

# 参 考 資 料

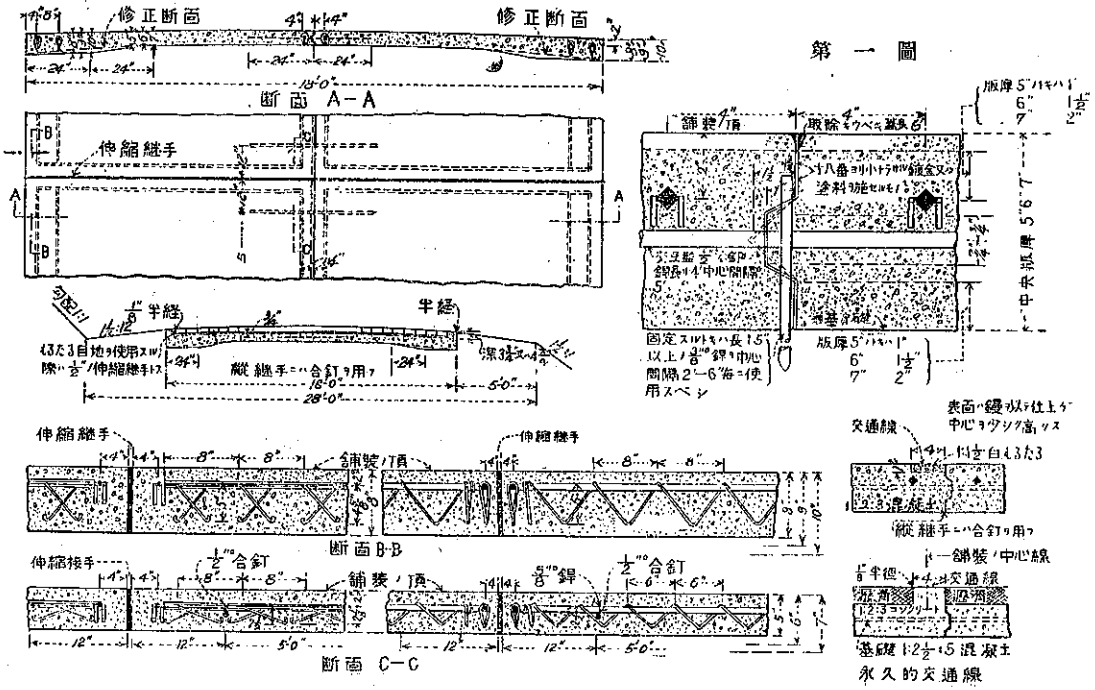
土木學會誌 第十卷第三號 大正十三年六月

## 混凝土道路の工費を節約すべき新設計

(Eng. News-Record, April 10, 1924)

ペンシルヴァニアの新道路局に於ては混凝土舗道とその基礎の設計に際し鐵筋の重量を著く減少せんことを計畫せり、局技師の見積りによれば、かくして混凝土道路の工費を1哩につき4,000弗丈節約することを得同時に舗装の兩端を厚くし、且兩端に鐵筋を入れることにより舗道は一層強くなり、又縦の繼手は中央の龜裂を防ぐならんといへり、新舗道の設計は圖に示すが如し、基礎の場合には斷面を薄くし且兩端に鐵筋を用ひず。

圖に示す如く最初の設計は端より2呎の間厚さを同じくし次に2呎の間に於て次第に薄くして遂に版の中央に於ける厚さと等しからしむ之は施行するに寧ろ都合よき斷面なり、されど端より4呎の間同傾斜とする方更に施行に簡單なるべし



どの請負者の言により將來の計畫は圖の點線にて示せる如く變更せり、版の兩端を厚くすることは前にイリノイス州 (Eng. News-Record, Jan. 10, 1924. p. 54) その他にて試みたるが如く兩端より傾斜區間 2 呎にして中央の厚さに達す、縦の中央繼手の構造は昨年のイリノイス州 (Eng. News-Record, Jan. 10, 1924. p. 54) その他にて試みたるが如く兩端より傾斜區間 2 呎にして中央の厚さに達す、縦の中央繼手の構造は昨年のイリノイス州鋪道のものど全く同じく擴大せる斷面圖に明示せり。

兩端の厚さを増せる部分の幅を大とせし以外に於て以前の實施方法と異なる主なる點は兩端を固着することと繼手に鐵筋を用ふることなり、此設計は剛性と附着力を増し、且鐵筋の位置を一層正確とすべしと考へらる。

設計に關し微細なれ共確に興味のある改良は第一圖の擴大せる詳細圖に示せる如く永久的の交通線を作ることなり、之に對する仕様書は次の如し。

セメント混凝土鋪道の交通線はホワイト・セメント 1 に對し洗砂 1.5 の割に混じて固練せしたるモルタルを以て曲線部の鋪道の中央に作り必要に應じて直線部に及ぼすべし、特に指定せるものの外、幅 4 吋深 1 吋なるべし、此交通線を設くる爲凹部は混凝土をうつときに深 1 吋幅 4 吋の木片を正確なる位置に置いて之を作るべし、凹部を木片にて作りたる時は長 2 呎以下の弧に切り螺旋を以て版に一端にある輕き金屬片に結び木片が完全に曲線をなすを要す。

交通線は鋪裝表面が仕上げられたる後、4 時間~12 時間の間に若しくは人が鋪裝の表面に立ちても之を傷けざるに至らば直に之を作るべし、型枠を外して後混凝土は完全に水を以て濕しホワイト・モルタルを凹部に打ち充分に搗き固め鋭を以て圖に示す如き斷面に仕上げべし、交通線の兩縁は圖に示す如く縦に圓くすべし、交通線は仕上げたる後、直に清淨なる濕したるキャンバス又は麻布を以て保護し、土、藁又はその他の物によりて汚されざる様請負者は適當の注意を拂ふべし、交通線は丁寧に要求せる線通りに作るを要し不規則なる箇所はすべてモルタルが硬化する前に修正すべし、交通線に沿ひ、又は之を横ぎれる接手をふさぐ際は交通線を傷け又は變色せざる様注意すべし、もし請負者が交通線を變色せしめたる場合にはカーボランダム塊又は他の方法にて摩擦して變色を除くべし、但費用は自分持ちます。

瀝青表面の交通線は幅 4 吋深さはそれに接せる表面と同じ深さとし基礎を一體になすべし、而して方向も勻配も正確にし型枠は曲線に正確に合ふ様に切り且曲げざるべからず型は技師の考へにより長さ約 2 呎の直線にて作ることを得、交通線は鋪裝の完成後引渡し迄は車輪又はその他の原因による損害を蒙らざる様保護すべし。

三月第一回の請負に於ける入札は交通線 1 呎の築造費 8 セントより 80 セントに及びたり、一般に新斷面に對する工費の平均は材料の節約により豫想されたるよりも遙に高價なりき、入札をなしたる請負者の意見によれば交通線を作ることは工事の進捗を害し基礎を作るは更に高價なりとの事にて道路局技師の意見と異れり。(完)

## グレノ溪谷に於ける堰堤の破壊

(Schweizerische Bauzeitung 9 und 16. Februar 1924)

ハー・エー・グルウネル技師(バーゼル)の依頼に依り、工學博士、アー・スタッフキイ(バーゼル)の調査に係る

1923年12月1日に於けるグレノ溪谷堰堤の破壊に人命を奪ふこと100餘に及び下流部に於ける被害實に甚大であつた、ために既成なると築造中なるとを問はず堰堤の下流部にある瑞西住民は戦々恟々として居る有様である、故に此際如斯大堰堤の安全度なるものに關し總勘定的調査をなし以てこの恐怖すべき不祥事からして將來に資すべき智識を得ることは必要であると信するのである。

その責任問題の點に到つては吾等外國人としては問ふ事を欲しない、従つてこの報告中にはこの點に全然觸れない、吾等は茲に何人の姓名をも引用せず、唯現場に於て得たる印象と研究とに立脚して、ひたすら技術的見地からして全事件を討究し又發表せんと欲するのである、たまたま其缺點に論及するは堰堤築造者の注意をしてこの事件に注目せしめ、以て將來如斯失敗を再びせざらんことを希ふ老婆心に外ならぬのである。

然し豫めこゝに大方諸氏の安心を乞ふ所はこのグレノ溪谷の大椿事が幸福なる哉現代的堰堤の設計及び築造の正當なる觀察上からして決してその應用を謬れる點に起因せるに非ざることである、若しそうでなかつたならば、此事件は當然我が技術界及び技術の最新精華に恐るべき不信用を齎らしたことであらう、然るにグレノ溪谷に於ける堰堤の破壊はこの種築造物に對して全然非常の状態に因ると説明すべきなるのみならず、今日現存せる従つてその最初の荷重に充分に對抗せる所の諸他の瑞西堰堤又實に諸外國堰堤の何れと比較するもこのグレノ溪谷に於けるものは同日の談に非ずと豫告し得る、かゝる事件は我國に於ては恐らく地震被害の場合を除いては全然考へ得ざる所である。

グレノ堰堤の如き多拱式堰堤は我瑞西國に於ては未だ皆無であるが、伊太利に於ては相當聲聞あるものである、これに關しては既に數多の傑出せる伊太利技術家に依り理論的研究が發表せられた、諸家の發表に依ればその何れを見るも此種築造物の設計及施工は諸他の型式に依る堰堤に對するよりも一層多大の注意を拂

ひて所理すべきことを提唱してある、勿論材料を節約し従つて強度の許容應力を採用する場合には施工の質を之に比例して向上せしむべきは當然である、如斯であるからして若し伊太利の技術上の文献に示されたる總ての注意をグレノ堰堤に於ても遵奉したならば、勿論今回の不幸事を見ることはなかつたと思はるゝのである。

### グレノ堰堤

日刊新聞及び非技術雜誌を見るにこの不幸事に就ても又堰堤に就ても甚だしく不充分且矛盾せる報告を發表して居る、故に簡単にこの築造物の性質を最初に説明することにする。

グレノ堰堤はベルガモ州標高 1,500 米の地點に於てグレノ川を堰制するものである、このグレノ川はオグリヲ川の支川のデツヲ川の又支川である(第一圖)、該堰堤に依つて 6,000,000 立米の貯水量が得られ、これは5個の發電所に於て使用するその内上部の2個は堰堤の所有者即この地方の大工業家に屬して居る、以上此等5個の發電所は貯水池とカモニカ溪谷のダルホ村との間に1,300米落差を利用して居る、堰堤は1920年工を起し第一幹線の一部經營を開始するために貯水池の水位は既に工事中に漸次上昇せしめつゝあつた、1923年の晩夏工事は終結を告げ、同年10月23日新貯水池は第1回の満水を行つた、然るに12月1日朝7時乃至8時に至り堰堤の一部は崩壊し、ために夏以來貯水せる 6,000,000 立米の水量は僅々二三十分にして溪谷中に逆出して茲に大災害を發生した、その慘事に就ては諸新聞が委曲報導せしが如くである。

グレノ堰堤の流域は第一圖の地圖に見るが如く比較的小である、その基礎岩盤は恒久性岩層より成り唯堰堤の施工せられた部分は局部的蛇紋岩中層があり段を形成して居つた、(第四圖)、且又岩盤表面上には驚くべき水河滑走條痕を觀取することが出来た(第十二圖)又デツヲ溪谷の下部は3疊紀層から成り頭初堰堤築造に使用した石灰岩はこゝに産したものである、地質學的見地からして堰堤個所として撰ばれた位置は非常に適切なものであつたと云へる、輕微な罅隙があるけれども岩盤は驚くべきものがあつた、且基礎としてこれ以上を望むことは寧ろ不可能事である。

築造物は頂部に於て延長約 250 米その延長の大半に亘りその高さ25米より30米

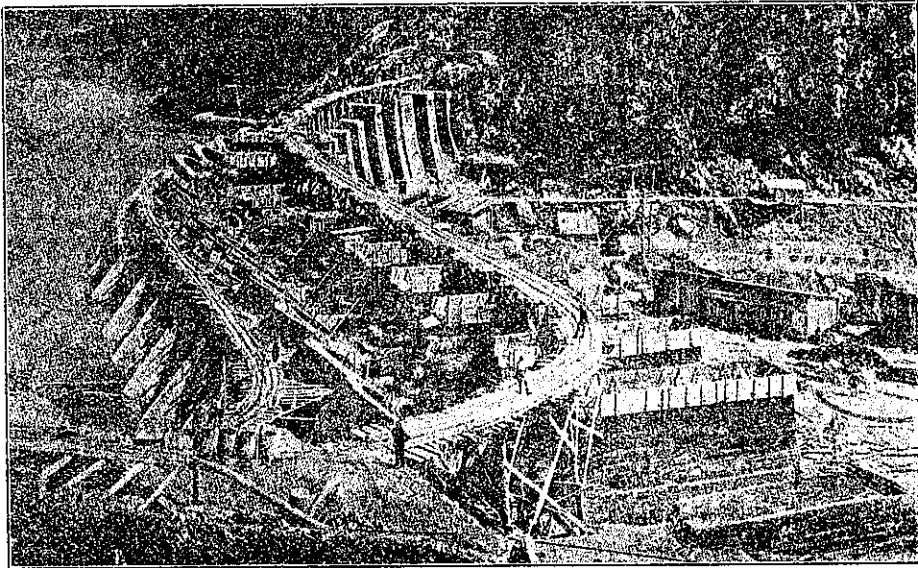
第一圖



に達し、唯在來の溪谷部に於て約50米に達して居る、堰堤の破壊せる部分は高さ27米あり、溪谷の位置に於て梯形状の重量基礎壁上に定置した(第四圖)、築造者は最初大なる重量堰堤を築造することを企て且この計畫は工事がある程度迄進行したる後に變更せられたといふ噂である、こは或は左様かも知れない、がそれにしてもこの重量基礎壁が破壊の際に呈した所の状態はこの辨明を是認しない、もし今三角形をなす堰堤主體の空氣側の傾斜に於て更に附加物が添加せられたりどせんか、そはこゝに築造せられたるもの、如き零細の注意を以てしては必ずや何等の抗力なく破壊し終つたであらう、これらの大なる基礎壁には幅4米高10米の底部流出口がある、豫め申上るが不幸はこれ等の比較的大なる節約に依る堰堤の弱化に起因したものではない、何となれば堰堤守の報告に依れば崩壊は其所に生じなかつた、のみならず下部の大基礎壁は迸落する水量及び混凝土塊に依る破壊を除いては比較的被害を受けて居らぬ。

次に設計に就て注意を要することは個々の拱柱の相互連絡がしてない、蓋しこれ普通の工法である、故に之を以て横的強度の缺陷か破壊の原因なりと斷ずるこ

第 二 圖

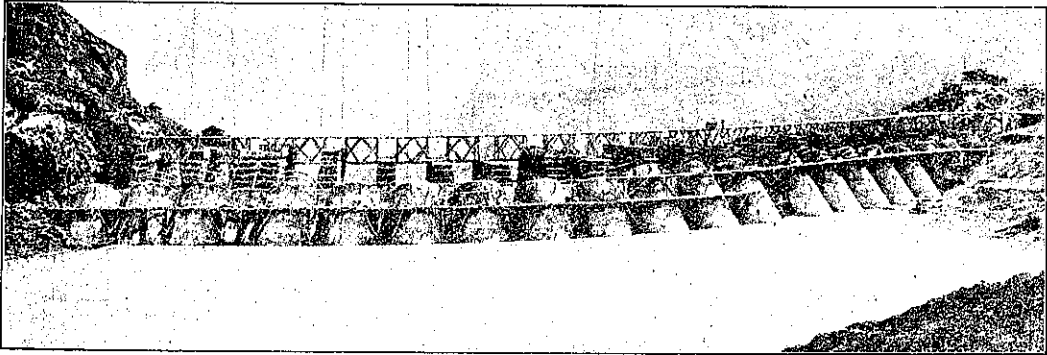


堰堤左側より望める現場の光景

とは出来ない、猶且完全なる工法に依る拱柱なれば被害なかるべきを思ひ、更に

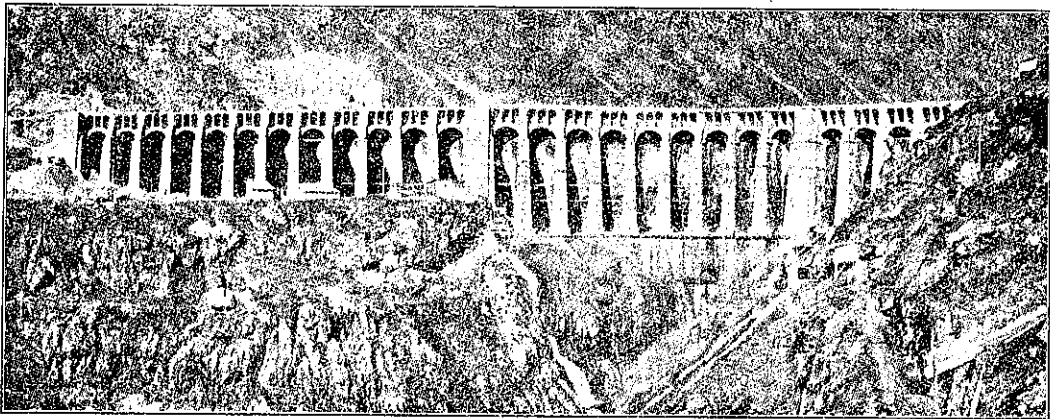
工費の低廉なるものを欲するのである、築造物の大體の形狀は現今諸他の方面に築造せらるゝものと殆ど相等しい、これに反し各部の形狀及び寸法に關してはその設計必ずしも適當なりとなし難きこと後述するが如くである。

第 三 圖



建造中既に貯水しつつある堰堤を上流部より望みたる圖

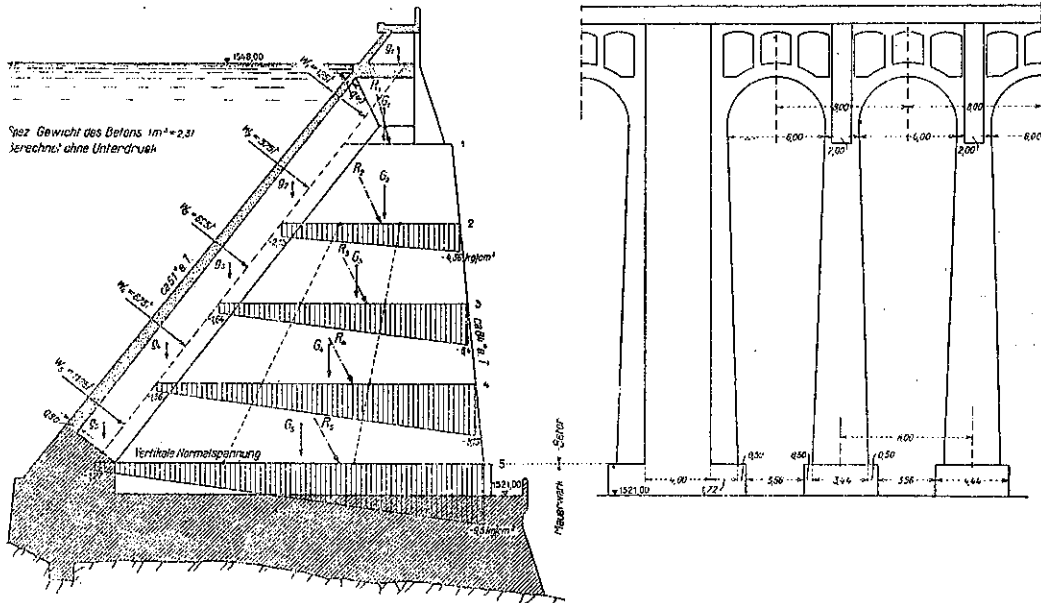
第 四 圖



1923年秋完成後の堰堤を下流部より望みたる圖

今堰堤全體をその下流部から觀望する時に吾人はこの築造物が非常に懸崖に接近して設けられたといふ否みがたい印象を受ける、少くともその中位及び最高の部分が2米或は3米上流に施工されたならば確かに改良されたと思ふ、第二圖より第六圖迄は築造物に就て各種の教示を與へるが故に此所には委細に亘る説明は棄てることにする。

第五圖及第六圖



正面圖及び断面圖に於ける静力學的計算圖

次に使用材料に關しては注意すべき3點あり、砂利は明かに貯水池底に得られこれを簡単に洗ひ或は全く洗はずして採集した、この事は混凝土及びその破片から知られる、然して不適當なる砂利の混合を以てして猶混凝土の密度をして非常に過多ならしめんと望んだ、これが多量の滲透水に對し機會を與へたのである。(第十二圖)

拱柱の基礎を成して居る堰堤の下部は石灰モルタルの壁として築造された、之に反し拱柱自身及び拱はセメント混凝土を以て築造せられた、余が確かめた所に依ると石灰は同溪谷中に建造せる石灰窯爐に依て製造せられた、かくの如きはこの地方に於て少なからず特異のこである、既にこの地方には豊富なる生産力を有する石灰工場及びセメント工場がある、吾人は勿論短期間に石灰燒人として優越し得ざるのみならず、精確なる石灰燒及び石灰消和なるものは制規のセメント製造工場に於けると等しく大技術なることはあまねく知る所である、且又注意すべきは堰堤築造に對するその石灰使用量が吾人の使用率に比すると全然非常なることである、勿論、今日に於て石灰使用量は伊太利に於ては例へば瑞西の如きに比して多量である、然し乍ら河海工事に於ては必ず消石灰を使用するか又は火山



灰を混合するを常とする、これはこの地方には全然生じないものである、その結果は勿論思はしくない、石灰は築造物の内部に於て結合し得ないのではないが、間もなく築造物の不密に依て發生する多量の滲透水のために容易に洗去せらるゝに至る、既に築造者は工事の中途に於てこの危険に氣付けるが如くである、或は恐らくそれに就て彼に注意したものがあつたと思ふ理由がある、それはその後上部に對してはセメントが使用せられてをるからである、然るに悲哉、かゝる場合に當つての唯一の正當なる手段に出づることをしなかつた、即ち獨り凝結材料を變更するのみならず假令經濟的損失がありとするも既成の不正なる工事を破壊し之を改築すべきであつたと思ふ、最後に尙注意すべきは施工そのものが甚だ不充分なることである、こは第十圖より第十三圖迄に明に觀取せらる、吾人はこれに就て多言を用ふるを要しない圖面の方が遙かに雄辯である。

築造場所は大なるにも拘らず、簡単に準備せられた、マイランドに於ける技術家協會に於ては手練混凝土の製法に就て説明あり、然し局外者に對しては今日尙實行することは決して容易でない、其結果を見るに常にこの主張と一致するものである。

### 1923年12月1日に於ける樁事

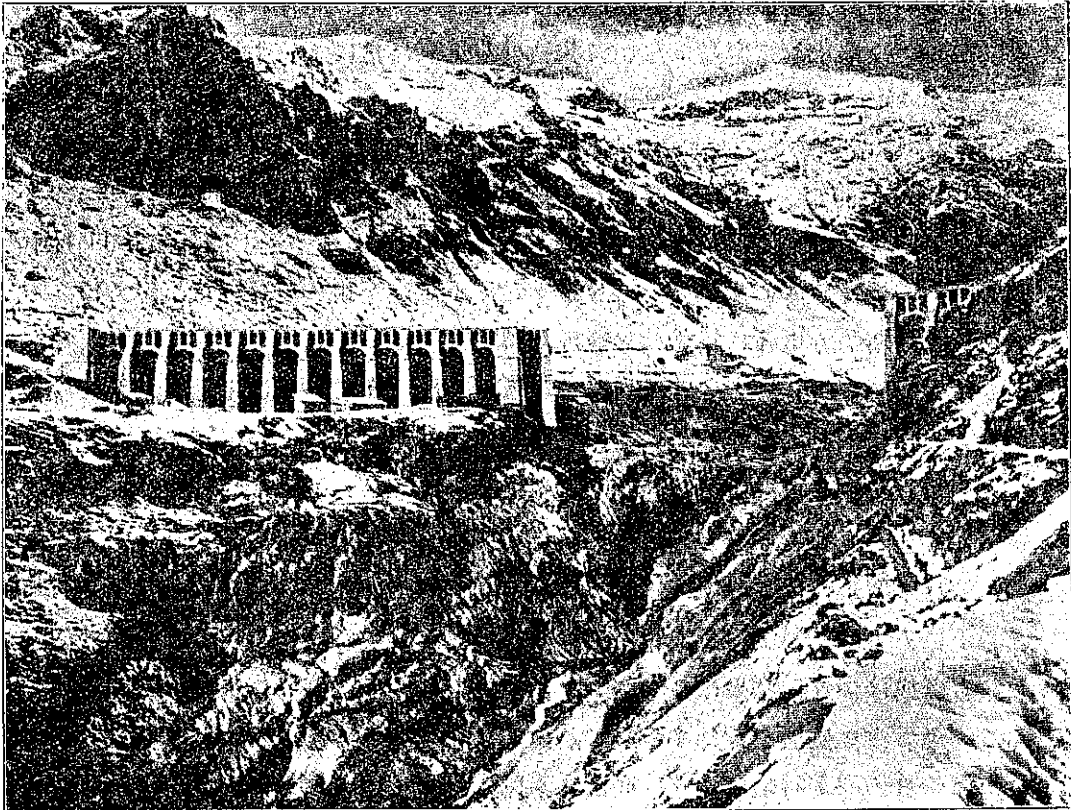
1923年の晩夏貯水池水位は最高點 1,548 米に上昇し爾來殆ど 1 箇月即ち 11 月中堰堤はその不良状態に想倒せらるゝ事もなく全水壓を耐へて居つた、思ふにこの第 1 加壓は斯かる場合に行ふべき管理を實行せざりしが如くである、例へば各部の彈性屈曲を測定して之を充分に確かむるとか或は多量の滲透水を取去つたならば恐らく結果は良好であつたらう、第四圖は溪谷の右岸に小流が認めらるゝこれ明かに基礎を通じて滲透水のあることを示すものである、然し基礎のみではない、拱柱の各部も亦粗密均等ならざるが故に此所にも亦算することが出来る、第十二圖を見れば猶水柱がある、こは強度の滲透水から生じたものである、堰堤が尙加壓の下にある間に周倒なる觀察に依て全築造物が不安定状態にあることを發見したならば或はかゝる結果には立到らなかつたであらう、然るに最後の瞬間迄何人もこの恐るべき破壊を豫知することが出来なかつた。

運命の日の朝 7 時頃堰堤守は底部流水門に行くために拱柱の趾部を通過しつゝあつた時である、突然石塊が 1 拱柱より歩道上に轉落して彼を驚かした、仰視す

ると拱柱の上部には垂直の陰影があり、危険を語るものゝ如くであつた、そこで彼は直覺的に番小屋に向つて走り漸く落付いたと思ふ間もなく全拱柱が崩壊するのを望見することが出来た、不幸にしてこの瞬間以後彼は何等報告することが出来ない、この大椿事のために彼が驚倒して了つたからである、この不幸の柱は下流から見て(第四圖に於て)西部の群柱中右方3番目である、即ち高い基礎壁上に固定せるものゝ内最小のものである。

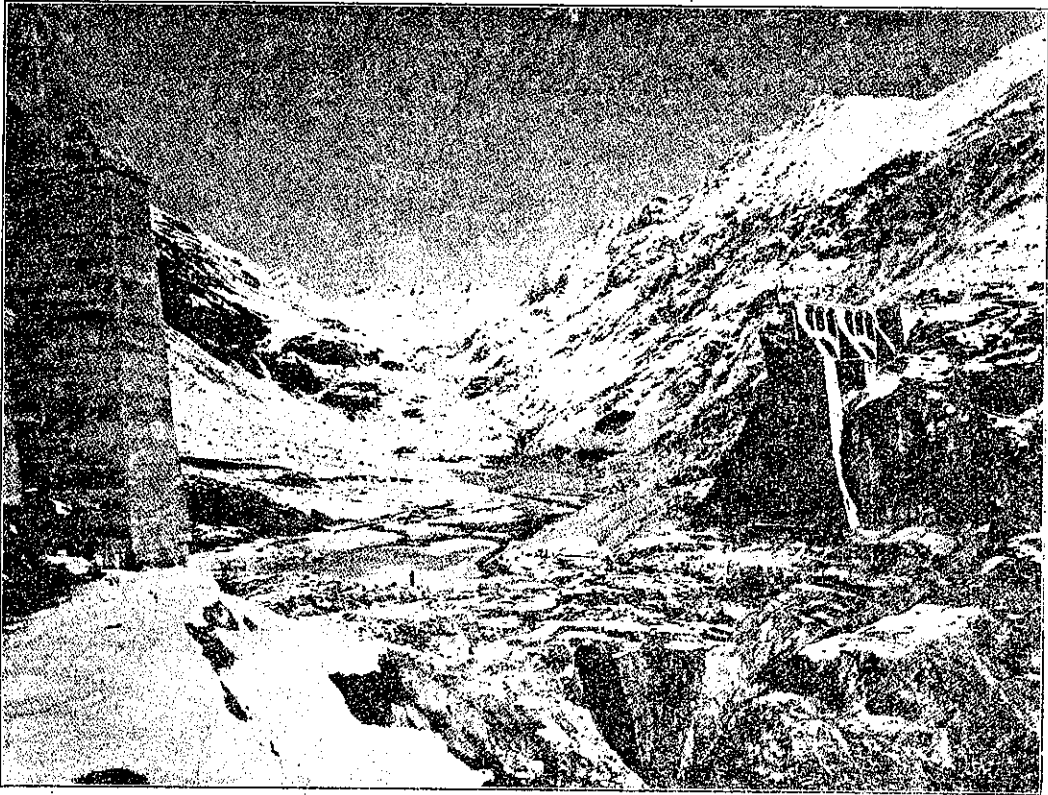
かくて貯水池は實に約15分時を以て空虚となり終つた、その約1時間後には洪水波はカモニカ溪谷に達し後方20杆の距離に亘り氾濫を恣にした、その驚くべき狂暴蹂躪に関する記事はこゝにはその所を得ないのみならず、概に日刊新聞及書報類に記載せる所である、唯こゝに附記せんと欲するは一體堰堤の下流に在る溪谷なるものは下流地域に對し確定的安全度を有するを考へる一般的意見は正當な

第 七 圖



南方より望める堰堤の光景

## 第 八 圖

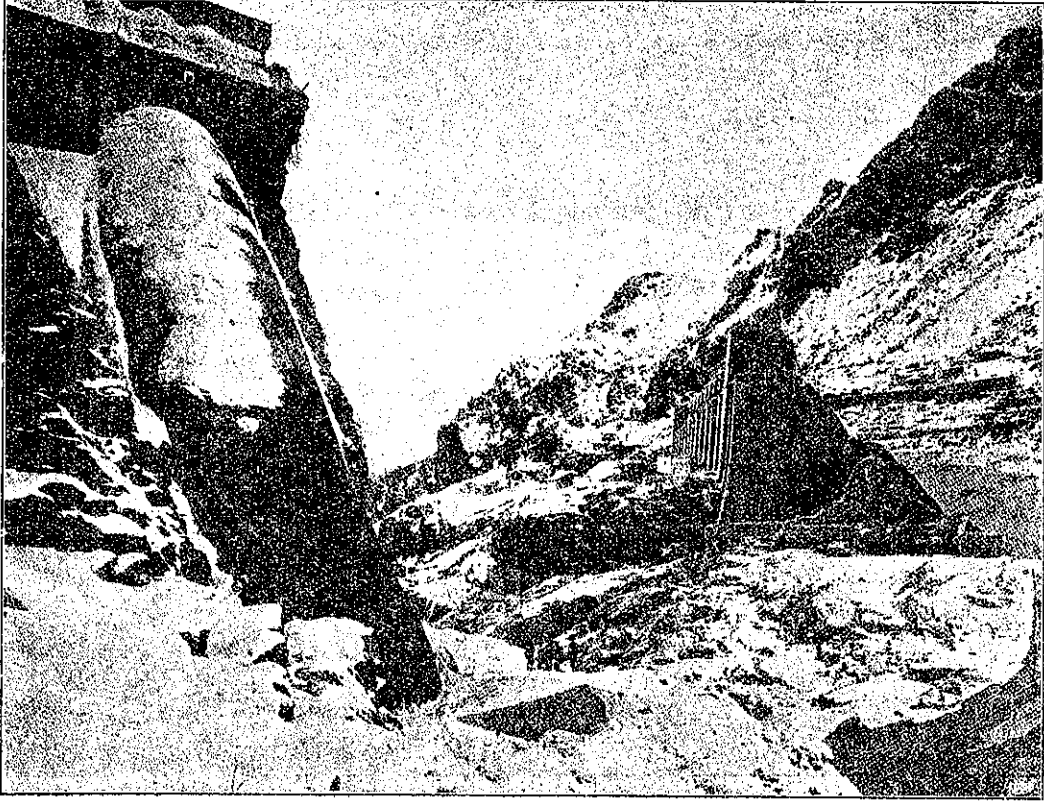


西南方より望める堰堤の光景

らざることである、何となれば此等の莫大なる混凝土塊、樹木及び砂礫等は共轉して溪谷中に一時的堰堤を形成し、ために不自然なる貯水池を生じ暫くにして突然崩壊するに到つた、これがために水量は再び集中せられ洪水波は時間と共に平坦となるべきに反し再び新勢力を回復するに到つたが故である。

今第七圖より第九圖迄に依れば破壊せる築造物に對し大體の概念を得ることが出来る、その断面70米に亘り完全に破壊せられて居る、これを下流溪谷中より見て基礎壁は被害殆ど認められず、その全延長120米に亘つて右岸翼壁は殘存せるも拱柱は各部に於て何れも激烈なる被害を受けた、こは殘存せる拱に見るも同様に於て拱柱は何れも大なる被害が認めらるゝ、以上の觀察の結果敢て結論する所はこの不幸事は決して不慮の事件として片付くべきものに非ず、換言すればある1本の拱柱の破壊が原因となり、その倒壊の際に左右のある部分を共壊せしめた

## 第九圖



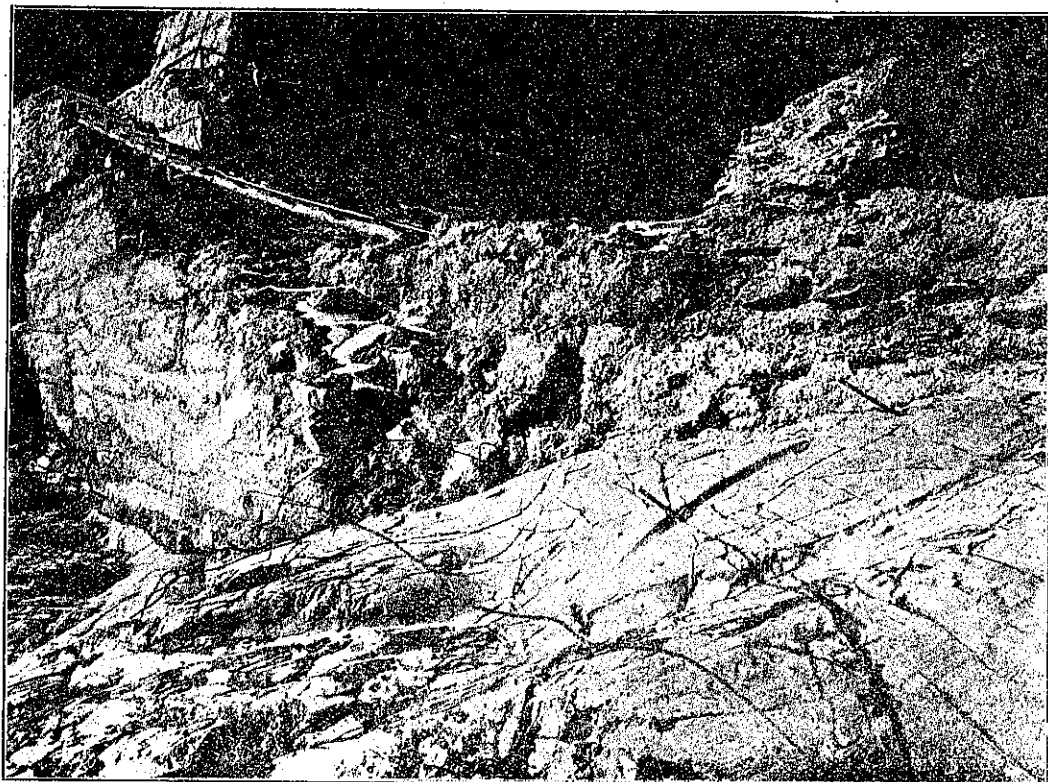
東方より望みたる破壊箇所

るものにしてその原因は局部的缺陷にあつたといふ断定は首肯し難い所で寧ろ反對にこの意見は全堰堤が不幸發生以前に既に多少の破壊を生じて居たことを證明するものである。

一步進んで今日殘骸となつて居る水害を受けた混凝土壁の各部表面に就て觀察すれば工事そのものにした所が、充分の注意を以て施工されて居らぬことに言及しなければならぬ、(第十及第十一圖)一體擁壁工事なるものはかゝる築造物に對して唯吾人が適切なる施工を保證し得て始めて問題とするに足るのである、勿論如斯大工事に於ては常に混凝土を吟味する、これは何れにしても整一なる築造物に對しては良好なる保證である、もし一度凝結材料が不良といふことになると吾人は築造物が必要の強度を發し得ざることを認めざるを得ない。

拱柱の基礎岩盤の取扱ひも亦著しく不當であつた、既知の如く岩盤の質そのも

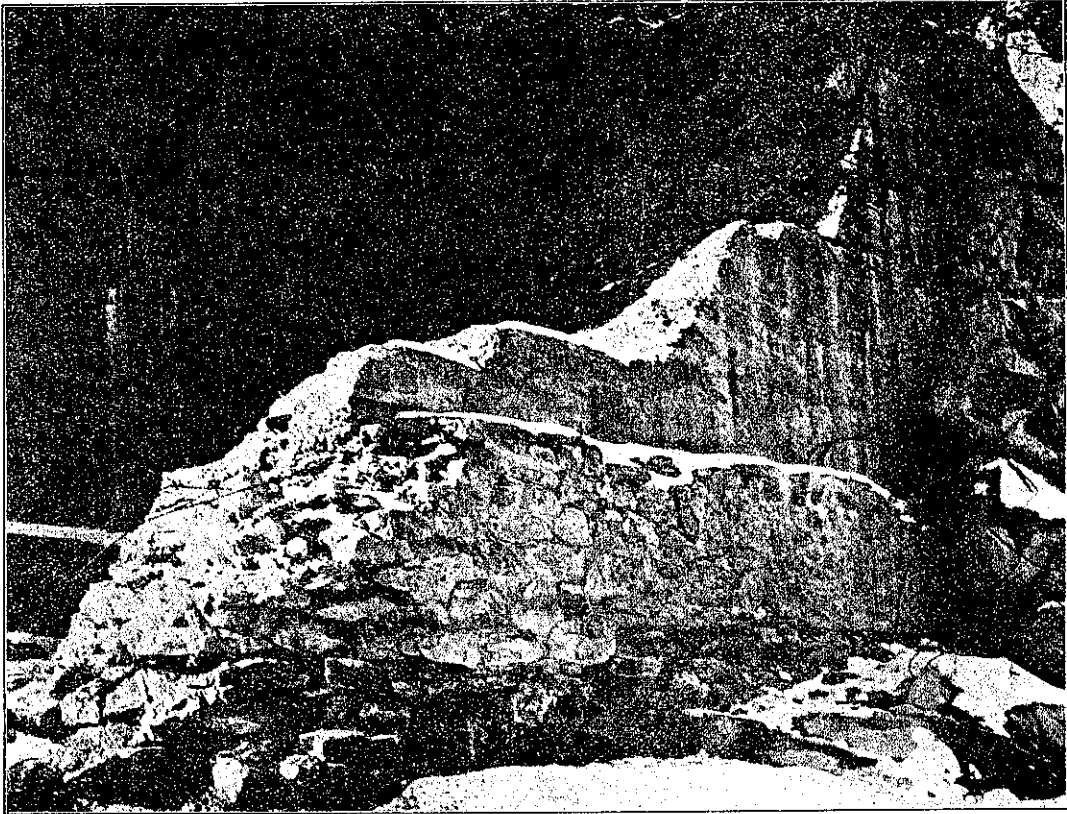
## 第 十 圖



下流部堰堤基礎の破壊圖、左上方は残存せる拱柱の最端部、A—A基礎壁の上端、  
B—B平滑なる基礎岩盤斜面上の基礎壁前面切斷線

のは非常に満足なるものである、然し平滑なる氷河滑動條痕は混凝土の粘着力を輕減する點に於て明かに問題となるべきであつて水平の階段を作つたならば更に良好であつたと思はれる、又岩盤が非常に平滑であつたがために、モルタルは全然粘着することが出来なかつた、これは第十圖に認められるが今日唯數箇の碎片が密着してをるのみで大部分は非常に平滑で且綺麗である、恰も岩面は全モルタルに觸れなかつた様に見へる、この際流下した水量のために岩盤が洗掃されたのであると云ふ事實は成立しない、何となれば流出水の繼續時間は非常に短かつたからモルタルは單に打碎さるゝに過ぎず、如斯綺麗に洗ひ去らるる理由がないのである、岩盤表面の今日の狀態は實に堰堤が不幸の惹起せざる以前に既に全然基礎上に粘着して居らなかつたことを語るものである、更に吾人は第十圖に於て堰

## 第 十 一 圖



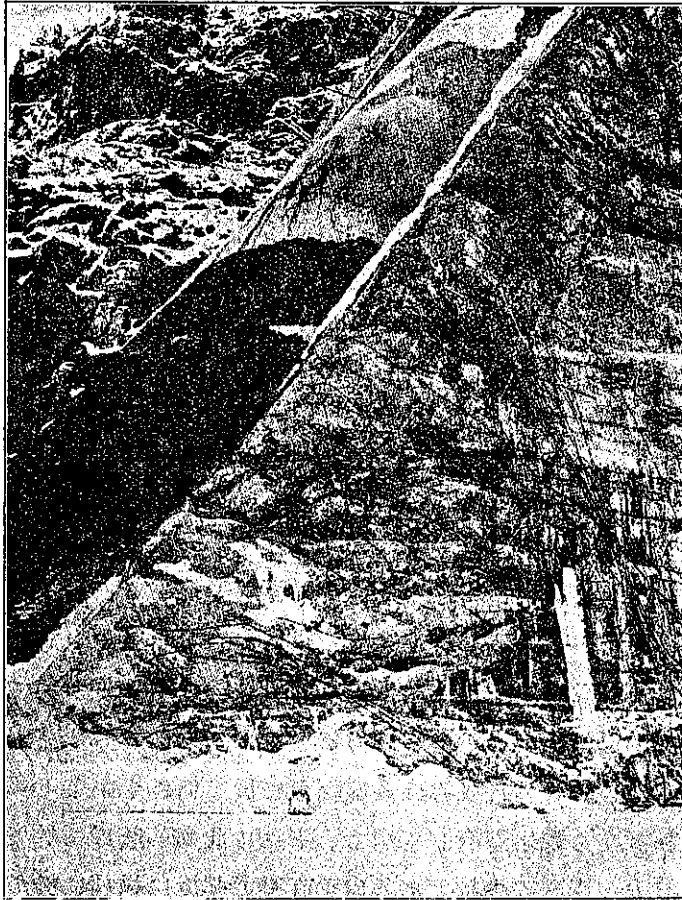
最初に破壊せる拱柱脚部(第十圖に於ける上右方に於けるもの)を下流部より望みせるものにして基礎工事の性質を示すものなり、右方に垂下せるは接續せる拱部の碎片なり

堤工事と岩盤間の罅裂は明白であつて約0.5厘なることを知る、以上の事實は決して一部分のみに止らず、他の位置に就ても亦觀察することが出来る、故に築造物はその基礎上に非常なる特別不良状態にて施工されたものである、その基礎に多少の膠着力ありとするも、その量及強度は小である、従つて必然的にその作用をなさなかつた。

上部築造物は既述の如く混凝土を以て施工した、これに就ても亦或程度の保留をなすを必要とする、第十三圖の拱を見るに拱柱との接目の位置に於て綺麗に切斷されて居る、これは鐵筋混凝土の質に就て印象深き圖面である、水に必然的にかかる空疎なる混凝土の内部を通じ抵抗の小なる通路を見出さんとする第十二圖上に氷柱として明かに顯れて居る水量損失は混凝土が不良なることを説明し得る

ものである、鐵筋混凝土施工に際して拱に大なる密度を有せしむるために鐵筋の粘着を不可能ならしむる所の大なる石塊を投下した、故にかゝる施工の結果止むを得ぬことであるが拱は隨所に不密の所を生じた大椿事以前該地に於ける實見者の言に依れば隨所に純モルタルを塗布して多量の損失水量を防いだといふ事であ

第 十 二 圖

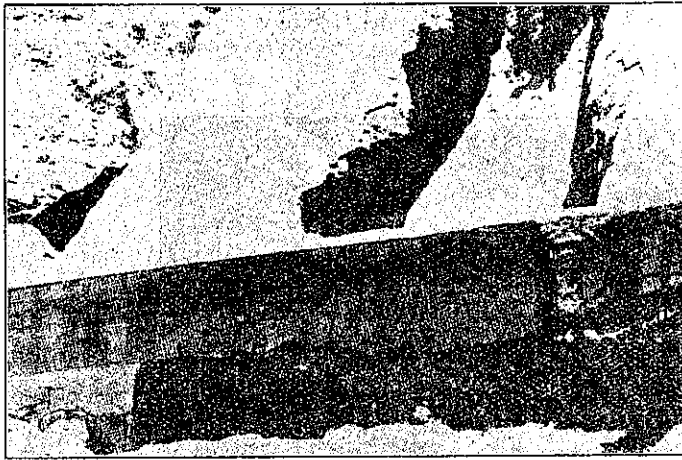


残存せる左岸最端拱柱に於ける拱の切斷を示すものにして混凝土の變化及びその工事を見るべし

る、混凝土から今日尙懸下して居る鐵筋の大部分は全然固着しておらぬに徴しても必然膠着強度が緊要問題たる事を示すのである、又鐵筋が混凝土から拔出す際に漏斗狀の穴を形成したる事實も亦混凝土の強度の不充分なる結果と首肯することが出来る。

然し以上の諸缺點があるけれども拱は大椿事に對して何等責任がない、この點は喜ぶべきことである、再言するが拱は非常に大なる安全度を有して居り、不充

第 十 三 圖



上流脚部に於ける水平皸裂

分且不注意なる施工法を以てして猶充分に使命を果して居る、破壊せられた断面の右方に今日猶直立してをる拱を見るにその上流部に於て脚部に大なる水平皸裂がある、これは第十三圖に見るが如くである。

### 拱柱の靜力學的研究

破壊に就ては上來繰返して述べた所であるが、これを其發生當時に遡つて再述し且その最初の原因を追跡研究するに先ち吾人はまづ拱柱をその抵抗強度の點に就て又その應力状態に就て精密なる研究をなす必要がある、拱はこの點に就て興味が少ない、その理由は上述せる如くもし拱柱が破壊しなかつたならば拱は更に永く維持する筈だつたからである。

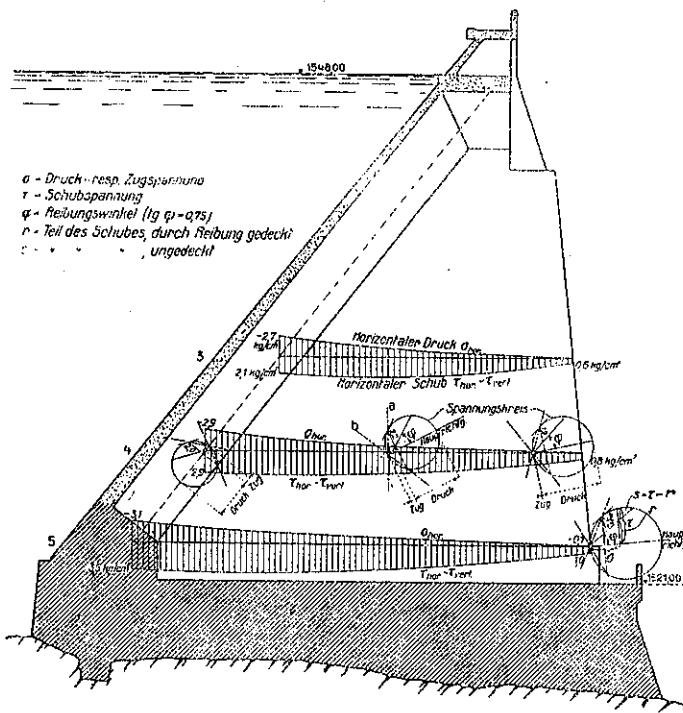
拱柱の靜力學的計算は普通の如く壓力線と水平切斷面の方法に依て行ふ時は何等異常を發見しない、その合成力は各部斷面に於て何れも中央1/3内にあるのみならず猶浮力に對する餘裕を有して居る、それに此種の堰堤に於ては重力堰堤に於けるよりも浮力の影響は少量である尙垂直壓力強度は拱柱に於て10噸/檜<sup>2</sup>に達しない、然しかゝる簡單なる計算は尙不充分である、即ち相異なり且特長を有する各點に於ける主應力を發見する必要がある、この方法は解析的にも或はモールの應力圓を用ひても簡単に計算することが出来る。

水面側の傾斜面に對しては計算は非常に簡單である、勿論こゝには傾斜面に平行と垂直の2つの主應力方向がある、且その他に垂直應力がある、これは上に豫算した簡單なる應力計算から既知である、並に主應力の1つ即ち拱柱の幅員上に



作用する静水壓力が既知である、これ等の要素は應力圓を作るに充分である、これに依ればグレノ堰堤の破壊の際には第2の主應力即ち傾斜面に平行に作用するものは應張力なりしことが判る(第十四圖)下流側の傾斜面に沿ふても同様に應力圓の發見は簡單である、即ち2つの主應力方向は又既知なるが故である、拱柱の内部の一點に對しては先づ最初に應力の値 $\tau$ 及び $\sigma_{hor}$ を發見せねばならぬ、 $\tau$ は一斷面に於ける全應剪力の和はこれに相當する剪斷力と同大なりと考えることに依て判明する、水平斷面の兩端に於て $\tau$ は既知である、その中間の値を得るには例へ

第十四圖



拱柱の應力状態

ばシンプソンの定理を應用して近似的に得らる、水平の應力を決定するには最も簡單に一般式 $d\tau \cdot dx = d\sigma \cdot dy$ を用ひる、これは今 $xy$ を水平垂直とすると極簡單に小なる一平行六面體の平衡状態から導く事が出来る、この式を用ひて漸次に傾斜面より始めて $\sigma_{hor}$ の値を代入だけ幾何でも計算することが出来る

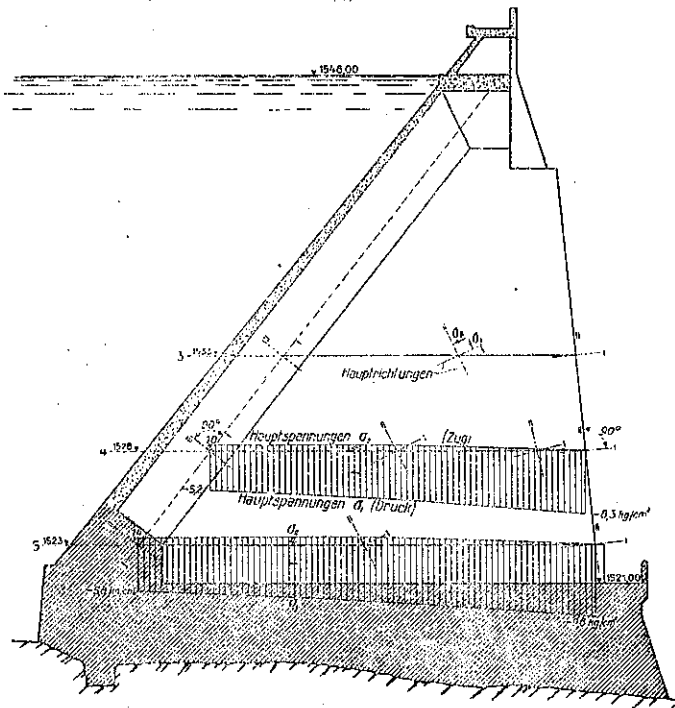
る、かくして先づ一點に於ける3應力が既知となればその主方向及び主應力は解析的には既知の關係式に依て發見し得べく、圖式的には豫想した應力圓に依て表はすことが出来る。

第十四圖に於ける圖面はナビルの假定に基く應力發見の順序を示す、かゝる斷面に對しては、この假定は完全に應用し得ないのであるが、その誤差は顧るに足らないものである。

之の研究の主結果としては主應壓力はどこでも10斤/厘<sup>2</sup>を超過せざること、拱柱の大部分に殆ど水面側傾斜面に平行に作用する應張力が生ずる事の二である、既に第1の計算に依て(第五圖)壓力線は水平切斷面の中央1/3以内にある事を示した後に於てかゝる應張力が存在することは一見して驚くべきことであるが、若し傾斜切斷面を採つて計算を行へば、合成力が決して中央1/3以内に止まらぬことが判る、このある状態の下には可成の應張力が發生する事は他の方法を以てするも容易に證明することが出来る、外部の配分せる水壓荷重は彎曲能率を生じこれに相當する應張力として出現する、然し水面側傾斜度の大なるに従ひ此等の應張力は自重の壓力に依て消殺せらる。

應力圖よりして直ちに應張力の消去のためには次の $\sigma_1 = \sigma_{\text{vert}} / \sin^2 \alpha$ なる關係を得る、茲に $\sigma_1$ は主應壓力、即ち拱柱上に集中せる靜水壓 $\sigma_{\text{vert}}$ は垂直壓、又 $\alpha$ は垂直線となす水面側傾斜角とす、同一種類その他設計に於て例へばチルソの水力電氣の貯水池堰堤に於ては水面側傾斜は更に急傾斜である(第十六圖参照)

第十五圖



主 應 力 圖

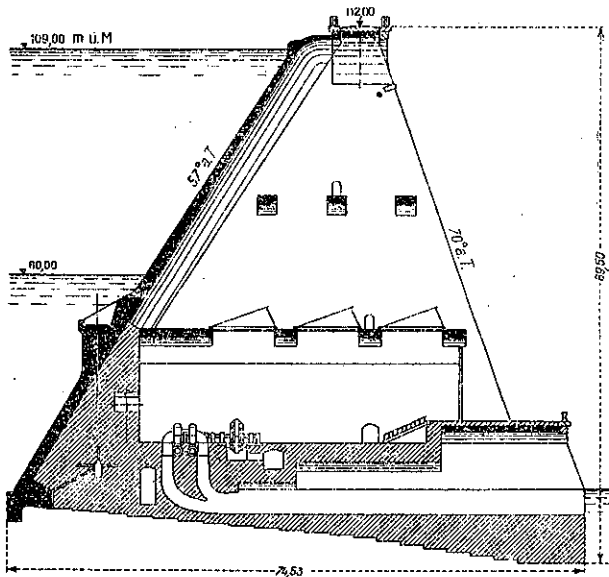
第十五圖に於て2切斷面4及び5に對し主應壓力を下方に主應張力を上方に垂直方向に圖示した、この結果に依れば破壊は恐らくは拱柱固有の靜力學的壓縮に依て發生したものでない結論することが出来る、又應張力の發生も特にかゝる不密なる混凝土に對して望ましからぬ者である

けれども矢張非常に微量に過ぎない、故に恐らくは又破壊に就て直接の原因では

ない、少くとも残存せる部分について見るに何等その徴候を發見することが出来ない。

次に研究すべきは應剪力が如何なる作用をなし得るやの問題である、水平の應剪力は第十四圖に於て示されて居る、これは  $4 \text{ 斤/糎}^2$  を超過しない、最大の斜方の應剪力は拱柱の脚部にて約  $5 \text{ 斤/糎}^2$  である、然るに應剪力が作用して居る切断面は總て同時に一定の應壓力が作用して居る、若し萬一この方向に於て既に罅隙が發生して居ると假定すればこの應壓力は一定の摩擦を生ずることとなる、この摩擦が

第十六圖



サルヂニア、チルツ堰堤に於ける五機械室断面

既に自ら拱柱をして抵抗力あらしむる状態となすものである、故にこの計算した應剪力が罅隙が發生した場合に於て如何なる點まで摩擦に依て抵抗されるかを研究する必要がある、若し今  $\tan \phi = 0.75$  の摩擦角を以て計算すれば第十四圖に見る如く摩擦に依て抵抗されない應剪力が最大なる如き断面は既に最大應剪強度の断面でなくなることが

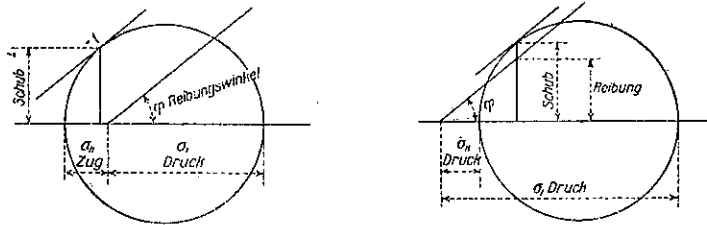
判る、(即ち主應力方向と約45度傾斜せり)この面を今實らしき滑動面と命名する、こは圖に於てa及びbにて示した、もし吾人が0.75以外の摩擦係數をとりも圖の方向は唯多少の變化あるに過ぎない。

計算が示す所に依れば、摩擦に依りて抵抗されない、剪斷力2乃至3斤/糎<sup>2</sup>に達する一方に應力間からして此等は主張力が大となるに従ひ増大することを知る、然るにこの純應剪力は避け得べきものであつてそれには第2の主應力が零若くは更に可良状態なる應壓力となる様に注意すれば良いのである、(第十七圖)、故に主應張力を避ける場合に應張強度と同時に應剪強度を考察して行へば二重の利益を生む譯である、かくすれば張力に對する鐵筋配置は殆ど無用になる、如何にし

て主應張力を避け得るやの問題は前述した所である。

良質の混凝土ならば2乃至3軒/糎<sup>2</sup>のこの剪斷強度に勿論對抗するものでめる、然るに剪斷強度は張力強度と等しく最も重要にして不良の混凝土の場合には非常

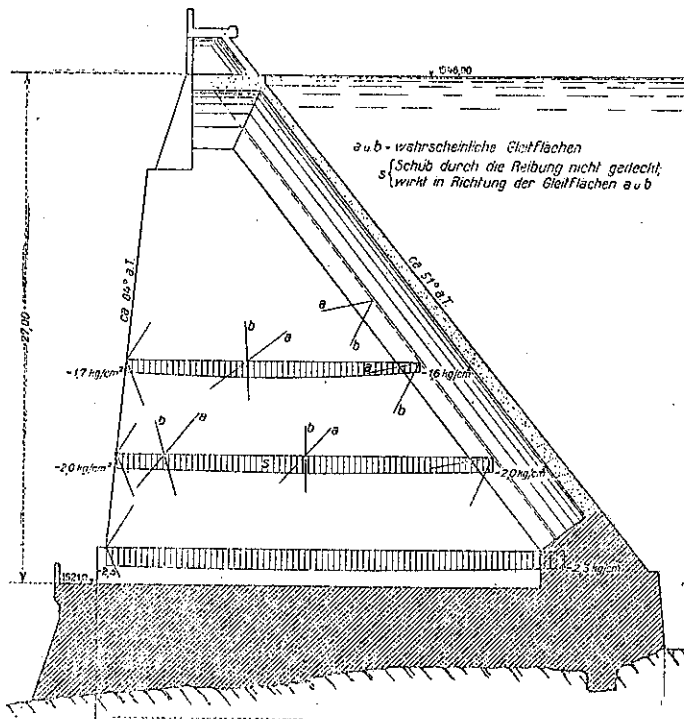
第十七圖



に低價である、明かに之れグレノ堰堤に於ける場合であつて混凝土はこの2乃至3軒/糎<sup>2</sup>に對抗する力が既になかつた。

第十八圖に於ては拱柱は各位置に就き此等の實らしき滑動面a及びbを示した、故に明かに各點に對し2つの平面が存在し、その第1,bは略垂直にして第2,aは第1

第十八圖



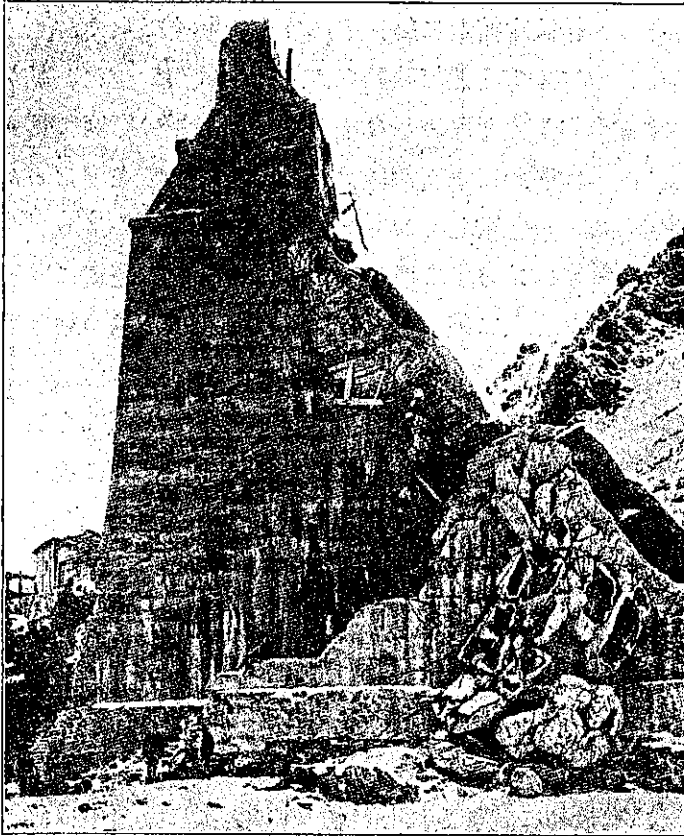
拱柱の剪斷應力圖

のもの約50度の角をなす事を知る、故に剪斷作用は狀況に應じて此等の破壊面の1若しくは2にて生ずるものと考へられる第十九圖は剪斷力に依つて破壊せる2拱柱を示した、その罅隙は上記の滑動面を容易に合點せしむるものである、こゝに興味あるは破壊がaなる面或はbなる面に發生せるのみならず寧ろ罅隙は階段狀をなすことである。

る、換言すればこの兩面が同時に發生せることを示すものである。

これらの研究の結果は拱柱に於て剪斷力が過剰なりしことを示す、拱柱の多くは事實破壊以前に既に罅裂を示した、併し勿論堰堤守の發見する所とならなかつた、彼が全然工事に對する注意を缺いて居たからである、かるが故に第1の拱柱の破壊に作用せりと考へらるゝ所の次に再論する副原因がなしとするも、恐らく堰堤は早晚破壊の運命にあつたと思はるゝのである。

第 十 九 圖



破壊部西方に於ける拱柱の光景(その罅裂の第十八圖と一致するを見るべし)

吾人がこゝに想到する所は基礎は少くとも一部は良質石灰を以て施工され、且貯水池は充分遠方迄その貯水作用を行つたことである、この事實は大基礎壁工事及び岩石基礎と基礎壁との接合の爲に使用せる石灰が全然密着し得なかつたのである、尙これは破壊後隨所に確證せらるゝ所である、然るに水壓の増加と共に基礎壁工事内部に於ても又岩盤と基礎壁間に於ても滲透水

が発生した、後者は岩石基礎が全然平滑にされてあつた爲に殊に多量を算したこの滲透水は11月の終に到て遂に石灰を洗去し強大なる浮力を基礎上に作用せしめ爲に平衡状態に著しき變化を來した、かくて最後の瞬間に到り拱柱は終に破壊したのである(第十圖はその滑動を證し第十一圖は石灰を洗去せられし基礎壁工事が堰潰した事を證するものである) 若し該拱柱の混凝土が更に強硬であり基礎壁

工事亦良質混凝土より成り高度の弾性度を有せしならば此少許移動は必ずしも致命的とするに足らなかつたであらう、然るに前陳の場合に於ては混凝土はかかる變形に對し罅裂を生ぜずして應ずるに足らなかつた爲にこの移動は拱柱に對し不對稱的の壓力を生ぜざるを得ずこれが破壊をして更に迅速ならしむるに到つた。

## 結 論

上述の研究に依て與へらるゝ結論を簡単に總括すれば次の如くである。

第1設計は何等大失敗なしとするも全然無缺點なるものではなかつた、且かかる工事に就て要求せねばならぬ安全度を保證しなかつた、チルソの實例に見る如く諸他の伊太利式大工事に於ては明かに水面側傾斜度は急峻にして之がために應張力は自重のために消殺せらるゝ事を示しておる。

又平野に於ける堰堤工事に就ては希望する所が多い、基礎岩盤は適切に取扱はれておらぬ、如斯平滑なる岩盤基礎上に築造するに當り水面側を上述の如き傾斜となすこと勿論全然許容し得ざることである。

瑞西に於ては如斯築造物に對し石灰を使用することは全然ない、何れも良質のポートルランド・セメントを用ひることに一致して居る、然るに伊太利に於ては石灰を使用する事我國に比して遙かに饒多である、それにしてもかかる場合には大概火山灰(ポツラーン)を混合して石灰に水に對する性質を持たせる、更にこの目的のために石灰使用の際には石灰の硬化するを待つて初めて堰堤に加壓を許すを良好とする、然し以上の制限を嚴格に守るとすれば加壓作用迄には非常の長時間を要し寧ろポートルランド・セメントの使用を切要するに到るであらう。

猶言及を欲するのは堰堤工事及混凝土の不注意なる施工である、先づ明白なる事實として、破壊せる拱壁は唯最初に試験されしに過ぎぬ事、次に築造中は碎石及砂の混和は一定不變に處理して施工せらるべく以て竣工せる築造物の密度に對し其強度に對すると同様の注意を拂ふべきであつた事である、貯水池築造の際には假令工費の増加を來すとも制規の混凝土工事に共通なる各寸法は絶對的に顧慮墨守するを要す、此場合に就て云へば隨所に危険なる箇所を指摘し得るのである。

以上の總結果に依て他の瑞西堰堤のみならず伊太利その他の堰堤とこの堰堤との關係比較は全然問題外である、その理由は諸他の堰堤は専門技術家に依て全く別途の方法に依り一層の注意を以て完成されたものなるが故である。(完)