

## 第十一章 シールド

大正 14 年 12 月 24 日東口 9,010 呎に於て 1/5 個の湧水あり漸時其の量を増して 15 年 1 月 7 日には 7 個となり大崩壊を來し水抜坑等約 800 呎餘も埋め戻される事故を惹起し、之以來所謂 9,000 呎の難關として之が突破には種々苦心をしたのである。之が詳細に就いては東口 9,000 呎工事として詳記してあるが、シールド使用も難關突破の一手段として採用されたのである。

シールドの運用に就いては 9,000 呎工事の章に於て述べてある故、此處にシールドの設計並びに水壓設備等に就いて概略を記すこととする。本邦に於けるシールドの使用は折渡隧道を最初とし、丹那隧道に於て 2 番目である。今回使用の結果は湧水の壓力の高きことと、岩質堅硬なる上破碎帯多き爲シールドに不向きにして、成功は收め得なかつたが將來非常に参考となる資料であると考へる。

### 第一節 盾構設計

#### (1) 盾構形狀其の大きさ選定

諸外國に於ける使用盾構の形狀を見るに一般に圓形、橢圓形、三心圓であつて其他に特殊の形狀をなすものもあるが之等は極めて稀れであつて主として上述の三者就中圓形が最も多い。其の理由とする處は次の通りである。

(i) 盾構の中心軸は水壓扛重器の軸と完全なる並行を保ち得ない爲めに、又周圍の土質に硬軟があり従て其の抵抗に相異を生ずる故に盾構が回轉し易い、されば圓形以外のものは之に對し大なる抵抗力を生じ破損の憂がある。

(ii) 圓形以外のものは盾構の構造が複雑である故製作が困難であり且つ盾構及び覆工は外壓に對し不經濟な製作となる。

依つて圓形のものを選ぶこととした。又大きさの決定には次ぎの 2 つの條件を考慮しなければならぬ。

(i) 本盾構は水抜隧道に應用するのであるから覆工は現在既成水抜壘築工の斷面以上に大いなるを必要としない。

(ii) 盾構は掘鑿並に礪出又は水壓機の運轉等の諸作業に支障を來さざる程度に十分なる大きさを保つ必要がある。

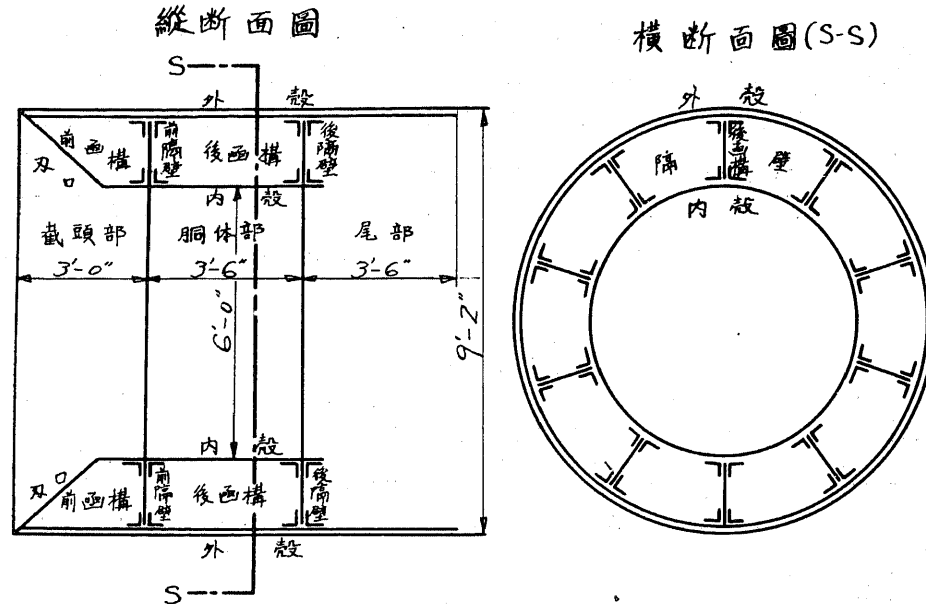
(i) は掘鑿斷面擴大し掘鑿費用の増加となり、(ii) は盾構の推進の作業を容易ならしむるを

目的とする。

兩者共に相矛盾し兩立せざるが故に十分考慮し其の中庸を選び外徑 9 呎 2 吋，内徑 6 呎 0 吋と定む。

(2) 構造概要

圖示の如く次ぎの 3 部よりなる。



第 501 圖 盾 構

(i) 截 頭 (Cutting Edge)

盾構先端の部分にして圖示の如く 45° の圓形の楔形をなす，此の用は掘鑿中土砂脱落の庇護となり又地質軟き場處にては土砂を削り取る作業をなす。中腹に 10 吋直徑の圓形の孔を穿ち盾構現場組立の際の鋸打及破損時の點檢，修理の便に供す，又最先端には鑄鋼を以て造る双口を備へ土砂截斷を完全にし且つ破損せざる様十分頑丈である。

(ii) 胴 體 (Body)

胴體は前述の如く外徑 9 呎 2 吋，内徑 6 呎となす，10 個の隔壁 (Diaphragm) を以て 10 個の函構を造り此の中に各々 1 個の水壓扛重機を有す。又内殼 (Inner shell) には橢圓形の孔を作り之より水管を水壓扛重器に連絡し水管の取付，取外し其他點檢，修理に便にす。

又胴體の先端には隔壁を作り地質良き時は之を取外し礫搬出を便ならしめ，地質悪しき場合に

は再び取付を自在ならしむ。其の中央に 4 呎，幅 3 呎の閘門を造り其の兩側には溝形を立て角落し (木材) を裝置し火急の湧水及び土砂の流出に際し直ちに之を閉ぢ坑内に流入することを防ぐ。又下部には 2 本の 3 吋瓦斯管を取付け前面加背よりの湧水排水用に供した。

(iii) 尾 部 (Tail)

盾構後部の突出せる部分であつて長さ 3 呎 6 吋を有す。

覆工は此の内側にて巻立てを行ふが故に土壓は巻立中完全に防禦せらるゝのである。それ故少くも尾部は覆工の 1 輪環以上の長さを有して居らねばならぬ。覆工は 1 輪環の長さ 1 呎 6 吋，水壓扛重機の唧子 (Plunger) を引入 (Pull back) 後唧子の頭部 (Cap) より尾部最後端迄は 2 呎 6 吋あつて覆工組立に必要な長さには十分である。

頂に鈎 (Hook) を取付け覆工巻立中材料鈎上用に備へた。

(iv) 其 他

盾構は全長 10 呎 2 吋であつて截頭部 3 呎 2 吋，胴體 3 呎 6 吋，尾部 3 呎 6 吋，各部分は圖示の如き隔壁を以て境界せらる。外殼 (Outer shell) の鋸頭は外面全部皿鋸となし土との表面摩擦を少なくし又尾部に於ては其の内側も皿鋸となし覆工との摩擦を減ぜしめた。水壓扛重機用水管類は胴體の内側に兩側に沿ひて裝置した。

尙本盾構は右側水抜坑奥にて組立つるが故に次ぎの如き部材に別けた。

|         |           |
|---------|-----------|
| 外 殼     | 10 個      |
| 内 殼     | 2 個 (上 下) |
| 前 隔 壁   | 2 個 (〃 〃) |
| 後 隔 壁   | 2 個 (〃 〃) |
| 胴 體 函 構 | 10 個      |
| 截 頭     | 10 個      |

即ち之等が各々坑内にて組立てられるものである。

(3) 水壓扛重機の推進力決定

水壓扛重器は盾構工法の全生命であつて活動の原動力である故に其の構造と推進能力とは萬全を期して設計すべきものである。而も地質變化夥しき本隧道の如き場合普通の水壓扛重器よりも尙一層の堅固な構造と大なる推進力を備へなければならない。故に盾構構造の許し得る大なる能力ある重器を設計することとした。

其推進力各 50 噸であつて毎平方吋の水壓力 2,000 封度を有し，盾構の外周に沿ひて圓形に 10 個の函構内に裝置する。故に總推進力は 500 噸であつて之を盾構横斷面積毎平方吋の推進力に換算すれば 118 封度となる。諸外國の例を見るに大體 70 封度乃至 140 封度であるから其等に比し何等遜

色のないものである。

先づ盾構推進に対する抵抗力は、(i) 盾構と周囲の土との摩擦抵抗、(ii) 盾構截頭部の土の抵抗、(iii) 盾構尾部と覆工との摩擦抵抗とよりなる。

(i) 盾構と周囲の土との摩擦抵抗

盾構と土との摩擦抵抗を考ふるに當つて先づ「ケーソン」沈下の際に於ける土の摩擦を知り之より推論して盾構に適用するも一法である。今外國の例に依りて求むるに

一般に「ケーソン」(Caisson) 沈下の場合に於ては摩擦抵抗、地質の硬軟、「ケーソン」材質表面の粗滑により摩擦強度は

$$f = 200 \#/\square' \sim 1,000 \#/\square'$$

の様である。之によつて盾構全表面の摩擦抵抗を求むれば

$$P' = 2\pi r L f \quad \text{但し } r = \text{盾構外殻の半径} = 4' - 7'$$

$$L = \text{盾構の長さ} = 10 - 0'$$

故に  $P' = 295,000 \#$

となる。

又他の方法として周囲の土の壓力により求むれば

$$P'' = 2\pi r L f' q \quad \text{但し } f' = \text{粘土(硬)と鐵(表面粗なる)との}$$

$$\text{摩擦係數} = 0.5$$

$$q = \text{粘土の壓力} = 30 \#/\square''$$

$$= 4,320 \#/\square'$$

とするときは  $P'' = 637,200 \#$  を示す。

$P'$  と  $P''$  とは斯大いに差異を生ずるが本隧道に遭遇せる粘土は前記外國に於ける川底の粘土と性質を異にして居る故に  $P'$  は單に照査に止め  $P''$  を考慮する事と定めた。

(ii) 盾構截頭部の土の抵抗

盾構の双口が土を截斷するとき生ずる抵抗は土の硬軟、截らるゝ土の厚さにより大小あり、又双口の傾斜角により異なる。されど土が等質であつて一樣なる凝集力を有する場合には其の抵抗力を算出することも出来るが、實際には粘土中に一定の節理があつて、盾構が推進さるとき双口に當る粘土は節理に沿ひて破壊さるゝが故に求むることは不可能である。加之、双口に堅き岩塊垂直に當るとき更に異なる性質の抵抗を生ずるのである。

かゝる場合の抵抗は計算より推定する事困難なるも、相當大なる値を齎すべしと考へられる。

(iii) 盾構尾部と覆工との摩擦抵抗

覆工は盾構尾部上に支へらるゝが故に盾構推進の場合に於ける摩擦は覆工の重量に依るものであ

る。鐵材と鐵材との摩擦係數は極めて小さい故(0.3以下)今約 20 輪環の覆工が盾構尾部に重量を支へらるゝとするも其の抵抗は約 4 噸であつて(i)に比し殆ど無視してもよい程に小なるものである。

斯く(i),(ii),(iii)の場合を綜合し又外國の盾構強度を考慮して全推進力を 500 噸と定めた。

#### (4) 盾構應力の計算

(i) 盾構に及ぼす荷重

盾構に作用する外力は大體次の通りである。

(a) 盾構の自重

(b) 盾構周囲の土壓

(c) 盾構推進による摩擦抵抗

(a) 盾構の自重は盾構及び水壓扛重器の重量であつて

盾 構 33,200.#

水壓扛重器 (10個) 15,000.

附屬水壓管及満す水 1,500.

$W = 49,700.$

$\doteq 50,000.#$

今之を盾構の横斷面に對する垂直等布荷重と假定して盾構單位長さの強度を求むれば

$$q' = \frac{W}{2rL} \doteq 4 \#/\square'' \quad \text{である。}$$

(b) 盾構に及ぼす土壓は地質の推移に伴ひ種々變化するのであるが、從來の經驗に徴するに現在遭遇せる粘土の膨脹力が最も大であつて、其の強度に關しては未だ確實な實驗がないが支保工の破損等より算出すれば毎平方呎 30 封度を示してゐる。而して支保工の彎曲或は挫折を見る様になるのは掘鑿後早くも 2 週間以上を要し長期間に亙つて漸次壓力を増加するものであるから盾構の如く日々に推進するものに就いては完全に土壓負荷することにはならないだらう、依つて約其の半と假定して

$$q'' = 15 \#/\square'' \quad \text{と假定した。}$$

且つ上記粘土の膨脹力は垂直、水平の方向如何に不拘等布なる事は導坑の轉木、柱、敷土臺等の彎曲、挫折の状態に差異なきより見て明かである。

粘土以外の地質に於ては重力に基く種々の變化ある壓力を及ぼすこととなるが其の強度に於ては前記以上に出づるもの無しと豫想さるゝが故に土壓による盾構應力の計算には粘土の壓力を以て設計することに定めた。

(c) 盾構推進による摩擦抵抗とは土圧による摩擦抵抗の外に前述の如く盾構の構造中心軸に關して完全なる對稱をしてゐない爲め或は盾構中心軸と水壓扛重器の總代力の方向一致を缺き或は又周圍土の抵抗力に相異なる爲め盾構推進せらるゝときに受ける偏壓力であつて其の強度に關しては全く豫想すること不可能である故今般は自重並に土壓強度の和の半をとり

$$q''' = 10 \text{ \#/方"} \text{ と定めた。}$$

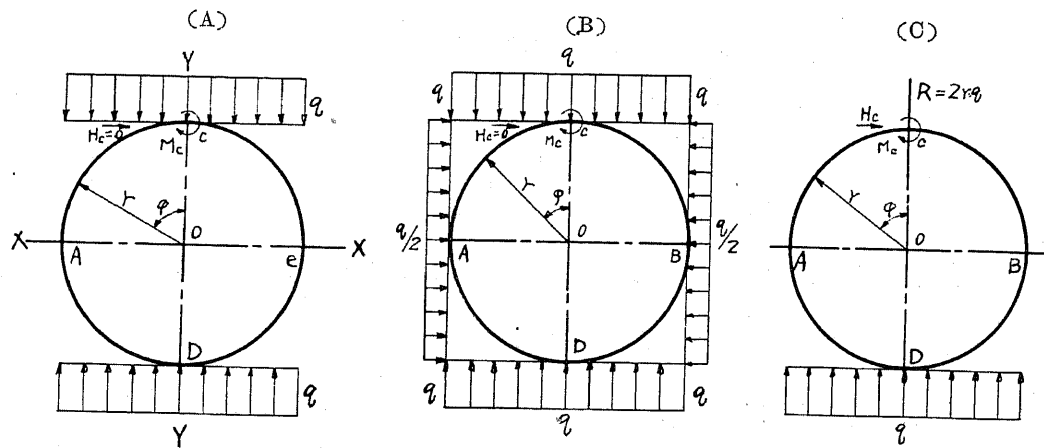
以上の3外力を合せ考へ簡単に等布荷重

$$q = q' + q'' + q''' = 30 \text{ \#/方"}$$

として盾構に生ずる應力を計算し其の構造を設計することとする。

(ii) 應力の計算

外壓の負荷する状態を次ぎの3つの場合に分つた。



第 502 圖

- (A) 垂直等布荷重のみの場合
- (B) 垂直, 水平等布荷重よりなり而も前者は後者の強度2分の1なる場合
- (C) 垂直等布荷重の上半集中せる場合

(A) 垂直等布荷重のみの場合

一般に荷重によりて生ずる應力は, (i) 彎曲率 (Bending moment) (ii) 垂面力 (Normal thrust)

(iii) 切面力 (Tangential shear) にして, 之等の應力によりて, 盾構の強度は決定される。今

$w$  = 盾構全断面に爲されたる内働 (Internal work)

$M$  = 盾構周圍上任意點に於ける彎曲率

$N$  = " 垂面力

$T$  = 盾構周圍上任意點に於ける切面力

$d_s$  = 盾構上の微圓弧の長さ

$E$  = 盾構部材の彈性係數 (Modulus of Elasticity)

$A$  = 盾構縱斷面積

$I$  = " の物量力率 (Moment of Inertia of the Section)

とすとき彈性體に關する「フック」の法則により次ぎの如き内働の式を導き得られる,

$$w = \int \frac{M^2 d_s}{2EI} + \int \frac{N^2 d_s}{2EA} \dots \dots \dots (1)$$

但し切面力により内働は其の影響小なれば考慮せず

此の場合には盾構の斷面及び荷重は各坐標軸に關して對照なるを以て盾構斷面の四分の一の應力を求むれば足りる。

中心  $O$  を通して水平, 垂直の兩軸  $XX, YY$  軸をとり交點を  $A, B, C, D$  とし

$q$  = 等布荷重強度 = 30 \#/方"

$r$  = 盾構の外徑 4'-7"

$\varphi$  = 盾構上の任意の點  $M$  の垂直軸と夾む中心角

$M_c$  =  $C$  點の彎曲率

$M_\varphi$  =  $M$  點の "

$N_\varphi$  = " 垂面力

$T_\varphi$  = " 切面力

とすときは

$$\left. \begin{aligned} M_\varphi &= M_c - \frac{qr^2}{2} \sin^2 \varphi \\ N_\varphi &= qr \sin^2 \varphi \\ T_\varphi &= qr \sin \varphi \cos \varphi \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

但し荷重は上方より下方に左方より右方に向ふものを $\oplus$ とし彎曲率は右廻りを $\oplus$ とす。

(a) 彎曲率

(1) 式に (2) 式を代入して内働の式を作れば

$$w = \frac{1}{2EI} \int_0^{\pi/2} (M_c - \frac{qr^2}{2} \sin^2 \varphi)^2 r d\varphi + \frac{1}{2EA} \int_0^{\pi/2} (qr \sin^2 \varphi)^2 r d\varphi \dots \dots \dots (3)$$

然るに此の式に於て  $M_c$  は静力學的に未知 (Statically indeterminate) なれば「カスチリヤー」の定理 (Castigliano's theorem) により最少働 (Least work) の式を作るときは

$$\frac{dw}{dM_c} = 0 \dots\dots\dots(4)$$

なるが故に

$$\frac{dw}{dM_c} = \frac{1}{EI} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \{M_c - \frac{qr^2}{2} \sin^2 \varphi\} d\varphi = 0 \dots\dots\dots(5)$$

となり

$$M_c = \frac{qr^2}{4} \dots\dots\dots(6)$$

$= 22,800 \text{ 磅}$

となる故に (2) 式に依り

$$M_\varphi = \frac{qr^2}{4} - \frac{qr^2}{2} \sin^2 \varphi$$
$$= \frac{qr^2}{4} (1 - 2\sin^2 \varphi) \dots\dots\dots(7)$$

を得。

今  $M$  を下の如き諸點に就いて求むれば

1. 水壓扛重機の中心と覆工側面の中心との距離 (「エクセントリック」を少なからしむるため) を短縮するため扛重機の中心の位置を函構の中心より 1 吋 4 分の 1 外方に置きたり。
1. 盾構の前部にある水を排するため設けたる鋼管は盾構移動の場合土砂の浸入を防ぐため木栓をなすものとする。
1. 掘鑿中に起る急激なる土砂の浸入を防ぐため盾構に隔壁を設け更に角落の装置をなす但し土砂浸入の虞なき箇所に於ては隔壁全部を取外し得るものとし作業上の利便を計りたり。
1. 盾構の内面及双口に穿ちたる圓形の孔は主として鉸鉸水管取付等のために設け尙重量を減ずるの利あるも盾構下部に於て土砂浸入の虞ある場合には組立後之を覆ふべきものとする。
1. 盾構の移動は 1 回 18 吋とし其の移動したる場合既設覆工と重複する部分は 9 吋内外とす。
1. 水壓は最大限扛重機 1 臺に付 50 噸即ち每平方吋 2,000 「ポンド」とす。
1. 水壓扛重機は曩に折渡隧道に使用したるものを改造使用するものとする。
1. 現在出力 25 噸のものを 50 噸に増加し尙ほ「ケース」の構造現在は鑄鐵にて取付けに不適當なるを以て鑄鋼製に改むるものとする。

1. 「ラム」は現在のものを再用するも其の覆工に當る部分は「エクセントリック」に働かしめ更に「ヒンデ」に依り完全に覆工側面に接觸せしむ。
1. 水管には「ヴァルブボックス」を取付け 10 個の水壓扛重機は全數同時に或は個々別々に操縦せしむることを得しむ。
1. 水壓扛重機後部と覆工との間には約 3 吋の間隙を有せしめ覆工巻立に便ならしむ。
1. 覆工は鋼材を組立て製作したる「セグメント」を用ふ。
1. 「セグメント」の設計は之に働く土壓を每平方吋 30 「ポンド」とし上下より働く場合を假定して其の断面を定め更に水壓扛重機 1 臺に付 50 噸働くものとして補剛材を取付けたり。
1. 覆工の巻立には簡單なる「ハンドエレクター」を使用するものとする。

丹那隧道用盾構使用箇所ノ覆工材製作示方書

- 第一條 覆工ハ半軟鋼材ヲ以テ製作シ之カ作工ハ總テノ點ニ於テ優秀ナルヲ要ス
- 第二條 覆工ノ製作ハ本示方書及指定圖面ニ據ルヘシ
- 第三條 圖面及示方書ニ明記セサル事項並ニ審ノ廉アルトキハ總テ監督官ノ指示ヲ受クヘシ
- 第四條 製作監督官ニ於テ必要ト認ムル場合ハ些少ノ變更ヲ命スルコトアルヘシ
- 第五條 加熱セル材料ハ輕微ナル部分ヲ除クノ外總テ適當ニ燒鈍スベシ
- 第六條 材料ノ剪斷ハ正確ナルヲ要ス
- 第七條 特ニ補剛材ノ兩端面並肋材タル溝形、山形鋼ノ繼目ヲ正確ナラシメ部材相互ヲ克ク密着セシムヘシ
- 第八條 本示方書及指定圖面ニ記載セル鉸ノ太サハ加熱前ノ太サヲ示シ總テ徑八分ノ七吋トス
- 第九條 鉸孔ノ削リ擴ケヲ要スル場合ノ「ボンチ」ノ徑ハ鉸徑ヨリ八分ノ一吋以上少ナルモノヲ用ヒ削リ擴ケハ鉸徑ヨリ十六分ノ一吋以上大ナルヘカラス
- 第十條 鉸孔ハ正確ナルヲ要ス若シ組合セタル孔ニ些少ノ狂ヒヲ生シタルトキハ「リーマー」ヲ用ヒテ整正スルコトヲ得ルモ「ドリフト」ヲ用ヒテ擴大スヘカラス
- 第十一條 覆工 (セグメント) ハ甲種八個、乙種二個、丙種一個ヲ以テ完全ニ圓形 (直徑七呎六吋四分ノ一) 覆工ヲ組ミ立テ得ル様製作スヘシ
- 第十二條 重要ナル部分ノ鉸孔ニシテ材料ヲ組ミ合セタル後孔ノ喰ヒ違ヒヲ生シ易キ部分ハ總テ第九條ニ據ルカ又ハ最初ヨリ「ドリル」ニ據ルヘシ
- 第十三條 鉸孔ノ周邊ニ生シタル捲レハ削リ取ルヘシ
- 第十四條 鉸頭ハ指定ノ寸法ニ從ヒテ製作シ鉸幹ノ長サハ組合セ材ノ厚サ及鉸徑ニ應ジ完全ナル鉸頭ヲ形成スル様製作スヘシ
- 第十五條 鉸鉸ヲナスニ當リテハ假「ポルト」ヲ以テ弛ミナキ様材片ヲ堅ク締メ付ケ置クヘシ  
鉸鉸中ハ鉸孔ニ喰ヒ違ヒヲ生セサル様注意スルハ勿論鉸鉸ヲ終リタル後組合セ材ニ曲リ捻レ其他ノ變形ヲ生セサル様注意スヘシ
- 第十六條 鉸ハ半軟鋼材ヲ使用シ十分鉸孔ヲ填充シ組合セ材ヲ堅固ニ緊結スルヲ要ス  
鉸頭ハ鉸幹ト同心圓中ニ在ル様注意シ指定ノ形狀寸法ニ格好能ク打ち上クヘシ
- 第十七條 鉸鉸ヲナスノ際鉸頭周圍ノ材料ニ損傷ヲ與ヘサル様注意スヘシ
- 第十八條 鉸燒ハ均一ニ淡紅色 (攝氏約八〇〇度) ノ程度トス

第十九條 鋸ハ鉸メタル後一々之ヲ點檢シ其弛メルモノ燒過キノモノ其他缺點アルモノハ切り取りタル上打チ直シヲナスヲ要ス決シテ「コーキング」又ハ冷却後鉸メ直シヲナスヘカラス

第二十條 不良鋸ヲ切り取ルニハ錐ヲ使用シテ採ミ抜クカ如キ方法ニ依リ材料ヲ損セサルヲ要ス

第二十一條 鋸手ニ使用スル山形鋼ニシテ溝形鋼ノ背部ニ接スル部分ノ縁邊ハ之ヲ削リテ完全ニ鋸ト溝形鋼トノ突縁ヲ密接セシムヘシ但シ八分ノ一吋以上削リ取ラサル様注意スヘシ

第二十二條 「ボルト」ハ總テ徑八分ノ七吋トシ螺旋山ハ「ナット」ニ正シク適合セシメ鐵道省基本又ハ米國基本ニ依リ製作スヘシ

第二十三條 「ボルト」及「ナット」ノ數ハ其必要數量ノ外一割ヲ増加スヘシ

第二十四條 特殊山形ハ之ヲ規定ノ角度ヲ一様ニ正シク保テ相隣ル兩山形ハ密接スルヲ要ス

| φ   | sin φ | sin <sup>2</sup> φ | 1-2 sin <sup>2</sup> φ | Mφ (ノ #) |
|-----|-------|--------------------|------------------------|----------|
| 0°  | 0     | 0                  | 1.000                  | ⊕ 22.800 |
| 18° | 0.309 | 0.096              | 0.808                  | ⊕ 18.380 |
| 30° | 0.500 | 0.250              | 0.500                  | ⊕ 11.350 |
| 36° | 0.588 | 0.346              | 0.310                  | ⊕ 7.010  |
| 45° | 0.707 | 0.500              | 0                      | 0        |
| 54° | 0.809 | 0.655              | - 0.310                | ⊖ 7.010  |
| 60° | 0.866 | 0.750              | - 0.500                | ⊖ 11.350 |
| 72° | 0.951 | 0.904              | - 0.808                | ⊖ 18.380 |
| 90° | 1.000 | 1.000              | - 1.000                | ⊖ 22.800 |

但し⊕彎曲率は盾構内側張力(外側壓力) ⊖ は外側張力(内側壓力)に生ずる場合なり。

(b) 垂 面 力

$$N_{\varphi} = qr \sin^2 \varphi$$

(c) 切 面 力

$$T_{\varphi} = qr \sin \varphi \cos \varphi$$

| φ   | N <sub>φ</sub> (#) | φ   | cos φ | sin φ cos φ | T <sub>φ</sub> (#) |
|-----|--------------------|-----|-------|-------------|--------------------|
| 0°  | 0                  | 0°  | 1.000 | 0           | 0                  |
| 18° | 160                | 18° | 0.951 | 0.294       | 490                |
| 30° | 350                | 30° | 0.866 | 0.433       | 760                |
| 36° | 570                | 36° | 0.809 | 0.476       | 790                |
| 45° | 830                | 45° | 0.707 | 0.544       | 900                |
| 54° | 1,080              | 54° | 0.588 | 0.476       | 790                |
| 60° | 1,240              | 60° | 0.500 | 0.433       | 670                |
| 72° | 1,500              | 72° | 0.309 | 2.294       | 490                |
| 90° | 1,650              | 90° | 0     | 0           | 0                  |

(d) 盾構断面の總代應力

以上の彎曲率, 垂面力, 切面力は盾構 1 吋長さに對する應力なれば全長 10 呎に就きて 120 倍

である。即ち

| φ   | 彎曲率(ノ #)    | 垂面力(#) | 切面力(#)  | φ   | 彎曲率(ノ #)    | 垂面力(#)  | 切面力(#) |
|-----|-------------|--------|---------|-----|-------------|---------|--------|
| 0°  | ⊕ 2,736,000 | 0      | 0       | 54° | ⊖ 842,000   | 129,600 | 94,800 |
| 18° | ⊕ 2,205,600 | 19,000 | 58,800  | 60° | ⊖ 1,362,000 | 148,800 | 80,400 |
| 30° | ⊕ 1,362,000 | 42,000 | 80,400  | 72° | ⊖ 2,205,600 | 180,000 | 58,800 |
| 36° | ⊕ 842,000   | 68,000 | 94,800  | 90° | ⊖ 2,736,000 | 198,000 | 0      |
| 45° | 0           | 99,600 | 108,000 |     |             |         |        |

(B) 水平等布荷重, 垂直等布荷重の強度 2 分の 1 の場合

此の場合は (A) の場合の等布荷重の 2 分の 1 が水平にも加へられた場合であつて盾構の断面の 4 分の 1 に就いて求むれば足る。

(a) 彎 曲 率

$$\begin{aligned}
 M_{\varphi} &= M_c - \frac{qr^2}{2} \sin^2 \varphi + \frac{1}{2} qr^2 (1 - \cos \varphi) - \frac{qr^2}{4} (1 - \cos \varphi)^2 \\
 &= M_c - \frac{qr^2}{4} \sin^2 \varphi \\
 N_{\varphi} &= qr \sin^2 \varphi + \frac{qr}{2} \cos^2 \varphi \\
 &= \frac{qr}{2} (1 + \sin^2 \varphi) \\
 T_{\varphi} &= qr \cos \varphi \sin \varphi - \frac{qr}{2} \cos \varphi \sin \varphi \\
 &= \frac{qr}{2} \cos \varphi \sin \varphi
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

(8) 式を (1) 式に代入し

$$w = \frac{1}{2EI} \int_0^{\frac{\pi}{2}} (M_c - \frac{qr^2}{4} \sin^2 \varphi)^2 r d\varphi + \frac{1}{2EA} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left\{ \frac{qr}{2} (1 + \sin^2 \varphi) \right\}^2 r d\varphi$$

を得次に

$$\frac{dw}{dM_c} = 0 \quad \text{とすれば}$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} (M_c - \frac{qr^2}{4} \sin^2 \varphi) d\varphi = 0$$

$$M_c = \frac{qr^2}{8} \tag{9}$$

=11,400' #

故に

$$M_\varphi = \frac{qr^2}{8}(1-2\sin^2\varphi) \dots\dots\dots (10)$$

となる。

(b) 垂 面 力

$$N_\varphi = \frac{qr}{2}(1+\sin^2\varphi)$$

| $\varphi$ | $M_\varphi$ (#) | $\varphi$ | $1+\sin^2\varphi$ | $N_\varphi$ (#) |
|-----------|-----------------|-----------|-------------------|-----------------|
| 0°        | ⊕ 11,400        | 0°        | 1,000             | 830             |
| 18°       | ⊕ 9,190         | 18°       | 1,096             | 900             |
| 30°       | ⊕ 5,680         | 30°       | 1,250             | 1,030           |
| 36°       | ⊕ 3,520         | 36°       | 1,346             | 1,110           |
| 45°       | 0               | 45°       | 1,500             | 1,240           |
| 54°       | ⊖ 3,520         | 54°       | 1,655             | 1,370           |
| 60°       | ⊖ 5,680         | 60°       | 1,750             | 1,440           |
| 72°       | ⊖ 9,190         | 72°       | 1,904             | 1,570           |
| 90°       | ⊖ 11,400        | 90°       | 2,000             | 1,650           |

(c) 切 面 力

$$T_\varphi = \frac{pr}{2}\sin\varphi\cos\varphi$$

(d) 盾構断面の總代力

盾構の全長 10 呎に對しては彎曲率, 垂面力, 切面力は

| $\varphi$ | $T_\varphi$ (#) | $\varphi$ | 彎曲率(″ #)    | 垂面力(#)  | 切面力(#) |
|-----------|-----------------|-----------|-------------|---------|--------|
| 0°        | 0               | 0°        | ⊕ 1,368,000 | 99,600  | 0      |
| 18°       | 250             | 18°       | ⊕ 1,102,800 | 108,000 | 29,400 |
| 30°       | 340             | 30°       | ⊕ 681,000   | 123,600 | 40,200 |
| 36°       | 400             | 39°       | ⊕ 421,000   | 133,200 | 47,400 |
| 45°       | 450             | 45°       | 0           | 148,800 | 54,400 |
| 54°       | 400             | 54°       | ⊖ 421,000   | 164,400 | 47,400 |
| 60°       | 340             | 60°       | ⊖ 681,000   | 172,800 | 40,200 |
| 72°       | 250             | 72°       | ⊖ 1,102,800 | 188,400 | 29,400 |
| 90°       | 0               | 90°       | ⊖ 1,368,000 | 198,000 | 0      |

(e) 垂直等布荷重の上半集中せる場合

此の場合は (A) の特別の場合として考らる。

彎曲率, 垂面力, 切面力は共に

$\varphi=0^\circ$  より  $\varphi=\frac{\pi}{2}$  迄は

$$M_\varphi = M_c - \frac{1}{2}Rr\sin\varphi + H_c r(1-\cos\varphi)$$

$$N_\varphi = \frac{1}{2}R\sin\varphi + H_c\cos\varphi$$

$$T_\varphi = \frac{1}{2}R\cos\varphi - H_c\sin\varphi$$

$\varphi=\frac{\pi}{2}$  より  $\varphi=\pi$  までは

$$M_\varphi = M_c - \frac{1}{2}Rr\sin\varphi - \frac{1}{2}\frac{Rr(1-\sin\varphi)}{r}\frac{r}{2}(1-\sin\varphi) + H_c r(1-\cos\varphi) = M_c - \frac{1}{4}Rr(1+\sin^2\varphi) + H_c r(1-\cos\varphi)$$

$$N_\varphi = \frac{1}{2}R\sin\varphi - \frac{R}{2}r\frac{(1-\sin\varphi)}{r}\sin\varphi + H_c\cos\varphi = \frac{R}{2}\sin^2\varphi + H_c\cos\varphi$$

$$T_\varphi = \frac{1}{2}R\cos\varphi - \frac{R}{2}r\frac{(1-\sin\varphi)}{r}\cos\varphi - H_c\sin\varphi = \frac{1}{2}R\sin\varphi\cos\varphi - H_c\sin\varphi$$

但し  $R=2rq$

此の場合には盾構断面の半分に就いて求むれば足りる。

(1) 式より

$$w = \frac{1}{2EI} \left[ \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left\{ M_c - \frac{1}{2}Rr\sin\varphi + H_c r(1-\cos\varphi) \right\}^2 r d\varphi + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \left\{ M_c - \frac{1}{4}Rr(1+\sin^2\varphi) + H_c r(1-\cos\varphi) \right\}^2 r d\varphi \right] + \frac{1}{2EA} \left[ \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left\{ \frac{1}{2}R\sin\varphi + H_c\cos\varphi \right\}^2 r d\varphi + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \left\{ \frac{R}{2}\sin^2\varphi - H_c\sin\varphi \right\}^2 r d\varphi \right] \dots\dots\dots (12)$$

最小働の原理により

$$\frac{dw}{dM_c} = 0 \quad \frac{dw}{dH_c} = 0$$

とおき静力學的に未知なる  $M_c$   $H_c$  を求めん

$$\frac{dw}{dM_c} = 0$$

とおけば

$$\int_0^{\pi/2} \{M_c - \frac{1}{2} Rr \sin \varphi + H_c r (1 - \cos \varphi)\} d\varphi + \int_{\pi/2}^{\pi} \{M_c - \frac{1}{4} Rr (1 + \sin^2 \varphi) + H_c r (1 - \cos \varphi)\} d\varphi = 0$$

即ち

$$M_c + rH_c = \frac{Rr}{\pi} \left( \frac{1}{2} + \frac{3\pi}{16} \right) \dots \dots \dots (13)$$

$$\frac{dw}{dH_c} = 0$$

とおけば

$$\int_0^{\pi/2} \{M_c - \frac{1}{2} Rr \sin \varphi + H_c (1 - \cos \varphi)\} (1 - \cos \varphi) d\varphi + \int_{\pi/2}^{\pi} \{M_c - \frac{1}{4} Rr (1 + \sin^2 \varphi) + H_c (1 - \cos \varphi)\} (1 - \cos \varphi) d\varphi = 0$$

即ち

$$H_c = \frac{R}{6\pi} \dots \dots \dots (14)$$

故に

$$M_c = \frac{Rr}{\pi} \left( \frac{1}{3} + \frac{3\pi}{16} \right) \dots \dots \dots (15)$$

を得

故に彎曲率，垂面力，切面力は

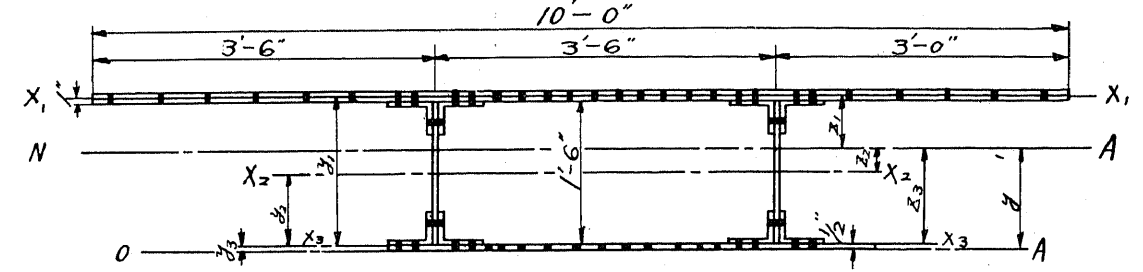
故に盾構断面總應力は

| $\varphi$ | $M_\varphi$ (＃) | $N_\varphi$ (＃) | $T_\varphi$ (＃) | $\varphi$ | 彎曲率(＃)      | 垂面力(＃)  | 切面力(＃)    |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|-------------|---------|-----------|
| 0°        | ⊕ 53,300        | 170             | ⊕ 1,650         | 0°        | ⊕ 6,396,000 | 20,400  | ⊕ 198,000 |
| 18°       | ⊕ 25,720        | 680             | ⊕ 1,520         | 18°       | ⊕ 3,086,400 | 81,600  | ⊕ 182,400 |
| 30°       | ⊕ 9,170         | 980             | ⊕ 1,350         | 30°       | ⊕ 1,100,400 | 117,600 | ⊕ 162,000 |
| 36°       | ⊕ 1,730         | 1,120           | ⊕ 1,100         | 36°       | ⊕ 207,600   | 134,400 | ⊕ 132,000 |
| 45°       | ⊖ 8,120         | 1,290           | ⊕ 1,050         | 45°       | ⊖ 974,400   | 154,800 | ⊕ 126,000 |
| 54°       | ⊖ 16,280        | 1,320           | ⊕ 840           | 54°       | ⊖ 1,953,600 | 158,400 | ⊕ 100,800 |
| 60°       | ⊖ 20,610        | 1,530           | ⊕ 680           | 60°       | ⊖ 2,473,200 | 183,600 | ⊕ 81,600  |
| 72°       | ⊖ 26,540        | 1,620           | ⊕ 360           | 72°       | ⊖ 3,184,800 | 194,400 | ⊕ 43,200  |
| 90°       | ⊖ 28,100        | 1,650           | ⊖ 170           | 90°       | ⊖ 3,372,000 | 198,000 | ⊖ 20,400  |
| 108°      | ⊖ 20,900        | 1,550           | ⊖ 660           | 108°      | ⊖ 2,508,000 | 186,000 | ⊖ 79,200  |
| 120°      | ⊖ 12,130        | 1,370           | ⊖ 870           | 120°      | ⊖ 1,455,600 | 164,400 | ⊖ 104,400 |
| 126°      | ⊖ 6,900         | 1,090           | ⊖ 940           | 126°      | ⊖ 838,800   | 130,800 | ⊖ 12,800  |
| 135°      | ⊖ 1,160         | 950             | ⊖ 950           | 135°      | ⊕ 139,200   | 114,000 | ⊖ 14,000  |
| 144°      | ⊕ 9,100         | 720             | ⊖ 900           | 144°      | ⊕ 1,092,000 | 86,400  | ⊖ 108,000 |
| 150°      | ⊕ 14,000        | 550             | ⊖ 630           | 150°      | ⊕ 1,680,000 | 66,000  | ⊖ 75,600  |
| 162°      | ⊕ 21,780        | 390             | ⊖ 450           | 162°      | ⊕ 2,613,600 | 46,800  | ⊖ 54,000  |
| 180°      | ⊕ 26,600        | 170             | ⊖ 0             | 180°      | ⊕ 3,192,000 | 20,400  | 0         |

以上3つの場合に於て (C) の應力其の値最も大である。

(iii) 盾構断面の決定 (圖面参照)

盾構断面を圖示の如く假定する。即ち



第 503 圖

|                       | 記 號 | 幅       | 厚サ(＃) | y(＃)    | z(＃)      | 斷面積<br>$A_c$ (〇'') | ＃     | 鋸 孔<br>斷面積<br>(〇'') |
|-----------------------|-----|---------|-------|---------|-----------|--------------------|-------|---------------------|
| 2-蓋 板 (Cover plate)   | 1   | 10'-0'' | 1/2'' | 19''    | 3 5/16''  | 120.0              | 120.0 | 29.0                |
| 2-突縁山形 (Flange angle) |     | 6''x4'' | ＃     |         |           | 9.5                |       | 6.0                 |
| 1-腹 板 (Web plate)     | 2   | 1'-6''  | ＃     | 9 1/2'' | 6 3/16''  | 9.0                | 28.0  | 2.0                 |
| 2-突縁山形 (Flange angle) |     | 6''x4'' | ＃     |         |           | 9.5                |       | 6.0                 |
| 1-蓋 板 (Cover plate)   | 3   | 5'-0''  | ＃     | 1/4''   | 15 7/16'' | 30.0               | 30.0  | 10.5                |
| 計                     |     |         |       |         |           |                    | 178.0 | 53.5                |

(A) 断面物量力率 (Moment of Inertia)

先づ断面に對する中立軸 (Neutral axis) を求めれば

$$y = \frac{\sum Ay}{\sum A} \dots \dots \dots (16)$$

$$\doteq 15.65''$$

故に

$$Z_1 = y_1 - y = 3.32''$$

$$Z_2 = y - y_2 = 6.18''$$

$$Z_3 = y - y_3 = 15.43''$$

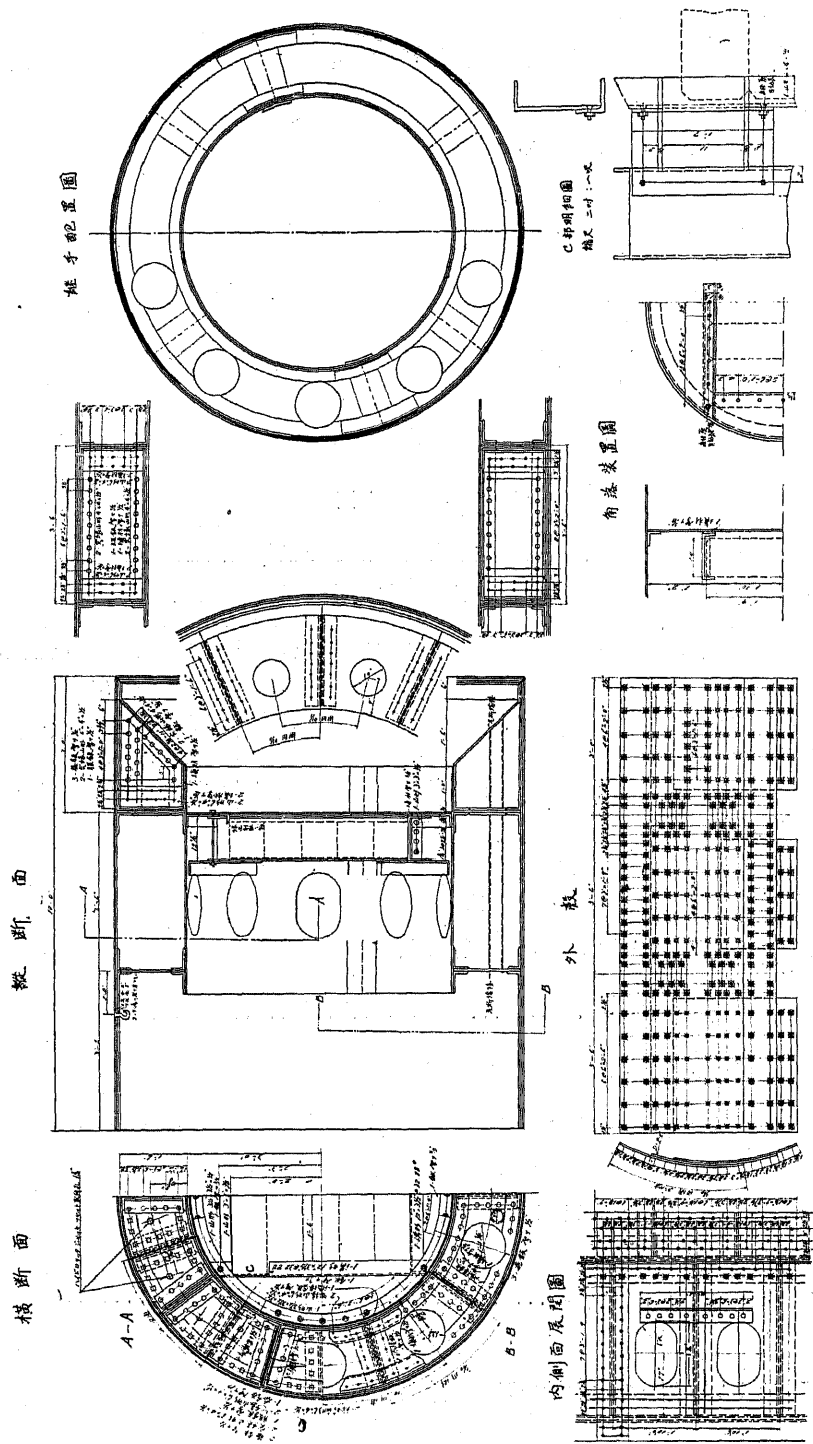
中立軸の廻りの自乗率は

$$I_0 = \sum I + \sum AZ^2 \dots \dots \dots (17)$$

$$= I_1 + I_2 + I_3 + A_1 Z_1^2 + A_2 Z_2^2 + A_3 Z_3^2$$

但し  $I_1 I_2 I_3$  は 1.2.3 各々の中立軸の廻りの彎曲率を示す。





第 504 圖 厚 壁 筒 設 計 圖

然るに

$$I_1 = 10.0''^4$$

$$I_2 = 148.0''^4$$

$$I_3 = 0.6''^4$$

$$A_1 Z_1^2 = 132.0''^4$$

$$A_2 Z_2^2 = 1,069.0''^4$$

$$A_3 Z_3^2 = 7,110.0''^4$$

なれば

$$I_0 = 10,900''^4$$

又中立軸の外部及び内部の鉄孔の断面積の此の廻りの物量力率は

外部  $I_0 r_e = \sum I r_e + \sum A r_e \phi^2 r_e$   
 $\approx 347''^4$

内部  $I_0 r_i = \sum I r_i + \sum A r_i \phi^2 r_i$   
 $\approx 3,820''^4$

中立軸より外側端内側端迄の距離は

$$y_e = Z_1 + 0.5 = 3.82''$$

$$y_i = y = 15.68''$$

となる。

(B) 断面係数 (Section Modulus)

一般に断面係数は

$$S = \frac{I}{y} \dots \dots \dots (18)$$

にて表さるゝが故に應張力、應壓力に對する断面係数を別示すれば

中立軸より外側が壓力を受くる場合には

$$S_{ec} = \frac{I_0}{y_0} = 2,870''^3 \dots \dots \dots (18')$$

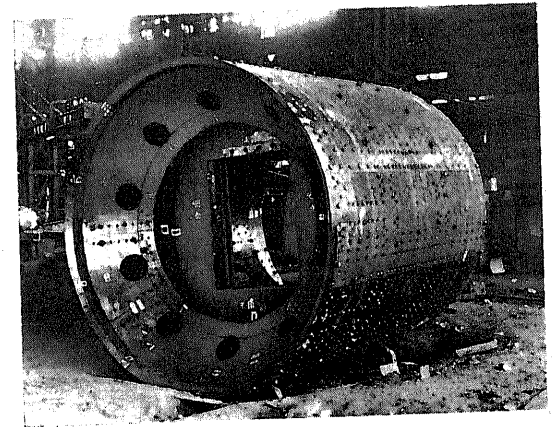
中立軸より外側が張力を受くる場合には

$$S_{et} = \frac{I_0 - I_0 r_e}{y_e} = 2,760''^3 \dots \dots \dots (18'')$$

中立軸より内側が壓力を受くる場合には

$$S_{ie} = \frac{I_0}{y_i} = 610''^3 \dots \dots \dots (18''')$$

中立軸より内側が張力を受くる場合には



第 505 圖 シールド

$$S_{it} = \frac{I_0 - I_0 r_i}{y_i} = 456''^3 \dots\dots\dots(18''''')$$

(C) 最大應力に對する斷面抵抗

(a) 維 應 力 (Fiber Stress)

應壓力 (Compressive Stress) 並に彎曲率による維應力は一般に次の式に依り求め得

$$f = \frac{N}{A} + \frac{M}{S} \dots\dots\dots(19)$$

- 但し  $f$  = 維 應 力
- $N$  = 垂 面 力
- $M$  = 彎 曲 率
- $A$  = 斷 面 積
- $S$  = 斷 面 係 數

既に (ii) (A) (B) (C) によりて算出せる應力を (19) 式の變形なる次式

中立軸より外側壓力を受くる場合  $f_{ec} = \frac{N}{A} + \frac{M}{S_{ec}} \dots\dots\dots(19')$

" " 張力 "  $f_{et} = \frac{N}{A} - \frac{M}{S_{et}} \dots\dots\dots(19'')$

" 内側壓力 "  $f_{ic} = \frac{N}{A} + \frac{M}{S_{ic}} \dots\dots\dots(19''')$

" " 張力 "  $f_{it} = \frac{N}{A} - \frac{M}{S_{it}} \dots\dots\dots(19''''')$

により以下の如く求むるを得べし。

(A) の 場 合

| $\varphi$ | $f_{ec}$ (%) | $f_{et}$ (%) | $f_{ic}$ (%) | $f_{it}$ (%) |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0°        | 950          |              |              | 6,000        |
| 18°       | 910          |              |              | 4,690        |
| 30°       | 710          |              |              | 1,870        |
| 36°       | 690          |              |              | 1,490        |
| 45°       | 560          |              | 560          |              |
| 54°       | 430          |              | 2,110        |              |
| 60°       | 350          |              | 3,070        |              |
| 72°       | 200          |              | 4,620        |              |
| 90°       | 10           |              | 5,600        |              |

(B) の 場 合

| $\varphi$ | $f_{ec}$ (%) | $f_{et}$ (%) | $f_{ic}$ (%) | $f_{it}$ (%) |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0°        | 1,040        |              |              | 2,440        |
| 18°       | 1,010        |              |              | 1,810        |
| 30°       | 940          |              |              | 350          |
| 36°       | 900          |              |              | 190          |
| 45°       | 830          |              | 830          |              |
| 54°       | 770          |              | 1,610        |              |
| 60°       | 720          |              | 2,090        |              |
| 72°       | 650          |              | 2,870        |              |
| 90°       | 610          |              | 3,610        |              |

(C) の 場 合

| $\varphi$ | $f_{ec}$ (%) | $f_{et}$ (%) | $f_{ic}$ (%) | $f_{it}$ (%) | $\varphi$ | $f_{ec}$ (%) | $f_{et}$ (%) | $f_{ic}$ (%) | $f_{it}$ (%) |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0°        | 2,350        |              |              | 13,910       | 108°      | 130          |              | 5,150        |              |
| 18°       | 1,540        |              |              | 6,310        | 120°      | 340          |              | 3,360        |              |
| 30°       | 1,040        |              |              | 1,750        | 126°      | 440          |              | 1,790        |              |
| 36°       | 820          |              | 300          |              | 135°      | 690          |              | 340          |              |
| 45°       | 520          |              | 2,470        |              | 144°      | 870          |              |              | 900          |
| 54°       | 180          |              | 4,090        |              | 150°      | 960          |              |              | 3,310        |
| 60°       | 140          |              | 5,080        |              | 162°      | 1,160        |              |              | 5,470        |
| 72°       |              | 60           | 6,310        |              | 180°      | 1,230        |              |              | 6,880        |
| 90°       |              | 110          | 6,640        |              |           |              |              |              |              |

斯様にして最大應力たる (c) の  $\varphi=0$  の應張力と雖も鋼の許容應張力 (Allowable tensile strength) 16,000% を超ゆる事なき故彎曲率及び垂面力に對する斷面の強度は十分なるを知る。

(b) 應 裁 力 (Shearing stress)

切面力により受くる斷面の應裁力は

$$f_s = \frac{T}{A - A_r} \dots\dots\dots(20)$$

- 但し  $f_s$  = 應 裁 力
- $T$  = 切 面 力
- $A_r$  = 鉄 孔 斷 面

| $\varphi$ | (i) の場合 (%) | (ii) の場合 (%) | (iii) の場合 (%) | $\varphi$ | (i) の場合 (%) | (ii) の場合 (%) | (iii) の場合 (%) |
|-----------|-------------|--------------|---------------|-----------|-------------|--------------|---------------|
| 0°        | 0           | 0            | 1,600         | 108°      |             |              | 640           |
| 18°       | 480         | 240          | 1,470         | 120°      |             |              | 840           |
| 30°       | 650         | 330          | 1,300         | 126°      |             |              | 910           |
| 36°       | 770         | 390          | 1,070         | 135°      |             |              | 920           |
| 45°       | 870         | 440          | 1,010         | 144°      |             |              | 870           |
| 54°       | 770         | 390          | 810           | 150°      |             |              | 610           |
| 60°       | 650         | 330          | 650           | 162°      |             |              | 440           |
| 72°       | 480         | 240          | 350           | 180°      |             |              | 0             |
| 90°       | 0           | 0            | 160           |           |             |              |               |

(ii) (A) (B) (C) の各場合に就きて求むれば上表の如くして鋼の許容應裁強度 15,000% に對して遙に小なれば十分である。

斯くして設計せられ圖の如き盾構を得たのである。

### 第二節 盾構覆工設計に就て

#### (1) 覆工使用材の選擇

盾構の覆工には第一次覆工 (Primary lining) と第二次覆工 (Secondary lining) とありて前者は盾構推進中尾部に於て直ちに巻立つるものであつて後者は第一次覆工相當の距離に達する時施工し永久壘築として完成するものである。

普通用ひらるゝ覆工材料としては

- (i) 木材 (ii) 鐵筋混凝土 (iii) 混凝土塊 (iv) 鑄鐵 (v) 軟鋼

の如きものあるも費用の差異材料の強弱があつて一得一失あれば其の目的に依り十分選定の必要がある。先づ其の設計に當りて考慮すべき事は (i) 土壓並に盾構推進反力に堪ゆるに十分な強度を有する事 (ii) 價格の低廉なる事 (iii) 組立作業の簡單なる事 今上記の5種に就きて比較すれば

#### (i) 木 材

諸外國に於ては下水の如き掘鑿断面の小なる場合に用ひられる。強度も相當強く安價なので場所によつては利用が大きい、然

し永久性なく、且つ纖維の方向に裂け易く結構する事が困難である缺點がある。

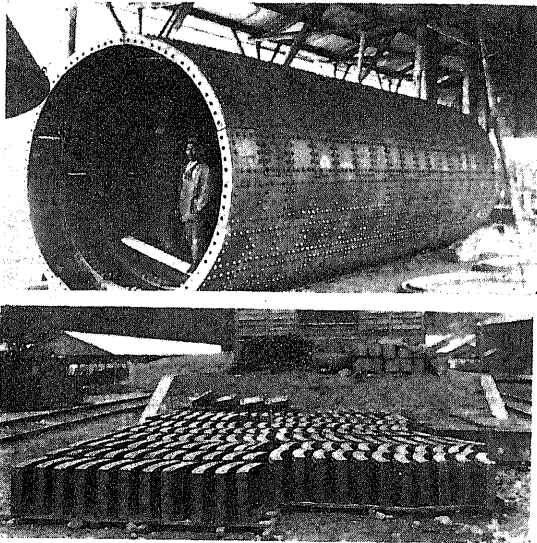
#### (ii) 鐵 筋 混 凝 土

諸種の鋼型を結構して盾構推進反力を支へ盾構の推進に伴ひ遂次混凝土を打ちて埋め殺すものである。本作業は鋼型の結構及び混凝土現場打ち作業に相當の空間必要とし本工程の如き小形の盾構には不可能である。且つ工費が安く行かない (然し最も健實なる壘築工を得る利益がある)。

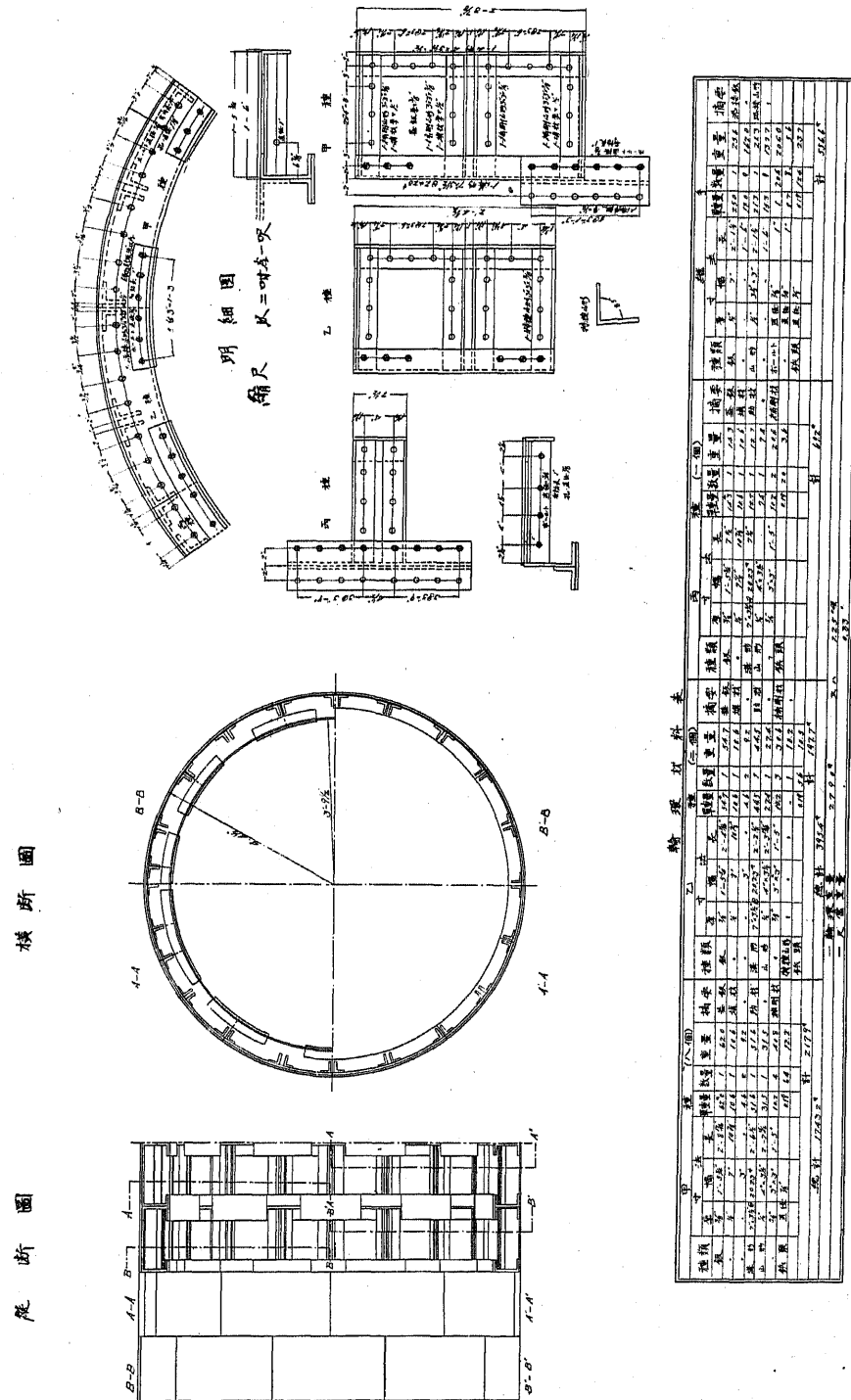
#### (iii) 混 凝 土 塊

價格低廉であつて取扱いも容易なので使用場所によつては最も理想とする本工程に於ては水壓扛重機の推進力大なる爲めに混凝土塊は其の壓力に堪えず目地の硬化する間に荷重加はり爲めに完全なる接合を期することが出来ない。

#### (iv) 鑄 鐵「セグメント」



第 506 圖 坑外に於ける覆工セグメント



横断面圖

縦断面圖

| 材料  |       | 数量             |      | 重量             |       | 体積             |      | 表面積            |      | その他            |    |
|-----|-------|----------------|------|----------------|-------|----------------|------|----------------|------|----------------|----|
| 品名  | 規格    | 単位             | 数量   | 単位             | 重量    | 単位             | 数量   | 単位             | 数量   | 単位             | 備考 |
| 鋼板  | SP-PC | kg             | 1000 | m <sup>2</sup> | 10000 | m <sup>2</sup> | 1000 | m <sup>2</sup> | 1000 | m <sup>2</sup> |    |
| 鋼筋  | SD35  | kg             | 500  | m <sup>3</sup> | 0.5   | m <sup>3</sup> | 0.5  | m <sup>3</sup> | 500  | m <sup>3</sup> |    |
| 混凝土 | 普通    | m <sup>3</sup> | 100  | m <sup>3</sup> | 100   | m <sup>3</sup> | 100  | m <sup>3</sup> | 100  | m <sup>3</sup> |    |
| 木材  | 杉     | m <sup>3</sup> | 50   | m <sup>3</sup> | 50    | m <sup>3</sup> | 50   | m <sup>3</sup> | 50   | m <sup>3</sup> |    |
| 鑄鐵  | HT200 | kg             | 200  | m <sup>3</sup> | 0.2   | m <sup>3</sup> | 0.2  | m <sup>3</sup> | 200  | m <sup>3</sup> |    |
| 合計  |       |                |      |                |       |                |      |                |      |                |    |

第 507 圖 丹那隧道盾構使用鋼セグメント設計圖

地下水に浸さるゝことなく耐圧力強く而も「ジョイント」の漏氣止の施工容易なる利益があるが重量重く取扱ひも不便且つ價格が最も大である。

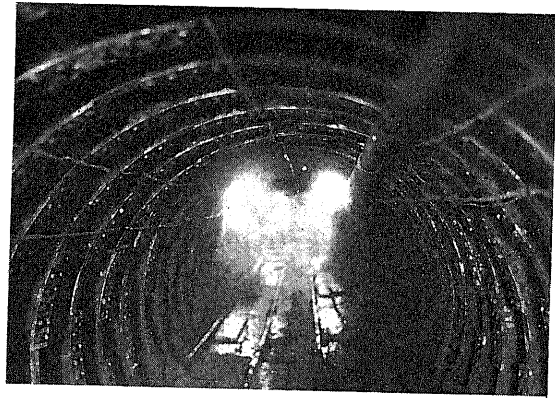
(v) 軟 鋼「セグメント」

鐵鋼を組合せて「セグメント」となし鑄鐵「セグメント」の代用をする。結構、繁雜にして價格相當高價であるが鑄鐵「セグメント」に比し低廉、強度は耐壓、應張共に最も強く而も永久性なるが故に本工事に使用することとした。

(2) 覆 工 の 構 造

外徑は 8 呎 9 吋となし内徑を 7 呎 6 吋となす。要するに盾構尾部に於て卷立をなし而も盾構推進の際摩擦を減ずる爲め外徑は盾構尾部よりは 2 吋小に内徑は作業を容易ならしむべく強度の許す最大限に大となす。

1 輪環 (Segment) の長さは 1 呎 6 吋にして水壓扛重機の行程と同長である。



第 508 圖 水抜坑 8,950 呎附近「シールド」掘鑿ヶ所「セグメント」覆工

1 輪環は 11 個の部材より成り 3 種の形をなす即ち

- 甲 種        8 個
- 乙 種        2 個
- 丙 種        1 個

甲種最も大に丙種最も小である。丙種は所謂楔構 (Key) にして下方覆工の巻き立つる場合は最後に天井に攻め入るゝものである。

丙種の兩側甲種との間に入るゝ中間形のもの即ち乙種にして各形の構造大きは圖示の通りである。又之等の部材は以下鋼型を組合せて繼目の補剛材とす。

1- 鋁 (厚さ 1/2")

其の構造部材は 1. 蓋鋁(厚さ 3/8") 1. 溝形 (7" × 3 1/2" @ 20.23\*) 1. 山形 (4" × 3 1/2" × 1/2") 2. 山形 (3" × 3" × 3/8") を以て組合せた。

蓋鋁は主として矢板の作用をなさしめ土砂の崩壊を防ぎ溝形及山形 (4" × 3 1/2" × 1/2") は土壓による彎曲率に對し耐へしめ而も各輪環の繼なきの用をさせる。山形 (3" × 3" × 3/8") は補剛材 (Stiffener) として盾構推進の際其の反力を傳ふるの働きをなす。

1- 山 形 (3 1/2" × 3" × 1/2")

猶相隣れる輪環の繼目は「ブレークジョイント」とした。

(3) 盾構覆工断面の決定

(i) 覆工の縦断面に作用する應力

覆工に作用する土壓は盾構の場合と異り周圍の土との關係は砂又は膠泥を以て充填するを以て極端なる偏壓を受くる事なく大體周圍一樣なる等布荷重を受けるものと推測さるゝも萬一を慮りて(ii) の場合を適用した。土壓の強度は盾構の場合の如く推進に依る偏壓もなく唯土壓のみであるが永久の壘築工なる故土壓は自構の場合の 2 倍に假定した。

勿論壘築工自重は遙に小なれば其の中に含ましめた。

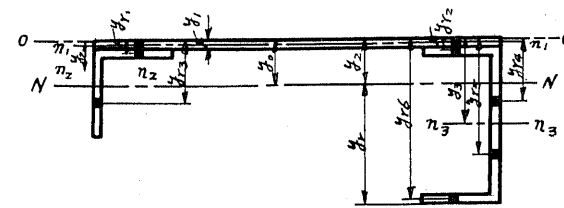
式 (8) 及び (10) に長さ  $l$  を乗じ

$$\left. \begin{aligned} \text{彎曲率} \quad M_{\varphi} &= \frac{qr^2}{8}(1-2\sin^2\varphi)l \\ \text{垂面力} \quad N_{\varphi} &= \frac{qr}{2}(1+\sin^2\varphi)l \\ \text{切面力} \quad M_{\varphi} &= \frac{qr}{2}(\cos\varphi\sin\varphi)l \end{aligned} \right\} \text{每輪環} \dots\dots\dots (21)$$

を得るが故に  $q = 30\%$   
 $r = 4' - 0 1/2''$   
 $l = 1' - 6''$

を代入すれば

(ii) 覆工縦断面の決定 (下圖参照)



第 509 圖

今断面を以下の如く假定した。

| 記 號    | 寸 法 | 斷 面 積               | 物 量 力 率     | 鋁 孔 斷 面 積 |                 |
|--------|-----|---------------------|-------------|-----------|-----------------|
| 1- 蓋 鋁 | 1   | 17 3/4" × 3/8"      | 6.66        | 0.08      | 2 × 0.33        |
| 1- 山 形 | 2   | 4" × 3 1/2" × 1/2"  | 3.75        | 7.31      | 2 × 0.44        |
| 1- 溝 形 | 3   | 7" × 3 1/2" @ 20.23 | 5.95        | 44.55     | 2 × 0.44 + 0.39 |
| 計      |     |                     | $A = 16.36$ |           | $A_r = 2.81$    |

| $\varphi$ | $M_{\varphi}$ (吋#) | $N_{\varphi}$ (%) | $T_{\varphi}$ (%) |
|-----------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 0°        | ⊕ 186,300          | 14,180            | 0                 |
| 18°       | ⊕ 150,530          | 15,540            | 4,170             |
| 30°       | ⊕ 93,150           | 17,730            | 6,140             |
| 36°       | ⊕ 57,750           | 19,090            | 6,750             |
| 45°       | 0                  | 21,270            | 7,610             |
| 54°       | ⊖ 57,750           | 23,470            | 6,750             |
| 60°       | ⊖ 93,150           | 24,820            | 6,140             |
| 72°       | ⊖ 150,530          | 27,000            | 4,170             |
| 90°       | ⊖ 186,300          | 28,360            | 0                 |

(a) 斷 種 係 數

原坐標より此の斷面積の中立軸迄の距離を求むるには

$$y_0 = \frac{\sum yA}{\sum A} = 1.94'' \dots \dots \dots (22)$$

故に中立軸より外側端及び内側端に達する距離は

$$\left. \begin{aligned} y_e &= 1.94'' \\ y_i &= 5.54'' \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (23)$$

次に斷面の中立軸の廻りの物量力率は

$$I_0 = \sum I + \sum Ay^2 = I_1 + I_2 + I_3 + A_1(y_0 - y_1)^2 + A_2(y_0 - y_2)^2 + A_3(y_0 - y_3)^2 = 96.418''^4 \quad \text{毎輪環} \dots \dots \dots (24)$$

又鉸孔の物量力率は

$$I_r = I_{r1} + I_{r2} + I_{r3} + I_{r4} + I_{r5} + I_{r6} + a_{r1}(y_0 - y_{r1})^2 + a_{r2}(y_0 - y_{r2})^2 + a_{r3}(y_0 - y_{r3})^2 + a_{r4}(y_0 - y_{r4})^2 + a_{r5}(y_0 + y_{r5})^2 + a_{r6}(y_0 - y_{r6})^2 = 21,000''^4 \quad \text{毎輪環} \dots \dots \dots (25)$$

但し  $A_{r1} = A_{r2} = 0.77''^2$        $A_{r3} = A_{r6} = 0.44''^2$   
 $A_{r4} = A_{r5} = 0.59''^2$        $y_{r1} = y_{r2} = 0.505''$   
 $y_{r3} = y_{r4} = 0.3005''$      $y_{r5} = 5.755''$      $y_{r6} = 6.755''$

故に斷面係數は (18') (18'') (18''') (18''''') 式により次ぎの如くである。

$$S_{ec} = \frac{I_0}{y_e} = 50.5''^3$$

$$S_{ei} = \frac{I_0 - I_{r0}}{y_e} = 39.5''^3$$

$$S_{ic} = \frac{I_0}{y_i} = 17.5''^3$$

$$S_{it} = \frac{I_0 - I_{r0}}{y_i} = 13.9''^3$$

(b) 維 應 力

(19) 式により

$$f = \frac{N_\varphi}{A} \pm \frac{M_\varphi}{S}$$

なれば維應力は右表の如し。

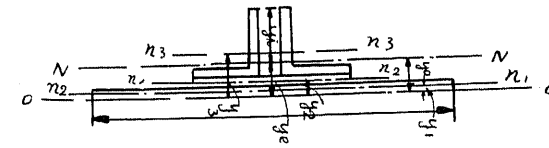
| $\varphi$ | $f_{ec}$ (‰) | $f_{ei}$ (‰) | $f_{ic}$ (‰) | $f_{it}$ (‰) |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0°        | 4,540        |              |              | 12,450       |
| 18°       | 3,920        |              |              | 9,814        |
| 30°       | 2,820        |              |              | 4,140        |
| 36°       | 2,300        |              |              | 2,960        |
| 45°       | 1,290        |              | 1,290        |              |
| 54°       | 30           |              | 4,730        |              |
| 60°       |              | 810          | 6,720        |              |
| 72°       |              | 2,120        | 10,240       |              |
| 90°       |              | 2,960        | 12,370       |              |

總て許容應張力及び應壓力より小なれば假定土壓に對しては斷面の強度十分なるを知る。

(c) 應 裁 力

(20) 式により求むれば右表の通りである。

(iii) 覆工斷面に働く應力 (下圖参照)



第 510 圖

覆工の斷面に起る應力は外周の土壓及び盾構推進反力により生ずるもので次式により求め得られる。

$$f = \frac{R}{A} \pm \frac{M}{S}$$

但し  $R = \text{水壓唧子の推進力} = 50 \text{噸} = 112,000 \#$   
 $A = \text{覆工の推進反力を受くる斷面積}$   
 $M = \text{土壓に依り生ずる彎曲率}$   
 $S = \text{斷面係數}$

上式に於て推進反力は斷面に一樣に其の力を傳ふるものとす。

(a) 斷 面

斷面は圖示 A-A の如し。

(b) 土壓による彎曲率

一輪環の間は單桁 (Simple beam) と見る時

$$M = \frac{ql^2b}{8}$$

但し  $q = 30 \text{ 磅}$   
 $b = 1' - 4\frac{1}{2}''$   
 $l = 1' - 6''$   
 $= 20,050''^3$

(c) 斷 面 係 數

今前圖 b の間は直線をなすものと假定して其の中立軸の廻りの物量力率を求むれば圖示の如く

| $\varphi$ | $f_s$ (‰) |
|-----------|-----------|
| 0°        | 0         |
| 18°       | 280       |
| 30°       | 420       |
| 36°       | 470       |
| 45°       | 520       |
| 54°       | 470       |
| 60°       | 420       |
| 72°       | 280       |
| 90°       | 0         |

|             | 厚 (t'') | 幅 (b'') | 斷面積 (A 平方) |
|-------------|---------|---------|------------|
| 1- 鋸        | 3/8     | 16 1/2  | 6.2        |
| 2- 山形 (補鋼材) | "       | 3 x 3   | 4.2        |
| 1- 鋸 (填材)   | 1/2     | 7       | 3.5        |
| 計           |         |         | 13.9       |

$$y_0 = \frac{\sum yA}{\sum A} = 0.69'' \quad \text{但し} \quad \begin{aligned} y_1 &= 3/16'' \\ y_2 &= 5/8'' \\ y_3 &= 1 1/2'' \end{aligned}$$

故に中立軸より外側端，内側端迄の距離は

$$y_e = 0.69'' \\ y_i = 3.18''$$

次に中立軸の廻りの物量力率は

$$I_0 = \sum I + \sum A(y_0 - y)^2 = 4.08''^4$$

故に断面係数は

$$S_e = \frac{I_0}{y_e} = 1.3''^3 \quad \text{應張力に對しては} \\ S_t = \frac{I_0}{y_i} = 1.3''^3 \quad \text{應壓力に對しては}$$

(d) 維 應 力

$$\begin{aligned} \text{外 側} \quad f_c &= \frac{R}{A} + \frac{M}{S_c} = \oplus 11,400\% \quad \text{壓力} \\ \text{内 側} \quad f_t &= \frac{R}{A} - \frac{M}{S_t} = \ominus 7,420\% \quad \text{張力} \end{aligned}$$

の如く許容強度以下なるを以て安全である。

斯くの如くして既に假定せる断面にて設計せしものは圖示の通りである。

### 第三節 盾 構 諸 設 備

#### (1) 水 壓 設 備

盾構掘鑿に於ける盾構の推進は水壓力によるが故に水壓機械及び水管設備は之を人體に誓ふれば循環系に比すべく最も重要な機能である。之が設計に當つては萬全の注意を拂ひ遺憾ない様にせねばならぬ。

水壓に屬する設備を大別すれば

- 水壓唧筒
- 水壓送水管並に附屬栓
- 水壓扛重機

水壓配水管附屬瓣及栓 等のものである。

水壓機械並に水壓管の設計は其の目的盾構の推進にあるが故に此の際に受くる抵抗力を豫め知る事最も肝要である。盾構の受くる抵抗力は盾構設計に於て述べた様に諸種の摩擦抵抗を考慮し尙水管系に於ける漏水による水頭の損失を見込して全推進力を 500 噸とし之に相當する水壓強度を 2,000 磅 と定めた。而して此の推進力を盾構断面毎平方吋に就きての強度に換算すれば 118 封度に於て之を米國に於ける既成隧道のそれに比するに

| 隧 道 名                             | 推進力 / 盾構斷面積 |
|-----------------------------------|-------------|
| Dee Sewer Tunnel.                 | 52 磅        |
| Mersey Tunnel                     | 130         |
| Cleveland New Intake Tunnel       | 138         |
| Central London Tunnel             | 20          |
| White hall Tunnel                 | 110         |
| Hudson Tunnel                     | 80          |
| Pencilvenia R.R. Hudson R. Tunnel | 106         |
| " East R. "                       | 122         |
| Black wall Tunnel                 | 133         |
| Rotherhithe Tunnel                | 126         |

上記以外のものと雖も大體 70 磅より 140 磅の間にあるが故に其の推進力に於て何等遜色を見ず又水壓力は前記の如く極めて強大なるが故に使用機械並に水管類も十分安全なるを必要とする。

#### (i) 水壓唧筒 (Hydraulic Pump)

本設備に使用した水壓唧筒は新に設計製作せるものではなく大正 9 年折渡隧道に於て盾構推進用に伴ふて東京瓦斯電氣會社に於て製作せしめたるものである。

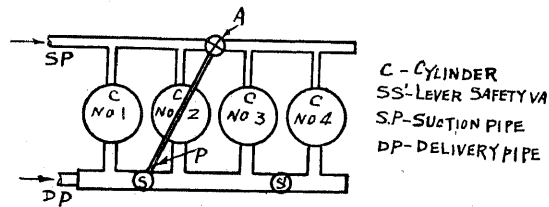
四聯式堅型住復動唧筒 (4 Thraw Plunger Pump) であつて電動機 (電壓 200 ボルト) の回轉を直結せる齒車により回轉數を減じ唧筒の主軸を回轉し之に 4 個の唧子を取付け上下の「ピストン」運動に變へる構造となつて居る。

唧筒，電動機，寸法能力を示せば次の通りである。

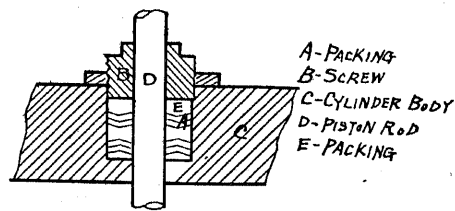
|       |                                  |
|-------|----------------------------------|
| 型 式   | 40 馬力電動 4 聯式堅型住復動唧筒              |
| 全 寸 法 | 長さ 5'-4" × 幅 7'-0" × 高 7'-1 1/4" |
| 容 量   | 高壓毎分 1.6 立方呎                     |
|       | 低壓 " 3.2 "                       |
| 唧 子 數 | 4 個                              |

|        |                             |
|--------|-----------------------------|
| 唧子直徑   | 2.5 吋                       |
| 唧子行程   | 6 吋                         |
| 回轉數    | 65 回                        |
| 吐出壓力   | 低壓 2,000#<br>高壓 4,000# 每平方吋 |
| 電動機馬力數 | 40 馬力                       |
| 回轉數    | 960 回毎分                     |

電動機回轉數は毎分 960 回であつて唧筒の回轉數は毎分 65 回に減じ、尙横杆安全瓣 (Lever Safety valve) にて壓力 2,000 磅より 4,000 磅迄調整する事が出来る。唧子の上下運動により吸水は 2 吋吸水管 (Suction pipe) S.P. に入り 4 個の「シリンダー」に分る、水壓 2,000 磅迄は「シリンダー」No. 1. 2. 3. 4 共に働き 2,000 磅を超ゆる時は A なる「リフト・バルブ」(Lift valve) は自動的に「S.P.」よりの吸水を遮斷し、No. 3. 4 の唧子は無荷重 (No Load) にて働き、No. 1. 2 は 4,000 磅迄上昇するものである。然れども A は「リフト・バルブ」なる爲め 2,000 磅より 4,000 磅



第 511 圖



第 512 圖

に上昇する際瞬間的に切換困難なる爲之を「ピストンバルブ」其他適當に改造の必要ありと思われた。

唧子の壓蓋 (gland) の構造は (上圖) の如く「D」は唧子錐 (Piston rod) にして「C」は「シリンダー」である「B」なる捻子により「E」なる金屬輪環を壓する時は「A」なる「〜」型革「パッキング」は扁平となり自然「D」及「C」を壓し良く漏水を防ぐ事を得、されど「パッキング」「A」が一様に擴がらない憾があるので U 形革「パッキング」及び木綿絲「パッキング」を併用する方が良い。一般に唧子唧筒は唧子の水衝力 (water hammering) 大であつて定壓定流を保ち難く本機の様な四聯式を以てすら尙水衝による壓力は 500 磅を昇降してゐる。

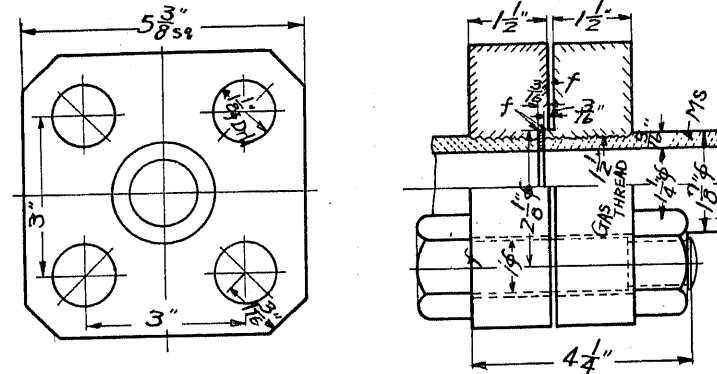
(ii) 水壓管並に附屬栓 (Hydraulic Piping)

水壓唧筒より送らるゝ水は引抜鋼管を通過して盾構内の水壓扛重機に到る此の送水用鐵管は冷質引抜鋼管 (Cold drawn steel pipe) を使用し尙管の途中には撓性に富むゴムホース及「ストップ・

バルブ」(Stop valve) 「セーフティ・バルブ」(safety valve) 等を使用した。

(a) 水壓鋼管

水壓唧筒の能力は本盾構には些か大き過ぎてゐる又水の衝擊大なれば盾構を徐に推進せしむる爲には水壓管の途中に蓄壓器 (Accumulator) 又は加壓器 (Intensifier) を取付くるを良とするも隧道



第 513 圖

内に於ては斯る完全なる設備の不可能なるは遺憾である。

本唧筒の吐出管は直徑 2 吋である、従て小徑の管に誘導する事を必要とした。元來直徑の決定は從來の經驗を參考とし又費用は直徑の大なるに伴ひ著しく増大する様之等を綜合し徑 1 1/4

吋長さ 16 呎となし尙常用壓力 2,000 磅に耐ゆるに十分なる厚さとして 5/16 吋と定めた。

鐵管の継目は印箱繼手とし其の間には牛皮のパッキング (Packing) を用ひ「フランジ」(Flange) に 4 本の「ボルト」を以て締め漏水を防いだ。

此の鋼管は住友伸銅所にて製作した。

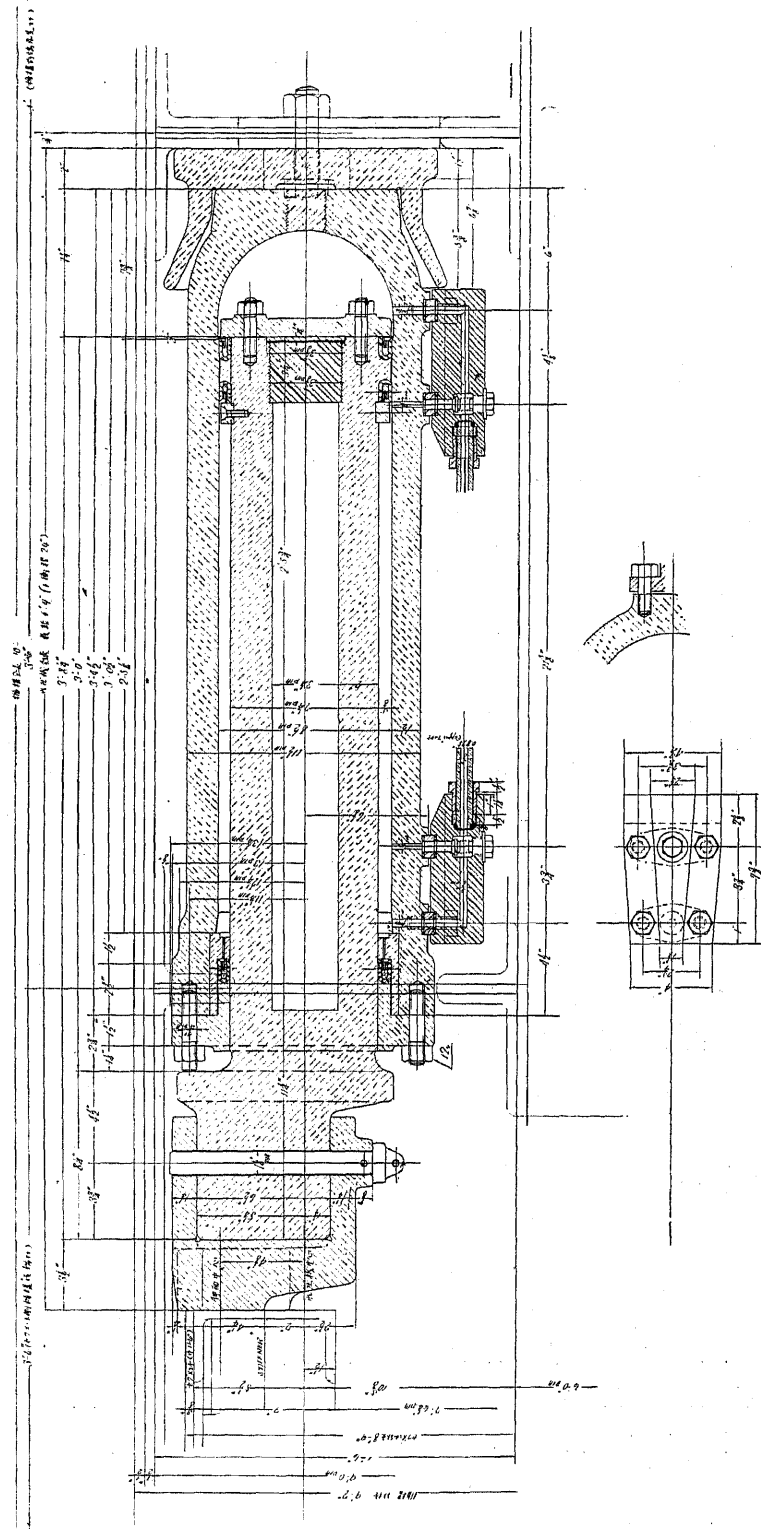
(b) 「ゴムホース」(Gum hose) 並に「カップリング」(Coupling)

「ホース」は送水鋼管と扛重機配水管との中間に使用し盾構進出して鋼管を延長し得る距離に達する迄の間用ひらるゝ可撓性送水管 (Flexible-pipe) である。本工事に使用する様な高水壓に耐ゆる「ゴムホース」は製作頗る困難であつて其の強度を理論的に算出する事は未だ不可能である様唯經驗に依つて決定しただけである初め送水を定流にすべく「ホース」の内徑を鋼管と同一になし次の如く定めて製作させた。

|         |                              |
|---------|------------------------------|
| 「ホース」内徑 | 1 1/4"                       |
| 長 さ     | 30'-0"                       |
| 水壓試驗壓力  | 3,500 磅 「ホース」を直線とし           |
| "       | 2,000 磅 「ホース」を屈曲半徑 2'-6" となし |

試験用唧筒は 40 馬力四聯式唧筒にて 10 分間試験を持續せしめた。

水壓試験の結果は大部分合格したが其の後作業に使用せし結果は 2,000 磅水壓力を常用する時は「ホース」の持續性なく盛に破損したので更に安全率の大なる「ホース」を設計する必要を認め次の通



第 514 圖 盾 構 機 用 50 噸 水 壓 扛 重 機 組 立 圖

りに定めた。

|         |        |                        |
|---------|--------|------------------------|
| 「ホース」内径 | 7/8"   |                        |
| 長 さ     | 30'-0" |                        |
| 水圧試験壓力  | 8,000% | 「ホース」を直線となし            |
| "       | 4,000% | 「ホース」を屈曲半径 1 呎 6 吋とする。 |

屈曲半径を 1 呎 6 吋になし試験を行つたのは坑内作業場にては實驗上取扱不注意の爲内径 3 呎程度に「ループ」又は彎曲をなす事が度々あるからである。

「ゴム」管の構造は平「ゴム」と特殊の絲を以て網んだ「ブレード」(Blade) を幾重にも巻いて其の外周を鋼線にて「アーマー」(Armour) したものである。

「カップリング」は種々の形状のものがあるが高圧用の物には特殊の構造を以て「ゴムホース」と鋼管とを取付け完全に水の漏逸を防ぐ必要がある。今回設計したものは先づ「ホース」の内側に「ノZZル」(Nozzle) を差込み「ホース」の外圍は 3 個の砲金製楔にて包む、楔の内側には「ホース」の「アーマー」を喰込ますため其の形に應じ溝を切り又楔を包み外側に「ガイド」(Guide) があつて「ガイド」の「フランヂ」と「ノZZル」の「フランヂ」を「ボールド」して締付け二重の楔の作用をなし一層緊締せしめた。(注入の章に詳述せり。)

(e) 「ストップ・ヴァルブ」(Stop valve) 及び「セーフティ・ヴァルブ」(Safety valve)

鋼管は盾構の推進に伴ひ漸次延長布設するのであるから送水管中に送水したるまゝ延長工事を行ひ又送水管其他の水管系統に故障の發生した場合は即時送水を遮断する装置が必要である加之適時水壓唧筒の試運轉を行ふ爲め水管の途中に「ストップ・ヴァルブ」を挿入し之等の作用を完全ならした。又唧筒の故障又は唧筒番の不注意により水壓を規定以上に上昇した時自動的に調整する様扛重機に至る送水管の終端に「セーフティ・ヴァルブ」を装置した。

(iii) 水壓扛重機 (Hydraulic Jack)

水壓扛重機の所要推進力に關しては盾構設計に概括的に記述した。即ち推進力 500 噸常用壓力 2,000% ならば設計も亦之に準じたものである。

扛重機直径出來得る限り大に其の數も多きを尊ぶのであるが盾構構造により制限せられ數量を 10 個扛重機の「シリンダー」内徑を 8 1/2 吋とした。

扛重機の長さ即ち「ピストン」(Piston) の行程 (Stroke) は主として盾構尾部の長さとなし卷立せる覆工 1 輪環の長さによりて法定せらる。而して前者は 3 呎 6 吋後者は 1 呎 6 吋ならば必要行程は 18 吋であるが之に餘裕をとつて 24 吋と定めた。

構造を分ければ次の通りである。

主 體 (Cylinder)



唧 子 (Piston)  
前 頭 受 (Top cap)  
後 頭 受 (Tail cap)  
瓣 (Valve)



第 515 圖 「シールド」用水圧「ジャッキ」  
左 丹那隧道に使用のもの  
右 折渡隧道に使用のもの

材質は鑄鋼 (Cast steel) にして瓣のみは中軟鋼製 (Mild steel) 製とす。「ピストンリング」(Piston ring) は砲金製座板に革製 U 型「パッキング」2 個を向ひ合せて取付け前方のものは推進に後方のものは引戻 (Pullback) に作用せしめた。

「パッキング」は銅板とし一部は印箱として革「パッキング」又は壓搾紙の「パッキング」(Pressed paper packing) を用ふるのがよい。

扛重機後頭受は「ピストン」の推進力を直接覆工の「スティフナー」に傳ふ。此の際「ピストン」及び「スティフナー」の中軸線が一致しない爲  $4/8$  吋の偏心を生じ従て後頭受と「ピストン」には大なる彎曲率を生じる。故に兩者共に比較的大形に製作したが不得止いのである。

後頭受は扇形に擴げて覆工に廣く力を傳ふる如くなし覆工溝形との接觸に完全なる様に「ピン」を用ひて回轉を自由ならしめた。

扛重機の「シリンダー」を盾構に挿入し得る最大なるものとして設計すれば内徑  $8\frac{1}{2}$  吋、外徑  $11\frac{1}{2}$  吋となり水壓 2,000 磅に必要な厚さは  $1\frac{1}{2}$  吋となる。

前頭受 (Top cap) は扛重機の推進力を直接盾構に與へ一様に而も廣く分布せしむると同時に扛重機の前端を定位置に支へしむる働がある。唧筒より送らるゝ水は前方の「チャック・ヴァルブ」(Chuck valve) を通つて「シリンダー」の前部を滿し排水は後部の瓣を通つて逃げ水壓 2,000 磅に達するとき能力 50 噸となり、次に「ピストン」引戻しの際には送水及び排水瓣の作用は各々推進の場合と正反對に働くものである。

本機は小松製作所にて作つた。

## (2) 空氣隔壁空氣閘設置

坑内普通掘鑿場と壓搾空氣作業場との間には氣壓の高低差を生ずる様堅固なる隔壁 (Bulk head) を以て嚴然兩者の境を劃し空氣の疏通を完全に阻上すると共に掘鑿岩石の搬出、使用材料の搬入及び従事員の通行に際しては氣壓の上昇、低下自由に緩衝し得る様氣閘 (Air lock) を必要とする。

壓搾空氣の壓力は湧出地下水の水壓力に應じて異なるけれども現今に於ては 40 磅迄は作業可能とせらるゝが故に若し掘鑿作業場内の氣壓 40 封度に上昇する時は空氣隔壁の受くる壓力も亦甚大で

あつて一度破壊せらるゝときは氣壓の急激なる低下により湧水を誘致し思はざる災害を招くのである。「ニューヨーク市に於ける設計示方書の一節を掲ぐれば、

(空氣隔壁は「ポルトランド・セメント」膠泥使用による混凝土又は煉瓦工とするか又鋼板製隔壁とすべし。空氣隔壁は空氣閘に每平方吋 50 封度の氣壓に耐ゆる十分なる強度を要し又隔壁と導坑との距離は 800 呎以上を超過すべからず。)

以上の如くであつて安全なる氣閘及び隔壁の材料としては煉瓦、混凝土、鐵構を示方してゐる。煉瓦は往時未だ混凝土工の盛ならざる時代に主として使用したが現在は施工の簡單なると材料の廉價なる爲め混凝土が専ら使用せらるゝに至つた。鐵構隔壁は強度大なる故危険の虞なく組立取外し自由なので移動式隔壁となり従つて經濟的であるが防氣の施工比較的困難なる爲未だ盛に用ひられてゐない。

隔壁と盾構掘鑿位置との距離は餘りに速きに過ぐる時は若し覆工の漏氣大なる時多量の壓搾空氣量を要し却つて新設するを以て經濟的に利する場合がある。

又事故發生し作業場内に急激に浸水せる時従事員は退避するの暇がない。かゝる憂を除く爲め從來の實驗的經驗により兩者の距離を 800 呎と限定して居るのである。

諸外國の例に見るに既に築造せる空氣隔壁並に空氣閘の構造は覆工内に厚さ數呎乃至十數呎の混凝土壁を築いて内外を絶縁し覆工は鑄鐵製「セグメント」を以て巻き立て其の外周は膠泥の注入を施し繼目は「コーキング」(Calking) を施して間隙を填充し殆ど絶對的に防氣防水されてゐる。

又空氣閘は使用目的により大體以上の如く區別される。

- (a) 材 料 氣 閘 (Material lock)
- (b) 人 氣 閘 (Man lock)
- (c) 非 常 氣 閘 (Emergency loca)

材料氣閘は材料の運搬即ち掘鑿礫搬出、支保工、疊築鐵材の搬入等に供せらる。

人氣閘は作業従事員の通行に専ら使用せられ材料氣閘と分離せる所以は前者の作業を妨げない爲である。

非常氣閘は其の名の如く不時の災害、又は事故發生の時直ちに待避すべき安全氣閘であつて若し本氣閘を缺く時は材料氣閘及人氣閘共に使用中に於ては逃入る場所がないのである。事故として主に壓搾空氣の噴出 (Blow out) による地下水の浸入なれば一般に大徑の隧道に於ては非常氣閘は上位に設くるを常とする。

斯る氣閘は混凝土隔壁中に一部或は全部埋設せられ其の形狀は製作と強度の上より圓形又は橢圓形が多く鐵板を以て筒形とする事あたかも汽罐の外殼 (Boiler Shele) と同じ。

外周には金具を取付けて混凝土中に鎮錠 (Anchorage) をなし空氣壓力を以て吹出さるゝことを

防ぐ。

されど小径の隧道(大體 12 呎以下)にあつては上記の如き 3 氣閘を備ふる事尠く一般に非常氣閘を省くを常とし甚しきに至つては人氣閘を缺くもの尠くない。

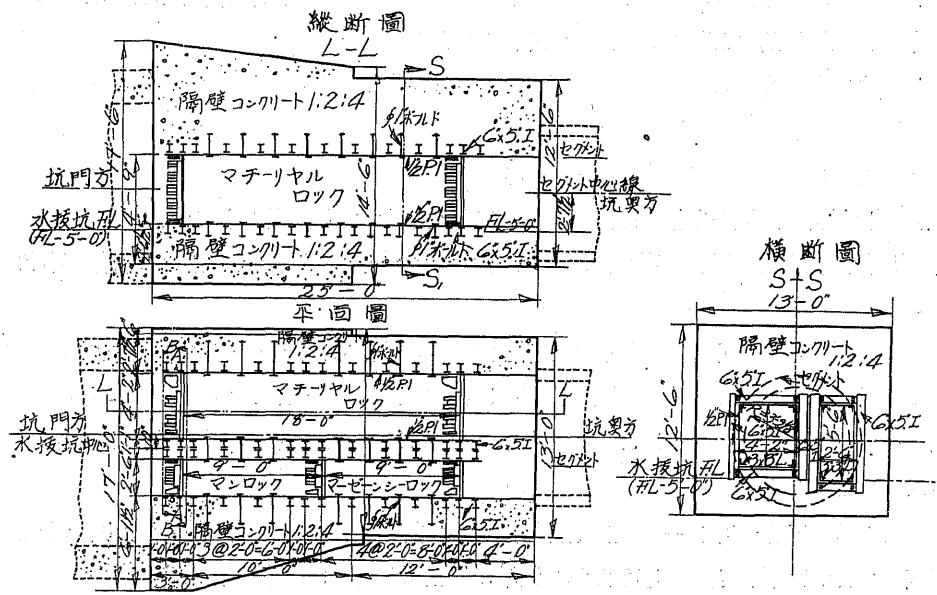
極めて概略なるも大體一般の空氣隔壁, 空氣閘に就いて述べたが翻て隧道水抜坑に設置すべき隔壁並に氣閘を按ずるに我盾構は外徑僅かに 9 呎であつて覆工の内徑 7 呎 6 吋である故前記の如き餘裕ある設備を施す事は到底望めないが小規模の割合に比較的實質的に備へ即ち前記 3 氣閘を設備した。其の理由は人氣閘の省略は自然作業員の通行材料氣閘によるの外なく従て氣閘輻輳して材料の運搬輸送大に妨げられ自然盾構掘進の遅延を來すからであり, 又非常氣閘を缺く時は不時の災禍人命に及ぶ爲である。

(i) 構造

空氣隔壁及び空氣閘の製作目的を一言すれば (1)に防氣 (2)に通行を容易ならしむる爲なので構造は其の目的を主として考慮設計した。加之覆工との關係及び周圍地質状態に應じ甚しく形狀大きを制限さるゝが故に本隔壁及氣閘に在つても上述の如き物とは幾分其の趣を異にし常型を脱した點がある。

(A) 空氣隔壁 (Buld head)

空氣隔壁は覆工間に築造さるゝが常例であるが今の場合覆工の内徑僅かに 7 呎 6 吋に過ぎず且



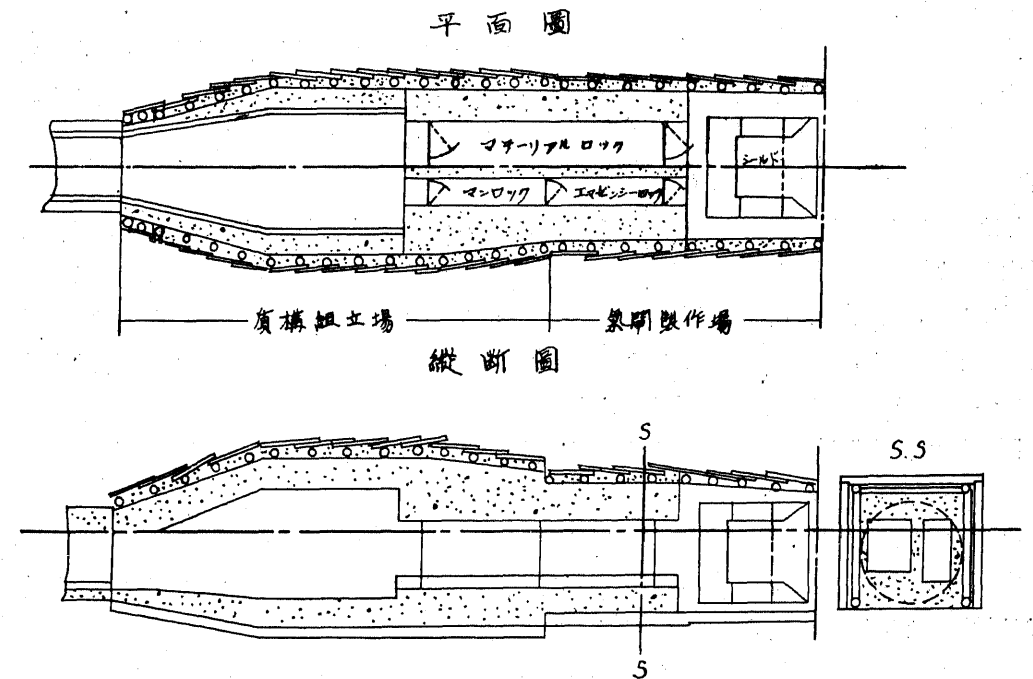
第 516 圖 エアーロック 其の 1

つ覆工に鑄鐵製「セグメント」に換ふるに鋼材を組合せたる「セグメント」を使用せる様若し材料氣閘と人氣閘を並列して設置する時は兩氣閘共に極めて狹隘となり, 又兩端及び中央に設けたる隔壁は強大なる氣壓に耐ゆるに十分なる構造とする事が出來ず, 覆工は溝形, 山形, 等の組合せによる「セグメント」なる故之を完全に防氣して氣閘となす爲めには外周を膠泥にて注入充填し且つ「セグメント」の鐵材間の間隙を熔接又は「コーキング」しなければならぬ。されど鐵材の繼目極めて多く不可能である。

故に異なる方法として曩に述べし盾構組立所の一部及び組立後盾構移動せる後の空間を利用し混凝土空氣隔壁を築造するのが作業容易であつて完全なる製作を期することが出来る。

本隔壁は長さ 24 呎, 断面平均 13 呎, 高さ 12 呎 6 吋となした。

勿論大きは盾構組立場の掘鑿断面積により長さは氣閘の必要長さにより決定せらるゝが隔壁断面



第 516 圖 エアーロック 其の 2

積大なれば壓搾空氣壓力により移動せざる様十分の長さを保ち四周の摩擦抵抗之に打勝たねばならぬ。24 呎あれば其の心配はない。

混凝土配合は 1:2:4 なる良調合なるは土壓及び氣壓の甚大なる爲のみならず他に混凝土中の間隙を通じて漏氣するを懼れたる爲である。框形鐵構を包みて一種の鐵骨混凝土構を形成し掘鑿土平と

の間を十分混凝土にて填めた。又更に混凝土硬化に伴ふ収縮により混凝土と周圍土平との間又は混凝土と鐵材間に間隙を生ずるときは之を辿りて逃逸する空氣量が尠くない。故に硬化後膠泥注入を施して完全に空隙を鎮充し防氣の目的を達せしめた。

混凝土隔壁の後端は既に疊築せる盾構組立所混凝土工に連結し前端は盾構推進の際に於ける支臺として扛重機の反力を支ふるものである。

(B) 空氣 閘 (Air lock)

空氣隔壁覆工外に設置されたる關係上空氣閘も亦幾分自由なる設計となすを得た。されど未だ作業場の狹隘なる憾ありて十分なる氣閘を組立てることは出来なかつた。

形狀の圓形、楕圓形なるは材料を節約し同大の他形に比し強大なるも内部を通行する空間を大ならしむる爲めには不經濟なる断面となり寧ろ正方形或は長方形を選ぶを良しとする。故に圖示の如く I 形、L 形鋼鉄にて框構となす。

材料氣閘、人氣閘（非常氣閘も同様）共に同一 6×5 吋 I 形を以て矩形框構を組み立て其の内面には 1/2 吋鋼鉄を以て I 形に鍛銼し鋼鉄の継ぎ目は「コーキング」を以て完全に隙間をなくした。又氣閘内の壓搾空氣を抜き去るときは混凝土中を滲透し鋼鉄裏面を填充せる壓搾空氣は鋼鉄を内方に押出す憂がある故 1 吋ボルトにて外方に緊締し混凝土中に鎮錠す

扉は氣壓による應力甚大なれば強大なるものを要するが故に出来得る限り小形となす。されど重量大となり開閉に勞苦多ければ鉸 (Hinge) は「ボールベアリング」(Ball bearing) を使用し廻轉を輕滑にした。設計上又製作上最も惱すものは氣閘隔壁にして扉に負荷さるゝ氣壓の反力は總て此の隔壁に作用すれば「ステー」(Stay) により内方より緊張するか「ストラット」(Strut) により外方より支へなければならぬ。構造上後者を選んだ。

隔壁鍛は扉の開閉する毎に大なる衝撃を受け従て其の継ぎ目は破損の憂がある故特に電氣熔接を施して強度を保たしめた。

(a) 材料 氣 閘 (Material lock)

本氣閘の大きさを決定するは氣閘を通過する土運車、使用材料にて此の内大きさは主として土運車長さは材料により定まる。今其の主なる方法を擧ぐれば、

|       | 幅     | 高     | 長         |
|-------|-------|-------|-----------|
| 土 運 車 | 2'-6" | 2'-9" | 5'-0"     |
| 軌 條   |       |       | 17'-0"    |
| 鐵 管 類 |       |       | 17'-0" 内外 |
| 支 保 工 |       |       | 12'-0"    |

故に扉の開閉に要する長さ扉と氣閘壁隔の重なりに要する高さ及び幅並に軌條の高さを考慮し次

の通りとした。

|     |            |
|-----|------------|
| 高 さ | H = 4'-9"  |
| 幅   | W = 4'-2"  |
| 長 さ | L = 18'-0" |

材料氣閘の最も頻繁なるは勿論土運車であつて土運車は掘鑿礫の搬出を經濟的になすべく 2 臺同時に氣閘を通過させることがある。されど 15 呎あれば足りる。故に材料氣閘を一層短縮し材料及び壓搾空氣の節約を計る爲には長き支保材、鐵管、軌條の如きは別に 10 吋乃至 20 吋なる鐵管を隔壁混凝土中に埋設し「チンバーリング・ロック」(Timbering lock) 又は「パイプロック」(Pipe lock) と稱するものを備ふる事あるも本隧道にてはかゝる設備を設けなかつた。

氣閘の扉開閉に伴ひ茲に軌道の移動装置を必要とす。20 封度軌條を兩側に倒して梯形となし之を既設軌條の内面を滑らしめ移動式軌條 (Movable track) となし扉を開く時は閘外の布設軌條に連結せしめて所謂「渡り軌條」(Bridge track) の用をなさしめた。勿論人力によりて移動せしむるものである。

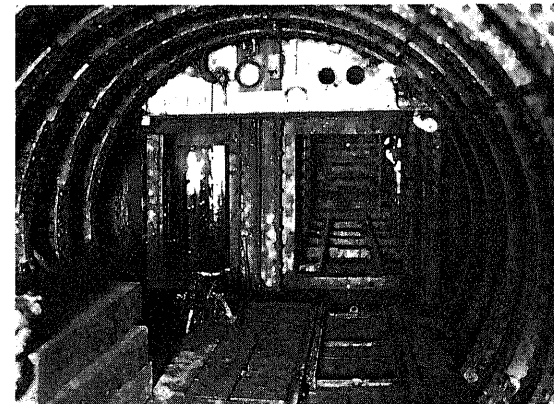
(b) 人氣 閘 (Man lock) 及び非常氣閘 (Emergency lock)

人氣閘及び非常氣閘は共に同一構造にして氣閘を中央にて鐵製隔壁を以て 2 分し前方を非常氣閘に後方を人氣閘とした。共に人間のみの通行なれば其の大きさも自然人體と交代作業人員により決定せられる。

人氣閘及び非常氣閘の設計として高さは首を傾け又は腰を屈せずとも自由に通行するを得。幅は兩側に「ベンチ」を備へ出閘或は入閘に際し心持よく休憩するに足るを愆するもかくする時は高さ 6 呎幅優に 6 呎を要するので實用に供するに足る程度に止め次の如く定めた。

|   |           |
|---|-----------|
| 高 | H = 5'-6" |
| 幅 | W = 2'-6" |
| 長 | L = 9'-0" |

非常氣閘は其の性質上重大なる使命を有するが故に設計に當りては十分の考慮を要する事は「ニューヨーク」市交通協會 (New York Transit Commission) の示方書の一例を擧ぐるも明かにして非常氣閘は空氣隔壁の上位に設置すべく直径 5 呎以上を要し



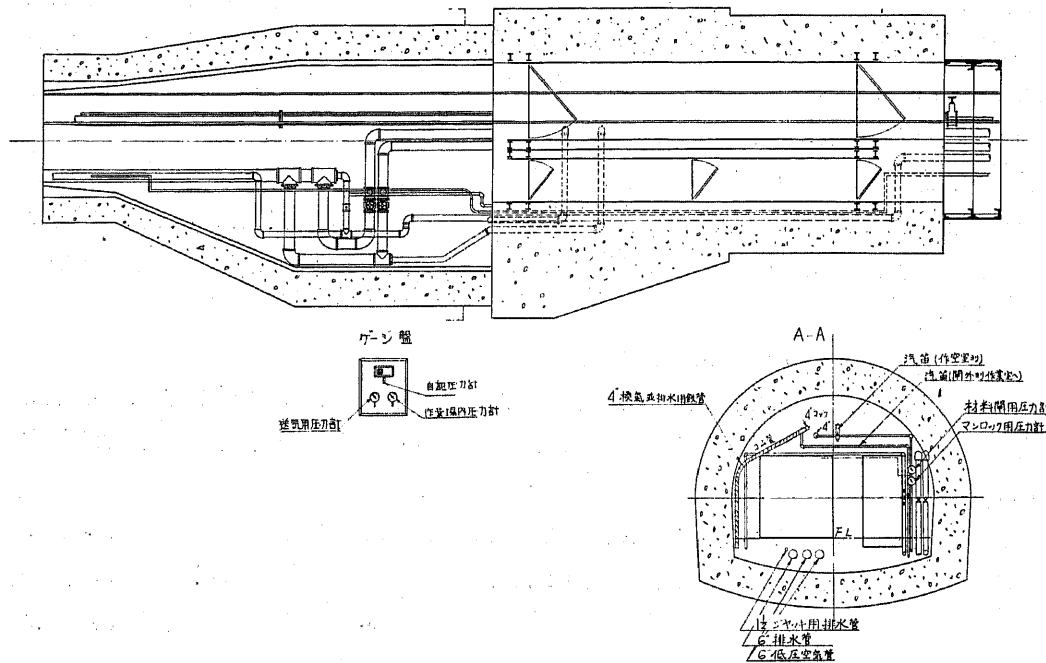
第 517 圖 室内よりロックを望む

大きさ 1 交代總員數を收容するに足り扉は常に外方に開放し事故發生するや直ちに退避なし得るやう

設計すべきものである。

されど前述の如く小径の本水抜隧道の場合には隔壁上位に設くる事は不可能なと又假令事故があつて湧水浸入すると雖も川底の如き急激なるものに非ずと豫想して人氣閘前端に附隨せしめた。

總て扉には内径4吋の硝子窓を張り氣閘番 (lock Tender) をして常に坑内の状況を伺ひ知らしめ又屢々通信受授の用をなし缺くべからざるものである。



第518圖 氣 閘 配 管 圖

(3) 醫 療 設 備

盾構、潜函、潜水 (Diving) 作業の如く總て壓搾空氣を應用する工事に在りては所謂壓搾空氣病 (Compressed air sickness, or Caisson disease, or Diver's palsy) に冒さるゝ者尠からず、其の原因は壓力ある空氣中に於て操業する時に空氣は其の壓力に應じて人體の血液又は淋巴液中に溶解し循環系内に共に流動す。されど一度壓搾空氣中より出する時は氣壓降下するが故に溶解せる空氣は再び體外に放散さるゝを常態とするも作業の都合上出開に際し氣壓を速に抜く時又は規定の時間にて徐々に減壓するも人體其の日の状態により溶解空氣完全に放散し得ずして空氣中の窒素は氣泡となりて體内を循環する時は諸種の機能障害を生ずるに至る。故にかゝる壓搾空氣病に對して醫療設備をなし患者の治療に備ふべきである。

東京帝國大學附屬病院眞鍋内科にては物理的療法を以て特に壓搾空氣病に關する研究深ければ眞鍋内科醫學士3名を聘し囑託とせしが既に復興局隅田川潜函工事に於ける經驗者なる事は誠に幸だつた。

設備として救護所を建築し醫師、助手、看護婦は晝夜共に勤務し治療看護に當らしめ必要なる治療機械醫藥類を準備した。

(i) 救 護 所 設 備

救護所は坑内にて發病せる患者を速に診察する目的を以て之を坑門近くに建築す。其の大きさは間口4.5間奥行4間なる2階造一棟なり。

救護所内を大體室別すれば

- 階 下 { 診 療 室
- { 再 壓 室
- { 湯 呑, 洗面所
- 階 上 { 醫 師 研 究 室
- { 看 護 婦 宿 直 室

壁を廢して總て板張りに換へ硝子窓多ければ採光十分なり。診察室は其の廣さ5坪にして中央に醫師位置を占め患者之に對坐す。醫師と患者の傍には各々助手看護婦控へ机1脚を備へ診察用諸機械一式を備ふ。患者の片側には寢臺を備へ其他手洗ひ消毒設備ありて室の周圍は醫藥其他治療實驗器を收めたる棚を配置す。

醫師は患者の病状を確め壓搾空氣病なるときは之を病院氣閘に送りて特殊の治療を施す。又新に壓搾空氣作業場に入らんとする者は總て體格検査をなし特に耳鼻心臓の検査を嚴にす。

再壓室には病院氣閘 (Hospital lock) を設置し氣閘の周圍には木製「ベンチ」を備へ患者控室に當てたり。

研究室は壓搾空氣病に關する醫師の研究の爲めに1室を設けたるものにして顯微鏡、實驗試藥、實驗機械を備ふ。

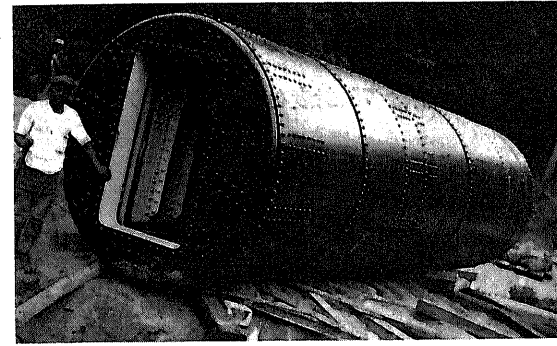
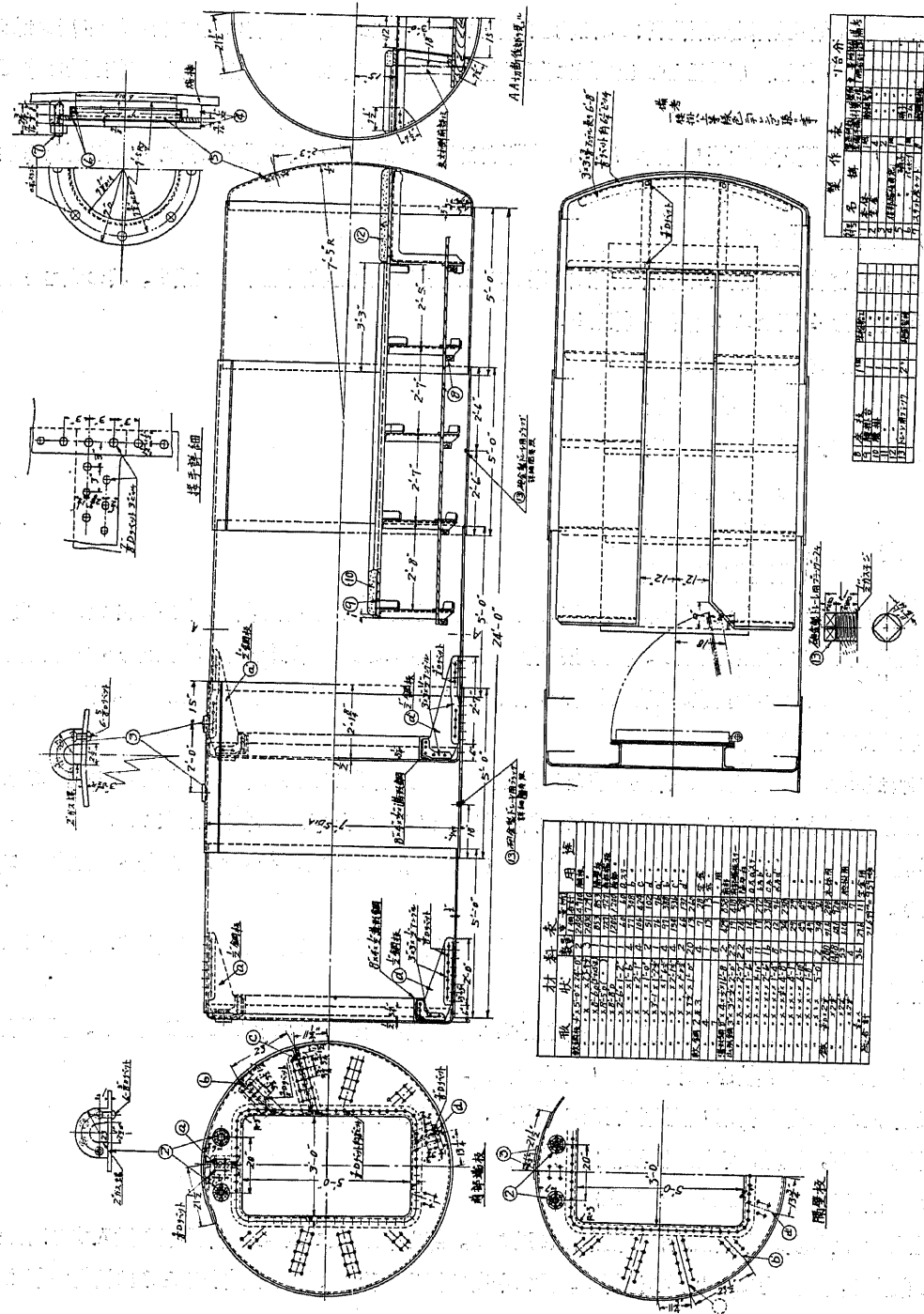
宿直室は醫師及び助手は研究室の一部を分ち2臺の寢臺を列べ之によりて毎日起臥す。看護婦は別に1室を與へ疊を敷き日本間となし押入を備ふ。

又階下には一部を利用し試験材料たる兎數頭、蛙多數の飼場を作る。

電燈、電話、電熱、水道の諸設備は一般の如し。

(ii) 病 院 氣 閘 (Hospital lock)

前述の如く壓搾空氣病患者は病院氣閘に送らる。即ち氣閘内にて再び壓搾空氣を送入する時は體内の氣泡は其の壓力により再び溶解す。故に今度は極めて徐々に壓力を減ずるときは溶解空氣は完



第520圖 ホスピタルロック

(b) 構造

気間を2分し内室 (Inner Compartment) と外室 (Outer Compartment) に別つ。  
 内室は圧搾空気病治療室並に醫療研究用を兼ねしめ外室は内室使用中醫師及看護人の出入に對する壓力調整室にして又は輕病患者の治療及び身體検査用に供せり。

内室の長さ15呎、外室の長さ9呎にして兩者の境は鋼板の隔壁を作り其の構造は前端板と同様「ステー」(stay) を以て外殻 (shell) より緊結し尙其の中央には高さ5呎幅3呎の鐵製扉を設け、各々の疏通、遮斷自由なり。扉の大きさは重病者を内室に擔架にて運搬するに十分なる大きさを選びたり。

圓形にして歩行に不便なれば内外兩室共に底部には木製踏板を敷きたり故に踏板上6呎6吋にして氣間内の通行には十分の高さあり。

室内には5個の病床を作り其の數量に關しては永代橋潛函工事中に生ぜる重病患者の統計により決定せり。

病床の構造は圖示の如くにして幅2呎6吋長さ5呎0吋とし「テンプレ」張とす「クッション」の十分なるを選びたり。

扉及び後端板の上位には徑6吋の圓形硝子板を挿入し、内外より各々其の状態を視見するに便ならしむ。

(c) 附屬設備

氣間内に送入すべき壓搾空氣は8吋低壓送氣管より徑2吋の瓦斯管により誘導し之より内室、外室別々に送入せられ排氣も亦個々に排氣によりて排出せらる。之等の操作は總て氣間外に於て裝置せる壓力計と瓣 (Valve) の開閉により行はる。又室内の設備としては電燈、電話、時計、寒暖計、電熱器、毛布、水鉢等にして此の内電話は内外の連絡の爲め電熱器は壓力還元の際蒸發熱を吸收せられ氣溫低下する爲め保温用として必要なり。

全に發散するを得るなり。

氣間の構造設計に就きて概要を述べれば

(A) 構造 (圖面参照)

(a) 形及大小

鋼板を以て製作せる圓筒形の氣筒にして後端には半球の鏡板 (End plate) を以て前端には平鏡板を以て外氣と絶縁す。直徑7呎6吋長24呎にして直徑は人の身長より長さは病床の數量により決定さる。

(B) 設 計

病院気間は空気の常圧最大 40 封度毎平方呎なり。動物試験の爲め是れ以上上昇せしむる事あるを以て製作示方書に掲げし如く試験壓力 60 封度とするも設計は 75 封度を以てなしたり。

(a) 外 殻 (Shell)

氣間圓周に沿ひて生ずる應力

任意の断面に於て  $\varphi_1 - \varphi_1$  軸の兩端に働く應張力は

$$T_1 = \frac{1}{2} \int_0^{180^\circ} q r \sin \theta$$

$$= q r$$

但し  $q = 75 \%$

$$r = 3' - 9''$$

$$\therefore T_1 = 3,380 \#$$

氣間縦軸に沿ひて生ずる應力

断面  $\varphi_2 - \varphi_2$  に生ずる應張力は次の如く求め得るなり。

$$2\pi r T_2 - q\pi r^2 = 0$$

$$T_2 = 1,690 \#$$

故に氣間外殻の厚さは

$$t = \frac{T}{f}$$

但し  $f =$  鋼材の許容應壓力  $= 16,000 \%$

$$= 0.21''$$

之に對して  $1/2$  吋を使用せり。

次に鋼鉄の継手は之を「ラップジョイント」(Lap joint) とし使用鉄の直徑は  $7/8$  吋と定めしかば所要鉄数は鉄の單剪力 (Single shear) により決定せらる。

氣間縦軸に沿へる継手の鉄の間隔は

$$P_1 = \frac{S}{T_1}$$

但し  $S = 7/8''$  徑の單剪力の値  $= 7,220 \#$

$$= 2.1''$$

之に對し  $1 1/2$  吋となす。

氣間圓周に沿ひたる継手の鉄の間隔は

$$P_2 = \frac{S}{T_2}$$

$$= 4.2''$$

之に對し 3 吋となす。

(b) 鏡 板 (End plate)

鏡板は應力の關係上半球面をなし普通殼の直徑を以て半徑となさしむ。後端鏡板は球面をなさしめ外殻の内徑を半徑となさしめたるも前端前鏡板及び中央隔壁にては扉を取付けたる關係上平面をなす。故に壓力に依りて外部に彎曲をなさんとす傾きありて「ステー」(Stay) によりて之を防がざるべからず。「ステー」は之を「グサットステー」(Gusset stay) とす。

(c) 製作並に据付

本氣間の製作は横濱「ドック」株式會社に命じた。其の製作に關しては示方書を参照されたい。製作完成して坑外に到着するや救護所再壓室に搬入せしめた。下方は割栗石を以て搗固めたる上木製土臺を併列して之に安置す。

本工事終了と同時に氣間周圍再壓室内を床張となす。

(iii) 浴場其他設備

前記の如く壓搾空氣病の原因は有離窒素が體內を循環し化學及び物理的作用を起すに因れば一の豫防法として壓搾空氣作業場内より出づるときは運動、入浴又は他の興奮性飲料の吸入によりて血液の循環を旺盛となし呼吸作用によりて速に窒素を呼出するを良とす。

壓搾空氣内作業を終へたる従事員は直ちに入浴さすべく坑門近くに浴場を設備せり。

浴場は既設の建物を改修せるものにして脱衣場並に休憩室、浴室、湯槽室に分ちたり。

脱衣場並に休憩室には脱衣箱を設け椅子を列べて入浴後の休憩に便ならしめ別に珈琲を備へ浴後興奮性飲料として與ふ。従事員は空氣作業場出陣後 1 時間の間十分壓搾空氣體內より發散せざれば其の間室内に休憩せしむ室の大き 6 坪あり。

浴室には中央に内徑 3 呎 6 吋、長さ 5 呎 0 吋、深さ 2 呎 8 吋なる木製浴槽を設け其の周圍は混凝土を以て「流し」となし上に敷板を列べ「洗場」となす。又温、冷水管は  $1 1/2$  吋の鐵管より導かれ浴場の大き 4 坪とす。

湯槽室には 1 個の大き幅長各々 2 呎 4 吋深さ 4 呎 6 吋の湯槽ありて電熱により温む。

尚珈琲沸しの設備は坑内休憩所及び救護所内にも各々 1 個宛設置せり。

(ii) 壓搾空氣内作業職工人夫雇傭請負契約書

| 氣 壓  | 就 業 定 則 時 間 | 賃 金   |       |       | 氣 壓  | 就 業 定 則 時 間 | 賃 金   |       |       |
|------|-------------|-------|-------|-------|------|-------------|-------|-------|-------|
|      |             | 斧 指   | 坑 夫   | 礮 出 夫 |      |             | 斧 指   | 坑 夫   | 礮 出 夫 |
| 20#迄 | 7 時間        | 4.300 | 4.000 | 3.500 | 33#迄 | 4 時間        | 5.800 | 5.500 | 5.000 |
| 26 " | 6 "         | 4.800 | 4.500 | 4.000 | 36 " | 3 "         | 6.300 | 6.000 | 5.500 |
| 30 " | 5 "         | 5.300 | 5.000 | 4.500 | 39 " | 2 "         | 6.800 | 6.500 | 6.000 |



上記工事に使用する職工人夫雇前記単価を以て請負はしめ鐵道省熱海線建設事務所長を甲とし請負人を乙とし契約する條項下の如し。

第一條 乙ハ甲ノ指ストコロニ依リ日々所要ノ人員ヲ雇出シ甲ノ使用ニ供スベシ。但シ使役場所及所要ノ人員ハ使用ノ期日前日迄ニ指示ス

第二條 甲ノ都合ニヨリ第一條ノ期限ヲ伸縮シ又ハ前記延人員ヲ増減シ若シクハ一時使用中止ヲ命ズルトキハ乙ハ之ヲ拒ム事ヲ得ズ。

第三條 甲ハ何時ニテモ本契約ヲ解除スル事ヲ得  
前項ノ場合ニ於テ乙ニ損害アルトキハ其ノ確證アルモノニ限リ甲ニ於テ相當ト認ムル金額ヲ支拂フベシ

第四條 甲ハ作業中氣壓ノ變動ニ因リ就業定則時間ヲ伸縮スル事ヲ得  
甲ハ作業ノ都合ニヨリ定則時間内ニ退場ヲ命ジ又ハ定則時間外ニ就業ヲ命ズル事ヲ得

第五條 前條第一項ノ場合ハ入閣當初ノ氣壓ニ相當スル賃金ヲ支拂ヒ第二項ノ場合ニハ定則時間ニ對スル前記賃金ノ割合ヲ以テ其時間ニ應當スル賃金を支拂フベシ

第六條 職工人夫ハ身體強壯ニシテ當省ニ於テ施行スル身體検査ニ合格シ各其職ニ熟練ナルモノニ限ル日以上ニ互リ本作業ニ従事セザル時ハ更ニ身體検査ヲ施行スルモノトス

第七條 請負賃金ハ第一條ノ期限満了ノ後現ニ使用シタル人員ニ對シ前記單價ヲ以テ計算ノ上支拂フベシ但シ甲ハ乙ノ請求ニヨリ1ヶ月1回ヲ限リ現ニ使用シタル人員ニ對スル賃金ヲ支拂フ事アルベシ

第八條 乙ハ甲ノ指定シタル掛員ノ指揮監督ヲ受クベシ

第九條 乙ハ始終現場ニ出頭シ職工人夫ノ取締リヲナスベシ若シ乙自身出場シ難キトキハ相當ノ代理人ヲ出場セシムベシ但シ甲ニ於テ其ノ代理人ヲ不適當ト認ムル時ハ交替ヲ命ズベシ職工人夫ノ特別ノ場合ヲ除キ壓搾空氣作業場内ニ於テ交替セシムベシ

第十條 職工人夫ノ衛生ニ關シテハ甲ノ指揮ニ從ヒ之ガ設備ヲナスベシ

第十一條 乙ニ於テ正當ノ理由ナクシテ本契約ノ各條項ニ違反シタル時ハ甲ハ本契約ヲ解除シ且ツ違約金トシテ豫定賃金總額ノ十分之一ノ金額ヲ取得スベシ前項ノ違約金ハ甲ノ指定セル期日迄ニ納付スベシ若シ之ヲ納付セザルトキハ甲ニ於テ支拂金ヨリ之ヲ引去リ尙不足スルトキハ追徴スベシ

第十二條 甲ハ其使役セル職工人夫ニシテ直接壓搾空氣ニ基因スル傷疾疾病ニ罹リ又ハ死亡シタルトキハ別ニ定ムル處ニ依リ扶助金ヲ支給ス  
外ニ別規定アルモノ省略スベシ

第四節 盾構設備並に掘鑿工事費調

總 費 額 214,427.580

| 工 事 種 別 | 工 費        | 材 料 費                         | 合 計         |
|---------|------------|-------------------------------|-------------|
| 設 備 工 事 | 18,324.460 | 80,633.680                    | 98,958.140  |
| 掘 鑿 工 事 | 23,418.660 | 電力費 (3,304.320)<br>88,746.460 | 115,469.440 |
| 合 計     | 41,743.120 | 172,684.460                   | 214,427.580 |

(1) 設備工事費額

總 費 額 98,958.140

| 作 業            | 工 費        |            | 合 計        | 摘 要                                 |
|----------------|------------|------------|------------|-------------------------------------|
|                | 工 費        | 材 料 費      |            |                                     |
| 盾構組立場掘鑿作業      | 2,179.200  | 2,251.910  | 4,431.110  | 掘鑿坪数 32.4 <sup>立坪</sup>             |
| 盾構組立作業         | 1,261.900  | 183.900    | 1,445.800  |                                     |
| 盾構組立場盛築作業      | 1,013.700  | 1,382.700  | 2,396.400  | 混凝土數量 8.8                           |
| 合 計            | 4,454.800  | 3,824.510  | 8,279.310  |                                     |
| 盾構水壓設備工事       | 423.700    | 5,452.310  | 5,876.010  |                                     |
| 壓搾空氣設備工事       |            |            |            | 200馬力2臺据付並同機基礎工事<br>8吋管7,350呎其他細管布設 |
| 空氣壓搾機室建築作業     |            | 3,550.000  | 3,550.000  |                                     |
| 空氣壓搾機設備作業      | 2,267.100  | 5,441.420  | 7,708.520  |                                     |
| 送氣管布設作業        | 3,634.500  | 42,742.320 | 46,376.820 |                                     |
| 空氣隔壁空氣閘設置場掘鑿作業 | 2,546.060  |            | 2,546.060  |                                     |
| 空氣隔壁空氣閘製作々業    | 4,785.300  | 10,028.950 | 14,814.250 |                                     |
| 電力二系統設備作業      | 213.000    | 1,114.850  | 1,327.850  |                                     |
| 醫療設備作業         |            | 8,479.320  | 8,479.320  | 救護所浴場設備並病院氣閘製作                      |
| 合 計            | 13,445.960 | 71,356.860 | 84,802.820 |                                     |
| 合 計            | 18,324.460 | 80,633.680 | 98,958.140 |                                     |

(2) 盾構掘鑿單位當費額

盾構使用により掘鑿單位長當及び單位立坪當の費額を設備費掘鑿費に分類又は其の合計を表示すれば下の如し。

(i) 掘鑿 1 呎當費額

|                   | 設 備 費  |         | 掘 鑿 費   |         |        | 合 計     |
|-------------------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|
|                   | 工 費    | 材 料 費   | 工 費     | 材 料 費   | 電力費    |         |
| 壓搾空氣使用せざる場合の掘鑿    | 63.974 | 279.978 | 43.580  | 308.148 | 11.493 | 707.173 |
| 壓搾空氣壓力20#以下の場合の掘鑿 | 63.974 | 279.978 | 88.150  | 308.148 | 11.493 | 751.743 |
| 〃 26#             | 63.974 | 279.978 | 73.867  | 308.148 | 11.493 | 737.469 |
| 〃 30#             | 63.974 | 279.978 | 142.226 | 308.148 | 11.493 | 805.819 |
| 平均合計              |        | 343.952 |         | 400.955 |        |         |
| 合 計               |        |         |         | 774.907 |        |         |

(3) 掘鑿 1 立坪當費額

|                       | 設 備 費       |           | 掘 鑿 費       |             |          | 合 計         |
|-----------------------|-------------|-----------|-------------|-------------|----------|-------------|
|                       | 工 費         | 材 料 費     | 工 費         | 材 料 費       | 電 力 費    |             |
| 壓搾空氣使用せざる<br>場合の掘鑿    | 円 206.589   | 円 909.060 | 円 141.493   | 円 1,000.523 | 円 37.253 | 円 2,294.918 |
| 壓搾空氣壓力20#<br>以下の場合の掘鑿 | 206.589     | 909.060   | 283.889     | 1,000.523   | 37.253   | 2,437,314   |
| 〃〃 26#                | 206.589     | 909.060   | 216.464     | 1,000.523   | 37.253   | 2,369.889   |
| 〃〃 30#                | 206.589     | 909.060   | 461.123     | 1,000.523   | 37.253   | 2,614.548   |
| 平均合計                  | 円 1,115.649 |           | 円 1,301.797 |             |          |             |
| 合計                    |             |           | 円 2,417.446 |             |          |             |

丹那隧道用盾構示方書

- 第一條 盾構ハ半軟鋼材ヲ以テ製作スルモノトシ之カ作工ハ總テノ點ニ於テ優秀ナルヲ要ス
- 第二條 盾構ノ製作ハ本示方書及指定圖面ニ據ルヘシ
- 第三條 圖面及示方書ニ明記セサル事項竝ニ不審ノ廉アルトキハ總テ監督官ノ指示ヲ受クヘシ
- 第四條 製作監督官ニ於テ必要ト認ムル場合ハ些少ノ變更ヲ命スルコトアルヘシ
- 第五條 部分的ニ加熱セル材料ハ輕微ナル部分ヲ除クノ外總テ適當ニ燒鈍スヘシ
- 第六條 材料ノ剪斷ハ正確ナルヲ要ス
- 第七條 外殼鋼板ノ接合ハ互ニ正シク密着スル様仕上クヘシ
- 第八條 填材ト山形鋼トノ間ニハ八分ノ一吋以上ノ間隙ヲ生スヘカラス
- 第九條 本示方書及指定圖面ニ記載セル鉸ノ太サハ加熱前ニ於ケル太サニシテ總テ徑八分ノ七吋トス
- 第十條 「ボンチ」ノ徑ハ(鉸孔ノ削リ擴ケラ要セサル場合)鉸徑ヨリ十六分ノ一吋以上大ナルヘカラス又「ボンチ」  
臺ノ孔徑ハ「ボンチ」ノ徑ヨリ八分ノ一吋以上大ナルヘカラス
- 第十一條 鉸孔ノ削リ擴ケラ要スル場合「ボンチ」ノ徑ハ鉸徑ヨリ八分ノ一吋以上小ナルモノヲ用ヒ削リ擴ケハ  
鉸徑ヨリ十六分ノ一吋以上大ナルヘカラス
- 第十二條 鉸孔ハ正確ナルヲ要ス若シ組合セタル孔ニ些少ノ狂ヒヲ生シタルトキハ「リマー」ヲ用ヒテ整正スルコ  
トヲ得ルモ「ドリフト・ピン」ヲ用ヒテ擴大スヘカラス
- 第十三條 同一種類ノ部材ハ總テ相互交換スルモ組立テ得ル様製作スヘシ
- 第十四條 材料ヲ重ね合セタル後鉸孔ノ削リ擴ケラ要スルニ際シテハ該各材料ノ表面ハ十分接觸スル迄假「ボルト」  
トヲ以テ堅ク締メ付ケ置クヘシ  
尙ホ以上ノ如ク鉸孔ノ削リ擴ケラ要シタル部分ノ材料ヲ輸送其他ノ爲メ別個ニ取離ス場合ハ再ヒ元形ニ組合セ  
得ル様ニ適當ノ合符ヲ附スヘシ
- 第十五條 重要ナル部分ノ鉸孔ニシテ材料ヲ組合セタル後孔ノ喰ヒ違ヒヲ生シ易キ部分及現場ニテ鉸鉸スヘキ鉸  
孔ノ穿孔ハ總テ第十一條ニ據ルカ又ハ最初ヨリ「ドリル」ニ據ルヘシ

- 第十六條 鉸孔ノ周邊ニ生シタル捲レハ削リ取ルヘシ
- 第十七條 鉸頭ハ指定ノ寸法ニ從ヒ製作シ鉸幹ノ長サハ組合セ材ノ厚サ及鉸徑ニ應ジ完全ナル頭鉸ヲ形成スル様  
製作スヘシ
- 第十八條 組合セ材ノ互ニ接觸スヘキ面ハ鉸鉸ニ先タチ十分銷落ヲナシ光明丹一珎ト煮亞麻仁油〇・四「リット  
ル」トノ割合ヨリ成ル「ペンキ」ヲ以テ完全ニ塗抹スヘシ
- 第十九條 鉸鉸ヲナスニ當リテハ假「ボルト」ヲ以テ弛ミナキ様材片ヲ堅ク締メ付ケ置クヘシ  
鉸鉸中ハ鉸孔ニ喰ヒ違ヒヲ生セサル様注意スルハ勿論鉸鉸ヲ終リタル後組合セ材ニ曲リ捲レ其他ノ變形ヲ生セ  
サル様注意スヘシ
- 第二十條 鉸ハ半軟鋼材ヲ使用シ十分鉸孔ヲ填充シ組合セ材ヲ堅固ニ緊結スルヲ要ス  
鉸頭ハ鉸幹ト同心圓中ニ在ル様注意シ指定ノ形狀寸法ニ格好能ク打テ上クヘシ
- 第二十一條 鉸鉸ヲナスノ際鉸頭周圍ノ材料ニ損傷ヲ與ヘサル様注意スヘシ
- 第二十二條 鉸燒ハ均一ニ淡紅色(攝氏約八〇〇度)ノ程度トス
- 第二十三條 鉸ハ鉸メタル後一々之ヲ點檢シ其弛メルモノ機過キノモノ其他缺點アルモノハ切り取りタル上打テ  
直シヲナスヲ要ス決シテ「コーキング」又ハ冷却後鉸メ直シヲナスヘカラス
- 第二十四條 不良鉸ヲ切り取ルニハ錐ヲ使用シテ採ミ抜クカ如キ方法ニ依リ材料ヲ損セサルヲ要ス
- 第二十五條 「ボルト」ハ總テ徑八分ノ七吋トシ螺旋山ハ「ナット」ニ正シク適合セシメ鐵道省基本又ハ米國基本  
ニ依リ製作スヘシ
- 第二十六條 排水用鋼管ノ取付ケハ其兩端ヲ折開キタル後瓦斯銲接ヲナスヘシ
- 第二十七條 製作完成ノ上假組立テヲナシ檢査ヲ受クヘシ  
此場合ニ於テハ丁寧ニ銷落シヲナシ煮亞麻仁油ヲ塗布スルモノトス  
但シ銷落ヲナシタル後直ニ銷ヲ生スル虞ナキ場合ハ亞麻仁油ヲ塗布ハ省略スルコトヲ得
- 第二十八條 現場用鉸ハ各種毎ニ必要數量ノ外二割五分ヲ供給スヘシ又「ボルト」、「ナット」ハ同シク二割ヲ増  
加スヘシ
- 第二十九條 製作檢査ヲ受ケタル後盾構ノ各部ニハ第十八條ニ規定セルモノト同様ノ「ペンキ」ヲ以テ一回塗抹ス  
ヘシ
- 第三十條 「ペンキ」ハ鐵材ノ表面完全ニ乾燥セルトキノ外之ヲ塗布スルコトヲ得ス尙ホ塗料ヲ施スニ當リ一般ニ  
必要ナル注意ハ嚴守スルコトヲ要ス
- 第三十一條 磨キ仕上ケラ爲シタル表面ハ白「ペンキ」及獸脂ヲ塗布スヘシ
- 第三十二條 製品ニ合符ヲ記載スルニハ組立後見易キ箇所ヲ選フヘシ
- 第三十三條 「ボルト」鉸等小形ノモノハ相當堅固ナル箱ニ入レ其寸法數量等ヲ箱ノ表面ニ明記スヘシ

丹那隧道用盾構覆工設計要旨

- 1. 盾構ノ大きハ外徑 9 呎 2 吋内徑 5 呎 11 吋にして覆工ノ内徑 7 呎 6 吋を基準として設計し  
之に使用スル水壓扛重機ノ數を 10 個とす
- 1. 覆工ノ外徑ハ外側ノ鉸頭を含み 8 呎 10 吋とし盾構外殼内面ノ間に尙ほ 2 分ノ 1 吋ノ間隙を  
有せしめたり
- 1. 重量ハ水壓扛重機を除き約 15 噸とす



1. 水圧扛重機の受臺は目下設計中なるを以て其の完成を待ち其の取付「ボルト」の孔を穿つものとす