

摘 録

土 木

伯 林 地 下 鐵 道

(Berlin Subways, by Arthur Faerst, Engineering Progress, Jan., 1920.)

世界何處の都市に於ても其の地下鐵道隧道工事が獨逸の首府の夫れの如き異常の困難に出遭つたものはなく、又恐らく技術家と請負人とが此の困難に首尾よく打ち克つて最後の成功を収めた點に於て伯林に及ぶものはない。

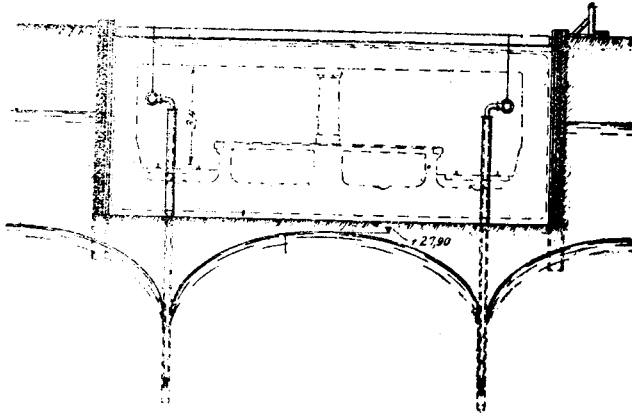
世界最古の而して最大の首府倫敦が、都市間聯絡高速地下鐵道の先鞭をつけたのは不思議でない。併し倫敦は乾燥した粘土性の下壤 (sandsoil) の上に建てられたものであるから、列車の運轉すべき隧道の工事に甚だ好都合である。従つて其の工事も比較的容易であつた。バリと紐育とは其の地盤が岩石だから最良の採鐵法に依つて之を爆破して工事をする事が出来た。然るに伯林の下壤は隧道工事に最も不都合なものである。伯林は全體軟弱な砂地の上に建てられたもので、且地下には水流が沿々として縦横に貫通してゐる。大概の場所では數碼掘り下げると濕氣を含み砂となり、之が爲に堅坑を掘る事が甚だ困難となり、高價となる。

多年有數な技術家達は斯かる土壤に地下鐵道を通ずる事は、全然不可能であると云ふ説を有つてゐたしかの伯林下水道の巧妙なる設計者ホーブレヒト氏も其の排水管を敷設すべき堅固な基礎を設定するのに非常な困難を感じた。氏が伯林市街

の地下鐵道建設を可能と考へるや否やと問はれた時に斯かる企畫を爲すほどの勇氣ある技術家はあるまいと思つてゐたのである。斯くして此の名聲ある技術家の意見は久しい間恰も鐵扉の如く高速鐵道界の進路を閉塞した。併しながら輸送の増大に伴はれて是非とも交通の新局面を案出しなくてはならなかつた。されば最後に件の鐵扉を開いて地下に輸送の動脈を通ずるやうになつたのは獨逸技術家の科學的訓練に因るのみならず、又其の企業的精神に因るものである。第十九世紀末に於て地下鐵道建設の爲めの會社が組織せられ、茲に該會社は伯林の下壤が地下鐵道の建設によく堪へ得るものであると云ふ事を實證したのである、會社は特に最も不都合な場所即ちマルクの大低地を流れるシュプレー河の下に線路を敷設する事にした。斯くして最初のシュプレー河隧道は郊外のトレプトウシシュトラールアウ間に建設せられ、市街鐵道は今日に至るまで之を使用してゐる。種々の大困難に打ち克ち浸水の爲に屢々工事に支障を來した後、遂に隧道は竣成した、今日では何人も伯林の街下に地下鐵道敷設の可能なる事を疑ふ者はない。ジーマンス・ハルスケ會社は卒先して伯林を輸送上の困難から救出したのである。

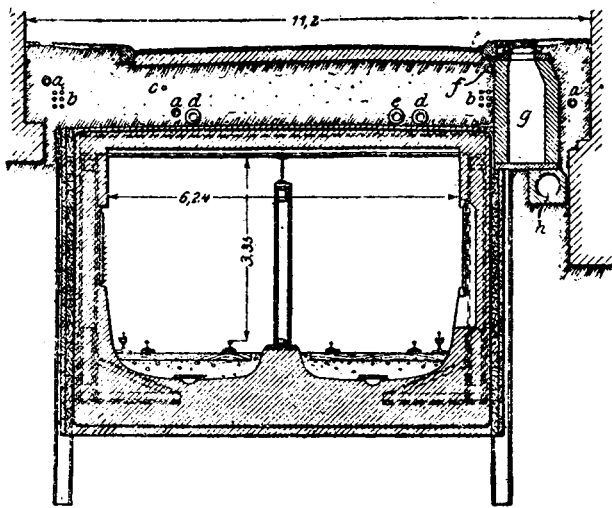
市街の隧道工事

伯林市街々下の地下鐵道工事の開始と同時に起つた問題は下の通りである。



地下水水面の下降

- (一) 成るべく横の支材を少くして坑の垂直壁を造ること
- (二) 坑には地下水なきやうにし、以て隧道を乾燥せる土壤の中に造ること。

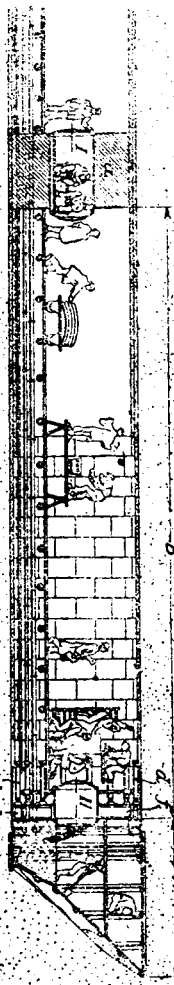


ニ-アルリアル街を過ぐる隧道、街幅僅に三十六呎

- (三) 地下水の浸入せざるやうに隧道を完全に且永久的に防水的ならしむること。
- 街幅の狭隘なる爲め砂質の土壤に必要な角度まで坑壁を傾斜させる事が出来なかつた。唯だ出来るのは垂直坑壁のみ

て、而して此の壁を堅固に永久的に支へおかねばならなかつた。此の問題は簡單に思はれやうけれども之でさへ種々の困難が伴つて多額の經費を要したのである。

最初坑の支材として大なる木材の板を互に密接させて坑の縁に嵌め込んだ。板には尖端と溝とがあつて互に嵌まり込むやうにした。勿論此の板は可なり厚く、之を嵌め込んで交互に密着させるのは面倒で嫌な而して危険な作業であつた。其の音は極めて不快で、杭を打ち込む時は附近の建物の基礎を振動させることもあつた。クライスト街及タウンツイエン街(本工事の始めて行はれた廣い市街)では實際基礎破壊はなかつたけれども、上記振動の爲に附近の市街線のアスファルト舗道に損傷を來し而して附近の人々は毎日間斷なく打續く



證金として十萬馬克を供託するの已むなきに至つた。是等は出生後幾もなく企業に取つては難工事であつて、一時は全く絶望の姿であつた。
併し此の十萬馬克は遂に拂ひ戻され、會堂の建築には少しの損害をも與へずに其の隅を廻る事が出来た。
之は木材板の代りに鋼工字桁を採用し、且廣い間隔をおいて數多の工字桁を打込む事に依つて可能となつたのである。
改置せられたる構杭 (Pile planking)
此等の工字桁は木材よりも強い打撃に堪へ得るので其の打

騒音及家屋の壁床の振動に就いて苦情を云つたのも決して無理はない。

工事が進捗して、宏壯なカイゼル・ウイール・ヘルム記念教會堂の間近から該會堂の大なる杭をよけて進まなくてはならぬ場合に至つて、従前の通りに杭の打込を續行するの不可能なる事が判つた。初め當局は此會堂の脇に隧道を穿つ事に全然反對した、蓋しタウンツイエン街に於ける經驗は餘りに失望すべきものだつたからである。請負人は工事進捗の許可を得んが爲めに會堂の建築に對して十ヶ年間の保證を與へ、且保

込も遙に迅速である。而して其の間隔が遙に廣いから此等の作業に要する時間は大に減るのである。坑壁は工字桁の突縁と突縁との間に大きな板を水平に滑り込ませたもので支へられてゐる。之に依つて連續した壁が出来るのである。此の方法は好結果を奏し、今日でも一般に適用されてゐる。伯林の最も繁華な市街に何の支障もなく隧道工事が行はれ得るのは此の方法の力である。
此等工字桁は打込の作業を撻取らすのみならず、横の支承の數をも省かせる。大概の場合では頂上に一個の支承があれ

論 數

ば工字桁を支へてゐるに十分であらう、然るに垂直の木板だと之を定置しておくのに多くの材を規則正しくおこななくてはならぬ。斯く水平の支承が澤山あると隧道の壁が出来上りつつある際に甚だ妨碍となる、蓋し隧道の壁の支承が入り込んでゐる箇所は孔を残しておかなくてはならぬのである。而して支承を取り去つた後で此等の孔を防水的とする事が殆ど不可能だと云ふ事が判つた。今日では隧道竣成後此の工字桁を地中に残しておく必要さへない。即ち此等を特殊の機械で引き抜き、再び使用する。之に依つて建設費は一哩に付約五萬六千馬克づゝ節約される。

垂直壁を有する坑を造るよりも更に困難なのは之を乾燥しておく事である、之は伯林地で鐵道建設に於て真に最も緊要な問題であつた。古い良法に従つて濕地に隧道を建設する事が出来たかも知れぬ。斯かる場合には坑の擁壁と擁壁との間の砂を浚深し、坑の底部に水を残しておくやうになるであらう。次ぎに混凝土の層を敷き、之を乾燥させた後で水を唧筒で汲み出し、次ぎに壁を造り、而して最後に隧道の屋根をつける事になるであらう。

併し此の方法に據る場合には坑の板壁を全く防水的にしておかなくてはならぬ。然るに工字桁や板では之は不可能であつた。加之、全結構の安否の係つて存する隧道の最重要部分即ち基礎が、建設中検査の行き届きさうもない部分、即ち水中で築かれる事にならう、故に隧道の基礎には缺點を含む譯で夫れが発見される時分には最早取返しのかかぬやうになつてゐる。斯かる事情があるので、設計者は濕地に於ける建設を避けて新方法に據る事にした、此の方法は後に伯林隧道建設法と云はれ、他の諸地方にも採用されて好績を擧げた。

唧筒に依る隧道工事

此の方法は請負會社が地下水を飲用水に利用しようとする事から起つたものである。大都市の水道は、近年地表水を飲用に供する事を避け、今日では大概鑽孔から供給してゐる、而して給水量を十分ならしめる爲に鑽孔を甚だ深くし、強力な吸揚唧筒と聯絡させる。扱て此等唧筒の強い吸揚に依つて唧筒附近に廣く通つてゐる地下水の水準が著しく下降すると云ふ事が判つた。其の理由は水が河や湖水に於けるやうに唧筒に向つて自在に流れて來ないで砂地の中の細い水路を通つて徐々に浸透して來るからである。之に依つて水の流れる速度は減るのである。

若し吸揚唧筒の働きが非常に速いと柵杭を少しも使はずに砂地の中に乾燥した低地が出来る、唧筒の働が止むと再び水面が直ぐ高くなるが、其の働いてゐる間は乾燥した砂の小片が出来、即ち濕地の中に無水の島が形成される譯である。伯林市街の隧道工事には此の方法を適用した。掘鑿すべき隧道坑の全延長に通つて鑿孔を穿ち、此等の鑿孔を一個の共通の吸揚管と聯絡させた、而して此の吸揚管を又有力な唧筒に聯絡させた。此等の唧筒を數日間働かせた後（水は十分遠方へ送つて）砂の乾燥した深さ及幅が、作業に適するやうになつた。斯くして坑の開鑿を續け得るやうになり、乾燥した地面に垂直壁を造り得るやうになつた。勿論建設期間（此の期間は時としては數年に亘る）に唧筒の働が中止すれば直に坑内が洪水となるからである。斯かる場合には建設の基礎に甚だ有害な影響を及ぼす。最初は下填の排水も亦家屋の基礎を狂はせはしないかと懸念された。併しゲーヂの細かな濾過器に

依つて砂を唧筒に入れぬやうにしたので下壤が動いたり、従つて又建物の基礎が沈下したりする事がなかつた。既に二十餘年も此の建設法が行はれてゐるが、壁や天井の龜裂で地下水々準の下降に因るものと認められるものは少しもない。これほど確實な方法は外になく、又經濟的なものもない、即ち一哩當り經費は濕地に於ける建設費よりも約四十八萬馬克も少いのである。

防 水

第三の問題は、隧道石工の防水であつた。此點に於て請負人は一八九四年並に一八九五年にブダベストに於ける歐洲大陸の最初の地下鐵道建設に依つて大いなる經驗を得てゐたのである。ブダベストの隧道も亦一部分地下水の水面以下に建設されたものである。そこで請負會社は數種の高價な複雑な方法を試みた後遂に瀝青を滲透させた大なる板紙を幾層も用ひて成功した。會社は伯林でも同一の方式を採用した、即ち此板紙を三層又は四層にして各隧道は防水的となつたのである。伯林の隧道は時としては水面から數碼も下方にあるが此の方法に依つて内部は完全に防水的となつてゐる。勿論此の紙を用ふるには細心の注意を要する。即ち紙の層と層との間に少しでも間隙があつてはならぬ。若し然らざれば水は多孔狀の混凝土を透して隧道の中へ入る。防水を施すに方つては一平方吋と雖も豫め細心に試験しなくつてはならぬ。其の他此の方法の長所としては隧道を完全に電氣的に絶縁する事である。伯林隧道工事の當初の難關は斯くして通過したけれども此の不都合な下壤にも或る長所のある事が判つた。即ち土壤の濕度が高い爲めに深い所に水平の隧道を建設する事が困難となつたので、出来る限り隧道を舗道の直下に建設する

事にした。當初他の建設法を考案しつゝあつた間は倫敦の例に倣ひ、地下に深く入り停車場プラットフォームへのアプローチとして深い昇降機坑 (lift well) を設けなくてはなるまいと思はれた。倫敦地下鐵道は實に優秀なもので、未だ曾て重大事故と云ふものがない。併し百呎又は百五十呎も地下に入ると云ふ事は決して氣持のいい事ではない。一旦事故が起れば恐るべき悲劇を生ずるのであらう。然るに伯林の隧道は常に外界と直接してゐる。すべての停車場プラットフォームは日光が階段を通して直射するやうに設計されてゐる。驛と驛との間隔が短少なるにも拘らず其の間の隧道壁には諸所に非常口があつて、階段を少し昇れば地表へ出られるやうになつてゐる。即ち地下に幽閉される懼れもなく又通孔が所々にあるので隧道が煙で密閉される事もない。

伯林地下鐵道の技術が如何なる程度まで進んでゐるかは圖で判る。街幅僅かに三十六呎なるニールツアル街の下に内側の幅二十呎の隧道が通つてゐるのである。或る箇所では工字桁の杭は建物の基礎に殆ど接觸してゐる。此等基礎に於ける應力線は常に隧道壁を貫通してゐるので坑の裏裝を施しただけでは不十分で、垂直壁には掘鑿前に裝甲 (Armour) する必要があつた。

技術家等は大膽にも此の工事に取つかつたのであるが、彼等はこれならば大丈夫だと云ふ確信の下に仕事をせねばならなかつた。併し隣接家屋に何等の損傷を與へずに工事完成した。

河底の隧道工事

伯林を横斷するシュブレー河の河底に隧道を穿つ事になると上記の方法が特に困難となる事は明瞭である。茲に

空気をルーフ・シールドに入れることに依つて隧道工事は始まる。此の壓搾空気が砂地から濕氣を取り去るのである。次に作業人はスルース・チェンバーへ入る、該チェンバーの内では氣壓を徐々に高めて一平方吋當り三十封度までにするスルース・チェンバーの壓が此の點に達したとき、スルース・チェンバーの前方の隔壁を通つて作業者がルーフ・シールドの中へ入り、乾燥した砂を掘鑿する、砂は亦同様にスルース・チェンバーを通して運び出されるか、或は吸揚唧筒に依り管を通して運び出される。斯くして僅かな距離だけ隧道が出来ると、ルーフ・シールドの少し後方の所に第二のスルース・チェンバーを造る。此の二つのスルース・チェンバーの間の隧道の部分も亦一平方吋に付三十封度の壓力に保たれてゐる隧道の裏裝の仕上げは煉瓦にせよ、鑄鐵環(cast-iron ring)を繼ぎ目の所で釘打したものにせよ、兎に角隧道の此の高壓部で行はれる、隧道へ入るのはスルース・チェンバー(一)(圖参照)の氣壓が高壓部と同程度まで高まつた後で、作業者が高壓部を出る時にも同一のスルース・チェンバーから出る。そこで該チェンバーの壓は漸次減少されて大氣と同壓まで下降されるのである。

此の方法に依つて諸所に隧道が出来たがこれは技術家竝に勞働者にとつて甚だ不快なものである。壓力の下で長い間作業すると云ふ事は屢々健康に害がある、材料及人がスルース・チェンバーを通るには時間がかかる。掘鑿すべき砂を他の方法で取除くとなると唧筒の裝置を複雑にしなくてはならぬ。

加之、隧道を河床よりも非常に低くしておかなくてはならぬ、若し然らざれば壓搾空気が河床から噴き出す。之が爲めに又非常に長いアブローチか或は急勾配のアブローチを要す

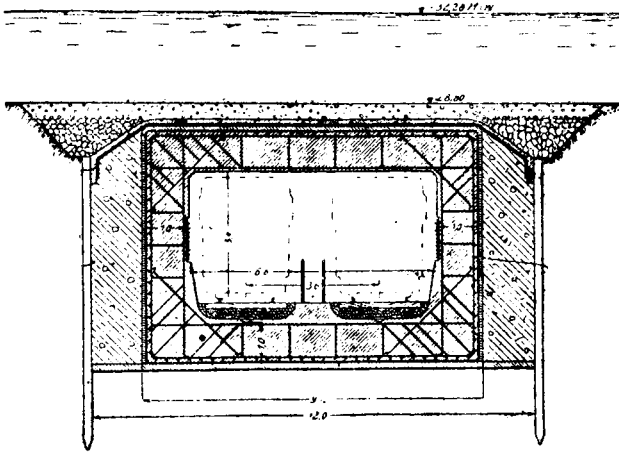
るのである。故に自然他の一層便利な隧道工法を熱心考案するやうになつた。斯くしていよいよ案出されたものは、市街下隧道工事に對して好成绩を擧げた地下鐵道建設法を修正したものである。即ち唧筒で地下水の水面を下降させ、斯くして高壓室に於て作業するの必要なからしめたのである。

河底に於ける被覆地下鐵道 (covered subway)

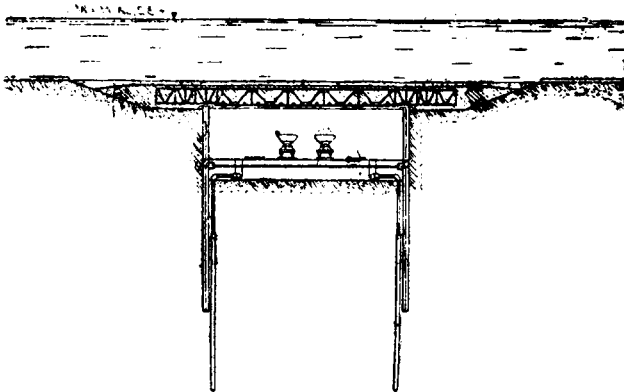
シユブレ河に於て始めて上方から隧道を敷設して成功したのはシユピツアルマルクトとアレキサンデルブラツツとの間である。此處は河幅が廣いので長い期間其の半ばだけ塞いでも水量が餘り減らず、水上運輸が不可能となるやうな事はなかつた。併しこれだけでは十分でなかつた。竝に於てシユブレ河の特性を巧みに利用することとなつたのである。仕事の順序は次の如くである。河の一方の岸から河の半途まで直角に堰を突き出した。此の堰は矩形の樋即ち船渠を爲し、其の幅は建設すべき隧道よりも幾分廣い。堰の壁は木の板を二重に並列させたものである。兩壁間には粘土を詰めて水が入らぬやうにしておく。堰の中の水を唧筒で汲み出すと一種の乾船渠が出来、其底はシユブレ河の底となるのである。

隧道は河床の下に造られるのでから隧道其物の建設はこれから始まるのである。河の流水を平常通りにしておいて河床の下に乾燥した基礎を造ると云ふ事は確かに容易な仕事でない。若し伯林市街の街下で試みた方法を依然使用したならば堰の内側の部分が唧筒で乾燥されるばかりでなく、附近河床下の部分も亦乾燥するであらう。水が汲出されて出来た乾燥した斜傾せる低地が堰壁の外の河水の流れる部分の下に出来るであらう。

併し斯かる事情の下に於て、全河水を唧筒で汲み出さずに



シュブラー隧道の横断面、シュヒツテルマルクト—アレキサンデルプラツ線



ヤンノウイツ橋附近アー・エー・ゲー (Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft.) の企業に属する高速線のシュブラー隧道建設。鐵筋混凝土を敷きたる下にて隧道坑を掘鑿す

どうして作業する事が出来るか、蓋し一般には地表水と地下水との間に何等定まつた區分がないからである。概して兩者は互に混滑してゐる。シュブレー河も此の通りならば作業を繼續する事が出来なかつたであらう。蓋しシュブレー河全部の水を乾燥しようと思ふやうな者は一人もないからである。併し幸にも河其の物が此の困難に打ち克ち得るやうに出来てゐた。

此の河の河床は一の層で被はれてゐて、該層は全く水が滲透しないやうになつてゐる。斯くして地表水と地下水とが完全に別れるのである。幾百年間に多量の植物性及動物性物質が地中に込み、河底附近の緩漫な流れの中に集まり、脂肪質の昆布のやうなものが出て來て、其の厚さは三呎餘りとなつて一滴の水も通らぬやうになつたのである。此の層の上の水は恰も別の容器にある如くに流れ、其の下の地下水は地表水と何等の聯絡なく流れてゐる。故に爲すべき仕事としては、普通の方法で柵杭の内側に鑽孔を突ち、之を吸揚唧筒と結合し唧筒を働かせる。これで河の下に無水の低地がいよゝゝ出來たのである。次に柵杭の内側の既に乾燥した泥の層を引き上げて砂質と下壤に達したのである。爾後隧道工事は市街に於けると同様に進行し、唯だ一層深い場所で行はれると云ふ違ひがあつた許りである。

シュブレー河隧道の前半の工事は、何の事故もなく鉄筋混泥土で間もなく竣成し、河の中央なる一端は一時厚い頭壁 (head wall) で之を閉じた。出來上つた半分の隧道は之を砂で被ひ堰を壊し、而して河は再び其の元との河床に復歸したのである。併し間もなく第二の堰を對岸から突き出し、而して該堰を前の完成した隧道の先端の周圍に突き出したのである。

摘 録

再び地表水を唧筒で汲み出し、鑽孔を穿ち、河床を掘整し、斯くして隧道の後半を前半に結び付けたのである。

事 故

萬事都合よく行く筈であつたが、或日シュブレー河が堰の内に氾濫した、同時に堰の内側の出來上つた隧道の一部は流されて、非常な長さ交互つて失はれてしまつた。

これは重大な事故であつた。其の爲一時全事業の成否が覺束なくなつた。併し請負會社は其の大手腕を發揮して斯かる大事故のあつたにも拘らず、工事を竣成したのである。壊された堰は短くし、河岸までの部分は其の後何の故障もなく竣成した。但し對岸から出てゐる一半とは未だ結合させなかつた。そこで第二の堰を取壊した後、恰も鳥のやうな第三の堰を河の中央に造つた。これは勿論最初の計畫にはなかつたのだが、此の堰の下で隧道の兩端を結合した。此の難工事は首尾よく成功し、今日該隧道は全く浸水の憂がない。

シュブレー河々底隧道工專の別法

ヤンノウイツツワイゼン橋下に於てシュブレー河底横斷の計畫が論議された時に上述の方法を再び之に適用すべからざる事が判つた。即ち先の場合では河が甚だ廣かつたが今度は甚だ狭く、然も此地點の水運は極めて頻繁である。従て一時河の半を堰で歩めると云ふことが不可能であつたからである。

然も工事を更に小分して行ふことはシュビツデルマルクト隧道の計畫に徴して餘りに危険のやうに思はれた。此の問題に就いて幾多の計畫が出た、併し最後に定まつた新方法はアルグマイネ・エレクトリチテーツ會社及びジーマンヌ・ウンツ・ハルスケ會社の技師が其力して案出したものである。

此の新方法の目的は水運を亂さないやうに成るべく水路の

妨碍をしないといふ點にある。而して隧道の大部分を河床より下に造るに方り河床より上方には流水を妨げるものゝないやうにする必要があつた。

此の目的を達する爲に河床の上に混凝土の堅い被ひをした其の下に岸から岸へ隧道を穿つ事が出来た、而して一方水運は其の上なる水路を全部使用する事が出来た。

これには先づ第一建設すべき隧道の線に沿ふて岸から岸へと河床の中へ樋を嵌め込んだ。樋の縁と縁との間は建設すべき隧道の外側の幅よりも少し廣く、而して欄杭 (Sheet Piling) を以て裏付をして置く。此の欄杭は潜水夫により河底と同面になるやうにオキシヂェン・パーナーで燃き切られる。而して短い間隔を取つて強い工字桁を横に置く、斯くして出来た水中の鋼の格子の上に混凝土を一面に敷く。此の混凝土が乾くと河底に堅固な鐵筋混凝土の屋根板が出来た。其の下に隧道を岸から岸へ掘鑿するが其の前に先づ吸揚唧筒で地下水を排除するのである。之に都合好くする爲に混凝土の屋根板をおく前に河床に鑽孔を穿ち、而して此の鑽孔を一時栓で塞いで置く。掘鑿作業の間に此の栓を次ぎ／＼と外づして河岸なる唧筒装置と聯絡するのである。

最初水力方面の技術家は此の工事に就いて懸念してゐた。蓋し混凝土を敷くのは水中であるから従つて混凝土がよく定著しないからである。又水平の桁が垂直の欄杭の上によく附着して其の隙間から水が浸水せぬやうにする事が出来るかどうか大問題であつた。此の防水整合を爲す爲に麻の褥を挿入しておいた、此の麻が其の上に懸る重量によつて壓せられて防水的となる。經驗に依つて此の方法の防水的となることを知つた。河水が餘りに浸水しないやうにして混凝土の下の

隧道坑の水を唧筒で汲み出す事が出来た。今日では此の隧道は見事に竣成してゐる、故に此の新規の大膽な工事は十分確實なものと云ふてよい。

河川隧道工事は更に進歩せり

シュブレー河の下の第三の隧道は、南北線のフリードリヒ街に於けるものである。此の工事は或る程度までワル街に用ひた方法とヤンノウイツ橋で用ひた方法とを併用したものである。茲でも亦河底に被覆を試みたが、それは水中ではなく、此の目的の爲に造られた三つの堰の内側で三つに區劃して行はれたのである。被覆は木造の欄杭の上に木板をおいたものである。此の廊下の内側に普通の方法で隧道を掘鑿して其の上で河水が平常通りに流れてゐた。

併し取り壊したワイデンゲル橋を再造する必要があつたので此の隧道の建設には更に困難が伴つた。此の隧道は元の中空でない橋臺を横きつてゐるから従つて該橋臺を取外さなければならなかつたのである。元との古い四本の各橋臺の代りに隧道の兩側に二本の混凝土脚を建てた。隧道其の物は橋梁の重量を少しも受けてはならぬから二本の強力な混凝土脚上には、隧道を跨いで鋼を組合せた帽子を取つた。四個の支承(其の各は可なり大きい橋を成す)は斯くして橋の結構其の物を支へるやうになるのである。

伯林高速鐵道は今後間もなく更に發達するであらうが、建設者は新たな幾多の困難に出遭ふことであらう。之は今日豫言し得る限りでない。併し上述の如き當初の困難に比較すればそれは此の大規模の計畫を阻碍する程大なるものではあるまい。(鐵道省業務研究資料)