

実用講座

シールド  
工法

5

## 小型シールド トンネル

### 工事の実例

西嶋 国造\*

#### 1. 下水道用シールド トンネル工事の実例

##### (1) 概 説

わが国における下水道用シールドトンネル工法は、東京都下水道局によって、初めて1962~1964年に石神井幹線、白山幹線の管きょ新設工事に採用され立派な成果をおさめ、その後表-1のように多くの幹線工事に採用され、ますますその技術も習熟しつつある。最近では、ようやく大都市各地で本工法が採用されるようになった。

各地で下水道整備のため幹線敷設の必要がおこり、狭い地に大口径の管きょ敷設となり、開削工法では路面交通に与える支障、ならびに沿道家屋の損傷、公害等になやまされるのであるが、シールドトンネル工法による場合は、安全で確実な仕事が望めるため、また沿道の実害補償等を考えると、開削工法や一般トンネル工法と比較し、経済的にも採算にのるため多く採用されるようになった。

下水道用シールドトンネル

の特徴と思われる事項は、

- ① 一般に勾配はゆるやかである
- ② 土かぶりは比較的小さい
- ③ 路線の曲率はなるべく小さくしたい（せまい道路を曲ってとおる場合がかなりある）
- ④ 内面を平滑に仕上げer必要があるため、必ず2次巻をする必要あり
- ⑤ シールドの内径は、人間が自然の姿勢で作業可能な内径が必要である。シールドトンネル工法による最少実内径（管きょ内径）は、大阪市、京都市の下水管きょで1500mmがあり、東京都の下水管きょ内径の最少は、尾久幹線の1650mmである。

下水道用シールドトンネルについては、以上のような特徴があるが、そのため施工上はつぎの事項に注意を要する。

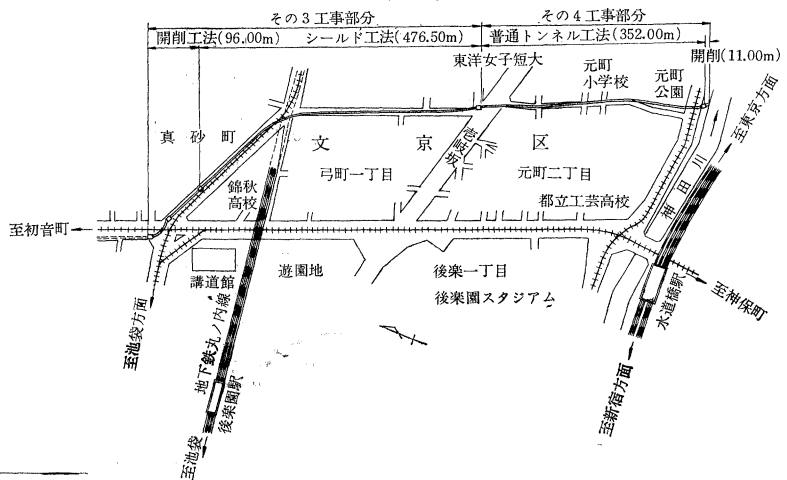
① 比較的土かぶりが浅いから、他の埋設物の調査確認をなし、掘進中障害とならぬよう考慮する必要がある。建造物のあった跡地下等をとおる場合は、基礎杭等もよく調査しておくことが大切である

② また地下水位の高い場合は、圧気工法を併用する機会が多いが、土かぶりが浅いため、地質によっては漏気がしやすく、ときどきは所要の気圧まで上げることができなかったり、古井戸跡等に遭遇するとしばしば噴発事故をおこすことがある。

また噴発防止上からは、地質調査用のボーリング孔の位置選定および跡始末も大切である。

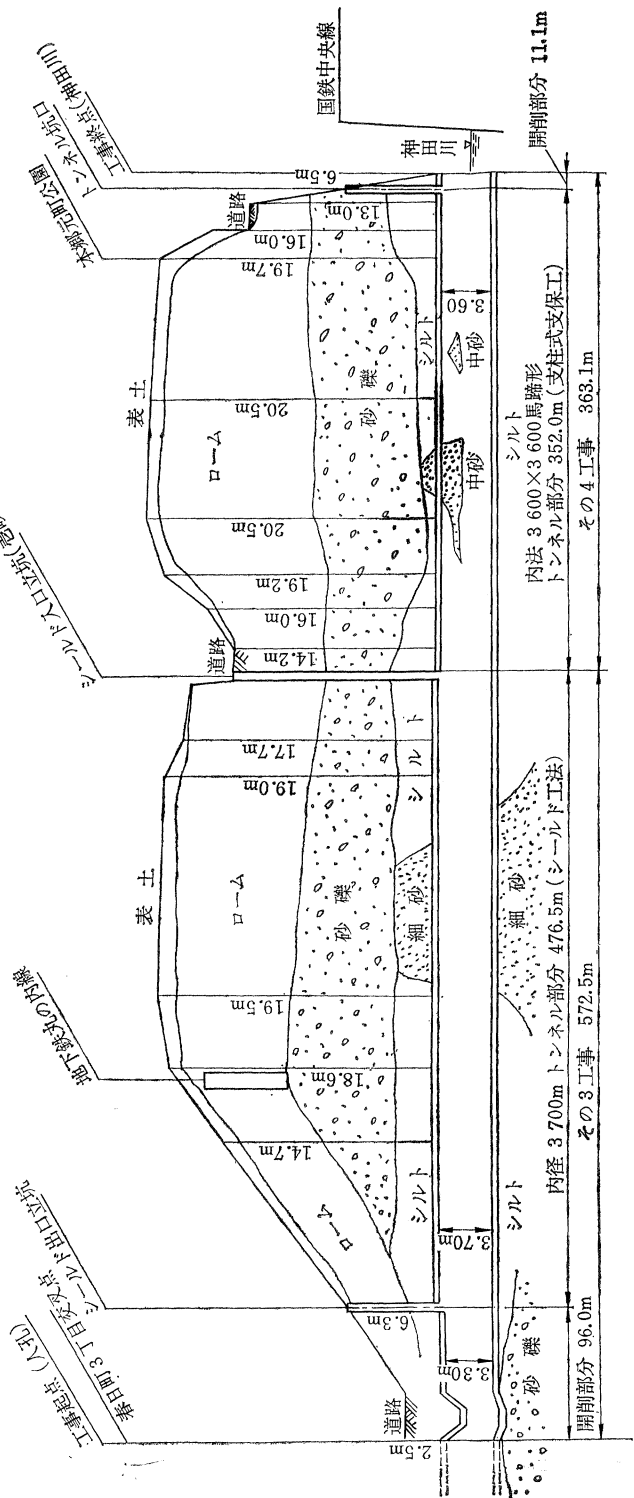
このような場合、地質と周囲の条件が許す場合は、圧気工法にかえて深井戸によるとか、ウエルポイント等により、あらかじめ地下水位を低下した土質を安定させ、大気圧で作業するほうが得策な場合がある。

図-1 東京都下水道局白山幹線工事平面図



\* 正会員 帝都高速度交通営団工事部長

図-2 白山幹線工事地層断面図



またゆるい含水砂層のように、圧気を併用しても圧気  
の効果が十分期待できないような場合には、しばしば薬

工事名	施工年月日
石神井川幹線	自昭和37年～至39年
白山幹線雨水吐	自昭和37年～至38年
千代田区大手町2丁目付 近管きょ移設その3工事	昭和38年
大森幹線 その1工事	自39.7.1～至40.3.31
” その2工事	自40.4.1～至41.3.31
多摩川幹線 その1工事	自40.4.1～至41.3.31
” その4工事	自39.7.1～至41.3.31
” その5工事	自40.4.1～至41.3.31
” その6工事	自39.7.1～至41.3.31
北区神谷町3丁目付近 線工事	自39.9.24～至40.3.31
水道橋幹線 その1工事	自40.5.8～至41.3.31
妙正寺幹線 その7工事	昭和40年
浮間幹線 その1工事	自昭和40年～至41年
” その2工事	”
” その3工事	”
” その4工事	”
” その5工事	自40.5.26～至41.3.31

液の先行注入により漏気または流砂現象を  
おさえる工法がとられる。

(2) 実例——東京都下水道局白山幹線  
工事<sup>1)</sup>

白山幹線工事は、文京区白山通りに埋設  
された雨水幹線（内径 3 700 ～ 3 600 mm）  
工事で、春日町より神田川に至る全長 936  
m のうち 477 m はシールド工法により、  
352 m は普通支保工式トンネル工法（後光  
ばり逆巻き工法）によった。

1 m 当りの工費概算は、

- ① シールド工法 582 000円
- ② 支保工法 425 000円

であったが、支保工式トンネル区間は地質  
もよかったが、なお地上物件に対して多少  
の損傷を与えた。

a) 設 計

立坑は内のり縦横 6 m とし、沓岐坂に  
搬入立坑を真砂町に搬出立坑を設けた。最  
少曲線半径は 160 m としたが、カーブを  
切るのにかなり困難を感じた。勾配は  
1 000 分の 14 である。シールド外径 4 630  
mm、全長 4 550 mm、フード長 630 mm、  
テールは 1 リング+余裕とし、テールの厚  
さは 40 mm、セグメント外周との余裕は  
25 mm である。シールド ジャッキは、

1) 昭和40年2月発行・建設資材研究社のシールド工法講演  
会テキストより

表-1 東京都水道局の管きょ工事におけるシールド工法施工例一覧

(東京都下水道局の好意による・昭和40年9月調べ)

延長 (m)	シールド本体		シールドジャッキ	セグメント形状			二次覆工		土かぶり (m)	土質		掘進 (m/日)	総工費 (1000円)	備考	
	外径 (mm)	シールド全長 (mm)		形状寸法	幅 (mm)	厚み (mm)	材質	内径 (mm)		厚み (mm)	地質				圧気 (kg/cm <sup>2</sup> )
1 495	2 500	4 100	60×10	960	750	100	波型鋼板	1 800	200	10	シルト砂質粘土	0.8	279 500	*MN式 機械化シールド	
477	4 630	4 550	100×12	910	750	150	〃	3 700	250	18	本シルト, 細砂	1.25			
576	2 772	4 100	20×4		750	100	〃	1 800	300	15	細砂シルト		301 500	**K.M.S 型機械シールド	
300	6 140	5 700	100×18	1 000	850	200	ダグタイプ鋼鉄	5 000	500	4.5	粘土質ローム砂質ローム	0.4	277 000		
585	6 140	5 700	100×18	1 000	850	200	平鋼鋼板	〃	〃	5.0	〃	〃	567 000	***MN式 機械化シールド	
304	6 130	4 950	100×17		500	200	〃	〃	〃	〃	〃	〃	259 600		
168	6 140	5 009	150×16	1 000	800		鉄筋コンクリート	〃	〃	〃	〃	0.4~0.3	173 000		
614	6 130	4 950	100×17		500	200	平鋼鋼板	〃	〃	〃	〃	0.6~0.5	468 450		
700	6 140	5 009	150×16	1 000	800		波型鋼板	〃	〃	〃	〃	0.5~0.4	523 000		
668	3 410	4 400	90×10	900	750		鋼板	2 500	300	3.5~4.5	砂質シルト	0.2~0.5	212 000	*	
1 009	3 185	3 400	50×10		750	125	波型鋼板	2 300	250	26.80 ~15.56	細砂層	1.5	7.5	248 000	**
630	2 700	4 000	70×8	900	750	100	平鋼鋼板	2 000	300	8.0	砂礫			151 000	
544	4 540	4 300	100×12	900	750	153	平鋼鋼板	3 500	300	8.5	シルト			274 500	
547	4 530	4 650	80×12	1 050	900	150	鋼板	3 500	300	6.0	シルト交り細砂			275 000	
530	4 510	5 200	100×12	1 100	1 000	150	〃	3 500	300	8.4	シルト	0.6		283 000	***
631 (直径)	4 000	4 300	60×12		750	150	鋼板	3 000	300	7.0	シルト・ローム砂礫層, 粘土層			264 000	
504	4 000	4 645	60×16		800	150	平鋼鋼板	3 000	300	6.0	粘土層, 細砂			267 400	

100 t × 12 本で使用油圧は 400 kg/cm<sup>2</sup>, ストロークは 910 mm, 山留ジャッキは 50 t × 8 本でストロークは 960 mm, 油圧はシールドジャッキと同じ 400 kg/cm<sup>2</sup> である。ざり出しはベルトコンベヤーにより, リング型エレクトーを使用した。

セグメントはコルゲートプレートを使用したスチールセグメントで, 幅は 75 cm である。推進に当ってはプレスリングを用い, ジャッキ圧を分散した。またこのプレスリングに, テールの漏洩防止のためパッキングを取りつけ, 推進と同時に裏込めグラウトができるようにした。二次覆工厚は 25 cm である。圧気設備は最高坑内気圧 1.0 kg/cm<sup>2</sup> を想定し, 低圧コンプレッサー 175 HP 2 台と 100 HP 高圧コンプレッサー 1 台を用意した。立坑より 35 m までは薬液注入により大気圧で進み, 35 m 地点に隔壁を設け材料ロック (φ=2.2 m, l=10 m) と, マンロック (φ=1.6 m, l=2.4 m) を取付けた。坑口より 156 リング付近より切端が細砂層となり湧水も多くなり, 260 リング付近では漏気も多くなり, 坑内気圧も 1.2 kg/cm<sup>2</sup> より 0.75 kg/cm<sup>2</sup> に低下し, 流砂現象を起こし危険となったので, 切羽に土のうを積んで山を押え, 鏡板のすき間には粘土張りをなし, 薬液の注入により漏気を少なくすると同時にコンプレッサーの増強, 小きぎみの推進等あらゆる手段を講じて悪戦苦闘のすえ, 290 リングでシルト層に入るまで 1.5 カ月を要した。裏込め注入は豆砂利とモルタルグラウトによったが, 細砂層付近では豆砂利が入りにくくなり, モルタル注入によった。計画数量に対する実績は表-2 のとおりである。二次覆工はスチールフォーム 2 基を用いて打設したが,

図-2 裏込め注入の実績

区分	数量		比率 (%)
	計画数量 (m <sup>3</sup> )	実施数量 (m <sup>3</sup> )	
豆砂利注入	558.93	382.5	68.4
モルタル注入	744.0	1 386.0	186.4

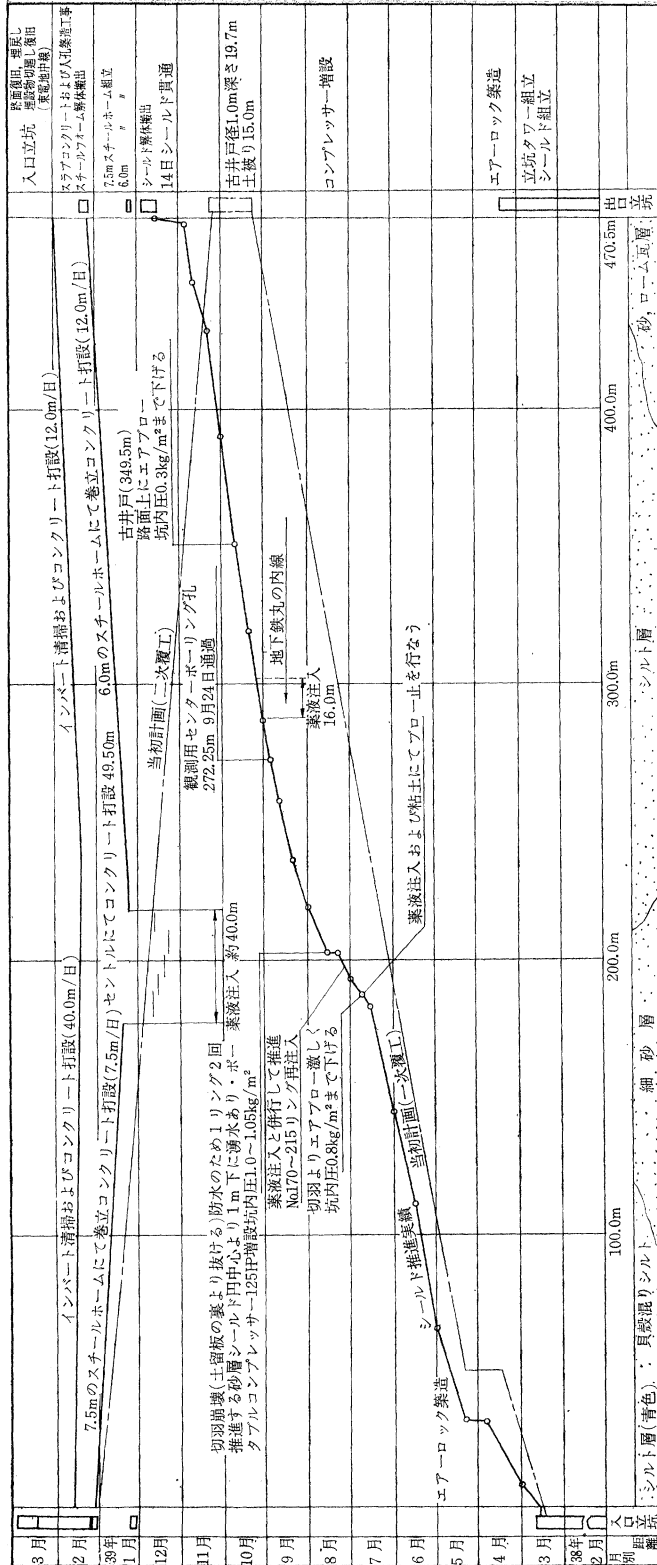
細砂層区間 40 m は圧気内で施工したため, 普通の鉄製セントルを用いて打設した。他の区間はモルタル注入, 薬液注入等により止水工事を完全に行ない, 排気して大気圧で打設した。コンクリートは生コンクリートを立坑より投入し, アジテーターカーで坑内に運搬し, プレーサーにより打設した。その後インパートを打設した。インパート打設に対しては水処理が問題であったが, エスロン雨どいを伏せ, その上にビニール布を敷き打設中は集排水を行ない, 打設後モルタル注入により潰してしまった。

この工事は圧力水を持った細砂層にぶつかり, 圧気工法を用いても最も困難な地質条件で, 圧気設備も 175 HP × 2 台に対し, さらに 150 HP 1 台, 100 HP 1 台増設し, 合計 600 HP としても 1.25 kg/cm<sup>2</sup> 以上坑内圧を上げることができなく, シールド下半分は流砂現象を起こし, 最も困難な工事であったといえよう。

## 2. 上水道用シールドトンネルの実例

シールドトンネル工法は, 大口径の上水道管理設工事においても路面交通, または他の埋設物の切回し等の問題から研究がようやくさかんになり, 1964 年ごろより, 大阪市, 東京都において実施され, その後さらに多

図-3 施工工区図



実施年度	工事件名	延長(m)
39	足立区千住八千代町間 新荒川横断トンネル築造工事	トンネル 587
40	杉並区大宮前3丁目間 配水本管(2700)新設工事	684
40	杉並区上高井戸5丁目 間(2700)3丁目	678
40	江東区亀戸ポンプ所間 (1000)6丁目	1000
40	江東区亀戸6丁目 大島町4丁目間 (1000)	630
40	葛飾区細田町間 奥戸新町(1800)	200
39	墨田区寺島2丁目間 番町西1丁目(1000)	5320
39	世田谷区大原2丁目間 北沢5丁目(1500)	993.1
39	世田谷区北沢5丁目間 区上原3丁目(1500)	766.6
39	渋谷区上原3丁目間 代々木富ヶ谷町(1500)	848.8
39	渋谷区神南町間 穂田3丁目(1500)	313.55
40	港区麻布菟土町間 赤坂氷川町(1500)	272.36
40	港区赤坂氷川町間 千代田区永田町2丁目 配水本管(1500)新設その1工事	877.04
39	文京区大塚坂下町間 桜木町(1200)新設工事	1288.5

\* セグメントリブ内側からの厚さ 他はセグメントの実施例と、多くの計画がなされている。一方、河川の横断工法においても、水管橋と比較して河川管理上の問題と工期、工費等の関係から、シールド工法が有利な場合もあり、シールドトンネル工法が逐次採用されつつある。

(1) 上水道におけるシールド工法の適用方法と問題点

a) 上水道管へのシールド工法の適用方法

上水道管路は高圧トンネルとなるため、コンクリートの二次巻きのみでは不十分で、その中にさらに水道管を伏設しなければならぬため、経済的に下水道管きよの場合に比していちじるしく不利になる。このためシールド工法を適用するには、つぎの4つの方法が考えられる。

① A方式: 図-4 のようにコンクリートの二次巻をなし、その中に水道管を

表-3 東京都水道主要シールド実施表

(東京都水道局の好意による・昭和40年11月15日)

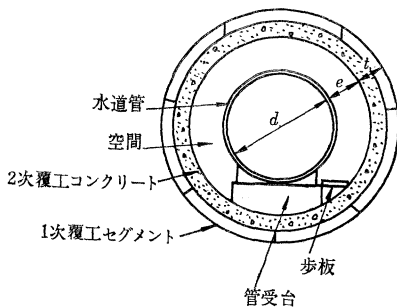
管内径 (φ)	シールド 外径 (φ)	二次巻厚 (mm)	セグメン ト材質	幅 (mm)	土かぶり (m)	最小曲率 半 (m)	地 盤	圧 気 (kg/cm <sup>2</sup> )	総工費 (1000円)	工 期 (日)	備考 マンホ ール数 進行等	
1 500	3 800	400	コルゲート 型 スチール	750	11~17	R=150	シ ル ト	0.8	445 000	310	日進 3m (平均)	
2 700	3 700	500	フラット型 スチール	1 000	5.5~7.5	R=170	関東ローム	0.5	435 000	310	3カ所 日進	10m
2 700	3 700	500	〃	850	5.5~11.5	R=155	関東ローム 礫	0.5	430 000	350	2カ所 〃	3.5m
1 000	1 800	400	〃	750	10	R= 94	シ ル ト		193 000	370	2カ所	準備中
1 000	1 800	400	〃	750	9~20	R=150	〃		158 000	320	2カ所	準備中
1 800	2 600	400	〃	900	5~10.5	—	細 砂		102 000	200	2カ所	準備中
1 000	1 880	* 291.0	コルゲート 型 スチール	496	5.92~6.4	R=150	シ ル ト	0.7	154 000	39.12.1 ~40.8.30	3カ所	
1 500	2 384	* 287.0	フラット型 スチール	750	6.75~8.91	R=200	粘 土		295 000	360	3カ所 日進	7.5m
1 500	2 400	* 287.0	〃	750	7.0~15.9	R=600	〃		238 000	300	2カ所 〃	5.2m
1 500	2 374	* 287.4	コルゲート 型 スチール	764	6.9~17.2	R=600	シ ル ト	0.35	123 000	360	4カ所 〃	3.0m
1 500	2 406	* 287.0	フラット型 スチール	750	4~11.2	R=150	シルト交り 粘 土		300 000	290	2カ所 〃	5.6m
1 500	2 400	* 〃	〃	〃	5.9~10.4	R=150	シルト層		106 000	200	2カ所	準備中
1 500	2 400	* 〃	〃	〃	6.1~14.4	R= 70 120	粘 土 層		213 000	200	3カ所 配管別途工事	準備中
1 200	2 116	* 289.0	フラット型 スチール	600	7.9~14.3	R=150	シルト層 粘 土 層	0.25	303 000	300	3カ所 日進	3.6m

メント外面よりの厚さ

布設する場合、管周囲には継手の施工、および点検補修用に最少限 60 cm ぐらいの空間が必要となる。管路も補修を考えると鋼管がよい。この方法は将来多少の地盤の不同沈下に対して安全であるが、掘削断面が大きくなり工事費がかさむ欠点がある。

本工法は、東京都水道局の中川、江戸川系配水本管の荒川横断工事に採用された。

図-4 A 方式



② B方式：図-5 のように、一次覆工後、管路を所定の位置に配管し、内面より継手接合をなし、管路を内

型わくとしてセグメントとの間をコンクリートで充填する方法である。この場合管は鋼管を用い、継手は裏当全溶接となる。

将来の点検、補修のさいは断水して内面よりするより方法がない。A方式に比し断面は小さくでき有利であるが、将来大きな地盤の不同沈下を予想されるような所には適当ではない。

この方式は現在のところ最も一般的な方式といわれ、大阪市水道局大淀送水管2カ所、東京都水道局利根川系および中川、江戸川系配水本管等に採用された。

図-5 B 方式

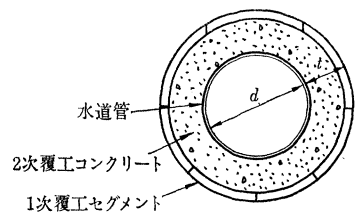
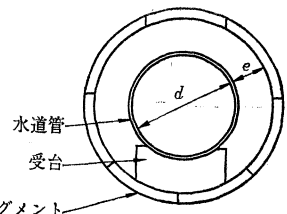


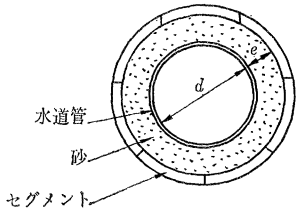
図-6 C 方式



③ C方式：永久構造によるセグメントを用い、A方式の二次巻を省略した方法で、A方式に比較し二次巻の分だけ断面を小さくでき有利である。

④ D方式：C方式とほぼ同じであるが、立坑間を直線

図-7 D方式



線で結ぶ場合は、立坑内で鋼管の継手溶接塗装を行ない、順次引込み、完了後、間げきに砂を充填する方法で、この場合砂充填の厚さは蛇行等を考慮し 20 cm ぐらいでよいから

断面は最も小さくできて有利である。この方式に近い形は、京都市の水道局において 1960 年以來すでに蹴上浄水場系統配水本管、および山の内浄水場系統導水本管に採用されている。

以上が代表的 4 方式である。

## (2) 水道用シールド工事施工上の問題点

以上のように、水道管の敷設にシールドトンネル工法を採用する場合は、敷設管径に対してトンネルの掘削断面は、いずれの方式によっても相当大きな断面となり一般に工事費が一番安いと思われるB方式によっても、開削工法の 1.5~2.0 倍ぐらいになるので、工事

図-8 トンネル断面および管据付図

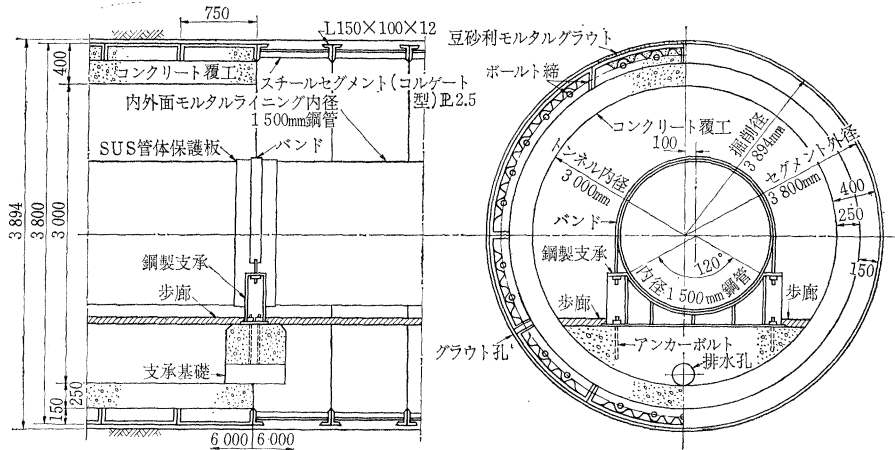
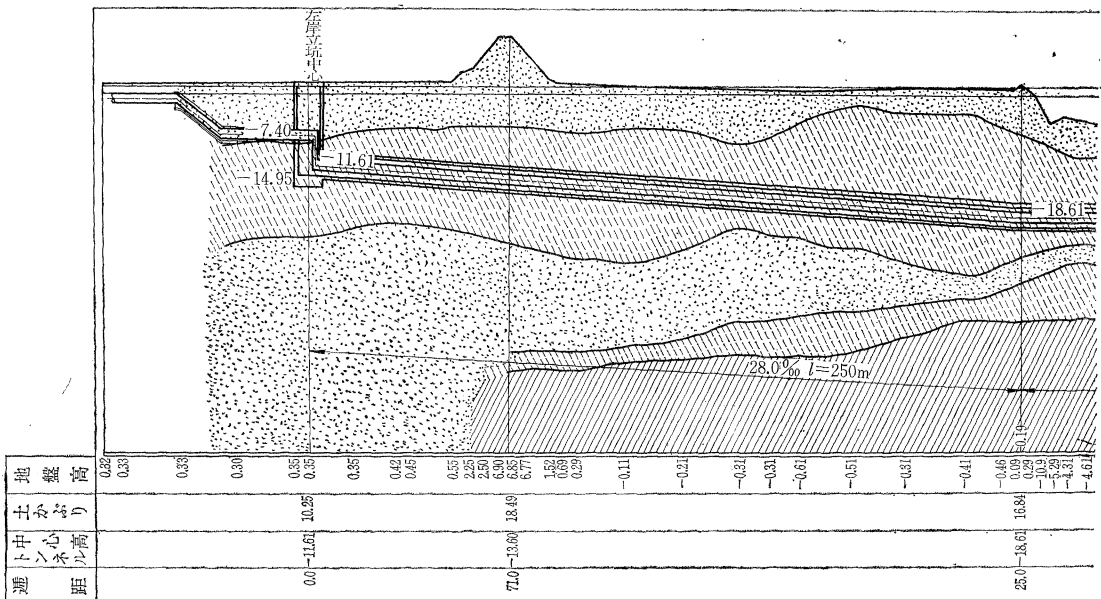


図-9 地盤



費の低下は最も重要な問題である。それゆえ、シールド工法の工事費の相当部分を占めるセグメント材料費と掘削費のコストダウンを計る必要があり、前者については今後の施工においてセグメントにかかる外力の測定をなし、より合理的な設計および施工により、コストを低下するよう研究をすすめて行く必要がある。また掘削費の問題については、機械化シールドの開発等により、進行のスピードアップによる工費の低下を研究して行くべきものと思われる。

### (3) 東京都配水本管新荒川横断シールド工事の実例

施工場所：足立区千住八千代町～千住大川町

工期：昭和39年9月～昭和40年8月

トンネル内径：内径 3.0 m, 延長 585.6 m

左岸立坑：内のり 7.4 m×5.7 m, 深さ 15.0 m

右岸立坑：圧気ケーソン工法, 内のり 6.2 m×5.0 m, 深さ 24.6 m

掘削土量(含む立坑)：10 218 m<sup>3</sup>, 掘削外径 3.9 m

セグメント：標準型 666 リング 波型鉄鋳使用  
(外径 3.8 m, 内径 3.5 m, 幅 75 cm,  
1 リング 6 ピース)

異型 79 リング

伸縮 6 リング

コンクリート量：3 281 m<sup>3</sup>, 二次覆工およびケーソン,  
中埋めコンクリート

地質, 土かぶり：地盤縦断図参照, トンネル部はよく  
しまったシルト層, 土かぶりは 11～22

m, 河底部最少 11 m

シールド：外径 3.894 m, 全長 4.570 m, 開放型

フード 40 cm, テール長 1.625 m

シールド ジャッキ：50 t×18本=900 t

フェース ジャッキ：20 t×4 本

スライドデッキ ジャッキ：20 t×2 本

使用圧力：400 kg/cm<sup>2</sup>

プレスリング：あり

エレクター：ドラム式

二次覆工：厚さ 40 cm, 内径 3.000 m

配水管：内径 1 500 mm・鋼管

立坑とトンネル部の不同沈下対策：

図-9のように、らせん式可撓管を曲り用  
2個, 伸縮用1個を1組として、立坑接合  
部に取付けた

工費概算：トンネル築造費 3億4 000 万円

配管工事費 1億2 000 万円

計 4億6 000 万円

施工：左, 右両岸に立坑を掘り, 両方より中心に  
向って二つのシールドで施工した

左岸は立坑を開削式で施工したので, シールド整備後  
立ロックを2基取り付け, 初期推進から圧気下ですすめ  
た。使用気圧は 0.7～0.8 kg/cm<sup>2</sup> で, 進行は平均 3.75  
m/日 程度である。右岸は立坑を圧気ケーソンで沈設し,  
100 m 間は無圧気推進で 6.0 m/日 の進行であったが,  
横ロックを取り付け, 圧気 (0.5 kg/cm<sup>2</sup>) 下では 4.5 m/  
日程度の進行である。圧気設備は左岸は 175 IP の低圧

縦断面図

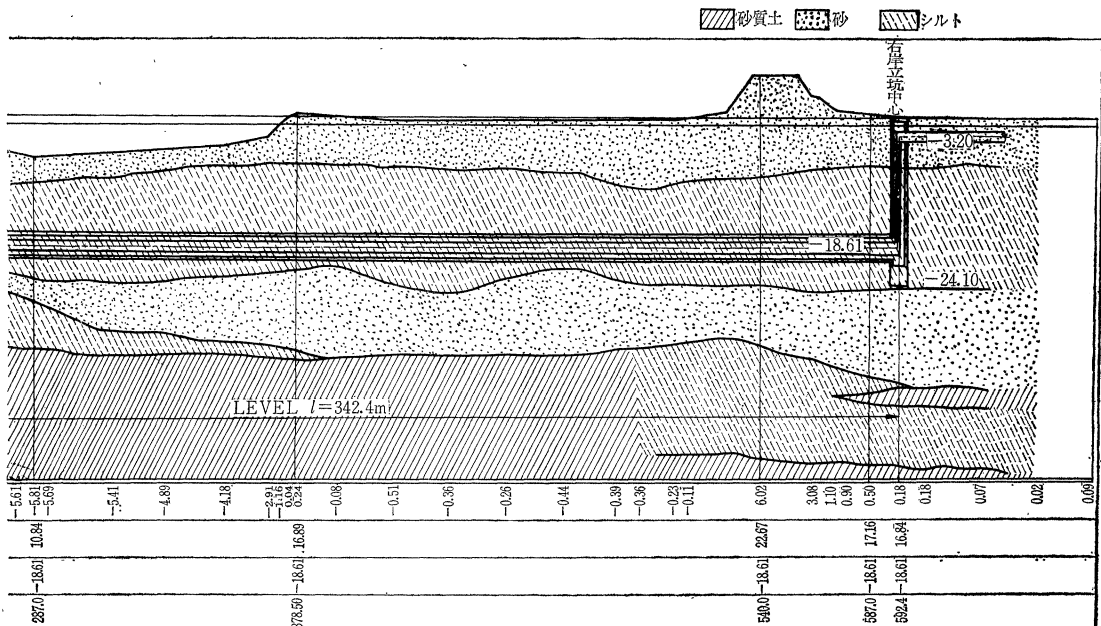


図-10 可撓管取付図

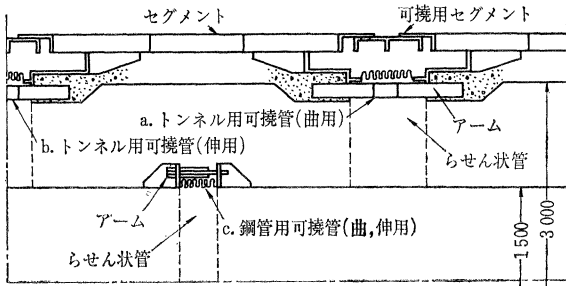
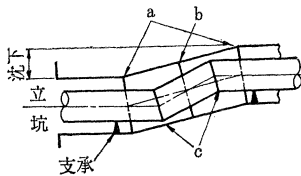


図-11 可撓管作動図



コンプレッサー 2 基，右岸は 低圧 100 IP コンプレッサー 2 基で十分余裕のある設備であった。裏込めは豆砂利とモルタルで行なったが，注入量は豆砂利約 35%，モルタルグラウトは約 70% 程度である。左岸シールドの蛇行量は，左右で約 30 cm，上下で約 35 cm であった。

### 3. 電らん用シールド トンネル実施例

#### (1) 電力ケーブル用シールド トンネル

電力ケーブル用トンネルは他のトンネルと異なり，つぎのような特殊条件がある。

- ① 多数の大容量のケーブルを引込むので，発熱防止のため換気設備が必要な場合がある
- ② ケーブル事故の際の延焼防止のため，大ケーブルは砂埋めとする必要がある
- ③ トンネル土かぶりをあまり大きくすると，ケーブル引込みのためマンホールに接続して斜坑が必要になる
- ④ 200～300 m ごとにケーブル ジョイントのためマンホールが必要である

以上のような特徴があるので，シールド トンネルを考える場合二つの方式がある。すなわち，トンネルは仮設の一次覆工のみとし，ただちに所定のケーブル管路を敷設し砂埋めしてしまう方法と，トンネルを永久構造として築造し，大容量ケーブルはピットの中に砂埋めし，他のケーブルは電らん棚に收容する方法とがある。

前者の例としては東京電力 KK が城北線管路新設工事(昭和 38.12～39.4)，須田町線管路新設工事(昭和 39.9～40.5)，新角管線新設工事(昭和 40.1～40.8)等において実施され，第二の方法は地下鉄 5 号線関連管路工事において，丸の内 1 丁目から日本橋間のシールド トンネル工事において計画されている。

a) 丸の内 1 丁目～日本橋通 1 丁目 シールド 洞道について

件名	区間	延長 (m)	内径 (mm)	シールド	
				外径 (mm)	全長 (mm)
城北線	板橋区南町 1 ～豊島区千早町 1	1 046	1 400	1 660	2 340
須田町線	須田町	180	1 800	2 040	4 300
新角管線	新宿区西大久保 4 ～豊島区高田本町 2	1 455	1 796	1 840	2 900
丸の内～ 日本橋線	中央区丸の内 1 ～日本橋通 1	417	2 500	3 250	4 510

概要は表-4 のようで，この洞道に收容するケーブルは 140 kV×3，60 kV×8，20 kV×20，C.T×10 等で，收容するケーブルが多いので，強制換気により洞道内の温度を下げる計画である。二次覆工をして内面仕上り寸法は 2 500 mm で，下部にピットをつくりケーブルを收容し，中央を点検通路とする。シールドは，70 t×10=700 t，900 mm のストロークのシールド ジャッキを有し，フェース ジャッキは 15 t×5 本で 750 mm のストローク，油圧は 280 kg/cm<sup>2</sup> を用いている。エレクトアーはリング ガーダー式である。圧気用設備としては，低圧コンプレッサー 235 IP×1 台，200 IP×1 台を準備している。裏込めは豆砂利とモルタルにて行ない，モルタルはグラウト ポンプにより圧入している。セグメントはコルゲート プレートを使用したスチール セグメント (1 リング 690 kg) と国鉄ガード付近はフラット プレートのスチール セグメント (1 リング 780 kg) を用い，厚さ 20 cm の二次覆工をする。セグメントのろう水防止には 3 mm×30 mm の富士シールドを張りつけている。地盤は小砂利交り砂層で，1 日約 4 リングの進行である。工費は電力企業者提供で，人孔 2 ヲ所を含み 2 億 2 500 万円である。なお国鉄ガード下で橋台に接近する箇所は，M.L による薬液注入により土質改良をなし，通過する予定である。

#### (2) 電話ケーブル用シールド トンネル実例

電話ケーブル用の洞道築造においても，路面交通の関係とか地下埋設物の関係とか，道路工事の規制の関係などから，シールド工法を用いる事例が最近しばしば起きている。最初にシールド工法を採用したのは，昭和 39 年白金電話局洞道新設工事においてであった。この工事においては，シールド工法も初めてであったことと一部地質の悪い箇所にも遭遇し，関係者は非常に苦勞したが，立派に完成され，尊い経験と自信を得，立派な報告書ができているが，その後昭和 40 年度には，東京都内で新宿区半込北町～柳町間約 600 m に内径 2 650 mm の洞道工事，および目黒区放射 3 号道路において唐ヶ崎電話局洞道工事 (内径 2 650 mm，および 3 600 mm) がシールド工法によって実施中であり，41 年度は名古屋



表-4 東京電力ケーブル用シールド トンネル実施例概要

ド 機 械		セ グ メ ン ト			二次覆工 (cm)	圧 気 (kg/cm <sup>2</sup> )	土かぶり (m)	土 質	備 考
推 力	重 量 (t)	材 質 (mm)	リング構成	重 量 (kg/リング)					
40 t × 6	4	スチール 厚さ 3.2	6 ピース A×3, B×2, C×1	335	なし	なし	4	粘 土 質 シルト	管路埋設後トンネル内砂埋戻し
70 t × 4	8	スチール 厚さ 3.2	6 ピース	573	なし	なし	3.8~4.6		
50 t × 4	6	スチール 厚さ 3.2	6 ピース	440	なし	なし	2~5.1		
70 t × 10		スチール	6 ピース		厚さ 20	0.2	14~15	小砂利交り 砂	

市内、大阪市内においてもシールド工法による隧道工事が計画されている。

ア) 白金局シールド隧道工事

この工事はオリンピック前の工事であり、オリンピック期間中の工事規制にも引っかかり、道路の事情、路面交通の事情からシールド トンネル工法を採用した。

場所は放射3号路線、都電清正公前停留所付近より目黒駅方高速道路2号線との交差部まで延長1576mのうち、1工区827m、2工区614mである。平面曲線の最小曲線半径は150mで、土かぶりは地形にそい標準5mとし、無圧気で計画した。

地質はシルト質粘土から粘土質砂層までであり、凹地においては帯水層の有機質シルト層等にぶつかった。トンネル内径は3.100mの円形である。

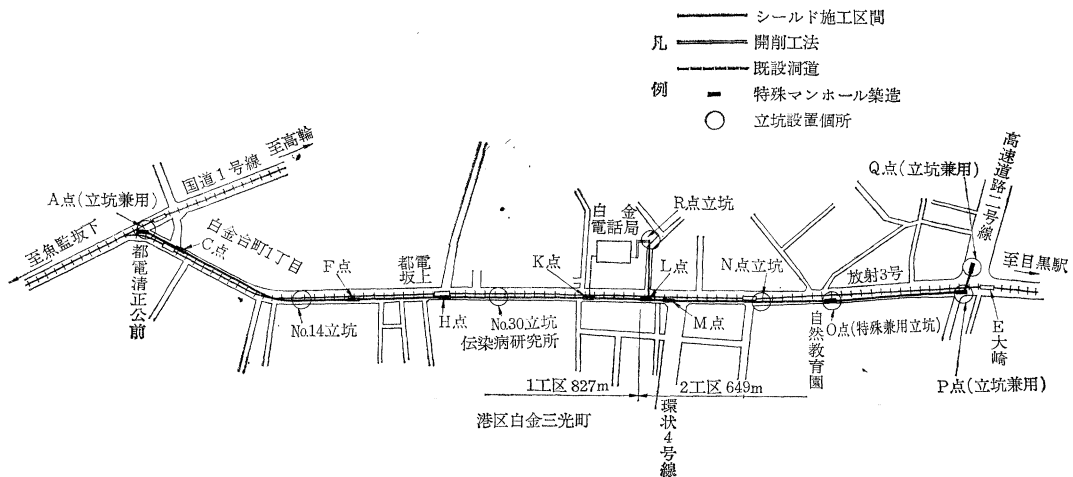
シールド機械は1工区は2基準備し、2工区は1基準備し3基で全区間を押しした。1工区の1号機は平面図No.14立坑よりL点に進み、2号機はA点立坑よりNo.14立坑まで推進し、ここより引きあげてR点立坑よりL点まで推して終了、2工区ではQ点立坑にすえつけP点立坑で約90°方向変換を行ないL点で終了、3機とも外殻はトンネル内に埋殺しとした。

シールド機械は外径3830mm、全長4700mmで、フードは上部約120°につけ600mmとした。中間作業

台を固定とし、フード先端と同じところまで出したため、推進抵抗が大きく途中で30cmほど切りつめた。シールド ジャッキは50t×12本で、油圧は200kg/cm<sup>2</sup>、フェース ジャッキは当初取付けてなかったが、途中で11t×2本を取付けた。セグメントは平鋼板使用のステンレスセグメントで、外径3700mm、幅750mm、フランジ高さ150mm、1リング6分割(A型×4、B型×2)とし、1リング当り重量は約900kgである。裏込めは豆砂利、およびモルタルによった。二次覆工は巻厚150cmとした。

① 施工：初期推進にあたり立坑周辺は薬液注入(ジューステン)により土質改良をなし推進したが、途中湧水地帯にしばしば遭遇し土砂の流失、小崩壊等がおこり非常に困難したが、坑内および地表からの薬液注入(ジューステン)により、突破することができた。このため地表にも若干の沈下変状をきたした。地質の変化も比較的あったせいか、推進中のローテーションもあり、最大約15°に達した。推力も400~500tの場合がかなりあり、600tの総推力は曲線の推進と蛇行修正を考えると多少不足ぎみであった。蛇行も地質の悪いところ等はかなりになった。テーパセグメントは両側テーパのR=150m用のもの一種(750mm:712mm)で間に合せたが、直線区間でも3%程度はテーパセグメ

図-12 白金局隧道工事概略平面図



ントを用意することが必要であった。裏込め注入の実績は、1工区の結果から見て理論空げき量に対し豆砂利充填量は42~86%で、豆砂利、モルタルの合計数量については填充率104~108%になった。1工区の推進工程実績は表-5のとおりである。

表-5 推進実績(1工区)

区 間 項 目	A点	No.2立坑	No.3立坑	全区間
	No.2立坑	No.3立坑	L点	
① 総延日数	106	115	71	292
② か働日数	90	99	55	244
③ 休日日数	16	16	16	48
④ セグメント総数	243	427	280	1050
⑤ テーパーセグメント(再掲)	45	66	6	117
④ + ①	3.24	3.71	4.00	3.6
④ + ②	3.83	4.32	5.09	4.31

#### 4. 結 び

以上各界におけるシールドトンネル工法の実施例をとおして、使用目的により計画し多少の特徴はあるが、要するに軟弱地盤におけるトンネル工法であって、土質により、トンネルの大きさによりその施工の困難性は非常に異なってくるので、計画し十分の調査、対策を考えて行くべきである。特に地下水に対する対抗手段として、圧気工法は多くの場合併用されるのであるが、圧縮空気の利用において、トンネル工法は切羽における水圧との

バランスという観点から見ると、断面が大きければ大きいほど、理論的には不合理性があるのであって、このことも十分念頭に入れて圧気工法を考えるべきである。また地下水に対する手段として、補助的に注入工法による土質安定工法も多く採用されているが、地質調査上有効な場合は、深井戸またはウエルポイントによる地下水位の低下による土質安定についても、もっと積極的に研究利用すべきではなからうか。

一方各界のシールドトンネル工法の実績を調べて見て、誠に盛んに応用されており、施工業者も各社熱心に研究をなされていることには敬意を表するが、まだシールドトンネル工法の基本的な問題点についても研究をすすめる必要を痛感する次第である。すなわち、最も経済的なセグメントの設計および施工法の研究や、完全な裏込め工法の研究により、地表の沈下防止と、施工の安全確保の問題について研究を重ね、さらには機械化シールドの開発により作業の合理化を計り、施工の安全と工費の低下について研究をすすめて行くべきものと思う。なお今回種々のご意見やら資料提供頂いた各界の関係者の方々に深甚の謝意を表します。

本稿でシールド工法の諸論は終了しました。次号(第51巻1号)は特集の関係で掲載を一回休み、第51巻2号誌上に最終回としてシールド工法についての座談会記事を掲載します。ご期待下さい。  
[編集部]

### Dr. T. IWINSKI: Theory of Beams

## 梁 の 理 論

前北海道開発庁事務次官  
日本建設コンサルタント  
株式会社顧問・工学博士

猪瀬寧雄

北海道開発庁  
開発専門官

竹下 淳 訳編

・簡明で直截な入門書!

—ラプラス変換の技術問題への応用—

本書は、構造力学において取り扱う最も基本的なものの1つである梁をとりあげ、この解析に対して演算子法の一部をなすラプラス変換の応用方法を説明したものである。

2つの支点上の梁について種々の端部支持条件(自由端、固定端等)を与えてその解を求め、さらにまた固定した支点および弾性支点上の連続梁の解を示し、想定されるすべての形の荷重を考慮して詳しく論じた。

一般に線形微分方程式(とくに定数係数の)を境界条件に合わせて解く問題では、ラプラス変換は有力な武器であり、ラプラス変換表を利用することによって他の計算方法に比較して計算手間の省ける場合が多い。この意味でラプラス変換法を会得することは、土木建築の技術者にとって極めて有意義であると信ずる。

訳編者は、本書を一層わかり易く読めるように、補遺としてラプラス変換に関する初歩的な事項、梁についての基本的なことから簡潔に纏め、そのほか参考として構造の異なるいろいろの梁に各種の荷重が作用した場合の構造力学的諸元、実際の計算に必要な断面2次モーメント表などを付加して読者の便を図った。また、実際上の目的から幾つかの例題について数値計算をも含めて、本書の解法を用いて解いた「計算例」を配置した。

【主要目次】 I. 序論 1. 階段関数および多階段関数 2. ラプラス変換に関する予備知識 II. 梁の理論 1. 仮定、弾性曲線の微分方程式、荷重関数 2. 単一径間の梁の弾性曲線 3. 単一径間の梁の静力学的な量の決定 4. 三支点上の梁 5. 連続梁の弾性曲線 6. 三連モーメントの定理 7. 弾性支点の単径間梁 8. 弾性支点上の連続梁 9. 五連モーメントの定理 10. 曲げ剛性の変化する梁の弾性曲線 <補遺> 1. 梁について 2. ラプラス変換について 3. 計算例 4. 付表

・A5判上製函入クロス装  
定価 650円 予 100  
好評発売中

### 鉄 道 工 学

工学博士 森島宗太郎著 [A5判 224頁 定価 900円]

最新の技術をもれなく懇切に解明した新進技術者向きの好著

森北出版株式会社

東京・神田・小川町3の10  
振替東京34757 電(292)2601(代)

## 万能比重天秤 BSG-5 〔液体・固体の比重測定器〕

### (1) 液体の比重測定法

体積が所定の値  $V_0$  で質量が適当な値  $M_0$  の液体比重測定用錘を使用する。これを天秤の所定の位置  $G_0$  に吊るし、点  $G_0$  の天秤の支点  $K$  からの距離を  $KG_0 = l_0$  とする。

比重の基準となる液体 (通常は  $4^\circ\text{C}$  の水) の密度を  $\rho_0$  とし、支点  $K$  からの距離を適当にとった  $L_0$  に等しい点を天秤の  $G$  の反対側の腕にとり、その点を  $H$  とする。

$$l_0 V_0 \rho_0 = L_0 n m \dots\dots (1)$$

になるように質量  $m$  を定める。 $n$  は予め定めた整数で、たとえば  $n=10$  とする。

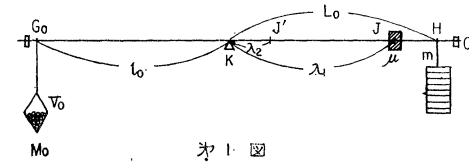
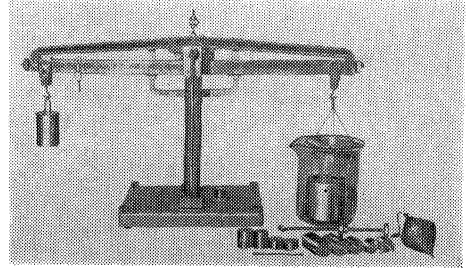


図 1

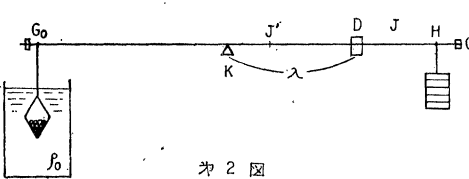


図 2

点  $H$  に分銅を吊るし、その分銅の質量は  $m$  の任意の整数倍だけ変えられるとする。また天秤の  $H$  の側の腕に、適宜に点  $J$  と点  $J'$  とを定め、点  $J$  に質量  $\mu$  の送り分銅を置く。  $KJ = \lambda_1$   $KJ' = \lambda_2$  とし、質量  $\mu$  は  $\mu (\lambda_1 - \lambda_2) = L_0 n m \dots\dots (2)$  の関係があるように定める。さらに調節装置  $C$  でバランスさせる (第 1 図)。

つぎに点  $G_0$  に吊るされている液体比重測定用錘を被測定液体の中に浸漬し、点  $H$  に吊るした分銅から  $\nu m$  ( $\nu$  は整数) だけの質量のものを取り、送り分銅を移動させて、点  $D$  に置いてバランスしたとする。その点  $D$  の支点  $K$  からの距離を  $KD = \lambda$  とする (第 2 図)。液体の浮力による液体比重測定用錘の見掛けの質量の減少は

$$\left( \nu + \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \right) \cdot \frac{V_0 \rho_0}{n}$$

であり、これは液体の比重を  $\rho$  とすると、 $V_0 \rho$  に等しい、それで比重は

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{\nu}{n} + \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{n (\lambda_1 - \lambda_2)} \dots\dots (3)$$

である。  $\lambda = \lambda_1$  (すなわち、点  $J$  を  $O$  とし、  $\lambda = \lambda_2$  (すなわち、点  $J'$  を  $N$  とし、その間を  $N$  等分した目盛をつけておく。  $N$  はたとえば  $100$  である。式 (3) の  $\lambda$  の位置 (すなわち、点  $D$ ) の目盛が  $S$  ならば、式 (3) は

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{\nu}{n} + \frac{S}{nN} \dots\dots (4)$$

となる。たとえば、  $n=10$ ,  $N=100$  とすると、比重が  $\frac{\rho}{\rho_0} = 0.100\nu + 0.001S \dots\dots (5)$  であるから  $\nu$  と  $S$  とから直ちに比重が知られる (目盛数と分銅数より暗算可)。

### (2) 固体の比重測定法

A) 比重が 1 より大きいときには、水分天秤と同様である。(本誌 Vol.47-5, Vol.48-6 号に夫々紹介してあり、レバー上に直読されます。)

B) 比重が 1 より小さいとき…… 水中容量に網状などの蓋をして、試料が浮上しないようにする必要がある。固定点  $Q$  に秤皿  $D$  と水中容器  $R$  とを吊るし、適当な方法でバランスさせる。(第 3 図)

第 2 の操作として、試料を秤皿  $D$  に載せ、反対側の腕の固定点  $P$  に可変重量のおもり  $W$  を吊るし、その質量を加減してバランスさせる。(第 4 図)

第 3 の操作は試料を皿  $D$  からおろし、皿  $D$  には質量を任意に変えられる物体 (例えば散弾など) を載せて試料の質量  $M$  と等しい質量にする。このような操作を繰り返して、質量  $nM$  の物体を用意する。

最後に、質量  $nM$  の物体を皿  $D$  に載せ、試料は水中容器  $R$  の中に入れて気泡をなくしておく、分銅  $W$  をその質量を変えないで移動させ、点  $A$  でバランスしたとする (第 5 図)。試料の体積を  $V$  とし、その密度を  $\rho$  とすると、  $M = V\rho$  である。また  $KP = l_0$ ,  $KA = \ell$ ,  $KQ = L_0$  とすると、

$$l_0 W = L_0 V \rho \dots\dots (8)$$

$$\ell W = (nV\rho + V\rho - V\rho_0) L_0 \dots\dots (9)$$

であるから  $\frac{\ell}{l_0} = \frac{(n+1)\rho - \rho_0}{\rho} = (n+1) - \frac{\rho_0}{\rho} \dots\dots (10)$

の関係がある。点  $A$  が固体比重目盛の  $S$  の位置であるとすると、

$$\frac{\ell}{l_0} = 1 - \frac{1}{S} \dots\dots (11)$$

であるから  $\frac{\rho_0}{\rho} = n + \frac{1}{S} = \frac{nS+1}{S} \dots\dots (12)$

あるいは  $\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{S}{nS+1} \dots\dots (13)$  によって、

固体の比重が知られる。  $n=1, 2, \dots$  として、  $\frac{\rho}{\rho_0}$  と  $S$  との関係を計算しておけば読みとられた  $S$  によって、1 より小さい比重を知ることができる。

[注] 本器の仕様は次号に御紹介致します。尚次号には比重 (固体) の表面水直読で更に洗分析試験が行える BSG-4 型についても御紹介する予定です。

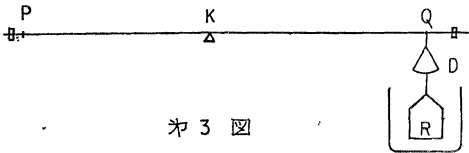


図 3

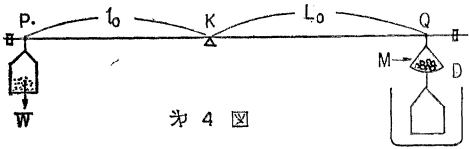


図 4

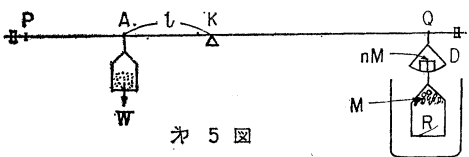


図 5

## 株式会社 丸東製作所

本社 東京都江東区深川白河町 2 の 7  
電話 東京 (642) 5 1 2 1 代表  
京都出張所 電話 京都 (84) 7 9 9 2  
北海道出張所 電話 札幌 (23) 0 4 0 9