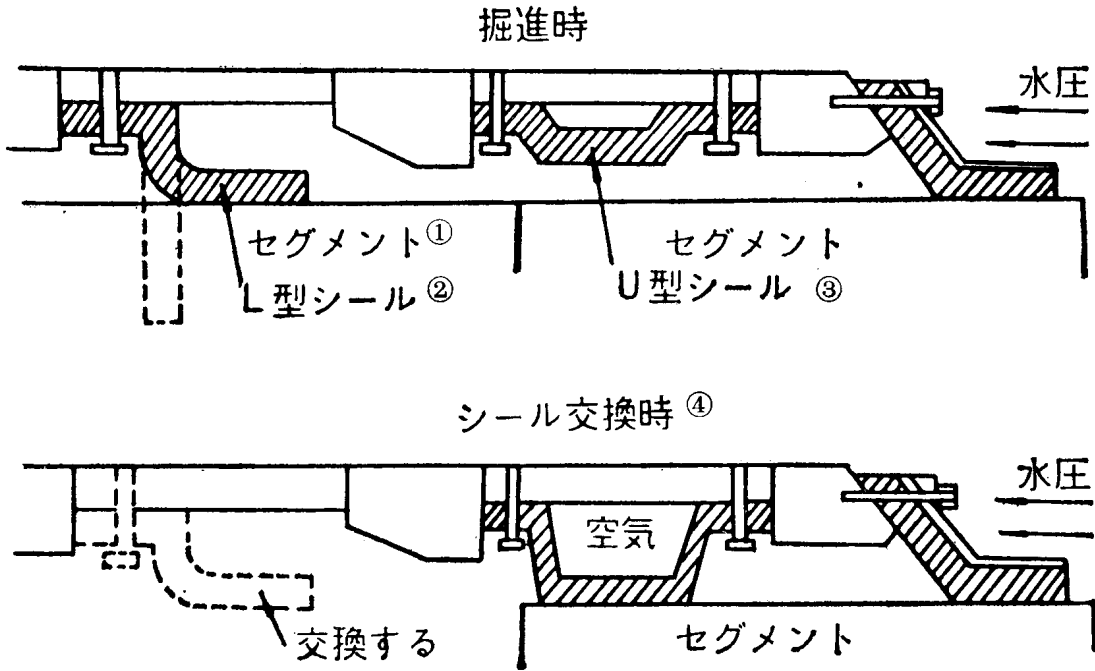


图 5 盾尾密封的构造

①管片 ②L型密封装置 ③U型密封装置, ④盾尾密封掉换时

(c) 从盾尾的结构, 切削器, 隔墙……等结构布置上来看, 需占盾构的长度方向很多, 为避免发生盾构操纵上的困难, 所以对盾构纵向尺寸的布置, 设计上尽量把它缩短。

(d) 切削器的回转驱动机构是在隔墙的后方, 为中心轴传动方式, 其回转和轴向移动全是液压驱动。切削器是处在有压力的泥水腔内工作, 要考虑防止泥水对轴承等零件的浸入。切削器可正反转, 用以控制盾构的旋转, 或倾侧。

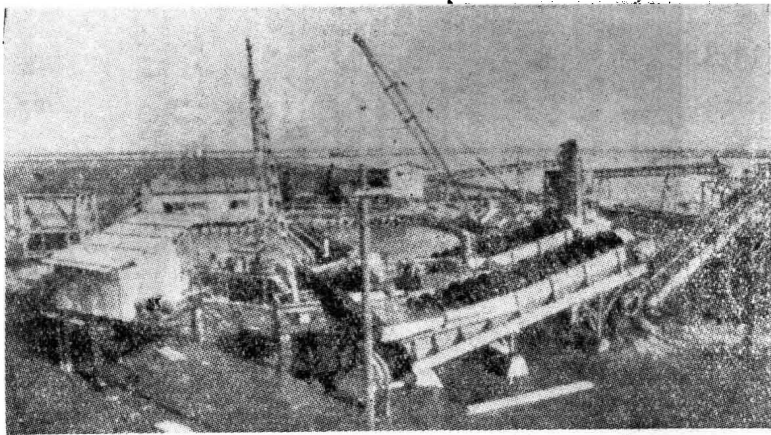
(e) 对于出土, 泥水室内装置了搅拌器, 以搅碎切削器切削下来的泥块。在送水管和排泥管之间也设置了旁通管道, 用以对付管道堵塞时的修复, 以免发生重大影响。开挖面泥水压力的控制(泥水压比开挖面自然水压大  $0.2\text{kg/cm}^2$ )是依靠排水和供水的速度。故必需装有能敏感地反应压力变化的装置。

(f) 盾构推进, 跟着送水管排泥管子需要相对伸长, 故配置了双重管道结构的伸缩接头, 在坑道中又设置了一只中间泥水储槽, 泥水从开挖面排送出来到泥水储槽, 再由泥水泵排送至地面。

(g) 在发生异常事件情况下, 把隔墙前方的泥水用压缩空气排除, 通过出入气闸室进去检查和修理。



然后进入第一次沉淀池，使其自然沉淀，其溢满出来的泥水，进入第二次沉淀池，池里加入化学药品使泥质随着沉淀。一次沉淀池沉淀的泥砂用挖泥机挖走，二次沉淀池沉淀的泥砂用特殊的网孔的庖斗运输机运走。而其剩余的水(二次沉淀池中)仍打到盾构里去。不足的数量由海水补给。



照片 2 地面上泥水处理设备的全景

### 3. 管 片

图 7 所示是钢筋混凝土管片，每环 7 块长 80 厘米，本工程的盾构施工是在水底下，并要承受强力水压，所以盾尾与管片防水的性能需特别注意，这里用了二条橡胶密封，已于图 5 所示。

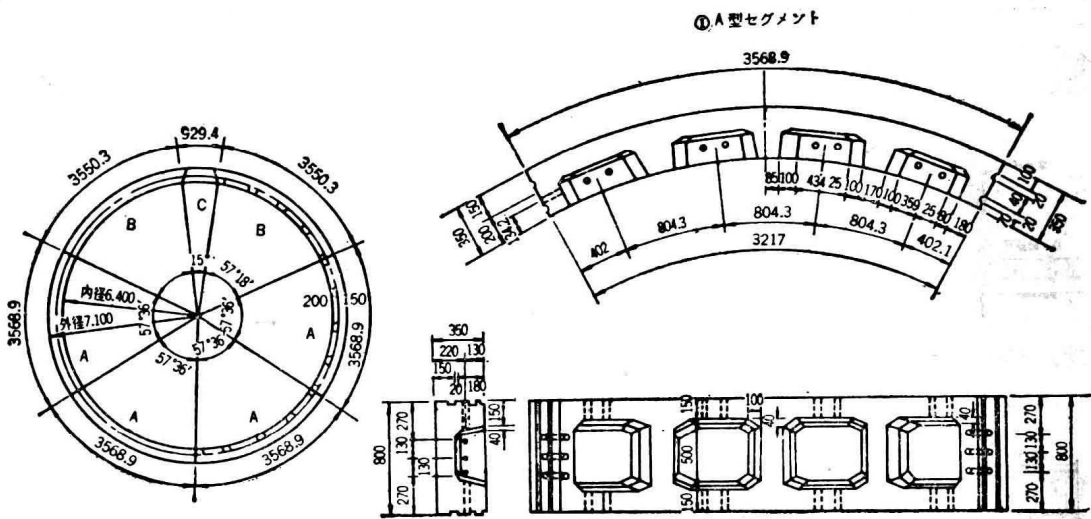


图 7 管片设计图 A型管片

## 五、施 工

工程是从 69 年 3 月开始，先进行盾构制造，竖井下沉，以及其他各项准备工作，70 年 6 月 10 日， 8 月 16 日，并列双线的两只盾构各自从竖井的洞门推出，至 71 年 1 月从洪积层进入冲积层，再进入洪积层，二次通过恶劣的地质变化，盾构掘进合计共约 1250 米。

### 1. 盾构推出竖井的方法

泥水加压式盾构推出竖井，与气压式盾构有所不同（最初是按一般考虑，在竖井上封盖加气压，拆除洞墙，盾构掘进到适当距离，再用泥水加压式方法施工），考虑了如图8顺序进行，竖井墙和盾构之间作如前述的L型盾尾密封同样原理的橡胶密封。结果顺利地直接用泥水加压法出了洞。

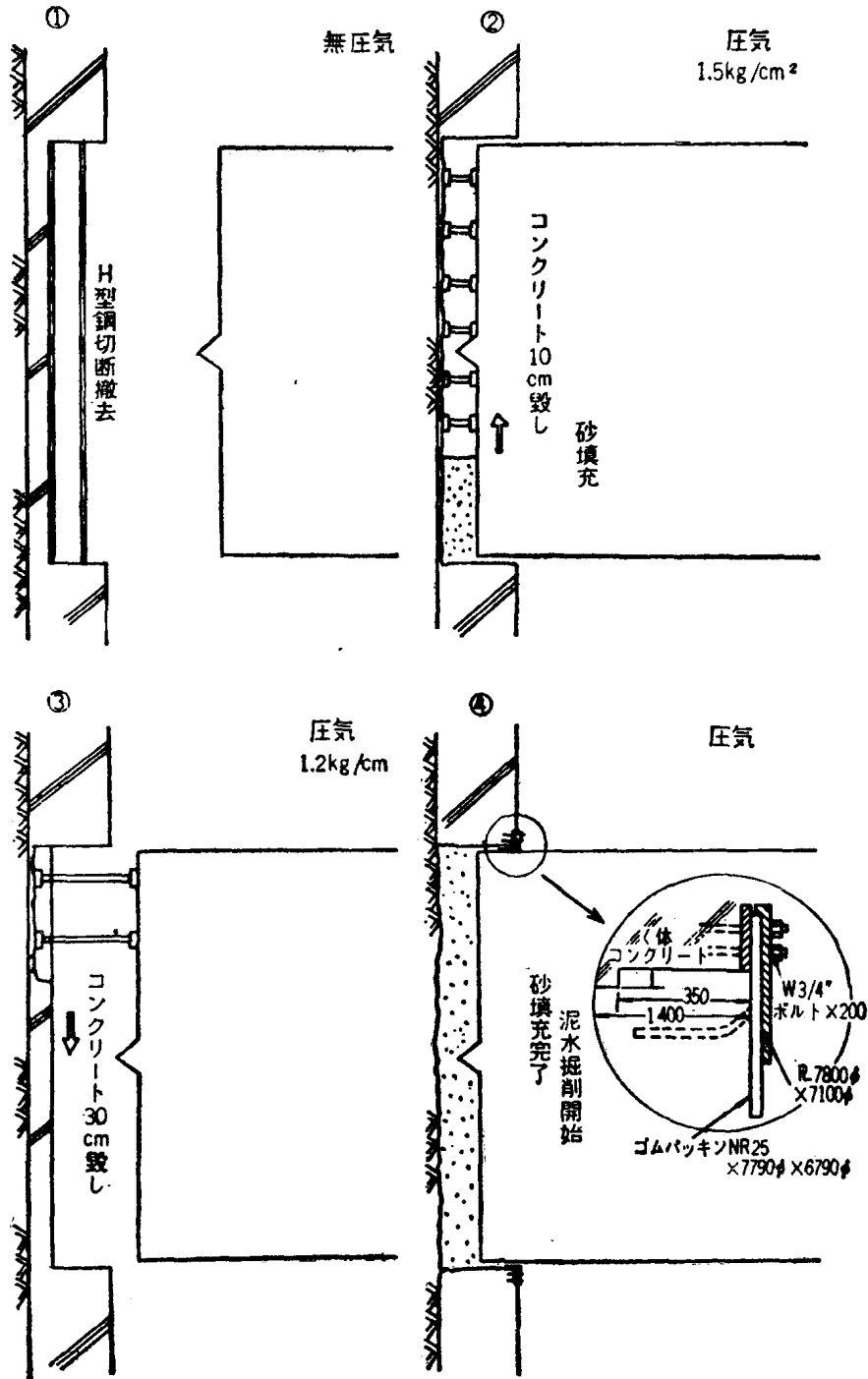


图8 盾构推出竖井的方法

① 3/4吋螺栓 ② 橡胶衬垫

竖井是用气压沉箱法沉下，盾构出洞之前在其推进的前方两侧土体中进行化学注浆。使其坚固。

2. 掘进和管片拼装

掘进：先把水用送水泵送到开挖室，再由排泥泵排出，作循环，然后开动搅拌器，经过各部分仔细检查，再慢慢地转动切削器，盾构前进。对于开挖面上为保证泥水压力的稳定，可用送水泵的速度调节，即使由于地层的自然水压，排泥管的阻抗等变化，仍能自动地控制压力。开挖切削是采用全断面盲目式(blind)的切削器，对土掘削状况的判断，排泥泵的泥水速度，土砂的比例，除了沉淀池里可用肉眼观察外，在排泥管上装有 $\gamma$ 射线的密度计，可连续自动记录每小时的流量，土砂的含有率，换算土砂量等用此来控制盾构掘进，取得了良好的成绩，图9示出了一次掘进的自动记录情况。

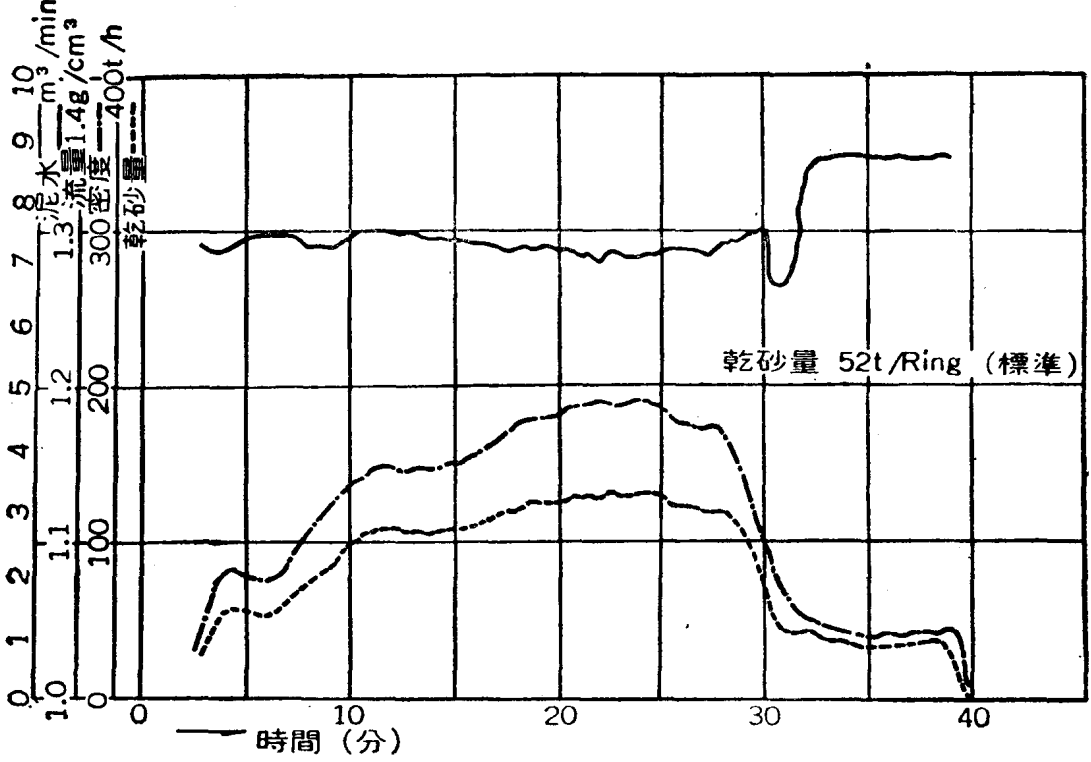


图9 用 $\gamma$ 线密度和电磁流量计的泥水干砂量测定记录表

随着盾构前进，排泥管子要相对伸长，这里采取了双管结构的滑动式装置，管子随着盾构前进而自身伸长，它一端插入工作面以随时保持掘削室的泥水压，而另一端即滑动部分的前面各自设置了阀门，并接成可把送水和排泥管子短路，以利用管子接通到坑外二次沉淀池的水面所给予的水头。在停泵时仍能维持泥水室内的泥水压力。

流动在排泥管的土砂含有率(流速约40m/S)以15%为适当。对块状物体直径10厘米的固结物也能排出。一般排泥管内径20厘米，管子 $\frac{1}{3}$ 大小的物体完全可以通过管子排出。

一天的最高掘进记录为22环(17.6米)图10为8环作业循环例示。

拼装：泥水加压式盾构的特点，是用压力的泥水作用于开挖面上，但也同样反作用于盾构上，所以拼装方式还象一般盾构那样，一次掘进后，要拼装管片先把盾构千斤顶全部缩回，然而在泥水压作用下，必然导致盾构后退，所以在拼装工艺上只需缩回必要的几只盾构千斤

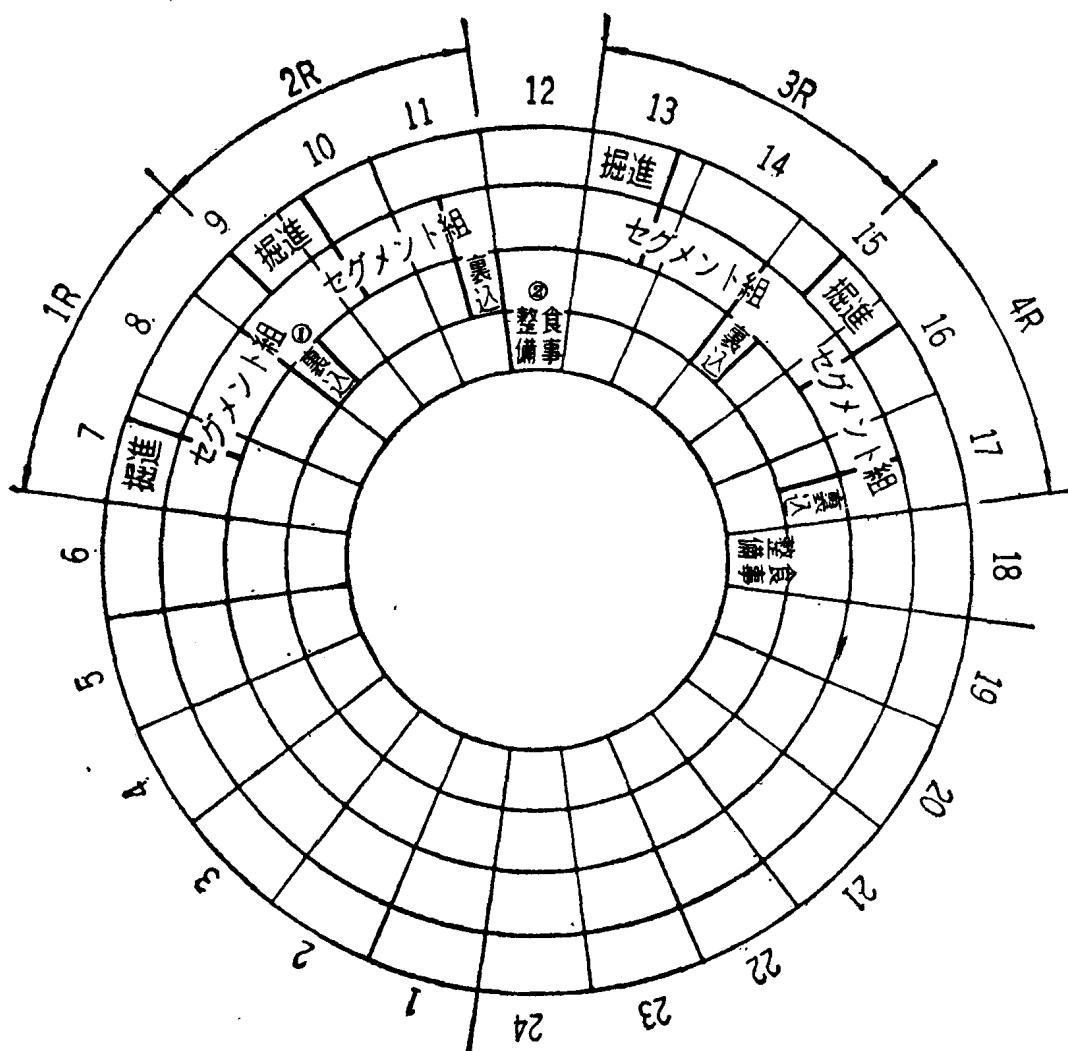


图10 8环(6.4米)作业循环时间表

①回填 ②吃饭

顶，管片插入后直接就顶住在管片上，以抵抗盾构后退的反力。

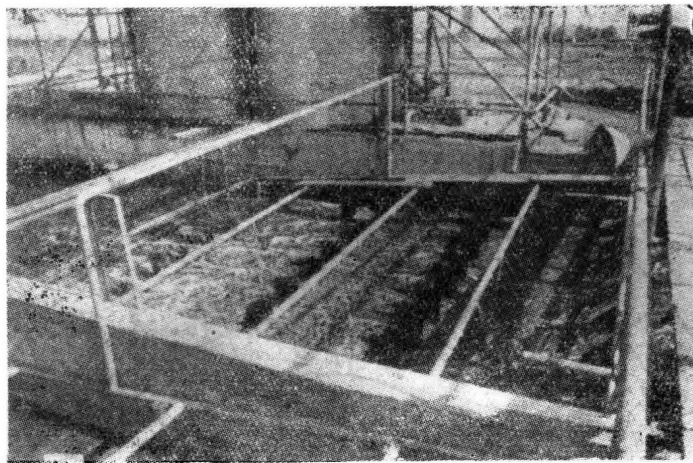
另外，盾构中央部分有切削器的驱动装置，它占有很大空间，拼装器的行动范围受到限制，管片拼装作业比普通盾构困难，且化费时间多。

### 3. 泥水处理

砂质土，搅碎有40%。到一次沉淀池里几乎全部沉淀，粉砂质土的泥水在一次沉淀池里原样溢出，由管子把凝集剂溶液溅出与泥水混合，粉砂土就在第二沉淀池里沉淀，凝集剂是一种称为(含水絮凝剂)305的(聚丙烯酰胺)白色粉末。根据泥水的浓度，凝集剂溶液的添加比例由实验得出，如表2。

表2 药品添加量

| 泥水浓度<br>重量% | 药品加入量<br>P. P. m. |
|-------------|-------------------|
| 5           | 11                |
| 6           | 14                |
| 10          | 45                |
| 12          | 60                |
| 16          | 83                |
| 20          | 120               |



照片3 凝集剂溶液的添加状况

二次沉淀池里的泥土的取出，是使用了特殊设计的有金属网眼斗式运输机，化学(药物)沉淀的土厚约为原土的230%。一次沉淀池的土砂取出后，用装土卡车运走，二次沉淀的土，装载到运土船里，送到东京都指定的海上投土场投弃。对于含水率高的泥土搬运是较难处理，它也是今后所研究的最大问题之一。

## 六、泥水加压式盾构施工法的若干问题

以上是羽田隧道森开崎运河区间中用泥水加压式盾构的水底隧道设计施工概要，该工程目前尚未完工，只是一个中间阶段的报告，今后可能还有新的问题出现。现在就泥水加压式盾构施工已有的若干问题和今后研究的课题叙述如下：

(1)开始最担心的是从盾尾部泥水浸漏，用了L型和U型密封，还未完全达到实用目的，盾构下部有砂卡在盾尾和管片之间，盾构推进时，盾尾密封受阻而破损，成为降低盾尾密封止水效果的原因。改进的新的盾尾密封正在试行中。在强力的泥水压力下，盾构施工被认为最重要问题之一就是盾尾密封防水，用在施工中要一次成功，故对橡胶的性质、型式、使用方法等的研究需要很成熟。

(2)泥水处理，是放在井外，人造陆地上的设施中处理。有充分的工作场地和面积，条件较好。但在都市内用本施工法，实际上是极为困难的，这是一个大问题，今后有待研究紧凑有效的泥水分离法和装置。

(3)泥水压力的控制，完全可由泵来自动控制，最初是考虑有必要过渡中间储槽，从实际施工情况来看没有必要，今后也用不着。

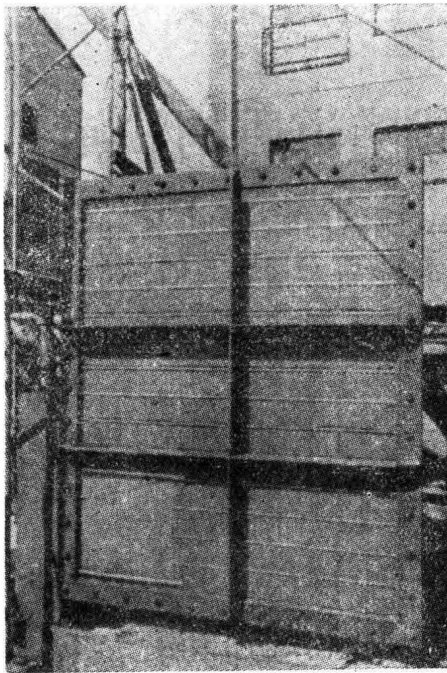
地层水压的测定，按照事前的地质钻孔调查所得的水压数据仍可参考，在盾构的隔墙面上装上了水压计，以测示其泥水室内的压力数值。

在施工之前用泥水加压对盾构开挖面的稳定问题做了一些实验，现在还在继续进行，目前还不能作出详细的报告，所介绍的只是实验已明确的几个主要点：

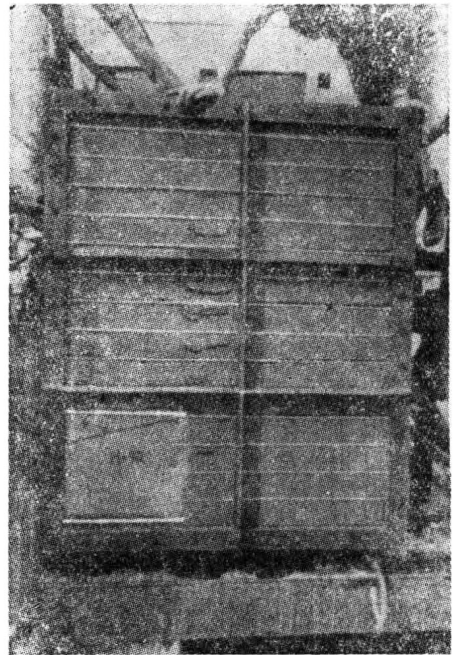
(i)细砂层(按实验所用的标准砂)，用气压来疏干开挖面的水以谋求开挖面稳定不行的(实际上盾构施工用气压来对付有水压的砂层中掘进困难极多)。

(ii)以纯清水作为水压(没有泥份)不能使得开挖面稳定。





照片4 实验装置



照片5 开挖面的崩坏状况

(iii)如果利用膨润土,即使是细砂层也可使开挖面稳定,对于开挖面的自然水压下由于膨润土浆压力而达到稳定,其范围本实验为 $0.95 \sim 1.15$ 。

(iv)用普通泥水代替皂液(本工程施工就用淤泥水)可得到同样的效果。施加的泥水压,即使泥水沉淀,多少有些澄清,也能保持暂时的稳定。

(4)气压式盾构,在盾尾内拼装隧道管片,其隧道管片的重量落在盾尾上,使盾构有下沉的倾向,但本施工法(泥水加压法)相反地由于有水的浮力,就有所谓向上浮起的特异现象。这样盾尾部产生的空隙就必需以水泥灰浆填充。但是对极为软弱的冲积层内,盾构通过后,土就直接密实包在管片外面,这样由于土的重量,又回复到和普通盾构那样产生下沉现象。

(5)本施工法之效能是在饱和水的土层里,具有水压的情况下施工,若在无水压即不加泥水压情况下无法掘进,也即盾构无法使用,但整个工程全长范围内希望盾构能够通用,因此还必需考虑泥水盾构能够换装为机械掘削盾构的结构。

## 七、结 尾

本工程到现在还正处在施工中,作为泥水加压式盾构施工法考察介绍,只是停留于中间报告,详细的施工记录待完工后有机会再介绍。本施工法虽然还存在各种问题,但是水底下可以不使用气压而进行安全的正常的作业,以求快速的盾构掘进,我们确信泥水加压式盾构施工法将会有很大发展。

摘译トンネルと地下 1971 年第 3 期  
上海市隧道建设公司设计室译