

552

28



始



工林
學士
蒲

孚
著

河
川
工
學

全

河川工學目次

緒言

第一編 總論

第一章 河川水源

第一節 降水

第二節 蒸發

第三節 滲透

第四節 森林の効用

第五節 流出量流出係數及流量潤澤度

第六節 流量變動率

第二章 河川の形態

第一節 河川の三區域

第二節 河川の平面形態

第三節 河川の縦斷面

第四節 河川の横斷面

第五節 河岸及河床

第三章 河川水流

目次

一 一 一 三 四 五 五 六 六 六 八 九 〇 一

大正
15. 3. 17
内交

第一節	水	位	二
第二節	流	量	三
第三節	流	速	五
第四節	浮遊物及轉々物		六
第五節	洪	水	七

第二編 砂防工

第一章 野溪の性質

第一節	野溪的河川及短水蝕溪	一九
第二節	野溪流域の區分	一九
第三節	砂礫生産の原因	二二
一、(款)風化 二、山崩及石崩 三、雪崩 四、流水の浸蝕作用 五、水の扶		
壞作用 六、土石流		

第二章 野溪流域に於ける植物及施業

第一節	地被が野溪の狀態に及ぼす影響	二五
第二節	野溪流域に於ける森林の効用	二六
第三節	野溪流域に於ける林業	二七

第三章 石礫移動の法則

第一節	一般法則	二九
-----	------	----

第四章 砂礫の生産及流出を豫防する方法

第一節	山崩及石崩の豫防	四九
第二節	雪崩の豫防	四九
第三節	縱浸蝕の豫防	五一
第四節	橫浸蝕の豫防	五四
第五節	扶壞作用の豫防	五四

第五章 砂防工事に使ふ工作物

第一節	堰 堤(Dam)	五五
一、(款)堰堤の定義及目的 二、堰堤の材料 三、堰堤の高さ 四、堰堤の形		
狀 五、堰堤の水道 六、堰堤の水抜 七、堰堤の厚さ 八、堰堤の種類及施		
工上の注意 九、堰堤の基礎 十、堰堤の水叩		
第二節	谷 止	五七
第三節	護 岸(Rive timent)	六六
第四節	水 制(Spur)	八一

第五節 排水工事……………八四

第六節 山腹工事……………八七

一、山腹杭柵工 二、山腹粗朶束工 三、木柵工 四、張芝工 五、積芝工
六、筋芝工及筋工 七、粗朶伏工及朶木伏工 八、土留張石工 九、山腹石垣
工 一〇、草木植付

第三編 洪水防禦工事……………九六

第一節 貯水池(Reser voir)……………九六

第二節 乘越堤(Daiv soirs)……………九九

第三節 直流工(Straight Cuts)……………九九

第四節 分水(Diversion)……………一〇〇

第五節 分流(Separation)……………一〇〇

第六節 堤防(Embankment)……………一〇一

一、堤防の利害利失 二、破堤の原因 三、堤防の横断面 四、堤防の築造
五、堤防の保護 六、堤防の依持 七、堤防の防禦 八、堤防の種類

第七節 洪水の豫報……………一〇三

第四編 河川改良工事……………一〇六

第一節 總說……………一〇六

第二節 淺瀬除却工……………一〇七

第三節 水制工(横工)……………一〇七

第四節 併行工(縦工)……………一一一

第五節 切開工事……………一一三

第六節 側流締切工事……………一一六

第七節 外國河川改修の實例……………一二九

第八節 本邦河川改修の實例……………一三三

第五編 堰 閘 法(Canalization)……………一三三

第一節 總說……………一三三

第二節 一般裝置……………一三五

第三節 固定堰(Solid weir)……………一三七

第四節 可動堰(movable weir)……………一四四

第五節 特殊の水路……………一四五

第六編 運 河(Canal)……………一五〇

第一章 運河閘門(Canal locks)……………一五〇

第一節 總說……………一五〇

第二節 閘門の大きさ……………一四八

第三節 閘門の構造及設計……………一五三

第四節 閘 扇(Look gates)……………一六一

第五節 水門 戶(Sluiceways)及水門構(Sluice way)……………一六一

第六節 附屬工事(Accessory Works)……………一六二

第七節 通開に要する時間 (Time in Looking) 一六三

第八節 通開に要する水の節約 一六五

第二章 運河斜路 (Canal Inclines) 一六五

第三章 昇降槽 (Canal Lifts) 一六八

第四章 河船運河 (Barge Canal) 一六八

第一節 運河の種類 一六九

第二節 運河の發達 一六九

第三節 運河の横断面 一七〇

第四節 運河の路線 (Alignment) 一七一

第五節 運河に於ける水の消費量 一七一

第六節 運河構造上の注意 一七二

第七節 漏泄の防止 一七四

第八節 運河隧道 一七五

第九節 運河橋 (Canal-bridge) 及運河に架かる橋 (Bridge upon Canal) 一七五

第十節 暗渠 (Cut rent) 彎渠 (Siphon Culvert) 一七六

第十一節 取入口排水門及安全門 一七七

第十二節 運河の維持 一七八

第十三節 通開 一七九

第十四節 河船の形状 一七九

第五章 大船運河

第十五節 船の抵抗 一八〇

第十六節 船を動かす力 一八一

第一章 大船運河 一八四

第一節 大船運河の種類及實例 一八四

第二節 大船運河の大きさ 一八四

第三節 護岸 一八五

第四節 大船運河に架する橋 一八八

第五節 運河の取附 一八八

緒言

河川とは地上に降つた雨や雪などが集り自然に出来た水路をいふのである。河川工学は河川の性質を研究し且河川に因る被害を避くる工事及河川の利用に必要な工事に就て研究する學である。普通の状態に於ける河川は各方面に利用される例へば交通路、水道水力電氣等の水源又は自然の排水路等として重大なる役目をしてゐるが一方には又洪水を齎らして甚大なる被害を惹き起こす事もある。

第一編 總論

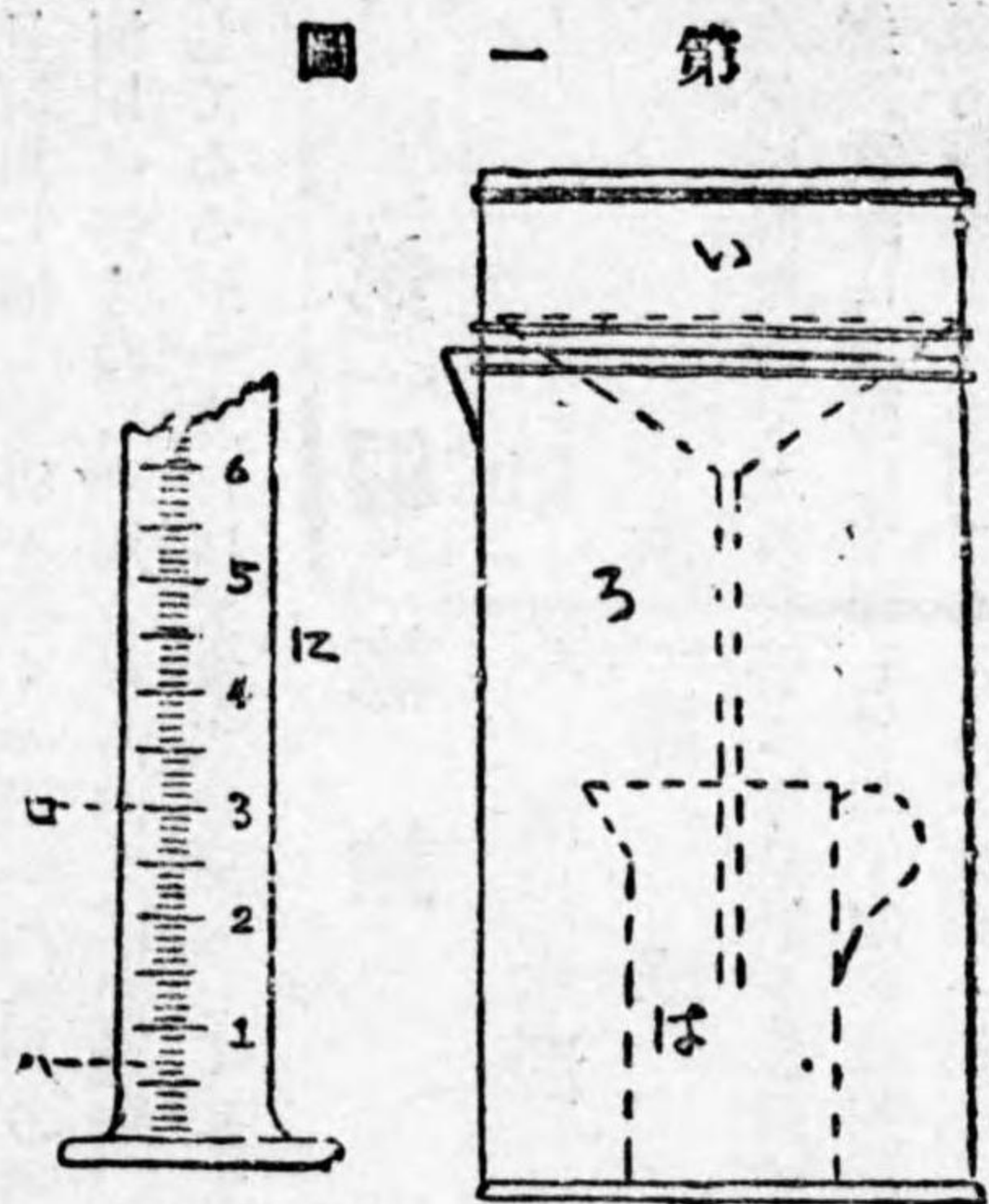
第一章 河川水源

第一節 降水

降水量は雨量計で之れを計る雨量計を装置する場所は四方開裕で家屋樹木等の少しても雨を遮るものなき所を選び垂直に地面に安置して其尺圍には芝を植え置くのを良しとする。雨量計には種々の構造のものがあるが最も簡單で普通用ゐられるのは第一圖に示すが如き(ろ)の二部分より成れる銅製若しくは亞鉛製の器である。(い)は漏斗であつて其上縁の内徑は二十乃至二十五厘なるを通例とする、此漏斗は雨水を受けて(ろ)に送るの用をなし且また(い)器の蓋となり此器内より水の蒸發し去るを防ぐ。(ろ)は一つの單純なる圓筒形の貯水器で往々また(は)の如き小貯水器を其内に納れ置くこともある。一定時間に此器内に集つた水は之に附屬せる測容筒に移して其量を測る、此測容筒の度目は此筒の横斷面積と(ろ)器の横斷面積との比により劃せるもので實に(ろ)器に於ける水の厚さを直接に耗を以て表はすものである。例へば圖(に)に於て(い)又は(ロ)に至る迄の水量を

ばる)器内に於ては水の厚さ○・七耗又は三耗であつたのである。即ち是れ雨水が一定時の間に地上一面に此厚さに降下したのを示すのである。

氷結せる降水即ち雪の量を計るには單に尺度を以て其降り積れる高さを測ることも一つの観測法で、斯くして測りたる數量を積雪量といふ併し之れを降水量として測定するには融解せしめて後雨量の如くに測定す



第一圖

る、但し降雪の場合には(は)の小水器は勿論(い)の漏斗器をも取り去り單に(ろ)器のみを装置し之に溜りたる雪を解かすには一定量の温湯を注加し、かくて観測の讀數から此の注加した水量を減じて其差を以て降水量とする。

一般に一地方の降水の状態を知るには年雨量を以て標準とする。年雨量は年により異なるが故に數年の平均をとつて之れを該地方の年雨量とする。本邦は一般に降水量が多く東京では千五百耗金澤では二千五百耗に達するが、札幌では千耗に満たない、外國の例では印度のベンガル地方の如きは非常に多雨で一萬四千八百に達しカリフォルニアのビショップクリックでは僅に三十三耗に過ぎない。歐洲大陸では降水量一般に少く六百耗から九百耗の間にある。年雨量は赤道附近で最

大を示し兩極に赴くに從ひ減少する之れを數字で示すと次の様である。

緯度	赤道	0-20	30-45	45-60
年雨量	二四三八	一〇三二	七三七	四三二

又雨量は海岸地方に多く内地に入るに從ひ少となるが陸地の海拔が高くなると増大する。之れを利根川流域なる銚子水戸宇都宮日光の例で見ると銚子の降水量は水戸宇都宮より多いが日光のより少い此他降水の多寡は風向により左右せられる即海風の吹く處では降水多く陸風の吹く處では少い。

年内に於ける雨量の變化は熱帯地方では甚だ整然たる通則に支配されるが温帯地方では然らず、地方により種々雑多である。即ち或は夏季に多量なるものあり、或は反て冬季に多量なるものあり、或は四季を通じて略ぼ等一なものもある。此變化を知るには月雨量の測定を必要とする、東京では九月が最多で、六月之に次ぎ、十二月一月に至つて最少となる。

河川工上必要なのは寧ろ短時間の雨量であつて普通一日間の總雨量を以て標準とし之を日雨量と稱する。本邦に於ける日雨量の最大記録は明治二十三年八月二十日紀州田邊に於ける九百耗で、札幌に於ける年雨量と大差ない。

上流河川の工事設計には尙短時間の雨量を必要とする。普通一時間の雨量を以て標準とし之を時雨量といふ東京での最大時雨量は五十五耗である。

第二節 蒸 發

降水の一部は河川に流出することなく蒸發し去るものである、蒸發は水面地面及植物の葉から起る。

一、水面よりの蒸發 水面からの蒸發は規則正しく東京の數年間の平均は一日に付約三耗であつて最大は明治十八年八月の五・三五耗で最少は明治十四年七月の一・一九耗である、蒸發量を左右する因子の主なるものは氣温、濕度及風である本邦各地に於ける年蒸發量と平均氣温を擧げると次の様である。

地名	臺灣	東京	青森	十勝
----	----	----	----	----

年蒸發量	一六五八耗	一〇八八	八九八	八七二
平均氣温	一三・〇度	一三・八	九・一	四・八

本邦に於ける蒸發量と降水量との比は七十七パーセントで北海道及臺灣を除くと六十二パーセントとなる。

二、地面よりの蒸發 地面にある水は直接に蒸發するが地中にある水は毛細管現象により地表に現はれ蒸發をする此種の蒸發は不規則である。

三、葉面よりの蒸發 植物は其根より水を吸収し、其の中から養分を採るものである、水中に養分が多いときは其吸水量は少くて足る、従つて葉面からの蒸發量も少い事になる、蒸發量はまた植物の高等であるか否かによつて多少がある、例へば牧草の日蒸發量は三・四耗乃至七耗であるが、杉葉からの日蒸發量は〇・五耗乃至一・一耗に過ぎない、又森林にありては樹冠から直接に降水の一部を蒸發する雪の如きは其七十乃至八十パーセントを樹冠から蒸發するものである。

第三節 滲透

降水量から蒸發量を引去つた残りの一部は地上水となり他の一部は地下水となる。地下水の一部は泉となつて湧出し、河川流量に加はる。滲透は土壤の性質に關係する土壤を分ちて滲透地及不滲透地とする、砂は前者に屬し粘土は後者に屬し共に兩極端をなしてゐる、不滲透地を流るゝ河川では流量の變化すること甚だしいが滲透地では變化少く雨降るも出水少く、天氣續くも渴水の憂がない。

一旦地中に滲み込んだ水は二三尺の深さに達すると毛細管作用を受くる機會を失つて地下水となる。滲透量は土壤により降水量の八分一から五分四に及び普通三分一位である。

第四節 森林の效用

森林が降水量と流出量との關係に如何なる影響を及ぼすかに就ては種々の議論あるも、要するに森林は降水を支へて河川に流出する水量を調節する即ち水源を涵養するといふ事が出来る。本邦の河川如く水源近くに急流多く又夏秋の候深厚な低氣壓の襲撃を受ける處では水源の荒廢を防ぐ爲め極力殖林する事が必要である。

第五節 流出量流出係數及流量潤澤度

地上水の全部と地下水泉となつて再地上に湧出する部分を合せたものが流出量と言はれる大流域を有する河川では流域の各地に於ける降水量は各異り又蒸發や滲透の状態も一樣でないから降水量により流出量を定むる事は困難である。流出量と降水量との比は流出係數と稱せられ、普通二十五パーセントから七十五パーセントの間にある。流出量と降水量とを比較するには同一區域に於てし、降水時と流出時とは相對的に同一なるを要する。降水量を計る時期と同一の時期に降水量が悉く流出し去るものと考ふのを同時比較法といふ。或期間内に降つた降水量は多少時間遅れて河川に達し流出するものと考ふるのを遅時比較法といふ。勿論後者の方が多少正確ではあるが多大の手續をかける割合に優劣の差は少い。流出量を測定する方法は毎日觀測した水位に對する流量を求めて此れを一定の期間寄せ集むるにある。流出係數を算出すべき單位時間は最小を一ヶ月とし、半年(夏期は五月より十月冬季は十一月より四月)一年、五年、十年などとする。河川の總流量を其流域の總面積で割つた高を流量潤澤度と稱する、即流域の一方里に付き何箇の流量があるかといふ事である。秋田縣を流れる雄物川(流域の大き二百七十一方里幹川の長さ三十八里洪水量二十萬

筒)での潤澤度の最大は六百六十八筒で最小は十一筒餘平均は四十筒である。短い河川では潤澤度は一般に大で其最大は数千筒の多きに達する。今極端の場合をとり雨が一時五十粒の割合で小流域に數時間降り積ると假定すれば、或る時間の後には降水の全量が流出するものと考へる事が出来る、即流出係数は此場合一となり、潤澤度は約七千七百筒となる。潤澤度の最小は場所により又流域の大小等により多少の相違はあるが、本邦では六乃至十筒を普通とする。

第六節 流量變動率

最大流量と最小流量との比を流量變動率といひ、之れは小なる程河川の状態は良好である。雄物川では變動率は六十二を示してゐる野溪に於ては數百に達する事がある。

第二章 河川の形態

第一節 河川の三區域

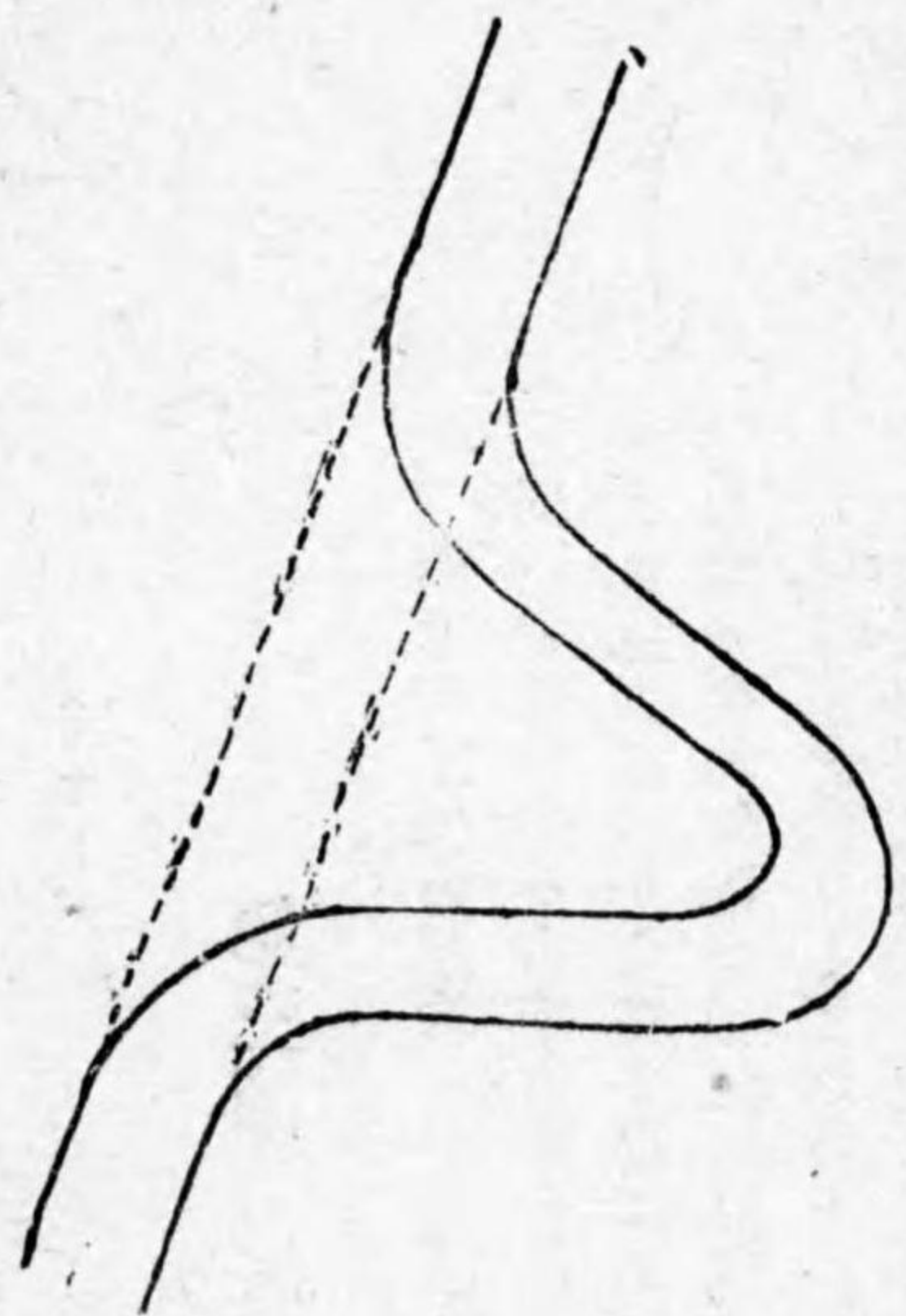
現時代の河川は一般に上、中、下流に三大別することが出来る。上流では流水の勢力河床の抵抗力より強く従つて浸蝕作用が盛である。中流は流水の勢力河床の抵抗力と殆平衡し従て河川の形態には大なる變化を起さない。下流に行くに流水の勢力は衰へ含有土砂を此處に堆積する、此部分では河川の彎曲甚だしく若し無堤地なるときは洪水時に於て廣大なる面積を水面と化するものである。

第二節 河川の平面形態

水は地表の最大勾配に沿ふて流るゝを原則とする。流域の地勢は河川の平面に大影響あるもので、勾配急

な地勢に於ては幹川、支川平行して直線であるが平坦なる地勢に於ては支川は幹川を中心として各方面に散出し彎曲は概ね大である。又流域の海岸に隣接する否とは河川平面の形態を左右する一つの原因となる。上流部は流量の變動率大なるのみならず水流は不定であつて渦流亂流を生じ變動し易い數個の流路を有するのが普通である。河川は一般に沖積期に於ては現時より著しく大なる流量を持つてゐたから其時代に作られた中流部は著しく大なる溪谷をなして居た。現時の河川は其一部分を稍彎曲して流れてゐるに過ぎない、其彎曲度は漸次多少の増加をなし、河幅に變化多く、時としては分流を起すことがある、併し大體に於ては非道の變動なきが此の部分の特徴である。下流部の特徴は可動的彎曲であつて、凹所は益々凹み、凸部は益々突出するが河幅は殆んど時と共に變化することはなく、彎曲が愈々甚しくなると洪水の力により其一部が直斷される事がある(第二圖)。河川で河口より遙か下流に行つても尙影響を持てゐる大なる支川を有する河川は合流點以下に於ては其上流と全く性質を異にする事がある。河口に於ては河川は

第二圖



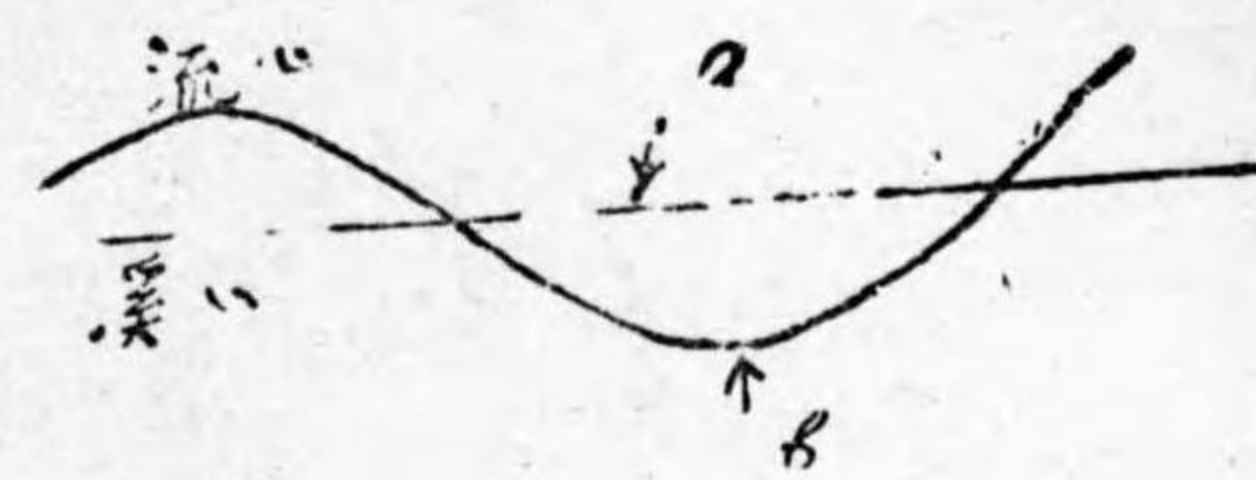
潮汐其他海灣の性質を半ば有し、淡水と海水とが混流する河口の形狀は河川の移搬する土砂と海灣の性質とによつて或は三角洲となり或は砂嘴灣となり又は何等特殊の形狀的變化なく海に注ぐ。

如何なる河川と雖直線形をしてゐない、之れは河床の性質極めて多様なると、支川の注入其他により流水の狀況が一樣でないのに因る。河川は一度彎曲を始めると其凹部は水勢の衝に當り益々凹み、凸部は之れに

反して堆積を生じ、益々其彎曲を増すものである、従て流心に沿ふ河川の長さ、溪谷の中心に沿ふての長さを比較するときは、河川の發達の歴史を知ることが出来る。流心の長さ、溪谷の長さの差を溪心の長さで割つた高は、河川彎曲度と稱する(第三圖)獨逸のエルベ川及オーデル川の彎曲度は次の如くである。

河名	上流	中流	下流
エルベ	三三・九パーセント	五二・三パーセント	七〇・六パーセント
オーデル	三三・九パーセント	三八・〇パーセント	九〇・一パーセント

第三節 河川の縦断面



河床の抵抗力が均一のものですれば縦断面は二次のバラボラをなす筈であるが、全川の同一の抵抗力を有する場合は實際に於て無く、幾つかの均一抵抗力をなす部分の結合により成り立つから従て河川の縦断面も幾つかの拋物線の連続から成立する、従て局部勾配と平均勾配との間には可成の差を生ずる場合があるが一般に此差は小なる範圍内に限られ全體としてはほぼ一つの拋物線に近い曲線を形成してゐる。

水面勾配は水位の變化が少い場合には一定の水位に對しては略ぼ一定である。水位が變化すれば勾配も亦變化する。各支川は本川に對して各々一個の波形となして河水を流入するから本川の水面勾配は常に均等の性質を有しない筈だけれども、此等の影響は極めて少なるものである。低水面勾配は河床の不規則性から生ずる不規則な折線の連続から出來てゐるが高水面勾配は此影響を受ける事なく滑かなる一つの曲線をなすものである、水位の變化が激しい場合には一定の水位に對して一定の水面勾配を與へると(以下次圖)

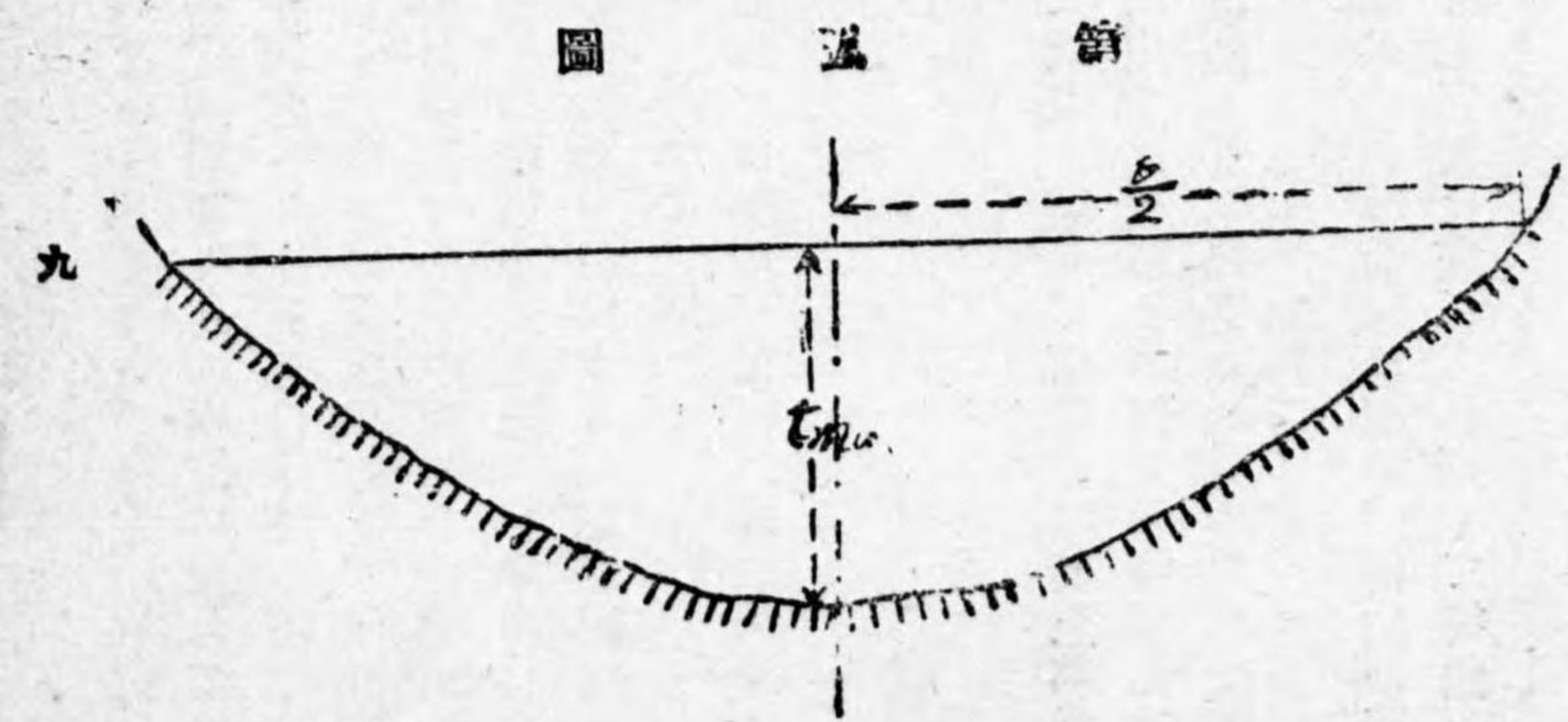
第四節



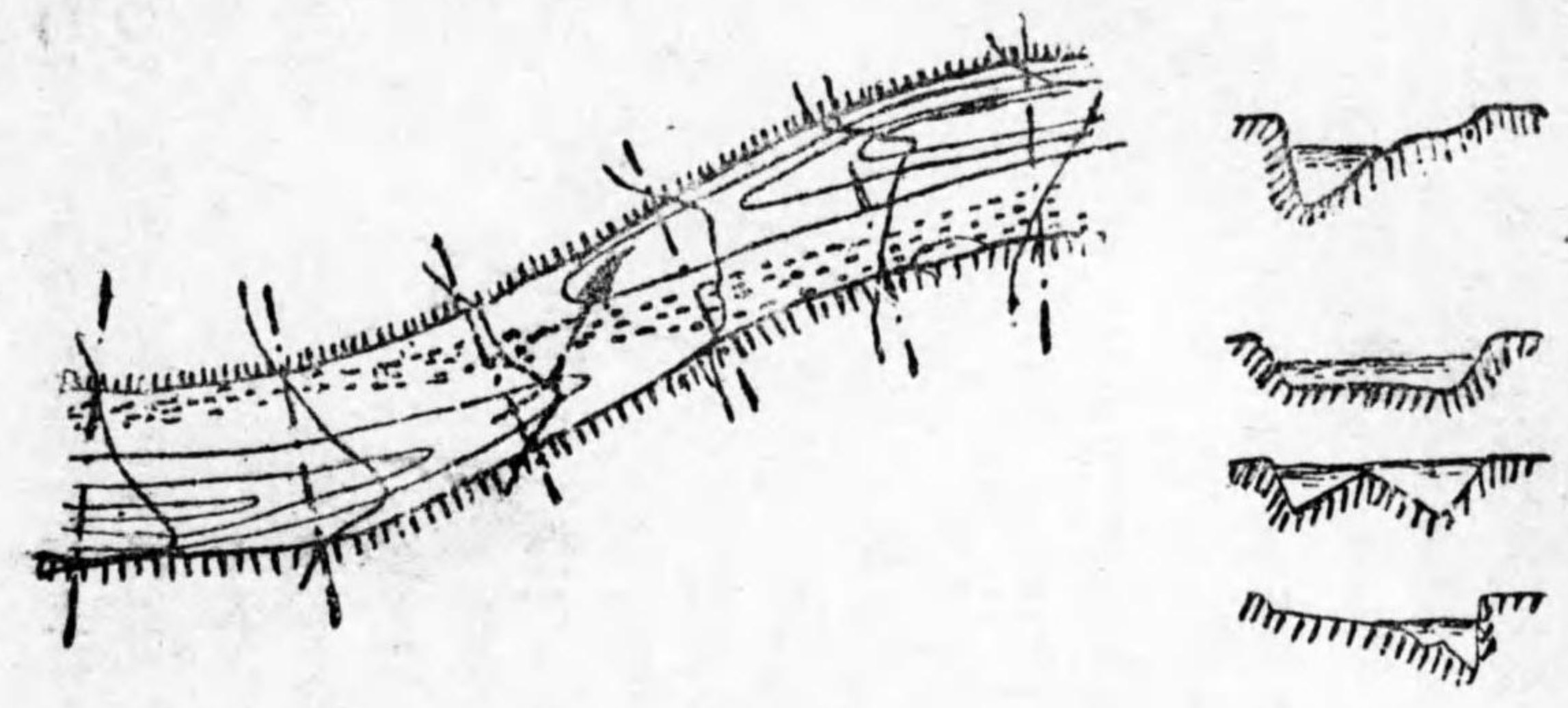
いふ譯には行かない、水位が上昇しつゝある際の勾配の方が降下しつゝある際の勾配より大である。河床勾配は上流部では階段形的である之れは浸蝕を最小ならしむる形であつて、上流部に於て恒久性を有する唯一の形である。砂防工では人工的に此形を造つて上流河床の浸蝕を防止する。

中流部に於ては河幅に急激の變化があるとか分流量があるとかにより尙多少階段性を帯びる、即ち分流の上端、河幅増大せる箇所は水深淺く堰の作用をする。下流部では彎曲の凹所に沿ひ淵を生じ、二つの彎曲部の變曲點に於ては淺淵を生ずる淵の深さは彎曲の大なる程大である。河口の水面勾配は低水位に於ては海面を漸近線とする上向凹曲線であるが、高水位の際には往々河口に至る程勾配は大となり下向凹曲線を形成する、尙海面に潮汐の關係あるとき極めて複雑のものとなる(第四圖)

第四節 河川の横断面



第六圖



横断面の形状は地質と水流の如何により一様でない。一定の水位に於ては水流の状況は略一定なるため一定の場所一定の水位に對しては一定の断面形を有するものと見る事が出来る。上流部は水流の變化が甚だしいため断面の變化も從て甚だしく、何れが河床であり、何れが河岸であるかを區別するに苦しむ場合が少くない。中流部では平水以下の部分に於て水路の或長さに亘り多くの断面をとり之れを平均した一つの断面を作るときは一般に一つの拋物線を形成する(第五圖)。

平均水深 $t = \frac{2}{3} t_{max}$ 此平均水深 $t = \frac{2}{3} t_{max}$

下流部の彎曲部では傾頂三角形、彎曲部では梯形、又は二頭三角形より成る鋸齒狀を呈する(第六圖)

第五節 河岸及河床

河床とは平水面以下の水で蓋はれた地表を稱し、河岸とは其上部で高水の達する附近までを言ふ。有堤河川では堤防と水路との間に高水の際水路の用をする高水敷がある、堤防より水路寄りを堤外地其反對の側を堤内地と稱する。

一河床と彎曲との關係 一般に彎曲が大い程河床は深い、彎曲の凹部は深く掘れ、凸部は淺く緩勾配をなし漸次に埋められ斯くて彎曲を増す傾向がある。

第七圖



二河床と水位との關係 高水の際には一時的に川床に變化を生ずるが、低水になれば徐々に常態に復する、彎曲部の淺瀬は高水の方向と低水の方向との角度が大なる程餘計に生ずる(第七圖)。

三河床と支流との關係 一般に彎曲凹岸の上端に合流點を有するときは河床は永續性を保つ。土砂を流出する支流は大なる押出を生じ、本流を對岸に曲げ、且此際川底は狭くなるため本流の水流は激して支流の吐口は漸次下流に向けられる、而して前記の様な位置に至つて落付くものである。

四河岸 高水により溢流する河岸は一般に彎曲凸部に多く流れに近い部分があつて高く漸次降下して遂に丘段に達するが常態である(第八圖)。

第三章 河川水流

第一節 水位

水位は量水標を以て測定する。通常板に尺寸を刻んだものを用ひ一日二回午前六時と午後六時に讀みとる、高水時には毎時又は二十分置きに讀む、重要な箇所には自記量水標を用ふる、之れには浮動式と壓力式とがある。前者は永久的、後者は一時的の用をなすに便利である。何れも水位が躍動しない水蔭に置く。水位には次の様な區別がある。

一低水位 河川の曾て有せる最低の水位をとるよりも目的によつて最も便なる水位をとるが普通である。例へば航行を考ふるための低水位は最低水位より可成高いものを採るが便利である。遞信省の

第八圖



發電水力調査では一年を通じて六十日間以上之れより下らざる水位を以て低水位と定義してゐる。最低水位には年最低、月最低等の種類を生じ又此等最低の平均を生ずる。

二高水位。之れも曾て生じた最高をとるよりも寧ろ其目的に適應するものを選ぶ。因て年最高、月最高、及平均最高等がある。逓信省の發電水力調査では毎年必ず一二回發生すべき程度の高い水位を高水量と言つてゐる。

三平均水位。測定された水位の算術的平均數に當る水位である日平均、月平均、等がある。

四常水位。其水位を界として上下の回数等しい様な水位を言ふ。發電水力調査では一年を通じ百八十日以上之れより下らざる水位を平水位と稱してゐる。

五最多水位。最大日數を示す水位をいふ。

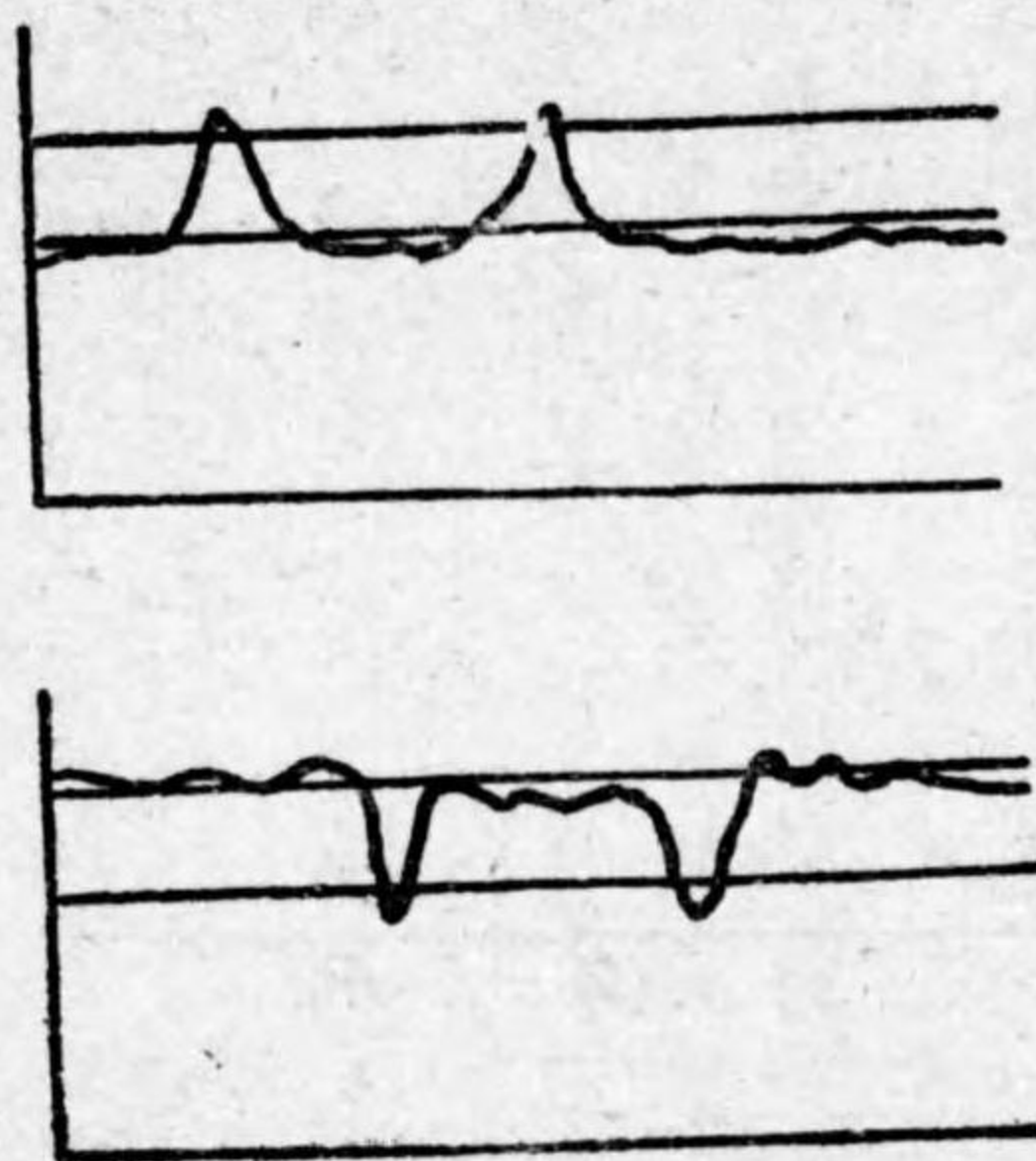
此他發電水力調査では一年を通じ十日間以上之れより下らざる水位を渴水位と稱してゐる。常水位は平地の河川では平均水位より低い。之れは第九圖に示す様に水位曲線が一般に下部に多く横はるためである。高山から發する河川では屢々反對の場合がある之れ融雪等のため常に水位は高く保たれ稀に低下するからである。

水位の變化 水位の變化は週期的のもので各日、數日毎、毎年等に起る。常水位に於ては水面は略持續狀態にあるが、降雨のため上昇し始めるときは始めは早く次第に遅く遂に最高に達して再び持續狀態になる水位が降る際には高水敷に湛へられた水や地下に滲透した水などにより給養されるから上昇する時程急激に降下しない。支流が平地的の性質を有するとき又は湖や沼が多い河の水位は變動が少い。水位は嚴密に言へば常に脈動してゐるが持續狀態に於ては殆んど一定の水位をなし(持續水位)此の際の水面勾配は川底の勾配に近い。

相對水位 二つの量水標の間に支派川のない場合には各の持續水位は略一定の關係がある種々の高さの持續水位で此關係を見出し置くとときは、持續水位でない場合の關係を推定することが出来る、從て洪水の際なごに上流の水位により下流の水位が何の位昇るか大略豫知し、之れに處する手段を講ずることが出来る、而して兩者の關係は直線で表はすことが出来る、例へば荒川洪水の例で見ると鐘淵と平方との水位の關係は左式の様である。

平常

常平



第九圖

として描いた曲線を流量曲線といふ(第十圖)。河川の断面を二次の拋物線とするときの流量曲線の式は次の通りである。

$$Q=C(h+Z)^2 \dots \dots \dots (2)$$

式中Qは流量、Cは常數、hは水位、Zは流量が無い場合の水位を表はす又川の断面を長方形と假定すれば

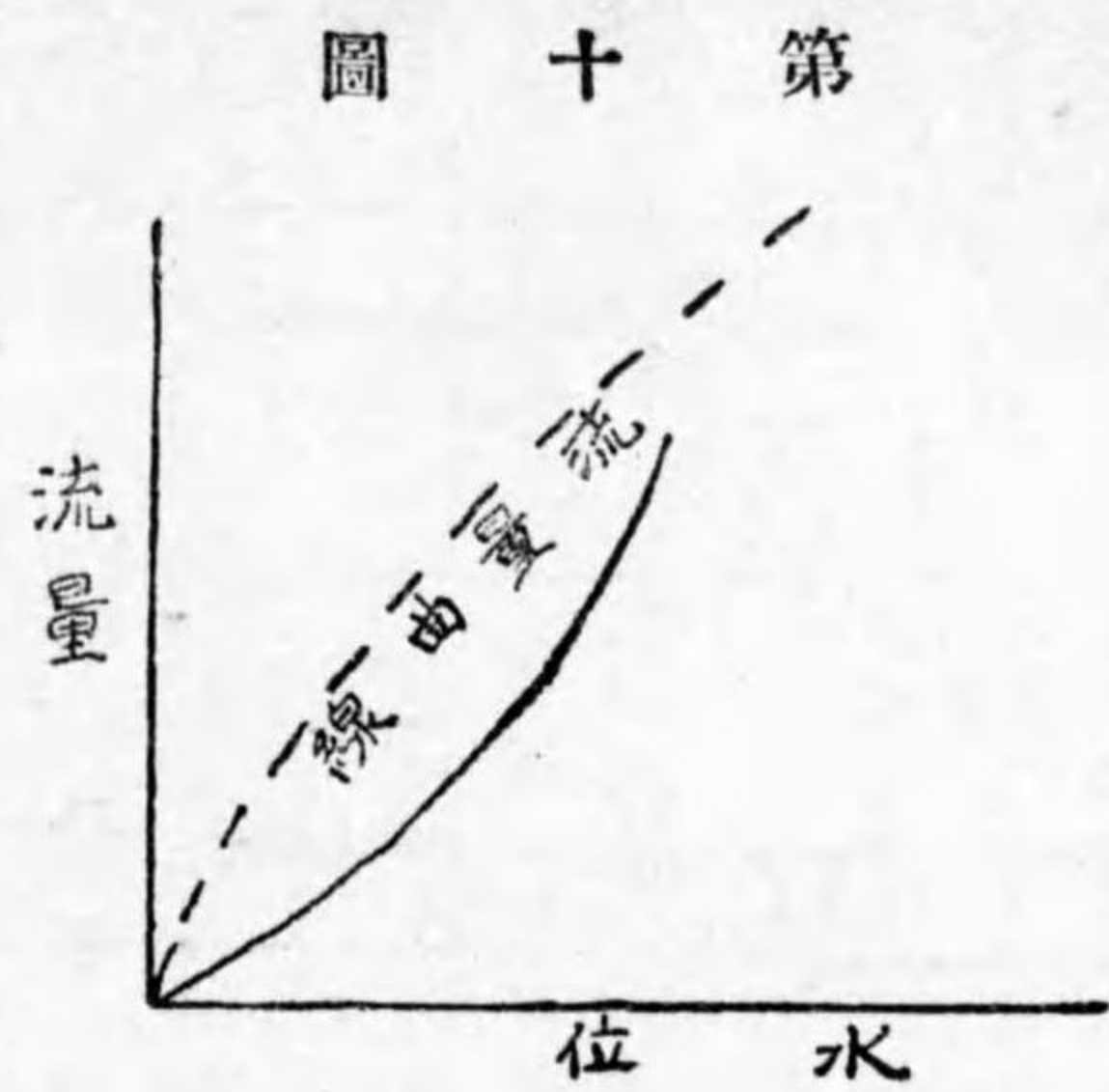
第二節 流量

流量は一般に横断面の大きさ、勾配、水位變化等の函數であるが從來水位の或函數と考ふるが普通である。流量を横軸水位を縦軸として描いた曲線を流量曲線といふ(第十圖)。河川の断面を二次の拋物線とするときの流量曲線の式は次の通りである。

$$K=0.859H-8.500 \dots \dots \dots (1)$$

式中Kは鐘淵の水位Hは平方の水位である。尚兩水位の關係を示す式は唯一つではなく。水位により數種の式を作る方が嚴密である。次に二つ以上の量水標に關しても同様の關係を見出すことが出来る。二つの量水標間に支流ある場合には此水位が大なる影響を及ぼすから之れをも考に入れる必要がある。

$Q = C(h+Z)^3 \dots\dots\dots(3)$
 となる次に三角形とすれば
 $Q + C(h+Z)^3 \dots\dots\dots(4)$



一般に $Q = C(h+Z)^n \dots\dots\dots(5)$
 となる、信濃川の大河津では水位が三尺乃至七尺の場合の洪水曲線は次の通りである。

$Q = 434.58(h+1.2)^{1.97}$

近來になつて流量曲線式を一般の二次式で表はす様になつた

即 $Q = a+hb+ch^2 \dots\dots\dots(6)$

式中 a b c は常數を表はす例へば荒川の川口町鐵橋下での曲線式は水位が十五尺未満のとき

$Q = 1.676 + 233.7h + 98.94h^2$

である。尙河川の断面は低水、平水、高水により急激に變化する

から、唯一つの流量曲線で表はすことなく數箇の曲線で表はすのが普通である、前掲の荒川の場合で水位が十五尺以上になつたときの曲線は

$Q = 1.676 + 233.7h + 98.94h^2 + 453.8(h-15)^2$

となる尙二三の例を擧げると

- 最上川 $Q = 423.12(h+1.14)^2$ $h < 8.0$
- (蕃野田) $= 464.83(h+0.72)^2$ $h > 8.0$
- 阿賀川 $Q = 603.72(h+0.126)^2$ $h < 6.0$
- (馬下) $= 460(h+1)^2$ $h > 6.0$
- 雄物川 $Q = 474.11(h+1.48)^2$ $h < 9.0$
- (新川橋) $= 638.93(h-0.214)^2$ $h > 9.0$

平水流量は通常の河川では上流から下流に行くに従ひ、漸次に増加する、之れに反し高水流量は下流部に於ては下流に行くに従ひ漸次に減少する、之れは下流の方では、川幅が漸次擴大せられ勾配が緩になるの外洪水波の性質に因るものである。

第三節 流速

流水の速度は垂直的に考へると深さによつて各異なるものである、之れは流線運動の方法や河床との摩擦等に起因するのである、最大流速の位置に就ては表面より水深の三分一又は五分一などいふ説があるが之れは河の性質により各異なるものである、河川工で知りたいのは平均流速であるが夫れを求むる式に種々ある。

Dubaut:- $V_m = \frac{V_0 + V_u}{2} \dots\dots\dots(7)$

Bazin:- $V_m = V_0 - 14\sqrt{RI} \dots\dots\dots(8)$

式中 V_m は平均流速、 V_0 は表面流速、 V_u は河床流速、 R は徑深、 I は水面勾配である。
 表面流速と平均流速との關係を知るときは甚だ簡單に平均流速を求むることが出来るので此關係は種々の

人々により実験されたが其結果は大略次の如きものに一致してゐる。

$$V_m = 0.8 V_o \dots \dots \dots (9)$$

又流水の速度が丁度平均流速に等しい箇所は水面から水深の〇・六六乃至〇・五五の所である。河の或る断面の平均流速は次の式により計算される。

$$V = A \sqrt{R I} \dots \dots \dots (10)$$

式中Aは常數で長さの單位を尺とすれば普通七十乃至百である。

第四節 浮遊物及轉々物

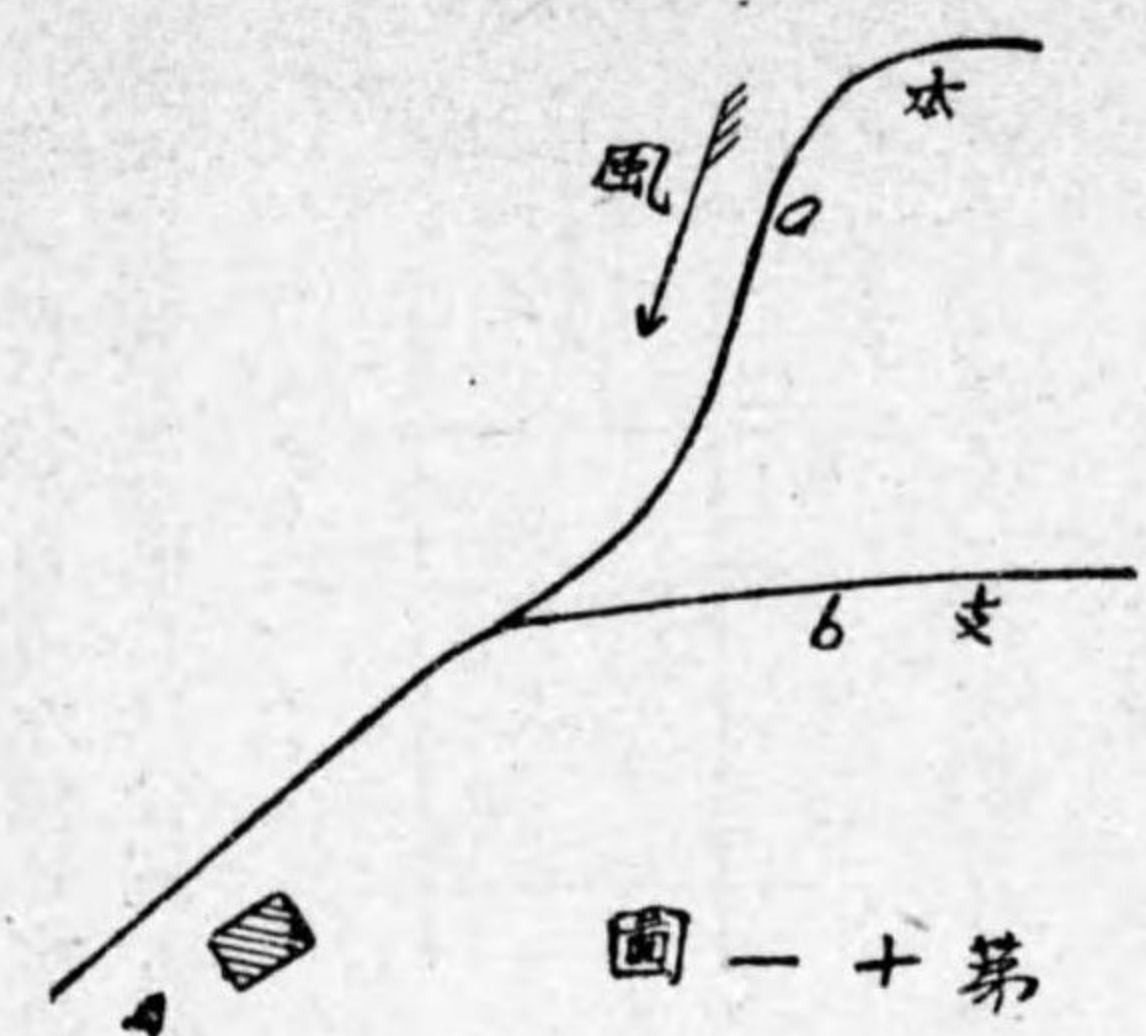
河川の横断面は常に安定なるものではない、流水の速度が或る限度を越えたと河床の平衡は破れる、流速は上流に早く下流に遅いのが一般であるから河床を浸蝕することは上流程甚だしい。河床を構成する物を見ると上流では玉石や砂利が多く、下流では此等の物は少く、砂や泥が大部分を占めてゐる即上流に存在する砂は該部の流速に堪えずして下流に運ばれてしまふ爲である。河床を構成する物體は水の速力と共に常に變化を起こすもので永久に安定なることはあり得ない。洪水の場合には殆んど總ての川は土石を移動する。水に浮いて流るゝものは標本をとり靜に沈澱さすと浮遊物の分量を知ることが出来るが河床を轉々してゐる石の様なものも測定困難である。水はある程度迄浮遊物を含有すると最早夫れ以上の浮遊物を受取り得なくなる此の状態を飽和といふ。非道い洪水の場合には浮遊物の最大は九パーセントに達することがある又野溪では土石流と言つて土石の分量が流水の五十パーセントにも達する場合がある。近來 Hydraulic fill system と言ふ土を運ぶ方法がある之れは高壓の水を運ばんとする土に打ち付け土を溶解し、之れを樋で流がし目的の地に沈澱せしむるのであるが、此場合の土の百分率は十七パーセント位であつて特別の場合には四十七八様である。

パーセントに達する事がある。

下流に行くに流速は減じ従て移運力が減するから、浮遊物は沈澱を始める、其順序は大きく重いものを始め沈澱させ、漸次小さく軽いものに及ぶ。各種の大きさの砂礫が將に動き出さんとする場合の流速は大體次の様である。

流速	砂礫の大きさ
0.5m/s	細砂
1.0	砂
1.5	粗砂及粘土
2.0	礫及堅き粘土

第五節 洪水



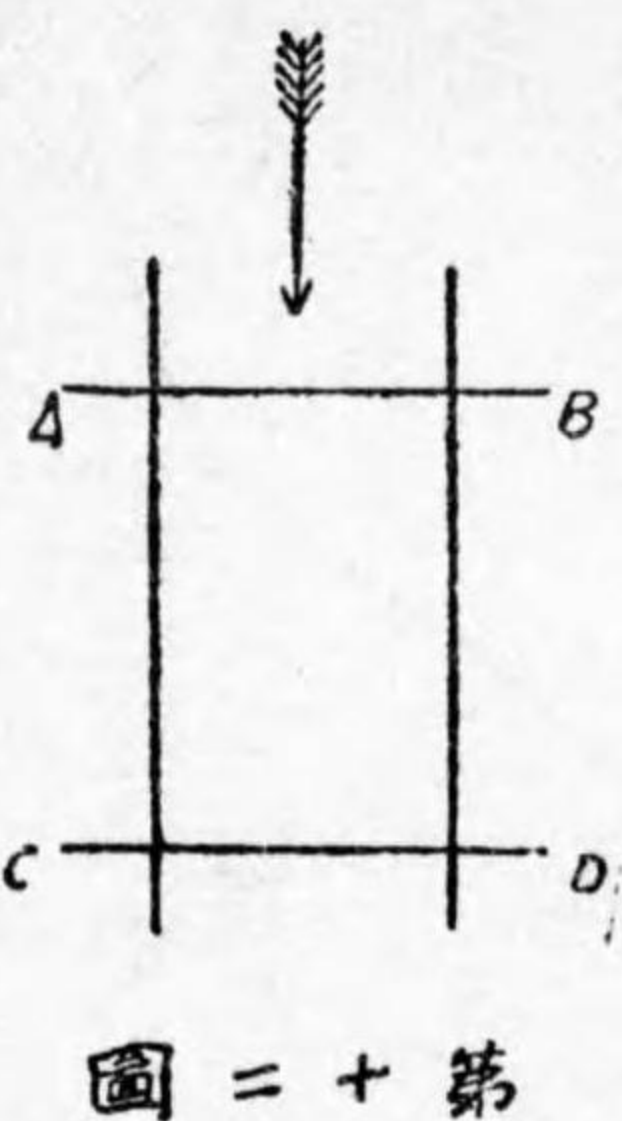
第一十圖

洪水の原因は大雨及雪解けである。時として両者が共に働らく場合がある。洪水の起る時期は國により相違がある。本邦では春季洪水は四月乃至六月に起り、其原因は融雪である。秋季洪水は低氣壓の作用によるもので八九月の交に起り、最も恐るべきものである。

風の方向は降水量を左右する一つの原因となるから洪水の量に影響するところ少ない、又風が河の流れに逆つて吹くと流れは堰かれて水位は上昇する、利根川や鬼怒川では東南の風が吹くと洪水位が高いといふ。之れは水源の山に風が吹き付けられるためである。次に第十二圖でaを本流としbを支流としAで観測するものとすれば、bの水は先に出でaの水は後で出る筈であるが、此際圖の様な方向に風が吹くとaの水は早

く出で、bの水と一致しAでは非道い洪水を起こすことになる。
 洪水が流るゝ間に川幅が急に變化すると、洪水は攪亂され水位が意外に昇ることがある。短區間で川幅の變化が度々あると此影響は恐ろしい。であるから河川を改修する際には無暗に幅を擴げるのは洪水を防禦する所以ではない要は一様に擴げる事にある。

洪水時に於ける水位と水量との關係を數學的に解くことは困難である。今假りにABCD間(第十二圖)を洪水が通過し其間には合流も分流もなく又洪水が堤防を乗り越越すこともないとすると兩箇所の洪水曲線は第十

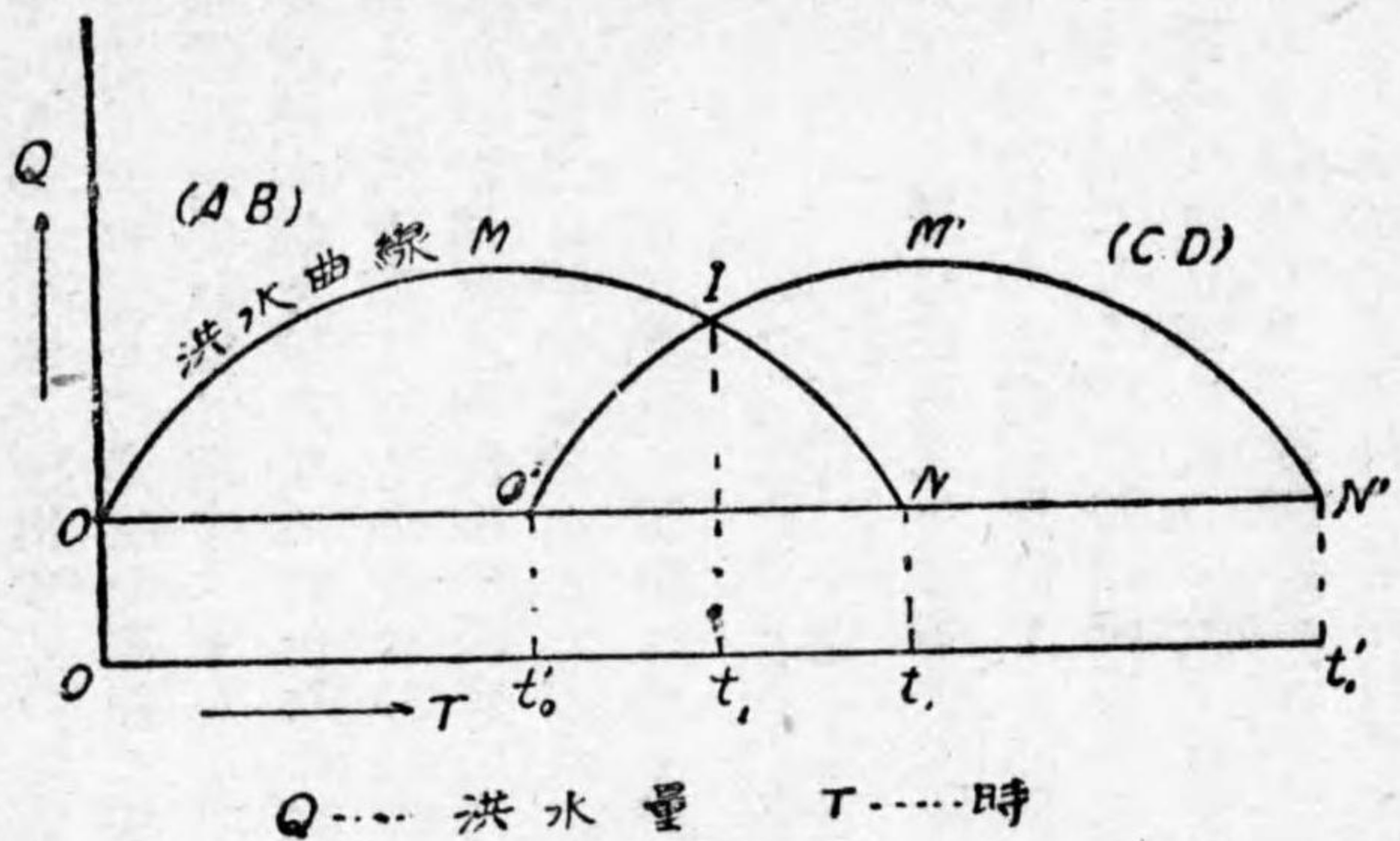


三圖の様になりt時間後にはABCDの洪水量は等しくなるが、其の前の程洪水曲線は平になる。t時の後は貯蓄水量は次第に流下し、CDの最大流量に達し、t'時間後には洪水は全く此區間を去る。ABで観測すると、先づ最高流速が起り、次に最大流量に達し、水位の最高は最後に起る。洪水傳播の速力は一般に流水の速度より早く、流速の一倍半位迄に達する、静な川では一時間に付一里位であるが、五里位のものもある。

第二編 砂防工

本邦は歐米諸國に比較すると地勢は一般に急峻であるのみならず降水量が豊富であるから、一旦暴風雨の襲來を受け又は霖雨數日に亘る様な事があると山地は崩壊し多量の土砂石礫は下流に押流されて其處に沈澱し河床を高める一方洪水は耕地を荒らし人畜を害し其被害は實に恐る可きものである。此處に於て政府は毎歲巨萬の資を投じて治水事業の完成を計つてゐる。治水の目的を達する工事に二種あつて一つは砂防工事他

第三十圖



は河川改修工事と呼ばれている。砂防工事といふのは河川の上流及山地に施設する工事で直接又は間設に土砂石礫の流出を扞止することを目的としてゐる。河川改修工事とは河川の下流に於て治水の目的を以て施設する一切の工事を總稱する。而して目下我國に於ける治水事業の現況を見ると利根、信濃、木曾、淀、吉野、北上、荒の諸川及治水上重大關係ある爾餘の數十河川は政府直轄の下に大規模に實行せられ、已に事業の完成せるものあり目下施行中のものあり又將來着手せらるゝものもあるが、砂防工事に至つては殆んど一顧をも與へられない状態で、多くは府縣の工事に屬し、其工法不完全なるため、治水の目的を達することは甚だ覺束なく思はれる。現今の様には徒らに下流の工事のみに没頭し其水源を放擲する様では何年かの後には河床は上流から押し寄せる土石のために隆起し、再び改修の必要を生ずる様になるであろう。古人曰く「治水の要訣は治山にあり」と砂防工事終局の目的は禿嶺たる山地を綠化することにあるのである。

第一章 野溪の性質

第一節 野溪、野溪的河川及短水蝕溪

上流河川は之れを野溪及野溪的河川の二つに區分することが出来る。野溪とは流路が比較的短く、勾配急

な溪で、其水量は降雨融雪に因り急激に増加し溪岸及溪床を浸蝕し以て砂礫を流送し之れを溪の下流に堆積するものをいふのである。上述せる野溪の作用は決して連続的のものでなく只暴風雨や霖雨の際に非常な暴力を以て多量の水を流出するのである。此急激な出水は野溪の特性である、多量の水が突然急激な速度で流出するときは種々の危害を惹起すもので、水中に砂礫倒木等を混ざるときは其害は益々甚だしい、斯る状態は溪の病的状態と稱すべきもので、比較的速に鎮静する、而して減水と共に水力が減ずるから、流水は最早砂礫倒木等を流送するに由なく、遂に之を溪床に堆積する。野溪的河川とは溪とは言い難い長大の水流で、野溪の性質を有するものをいひ其性質は主として之に注入する野溪に原因する、而して野溪と區別せらるべき要點は流路長く勾配緩で河床が高まることにある、但短距離間に於ては僅に河床を浸蝕することもある。短水蝕溪とは平常は流水なく、只大雨の場合にのみ水ある短い急勾配の水蝕溪をいひ將來野溪となるべきものである、故に此溪の工事は最も必要である。

第二節 野溪流域の區分

野溪の流域は普通之を砂礫生産區域、砂礫通過區域及砂礫堆積區域の三に分つことが出来る。山腹は濫伐、放牧、耕作等の人為的原因又は地質の不良、暴風雨、長雨等の自然的原因により崩壊を生じ其一部に水路を形成する様になる。水路は降雨毎に縦横の浸蝕を逞し因て砂礫を生産し之れを溪流に出す様になる斯る區域を砂礫の生産區域と言つて數十町歩の大きに達することがある、而して水路の勾配は十數分の一から數分の一のものである。砂礫通過區域は生産區域に續き此區域では横浸蝕はあるが縦浸蝕即溪床の低下は認められないで上流から流れて来る砂礫と本區域で生産せられる砂礫の殆んど全部は下流に流れて行き溪床は昇る事も下ることもない。砂礫堆積區域は野溪の最下流に位してゐて勾配は比較的緩で川幅も廣く上流から流れ

て来た砂礫は殆んど總て本區域に堆積し溪床は上昇する以上の區分は便宜上設けたもので各區間に明かな分界が存するのではない又一つの野溪で上の三區を具備しないものも多い。

第三節 砂礫生産の原因

第一款 風 化

岩石は空中や水中に存在する酸素と炭酸の作用に因り化學的に分解せらるゝ許りでなく其裂目に浸入した水の氷結、樹根の浸入、微菌の作用其他に因り物理的に分解される。此現象を風化と言ふ。而して此作用は極めて徐々に進行するものである。空中の酸素は酸化作用をなし主として鐵分を含む岩石を風化し、炭酸は硅酸鹽を分解し、水と合すると各種岩石を溶解する、岩石は風化し易い水成岩から抵抗力の強い石英質岩石に至る迄何れも風化されないものはなく、就中石灰岩は炭酸を含む水により容易に且迅速に風化される、是れ石灰岩地方の野溪が多量の風化物を流送する所以である。風化作用進行の速度は岩石の位置、岩石の構造、岩石の成分、氣候、土地の高さ、土地の方位及地被の状態等に關係する。

一岩石の位置 急斜の位置にあるものは緩斜又は平坦の位置にあるものより風化し易い。是れ急斜地では風化生成物の移動することが緩斜地又は平地より速なるため新鮮な岩石が露出する場合多く、従つて風化の進行が速である。

二岩石の構造 一般に水成岩は火成岩より化學的に分解し難い、其理由は水成岩は一度風化作用を受けた岩石の風化生成物から出来上つてゐるからである。之に反し水成岩は火成岩より機械的分解を受け易い。是れは水成岩が層をなしてゐるから其層が風化作用に對する弱點となるためである。結晶岩では其結晶の大きいもの程風化し易く、結晶が完全なる程風化し難い。

三岩石の化學的成分 鐵、石灰及長石を多く含む岩石は風化し易く、硅酸を多く含む岩石は風化し難い。四氣候 雨量の多い處、降水の度數多い處、風の多い處、特に霰の降る處及溫度が氷點の上下に急激に變化し、従つて水が岩の裂目に浸入し凍結する場所は風化作用が盛である。

五土地の高さ及土地の方位 土地の高さ及其方位は氣候に關係すること大であるから、岩石の風化にも大なる影響を及ぼすものである。土地の方位に關しては南向の山腹は他の場所に比較して風化作用を受け易い、此原因は太陽の直射及南風のため春早く積雪が融け夜間には霜が地中に浸入するためである、尙南面の山腹は温いから人類が高い處迄住居し、従て山腹を保護する地敷の状態を悪くする。

六地敷の状態 植物は岩石の風化に關係する。岩石中に浸入する植物根に因る機械的風化は僅少であるが化學的風化は稍盛である。植物の生育が盛であれば化學的風化は之れに伴ひ盛である。植物の根は水中に溶解してゐる物を吸収する許りでなく其細根と接觸する物體を溶解して之れを吸収する、尙根から出る炭酸に風化作用を促進するものである。然し砂礫生産上に於ける植物の風化作用は他の原因に比しては言ふに足らない許りか、植物の存在は反て風化の進行を妨害するものである。

第二款 山崩及石崩

山崩とは平衡状態にある山體の一部が或る原因のため其平均を失ひ崩落する現象を言ふ。山の傾斜が急で地質が谷に向ひ傾斜する場合に其脚部又は層面が水の爲めに洗はれるときは最も容易に山崩を起こし易い、若し此場合に溶解し易い泥灰岩、粘土等が堅い岩層間に介在すると其害は最も甚だしい。又割目ある岩が其根元を洗はれ又は水が岩石中に浸入して氷結するときには山崩を起こすことがある。一般に風化の進んだ無立木の岩石地は山崩を起こし易い。強雨、急激な融雪も山崩の原因となる。本邦では地震が山崩の原因となつた場合が少くない、例へば明治二十四年濃尾の大地震には約一萬個の山崩及地辻を生じ又信州善光寺の地震

には岩倉山の崩落により犀川の水が停滯し長四里幅一里深二十四間の湖を生じ二十餘日の後決潰して大害をした事がある。

石崩とは山崩の小規模のもので砂礫生産地の上部で大小の岩片が絶えず落下するのを言ひ此等の岩片は山腹に堆積して圓錐形を作る。

第三款 雪崩

山の斜面に堆積してゐる雪は色々の原因で山腹に沿つて移動する此現象を雪崩と言ふ。雪崩には次の様な種類がある。

粉状雪崩 は嚴寒の季節に大雪があると成立するもので、多量の飛散し易い粉状の小雪片が險阻で立木のない山腹を砂の層の様に移動して他の積雪を共に運び去るものを言ふ。此際に大氣は壓迫されて大風起り

此大風は雪崩自身よりも大害をなすものである。

地面雪崩 氣候が稍温い時に降つた雪は濕氣を帯びて重いから山腹に固着してゐる、此等の雪は塊状をなして崩落し砂礫生産を盛にやる。

上層雪崩 とは凍結した古い雪層上に新に降つた雪層が滑動するものを言ふ。

雪崩の成立に關係する因子は山腹の傾斜、降雪量、天候、基岩、地敷の状態偶然の出來事等である。雪崩の害は非常に大で高山地方では雪崩のために人畜死傷し家屋を破壊し時としては全村を潰滅することがある又交通を止め林木を倒し河水を停滯せしむる等其害は大である。雪崩中砂礫生産に特別の關係あるのは地面雪崩で、滑落する雪塊の壓力で地上にある風化産物を運び去る許りでなく其浸蝕作用により地面を掘取り其岩を露出せしめ更に風化を繰返させる。雪塊が土、石、草木等を混じて谷に滑落すると所謂雪崩圓錐を作り水流を阻止することがある。

第四款 流水の浸蝕作用

砂礫生産の諸原因中最有力なのは流水の浸蝕作用である。流水の力が溪床の抵抗力より大きくなると溪床は掘られて次第に低下する此作用を流水の縦浸蝕作用 (Erosion) と言ふ。溪床が低下すると遂には兩岸が支持力を失つて崩壊する様になる。横浸蝕作用 (Corrosion) とは流水が溪岸を洗掘する作用を言つて溢流が輕鬆な岸に衝突する場合に最も甚だしい。溪岸に施行する砂防工事の直接の目的は此等の浸蝕作用を防止するにある。

第五款 水の抉壊作用

抉壊作用は山崩の一因となるもので、輕鬆な地層或は堅い岩の下部が水のために洗はれ、又は堅い岩の下にある粘土其他容易に崩れる層が軟化する場合に起こるものであつて、通常不透水層上を透水層が滑落するものである。透水層上に降つた雨は大部分地上を流れ去るものであるが、植物等により妨げられるときは、次第に地中に透入して、終には深處に達するものである。不透水層上に達した水の一部は其層の傾斜に沿つて流れ、兩層間の摩擦を殺滅し、他の一部は毛細管引力により上層に昇つて透水層を下方から上方迄濕潤し其容積と重量とを増し、其粘着力を減する。斯くして透水層が水で飽和されると地下水は地上水の様には不透水層上を流れる、斯うなると上層は最早下層上に止まつてゐる事が出来ずして滑落する様になる。抉壊作用は不透層の傾斜急な場合及堅い場合に起こり易い。草木は其根により地層を結合するから抉壊作用を妨ぐることになる、但し淺根性で丈高い樹木より成る森林に風が當る場合には抉壊作用を促進することがある。

第六款 土石流

山地に暴風雨あるとき又は長雨が續くときは山地に堆積してゐる風化産物は先づ溪に押し出され、軟弱な山地は降水の作用により膨軟となり、終には崩落する様になる、又水路に於ては暴流は其浸蝕作用を逞ふし

溪床を洗ひ溪岸を削り多量の土砂と共に巨大な石礫を流出し、水路は全く土砂石礫の流れとなる。斯る現象を土石流 (Murgang) と言つて野溪の作用中最も恐怖すべきものである。土石流の一例は明治四十年八月山梨縣下に起つたもので同月廿三日から廿五日に亘り七百七十耗の降雨があり、御坂、笹子及柳澤峠を連絡する山地東西四里南北六里約四萬町歩は非常なる惨害を被つた。而して其區域に於ける崩壊面積は約一千町歩であつて土砂石礫の押出した區域は六千町歩に達した。又大正八年九月十五日栃木縣下日光の稻荷川では四百七十餘耗の降雨があり、其爲に獐猛な土石流が襲來し何立坪と言ふ様な大きな石を押し流し其の中で最大のものも容積十一立坪もあり其重量は百四十英噸に達した。

第二章 野溪流域に於ける植物及施業

文明の進歩に比例して洪水被害の増大しつゝあることは統計の示す所に據り明である。是れあらゆる文明的施設は洪水を増大するからである、就中林地内への人類の侵入は洪水量に影響する所大である。

第一節 地被が野溪の状態に及ぼす影響

一植物で被はれた土地は裸地に較べて水分を保留することが多いから前者の溪川は後者の溪川より水量の少ないのが普通である。殊に植物生長盛なる夏期に於ては葉面からの蒸發が盛であるから水分を失ふことが多い。

二植物は其葉、莖及根に依て地上水及地下水の流速を妨ぐるに反し裸地では此等の障礙がないから流速大である、故に植物は降水を靜に溪川に導く作用をなす。

三植物の繁茂せる山腹に堆積する風化産物は根の作用により降水のため溪川に押出されることが少いが裸

地又は植物の少ない山腹では砂礫を流出することが多い、而して此作用は前二者の作用よりも治水上遙に有効である。

右に述べた諸作用は山腹の傾斜が急な處程其效果大である。地被中最效能のあるのは森林で、次は草地である、農地は土壤を流出するから急斜面に作つてはならない。

第二節 野溪流域に於ける森林の效用

一 森林による降水の吸収及保留

イ、樹冠は降水の一部を保留し林地に下すことなくして之れを蒸發させる、降水量の何割が樹冠により支へられ其處から蒸發するかを定むるのは困難である。樹冠により保留される水量は樹種、樹齡、鬱閉度及降水量により異り、殊に葉の繁り具合は降水の支持量に重大な關係のあるもので一般に常緑樹は落葉樹より、針葉樹は闊葉樹より、陰樹は陽樹より支持量が多い。例へば闊葉樹は小雨の際でも降水を地上に導くが、針葉樹は降水量が十耗位になつて始めて降水を地上に導くものである。針葉樹の中でも松は降水の支持力最も大で、鬱閉粗なるときでも支持量は年降水量の二三割に達し、密なときは四五割にも達する。次に樹冠から蒸發する水の量は季節、氣温及氣候に關係し其量は少くない。枝葉に保留された降水の二分乃至一割は樹幹に沿ふて林地に下り一部は風のため地上に拂ひ落される。一般に針葉樹は年降水量の二割乃至二割五分を保留するものと見れば大差はないが陽樹の闊葉樹では一割にも達せないものがある。此等の數は豪雨の際には遙かに低下するから此場合には森林の效力は減するものと言ふ事が出来る。

ロ、林地よりの蒸發 林地に到達する降水量は地被又は林地の上層により支持され一部は蒸發する、但し其量は無立木地に於けるよりも少ない之れは森林が日光の直射を妨げ風速を緩和するためである。

(ハ) 林地による降水の吸収及林木生長に要する水、森林の吸水作用中最も重要なのは林地の吸収作用である實驗によれば半ば落葉にて被はれば半ば掃除せられたる傾斜地の森林は普通の降水量では年降水量の五割五分を吸収する。

(ニ) 滲透作用 降水の何割が地中に滲透するや、之を數字的に定むることは困難である。新らしいまだ分解しない落葉、落枝は水を滲透すること早いが、腐朽するに従ひ吸収量を増し滲透を減する。裸地では雨水は急速に流れ去るから地被ある處よりも滲透少く、地被中でも落葉は藓苔より水を滲透すること多く又同一地被ならば厚い程滲透作用盛んである。森林を構成する樹種の中常緑針葉樹は闊葉樹よりも滲透作用を妨ぐる事が多い。樹木密生し其根錯雜するときは水の滲透困難である。

以上の諸作用により森林のため吸収される平均水量は年降水量の五割五分に達し残りの四割五分は溪川に流出することとなる。施業完全な森林の吸収量は七割にも達することがある又裸地では四割に下ることもある但此等の數字は豪雨又は霖雨の際には著しく減少することは前に述べた通りである。

二、流水及砂礫移動に對する森林の機械的妨害、森林は其幹根及地被の作用により水の流出を機械的に妨害し其流速を減する許りでなく積雪の滑落を困難にする。此等の作用は山腹の勾配急な程益々著しい。次に森林は其根により土地を固く抱持し且雨水の衝突力を弱めて浸蝕溪及崩壊地の生成を防ぎ従て砂礫の生産を豫防する。尙森林は山腹から溪に移動する石礫を扞止する。

第三節 野溪流域に於ける林業

森林が降水及砂礫を留止する作用は森林の位置状態及施業に關係する所大である。山地では降水量多く、流速は大で且砂礫の流出が盛であるから林業は他の土地産業に比し遙に適切である。溪川の兩岸にある急斜

の山腹は直接溪川に砂礫を落下するから伐木してはならない、若し樹木が生へてゐないときは直ちに植栽することが必要である。又植物上部附近に在る森林は上方より落下する岩片を直接拵止する目的を以て充分密に之れを仕立てなければならぬ、尙雪崩の危険ある處及地質其他の關係上浸蝕、山崩の虞ある處の森林の施業は最も完全なるを要する。森林は其面積の擴張を計るよりも寧ろ其位置及施業の完全を計ることが必要である。森林施業中關係大なるものは主業及副業の種類、木材運搬の種類及沼澤の排水である。

一 皆伐作業及擇伐作業 高山地方でも皆伐作業は立地の關係を無視し、唯收穫の増大、運搬費節約等の見地から、大面積に亘り行はれることがある。然し此作業は林地を露出させるから治水上大害がある、故に溪川に沿ふ急斜地では絶對に行つてはならない。之に反し擇伐作業は收穫上の利益減ずるも治水上からは合理的の施業法と言ふべきである。

二 副業 森林に於ける副業の主なるものは落葉採取、林内放牧及樹脂採取等である。就中落葉採取は治水上に重大な關係を及ぼすもので、森林が降水を保留し野溪の状態を緩和する作用の重大なる部分は之を落葉の作用に歸せなければならぬ。尙落葉の採集は林地を大氣に曝露し岩石の風化作用を促進するのみならず土壤を瘠悪にする。次に林内放牧は樹木の生長を阻害する許りでなく、土地を機械的に荒廢させる。最後に樹脂の採取は屢々森林の取扱を害し其滅亡を招くことがある。上述の副業は主として小森林の所有者が自己の森、内で行ふものであるから森林所有關係に就ては大に考慮の餘地がある。

三 木材 搬 皆伐作業では治水上の考慮なく、唯便宜の點許り考えて木材を運搬するから、林地の表面が損傷せられる許りでなく、深く地面を掘り起こすか、又林地で屢々實見せられたる土橋は山頂から溪底迄一直線をなしてゐるから、一度豪雨あるときは水路と化し浸蝕作用起り、遂には多量の砂礫を溪に押出す様になる。傘伐作業に於ても林地の損傷は免れることが出来ないが、其損傷は單獨的で小面積に限られるから恢

復は容易である、且此場合には降水の分配平等であるから林地を浸蝕することは少ない。尙木材の水運は溪岸及溪床を破壊し治水上大害を興ふるものであるから、若し此運材法を用ふるならば、溪岸及溪床を充分保護する必要がある。

四 沼澤の排水 沼澤は雨水の貯水場となり、溪川の状態を良好にするものであるから、山地にある沼澤を排水し之れを利用することは避くるが良い。

第三章 石礫移動の法則

野溪は風化及浸蝕作用の産物なる多量の土砂石礫を流送することは前に述べた通りである。而して其流送は水の運動に重大なる影響を及ぼすものである。

第一節 一般法則

第一款 水の押送力

水の押送力は水深及水面勾配から簡單に算出することが出来る。第十四圖に於て α を水路の一部ABを水路の底CDを水路底に平行なる水面、MNを断面 l 長さなる水線、Pを水線の重さ、 P_1 及 P_2 をPの分力、 γ を水の比重とするときは、水の運動を起す力はPであつてM及Nに於ける水壓は相等しいから關係はない。水線を動かす力は

$$k = p = P \sin \alpha = f l \quad \gamma \cdot \sin \alpha = f \cdot \gamma \cdot CD \cdot \sin \alpha$$

水路の底が水面と平行でない場合は(第十五圖)同様に

此場合にはM及Nに於ける水壓は異なるから

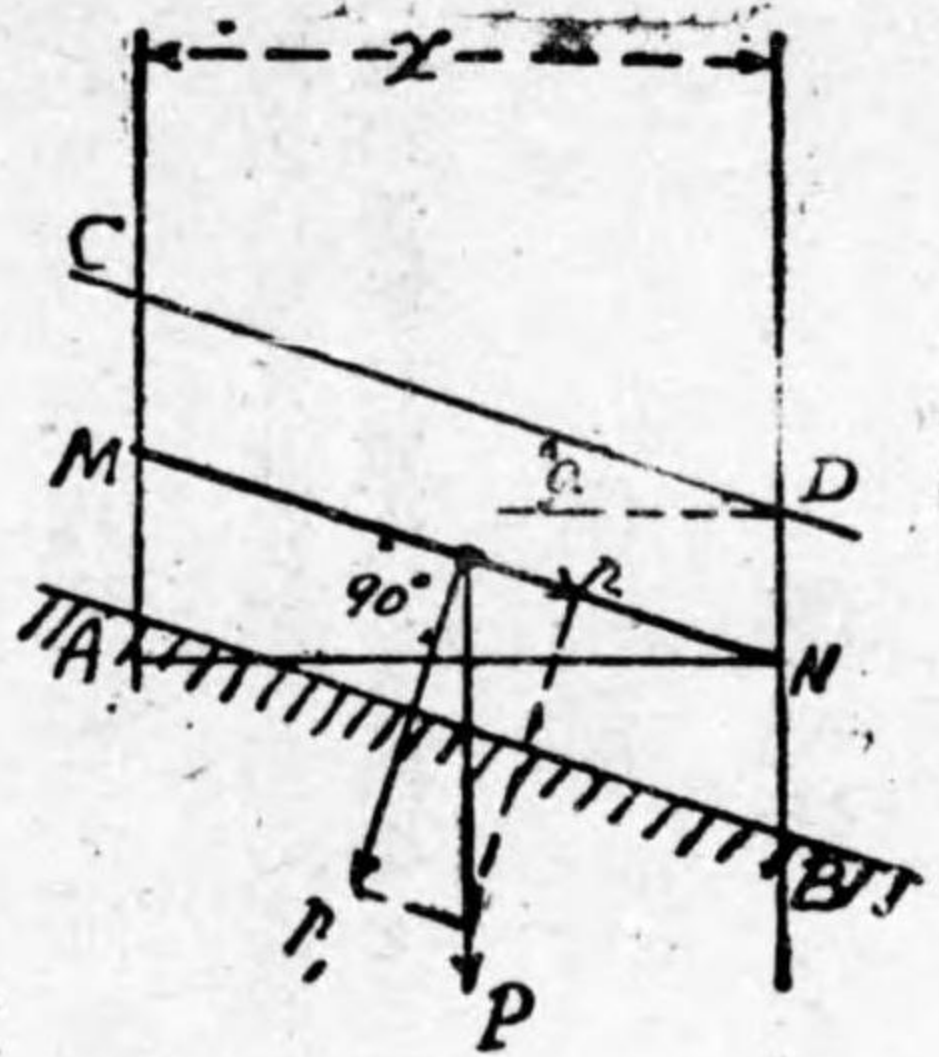
$$p = P \sin \alpha = \gamma \cdot l \cdot f \cdot \sin \alpha = f \cdot \gamma \cdot ME_1$$

右の式により水の押送力は水面勾配に關係するも水路底の勾配には全く關係のないことを知る。而してなる部分に於ける全水量の押送力Kは第一圖の場合には

$$K = \gamma \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot F$$

となる。γ・l・Fは全水量の重さであるから之れをGで表はし、尚αは一般に小であるから $\sin \alpha \approx \tan \alpha$ と見るも大差はない、 $\tan \alpha$ は水底の勾配である、之れをJで表はせば

$$K = G \cdot J \dots \dots \dots (11)$$



圖四十第

第二款 石礫流送が流水の運動に及ぼす影響

同一條件の下に於ける二つの水流を比較するに、石礫を流送するものは然らざるものより流速が遅い。今Qを單位時間に水路の一定断面を通過する石礫を含まない水の量とし、γを單位容積の清水の重量とすると、Q・γは單位時間に該断面を通過する水の全重量である。今突然容積sの比重大なる石礫が水に混ずるときは重量s・Q'の水は押退けられ石礫を含む水の重量は

α・Q・d-α・Q'・γ=α・Q'(d-γ)
 寸増加する。今vを清水の速度、v1を石礫を含んだ後の速度とすれば運動量の法則により

$$\gamma \cdot Q \cdot v = \{\gamma \cdot Q + \alpha \cdot Q'(d-\gamma)\} v_1$$

$$v_1 = v \cdot \frac{\gamma}{\gamma + \alpha(d-\gamma)} \dots \dots \dots (12)$$

となる。而して(d-γ)は常に正数であるから、V1はVよりも小である。次に

$$v = c \sqrt{R \cdot J} \quad v_1 = c_1 \sqrt{R \cdot J}$$

であるから

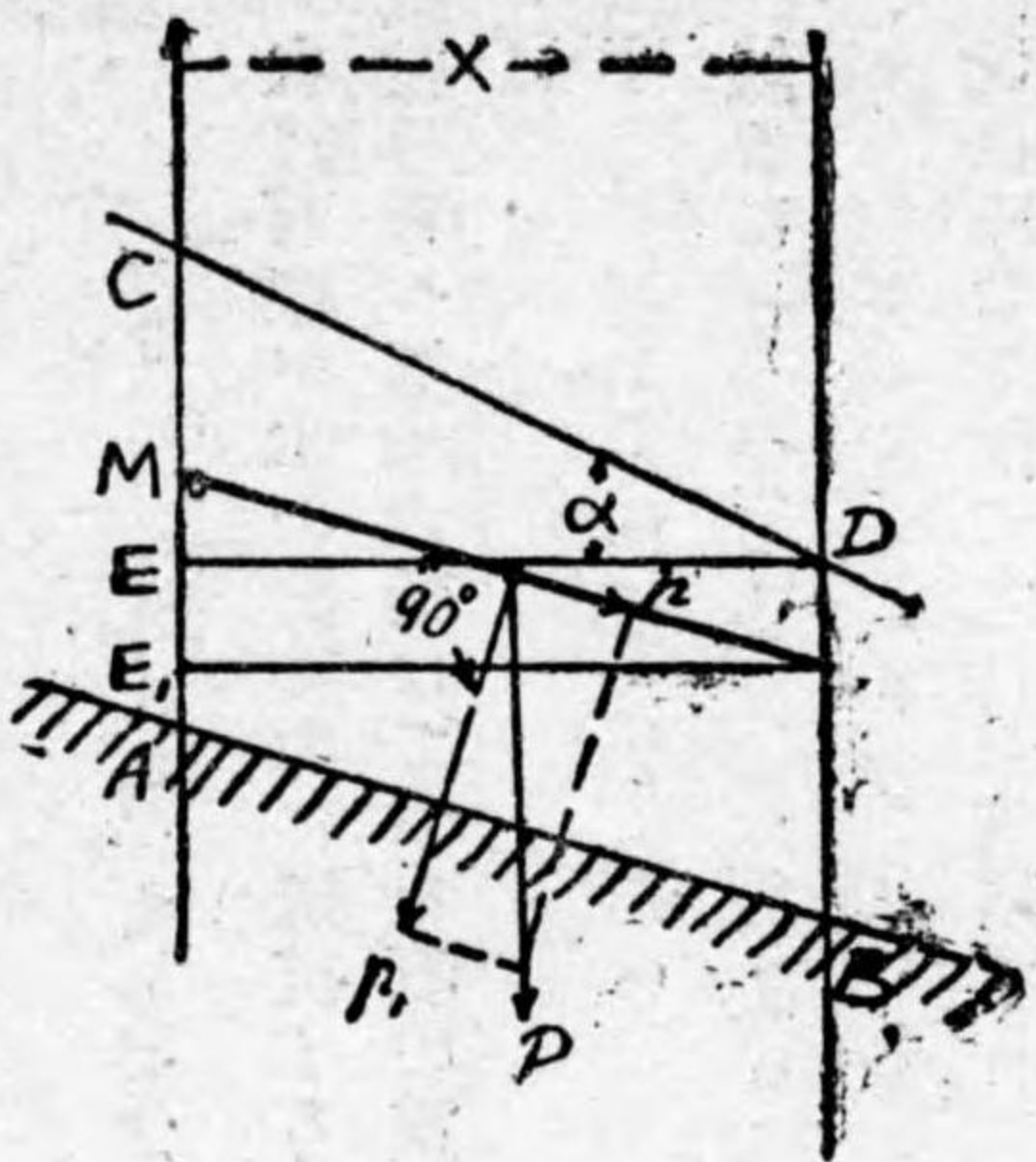
$$\frac{v}{v_1} = \frac{c}{c_1} = \frac{\gamma + \alpha(d-\gamma)}{\gamma} \dots \dots \dots (13)$$

第三款 石礫に衝突する

水の力及石礫の低抗

Sを石礫に衝突する水の力、K K1を衝突面及石礫の形状による係數γを水の比重、Fを衝突面の大きさ、vを水の平均速度gを重力による加速度とすれば

$$S = (K + K_1) \cdot \gamma \cdot F \cdot \frac{v^2}{g} \dots \dots \dots (14)$$



圖五十第

係数中Kは石礫の前面に於ける水の壓力に因て起る衝突作用を表はし、 K_1 は石礫の後面で再び會合せんとする水の作用に因て起る壓力作用を表はす。實驗の結果によれば、 K_1 は石の長さ反比例し、Kは石の形状に關係すること少い。 $(K+K_1)$ の値はメートル法では平均1.5であつて球形の場合には0.5に下ることがある。今 $(K+K_1)$ の平均値を1.5としa及cを衝突面の寸法とすれば $F_{\text{衝突}} = 1.5 a c v^2$ なるにより

$$S = \frac{1.5}{2 \times 9.81} \gamma \cdot F \cdot v^2 = 0.076 \gamma \cdot F \cdot v^2 = 0.076 \gamma \cdot a \cdot c \cdot v^2 \text{ (單位米突)} \dots \dots \dots (15)$$

次に石礫が水の衝突力に抵抗する力は石礫の性質、形状等により異なるも、今平面なる溪床上に在る角石の抵抗を考へ第十六圖にてGを石の重量、 G_1, G_2 を分力、fを溪床と角石間の摩擦係数とすれば、石礫の抵抗力Wは

$$W = G \cdot f \cdot \cos \alpha = G_2 \cdot f$$

然るに $G = (d-r) \cdot a \cdot b \cdot c$ なるより

$$W = (d-r) \cdot a \cdot b \cdot c \cdot f \cdot \cos \alpha \dots \dots \dots (16)$$

G_1 は小なる故に之れを省略するときは石礫が運動を始むるためには

$$0.076 \gamma \cdot a \cdot c \cdot v^2 > (d-r) \cdot a \cdot b \cdot c \cdot f \cdot \cos \alpha$$

であるを要する。依て

$$v > \sqrt{\frac{(d-r) \cdot b \cdot f \cdot \cos \alpha}{0.076 \gamma}} \dots \dots \dots (17)$$

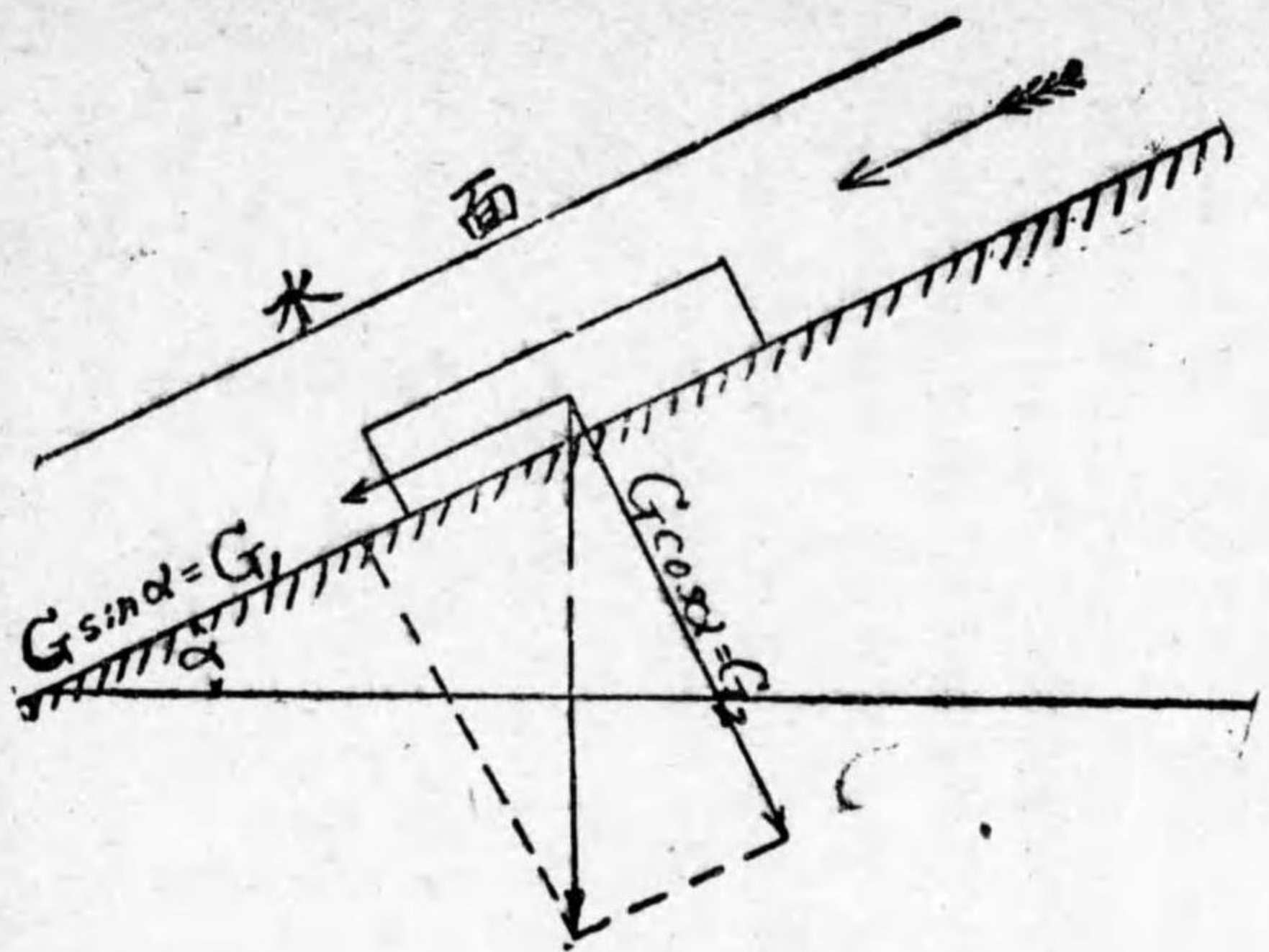
$$\text{一般に } v > \sqrt{\frac{K(d-r) \cdot b \cdot f \cdot c \cdot \cos \alpha}{\gamma}} \dots \dots \dots (18)$$

d, r, f 及 α が常數なる場合には

$$v > K_0 \sqrt{b}$$

丸石では $(K+K_1)$ の値が小さく、従て係數 β が大となるから、此關係計りを見れば角石よりも動き悪い譯であるが、丸石の場合には溪床との間の摩擦抵抗が少いから水の爲に動かされ易い。右に述べた様に石は其短軸を水流の方向に置くときが一番水のために動かされ易いから、一旦移動した石が沈澱する際は長軸を水流の方向に垂直にする、之れに依て水流の方向を知ることが出来る。

第 十 六 圖



てゐる様な状態を呈し従て摩擦係數fの値を小にする。

17) 及 18) の兩式により明なる如く石礫に衝突する水の比重 γ は石礫の運動に大關係がある、即ち増すときは $\sqrt{\frac{v}{K_0}}$ の値は分子小となり、速に小となり石礫の運動を容易ならしむる。例へば石の比重 $\rho_{\text{石}} = 2.6$ 、水の比重 $\rho_{\text{水}} = 1$ なるときは $\sqrt{\frac{v}{K_0}} = 1$ であるが、若し水の比重が土砂の含有により $\rho_{\text{水}} = 1.6$ に増すときは $\sqrt{\frac{v}{K_0}} = 1.6$ となり、1.6に増すときは $\sqrt{\frac{v}{K_0}} = 1.6$ となる。尙土石流の場合に於けるが如く $\sqrt{\frac{v}{K_0}} = 1.8$ に昇るときは $\sqrt{\frac{v}{K_0}}$ の値は $\sqrt{1.8}$ に低下する。是れ土石流が巨大な石を送る主因である、尙此際は石礫は甚だ軽くなるから殆んど浮いて

又石の比重が其移動に重大關係あることは(18)式により知ることが出来る。今比重の異なる二つの正六面體の石を考え、其比重を各 d_1, d_2 、一邊の長さを b_1, b_2 、重量を G_1, G_2 とし、此等の石の平衡状態を考ふると(17)式又は(18)式により

$$\frac{b_1}{b_2} = \frac{d_2 - 1}{d_1 - 1} \dots\dots\dots (19)$$

$$\frac{G_1}{G_2} = \left(\frac{d_2 - 1}{d_1 - 1} \right)^3 \frac{d_1}{d_2} \dots\dots\dots (20)$$

若し $d_1 > d_2$ ならば $\frac{d_2 - 1}{d_1 - 1} < 1$ 従つて $\left(\frac{d_2 - 1}{d_1 - 1} \right)^3 \frac{d_1}{d_2} < 1$ 依つて $\frac{G_1}{G_2} < 1$ 又は $G_1 < G_2$

右の式によれば比重大なる石は其全重量が比重小なる石の全重量より軽い場合でも水のために動かされ難い場合のあることを知る。例へば花崗岩と石灰岩とを比較するに前者の $d_1 = 2.8$ 後者の $d_2 = 2.4$ とすれば $\frac{V_1}{V_2} = \frac{b_1^3}{b_2^3} = \left(\frac{d_2 - 1}{d_1 - 1} \right)^3 = 0.4$ $\frac{G_1}{G_2} = \left(\frac{1.4}{1.8} \right)^3 \frac{2.4}{2.8} = 0.55$ 即石灰石の代りに花崗岩を用ふれば其容積は四割七分其重量は五割五分で足りる、此事實は石の運搬及取扱上充分注意すべきことである。比較的水力の強い處に比重大にして容積小なる石存在し、比較的水力の弱い處に比重小にして容積大なる石存在するは此理に因るのである。又

$$(d_1 - 1)b_1 \leq (d_2 - 1)b_2 \quad b_1 \geq \frac{d_2 - 1}{d_1 - 1} b_2$$

なる條件が成立てば比重及寸法の異なる種々の石が其重量に關せず同一場所に静止する。例へば $d_1 = 2.8$ (花崗岩) $d_2 = 2.4$ (石灰岩) ならば上の條件は $b_1 \geq \frac{1}{3} b_2$ となる。若し $b_1 = \frac{1}{3} b_2$ ならば兩岩共に静止し其容積の比

は衝突面を相等しとすれば一対一・二で重量の比は一対一・一である。 $d_1 > \frac{1}{3} b_2$ なるときは、花崗岩は重量が増すから、一層確實に静止する。右に述べたのは石が溪床上に存在する場合であるが、若し其一部が溪床中にあるときは石礫移動の條件は非常に複雑になる。従て浸蝕作用の法則を定むるに必要なる此研究は非常に困難である。然し次の様な方法によるときは浸蝕作用の法則及溪床變化の法則を略理解することが出来る。

第四款 流水の界限速度及石礫による流水の飽和

(17)式及(18)式により明なる如く、水面勾配及摩擦係數一定なる場合には各種の石礫に對し、其比重、大き及形狀により一定の平均速度存在すべく、其速度以内ならば、石礫は全く静止の状態を續けるものである。斯る平均速度を界限速度と云ふ。此速度は次の式から算出することが出来る。

$$v = \sqrt{\frac{R(d-1)fb \cos \alpha}{\dots\dots\dots}} \dots\dots\dots (21)$$

地滑、山崩等のために、砂礫が水路に達するときは、土砂の部分は水に溶解し、略水と同速度で流れる。界限速度が、該部の平均速度より大なる石礫は該部に止り、小なる石礫は流送され、其速度は輕小な礫程大であるが、流水の速度よりは小である。斯くの如く、或る一定の流速に於ては、砂礫は沈積するものと、流送されるものとに區別することが出来る、従て流速に變化あるときは、新流速に應じ、水中に含有される砂礫の量は増減する。而して石礫運動の經過中石礫の分類起り、最も輕く小なるものは水面に近く早く流れ稍重く大なるものは溪床に近く緩に流れ、最も重く大なるものは溪床に沈澱する。但し實際に於ては小石が大石の間に挟まれて運ばれることがある。一般に大石は溪床に接して動き、且つ小石が其の上を越流するか、磨滅して圓味を帯びるが、小石は浮いて流れるから磨滅すること少く、角張つた原形を保つものが多い上に述べた水の砂礫分類作用は又各個運搬と言ひ、流送される石礫は互に相觸ることあるも、其流れを妨

害せずと假定する。石は流水の平均速度が、其限界速度より大なる間は、運動を續行するが、一旦或る原因で限界速度を下るときは、石礫流下の條件が成り立たないから、沈澱する。流速が、下流に赴くに從ひ、次第に減ずると、流水中に含有さるゝ石礫は大小の順に沈澱を始める。

水路に於て水の平均速度が、溪床に存在する石礫に相當する限界速度より大となるときは、石礫は運動を始める。兩速度の差が、大なれば大なる程、其運動は迅速である。然し流水が石礫を含むときは(12)式により其流速が減ずるから、或程度以上には、最早石礫を包含することが出来ない様になる。即平均速度と限界速度が等しくなるときは、流水は砂礫を以て飽和される。例へば水路に於ける平均流速を九・七五米突とし、石礫に相當する限界速度を四米突とすれば、飽和状態は平均流速が毎秒四米突に下つたときに起るべく、該状態の下に含有される石礫の量は次の通りである。但し石の比重は二・四と假定する。(12)式により

$$4 = 9.75 \times \frac{1}{1 + 1.4v}$$

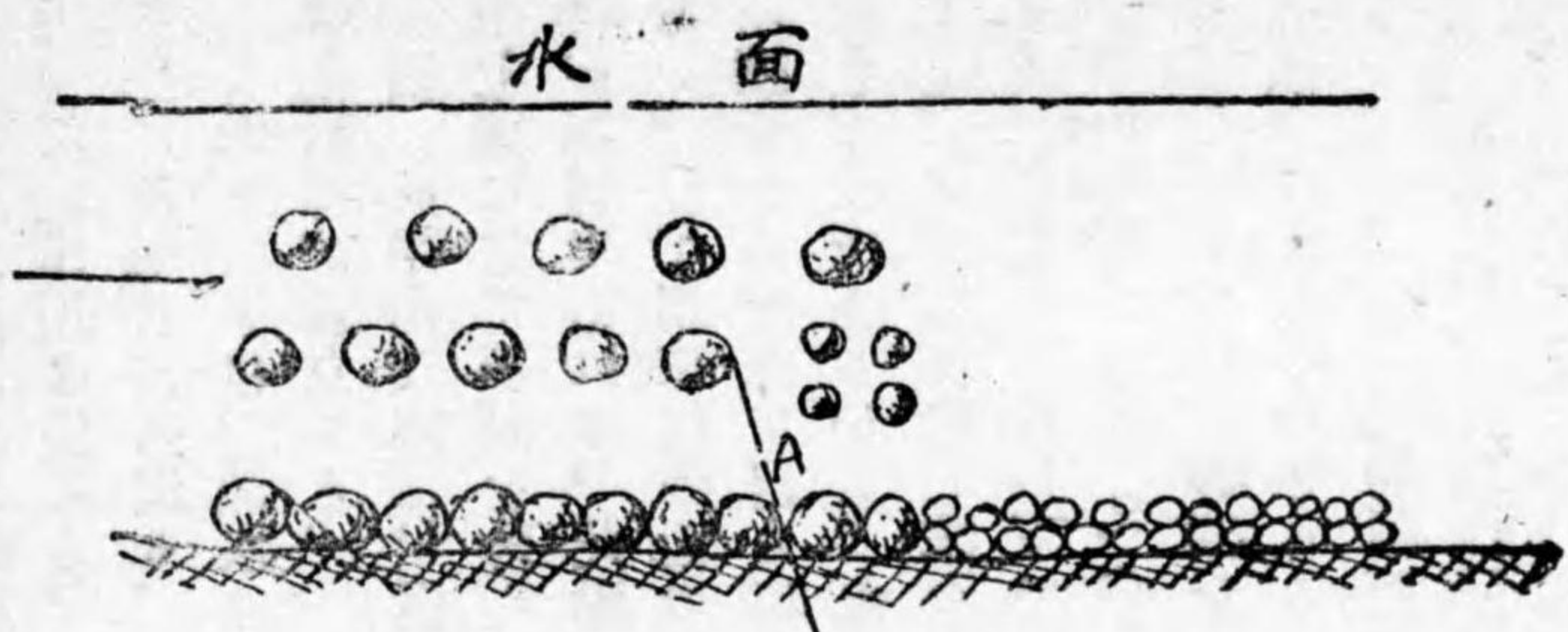
$$v = 1$$

即此場合には該断面を單位時間に通過する水量と、同量の石礫が溪床から動かされるときに飽和状態とな

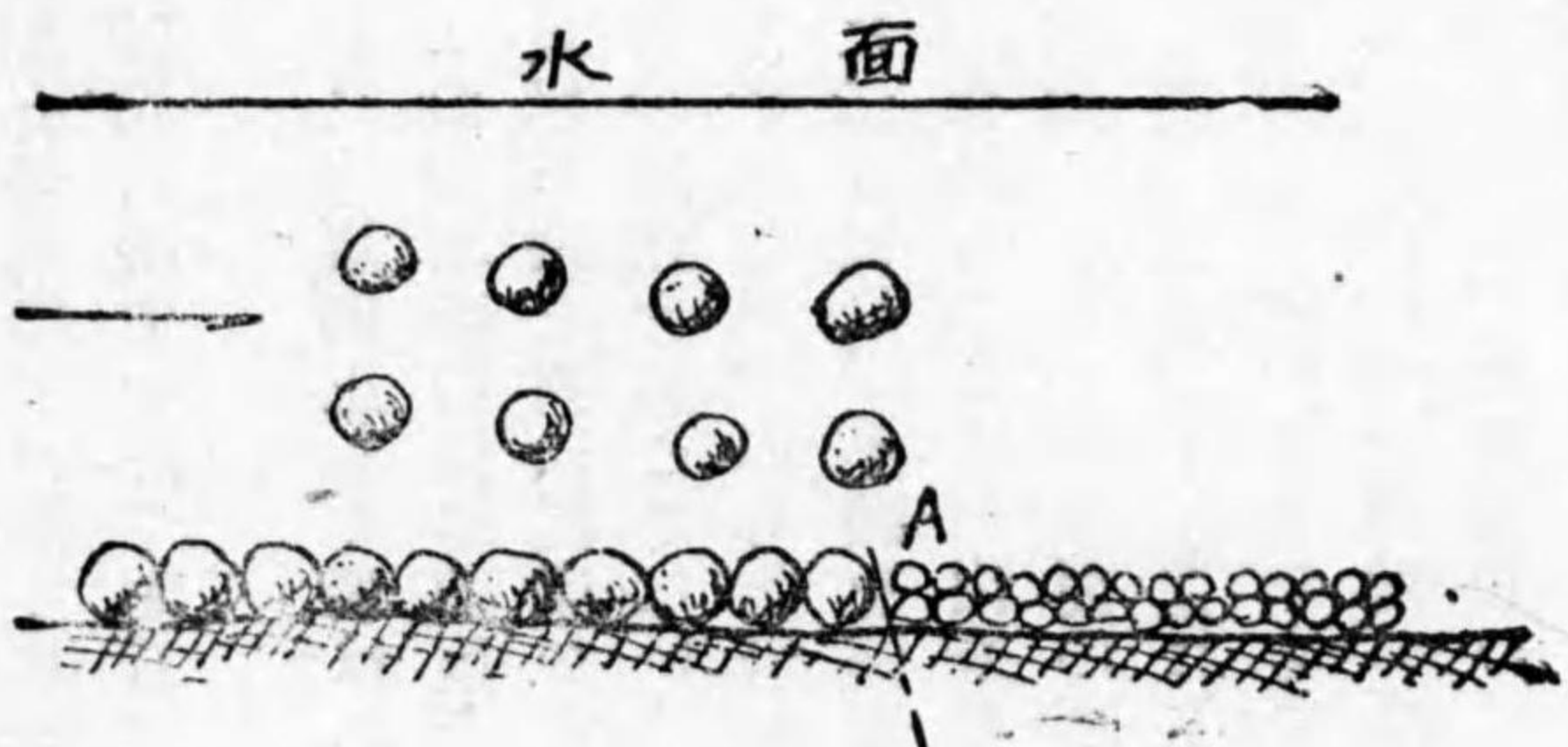
第二節 縦浸蝕の法則及溪床勾配の自然的發達

第一節では石が溪床の上に存在すると假定したが、浸蝕作用の大部分は溪床中に在る石礫を洗掘するものであるから、其法則を數式で示すのは困難である。然し流水の限界速度及石礫による流水の飽和の理論から次の浸蝕法則を知り、且或る程度迄數學的に之を説明することが出来る。

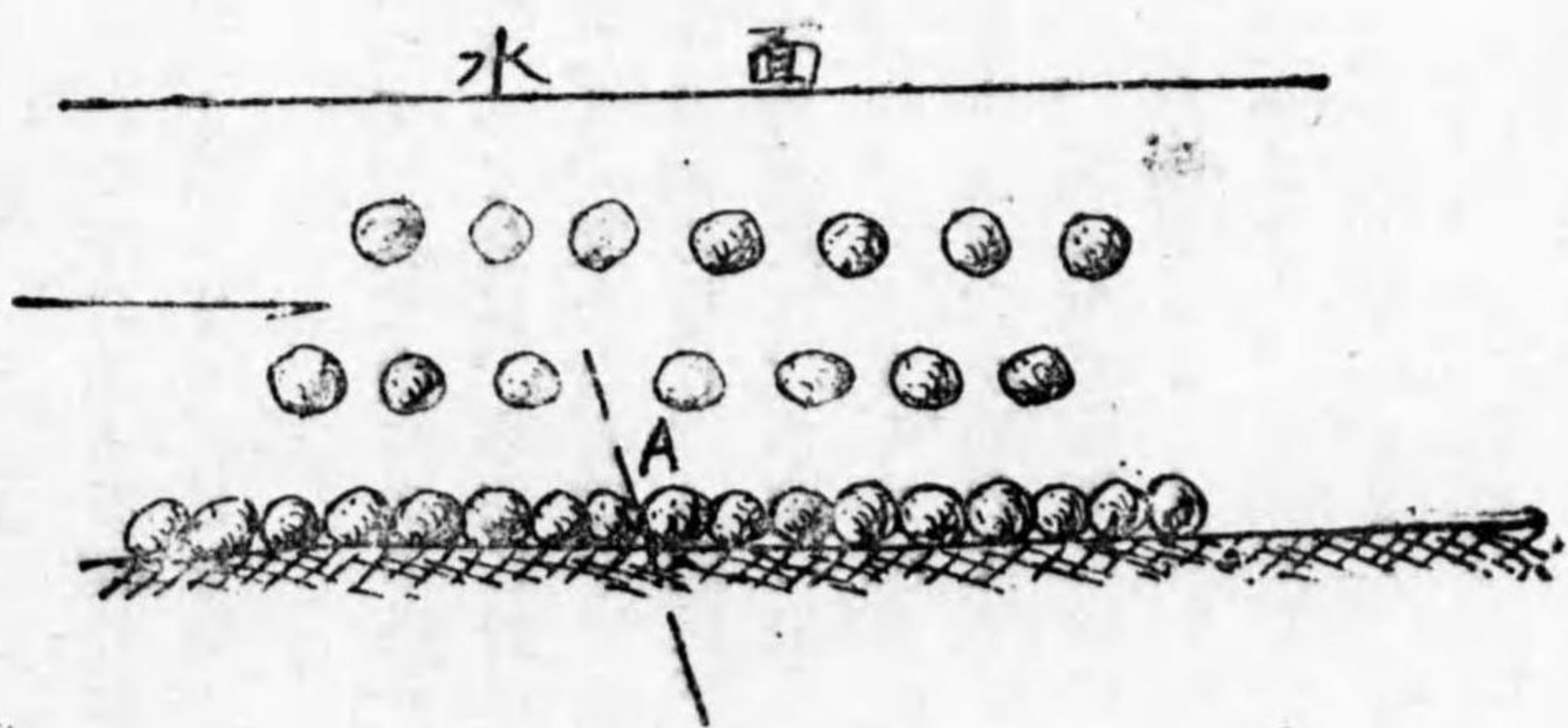
- 一 (14)式により水の衝突力が、溪床の抵抗力より大なるときは浸蝕作用起る。



圖九十第



圖八十第



圖七十第

二 12式により、他の條件同一ならば、流水中の砂礫含有量増すときは流水の平均速度、従て其衝突力減じ、浸蝕作用は弱はる、但し溪床上を移動する石礫は浸蝕を促進する。

三 浸蝕作用に因り、流水の砂礫含有量増加し、従て其平均速度減じ遂に溪床にある石礫の限界速度に等しくなるときは、流水は含有砂礫の流送に全力を注ぐから、最早浸蝕作用を逞ふすることを得ずして、茲に平衡状態が成立する。

四 此平衡状態は、溪床勾配の形状に、規則正しく表はれるものであつて、其理由は次の通りである。第十七圖に於て石礫を含んだ流水が、A點の石礫の限界速度で、A點に達するときは、水路に於ける總ての條件が不變であれば、此點以下では、最早石礫を新に溪床から掘取ることなく、又含有石礫を沈積することもない。従て溪床縦断面の形状には何等の變化を起ささない。此形状は第十八圖の様に、A點以下の溪床が、小礫層から出來て居る場合にも變ることはない。即ち此場合には流水の平均速度は、小礫に相當する限界速度より大であるから、水は第十九圖に示す様に、小礫を溪床から取り上げる。そうすると流水の平均速度は減し、A點迄流送し來つた大礫を最早保持することが出來ない様になり取り上げた小礫の代りに大礫を沈澱する。斯様にA點以下では石礫の交代起こるも、縦断面の形状は變らない、斯る状態の下に於ける溪床勾配を平均勾配 (Slope of Compensation) とし、清水の場合にも、斯る勾配の存在することは明であつて、此際は水の衝突力は、砂礫を含む水の衝突力より大であるから平均勾配は甚だ小となる。即衝突力の殘餘は勾配の減少により平均せらるゝものである、此値は平均勾配の最小値であつて平衡勾配 (Slope of equilibrium) といふ。溪床の平均断面及平衡断面の形状は、比較的短い野溪の部分に於ては、常に直線なりと假定することが出來るが、長い部分に於ては此假定は常儀らない。一般に溪川の流量は、水源から下流に赴くに從ひ、次第に増加するから、其浸蝕力も下流に赴くに從ひ増す。依て溪床の洗掘なからしむるためには、下流に赴

くに從ひ、次第に其勾配が緩にならなければならぬ。故に平均断面は、上方に向つて凹曲線を呈する。尙此事實は砂礫分類の自然作用即堆積石礫の大きさが、上流から下流に向ひ、次第に減することによるも明である。上述の曲線は拋物線又はサイクロイドに類し、流水の關係及溪川の各横断面に於ける状態が一定ならば、連続的のものであるが、野溪に於ては常に變化があるから、縦断面は連續曲線を表はさない。例へば第二十圖及第二十一圖に於て、礫で飽和された水がA點迄來たとき或關係のため、例へば川幅が急に廣くなつてゐるために、水深が減じ従て水速緩となれば流水は最早全部の石礫を流送することが出來ず、其中の最大最重の礫を沈澱する。此の反對に川幅が、A點以下で急に狭くなるときは、水深増し、従て水速大となり、A點以下を浸蝕する。又第二十二圖の場合にはN點を境として、石礫の沈澱及洗掘起こり、N點は變化がない。砂防工事を施行するに當り、溪床の浸蝕を豫防するには、當該野溪に相當する平均勾配を定めることが必要である、然し之を定むるに要する諸因子を正確に知ることは困難であるから、算定の結果は不正確なるを免れない溪流の一點に於て、其溪床が不變なるためには(21)式

$$V = \sqrt{\frac{\beta (d-r) \cdot f \cdot b \cdot \cos \alpha}{\gamma}}$$

なる關係が成立するを要する。然るに $V = \sqrt{R J}$, $J = \sin \alpha$ であるから、前式は次の様に書き換へることが出來る。

$$\sqrt{\beta \sin \alpha} = \sqrt{\frac{\beta (d-r) \cdot f \cdot b \cdot \cos \alpha}{\gamma}} \quad \tan \alpha = \frac{\beta \cdot (d-r) \cdot f \cdot b}{\gamma \cdot c^2 R}$$

$$\text{式中 } \beta \cdot f \cdot b \text{ の置はば} \quad \tan \alpha = \frac{d-r}{\gamma} \cdot \frac{b}{c^2 R}$$

$f=0.76, \beta=\frac{1}{0.076}, \gamma=1$ 等

$\tan \alpha = 10(d-1) \frac{b}{c^2 R}$ (單位米架) ... (22)

EO

水深をH形状係数をmとすれば $R=miH$ となるから(22)式は次の様になる。

$\tan \alpha = 10(d-1) \frac{b}{c^2 m H}$... (23)

平均勾配に關する最後の三式から、次の浸蝕法則を得る。

- 一、溪床を形成する礫の比重(d)大なる程又流水の方向に於ける礫の長さ(b)長き程浸蝕作用は小である。
- 二、水の比重(γ)大なる程流速係数(c)は小となる。(13式)から、清水は砂礫を含む水より浸蝕作用大である、又水は砂礫を含めば含む程浸蝕力を減少する。
- 三、水深(H)大なる程平均勾配は小である、水深小なる程平均勾配は大となる。例へば流水が狭窄部から平野に出づるときは、水

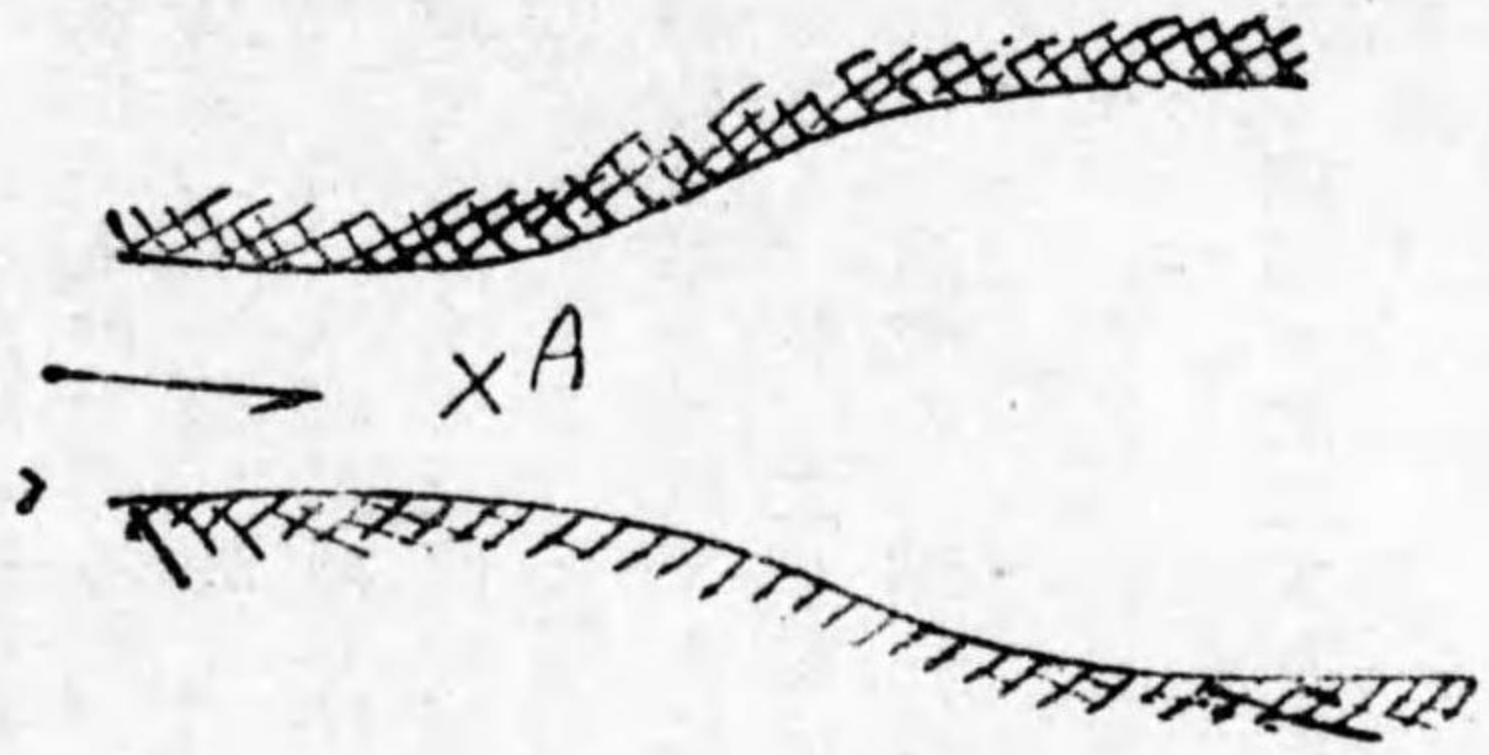


圖 十 二 第



圖 一 十 二 第

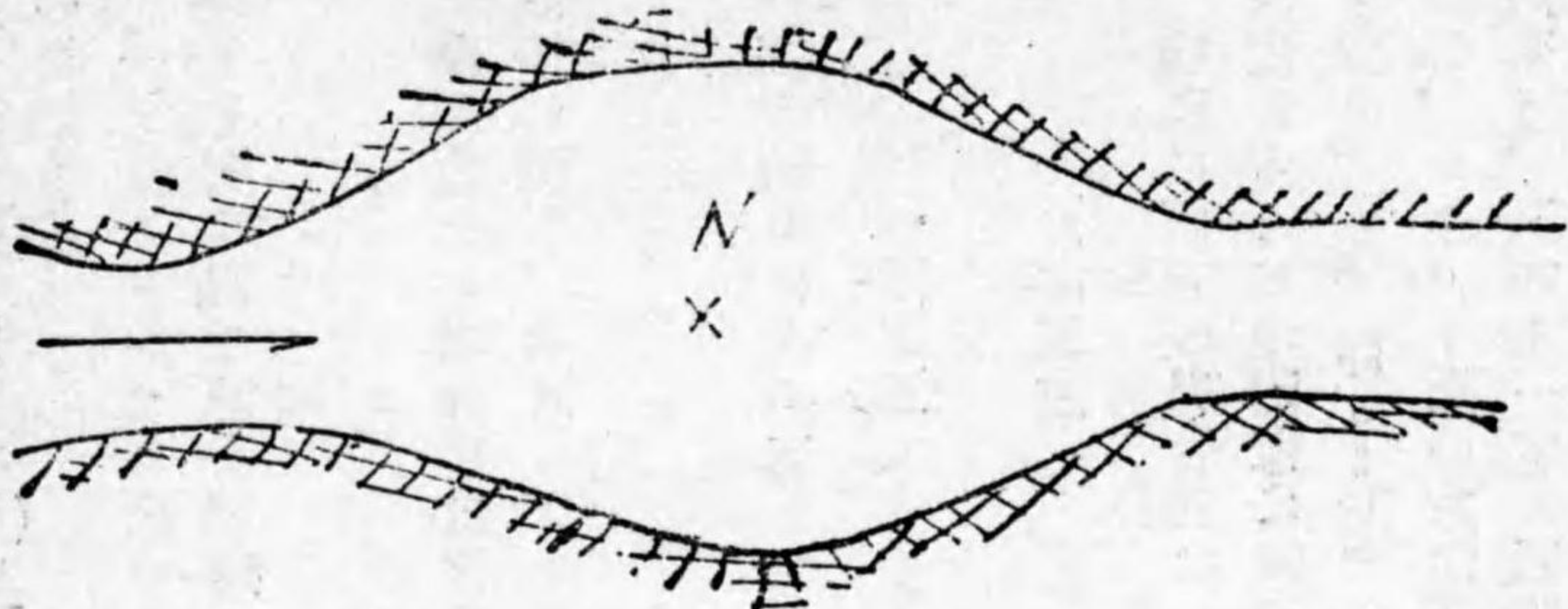


圖 二 十 二 第

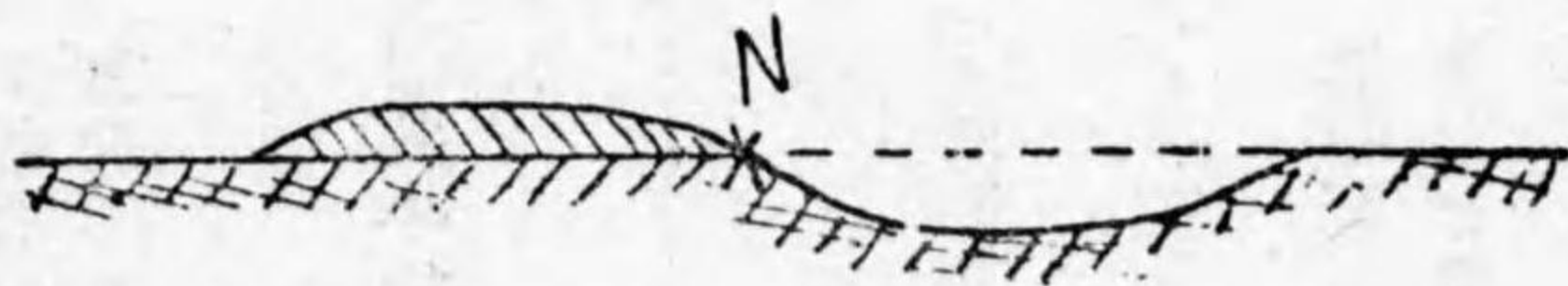


圖 三 十 二 第

深減じ、平均勾配大となるも之に反する場合
 は水深増し、平均勾配は減じ従て浸蝕作用は
 盛となる。

四、溪川の流量は、下流に行くに従ひ増す
 から、水深も之に従つて増す、又bの値は流
 送の途中磨滅により小となるから、平均勾配
 は下流に赴くに従ひ漸次小となり、一つの凹
 曲線を形成する。

(22)及(23)式に於てbの値が、溪川の狀態に相
 當する最小値を取るときは、平均勾配も亦最
 小となり、絶対に砂礫を含まない水に於ては
 溪床が水平即平衡勾配となるから、浸蝕作用
 はやむ。水が狭窄部から平地に出で漲溢する
 ときは水深Hは其最小値に達し、従て平均勾
 配は最大となり、石礫は急傾斜の溪床上に留
 まる様になる、斯る勾配を洪水勾配 (Über-
 flutungs gefälle 獨 *peute de divagation*) とい
 ふ。洪水勾配及平衡勾配は平均勾配の兩極端
 を表はすものである。

平均勾配に關する(23)式から、平均勾配の大きさを定むることは困難である。現今實地に用ひらるゝ方法は次の様である。

一、ヴァレンチニ氏の方法 礫が小さい場合には、礫の形状を正方形と見做し、土砂の混入しない礫の容積Vを測容器で計り、礫の數nを數へ、次式によりbの値を算出する。

$$b^3 = \frac{V}{n}$$

礫が大きい場合には、直接にbを計り、其平均をとる。氏はアツダ川流域の七十四の野溪でa、b及Rを直接に測り、次式により係數Kを算出した。

$$\tan \alpha = k \frac{b}{R} \dots\dots\dots (24)$$

其の結果は次の通りである。

$$\text{下流河川} \dots\dots \tan \alpha = 0.871 \frac{b}{R} (1 + 0.108) \text{ (單位米突)} \dots\dots\dots (25)$$

$$\text{上流河川} \dots\dots \tan \alpha = 0.093 \frac{b}{R} (1 + 0.106) \text{ (單位米突)} \dots\dots\dots (26)$$

誤差は兩方の場合共に一割一分弱で、急勾配の上流河川では少なからぬ誤差ではあるが、之れは礫の大きさを定むることの困難に歸すべきもので、止むを得ざることである。ヴァレンチニ氏に依れば、野溪に於ては $\tan \alpha = 0.4266$ 即 $\alpha = 23^\circ$ に達した所がある。

二、チェリー氏の方法。長期に亘り不變なる横断面に於ては、該部の溪床勾配は平均勾配と見做すことが出来る、又或る一定の區間に於て(23)式のd、b及C不變なりとすれば

$$10. (d-1) \frac{b}{d^2} = A$$

$$\tan \alpha = \frac{A}{R}$$

又該區間の他の横断面に於ては

$$\tan \alpha_1 = \frac{A}{R_1} \therefore \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_1} = \frac{R_1}{R}$$

此式は兩断面に於ける平均流速相等しいときのみ成立する。この式なるものは

$$\frac{Q}{F} = \frac{Q_1}{F_1} \text{ 又 } \frac{F_1}{F} = \frac{Q_1}{Q}$$

依て $\frac{R_1}{R} = \frac{Q_1}{Q} \cdot \frac{C}{C_1}$

式中F F₁は水路の横断面積、C C₁は浸邊の長さ、Q Q₁は流量を表はす

$$\frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_1} = \frac{Q_1}{Q} \cdot \frac{C}{C_1} \dots\dots\dots (27)$$

今該區間に於ける流量を不變なりとすれば

$$\frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_1} = \frac{C}{C_1} \dots\dots\dots (28)$$

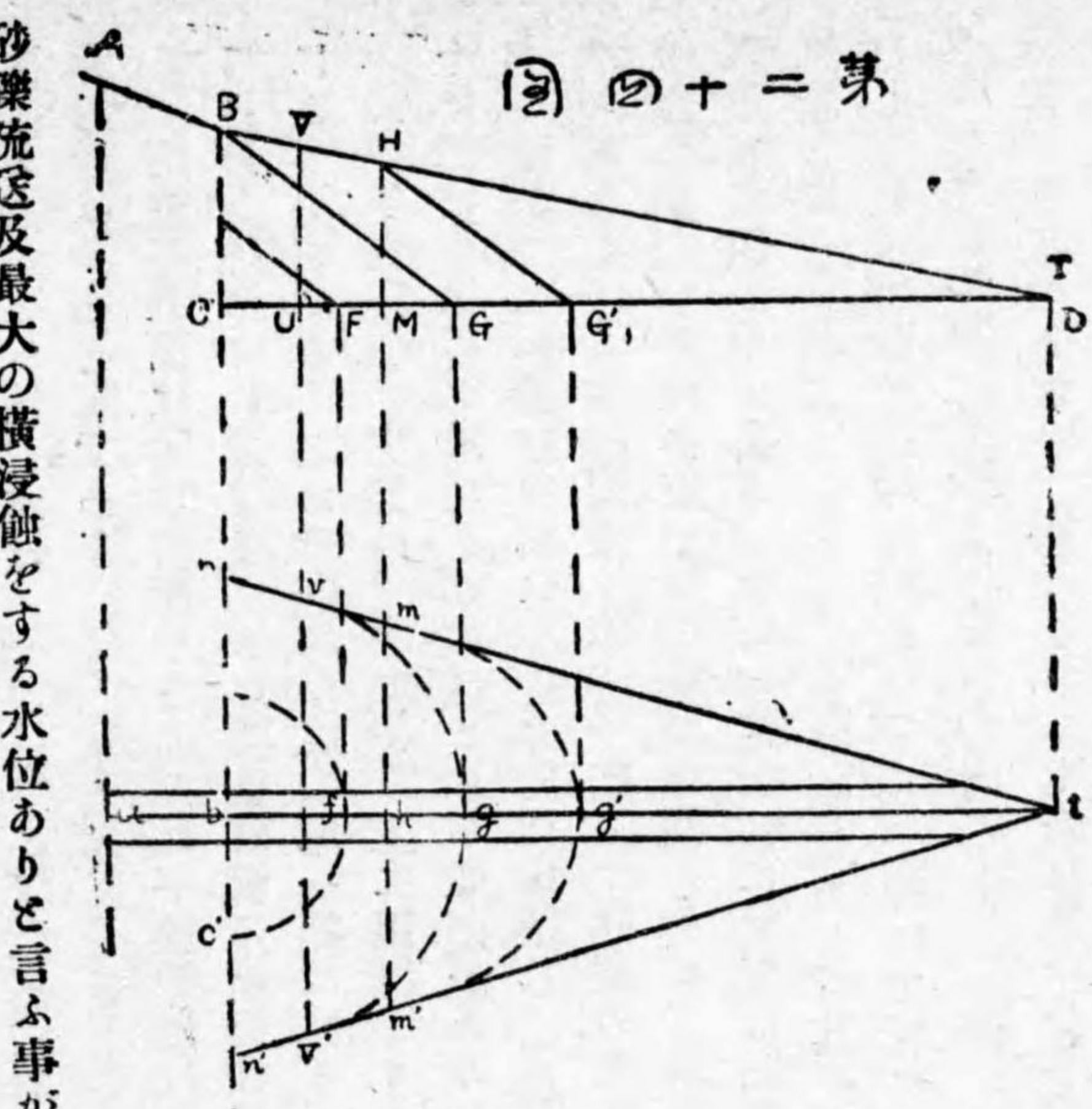
之に反し流量變するも、浸邊の長さ不變なりとすれば $C = C_1$ であるから

$$\frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_1} = \frac{Q_1}{Q} \dots \dots \dots (29)$$

斯くの如く、實在の平均勾配を知るときは他の断面に於ける平均勾配を該部の水流關係から定むることが出来る。(29)式によればQが増すときは平均勾配は減する、即下流に至るに従ひ平均勾配は緩となる。又(28)式によれば平均勾配は浸邊の長さの増減に従ひ變化する。

右に述べたのは、石礫が箇々に運搬される場合の平均勾配の發達であつて、該勾配は局部的の不規則を除き、上方に向ひたる連續凹曲線を形成する。然るに高山地方の野溪中に起る土石流の場合には、石礫は各箇運搬を妨げられて、所謂集合運搬 (Massentransport) をする。例へば山崩や地這などに因り、多量の砂礫が突然溪床に達すると、水は最初之れを動かさないが、水が次第に其中に浸込んで軟弱となるときは、遂に上流に湛えた水のために、徐々に運動を開始する。此場合には砂礫の量は屢々遙に水量を超過し、石礫は互に相接觸し、泥土と混じて流出する、其運動は徐々であるが、其の途に當たる總てのものを破壊せざれば己まない。此運動は最初平等に始まるけれど、直ちに砂礫の分類を起し、大きい礫は其運動量大なる爲前方に進み、小なる礫は後れ、各箇運搬と全く反對の現象を呈する様になる。而して大礫は重量大であるから溪床に近く、小礫は水面近くにある。又此等が沈澱する際も全く此順序により、従て溪床は凸曲線狀を呈する。石礫の沈澱が終ると水量は砂礫の量より多くなるから、流れは固有の作用を恢復し、先づ上流にある小礫を流送し、順次に大なる礫に及ぶ。然し最下流にある大石は恐らく動かされることなくして殘留することゝならう。斯くて石礫は自然の状態に配列して平均勾配を形成する。

第三節 横断面の變化に及ぼす流水の影響



低水の間は、流水は溪床に在る抵抗力の少ない土砂や小石を次第に運び去り、大石のみを殘留する。此分類作用により溪床は堅固となるもので、低水の期間長ければ長い程益々堅固となるものである。斯くの如く外見上溪床は極めて堅固の様であるが、其下層には土砂や小石があるから、一旦高水を受けると、大石が移動する許りでなく、其下にある砂や小石は非常な速度で流出することになる。高水の期間には流身の方は殆んど不變であつて、主として岸に沿ふて流れるが、甚だしい横浸蝕を起すことは稀である。然し減水し始めると最大最量の石が先づ沈積し、従て高水は渦流をなし、岸を洗ひ多量の砂礫を生産し、其量は沈積量より多い事がある、之れが砂礫流送及溪床變動の最大な時である。又流水は低水の際に最も多く渦流を起すが其害は小である。故に低水高水兩水位間に最大の砂礫流送及最大の横浸蝕をする水位ありと言ふ事が出来る。勿論此水位に打水及減水の際各一回ある。

第四節 砂礫圓錐の形成

砂礫を含んだ水が、狭い横断面から、廣い横断面に出ると、堆積して圓錐體を形成する。之を砂礫圓錐

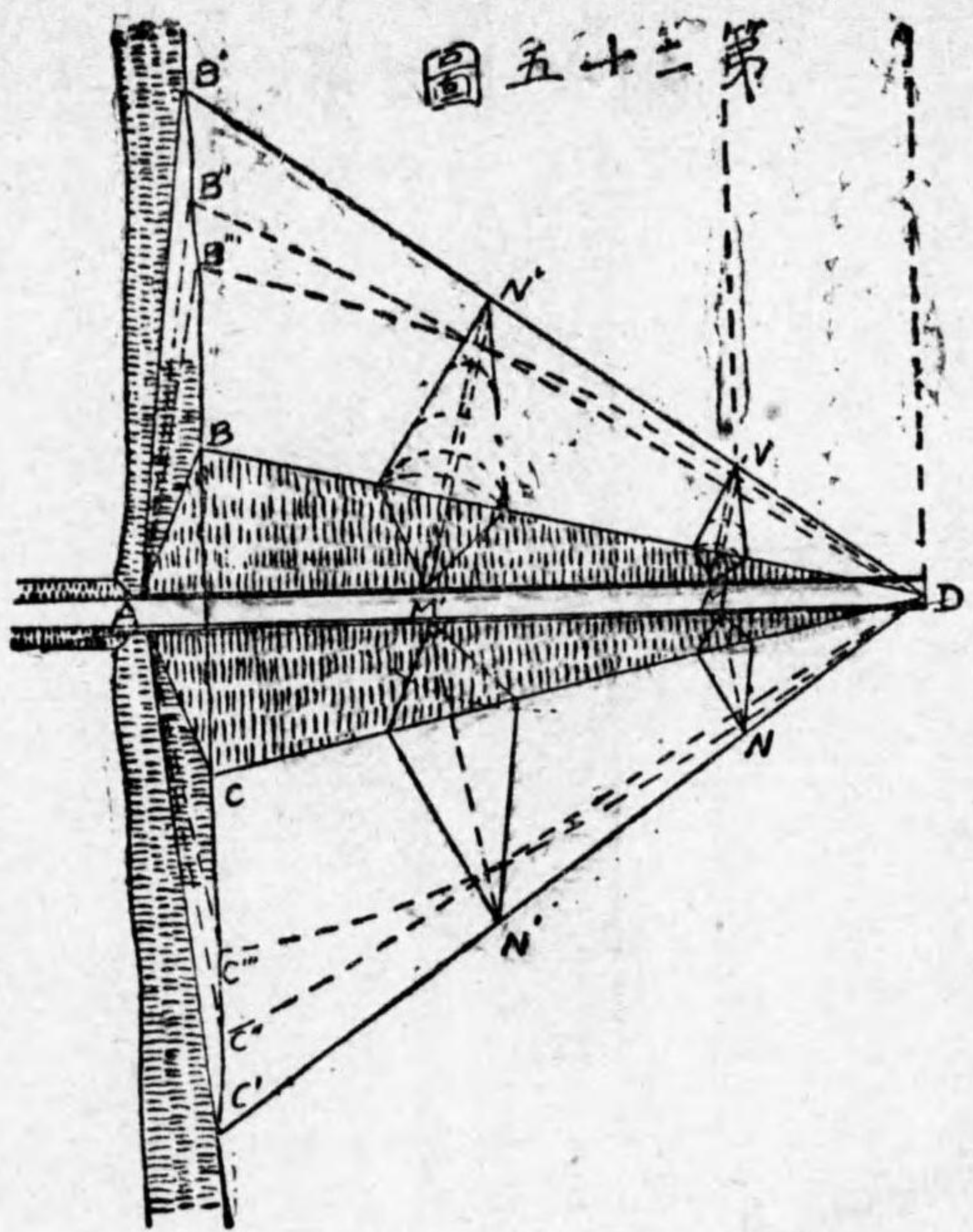
(Schuttkegel)といふ。砂礫圓錐の下流は殆んど石礫なく、勾配緩な溪川をなす。圓錐形成の状況は次の様に二期に分つことが出来る。

一、第二十四圖で AB を狭谷とし、砂礫を含んだ水が B に於て垂直壁 BC を越え、水平の谷 CD に落下するものとせば、水は CD に於て四方に擴がり、水深は最小値に達し、砂礫は急勾配をなして堆積する。此勾配は洪水勾配である。即ち C (平面圖にては r) の周圍に小さな半圓錐體 (CDE) を造る。其頂點は E にあつて、圓錐の表面は洪水勾配となる。此半圓錐體は砂礫の流送に伴ひ、次第に増大し、其尖端は高まつて B 點に近付き遂に B に達するときは半圓錐體の斷面は三角形 BOG となり、平面圖に於て半圓 HOG 及直線 HG により界される。之れで圓錐形成の第一期は終る。

二、半圓錐體の尖端は、B 點より上に出様とする傾向あると同時に、B 點に到着する水及砂礫は、B 點以上には於ける砂礫の堆積を妨げ様とする傾向があるから、砂礫は B 點の兩側に堆積し、中央に水路を生ずる。B の下流では砂礫は次第に H の方向に堆積し BH は平均勾配となる。同時に水路の兩側には水溢れて、洪水勾配を有する砂礫圓錐を作る。斯くて砂礫の堆積は遂に P 點に達する様になる。平面圖に於ては HGP の位置迄進んだ砂礫圓錐の境界線は半圓 HOP、H 及直線 HOP、H である。堆積が T 點に及ぶときは、砂礫圓錐形成の第二期は終り、其形は縱斷面に於ては三角形 BCF 平面圖にては HOP となり、大體に於て三角錐體を成し、其底は BC なる垂直面にあり、其一面は CF 谷の平面にあり、他の二面は水平と洪水勾配をなし、且水平面と平均勾配をなす BH 線にて互に交切する。BH には狭い水路が出来る。砂礫圓錐の發達は BC が垂直でない場合も同様である。

三、第二十五圖で、AD にある水路は浅いから、石礫は D を越へて流出する力なく、D 點から次第に A 點に向ひ堆積し、遂に水路を閉塞する様になる。其結果砂礫を含んだ水は左右に氾濫して、MNN、M'N'N' 等

の三角錐體を作る。其發達の法則は前述のものと同様であるから、大三角錐 BOD の形狀に類似する。各小三角錐の大きさは AD 上の點 M、N、等の高さに關係する。斯くの如く三角錐は下方から上方に向ひ、順次に形成され B'CD' の様な形となる。谷の面が水平であるときは、NN' 等の諸點は一直線上にあるが、一般に



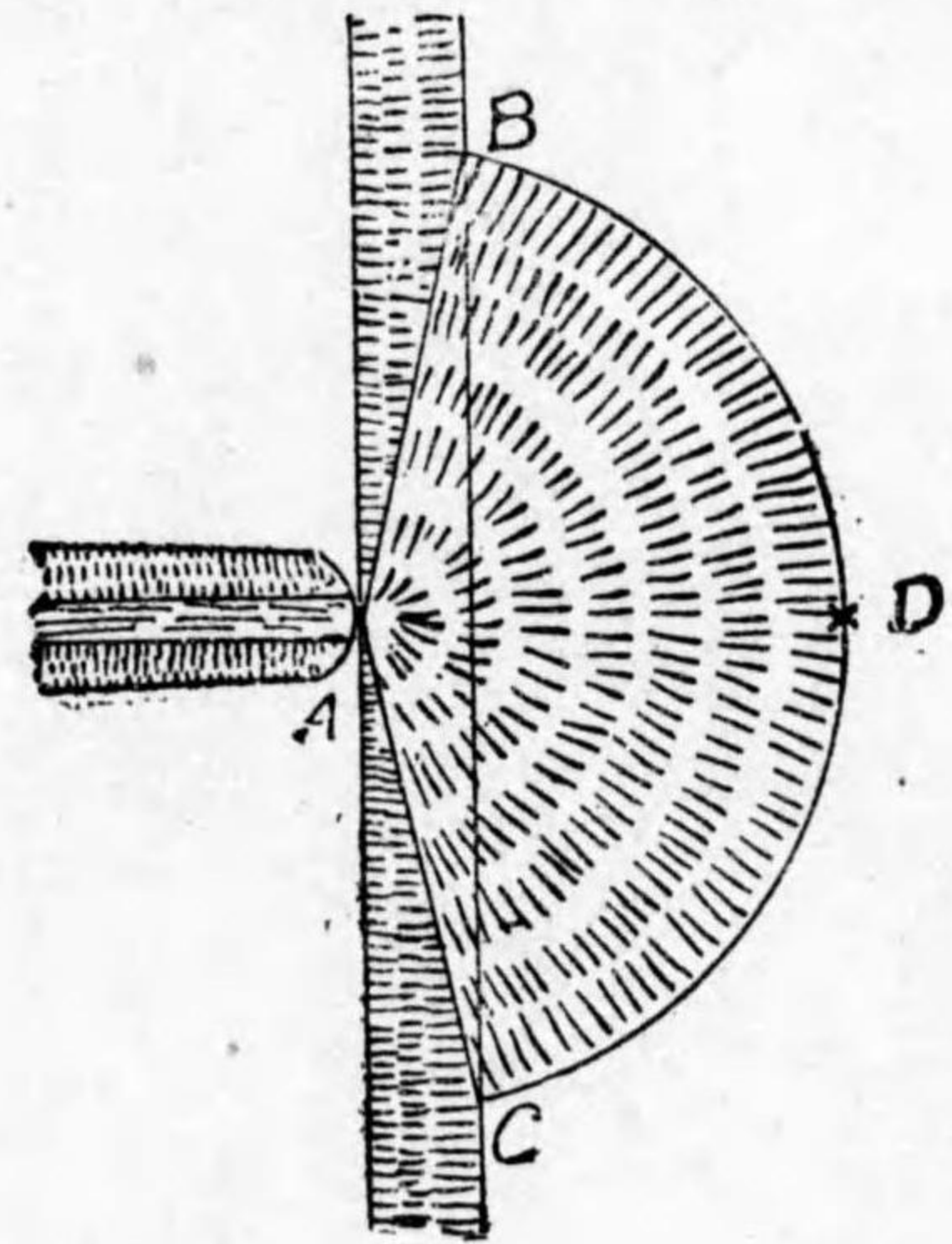
第五十二圖

谷の面は山腹の方向に高まるから M'N、M'N' 等は同じ割合に延長することなく、其境界線は D 點で少し丸味のある曲線 B'D'C', B''D'C'' 等となる。其の結果第二十六圖に示す様な圓錐體を生じ、水は圓錐體の到る處を平均勾配で流れる。砂礫の流送が尙連續すると水は圓錐體上を一様に流れるから圓錐は次第に大となり、其尖端 A は遂に溪の内部に浸入する様になる。砂礫圓錐の兩側に在る農地は圓錐發達の第一期及第二期の間は損害を蒙ること少いが、第三期になると兩側を溢流する水のため犯される様になる。此被害を除くには水路の兩側に堤防を築いて第三期の發達を防止する必要がある。然し圓錐の尖端は次第に谷の内部に浸入し、水路は益々高

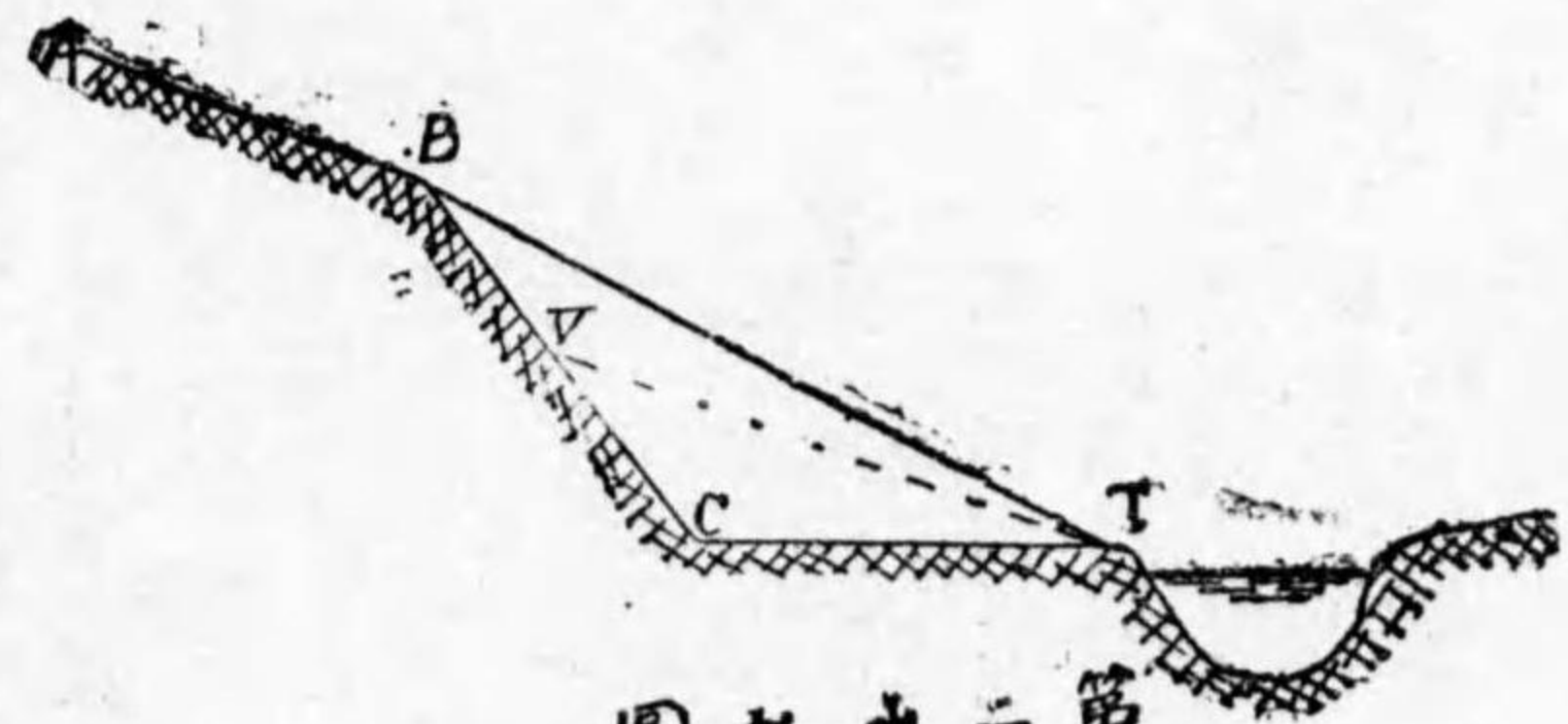
くなるから堤防は愈々高く強固にしなければならぬ。斯くて水路は附近の土地よりも遙に高くなり所謂天井川を形成し一旦破堤するときは其害は實に恐ろしい。砂礫圓錐の第三期發達は次の様な場合には妨害を受

ける。即第二十七圖及第二十八圖に示す様に幹川が第二期の三角錐の先端Tに於て三角錐に接觸し、又はC間て三角錐に交り、且つ三角錐上の水路から流下する砂礫を運び去る丈の水速を有するときは、第三期

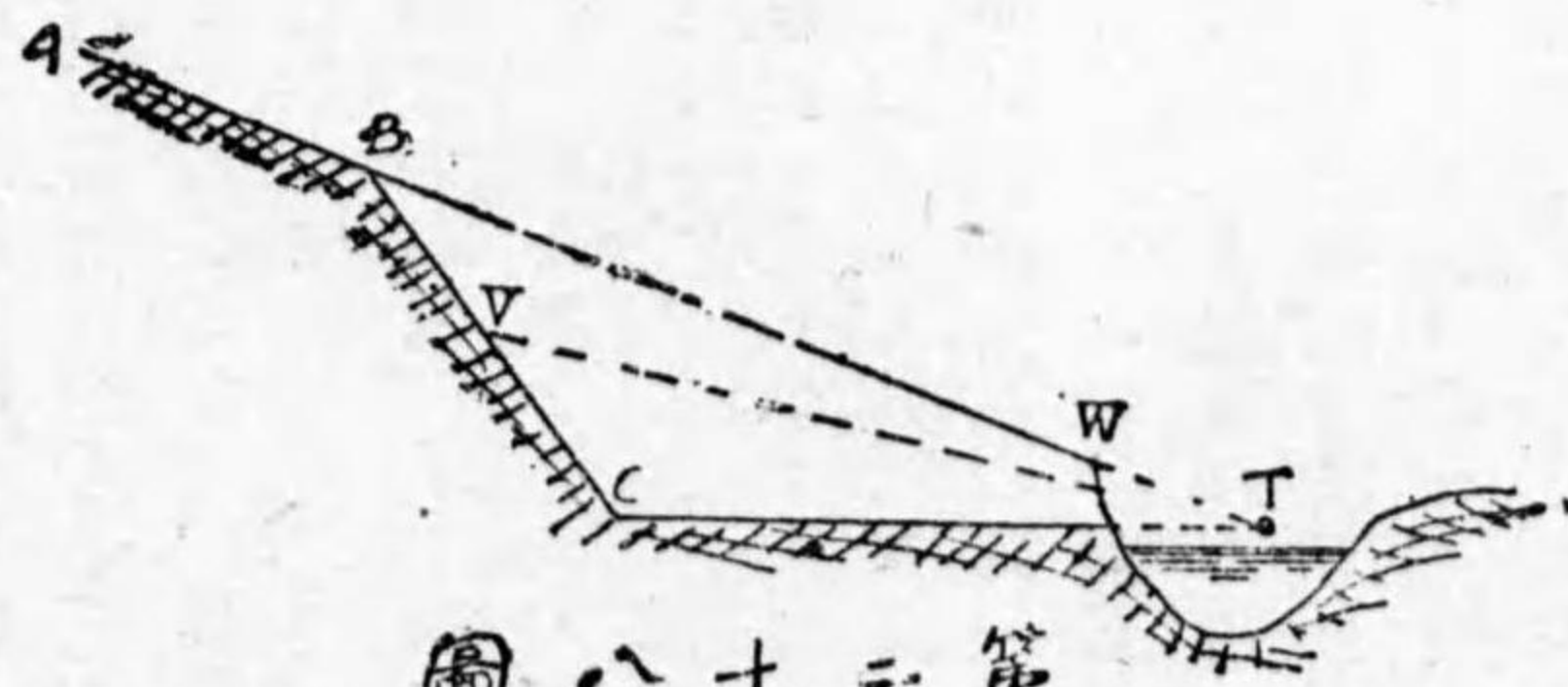
圖六十二第



圖七十一第



圖八十二第



の發達は妨げられる許りでなく、若し此場に砂礫の流送が砂防工事の結果減少したりと假定するときは砂礫三角錐は流水のため次第に浸蝕され水路勾配は緩となりVWの様になる。斯うなると護岸工事は其脚を洗はれ

幹川に多量の砂礫を流出するから三角錐上の水路を固定する要がある。尙第二十七圖及第二十八圖の場合に幹川の水速が不充分で三角錐から流送する砂礫を動かす力なく且對岸軟弱なるときは對岸は砂礫三角錐のめに壓されて幹川は屈曲する様になる。之に及し對岸が堅固なときは幹川の横断面は狭小となり、水速増し砂礫を流送する様になる。此際には上流に水が停滯して沼地を形成するところがある。

第四章 砂礫の生産及流出を豫防する方法

第一節 山崩及石崩の豫防

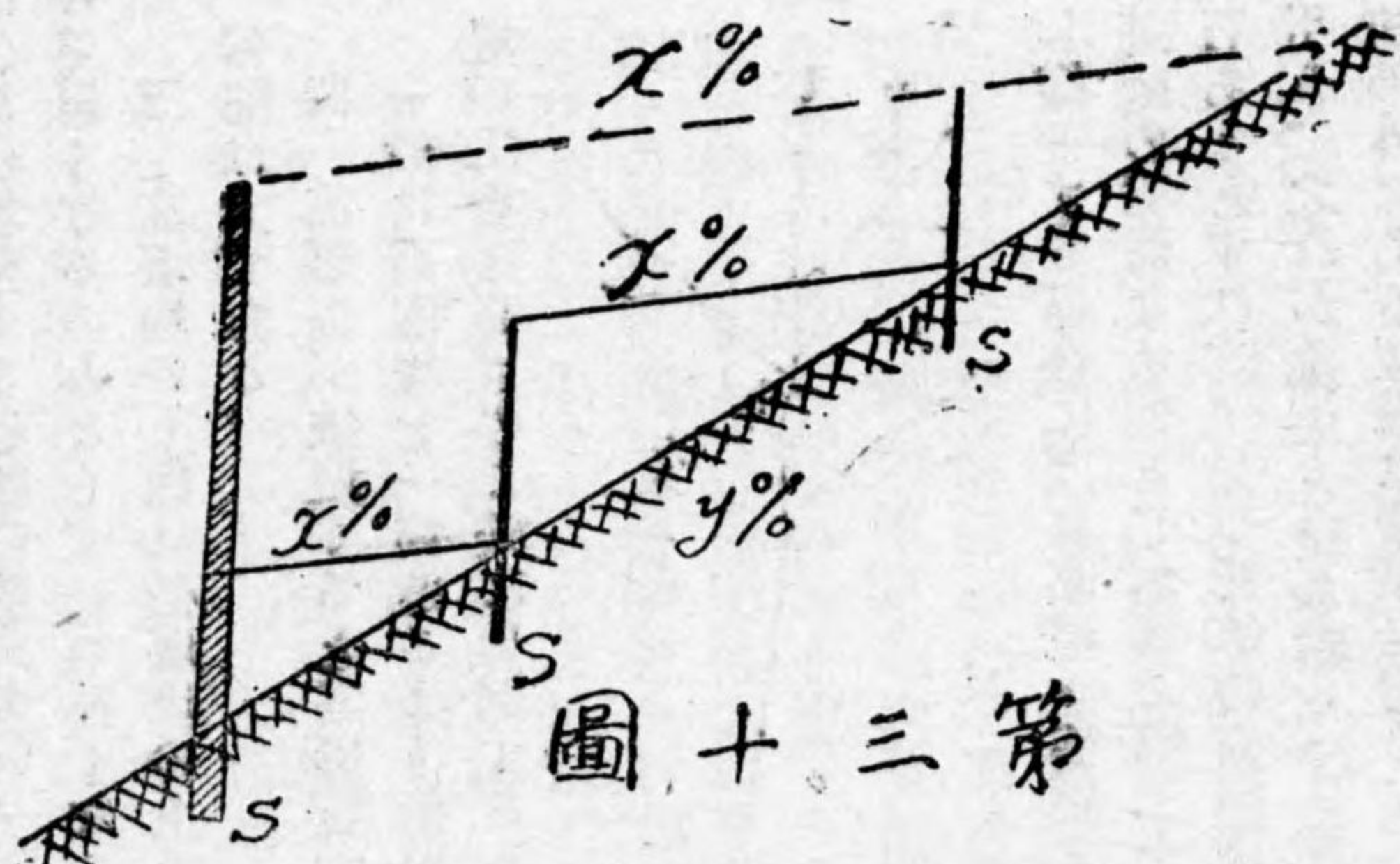
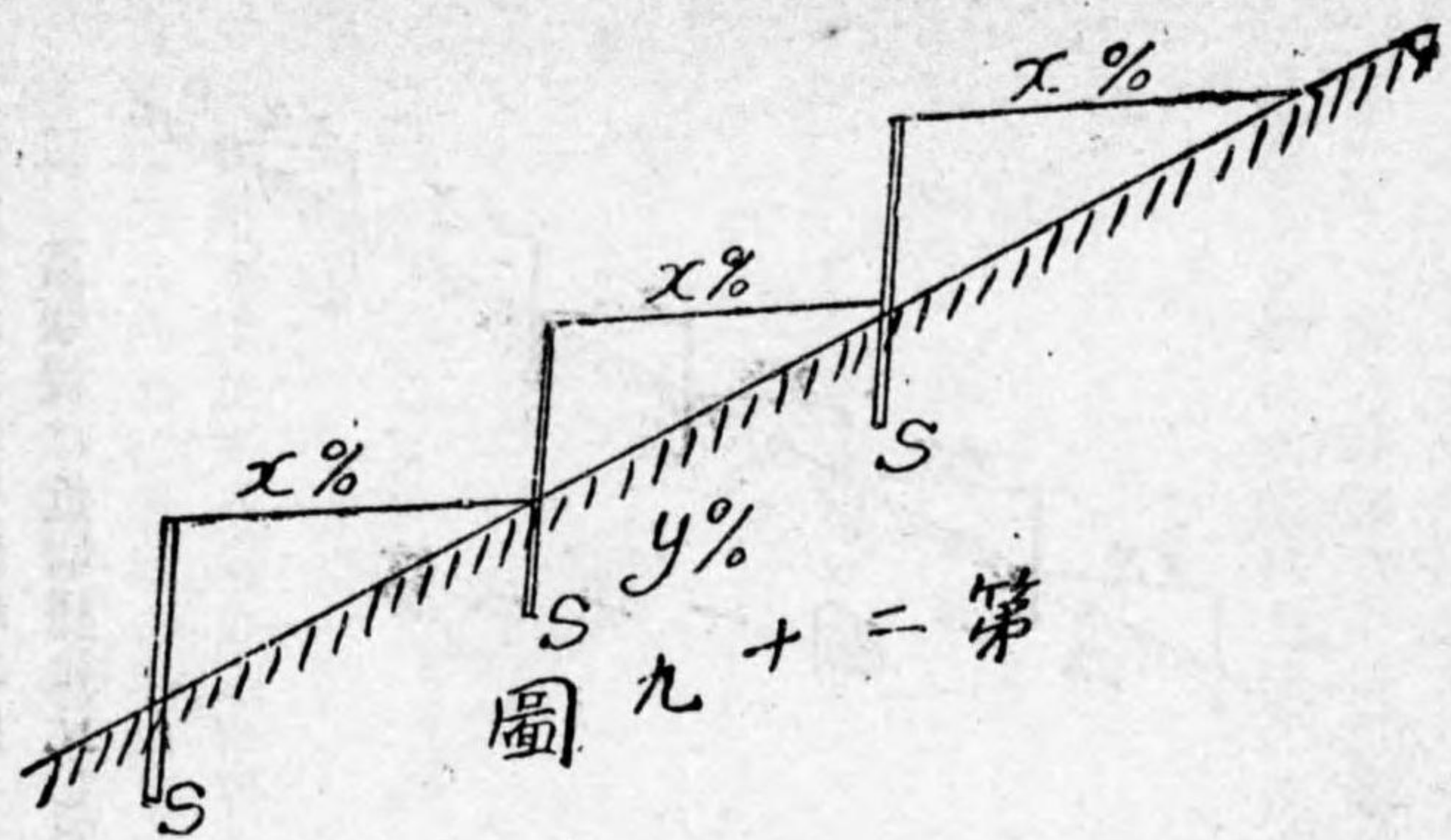
山崩は其徴候を知るのが困難であること、其力が餘りに大きいのに依り、之を豫防することは一般に困難である。然し周到なる注意を以て觀察すれば、山崩を起こさうとする土地は色々の前兆を示すものである。尙滲透水は屢々山崩及石崩の原因となるから、之れと地質關係とを照らし合せば適當な豫防手段を講ずることが出来る。水路の深掘れが山崩の原因となる虞ある場合には堰堤の築設に依り之を豫防することが出来る。尙無立木地は山崩を起こし易いから成る可く早く殖林する必要がある。地表に裂目があつて其層が溪川に向ひ傾斜するのは地之を起こす前兆であるから擁壁又は排水渠の築設に依り之れを豫防しなければならぬ。石崩を豫防する最良の手段は石崩成立地の直下に密林を仕立つるにある。潤葉樹は針葉樹に比し石崩のため損傷されること少ない計りでなく萌芽により容易に密となる。新に森林を仕立て又は森林を擴張する場合には稚樹は落下する石礫の爲めに害を受けるから杭柵工、坑工、空積石垣等により之れを豫防しなければならぬ。

第二節 雪崩の豫防

防雪壁は山腹に在る村落に對する雪崩の害を直接に防禦する目的を以て造られ、其方向は雪崩の動く方向

と鋭角にする。若し直角又は直角に近い角度とすれば雪は壁後に滞えられ遂に壁を乗り越越える様になる。壁の方向を雪崩の動く方向と鋭角にすれば壁の延長を増し、直角にすれば高さを増さなければならぬ。夫れ故此の角の問題は一般的に定めること困難であつて。経験に依り定めるより外ない。雪崩が方向を變ずべき最大角度は雪の性質、速力、量並に壁及底の粗度に關係し、経験に依れば最大四十四度で普通は三十度位である。壁の雪崩に對する面は成る可く急にして五分一乃至二分一位の勾配にする。道路が雪崩の害を受けらる虞ある場合には雪崩が其上方を通過する様にする。例へば道路を壁中に切込み又は棧道とするが如きである。雪崩の成立を豫防する最良の方法は殖林である。森林は直幹にて密生する壯齡林を最上とする。老木は疎立するから雪が其間隙から迂り落つる許りでなく雪のため押倒される事がある。それ故に老木は伐採し幼樹を其跡地に新植するがよい。新造林地には幼樹を保護する爲杭工、階段工等を施す。階段工即山腹に階段を切る工事は輕鬆な土壤の處では其目的を達することが出来ないが、岩石地では結果が良い。杭工は長さ一間末口五寸内外の丸太を山腹に沿ひ列をなして打込み杭間の距離は二尺位、列間距離は三尺以上とし、雪崩發生地附近の山腹に一面に施工する。又は數列杭間に二間位の空處を有する事もある。此場合には四本の杭は正方形をなす様に打つ。杭は皮剝を用ひ焼かない方がよい。地中に打込む深さは三尺以上とし、杭と地面の間には石を支ひ、杭の耐朽力を増進させる。杭を打込むには木槌を用ひ、成る可く割裂しない様注意する。杭は融雪後新に石を支ひ、若し石のないときは更らに地中に打込む。此注意を怠るときは杭は次年の積雪により谷の方に押され遂に抜け出す様になる。工事は雪崩の發生地から始め順次下方に進む様にする。一時的に雪崩の發生を豫防するには尙色々の方法がある。永久的豫防法としては空積石垣を使ふ。雪崩は其發生地附近で其力が最も弱いから、此附近で工事をするのが最有效である。

第三節 縱浸蝕の豫防



縱浸蝕を豫防する方法に二つある。一つは堰堤又床固の築設に依り溪床勾配を緩和し水の流速従つて押送力を減じ且つ溪床の抵抗力を増す方法で、他は水路に張石、張板、張芝等をなし、溪床の抵抗力を増す方法である。水路の一局部に於ける浸蝕を豫防するには小數の堰堤で充分であるが長區間の浸蝕を豫防するには多數の堰堤を築設する要がある。此の際には下流堰堤の天端と上流堰堤の脚とを結付けた、線が平均勾配になすを要する。(第二十九圖)。一定區間の溪床を平均勾配にするには(第三十圖)に示す様に低い澤山の堰堤の代りに一箇の高堰堤を以てすることが出来る。今一定區間の溪床を平均勾配とするに付き高い堰堤と低い堰堤との得失を考ふる。

浸蝕を防止する方法の一として地面を固定する方法がある。此目的に用ひらるゝ工作物は杭柵工、粗朶工、積芝工其他種々ある。

第四節 横浸蝕の豫防

横浸蝕は縦浸蝕と密接の関係がある。縦浸蝕が盛であれば兩岸の斜面は益々急となり、且支持物を失ふから遂には崩落する様になる。斯る箇所には堰堤を築いて溪床を高め斜面の傾斜を息角 (angle of repose) 以内にあらしむる必要がある。又縦浸蝕と同時に横浸蝕が働らく箇所には堰堤又は床固を築造するときは其頂部を適當の形にすれば流水が岸を攻撃しない様になる。横浸蝕は又水が溢流する場合、水が凹曲部に衝突する場合、溪床に存在する堆積物のため水向の轉ずる場合、岸の一部が溪中に突出する場合等に起る。斯る場合に水路を直線に導けば水面勾配は急となり、縦浸蝕を盛にし、其上流及下流に悪影響を及ぼす許りてなく、工費が高くなる缺點があるから一般に應用されない。横浸蝕を豫防する最も普通の方法は護岸である。水制は高山地方の野溪に應用されること稀であるが野溪の下流及野溪的河川に於ては好結果を舉ぐる。高山地方の野溪に於ける護岸の應用は局限されてゐる。何となれば高山野溪は一般に幅が狭いから護岸を造つても其根が掘られる虞がある。故に護岸を築造するのは之により兩岸崩壊の擴大を防止する場合又は之を基礎として他に崩壊を防止する工事を爲す場合に限られる。

第五節 扶壞作用の豫防

水の扶壞作用を豫防するには地下に於ける水的作用及地質關係を知るを要する。此等を研究することは極めて困難であるから、扶壞作用の豫防も亦至難である。滲透水的作用に因り己に地這りを始めた土地は言ふ

迄もなく將來地這りを起こす虞ある土地には充分注意するを要する。先づ最初に注目すべきは濕地である斯る土地の窪地には豪雨後永く水が停滞し只炎暑の候非常に硬くなり割目を生ずる事があるが一年の大部分を通じては濕潤である之を濕窪地 (Mossy ground) と言ふ。土地の濕乾は又其土地に生ずる植物に依り判斷することが出来る。即濕地に於ては植物の生長は遅れて始まり又特種の植物を生ずる。土地の濕度は土地の保水力に比例し腐朽土は最も此力に富む。斯る土地には滲透水が多いから排水工事が必要である。土地の濕度は此の外不透水層の深さに關係し、不透水層が水平又は中窪で排水が充分でない場合殊に甚だしい。不透水層上を流れる水は泉となつて再び地表に現はれ扶壞の原因となる。而して其水量は降水量に比例する。泉の性質及位置は滲透水的作用を判斷する基礎となる。不透水層が水平又は中窪で山の一方の側から他の側迄行き渡るときは泉は山の相對する側から現はれる。腐朽土層の直下から湧き出る泉は氣温に従ひ其温度が變化するが、深い處から出る泉は氣温に關係少く其根源は最も地表に近い地下水面である。非常に深い處から湧き出る泉は溫泉 (Hot spring) であつて其温度は年平均氣温より高い。降水の滲透する箇所が泉の出口に近いときは泉の流速は早し。

一旦地中に滲透した水を適當に導き其害を除くには先づ其根源及滲透區域を充分精密に探究しなければならぬ。若し滲透區域が一局部に限られるときは問題は簡單であるが、そうでないときは面倒である。何れにしても滲透水を集め谷に導くことを要する。勾配急で風化し易い岩石から出來ている野溪流域では集めた水を成るべく早く即最大勾配の方向で谷に導くがよい。排水に用ふる普通の設備は小さい吸水溝であつて、之等は水を集めて主排水溝に通じ更らに谷に行く。已に崩壊した土地では先づ試験的に木材等で溝を造り其結果に鑑み、永久的の排水溝網を造る。工事をするには先づ山腹の一部を平坦にし、急な崩壊面は切り取つて緩とし、大石を去除く。溝は一般に暗渠が良い。開渠は埋没の虞がある。排水溝に集つた水は滲透しない

様又浸蝕を起ささない様にす。滲透は水路勾配緩るとき又は排水溝内に水が溢へられるときに起る。故に斯る場合には其底を不透水層に達せしむるか又は不透水性とする。浸蝕は水路勾配急な場合に起るから、斯る場合には溝の底を充分堅固にする。排水溝は普通其中を石詰にする。粘土、セメント及金屬の排水管は運搬が困難であるから使用すること稀である。排水溝を石詰とするときは山腹の變動により溝が摺れ排水能力を妨害することがある。故に斯る虞あるときは石の代りに木材や粗朶などを用ゐる。排水溝を設ける深さは不透水層の深さ及其上に在る透水層に關係し時としては四五間の深さに達することがある。又反對に表面に多くの排水溝を造り滲透しない中に谷に導くことがある。排水溝が長く且深く故障起り易いときは十五間乃至三十間置きに人穴を造り、容易に検査の出来る様にする。排水溝の終點には堅固な支え例へば堰堤、床固、護岸、等を築設する。

第五章 砂防工事に使ふ工作物

第一節 堰 堤 (Dam)

第一款 堰堤の定義及目的

- 堰堤は水路を横切り築設される工作物で次の目的を有するものである。
- 一 溪床の勾配を緩和し浸蝕を豫防すること。
 - 二 溪床を高め兩岸の傾斜を緩にし其崩壊を豫防すること。
 - 三 流下砂礫を直接扞止すること。
 - 四 水路を一定して横浸蝕を豫防すること。

第二款 堰堤の材料

堰堤に使用する材料の重なるものは石材、混凝土及膠泥であつて普通此の三種を混用する。堰堤内に含まれる之等材料の容積比は堰堤の大きさ、使用する石材の大きさ、施工の方法等により差異あるが普通の野溪では混凝土と石材との容積比は六對四位で膠泥は全容積の百分一乃至百分二である。内務省東京土木出張所で直轄施行した三堰堤及一床固の例を示すと次の通りである。

堰堤名	容積	混凝土	膠泥	石材
源 床 固	一七〇	五六・七%	%	四三・三%
稻荷川第二堰堤	一七七	四〇・八	一・四	五七・八
蘆 安 堰 堤	五五八	六九・六	二・二	二八・二
源 堰 堤	一七二二	五八・六	一・一	四〇・三

石の中蘆安堰堤に使つた混凝土の量は全容積の約七十パーセントに達し多過ぎる觀があるが之れは施行に細心の注意をなし中埋石相互の間隔を三寸位にした爲であり、日光なる稻荷川の第二堰堤で混凝土の量の少いのは同川が稀に見る暴れ川であつて數坪乃至十數坪もある大石が多數に存在し、之等を利用して得る爲である。比較的穩かな野溪では堰堤の前法と天端だけ(時としては後法も)を前同様な材料で造り内部には石や礫を埋込む。

永久的ではないが木材を堰堤材料として用ふることがある。之れは石材のない場合又は充分の工費を得られない場合にやる。耐朽力の強い木材を使い、構造を完全にするときは四五十年の生命を保つこともあるが、なるべく使用しないが良い。木材の外に萌芽力強い木枝を用ふることがあるが巨礫を流送する野溪に適しないことは言ふ迄もなし。

第三款 堰堤の高さ

抱石混泥土堰堤の高さは普通四間以下とし空積堰堤や木堰堤では二間以下に止むるが良い。然し堰堤築設に適當の箇處が少いか又は多量の砂礫を扞止し様とする場合には其の高さは右述べたより高くすることがある。内務省東京土木出張所て施行済み及目下施行中の諸堰堤の高さ(水通迄の最高)と長さ(最も長さ所をとる)を示すと次の通りである。

堰堤名	高さ	長さ	摘
桃木堰堤	三〇	三二	大正十年施行豫定。釜無川支流御勅使川。
蘆安堰堤	三八	二三	大正七年竣工。御勅使川。
源庵堰堤	三二	五七	大正九年竣工。御勅使川。
勝沼堰堤	三六	一八	施工中。御勅使川支流御庵澤。
鶴瀬堰堤	四〇	二四	大正六年竣工。笛吹川支流日川。
第二堰堤	三〇	二〇	施工中。日川。
第三堰堤	一八	二七	大正九年竣工。大谷川支流稻荷川。
第四堰堤	一八	四二	施工中。稻荷川。
駒飼堰堤	一二	三八	施工中。稻荷川。
駒飼堰堤	三六	二〇	施工中。日川。

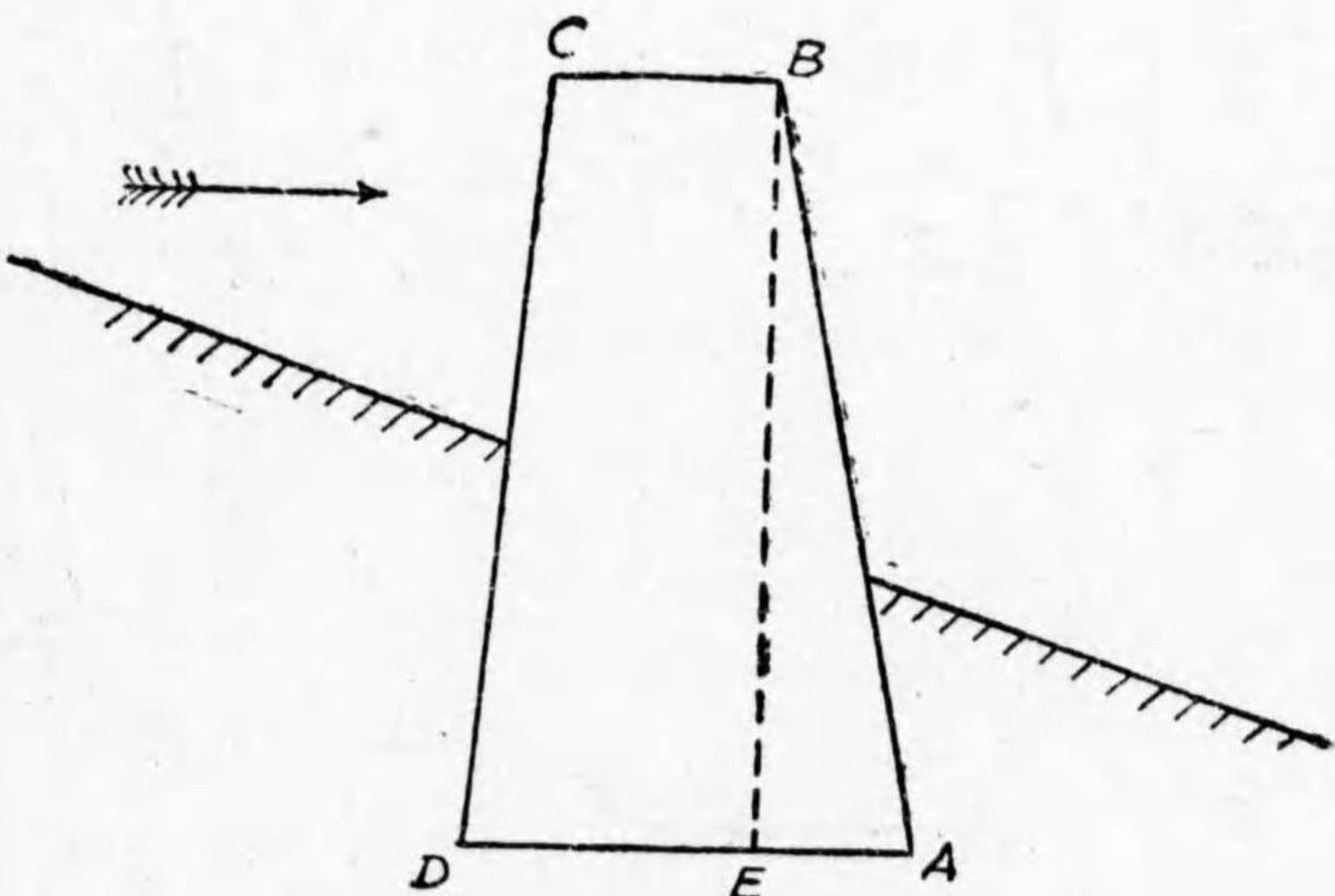
一 平面的形状

第四款 堰堤の形状
堰堤の平面的形状には拱形(Arch)と直線形とある。拱堰堤は堰堤に働らく水壓及土壓

圖四十三第



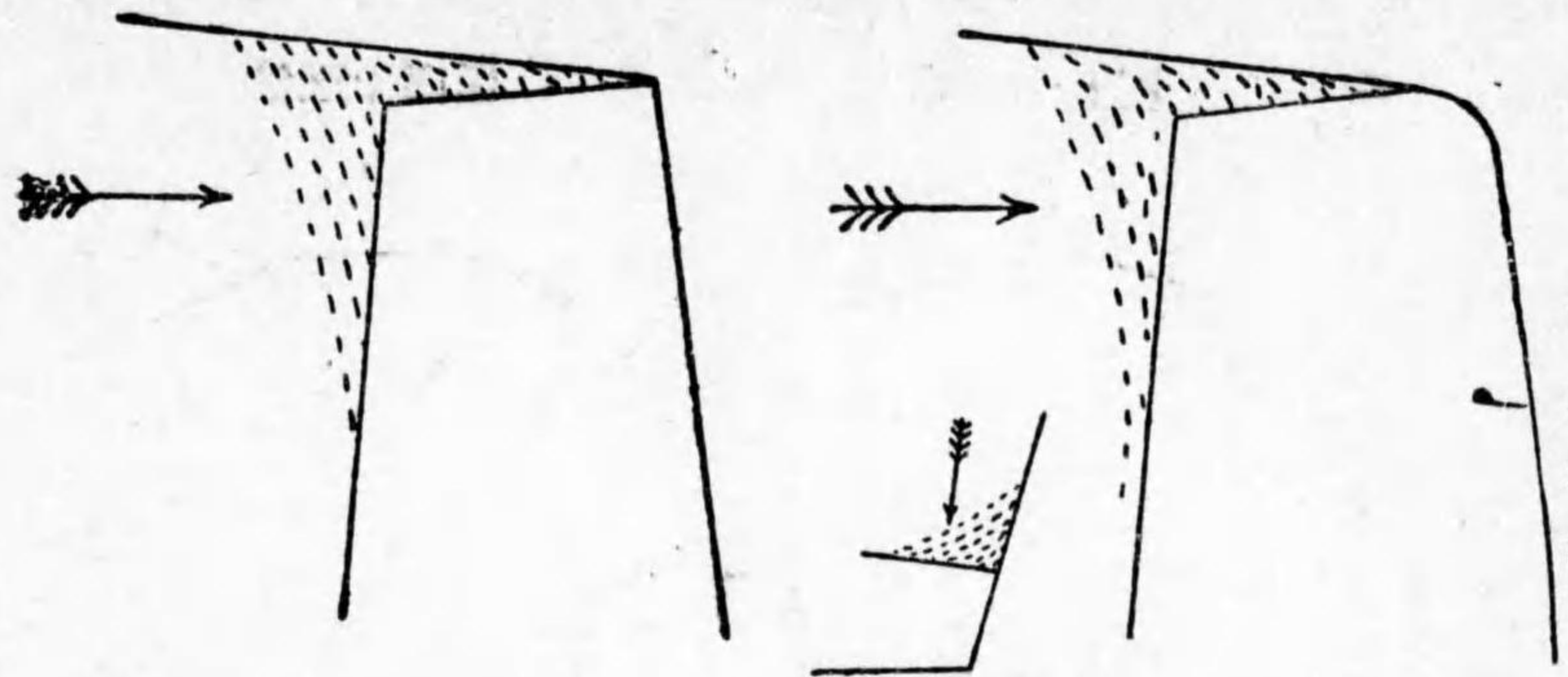
圖五十三第



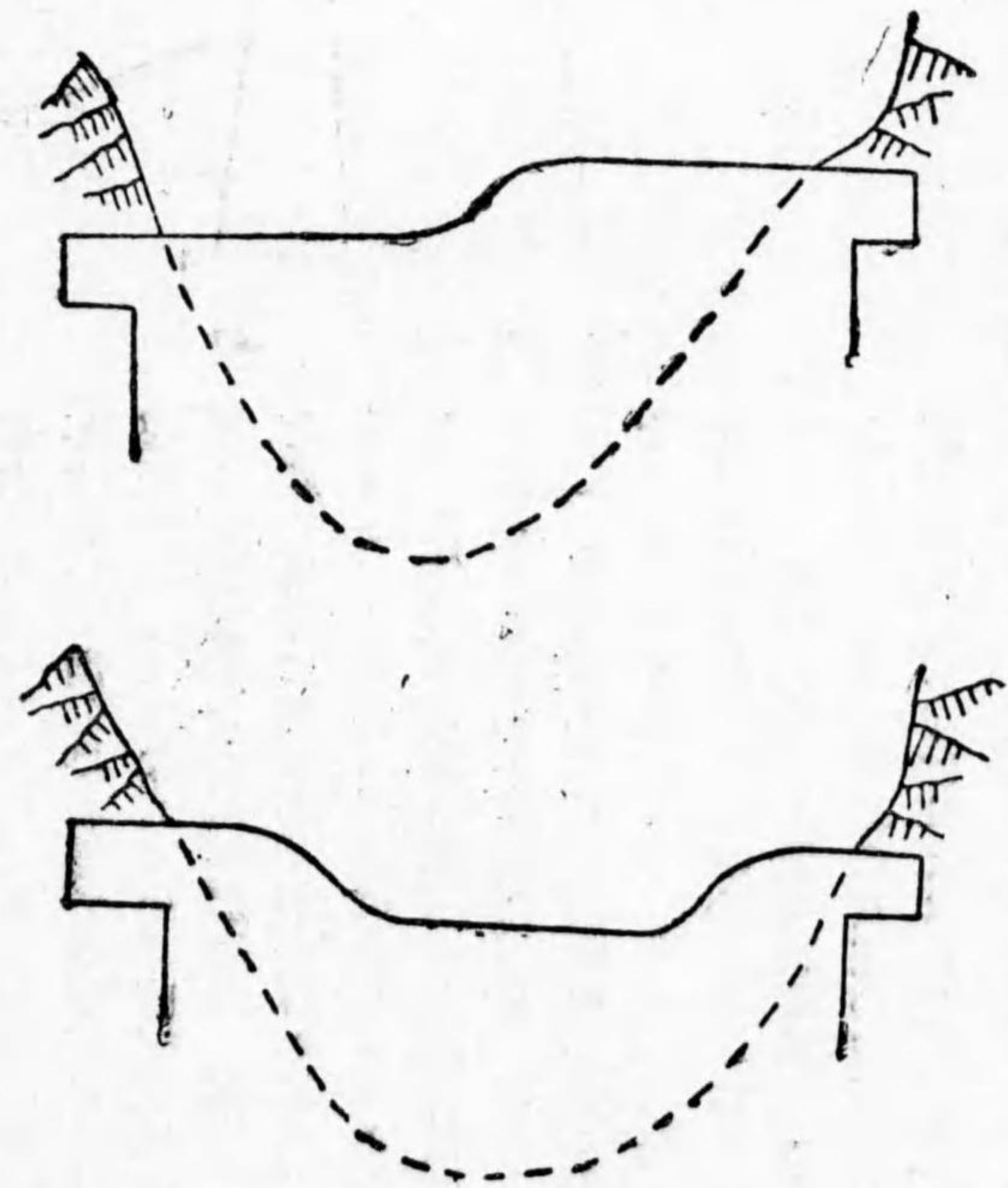
圖六十三第

を拱の作用で抵抗するもので直線堰堤(重力堰堤 Gravity dam)の様に其重量により之等の壓力に抵抗するものに比し材料を要することが少ない。但し拱堰堤では兩岸の取付は充分堅固でなくてはならない。直線堰堤は兩岸の地質脆弱な場合及川幅が堰堤の高さに比し甚だ廣い場合に用ふる。空積石堰堤の形は直線とする。木堰堤も普通直線形とするが、長いときは第三十四圖及第三十五圖の様に折線形とすることがある。折線の屈曲は緩くが良し。
二 横断面の形状 横断面形状は普通第三十六圖に示す様に梯形である。前法 AB の勾配は前法を害する石礫が前法に當らぬ様急にする、直立(BE)に出来れば誠に結構であるが、そうすると堰堤の安定の方面から考へて断面を大にしなければならぬ。石礫が前方

に衝突せざるための前法勾配は落體の公式を應用して簡單に求めることが出来る。
$$n < \sqrt{\frac{2}{g \cdot h}} \dots \dots \dots (30)$$



第三十八圖 甲 乙 同 第三十九圖



第四十圖

第三十九圖

式 n は前法勾配 AE 、 v は前法を損傷する石の最小流速、 h は堰堤高、 g は重力による加速度を表はす。大きな礫を流送することのない比較的静かな野溪では前法の勾配を緩にしても築石が磨り減ることは少い。

前法の勾配を緩にすれば堰堤の断面は急なのに比較して小で済み又水叩を害されることが少い。天端 BC の形状は第三十六圖に示す様に水平のものもあるし又第三十七圖に示す様に上流に傾くものもある。水平だと下流の天端角は石礫のため害されることは少いが天端に砂礫が堆積し落筋が兩袖に向ふ缺點がある。之に反し第三十七圖の場合には天端前縁は石礫のため磨滅される不利益があるが第三十八圖甲の様に丸味を付ければ此缺點を除去得る。尙此場合には天端は堆積砂礫により保護される利益がある。第三十八圖乙の形は天端の磨滅が速である許りでなく上流天端角は石礫の衝突により害を受ける。第三十八圖後法 CD は低い堰堤では垂直であるか又は少し勾配を付ける位であるが高い堰堤では安定の関係から緩にする。

木堰堤の横断面形状は矩形が良い。前方に勾配を付けたり階段状にすると落下する石礫の衝突に因つて傷付けられる。

第五款 堰堤の水通

水通の位置及形状を定むる原則は水が脆弱な岸を流れない様にする事である。兩岸共に地質が悪いときは第三十九圖の様にし、一方の岸ばかり弱い場合は第四十圖の様にする。又兩岸共に堅固なときは特別の水通を作らないで第四十一圖の様にして天端全體から一様に越流させることが出来る。此場合には越流の水深淺くなるから水叩を害すること少ない、殊に木堰堤では堰堤全部が絶えず濕潤に保たれるから腐朽することが遅い、溪幅が広く亂流する處では堰堤箇所兩岸が丈夫の岩であつても水流を一定する關係から第三十九圖や第四十圖の様にする事が多い。水通の形状には種々ある梯形水通(第三十九圖)では弧形水通の様になり水が中央に

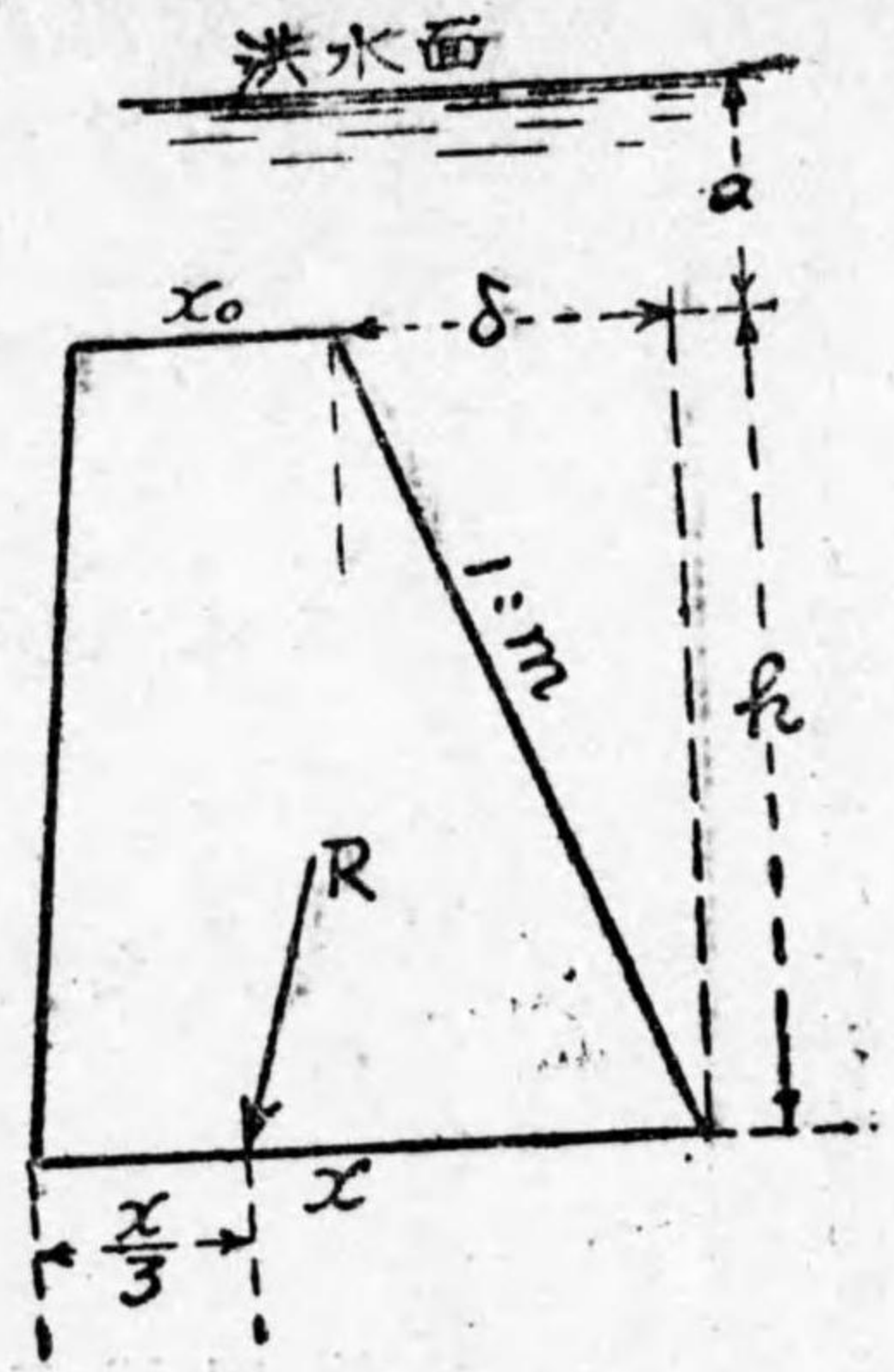
方尺餘の斷面積を有する水抜九箇更らに基礎以上二十二尺の箇所に斷面積三平方尺餘を有する水抜八箇を造つて築造中の水路に兼用した。源堰堤は自然の砂礫層を基礎とすることを附け加へて置く。

第七款 堰堤の厚さ

堰堤の厚さを計算する方法は他の講義で述べられること、思ふから此所では詳細に述べること避ける。

一 重力堰堤 (gravity dam) とは堰堤の自重によつて堰堤に加はる外力に打勝つ堰堤を言ふのである。堰堤に加はる外力の重なるものは水壓 (water pressure) 及土壓 (earth pressure) である。砂防堰堤が最大の外力を受ける時期は竣工後間もなくまだ上流に砂礫を沈積しない内に土石流の襲撃を受けたときで、此際は一・八乃至二・〇位の比重の液體が堰堤を壓するものとして考へなければならぬ。低い堰堤ならばこんな數を使つて計算しても堰堤の厚さはそう厚くはならないが、高い堰堤では大變な斷面になる。高い堰堤は一般に竣工に手間がかゝり施工中數回の出水に會ふのが普通であるから其都度上流に砂礫が堆積し、此等の砂礫は次第に固まつて堰堤には大した壓力を加ふることがないから、前に述べた様な極端な場合を考へる必要はない。普通は堰堤の高さと越流の深さを加へた深さを清水が、堰堤を壓するものとして計算し水壓と堰堤の重量との合力が堰底の中央の三分一 (middle third) 中に落ちる様にすれば充分である。砂防堰堤を造る箇所は普通溪床も溪岸も共に岩盤で且つ溪の幅も狭いから斯る場合には計算より小なる斷面を用ふるも尙充分である。極端に斷面を節約する場合には土壓のみが働くものとして計算する。尙堰堤には將來嵩置をする事があるから此事も考へに入れて置く必要がある。

今岩盤上に固着してゐる堰堤が水壓のみを受けるものとし、天端を壓する水の力を省略すると次式により堰底の幅を見出すことが出来る。(第四十三圖)



第四十三圖

式中 x は堰底の幅、x₀ は天端の幅、w は清水の比重、w₀ は堰體の比重を表はす。x は普通一間乃至二間にとる、之れがあまり狭いと流來する大石の激衝により害を受ける虞がある。後法が垂直の場合には

$$x^2 + x_0 \cdot x = x_0^2 + \frac{w}{w_0} (3a+h)h \dots \dots \dots (32)$$
$$= x_0^2 + 2x_0 \delta + \frac{w}{w_0} (3a+h)(1+m^2)h \dots \dots \dots (31)$$

となる。後法先より幾何の距離 (Z) に合力が働くかを見るには

$$Z = \frac{(3a+h)(1+m^2)h^2 + \frac{w}{w_0} \left\{ x_0^2 + x_0 \cdot b + b^2 + (2x_0 + b)\delta \right\} h}{3 \left\{ \frac{w_0}{w} (x_0 + b)h + (2a+h)\delta \right\}} \dots \dots \dots (33)$$

堰堤の斷面を定めるには先づ堰堤高 (h)、天端の幅 (x₀) を適宜に定め、次に越流の深さ (a) を流量、流速及水通の形狀から計算し、前法の勾配は第三十式から見出す。m を適宜に定めて (31) 式で底幅 (x) を計算する。若し其の結果前法が (30) 式から出した勾配より急なら良いが緩であるならば m をもつと大にして計算し直す。尤もあまり急な場合は斷面が大き過ぎる結果となるから矢張り直ぼすがよい。堰堤が砂礫基礎上に

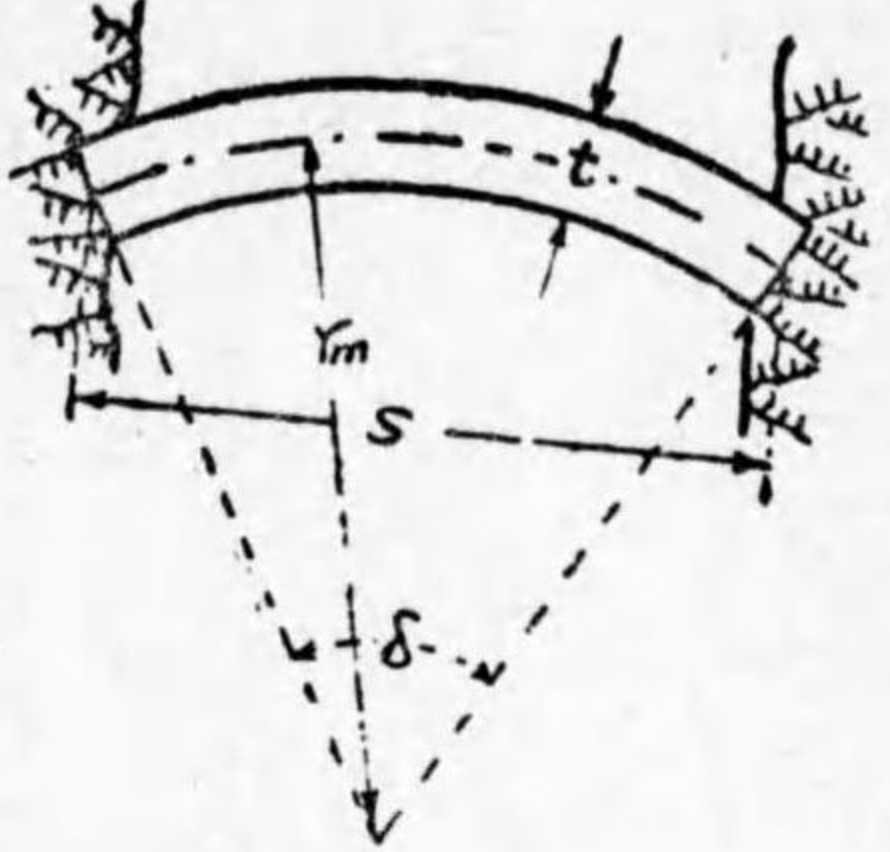
設けらるゝ場合は水圧が堰底に行き渡る結果堰堤を上に向つて押し上げる力 (uplift pressure) が生ずるが砂防堰堤は普通此の力は無いものと見て設計されてゐるのが多い。其結果堰堤の破壊した事も聞かない。第三款に挙げた諸堰堤の断面寸法を示すと次の通りである。

堰堤名	高(h)	天 幅(x)	前 法(n)	後 法(m)	底 幅(x)	越流深(a)	備 考
桃木堰堤	三〇	九	二	四	二七	六	基礎岩盤
蘆安堰堤	三八	二〇	一	六	四六・六	一一	同
源 堰堤	三二	三二	五	一	二九・二	六	基礎砂礫
御庵堰堤	三六	一一	三	直立	二二・八	三	基礎岩盤
鶴瀬堰堤	三〇	九	三	三	二七	一一	基礎砂礫
駒飼堰堤	三六	九	二	五	三四・二	一一	基礎砂礫
第二堰堤	一八	九	五	直立	一八	一一	基礎岩盤
第三堰堤	一八	一〇・八	四	同	一八	一一	同
第四堰堤	一一	一〇・八	四	同	一五・六	一一	同

二 拱堰堤 (Arched dam) は拱の作用で堰堤に加はる外力に對抗するものである。拱の厚さを計算する式は次の通りである。

$$t = \frac{w \cdot Y \cdot R}{f} \dots \dots \dots (34)$$

式中 t は洪水面より Y なる深さに於ける拱の厚さ、w は単位容積の水の重さ、r は拱の外圓半径、f は堰堤を構成する材料の許容抗圧強度である。右の式は堰堤が岩盤に固着してゐなく (unrestrained) 且つ拱の厚さを



圖四十四第

に比し半径がずつと大きい場合にのみ正しいが、砂防堰堤では右の式を用ひ實地に差支ない。中心角 (central angle) の値は理論上 百三十三度二十四分とするときが最も經濟的であるが實地には百二十度位にとるが良し。第四十四圖に示す様に兩岸が垂直である場合には中心角及半径は高さにより差異を生ずることはないが、普通は谷底に下るに従ひ兩岸の幅は狭くなるから中心角を等しくとれば半径は川床から上に向ふ程大となり半径を等しくとれば中心角は川床から上に向ふに従ひ大きくなる此の關係は次の式から明である。

$$r_m = \frac{s}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \dots \dots \dots (35)$$

半径を等しくとる場合に底の中心角を百二十度位にすると天端附近では堰堤の兩岸に取付かない様になることがあるから斯る場合には下層の中心角は遙に小さく五十度とか六十度とかにとる必要がある。殊に將來嵩置をする必要の起ることが豫見される場合には此の事を良く心得て置かねばならぬ。

同一の箇處に同じ高さの重力堰堤と拱堰堤を造るとして其容積の比を計算して見ると拱堰堤は重力堰堤の二分一乃至三分の一の容積で充分である。故に兩岸の強固なる處には是非拱堰堤を築造すべきである。拱堰堤の體積計算法は重力堰堤の様に簡單でないが表を利用すれば手数を省くことが出来る、體積計算に必要な弧の長さ (l) を求める式は次の通りである。

$$l = r \cdot \pi \cdot \frac{\theta}{180} \dots \dots \dots (36)$$

重力、拱兩堰堤の體積の相違は先に述べた様に大であるので拱堰堤は極めて危険の様な氣がする人がある。斯様な人は重力、拱兩堰堤の體積を折衷して拱堰堤にするのもよい。

右に述べたのは抱石混泥土堰堤の場合即堰堤全體が一體として働らく場合である。我國で屢々用ひらるゝ空積堰堤では其の厚さを定むることは計算上は困難である。空積堰堤の破壊は寧ろ堰堤外部を構成する築石の抜け出すことに原因するのである。

第八款 堰堤の種類及施工上の注意

一 抱石混泥土堰堤 中埋石は附近の川床に存する堅硬緻密で割目のないものを撰ぶ、中埋石の大きさは大混交する程混泥土の量を減じ従て工費を節約し得るが、運搬が困難である關係上餘り大きなものは使用することが出来ない、普通用ひられるのは一乃至二立方尺位のものである。中埋石を使用する際には良く水で洗ひ土を取り去ると同時に石を濡らす必要がある。混泥土は普通調合一・二・三・六のものを用ゐる。セメント三百八十封度入一樽の容積は計り方により色々變化するもので樽詰の儘では四立方尺に足りないが、樽から抜き出して計ると四立方尺半時には五立方尺にもなることがある、自分は一樽の容積四立方尺として混泥土一立坪に要する樽数を計算してゐる。砂防工事を行ふ所は概して交通不便で三百八十封度入の樽では運搬の出來ぬ事が多い、斯う言ふ場合には半樽、三分一樽、四分一樽など言ふのを用ゐるがよい。工費の不充分なきは一・四・八の調合を用ゐる事もある。中埋石と中埋石との間隔は混泥土が其の間に充分行渡る程度に離すのがよい。野溪では砂及砂利は各種の大きさのものを得られるから混泥土を造るには極く都合がよい、砂と砂利との分界は徑一分五厘位としたら良からう。砂利は最大一寸二分位に止める。堰堤の外面は張石をなすのが普通である、張石には二立方尺内外のものを用ひる、砂防堰堤は多くは山の中にあつて外觀を整える必要がないから築石は野面石又は雜割石で充分である。天端の築石は磨滅し易いから最も堅く割目のない石を用ひ

る、又築石と築石との間は密接するを宜しとする、間を離すと目地の部分のみが磨滅を速にする缺點がある。

二 混合積石堰堤 混合積石堰堤とは堰堤の外側即前法天端及後法（後法は空積にすることあり）を練積にし内部には礫を詰め込んで造つたもの言ふ。練積にする厚さは築石の控尻迄にするか又は三尺位とする。

此堰堤は混凝堰堤に次ぎ丈夫なもので工費の少い場合又は比較的穩な野溪に用ひる。

三 空積石堰堤 之れは全く混泥土や膠泥の様なものを用ひないもので一時的の效力しかないものである。外側は野面又は雜割石で築立て内部は礫を詰める。我國の砂防工事には不幸にして此空積堰堤が盛に利用され洪水毎に流失の憂目を見てゐる。之れは極く穩かな野溪にのみ應用さるべきもので本邦の様な荒い野溪に應用すれば流失するのが當り前で何の不思議もない、出水時に於ける野溪の状態を目的當り見た人々は成程と思ふてあろう。第一期工事に之んなものを造るのは川の中に、金を棄てる様なものである。地方では砂防工事をやると反て川が悪くなるから止めて呉れと言ふ請願の出る處があるそうだが尤の請願である。

四 木堰堤 木堰堤は石材の無い場合に用ひられ其の特徴は一局部破損するも全堰堤が破壊する危険少き點にある。木堰堤には單壁及複壁の二種がある、後者は一名石箱堰堤とも稱する。

(イ) 單壁堰堤 單壁堰堤とは木材を相互に重ねたもので密に重ねるものあり又五六寸の間隔を残して重ねるものもある。第一の場合は杭で壁を支持し第二の場合には控材で壁を支持する控材は後詰中に成る可く深く入り込ませる。

(ロ) 石箱堰堤 石箱堰堤は丸太押角等から出來てる前後の兩壁を横木で連結し箱を造り其中に石礫を充滿し上面には敷板又は張石をする。

木堰堤の工事施行上には次の注意を要する(一)木堰堤の材料は松、落葉松及栗等を用ひる(二)木材は樹液流動期外即秋冬の間に伐採するものを用ひ皮剝を宜とする(三)控材の前面は壁から突出しない様にする突出すと

は時に濡り時に乾き腐敗し易い(四)大きな石は箱の外側に近く小さい石は内側に詰める(五)堰堤の底には敷材床板等を設け溪床が浸蝕されても石が抜け出ない様にする(六)木堰堤は其全部が常に濡りたる状態にある様設計するが良い。

五 土堰堤 土堰堤は常時水少く又急激に多量の出水なき比較的穩な野溪に於て他の材料に乏しきが基礎兩岸共岩盤のない場合に築設される。構造は水密にしなければならぬから中央は出来るだけ深く掘り此部に粘土壁を設けるが良い。土は成る可く粘質を貰ひたのを用ひ五寸乃至一尺位の層宛蛸又はローラーで突き固める。土堰堤は其天端一面に水が越流するときは危険であるから一部分を低くし此部分丈水が越流する様にする。前法には張芝張石等をなし土が洗ひ去られない様にし後法は粘土で被ひ水密ならしむる。土堰堤の断面は理論上之を定むること困難である普通天幅は高さに等しくし前法二割後法一割乃至二割とする。

第九款 堰堤の基礎

堰堤の基礎は之に働らく最大壓力強度に耐ゆる充分なる強さあるを要する。又上向力が働かない爲に漏水なきを要する。堰堤破壊は基礎の不良に基づく事が多いから堰堤箇所を定むるに當つては基礎の良否に注目するを要する。

一 岩石基礎 岩石は堰堤基礎として申分はない。水源に近い溪谷では大低基礎として岩石を利用することが出来る。溪床に露出する岩石の表面は普通風化してゐるから風化した部分を取除くを要する。築立を始めめる前には岩盤を清潔にする爲め清水を適當の壓力で岩盤に打付け尙鐵線の刷毛で清掃する。混凝土を打つ前に良調合の膠泥で基礎岩石を被ひ堰堤底部との結合を充分にするのがよい。

二 砂礫基礎 砂防工事では一野溪に對して澤山の堰堤を造る必要があるから岩石基礎のある處計りを選んでゐる譯には行かない、殊に下流の方に行くと兩岸には岩盤が露出してゐるが川床には二十尺も三十尺も

時としては五十尺も厚く砂礫が堆積してゐる處がある。斯様な處では盤岩が出る迄掘り下げるのが中々困難である許りてなく愚圖くしてゐると水が出て折角掘つた處が全部埋められてしまふ事があるから砂礫を基礎として堰堤を築立てねばならぬ。貯水を目的とする堰堤ならば水が堰堤下を潜流し基礎の砂礫を運び去り遂には堰堤の破壊を招く危険があるから潜流に對する充分の設備をしなければならぬが、砂防堰堤では直き上流は砂溜りとなるから潜流により堰堤が破壊する心配は少ない。

砂礫層上に堰堤を築設するには前に述べた様に相當に深く現在の川床を掘鑿する必要がある。掘鑿を始めるときは豫め其上流に締切を造り流水を一方の岸に寄せて流す様にする其締切は相當堅固にして多少の出水位では破れぬ程度でなければならぬ。薄弱なものを造つて置くと不時の出水を受けて折角掘鑿した處を全部埋められてしまふ事が間々ある。締切と同時に必要なのは掘鑿箇所の下流に水抜を掘る事である之れで床掘内に滲透して來る水を排除して床掘を容易ならしむる。床掘を始める時期は濁水期を宜敷とする東京附近では冬季に行ふがよい。掘鑿は一方の岸から始め床付になつたら直ちに築立を始め川床迄積み上つた所で流水を堰堤上に流し他の岸の掘鑿を行ひ同様に川床迄積み上げる。

第十款 堰堤の水叩

堰堤を越流する水は非常な勢で落下するから、堰堤の前方には強力なる渦流、逆流及水位の變化を生ずる許りでなく、流水に伴ひ落下する土砂、石礫、木材等は川床に衝突して之れを浸蝕する。川床が硬岩から成るときは特に水叩を作らない事もある。水叩工は之を水平に設けることもあるが又川床の勾配に沿ふて設けることもある。水平ならば落下する水の動勢を殺ぐ効は大であるが水叩工の下端は溪床から高く突出する處があるから水叩工を川床に深く入れ込むを要する。之に反し川床の勾配に沿はせると水速大となるから水叩の長さを長くし川床を保護しなければならぬ。水叩の長さはあまり高くない堰堤では堰堤高の二倍とする

のが普通である。理論上水叩の長さを定むる式は

$$l = v \sqrt{\frac{2(h+a)}{g}} - n \cdot h \dots \dots \dots (37)$$

式中vは堰堤を離るゝ水の最大速力、hは堰堤高、aは越流の深さ、nは前法勾配、lは水の落下する距離を表はす。水はlの距離に於て全く動勢を失ふものではないから、水叩の長さは算出したものより長くしなればならない。水叩工には次の様な種類がある。

一 敷石 敷石をなすには石の最長邊を高さとし最長邊を水流の方向に直角に置く。石は膠泥で結合せしむるが良い。敷石は充分廣く且つ長くして落下した水が良く擴がり得る様にする。其厚さは落下する水及石礫等の衝突に抵抗し得る様に薄くとも三尺を下つてはならない。敷石の先端を堰堤中に入れ込む事は避けがよい、水叩の動搖が堰堤破壊の原因となる懼があるから。

二 石枠 敷石の代りに石枠を用ふることがある、石枠は其前方が掘られても只沈下する許りて破壊することがないから、沈下しても尙水叩としての效力を發揮することが出来る但し枠材は石礫の爲めに損じ易い缺點がある。

三 副堰堤 以上述べた水叩は静かな野溪には適當であるが荒らい溪には不適當である。我國の野溪には副堰堤の築造により本副堰堤に水柵又は砂礫柵を造つて水叩の部分を保護するのが最も良い。副堰堤の天端の高さは低くとも本堰堤の下端と等高にするがよい。本堰堤の前に副堰堤を造ると本堰堤の前方は掘られる懼は少ないが副堰堤の前方が掘られることになる。副堰堤が岩石基礎の上に立つて居るならば前が掘れても心配はないが砂礫基礎の上にあるとすれば副堰堤の下端以下迄掘れ甚だしい時は副堰堤の底迄掘れ込むことがある。斯る場合には更らに其の下に副堰堤を造るか又はどんな洪水にても流されない位の大きな混泥土塊

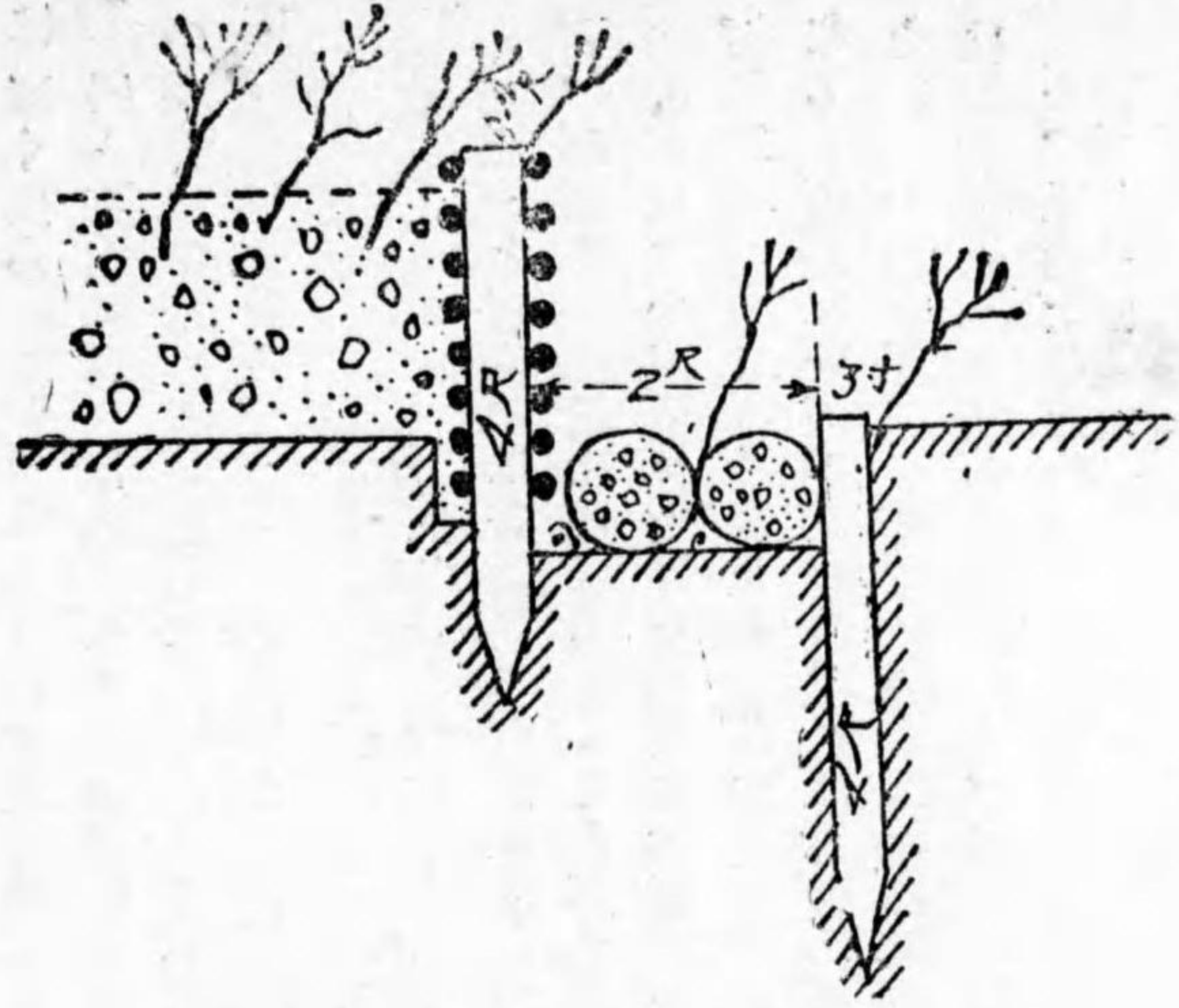
を捨てるが良い。大きな石が流れる様な場所では例令川床に硬い岩があるにしても何時の間にか堰堤の下流は深く掘られてしまふから副堰堤を造ることを要する。

四 階段堰堤 川床に岩のない場合には堰堤を近距離に澤山造り第一の堰堤は 第二の副堰堤となり第二の堰堤は第三の副堰堤となる様にすることが良い。山梨縣下の大柳川及栃木縣下の稻荷川には之に近い工事が施行されてゐる。

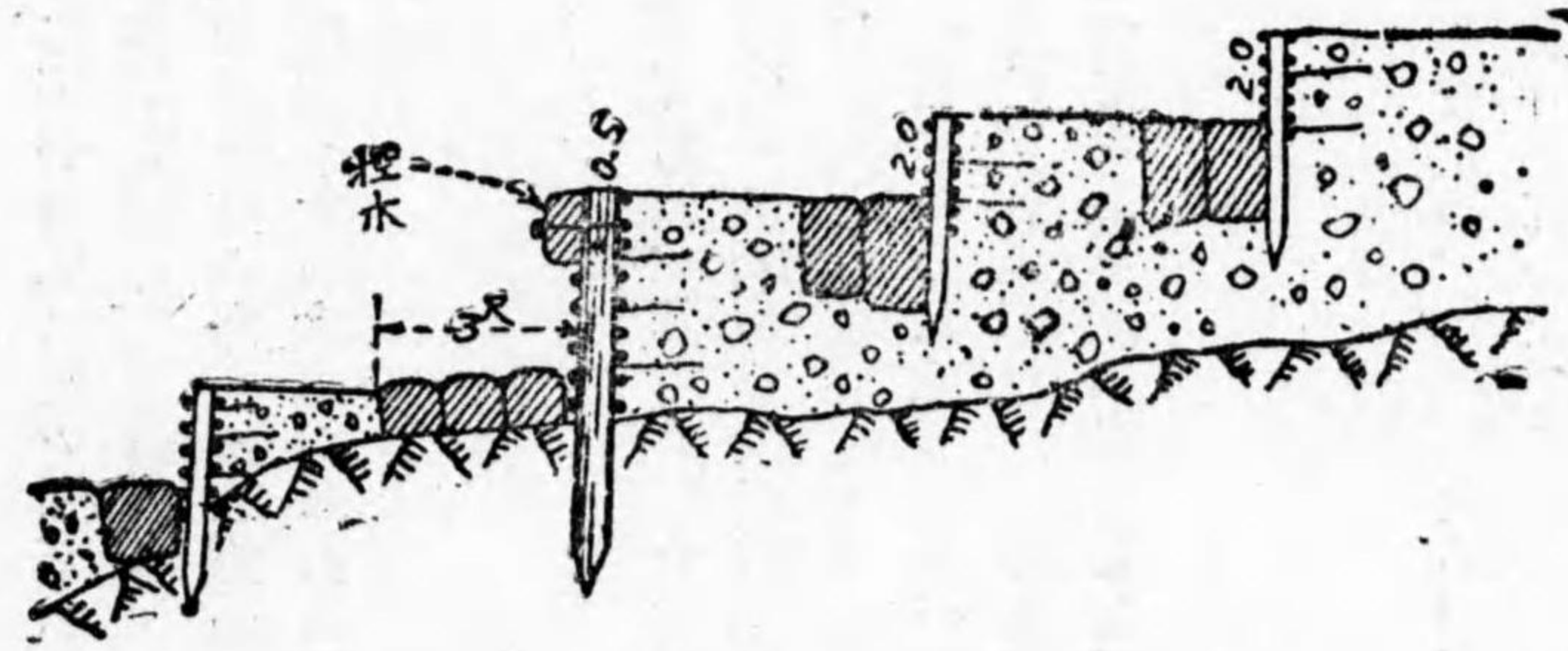
第二節 谷 止 め

谷止めと言ふのは普通高さ六尺未満の堰堤の事である、其目的は大約堰堤と同じであるが其他護岸、敷石、堰堤等の保護に用ひらるゝことがある。谷止めの目的が單に床固にあるときは其天端は溪床より突出する必要はないが其目的勾配の緩和砂礫の杆止等にあるときは堰堤と同じ原則て之を築設する。而して一般には堰堤を造るよりも谷止めを澤山造る方が維持上利益多く又位置材料の選定に就ても堰堤の場合の様厳格なるを要しない。谷止めの材料は堰堤の場合と同じであるが之れは普通幅狭く急勾配の支溪に築設されることが多いから適當の石材を得ることが出来ず従つて木材を使用することが多い。又萌芽力ある材料で杭柵又は粗朶谷止めを造ることがある。

- 一、混泥土谷止め
- 二、石谷止め
- 三、木谷止め 木谷止めには石箱谷止め、粗木谷止め、及杭谷止めの三種がある。粗木谷止めは壁木と枝葉付控木から成り平常水量の少い處では腐朽し易い。杭谷止めは溪床に杭を打込み其間に張石をする。
- 四 杭柵谷止め 杭柵谷止めは石材や木材の少い處に用ひられるが大石を流がす溪に於ては破損し易い



圖五十四第

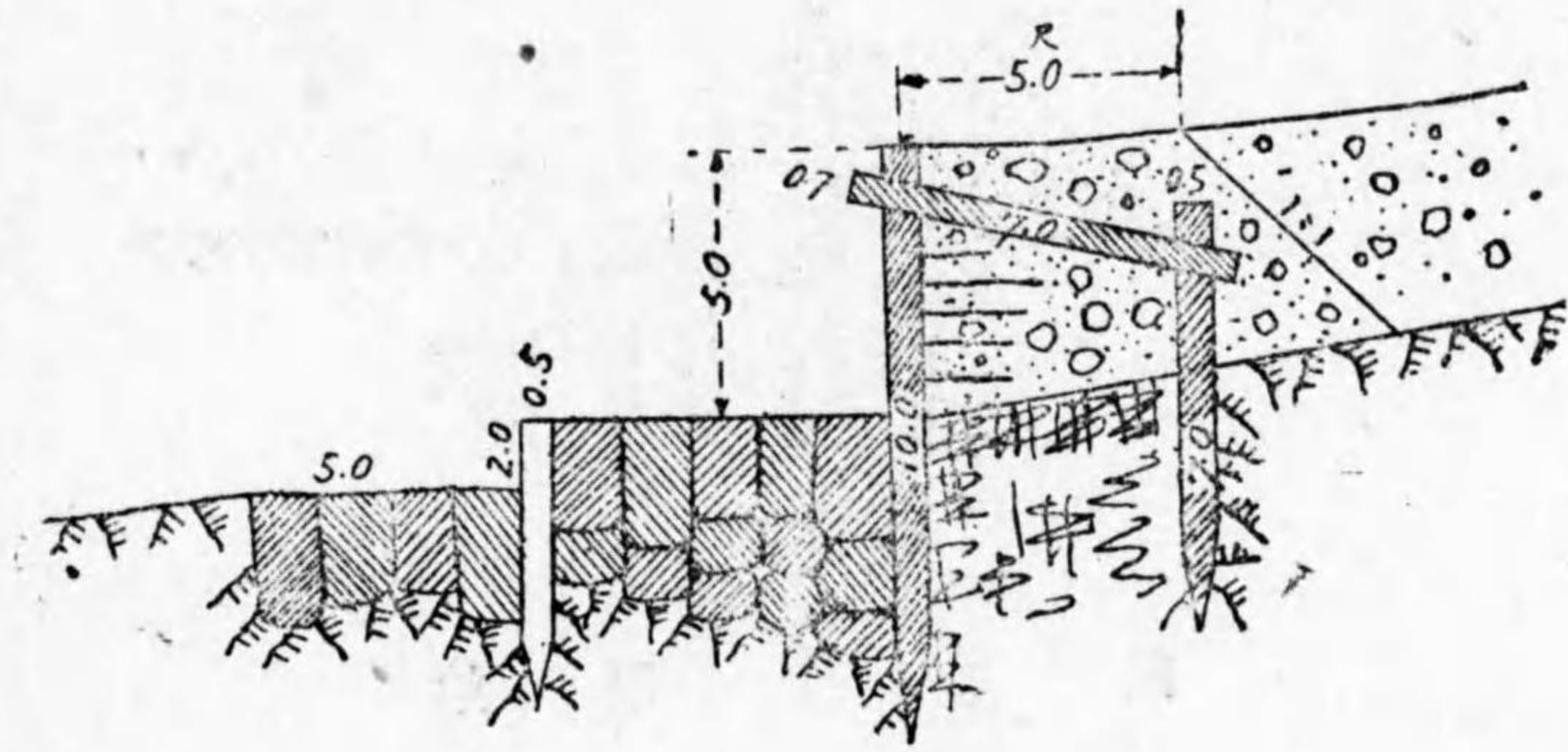


圖六十四第

七四
ら用ひないがよい。一般に樹木の繁茂し易い無水の短浸蝕溪に適する。柵の材料は萌芽力ある柳等の四年乃至十年生で長さ一間乃至一間半の樹木を發育休止期に伐採して用ゐる。杭は普通針葉樹を用ゐる。落葉松、ヒノキ、コウヤマキ、アスナロ等を宜敷とする。針葉樹のない場合にはナラ、クリ、ニセアカシヤ等を用ゐる。杭の太さは地上に出る杭の高さにより異なる杭は其下部を焼き其半以上を地中に打込むがよい。杭柵谷止めには單壁のものと復壁のものがある。

(1) 單壁谷止め 單壁

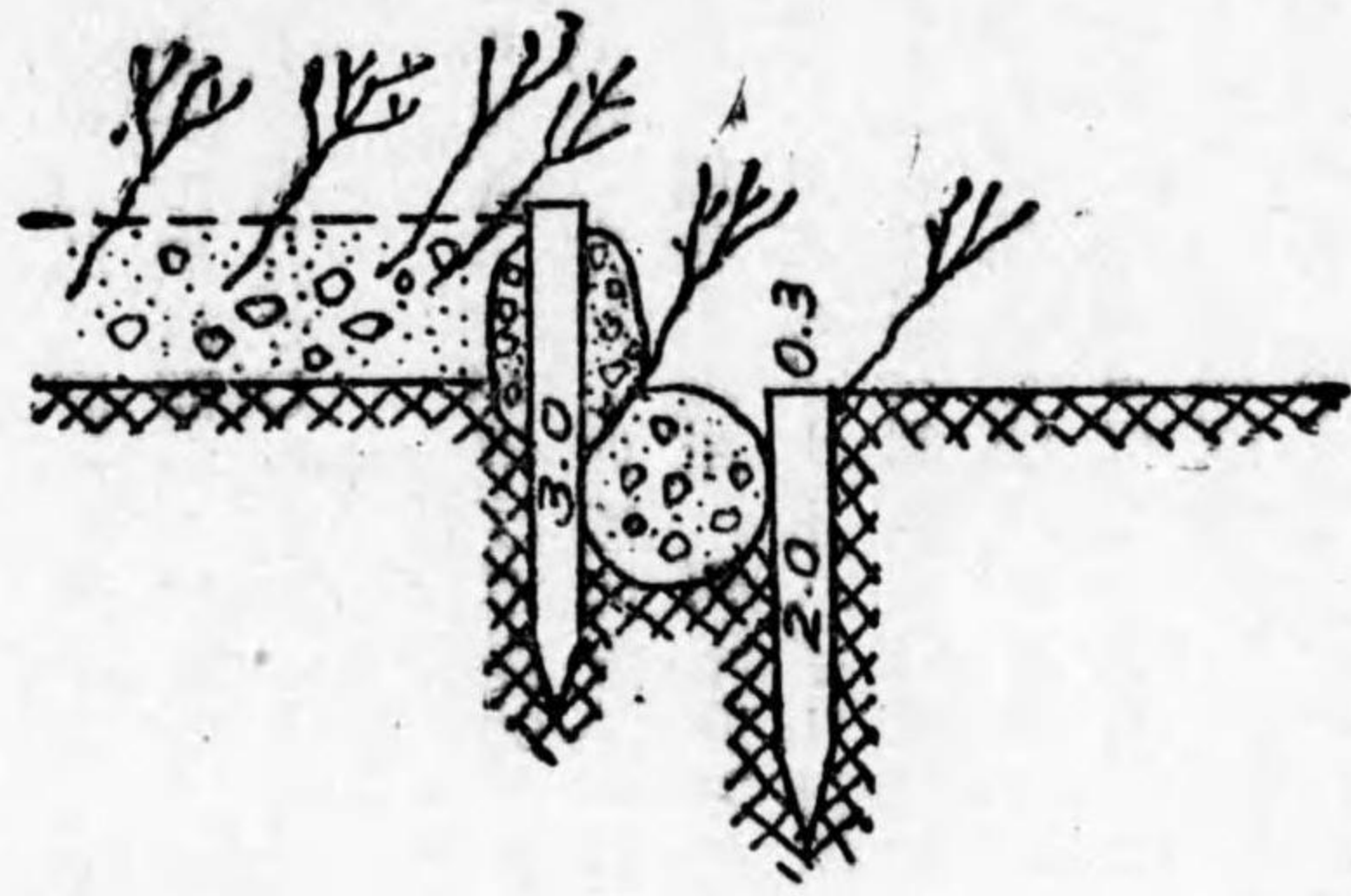
圖七十四第



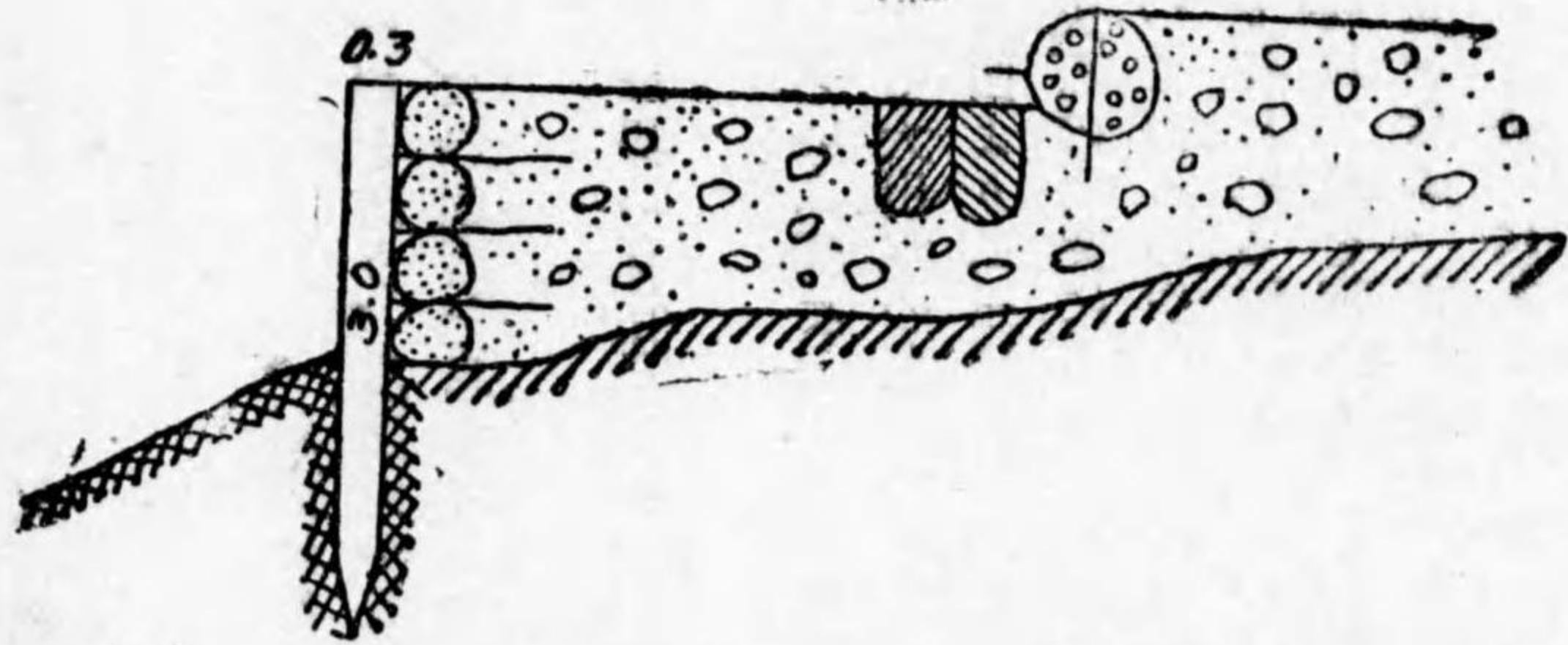
谷止めには色々ある第四十五圖及第四十六圖に示すのは其一例であつて、第四十五圖は高さ二尺以下の場合に用ひ杭は總て小杭であつて之を一尺置きに打込み其前方には粗朶の水叩を設ける。第四十六圖に示すものは杭の前方に横木を取付け之れを兩岸に二三尺入り込ませる、高さは四尺以下とし中央を低くし兩袖は四割位の勾配を付ける。又第四十七圖の様に杭の後方に控木を有するものもある。此種の杭柵谷止めを造るには先づ岩盤又は堅固な床迄掘鑿をなし杭柵を築設し水が其下を潜らない様にする。即直徑五寸深さ二三尺の穴を掘り杭を其の中に入れて其周圍を石で充たす、杭の上には普通四五寸角の木材を置き杭と杭とを連結する。柳枝は長さ十尺位三年生のもを伐採後五日以内に使用するがよい。杭柵谷止めの高さが三尺以上のときは其後方に盛土をする、盛土の上幅は五六尺にする。

(ロ) 復壁谷止め 復壁の谷止めは第四十八圖及第四十九圖の様な構造であつて、第四十八圖は高さ五尺以下の場合に用ひ地中に深く杭を打込み其間を柳枝で編む。杭には大小二種あつて大杭は心々距離三尺とし其間に二本の小杭を挿入する。杭柵の後方には幅五尺位の盛土をする。第四十九圖は高さ六尺以下の場合に用ひ大きな杭を二本の横木で連結し又長六尺の控木により前後の杭

圖十五第



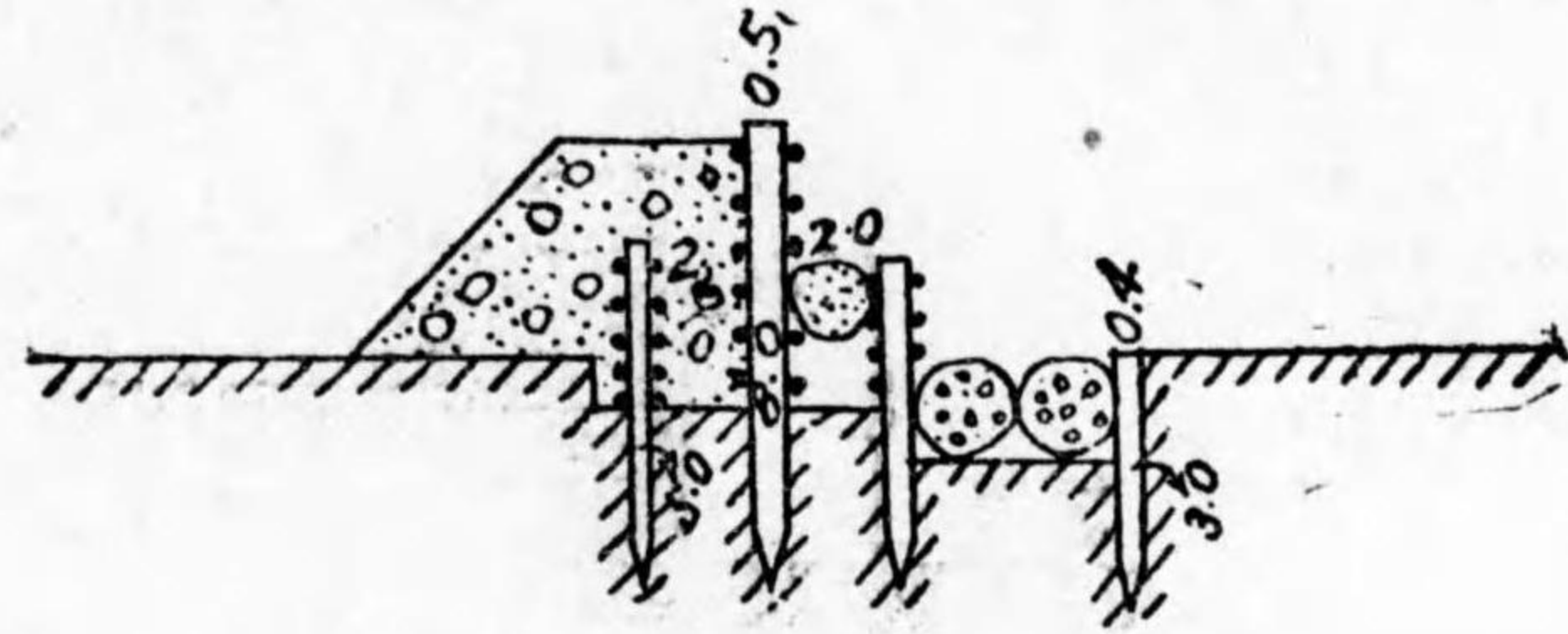
圖一十五第



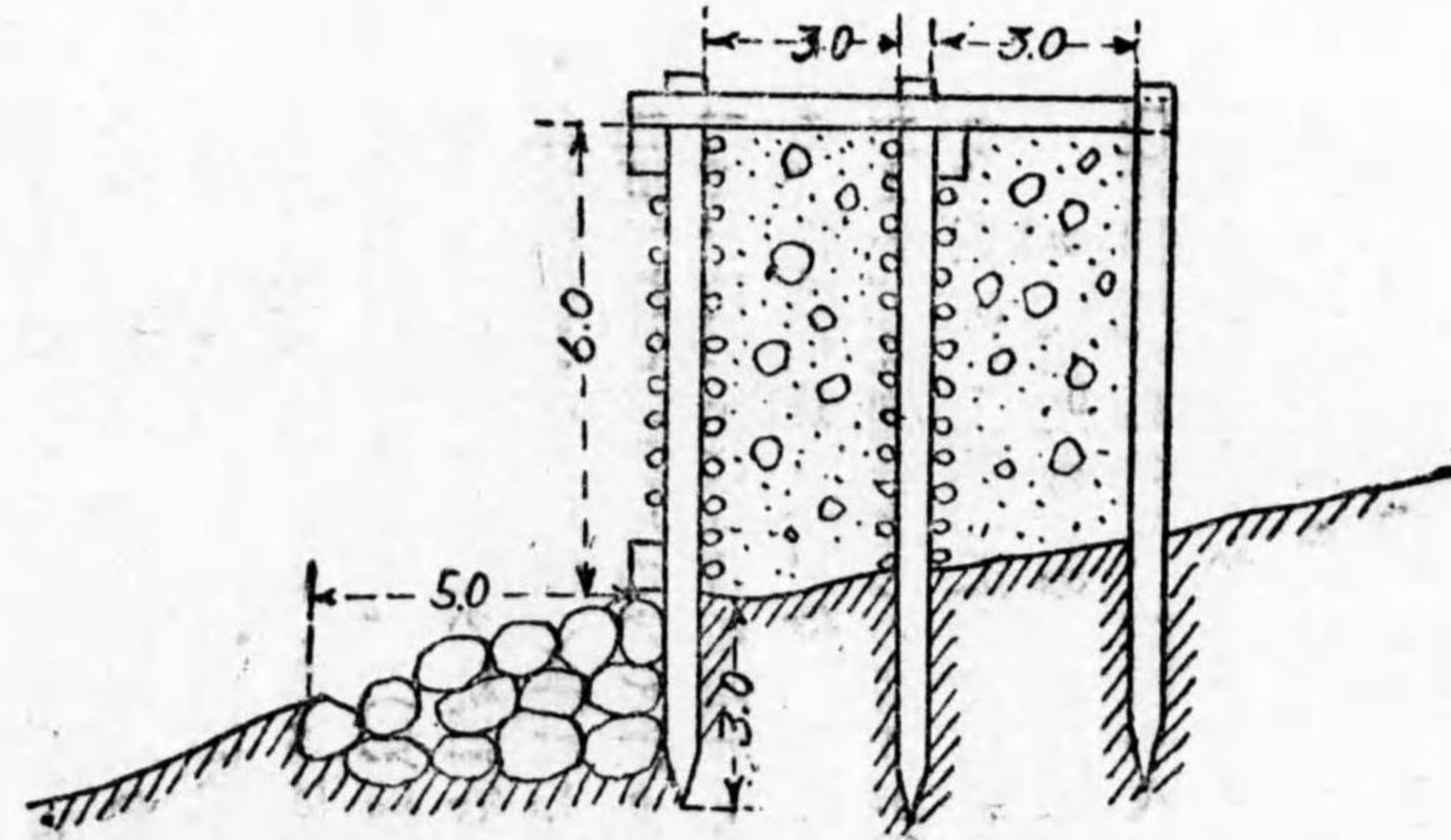
位挿込み其上方にある穴に枝條の一端
 を入れ棒に巻いて綴る。粗朶を鐵線で
 結束するときは保存良く又粗朶束の内
 部に土石を満たすときは重くなり溪床
 が掘られた場合に沈下して浸蝕箇所を
 埋めるし又萌芽を促進する効がある。
 此二種は主として狭小な水蝕溪に用ひ
 られる(第五十圖)。廣く水蝕溪には(第
 五十一圖)の様な構造を用ゐる。

六 蛇籠谷止め 蛇籠には竹製、柳
 製及鐵線製の三種がある。柳蛇籠は竹
 蛇籠に比し腐朽し難く萬年蛇籠の稱あ
 るが耐久力は鐵線蛇籠に及ばない。鐵
 線蛇籠の鐵線は八番線乃至十番線を用
 ひ籠眼は三四寸、直徑は一尺乃至三尺
 位にする。蛇籠は之れを設置せんとす
 る場所に運んで其中に礫を填充し長さ
 一間に付末口二寸長五六尺の杭二三本
 を打ち之れを保持する。而して溪床の

圖八、四第



圖九十四第



木を連結する而して太い杭の間
 には太さ一寸五分位の柳杭を打
 込む。

五、粗朶谷止め 粗朶束は普
 通長二間直徑一尺位に造り材料
 はどんな木の枝を用ゐてもよい
 が節多きもの又は脆いものは避
 くるがよい。細長い枝は外側に
 不良なるものは内側に置く。粗
 朶は良く密合させる必要がある
 ので先づ兩端から五寸許りの處
 を結束し次に一尺毎に結束する
 結束用の繩は葡萄蔓、柳、樺、
 白楊等がよい。新しい脆弱な
 枝條は葉を落とし八九本纏めて
 焚火で焙り發汗させ後濕つた土
 の中に入れて置けば強靱となる
 又屈撓性を増すには長さ一間太
 さ三寸位の棒を地中に二尺五寸

浸蝕を防がんとするか又は溪床を隆めんとするかに従ひ一本又は數本を重ね用ゐる。

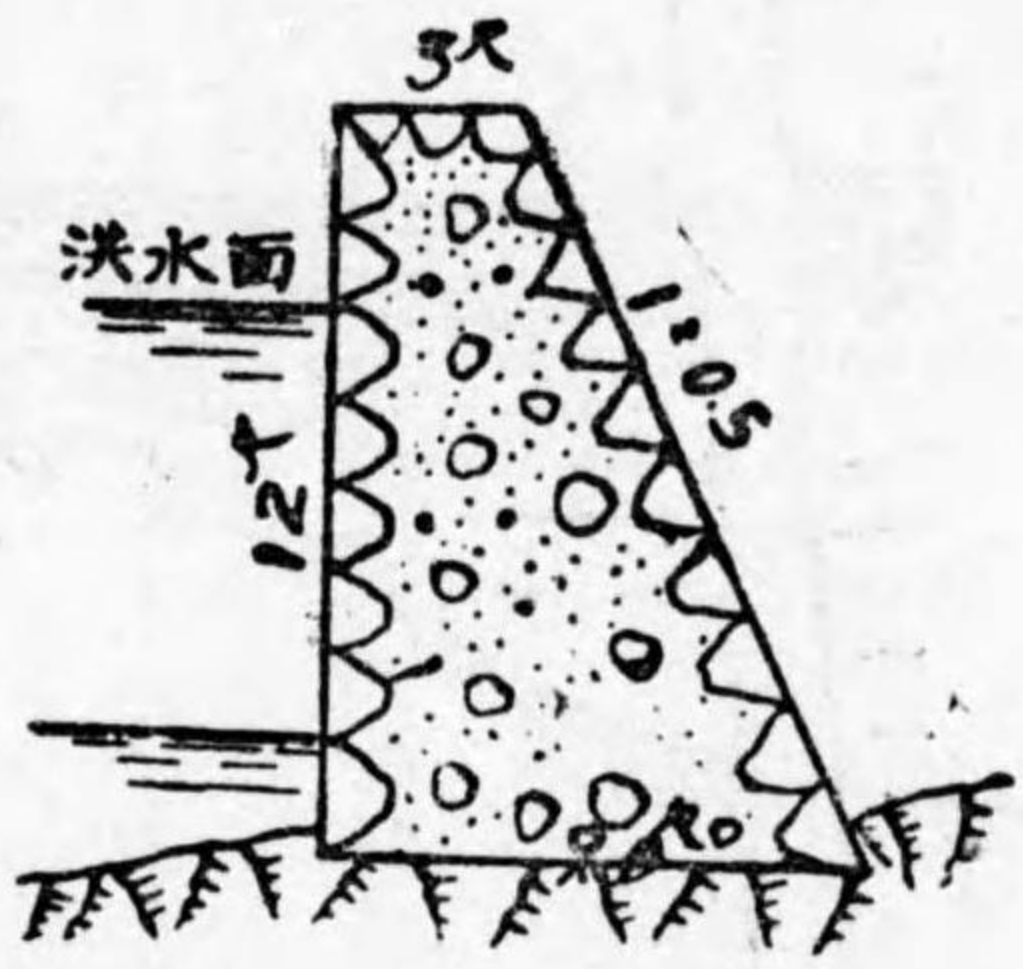
第三節 護岸 (Revetment)

護岸の目的は直接に溪岸の浸蝕及崩壊を防止すること、斜面にある工作物を保護することにある又時としては急斜の崩壊面から相當の距離を距て、護岸を造り、崩壊面からの崩落土砂により崩壊箇所と護岸との間を自然に埋設せしめ土砂の流出を防ぐと同時に崩壊面を息角になる迄緩にして木を植付ける様にする事もあ

る。之れは其目的が半ば堰堤的であるから縦の堰堤 (Longitudinal dam) と稱する事が出来る。護岸をする方法には直接の方法と間接の方法とがある。

第一 混凝土護岸 何十立方尺何百立方尺といふ様な大きな石の轉ろがる溪川では餘程丈夫な護岸でなければ役に立たぬ。大正八年九月栃木縣の日光で大出水のあつたとき大谷川筋では何十立方尺といふ様な大きな石が盛に流れた爲め日光町地先の護岸 (表面より二三尺の厚さ丈混凝土を用ふ) は大破損を被つた。其破損の原因は根固を深はれた點にもあるが又大石の衝突によつて打壞されたのも多い。其證據には護岸の天端附近のみが打壞されて下の部分は完全に残つてゐるのや中腹のみが破られて大穴を明けてゐるのもあつた。何と言つても護岸破損の大原因は常に其根を深はれる點にあるので、護岸を造ると水は必然其護岸に沿ふて流るゝ様になり絶えず其脚部を攻撃し出水毎に大破を加へる。そこで適當なる方法で其根を固むれば護岸は先づ安泰と言ふ譯だが、適當の方法が中々金を喰ふ。先づ最良の方法と言ふ可きは護岸の區間に相當距離に床固を入れて水の護岸に寄る事と床の下るのを防ぐにあるが工費を多く要するので行はれた例を聞かない。次に混凝土塊を根固として用ふる事は割合に行はれ相當の効果を擧げてゐるが木床を並べたのは感心出來ぬ

圖二十五第



日光稻荷川の第二堰堤では右岸の方面が低く洪水の際水が堰堤を避けて右岸方面を突破する惧があるので上下流に護岸を設けた其断面は第五十二圖の通りである。

基礎は岩盤であるから根固はない。

第二 張石護岸

第三 石箱護岸

第四 石粗朶互層工 石と粗朶とを交互に積み重ね其間に次第に泥土を堆積せしめ粗朶から萌芽させる。

第五 杭柵護岸

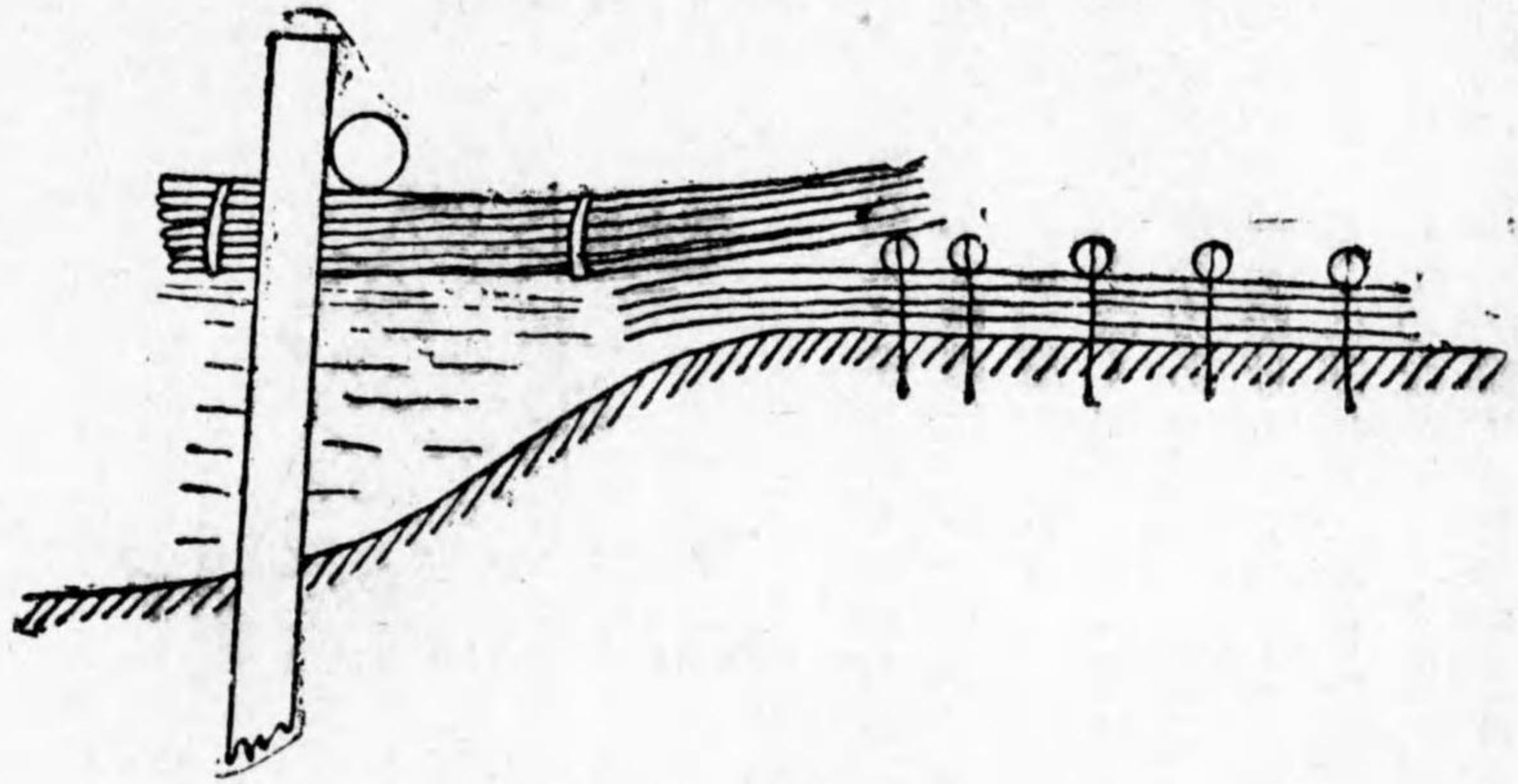
第六 沈粗朶束工 粗朶束工は丘陵地の野溪に應用される工法であ

つて、沈粗朶束は成る可く萌芽力ある粗朶及礫で造り、粗朶は厚さ六寸内外とし内部に徑二尺位礫を包む、束は結束架して鐵線にて結束する、出來上れば結束架から水中に轉落させる、長さは岸を被ふに必要丈の長さとする、束は一層とし或は二、三層として用ゐる。粗朶束を設置するに先立ち溪岸に杭を打ち法線を示し且粗朶束が水中深く轉落しない様にする。粗朶束が動き得る爲には杭を前方凡そ一尺の處に打込む。

粗朶束は萌芽力ある材料から造る、若し然らざるときは萌芽力ある枝條を之に挿入するが良い。又凹曲部は流水の浸蝕を受けるから粗朶束の前方に捨石をする。

尙必要のときは其後方に杭柵の横工を設け植栽をする。沈粗朶束の得點は粗朶束の下方が洗掘されたとき粗朶束は此自重のため沈下して洗掘箇所を埋め溪床の發達を良くし堅固な岸を作る點にある。尙ほ平坦な洪水地域に川岸を新設するに應用される。但し三寸以上の礫を流送する様な箇所には用ひ難い。

第三十五圖



第七 蛇籠護岸

一 鐵線蛇籠 鐵線の太さは普通一分乃至二分とし網目の大きさは一寸乃至五寸蛇籠の径は五寸乃至二尺とする。蛇籠に石を詰める間は鐵線により之れを固定する。尙流失の危険を防ぐため立木又は杭に繋ぐことがある。鐵線は充分長くして仕事の邪魔にならない様にする。各蛇籠は鐵線で互に横に結付ける又二箇以上重ねるときも同様結合する。鐵線蛇籠は保存期長く少し位動いても原状を失はないから其下方が浸蝕されるときは夫れに従ひ沈下し浸蝕止めば終に安全な基礎となる、それ故に沈下した蛇籠の上に新しいものを重ねると所定の高さの丈夫なものが出来上る。

二 竹蛇籠及粗朶蛇籠 此等は保存期の短い缺點あるも鐵線蛇籠に比し工費を要することが少ない。

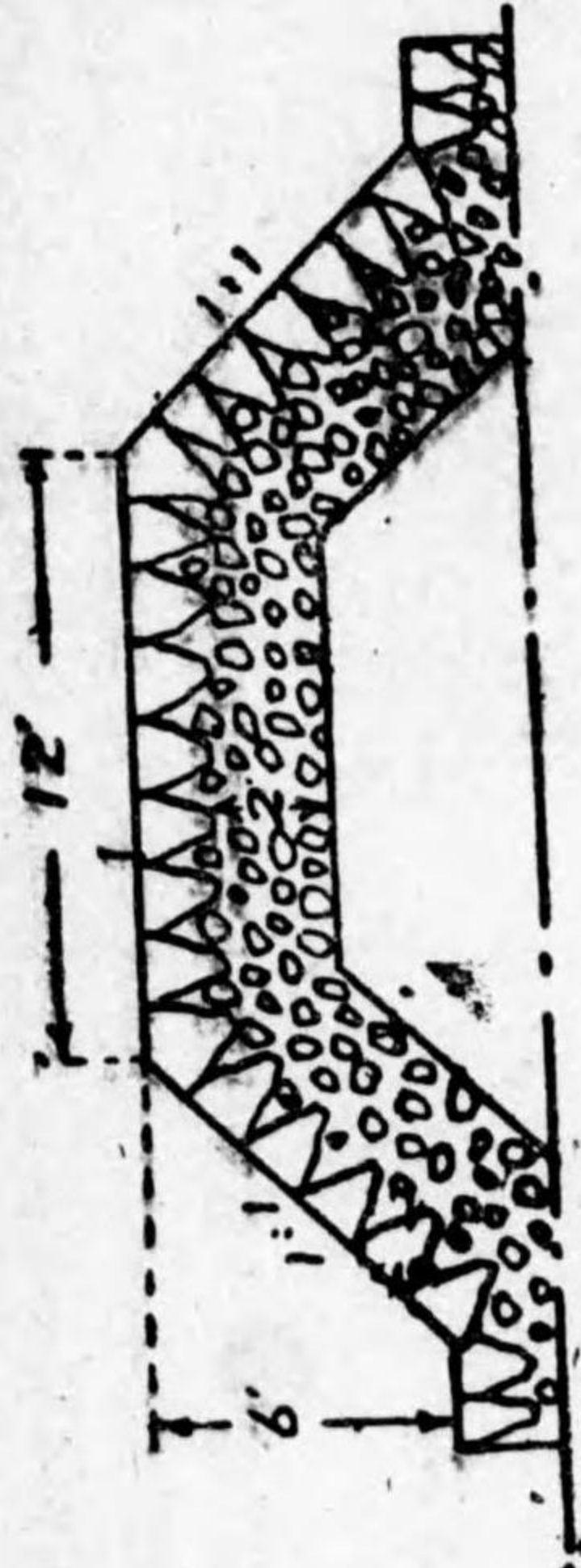
第八 ウォルフ氏棚架工 之れは直徑七八寸の杭を改修線に平行に將來の工事線より十尺位河身の方に寄せ八尺位の距離に十尺乃至二十尺深く打込み粗朶束の太い端を棒で結着し此棒を低水位の高さに杭に固定する(第五十三圖)。又新に工事を始める處では其下方に向一本の棒を設け粗朶束の結着が離れたときに粗朶束の沈下を妨げる様にする、そうして粗朶束の太い端は河身の方にあり細い端は岸の方にある様にする。流れの強い處では第二列の杭

を打込み横木で第一列第二列の杭を連結する、此粗朶束工は流れに平行又は斜めに用ゐる。粗朶層は實際に於て水中に浮ぶことは稀で其先端は一部分新堆積地上にあり其上に泥土がある、然し粗朶の下方或は其間に石礫の入る間隙があるから石礫は粗朶層の下に入る事が出来る。此工法は比較的穩な野溪に用ひられる。

第四節 水制 (Spur)

水制の目的は水流を一定の法線中に集めて亂流なからしむるにある。故に一種の護岸と稱し得るかも知れない。水制は高山野溪に應用されることは稀であるが丘陵地方の野溪には屢々用ひられる。尙水制は堰堤の様に直接に土砂石礫の流下を杆止する働がある。水制の方向に付ては三種ある即(一)流身に直角なるもの(二)上流に傾くもの(三)下流に傾くもの、三である。(一)は水制の長さ最短なるの利益がある(二)は砂礫の堆積に最も適し(三)は流身を正しくするが砂礫の堆積には效が薄い。砂礫留め水制の高さは中水位と高水位との中間位にするから其天端は堅固に作る要がある又水制頭部は流水の浸蝕を受けることが最も甚だしいから十分保護しなければならぬ。水制の材料は各其川の状況を研究して適當なるものを選定するが良い。本邦の諸川の様には大石を流す處では少くとも頭部は混泥土で作、充分根固を施さなければならぬ、出来る事ならば水制間に床固を入れたい。砂防水制の例は笛吹川

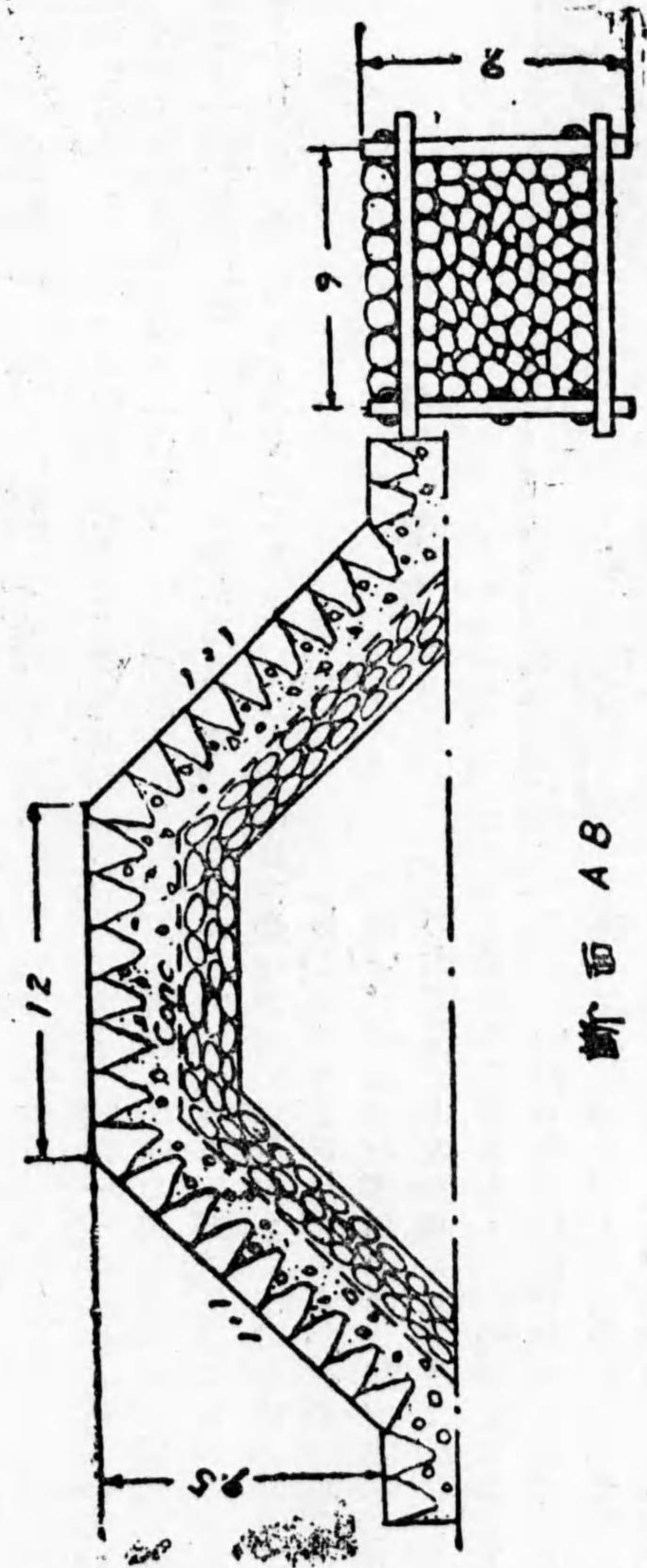
第四十五圖



八二

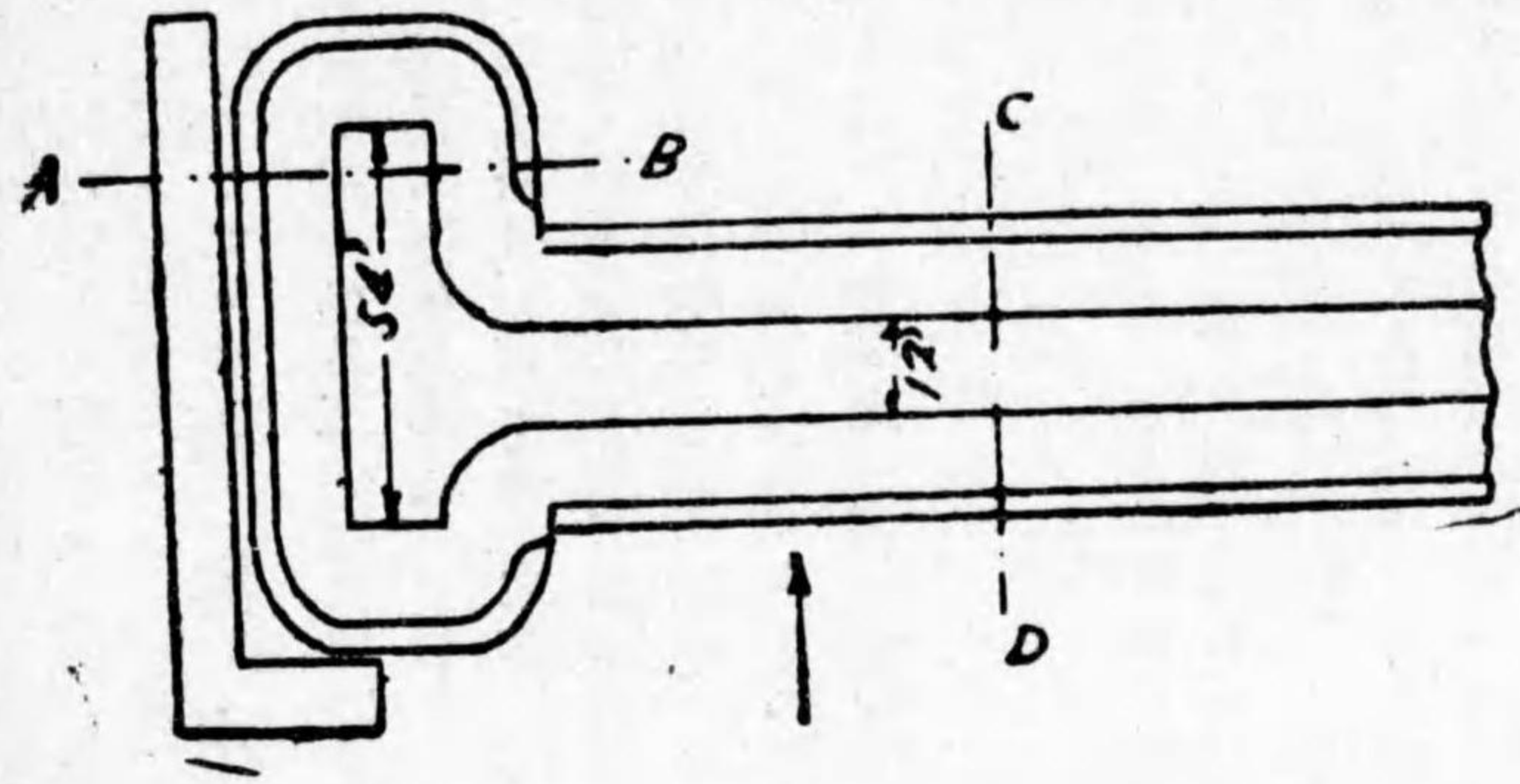
の支流の日川にある、中央東線を勝沼驛で下りると二十四五町で行かれる。之れは内務省の直轄事業で明治四十四年着手大正五年に竣工したもので水制の數七十四工費約二十二萬圓を要し施工區域は約二十七町に達する。此水制の構造は第五十五圖に示す様であつて頭部及幹部の二部分より成り全部は丁字形をなしてゐる。

第五十五圖

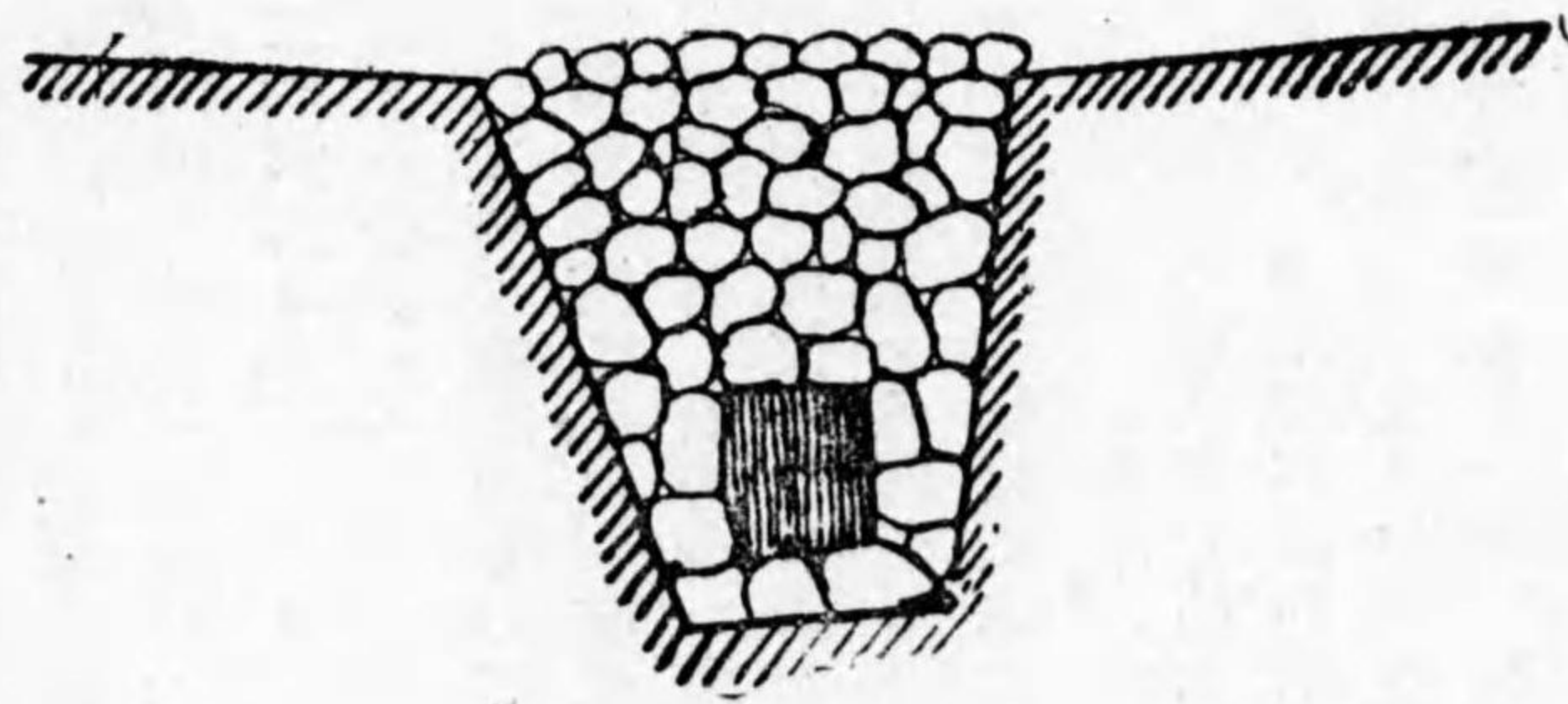


頭部は長さ七間及九間の二種あるが圖に示したのは九間のものである、水制を設けられた區間の勾配は平均四十分一で洪水の際は數十立方尺の石が流れるので、頭部の表面から三尺の間は全部混凝土を用ゐて固めてある、法先には始め深さ四尺の木床を用ゐたが新に修繕した箇所には圖の様な深さ九尺の石枠を用ゐたし、

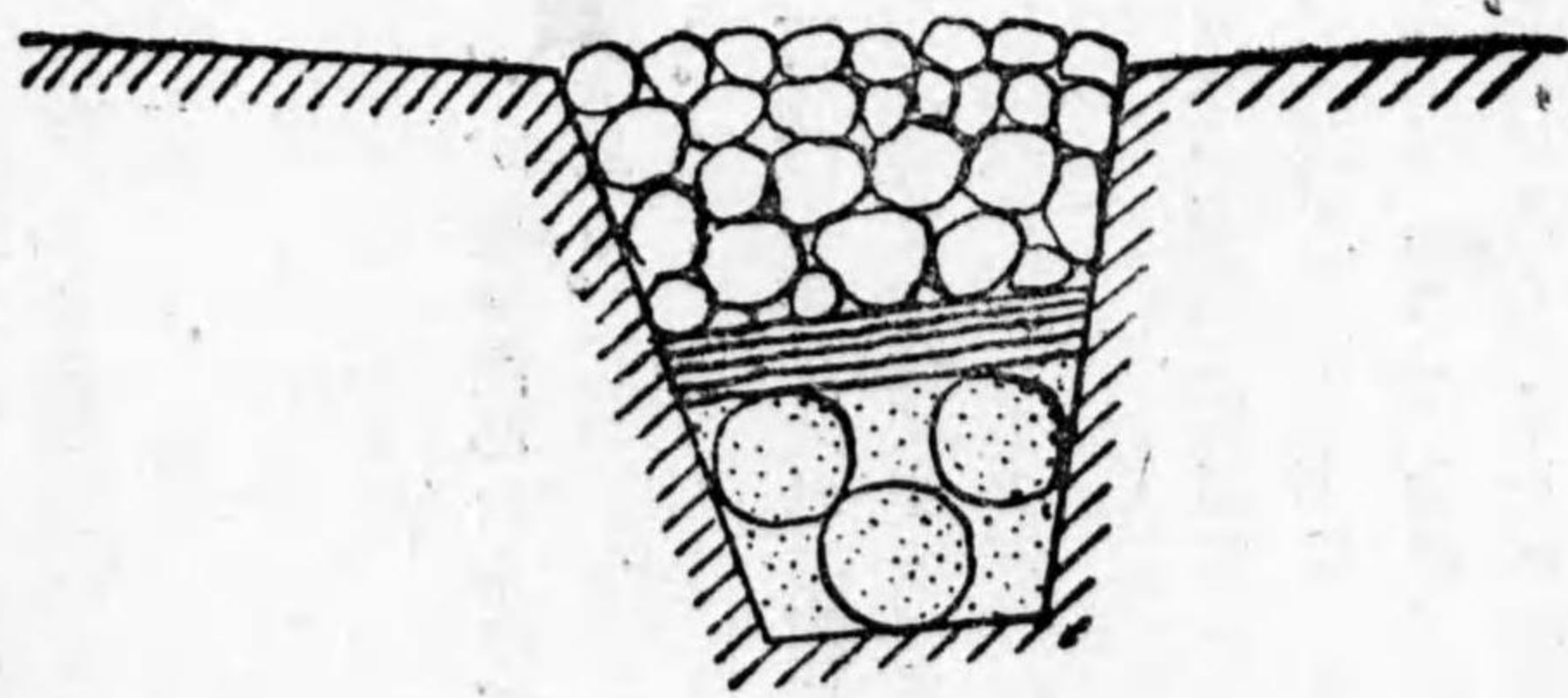
第六十五圖



第七十五圖



第八十五圖



又大正三年の大洪水で破損した箇所には法先に深さ八尺五寸の混凝土壁を用いたものもある。幹部は全部空積で長いになると一町以上もある。

第五節 排水工事

排水に使用される工作物には暗渠及開渠の二種がある。

一、暗渠の種類及構造

(イ) 水路付石詰暗渠 之れは第五十七圖に示す様な構造のもので、空所を残して石礫を詰めたもので水路は板岩・煉瓦等で三角形又は四角形に作る。渠底は階段状にし其長さは地形により異なる。

(ハ) 石詰暗渠 之れは深さ三四尺上幅三尺下幅一尺位の穴を掘り其中に厚さ一尺位石礫を入れ其間に空處を多く残せしめ其上に芝葭藁等の層を置き其の上に土を入れ土が石礫の間隙に這入らない様にする。石は玉石よりも割石の方が良い。掘鑿を節約するため暗渠の側壁は支木を用ひて垂直に切取る而して次第に之を取り去り其跡に石礫を入れる。

二、暗渠の距離 暗渠の距離は其深さ(H)、地下水の最小深(h)及地中を流れる水の勾配に關係する。之を算出する方法は次の通りである。第五十九圖に於て暗渠の作用の最も少い處はA B 暗渠の中間Eにある、而して土の毛細管作用に抵抗するに必要な勾配をpとしa及bを兩暗渠底の中間としp₁及p₂を傾斜線とすれば $p = \tan \alpha$ である、而してac及bcの交點は地上に最も近い點で地上よりhの距離にある、dを兩暗渠間の中心間距とすれば

$$H-h = p \times d$$

第五十九圖



となる、h、p及Hを知るときは此の式からdを定めることが出来る。經驗上pの値は次の通りである。

- 白 堊 質 の 地 〇〇一五——〇〇二〇
- 埴土及透水層の地 〇〇二五——〇〇三〇
- 普通粘土地 〇〇〇七——〇〇〇八
- 堅き土地 〇〇〇九

之れを實驗する方法はABRSTUの諸點に穴を穿ち降雨後に於て地下水の高さを觀測するにある。

三、開渠の種類及構造

(イ) 敷石水路 之れは勾配非常に急な溪床の浸蝕を防ぐに用ひられる。弧形水路は水が中央に集り其速力大となり浸蝕作用を強めるから水量の少い溪に用ひられる、敷石水路設置に際し注意すべき諸點は次の通りである。(一)水路の勾配が緩て其下流の端が浸蝕される虞のないときは水路は上流から下流に向つて築設するが良い。(二)之に反し勾配が急て上流から工事を始め次第に下流に進めて行くことが困難であり且水路浸蝕の

虞ある處は下流から上流に向ひ仕事を進めて行く。(三)石は長手を縦に置く。(四)凹曲部に於ては水路を深くする(五)敷石水路の勾配が急なときは或る距離を隔てて敷石帯を造る、此帯の上面は普通水路面と一致させるが勾配が非常に急で且水量の多い處では水路面上に突出せしめて恰も谷止めの様にするのが良い、敷石帯は練積とする。(六)石積は多くの場合空積とするが勾配急なとき又は水量、流下砂礫量多い場合には厚い空積とするか又は練積とする。

(ロ)敷芝水路 勾配緩て細い土砂のみを流送する溪に用ふ。

(ハ)敷板水路 深い水蝕溪で山腹の滑落する惧なく且土砂を流送すること少い溪に用ひる。

(ニ)粗梁被覆工 水蝕溪の底を厚さ三尺位の枝材又は間伐材の層で被覆する工事であつて、材の太い端を地中に挿入し其上方を溪の上流側に横たへ此上に横に木材を置き杭て之を固定し或は此上に石を置いて固定する。工事は下流から上流に進め其間に處々に空積石堰堤を築設する。材料は松の幼木がよい、其の理由は松葉は容易に落ちないようである、尙ハンノキ其他の樹種を使用することもある、是等は落葉が土壤を豊饒にし落下種子の發育を良好ならしめる。尙人工播種をなし或は柳を挿して樹木の繁殖を速ならしむる。而して水蝕溪の間にある山背の禿地は次第に風化して徐々に崩れ低處を埋め又植物は次第に繁殖して山腹の禿地を被覆する。

四 排水路築設に關する注意 (一)水路の半径が小さいときは水路が損じ易いから普通は三十回以上とする水路の勾配が急な場合には半径を大にすることは一般に困難である。(二)支流が本流に合流する角度が小さければ滞水の虞少く又土砂の支流に堆積することが少い但し合流部を斜にし様とすれば水路の延長を増し勾配緩となり反て水の流出を遅くすることがある、斯る場合には支流の床を本流の床より高くし段を付けて合流點で直角になし水を速に流出させる。(三)水路の上流端は良く土地に密着させ又其下流端には堅固な支を設け

る。(四)水路の勾配は成る可く變化のないのが宜敷い勾配に變化があると石礫が途中に堆積する虞がある。(五)水路の勾配は急又は緩に過ぎず適當のものたるがよい。緩に過ぐると水の流出悪く、急に過ぐると水路損傷する。水速毎秒二十尺以上なるときは特別の床固を要する。勾配は水路線の選定水路の延長及谷止の築設により之れを緩にすることが出来る。

第六節 山腹工事

第一款 山腹杭柵工

杭柵工は崩落土石を留止するに用ふるもので材料に萌芽力ある枝を使用するときには同時に根を張らして土地を結合することが出来る。杭柵工は太さ三寸内外の杭を地中に打込み之れを柳枝等で編んだもので杭の打込深及杭間距離は材料及所要の抵抗力に従ひ定めるもので通常深さは二三尺杭間距離は一尺五寸乃至三尺とする高さは成る可く低くし三寸乃至七寸位とする。高いときは落下する石のために損じ又雨水多き場合に掘取られる虞がある。杭を地中に打込むには第六十圖の様にする、山腹に直角に打込むときは杭が土石のために壓せられて抜け或は折られる虞がある又垂直の方向に打込むときはβ角が小となり下側の土が薄くなつて取去られる危険がある。杭柵工を山腹に設置する方法は第六十一圖乃至第六十四圖に示す通りである。第六十一圖は完全ではあるが材料を多く要する缺點がある。第六十二圖は材料を節約せんとする。場合に用ひられる。第六十三圖は固定水路を設置する場合に其水路(S)と結合して兩側に設ける但し輕鬆な山腹に用ふるときは流水のために杭柵の根を洗はれ易く又築設に際し種々の困難がある。

第六十四圖の様な配置は最良であるが工費を多く要する。杭柵工は一般に多額の工費を要するから其のために收獲を増すとか又は他に適當の工法なき場合を除いては餘り用ひられない。杭柵工の斜面距離は山腹の

圖 十 六 第

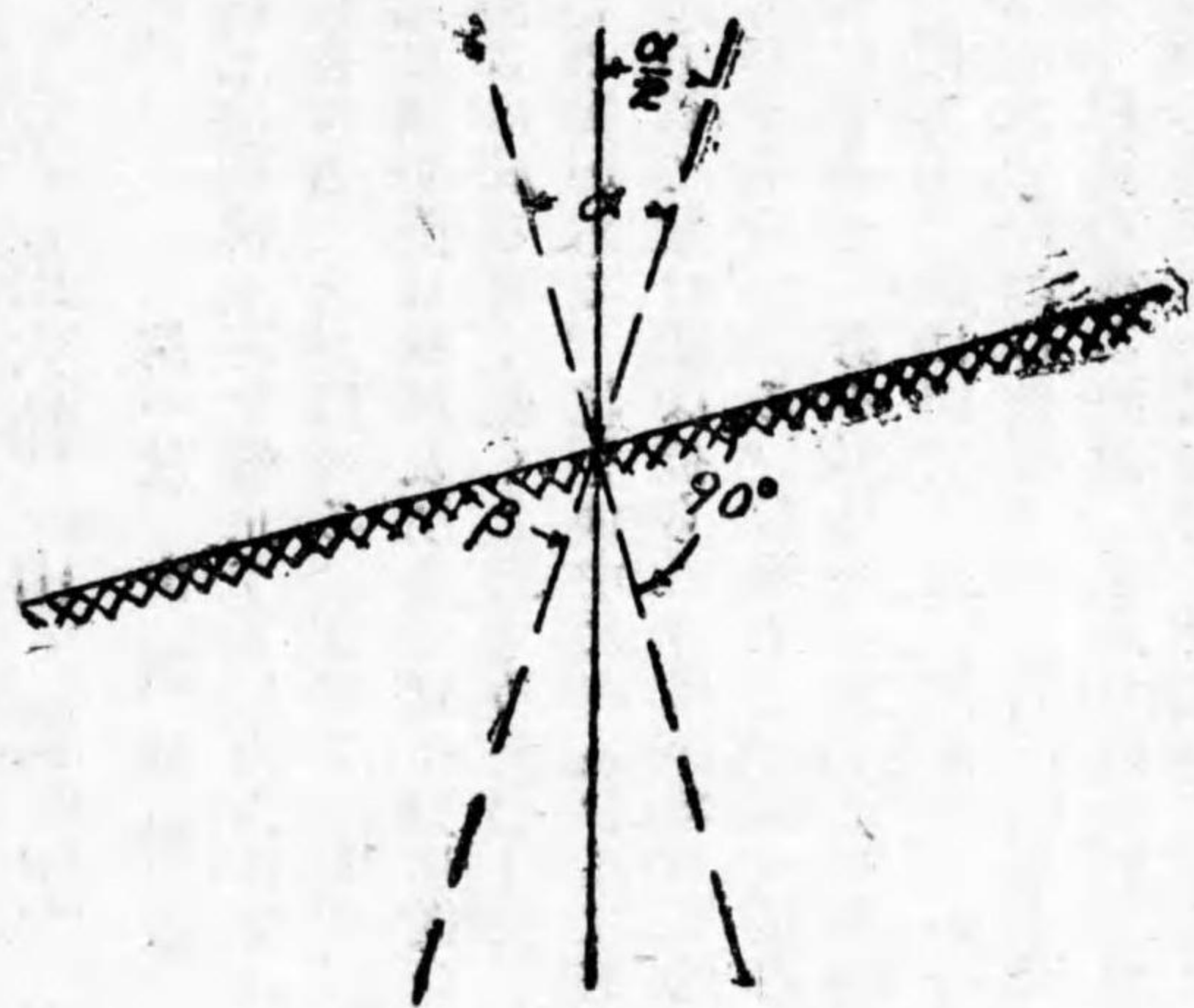


圖 一 十 六 第

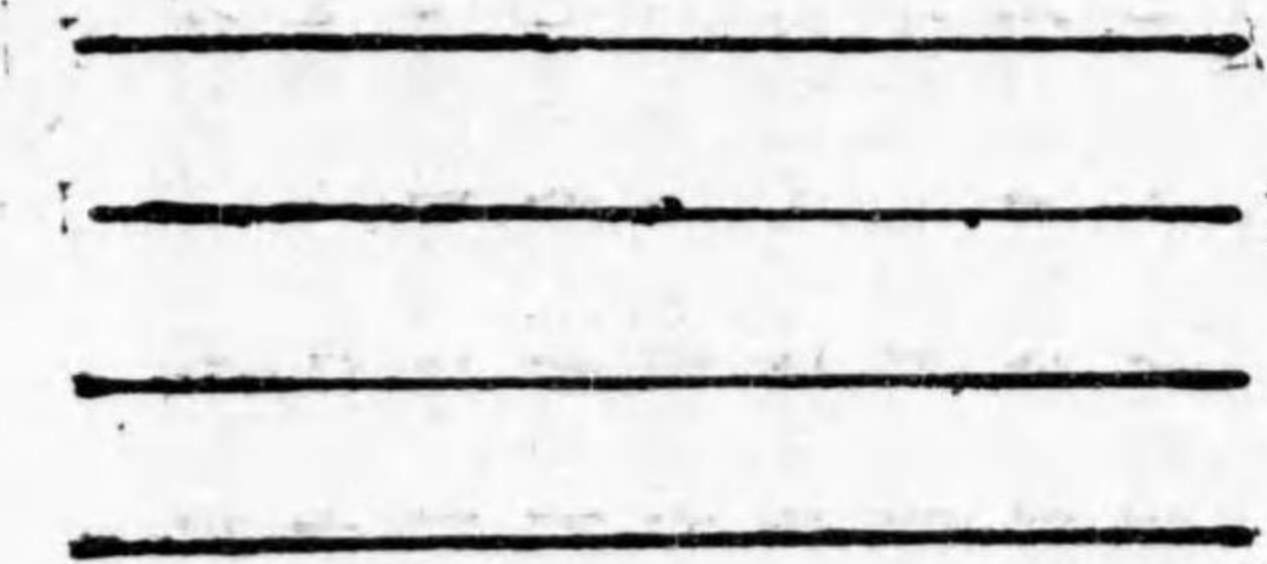
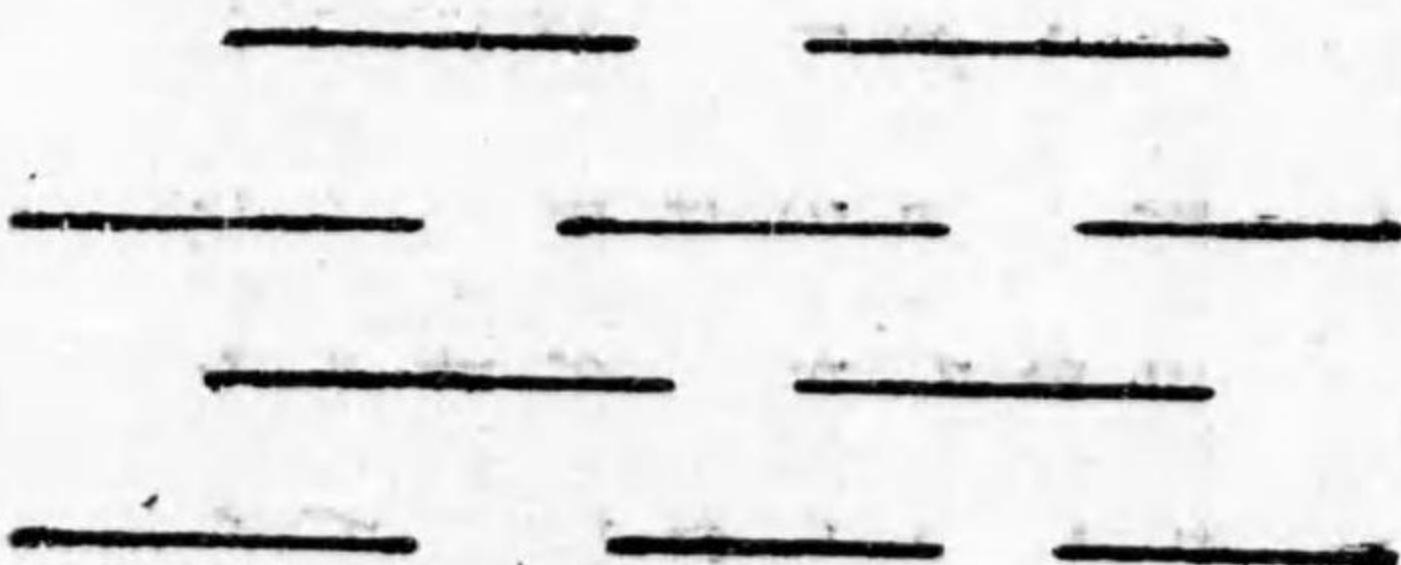


圖 二 十 六 第



傾斜及杭柵工の高さに關係し普通三尺乃至六尺位とする。杭柵工を設けるには先づ山腹を均らし又は階段を造り階段を造つた場合には轉落石礫が杭柵に當るを防ぐため並に其乾燥を防ぎ崩芽を容易ならしむるため上方に土を置く、崩芽力なき材料で杭柵を作る場合には之に崩芽力ある枝條を挿入する、若し杭柵間の山腹を崩芽力ある粗朶で被覆するときは地表を保護する許りでなく速に山腹を緑化することが出来る。此方法は崩

芽力ある材料多き地方で且繁茂の見込ある小面積に限り行はるゝものである。

第二款 山腹粗朶束工

杭柵の代りに粗朶束工を用ふることがある。第六十一圖の様に平行に設けるものは粗朶束を六尺乃至十二尺置きに階段的に置き徑の半を地中に埋め小杭で固定する粗朶束は徑四寸乃至六寸とし長さ五六寸毎に葉又は棕梠二子繩で結び一本の長さは普通十二尺とする又繼手は三尺打連にし二子繩で充分緊束する重要な箇處又は急斜地では小溝を掘り粗朶束三本を用ひる即前通に二本重ね裏通に一本を並べ四尺杭で固定する。杭は一尺乃至一尺二寸置に打込み杭頭は帶梢を以て柵を編み柵は高さ四五寸とする。溝には土砂を填充し苗木を植栽する。粗朶束は土砂の崩落を防ぎ地被を保護するのみならず腐朽するときは苗木の肥料となる。粗朶の代りに葉又は萱を用ふるこ

圖 三 十 六 第

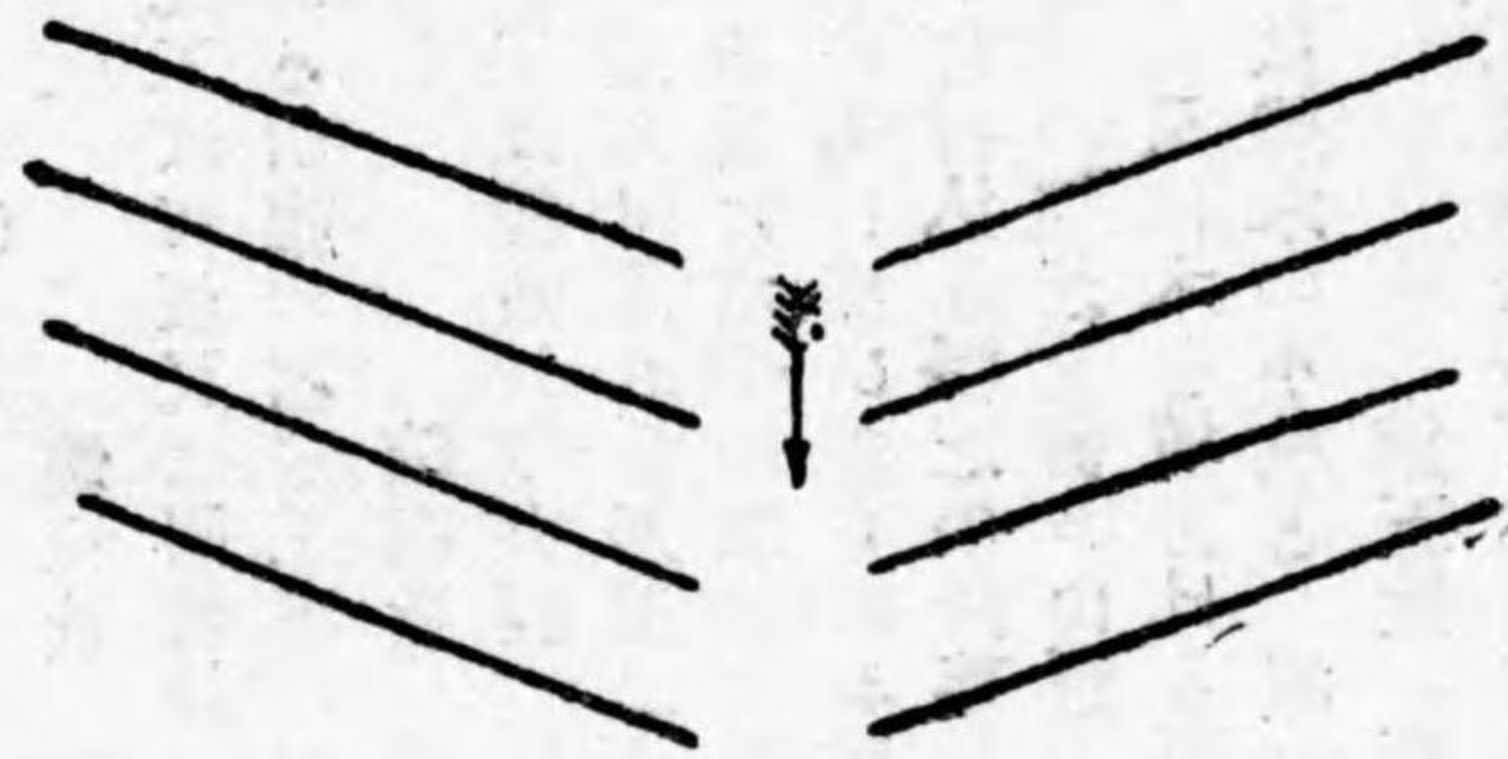
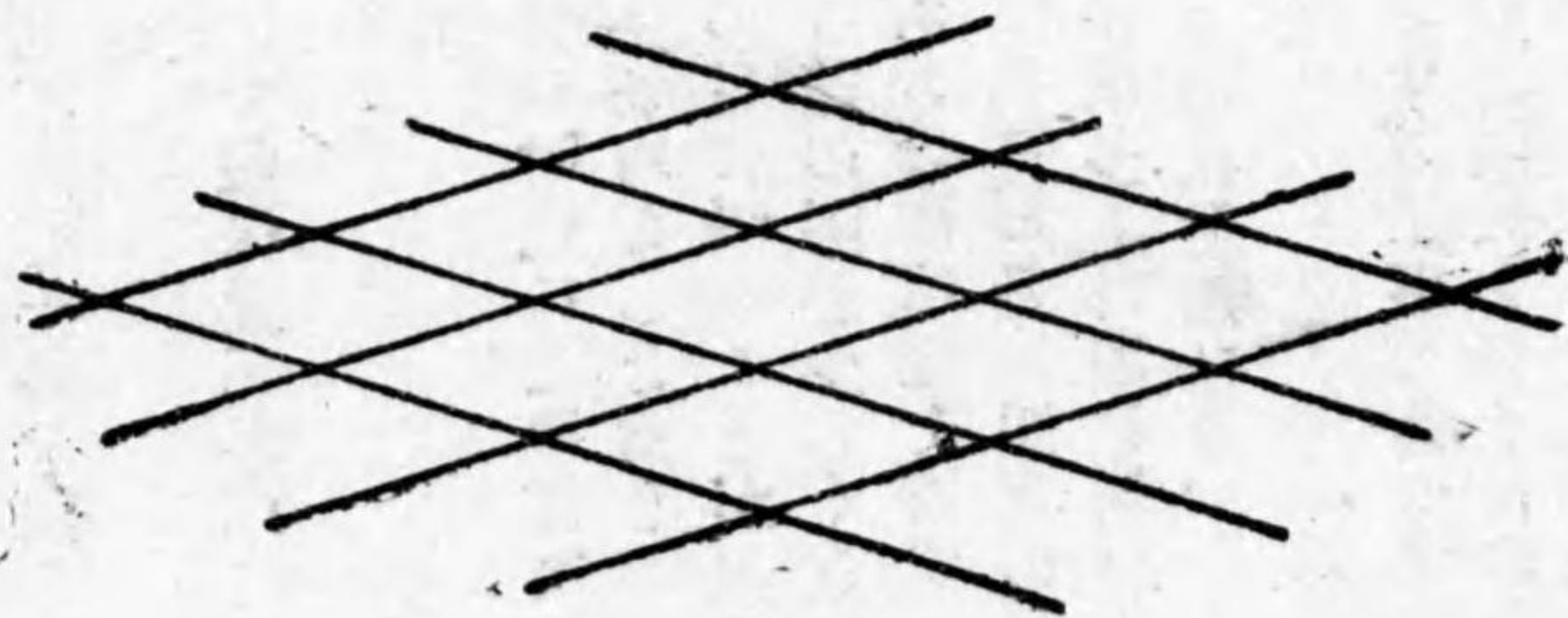


圖 四 十 六 第



とがある。第六十四圖の様に設くるものは網狀工とも稱し、網形菱形の大きさは普通堅徑七尺横徑十四尺とし

粗朶束は半ば土中に埋込み接合點は勿論其中間にも竹串又は杭を刺す。本工は緩斜軟弱なる山腹工事に適する網目には其の地に適し根の繁茂する苗木四五株を植栽する。地味の特に瘠惡な處では馬糞、油粕、糞、灰等を施す。粗朶束工の缺點は(一)粗朶束は重くて運搬困難であるから急斜地に用ひ難い。(二)粗朶束は杭柵より注意し難い。(三)粗朶束は杭柵よりも水の通過不良で土地を濕らすこと平等でない。

第三款 木 柵 工

木柵工は背板又は間伐材を用ひ作るもので假保護工事は危険少い處の固定工事或は迅速に草木の繁茂する望ある山腹の固定工事に用ひる。

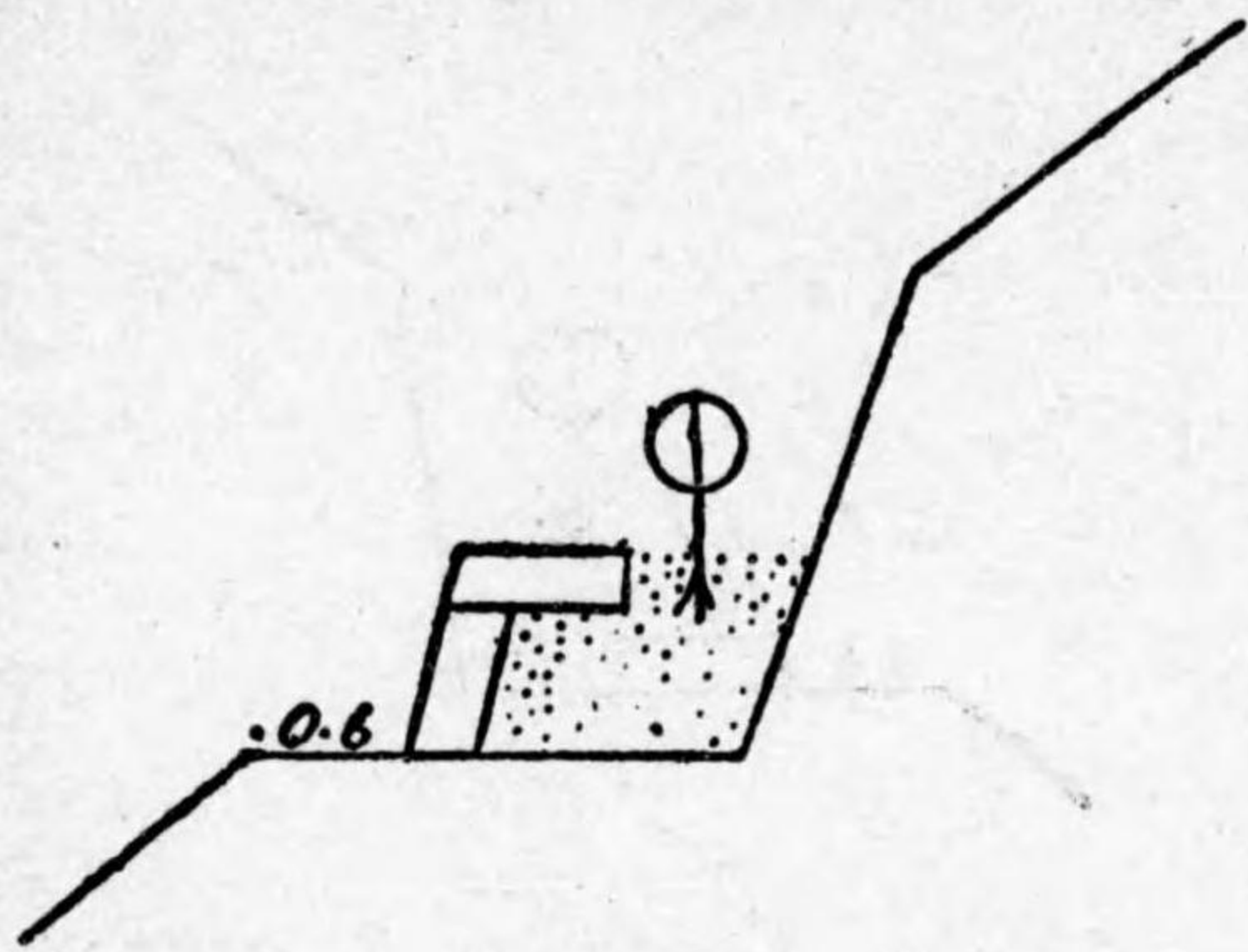
第四款 張 芝 工

張芝工は緩傾斜の山腹で芝の成育良く且つ附近に芝豊富なる處に適する。芝の大きさは長さ八寸乃至二尺幅六寸乃至八寸厚八分乃至二寸とし之れを法切均らしを爲したる山腹に種々の形に張付けるとする。芝を節約する爲に水平に線狀に張るか又は互の目に張ることがある。互の目に張るときは芝の間に苗木を植栽する又水の爲に洗ひ去られる虞ある土地では芝の隅を少しく重ねる。張芝上には太さ二寸位の杭を三尺乃至五尺置きに打込み張芝の滑落を防ぐことがある。崩壊地を固定するには一尺五寸乃至二尺四方にして厚さ三寸乃至五寸の切芝を置き山腹土層の厚に従ひ長三尺乃至四尺の杭を一間位の距離に打込み芝を固定し其間に種を蒔くか又は木を植付け張芝を留めるには多く目串を用ひる目串は張芝一枚に付一本を普通とする。目串は竹又は雜木の小杭とし濕氣ある箇所には柳枝を用ひる。

第五款 積 芝 工

積芝工は傾斜緩て地質稍堅い山腹に施設する工事であつて直高一間乃至二間毎に山腹に水平に階段を切り之れに芝數枚を積重ねるものである。山腹に階段を作るには先づ崩壊山腹の形狀を修理することを要する之れを法切と稱し將來の斜面が息角をなす方針を以て急斜地及尖突部を切取るもので此爲に生じた土砂は山腹

第 六 十 五 圖

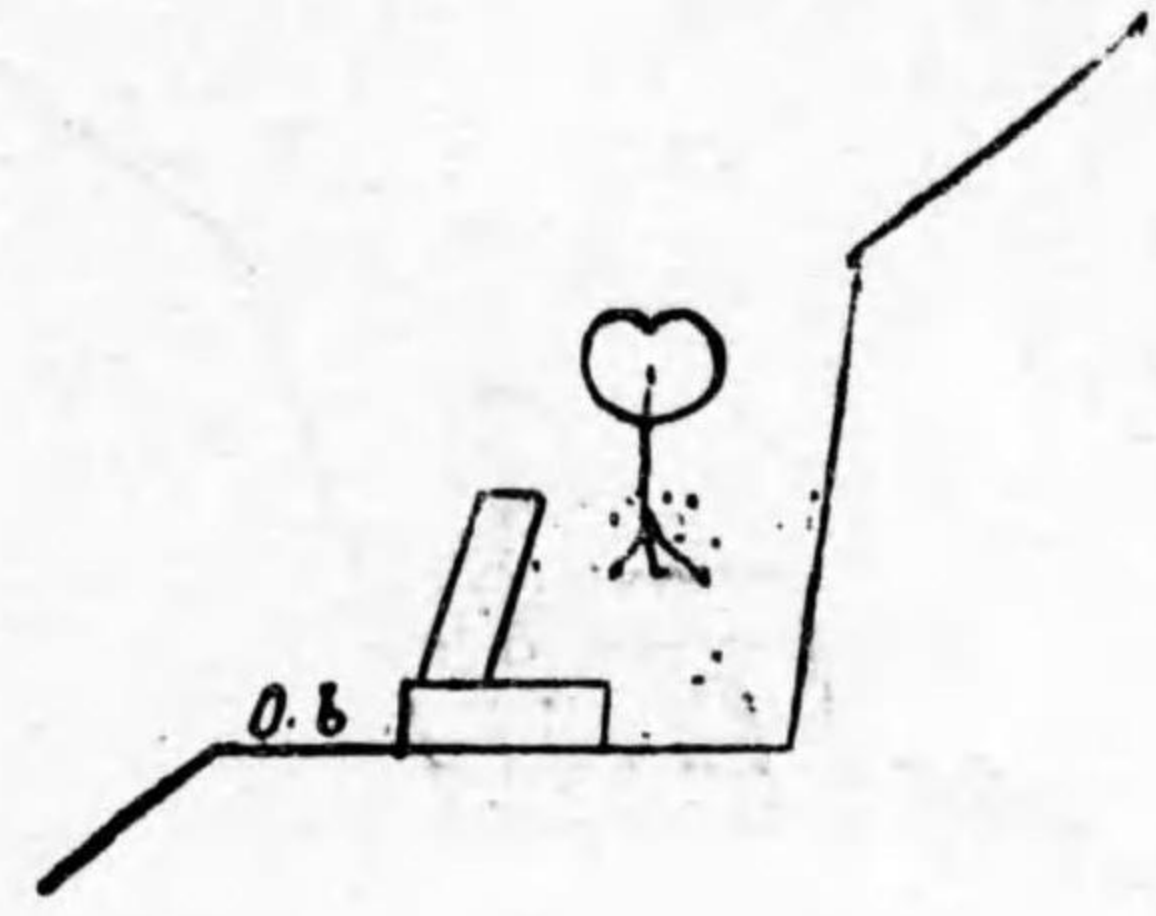


や溪谷に投じ之を締固め然る後階段を設け芝を置く又芝の代りに土付の雜木株を用ふることもある。積芝工は明治十一年淀川改修工事に際し内務省雇工師蘭人デレーケが滋賀縣大戸川流域に施工したのを始めとし後年各地方に用ひられ爾來幾多の變遷を経て今日に及んだもので始めデレーケの用ひた工法は幅三尺以上の階段の内側に連束藁を一本通り並べ階段の外端から五寸を控へ敷芝をなし掘鑿土砂で連束を包み法高一尺八寸乃至二尺四寸幅二尺以上になる様に盛土をし法には堅芝を張り表面から叩板(幅六寸厚二寸柄三尺)を以て叩

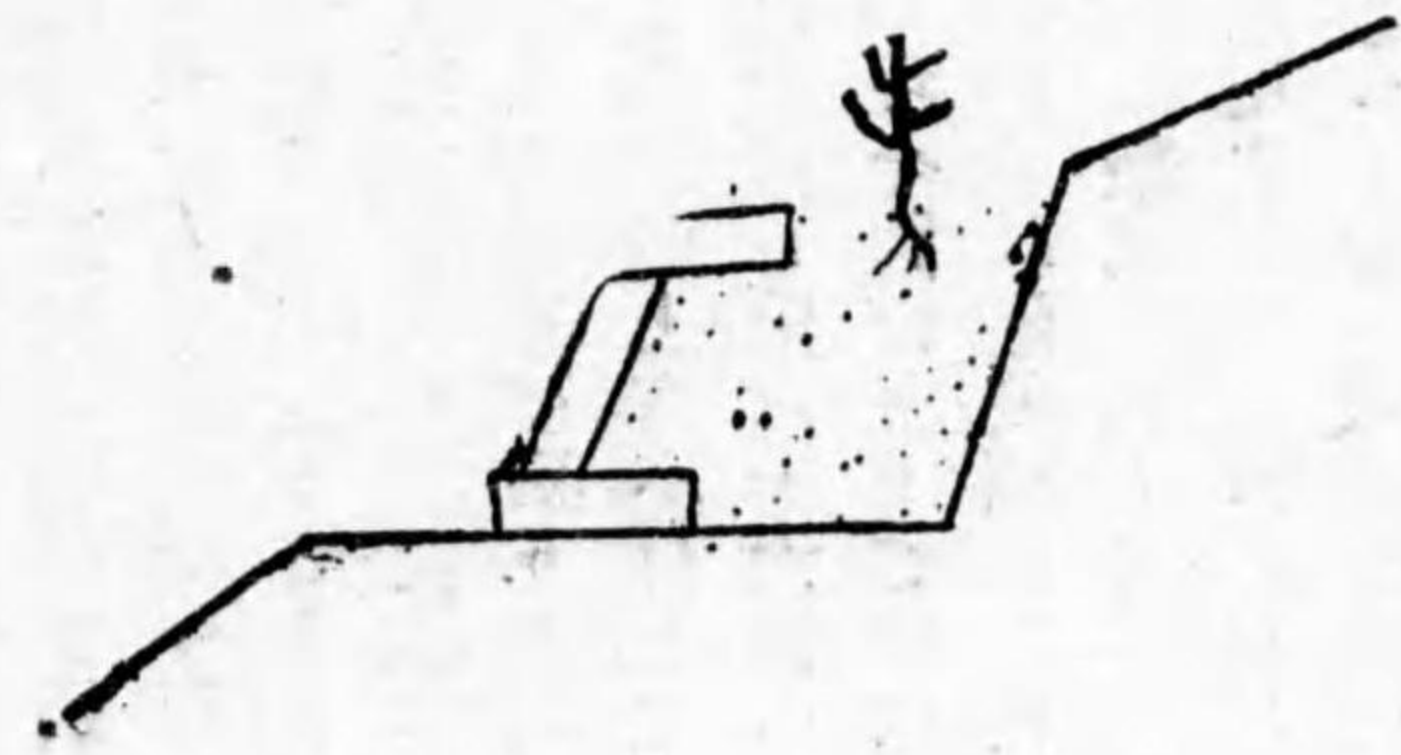
き固め上部に天芝を並べ張芝には芝一枚に付竹串一本宛を挿す。芝は草芝又は山芝で長一尺幅五寸厚二寸竹目串は長一尺二寸太さ四五分とする。現行は行はれてゐる積芝工は第六十三圖乃至第七十一圖に示す通りである。

第六十五圖(二枚芝工)は階段の外端から六寸を控へ二分乃至三分法に堅芝を張り内部に土砂を盛り表面から叩板で叩き固め土砂と張芝の上方小口とを水平にし此上に天芝を張るものである又天芝を廢し第六十六圖の様に敷芝を用ふることもある。第六十七圖は現今岡山縣下で行はれてゐる三枚芝工で勾配二割以上の箇所を用ひられ階段幅は二尺以上とし法高は一尺とする。第六十八圖の様に敷芝の代りに茅を並植するものは成績良く茅の豊富な地方に適用することが出来る。第七〇圖は滋賀縣に多く行はれる工法であつて敷芝及天芝の代りに幅六寸の篩芝を用ひ中間の堅芝のみは普通の切芝を用ひる。篩芝を用ふるときは採取地面積に比し比較

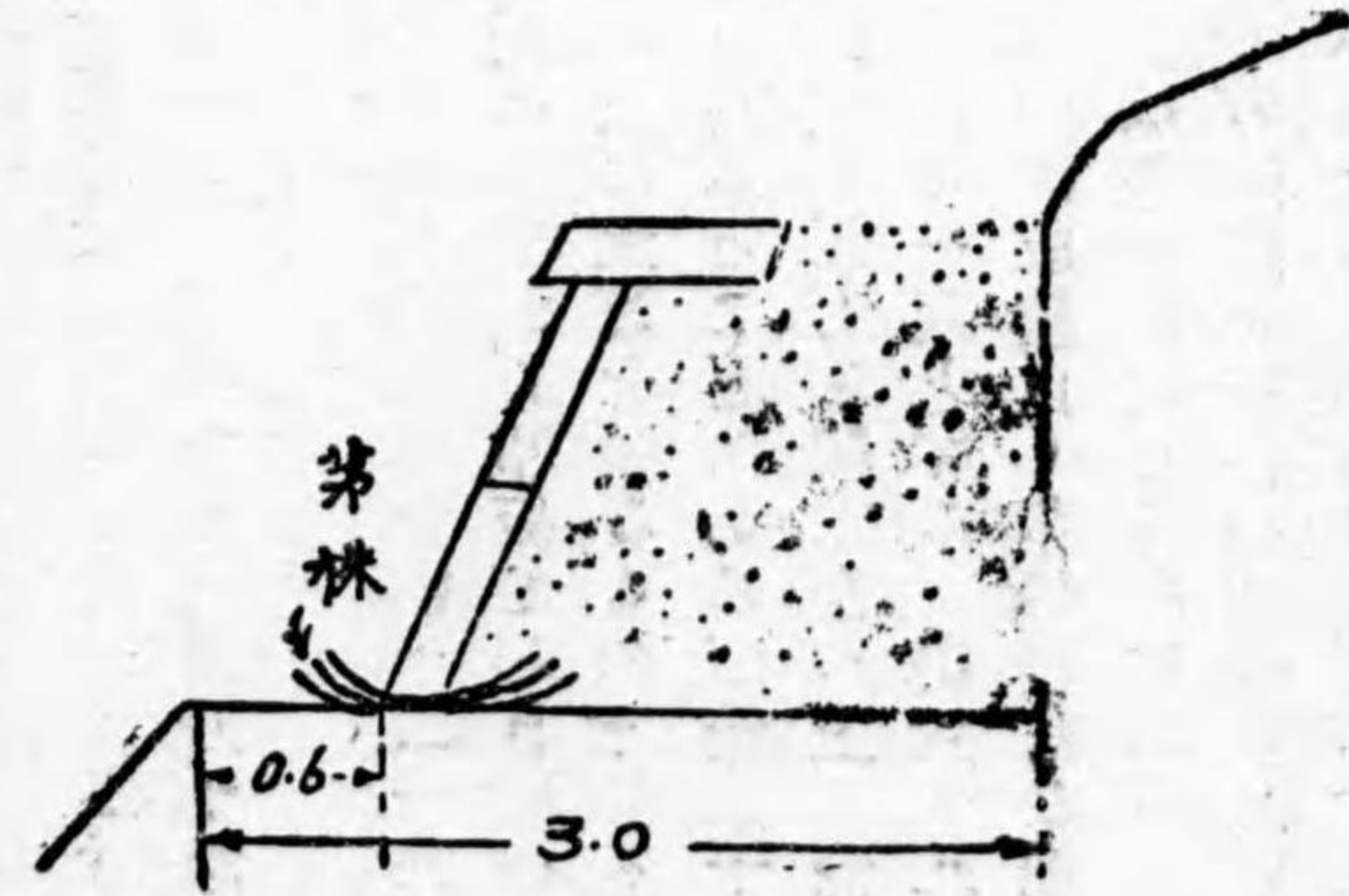
圖六十六第



圖七十六第

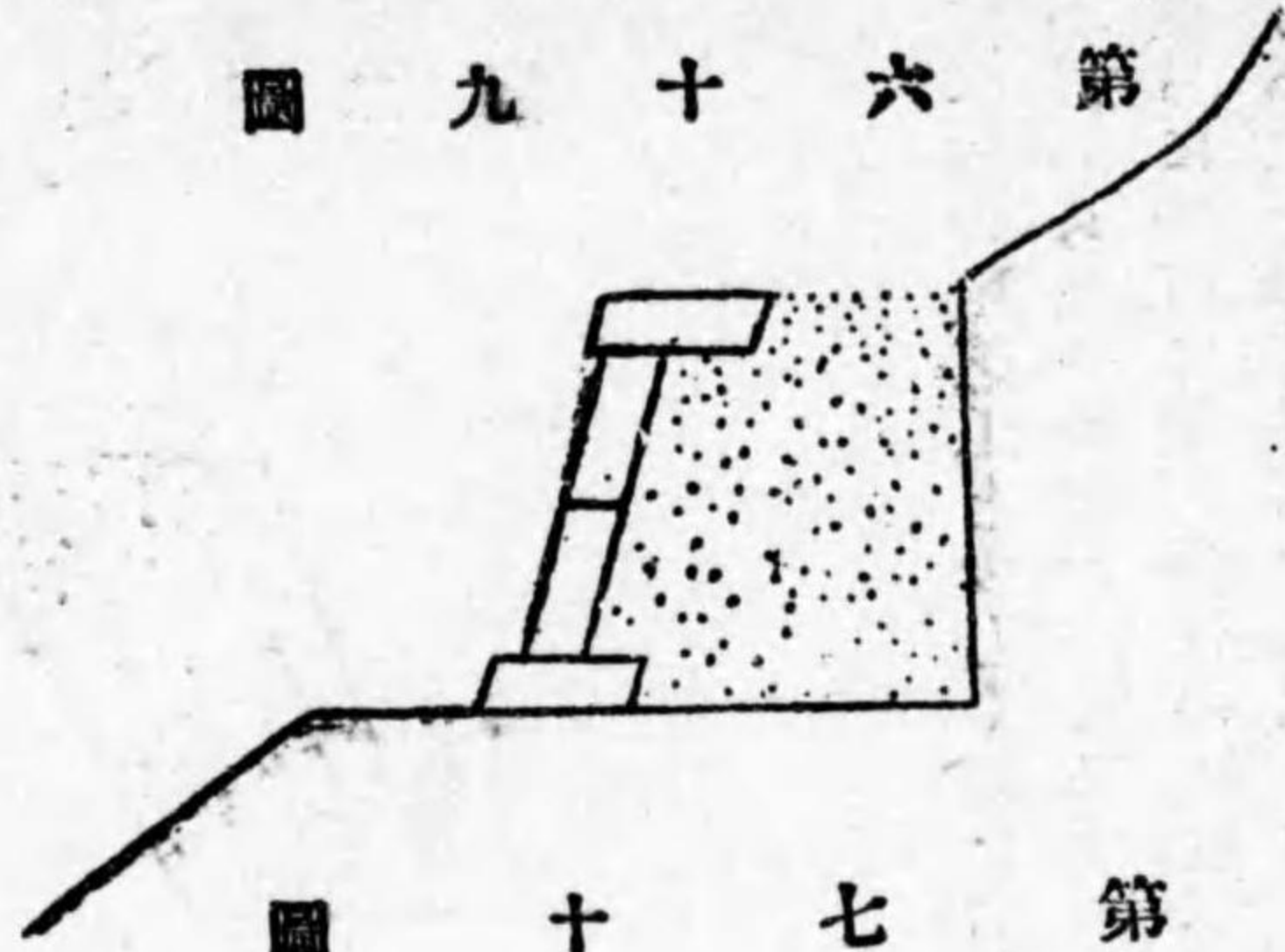


圖八十六第

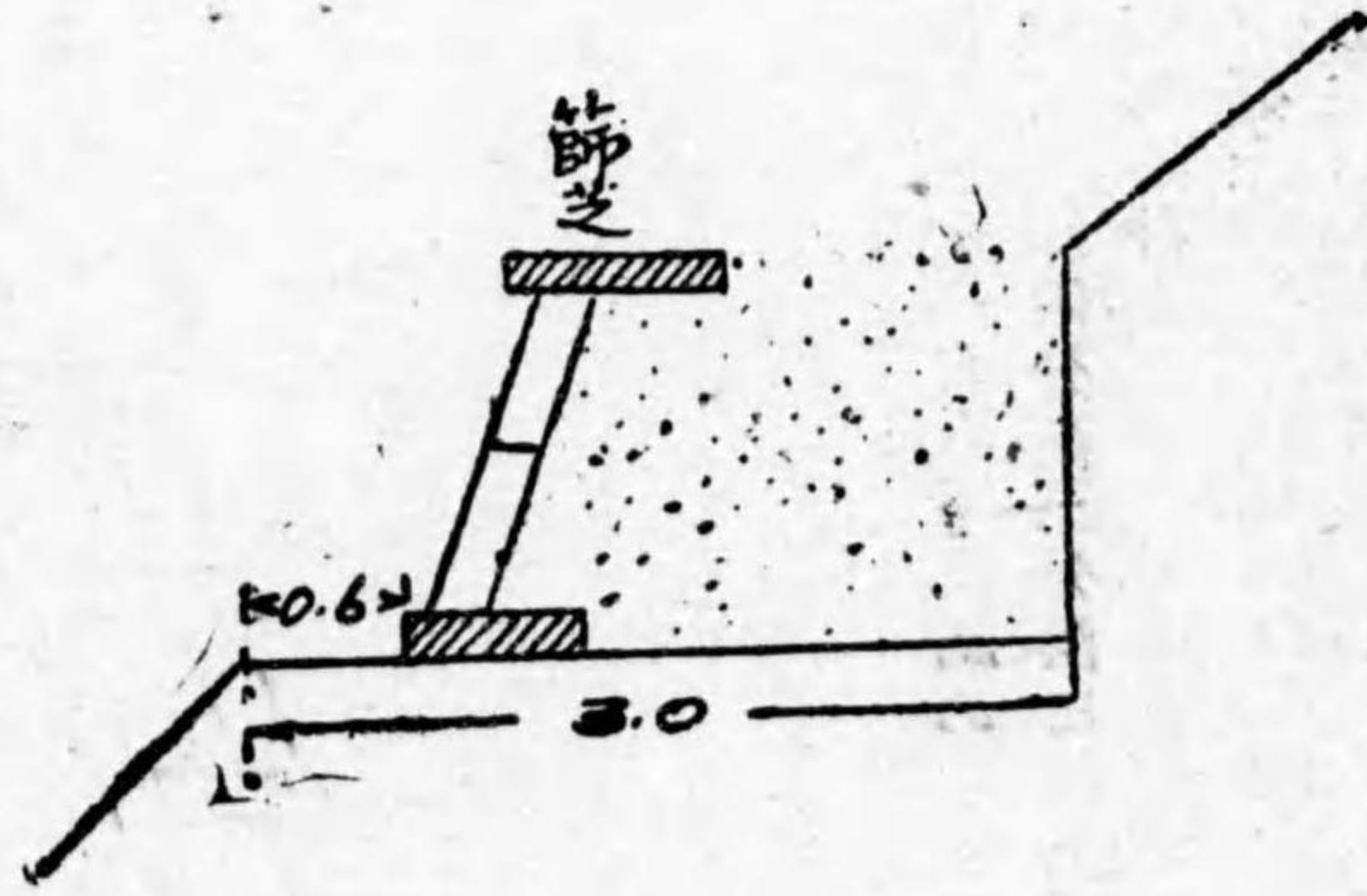


的多量の材料を得られるのと運搬が容易なる利益がある但し採取地は良好な芝生地なるを要する。此工法は壤質砂土で芝の活着容易な處に用ひられる。第七十一圖は岡山縣下で多く用ひられるもので山腹傾斜二割以下の處に施すもので直高間隔八分毎に幅二尺四寸以上の階段を少しく後ろ下りに切り込み外部に堅地三寸を殘し敷芝をなし敷芝の小口より二寸を控へ堅芝を置き其上に天芝を張り毎層芝裏に土砂を填充し木槌を以て充分搗固め勾配五分法高一尺八寸に築造する但し谷間に築造するものは下段の天端と上段の下端と水平にす

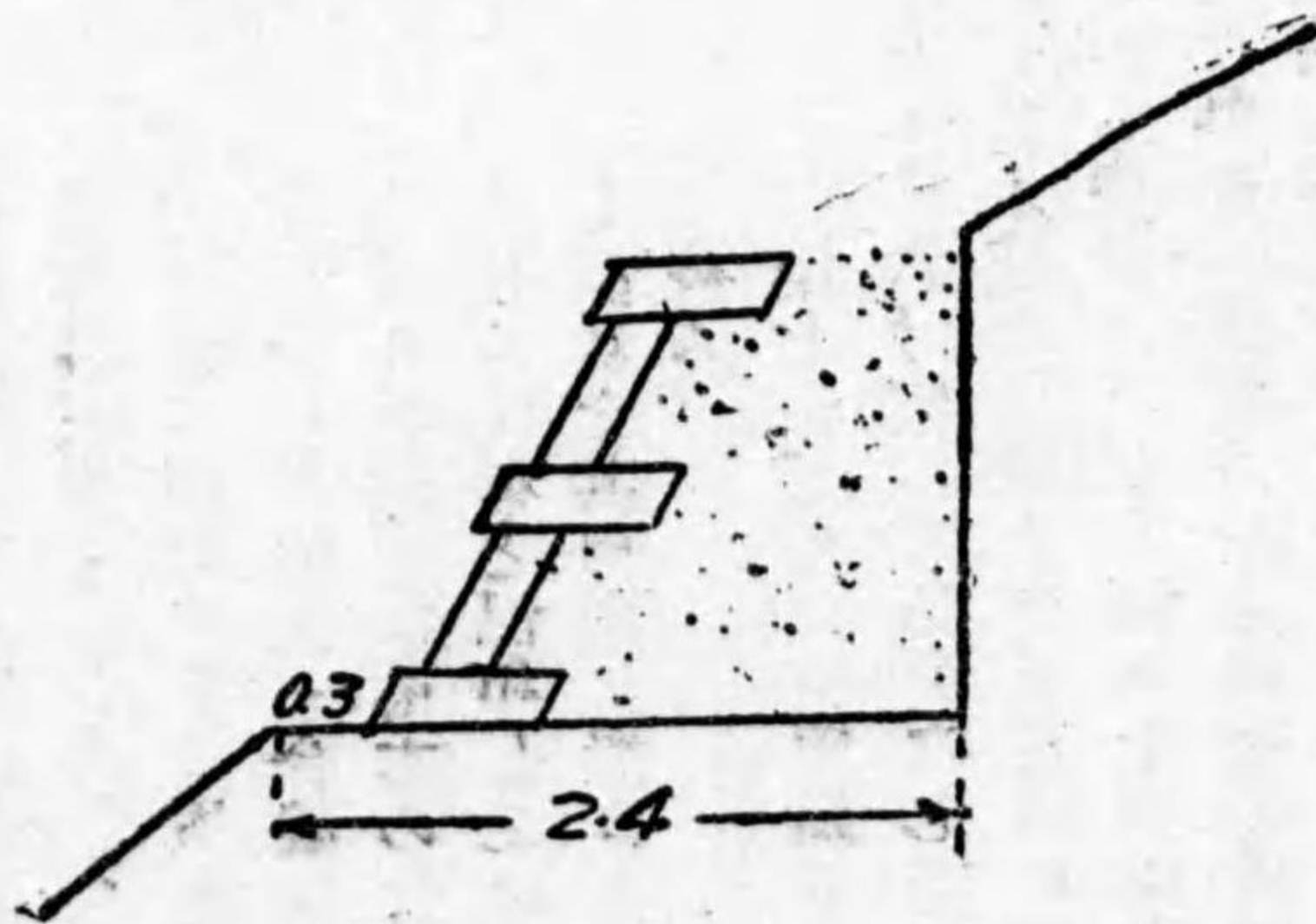
圖九十六第



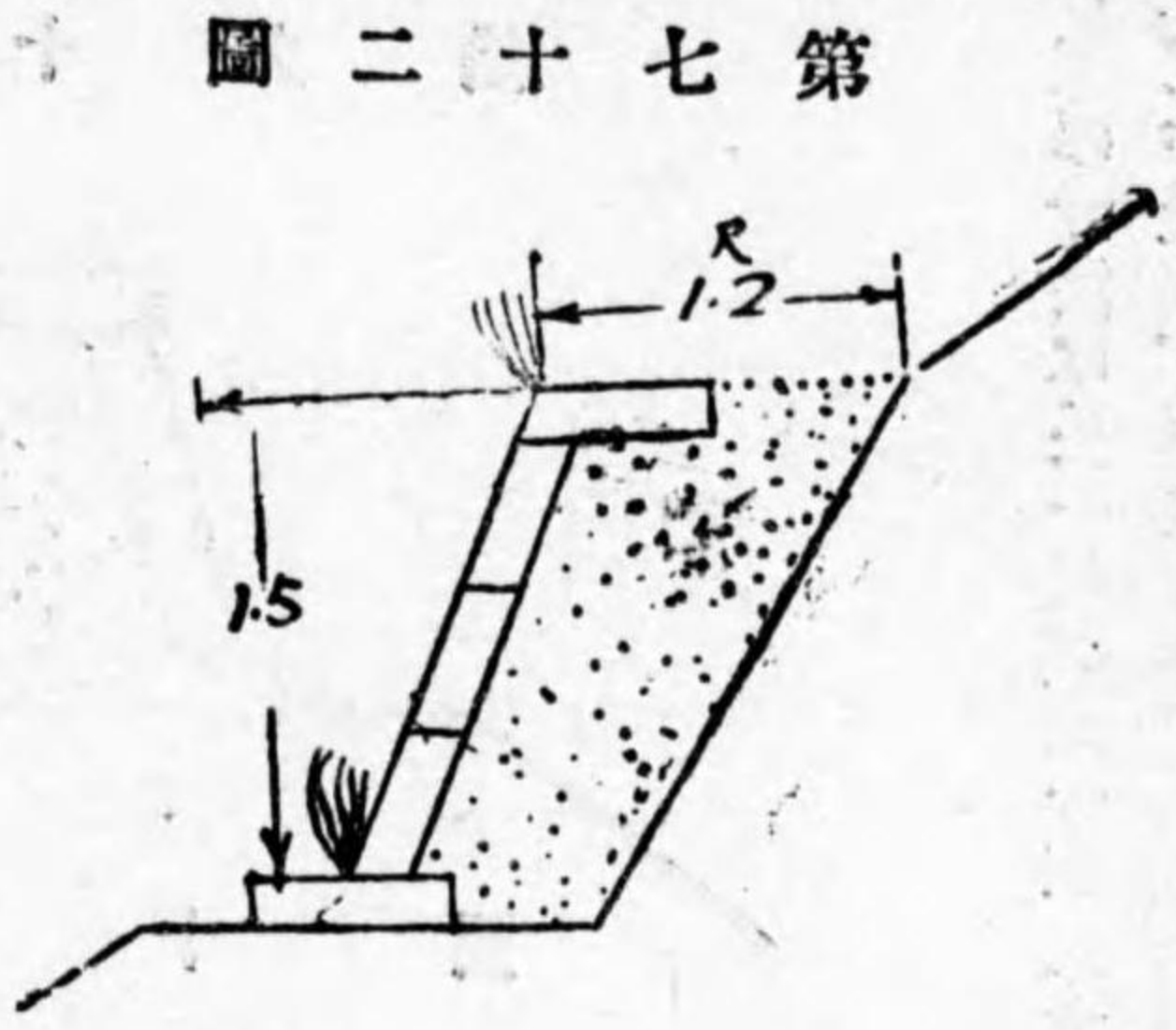
圖一十七第



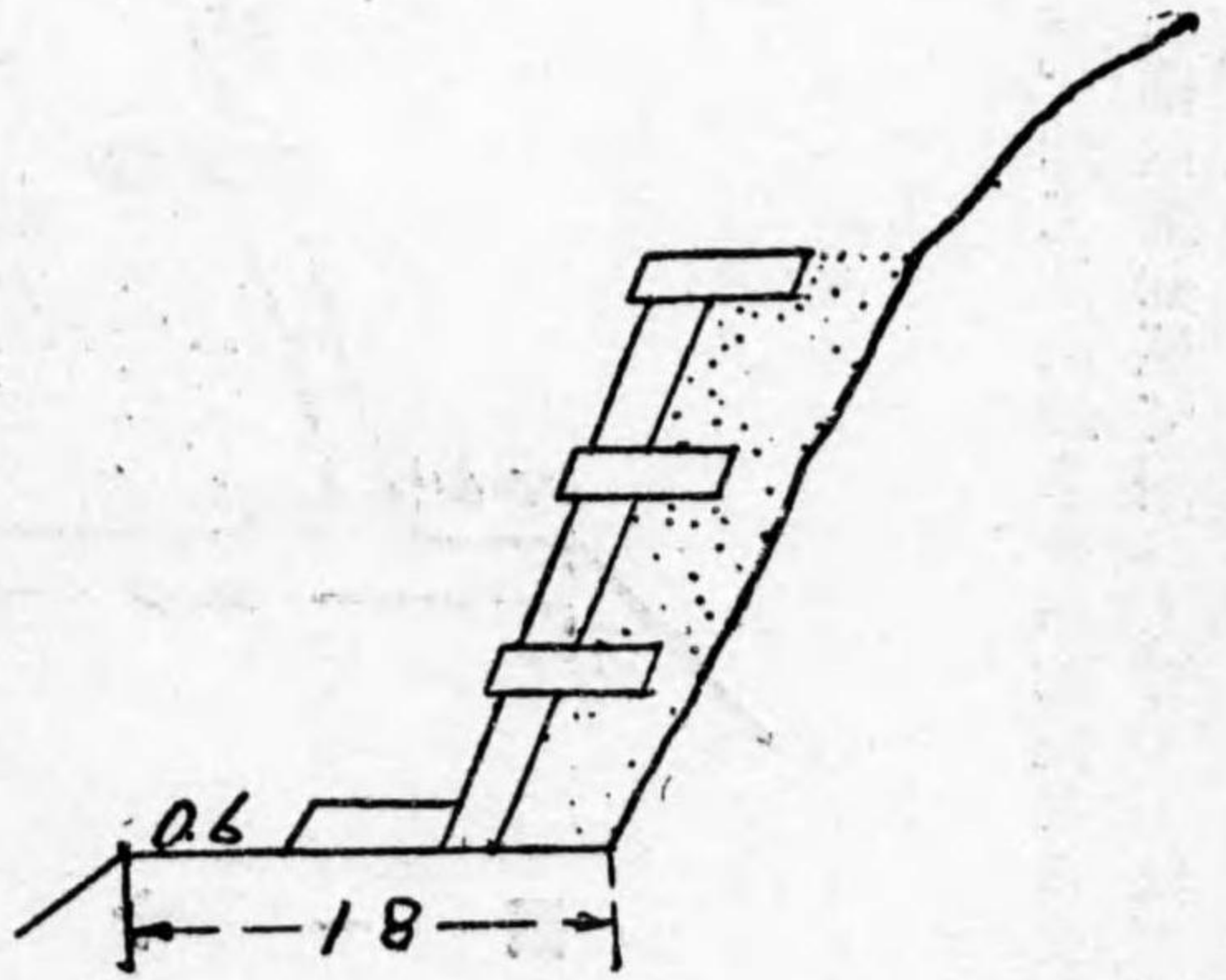
圖一十七第



る芝の寸法は長一尺幅六寸厚二寸とする。此工法は最も瘦悪乾燥なる土地に施行するもので中芝を使用し積芝工中最も丁寧な工事である。第七十二圖は愛知縣で用ひらるゝ工法で芝の寸法は前者に同じく十間に付薄



圖二十七第



圖三十七第

株一束（一束は長一尺打違三尺繩縮のもの）を用ひる。此株は最初芝工をなすに際し其繼目の部分に植え又長さ一間に付苗木九本（黒松五本、圓葉赤楊三本、ハゲシバリ一本）を上部に植栽する。施肥は苗木一本に付焼土一合糞灰五勺とする但焼土は苗木の穴に投じ能く土砂と混和し之に植樹し糞灰を其周圍に撒き土砂にて被ふ。

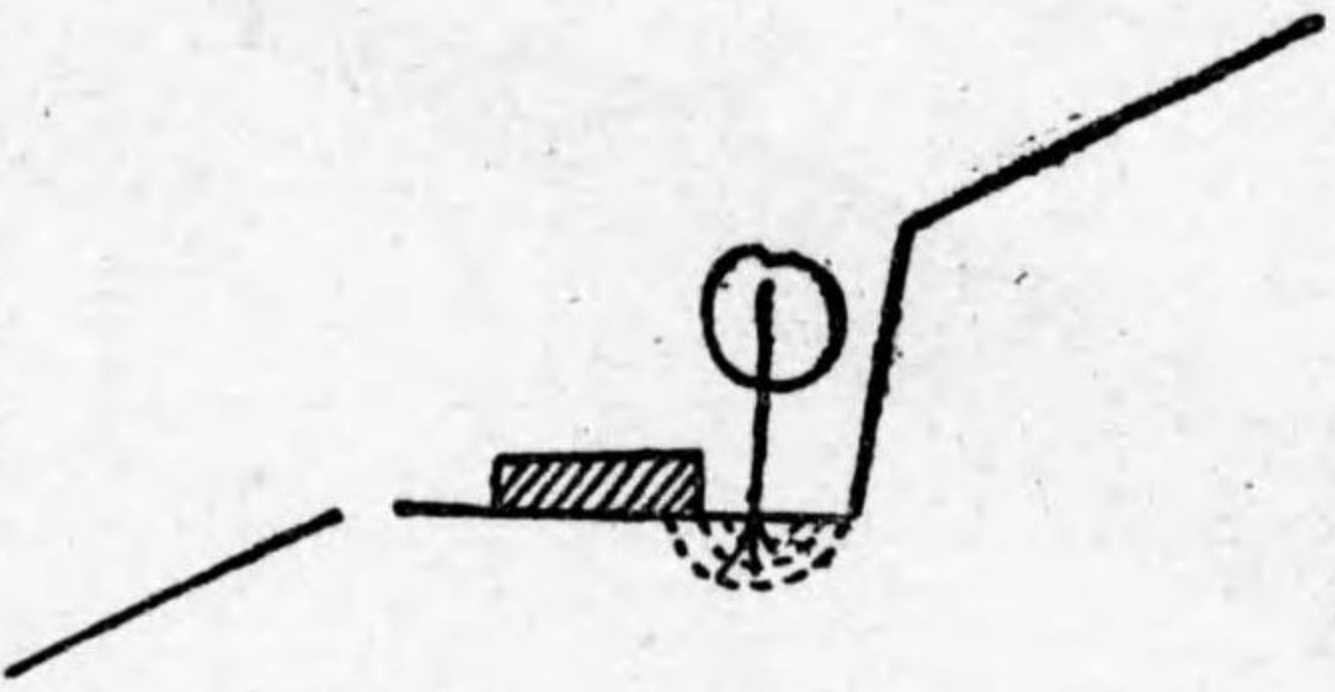
はれ他の積芝工と少しく趣を異にし階段幅を一尺八寸に縮め六寸の犬走を控へて六寸幅の敷芝をなし芝の後小口から長一尺幅六寸厚二寸の芝を立て三箱四分高三分法に仕上げるもて苗木植場は盛土浅く苗木の根端直ちに岩石に達し養分の吸収不充分である計りてなく其裏盛土狭少であるから養分に乏しく雨水を吸収保持すること少く早害を誘起し尙且基岩と盛土砂との接觸面は勾配をなし直ちに外部に通ずるから降雨の際雨水の一部は其間隙に沿ひ急速なる潜流を生じ工事の破壊を速にする。唯此工法の得点とする所は六寸の犬走を存し下部敷芝の幅六寸を全部外部に出し即前方に一尺二寸の餘裕があるから霜崩れ等により階段の崩落する

第七十三圖は兵庫縣下に行

ことが少ないことである

第六款 筋芝工及筋工

筋芝工は山腹に直高六尺乃至九尺毎に幅一尺五寸内外の階段を設け外側に芝一枚通並列し其内方に穴を掘り苗木を植込むものである。（第七十四圖）



圖四十七第

筋工は崩壊した山腹を四十五度内外の勾配に切り均らし直高三尺乃至四尺毎に幅一尺五寸内外の階段を切り込み外側から五寸の距離に薄及萩を植付け夫れから内方五寸の處にハゲシバリとヤシヤブシを松と一尺二寸位の間隔に順次混植する薄は一間に付五分（但長一尺打違ひ三尺繩縮を一束とする）萩は四十本を植込む肥料は薄及萩とハゲシバリ、ヤシヤブシの中間に糞を一間に付一貫目づゝ伏込み又糞灰及焼土拵用として苗木一本に付糞四十匁を用ひる。筋工及筋芝工は積芝工に比し階段の切込少く階段上に掘鑿又は盛土をすることなく芝工を施さないで直ちに苗木を植栽するものであるから壤質砂土に適する工法である。本工は極めて簡單であつて普通の造林と大差ないが其利とする所は水平な階段線により山地に降下した雨を一時に流下することなく且局部に集流することなく満山一様に徐々に流下せしむる點にある。

第七款 粗朶伏工及糞伏工

本工は第七十五圖の様な断面を有し京都府で施工されたものである。其工法は先づ山腹に多少の法切を行ひ法高平均一間毎に五寸の階段を切り之れを足場とし山地法面に沿ひ法高三尺乃至一間の間に粗朶を横に並

へ三尺毎に縦木て之を押へ付け然る後粗朶面に鶴嘴を打込んで粗朶裏法面の打返をなし春三月になつて藁灰と共にハゲシバリ、ヤシヤブシ、赤楊、萩、カワラヨモギ、ハドハギ、メドハギ等の草木の種子を一坪二勺の割合に散布する又粗朶の代りに藁を用ひることがある。本工は工費極めて低廉であつて山腹の傾斜二十度

以上の緩斜地で基岩水成岩より成り其表土砂質壤土なる處に適し粗朶により粘土質の流下を防ぎ種子の發生と其成育を容易ならしめ且粗朶自身は肥料となる。之に反し酸性の強い花崗岩の様な地質では其風化土が化學的分解をしない中に此仕事をやつても幼樹の發育は良くない。

第八款 土留張石工

山腹に張石をして其浸蝕を豫防するに用ひる工法で多額の費用を要する。森林の上部界以上で大きな片岩ある地方では片岩て山腹を覆ひ其浸蝕を豫防することがある。

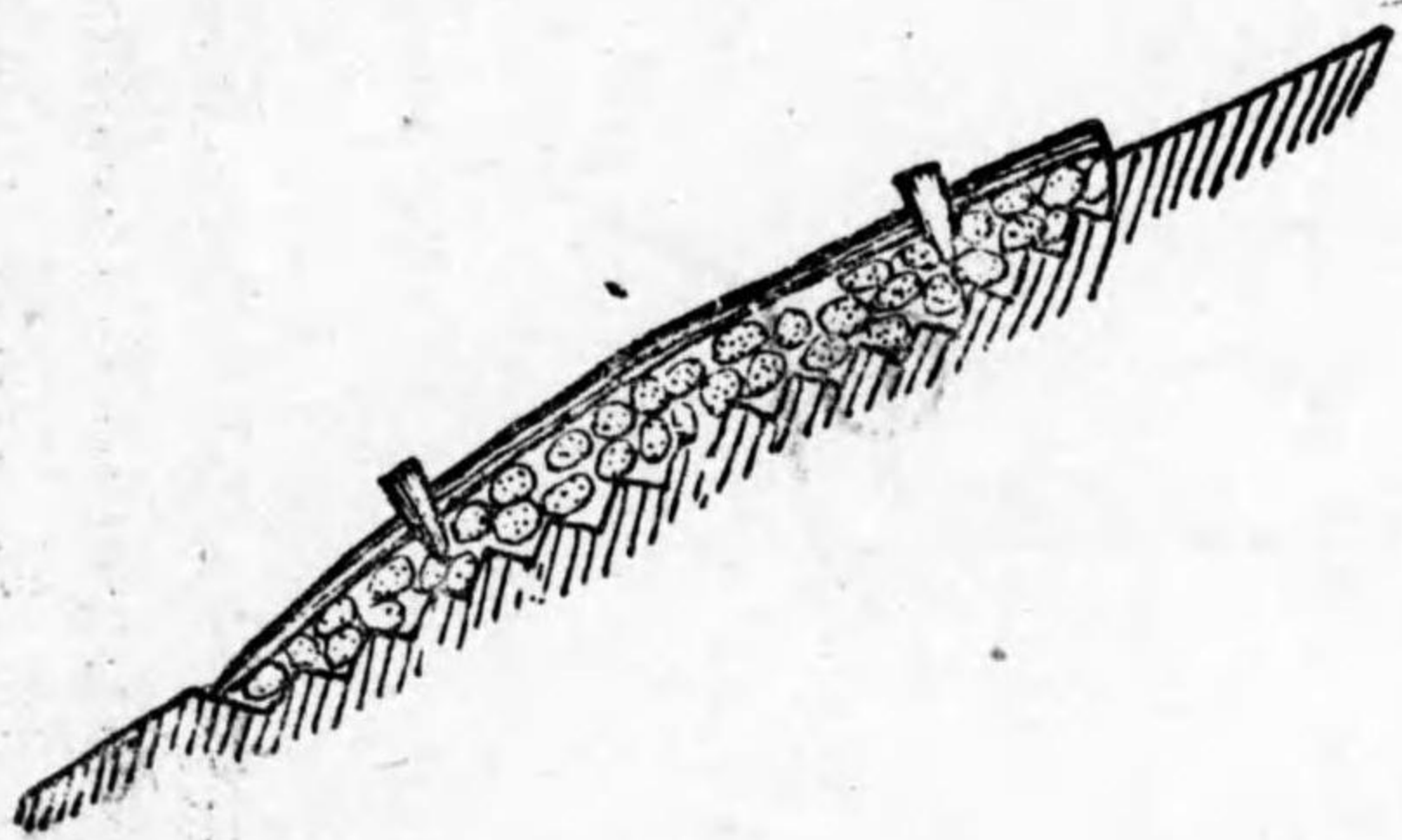
第九款 山腹石垣工

山腹又は山麓で不斷水氣あり又降雨に際し積苗工の崩壊する虞ある處に山地内の轉石を用ひて施工するものである。

第十款 草木植付

勾配緩て凸凹少い場所ではハンノキ、ヤマハンノキ、ハゲシバリ、ヤシヤブシ、ニセアカシヤ、ハギ、ネムノキ、ヤナギ、クロマツ、アカマツ等を一坪に付六本乃至九本の割合に植栽し又積石工

圖 五 十 七



或は積芝工に於ては一間に付三四本の割合に植栽する。其方法は深さ六寸徑六寸以上の穴を掘り其中に木灰二十匁を入れ鏝でもつて充分土砂を混和し丁寧な植込み良く踏締める乾燥せる土地に於ては根元に石を置いて乾燥を防ぐがよ。

以上砂防工事に就て大體を説明し終つた積りであるが尙詳細に研究を望まるゝ諸君は次の書籍を参考されたい。

- 一、Wang:—Grundriss der Wildbachverbanung. 之れは西曆一九〇一年に發行された約七百頁の本で砂防工に關する最良の書とされてゐる。諸戸博士は之の本を骨子として理水及砂防工學なる本を發行された。
- 二、Weber:—Der Gebirgs-Wasserbau. 之れは奥國と伊國とを流れてゐる Adige 川の砂防工事視察報告書で高さ百尺以上もある堰堤の例がある。本邦で發行されたものでは前に述べた諸戸博士の書が重なるもので其他二三ある様ではあるが參考の價値はな。

前にも屢々述べた通り本邦の野溪は勾配が極めて急である許りてなく降水量が多いので出水時に於ては屢々土石流を成立せしめるから勾配の緩な且降水量も少い歐米の例を真似たのは其目的を達することが出来ない。我國では古くから砂防工事をやつて居た様であるが其目的を達し得たものは殆んどない、貧弱な工事をやる位なら至々工事をやらない方が良いと思ふ。此の事は充分心に置いて戴きたい。

第三編 洪水防禦工事

第一節 貯水池 (Reservoir)

貯水池は遊水池とも稱する。天然に存在する湖水が之れに注入する洪水量を其出口に於て如何に調節するかを見れば其利益を知ることが出来る。例へば伊太利のアッダ河の洪水量は一九四〇立方米であるがコモ湖を通過した後は其量は八四〇に變化し約四割三分となる。天然に存在する湖水は川の洪水量に比して其容量が大であるから右の例の様には有効に働らくが人工により斯く大なるものを造るのは容易な事でない許りて無く下流の害を上流に移す様な結果になることが多い。淀川の改修工事では其支流の宇治川に琵琶湖があるのて之れを貯水池に利用して洪水量を調節することにした即湖の流出口を掘鑿して水の疏通を良くすると同時に洗堰を造り、洪水期前に湖水面を低くして置き洪水の際は充分の水を貯へる様にす。琵琶湖の面積は十八方里あるから若し湖面を一尺昂げると約七十八億立方尺の水が貯水されることになる。貯水池が洪水防禦の他發電や灌漑の目的にも兼用される場合には貯水池を創設することが大に意義あることとなる。貯水池を造つても之れに流入する河の性質が不良であると多量の浮遊物を流送するから數年を出てずして貯水池が埋められてしまうことがある。渡良瀬川の改修工事では赤麻沼を擴張して約二・三方里の貯水池を造り約六十億立方尺の水量を貯へることにしたが此の貯水池は上流に足尾の禿山を控えてゐるから土砂により埋没されることが比較的早くはないかと思はれる。

之を要するに貯水池を造るには種々の關係を充分考慮して決定しないと思つた様な効果を得られない計りか殆んど無用になることもある。

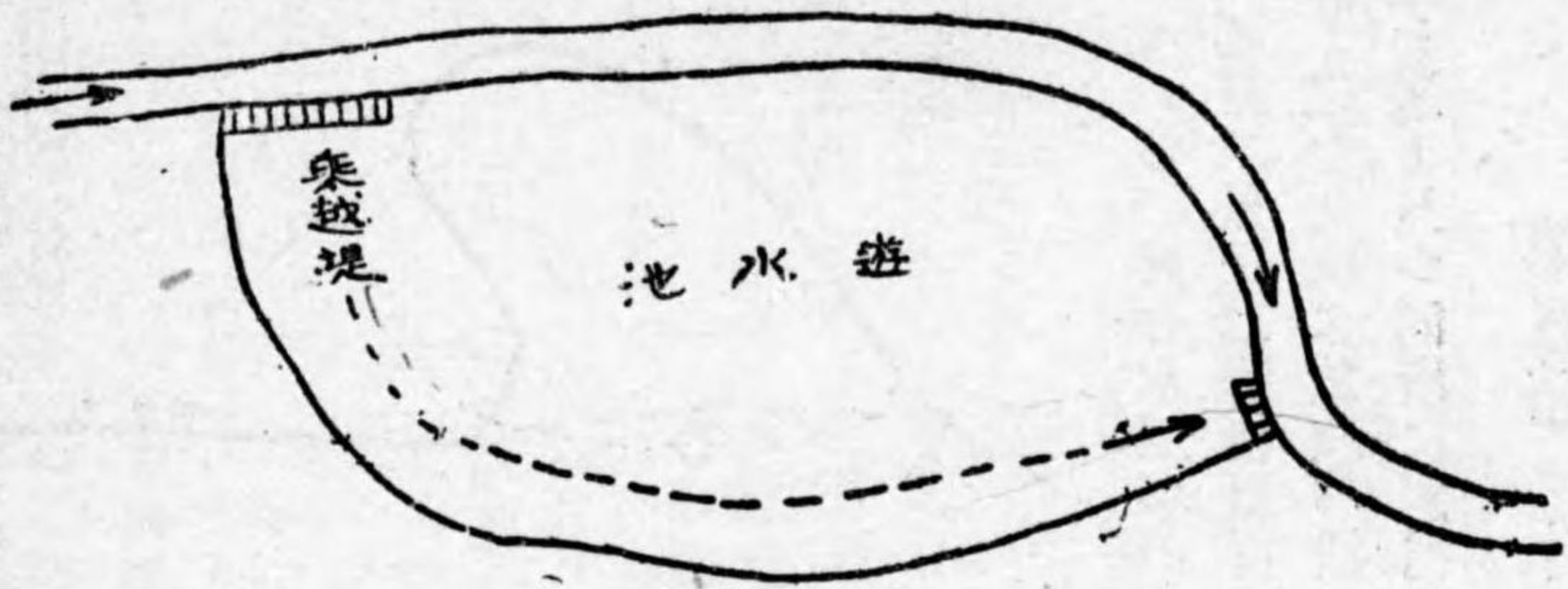
第二節 乗越堤 (Devil's)

乗越堤といふのは普通の洪水位では用をなさないが十年に一度とか二十年に一度とか言ふ豫想外の大水に對して働らかせるものである。即第七十六圖に示す様に洪水が非常に昇つて危険が迫つて來た場合には豫め定めて置いた部分から洪水を遊水池に溢流させる仕組である。乗越堤を越えて流れる水は破堤の場合の様に強くないから遊水池内に作物や建物が在るとしても大した害を受けずに済む。洪水が低くなれば遊水池の水を本流に吐かせる。

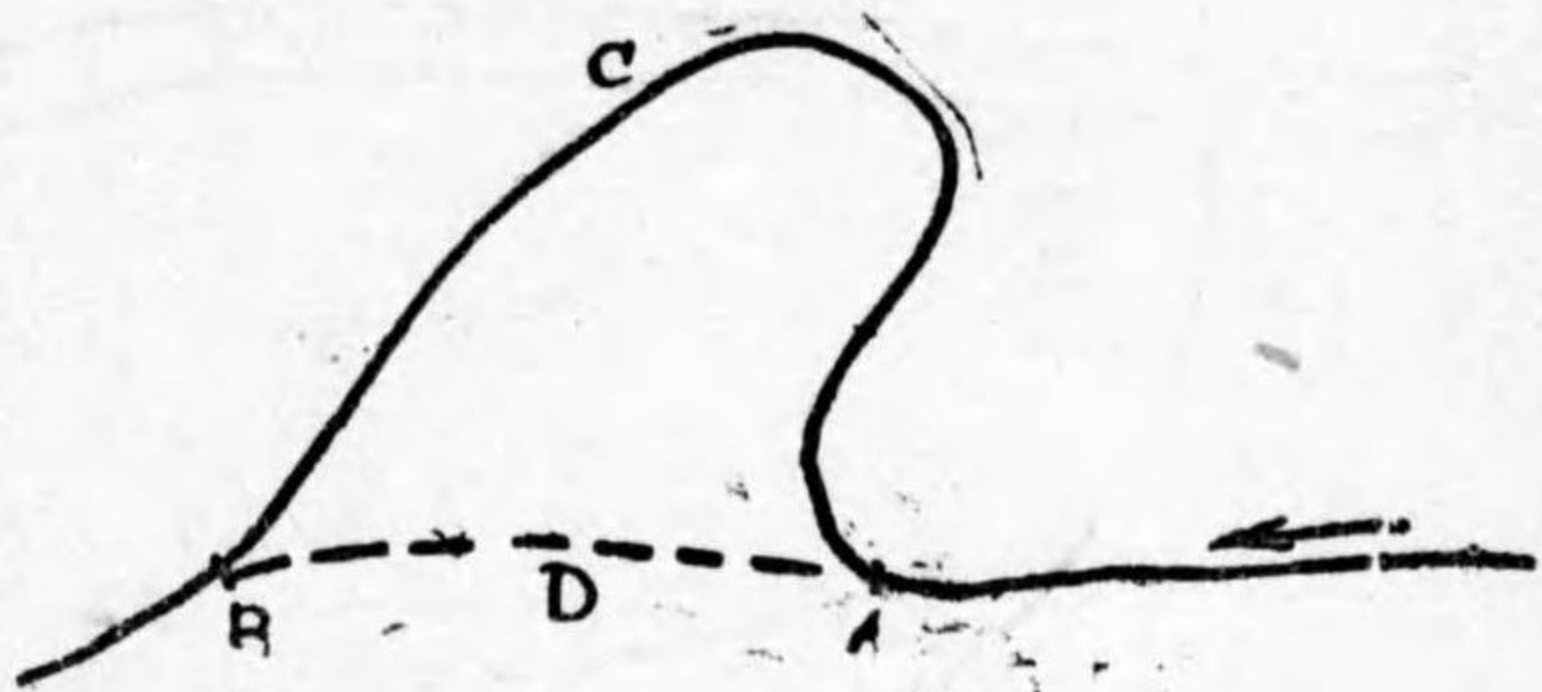
第三節 直流工 (Straight Cuts)

直流工とは洪水を早く流過せしむる方法である。第七十七圖に於てAからBに達するのにCを通過すれば抵抗が大であるからCに於て水位は昇り水害が起る然るにAからBにDなる直流工を起すとDに於ける抵抗はCに於ける抵抗より小となるから洪水は早く流れ水害が減ずる。此場合に二つのやり方がある一つはCを廢川とするので之れは普通である他はCを元の儘に存し置きDには洪水の時丈け水を流がす方法である何れにしてもCの水位は下り洪水の害は減じるが其の代りBでは水位が昇ることとなり上流の害を下流に移す結果になる。但し直流工が海に其

第七十六圖



第七十七圖



口を開く場合には此心配はない。又上流の危険は大であるが下流の方は比較的
安全な場合にも差支ない。直流工を施すと水面勾配が急となるから流速大と
なり浸蝕作用を増す、縦浸蝕作用のみが發達する場合は心配ないが横浸蝕作用
が起ると折角真直にした川も元の形に歸る様になる。荒川の改修工事では現
在の荒川及隅田川を真直にすることは土地の買入家屋の移轉等面倒で實行し難
いから別に放水路を開鑿することとし目下實行中である。

第四節 分水 (Diversion)

分水工とは新水路の開鑿により洪水の一部を分ち新水路により海や湖に導く
方法である。信濃川では大津以下海に至る十四里間の水害を根絶するため
昔から分水問題が喧しく屢々實行が問題となり又實行に着手した事もあつたが
同地方は地之の多い處であるから中途失敗に終つてしまつた。明治四十年にな
つて内務省は十四箇年の繼續事業として此難場の工事に着手して目下竣工に近
付きつゝある。此分水工事の主要を述べると本川中流部の最も北海に接近した箇所即ち大津から寺泊に至
る間に延長二里十二町幅員百五十間乃至四百間の一大新水路を開鑿して本川の最大流量廿萬立方尺全部を新
川に導き之を北海に放流し様と言ふのである而して大津舊川分派口には洗堰を設けて航通及灌漑に必要な
平水量を送り且つ同所に閘門を造つて航行の便を保たせる計畫である。

第五節 分流 (Separation)

分流といふのは二つ以上の河川が合流する場合に合流に因る水害を軽減する目的で別に水路を海迄開鑿し
て此等の河川を全々別箇獨立の河川にする工事を言ふのである。我國では木曾川の支流なる長良、揖斐の兩
川を分流して獨立の二河川としたし又越中の庄川と小矢部川を分流した例がある。

第六節 堤防 (Embankment)

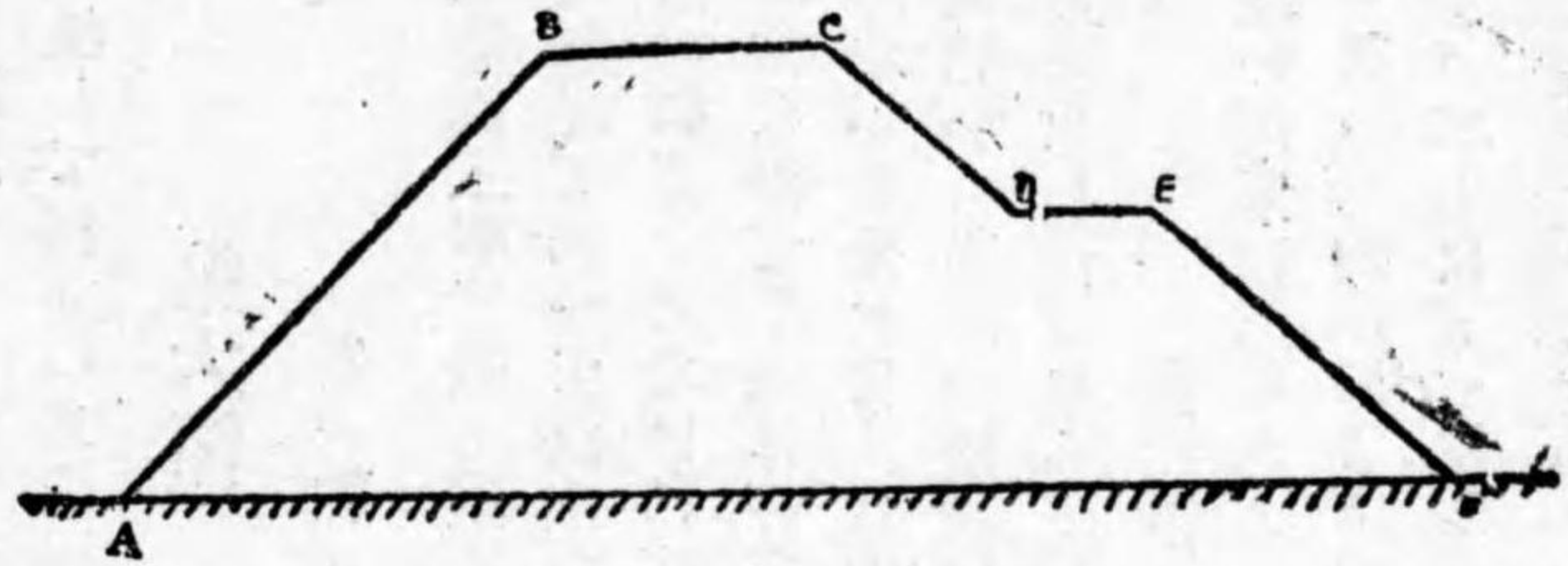
第一款 堤防の利害得失

洪水防禦工事で最も廣く用ひられるのは堤防である。
今迄無堤であつて洪水が自由に氾濫して居た場所に新に築堤するのは遊水池を取り去るのと同じ事である
から他の關係を考なければ下流の水位を高める事になる。又堤防が決潰する場合には堤防間に溢えられたる
水は非常な勢で堤内に押寄せて来るから無堤の場合より大きな害を惹起することになる。尙堤防を造ると堤
内の耕地が養分を含んだ泥土の供給を絶たれるから施肥を従来より充分にしなければならぬ。上に述べた
様な缺點から堤防の築設に反對する論者もある。堤防の缺點は要するに其決潰し易い所に原因してゐるので
決潰を防止し得るならば反對の理由は殆んどないのである。

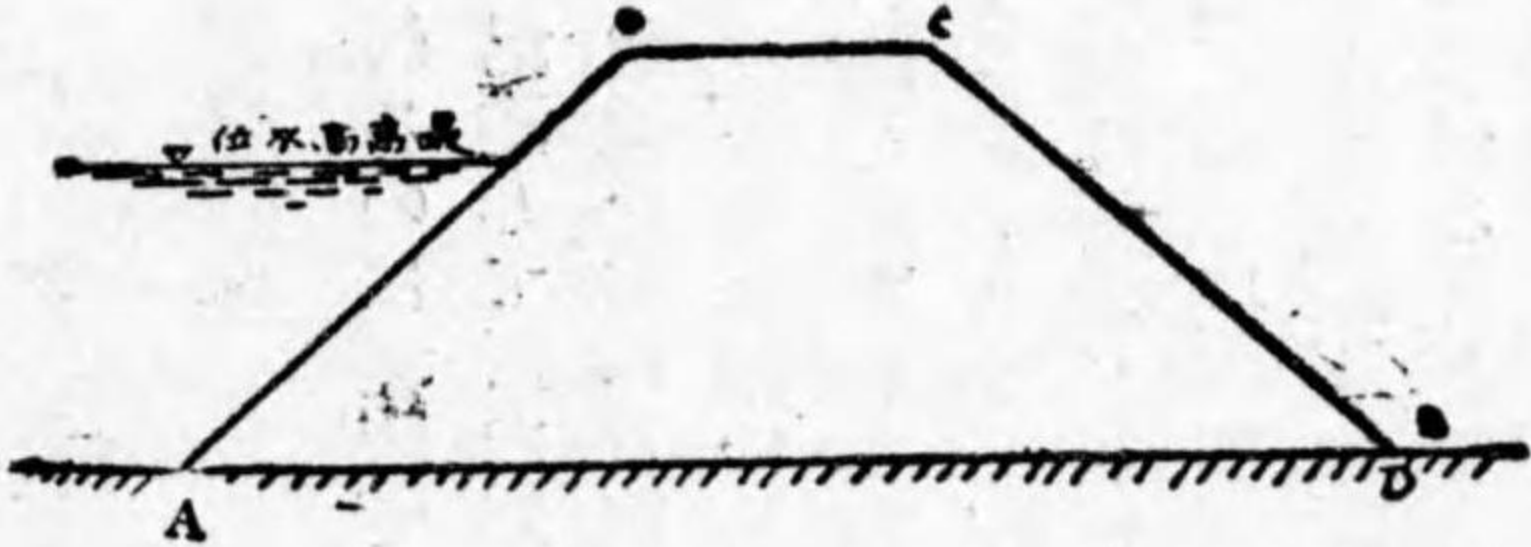
第二款 破堤の原因

破堤の原因に三つある一は水が堤防を乗り越越える事(over topping)で二は堤防を構成する物質が水密(water
tight)ならぬ爲水により飽和され崩れること(Filtration)で三は水の流速により浸蝕せられること(Scouring)
である。不幸にして従来破堤の實例は極めて多く反對論者に好辭柄を與ふるは遺憾である。第一の乗越を防
ぐには堤防の高さを充分にとる事が必要である前にも述べた通り人類文化の進展に伴ひ洪水量は益々増加す
る傾向を有するから従來の最大洪水量を基礎として定められた在來の堤防の高さは現在及將來の洪水に對

第七十九圖



第七十八圖



し不充分である、之等のものは相當の嵩置をするなり
又は擴築をなす必要がある。故に新に築堤する處では
過去の最大洪水量のみを用途とせず其上流の状態を精
査し其將來を考へて適當の洪水量を假定し之により川
幅なり堤防の高さなりを決定しなければならぬ。第
二の滲入を豫防するには堤防を構成する材料を選ばな
ければならぬ、併し實地に於ては思ふ様な材料はか
りを得る事は多くの場合不可能である、殊に堤防が大
さい場合には益々困難である、故に斯るときは重要な
箇所丈に良材を用ひ他の部分は悪い材料で我慢しなけ
ればならぬ。第三の浸蝕を防ぐには適當の護岸に依
るがよい。

第三款 堤防の横断面

堤防の横断面は普通梯形である(第七八圖)。ABを外
法BCを馬踏CDを内法と云ふ。又第七九圖に示す様に犬
走DEのあるものもある。本邦の河川では馬踏は普通二
間乃至四間とする但し新荒川の右岸堤の如きは八間も
ある而して法は二割乃至三割を採用してゐる。歐米諸
國の河川では一般に馬踏は狭く兩法は緩てあり断面積

は本邦のものより大である。斯る相違の起る原因は本邦河川の洪水期間が短いのに比し歐米の河川の洪水
期間が永いのにある。計畫洪水水位と馬踏との間には相當の餘裕を置き非常の大洪水に備へる此の餘裕は三尺
乃至六七尺にとる。

第四款 堤防の築造

築堤の事に關しては他の講義で詳細に述べられることであるから此處には簡單に説明することにする。
堤防の基礎となる地盤に在る草木は根と共に之を取り去り又軟弱な土は排除し地盤全面に凸凹を造つて其
の上に堤體を築き此の部分から水の滲透することのない様にする。築堤に使用する材料は砂と粘土との混合
物たる壤土を宜敷とし草木の根其他の夾雜物を避けなければならぬ、是等の夾雜物は結局腐敗し堤防に穴
を生じ滲透作用を助け又蟲や獸の通路を作る虞がある。場合によつては思ふ様な材料が得られず砂許りて築
堤しなくてはならない事がある此の時は堤防の兩法を緩にして滲透水脈の距離を長くすると同時に外法は充
分に保護しなければならぬ。

堤土は厚さ五寸乃至一尺位の層として踏堅め又は搗固めながら築立てる。而して各層は内方より外方に向
ひ又は堤の中心から兩方に向ひ傾斜させ工事中の雨水排除を容易ならしめる。

土堤は施工後沈下収縮するものである其程度は土質、盛立の方法施工の時期及其長短、施工中及施工後の
天候如何に因るもので其下底の沈下程度は盛土の高さ重量及地盤下層の土質に因るものである。是等沈下に
備ふる爲堤高の一割五分乃至二割五分位の餘盛をやる必要がある。

第五款 堤防の保護

水流のために川岸が浸蝕されるのを防ぐには護岸工及水制工を用ゐる前者は直接に岸を保護するが後者は
岸に害を加へる水流を岸に近よらしめぬ様にするものである護岸は水面上と水面下とに區別する前者を腹付

と言ひ後者を堤脚防禦工と云ふ是等に用ふる材料は種々あるが芝、粗朶、木材、煉瓦、混凝土、石が主なるものである。

先づ腹付の工事に就て述べる。芝は最も簡単な護岸材料である、之れを使用する場合には土質が肥料分を含んでゐることを要する若し砂の様な肥料を含まない土質に芝付をするには豫め四五寸の肥土を表面に用ふる又土質が粘土であると濕つたときに迂り易いから芝が粘土と密着しないうちに迂る虞がある此場合には堤防斜面に沿ふて三尺乃至六尺置きに水平の段を造るがよい。芝は水勢の強い處では充分に根を張らない中に流されるから使用しないがよい。芝の付け方により張芝工積芝工の區別がある。

柵止工(Fence work)とは長さ二尺乃至五尺太さ一寸乃至三寸位の杭を一尺置き位に長さの三分の二程地中に打込み之れに柳類の様な屈繞し易い木枝を柵を組み斜面を保護する工事である場合には柵と柵の間に砂利等を詰めることもある。

粗朶工(Fascine)とは三寸乃至六寸位の太さの粗朶(連柴)を用ゐて堤防の斜面に網目を造り其の目を砂や砂利で詰める工事である。

木材による護岸は水面の上下を通じて用ゐられる之れは普通垂直に近い面に仕上げる、工法は先づ杭を打ち之の上に笠木を取り付け杭と杭との連絡をとり杭の後ろに板を横に張るのである。護岸の高さが十尺以内なら杭は一本で良いが之れより高くなると控柱を用ゐるか又は前方から突張る必要がある。假工事として木を枝付のまま護岸に用ゐることがある之れは流速を減ずる効がある。

木と石と組合せたものは水面上に用ひる事もあるが主として水面以下に用ひられる之れは木で枠を造り其の中に石を詰めたもので流速の速い場所に應用する斯る場所では枠の下が掘られ枠が轉倒する虞があるから其根は充分保護することが肝心である。

屈繞性混凝土單床 之れは混凝土塊に穴を明けたものを用ひ此の穴に鐵線を通し屈繞性ある一體となすもので色々の種類がある之れは護岸の根が浸蝕されても護岸の破損や轉倒を來すことなく其屈繞性を發揮することによつて浸蝕された面を保護する得點がある。

石材は水面の上下を問はず使用される水面以上では張石として水面以下では捨石として使用される張石は普通空積であるから石と石との空隙から水が浸入し土を洗ひ出す虞がある故に合端は良く目潰を施し又必要ならば裏込を普通より厚くする若し波のある様な箇所なら裏込を厚くした位では足らない目地は膠泥で塗り裏込も混凝土にするがよい。我國の上流河川では屢々蛇籠を護岸用として使用する之れは竹で細長い籠を造り之れを現場に置き其の中に石を詰めたものである近來竹の代りに鐵線を用ふる鐵線は竹より高價であるが耐久力がある。

次に堤脚防禦工に付て述べる。此工事に使用される最も普通のもの捨石である捨石の幅は一問以上とし其法は一割より緩にする石の大きさは流水により流されざるを限度とし普通一切乃至一切半位とする重量で言へば二十貫乃至三十貫位である。石が大きい場合には心の部分には砂利土俵粗朶苞などを用ひても事足りる。石の少い所では捨石の代りに粗朶を用ひる粗朶に二種類ある普通の粗朶は徑一尺長さ二間位な繩、蔓、鐵線等で束ねる之れ丈では流水のため流されるから其の上に土、砂、砂利等を乗せて重しにする流速が五尺も六尺もある所では普通の粗朶では不充份である斯様な所では粗朶の心に砂、砂利等を入れたwater fascineを用ひる。間接の護岸としては水制工が用ひられる水制の方向が適當であれば其水裏には強い流れが來ないから土砂の沈澱を生じ岸を保護することになる然し急流に水制を造ると反て流水を激せしめ浸蝕作用を起したり又は亂流を招くことがあるから緩流にのみ應用する方が確である。護岸のみを目的とする水制工には透水性の構造のものが用ひられることが多い我國では牛、枠、杭出など言ふ物が用ひられる是等の構造に就ては達邑氏著

土木工要録を参照せられたい杭出の一種としては兩國の百本杭がある流れの弱い處では沈床粗朶工 (Fascine mattress) を用ひる之れは乾濕常ならぬ處では六年位で朽腐する缺點があるが夫れ迄に洲が着けば成功である。

第六款 堤防の依持

堤防は一般に土を盛り立て、築造するものであるから洪水の際には何處か破堤を生ずるものと覺悟してかゝらねばならぬ。改修後永い間洪水の害を受けないといふ安心して堤防の依持を怠り思はざる慘害を招くことがある。堤防が出来上がれば芝の發育を充分ならしめるため芝に混生する他の雜草共を毎年二回づゝ刈り取らなければならぬ古い堤防には櫻樹などを堤防の上に植付けて花時に人を集め堤防を踏み固め土龍の侵入を防禦したり堤防を堅固ならしめたものであるが近來の説としては樹木は暴風の際に烈しく動揺するため堤防の土を緩め又枯れたときには其根が小動物の通路となり又樹から下る雨滴は芝を害し其陰影は乾燥を妨げるので堤防には樹木を植付けない事になつてゐる但し堤趾から相當の間隔に栽植された樹木 (柳類を可とす) は流水の勢力を緩和する効力があるから大に奨励すべきである。

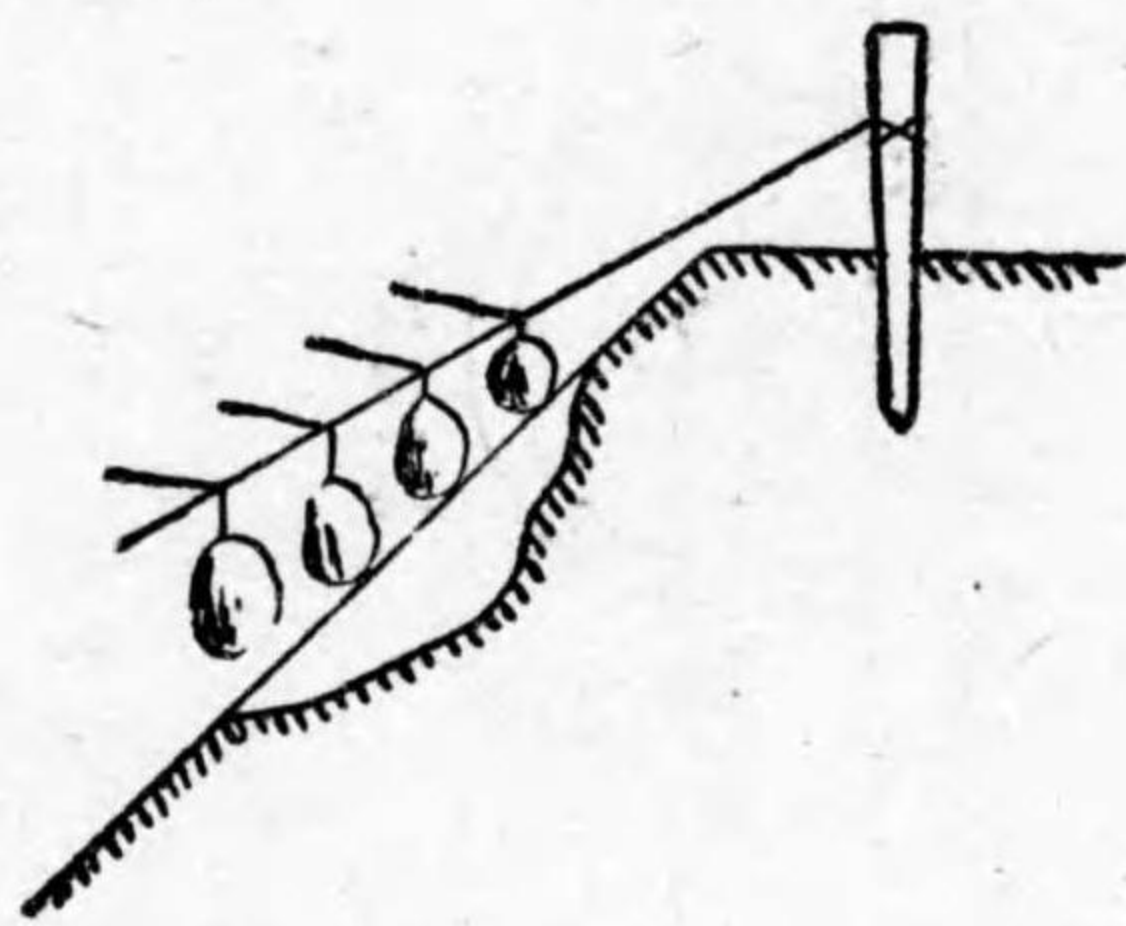
大暑水結又は強風の結果大龜裂が出来たときは之れを掘起し新に乾燥した細い良土を填充して良く撞き固め雨水の侵入するのを防ぐ土龍の穴や洪水の際出来た漏水孔も同様に處理する。

法面を頻繁に往復すると堤防は害を受けるから人家の附近の堤防には階段を造つて通行に便する。

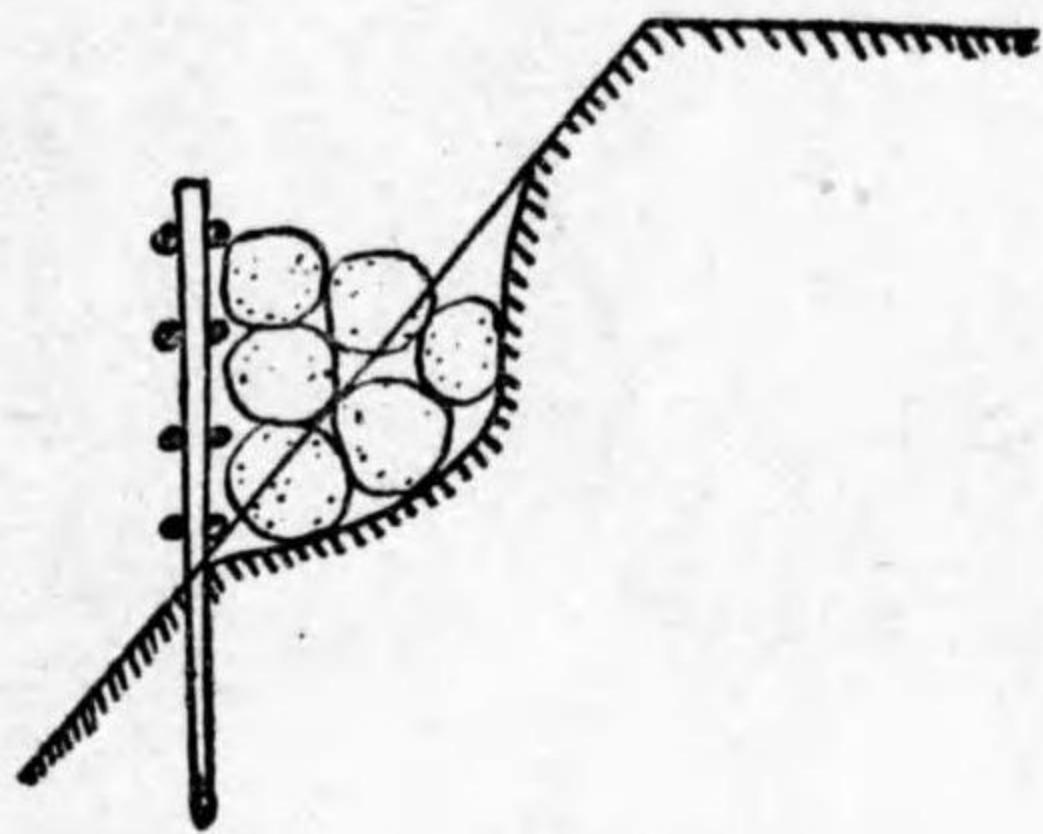
馬踏に芝を植えないで之を道路に兼用する場合には時々車轍を埋め均し雨水を完全に排除するがよい。

堤防は前に述べた通りに相當の沈下を見込み餘盛をしてあるが豫想以上に沈下し又は河床が昇つたり洪水量が計畫以上になつたりして堤防の高さを高めたり幅を廣くしたりする必要が生ずる堤防を補強するには外法及馬踏に於て之を行ふを可とし土取場は堤外地に選ぶ補強工事をするには先づ張芝を丁寧に取り除き法面に

圖十八第



圖一十八第



適當の水平段を切り其の上に新に盛足す土砂は薄層として撞固め新舊土砂を充分良く著合させた後取置の芝を張付ける。

第七款 堤防の防禦

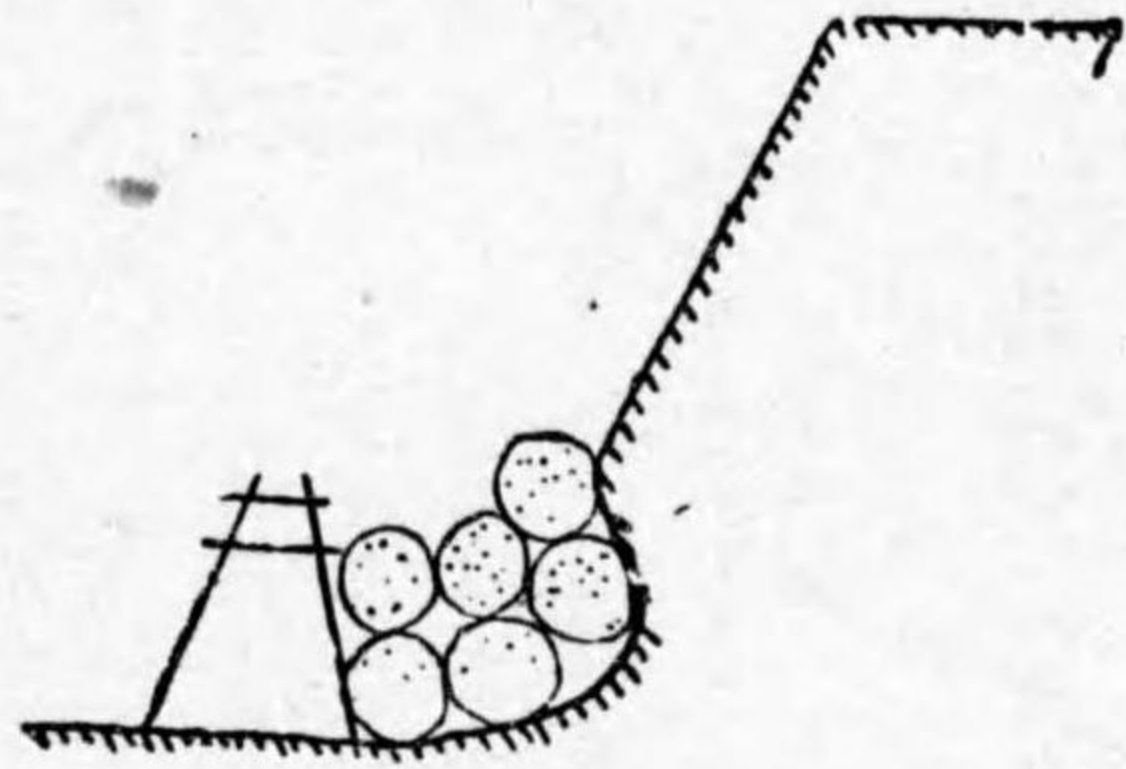
洪水に對し堤防を防禦するには堤防組合や水防組合を組織して常時堤防の依持に心掛けると同時に洪水時には全力を盡して破堤や越流を禦がなければならぬ。

破堤の原因に付ては第二款に於て述べた今茲には如何にして破堤に對する防禦をなすかを述べたいと思ふ。

(一) 越流に對する防禦 我國の越流防禦には普通土俵を用ひる土俵は現場で土を詰め二段迄は只積み重ねるが三段以上になれば竹串を挿して止める又疊止めと言つて馬踏に杭を打ち之れに疊を立て掛けて水を防ぐ事もある。其他柵等が用ひられる。

(二) 浸蝕作用に對する防禦 高水を受けて法面が軟弱となつて居るときに強い風が吹き波浪を起すと波は法面を浸蝕することがある斯る折の防禦方法は地方により色々ある(第八十圖に示すのは掛け木竹流し振枝などと稱し枝付等の竹木に砂袋を括り付けたもので缺壞箇所を防ぐ方法である竹木は之れを堤防の附近に養成して置き出水の際伐採して用ひる様にする尙竹木を使用しないで缺壞箇所を砂袋を詰める事もある) 利根川や信濃川では蓆を用

圖二十八第



圖三十八第



ひる事があるハ法面の中腹に缺壊が出来たときは第八十一圖の様に柵を造つて其内部に土俵や蛇籠を詰めるニ木曾川地方では缺壊箇所を壘や蓆を當て竹串で止めるホ堤防の根が掘られたときは第八十二圖に示す様に柵を沈め其内側に土俵を投げ込む。

(三) 漏水に對する防禦 漏水には二つの場合がある一つは堤體を通し
ての漏水で他は堤體と地盤との間からの漏水である漏水の入口は水面
に現出する渦巻により又は先端に藁箆様の物を着けた棒を外法に沿ひ上
下左右に移動させつゝ一方堤内の吐口に於ける漏水状態の變化を注目す
ることにより發見することが出来るから入口に土俵砂囊又は蓆を被せて
之を閉塞する若し入口を發見することが出来ないときは外法の或る部分
を推定し杭打と板で周壁を造り其内部に粘土土俵の類を投入するか又は
壁を造らずに單に附近一帯の外法に土俵類を投入して漏水を杜絶し得る
や否やを試験する此試験が奏効しなければ漏水の入口は堤體と地盤との
接合部か又は他の遠い所にあるのであるから己むを得ず漏水の吐口を
包圍する小堤を土俵類を以て迅速に造り漏水を其の中に湛へしめ水壓を
平均することによつて漏水及之に伴ふ土砂の流失を防止する(第八十三
圖) 尙又小堤の代りに井戸側の様な底のない桶を以て漏水吐口を包圍し
漏水の速度と量とを調節することもある。
洪水が終つた後は直ちに漏水々脈のあつた箇所を馬踏から掘鑿して良

質の土を填充し撞固め水脈路又は漏水層を遮斷する若し堤防が高いときは第八十四圖の様に犬走を造り其中に水密の壁を設ける

(四) 法腹滑落到對する防禦 堤防築造の際撞固めが不充分であると或舊堤に新堤を接ぎ足した場合の工事が不充分であると高水の際法腹は水により飽和され息角小となり滑落を惹起す

之に對する應急手段としては堤趾に沈床を敷設したり杭を打つたりする。

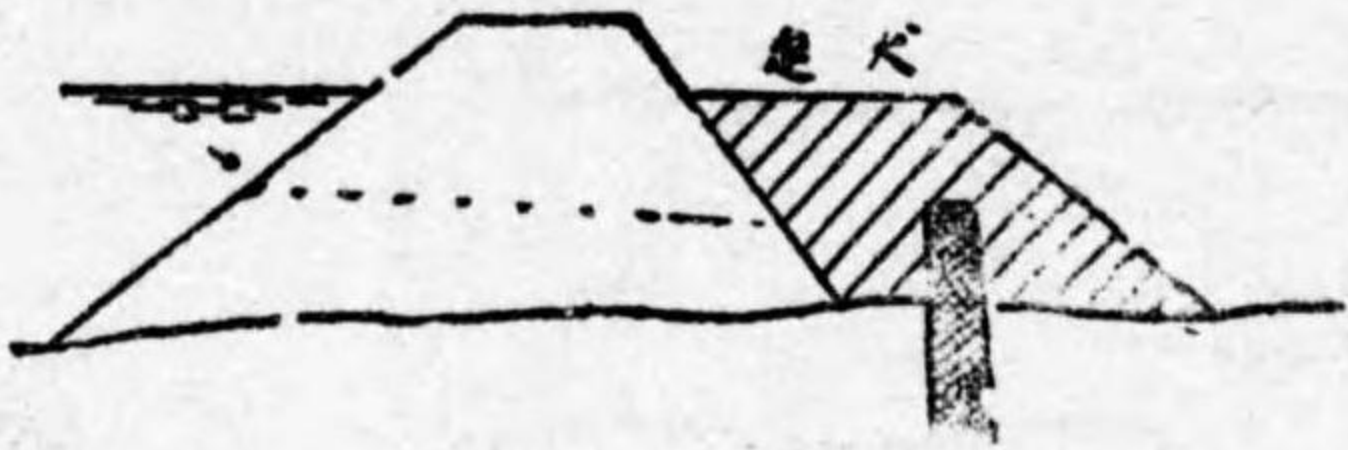
(五) 破堤に對する防禦 不幸にして堤防が決潰したる際は猶豫なく決潰箇所
の兩端に粗朶、混泥土單床、帆布、土俵等其箇所最適の材料で假設的被覆工を
施して破口の擴大を防がなければならぬ。

堤防の破壞が單に馬踏附近の部分又は固有の堤體のみに止まるときは之を復舊
するに當り別段考慮を要することはないが堤體と共に在來の地盤をも破壞される
ときは第八十五及八十六圖に示す様な二つの場合を生ずる(一)は單に堤下の地盤を
洗掘される許りてなく堤外地盤をも中水面以下迄洗掘されるもので(二)は主として
堤下の地盤を洗掘されるに止まるもので普通に起る破堤の状態である以上(一)及

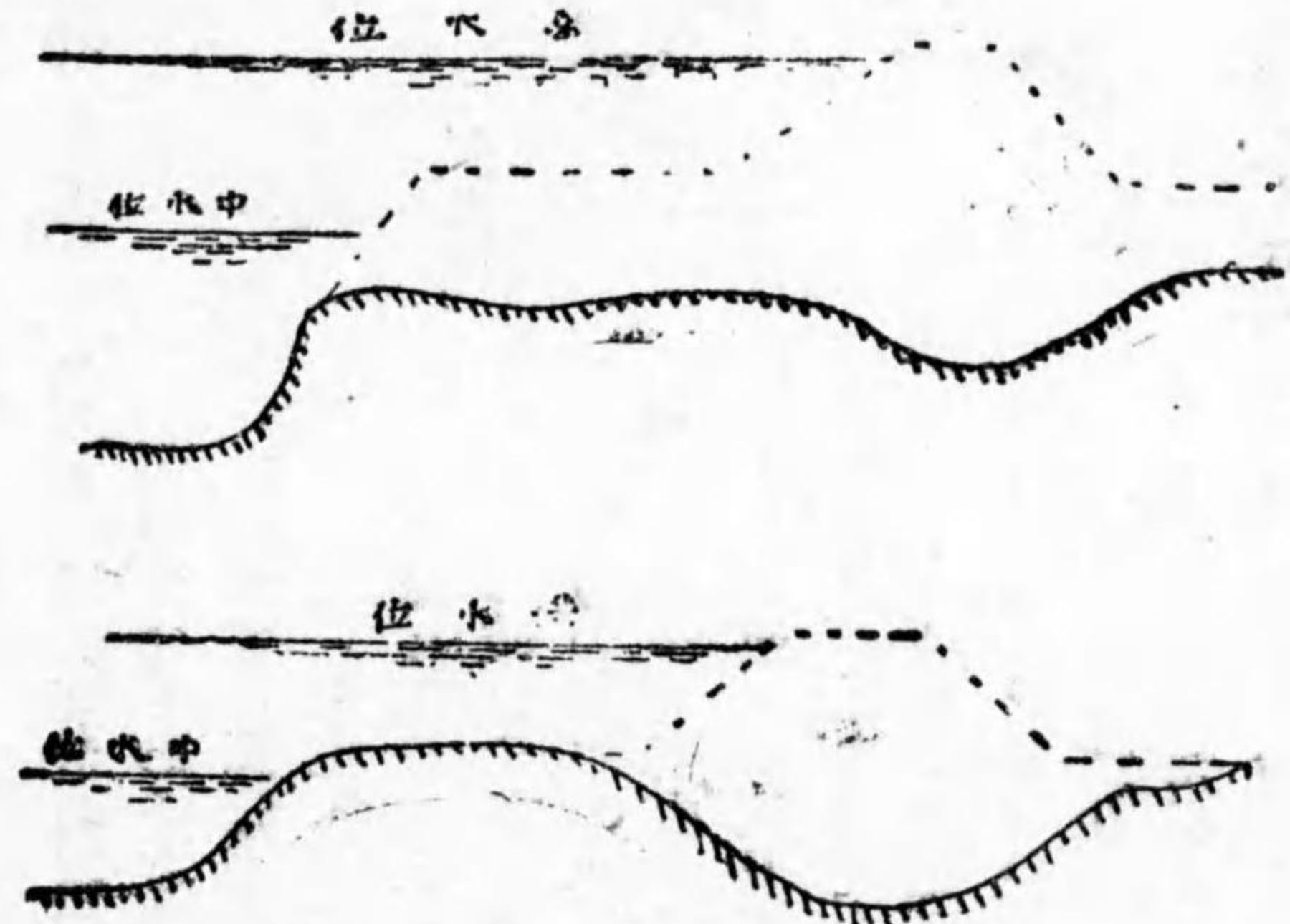
(二)の場合に於て之を修理する法に二つある。

(A) は前進法と言ひ第八十七圖の様に新堤を築造する方法で第八十六圖の様な
切れ方をした場合に適し新堤の延長は比較的短いから復舊費は低廉であるが其位
置は河岸に接近するから流水、波浪、流水木等の害を受け易く又堤の背後に存する深穴は利用の途がない許
りてなく之がため漏水を生ずる虞がある尤も此危険は包圍小堤の築造により防止し得べきも要するに良策で
はなし。

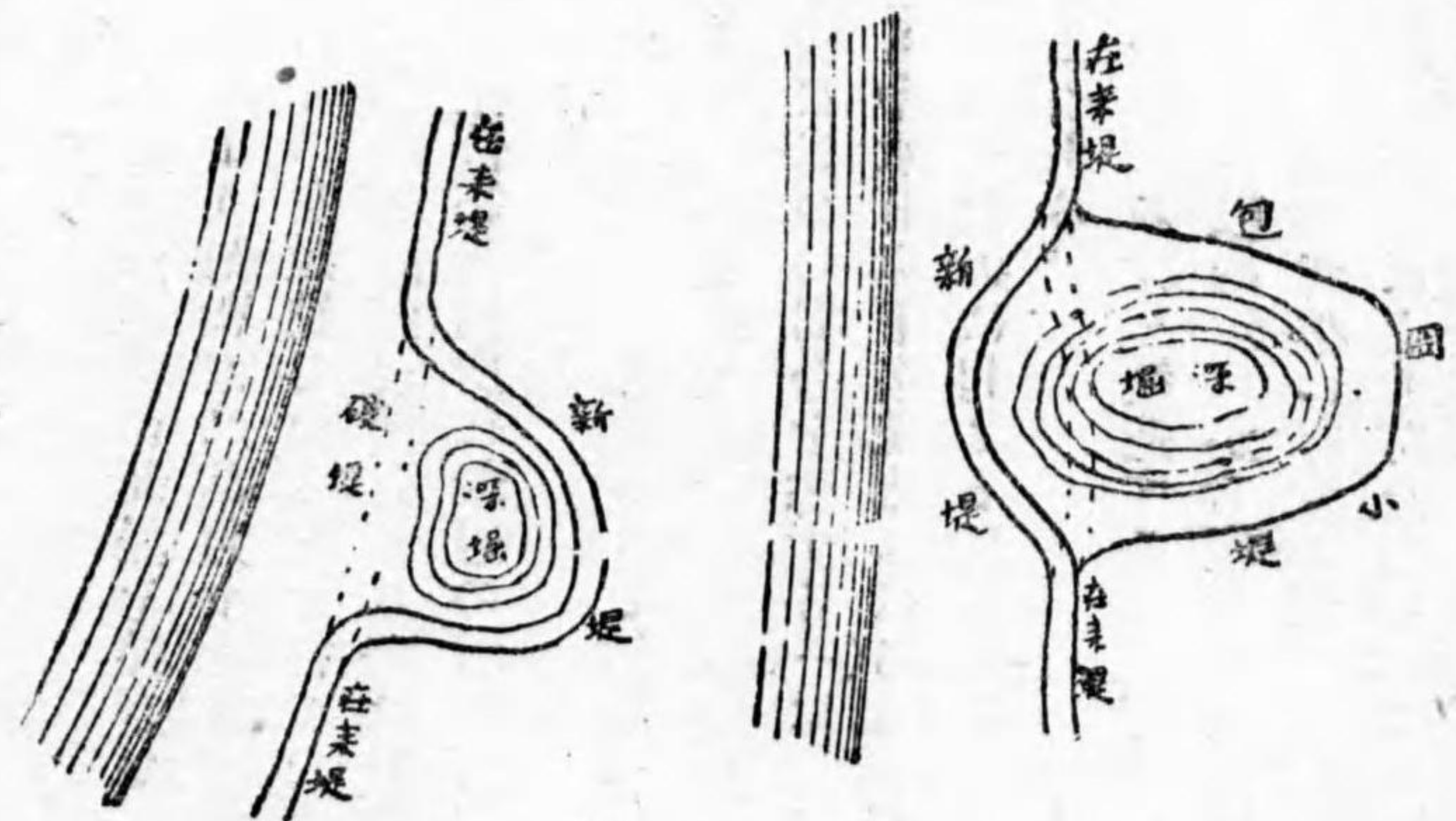
圖四十八第



圖五十八第



圖六十八第



圖八十八第

圖七十八第

(B) は退却法と言ひ(第八十八圖)新堤の位置は在來の堤より内側にあつて深掘を堤外にあらしむるから此深掘は出水毎に次第に埋設し他日の利用に供することが出来る此法は最も安全であるが堤の延長大從て經費を要することが多いから深穴が甚しく在來堤内に彎入した場合には避くるがよい。

(C) は在來の堤防の位置を再用するので洗掘の深さが大でない場合には最も適當な方法である。堤防の修理は通例洪水經過後堤外地盤が河水面以上となり堤土を採取するに支障なきに至り著手するものであるが破堤の際堤外地盤をも甚しく洗掘され一つの新川を造成した場合には背後の地面に絶へず進入する河水を遮斷するため取敢ず縮切堤を假設しなければならぬ。

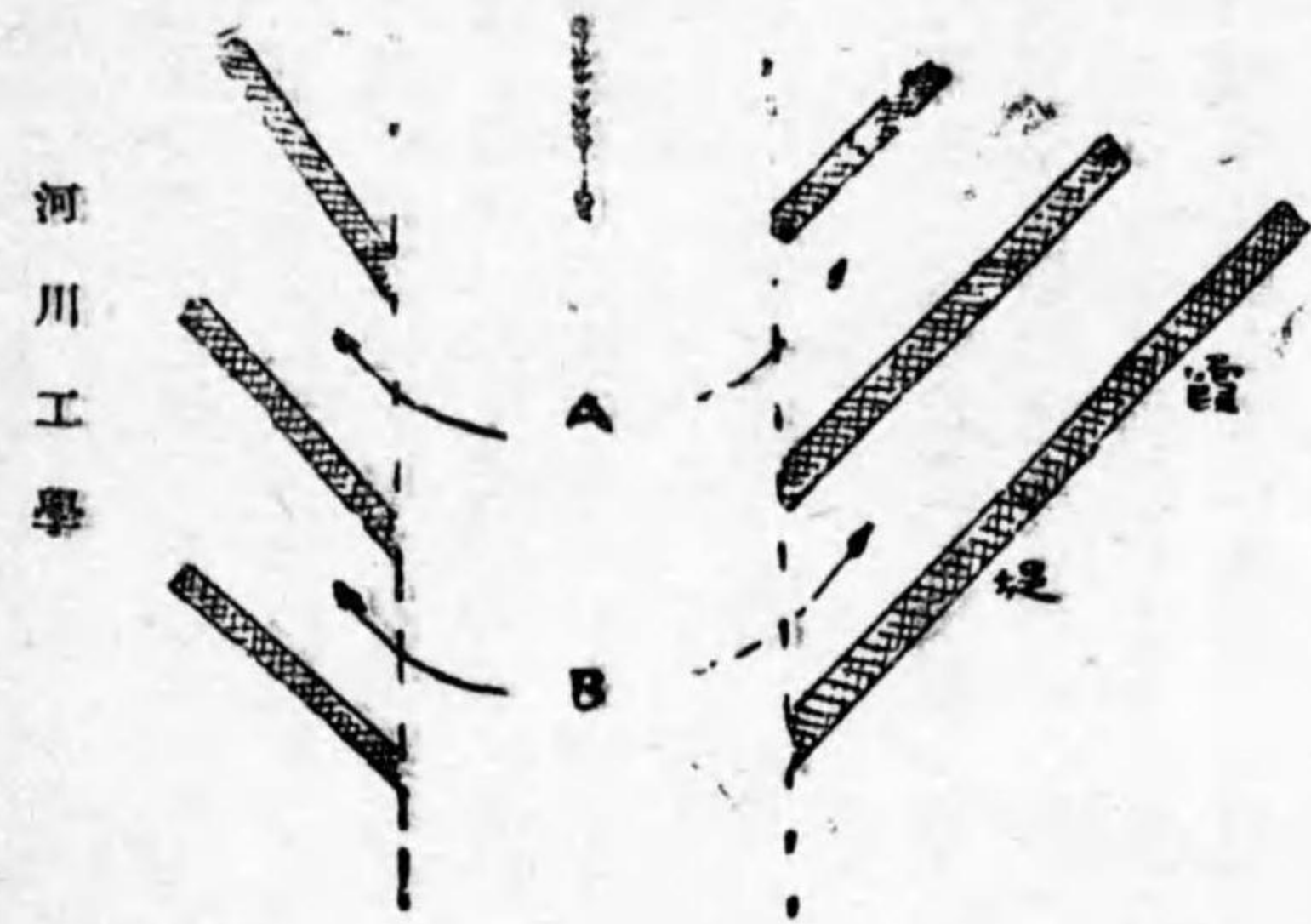
第八款 堤防の種類

堤防には色々種類がある之を大別すると次の通りである。

- (一) 堤防の方向によるもの 横堤 (transversal bank) 及縦堤 (longitudinal bank)
- (二) 堤防が連続的なるか否かによるもの 連続堤 (continuous bank) 及不連続堤 (discontinuous bank)
- (三) 洪水時に浸水するか否かによるもの 浸水堤 (Submersible bank) 及不浸水堤 (insubmersible bank) 急流部の堤防には横堤不連続堤及浸水堤が多いが緩流部の堤防は總て縦堤連続堤及不浸水堤である。

本邦河川の急流部に用ひられる堤防は多く連続的でなく第八十九圖に示す様に配列されてゐる斯くの如き配列の堤防を霞堤、付

圖九十八第



流堤、羽衣堤などと稱する急流部では水の浸蝕力が大であるから破堤し易く一旦破堤すると砂利甚しい場合は玉石などを田畑に流し込み豊饒の地を不毛の地に歸せしむるばかりでなく家を流し人畜を殺傷し其害は甚大である然るに霞堤を以て連続堤に代ふるときは水はA B等の諸點で静に逆流するから甚だしい害を及ぼすことがない許りでなく農作物に必要な物質を田畑に沈澱させ土地を豊饒ならしめる尙霞堤と霞堤の間は貯水池の作用をなし下流の洪水量を調節する。

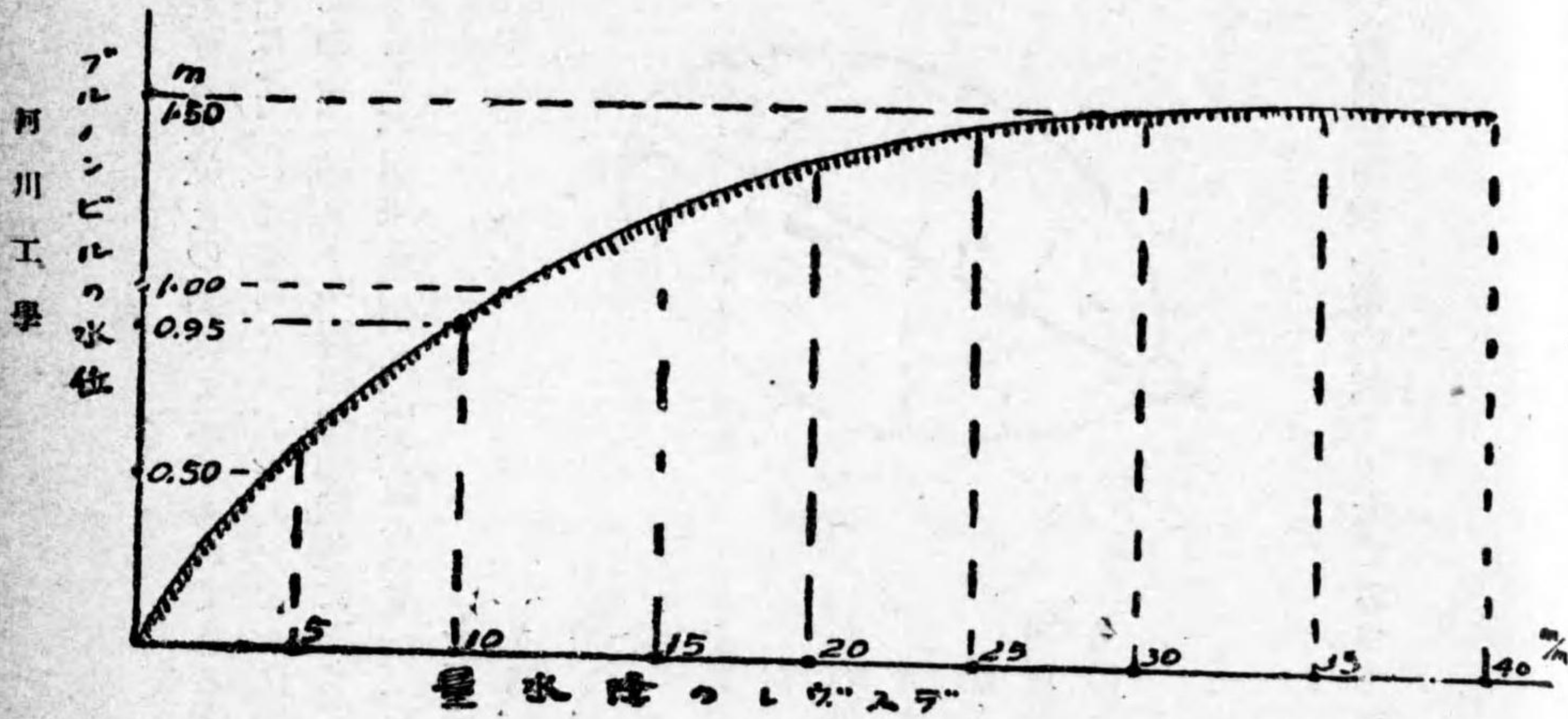
第七節 洪水の豫報

洪水に際して其洪水量を豫報し得るならば水防上多大の便宜を興へたものと言ふことが出来る然しながら洪水の性質や傳播の速度は種々の原因により司配されるから正確な豫報を得る事は中々困難である豫報の方法に二つある一つは雨量による方法 (udometric system) で他は流量による方法 (hydrometric system) である故に川の性質により又水源からの距離により各其處に適應した方法によるべきである。

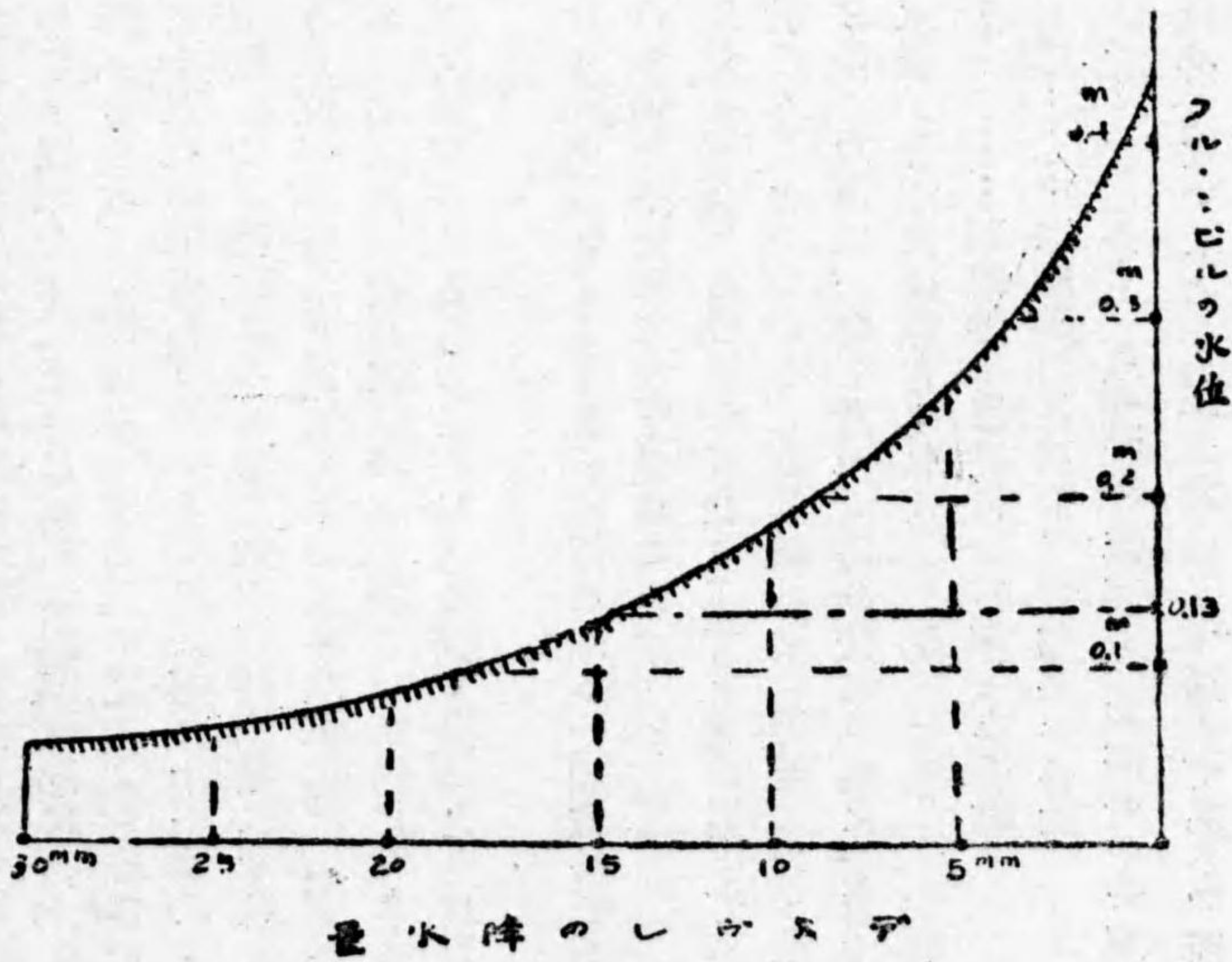
洪水の量及洪水到達の時期は降雨地の透水性により多大の影響を受くる事は見逃し難い大事實である。若し土地が透水性を缺くか又は土地が充分に濕潤した後大雨があると洪水は早く起り早く通過し其量は多いが土地が透水性を有するか又は土地が乾燥して居れば之に反する結果を生ずる。尙同一流域に於ける土地の性質が場所により異り又降水の分布が一樣でなければ洪水に關して色々の組合せが出来る而して不幸にして悪い組合せが成立つと恐るべき洪水を惹起することになる故に河積を定むるに當つては既往の最大洪水量を標準とすると同時に最も悪い組合せに就て考慮することが必要である。

一) 雨量法 第九十圖は佛國リアヌ河の水源なるデスブレに於ける降水量と其下流八軒にあるブルノン

第九十圖



第九十一圖



ピルに於ける水位との關係を示すものである之れは流域が充分濕潤せる場合の曲線であつて然らざる場合は更正を行はなければならぬブルノンピルに於て量水標の○・四米を示すときは流域は濕潤状態にありと見做されてゐる、第九十一圖は飽和状態にあらざる流域が降水を吸収する模様を示す曲線て之により適當の更正を施すことが出来る。例へば水位が○・一三を示すとき二十五耗の降雨ありたりとすれば第九十一圖により

十五耗の降水は流域により吸収さるゝ事を知り有効水量は十耗となり第九十圖により水位の昇騰○・九五である依て水位は $0.13 \times 0.75 = 0.0975$ となる。右に述べた曲線は降水の強さ一時間に就き一乃至一・一耗のときに應用されるものでそれより強く降るときは更正を要する。

右は水源に於ける降水量により下流の水位を知る一の方法であるが容易に想像される通り不正確なるを免れない。

降水量から流出量を計算する簡單の場合を示すと次の通りである第九十二圖に於てABを一つの谷とし其流域を z_1 乃至 z_n の n 個の帯に分ける各帯に降つた雨は一時間乃至 n 時間後にB點に到着するものとし f を降水量 f を流出係數とすれば

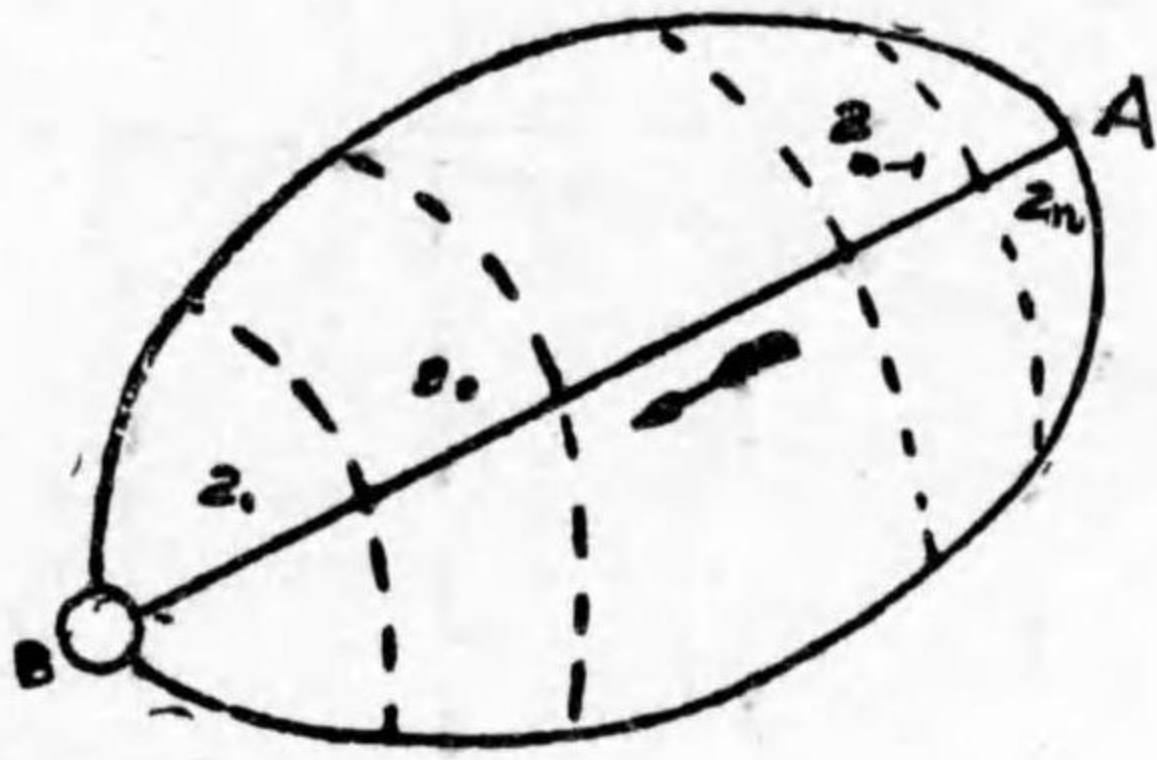
$$f_{1st} \dots \dots \dots \text{降雨後一時間に B に達する水量}$$

$$f_{2nd} \dots \dots \dots \text{降雨後二時間に B に達する水量}$$

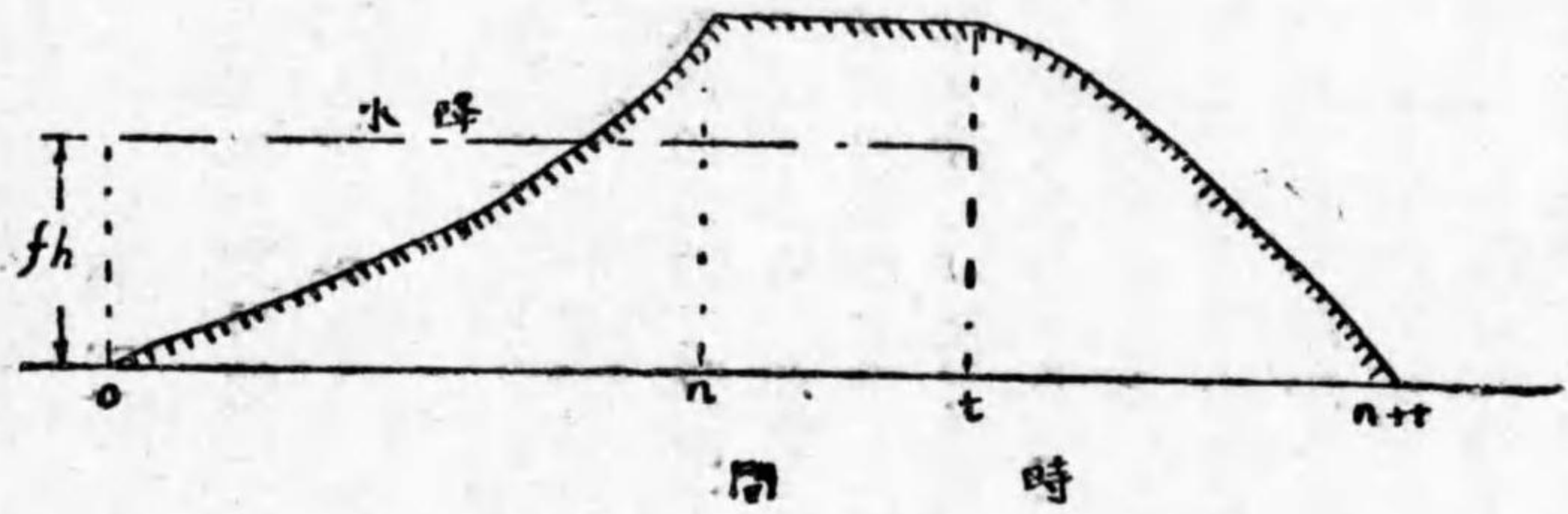
$$f_{nth} \dots \dots \dots \text{降雨後 n 時間に B に達する水量}$$

降水の持續時間數が帯の數より大であつても最大流量は昇らないこと第九十三圖に示す通りである。而し

圖二十九第

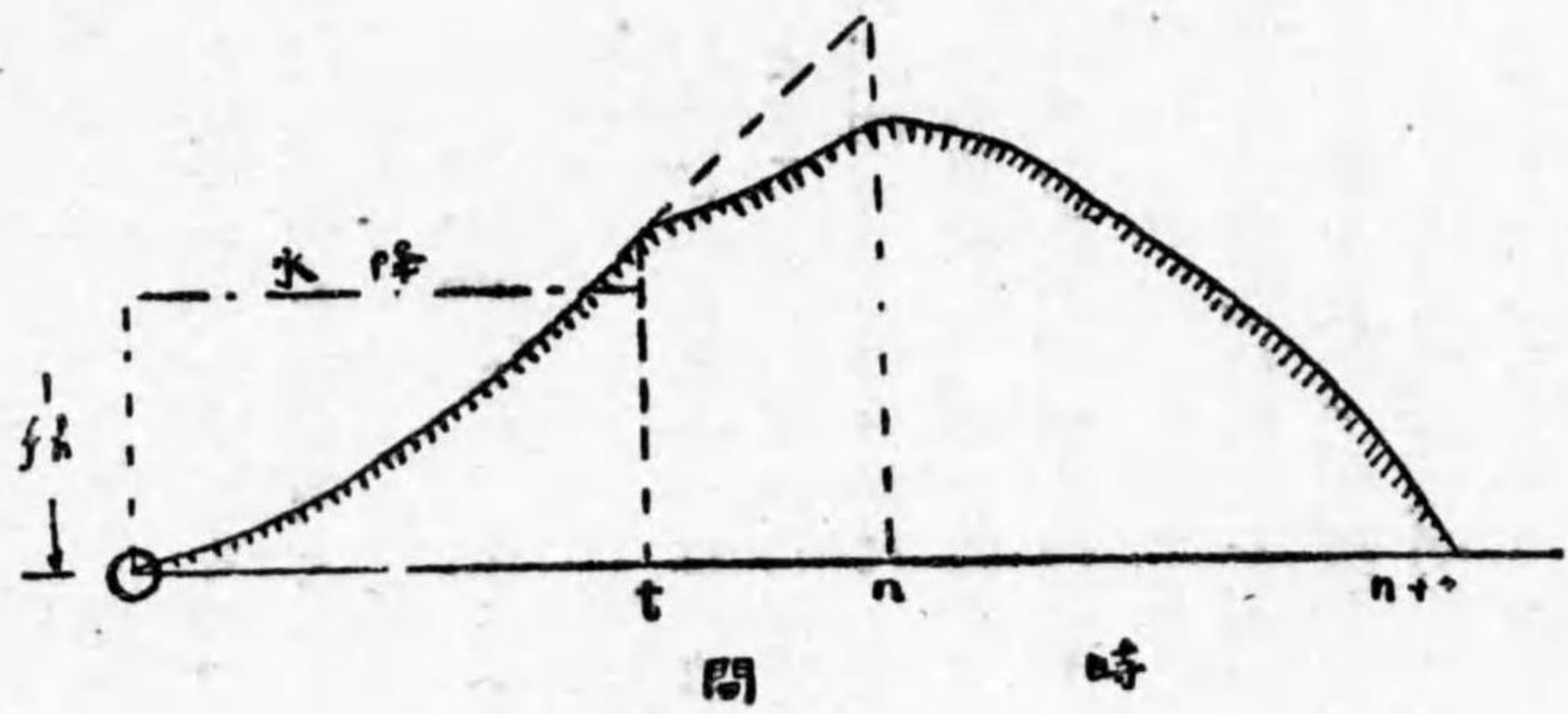


圖三十九第



河川工学

圖四十九第



て増水の際の曲線が凹曲線て減水の際の曲線が凸曲線であるのは z_1 より z_n に至るに従ひ各帯の面積が次第に大となるためである。降水の持續すること n 時未滿であれば曲線は第九十四圖の様になる。

(二) 流量法 此方法は雨量法に比して正確であるが洪水傳播の早い河川では豫報を出す時が遅れて實際の間に合はない場合が多い、それ故に緩流の河川に於て應用すべき方法である。洪水量は一般に之を精確に測定することが困難であるから之れと殆んど一定の關係を保つ水位により下流の水位を豫報する方が實地に於て便利であるから多く此方法が用ひられる。水位測定地と水位豫報地との間の水位の關係を表はす式の一例は本講義第十三頁に於て述べた通りである。

第四篇 河川改良工事

第一節 總 說

河川改良工事を其目的により區別すると航行を主とするもの、氾濫防禦を主とするもの及以上の双方を結合したもの、三種がある。我國に於ては氾濫防禦を主目的としてゐるが歐洲に於ては之に反し航行を主目的としてゐる。

河川を分ちて三部とする河口(River-mouth)感潮部(tidal portion)及純河川部(river proper)之れである、純河川部は更に之れを可航部と不可航部とに分つ。

河川を航運の目的で改修するのに二つの方法がある一つは河身改修法(river regularization)て他は堰開法(Canalization)である。前者は航運の障害となる部分を修築し適當な航路を造る方法であるが後者は水深の不十分な箇所可動堰を造り水深を増し尙水閘(lock)の作用により航運を容易ならしむる方法である。

河川改修に際し航運を主目的とす側からの要求は淺瀬を深くすること川幅を擴げること、急屈曲部を取除くこと及流速を緩にすること等であるが洪水防禦の側からの要求は低水路を固定し出水の際に水流の位置が變化しない様にするのである。

次に航運を目的とする場合に河身改修法と堰開法の何れを選ぶべきやに付て標準があるかといふに河身改修法には河床安定の點から或る制限がある河幅を狭めて水深を増せば流速大となり若し其速度が大に過ぐれば河床は浸蝕され河狀に變化を生ずるから斯る場所では堰開法に據らなければならぬ又水面勾配の點からも制限を受ける即流れに逆ひ船を引上げるときは多くは馬曳船によるが此の場合には二千分一より急勾配では曳船すること困難であるから是亦堰開法に據るが良い。制限勾配以内である場合には何れの方法を用ゐる

かは工費の多少で決せられるが工費に差が無く且つ航運本位の改修なら堰開法の方が結果が確實である。航運と同時に洪水防禦を目的とするならば河身改修法を用ゐる方がよいが堰開法でも可動堰を出水の際全部取去れば差障はない。

堰開法は後編に譲り次には河身改修法に付て述べたいと思ふ。

近來歐洲で要求する可航河川の水深は一米突半乃至二米突が普通であり川幅は二十五米突乃至三十米突である又彎曲部に於ける中心線の半径は最小百米突としてあるが三百米突以上ありたいものである。自然に存在する河は淺瀬と淵から成立する之れを改良せんとするには二方法ある、一つは悪い箇所を改良する法で他は河全體を運河の様規則正しく直す方法である。

第二節 淺 瀬 除 却 工

淺瀬は之れを取除かなければならない、淺瀬に二種類ある一つは岸近く存在するもので其性良であるが他は河の中心附近に存在し其性悪である。淺瀬を取除くには一流水が數本に分れて流れる場合には之れを一本に集め深くする二水路の幅を狭め水深を深くする三淺瀬を浚渫して取除くにある。川幅を狭めれば水深を得ることは大體に於て誤はないが狭めた結果流速を増し河床の浸蝕起り生産された土砂は下流の廣い箇所沈澱して害をなすことがある。

浚渫は水深を得るに最も確實の様考へられるが場所によつては不成功に終ることが往々ある、浚渫を始むるに先立つて淺瀬の性質を調査することが必要である、淺瀬には二種類ある、一つは岩石淺瀬で他は寄洲(movable deposit)である。岩石は之れを掘り下げると上流の水位が下がることがある之れは岩石の爲めに上流に水が湛えられてゐた爲である斯る場合は掘り損に終ることとなるから必要の幅以外には浚渫しないが良

● 岩石淺瀬を浚渫すると充分の水深を得難き場合あるも成功すれば永久に安全である。次に寄洲の場合には先づ其成因を考へる必要がある、寄洲の成因に二つある、一つは地震のために山や岸が崩れて河中に堆積したもので他は上流から押流して来る土砂の沈積したものである、前者の場合には浚渫と同時に護岸工を施して將來の崩れを豫防する必要がある。浚渫した箇所は出水後淺くなつたり又掘り過ぎると上流に悪影響を及ぼしたりして思ふ様な結果を得られない場合が少くないから浚渫は一つの維持工事と考へてやるが良い。

浚渫の成功する條件は水面勾配の緩なること、流量多きこと及計畫水深が適度(五尺位)であることである本邦の河川で言へば信濃川、利根川の中流以下が此條件に適合する。

浚渫は右に述べた通り決して永久的の工事と考へることが出来ず例令河川の條件が良好であつても毎年多少の手入れを怠ることが出来なかつたり一度に澤山の工費を費す代りに其利息で毎年工事をする様なものである、浚渫は又他の方法で改修する場合に水の力許りて土砂を押し流し得ない時に併用して大に効力を奏することがある。

河川改修の成否は適當なる幅と深さとを定むる點に在る然らば何を標準として此等を決定するかと云ふに夫れは河川の自然的狀態によるのである又已に改修された類似の河を手本にするもよいが此際は只大さや勾配の類似を考へた許りては不充分で地方的條件をも考へ入れなければならぬ。

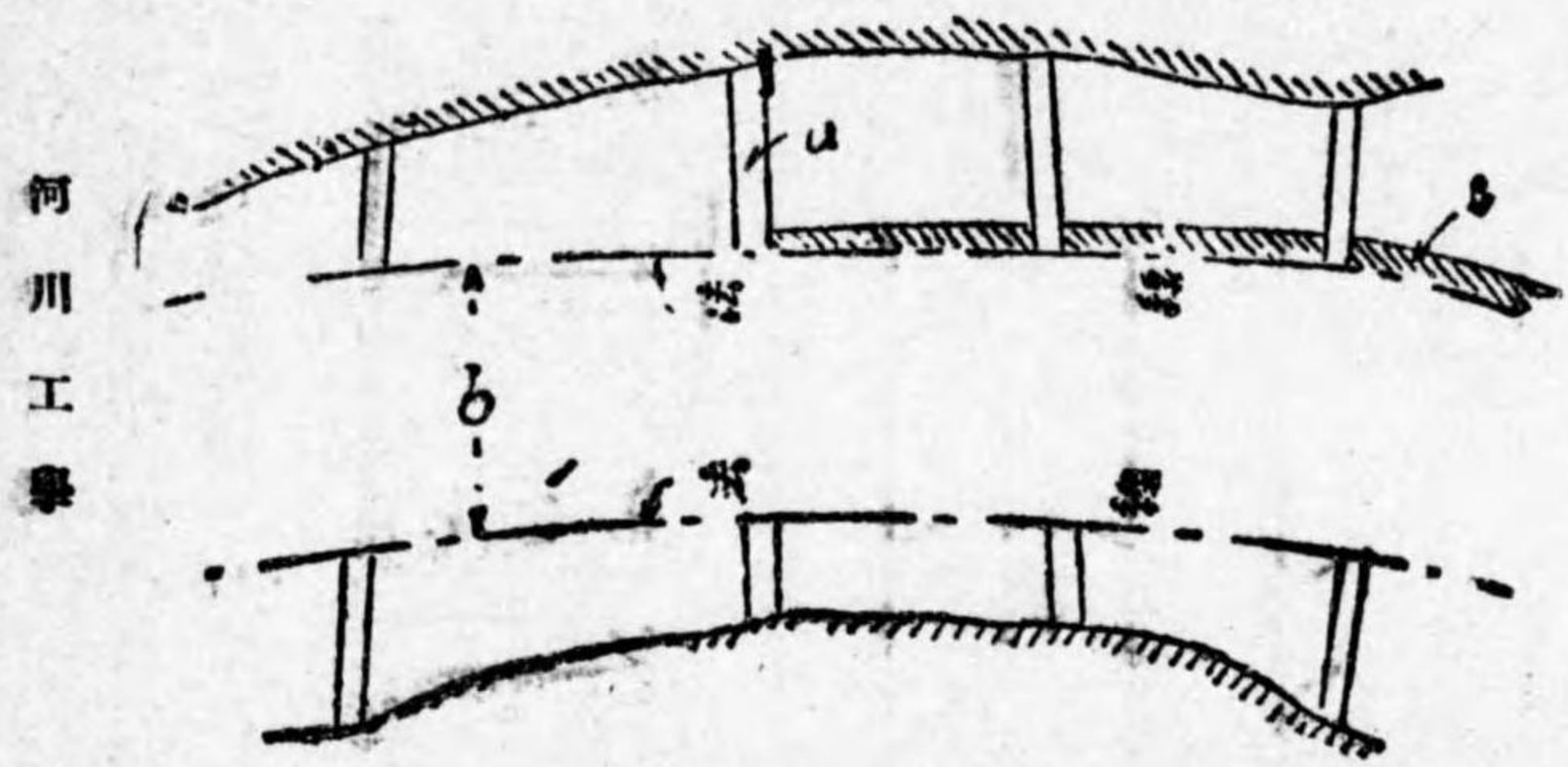
一般に論ずれば河が現在の狀態を維持してゐるのは色々の原因があるので之れに或る改修を行へば此等の原因に影響し色々違つた結果を生じて来る此因果關係は可成り微妙であるから充分此關係を飲込まないと思ひ掛けない結果を生ずることがある唯流量や水面勾配許りを考へ入れたのでは不充分である。河川の中で流量多く勾配緩なものは改修の結果良好であるが勾配急で從て土砂が盛に流れ流量變動率の大なる河は改修の結果不良であることを常とする。

第三節 水制工(横工)

河川改修に當り河幅を一定するために法線(normal line)を引く(第九十五圖)而して河岸を法線に導くには二つの工事がある一つは水制工(spur dykes)で他は併行工(longitudinal or parallel works)である。後者(第九十五圖のり)は直ちに目的を達することが出来るが前者は水制間に土砂が堆積して後目的を達することが出来るので穩な河に應用して好果を修める。

水制が法線に對する方向に三つある即垂直及上流又は下流に傾くものである、一直角水制(第九十六圖)は水制の頭部附近の流勢は激しくなく往々此附近に土砂の沈澱を生じ隨て水制の安定を劫かすことが少い又其下流に位する水制との間隙に生ずる沈澱物は量が多いが水の渦卷作用あるため水制及河岸に接して出来ず稍離れて生ずる二下向水制は水制頭部附近の流勢は直角水制の夫れに比し稍強く且つ越流が河岸を襲ふ傾向があり水制間隙に於ける沈澱物は多量でない。三上向水制は頭部附近の流勢最も強く此附近に於ては常に河床の沈澱物を流動させるが水制間に沈積する土砂の量は最も多く其分配も平等で且つ水制に接するものである。以上の説明により明なる如く下向水制は舟航に對しては最安全な工法であるが長さが長くなるため工費が嵩み且越流が河岸を破壊する不利がある、直角水制は工費最も少く其効果は充

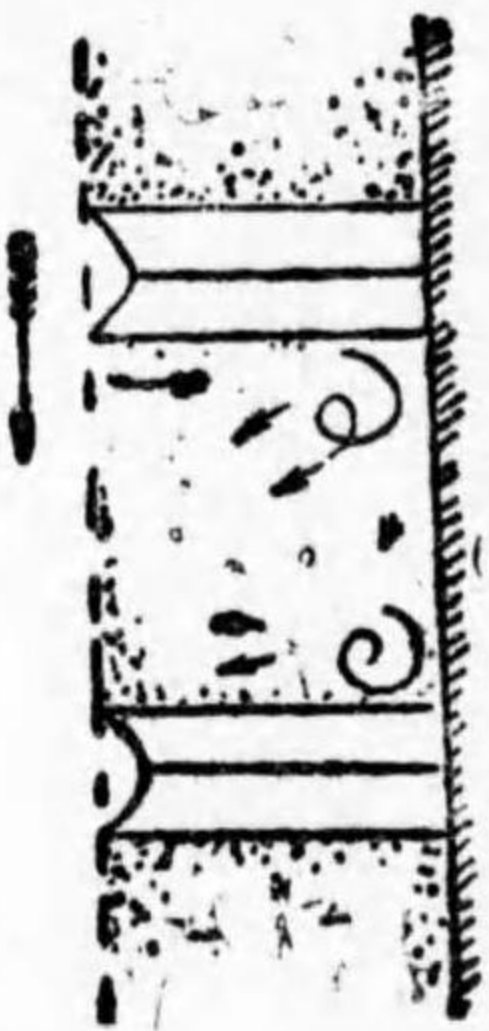
第九十五圖



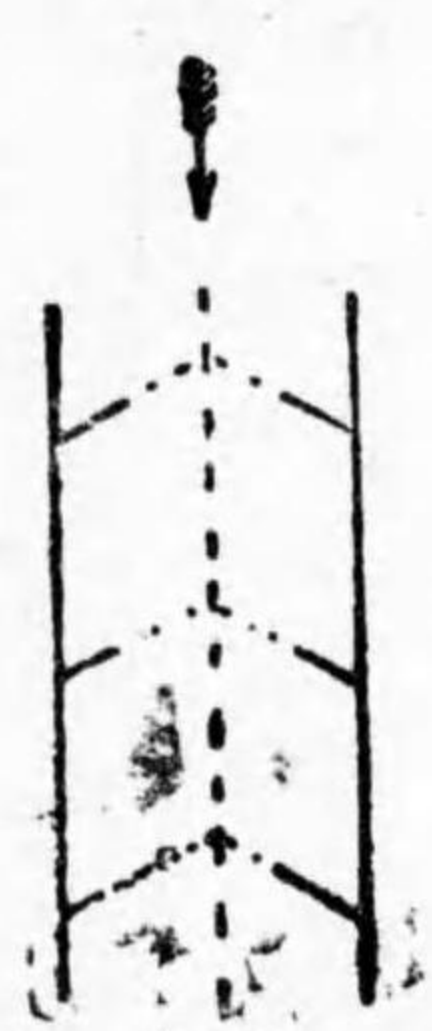
河川工學

分でないが沈澱の作用は侮れない、上向水制は沈澱作用が絶大であるから工費不廉なるに關はず近來獨佛其他の國々では盛に採用されてゐる。

圖六十九第



圖七十九第



圖八十九第



る、フランチュエースによれば直線部に於ては法線幅の七分五凹曲部に於ては二分一凸曲部に於ては二倍である。洪水面よりも高い水制は其頂部を水平にするが越流を受くる水制は岸に向ひ百分一乃至二百分一の傾斜をなし漸次上昇せしめるのが普通である。

上向水制が法線に對する接線と成す角度は場所により異なるがフランチュエース(Franzius)によれば直線の部分に於ては百五度乃至百十五度凹曲部に於ては百度乃至百二度三十分凸曲線に於ては九十度乃至百度である。
兩岸に水制を施工するときは相對する水制の延長線は第九十七圖に示す様に各中心に於て相會しなければならぬ之に反し第九十八圖の様な位置を保つときは相對する水制が河流を同一断面で狭めない爲め流水は相隣れる水制の間に亂入して沈澱作用を攪亂する。

水制工事を施行した許りで希望する様な規則正しい沈澱を生ずることは困難であるが故に水制間には土砂押への工事を施し若くは植樹(柳類を可とす)をして益々洲の付く様に力めなければならぬ。
一群の水制中何れを第一に施工すべきかといふに先づ最上流に位する分を施工し順次下流のものに及ぼすと宜敷とする。

次に水制工の得點を擧ぐれば

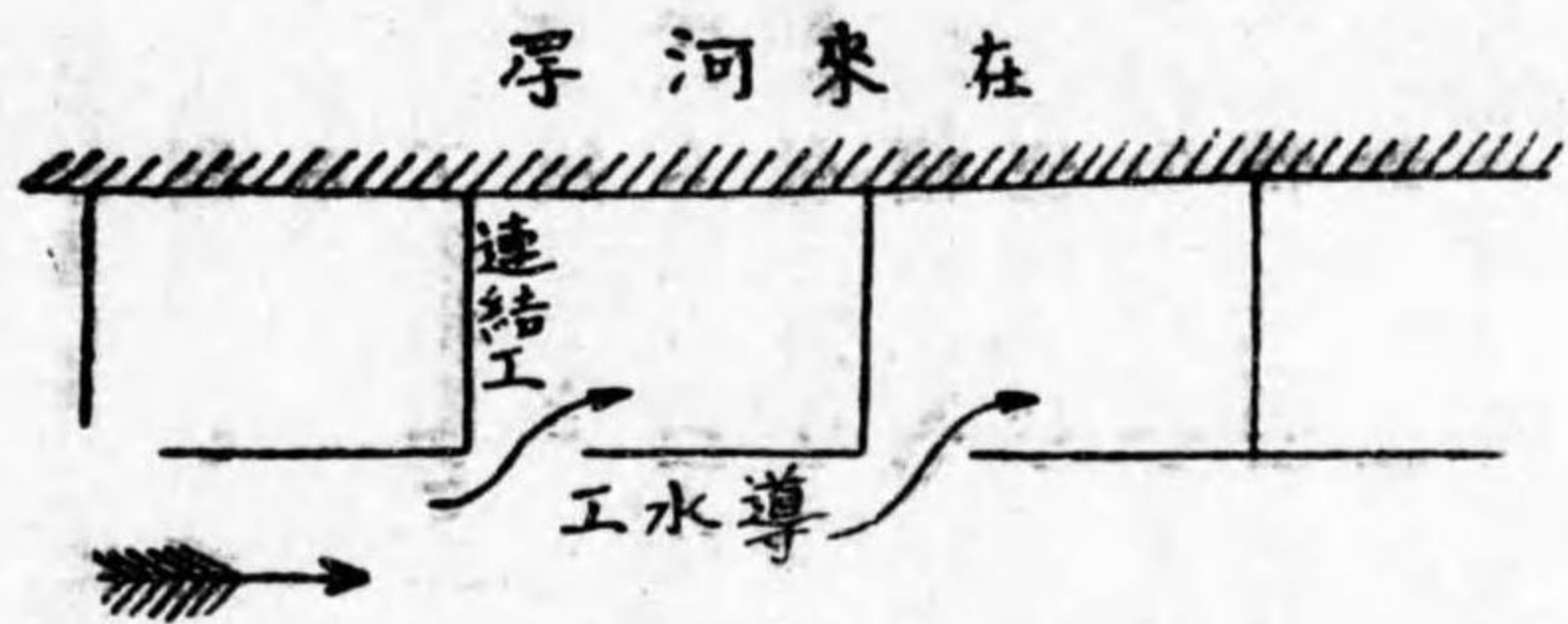
- (イ) 長さ短きこと
 - (ロ) 岸から突き出す故に高さは低く從て工費廉
 - (ハ) 洲の付き方早きが故に依持容易である
 - (ニ) 法線幅の決定が適當でなかつた事を發見した場合に水制の長さの改正を行ふに甚しい失費を要しない
- 水制工に使用される材料は木材、粗朶、及石である。
水制を河の中に突き出すと流れが中心に集る結果河床の洗堀を生ずるを常とする若し水制が石造である場合には水は特に水制頭部を攻撃し此部分を洗堀し該部を破壊することがある斯る弊害は特に勾配急な河川に起り易いから之を防ぐ方法として床固工を施工する。
床固工は一種の越流堰であつて河の全幅に對し之を施行するときは上流の河床には沈澱を生じ漸次に深所を埋没し河床を平均させ其直下に於ては河床を洗堀する傾向がある。

第四節 併行工(縦工)

固定した縦工を造るには先づ正當な定規断面を定めなければならぬ若し決定した河幅が廣過ぎれば河深は淺過ぎ沈澱物の流下力微弱であるから河底埋没の虞がある之に反し河幅が狭過ぎれば河床は次第に掘られ

引て工事に危害を及ぼす虞がある而して縦工が失敗に終つた場合には横工の場合に於ける様に容易に模様替をする事が出来ないから計畫に付ては充分研究を要する。縦工は流勢の強い従て流下物の多量な河川に採用された實例多く其結果前に築造した横工の頭部を連結して縦工に改めたものもある。

新設の縦工と在來河岸との間に土砂を沈澱せしめ様とするには第九十九圖に示す様に縦工と河岸とを結ぶ



第九十九圖

連結工を造り其の下流の縦工に空隙を設け水位が空隙の高さに達すると濁水は直に各分格内に進入し連結工により湛へられ沈澱物を留置して清水となり下流分格内に越流する様にする。

水制に於ては流下物沈澱の作用が充分達せられた場合には單に其頭部のみが流水の作用を受けるに止まるが縦工に於ては全部に沿ひ之れを受ける然し縦工に於ては工事が連続すると水面勾配が均一であるから其各部が受くる作用は水制工に比し輕微である。

縦工横工は前述の如く各利害得失があるから一つの改修部分に對し此兩工事を適宜取りまけて施行して好結果を收めることが多い。

第五節 切開工事

切開工事とは屈曲極りなき河川を廢川として一つの新しい水路を新設する工事である、此工事の利とする諸點は

(一) 水位下り兩岸の排水良くなること

(二) 水路が直線に近くなる爲め水流は均一で河岸の浸されることが少い。

(三) 急彎曲が無くなるため航運上便利である
次に其欠點とする所は

- (一) 水路は次第次第に延長して元の状態に歸らんとする傾向あること
- (二) 水位下る故に灌漑に不利である
- (三) 水路短くなるため流速大となり従て水深を減す。切開工事は在來の河川に著大の變化を與へるもので従て河川の平衡状態に重大な影響を及ぼす許りでなく欠點の(一)に述べた様な傾向があるから河川が天然の良好なる状態を存し即流路單一で水深大なる場合には其流路が假令蜿蜒迂曲してゐても輕卒に切開工事をしてはならない。

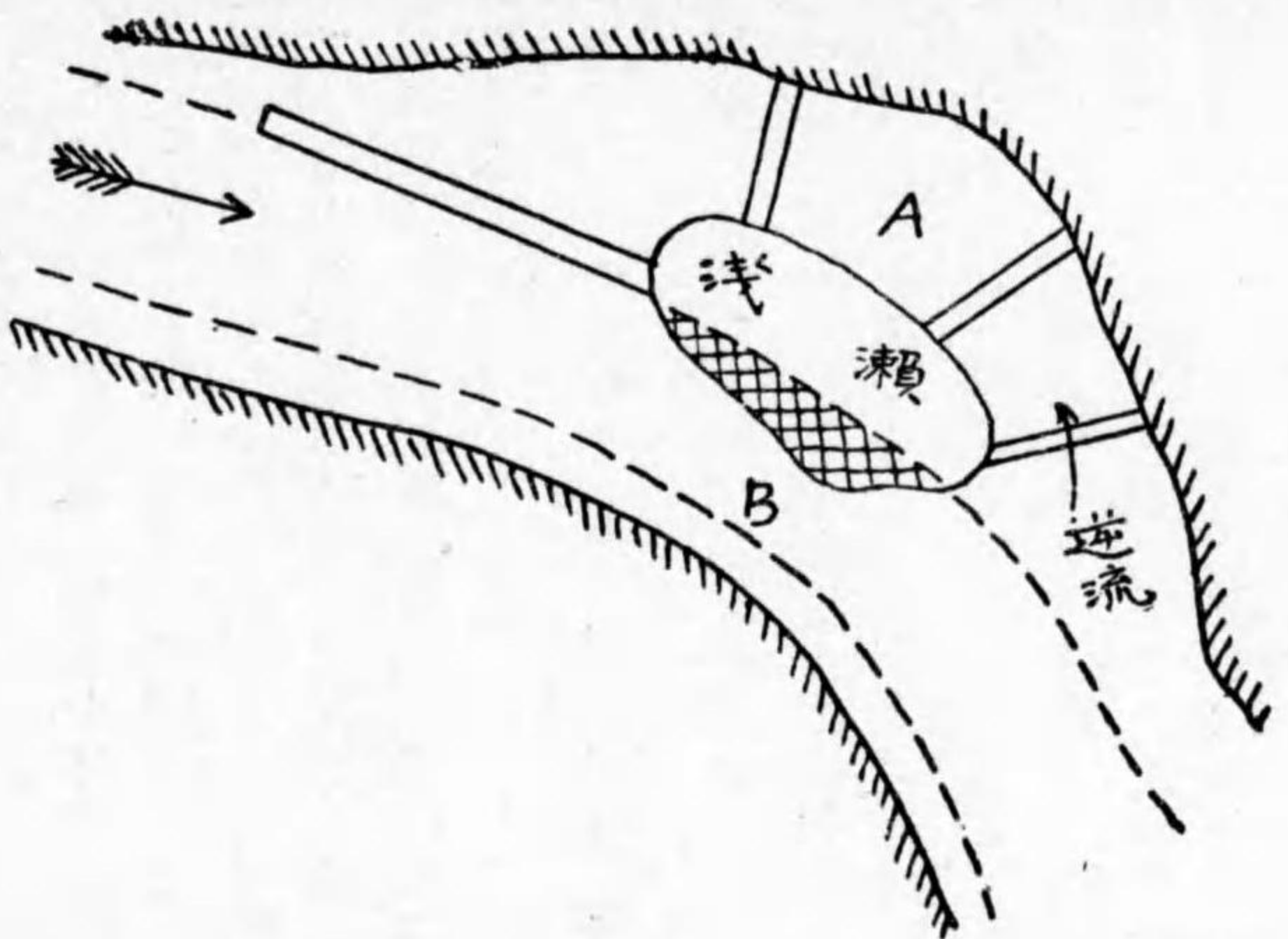
第六節 側流締切工事

側流を遮斷して其水流を本川の夫れと合致せしむる工事は古來河工中の最難工事として目されて居り河川の大なるに従ひ其工事は益々困難を極むるものであるが流下物の多い河では大規模の工事を施すことなくして其目的を達することが出来る。第百圖に於て本川B丈で洪水を通過せしめ得る場合は締切は高くしても良いが之れに反する場合は締切を低くして洪水は側流Aをも通過し得る様に此場合に締切の高さは中水位迄とする。側流には土砂を沈澱せしむるが良其目的で圖に示す様に數箇所に締切を造る但し最後の分格は送流により土砂を沈積せしむるため口を開けて置く。

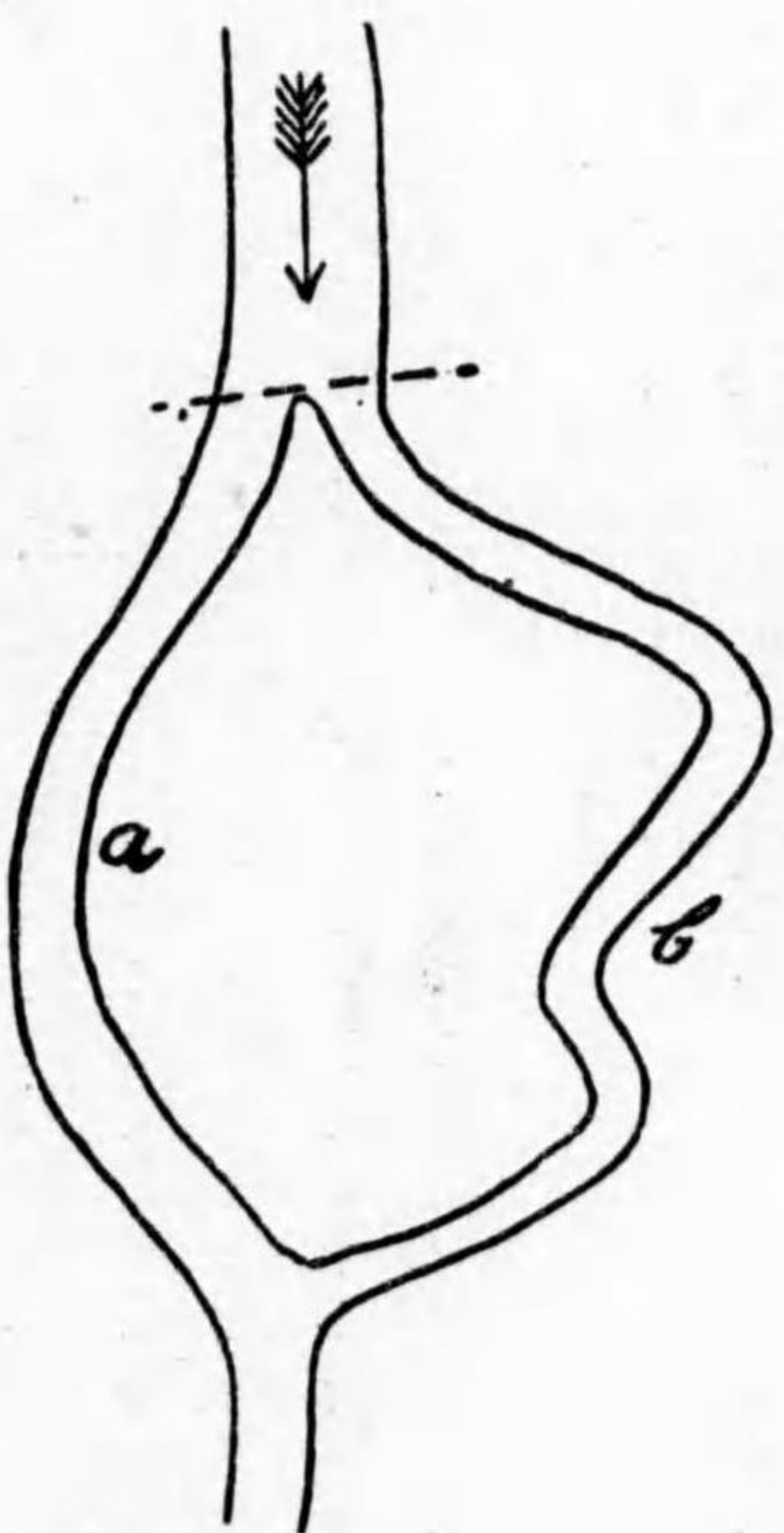
締切工に用ふる材料は簡單な場合は粗朶堅固にするならば石とする。

次に川沿ひに工場や町等が在つて水を本川及側流の双方に適當の分量に分け入れ様とする場合には岐水口に導水工を施さなければならぬ而して適當の比で二川に流量を分るのは中々困難な事である、殊に第百一

第百圖



第百一圖



圖に示す様にaとbとの長さが異なる場合には益々困難である。水は抵抗の少ない方を好んで通過せんとするが故に

抵抗の多い方は土沙の沈澱を生じ漸次浅くなろうとする傾向がある即圖に於てa水路はb水路より勾配急であるから水は好んでaを通過し様とする之れを矯正するにはaの入口に浸水堰を造るか又はa水路の動水半径をb水路の夫れより小ならしむるか乃至はb水路の口を擴げることが良い。

兩水路が合流する所では兩水路は成る可く平行に近い角で會ふ様にしなければならぬ此目的のためにも亦導水工を施行する必要がある。

水路の合流する場合及分流する場合の川幅は次の様にして計算することが出来る。

(一) 同断面同勾配を有する二水路が合流する場合に其川幅を與へて合流後の川幅を求む。

第百二圖に於て b_1, b_2 を川幅 Q_1, Q_2 を流量とすれば

$$v = cv \sqrt{R, J}, A = b \cdot d$$

$$b = f \cdot d \therefore A = f \cdot d^2$$

なるに於て

$$Q = A \cdot v = f \cdot d^3 \cdot cv \sqrt{d, J}$$

$$= f \cdot cv \cdot d^3 \sqrt{d, J}$$

又は $Q = cv \cdot d^3 \cdot f \cdot \sqrt{d, J}$, $loc Q^3$

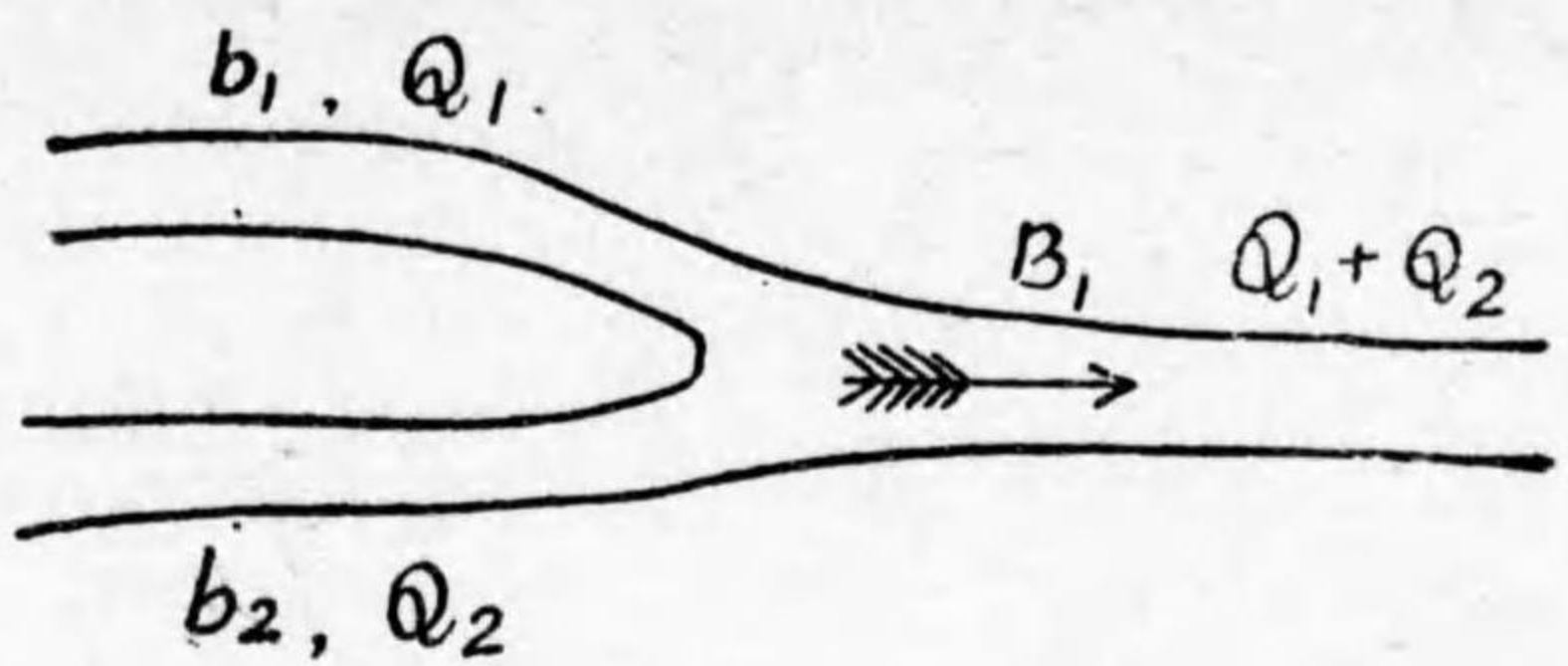
而して $Q_1 = Q_2$, $b_1 = b_2$ なるが故に

$$B = k(2Q)^3 = 1.326$$

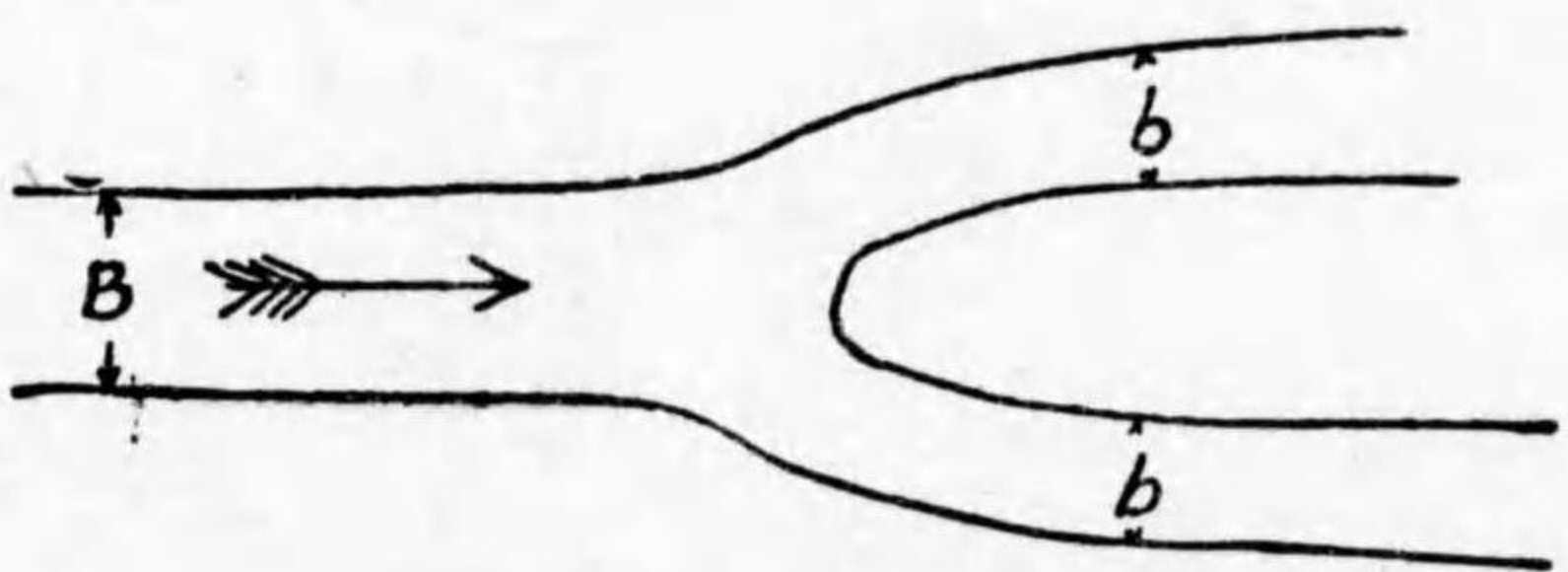
(二) 一の水路が同断面同勾配を有する二水路に分流する場合に水路の幅の關係を求む

$$b = \left(\frac{1}{2}\right)^3 B = 0.75B$$

(三) 一の水路が断面同一ならざる二水路に分流する場合に此二水路の幅の關係を求む(第百四圖)



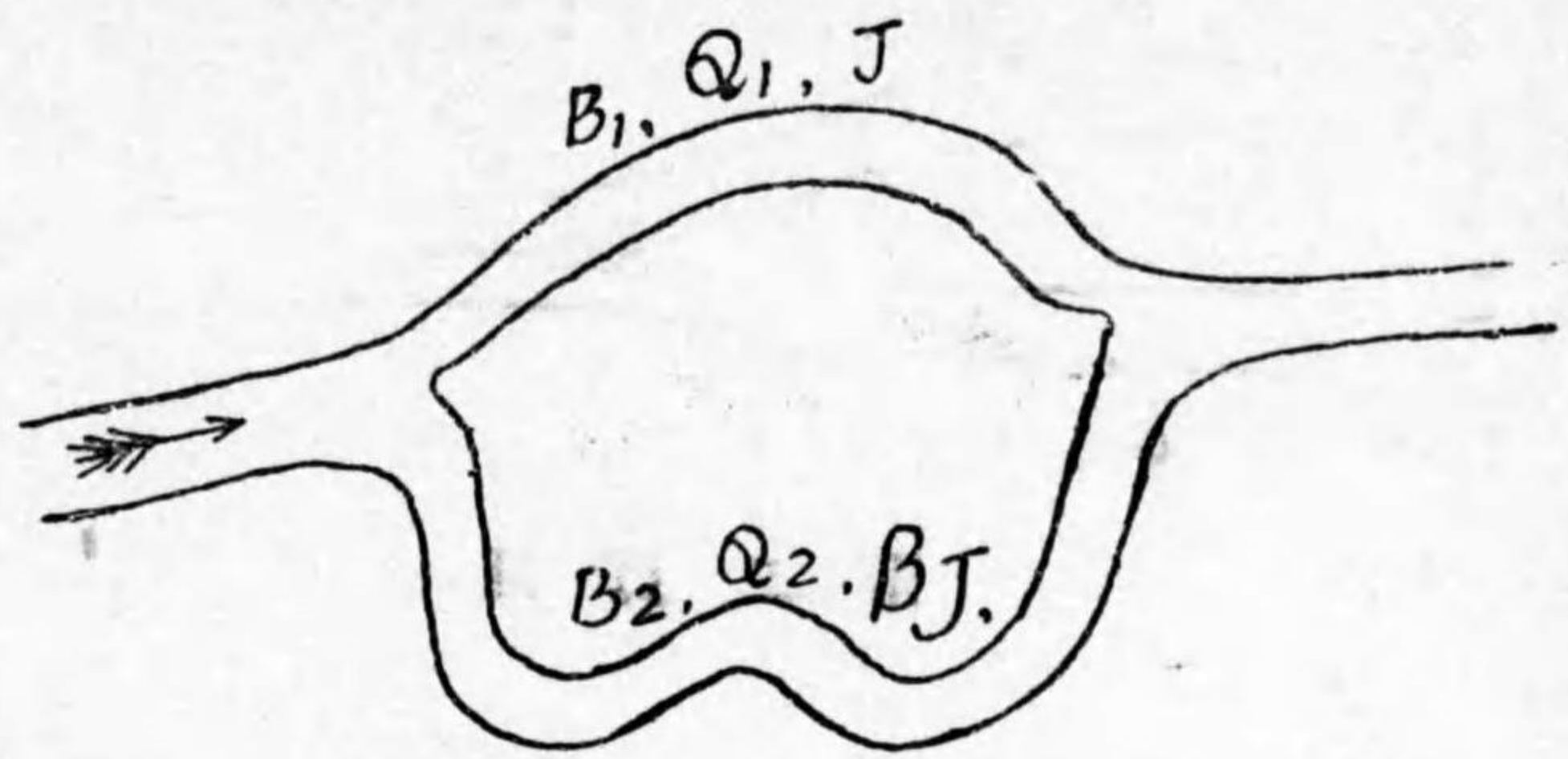
圖二百第



圖三百第

$$Q_1 = v \cdot f \cdot B_1^3 \cdot \sqrt{J}$$

$$Q_2 = cv \cdot f \cdot B_2^3 \cdot \sqrt{J}$$



圖四百第

$$\begin{cases} Q_1: Q_2 = m: n \\ c_1 = c_2 \\ \beta_1 = \beta_2 \end{cases}$$

$$B_1^2: B_2^2 = m^2: n^2$$

$$B_1: B_2 = m: n$$

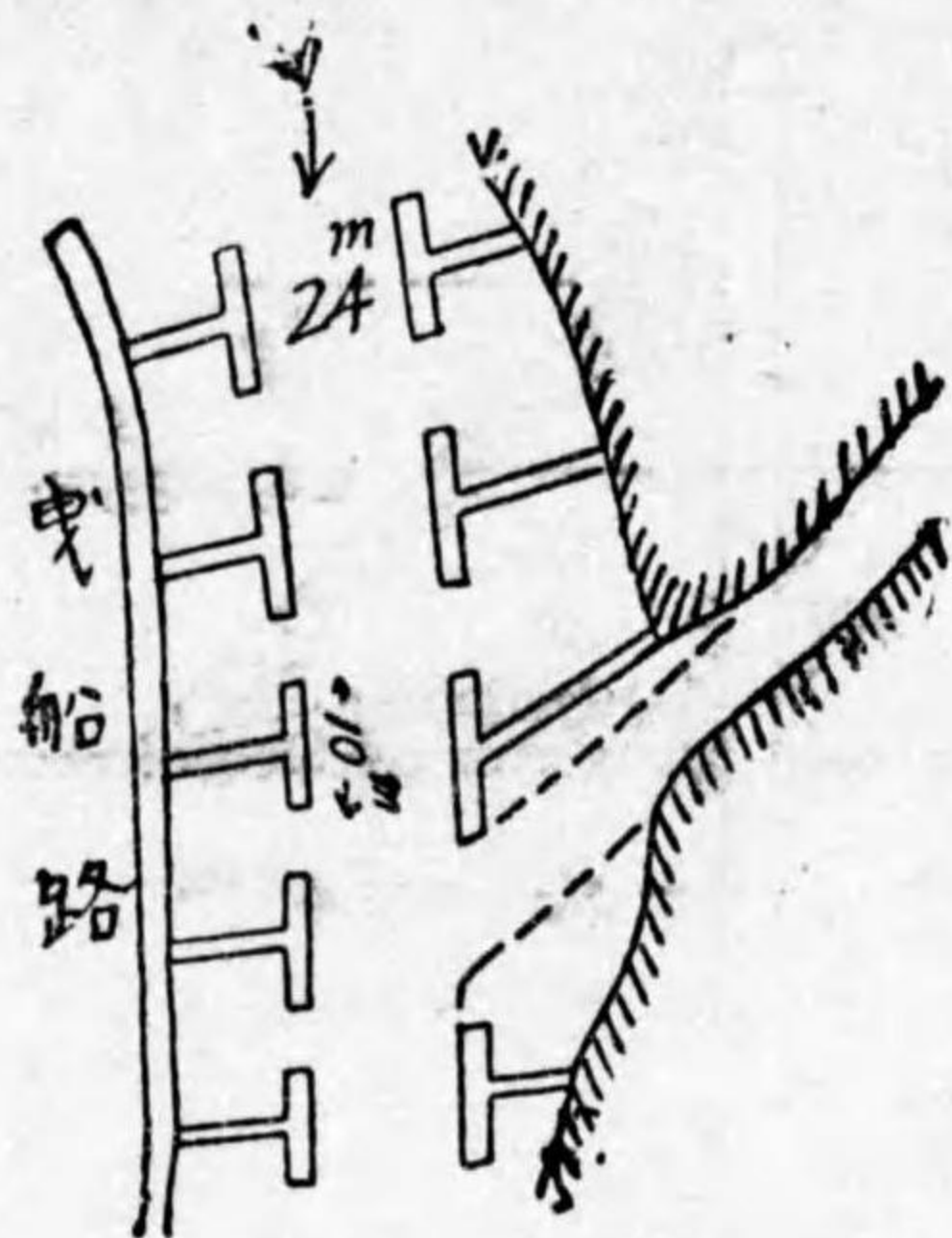
若し $\beta = 1$ ならば

$$B_1: B_2 = 1: \left(\frac{n}{m}\right)^2$$

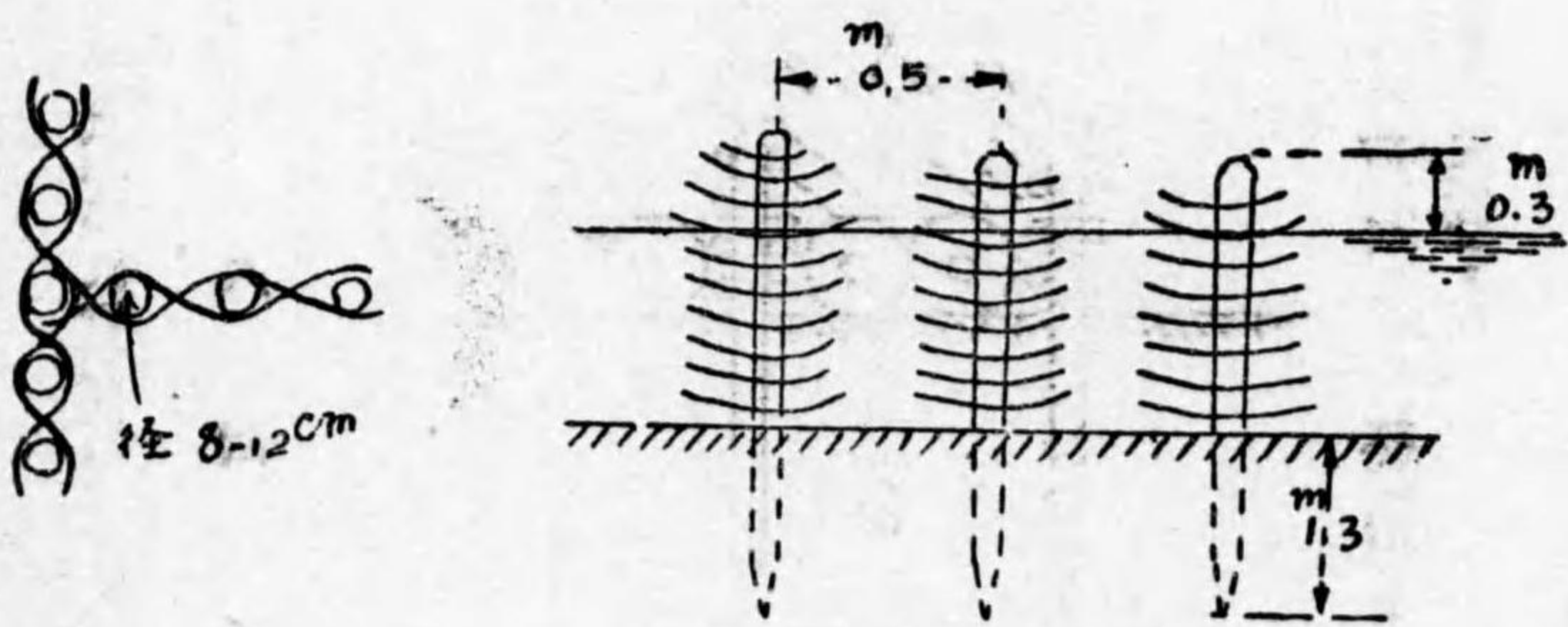
第六節 外國河川改修の實例

(一) ミドゥズ河 (midouze) ミドゥズ河は佛蘭西と西班牙との國境を流れる河である簡単な工事により改修の目的を達した一例として此處に擧げたのである。

此の河は船の通航し得る箇所の延長約十里此平均勾配三千三百分一である、而して該箇所は幅が廣過ぎ且急彎曲部が存在するので此二點を改良せんとした。深さは〇・七五米で足り幅は勾配の緩急により二十二米突乃至二十八米突を要する第百五圖に示したのは二十四米突に狭められたに丁形の水制工を施した所である其構造は第百六圖に示す様で徑八乃至十二浬の杭を地中に打込み之れに



圖五百第



第六百圖

柵を組む而して右の構造を有する者の間に尙簡單な構造のもの即柵の代りに木の枝付を杭に打付けたるもの二を使用する、工事は簡單であるが河が小であるから水は中央に集り岸には沈澱を生ずるに至つた、水制は下流に向つて十分一傾けた。

(三) ガロンヌ河 (Garonne) ガロンヌ河は佛蘭西の國ポルドゥ附近を流れる河である此改修は支流ラロッドの合流點から其下流七十浬の地點に及び、水面勾配は八千分一乃至千分一で所々に急彎曲部がある、岸は次第に崩れて耕地を浸す状態にあるので改修の主目的は護岸にある、改修

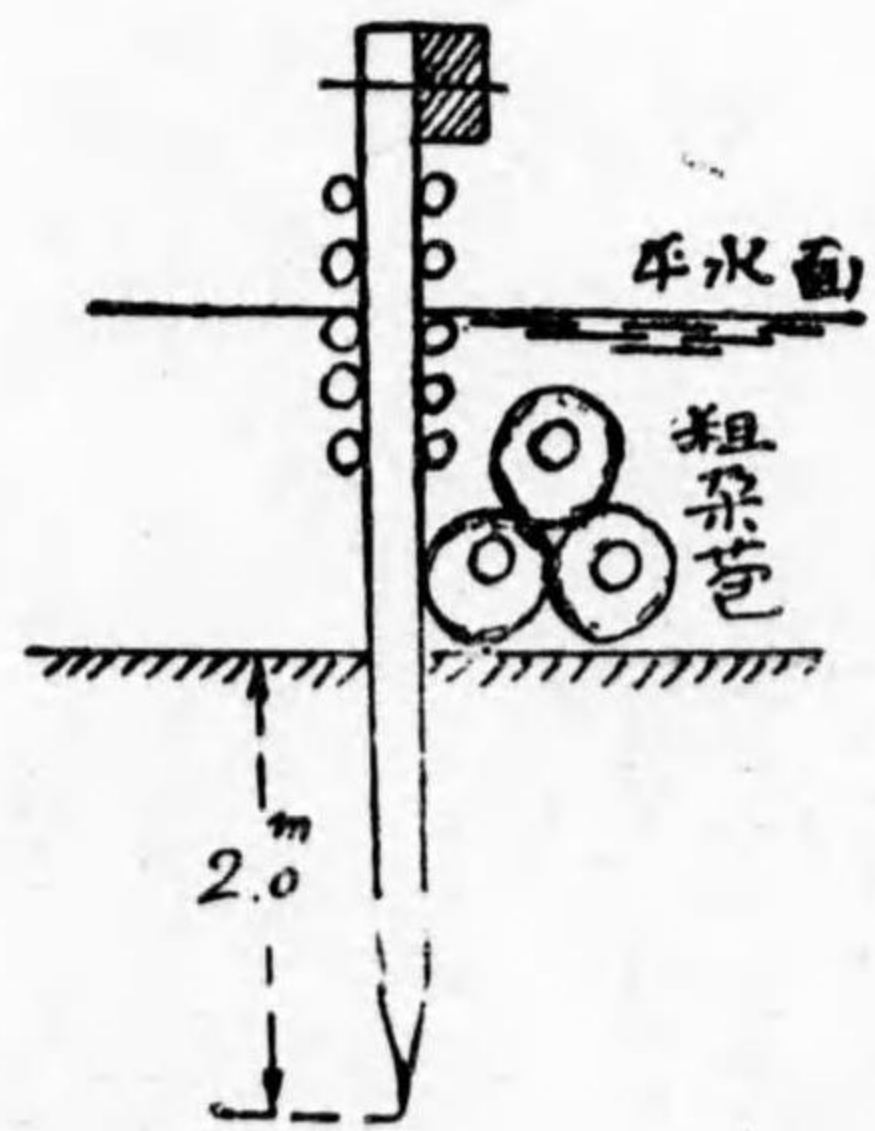
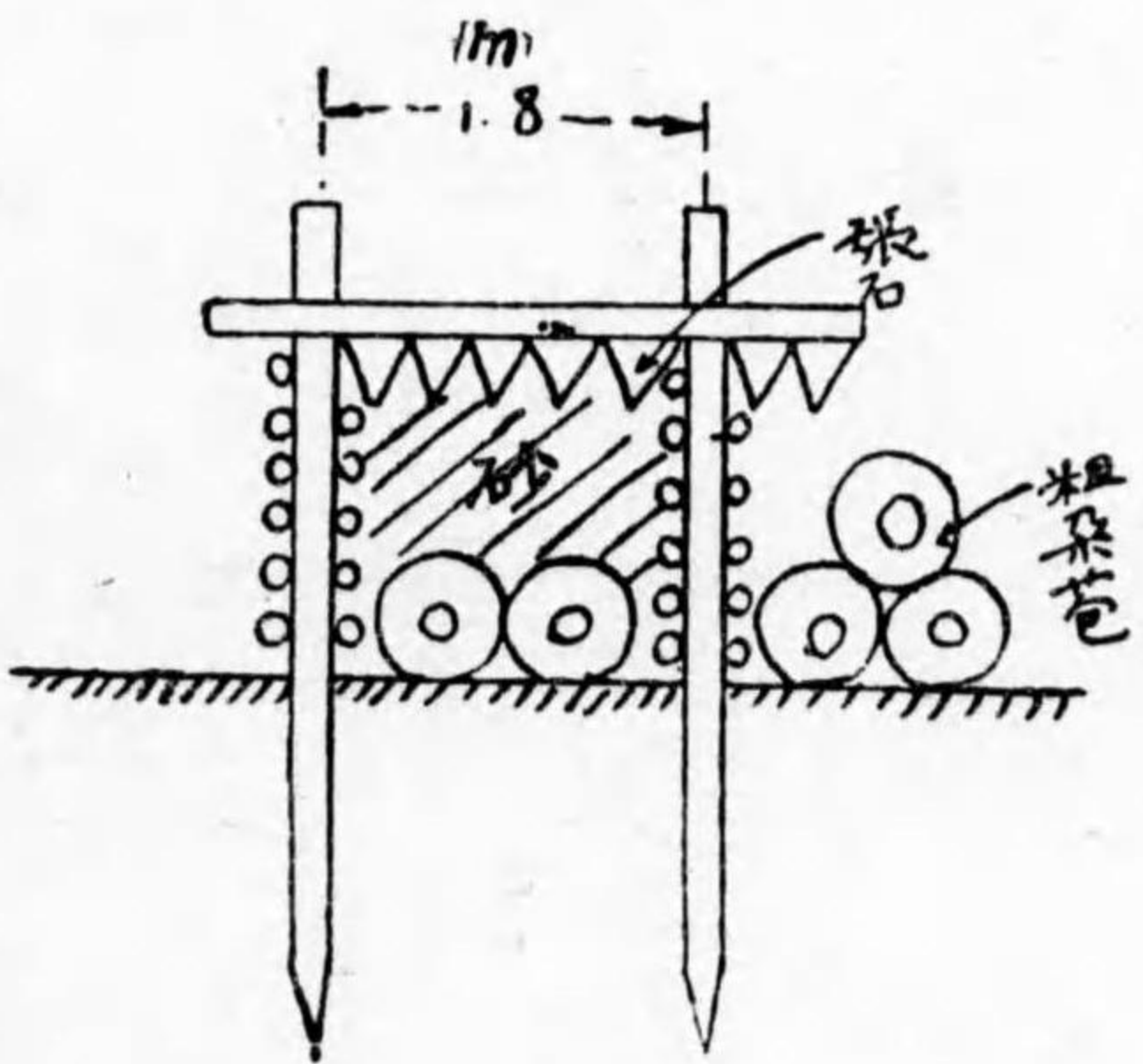
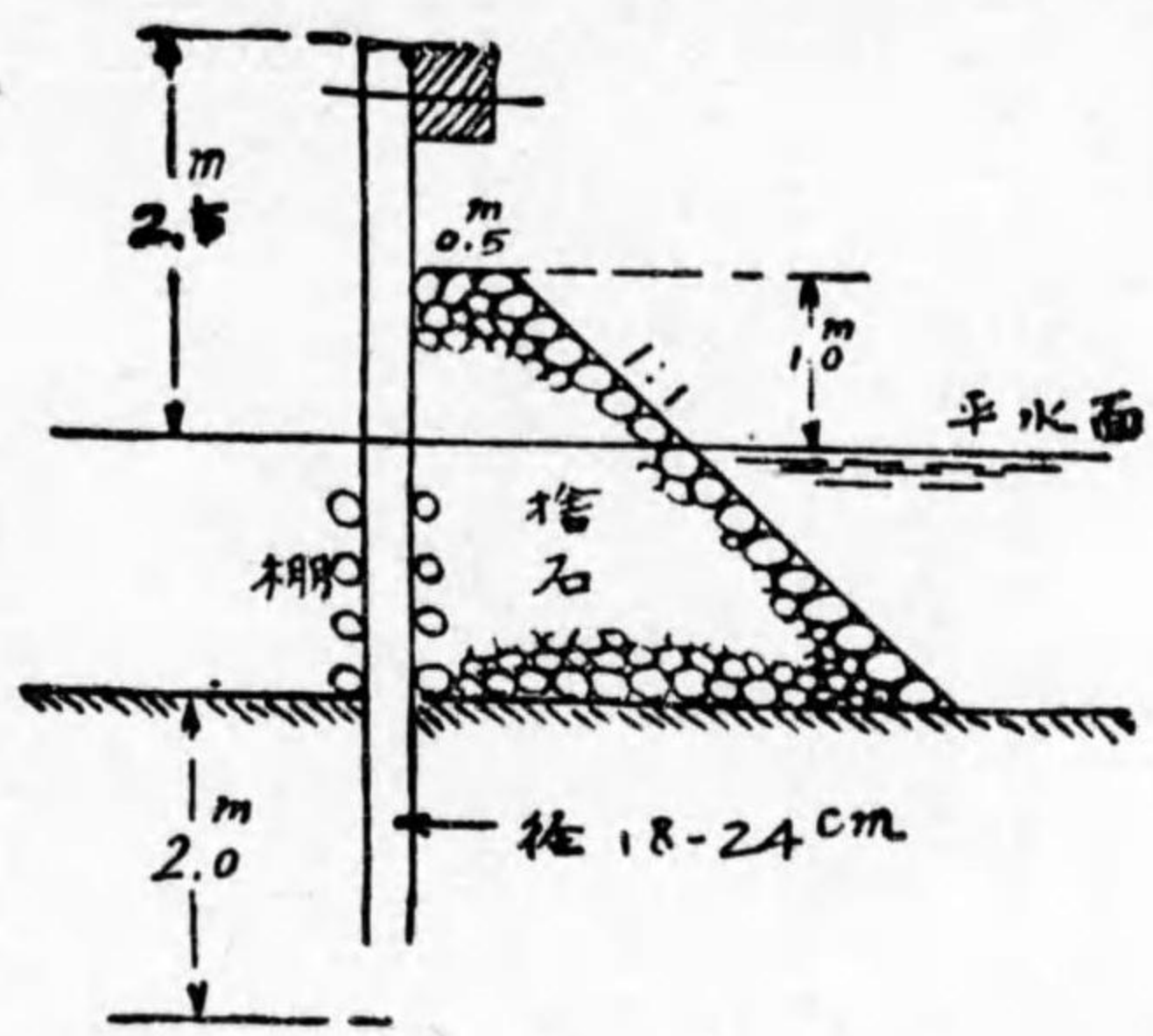
工事には縦工と横工とを兼用した。

縦工は百七圖に示す様な横断面を有してゐる杭の頭には貫を釘で打付ける此れは水深が一米突以下の場合

第百七圖

第百八圖

第百九圖



であるが此れより深い場合には捨石を節約するため捨石の心に粗朶苞を用ひる。横工は第百八、九兩圖に示す様な構造で前者一箇所に對し後二者二箇所の割合で設置する。

第七節 本邦河川改修實例

我國の河川改修事業は維新前にも行はれたが維新後に行はれたのは明治七年五月澱川改修に着手したのを始めとし漸次各川の工事を起し十八年六月迄に十四大川の工事を施行した然し此工事は全水路を通じて大修築を行つたのではなく亂流の部分へ制水工を施し水源の禿山に砂防工を行ふに止つたが其設計は雇外國工師及本邦技術官の手により成り總て新式の工法を用ひ全く舊慣工事の面目を一變した、八年度から十九年度迄支出した工費は約三百萬圓で一箇年度平均廿五萬圓餘である。然るに十九年には澱川以外の河川に對し新修築の計畫を立て廿年度からは毎年の土木費を百五十萬圓と定め其中八十五萬圓を以て各川修築費に充てるにことになり廿年度から新計畫に基いて起工し爾後豫定の工事を進行せしめたので廿八年度迄に六百七十餘萬圓の工費を支出した、新計畫の目的は水制工や併行工を設け河川各部の水量に應じて其幅を制限し又水深を定めて航行に便ならしめ又は洪水量に適する河幅を測定したり高度を制限したりして洪水汎濫の患を除き又護岸工を施し堤防の決壊を豫防する等で從來の低水工事と共に高水工事をも實施する事となつたが廿九年四月河川法が公布せらるゝと同時に澱川、筑後川には従前の工事の外更に高水工事を目的とする改修工事を行ふこととなつた、卅三年度になつて庄川九頭龍川の改修工事を起し且利根川には舊修築工事の殘部と高水工事とを併せ行ひ卅九年度には遠賀川の改修工事を起したので工費は廿九年度乃至卅九年度に於て三千六十二萬圓を費した其後四十年には澱川下流工事及利根川第二期工事に着手し又新に信濃川の分水工事及吉野川高梁川の改修工事に着手し尙四十二年には利根川第三期工事に着手し四十三年度には渡良瀬川の改修工事に着手した然るに四十三年に於て大水害が起つたので治水計畫の完整を圖らんがため新に臨時治水調査會を設けた而して右會は河川法に依り國の直轄として改修を要すべき河川を六十五箇川と定め其計畫を二期に

別ち利根、信濃、木曾、澱、九頭龍、吉野、庄、高梁、遠賀、北上、雄物、荒、阿賀野、富士、最上、神通、岩木、加古、緑、斐伊の廿箇川を第一期とし其他の四十五河川を第二期とした而して第一期河川は四十四年度着手大正十七年度迄十八ヶ年間に全部完成すること、議決したので政府は直に其治水計畫を採用し既定年割額を改定し更に治水事業費の豫算を定めた此豫算は明治四十四年度から大正十七年度に至る十八箇年間の繼續費で總額一億七千餘萬圓であり其中で利根川の二千六百八十二萬圓が一番の大頭である。大正十年になつて再び新に臨時治水調査會が招集され左の決議を行つた、即ち(一)河川改良費を以て改修中の河川の外尙は五十七河川を大正十一年度以降二十ヶ年内に改修すること(二)政府は既定及新規計畫の河川改修費砂防費調査費及び研究費として將來國費三億七千萬圓を支出すること。

次に改修工事の二三の實例を擧げて見よう。

(一)利根川改修工事 本工事は明治卅三年度から大正十二年度に至る廿四箇年の繼續事業で總工費四千參百萬圓を以て群馬縣佐波郡芝根村以下海口千葉郡銚子町に至る五十一里間及派川江戸川並中川に於ける改修工事を施行するものである。

利根川は流域面積千廿二方里水害區域十四萬町歩あり最近十箇年の平均損夫價額は農作物堤防等のみでも八百萬圓に達し之れに間接の損害を加へたならば可成りの多額になるであらう而して洪水の原因は色々あるが其主因と認むべきものは河川の不良流積の不足及河床が年々埋没して行くことである依て本計畫では本川の流量を左の如く定め之を快流する河積を保たしむることにした。

芝根村以下江戸川分流口に至る
 毎秒立方尺
 二〇〇、〇〇〇
 江戸川へ分流
 八〇、〇〇〇

江戸川分流以下鬼怒川合流口に至る
 一一〇〇〇〇
 鬼怒川合流口以下海に至る
 一五五〇〇〇

本川の堤防は右の流量を標準とせる水位以上五尺乃至六尺の高さを保たせるものである元來廿萬立方尺の水量は五年乃至十年毎に襲來する最大高水を標準としたものであるが明治四十三年の洪水の如きは廿五萬立方尺に及んだ位であるから如斯場合に處する爲め充分の餘裕を設けた次第である。

第三期工事區に屬する芝根村以下赤岩に至る間は利根川が高原部から始て平地に出た部分で氾濫部に屬し河幅は擴がり砂礫は沈澱し而も尙急流であるから洪水毎に水路を變じ兩岸には舊堤があるが斷續不同で河川は最も險惡である故に本改修計畫では大略現川を中心として三百間の河道を設け法線内は掘鑿を施し所要の河積を與へ尙兩岸二百間の堤外地を存せしめて遊水區域とし危險性の河川に備へた堤防は計畫高水位以上六尺の餘裕を與へ其馬踏は四間川表法二割とし二間の小段を附す川裏には馬踏から六尺及十二尺の處に各幅二間の小段を附し第一小段迄を二割法以下を三割法とした。

赤岩以下取手に至る間は三百間の河幅を標準とするが此部分は河川比較的良好であるから大體現川に依り河幅を擴張し尙現河幅に餘地ある部分は舊態に委ね可成河積に餘裕を與ふる様にした次に支川鬼怒川は從來本川に直角に合流して居たから合流點を少しく引下げることにした。

取手以下佐原に至る間は第二期工事區で矢張三百間の河幅を標準とするが布川布佐兩町間の狹窄部は河幅の擴張を許さないので浚渫を以て河積を補ひ取手下流の小堀及安食町の屈曲は之を付換へ尙高岡村以下佐原町に至る間は河川亂雜であるから稍直線に舊川を縦貫して河道を設けた。

佐原以下海口に至る間は第一期工事區に屬し河幅は佐原附近は三百間であるが下るに従ひ漸次之を擴張し改修區の末端では五百間とする本區の状態は左には霞ヶ浦、北浦等の湖水を控へ又下流部には廣大な寄洲が

あつて流水は亂流を極め高水の際は沿岸一帯に浸水延て上記諸浦に及ぶので一條の河道を設けることにした。

派川將監川は其分派點を締切り且流末の本川に合流する箇所には樋門を設け洪水の逆流を遮斷する故に將監川に吐口を存する印幡沼は自然洪水を免れることになる其他平賀沼及長沼の落口にも逆水止樋門を造り是等各沼沿岸の水災を根絶することにした。

佐原町の對岸横利根川は之を遮斷し利根川高水の霞ヶ浦に波及するを防止遮斷箇所には閘門を設け本川及湖間の航行の便を斷たない様にした。

江戸川は山王堂地先から新川を開鑿して之を分流させ其流頭には床固工を施し洪水の注入積を規定し尙低水路には開閉自在の洗堰を設け其低水量に節制を加へると同時に洪水量の一部にも節制を加へる様にした。

二荒川改修工事 本工事は上下流の二工事に分かれ下流工事は明治四十四年度から大正十二年度に至る十三箇年繼續事業で總工費千五百萬圓である其施工區域は左岸埼玉縣川口町右岸東京府岩淵町以下海に至る約六里である又上流工事は大正六年度から大正十六年度に至る十箇年繼續事業で總工費千四百萬圓で其區域は埼玉縣武川村以下同縣川口町に至る約十六里である。

荒川の氾濫は田園に被害あるの外帝都を浸す點に於て重大である、下流は帝都を貫いて流れる關係上之れを擴げる事が困難であるから計畫としては川口町から新に一大放水路を開鑿し高水の大部分を之に導いて現川の氾濫を防ぎ帝都を洪水圏外に置き又現川並其河口に於ける土砂の埋塞を輕減し航路を改良するのである。

改修工事の實例を挙げれば限りがないから此の邊でやめて置く詳しく調べたい方は内務省土木局から出版する直轄工事年報を御覽下さい。

第五編 堰 開 法 (Canalization)

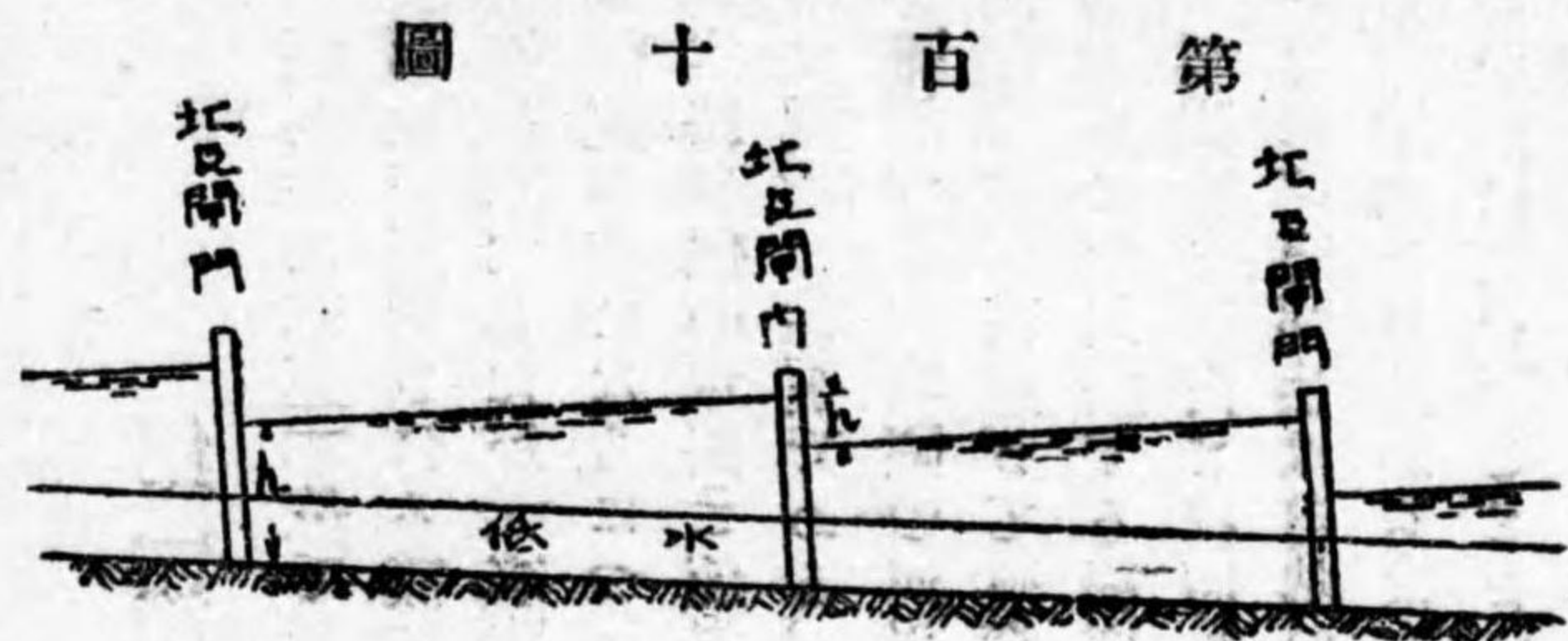
第一節 總 說

堰開法は航運本位で行ふものである、河川を航運の目的に利用することは歐米各國で盛に行はれる、殊に堰開法が實行される様になつてから其發達は目醒しいものがある、然るに鐵道が發達して以來内地航運は一頓挫を來たしたが元來陸運と水運とでは貨物の性質が異なるし且水運による運賃は低廉であるので自然に回復し陸運の盛になるにつれ水運も盛になる様になつた。

水路は他の水路と連絡することが必要であり又内地深く入ることが必要である尙内地航運の發達を促すものは貨物の性質である、即石木材石炭等を多く産出する地方工業の中心地に原料を供給する地方等には航運が發達する、我國の河川は不幸にして水深が不充分であつたり其他の原因で小部分のみ可航であり又甲乙二川間の山は高過ぎて兩者を運河で連結することが困難であるから運河は發達してゐない只都會と工業地、工場と川とを連絡する程度の運河が作られるに過ぎない。

堰開法と運河とは何れが有利であるかは一概に斷ずる事は出來ないが一般には堰開法の方が有利である何となれば堰開法は自然の川を利用するのであるが運河は別に河を掘るのであるから良き土地を潰す缺點がある。洪水の見地からは堰開法は河中に障害物を造るから宜敷ない堰開法では河に流れがあるが運河は流れがない故に河を下るときは堰開法が有利であるが溯るときは運河が有利である。

第二節 一般裝置



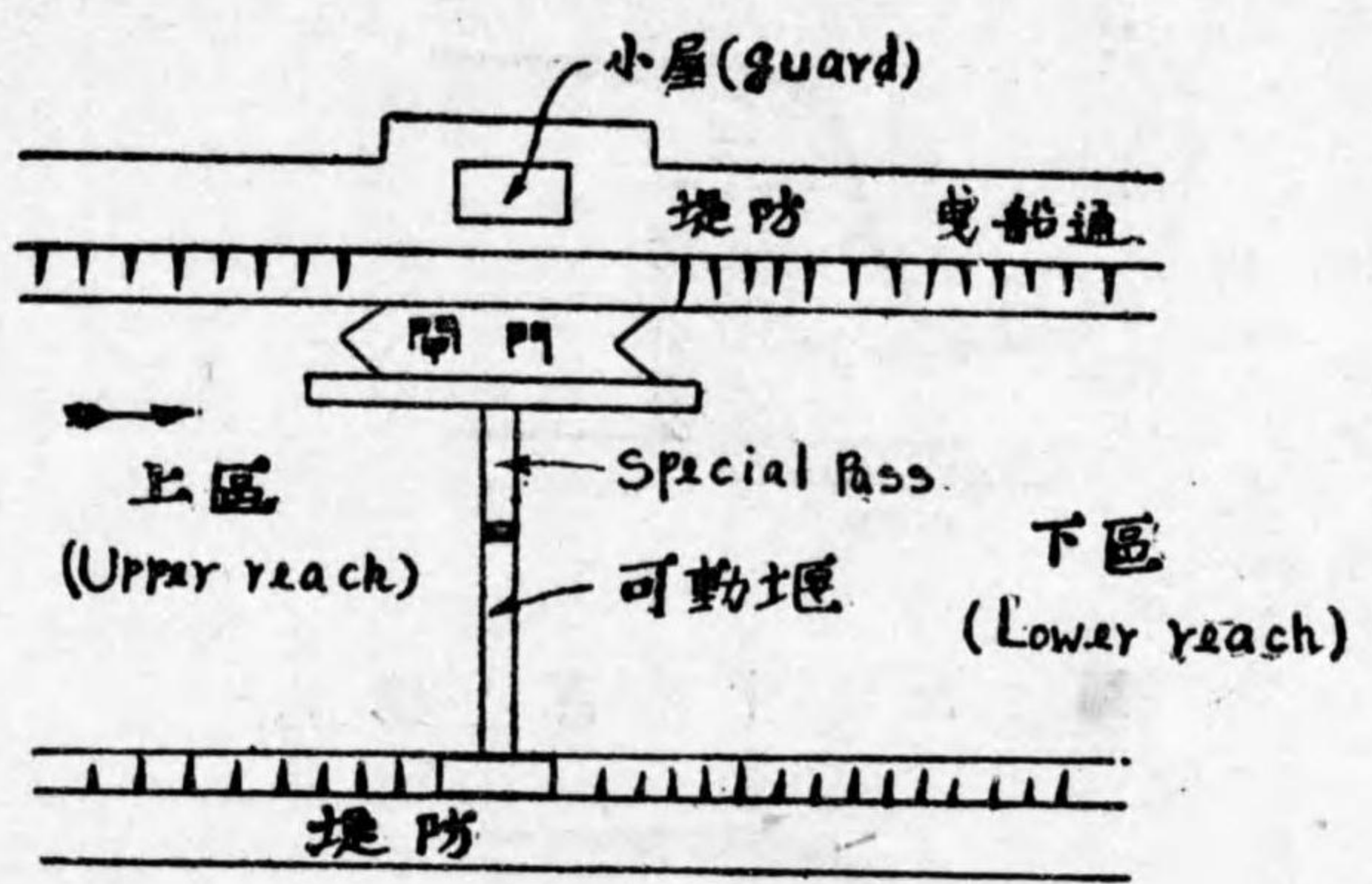
堰閘法を用ふる河川は航運に對し水深が不充分なものに限られるのである即浅い所に堰を造つて水深を充分ならしめて不可航な部分を可航ならしめるのが堰閘法の主眼である。第百十圖に示す様に堰を造れば上流水面と下流水面との間には水位の差(ん)を生ずるが此差はあつても閘門の作用により自由に船を通ずる事が出来るのである。つまり堰(Weir)と閘門(Lock)との作用により普通ならば不可航なる可き河川の部分を可航ならしめる方法であるから堰閘法と言ふのである。

堰の高さは多く附近の土地の高さより定まる。堰により水位を上げると附近の土地の地下水位が昇る其の結果場所によつては作物に害を與へる事がある又洪水の際は堰を取拂ふ様にするのであるが取拂つても尙多少の障害を惹起すものであるから此注意も必要である。此他船の要求する水深、水量、河川の縦断面は堰の高さを決定する要素となる。堰は最初鑄鐵製で高さは二米突位であつたが其後鋼鐵を用ひる様になつてから四米突位の高さのものを造る様になつた、高さが高ければ堰の数は少くて足り船は迅速に通行し得るの利がある船の通行が頻繁であればある程閘門で待合はす時間が永くなる。但し餘り堰を高くすると堰の工費が割合に高價となるから宜敷ない普通用ひらるゝ落差(ん)は三米突前後である。

堰の高さが定まれば堰と堰との間の距離は船の吃水により自然に決せられる、洪水の勾配は水平ではないが水平と見れば安全である、時としては浚渫により水深を増し堰間距離を遠くすることもある。

堰を設くる位置は特に浅い所基礎の良好な所が良い、水車の吐口下水の吐口又は橋梁の下流に堰を設くる

第百一十圖



のは避けるが良い尙町の中には成る可く堰を設けぬが良い。船が堰による水位の差を閘門により打勝つ事は前述の通りであるが筏の通行頻繁な場合には別に筏通(Raft pass)を造り又魚の通行の爲には魚梯(Fish pass)を設ける。

堰及閘門の装置は普通第百十一圖に示す通りである、圖に示す様に堰を自由に取拂ひ得る様(可動)ならしめるときは増水の時間間の作用を待たずして航行する事が出来大に時間を節約することが出来る、閘門の事に關しては第六編運河の部で述べることにする。

第三節 固定堰 (Solid weir)

堰には固定堰と可動堰とある、固定堰は極めて稀に造られるに過ぎない。

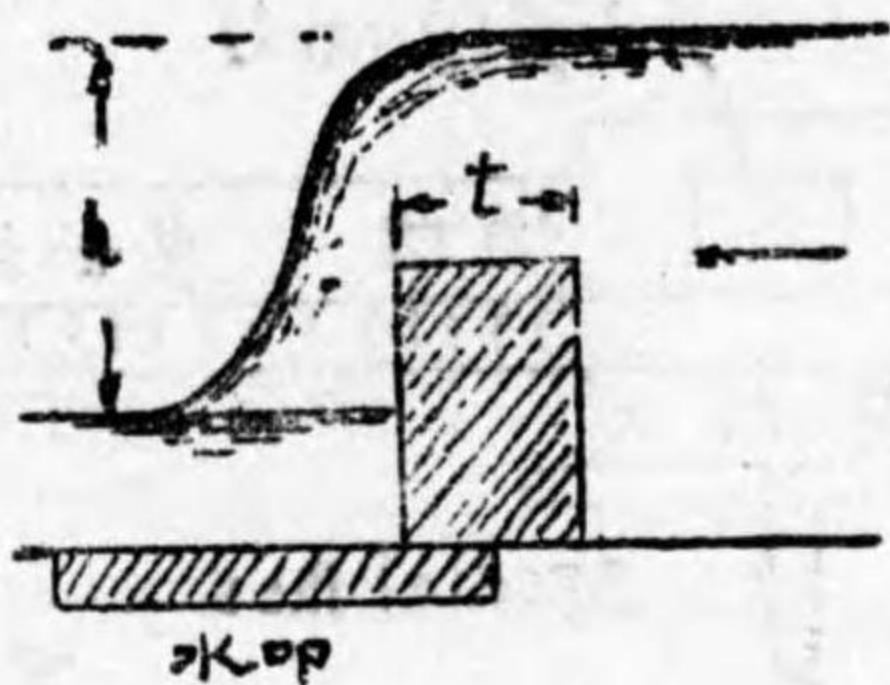
固定堰は上流に砂礫を沈積すること少なく且つ深く掘れた川で高水を堰き止めても上流に何等の害を及ぼさない場合に應用される。

固定堰は通常低くする、之れは洪水の害を少くする爲である、尙洪水の害を少くする點から堰を流れに斜に設ける事がある、斯くすれば堰の長さが長くなるから溢流の深さが浅くなる。

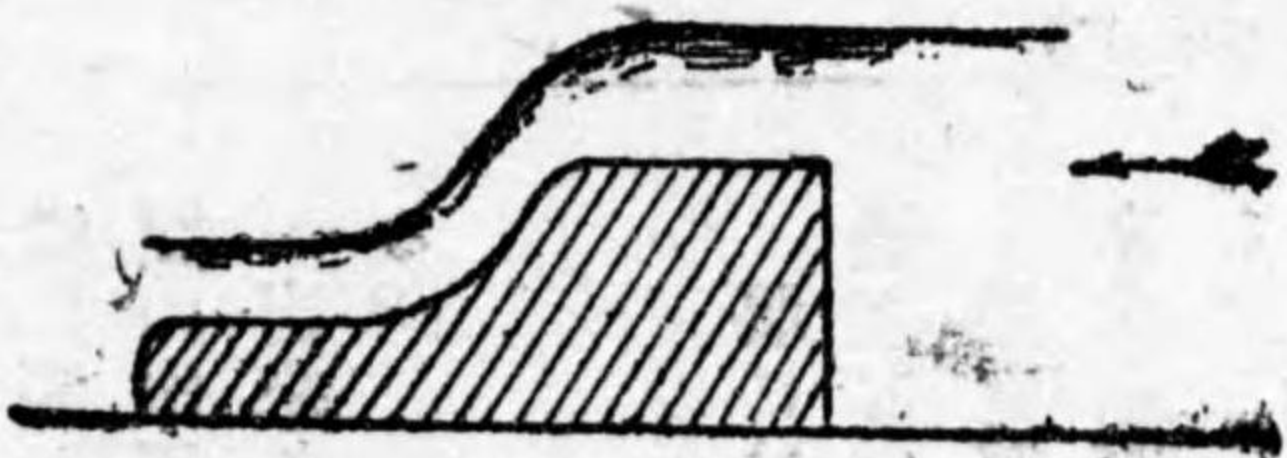
固定堰には二種類ある一つは第百十二圖の様に前法が急なもの

では第百十三圖に示す様に前法が緩なものである。

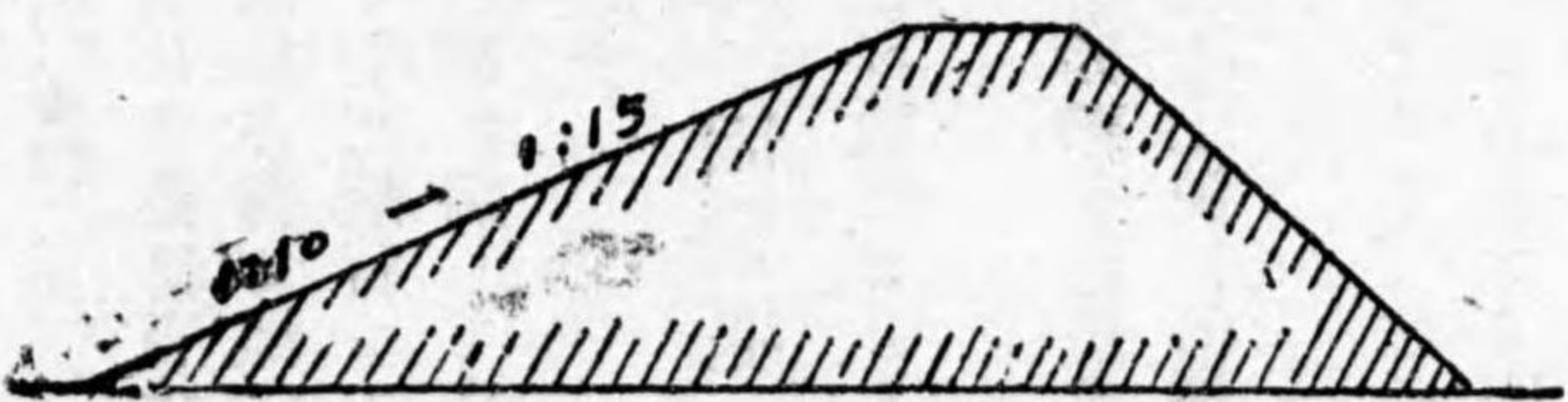
第百二十圖



第百三十圖



第百四十圖



前者に於ては堰の下流は落下する水の爲めに侵蝕されるから水叩を設ける必要がある。而して堰の厚さ(t)は落差(h)と等しくするのが普通である、此種の堰の得點は水叩の部分の水が混亂される許りで其れ以下の水には餘り影響を及ぼさない事にある、水叩は張石又は捨石をする、水叩の長さは20%位にとる、此種の堰は基礎の良い所に用ひられる。後者に於ては越流は傾斜したる前法により静穩に導かれるが下流暫らくの間は流れが強くなる缺點がある、構造の上から言へば此の種の

堰の方が容易である。

第四節 可動堰 (Movable weir)

可動堰は丈夫な基礎の上に造られる基礎の高さは出水時に害を惹起さざる程度にし高くとも河床上一尺の高さに止むるが良い。可動堰には種類が多い、次に各種の可動堰に付て簡單に述べる。

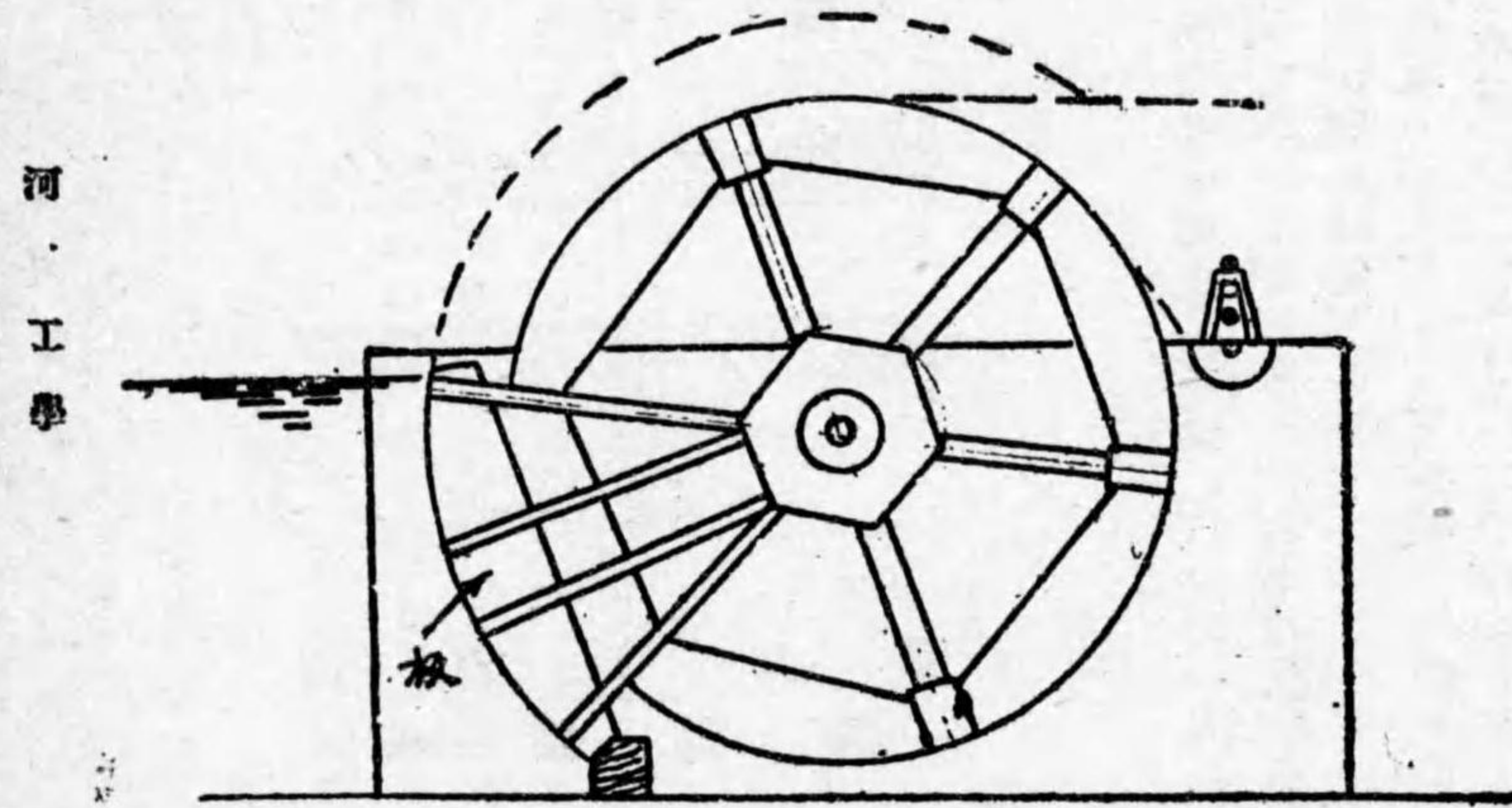
(一) 樋門堰 (Sluice gate weir) 此れは直立せる二本の柱があつて之れに戸が上下する様になつて居る主として灌漑用として使用され航行用としては幅も高さも不充分である航行用としては整調装置 (regulator) の用をする。

(二) 揚扉堰 (draw-door weir, Stoneys Rolling weir) 併し此型が發達し兩方の木柱の代りに石の柱 (pier) を用ひ徑間を長くし鐵の扉を使へば航行用として差支ない之れを揚扉堰といふ此の種の堰では扉を充分高く揚げる必要がある扉が大きいときは扉の受ける水壓の總和は大となり従て扉を引上げるに大なる力を要するからローラーや對重 (Counter weight) の力を藉りなければならぬ。

(三) 水平軸の周圍に廻轉する扉を有する可動堰

此式の扉に於ては水平軸が航行の邪魔になるから軸は充分高い所に置かなければならぬ故に此れは古くから寧ろ整調装置として使用されてゐる。此種の堰中古から用ひられてゐるのは第百十五圖に示す Segmental gate weir である此れは弓形の内側から水壓を受け之れを開くには動力 (Power) の處で巻揚機 (winch) を巻けば扉は軸を中心として上に揚がる、之れと同じ原理で弓形の外側から水壓を受ける構造のものがある之れを Movable crest weir と言ひ米國で用ひられ第百十六圖に示す様に上部丈を可動にしたもので此の扉を Tainter gate 又は Butterfly gate といふ上方に桁があり其上に起重機を備へ切線的に引上げる之れは對重により平衡されない平衡せざるには Lug balanced gate を用ひる之れは第百十七圖に示す通りで車を起重機で廻せば板

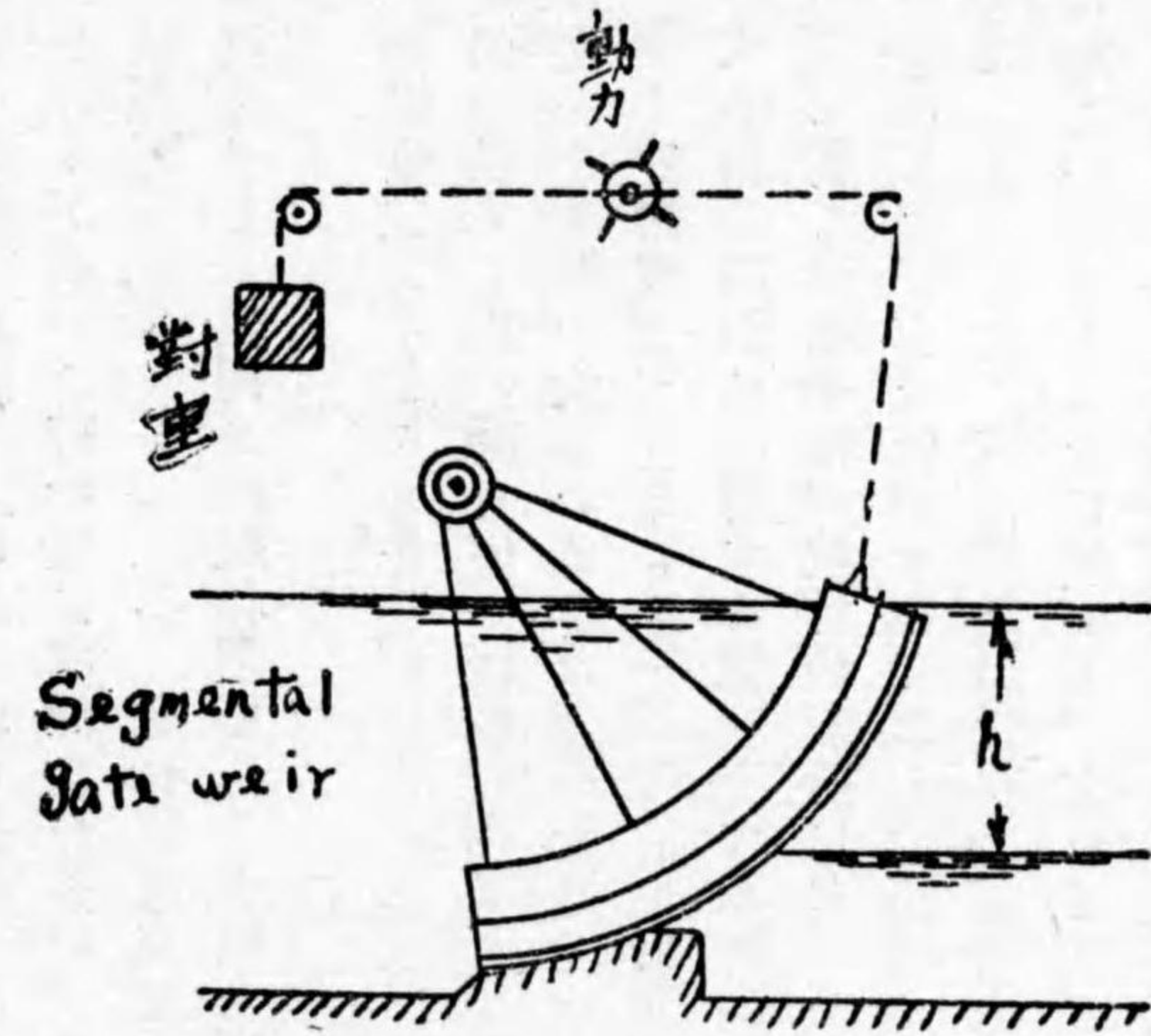
第百十七圖



河工學

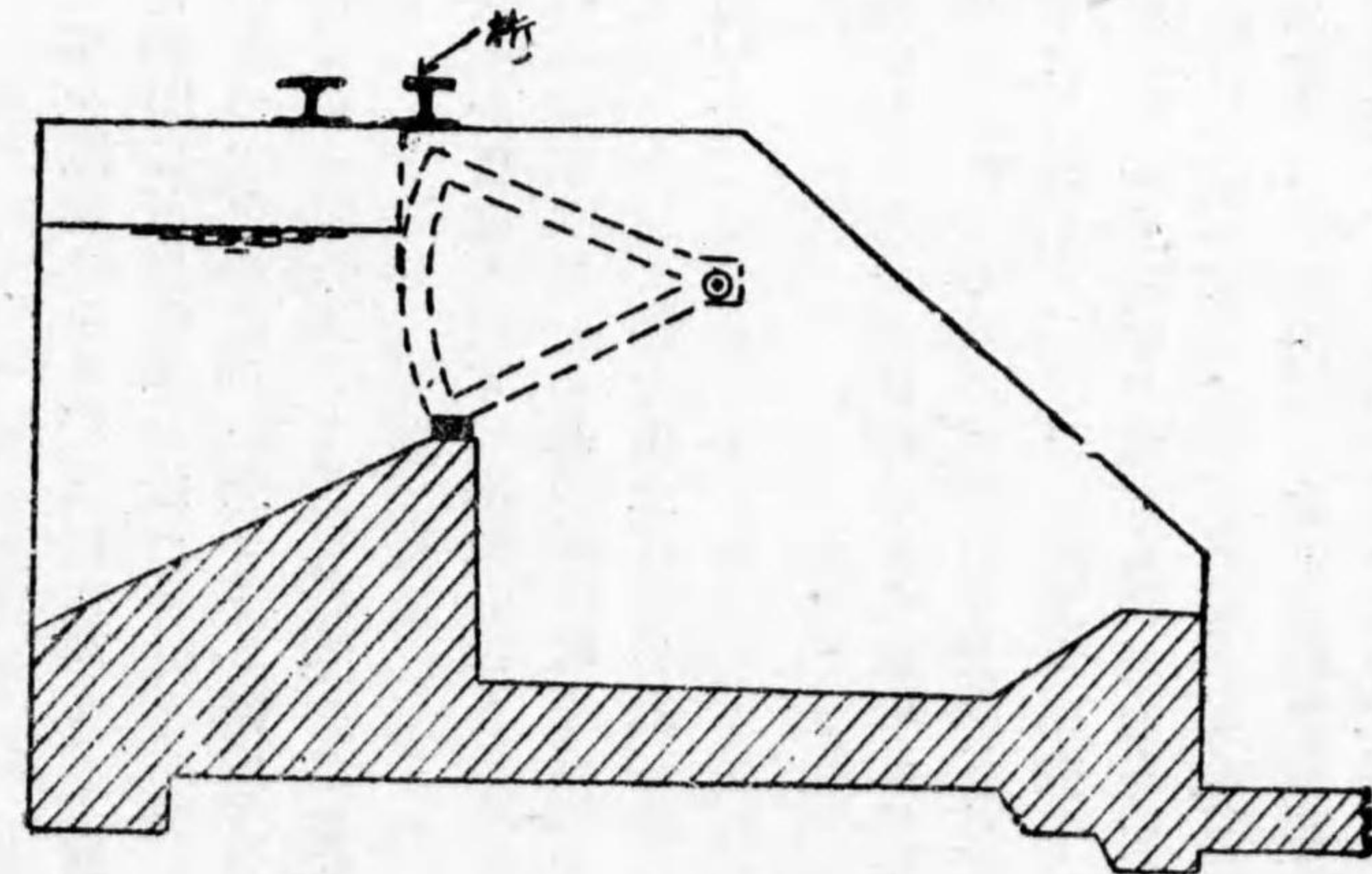
を張つた弓形の部分は點線の様に揚がる此の式なら柱と柱との間に水平の廻轉軸を要さないから航行上甚だ都合が良い。
 近來轉堰 (Rolling dam) と言ふのが出來た堰體は鐵板から成り形は圓鑄形である之れが傾斜した板の上を常によく引上げられる様になつて居る普通傾斜板には齒軌條 (Rack-rail) があり圓鑄には齒があり圓鑄を起重機で曳くと圓鑄の齒と齒軌條とは啮合つて昇つて行く此堰の得點は邪魔になる廻轉軸が無いので大きな口を開き航行上便利であり尙水の洩れが少い事である此堰の徑間は三十五米突位に迄及ぶ。
 (四) 板堰 (Flash-board weir) 之れは角落とも言ひ多く整調装置として用ひられる堰體は木の角桁より成り之れを第百十八圖に示す様に溝の中に落とし込み水を堰く此桁は一本一本上げ下ろしをすること第百十九圖に示す通りである徑間は本桁である關係上餘り長くすることは不可能で普通三乃至六米突位である琵琶湖の出口にある瀬田の洗堰 (板堰の事を洗堰とも言ふ) は澱川の洪水量を調節するに用ひられ徑間は十二米突ある、角材を一本一本上げ下ろしするのは時間がかかる之れを早く開け様とするには溝の深さを充分にし (第百二十圖) A端をBの位置迄動かせば角材は外れて流される尙早く開け

第百十五圖

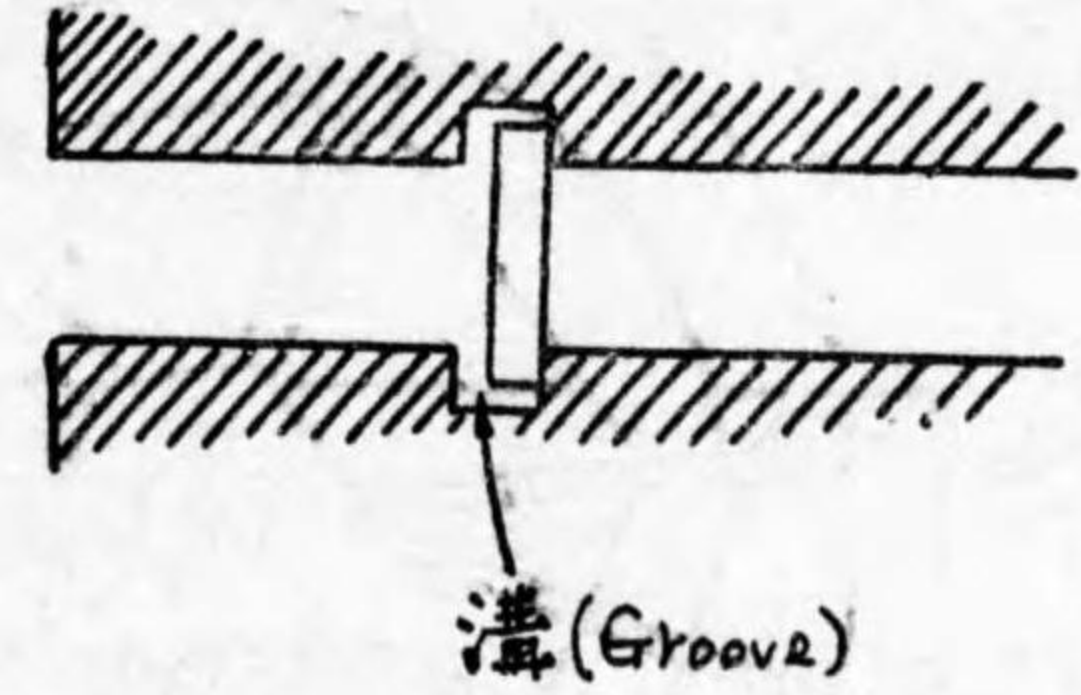


河川工學

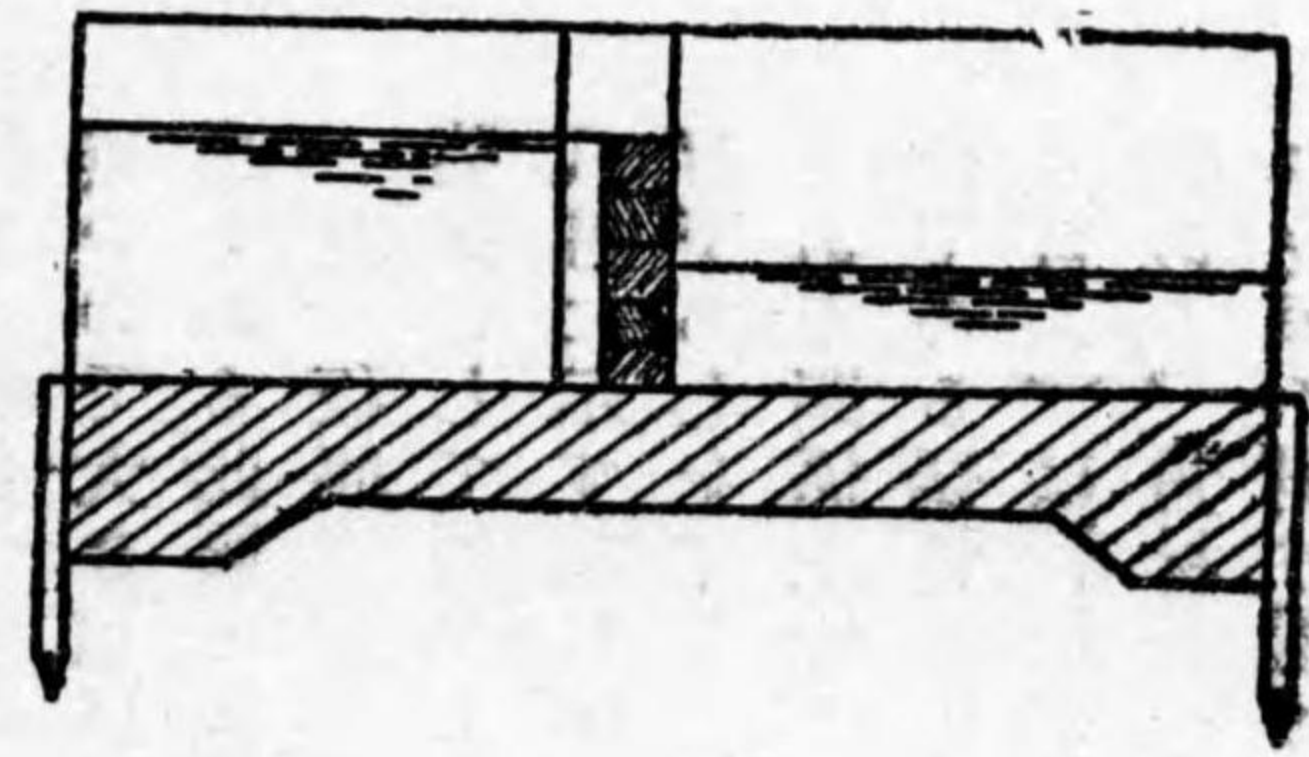
第百十六圖



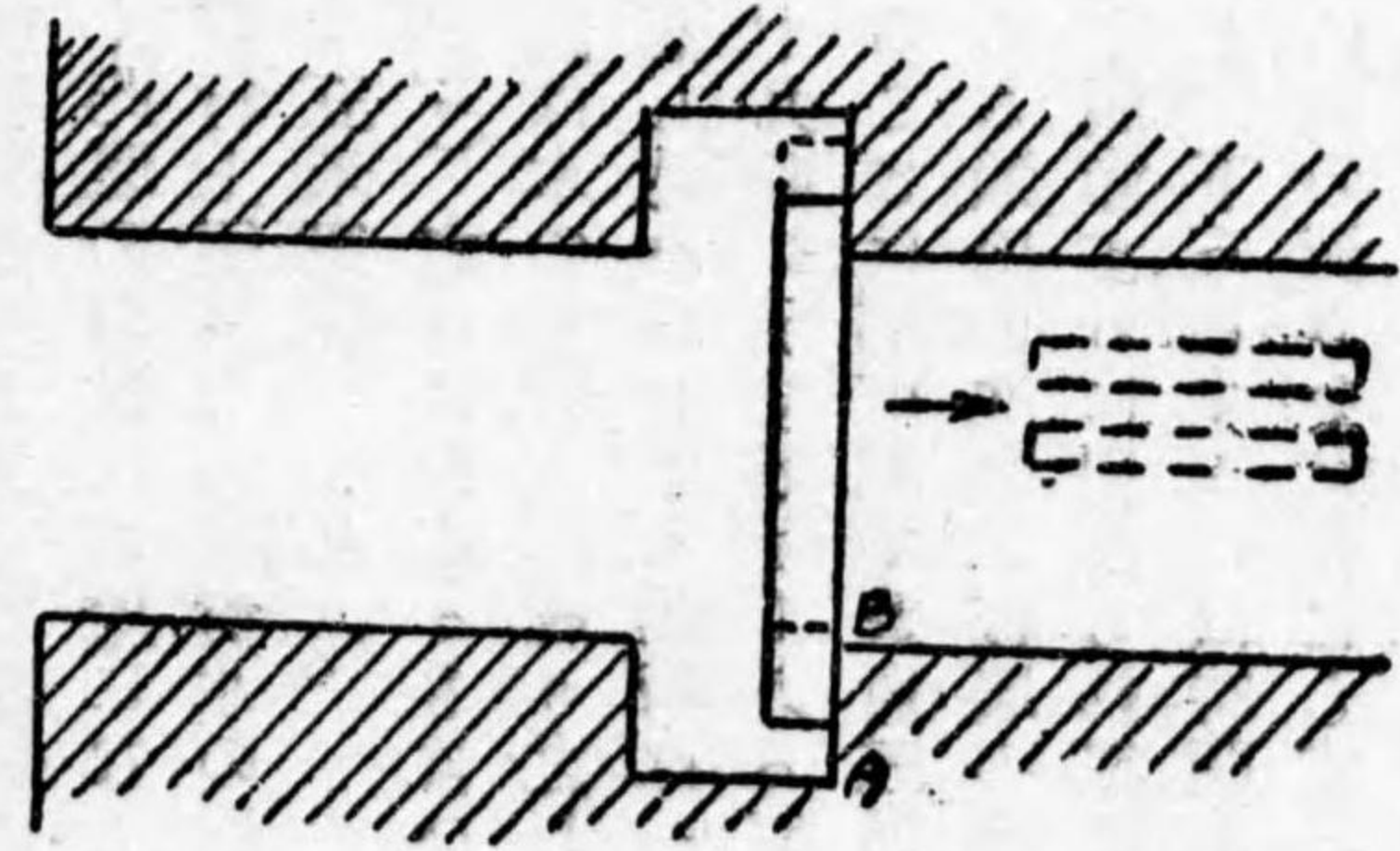
第百廿八圖
平面圖



第百廿九圖
橫斷面圖



第百三十圖

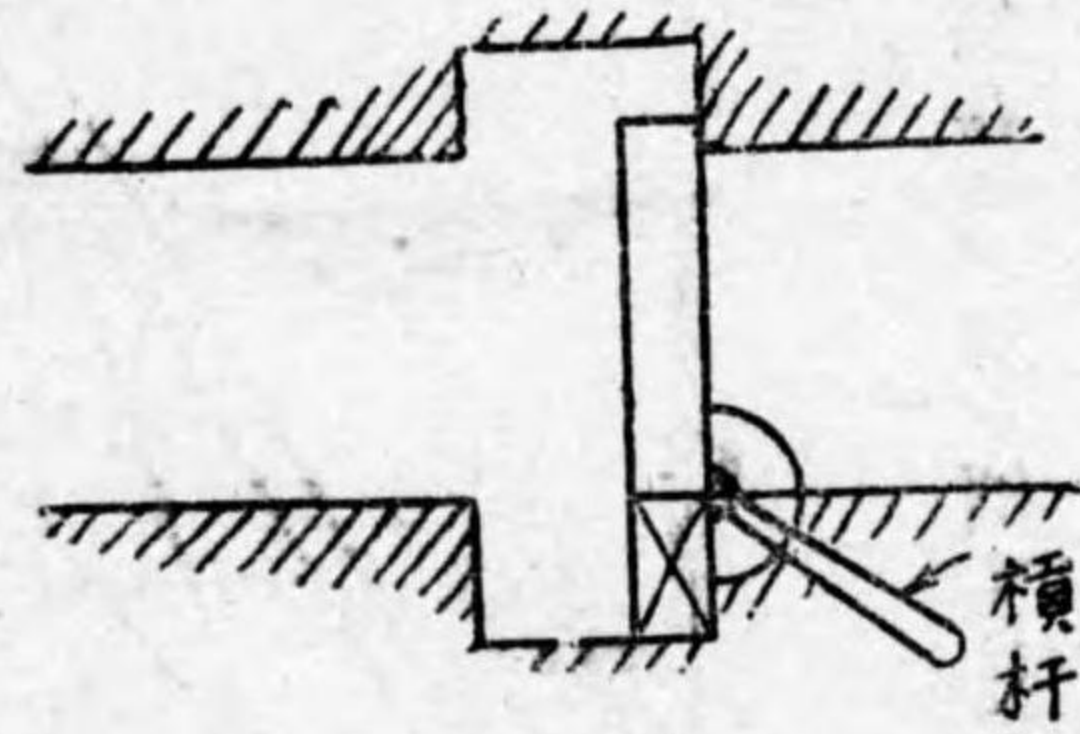


120

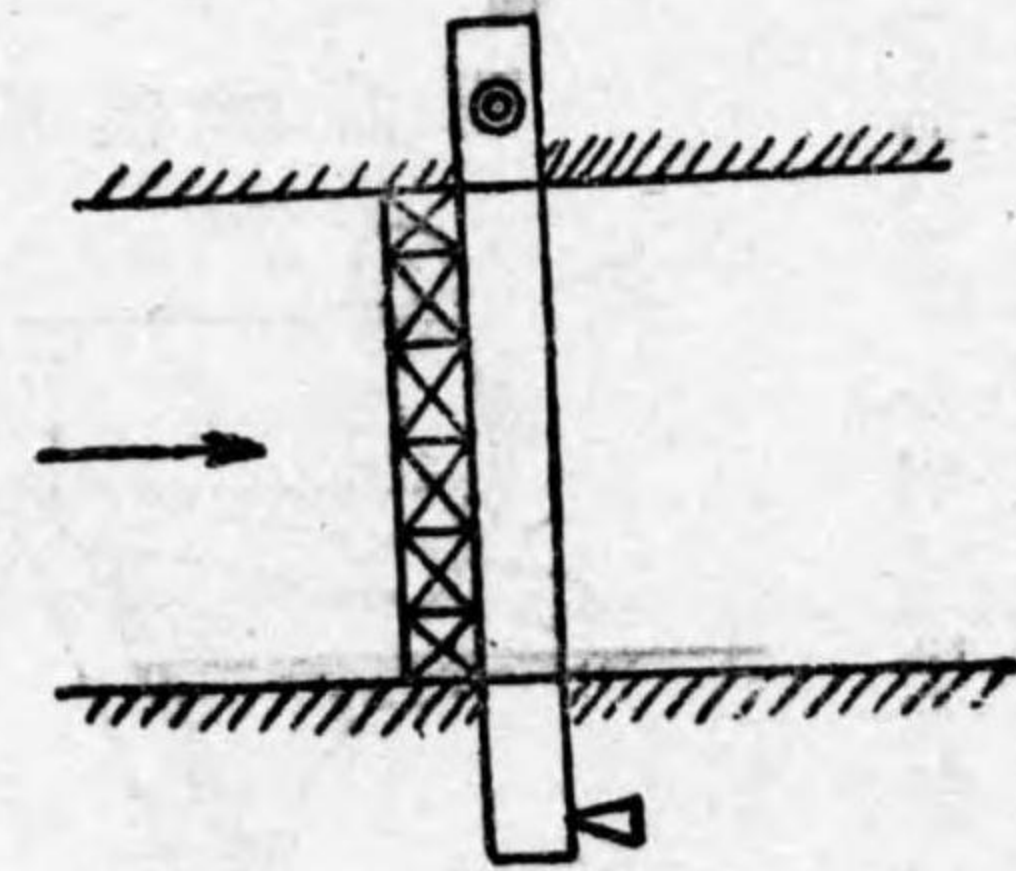
るには第百廿一圖に示す様に角材の一方の支へを半圓形のものにし此の支へを横杆で廻すと一時に全部の角材を放流することが出来る。板堰は大變簡單であるが航行用としては開きが不充分であり又整調装置としては其作用が鈍い缺點がある。

(五) 板堰 (Needle weir) 板堰の缺點を除かんとして現はれたものは橋堰である之れでは桁を垂直の方向に用ひる(第百二十二及百廿三圖)桁は下部は閘 (Sill) により上部は鐵製の結構により支持される此結構は

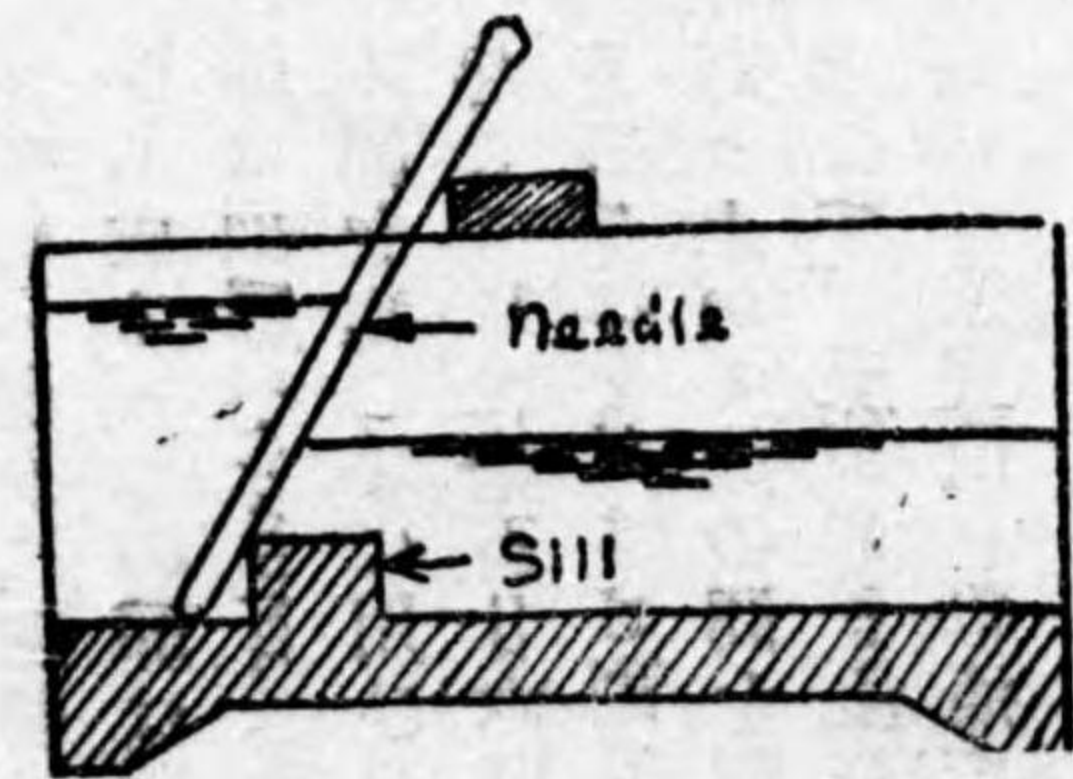
第百二十二圖



第百二十三圖
橋堰平面圖



第百三十三圖
橋堰橫斷面圖



桁を取り去つた後は一方の側に引廻すことが出来る徑間は十米突位迄は差支ない桁の寸法は六裡に四裡位である右の式では桁は之れを一本一本引上げるのであるが一時に取除く目的で Poiree (ポワレー) 氏はこの考案を爲した其れは第百廿四圖に示す様な一つの結構であつて之れは川の方向を廻轉軸として倒れる然るどきは一時に全部の桁が取り去らるゝ事になる起せば立派な橋となる。

橋堰は作業が簡單容易で且工費は廉であるが洪水の際桁を適宜に取り去ること及作業橋の浸水を防ぐことに特別の注意を要する尙水が氷結する場合には適宜に取去らなければならぬ然らざれば桁は互に凍着し取り去ることが出来なくなる其他橋堰は洩水の多い缺點があり又結構を立てたり桁を立てたり桁を落し上げる仕事は相當危険を伴ふものである。

桁が長い時は取扱が困難であると同時に漏水が多い漏水を防ぐ方法に付ては色々研究されてゐる。

(六) 吊桁堰 (Suspended-frame weir, Bridge weir) 之れは橋梁に蝶番を設け結構を吊下げる結構間の距離は二米突餘とする結構の後ろには簾を張り水を堰く大水の時は簾を捲き上げ他に運搬し且結構は水中に倒してしまふ此堰の缺點は流水のある場合に簾を捲き上げ得ぬ事である此場合に應ずるには蝶番を螺旋の作用により引上げると結構と閘との間が離れ点線の様になる。

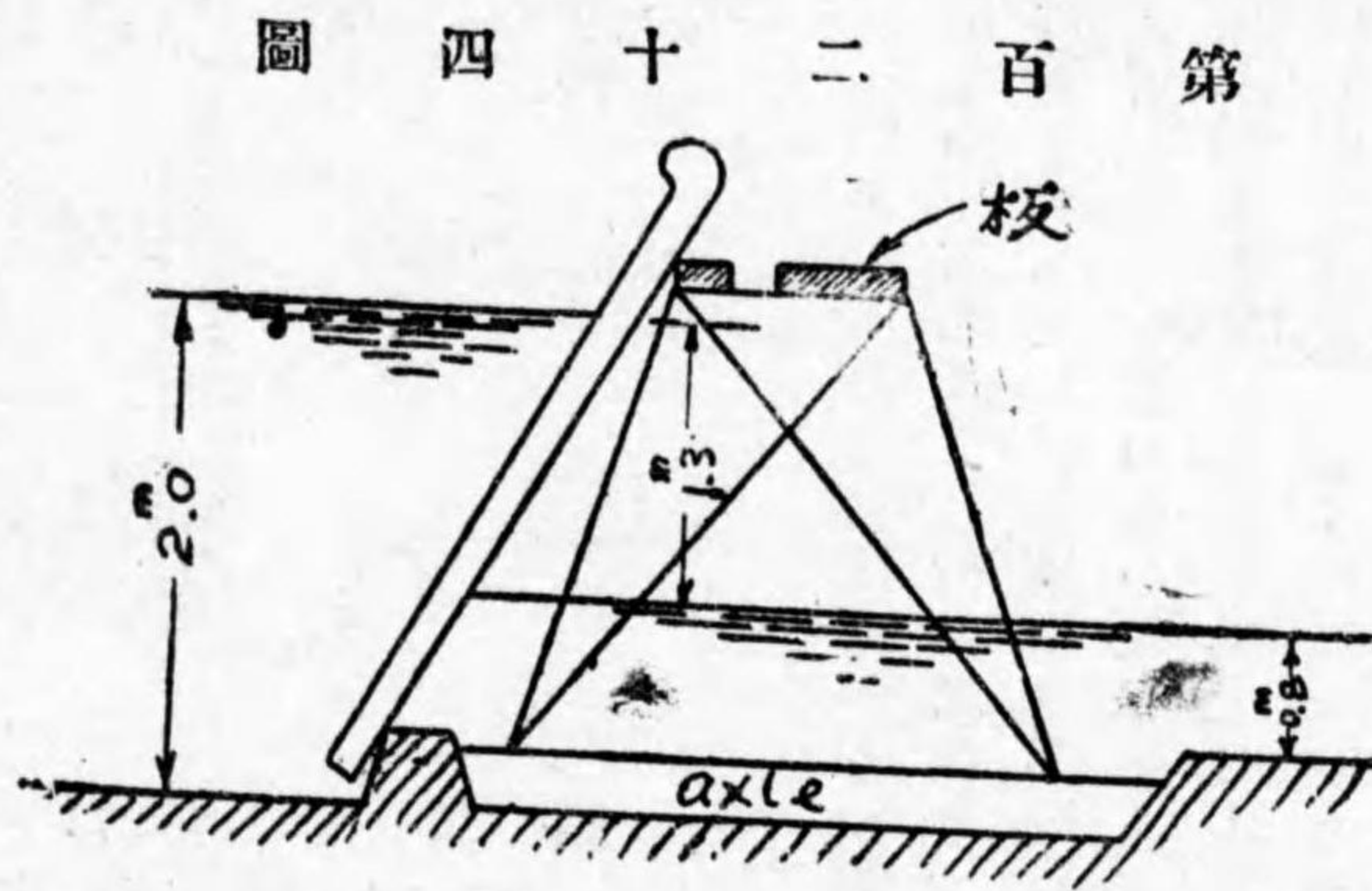
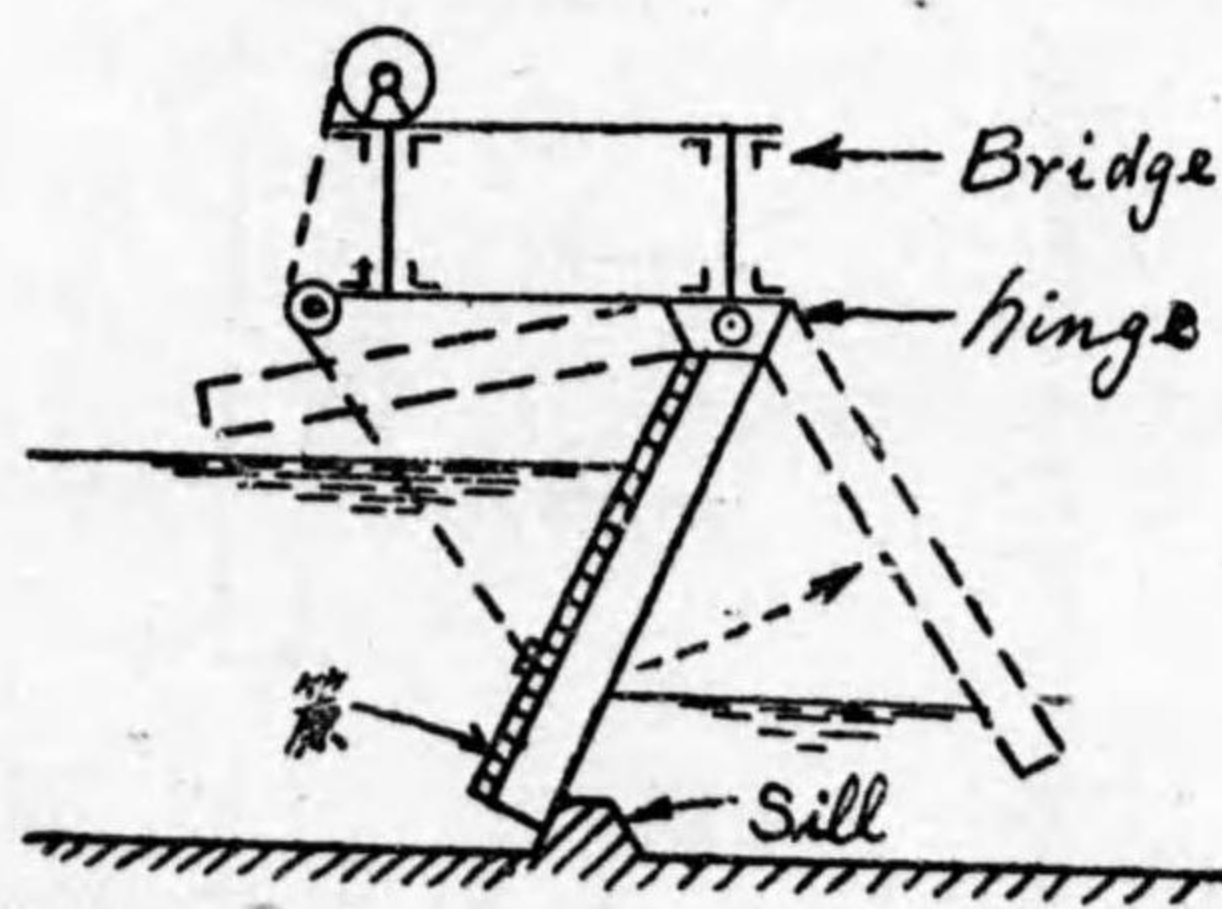


圖 四十二百第
圖面斷横堰吊



(七) 盾堰 (Shutter weir) 盾堰は水平軸の廻りに廻轉する二つの扉から成る一つの扉は堰水用に他の扉は副扉 (Counter shutter) として本扉を起すに用ひられる。扉を起すには第百廿六圖に於て發條 (Spring) を外すと副扉が圖の様に起き上がる此の間を利用して扉を起す。扉が起き上がれば副扉は

自然に倒れる。扉を倒すには釣針 (tripping bar) を引けば宜敷い、扉の直高は一米突位を普通とする。盾堰の種類としては A-framed dam, Bear-trap weir (推上堰) 其他がある。

圖 六十二百第
圖面斷横堰

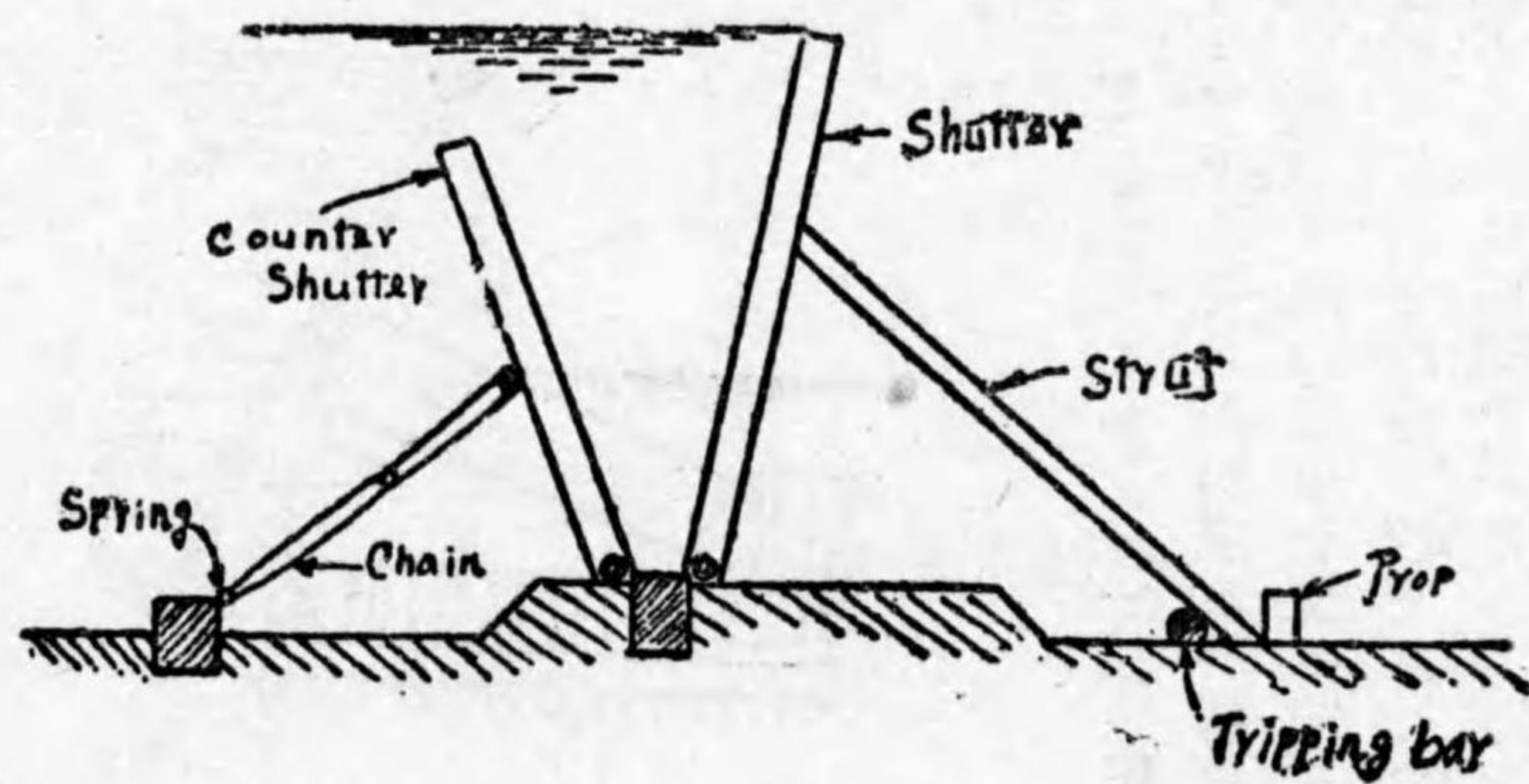
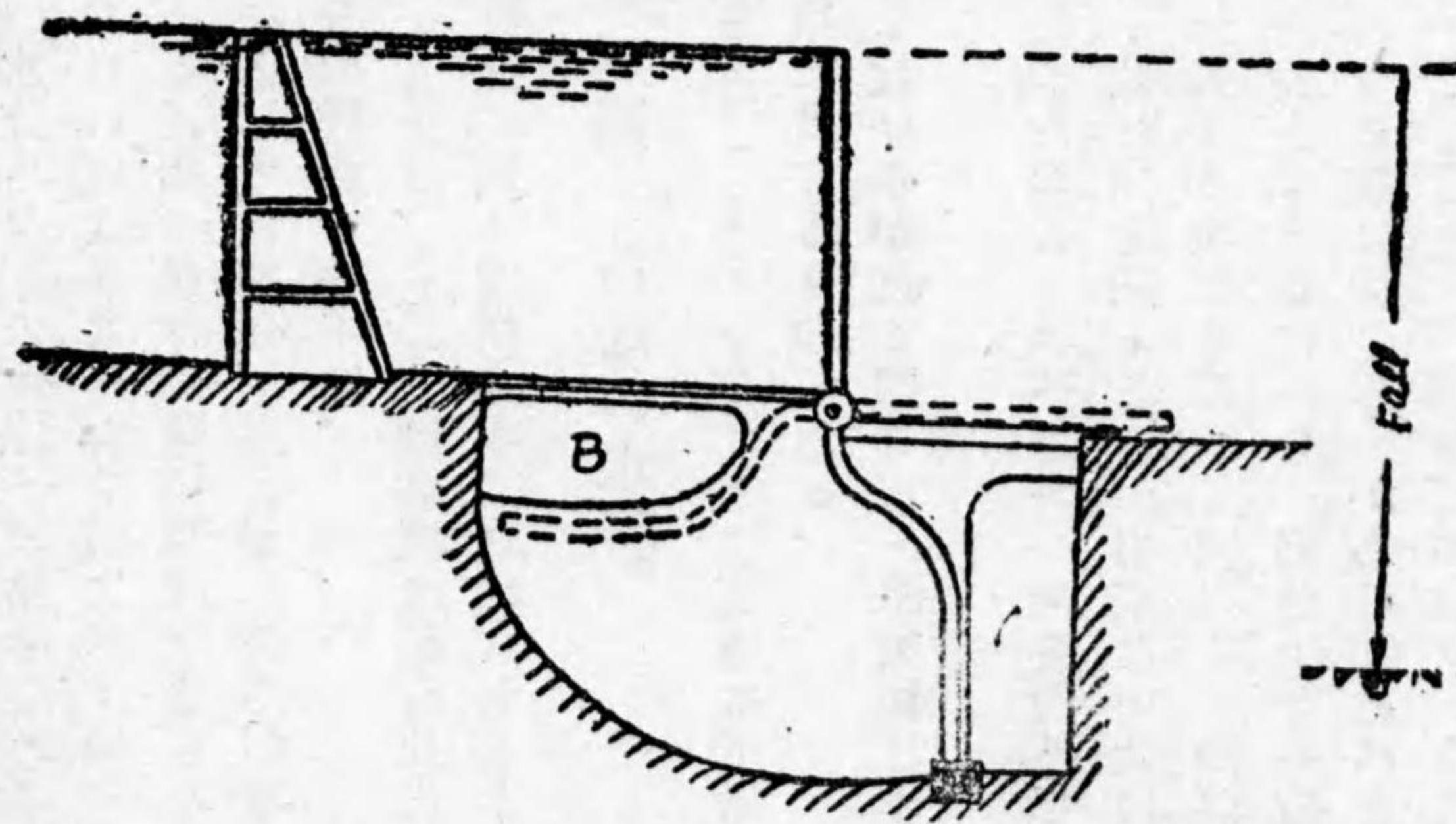


圖 七十二百第
圖面斷横堰鼓太



(八) 太鼓堰 (Drum weir)

太鼓堰は第百廿七圖に示す様な構造で二つの羽根がある上の羽根は真直であるが下の羽根は曲つてゐる A B は共に中空で其の間には隔壁があつて A B の連絡を絶つてゐる、A は堰全體を通じて續いてゐる、上流と下流との水位には圖に示す様に差 (fall) がある。

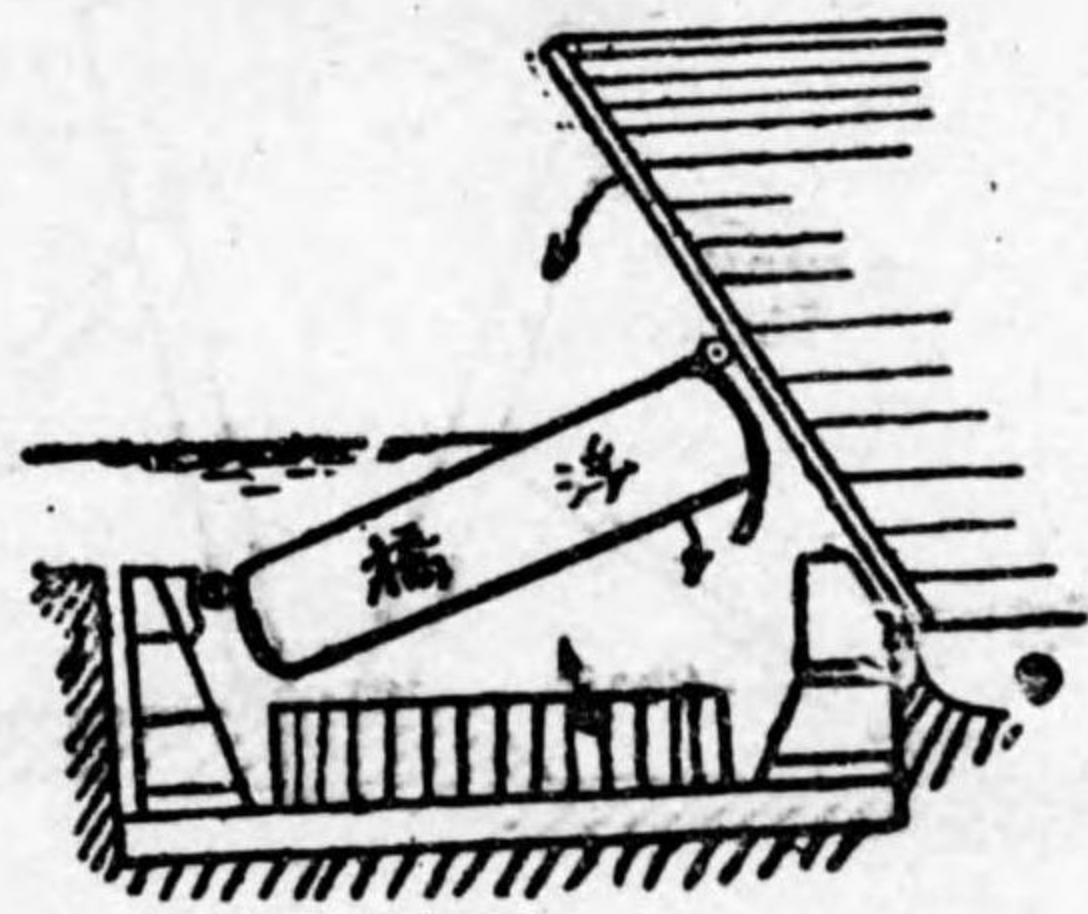
堰を起こすには壓力ある水をBに送る倒すにはAを上水位Bを下水位と連絡せしめる。壓力ある水を造るにはEがなければならぬから圖に示す様に上流に一つの堰を設けることもある。此の堰は操業に時間を要すること少き得點があるから整調装置としては都合が良い然し作用が微妙であるから航行用としては充分の監視を要する。

九 浮橋堰 (Pontoon weir) 浮橋堰は第百廿八圖に示す様なもので堰は浮橋の浮沈に因り開閉する、之れはあまり使用されない。

第五節 特種の水路

圖 八 十 二 百 第

Pontoon weir

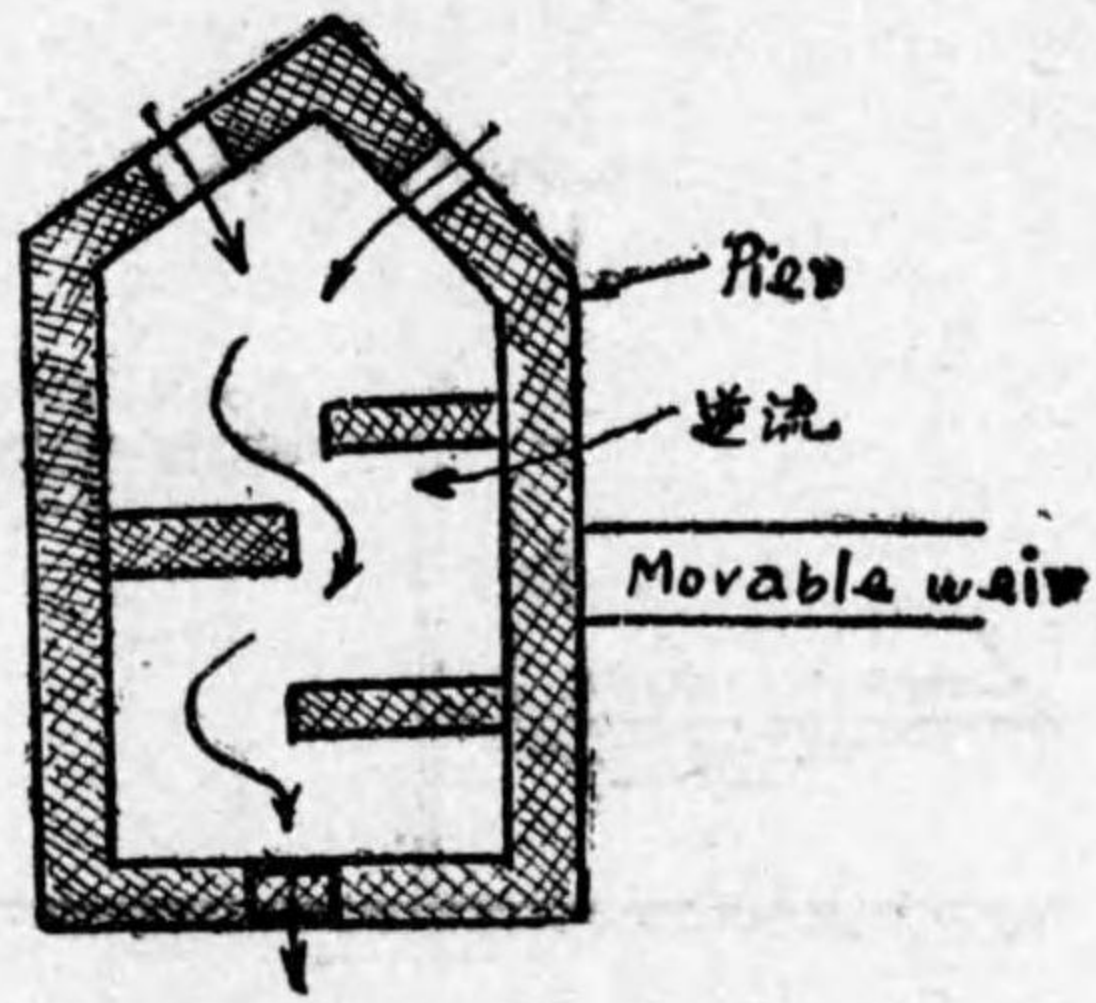


(一) 筏通 (timber pass or raft pass) 筏通は可動堰の一部に造り木や筏を流すの用に供するものである。水路には段を設けるが良く深さは一米突幅は十二三米突もあれば充分である。

(二) 魚梯 (fish pass or fish ladder) 川を横切て堰を造つた場合に其落差が一米突内外であれば魚によつては瀧を登り下りすることが出来るが落差が大となれば一般に川を溯ることが出来ない故に漁業の盛な所では特種の水路を造つて魚の交通を便にする此水路を魚梯と稱する魚梯も筏通と同じく可動堰の一部に斜面を造る此傾斜は始めは二十四分一位であつたが近來は魚梯を短くする爲に八分一乃至十分一位とする、斯る傾斜では魚が溯るには稍困難であるから水を曲げて流す様に柱 (pier) があれば之れを中空にし第百二十九圖の様に其中に魚梯を造る然る時は魚は逆流 (Counter Current) の部分で休みながら次第に登つて行く。

(三) 曳舟道 (Towing Pass) 之れは水路ではないが此處に併せて述べる。曳舟道は人や馬が舟を引きながら通行する道である。技術上の要求は道が川の一方の岸に接續的に存在することである。支川があれば之れには架橋するし、荷の多い所ならば道に割栗を鑄く位にすれば能率を増進する上に効果が多い。

圖 九 十 二 百 第

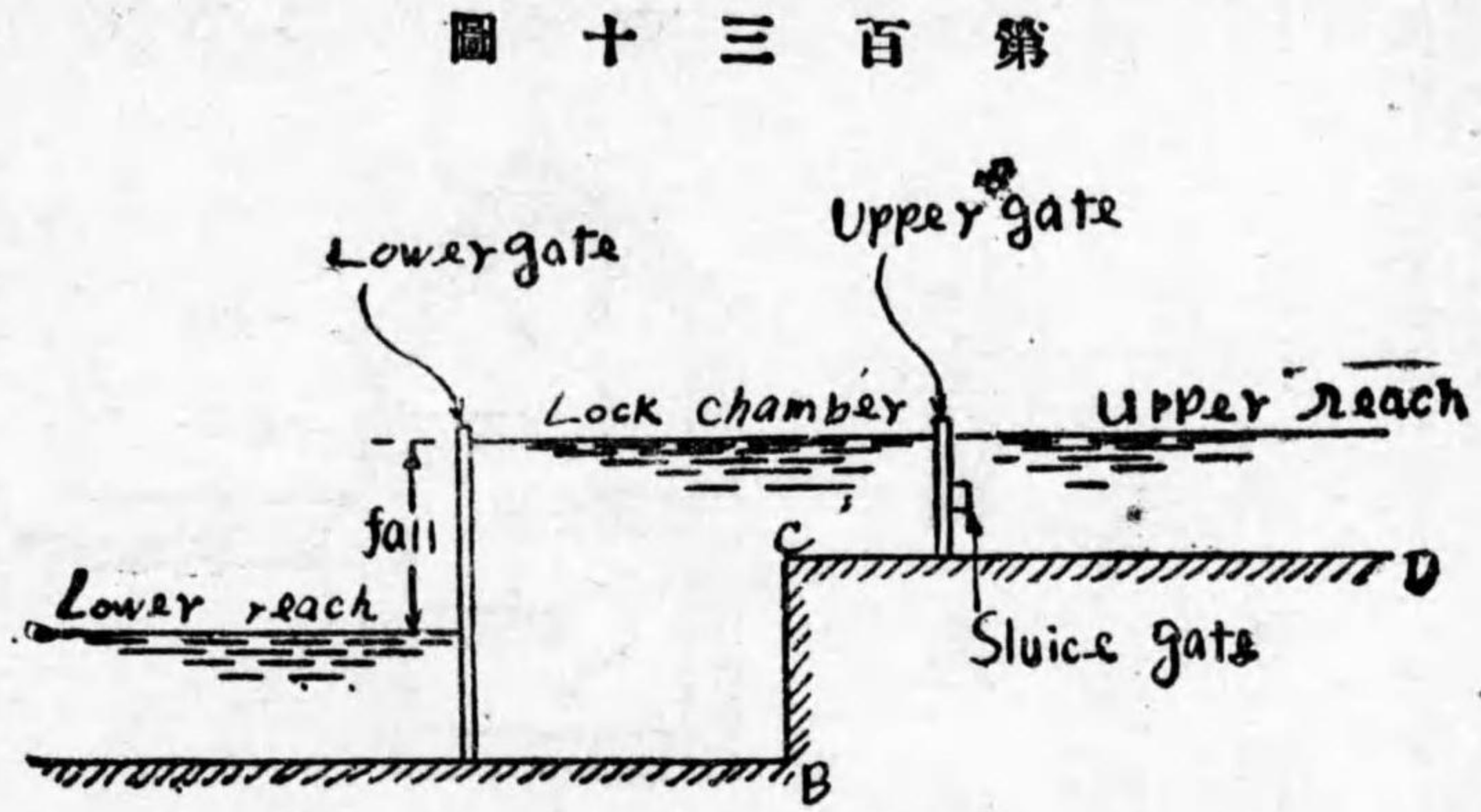


第六編 運河 (Canal)

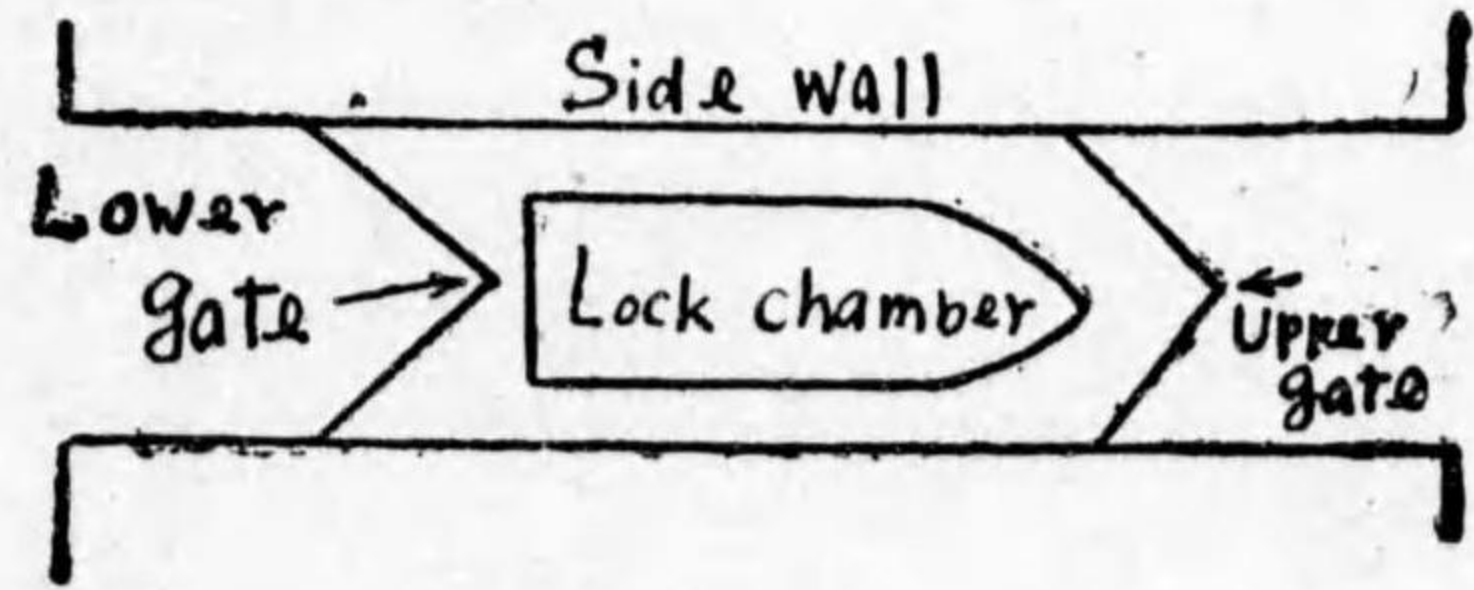
第一章 運河開門 (Canal locks)

第一節 總説

開門の縦断面圖は第百三十圖に示す通り、AB, CDなる二つの異つた水平面の間に開室 (lock chamber) があり、双方の水平面に一つづつ扉 (upper and lower gate) がある。高い方を上區 (upper reach) 低い方を下



圖一十三百第



圖面平

區と言ふ。船が下區から上區に移らんとするには先づ下扉を開くと開室の水位は下區の水位迄下る。其處で船を開室内に入れ、下扉を元通りに閉ぢ、上扉又は側壁 (side wall) にある水門戸 (sluice gate) を開けば開室中に水入り來り其水位が上區の水位と一致する。此時上扉を開ければ船は上區に移ることが出来る。船が上區から下區に移るには右の反對の作業をなせば良い。

開門の局部には種々の名稱があること第百三十二圖に示す通りである、Gは水叩 (apron) して水の侵蝕作用に對抗するため石張其他の方法で保護する。Dは扉を其位置に支持するための闕 (sill) である。扉の廻轉する處の詳細は第百三十三圖に示す通りである。

第百三十二圖

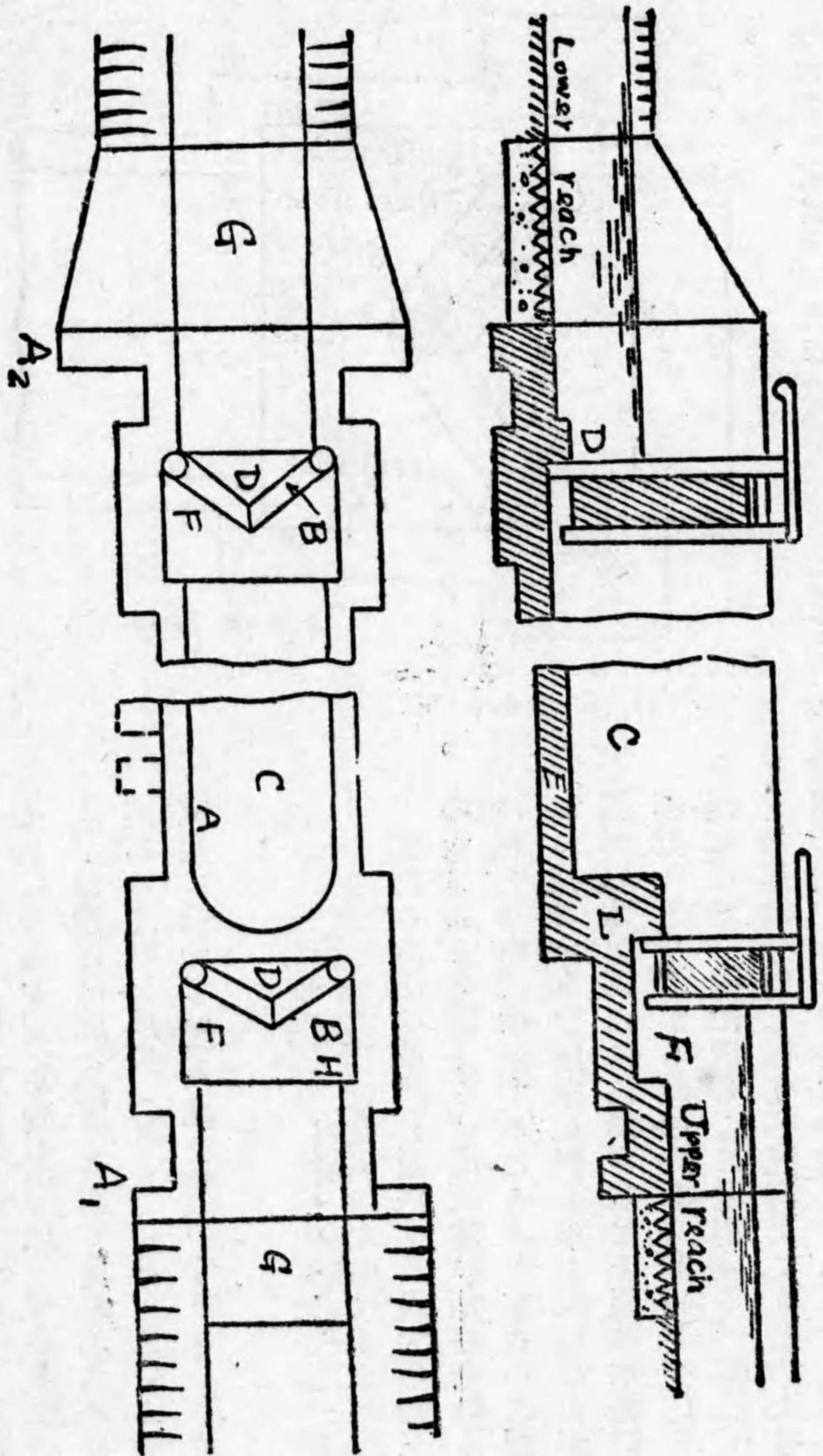
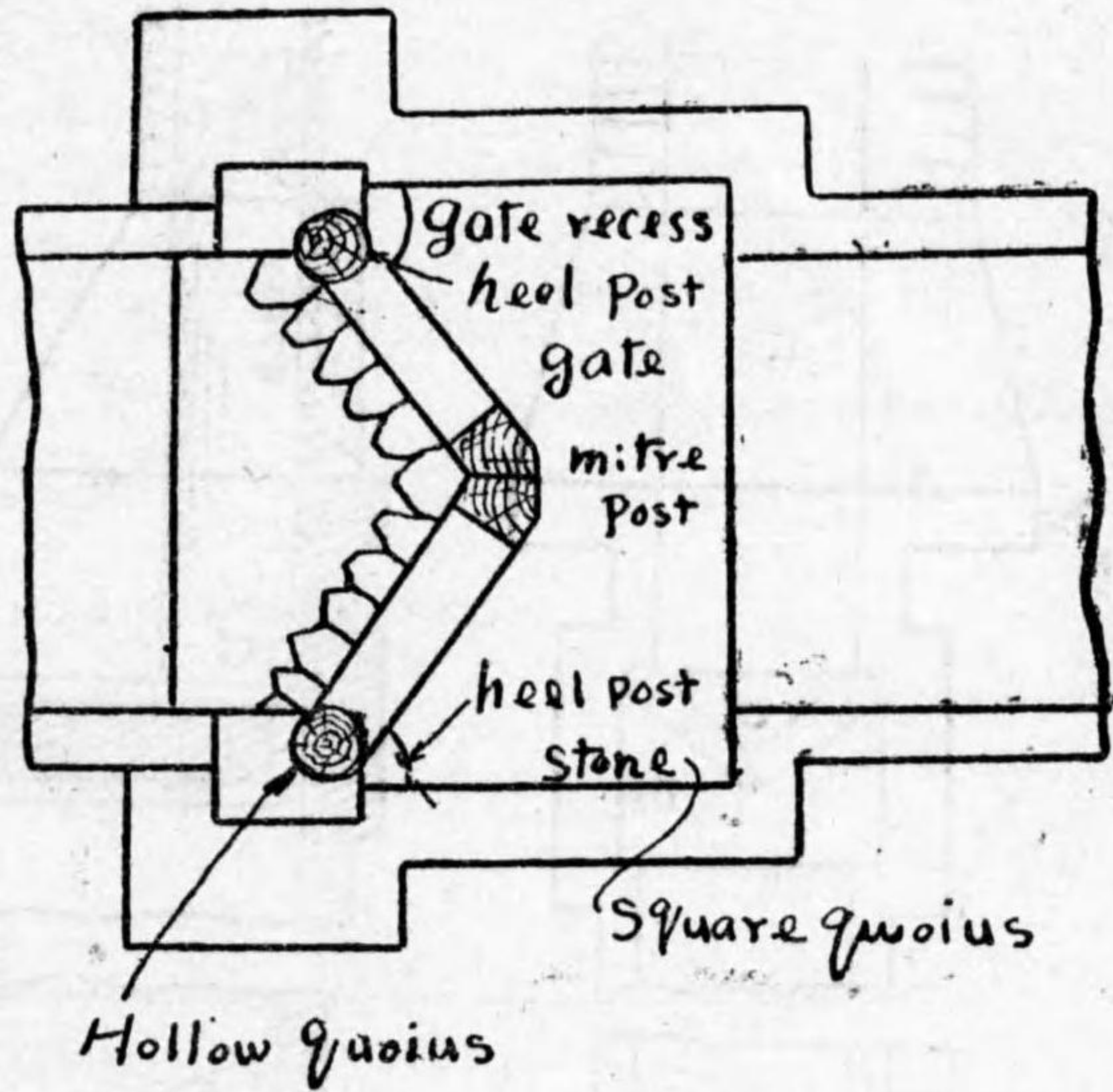


圖 三 十 三 百 第



從て開門の大きさも定まる。次に一等運河と三等運河との開門の大きさを示すと次の通りである。

關上の深さ

一等 二・五

二等 一・五

開門の大きさは開門を通過する最大の船又は船隊の大きさにより定まる。堰開法に用ひられる開門では水を自由に供給することが出来るから數隻を入れる様な大きな開室を設くるも差支ないが運河開門では水を澤山に供給すると上區の水深が航行に不充分となるから此の點から制限を受ける。故に開室は船一杯に造ることを要する。獨乙ては運河を數等に分類し從て各運河により船の大きさ定まり

第二節 開門の大きさ

扉の取付く所を隅柱 (heel post) と言ひ、石も丸くしてある。此窪味を隅柱窪 (hollow quoin) と言ふ。側壁には扉を開けると其れが入る丈の凹所がある之れを戸袋 (gate recess) と言ふ。側壁が直角に曲つて居る處を角隅 (square quoin) と言ふ。

有 效 幅	七・五	四・六
有 效 長	五五〇	三五〇
佛蘭西では始めはマチマチであつたが不便であるから一八七九年に次の如く一定された。		
關上の深さ	二〇〇	(1.8+0.2)
有 效 幅	五・二	(5.0+0.2)
有 效 長	三八・五	一・八は吃水

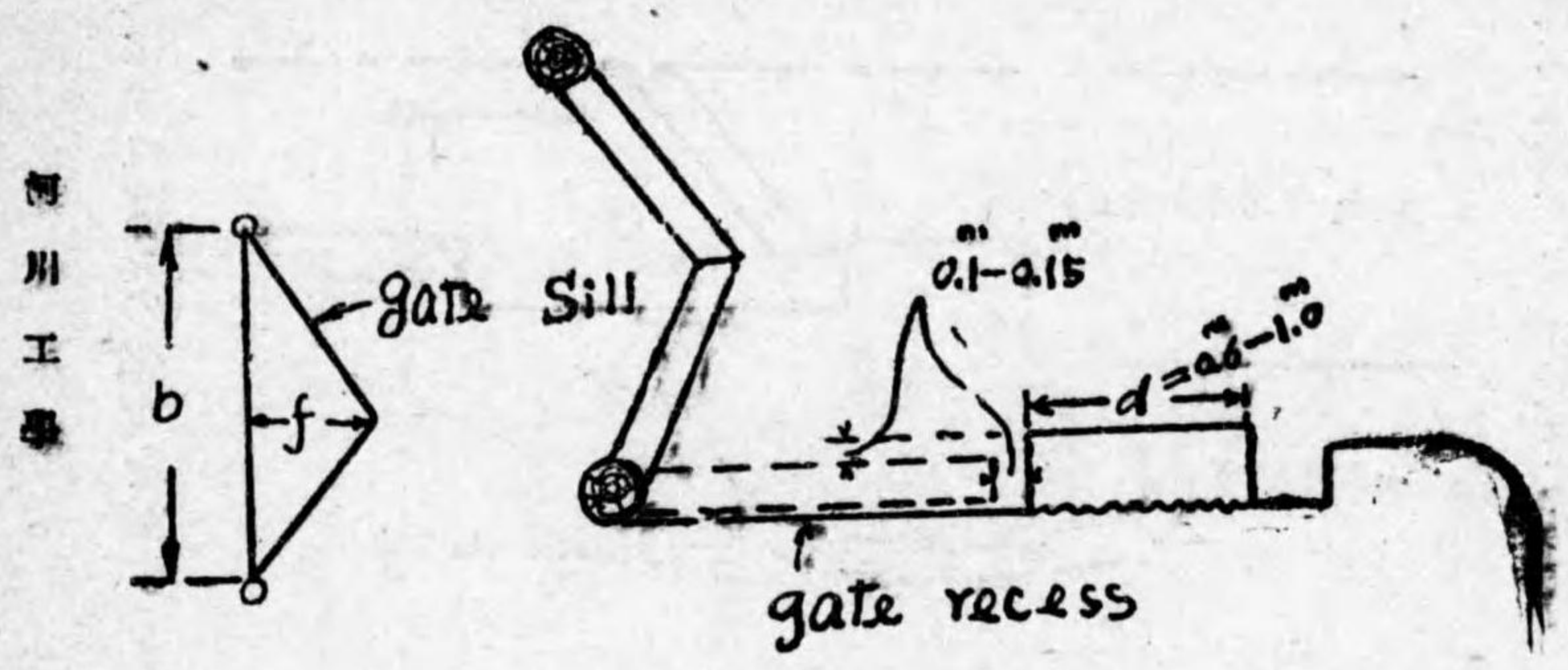
落差は元は低く二・五乃至二・六米突であつた。之れは高いものになると扉其他の構造が困難であつたからである。然るに船が開門を通過するには十分乃至十五分を要し四箇の開門を通過するには一時間もかゝる状態である。落差を高くすれば開門の數を減じ得るのみならず航行の時間を減ずることが出来るので近來は落差の高いものが用ひられる様になつた。前者を Low fall lock 後者を High fall lock と言ふ。近來用ひられる落差は五乃至十米突である。

右は運河開門の話であるが河川開門では水の供給に制限なく又水に流速があるから曳船をする時には有力な船は數多の船を曳いて通行するから一船列が通過する丈の大きさが必要である、オハイオ河では十隻を容れる爲に開室の長さを一八三米突幅を三三・五米突とした。

第二節 開門の構造及設計

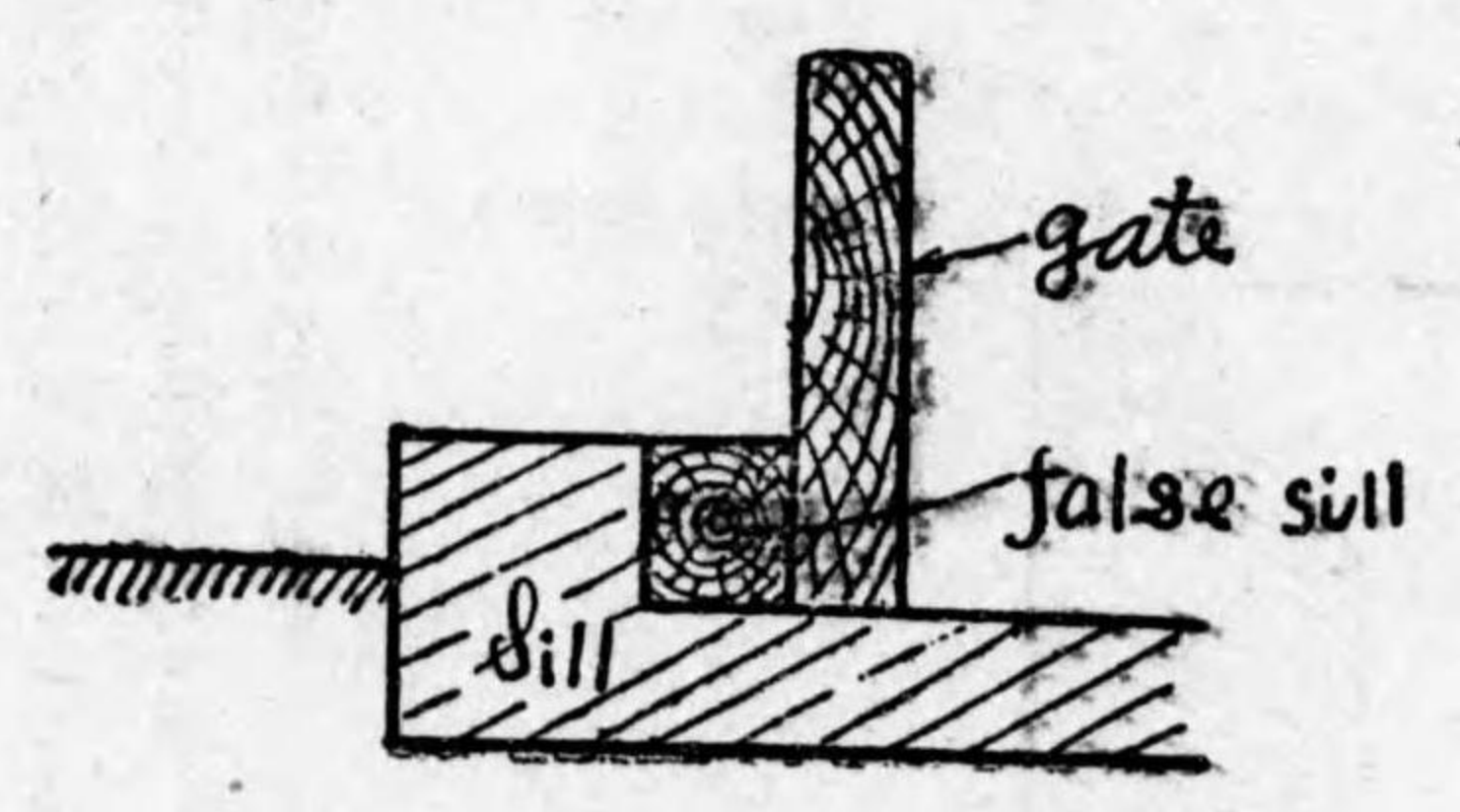
翼壁 (wing wall) が直角に曲つて居ると船が其角に腹を當てる危険があるから普通短い半径 (半米突乃至一米突) の弧形とする (第百三十四圖) 場合に依ては丸味を付ける代りに第百三十五圖の様漏斗形にすることもある。第百三十四圖を見ると曲り目から〇・二乃至〇・五米離れて溝がある。之れは開門を修繕する際

圖七十三百第 圖六十三百第

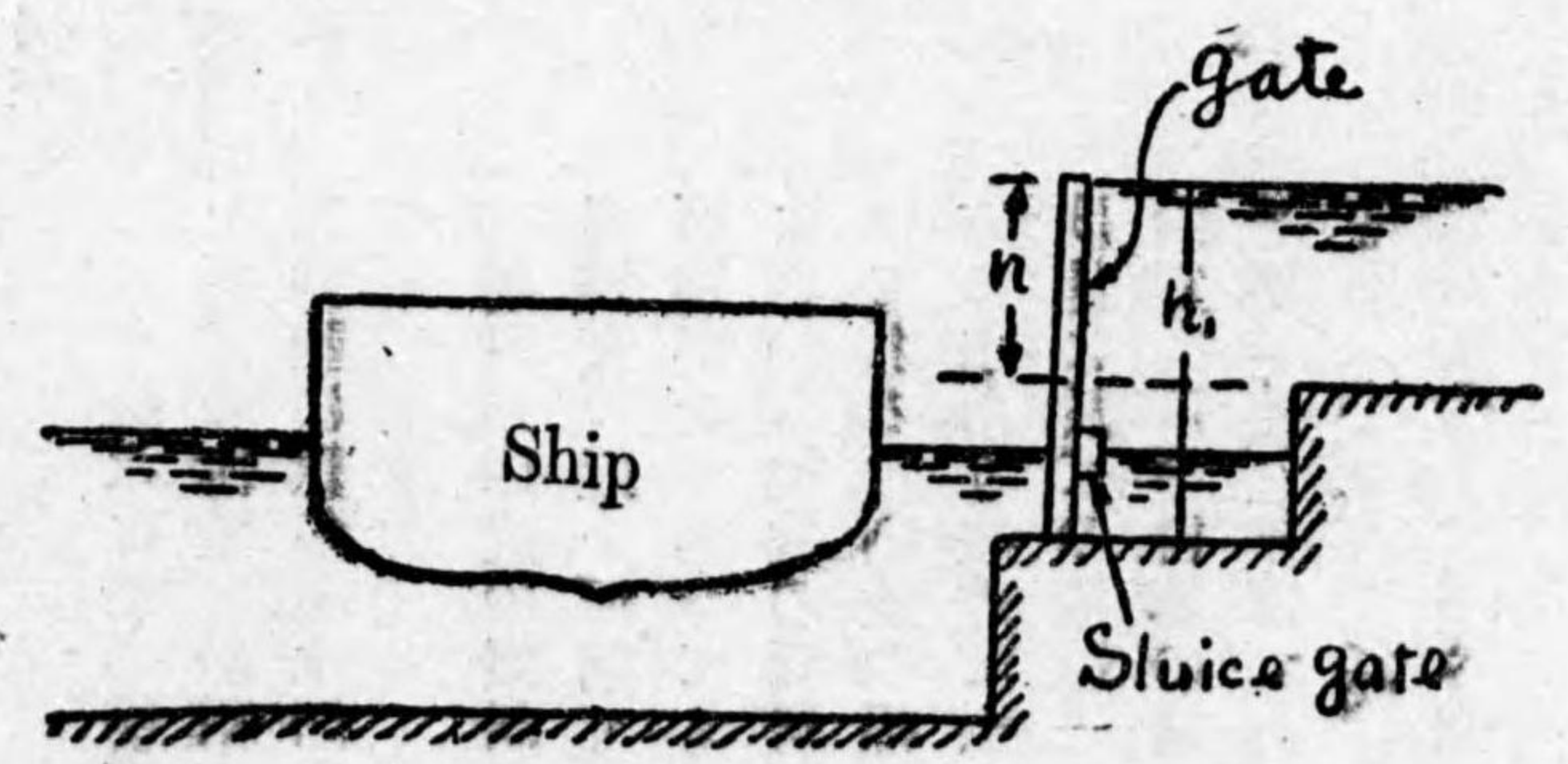


河川工学

圖八十三百第

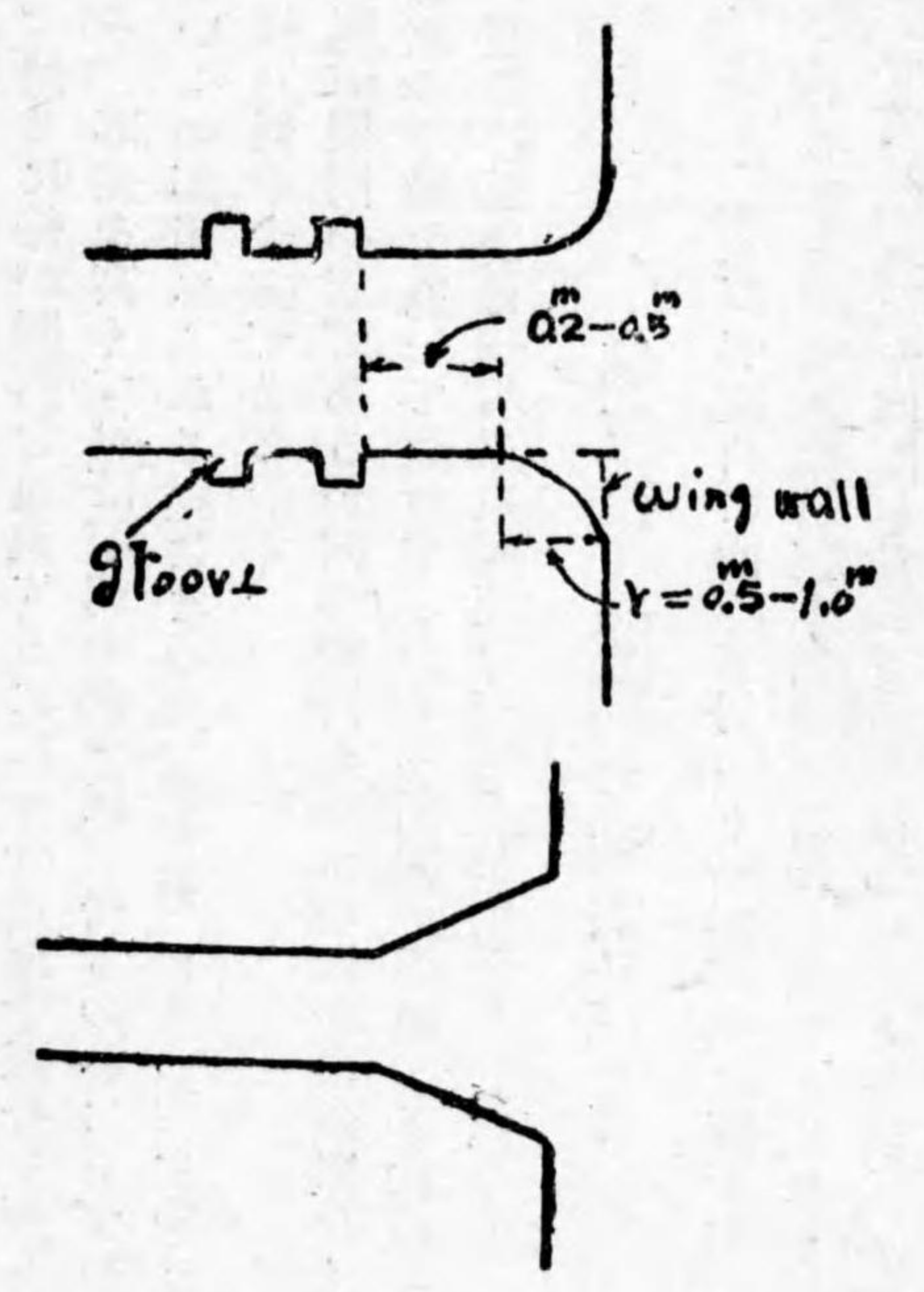


圖九十三百第



一五一

圖四十三百第



河川工学

圖五十三百第

餘裕がなければならぬ、扉床 (Gate floor) には石を敷く、闕 (Gate sill) は扉床より 0.25 乃至 0.3 米突位高くする。扉の拱矢 (rise) f と徑間 b との關係は普通 $f = 1/10 \sim 1/12$ である (第百三十七圖) 闕が扉と接する面は石を平滑に仕上げ水密 (water tight) ならしめる又第百三十八圖に示す様に闕に木材を添加して水密ならしめる方法もあるが木が腐朽するときは反て洩水を促進する缺點がある。

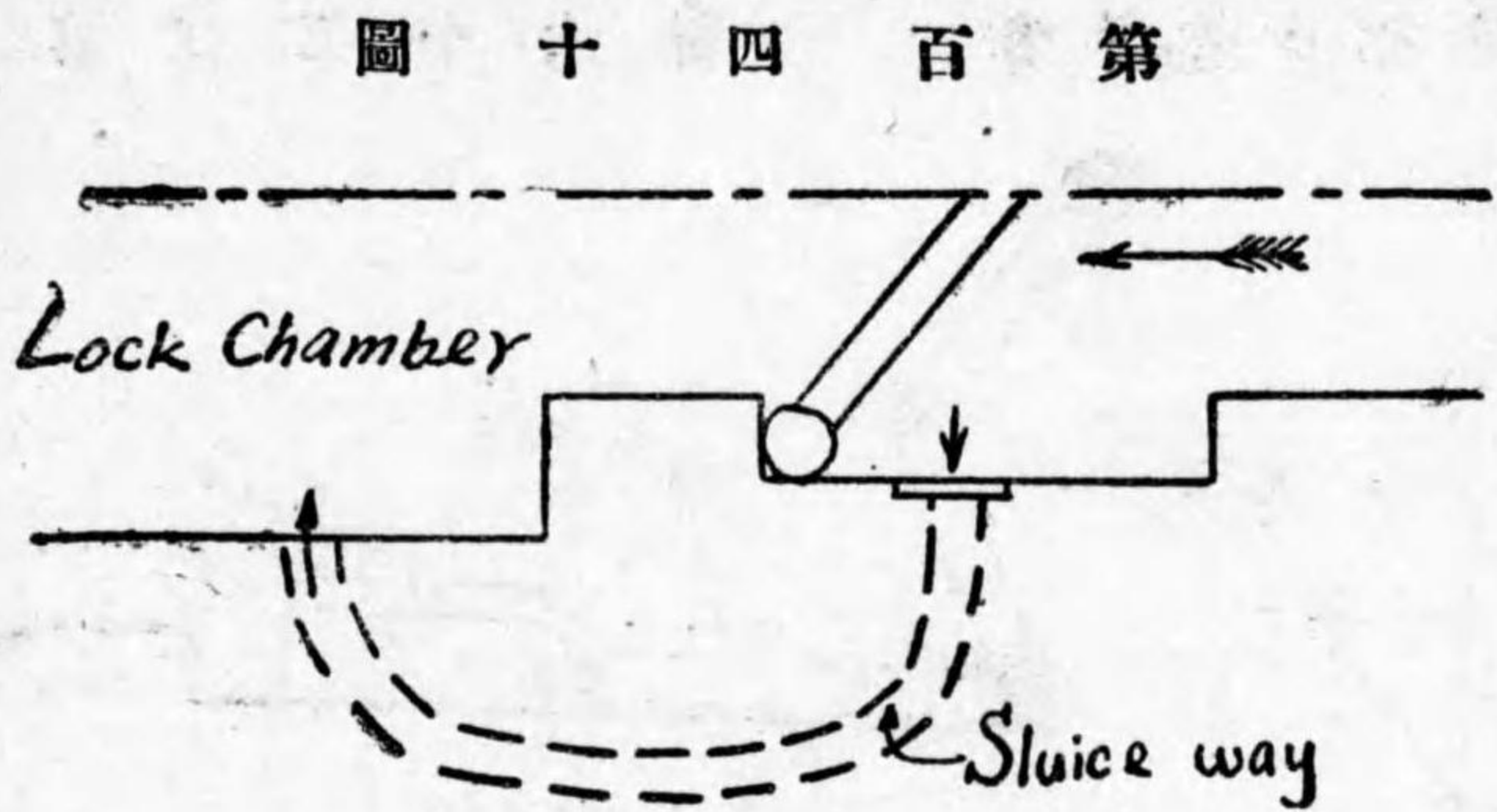
落差が高いときは水門戸 (sluice gate) を開けると船は水鐵砲を食つて下扉 (Lower gate) に突當たる虞があるから第百三十九圖に示す様な工夫を施したのもあるが之れは扉が高くなる缺點がある。近來は一般に落差大のもの使用されるから一度に多量の水を送る必要があるのて水門戸を大にしなければならぬ。水門

に角落をなし、水を堰く用に供する。溝の幅及深さは 20 乃至 30 釐とし桁の大きさにより決定される、兩側壁間の幅は普通五米突位で一本の桁で締切ることが出来るが若し幅廣くして一本の桁で締切困難ならば溝を一對造つて二本の桁を用ひ其間に粘土を入れる、此溝には常時木を嵌込み土の入れぬ様にする、戸袋と溝との間即第百三十六圖の d は短ければ圖の様になり龜裂の入り虞がある、戸袋は扉が開いた場合に d の部分との間に

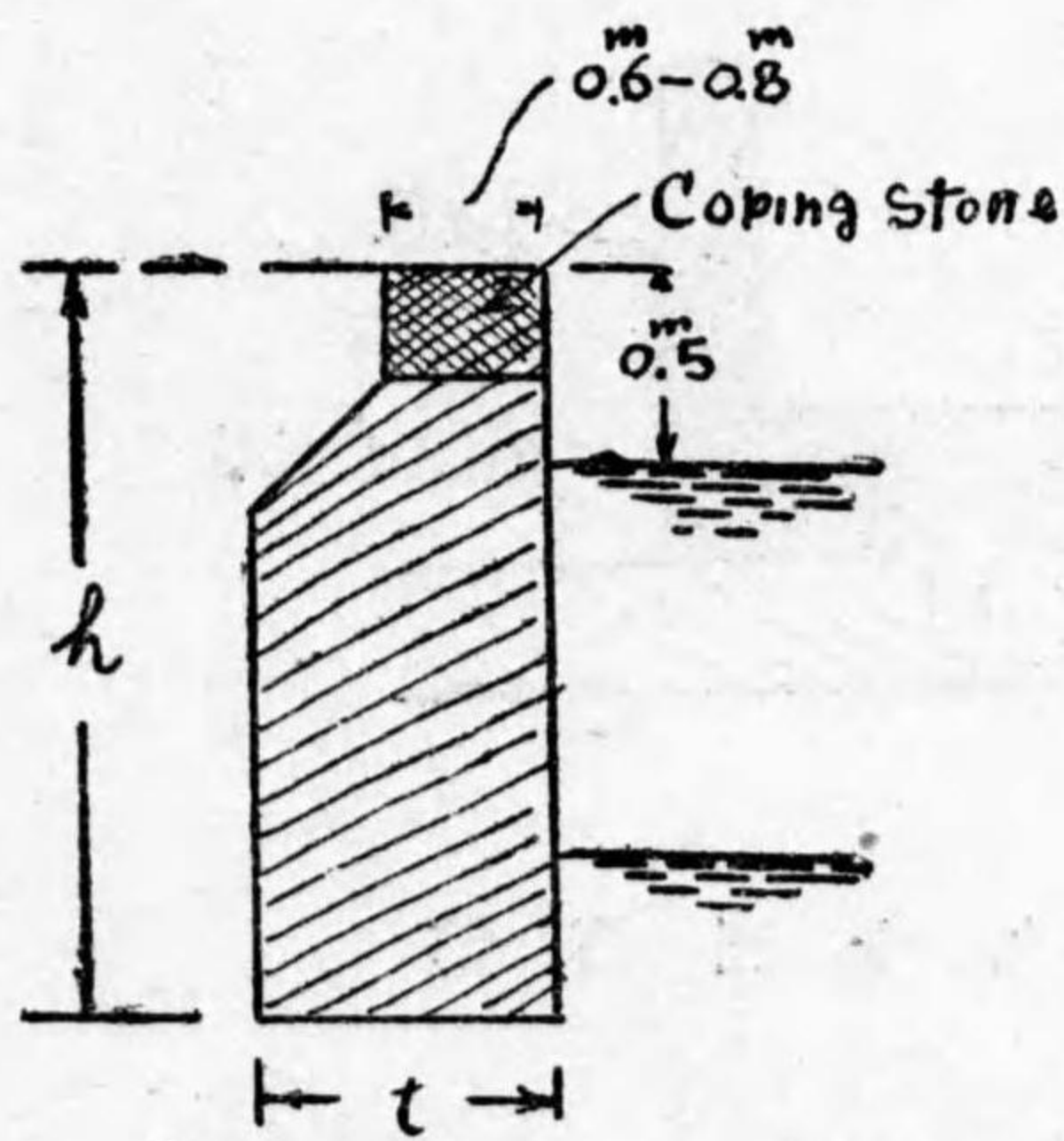
一五〇

戸を大にすれば扉の強度を減ずるから水門戸の代りに側壁に設けられた水門溝 (sluice way) を使用する。然るときは水鐵砲の害をも除去することが出来る。

水門溝は第百四十圖に示す様な配置になつてゐる。給水は船の横腹に當たり船を左右に動揺さす缺點があるが水門溝を兩方の側壁に對稱の位置に開いて置けば此缺點を除くことが出来る。又側壁に數多小水門溝を開き給水の仕方を穩にする方法もある。



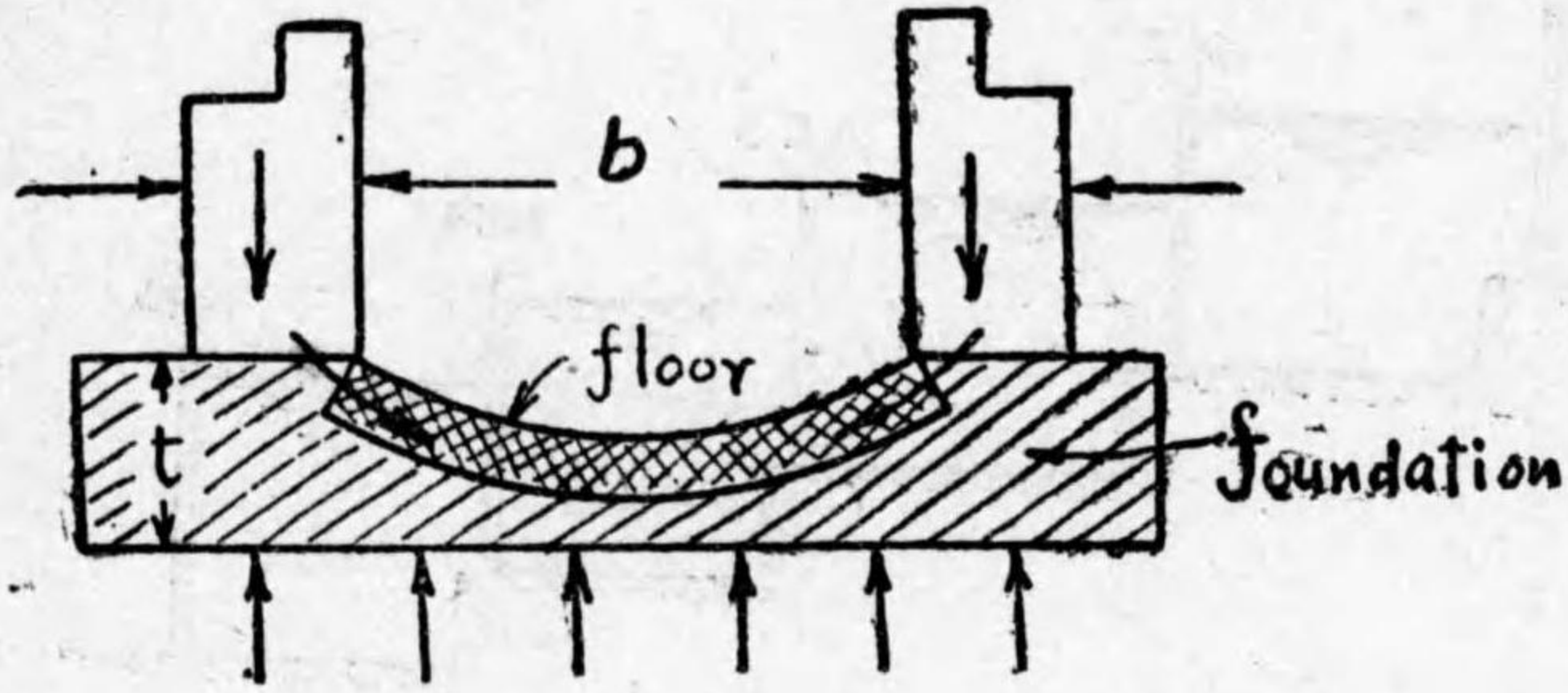
第百四十一圖



閘室の側壁の傾斜は普通垂直に近い河閘では其面積が大であつても差支ないから相當の傾斜を付けてある。側壁の幅は前方に水あり後方に土ある状態に於ての擁壁として計算する。計算の結果は普通 $t = 0.4h$ 位である。笠石 (Coping) の幅は 0.6 、六乃至 0.8 米突位である。

基礎は水密でなければならぬ。水密ならしむる爲に閘室の前後に矢板 (sheet pile) を打つ又基礎は側壁か

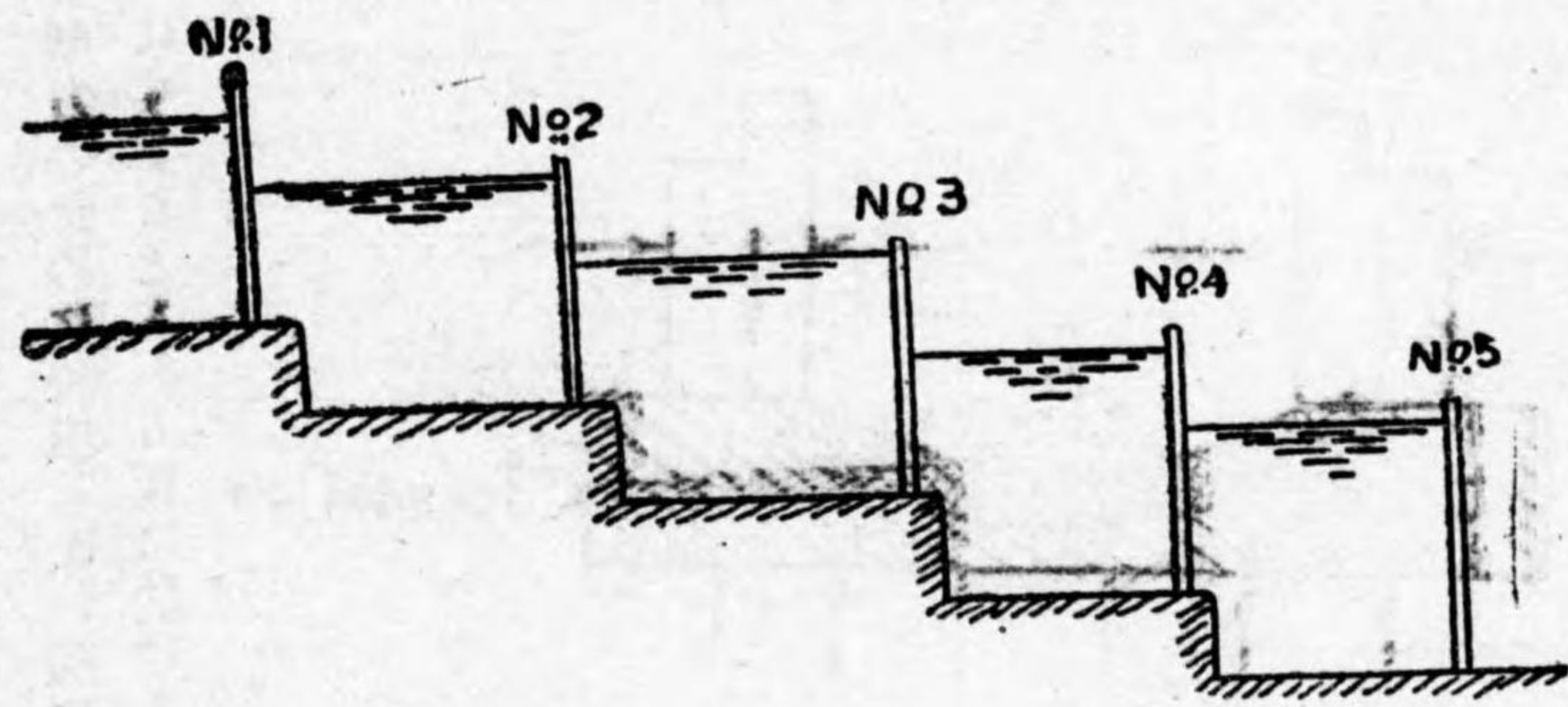
第百四十二圖



ら来る壓力のために破損しない様に造らねばならぬ。其ために第百四十二圖に示す様に閘床を仰拱 (inverted arch) にすることもある圖に於ける $\frac{b}{t}$ の値は良い基礎に於ては $\frac{1}{10} - \frac{1}{7}$ で不良の基礎に於ては $\frac{1}{4} - \frac{1}{3}$ である。基礎に用ふる材料は従來石、煉瓦が多かつたが近來は混凝土又は鐵筋混凝土を用ひる。若し締切が不充分で基礎の下に水が廻る様なら基礎下に水抜を造つて排水しなければならぬ然らざれば基礎は壓力ある水のために持上げられる危険がある。下の水叩の長さは少くとも十米突上のは五米突位にする。河閘では給水に制限がないのと一方船が澤山列をなし曳船により河を溯るから閘室は大であり石や混凝土で側壁や閘床を造ることは多額の經費を要するので側壁は張石の様な簡單なもので間に合せることがある。運河の落差が大なる處では一つの閘門では足らず數多の閘門を要する此場合には第一閘門の下扉を第二閘門の上扉として使用する (第百四十三圖) 然るときは四閘門で八扉あるべきものが五つの扉で済むことになる。之れを階階 (Flight of locks) とす。此缺點は船の通行に長時間を要することである。

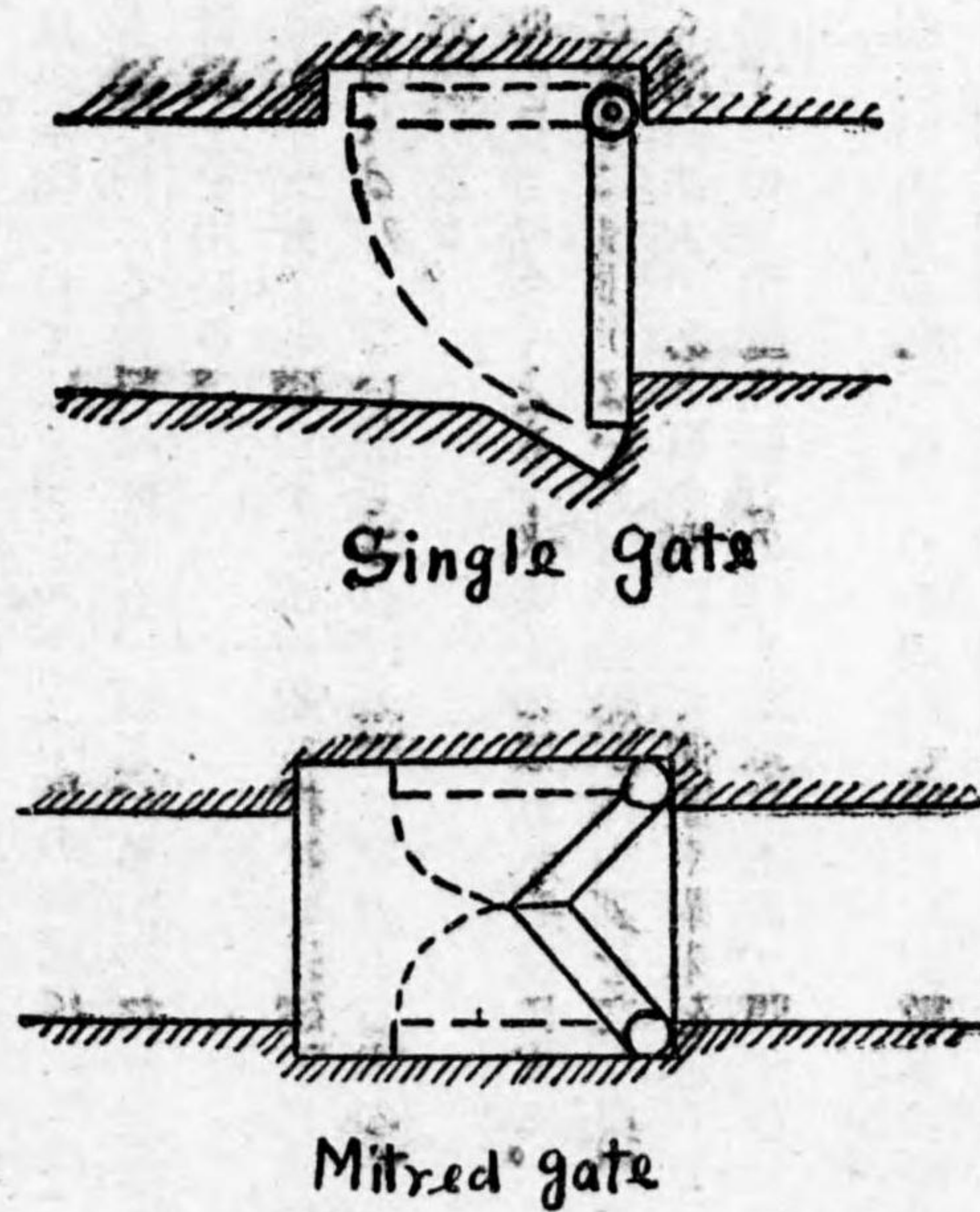
第四節 閘扉 (Lock gates)

圖三十四百第



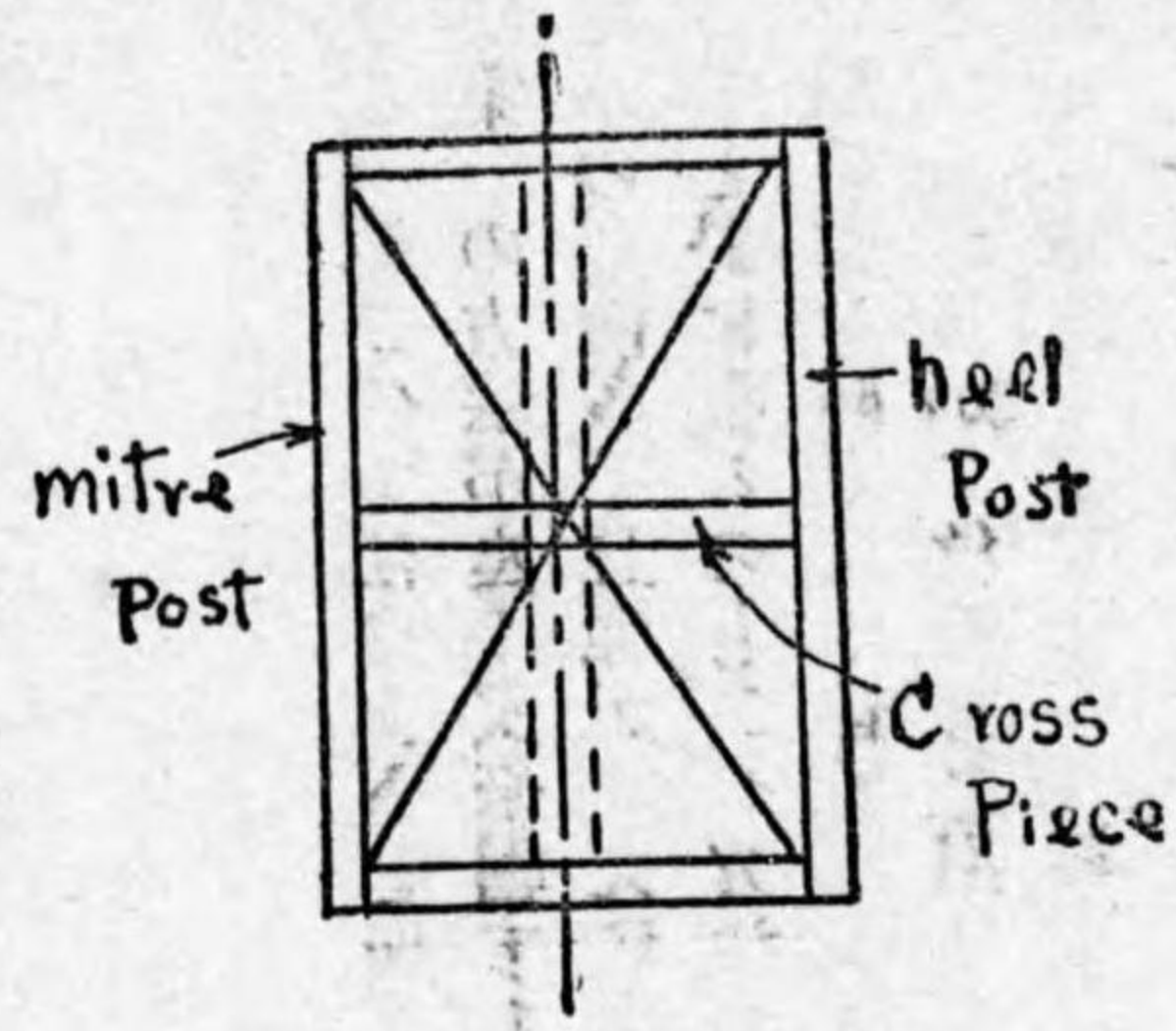
開扉を別ちて斜接扉 (mitred gate) 及單扉 (single gate) の二種とする。扉の材料は木又は鐵である時としては木と鐵を組合せて造つたものもある。組合せのものは普通鐵の枠に板を張つたものである。扉は枠 (frame) と殼板 (skin) とより成る。斜接扉の枠は第百四十

圖四十四百第



圖五十四百第

圖六十四百第



六圖に示す様に斜觸柱 (mitre-post) 隅柱 (Heel post) 横材 (Cross piece) 及斜材 (diagonal) より成る枠は丈夫で水壓のため歪を生じない様に造る。扉を水密ならしむる爲に此枠に板を張る。此板が殼板である。斜接扉は之れを閉塞した場合に之れに加はる水壓に堪えなければならぬ。水壓は次の様である。(第百四十七圖及第百四十八圖) 扉を直角に壓す力Qは

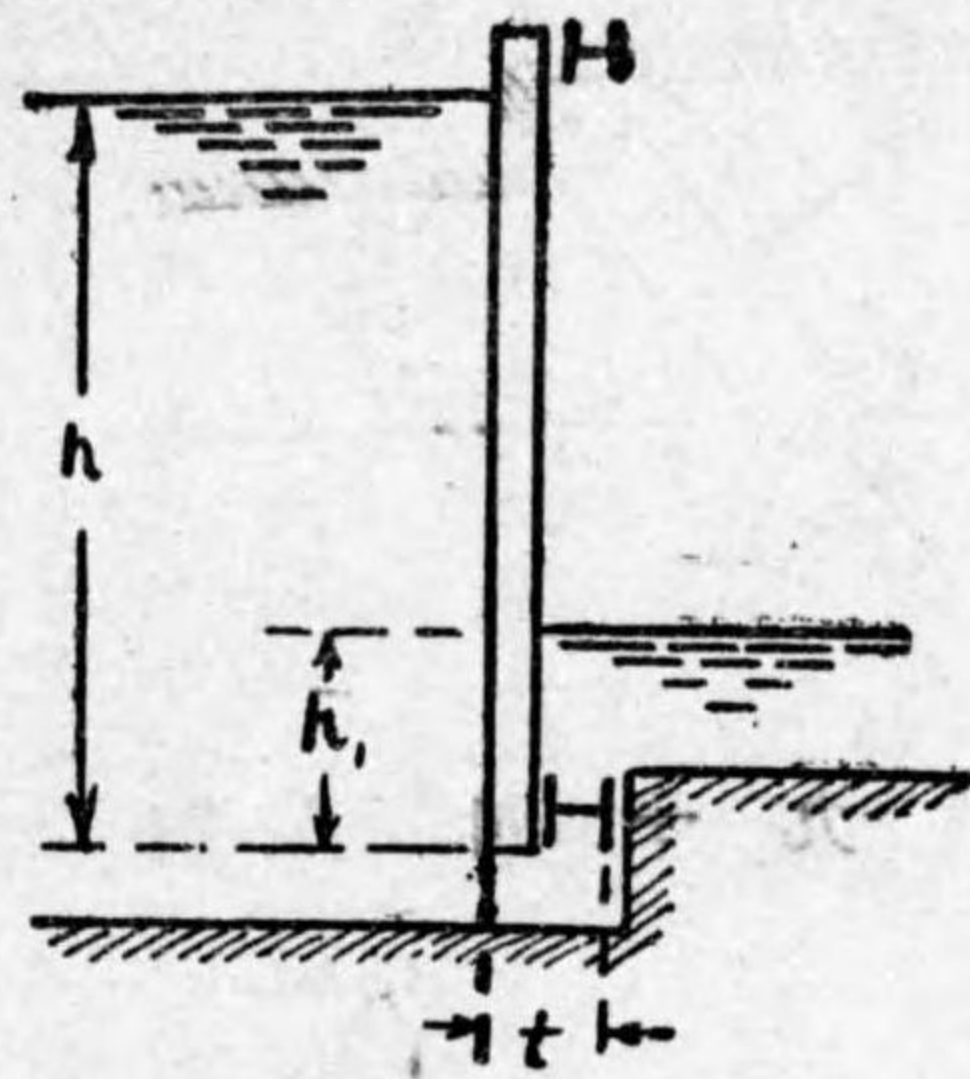
$$Q = \frac{wL}{2} (h^2 - h_1^2)$$

式中wは單位容積の水重、次に扉を横に壓す力Cは

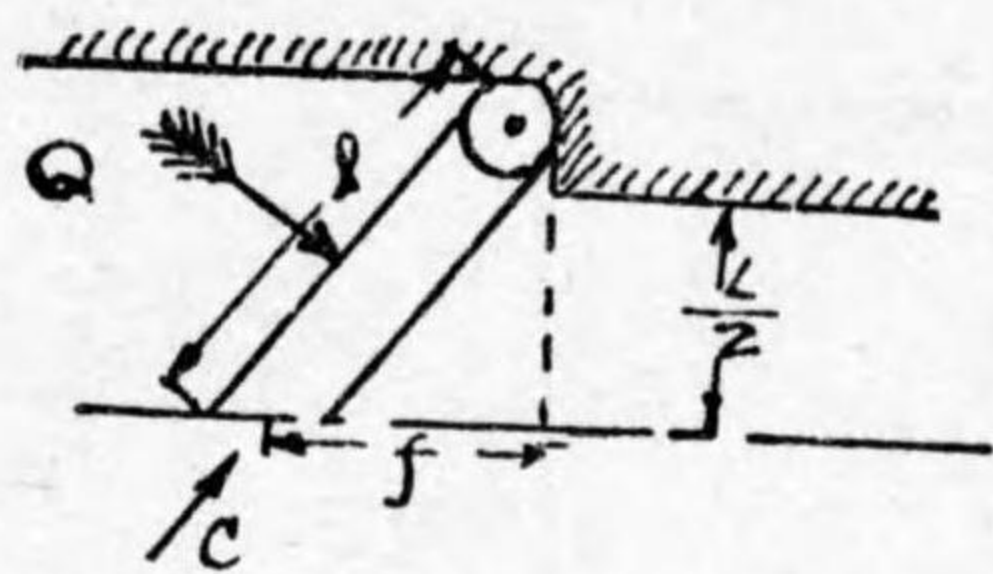
$$C = \frac{Q}{4} \frac{L}{F} = \frac{wL^2}{8F} (h^2 - h_1^2)$$

である。横材は普通數本用ひ中間の横材は同じ断面とし水壓に比例し下方に密に上方に粗に配置する横材の太さはCなる側壓に堪える他柱と柱との間を徑間とする桁として充分の太さあるを要する、扉の幅が廣いときは第百四十六圖に點線で示した様に垂直の柱を中央に入れることがある。斜接扉は其先端に於て柱と柱とが接する關係上歪を生じ易いから丈夫に造らなければならぬ其爲にはQを全水壓とす

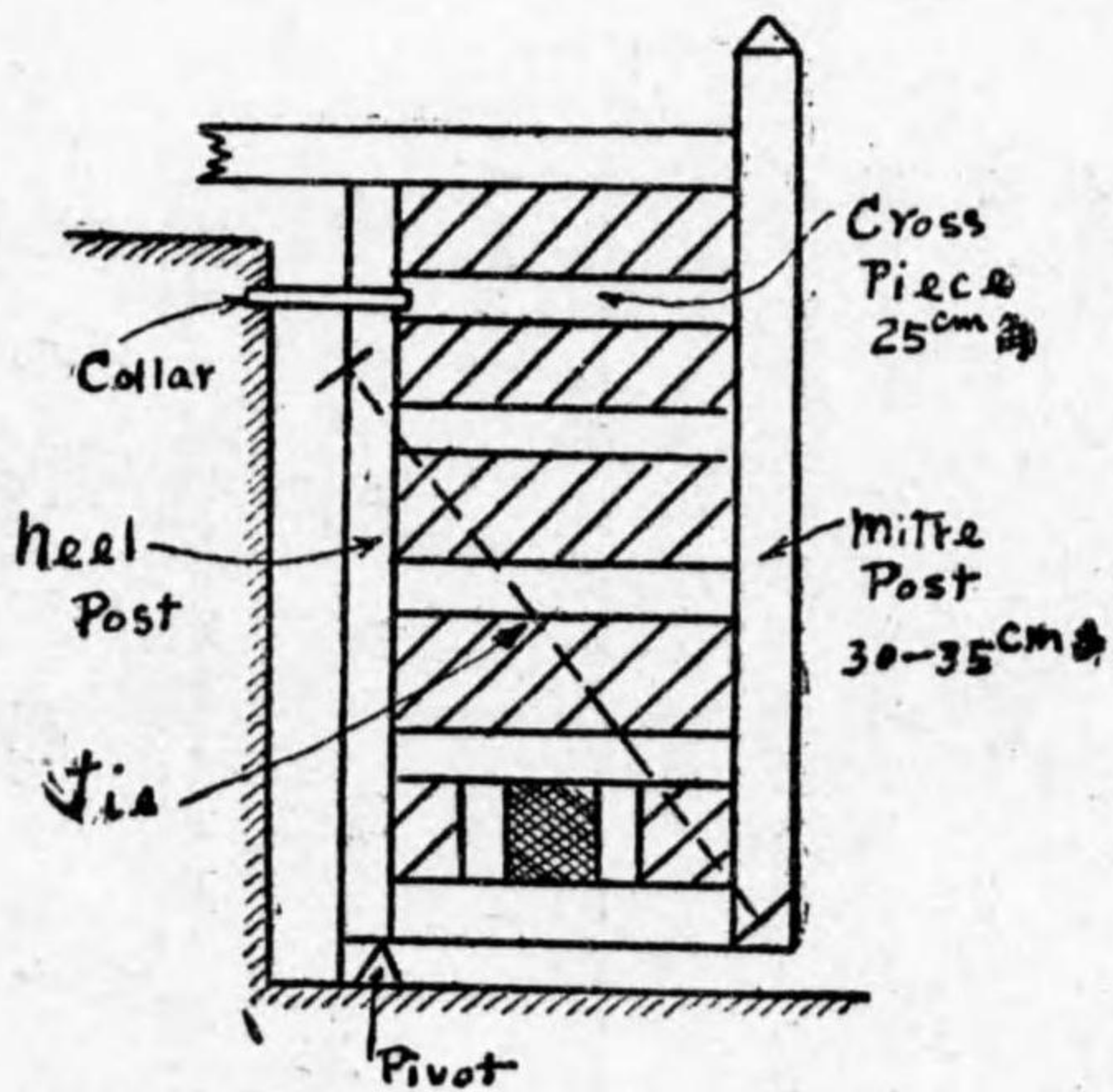
圖七十四百第



圖八十四百第



圖九十四百第



れば上中下の三横材の各が
寸の水壓に堪える様に造
るが良し。

木扉は第百四十九圖に示
す様な構造で枠に張る板
(planking)の厚さは六乃至十
二厘位である板の張り方に二
つある第一の方法は壓力の小
さな上方へは薄い板を張り壓
力の大きな下の方には厚い板
を張るので勢ひ切り張りする

ことになる。第二の方法は上下を通じて一枚の板で張るか又は中央で二枚を接ぎ合せるのである。理論上から言へば第一の方法が良く又修繕するにも容易であるが、仕事か面倒であるので歓迎されない。即接目が多い爲に漏水の危険多く且扉が丈夫に出来にくい故に之れは大きな扉には應用されない。板を張るには柱に平行に張ると斜に張ると二つ方法がある斜に張れば此板が横材の作用を營み、扉の歪んとするを防ぐ効力がある。扉の歪を防ぐには普通杭張材 (tie) 又は杭壓材 (strut) を使用する杭張材は横材を切り缺くことな
くして用ひられるが、杭壓材を用ひるには杭壓材横材とも一部分切り缺かなければならない。扉を水密にするには接手に填隙 (Calking) を施すか又は臍接 (tenon-and-mortise joint) にする。木扉は最初製作の際枠を

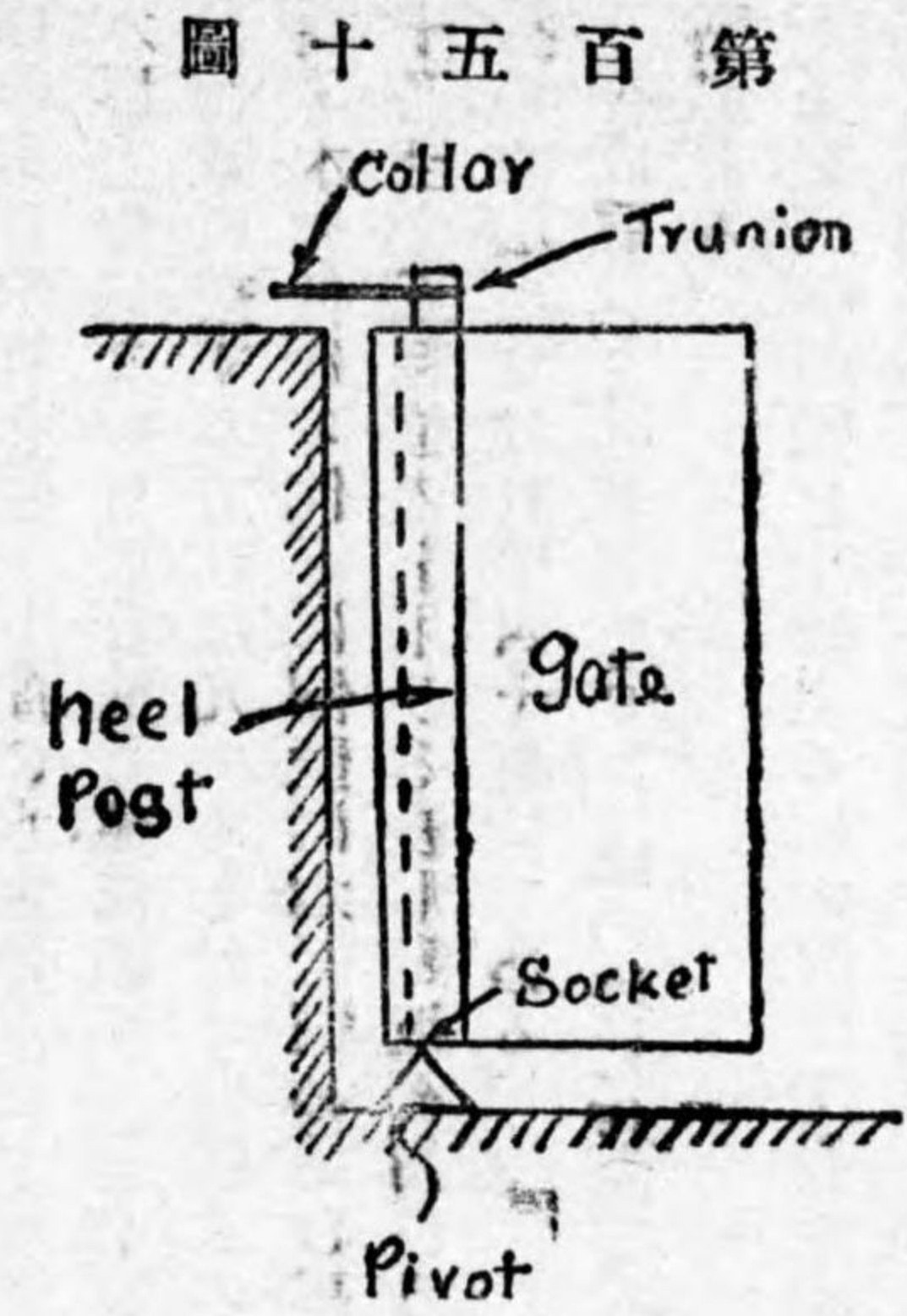
強固に作り且つ木をツメて張れば水密の扉を得ること困難でない。木扉に使用される木は交互に乾濕作用を受ける爲め腐朽し易い故に良材を選び且二年位枯らさなければならぬ。良材を用ひ且充分注意して製作すれば三十年位の生命を保つた例もあるが先づ二十五年も保てば上等の部である。

鐵扉は鑄鐵、鍊鐵又は鋼鐵で作るが其の中鑄鐵の扉は壞れ易いから不適當である。鐵扉の殼板は一枚の二枚のとある水密の點から見れば一枚で充分であるが大きな扉になると重くて操縦に困難であるから一枚の鐵の裏に木板を張り其間に水密の空間を作り水の浮力を利用して扉を軽く動かせる様にする。鐵扉の構造は木扉と變らない柱の断面は集成断面 (Built section) で横材も板桁 (plate girder) 様断面のものを用ひる隅柱の側壁に接する方には丸い木を付け側壁との馴染を良くする又斜觸柱の先にも木を付けて建付を良くする隅柱に木を付ける代りに側壁に木を嵌め込む事もある、鐵板の厚さは薄くとも六厘位にし落差大なる場合には十乃至十五厘位を用ひる波形鐵板を用ひることがある之れは丈夫であるから薄くて済む。鐵扉の生命は維持の方法が良ければ四十年位である。

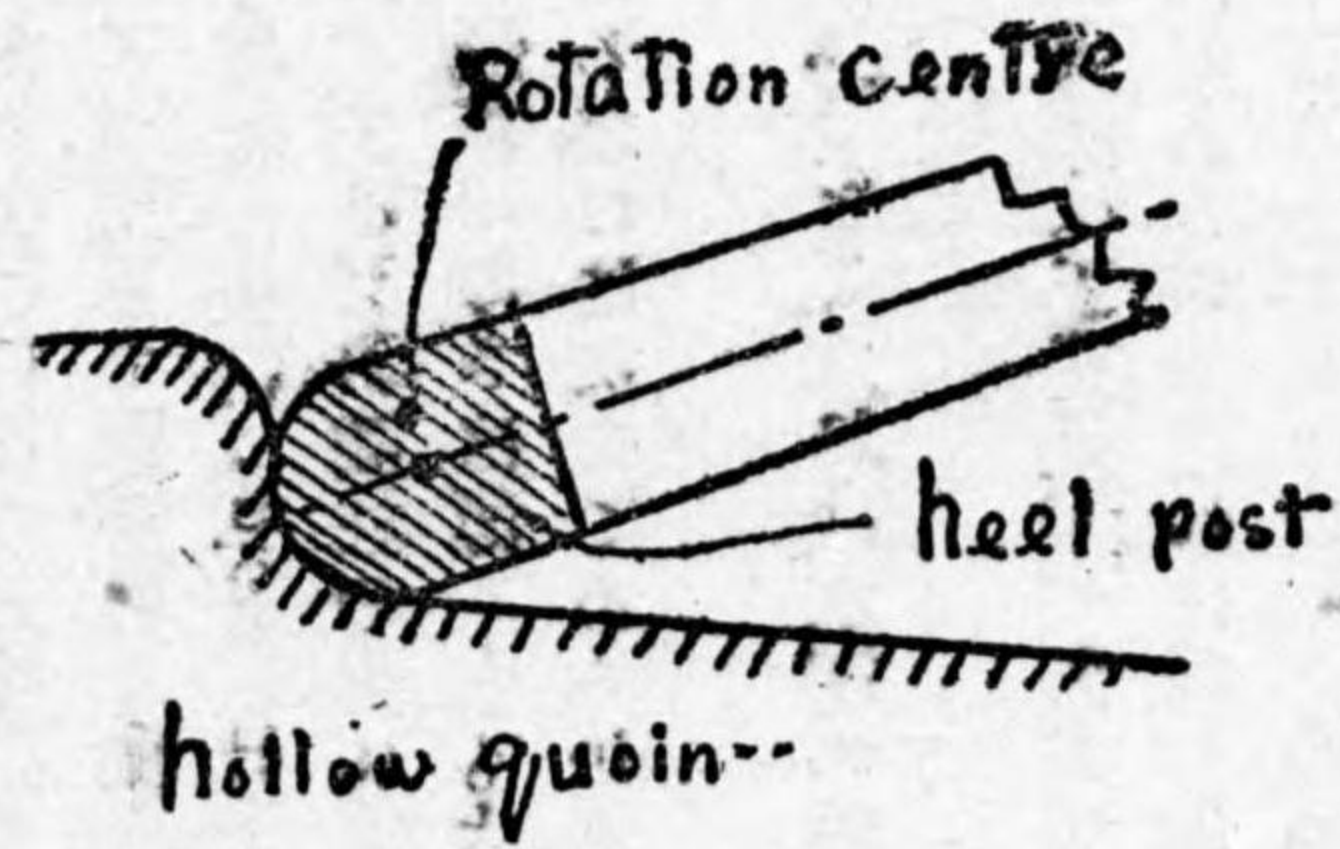
合成扉 (Composite gate) は鐵の枠に板張りをしたものである。之れは水密の點で勝れて居るが生命の短い缺點がある。

上記三種の扉を比較するに木扉は工費最小であり合成扉は工費最大である故に落差の小なる場所には木扉が多く用ひられる然し近來落差は次第に大なる傾向があるので之れに對し尚木扉を用ふるとすれば大きな材料を要し工費は比較的高くなるが鐵扉なれば大きくなると工費は反て比較的安くなる傾向がある。運河を通過する船の数が多ければ修繕の爲住來止めをされては其影響が大であるから斯様の處には鐵扉を用ふるが良し、鐵扉は木扉よりも丈夫で依持修繕の費用も少なくて済む、水密の點では木扉は鐵扉に勝る様であるが木扉は段々狂を生じ遂には水密を誇り得ない様になる、日本では木が比較的安いのて木扉を用ふる事が多い。

次に扉の細目 (detail) に就て述べると扉の廻轉軸は隅柱にある故に隅柱は垂直に保たなければならない。垂直に保つには普通第百五十圖の様にする、木扉では扉を閉めるとき隅柱と側壁とは接觸するが開閉の行程中常に接觸を保つときは木が磨滅し隙を生ずるから隅柱の中心を廻轉軸の中心とは或る距離 (普通十厘米) とすを保たせること第百五十圖に示す通りである。隅柱の座つて居る石 (heel post stone) には尖軸 (pivot) があつて扉の廻轉を容易ならしめる (第百五十二圖)。



圖一十五百第



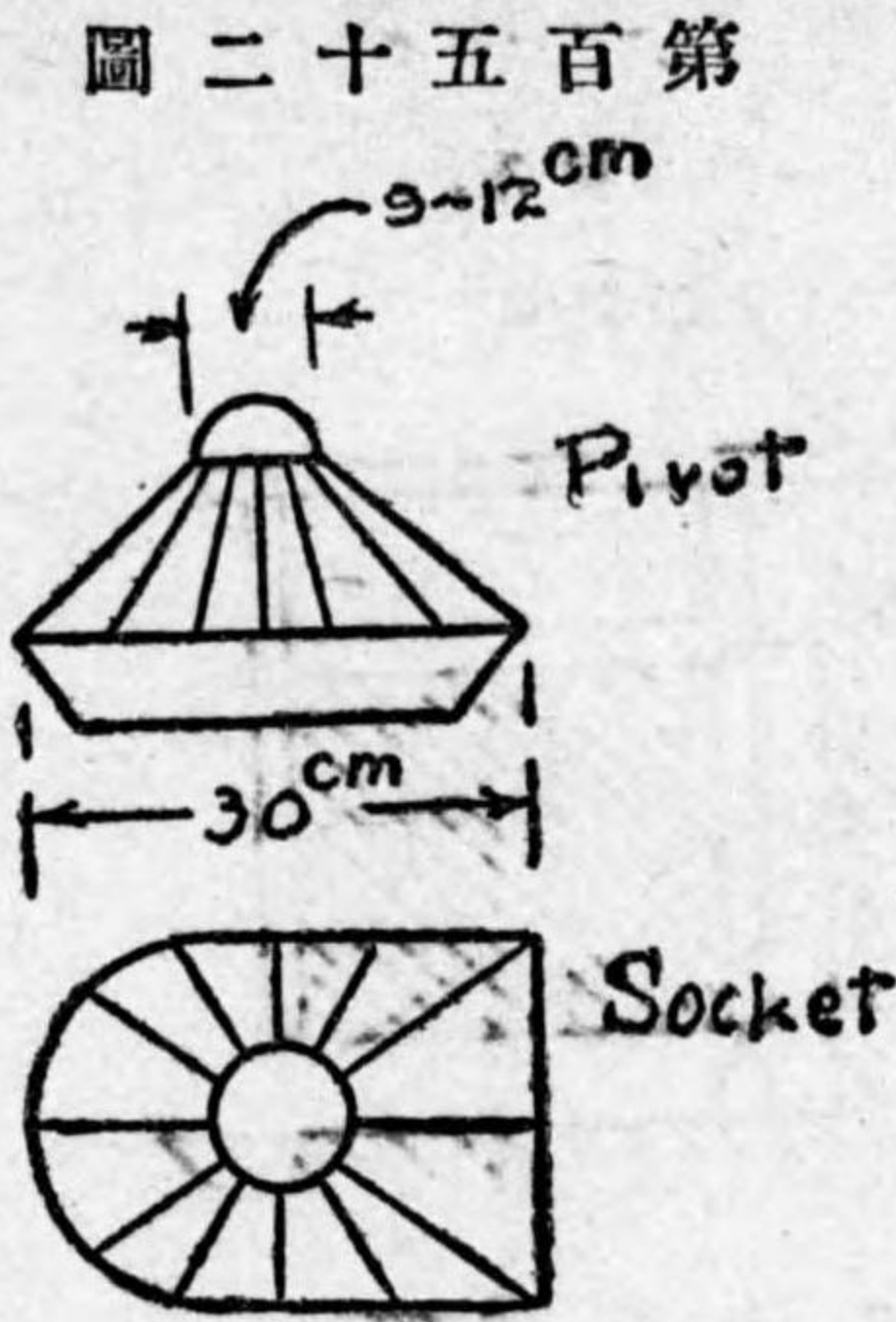
側壁には第百五十三圖に示す様なものが付いて居る之れを環鉗 (Collar) と言ひ樞軸 (Trunion) が之れに嵌り込む。扉を開閉せんとするには

相當の力を要する今扉を開く場合に之れに低抗する力を考えると (一) 尖軸及承口間の摩擦 (二) 扉の前にある水の低抗力 (三) 扉の内外に於ける水位の差より生ずる低抗力の三つに別けることが出来る此等の力の大きさは次の様である (第百五十四圖)。

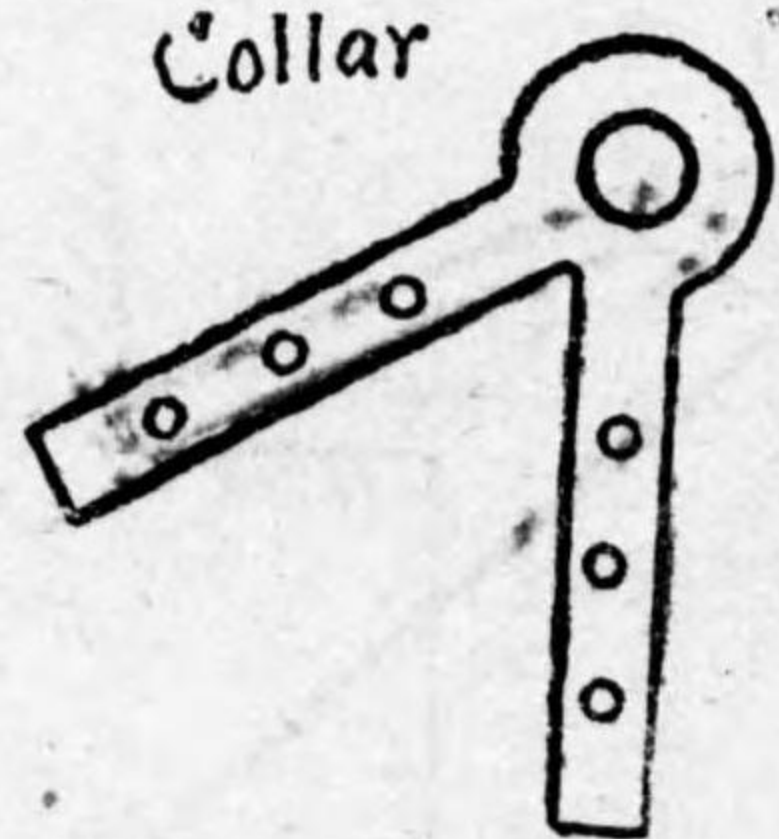
(一) 尖軸及承口の摩擦力 (Ma)

$$M_a = f \cdot W \cdot \left\{ \frac{l}{2h} + \frac{2}{3} r \right\}$$

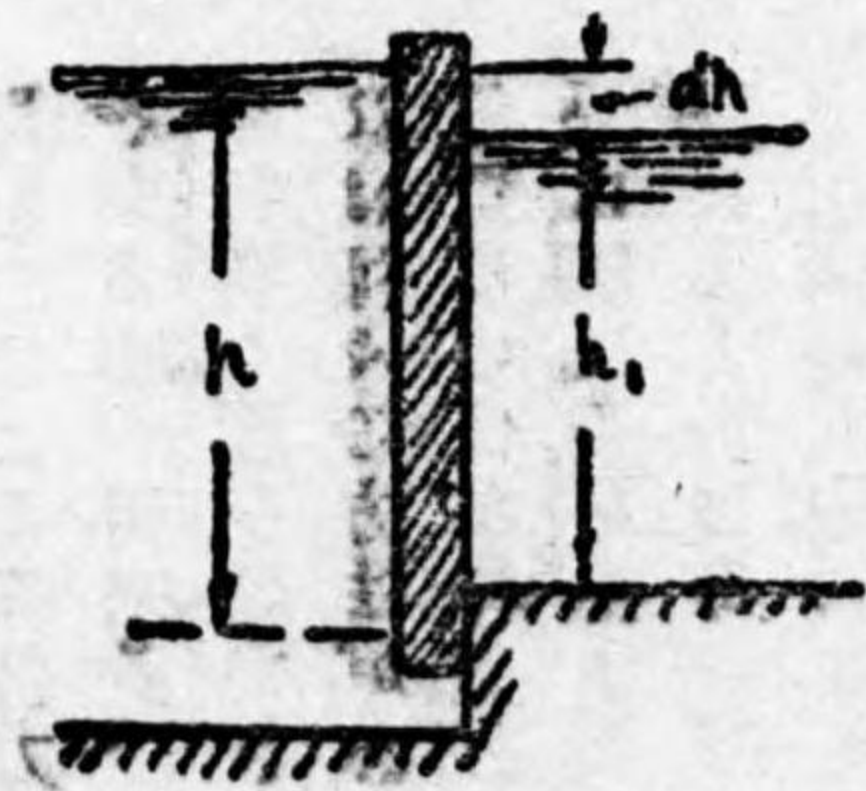
式中 r は尖軸の半径、f は摩擦係數、W は扉の重量、l は扉の幅、h は扉の高さ、r は環鉗の半径を示す



圖三十五百第



圖四十五百第



(二) 扉前にある水の低抗力 (Mb) は

$$M_b = 0.055 \omega^2 \frac{l^3}{4} h$$

式中 ω は扉を開く際の角速度を表はす

(三) 扉の内外に於ける水位の差より生ずる低抗力は

例

$$M_c = \frac{dh \cdot l^2}{2} \left(h_1 + \frac{dh}{2} \right)$$

$$f = \frac{1}{3} W = 2 \text{ ton. } l = 3.16 \text{ m. } h = 4.2 \text{ m. } dh = 0.2 \text{ m. } r = 0.15 \text{ m. } r = 0.12 \text{ m. } h_1 = 4.0 \text{ m. } = \frac{1}{20}$$

$$M_a = 0.035 \text{ meter-ton}$$

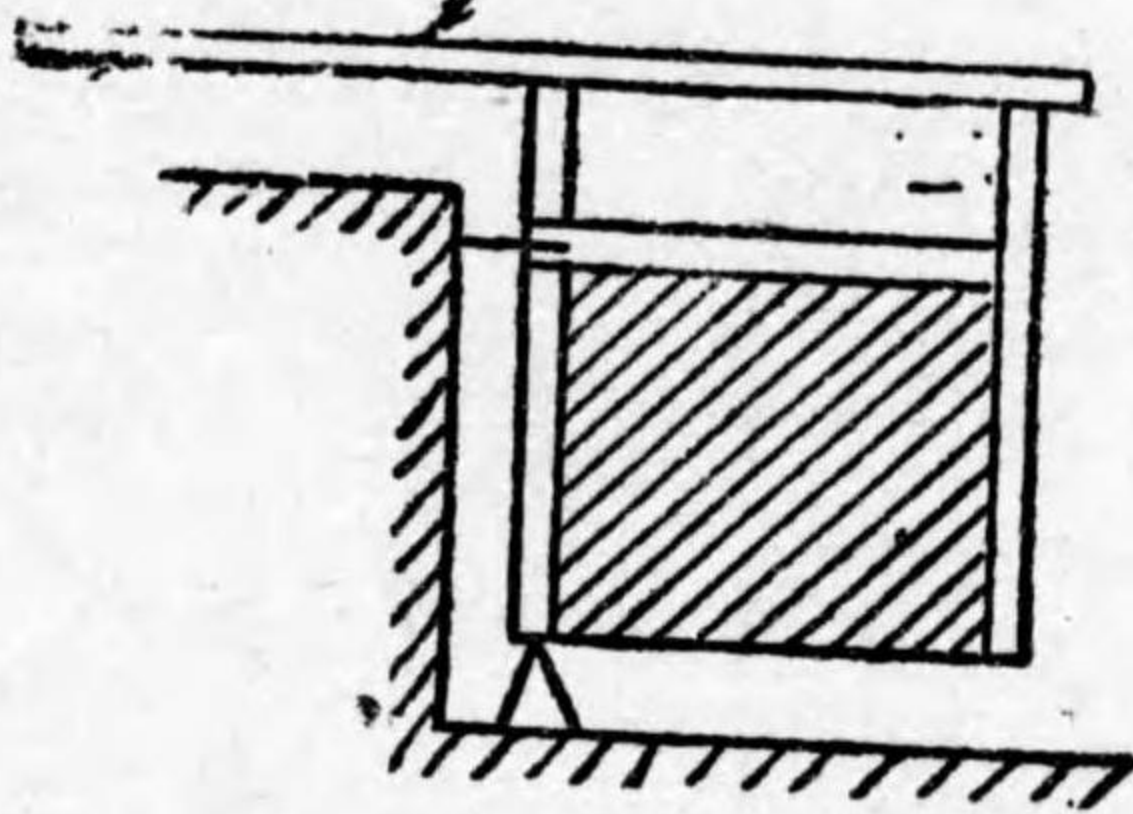
$$M_b = 0.0147 \text{ m.w.}$$

$$M_c = 4.100 \text{ m.t.}$$

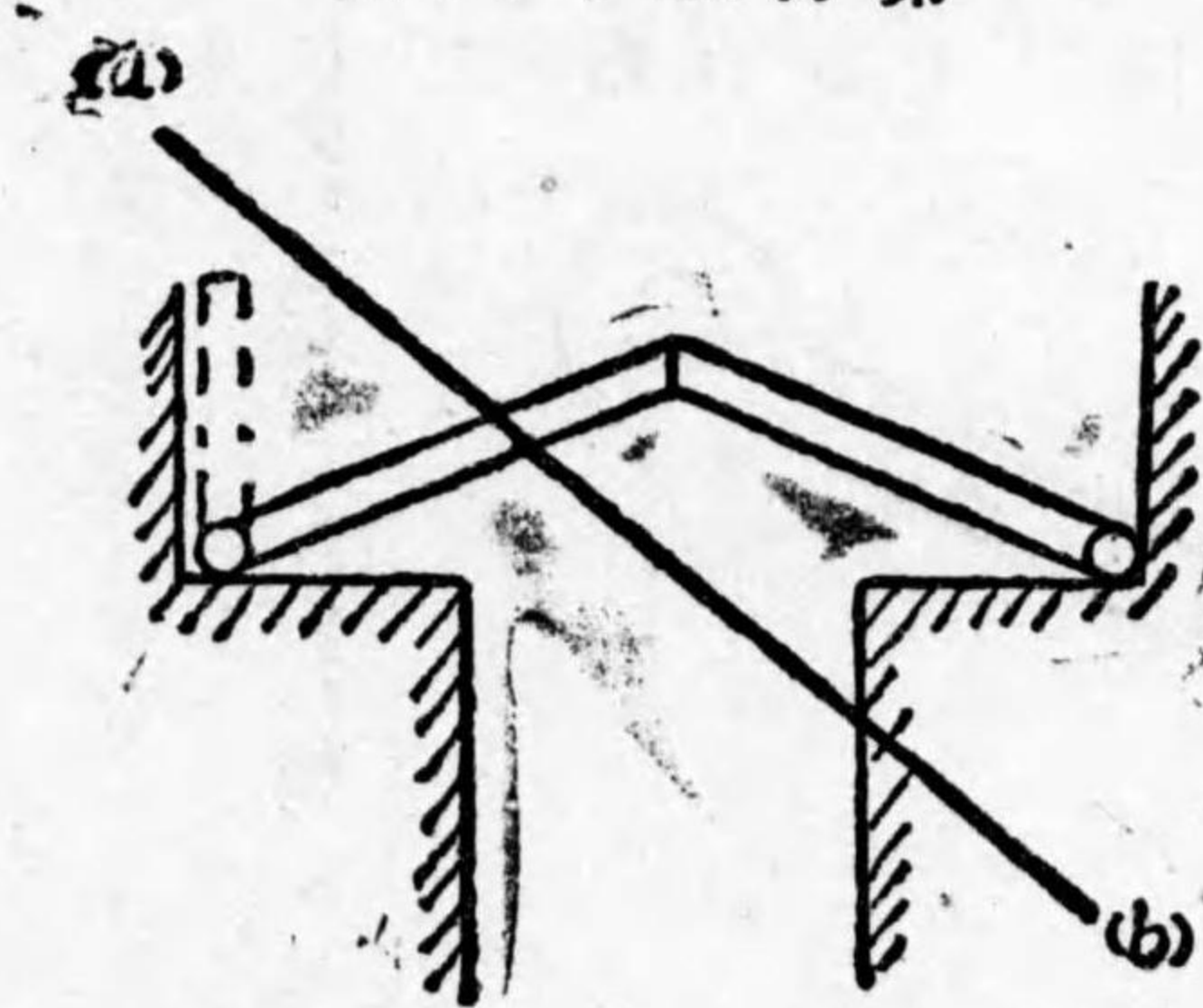
圖五十五百第

槓杆

Lever

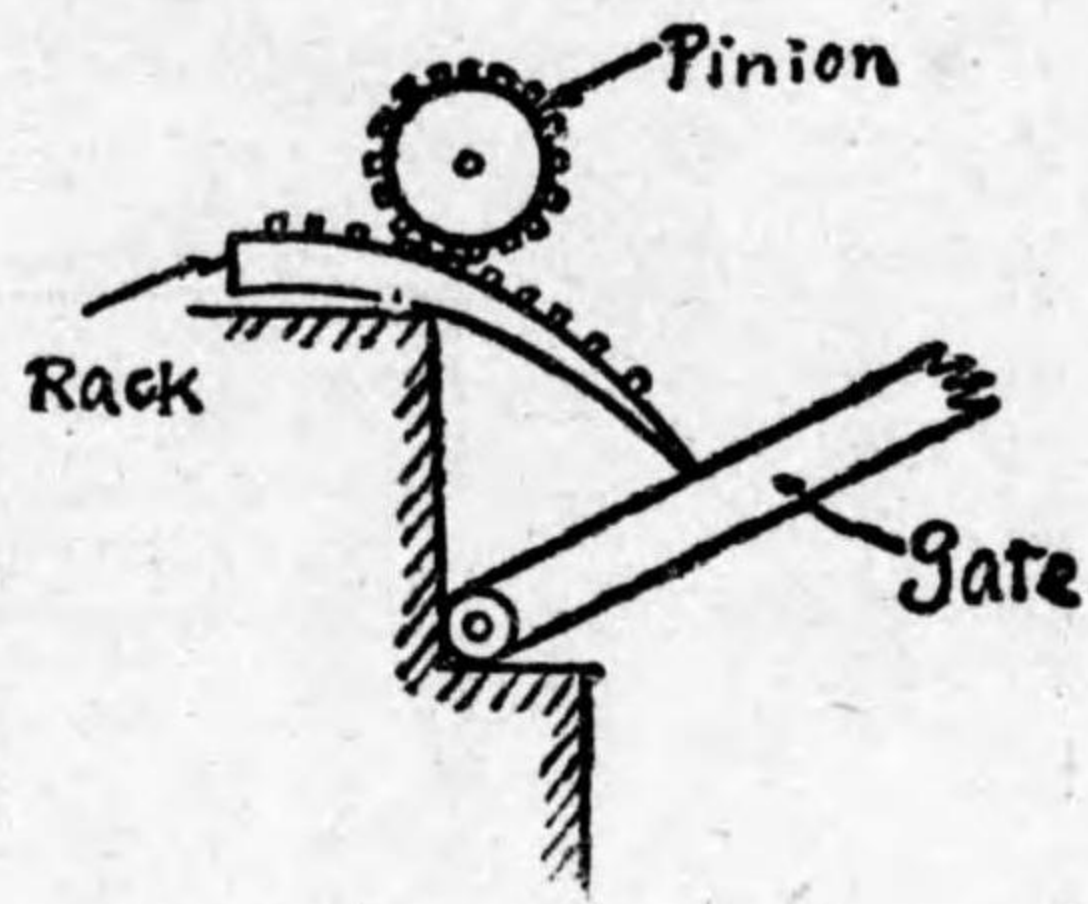


圖六十五百第



即(三)による抵抗力の大なるを知る事が出来る、此等の力に打勝ち扉を動かさんとするには種々の方法がある、最も簡單なのは槓杆である此の得點は扉に歪を生ずる事が少い點にあるが曳舟の際には槓杆が引綱の邪魔になる事がある概して小な扉に用ひる(第百五十五圖)。次に簡單なのは綱による開閉で(第百五十六圖)開けるときは(a)の綱を引き閉めるときは(b)の綱を引け

圖七十五百第



ばよい之れの欠點は綱が舟にひつかゝる事である。時としては槓杆と綱とを組合せて用ひることがある。第百五十七圖に示すのは曲齒棒 (Curves rack) と齒車 (Pinion) との作用により扉を開閉する装置であるが此欠點は曲齒棒の彎曲度に狂を生じ易い事である大きな扉になると水力、壓搾空氣又は電力を用ふる。特種の扉扉は普通右に述べた斜接扉が多く用ひられるけれど時としては特種の扉を用ふる事がある次に其要領を述べて見よう。
一、單扉で垂直の軸の廻りに廻轉するもの(第百四十四圖)
二、單扉で水平軸の廻りに廻轉するもの
三、單扉で兩戸の様に引くもの之れは長徑間の場合に用ひられ

- 四、單扉で上方に引上げるもの
- 五、複扉であるが斜接せず兩扉は一直線になるもの

第五節 水門戸 (sluice gate) 及水門溝 (Sluice way)

水門戸とは開扉の一部に設けられた穴である水門溝の入口にある戸も亦水門戸と言ふが此處では前者に付てのみ述べるのである、開室が小さいときは水を迅速に送る必要もなく又扉も小であるから其一部に穴を開けても扉の強度に影響すること大でない之に反し落差が大で船も大きく従て開室が大きければ小穴から水を送つたのでは通開に多くの時を費すから此場合には是非大きな穴から迅速に水を排給しなければならぬ開扉

に大穴を明けることは困るから此場合は水門溝による水門溝なら思ふ様な大穴を明けることが出来るが然し一つの制限があるそれは内地航運では船が貨物を満載した場合には甲板と水面との距離は幾何もないから少しの波が起つても甲板は水を被り勝つてある此時に當り急に水を送り又は抜くと水面に波を生じ船は動揺し扉や側壁に衝突したり又は船の中に水の入ら込む心配があるから餘り大きな水門溝を造る譯には行かない。水門戸と水門溝を合せ用ひる場合もある。

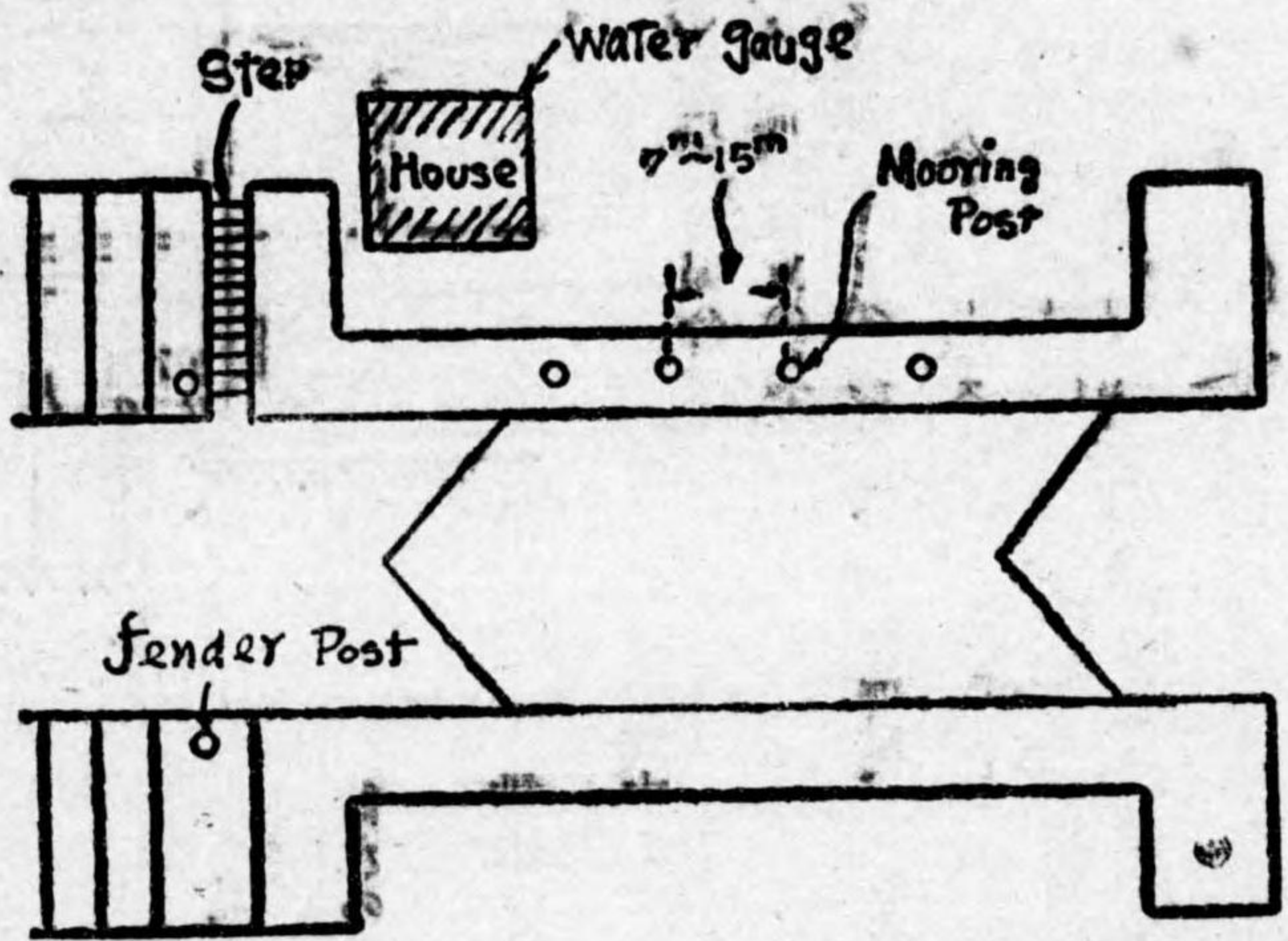
水門戸。鐵扉ならば比較的大穴を明けることが出来るが木扉ではそう參らぬ、水門戸を設くる位置は最下の横材と次の横材との間である此間隔は普通七〇乃至八〇浬である穴を大きくするには横に擴張するのである幅は普通一米突半を限度として居る扉の面積と水門戸の面積との比は五パーセントに及ぶ事がある。水門戸を塞ぐ扉の構造に二種ある一つは引戸であつて他は廻轉戸である。

水門溝。水門溝は扉床と扉室との間の最短距離を結んだものがあり又は側壁全體を通じ穴を明けたものもある側壁でも片側の側壁許りにあるものもあれば兩側の側壁にあるものもある稀な例としては水門溝が扉床に口を明けてある場合がある溝の形は矩形、卵形、拱形等である其大さは水量と時間との關係より定まり普通高さ一米三五乃至二米突幅〇・七米乃至一・七五米突位である。開室内の水位が單位時間に上下する高さには制限がある大船なれば一秒時間の上下は七乃至八浬にする注意すべきは溝中に空気があると激衝を惹起す虞があるから氣孔 (air hole) を造る必要がある。水門溝の口には開閉用の扉を要する之れは前述の水門戸と同じ様な構造にする。

第六節 附屬工事 (Accessary Works)

開室内に於ける船の動揺を防ぐ爲めに繫船柱 (Mooring Post) を設け之れから繫船綱 (mooring post) を下げ

第五百五十八圖



て之れに船を結付ける尙船が側壁に直接に衝突するを防ぐ爲緩衝柱 (Fender post) を設ける、交通を便にする爲階段 (step) がある此勾配は一割乃至一割五分位にする、此外番人小屋兼事務所、水量標、橋等を設ける (第五百五十八圖)

第七節 通開に要する時間 (Time in Locking)

開室に水を満たし又は開室より水を排除するに要する時間は次の如くである

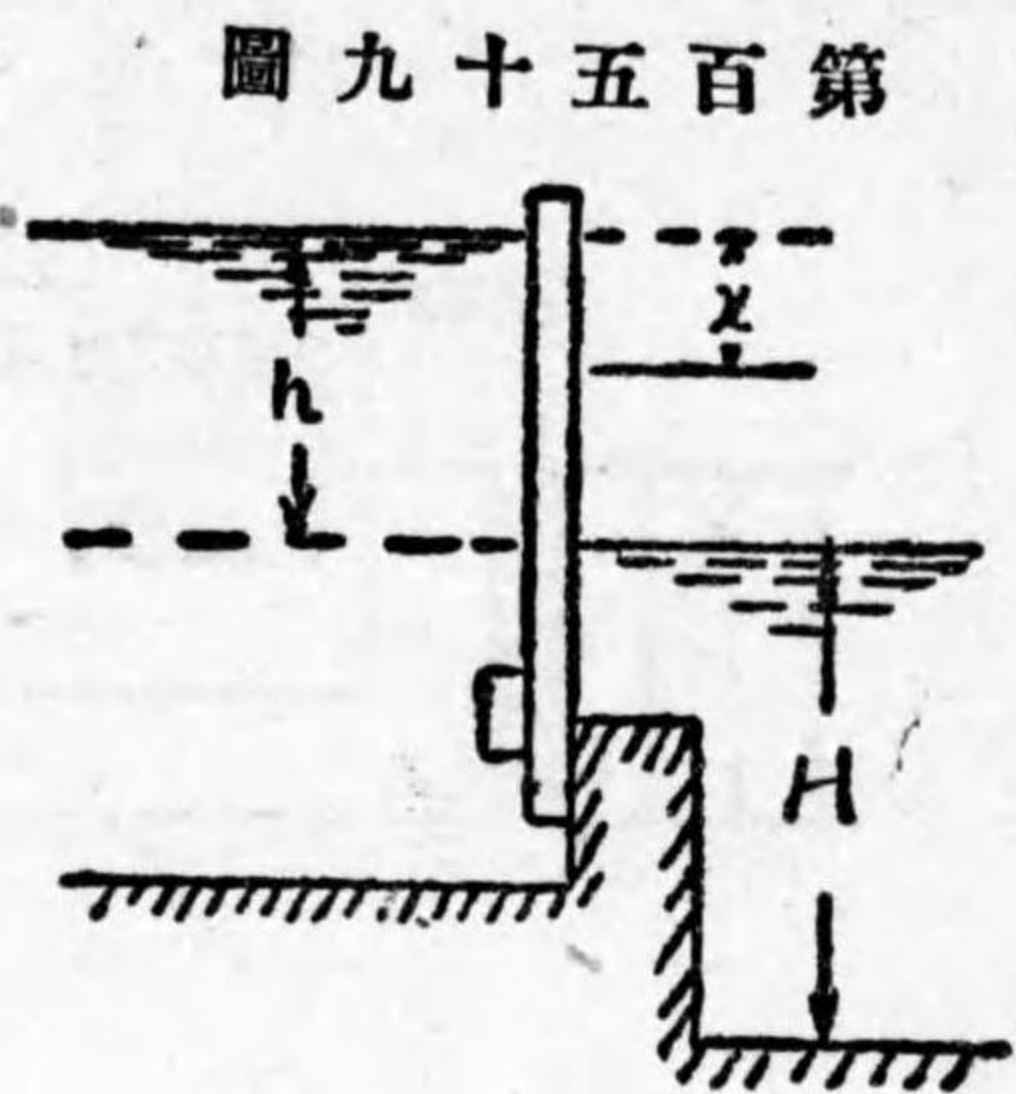
(一) 水門戸の場合

(イ) 側壁直立の場合

S を開室の面積、s を水門戸の斷面積、h を落差、m を收縮數とすれば dt なる時間の間に水門戸を通過する水量 (dQ) は

$$dQ = ms\sqrt{2gx} dt$$

であり同時内に於ける開室内の水位の變化は dx である



圖九十五百第

(二)水門溝の場合

(イ)側壁直立の場合

rを径深、vを平均流速、qを流量、sを水門溝の断面積、cを粗率 (Coefficient of roughness)とすれば

$$v = c \sqrt{H} \text{ 及 } i = \frac{R}{1.49 R^{4/3}} \text{ なるに } r \text{ より } H = \frac{v^2}{c^2} \text{ 及 } \frac{R}{1.49} = \frac{1}{c^2} \frac{q^2}{s} \text{ 故に } q = cs \sqrt{\frac{r}{1.49}} \sqrt{x}$$

$$\therefore cs \sqrt{\frac{r}{1.49}} \sqrt{x} dt = S dx$$

$$t = \frac{2S}{cs} \sqrt{\frac{1.49}{r}}$$

式中 l は閘室の長さ a は底に於ける幅 S は底に於ける面積を表はす

(ロ)側壁四十五度の傾斜をなす場合

$$\text{給水の場合は } t = \frac{S + al + 2l(H + \frac{3}{2}h)}{hs} \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$\text{排水の場合は } t = \frac{S + al + 2l(H + \frac{3}{2}h)}{ms} \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

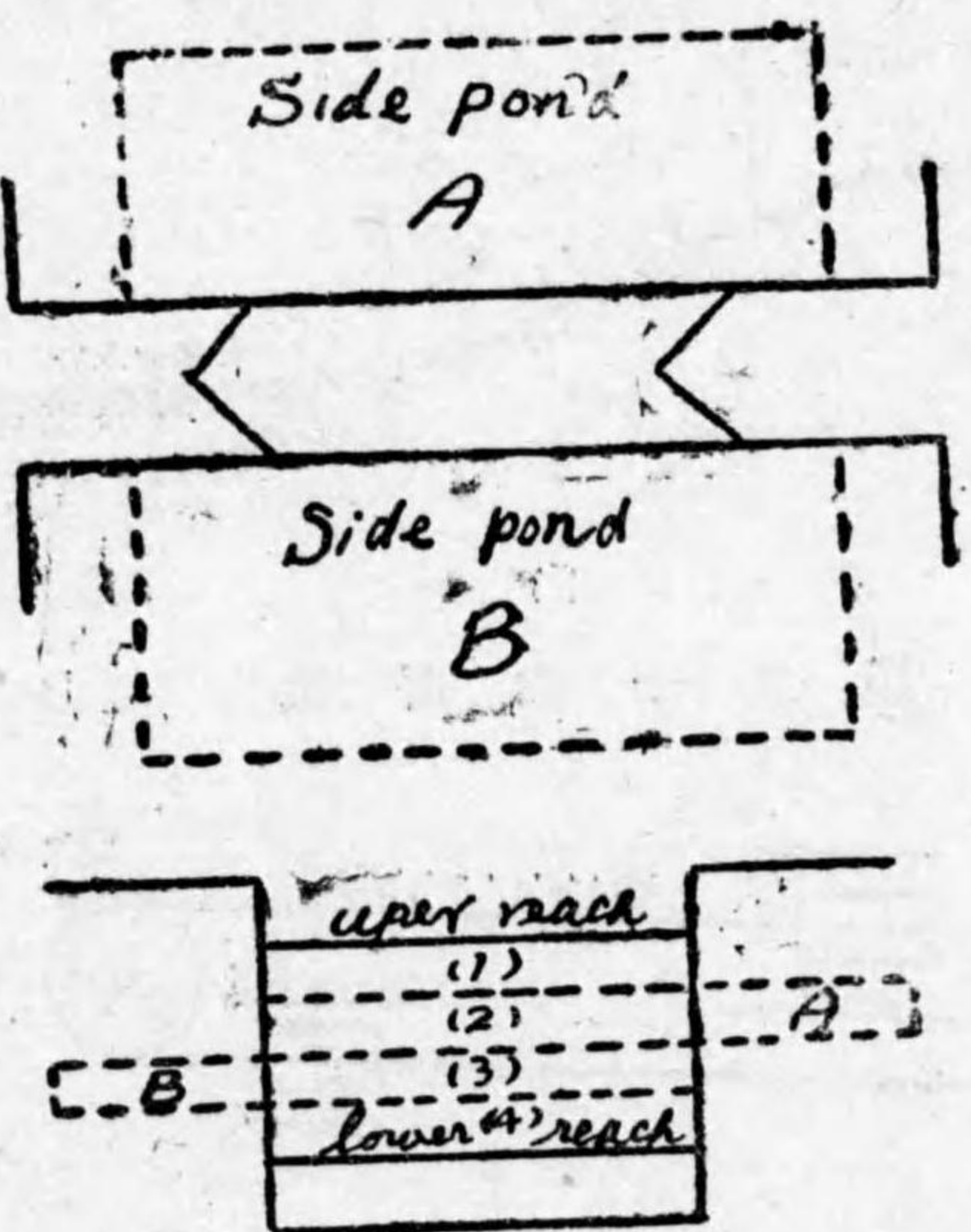
$$dt = \frac{S}{ms^2 \sqrt{2g}} x^{-1/2} dx$$

$$t = \int_0^a \frac{S}{ms^2 \sqrt{2g}} x^{-1/2} dx = \frac{S}{ms} \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

第八節 通閘に要する水の節約

水の供給が自由でない運河では通閘に要する水を節約することが肝心である。之には種々の考案があるが実行されたのは側池の法である。之れは第百六十圖に示す様に上区と下区との水位間に含まれる閘室内の水を四つの等しい部分に分ち水を下区に捨てる際に(1)の水はAなる池に(2)の水はBなる池に送り(3)(4)の水は下区に捨てる斯くて閘室内の水の半分丈を節約する事が出来る其他二三の考案があるが省略する。

圖十六百第



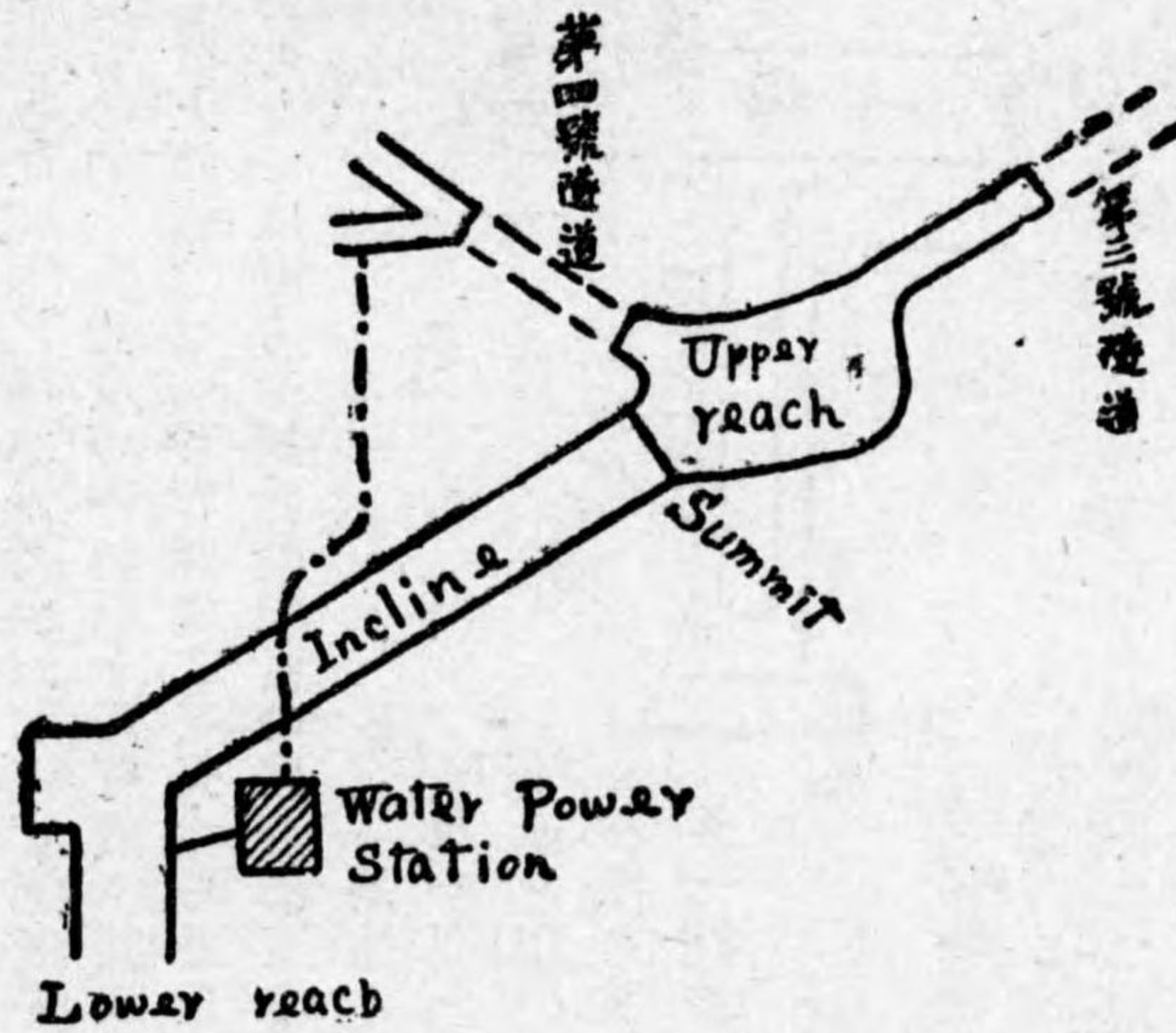
第二章 運河斜路 (Canal Inclines)

運河斜路は運河閘門と同様に運河に落差のある場合に之に打勝つ設備である。上区には水の下区に流るゝを防ぐ装置がある上区と下区とを結ぶ斜路には軌條が布設され此軌條の上を船が引上げられるのである(第百六十一圖)。斜路には縦斜路と横斜路とあるが普通用ひられるのは縦斜路である。斜路の傾斜は通常十分一乃至二十分一で京都の疏水に用ゐられる

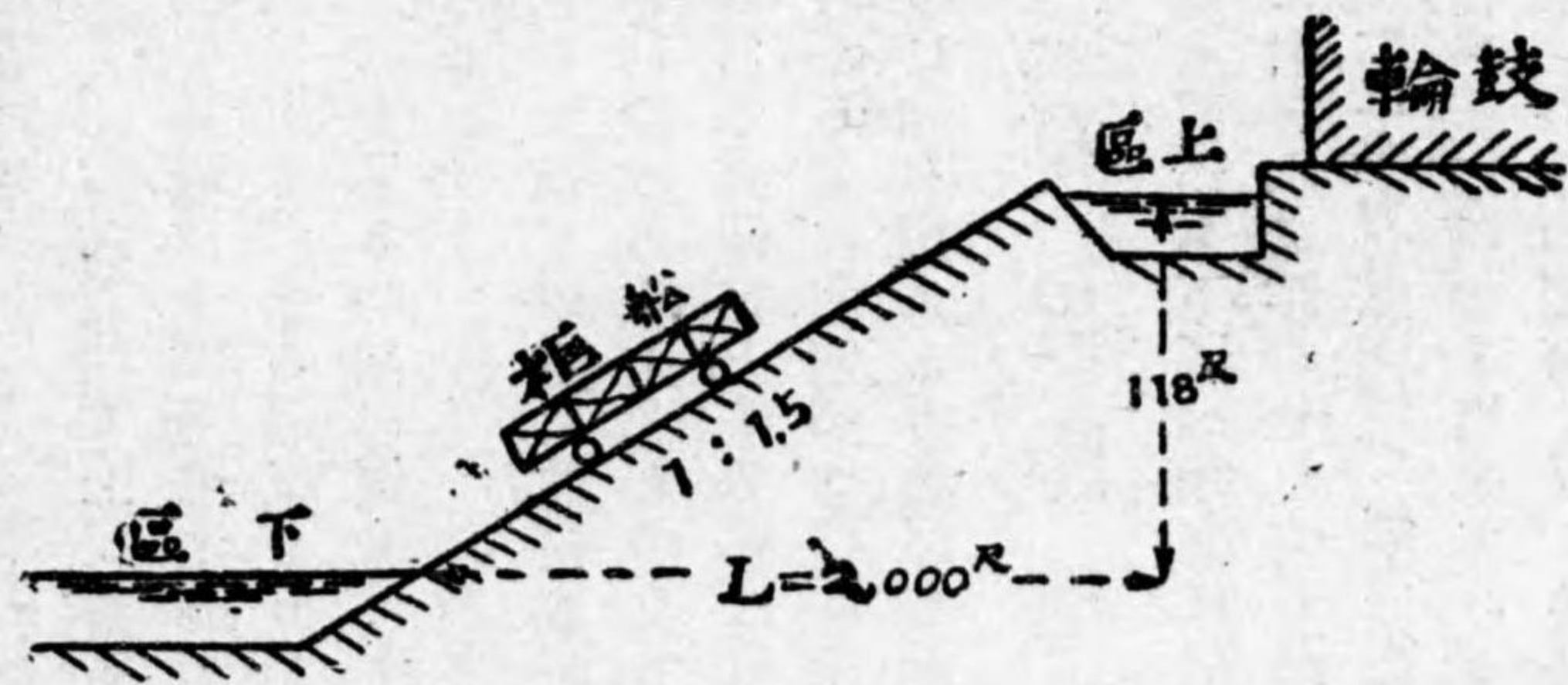
て居るのは十五分一である。船を軌條の上に乗せる方法の一として船に車を付けた事もあるが水上に浮ぶ時は實に厄介物であるので今は用ひられない現今廣く使用されてゐるのは船框 (Cradle) 及び浮函 (Caisson)

様に鼓輪が一箇で綱の両端に船框を結付けるものもある。動力としては蒸氣力水力及電氣が利用される。

圖五十六百第

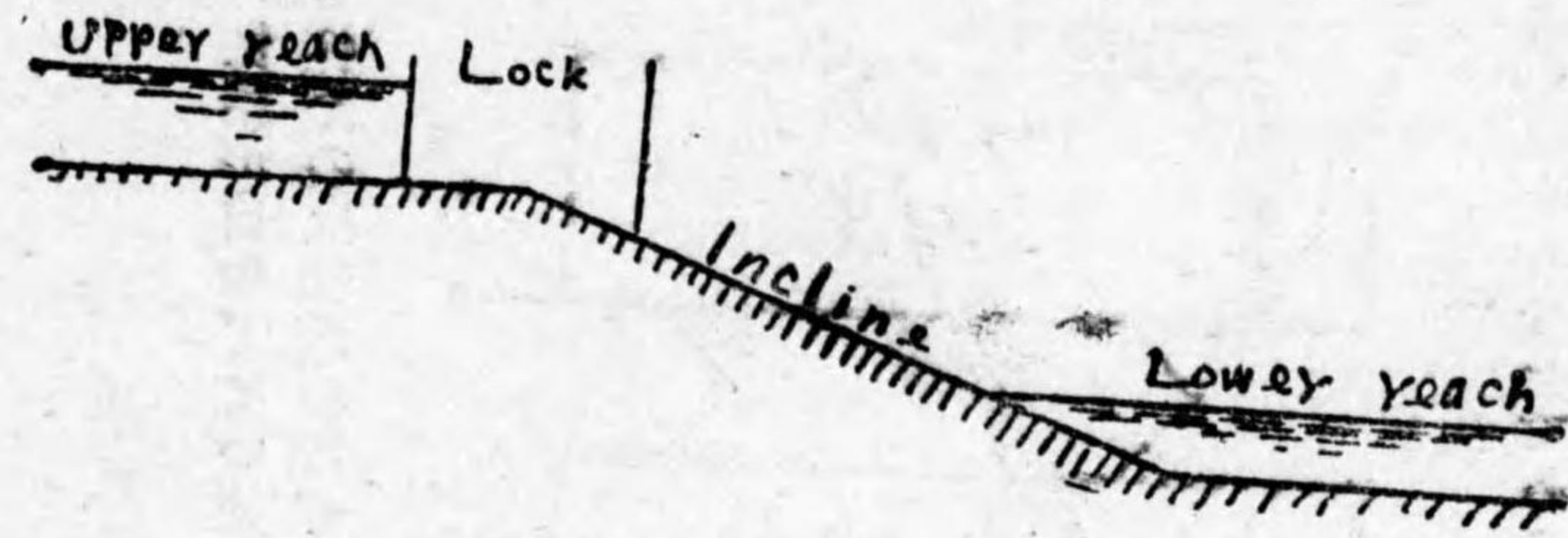


圖六十六百第

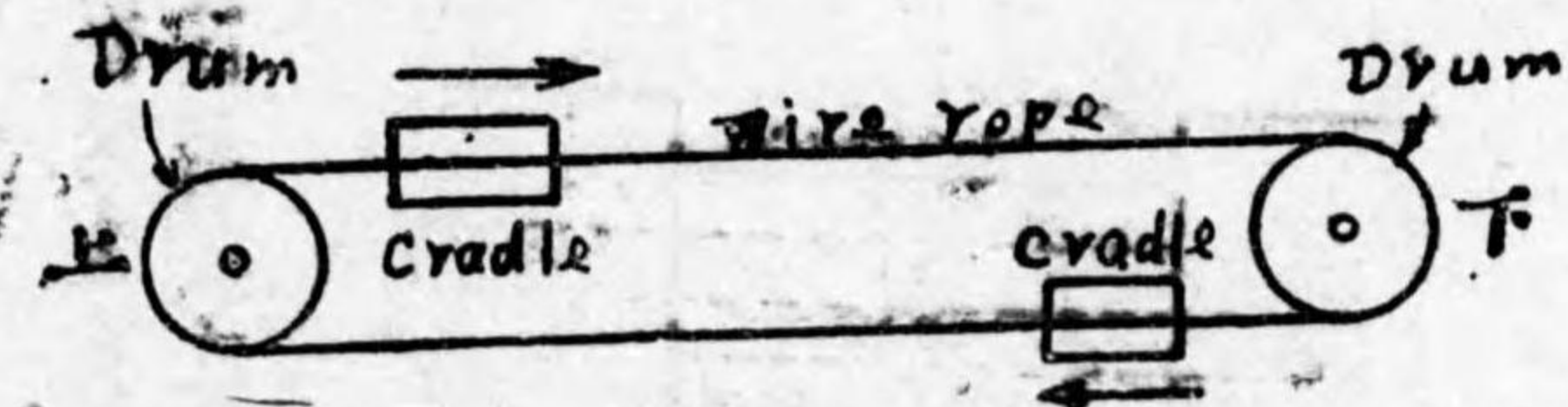


である。船框は船を受ける
 框で船が斜路を上る場合に
 は框は船を支持し軌條上を
 車輪の廻轉により上つて行
 く框が船を支へるのは數點
 で支へる許りであるから船
 に無理を生ずる虞れがある
 此缺點を除くには浮函を用
 ひる之れは鐵製の函で下
 は車輪がある。船框又は浮
 函を引上げるには索條
 (Wire rope)を用ひる引上
 げ方法には種々あるが普通
 は第百六十二圖に示した様
 に綱は環をなし之れに船框
 なり浮函なりを結付け鼓輪
 (Drum)の廻轉により上下
 する又第百六十三圖に示す

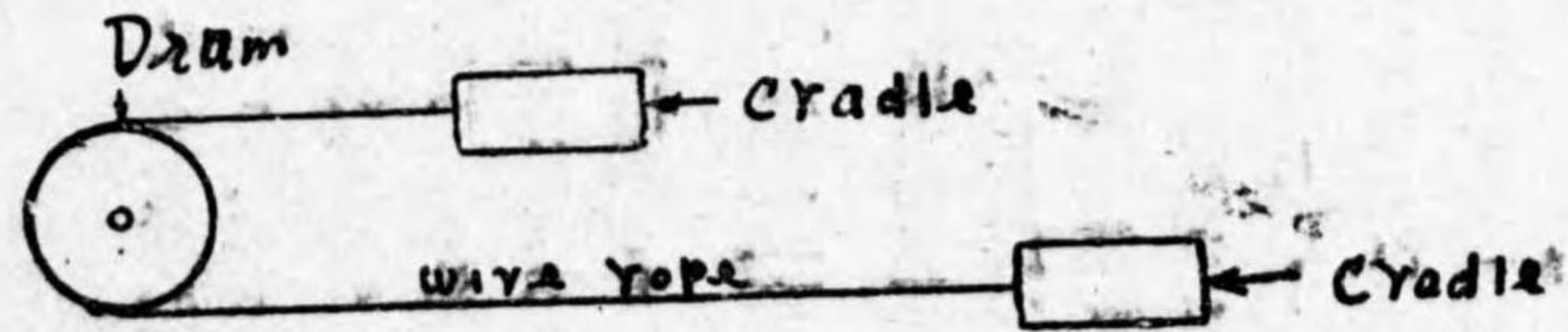
圖一十六百第



圖二十六百第



圖三十六百第



圖四十六百第



斜路の上端には第百六十一圖に示す様に開門を造ることもあるが又第百六十四圖に示す様にすることもある頂上と水面との間は〇・三乃至〇・六米突位の間隔を設ける。

斜路の一例として京都疏水の斜路を述べて見よう(第一六五圖及第一六六圖)此斜路を引上げる船の大きさは長さ四十五尺幅七尺吃水二乃至三尺迄て運搬する貨物の重量は十噸乃至十五噸である斜路には木の枕木を置き其の上に七十五封度の鐵軌條を四線敷く其軌間は八尺三寸である船框を引く索條は周圍四寸鼓輪の徑は十二尺で引上の速力は一秒時間に二尺五寸乃至五尺引上に要する時間は遅くて十五分速い時には十分以内である動力としては電力を用ひ發動機の馬力は五十馬力である。

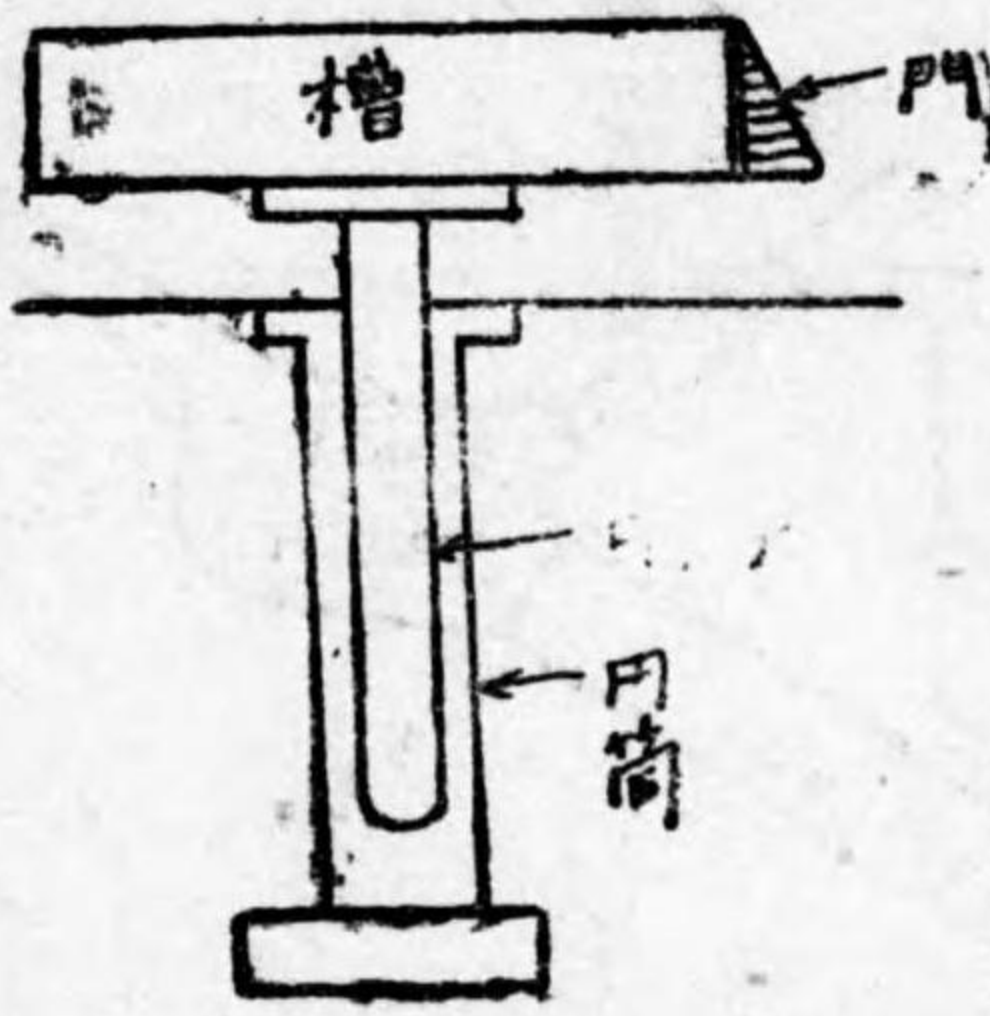
斜路と開門との比較。斜路は其長さが長いけれど落差の大きな處を早く引上げ得る利益がある土工も少なくて済むし殊に其得點とする處は水を用ひぬ點である其缺點とする處は重い物を上げ下げするので機械が損じ易い事である殊に索條が切れる様な事があると甚だ以て釘呑てある索條の代りに鎖を用ふる方法があるが工費を増す缺點がある。

第三章 昇降槽 (Canal Lifts)

昇降槽は船を上區から下區へ垂直に引上げる設備である此場合には浮函と同じ様に船を水に浮かせた儘下區から上區に移すのであるから

水力昇降槽は水壓機の唧子 (Ram) の上に造られた一對の槽から出來てゐる此兩槽は常に一所に働らさ一方が上に行けば他は下へと行く様になつてゐる其爲めに兩方の圓筒は互に連絡してゐる槽の兩端には扉を備

第百六十七圖



へ又水路の端にも扉があり連絡を保つ。

平衡昇降槽は大きな貨物を引上げるに用ひられる此場合には槽及水の重量は第二の槽により平均される代りに一箇又は數箇の浮子により平均される此浮子は水の満ちた池の中に浮かされ相當の浮力力を持つてゐる。

第四章 河船運河 (Barge Canal)

第一節 運河の種類

運河とは人工的水路で航運の用に供するものである自然に存在する河川には勾配があるが運河には勾配がない。運河は之れを通航する船の種類により大船運河 (Ship Canal) と河船運河 (Barge canal) とに分る前者は大海を航行する船を通すが後者は内地航運の船のみを通し得るに過ぎない。大船運河の例としてはエズ運河やパナマ運河等がある。尙地勢上から運河を三種類に分つ一つは低地の運河 (Kanale in Flachlande) で大河の河口附近及海岸地方の低地に設けられるものである二は並行運河 (Lateral Canal) で河川の附近の谷底に造られる三は連絡運河 (Verbindungs-Kanal) で流域を異にする二河川を連結するものである。運河は航運と同時に他の目的にも用ゐられることがある例へば排水、灌漑等である。

第二節 運河の發達

運河を始めて築造したのは餘程の昔である而して最も早く發達を來した國々は埃及、メソポタミヤ、支那等で航運と同時に土地の灌漑を目的とした又は單に灌漑のみの目的で運河を開鑿した此頃は落差に打勝つ設備がまだ發明されなかつたから運河は單に河川から分岐された許りのものか又は海抜の等しい河川を結付け

る位のものであつた其後閘門が發明されたから運河は次第に發達して來たが鐵の利用が發達し蒸氣機關が發明されるに及んで長足の進歩をなした鍊鐵や鋼鐵が多量に生産される様になつてから船や閘扉の構造に大革命を來たした閘扉は大きなものを造り得る様になり蒸氣力電力又は水力は閘室の開閉を容易且迅速ならしむる事が出来る様になつた。

第三節 運河の横断面

河船運河の横断面は河船の大きさにより定まる歐洲大陸では三百噸乃至四百噸の船が多く使用される運河の深さは船(貨物満載)の吃水に或る餘裕を加へたものである餘裕は〇・三乃至〇・五米突とするか又は吃水の十分一位にする運河の底幅は船が二隻並んで通過し得る爲に船幅の二倍以上にする兩岸の傾斜は水線以下は二割水線以上は一割五分位にする。

運河の一方の岸又は兩岸には曳船道を造る、其幅は三乃至四米突とするが動力が人又は馬の場合には之れより狭くて良い。曳船道は普通水路と反對の方面に傾斜してゐる之れは曳き易い爲と排水の爲である。曳船道を固めるには石や混凝土を敷くが良い。

水路の横断面積は船の吃水部横断面積の或倍数以上である事を要する普通は四倍以上にとる此數字は最小限と看做され若し此數字以下に下ると船の抵抗は急激に増加する。

或る特別の場所では施工が困難であるとか又は工費が高くなる點からして運河の横断面積を狭める事がある、例へば深い切取を要する箇所、閘門、斜路、昇降槽、潮閘(Guard Lock)、運河橋、水道橋等の箇所である。尙工費高き隧道箇所及運河が市街、鐵道又は水路上を通過する場合には運河の幅は只一隻の船が通れる丈の幅にする。

右と反對に多くの船が集つて來て待ち合はせる場所特に閘門の附近では運河の幅を廣くする。

第四節 運河の路線 (Alignment)

並行運河は谷に沿つて造られるから路線の選定は容易である。路線は道路及水路を成る可く少く横切る様に選定するとき其工費は最小となる。

右の反對に閘階の路線を選定する事は中々容易でなく其仕事は鐵道路線の選定と同じ様である。多くの場合に起點と終點とは與えられてゐる分水嶺は成る可く低い箇所を横切るが良いそうすれば閘門の数は減じ工費も安く又航行に要する時も短くて済む。尙河の延長も同様の理由から出來る丈短くするが良い。數箇の路線を選定し其工費を比較して適當な路線を決定するが一番良い決定方法である。

次に路線の選定には地質關係に注意する事が必要である。運河の堤防に用ふる土は成る可く水密で滑動し難いものが良い。又近來の運河は多量の水を要するから給水設備に費用の少い様な路線を選ぶ必要がある。路線は直線と曲線とより成る、曲線の半径は普通運河幅の五六倍とする、若し何かの原因で此半径を保つ事が出來ないときは幅を擴げる。

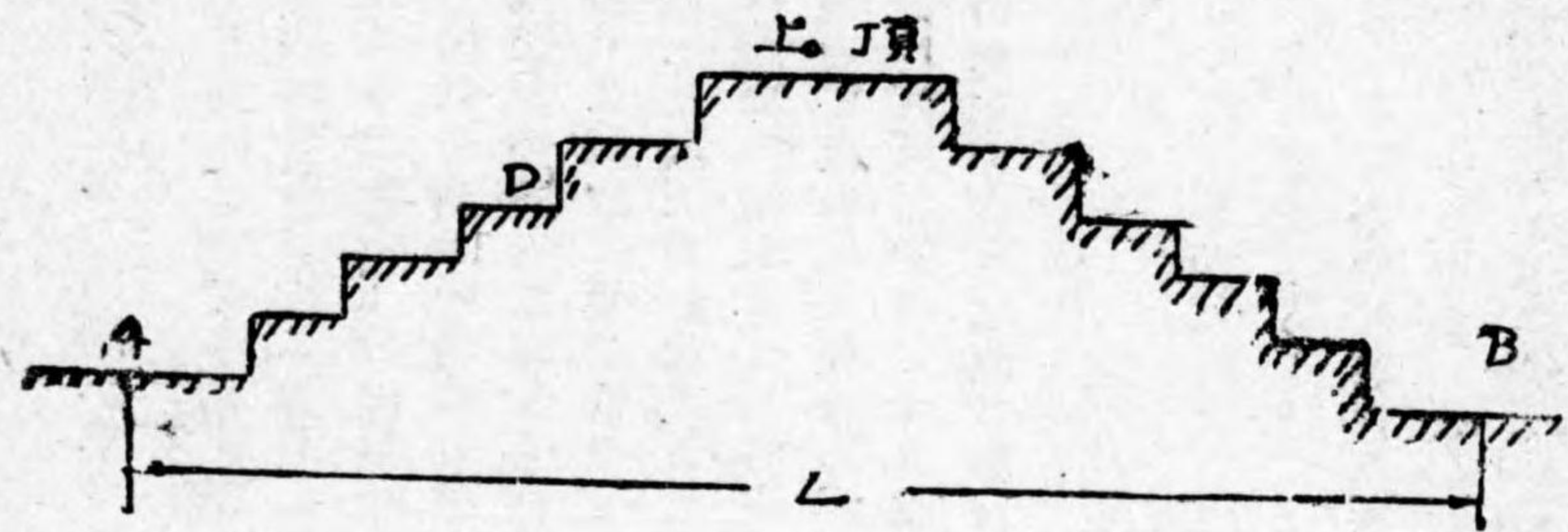
第五節 運河に於ける水の消費量

運河に於ける水が消費される原因に自然の消費と通閘の爲の消費とある、前者は水面よりの蒸發、兩側及底面からの滲透である。

水面よりの蒸發は地方及季節により異なる、今假りに二十米突幅の運河で一日の蒸發量が四耗とすると一畝の間では八十立方米の水が蒸發した事となる。

滲透は地質により異なる。滲透による消費費は運河の造り立ての間は大であるが或る程度迄は次第に減少す

第百六十八圖



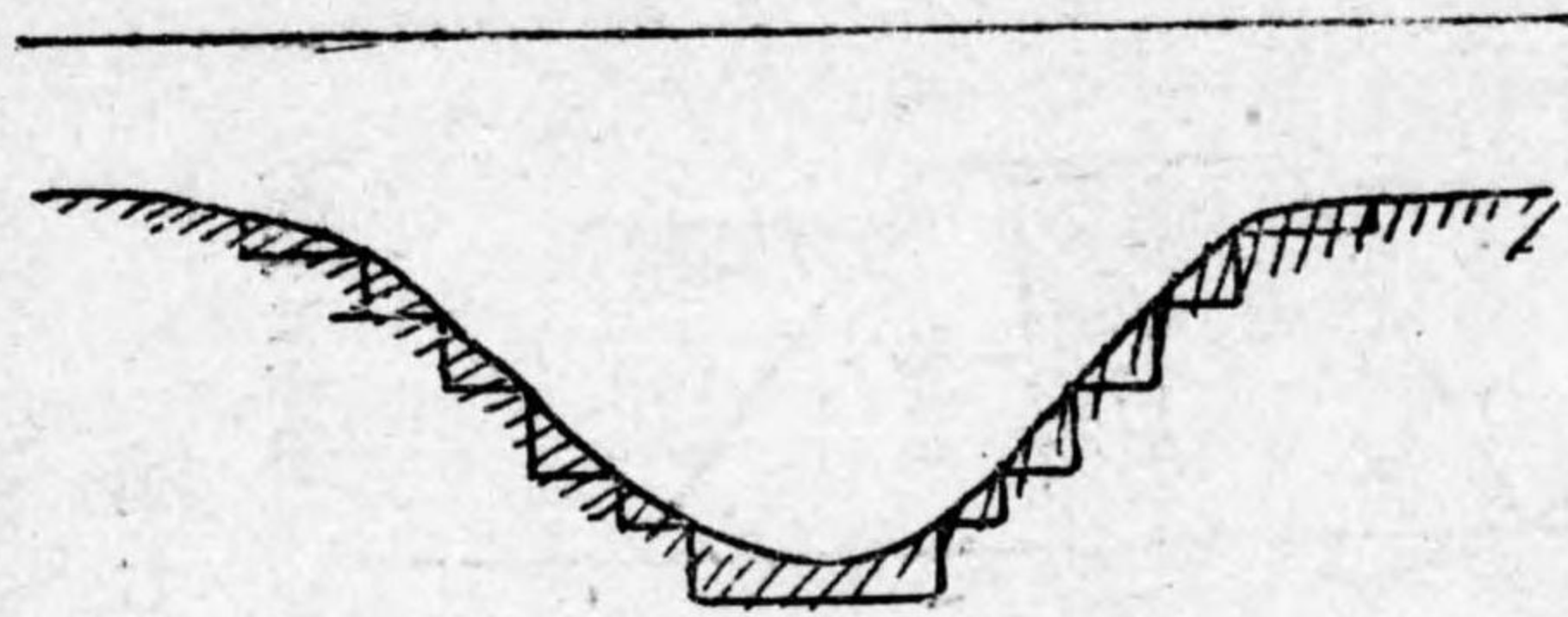
る。又運河の深さは滲透量に關係する事大である。一回通開の爲の消費量は閘室の面積に落差を乗じたものであるから一日に通開する船の数を知れば總消費量の大概を知ることが出来る。右の外見積り困難な消費量としては構造物からの漏泄がある。閘門からの漏泄に關してはランキンは一日三百乃至六百立方メートルと見積つてゐる。一層見積困難なるは取扱の誤りに基く消費である。第一六八圖に於てAに在る船は必ずB迄行くとは限らないD迄行つて其處から引返へす事もある。故に水を途中で供給する必要が起る若し水源があるならA B間を數區に分ち各區に於て水の供給が出来る様に設備するが良し。水を重力の作用にのみ依り供給し得ざる場合は低い處から水を高い處に揚げなければならぬ其れには唧筒を用ひる。

第六節 運河構造上の注意

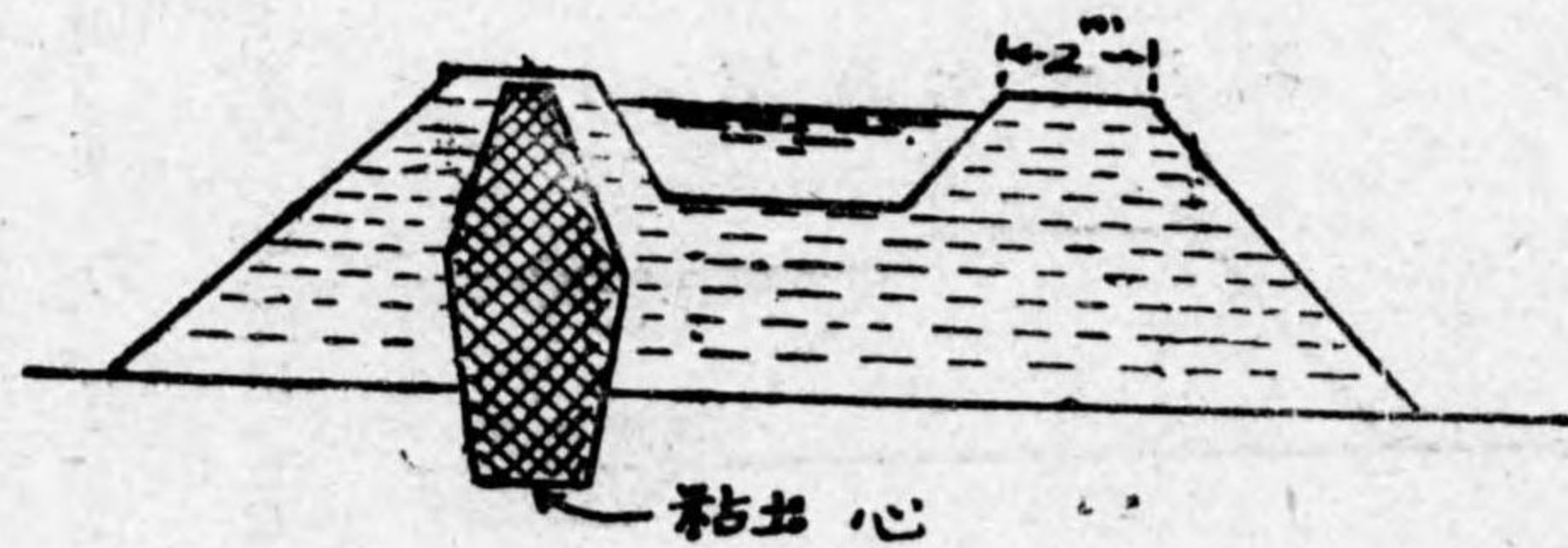
盛立。盛立は成る可く避くること。若し造るなら鐵道や道路の盛立と異り水密にする必要がある。盛土をするには先づ其場所を奇麗に掃除し地面を一皮剥ぎ草木の根、石などを取り去る。出來得べくんば二十種位の土皮をとる上に置く土は十五乃至二十種位の厚さの層にし蝟又は輻子で固める。冬は土中の水分が凍から盛土をしてはならない。

第一六九圖に示す様な深い谷を横切るときは鐵道などに於けると異り地盤

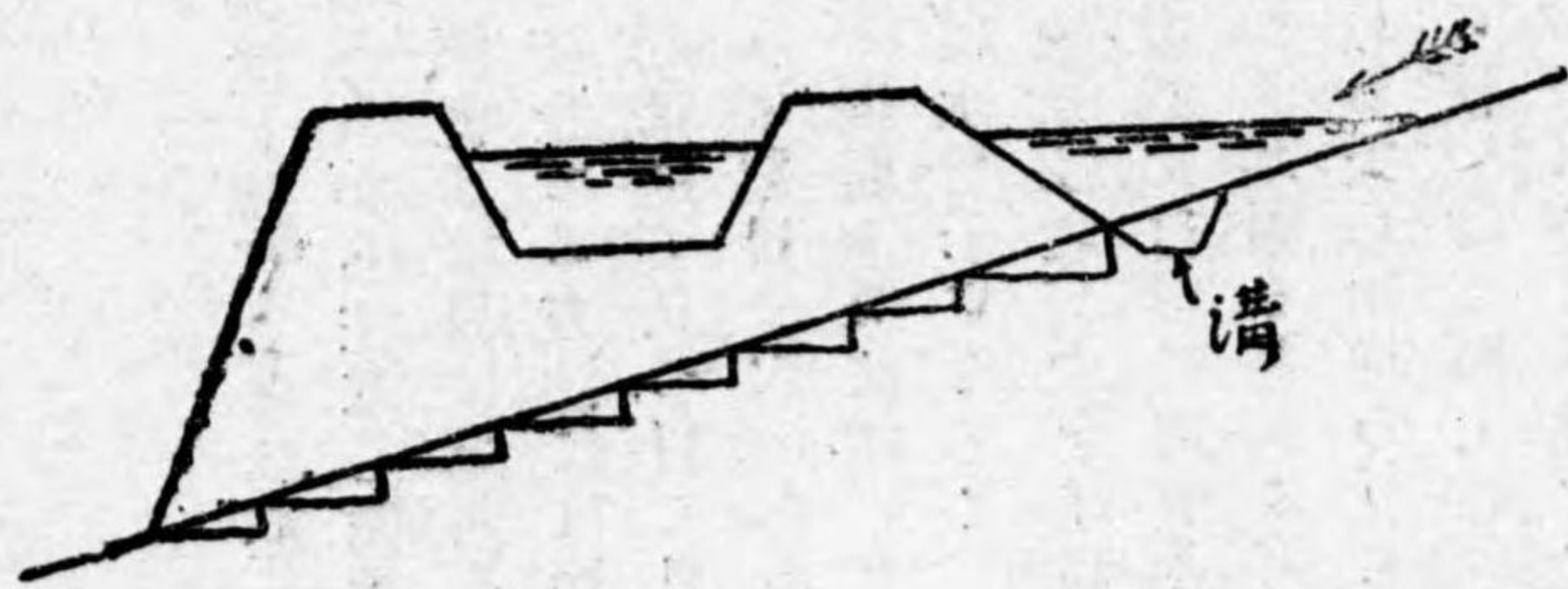
第百六十九圖



第百七十七圖



第百七十一圖



を階段狀に切り良い材料を用ひる。第一七〇圖に示す様な盛立の場合には水の漏泄を禦ぐため粘土心 (Puddle Core) を入れる。又第一七一圖に示す様な傾斜地に盛土するときには土が這る虞あるから自然の地盤を階段狀に切る此時は盛土の上方に水が溜まるから排水設備をしなくてはならない。尙右の他盛立に付き注意すべきは橋臺、橋脚と盛土とが接觸する箇所である即橋臺や橋脚などは沈下すること少いが盛土の沈下は大

であるから接觸面は這り其處から水が漏る。盛土の材料は砂と粘土とを適度に混じたものが良い。砂三分ノ二、粘土三分ノ一の割合に混じたものは水

密と言ふより寧ろ良く締まる得點がある。砂三割粘土七割の比のものを薦める人もある。切取り。土質が硬く風化し難い場合には鐵道や道路の切取りと大差ない若し風化し易く又は岩に割目がある場合には水が漏る心配があるから相當の被覆を要する。

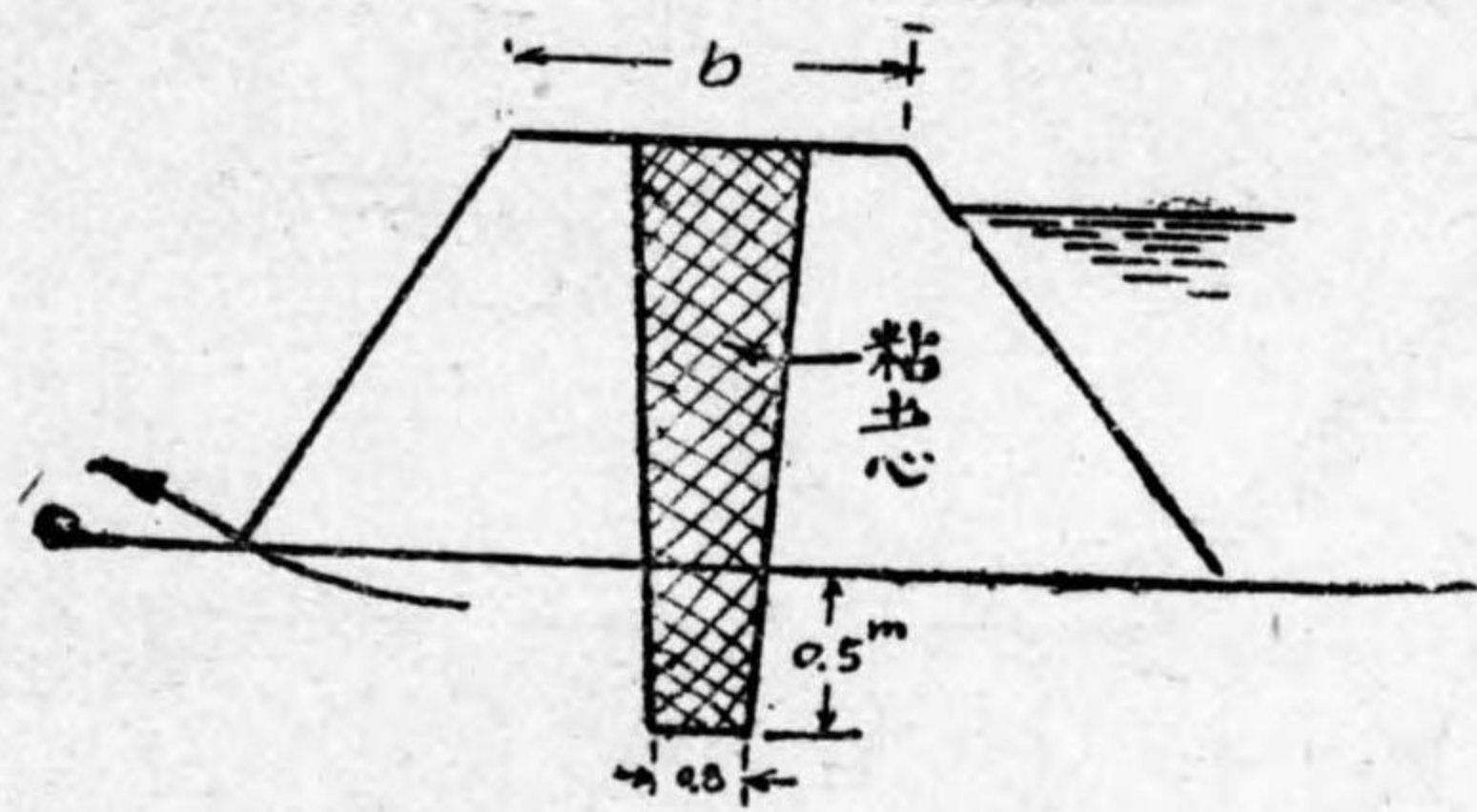
第七節 漏泄の防止

運河への給水は困難な仕事であるから滲透による水の漏泄を防ぐことは極めて重大である。故に路線選定のときから注意し漏泄の多い地質の處を避ける。

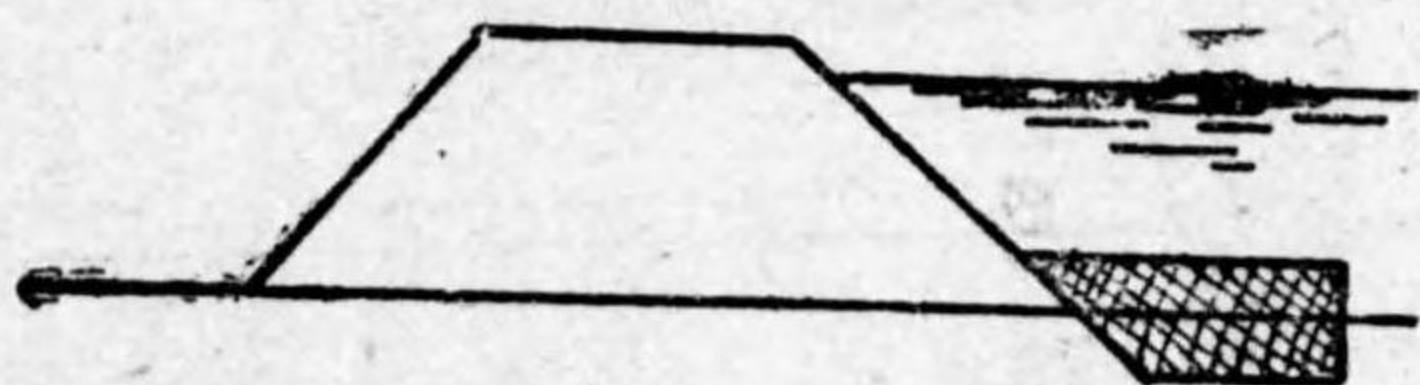
漏泄には目に見えるものと見えないものとある之を防止する方法には補修と改築とある。

局部的で且つ目に見える漏泄は修繕方法が多い。例へば裂目や穴のあるときには運河の水を干し其箇所を混凝土又は良い土で填充する若し穴が小さいならば水を干すことなくして粘土と砂とを混じた泥水を流せば之が穴を埋め漏泄を減じる事がある。又盛立當時に自然の地盤と盛土との間に缺點があり此部分から水漏るときは第一七二圖に示す様に粘土心を入れる但し此時のbは三米突以上なくてはならない幅の狭い時は粘土心の位置に矢板を打込み次に之を抜き其跡に混凝土を詰める。水を干してから修繕

圖二十七百第



圖三十七百第



するには第一七三圖の様にすることもある。

漏泄箇所が目に見えず一般より漏泄する場合には粘土及砂を混じた泥水を流して見る然るときは泥が穴に詰まり漏泄少くなる。米國では貯水池の漏泄を防ぐため重油を流したところ重油は土と混合してアスファルト様のものを作り漏泄を防いだ事がある。

右の方法で漏泄が止まぬときは粘土、混凝土等を張る其厚さは十乃至五十糎位とし船による損傷を避けるため其上に三十乃至四十糎の厚さに土を被ふ。混凝土は沈下の虞ある箇所には用ひてはならない斯る場所では混凝土に割目を生じ水密を保し難い。運河の底が浸潤なる場合には石や砂利を敷き其上に混凝土を敷く。

第八節 運河隧道

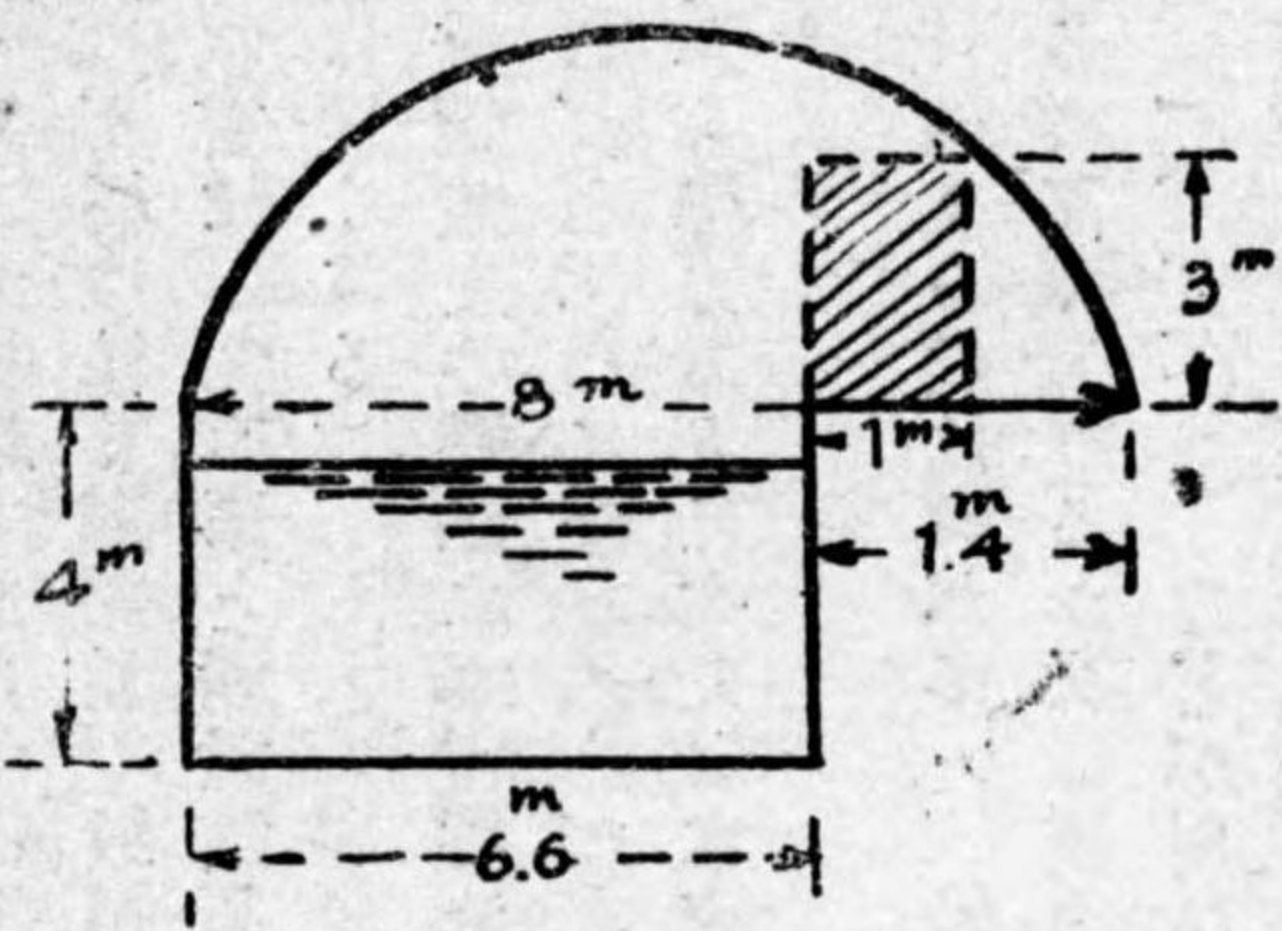
隧道は成る可く造らぬ様にする。運河には曳船道が必要であるから隧道の断面は第一七四圖の様にするか又は普通の断面にして棧橋を架ける断面を復線にすれば都合が良いが工費は高くなるし且暗い處で船が行き違ふと事故を生じ易いから大低單線にする尙動力も人や馬を用ひず機械力にする事がある。

第十節 運河橋 (Canal-bridge) 及運河に

架する橋 (Bridge upon Canal)

運河橋は谿谷、水路、鐵道、道路等の上方に運河を通す爲の橋である橋は鐵か石で造る、木で大きな運河橋を造る事は稀である。橋幅は運河

圖四十七百第



が單線であるか複線であるかにより定まる。重要な運河橋は複線にする。石橋は鐵橋より餘計に用ひられる其理由は石橋は保存期間長く毀損力に對する抵抗大で維持費は安く且外觀が立派であるからである。鐵橋の特徴は水密にし易き事と漏泄箇所が出来ても修繕が容易である點にある。石橋でも鐵橋でも動搖を防ぐために徑間は短くする。

運河橋築設上の難點は水密構造と高い堤防との接合である。側壁と底とを水密にする事は最も必要である何となれば石工内に浸み込んだ水は氷結して膨脹し石工を破壊する。石橋の拱は温度の變化により膨脹收縮をするから弾力あり且丈夫な水密材料を用ふる事を要する膠泥を塗つた丈では不充分であるので瀝青を合せ用ひる。

運河に架する橋は數が多い。船の交通が支障なく行はれる爲には船が躊躇する事なくして其下を自由に通過し得る様高く架けるか又は橋を可動ならしめる。可動橋としては旋開橋(Swing bridge)、開橋(Draw bridge)昇開橋(Lift bridge)などが用ひられる。橋梁の工費を節減する爲橋梁箇所の河幅を狭めた事もあるが近來は他の箇所と同じ幅とし只斜面を急にしたり曳船道を狭くする。

第十節 暗渠(Culvert) 彎渠(Syphon Culvert)

運河の下を道路、鐵道、水路等が通過する場合には其箇所に暗渠を設ける必要がある。暗渠の構造は鐵道や道路下に設ける暗渠と大差はないが只水密の點に付て充分注意しなくてはならない。

運河を横切る水路を運河と平面で交叉させる事は避けるが良い然らざれば水路の流送する土砂や其不規則な流れは運河の作用を害する事になる。運河の下に水路を導く場合には暗渠の断面は水路を流るゝ最大流量に堪える丈の大きさが無くてはならない。若し運河の底と水路の最高水位との間に充分の距離が無く直線に横

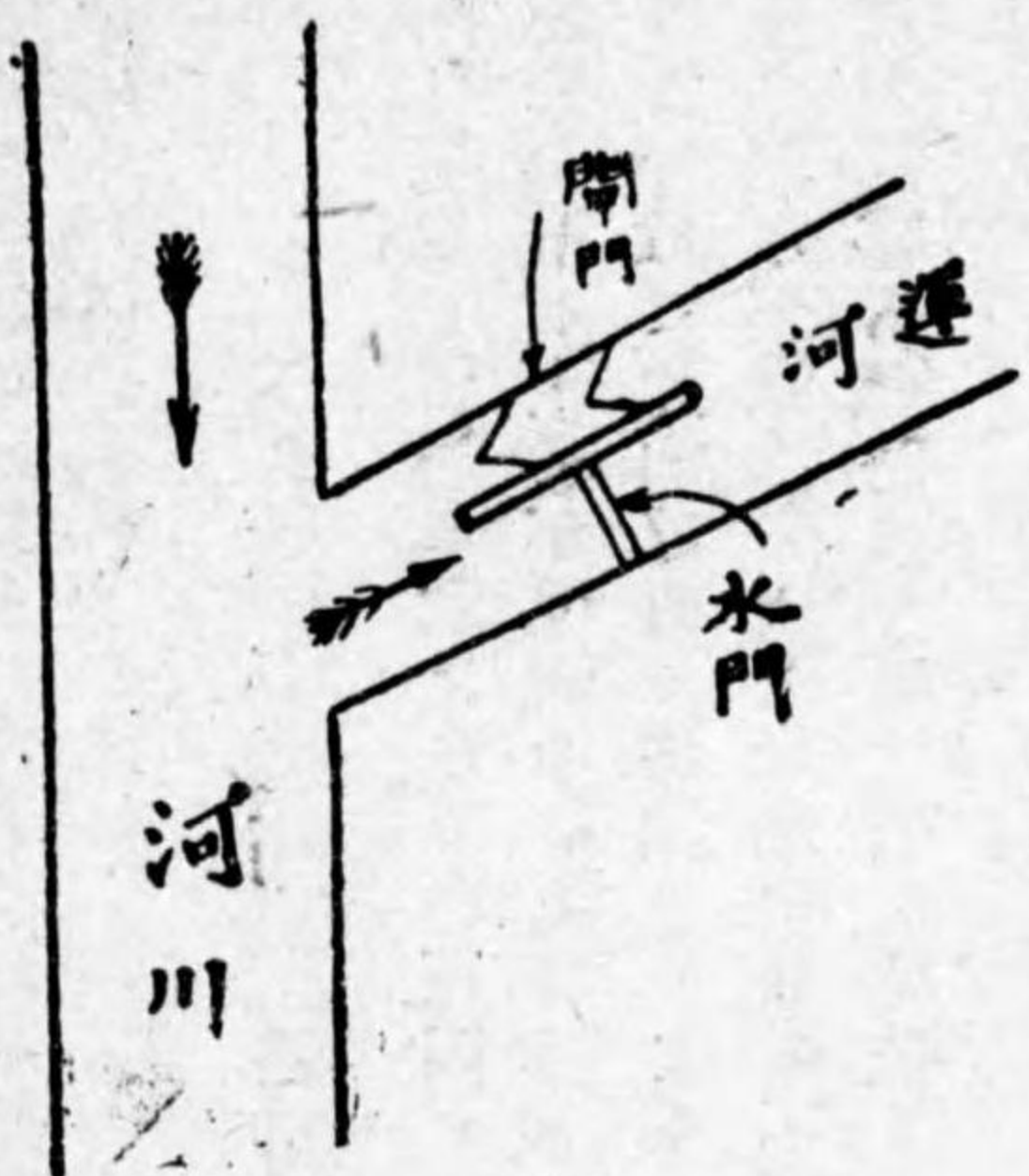
切る事の出来ない時には彎渠を用ひる。彎渠の断面は種々ある。水量の少い場合には鐵管が用ひられる。小さな石造の彎渠には半圓の拱形を有する四角形断面が用ひられる。大きな断面では天井も底も共に拱形にする。彎渠の中には土砂が堆積する虞があるから其の出口及入口には一寸深くした所を造り此部分に土砂を沈澱せしめる。上の様な設備をしても土砂が渠内に沈澱する事は免れ難いから時々掃除をしなくてはならない掃除には運河の水を用ひるか又は一時水路の水を湛えて後彎渠内を流すと水の速力により渠内を清掃することが出来る。

第十一節 取入口(Intake) 排水門(Waste Sluice) 及安全門(Stop Gate)

運河が河川から水の供給を受ける場合には閘門を設けて取水の用に供するか又は閘門は船の通航の目的に用ひ別に水門を造ること第一七五圖に示す通りである。

運河に於ける水の消費は其供給と同一の歩調を保つて行くことが出来ないから一定水位以上に昇らせぬ爲排水の設備をしなければならぬ。排水門は規準水位の數センチメートル上に設け運河の水位が右の度を越えれば直ちに働らく様になつてゐる。此排水には其幅が充分廣くなければ其機能を充分に盡すことが出来ないから屢々其上端を規準水位より低くし此部分を堰板で堰き水位が規準以上に昇つた時に此堰板を外し迅速に排水させる。運河の水を全部排除するには其底にある管の口を開ければよい此管は暗渠や彎渠の上の所に設けて置く。

第百七十五圖



近來は排水装置としてサイフォンが用ひられる事がある。
安全門は運河の堤防が破損し又は構造物が破損した場合に運河の一部を締め切り運河の水の全部が流れ去るのを防ぐ設備である。

第十二節 運河の維持

運河は使用して居る間に色々の原因で其断面に變化を生ずる。例へば船が相當に早い速力で通航すれば波立ち兩岸を洗ひ土砂が運河中に入り淺くなる又水を河川から供給するときには土砂が其れに伴ひ來り水深を淺くする。故に運河は時々掃除をしないでならぬ掃除をするには往來を止める事が必要である。運河では或る期間水が缺乏し大きな船の通航不可能な場合があるから此時を利用し水を落として掃除をするがよく又其他の修繕も此時にやる。若し休業する事が出来なければ浚渫をやるのであがる此の方は遙に工費を多く要する。

運河には水流が無いから水草が生じ易い。水草は船に對する抵抗を大にする或る實例によると二十五パーセントも抵抗力を増した。草の生ずる時が丁度運河休業の時と一致すれば水を干して後刈る事が出来るが然らざる場合には長い鎌で刈る。水草が繁茂し水面上に顔を出す様になると生長は益々盛となるから早く刈り取らなければならぬ。

歐洲大陸では運河が發達し一つの運河網を形成して居るから豫告なしに或る運河が休業すると非常の不便を來たすことになる故に各國で協議をなし休業の時を定め三年に一回六月十五日より向ふ一ヶ月以内に定め

て若し此時期以外に修繕を要するときは水を落すことなしに修繕せねばならぬ。

第十三節 通 關

運河の断面は種々雑多であるが之れは標準の断面を定むる事が必要である。若し運河により断面が違つて居るならば大きな船だと他の運河に入るとき小船に荷を積み換へなければならぬ不便がある。船の大きさも一定せる方が都合が良い。佛蘭西では二百五十噸の河船を用ひる。二百五十噸のもの一隻と百二十五噸のもの二隻と何れが經濟的であるかを比較して見ると湖の様な廣い處では後者は不經濟であるが運河に於ては小船の方が操縦容易で且抵抗が少いから有利である。

船が運河を通航する場合の抵抗は中々大きい、若し船の速力を二倍とすると抵抗は四倍に増加する。であるから速力で鐵道と競争することは思ひも寄らぬ事である。假令船の速力を大にした所で閘門の前で待つ時間が長いから何にもならない。寧ろ通關の時間を短縮する事は研究の價値がある。又運河の依持修繕に注意し曳船道も兩岸に造るが良い。上述の如く運河では船の速力は問題にならないから蒸汽力を用ふる必要はない。

第十四節 河船の形状

河船の大きさは千噸位迄である。運河を通航する船の形状は矩形が良い此形は貨物を最も多量に登載し得る利益がある。船の容量測定方法は國際的に定まり排水量を立方米突て計り一立方米を一噸とする。全くの矩形であるなら排水量を計る事容易であるが先の方に丸味が付いて居るから完全な矩形の場合に比しいくら

少くなる故に實際の排水量を知るには或る係数を掛ける必要がある此係数は九十パーセント臺である海船であると四十パーセント臺に下る。船の長さは幅の五乃至十倍又は吃水の十五倍乃至三十倍である。吃水は一乃至二米突半、排水量は二百噸乃至千噸である。

第十五節 船の抵抗

船の抵抗力が少ければ貨物は廉價に運搬することが出来此處に於て運河は鐵道と競争し又は之れに打勝つことが出来るのである。

船の抵抗を計算する公式は次の通りである。

$$W = K \cdot F \cdot v^2$$

式中 W は抵抗、 K は係數、 F は水線下の部分の最大斷面積、 v は船の速力 (但し河川に於ては比速度) を表はす。係數 K は船形、材料、船齡其他により異なる。

右の公式が實際と大差ない事は實驗の示す所により明である。船を曳く力は曳綱と船との間に挿入される力量計 (Dynamometer) で測定する。エンゲルスの模型による實驗によれば抵抗力は速力の二乗よりも以上の割合で増加した即船の速力毎秒一米突の時の牽引力は四百九十七噸であるのに速力毎秒二米突の時の牽引力は二千七百一十一噸を示した。

佛蘭西の運河に於ける實驗によれば同速力異吃水の場合には抵抗力は水線下斷面の大きさの増加よりも遅い速度で増加する即 K は吃水の函數であると言ひ得る。

船の抵抗は之を摩擦抵抗及形狀抵抗の二つに分類する事が出来る。摩擦抵抗は水と船の外面との間に起る摩擦より成る。此摩擦は吃水深き程又吃水部の船の外面が粗である程又流線が高速で通過する程大であ

る。形狀抵抗は船體の前面に水が衝突する事に因て生ずる。此抵抗は普通吃水線下の最大斷面により計算される。

が尙船首及艙の形狀により甚しく影響される。

運河の様に狭い斷面の處では他の箇所比し抵抗力は遙に大である。即運河に於ての抵抗力は水路の斷面と吃水線下の船の斷面との比により影響される事大である。此比が十より大であれば廣い箇所比に於ける抵抗と大差はない。尙河床と船底との距離は抵抗に關して見逃すことの出来ない因子である。

第十六節 船を動かす力

船を動かす最も原始的の方法は舵機に據るのと帆に據るのとである此等の方法とても目下内地航運に於ては相當の勢力を占めてゐる。然し尙重要な方法は次に述ぶるが如きものである。

(一) 動物の力による曳船 人力又は牛馬の力により船を曳くことは最も古くから用ひられた方法であるが今日でも尙屢々應用される。船は其れに結付けられた曳綱により曳かれる動力は運河の岸に設けられた曳船道を動く。

人の牽引力は毎秒〇・三乃至〇・五米突の速力で長時間牽くならば二十五噸位である。之れは西洋人に付ての話であるが日本人ならせいせい半分位の牽引力しかあるまい。

馬の牽引力は毎秒一・二米突位の速力で一日八時間働らくとすれば六十噸位である。馬で船を曳く事は小さな運河では利益が多く佛蘭西では盛に利用される。然し普通の河川では蒸汽曳船の爲めに殆んど其位置を奪はれてゐる。

(二) 機械力による曳船 此場合には動物の代りに機械が用ひられる、之は人馬と同様に曳船道を動くが人

馬と異り高い速力と大なる牽引力を持つてゐる。

發動機に就ては色々のものが用ひられ又は用ふる様に勧められてゐるが費用の高張る點から未だ充分廣く行はれてゐない。

- (イ) 電氣機關車 此機械は曳船道に敷かれた軌條の上を走る。
- (ロ) 蒸氣機關車

機關車は船を斜の方向に曳くから損じ易い之を防ぐ爲めには其後ろに曳車を附屬させるが良い。運輸の立場から見れば機關車は申分ないが運輸に要する費用が高い缺點がある。

- ハ) 環索 (Endless rope)

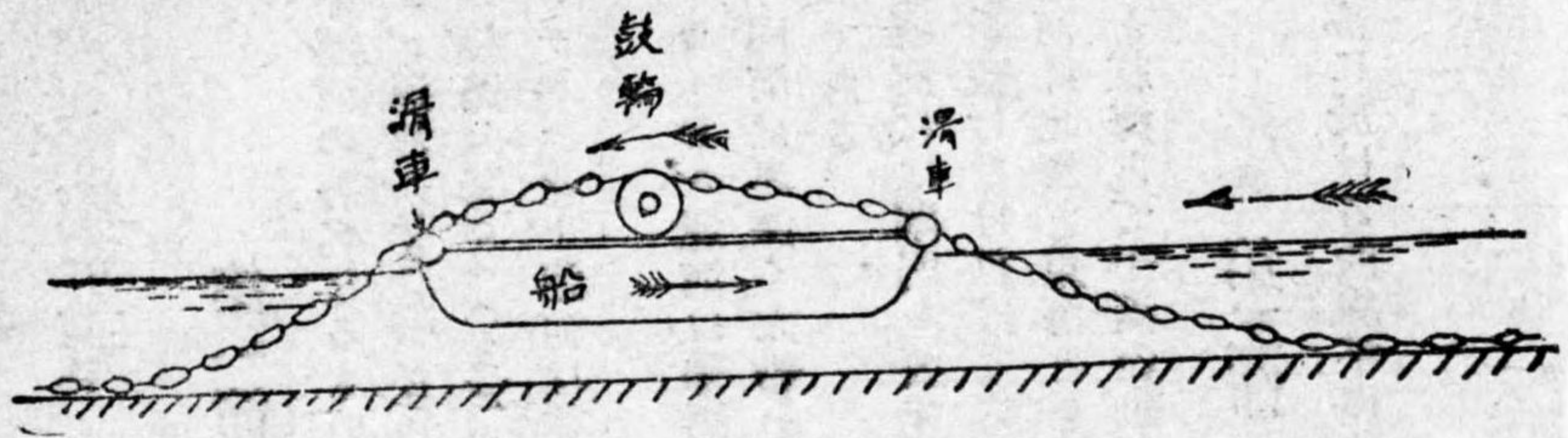
環索は運河の兩岸に設けられ其兩端は運河の上を横切つてゐる。索の運動は蒸氣機關、電氣發動機、タービン、瓦斯發動機等により起こされる。此方法の得點は曳船の方便が常に意の如く得られ従て船は全く獨立して曳かれる點にある。其缺點は船の綱を環索に懸ける事の困難なる點にある何故なれば索は不絶廻つてゐるから船の綱は其の周圍に捲き付き其ために船は岸の方に引き寄せられる。此缺點を除くには索の斷面を四角にすると良い此場合には圓い斷面の場合の様に索の進行に連れ索が廻ることが少い。

(三) 鏈航 (Chain Towing) 鏈航とは河川又は運河の底に重い鏈が設けられ船は之れを手繰りながら進航するものである(第一七六圖)。動力は船の中央に置かれた鼓輪で鏈は船首と船尾にある滑車により鼓輪の上を導かれる。鼓輪の廻轉により鏈は捲かれ其れにより船は進航する。

鏈の代りに索を用ひる場合には鼓輪の代りに縁のついた滑車を用ひる。

(四) 蒸氣曳船 (Steam-Tug) 此方法では曳船は蒸氣船により行はれる。蒸氣船 (Steamer) には螺旋推進器 (Screw-Propeller) を有するものと輪蹊 (Paddle Wheel) を有するものとあるが前者の效率は後者に比し遙に

第一七六圖



河川工学

優れてゐる。

蒸氣曳船は一隻の貨物船を曳く場合もあるが又多數の貨物船を同時に曳く場合もある近來は概して多數の船を曳く様になつた。曳くには綱を用ひる。貨物船は互に一定の距離を保ちながら繋がつて行く。曳綱には丈夫な麻綱か又は鐵索が用ひられる。

蒸氣曳船の利益は曳船道其他の設備を要さない點と獨立して航行し得る點にある。其缺點は澤山の船を同時に曳くから閘門を大きく造らねばならぬ事である尙運河に於ては蒸氣船は波を起し其の爲に河岸や河床が浸蝕され維持費を多く要する若し此害を受けまいとすれば最初に運河を造るとき岸なり床なりを丈夫に造らなければならぬ。

(五) 空氣發動機 (Air motor) 船を進航させる最新の方法は空氣發動機の應用である。今迄は空氣發動機は試験時代で實用に供されなかつたが最近佛國で行はれた例によると極めて良好なる結果を收め其運輸費も他の方法に比し遙かに低かつた。

蒸氣船は進航の際水の抵抗を利用したのであるが此方法では空氣の抵抗を利用するのであるから蒸氣船の様に水波を立たせ其爲に河岸や河床を浸蝕する虞がない。それ故に運河の依持費は安くて済む。

第五章 大船運河

第一節 大船運河の種類及實例

大船運河の著名なるものを擧げると次の通りである。

スエズ運河 (Suez Canal) は地中海のポートセッド (Port Said) と紅海のスエズとの間を連絡する運河で一つの捷路 (Short Cut) である。最初水深は八米突であつたが今日は九米突に深められてある。

マンチエスター運河は英國のマンチエスター市と海とを連絡する運河で水深八米突底幅三十六米突である。

トールカルビル運河は佛國のセイヌ河の河口附近の状態が大船の航行に適さない爲別に開鑿したもので之れにより同河は奥深く大船を走らせ得る様になつたバナマ運河は大平洋と大西洋とを連絡する運河で世界最大のものである。

大船運河には開門を要するものと要しないものとある。兩海の間に水位の差あり又は途中に高い所があれば開門を設けなければならぬ向兩海の潮に干満の差があるときも同様である。獨逸のカイゼル、ウイヘルム運河は北海と東海とを連絡するものであるが干満の差ある爲其兩端に開門を設けてある。スエズ運河は地中海と紅海とて干満の差があるが開門は設けてをらぬ。

第二節 大船運河の大きさ

彎曲部に於ける曲線半径はスエズでは最初千米突乃至千五百米突であつたが近頃は船の大きさが益々大きく

なるので二千五百米突を限度としてゐる。獨逸のキール運河では最小半径千米突であるが將來は二千米突に改める方針である。彎曲部に於ては幅に幾分の餘裕を設ける必要がある其餘裕 (E) は次の式により定められる。式中 R は半径 L は船長を表はす。

$$\text{佛國にては} \quad E = 26 - \frac{R}{100}$$

$$\text{理論上は} \quad E = 4(R - \sqrt{R^2 - \frac{L^2}{4}})$$

運河の断面で問題になるのは河船運河の部で述べた様に船の吃水部断面積と水路断面積との比 (n) の大きさであるスエズ運河では最初 n の値を四・四四としたが海上で十節の速力を出すと同じ力を出して此運河では四・三節の速力しか出せない。實驗によれば n の値を五以上にすることが得策である。

深さの餘裕はスエズでは〇・五乃至〇・六米突としたが船の速力が大きい場合には水が濁るから〇・八米突位は是非必要である。吃水を標準とすれば餘裕は吃水の十分一位にする。

底幅は單線なら二十二米突位にし處々に幅の廣い場所を設けるスエズでは最初十軒毎に三十二米突の幅の場所を設けたが後には五軒毎に三十七米突の幅の場所を設けた。

第七十七圖は獨逸のカイゼル、ウイヘルム運河の断面である。

第三節 護岸

運河の岸は船の交通に因り起こる波や水の運動のため浸蝕されるから護岸を施す必要がある。護岸の方法及強さは船の速力や n の値の大きさにより定められる。河船運河に於ける様に人や馬の力で船を曳く場合には

河岸に水草を植へる位で護岸の目的を達することが出来るか大船運河に於ける様に船が大波を立て、進行する場合には護岸は丈夫でなくては保たない。

(一) 木材の護岸 護岸に用ひられる用材は丸太、角材である尙粗朶が用ひられる場合もある。粗朶の護岸は工費が低廉であるが破壊し易い缺點がある殊に水面以上に使用するとき甚だしい。

木材を護岸に用ひるには一七八圖に示す様に斜面の法先に杭を打込む、杭と杭との繋ぎは笠木によるか又は杭の後ろに厚板を張る。

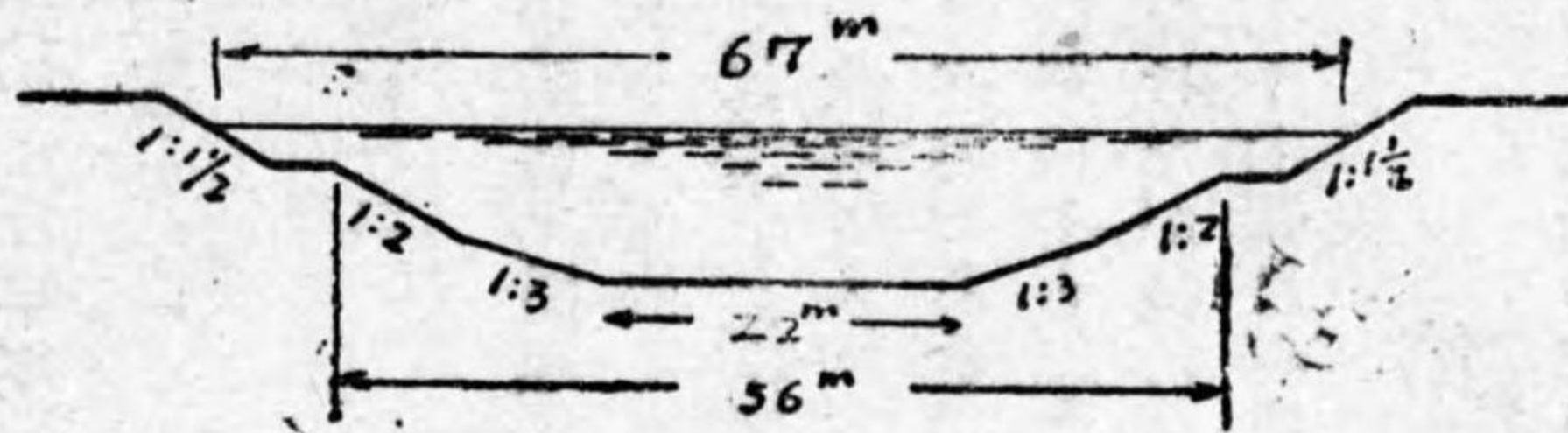
(二) 石の護岸 石は普通斜面の保護に用ひられる、其厚さは〇・一五乃至〇・三米突で、其基礎としては砂又は砂利を用ひる。張石は空積にするか又は練積にする。

石の代りに煉瓦を豎に用ひる事もある、張石の止めには第一七九乃至第一八一圖に示す様に大石粗朶又は厚板等を用ひる。

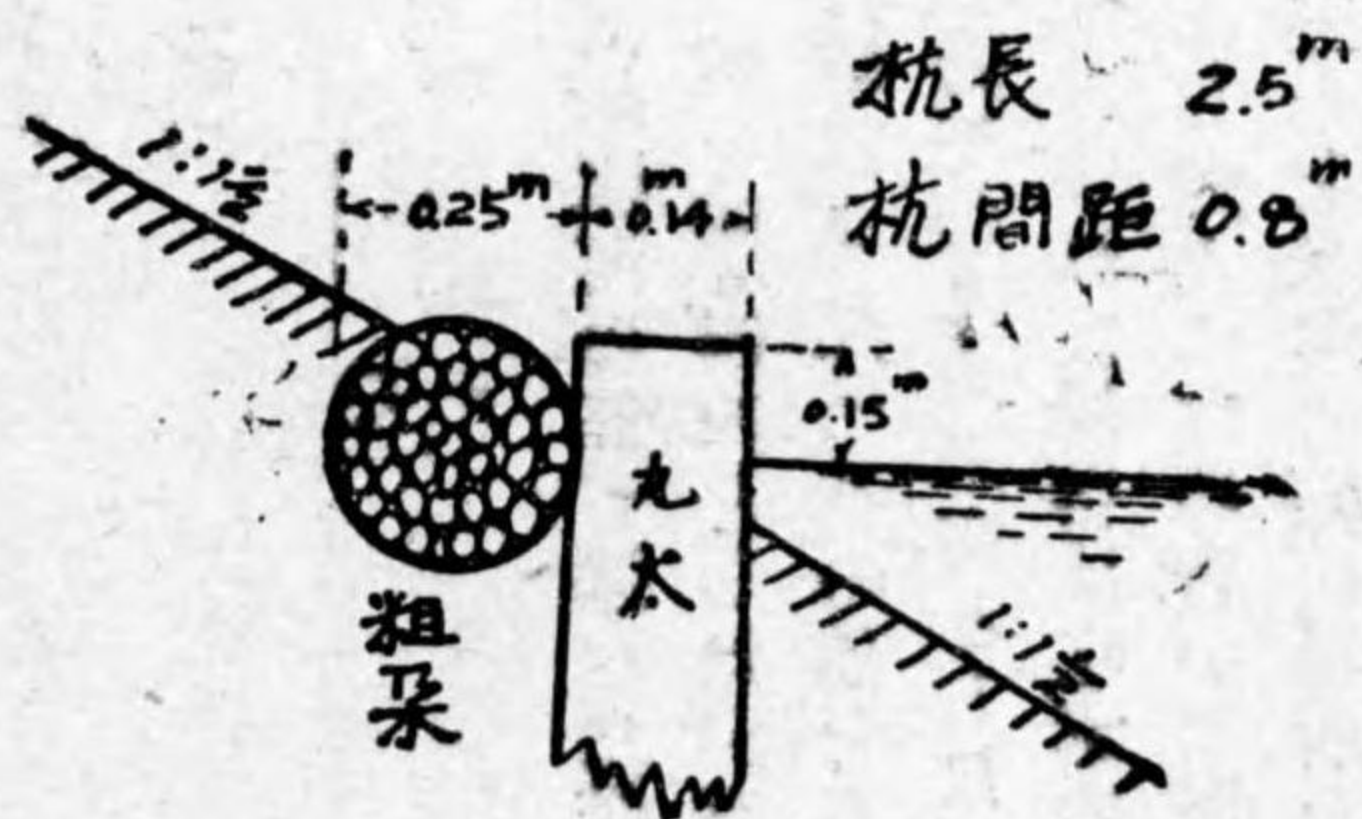
(三) 凝結土及鐵筋凝結土護岸 天然の石材を得ることが困難の處では凝結土の護岸が用ひられる。凝結土版の厚さは八乃至二十浬とし法先の止

めには凝結土塊か又は木壁が用ひられる。凝結土版には之れを補強する目的で鐵線を挿入する事がある此場

圖七七一第

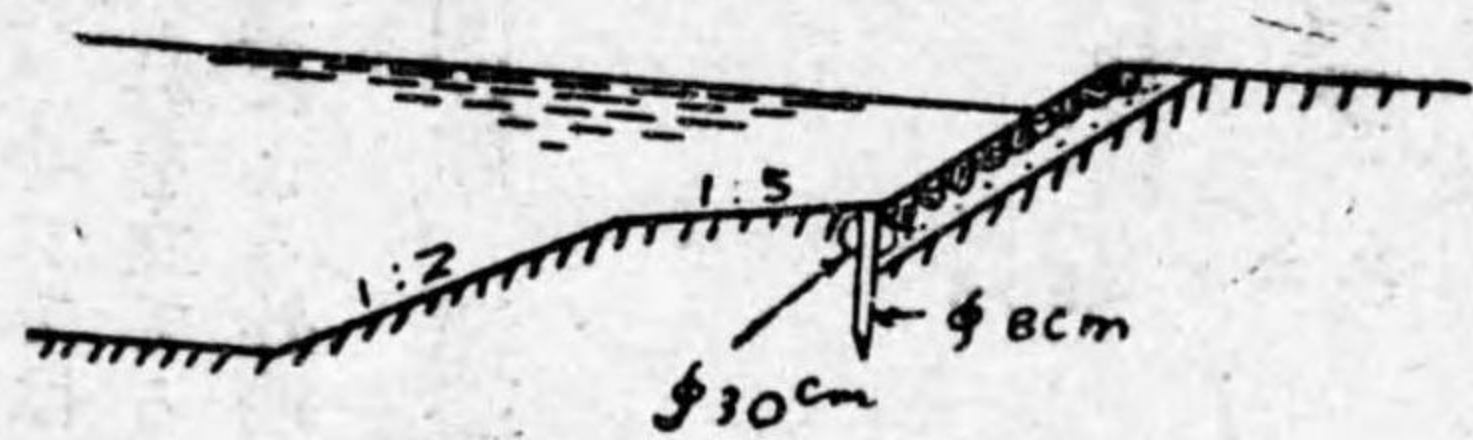
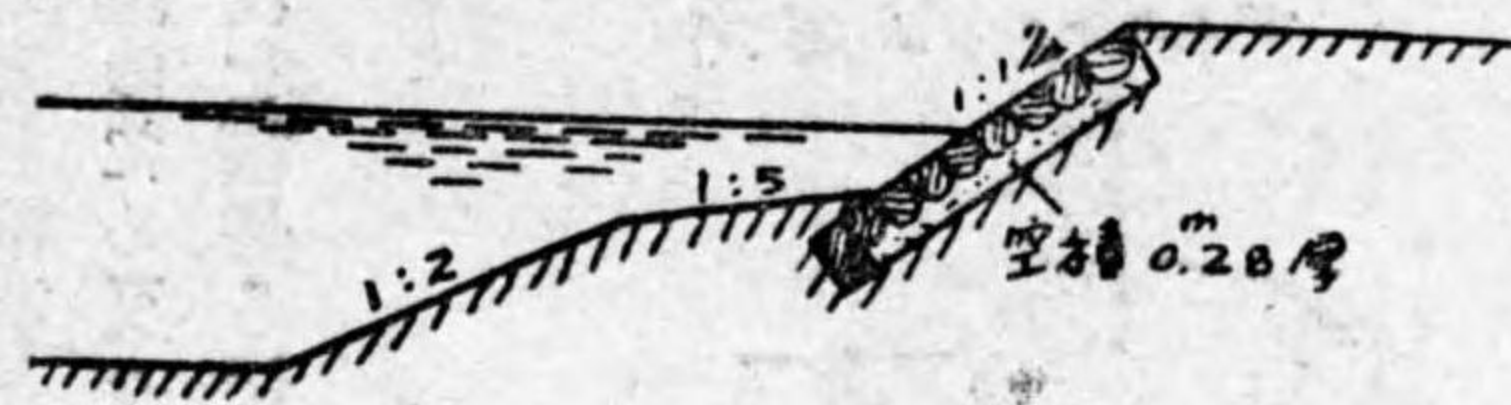


圖八七一第



めには凝結土塊か又は木壁が用ひられる。凝結土版には之れを補強する目的で鐵線を挿入する事がある此場

圖九七一第

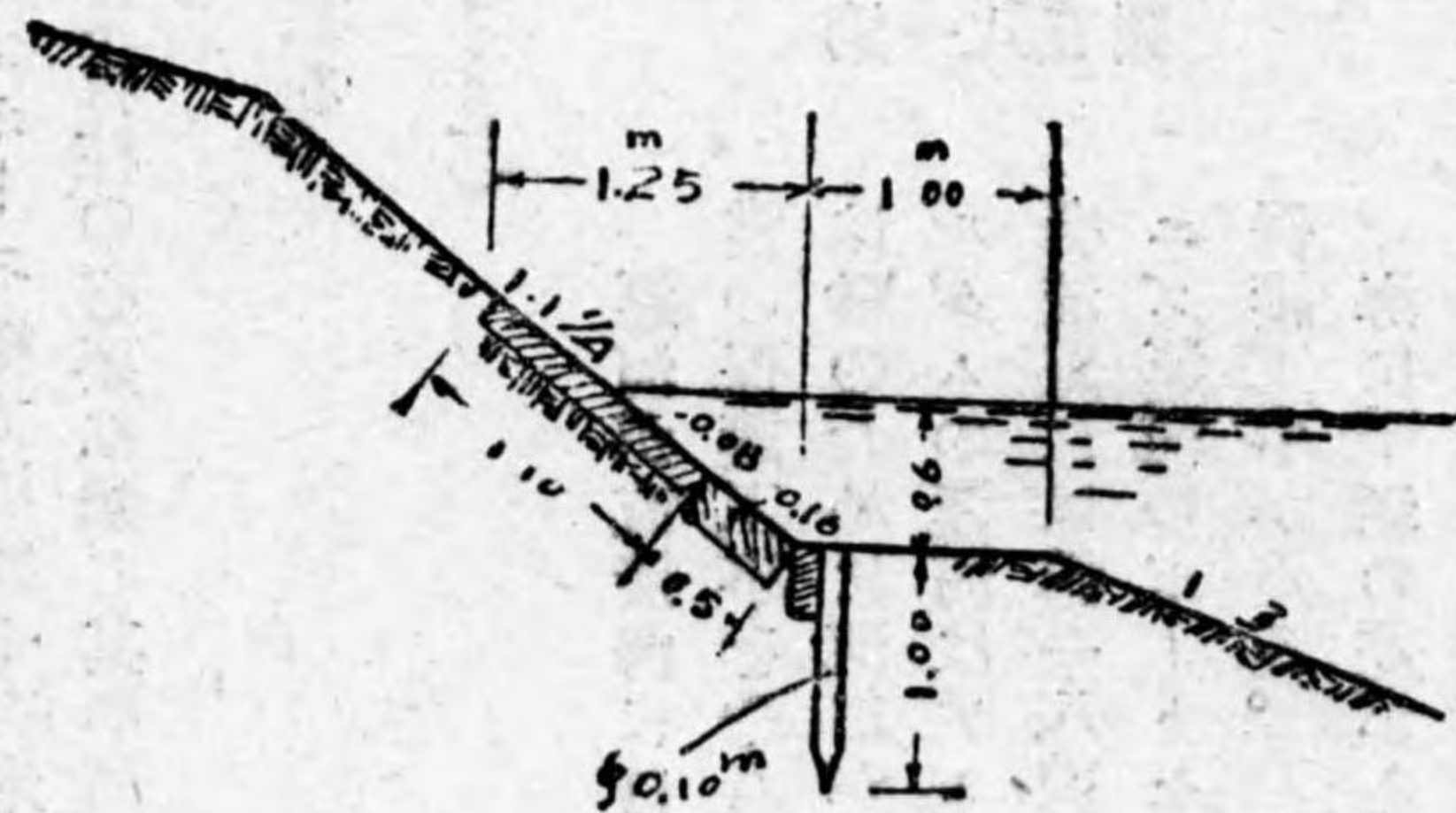


第一八〇圖

第一八一圖



圖二八一第



圖三八一第

合には凝結土の調合は一、四、八位にする

第一八二及一八三圖はオーデル、スブレト運河の鐵筋凝結土護岸を示めす。ドルトムンド・エムス運河では厚さ八浬の凝結土及鐵筋凝結土版が用ひられた。凝結土版の長さは一・一乃至一・二米突で幅は〇・四乃至〇・五米突である。鐵筋凝結土版の方は長さ一・八米突幅〇・六米突である。