

資 料

軟弱地盤上に於ける道路築造法

正会員 桑 原 清
副会員 中 村 正 夫 共譯

目 次

1. 軟弱なる地下地盤上に於ける道路築造法
(和蘭道路管理局)
2. 沼澤地に於ける爆破作業
(レオ・カザグランデ氏述)
3. ツエミン湖の沼澤地爆破作業
(エーリッヒ・ベンツル氏述)
4. 和蘭道路工事に就ての感想
(レオ・カザグランデ氏述)

1. 軟弱なる地下地盤上に於ける道路築造法

和蘭に於て軟弱なる粘土盤及沼地の上に築造せられたる道路の築造方法は原則的に次の 2つの工法に分類せられるのである。

- (A) 支持能力ある地下地盤まで砂を注入する方法
- (B) 特別なる基礎工事の上に砂を盛り上げる方法

此の 2つの工法に對する 1 例として 1938 年發行の「道路構造」の第 70 頁に J・H 氏の報告に依る次掲の略圖の中に解説せられてゐる。第 1 圖乃至第 5 圖は(A)方法に屬してゐる。

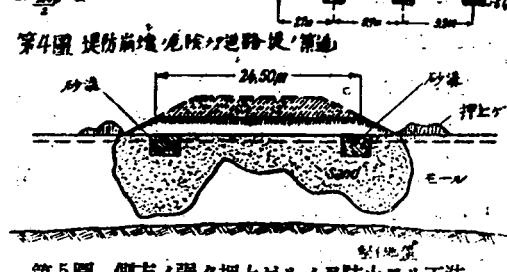
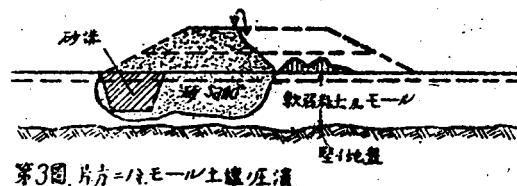
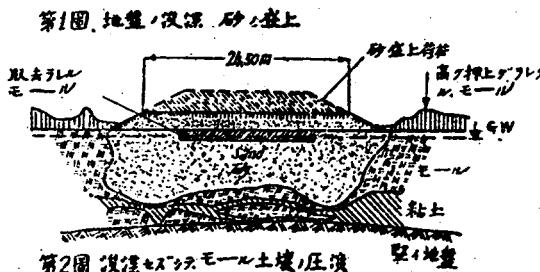
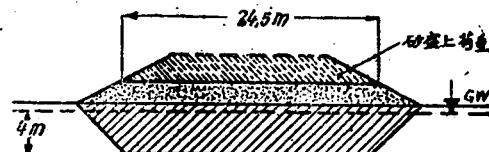
特別の位置的關係に即應にして沼地は砂を盛り上げる前に浚渫せられる(第 1 圖)或は盛り上げたる砂の重量に依つて第 2 圖及第 3 圖に見る如く除去せられる。獨逸にては斯様な場合の沼地土壤の除去は屢々爆破作業に依つて根本的に容易に爲す事が出來たのである。

粗朶敷或は支持杭は(B)方法に依る處の砂の盛り上げに對する基礎としては疑問の餘地がある(第 6 圖及第 7 圖)

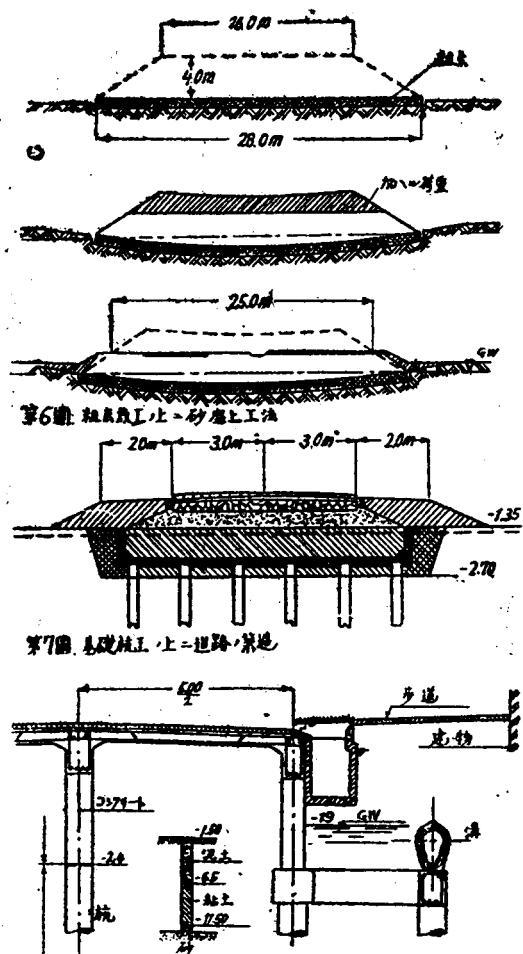
第 8 圖は支持杭の上に施工したる鐵筋混土構造を示し此の構造は小都市の道路を支持してゐる。

2. 沼澤地に於ける爆破作業

1. 概 説



数多くの廣大なる面積を有す沼澤地の存在の爲に獨
逸に於ける道路築造工事は屢々排除し得べからざる



第8圖 橋脚に於ける杭打基礎工

障害を賣られたのである沼澤地上に道路を築造した場合我々は之に對して長時間に亘る積載力を期待したり又幾分でも路面を平滑に保持せんと欲する事は望み得ないのである。

一般に從来は出來得る限り道路の沼澤地横断通過を避け、少々の不便は忍んでも大なる迂回路を採用する様にして來たのである。

獨逸國道工事に際しては沼澤地を迂回する方法或は横断する方法の2つの根本的方法が許容されたのである

る。

沼澤地を迂回して道路を設ければ、一方に於て貴重なる耕作地を犠牲に供する事は不可避である。又他方沼澤地なるものは國民經濟に對して殆んど無價値である故、沼澤地横断方法を採用する所以も茲に存在するのである。

此の軟弱地盤上に道路を築造する方法は時間的に手間取り、又此の地盤が非常に深い場合に於ては工事費が嵩むに至るものである。されば1934年「アウトバーン」建設以來實施せられて居る處の沼澤地爆破作業は特に建設技師長たるウシシゲル氏の撲まざる努力の結果、彼の大規模な先見の明ある獎勵に依つて彼の當時の實績から今日の如き完全無缺さるに至つたのである即ち換言すれば軟弱なる地下層をば迅速安全に且つ根本的に經濟的に排除してしまふ事の可能性を實際に示したものである。

沼澤地爆破作業に際しては成る可く厚い餘盛を有する道路築堤が問題の沼澤地上に盛り上げられ工事進行するに隨つて其の自重に據つて漸次軟弱地下層の大なる部分を排除する事が出來たのである。

此の築堤下の軟弱地盤の強度や、其の上に在る砂層の厚さの多少に應じて、適當なる爆薬(重量150kg迄)が築堤に據つて軟弱地盤を通して支持能力ある底部まで押し付けられるのである。

築堤の下側及兩側に於ける爆薬の配置に就いては茲では省略する事とするが専らに角部の爆薬の爆破に據つて沼澤地は完全に爆破せられ液化状態にするのである。築堤の横側に配置せられた爆薬は沼澤地の横方向の抵抗を破壊し又築堤の下側の爆薬の爆破衝動は築堤の頂部を更に上方に高く押し上げる。而して原位置に戻りたる頂部は其の大なる落下重量に據つて破壊せられたる沼澤地をばその兩側に向つて壓縮する。そこでこの置土は支持能力ある堅固な地盤迄到達するのである。(第1圖参照)

上記の如き工法に據つて此の道路築堤下方の埋留せる軟弱地盤は締め固められ今日迄の経験に依れば道路築堤が沈下を來すと言ふ様な有害現象を惹起する事は恐

らくないと思われる所以である。

数年前アウスツウブリッゲルにて、ベルリンアウトバーンの最高建設監督官によつて交通の高度なる發展に對する明確なる徵證がなされた。

沼澤地に於けるアウトバーンの盛土は斯くして爆破作業によつて著しく均性を保持し、支持能力ある地盤上に載り得るのである。

2. 説 明

地下の軟弱層を爆破に依つて排除すると言ふ考案は總べてアメリカ合衆國から由來して居る。アメリカに於ては此様な方法はすつと以前から道路工事に使用せられて居る。

アウトバーン工事に對する此の方法の意義が理解されたので著者はアメリカ式の工法を探り集めて、1934年の初頭に於ける獨逸の道路工事に之を適用する様に推奨した。

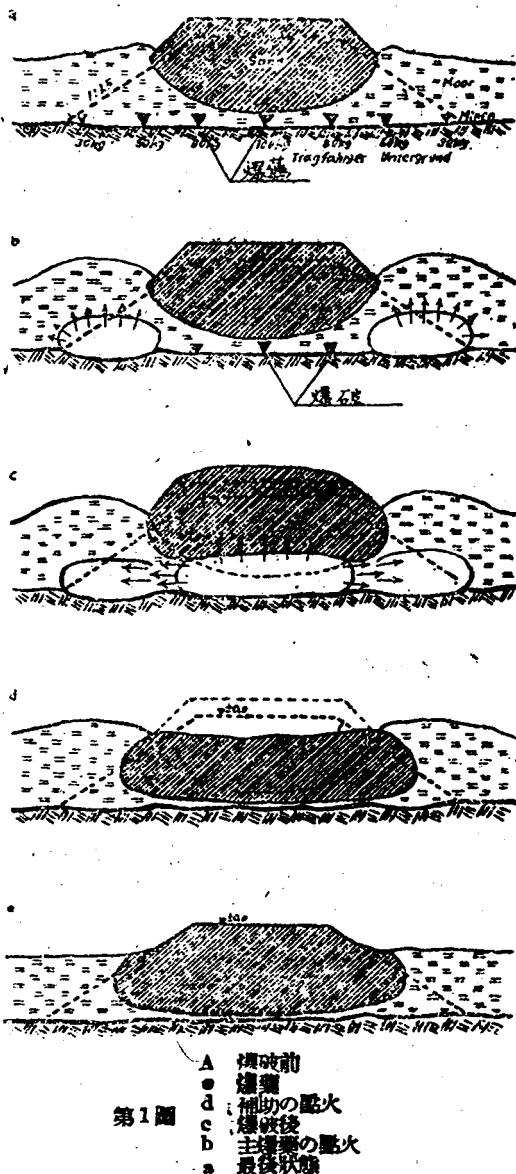
其後間もなくアウトバーン最高建設處のエルレン・バウヘ氏によつてウアトバーン工事に際しての最初の實驗が選ケーニツヒベルクに於て實施せられた。アメリカ式の手本によつて、2-3班重量の爆薬が渾山爆破孔に配置せられ沈下した道路築堤下の沼澤層は爆破によつて20-30米の斷片に爆破せられた。同様に相似たる研究が1935年初頭、ベルリンアウトバーン最高建設處の工事技術者レイーナッケ氏によつて實施せられた。アメリカに於て擔當せられるる爆破の實施はアトバーンに對して大規模でなく微々たるもので、それ自身不満足であり又決して充分に經濟的でない事が間もなく明確に解つたのである。

ボーリングは時間を多く要し且つ經濟的に高價であつた。即ち爆薬の裝填の收穫が煩雑で、裝填及燃點は仕事の進捗が長時間に亘る結果、更若間に亘つて酸性の水中に置かれ又沼澤地層1立方米當りの經費は3マルク或はそれ以上にもなつて、結局浚渫費と大體等しくなるに至つたのである。

此の如き認識の下に著者は該工法を提倡したのであるが、同時に是とは全く獨立的に獨逸道路總監部の政府監督員シユネール氏は壓縮水を利用して爆薬裝填を九

めたる型式で洗滌するに至つたのである。

ベルリンの火薬會社及潜水會社と共同して、ベルリンのアウトバーン上級技術によつて考案せられたる洗滌器具はアメリカ式と異り大規模に且つ根本的に短時間に沼澤地爆破を遂行する可能性を與へたのである。此の洗滌器具を使用して最初に施工せられた工事に於ては排除された沼澤地土壤一立方米當り 1.5 マルク迄工費を節減する事が出來た。此の洗滌器を利用すれば



第1圖

火薬装填 150 斧に達する装填箇所を 5-6 時間内に洗滌する事が出来る。又他の洗滌器具が 1937 年ボレンスキーベル・シユーネル會社によつて考案されたが好結果を示した。

沼澤地爆破作業の新らしい根本的改善が最近に於てベルリンのバルテル會社によつてなされた。該會社は多年獨逸に於ける沼澤地爆破作業の根本的解決に貢献したるペルリン・ドイツアウトバーンの高級工學上技師ガーラス氏と共同研究した結果 1 つの洗滌器を製作したのである。

此の洗滌器の助けによつて洗滌孔夫は任意の大きいさの箱状のものの補填を 1-2 時間内で 30 米以上の深さ迄行ふ事が出来たのである。

3. 經済

最近洗滌器具は爆破作業を助長せしむる事によつて軟弱なる地下土壤除去の工費の大なる節減を可能ならしめた。即ち土壤の性質や深さ及び他の位置的關係に應じて沼澤土壤 1 立方米に付 0.4 乃至 1.0 マルクで排除する事が出来たのである。

極く最近ザールムントに於て實施せられた沼澤地爆破作業の總工費は、工事區間長 320 米に對して約 120,000 マルクを要してゐる。除去作業は沼澤除去土壤 160,000 立方米に對し 1 立方米當り大約 0.8 マルクであつた。

以前のアウトバーン工事に於て經驗した處に據ると浚渫による 8-9 米の深さの沼澤土壤の除去に要する工事

費は、一般に浚渫が可能なる限りに於ては該土壤 1 立方米當り 4-5 マルクであつた。よつて多量な軟弱質沼澤土壤の浚渫には爆薬が用ひられる事になるのである。是等の距離に對しては浚渫によると大約 250,000 立方米の沼澤地除去が必要となる。結局此の沼澤地爆破作業に依つて大略 100 萬マルクの節約となり、過去數年間に獨逸に於ては裝澤地及泥土約 200 万米を 500 萬マルク以上の節約費を以て除く事が出來たのである。

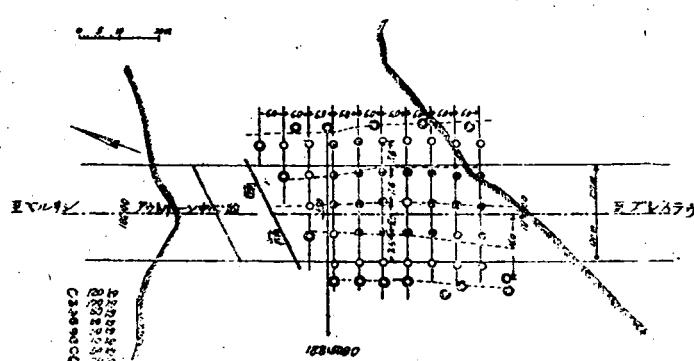
3. ツエミン湖の沼澤地爆破作業

1938 年版の「道路」の第五號に於て政府土木監督官カルル・シユネール氏はアウトバーンのペルリン-ブレスラウ工事區間のトイビツツに於て 1938 年 2 月 6 六日に實施せられたる沼澤地爆破作業に就いて簡単なる報告をして居る。此の際に於ける豫備爆破作業及主要爆破作業に依つて、更に別に 3 つの附加的の補充爆破作業が實施せられた。依つて茲でツエミン湖に於ける全部の爆破作業をもう一度簡単に描寫して見よう。

アウトバーンはペルリン-ブレスラウ間でペルリン-コットバス線鐵道の西方 300 米（トイビツツ-大ケーブ停車場間）の處を横断してゐる。穿孔工は道路を築造する前にツエミン湖をアウトバーンが横断する場所で實施せられ、此の湖水は此の横断地點で約 50 米の幅を以て東方に緩い傾斜をなして低湿地を形成してゐる。此の低湿地は侵蝕せる泥土や珪藻土で最も深い處でその全厚は 9 米である事を確めた。

又道路築堤を支持能力ある地盤上に築造する爲に約 15,000 立方米の侵蝕泥土、珪藻土を除去せねばならなかつた。此の土壤を除去する爲に盛土爆破作業を應用した。此の際にペルトン最高建設監督區域に於ては一般に深所爆破作業に依る普通の 3 つの方法で、其の作業を遂行する爲に (O) 型の方法を採用遂行した。

(O) 型参考一ペルトン「國民と富」書店發行ウーシングル・ガラス氏著の

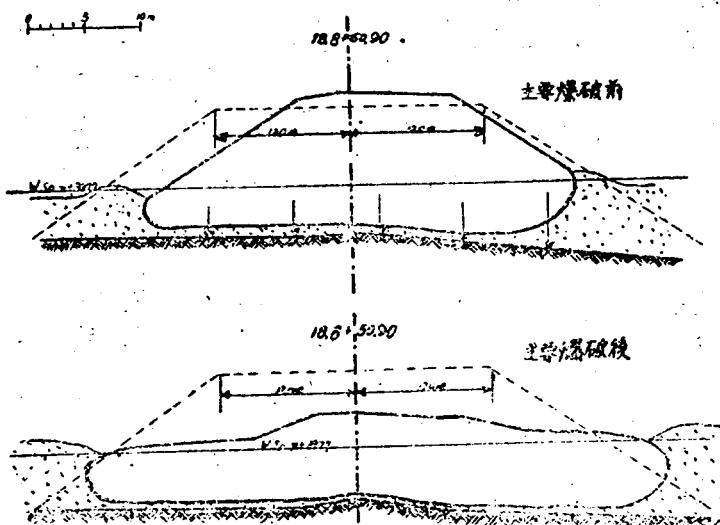


第 1 圖 ツエミン湖に於ける沼澤地爆破主要爆破用爆薬の配置を示す

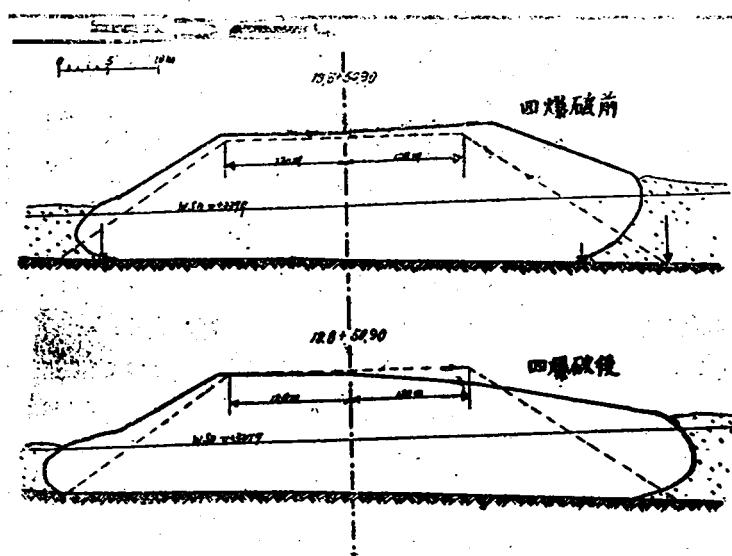
道路の本質より見たる研究論文「沼澤地盤破作業の経済性に就て」の第4巻を参照

即ち地面は築堤の方向に對して両側の溝迄土盛して仕上げられ、築堤の幅は其の両側に行はれた。

盛上げ工事進行中に築堤主體は均一に一定の沈下をした。そして軟弱なる土壠は約30パーセント排除せられた。築堤主體下方の軟弱地盤は溜める残餘の土壠を強く壓迫した。即ちこれによつて腐敗泥土及珪藻土は緻密にせられたのである。それで爆破孔は盛土築堤を貫き支持能力ある地下地盤の中に迄穿孔せられた。



第2圖 主要爆破前及後に於ける築堤主體の横断面



第3圖 最後の側方爆破(4爆破)前後に於ける築堤主體の横断面

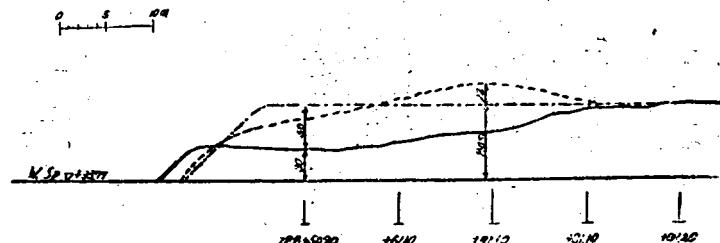
斯様な方法に依つて互ひに10米の間隔で5つの横断面が出来上つた。第2圖は横断圖1(18.8糸+50.9メートル)を示す。圖中の細線は+40.0メートルの築堤横断圖で築堤頂上幅は24メートル、法勾配1対1.5なる断面を示す。

穿孔は地上で豫め用意した爆薬或は主要爆破用爆薬45個(全重量2,490kgのゼラチンドナリット)に依つて支持能力ある地下鉄迄洗滌せられた。

爆薬の間隔は横断的に7.5メートル、縦断的に6.0メートル離れてゐる。爆薬の個々の重量は夫々20kgから120kg迄種々ある。即ち此の横断は第1圖を見

れば明白に分る。

爆破は最初に築堤脚部の爆薬に、次に1秒乃至2秒遅れて築堤中部の爆薬に點火せられた。斯くしてこれまでの経験に依つて腐敗泥土の膨張が促進せられた。即ち築堤の脚部の下方に空洞が生じ、その間に築堤中



第4圖 築堤の横断面主要爆破による築堤主體の変形の概略の位置

部の下方の軟弱なる土層が強く陥没せられるのである。爆破進行中に於ける築堤主體の排除を第四圖が解り易く示してゐる。

此の略圖は高速度撮影機に依つて仕上げられ尙之に概略的の補修を加へたものである。

爆破進行中築堤主體は2.3米高く押し上げられた、而して爆破前の施工基面より5.0米下方に沈下した。爆破後に検査ボーリングを爲した結果、築堤は40-50米の擴幅を受けたが、丸い角未だ支持能力ある地盤上に固着して居らない事が判明した。此の結果から更に徹底的なる別の3つの附加的爆破作業が實施せられたのである。

是等の爆破は大體に於て築堤脚部や主體に充分なる安定を與へた。

(第3圖参照)

爆破材料は總爆破作業を通じて總計5,910莊が消費せられた。築堤盛土量は36,000立方米に上り、腐蝕泥土は約15,000立方米に上った。

4. 和蘭道路工事に就いての意想

1938年シエヴュニンゲンに於て開催せられたる國際道路會議に於て和蘭道路工學の發達せる現状を知らしめんが爲め多くの見學旅行が行はれた。

會議期間中催された道路展覽會の陳列物は道路工學、水理工學方面の見學旅行に於ける感銘を特に深からしめた。圖面や模型等を手際よく配列し、その傍には材料試験や基礎工事に對する完備せる實驗所が設立され、専門の技術者が諸々の研究を展覽に供してゐた。

其の中でも人目を惹いた興味ある研究は各地方に於ける土工法に關する諸問題、例へば沼澤地に於ける道路築

造方法や又特に地質探査法の諸問題を提供したものであつた。

和蘭の西部及北部地方の大部分は沼澤地や軟弱粘土を以て被覆せられてゐる。其の支持路盤即ち砂層は深さ3.0米乃至20.0米の間に存在してゐる。

和蘭の土木技術者の報する所に據れば、該地方に於ける軟弱地盤に對する普通の工法は百年の昔から改良發達を遂げて來た結果の施工法であるとの事である。

以下(A)から(C)に述べる沼澤地に於ける築造方法は和蘭土木工學に於ける一般的觀察と其の施行法を紹介してゐる。其の他の土工法に關しては和蘭會議報告第6回に述べられてゐる。

(A) 深さ4メートル迄の軟弱地盤

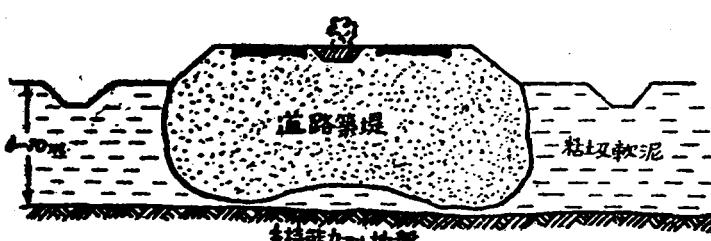
軟弱地盤の厚さは四メートル以上でないから、一般には之を一層にして除去する。之に對してはバケツ浚渫船が設置せられる。此のバケツ浚渫船はグラブ浚渫船よりも道路の長さにして100メートルも經濟的に働く。土砂は主として斜面によつて、扶壁が垂直に出來て居る運搬小溝を通つて運搬せられる。

(B) 厚さ4メートル乃至10メートル迄の軟弱地盤

軟弱なる地下層の厚さが4メートル乃至10メートルの間にある場合は、其の表層は約2分の1厚だけ取除かれ、其餘は道路築堤を盛土する事によつて排除せられる。側方の排除は大なる容量を有する側溝の設置によつて築堤脚部の兩側の箇所に輕減せられる。尚沼澤地或は粘土層にある残餘物は危険なきものとして看做される。完成せらる工事計畫の斷面略圖は一般的に第1圖に描寫されてゐる。

沼澤地に於て斜面勾配を有する普通の築堤を築造する事は雖々あるが、是は價値を有しない。より迅速に固定状態に達せしむる爲に築堤完成面より一〇メートル乃至二〇メートル高く盛り上げる。過剰なる材料は表層施行の初期に使用せられ又其の他種々なる事に使用せられる。

(C) 厚一〇メートル以上の軟弱地盤



第 1 圖

軟弱地盤が一〇メートル以上に達する場合はこの軟弱地盤を排除して土砂を填充する事は高價なる爲に断念せねばならぬ。二等、三等道路に於ては此の施工法は軟弱地盤が一〇メートル未満の場合に使用せられる。築堤の幅員及目的によつて約〇・五メートル乃至一・五メートルの厚さの粗粒度が使用せられ、それに土砂が差し込まれる。築堤全體が安定し平衡状態に達する迄慎重に且つ均一に注入せらる。

此の安定は一方に於ては地下軟弱地盤の排除により、他方に於ては粗粒度を緩めて或る程度堅材として作用せしむる事によつて目的を達する事が出来る。

和蘭の技術の報告に據れば基礎に粗粒度工を施した道路表面は年月の経過と共に、平坦さを失ふとの事である。就中此の構造は路面の長い波状化を防ぐ事は出来ないとの事である。此章の観點より斯様な道路にはクリンカーブロック又は瀝青注入砂岩を使用する。

軟弱地盤の排除に複数を利用する工法は數年前アメリカに就て試みられた。其の結果は満足なる成果を收め得なかつたので其後本工法に對する更に突き進んだ實驗は行はれて居ない。表装鋪装に於ては、數年來亞米利加式の此の表装處理法が良好なる結果を以て使用せられて居る。特に支持能力ある地下工事の建設に、セメントを以て安定固着する工法は、クリンカーブロックや、瀝青注入砂岩鋪装に對しては放棄する様に思はれる。

此様な基礎工事は實際上其の施工法に於て、セメント量を比較的大にすれば振動撓固を等閑視しても、コンクリート鋪装と同様に荷重に依る壓力を横に平坦均一に傳播分布せしめる利點がある。

3つの重量の異なる細砂(砂丘の砂)は費粘土質土壤と共に水を添加され、之を運搬する直前に1立方メートルに付10tのセメントを機械によつて混合し、平らな施工基面の上で振動撓によつて壓縮される。基礎地盤は壓潰せられて波状を呈するに至る故更に再び人手を必要とするけれども、取敢ず壓縮の初めに輥壓機も亦使用せられる。基礎の厚さは一般にクリンカーレイ15層、瀝青注入砂岩2層より成る。クリンカーレイは之に加へて5層の土砂床を有してゐる。道路築堤築造工事には純粹の砂が使用せ

られ、此の砂は地表で入手し得られない時には地下20メートルの深さが浚ひ採られる。砂(砂丘砂)は部分的にはほんの僅かに微細成分を持つて居るが、砂に粘土の特徴を附與せしむる程充分多量の微細成分を有する事は稀である。道路築堤には掲き固めを施さない。地下地盤が撓み易い場所では早く安定固着の成果を擧げんが爲に、輪盤を施して完成せられる。同様に橋台裏込の部分は掲き固めを行はない。裏込は橋台から約50メートル附近から徐々に軽い修理を施して踏み固めて安定固着し、コンクリート表装も亦クリンカーブロックで仕上げられる。交通を開始してから數前後に此等道路の區間はコンクリートに換へられる。

コンクリート鋪装は特に目立つて平坦であり、通過する際に横目地が感じられる様な事はない。目地間の距離は15メートル或は20メートルである。原則的に述べてのコンクリート鋪装には木釘が使用されてゐる(木釘は直径10mm、長さ45mmで25個間隔である)同様にコンクリート鋪装の縫石も木釘を用ひ、更に此の木釘は鋪装の上側や下側に適當に效力ある如く使用せられて居る。

非常に不良なる地下地盤の状態に對しては慣習なる考慮を拂つて臨むのであるが、それにも拘らず多かれ少なかれ處々に表層の不同沈下を生ずる。斯様な場合には直ちに公示をなし、其の道路支配者の管下の下に修理が行はれる。(これは亞米利加合衆國と同様である)

コンクリート鋪装に於ける此の不同沈下を緩める二つの方法は良好なる結果を收めて居る。其の一つの方法は鋪装面の中を貫いて多量の空気を吹き込み、乾燥せる砂を壓縮填充する事に依つて表層を隆起せしむる工法である。

もう一つの方法は粗粒砂約85パーセント、微細なる砂10パーセント、粘度(或はローム)5パーセントのセメントを用ふる方法である。

和蘭の道路築造工事には、更に自轉車交通が考慮されてゐる。最近の自動車道路は其の兩側に自轉車道を分離して設置してゐる。自動車道と自轉車道との間には草堆、帶を設けてあり、之は網長く連接せる自動車駐車場によつて中断され或は斜方に曲げて設置されてゐる。