

## 参 考 資 料

土木學會誌 第十六卷第十一號 昭和五年十一月

## 軟弱地盤の基礎工事に應用せる化學的固結法

(Bernhard, Versteinung loser Bodenarten im Grundbau,  
Der Bauingenieur, 1930 Heft 11/12, 14. März, S. 202-208.)

地下工事・冷凍工業株式會社が特許を獲た、基礎工事に於ける軟弱地盤の化學的固結法は最近2年間實地に應用し非常な好成績を納めてゐる。

この方法の眼目は水中であらうと無からうとその如何に係らず、砂層内に或る種の藥液を注入し、之れを任意の厚さ又は廣さに、恰かも1個の砂岩層のやうに固結してしまふのである。其の藥液としては次の2種のものを使用する、即ち第一液は珪酸溶液で、第二液は或る種の鹽類溶液である。而して注入された之れ等の溶液は地中に於て化合し膠質珪酸を生成し、之れ等が砂層中に殘溜し層全體を固結するのである。即ちこの新に生成された珪酸はその土質中の石英砂粒を集め結合し、1個の硬い水に溶解しない塊として凝固するのである。藥液の注入は注入鐵管に依つて高壓の下に固結せんとする軟弱地盤中に壓入する。之れ等の注入鐵管は高級鋼管で25耗の内徑を有し、末端は尖つてをり、其の下部には數多の小孔を穿つてある。施工法は先づ第一に約50糎の間隔で穿つた注入孔に依り固結せんとする所定の深さまで注入する。この第一液が注入後地中に充分浸潤した後、今度は第二液を鐵管を抜き上げ乍ら順次階段的に注入する。斯くして固結された土塊はコンクリートを損傷するやうな酸類に犯されることなく、且又相當大きな荷重に充分耐え、工事中又は後に於ても、その周圍で地層の滑出、崩壞等を招くやうな危険を充分防ぐことが出来る。又一面には固結された地層は水の流動を妨げるから防水作用の役目もすることになる。或は又斯の如く唯單に軟弱地盤を固結することが出来るのみならず、この兩液は内部奥深く浸入し、その組織中の間隙を盡く充填密閉し得るため、透水性の擁壁、覆工、其の他のコンクリート建造物を單時間に水密性にすることも出来る。この種の水密施工法は礦山又は隧道工事に於て以前から研究されて居たことであるが、その際膠灰の組成分を分解したり、或は又その成分元素と化合するやうなことはないことが充分證明されてゐる。膠灰乳の注入の困難な箇所即ち膠灰は極く細微なコンクリート中の割目等には容易に浸入し得ないが、この溶液は水の浸入し得る所ならば如何なる場所でも浸入し得ることは有利な點である。従て如何なる間隙、割目でも充分密閉し得る。鑛山では堅坑掘下作業の際、堅坑枠や覆工の裏側の砂層等の固結又は水密施工法に應用してゐる。指頭程度の噴出水孔ならば直接に溶液を注入して防遏することが出来

る。更に又古い建築物の裝飾のやうなものでも、風化を防ぐためこの溶液注入に依つて保護した例がある。

固結した地層の強度は勿論土質の性質に依つて決する。普通の微粒砂ならば $10\sim 30\text{kg/cm}^2$ の應壓強度を有し、小砂利ならば $49\sim 90\text{kg/cm}^2$ の應壓強度を有する。固結した土塊の立方體を以て行つた撓曲試験では、微粒砂の場合は最大應撓曲強度は $20\text{kg/cm}^2$ であつた。

次に土木工事の種々の方面に於ける此の固結法の實地應用した實例を掲げて説明して見やう。應用範圍は先づ次のやうな部類に分けられる。

#### I. 基礎地盤の強固工事

#### II. 基礎工事中の水密作業

#### III. 建造物の水密施工法

#### I. 基礎地盤の強固工事

之れは特に危険性のある建造物を保護するため或は地層の滑出、崩壊を防ぐのを目的としたものである。然し乍ら斯の如き基礎地盤の強固工事は一面又新建造物の基礎工事ともなる。次にこの固結法を應用して完全に成功した2,3の實例を掲げて見やう。

(1) 伯林循環鐵道の Jungfernheide · Gartenfeld 間の支線の新建設工事の際の Spree 河橋梁の舊橋脚の下部に直接施工した。此の外に擴張工事として深さ3米の橋脚を壓氣式で沈下する際、橋脚沈下作業中舊橋脚下の地層が滑出又は崩壊するのを防ぐため、豫め下部砂層を藥液注入に依つて固結した。附圖第一はこの防護工事を示すものである。之れと同時に鐵道橋や地下道の工事にも同じ施工法が既に數回實施された。

(2) 伯林醫科大學眼科教室の新築工事の際、藥液に依つて固結された壁は長さ16米、幅4米以下のもので、Monbijou 橋梁の橋臺の保護を目的として施工した。この橋臺の底部は夫れより8米距つた潜函式施工の橋脚の底部(7米×16米)より13米だけ淺い。従て新舊基礎は約60度の勾配面上に掘り下げることになる、そのため新橋臺の潜函作業が深部に進むに従ひ、舊橋脚には非常な危険を及ぼすことになる。従てこの兩者間の地層が滑出又は崩壊を始めるのを防ぐために、兩者間の土質を化學的に固結せしめ、1個の防護壁を造つた。この防護壁の底部は橋臺の基礎底部より12米深い位置とした。従て固結法は深さ25米の箇所、長さ16米の區間施工した、而もこの防護壁の建造には僅かに3週間しか要しなかつた(寫眞第一及び附圖第二参照)。

(3) Königsberger の新停車場構内の支柱新設工事にも次のやうな方法を執つた。最初普通の基礎工事として先づ鐵筋コンクリートのものを建造したが、其の後建設箇所の荷重状態が工事中變化したため、之れを補強する必要が起つた。そのため其の下部の砂利層を約100米の區間附圖第三に示す様に化學的に固結せしめた。その結果新基礎は既設のものゝ約2倍

の幅となつた。注入作業は地下室から施工したので、深さは約 2~2.5 米位のもので済んだ。斯の如くして 7 週間内で約 1 000 立方メートルの土質を固結した、その結果、其の部分の許容荷重は地下深部の地層のものを遙かに凌駕する程度のものとなつた。

(4) Havel 河岸の Spandau では或る住宅の建築工事でコンクリート杭工と化學的固結法とを同時に施行した。地質としては元來支持力のある地層はあることはあつたが、この層が急角度で Havel 河の方に傾斜して居り(附圖第四参照)、この層(玉石混り砂利層)の上に厚さ 2~2.5 米の泥質砂層が發達してゐる、之れは遅かれ早かれ滑動して建物を危険に陥れることは確かなものである。上部には泥炭層が發達してゐるため、杭工は Michaelis-Mast 式を採用した。建物の中央隔壁の下部では泥質砂層を貫きその下盤の良基礎まで到達せしめた、街路側の下部では泥質砂層厚さ 2 米、100 平方メートルの廣さを固結した。従て街路側では杭工はその固結盤まで到達せればよいので、17 米の長さの處を 9 米で済んだ。斯の如くしたお蔭で土質上の荷重は  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  に分割することが出來た。固結土塊の周圍及び厚さはポウリングに依つて確めた。その結果長さ 19 米、幅 5 米あり、地下水面下 9 米の位置にあることが解つた。詳細は Deutsche Bauzeitung 1928, Nr. 5 を参照されたし。

## II. 基礎工事中の水密作業(化學的防水法)

化學的に固結した軟弱地盤の強度が大きくなつた爲、(I)の項に述べたやうに基礎工事に於て力學的に利するところがあるといふ點のみならず、砂粒組成分に無關係に多少とも不透水度を高めるといふことが出來る。従て之れに依り基礎の根掘作業中水密性にすることは可能である。而してこの方法ならば作業中底部を水密性にするために何等煩しさが伴はない、例へばその上部の土質を除去するとか、或は又地層中の平衡、又は成層状態の如きものを少しも擾すことなく、極く簡單で的確な土工上の唯一の施工法である。固結地層の上部には固結作用に因る持上りに對する平衡荷重として、適當に乾かした眞土を所要量だけ盛土する。之れは他の施工法例へば地下水面降下法の際矢板工間の土質を掘下げて大急ぎで仕事をやる場合とか、或は又地下水面降下法に依らず、唯單に豫め土質を浚深した後、この中にコンクリート工を急造するとか言つた場合に比し、決して輕視することの出來ない重要な意義を持つてゐる。次に化學的防水法といふ點に關しこの方法の施工實例を掲げて見やう。

(1) この方法の最初の而も最も大規模な應用は、Düsseldorf 市の新水力電氣工事の集水設備中の導水管の水路工事である。この管は Staad 河の最低水位下 1.5 米の位置にあるため、その延長約 600 米區間その底部に固結法を應用した(附圖第五参照)。舊導水管は Rhein 河沿ひの地下水を集水する設備で、同河から 25~30 米の距離の箇所 1 個の井戸から僅かに 8 立/秒しか波上げ得なかつた。従來の開渠式の施工法であつたならば、導水管を設置すべき水路の底部を平水時の地下水面以下まで下げ、夫れに依つて地下水吸収管の位置が最深箇所

で地表面下 6.5 米まで下げることが出来るやうなことは全く望み難いことであつた。之れは全くこの水力工事の技師長 Lang 氏の功績であつて (Gas und Wasser, 1930 Heft 2-4 参照), 化學的防水法のお蔭で、水路の底部を 2 米だけ深く下げることが出来、その結果集水量は最少の場合としても 30 立/秒にも及ぶことが出来るに至つた譯である。斯の如くして Rhein 河沿ひ 500 米の區間に 25 個の井戸を設け、その結果 Rhein 河の水位、従て地下水面の位置が最低の場合に於ても毎日 65 000 立方米の水を集めることが出来た。然るに舊式の施工法では同量を集水するためには 50~70 個の井戸の設置を要し、殆ど 1 000 米近くの水路を掘らなければならぬだらう。

1929 年の夏、その工事を完了し、その目的を遂げることが出来たのは、全くこの化學的防水法にすべてを負ふべきであらう。尙附圖第五、寫眞第二及び第三で各部分の狀況は判然と觀取出来ると思ふ。

(2) Hannover の市營水力電氣の Berkhof の發電所の工事中、附圖第六に示すやうに地下水面下 3.70 米の箇所に、厚さ 1.50 米、底面積 10 米×22 米の固結盤を矢板工の間に建造し、夫れに依つて外面を水密性にせる鐵筋コンクリート工を完全に設置することが出来た。尙固結せる地層の上部には 0.66 米の厚さの眞土を盛り固結盤の持上りを防ぐ荷重に當てた。

(3) Zäckerick に於ける鐵道線路の暗渠延長工事の際、その底部を防水するため附圖第七に示すやうに 5.60 米の深さだけ地盤を固結させた。當初は地下水を締切つて盤の掘下げを行ふと試みたが、うまく行かなかつた、然るに固結法を應用した結果はこの建造物の基礎工事を完全に遂行することが出来た。

(4) 次に特筆しなければならぬことは流砂性地層中に於ける坑道又は豎坑工事に於けるこの方法の應用である。尤も今茲に直ちに眼覺しいやうな經驗を掲げることは出来ないが、小範圍ではあるが此の方面に於ける工事施工法の發達を促すやうな試みは從來屢々行はれてゐる。特許所有者は既に地下水面下數米の深さに、1.75 米×1.75 米四角の試験豎坑を何等支保工なしに掘下げた、即ち化學的に固結した四角柱狀の土塊を壓氣掘鑿機で削り取つて行つたものである。而も此の豎坑は數年間水密性を少しも變化しなかつた。之れに依つて見ても深豎坑の掘下げに應用することは可能である、即ち注入管を挿入するために坑底に穿孔し、之れより注入を施し、斯くして固結したものを掘下げ、又新に此の坑底に穿孔する、斯くの如くして漸次下部に進行するのである。尙又底部や側壁面のみを固結し中核部を未固結の儘殘留する方法も試みられたことがあつた。斯うした方法に依り Düsseldorf の水力電氣工事では、地下水面下に 1.8 米直徑の坑道工事に先ち約 2 米厚さの圓筒狀固結體を豫め築造した。附圖第八は之れを示す。之れに依り應用範圍が非常に廣域なものであることが解るだらう。

### III. 建造物の水密施工法

(1) 透水性のコンクリート並に煉瓦巻覆工は、兩藥液を交互に注入することに依つて完全に水密性にすることが出来る。此の種のものゝ一例は Bergtechnik 1929, No. 10 に掲載されてゐる。Düsseldorf の水電工事では、内徑 6 米、深さ 18 米で、坑底に厚さ 1.50 米の鐵筋コンクリート工を施した舊掘井戸の下部の締切りを行ふことになつた（附圖第八参照）。處が之れが水密性でないことが判り、400 立/分の漏水のあることを示した。而もその漏水箇所は地下水水面と坑底との中間部にあることが判つた。注入孔は覆工の 1/2 位の深さまで鑿岩機で内面から穿孔し、この中に長さ 30 纏の瓦斯管を挿入し、その周圍に楔を打ち込んだ。而してその鐵管には T 管を以て 2 本の護膜管を結合し、この兩者は 2 種の藥液槽に連結してゐる（附圖第八参照）。藥液の注入に依つては勿論速に漏水を防ぐことが出来た、而も半径 3 米の圓形覆工の表面は更に一層水密にすることが出来た。斯くした注入孔が其の間水密作用のため 28 個穿たれた。之れに依つて漏水は 1 立/分に減退された。藥液の消費量は適當の限度を超えないやうに取扱はれたから、費用は非常に尠くて、而も効果は著しいものであつた。この事實は該施工法のこの方面に於ける應用の經濟的價値を明かに證明するものと言へやう。

(2) Wintershall 株式會社では、Rhön 鑛山の加里鑛の灰汁拔工場に於ける水密施工に關する工事を報告してゐる。この工場では堰堤に依つて 75 氣壓の下に流出して來る  $1\frac{1}{2}$  立/分量の飽和食鹽溶液を湛ふることになつてゐるが、この堰堤を固結法に依つて完全に水密性にした。その結果堰堤内部は勿論、堰堤と鹽類液の打當る壁面とは常に乾いた状態に保つことが出来た。

(3) 又該會社は Sachsen-Weimar で、深さ約 550 米の豎坑の水密施工に、この固結法を應用して成功したことを報告してゐる。元來この豎坑の覆工の裏面側からの湧水は嘗て膠灰注入に依つて防遏したものであるが、夫れでも尙 3~5 立/分位の漏水が覆工管の繼目や螺旋銜等からあつた。之れを今度藥液の注入に依つて完全に防水することが出来た。

以上で大體主な實例を掲げた譯であるが、この化學的固結法の最も著しき特徴は軟弱な土質地盤でも（膠結法は概ね岩盤中の割目を充填し、防水以外はあまり成功しない）充分固結することが出来るといふことである。加之、この方法の特點として次のやうな事實を列挙することが出来る。即ち

1. 藥液は直ちに凝固し、膠灰乳の如く時間を要しないから間斷なく繼續的に施工し得ること
- ..... 行けること
- と

3. 固結作用は永続性であるのみならずコンクリートに害ある酸類にも決して犯されないこと
4. 施工場所は乾濕の如何に係らず水中に於てすら可能なること
5. 何等地盤の動搖、地層の滑出、崩壞等を伴はないこと
6. 作業場は狹隘で充分事足り、且又注入は側面から斜に注入管を挿入して施工し得ること、或は亦壁を貫き小さな孔を穿ち夫れに依つて注入管を挿入し得ること

唯固結法が應用出来るためには石英砂粒を含んでゐなければならぬ、然し粘土を混じ、多少不純であつても差支へない。純砂利質の場合では應壓強度は  $90 \text{ kg/cm}^2$  位に達し得る、然るに微粒砂であると  $12 \sim 20 \text{ kg/cm}^2$  である。固結作用の施工距離としては約 25 米位の深さである。

(渡邊 貫抄譯)

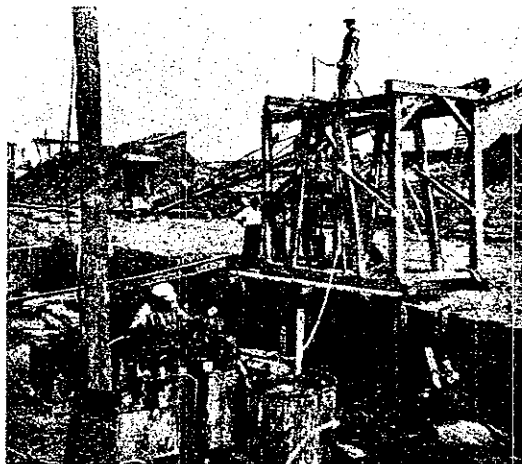
寫眞第一 伯林醫科大學眼科教室に於ける工事



Monbijou 河橋梁の橋臺の側の 25 米深さの注入鐵管

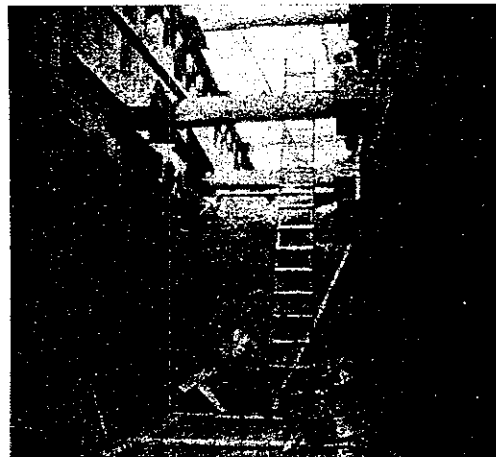
(土木學會誌第十六卷第十一號寫眞)

寫眞第二 Düsseldorf 水電工事に於ける  
集水水路工事薬液桶と注入設備



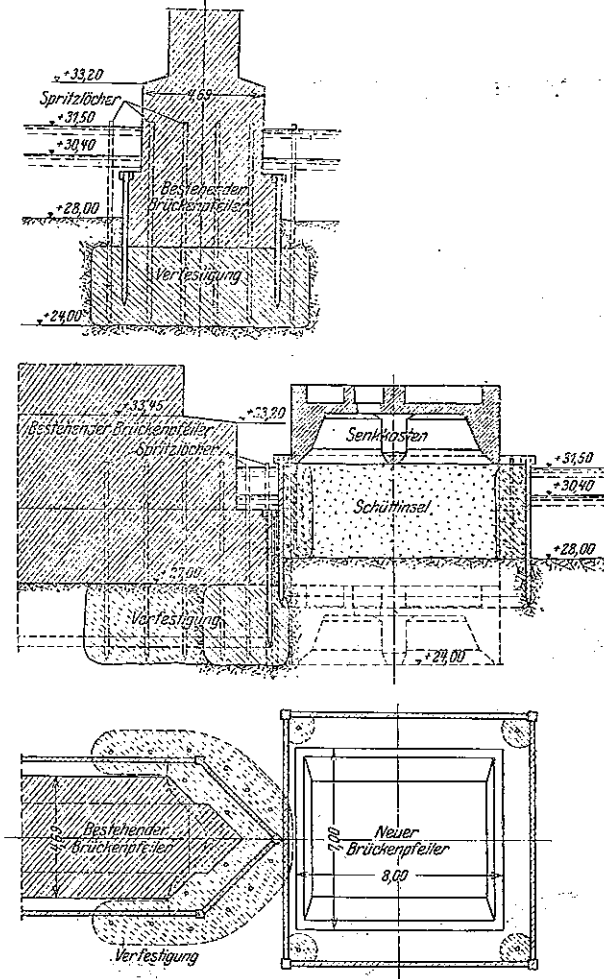
矢板工裏面の水密作用のため注入作業

寫眞第三 同 上

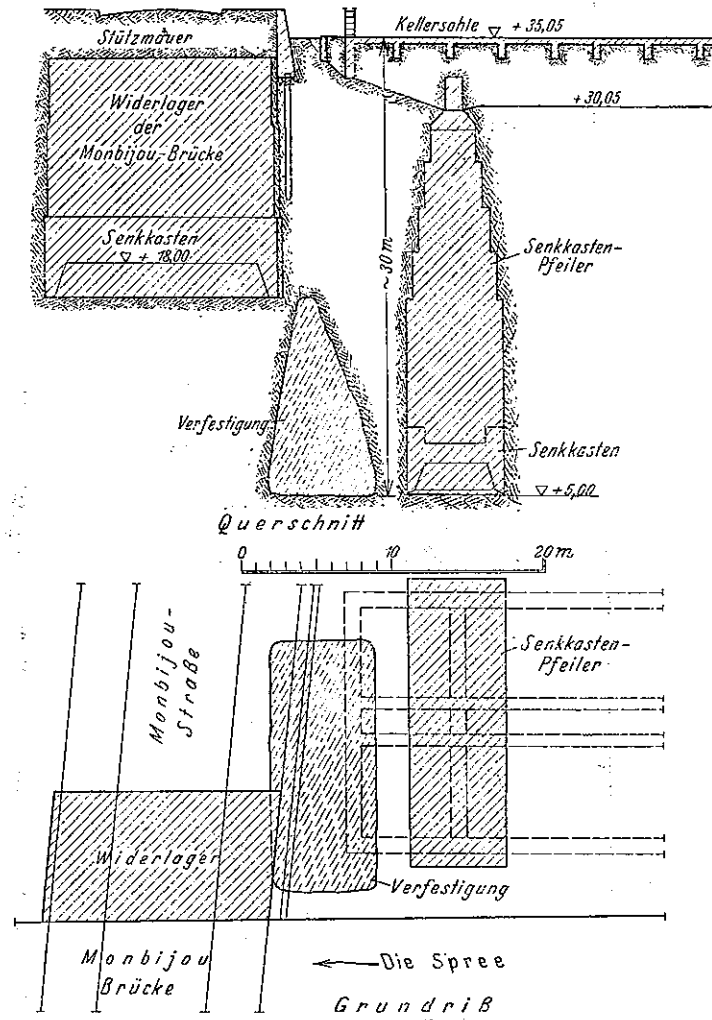


水路の鐵筋コンクリート工底部、前面は根掘  
の下半部のため豫め固結せる地盤

附圖第一 Spree 河橋梁に於ける化學的固結法  
に依る地盤強固工事

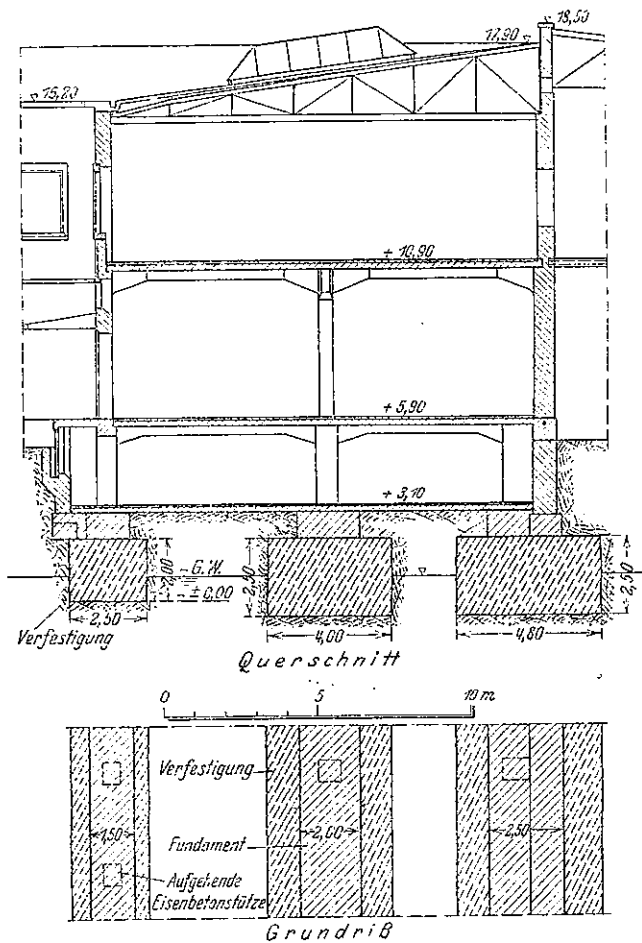


附圖第二 Monbijou 河橋梁改築工事に於ける  
化學的固結法



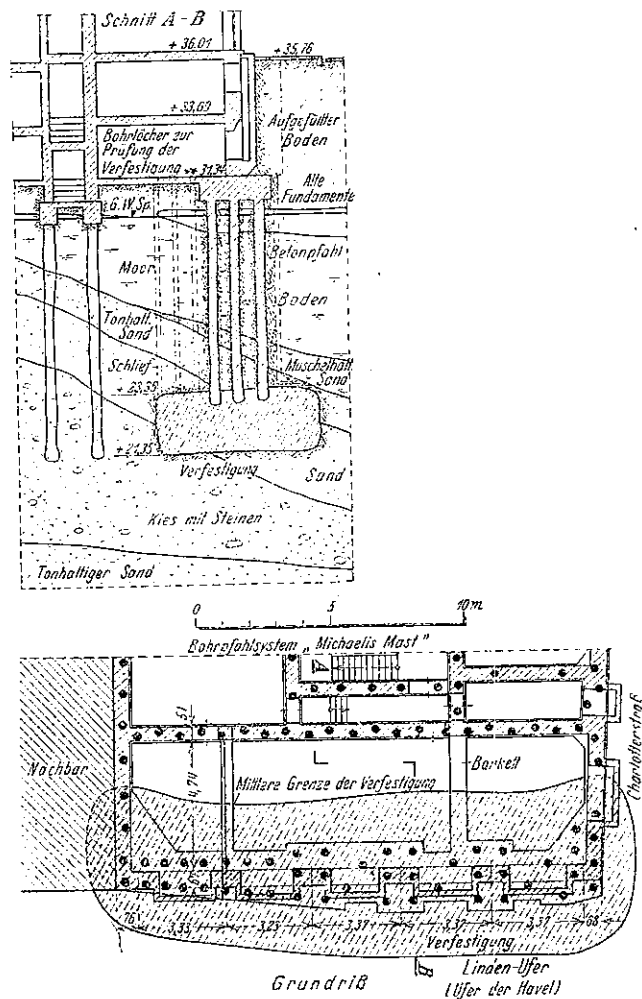


附圖第三 Königsberger 新停車場構内の支柱新設  
工事に應用せる化學的固結法

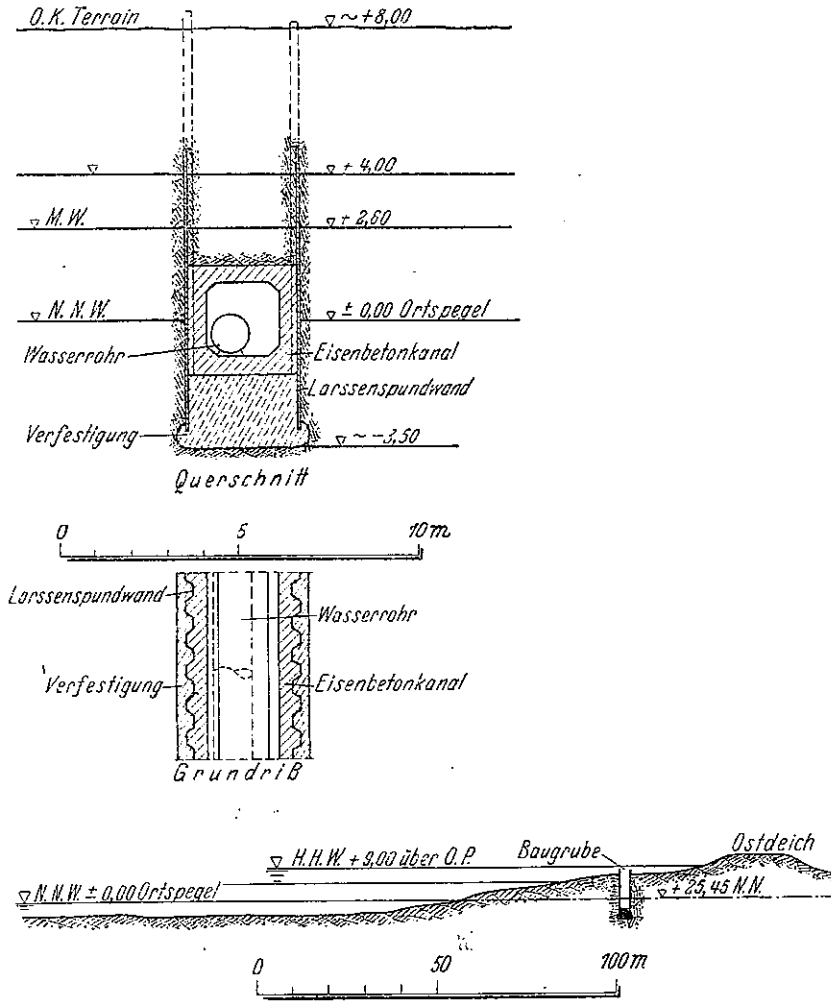


(土木學會誌第十六卷第十一號附圖)

附圖第四 Spandau に於ける住宅の建築工事の  
基礎に應用せる化學的固結法

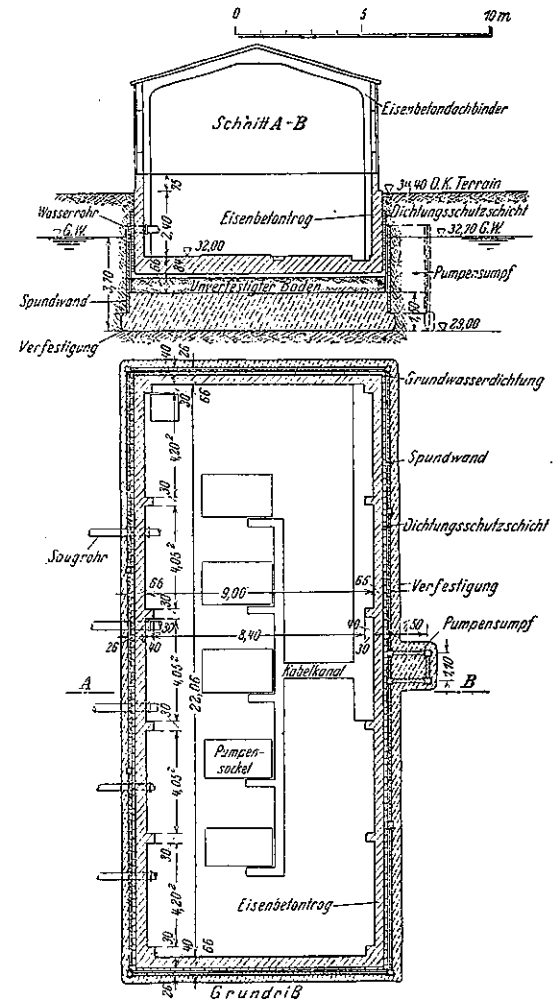


附圖第五 Düsseldorf 市の新水力電気工事に於ける集水設備中の  
導水管水路工事に應用したる化學的防水法

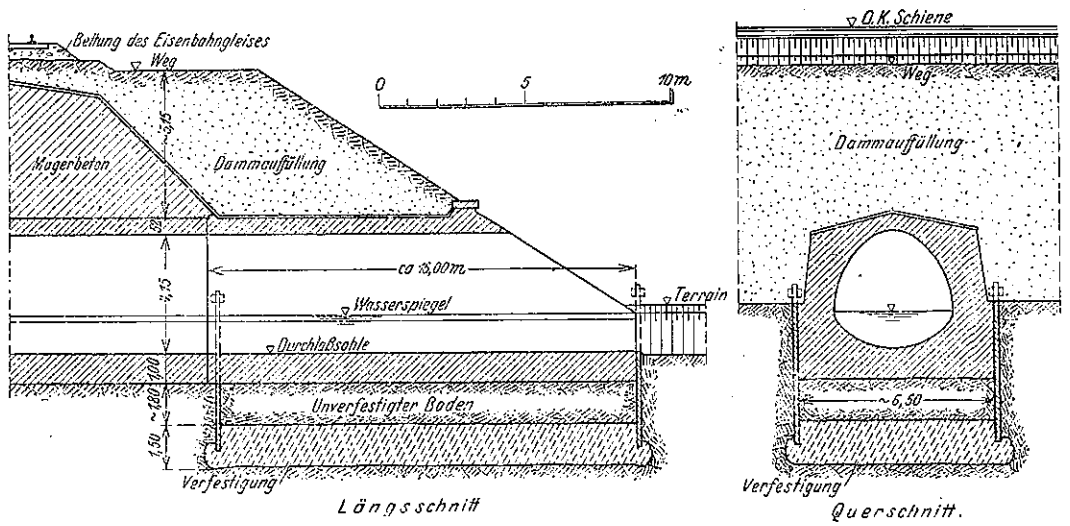


(正) 土木部 附圖 第十六 附圖 第十一 附圖 第五

附圖第六 Hannover 水力工事に於ける  
Berkhof 唧筒室の固結作業



附圖第七 Zäckerick に於ける鐵道線路の暗渠延長工事に應用せる固結法



附圖第八 Düsseldorf 水電工事に於ける固結法

