

第七章 水底トンネル

第一節 裸掘式

水底にトンネル(Subaqueous Tunnel)を作ることは古くからあつたことであるが地質の如何に關らず施工することが出来る様になつたのは二十世紀に入つてからである。場合によつて種種な方法が適用されて居るが大別して三種である。

第一の方法は唯水底深い地層のところに普通のトンネルを掘ると同じやうな方法を取るのである。隨つて水が浸入して来る、そこで力の強い唧筒をかけて水を汲み出すので、昔時の水底トンネル構造は皆此の裸掘の方法であつた、今日でも尙やつて居る又今後にも行はれることであらうと思ふ。

近い例を述ぶれば紐育の East River の下に瓦斯管を入れるトンネルを大正二年(1913)に作つたのが此の方法である。トンネルは底幅 19 呎 9 吋(6.080 米)高さ 21 呎(6.401 米)底部一文字の所謂蒲鉾形で厚さ $1\frac{1}{2}$ 呎乃至 3 呎(0.457 呎乃至 0.914 米)の混擬土で卷いてある。其の内へ直徑 6 呎(1.829 米)の瓦斯管を先づ二本敷設するのである。

水底地質の確實なるところを調べ Astoria 側へ作つた豊坑は深さ 276 呎 9 吋(84.412 米)直徑 34 呎 6 吋(10.515 米) Bronx 側のものも直徑は同じで深さ 233 呎(71.017 米)であつた、兩豊坑間の距離は 4662 呎(1421 米)、水底は 150 呎(45.7 米)以下のところで地質は花崗石であつたが湧水が甚だしく強力な唧筒の運轉を必要とした。其の甚だしい時には一分間に 6000 ガロン(22711 リットル)の水を

噴出しトンネル内へ岩の割目から水と共に魚族が飛込んで來た、坑夫が捕つて自家へ持歸り晩の御馳走にしたこともある。

此のトンネルは大正二年(1913)の七月に貫通した。トンネル内の湧水處分は先づ鐵管を嵌め込んで之に水を集め、其の管の周圍は一平方吋に 500 封度(34 気壓)の壓力膠泥で詰め込んで水を止めて置いて最後に水を噴出して居る鐵管の穴を埋めたのであつた。

水底のトンネルでは一旦水が湧出して來た以上は益々激しくなつて來るものである。大正二年(1913)に完成した Loetschberg のトンネルでは導坑を 2575 米掘込んだとき水脈砂層に行當つて天井が抜けて来て 200 米許りも高いところにある Kander 川が落込んで導坑全體の半分程を埋め如何とも仕方がないので一旦掘つたところを棄て、曲つたトンネルを作つたのは稀に見るところで大概の場合は陸上のトンネルでは一時は水が烈しくあつても日を経るに隨つて減少するものであるが水底のものは湧水が増加して來るばかりで唧筒で汲み出しきれないとか又は湧水を減じた方が宜しいと云ふときには一度水でトンネルを一杯に浸して仕舞つて水底でトンネルの線上に當るところの附近へ粘土を澤山投込み其の上に砂袋を落し突固めてから唧筒で浸水を汲み上げて遣り直すのである。粘土層が都合よく出來ればトンネル内の湧水は以前より大に減少するものであるから施工が出來易くなる。

有名な Severn 河底のトンネルも此の方法で施工したものである。鐵道複線用で長さは 4 哩 625 碼(7 基米)ある、1872 年に着手

1887年に落成で十五ヶ年を費して居るが其の間三ヶ年間は全く浸水した儘に置かれたのである、地質は粘土盤と粗岩石(Clay and shale)とでトンネル拱上で水の最も深きところは満潮面以下凡そ95呎(29メートル)で其の下にある地盤の厚さが45呎(13.7メートル)であった、今日の如く携帯電燈もなく潜水道具も進歩して居らなかつた當時はトンネル浸水に關して大いに困難をしたものであつた、詳細の記事は其の工事の擔當者であつた Walker 氏の著 The Severn Tunnel に記載してある。

第二節 壓縮空氣作業式

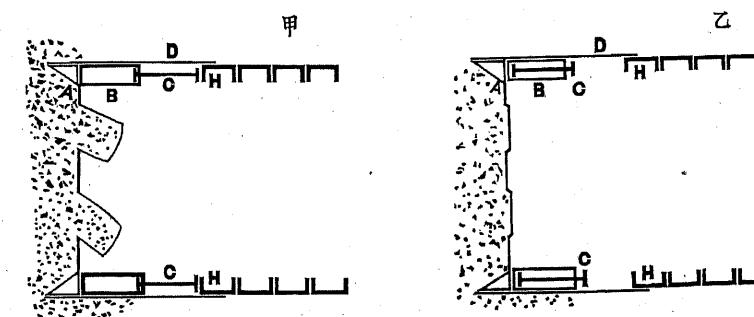
第二の方法は壓縮空氣を適用し盾構を使用するもので盾構は Thames の河底に有名な Brunel が拵へたトンネルにも適用された、此のトンネルは工事に二十年も掛り幾多の困難に出會して我が天保十四年(1843)に落成したもので、道路用往復二條である工費も1呎凡そ3500圓(一米に付1150圓)に相當して居る、盾構を最初考案した動機は船喰蟲であると云傳へて居る、船喰蟲は頭の方に堅いものがあつて夫で木を囁き其の周圍から流れ來る水を止めるために其の體から出す液を塗りつけるのである、Brunel の盾は其の真似をして大きな兜のやうな盾構を拵へて頭を螺旋形にして土を掘り其の後で煉瓦混泥土で堅めたものであるが今日ではもつと改良された Great head 形が多く使用される、これは大きな頭と云ふ事ではなく製作した人の名前である。

盾構の動作は第百三十圖縦断面に示す通り盾構の底に戸扉

ある、開閉が出来る、Bは強水圧の圓壙、Cは唧子、Aは掘鑿面へ切入る刃形である、此の盾構の説明前に鐵管式トンネルの説明をするが便宜である。

鐵管式トンネルで圓弧を組立て、行く方法は前章に述べた通りで第百三十圖に示す甲は組立を終つた鐵管式トンネルで

第百三十圖



Cは水壓唧子である、第百三十圖甲はCをHに當て、水壓力で盾構Dを押込んだところを示し、Aは盾構の切端でBは水壓圓壙、盾構の前面に戸扉があつて地質が柔かであると戸を開けて盾構を押込むと土泥がトンネル内へ出て来る戸扉を閉めて之を掃除するのである、質が堅ければ戸を開けて盾構の外へ出て掘鑿してから盾構を押込むのである。岩質なれば鑿岩爆發もするが極めて注意して施工するが緊要である。第百三十圖乙は水壓唧子を圓壙B内へ押入れたところを示す、HとCとの間の空處で盾構の周圍Dで防禦されて居るところへ第十七章で述べた方法で圓弧を組立てるのである。

此の方法の水底トンネルでも水底から鐵管までの深さ即土覆は稀には10呎(3メートル)のものもあるが普通は20呎(6メートル)以上であ

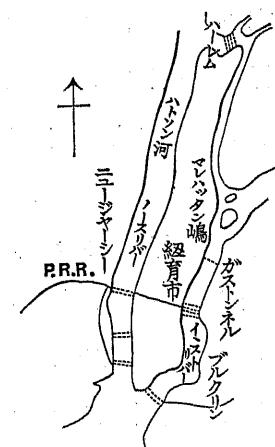
る勿論トンネルの形が大きいときは土覆も深くする、トンネル工事中の空氣壓は普通は其の場所の靜水壓 (Hydrostatic pressure) の八割以内であるが稀には同様にする必要がある、靜水壓と空氣壓と同様になると地質が柔泥土でも固結して來て掘鑿が出来る。

水底であつても空氣壓力が掛けてあるから水の浸入して来る虞れはないが反つて外部へ大泡沫が噴出することもある、盾構外に居つた人が空氣と共に水底を吹抜けて水面迄吹出された例もある、噴出が起るとトンネル内の空氣壓力が急に減少して泥土を押込まれることもある、盾構を歪めると頗面倒であるから注意して施工することが必要である、泥土か砂層のところで盾構の押込ばかりやつて居るとトンネルが上向になつて勾配が狂ふ患がある。

Hudson の P.R.R.(Pennsylvania Railroad) トンネルでは鐵管の繼手の間にザラモニヤツク 1 封度鐵屑 250 封度を入れて繋いだので充分に錆び附いて了つて水漏れが至つて少ない、漏水は一晝夜トンネルの長さ一間に付五合乃至一升(長さ 1 米に付 1 リットル)で漏水よりも大氣凝結と外部から流入し来る方が多量だと云ふ事である。

第百三十一圖は紐育市マンハッタン島を示すもので左方は幅凡そ 1 哩(1.6 基米)の Hudson 即 North River を隔て、ニュージャンクー州に接し右方は幅凡そ前記の半分である East River を隔て、ブルクリーン方面に接して居る。此のマンハッタン島へ幾多の水底トンネルが聯絡して居る、右方にガストンネルと書してある。

第百三十一圖



るのは前に説明した瓦斯管を入れるために作られたもので左方にある P.R.R. トンネルを説明すれば次の通りである。

Hudson 河は水深凡そ 40 呎(12 米)で地質は粘土及び土砂で岩石層の出て居るところもある、幅は凡そ 1 哩(1.6 基米)本邦では下關海峽の大瀬戸と幅がよく似て居る、此の水底のトンネルを初めて計畫したのは Haskin と云ふ人で明治四年(1874)であつた、盾構も適用せず用意周到と云ふよりも寧ろ

無謀大膽なやりかたで或時大きな泡沫の吹き出たためにトンネル内に水が浸入して来て溺死者が出来工事を中止した、其の後種々な困難に出會し屢々中止し凡そ二十年も経過して明治三十五年(1902)に至つた、此の年に英國の有名な Pearson 會社が此の工事を引受けこととなつた。

Pearson は土木事業の請負もやる、又政治家でもある、墨西哥の油田一件が原である内亂の尻押もやる有力な人で今では貴族になつて Lord Coudray と云つて居る、世界大戰爭が始まると直に飛行長官となつた人である、土木事業の方は Moir と云ふビヤンシ會社の副社長がやつて居るのである。

ハドソン水底のトンネルは二本並んで雙眼鏡形である、其の一方の鐵管トンネルは明治三十七年(1904)三月二十一日に貫通し他のものは明治三十八年(1905)八月三十一日に貫通した、一日の平均工事進行が 13½ 呎(4.114 米)に相當した、前に述べた通り

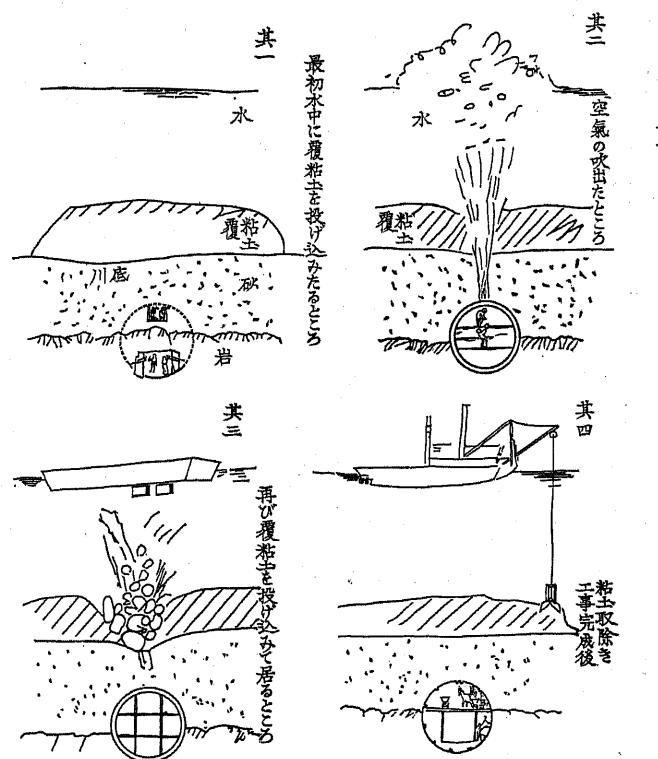
二時間餘で $2\frac{1}{2}$ 呎(0.762メートル)の鐵管トンネルが組立て得らるゝと見れば一時間に凡そ1呎、一日に24呎(7.3メートル)は出来る譯であるが實際の平均は前記の通りである、しかし最大進行は一日に72呎(22メートル)と記録してある、これは鐵管トンネルの出来たのではなく掘鑿の進行した寸法である。

斯う云ふ方法で双方から盾構を押込んで掘つて行きトンネルが漸々近寄つて來ると都合よく相合するのがむづかしいから盾構が相隔たる20呎(6メートル)ばかりになつたとき直徑6吋(0.152メートル)の鐵管を押入れてそれで見當をつけるのである、最後に双方から徐々に方向を合せて盾構を出會はしてトンネル接合を仕上げるのである。

Hudson のトンネルで鐵管が貫通したとき初めて向ふとこちからと御目出度う御座いますと云ひあつて管内へ煙草の箱を入れて突込んでやつたと云ふことである、著者は此のトンネルに苦心もしたし資産も失なつて死んだハスキンの寫真を入れて送つてやつたら嘸かし本人も地下に喜んだであらうと思ふ。

Hudson のトンネルでは氣壓は平方吋に付 17 乃至 37 封度(1.2 乃至 2.5 氣壓)であつて送致空氣の量は從事員一人一時間に 1000 乃至 4000 立方呎(28 乃至 111 立方メートル)炭酸瓦斯の量は千分0.3乃至4.0 溫度は 85°F 乃至 110°F (29.4°C 乃至 43.3°C)であつた、或時大きな泡沢が吹出し凡そ 220000 立方呎(6000 立方メートル)の空氣が10分間に噴出したこともあつた、其の時は第百三十二圖に示す様に粘土を投込み空氣の漏れを止めて再び施工したのである、岩層のと

第百三十二圖



2時間乃至6時間で一日の賃金が2乃至5弗であつた、トンネル長さ一呎の工費が我が邦賃600乃至700圓に相當した。(1913)

盾構を適用する壓縮空氣式鐵管トンネル施行法が行はれて以來水底トンネルが容易に出來る様になつたので明治四年から明治三十八年まで(1874—1905)は旨く出來なかつたマンハッタン島へ通する水底トンネルが明治四十一年(1908)に2本出來上つたとなると五年の後には Hudson River 水底に 6 本 East River 水底に 4 本合計10本の水底トンネルが完成した Harlem River の水底には 4 本連續したもののが出來た、倫敦の Thames 河底にも 13 本

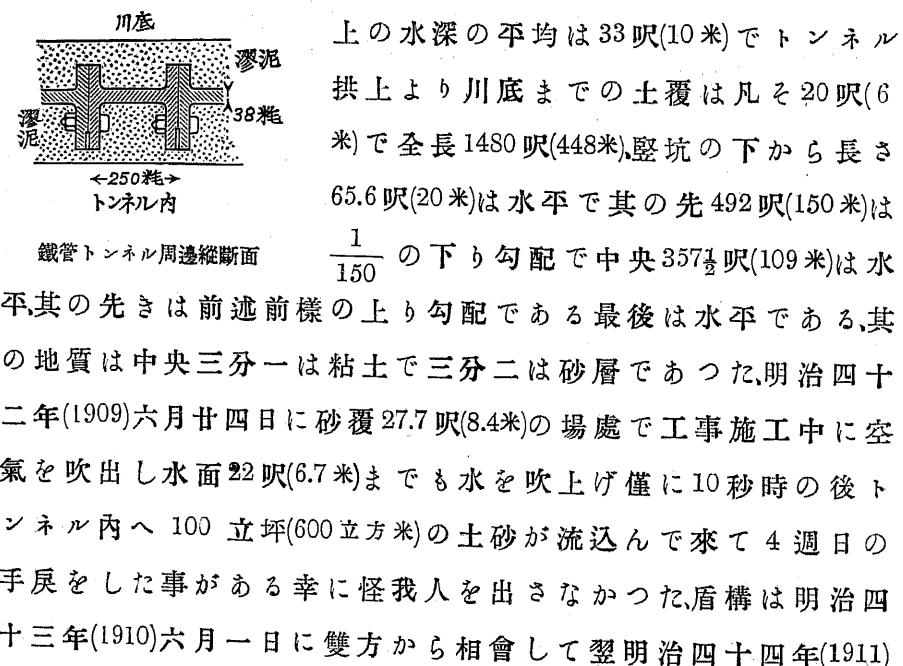
ころでは鑿岩するため小形のハンマー、ドリルであつた、重量 25 乃至 37 ポンド(11 乃至 17 斤)のものが多く使用されて居つた、盾構を損せぬ様に極めて注意して破壊を掛けた。

水底でトンネルに從事して居る坑夫は其の空氣壓の強弱によつて差があつて一日の働か

もある、河底は 1000 乃至 1500 呢(300 乃至 450 米)であるが兩取附共に合せて 1 哩(1.6 基米)以上のものもある、形の大きいのは直徑 30 呢(9.143 米)もあつて自動車が中を通るやうになつて居る。水底トンネルは英米兩國には限らぬ、此の方法のトンネルは獨逸の Hamberg Erbe の水底にも 2 本出來て居る。

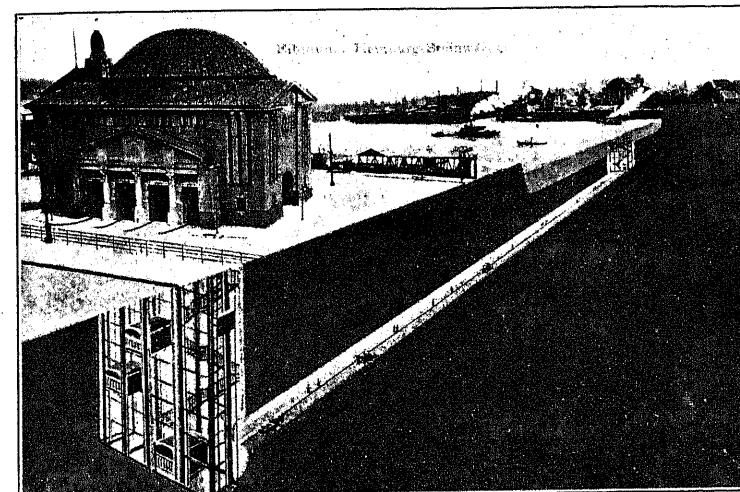
Erbe 水底トンネルは壓縮空氣作業で作つたもので Altona 側の St. Pauli に深さ $72\frac{1}{2}$ 呢(22 米)對岸に Steinwärder にも深さ $77\frac{1}{2}$ 呢(23 米)直徑各 $72\frac{1}{2}$ 呢(22 米)の堅坑を作り其の下部から中心距離 26.4 呢(8 米)を隔て、内徑 $18\frac{1}{2}$ 呢(5.644 米)外徑 $19\frac{1}{2}$ 呢(5.920 米)の二つ並んだ圓形雙眼鏡形鐵管トンネルで鐵管用圓弧は幅 10 尋(0.250 米)で第百三十三圖に示した通りの形である、接合處に鉛を挿み土瀝青

第百三十三圖 甲 塗で外部に膠泥の覆を施した、トンネル



鐵管トンネル周邊縦断面
1/500
の下り勾配で中央 $357\frac{1}{2}$ 呢(109 米)は水平其の先きは前述前様の上り勾配である最後は水平である、其の地質は中央三分一は粘土で三分二は砂層であつた、明治四十二年(1909)六月廿四日に砂覆 27.7 呢(8.4 米)の場處で工事施工中に空氣を吹出し水面 22 呢(6.7 米)までも水を吹上げ僅に 10 秒時後トンネル内へ 100 立坪(600 立方米)の土砂が流込んで来て 4 週日の手戻をした事がある幸に怪我人を出さなかつた、盾構は明治四十三年(1910)六月一日に雙方から相會して翌明治四十四年(1911)

第百三十三圖乙

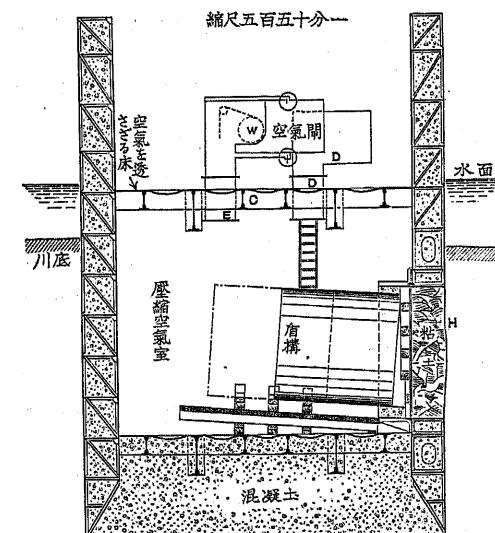


ハンブルヒ市エルベ水底トンネル

十一月に開通し人馬の通行を許した、工費總計 70.722.000 マルクであつた、詳細の記事は Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure 1912

第百三十四圖

No. 33. 35. 36 にある。

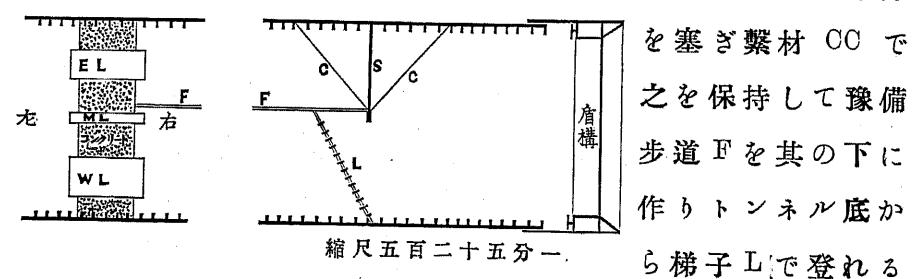


堅坑の底から盾構を押入れてトンネル掘鑿に取掛る工合は第百三十四圖に示す通りで此の圖は水中へ堅坑を沈下させ其の下部を壓縮空氣のある部分とし堅坑中に空氣の通過しない床 C が張つてある、D は空氣閘で人の出入の用に供するもので其の下に梯子が附いて居

る、Eは材料出入用の空氣閘で巻揚機Wが附屬して居る。堅坑の一部に盾構を押し出し得る穴があつてそれを板張にして外部に粘土が詰めてある。堅坑が適當な深さまで沈下してトンネル工事を始めるときに板を取除き粘土に盾構を押附けて送出するのである。其の後の施工法は既に述べた通りである。

橋梁土臺を水中に沈下させるときに壓縮空氣作業の施工最中に空氣を吹出しても左のみ恐ろしい事はないがトンネルでは横に掘込んで行くから空氣を多量に吹出すと泥土や水が流込んで来る危険がある。そこで Blackwall のトンオルでは萬一の時の用意のために盾構の後に第百三十五圖に示した様な障壁

第百三十五圖



様にしてあつた幸に障壁が役に立つ様な出来事はなかつた。

トンネル全部を壓縮空氣で充満して置く事は工事中不必要であるから第百三十五圖の左方即完成した部分は普通大氣圧にして此處に混凝土で壁を作り其の中に普通出入用の空氣閘WLと材料出入用の空氣閘MLと豫備閘ELとが設けてある。右方のトンネル工事が或程度まで進歩したら更に其處に空氣閘を作つて前の分を取除くのである。

壓縮空氣中で作業するときの心得。

(1) 少々にても氣分の勝れざるときは即過飲過食後若くは睡眠不足、空腹、食後凡そ一時間経ざるときは壓縮空氣中に入る可からず。

(2) 壓縮空氣室へ入るときは氣圧上昇平方時に付6封度毎に一分時(一氣圧に付 $\frac{2}{3}$ 分時)又出るときは即氣圧の減少するときは3封度毎に一分時(一氣圧に付5分時)より速にすべからず。

(3) 壓縮空氣より普通大氣圧のところへ出て来たときは厚着をして暖き飲物を飲み暫時静に休むべし直に強き運動をなすべからず。

壓縮空氣中にある炭酸瓦斯の量は $\frac{1}{1000}$ 乃至 $\frac{2}{1000}$ を超過せざる様に注意し労働者一人に對し一時間 2000 乃至 4000 立方呎(57 乃至 113 立方米)の空氣を送致するが普通であるが實例では此の最少量の二分の一と最大量の二倍半との記録がある。所用空氣を算定するには下の式がある。

Q は一人一時間に要する空氣の量立方呎

A は空氣中に存在する炭酸瓦斯の百分率

B はトンネル内に於て許さるべき炭酸瓦斯の百分率

$$Q = \frac{80}{B-A}$$

今 A を 0.04 とし B を 0.10 とすれば Q は 1333 となる

Q を立方米として計算せんとするときは分子 80 の換りに 2.27 を用ふ

労働者の年齢は二十臺乃至三十臺が最良で二十以下と四十以上とは宜しくない又不慣な者が壓縮空氣室へ入るときは前

以つて醫者の診斷を得ることが必要である。

壓縮空氣の壓力は其の場所に於ける水の靜水壓の八割以下であるが時には靜水壓と同一にすることの必要な場合もある。壓縮空氣中の勞働作業時間は下の通りである。

空氣壓力平方吋	氣 壓	勞動回數一日	勞働作業時間	中間休憩時間
15—20 封度	1.0—1.4	3 回	2 時間	2 時間
20—25 "	1.4—1.7	3 "	2 "	3 "
25—30 "	1.7—2.0	2 "	2 "	3 "
30—35 "	2.0—2.4	2 "	2 "	4 "
35—40 "	2.4—2.7	3 "	1 "	2 "
40—45 "	2.7—3.0	3 "	1 "	4 "
45—50 "	3.0—3.4	2 "	1 "	6 "
50—55 "	3.4—3.7	1 "	1 "	—

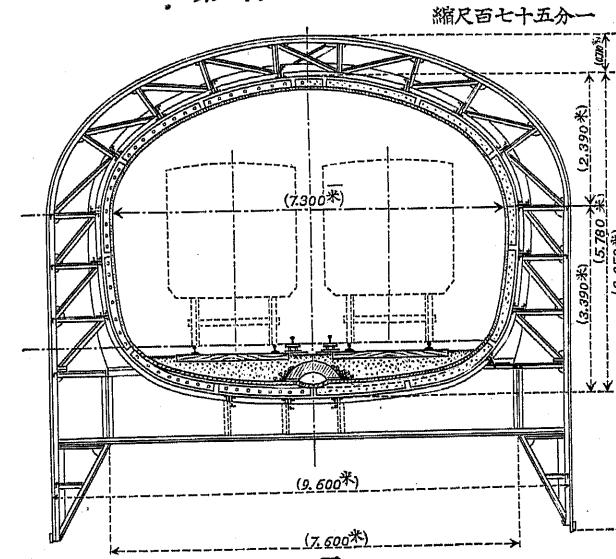
壓縮空氣中の作業が過度であつたとき又は不適當であつたときに病氣を起すことがある之を潛函病(Caisson disease)と名づけて居る、輕微なものは頭痛か關節の痛み位であるが重いものは卒倒し人事不省になる、輕いものは大氣中で養生すれば癒るが重いものは潛函病院と稱して壓縮空氣中へ病人を入れて極めて徐々に空氣壓を減少しながら治療するのである、不治になる様な事は極めて稀である。壓縮空氣中の作業には肉食を常用する人よりも野菜食をする人の方が適當であると云ふ説もある。

第三節 沈埋式

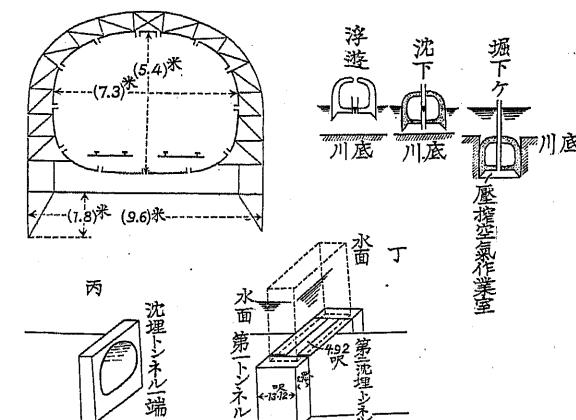
第三の方法は沈埋式と稱するもので其の沈埋方法にも二種

ある。第一種は第百三十六圖に示す通り佛蘭西のSeine河底に沈めるために施工した方法である。沈埋した位置は Pont Notre Dame と Pont du Justice との間であつてトンネルは鐵製で其の下に普通の潛函(Caisson)と同じものが附屬して居る、最初は水面に

第百三十六圖 甲



甲 乙



浮かして行つて適當な位置へ來たと

き鐵製トンネルの
枠の中へ混凝土を
入れて水中に沈め
て行つた。

トンネルは内高
が17呎10吋(5.4米)内
幅が24呎1吋(7.3米)
の複線鐵道用で其
の長さ118呎(36米)
のものが一本、126
呎(38.4米)のものが
一本、142呎(43.3米)
のものが一本合計
三本で其の三本を
別々に河中に沈めたのである。

初め浮かして置
いて其の枠中へ混

コンクリートを入れて追々重くなつて河底に達すると、それから下部の潜函へ圧縮空氣を送つて普通の橋梁土臺の様にして掘下り漸漸土中に潜り込み全部終に土中に這入つて適當な深さに達する。

此の方法で沈めたトンネルは相互 5 呎(1.5米)ばかり相隔たつて居るので其の両側へ更に幅 5.7 呎(1.7米)長 13.1 呎(4米)の混泥土を別の潜函で打つてトンネルを聯絡させ其の上へ鐵製堰止を作つてトンネル中の水を酌出し人が中へ這入つて此方と彼方とのトンネルを接續して了まつたのである、明治四十年(1907)の十二月に或個所から空氣が洩出して其のために中に居つた人が五人怪我をした事があつたが其他は無事であつて明治四十二年(1909)に完成した、此のトンネルは全長 400 呎(120米)である。

沈埋式の第二種は北亞米利加の Detroit で施工した方法で明治三十九年(1906)に著手して明治四十三年(1910)に完成した、此のトンネルは水底 2665 呎(812米)双方の取附を併せて 8373 呎(2552米)の長さである。

此の場處では豫めトンネルを沈埋するところの水底地盤を掘浚へて置いて其の中へ鐵製トンネルを沈めたので浚泥機は凡そ 0.37 立坪(2立方米)のクラム・シェル形のもので一日十時間に 75 立坪(450立方米)の土を掘上げた、地質は主として粘土と土砂との混合で河の流速は一時間に 3 涼(5.5基米)であつたが水底を掘つてトンネルを入れる場處は河底にあつて水流を感じることが至つて少なかつたと云ふ事である。

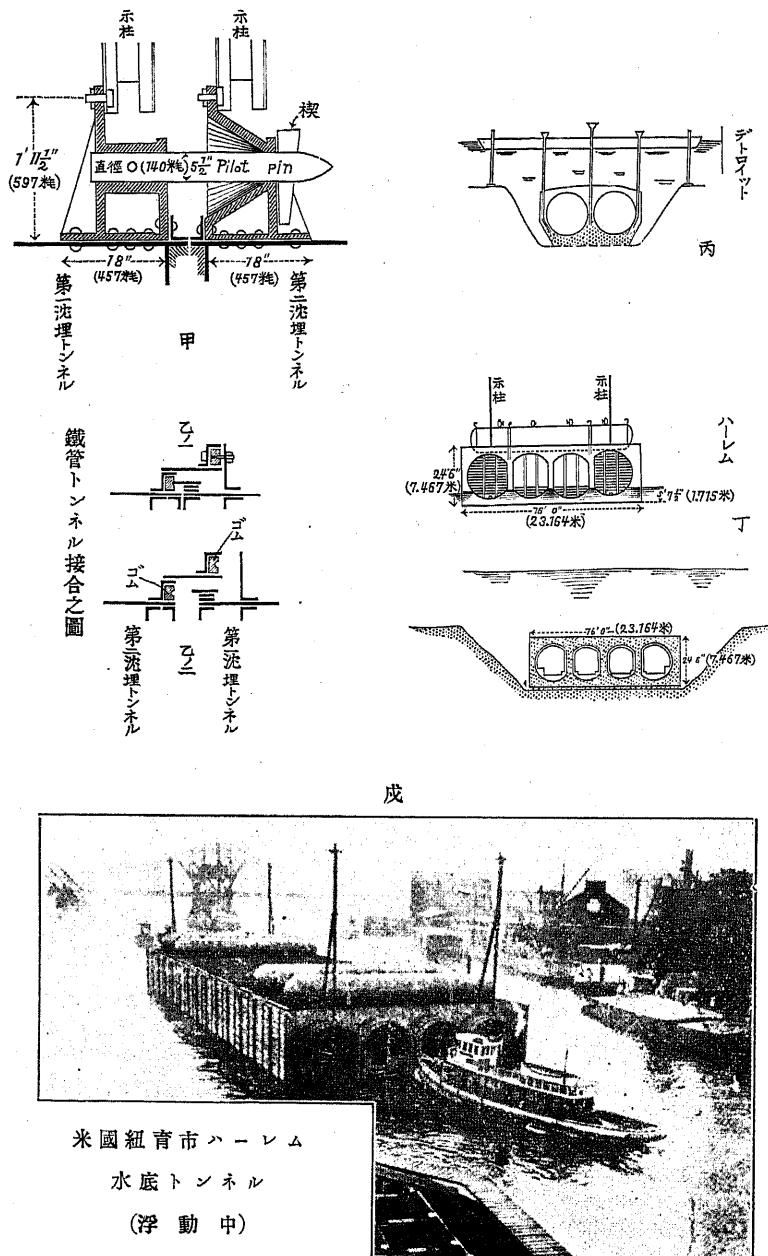
此のトンネルは一區の長さ 266½ 呎(81.2米)の複線鐵道用のもの

で先づ陸上で鐵板を以つてトンネル形を拵へて置き其の両端には臨時に板を用ひて蓋を施し水に浮かして行き之を沈めたので其の上流 700 呎(213米)のところへ碇を入れて鐵製トンネルを繋きとめ板を除きて水を入れて沈めたので其の前に沈んだものと後に沈めるものとを接續さすために直徑 5½ 尺(0.140米)長さ 36 尺(0.914米)水中でも能く見える様に白ペンキを塗つてある棒が二本出て居る、これが恰度摺古木で先方に摺鉢形のもがあつて其處へ此の摺古木を突込むやうな遣方であつた、少し位は位置が悪くても都合よく行く、トンネルは沈んでも水上には又四本の柱が見えて居る、水上ではそれで位置を取り潜水夫は水中から合圖をして少しづゝ動かして充分に摺古木が嵌り込んだならば接續用のボルトを潜水夫が締める、混泥土で鐵トンネルの外部を水上から漏斗機で埋める、トンネル内の水を汲上げながら仕切を取る、此の方法は圧縮空氣作業をしないのである、此の方法は Olaf Hoff と云ふ人の考案である。

Detroit 河は水深凡そ 40 呎(12米)でトンネル内の漏水を汲上げるために準備したポンプは一分間 300 立方呎(85立方米)のものであつたが實際は其の十分の一も用ひずに済むと云ふ事でトンネル内の漏水は至つて少量である外から流れ込む方が多いと云ふ事である(第百三十七圖参照)。

此の方法は近來漸々盛んになつて來て第百三十一圖にある如く紐育市マンハッタン島の右方即 East River に八本左方の North River に六本其の上の Harlem River に四本連續がある、これは大正二年(1913)に拵へた沈埋式トンネルで恰度其の年八月二十九

第一百三十七圖



日であつた之を沈めると見せると云ふので著者も招かれて行つた。

此のトンネルは第百三十七圖丁に示す通り四本續きで兩側の二つは全部板堰で締切つてあつて、中の二つは下部だけ堰板が嵌めてあつた、沈埋すべき場處へ浮かして小舟で曳いて来て中央の二つの堰板を取り除け兩側の底にある空氣瓣を開き中へ水を入れ始めると鐵製トンネルが漸々に沈んで行く、中の板を外したのが午後2時4分であつた、之に從事して居る人數が25人であつた、2時46分になつたら大分部水中に沈んで上部に置いてある空氣罐だけが水面に顯はれて居た、更に水を入れて沈めると全部水中に沈んで總重量7740噸のものが浮遊力僅に19噸になつたのは午後3時10分であつた、これから極めて徐々に水を入れ5時10分には重力の方が超過して10噸となり沈下の場處は線路の方向を外れること凡そ4呎(1.2m)前に沈下したものと相隔たること2呎(0.6m)の處へ落付いた。

此の場處の側に浮いて居る大きな起重機があつて全體の重力10噸になつた長さ220呎(67m)四本續きの鐵トンネルを鋼で曳き動かし水中では潜水夫が合図をなし、水上では指位の柱で見當を附けて摺古木を旨く嵌め楔を入れたのは午後7時であつた、それから接合用のボルトをしめ、セメント砂3小砂利6の混泥土を高さ56呎(17m)の漏斗管で入れてトンネルを完成させたのは後日の事であつた、此の方法のトンネルは場合によつては餘程容易に出来ることがある。

第四節 水底トンネル重要記録

西暦年

- 1825 Brunel が The Thames Tunnel に着手す.
- 1830 Sir Thomas Cochrane が圧縮空氣を適用する施工方法の專賣を得.
- 1839 Chalonnes, France で圧縮空氣式を実施す.
- 1842 The Thames Tunnel 完成す.
- 1869 The Tower Subway, London で Great head 盾構を適用して竣工す.
- 1870 Cleveland, U. S. A, で Beach 盾構を試用す.
- 1874 Hudson Tunnel に着手す.
- 1879 Antwerp に於いて小形鐵管式トンネルを作る.
- 1880 Hudson Tunnel で Anderson Pilot 式を試む.
- 1888 Mersey 及び St. Clair トンネル完成す.
- 1890 Glasgow Harbour Tunnel 完成す.
- 1892 Siphon de Clichy, Paris 完成す.
- 1892 Spree Tunnel, Berlin 完成す.
- 1899 Greenwich Footway, Metropolitan Railway Paris, Chicago Harbour Sewer 完成す.
- 1901 East River Tunnel 完成す.
- 1904 Rotherhithe Tunnel, London 完成す.
- 1908 Hudson Tunnel 完成す.
- 1909 Paris で水底トンネル工事に Caisson 式を適用す.
- 1910 Detroit River Tunnel で沈埋式を適用す.

- 1913 Harlen River 水底に複複線鐵道トンネルを沈埋式にて作る.

第五節 紐育及び桑港の水底トンネル. 水底トンネル工費

以上で水底トンネルの構造と其の施工法の説明とは終つたが尙述べて置きたい事がある、紐育の水底トンネルは右に 8 本左に 6 本あるが公道用のものがないので更に五十七丁目に二本續きを拵へようと云ふ目論見がある橋梁にするがよいかトンネルにするがよいかに就いて研究された、橋梁は其の下を船が自由に通るやうにせねばならぬから水面上少なくとも 170 呎(52 米)以上の空間が必要である其の経間も 2730 呎(832 米)を要する、橋塔の高さ 600 呎(183 米)橋の全長 4920 呎(1500 米)其の両取附き共で全延長 8830 呎(2691 米)となる、幅は 36 呎(11 米)で車道の外に電氣鐵道が二本左右に幅各 8 呎(2.348 米)の歩道があつて其の工費 82,000,000 圓と云ふ事である、トンネルにすれば遙に安價につく、圧縮空氣式で幅 20 呎(6 米)の複線鐵管雙眼鏡形で工費 22,000,000 圓で出来る、沈埋式にすれば 13,000,000 圓で出来ると云ふ事であつた、近頃では更に大きな橋梁設計をしたものがある橋幅 220 呎(67 米)徑間 3240 呎(887 米)あらゆる交通を纏めるものであるが實行出来るか如何は疑問である。

トンネルと橋梁との比較をして見れば橋梁は其の上を通過する機關車等の重さが年々増大して來るのには困却して居る、Forth Bridge の如きは其の建築當時では機關車の重さが 76 順で

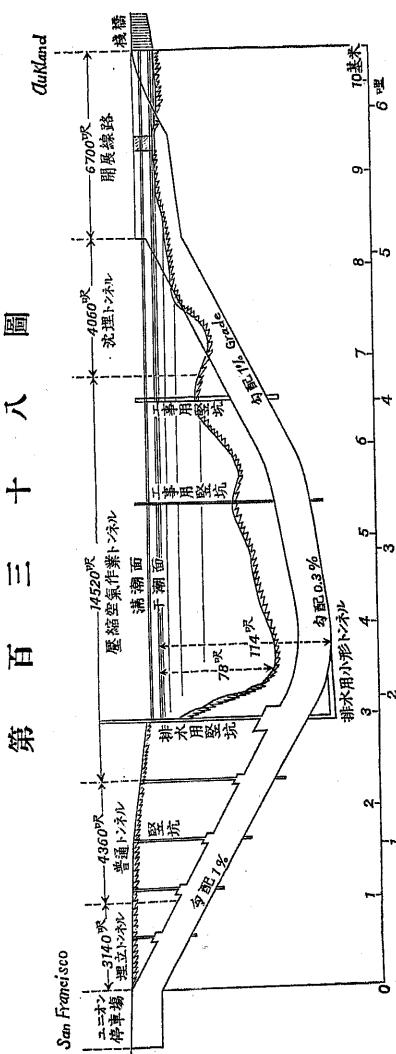
あつたのが今日では 120 噸のものが通過して居る。St. Gothard 線の如きも建築當時は 84 噸であつた機関車が今日では 150 噸のものを運転して居る、外で運転して居るものはもつと重いものである。機関車が年を追うて急速に重量を増加して來るのに橋梁は皆困却して居る。トンネルでは其の心配がないロンドンのローザーヒストンネルでは一箇年間に一百萬臺の自動車が通過して居るから公道運輸にも有力である。又橋梁であると無駄に高い處に上下せねばならぬ不便と運転上の不經濟もあり其の修繕費も少くない。又萬々一橋梁が陥落する事もあると考へて置かねばならぬ。先年 Quebec の 1800 呎(549 米)徑間の橋が工事中に陥落したことがあつて水中に落込んだ鐵桁の取扱が出来なくつて困却した。幸に同橋梁下のセント・ローレンス河は水深が 200 呎(61 米)もあるから水中にある一萬噸許りの鐵材は其の儘にしてあるが紐育のノース・リバーでそんな事が出來たら航路が遮断され非常な困難をするであらう。

紐育では其の後外徑 42 呎(12.8 米)の水底トンネルを計畫して居る。此のトンネルは厚さ 3 呎(0.9 米)の凹凸附の混擬土塊で巻立てる積りで其の圓径が 36 呎(11 米)になる。之を上下に區分し上部は幅 24½ 呎(7.467 米)高さ 15 呎(4.572 米)、下部は其の幅は上部と同様であるが高さは 13 呎(3.962 米)である。上下二段で往と復とに區分け車輛の順序は右から左へ大速度、中速度、小速度の三車輛が並んで通行するものである。此の往復車道の側と圓周との間に殘る部分を往復歩道とし尙其の他に殘る部分を諸管類の敷設場處とする計畫である。

近來水底トンネルの工事施工方法が進歩して來て建設が容易になつたから各地に企圖されて居る。桑港とオークランドとの間に於いても長さ凡そ 6 哩(9.6 基米)複線鐵道用の水底トンネルを作らうと云ふ計畫がある。桑港側の長さ凡そ 2 哩(3.2 基米)は

普通の方法で作るトンネルでオークランド側の長さ凡そ 1 哩(1.6 基米)は水中にあつて上の開いた鐵筋混擬土の潜函を沈め其の次に水深 48 呎(14.6 米)のところまでの長さ凡そ 1 哩(1.6 基米)は沈埋式で作り残りの長さ 2 哩(3.2 基米)餘は水深く最深 78 呎(23.8 米)あつて堅坑を二ヶ所設けて壓縮空氣式の作業で施工するのである。堅坑の一は全く工事中の用に供し他の一は永存さるものである。トンネル部は直徑 19 呎(5.8 米)の雙眼鏡形複線鐵道用で總工費 36,000,000 圓、1 呎が平均 1200 圓(一米に付 366 圓)に相當して居る(第百三十八圖参照)。

世界大戰爭以前に於ける水底トンネルの工費は内徑 15 呎



百三十八圖

(4.572米)の鐵管式トンネルは每一呎 200 圓(一米に付 60 圓)、内徑 21 呎(6.400 米)のもので每一呎 300 圓(一米に付 180 圓)、内徑 30 呎(9.144 米)のもので每一呎 700 圓(一米に付 210 圓)であつたが中には直徑 18 呎(5.5 米)でも一呎が 1000 圓(一米に付 300 圓)に相當したものもあつた。

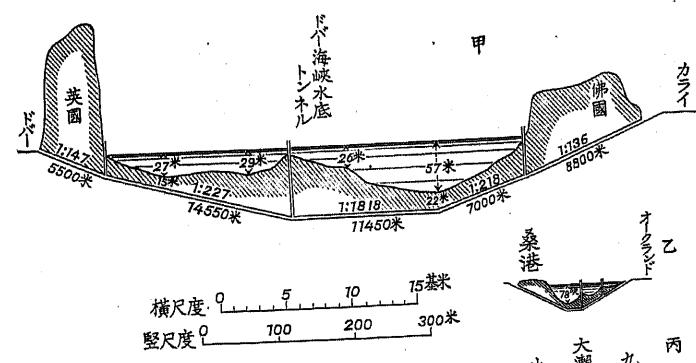
下に示すものは歐米に於ける實例であるが種々な事情があつて同一の割合にはなつて居らぬ。

場處	直 径	毎一碼の工費
Glasgow	16 呎	£ 85
St. Clair	20 "	,, 200
Hudson	18 "	,, 300
Blackwall	25 "	,, 380

第六節 英佛間の海峡トンネル

英佛兩國間にある Dover 海峡の水底にトンネルを作り兩國の鐵道を聯絡せんとする企圖は古くから傳へられて居る。今より七十年前に佛人トーメ・ガモンが計畫した事は既に緒言に述べた通りである。其の計畫の縦斷面圖は第百三十九圖甲に示してある。海底の地質が主として堊土質であつて工事は容易である見込であつた。海峡中央に小島を作りそれと兩岸に各一箇づつの豎坑を穿ちトンネル線は深いところで水深 187 呎(57 米)の下に土覆 72 呎(22 米)あつて施工方法は既に述べた第一の方法即裸掘である。當時は目論見だけで實地に着手はしなかつた。第百三十九圖乙は既に説明した米國桑港オークランド間の水底ト

第一百三十九圖

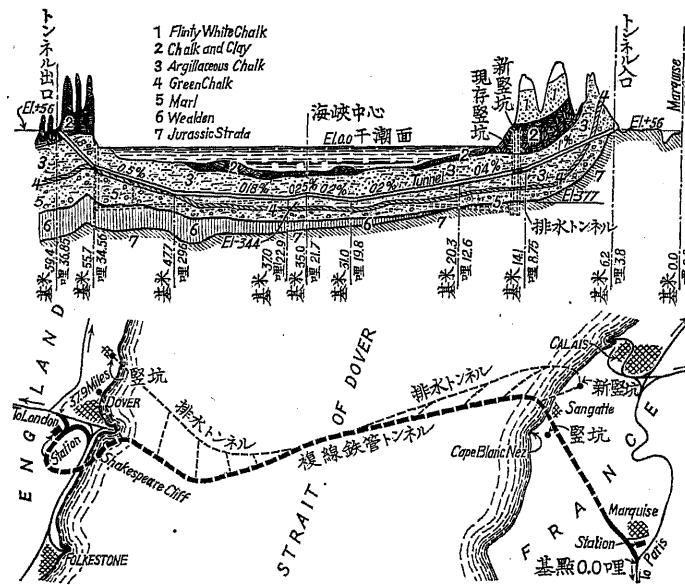


ンネルで第百三十九圖丙は本邦山陽九州を聯絡さすべき下關海峡大瀬戸の水底トンネル目論見線の縦断面である。參照便宜のために甲乙丙を同一の尺度で畫いてある。甲は水底の長さ凡そ 20 哩(32 基米)乙は 3 哩(4.8 基米)丙は 1 哩(1.6 基米)である。

Dover 海峡トンネルは其の後 1874 年には愈々工事を實施するまでに進んで來て試験掘を英佛兩國側から進めて長さ 1 哩(1.6 基米)も導坑が掘れたが英國側で軍事上に關する故障が出来て中止された。其の後色々な設計が出來た。今其の一例を述ぶれば水底トンネルが佛國側に達した後は直に佛國鐵道に聯絡させずに線は迂廻して地上に出て佛國海岸に長い棧橋を作つて其の上を經過しなければ佛國鐵道に聯絡出來ない事にする。戰時必要に迫つたならば英國軍艦で其の棧橋を擊毀して交通を絶つことの出来るものであつた。

最近の設計は第百四十圖にある平面圖で示す通り線路が曲つて居るのは地質堅牢で水を透さない白堊質の Cenomanian 層

第一百四十圖



(Dense Uniform Argillaceous Chalk) を貫ぬくためで此のトンネルの排水のために別に排水トンネルを掘るので其の位置は縦断面圖に示す通り本トンネルより下に穿たれて居るが地質は本トンネルと同一の層を取るために平面圖で見れば横によつて居る。良地質の位置の白堊層が北東へ傾斜して居るからである。湧水を汲揚げるための豎坑は英國側と佛國側とにあつて軍事上必要の場合にはトンネルを浸水させて仕舞ふ事が出来る様になつて居る。其の浸水した場所で長さ 1 哩(1.6 基米)だけの水は英國側にあるポンプでなければ汲揚げる事が出来ない仕掛であるのみならずトンネルから英國側へ出たところは Dover の砲臺の目前に線路が敷設してあつて何時でも破壊させる事が出来るから英國に於いては大陸よりの侵入軍を防禦すること

は容易である筈である。

トンネルは中心距離 70 呎(21.3 米)に置かれた内徑 20 呎(6.1 米)の往復二條の鐵管式で 600 呎(183 米)毎に兩條が聯絡されることになつて居る。水深の最深いところは 160 呎(48.7 米)でトンネル拱と海底との間に 150 呎(45.7 米)の土覆がある。工費は 160,000,000 圓。工事期限七ヶ年、電氣鐵道運轉によつて收支相償ふと云ふ計算である(Eng. Record Nov. 25. 1916. Le Génie Civil Oct. 21. 1916 参照)

第七節 下關海峽トンネル

本邦に於いても山陽九州の兩鐵道線を如何にして聯絡せしめようかと云ふ問題は相當に長い間研究された。Forth 橋の成功やら Quebec 橋の計畫又は製鐵事業の進歩から下關海峽早鞆の瀬戸上に架橋するがよからうと云ふ説もあつた。其の大きいさは Quebec 橋と伯仲で一徑間凡そ 1800 呎(550 米)のもので調査を始めた頃は橋下水面迄 180 呎(55 米)もあれば宜しからうと云ふ事であつたが其の後間もなく戰艦扶桑が出來た其の艦檣の高さが海面上 210 呎(64 米)であつた更に橋を高く設計する必要が起つて來た海面上凡そ 250 呎(76 米)の位置に軌條を置くことが必要となつて來た。此の高さまで列車を上下させることは運轉上多大の損失であり又橋梁は保存上ベンキ塗替だけでも中々容易でない。Forth の橋では 85 人の塗工が橋の一方から塗り初めて行つて一順塗終るには三年餘掛る。すると又初めから塗直しが必要となつて年中塗通しである。前に述べた通り機關車列車重量の激増するあり飛行機爆弾投下もあり軍事上に於いて

も考慮を要すること、なつた。時に明治四十四年(1911)著者が實地踏査の結果山湯九州兩鐵道の聯絡は水底トンネルに依るべきものであるとの調査書を鐵道院に掲出してから問題となつて其の調査が進行すること、なつた。當時は其の可能を幾分疑つて居つたものもあつたが近頃は地質の實地調査までも出来上り實施せらるゝの日も遠からざることであらうと思ふ。著者が大正二年(1913)に歐洲巡回後の關門聯絡トンネルに就いての調査報告の要旨は大正八年(1919)業務研究資料第七卷二號、鐵道協會々誌第二十卷頁323—330にも出て居るが今其の聯絡線

第百四十一圖



の大要を述ぶれば下關停車場の西方山陽線 328 哩附近から西方へ分岐して小瀬戸を越え彦島を縦断して田ノ首附近から大瀬戸の下を抜けて九州の赤坂信号所附近までは水底 1 哩(1.6 基米)兩取附き各 $1\frac{1}{2}$ 哩(2.4 基米)合計凡そ 4 哩餘(6.4 基米)のトンネルで聯絡するので門司へは通せず直に小倉の方へ通するのであるから

九州が近くなる譯である。山陽線の分岐點から九州線の聯絡點まで長さ凡そ 7 哩($11\frac{1}{4}$ 基米)である。地質調査の結果によれば大瀬戸は田ノ首方面に岩石があるが南方海底は砂利層である。此の邊の水深は深いところで 42 呎(12.8 米)であつてトンネル拱上の上覆は凡 30 呎(7 米)もあるから軌條面は海面以下凡そ 100 呎(30 米)になる。トンネルは二條の鐵管式で壓縮空氣作業で施工さる、筈である。施工期間は着手後三ヶ年乃至五年であらう。