

アメリカのダム所見

正員 高 田 昭*

ON SOME DAMS IN THE UNETED STATES OF AMERICA

(JSCE April 1854)

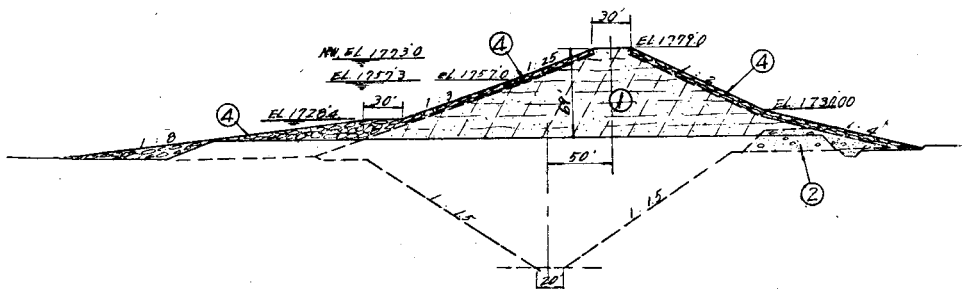
Akira Takata, C.E. Member

Synopsis A brief description on some dams in U.S.A., where the author have visited during September and October, 1953, is presented in this paper. The construction practice of earth fill dams was impressive upon the author. The design of some gravity dams combined with the earth and rock filled dams was absorbing interest, as well as the crest of dam being constructed higher than the rock foundation at the abutment.

1953年8月19日に渡米して10月22日に帰国した。その間既設の有名な重力ダムと目下工事中のアースダムその他の現場を視察した。アメリカにおけるダム工事の実情は諸種の印刷物から多少知ることができたし、またそれが従来日本のダム建設の発達に指導的役割を持つていたのであるが、彼の地で実際に既設のもの及び建設中のものを視るに及び今さらながら施工に対する慎重な態度とでき上ったダムの立派なのに敬服すると同時に、日本におけるダム建設の実情を顧みて考えさせられることが少なくなかつた。また地形が平坦で道路が発達しかつ用地が潤沢であるために大型の機械を存分に駆使して能率をあげている実情を視て羨ましく思つた。各ダムの視察にはまずワシントンに在る Bureau of Reclamation 及び Corps of Engineers で諒解を求めかつそこから視察地へ通報しておいてもらつたから現地では充分に視察する便宜を与えられたが、現場にはもつぱら施工関係者だけがいて、設計はデンバーまたはワシントンの本庁から与えられたものであるので、現場では設計に関する疑問を充分に解決することができなかつた。以下視察した主なダムについて所見を略述する。

Kirwin ダム カンサス州 Phillipsburg の東南方約 25 km にありミヅリー河支流 Solomon 川をせき止めて灌漑及び洪水調節を行う目的で 1953 年 1 月开工、工期 1100 日である。アースダムの最大高約 35 m、堤頂長 3800 m、盛土量約 650 万 m³ である。基礎地盤は中生層のチョークと頁岩とから成り、右岸寄りの溢流ダム附近は黒色の頁岩より成るがそれより左岸の方は全部白色のチョークより成り比較的硬質であるが、約 10 度の傾斜層理に沿ひ節理が発達して剥離しやすいものである。頁岩は塊状で亀裂はほとんどないが比較的軟質であつて掘削後しばらく空気に曝露すれば収縮亀裂が生ずるから溢流ダム及びエプロンの基礎面には掘削後ただちにアスファルトを塗布することになつている。これ等の地層は洪積層の細粒砂層に被われていて最厚部約 25 m あるから、ここには大断面の止水部を設け、基盤が頁岩の所ではその上にすぐ盛土し、チョーク層の所ではグラウトキャップを設け 1 m 間隔に浅いグラウトを行つている。また地下水の排除はウェルポイント工法によつている。ダムの標準断面は 図-1 に示すとおりで、盛土の種類は (1) 粘土、シルト及び砂より成り 15 cm 厚に締め固める、

図-1 Kirwin Dam



* 株式会社間組 取締役、技術局次長

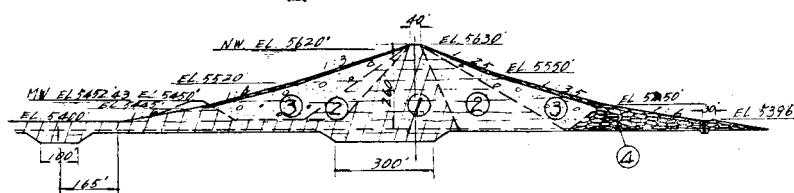
(2) 砂礫運搬車またはゴムタイヤローラーで締め固める、(3) チョークの粗石で約 1 m 厚に敷均す。ダム
の主体を 1 種類の土で造っているのは材料採取の難易
にも関係があるがアメリカのダムとしては珍しい例
であり、またその断面形状とともに我国において従来
造られているものによく似ている。盛土 (1) の材料
は現場の上下流 3.5~7 km の距離で採取され、その
成分は粘土 10~20%、シルト 20~30% であつて、
最適含水量 17.3~19.5%、最大乾燥重量 1 610~
1 650 kg/m³ であり、輾圧時の含水量は最適含水量の
98% を標準としシープスフトローラーを 12 回通過
させて 15 cm に仕上げている。検査は施行盛土 2 000
cy ごとに行われ、径 8"、深 10~12" のテストピッ
トを掘つて試料をとり、その重量とピットの容積とを
測つて盛土の単位重量を算出する。またこの試料を
6" 円壘に 2" 厚につめて (計算上盛土の密度と同一
のもの) 透水及び沈下試験を行う。透水試験は約 3 m
の水頭で行うとともに荷重を加えて沈下量を測つて
いる。透水速度は平均 0.6 cm/year という小さい結果が
出ている。溢流ダムは高 12 m、長 120 m、エプロン
は長 100 m で下流へ斜下し先端は水平となつている。
基礎は頁岩で滑动抵抗に不安を感じるため止水壁を設
けてその中に鉄筋を入れ堤体底部の鉄筋と組合せてアン
カーの役目を兼ねさせているほか、エプロンの各床
版にもその上流端に溝を設けて鉄筋を入れ、さらに床
版の下には縦横に排水溝を設けることになつている。

Palisades ダム アイダオ州アイダオホールズ市
の東南方約 70 km の所にあり、コロンビア河の支流
Snake 川の上流に開拓局で灌漑、洪水調節、発電(11.4
万 kW) の目的で建設中のアースダムで、工期 1952~
1956 年、視察当時の出来高は 19% であつた。ダム
は最大高 84 m、堤頂長 680 m、盛土量 1 030 万 m³、
溢流ダムは左岸に離れて設けられその排水路は径 8.5
m の隧道となつており、取水隧道と発電所も左岸に
設けられる。また右岸寄り下流斜面上に堅坑を設けて堤
体内に埋設した piezometer の観測所とする。ダムの
基礎岩盤は河床部及び右岸はともに第三紀層の頁岩と
砂岩より成りいずれも軟質である。左岸は安山岩の厚
い貫入岩床より成りこれが河に向つて斜立して露出し

ている。安山岩は暗緑色を帯びた節理のない、または
亀裂も少ない硬質塊状の岩盤をなしているから、排水
及び発電用取水隧道の掘削には好適であるが、アース
ダムの取り付けには特別の注意が払われねばならぬ。
すなわちダム取り付け箇所では表土と風化岩とを除去
した後基礎巾の中央部に鉄筋コンクリートの低い止水
壁を 2 列設けている。その高さは岩盤上 3 m、深さ
1.5 m、下巾 0.5 m であるが、その下の岩盤内へ深さ
9, 18, 54 m の 3 種のセメント注入を 1.5 m 間隔に
施している。ダムの標準断面は 図-2 に示すように
仕上面は緩傾斜であるが不透水性盛土 (1) の断面は
小さい。(1) は粘土 15~20%、粘土及びシルト 85~
90% より成るもので、LL 30~37%、PI 5~11%、比
重 2.68、最適含水量 16.2~16.5%、現場試験によれ
ば乾燥重量 1 700~1 840 kg/m³、透水速度 90~0.6 cm/
year、平均 23 cm/year である。(2) は上記の土 (1)
に最大寸法 5 cm の礫を 50% 混合したもので、その
ために礫の篩分場及び土と礫との混合場が特設されて
ある。(3) は砂礫と玉石の混合物に目潰し程度の土を
含むもの、(4) は隧道と掘削硝と大玉石である。盛土
(1)(2) の締め固めにはシープスフトローラー(20t)
を使い、コンクリート止水壁のまわりの土にはガ
ソリンランマーを使つている。その他一般に運搬車を
締め固めの補助に巧みに利用している。土取場は現場
の上流 1.5 km、下流 3 km の 2 箇所に分れているが
12~3 月の間は積雪があるため春先の土は含水量が
多いから、これを乾燥しやすくするため掘溝機で溝を
5~6 m 間隔に平行に掘つてあつた。発電用圧力隧道
は圧力水頭 73 m であつて、径 9.4 m の円形隧道内
に径 7.9 m の鉄管を鉄筋で二重巻きにして入れて
pumpcrete を詰めていた。このコンクリートにはセ
メントの重量の 43% の fly ash 及び 0.004% のアル
ミニウム粉末を混合している。排水隧道の下流は開
渠になつていて、その山側の切取面に設けるコンクリ
ート壁は岩盤へ 25 mm の鉄筋でアンカーされている。
その深さは 1.5 m で間隔 1.5 m の基礎目に設けられ
ている。

コロンビア河筋のダム コロンビア河の中流以下に
は Grand Coulee, Rock Island, Bonneville の既設 3
ダムがあり、その間に
おいて 3 ダムが Corps
of Engineers によつ
て建設中であつて、こ
れ等を下流から順次に
視察した。この区域に
はさらに数箇所ダム

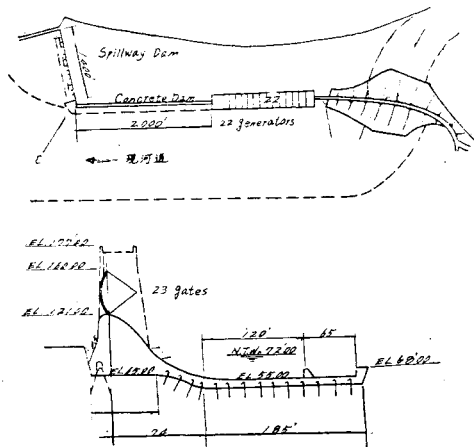
図-2 Palisades Dam



式発電所が計画されていて最終には階段状にダムが並んで河水を利用することになる。

Dalles ダム Bonneville ダムの上流約 80 km にあり、本流に土石ダムを設けその右翼は低い段丘上に設けられる発電所 (600 m)、固定堰 (600 m) に連結し、さらにその終端ではほぼ直角に折れて溢流ダムがある。土石ダムは最大高約 40 m であるが未着工であり、目下工事中の部分は発電所 (98 万 kW) から溢流ダムに至る区間で、その竣工は 1955 年、全部の竣工は 1960 年の予定である。溢流ダム (図-3) は最大高約 30 m、長 430 m、広い水叩部があつてコンクリート総量 23 万 m³ の予定である。基礎岩盤

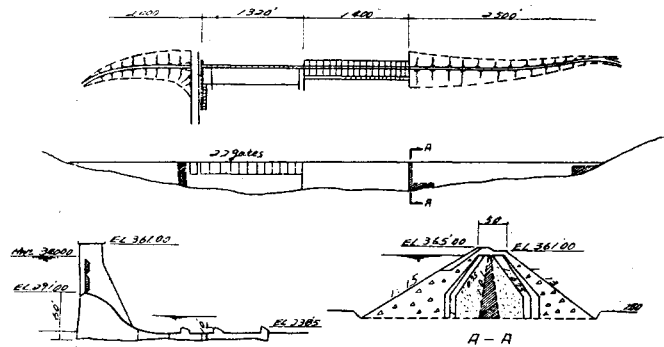
図-3 Dalles Dam



は玄武岩から成り比較的細かい亀裂とほぼ水平方向の流理とがあるが節理は認められない。この玄武岩は Bonneville から北方 Grand Coulee 附近まで約 600 km の広範囲に分布する世界一の広い玄武岩台地の一部に当たっている。ここで特に注意を引かれたのは広い水叩部の床版が基盤へ鉄筋を深さ 3 m 埋め込んでアンカーされていることである。

Mc Nary ダム Dalles ダムの上流約 160 km、オレゴン州 Umatilla にあつて、本流の中央にはコンクリート構造物としての発電所、溢流ダム、魚道、舟航行ロックがあり、その左右両端には 600 m 以上の長い土石ダムが取り付けられている。これは軍によつて 1948 年に着工され、ダム及び発電所の建物は完成され、目下発電機の掘付中であるが 1953 年末には 2 台が発電 (14 万 kW) を開始し、1956 年には 98 万 kW の発電が完成の予定であるという。溢流ダムは玄武岩

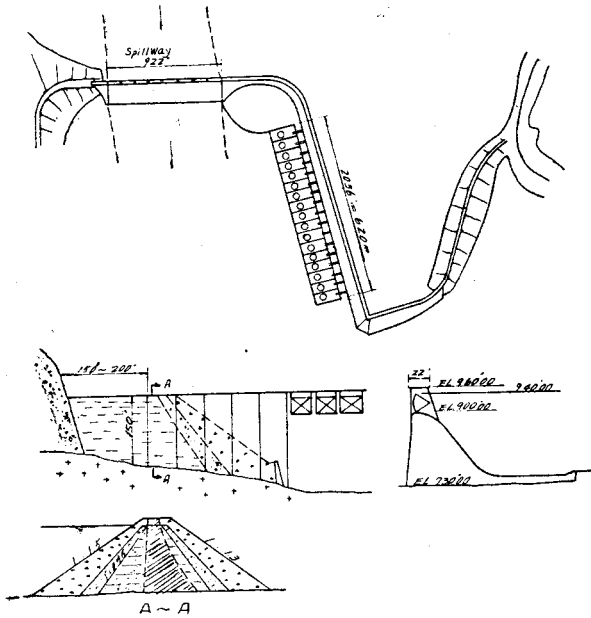
図-4 Mc Nary Dam



を基礎とし平均高 20 m でその上に 15×16 m のゲート 22 門あり、ガントリークレーンで操作するようになってい。土石ダムは最大高 30 m であるが、その断面構造は 図-4 に示すように不透水性盛土の断面が小さくまた全断面も小さく、さらにこれが発電所またはロックの直立した壁に取付けられているのに注意をひかれた。もちろんこの壁には key wall (止水壁) が設けられていて、発電所壁には長 3 m のもの 1 個、ロック壁には長 30 m のものが 2 列あり、その巾は天端で 1.2 m、側面はそれぞれ 1 分勾配である。key wall のまわりの盛土には良質の土を用い、ランマーで締め固めたというが、このような設計と施工とは、この地方のように年降雨量が 100~150 mm の所でこそ実行できるが、日本のように多雨で含水量の多い土しか入手できない所では不用意にこの真似をしてはならぬと感じた。

Chief Joseph ダム Grand Coulee ダムの下流約 100 km の所にあり軍により 1949 年着工、1955 年竣工の予定であつて視察当時の出来高は溢流ダム 80%、発電所 40% であつた。溢流ダム (図-5) は本流に設けられ発電所 (長 620 m) は左岸に沿つて建設されるが、ここは河成段丘であつて、その上部の土石約 2 億 m³ を掘削除去して発電用水を導入し、その下流を低い重力ダムとアースダムとを継いだもので堰き止めている。発電機の掘付け予定は数年に跨がり、1955 年には 3 台 (1 台 6.4 万 kW)、1958 年末には 13 台、その後さらに 11 台掘付け合計 27 台、172.8 万 kW とする計画であるという。溢流ダムは最大高 70 m、堤頂長 280 m の重力ダムであるがその左翼の非溢流ダムは発電所の方へ連つている。基礎岩盤は新鮮硬質の花崗閃緑岩より成つているが、その岩盤面はダム取付部でも天端から約 50 m 下にあつてその上には氷河による漂礫土の厚層 (約 80 m) が堆積している。従つてダムの右翼を岩盤へ全部取付けることは不可能

図-5 Chief Joseph Dam



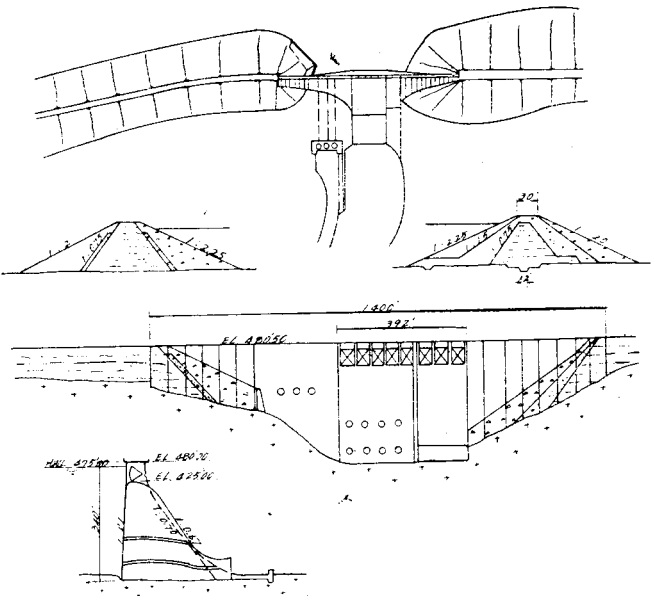
であるから高約 50 m のブロックの所を重力ダムの終端とし、それより先きに在る地山の漂礫土を約 50 m 掘削除去して両者の間に盛土して土石ダムとする計画になっている。そして重力ダムは盛土によって前後が取り囲まれることになるが key wall は設けない。アースダムの断面形状は Mc Nary ダムのものと全く同様であつて、盛土材料は漂礫土を篩つて使用することになっているが、視察当時には未だ不透水性盛土は施行されていなかった。溢流ダム及び発電所の両端を結ぶダムを加えてコンクリートの容積は約 69 万 m^3 であつて、右岸の山上に混合場 (Johnson butcher, Koehring 4 cy mixer 3 台)、骨材冷却設備、片側可動 30 t ケーブルクレーン (長 720 m) 2 基を備え、骨材は最大寸法 15 cm で約 7 km 下流の河成段丘から採取しトラックで輸送している。溢流ダムの下部には各ブロックに排水孔があるが、これを閉塞するときにはプレパクトコンクリートを使うということであつた。

Grand Coulee ダム 開拓局で 1933 ~ 1942 年に築造された世界一の大ダム (体積 735 万 m^3) であつて最大高 167 m、堤頂長 1 265 m であるが、Minnesota International Hydraulic Convention で J. Peterka 氏がその溢流面の下

部 (溢流頂から約 100 m) に cavitation によりコンクリートが損傷を受けているという報告を聞いたのでその実況がわかると予期して行つたが、残念ながら全面に少量の溢流水があつて視ることができなかつた。また現地駐在員はそのことを否定しているが、溢流面の下部が 3~4 cm 損傷していることは認めていた。また水叩部はバケットになつていてこの型式のものとしては最初の大規模なものとして注目されたのであるが、堤体の工事中に洪水が数回溢流してこれを相当に破損させたということで、後日これを修理するためにニューマチックケーソンを作つた。水叩のバケットは発電所の放水下にあり、その底は平水面下約 20 m ある。このケーソンの製作に当つてはデンバーの実験室で模型実験を行つたということであり、平時は右岸に設けたドックの中に格納してある。

Folsom ダム 加州 Sacramento 河の左支 American 河において建設中のものでサクラメント市の東北方約 42 km にあり、河道に重力ダム (図-6) を設けその左右両翼にはアースダムを取付けるほか、9 箇所にアースダムあるいは堤防を築造しており、また重力ダムの右岸には発電所 (16.2 万 kW) を建設中である。この工事はダムを軍、発電所を開拓局で分担施工中で両者の事務所が併置されているという変つた現場であ

図-6 Folsom Dam



る。重力ダムは最大高 103 m, 天端長 425 m, コンクリート体積約 73 万 m^3 であるが, 中央部に溢流部 (120 m) がありテンターゲート (12.8×15.2 m) 8 門を据えることになっているが, 溢流面は 2 種に別れている。すなわち右岸寄り 5 門の部分ではその下方の堤体内に洪水調節用排水孔 (1.5×2.8 m) を 4 孔ずつ 2 段に設けその下は普通の水叩きになっているが, 左岸寄り 3 水門の部分には排水孔がなく溢流水をいわゆる ski jump させる設計であつて両方の溢流面の間には隔壁が設けられることになっている。ダムの基礎岩盤は黒雲母花崗岩より成り, 河床部及びその附近はおおむね新鮮な硬質岩盤をなし, 右岸の取水隧道 (直径約 6 m) 3 坑はほとんど素掘りて施行され, ただ岩塊の肌落ちを防ぐために木材のセトルを施してある程度である。しかし全般的には亀裂が数 m の間隔で左岸から右岸に向い 40~50° 傾斜して、そのあるものからは湧水がある。また断層が左岸取付部で掘削の結果発見されたので, その上の厚約 10 m の岩を全部 (約 1.5 万 m^3) 掘削除去したということであるが, その上にすでに堤体の一部が施工されていたので断層の状態は見られなかつた。視察当時には左岸寄り河道部 3 ブロックが未施工でその中の 1 ブロックの打設準備中であつたから基礎岩盤の清掃その他仕上げ方法等を実際に見ることができたが, 日本において入念に実行されているところと同様であるように見受けたが, しかし岩盤上に据える型枠の作り方が相違していた。このダムの設計の特徴は重力ダムの高さを両岸にある花崗岩よりも高くしていること, 花崗岩の上部がはなはだしく風化しているためコンクリートダムをこれに直接取付けることを避けて堅硬な岩盤上に築造するとともに, その先きはアースダムに変えていることである。この工法は Chief Joseph ダムの場合によく似ているがアースダムの断面が大きい点に相違がある。しかしその不透水性盛土は主として風化花崗岩を使用している最適含水量 10%, 最大重量 2 170~2 320 kg/m^3 , 最大密度 94% という話であつた。コンクリートは左岸の山上に混合所 (ジョンソンバッチャー, 4 cy ケーリングミキサ 4 台) と骨材冷却設備があり 8 cy バケツをジブクレーンで打設するため鉄骨トレスルを組立中であつて, 視察時はバケツをトラックで運搬してデリックで打込んでいた。骨材は下流約 4 km の河床から採取しトラックで現場の右岸下流部へ輸送し, 次にベルトコンベヤー (延長約 1.5 km) で対岸の混合所へ送っている。左岸寄りブロックはトレスルを組立するため約 20 m の高さまで打ち上げられていてその隣りのブロックの施工までには相当の期日があるのでそのブロックの曝露面を保護するためアルミニウム板を貼っていた。この現場はときどき水害をうけている。すなわち 1952 年には発電所の縦締切が破壊され, また 1953 年 10 月 18 日 (私の視察は 10 月 6, 7 日) に 50 mm の降雨があつたのでダムの締切が溢流して基礎が浸水し, また排水隧道の出口附近の放水

路掘下げ用の仮締切が破壊されたということである。

Pine Flat ダム 加州フレソノの東方約 48 km の地点で Kings 河に軍によつて洪水調節と灌漑水補給との目的で建設されたもので視察時には外部は完成していた。ここで使用したケーブルクレーンのほか, 混合, 骨材冷却, 篩分設備等は日本に輸送されて天龍川佐久間ダムの建設に再び使用されることになっている。ダムは重力型で最大高 134 m, 天端長 553 m, 溢流巾 90 m, 堤体積 170 万 m^3 であり, 溢流面の下端は ski jump になつていてその先端の高さは基礎岩盤面から約 26 m である。基礎岩盤は古生層の片麻岩, 珪岩及びホルンヘルスから成り右岸から斜上流に向い約 30° 傾斜している。亀裂が層理に平行して発達しているが粘土を挟んでいる所はほとんどないからダムの上流部に当る所へ 1.5 m 間隔に深さ 50 m の curtain grouting を行つた。その施行は上部から 3 回に分けて順次に下の方へ穿孔と注入とをする方法の stage grouting を行つている。この方法は工期と工費とが嵩むが最良の方法であるからこれによつたということである。なおこの作業はグラウト坑から行つたが長 1.5 m の鉄管を 1 本だけ施工箇所のコンクリート内に埋め込みそれ以下の穿孔は坑内から小型の圧力空気動モーター穿孔機で行われた。この穿孔機と同様のものは他の現場でも使用して日本で使用しているような大型の重量の大きいものは工事現場では見受けなかつた。

Friant ダム 加州フレソノの北方約 35 km にあり San Joaquin 河に開拓局で 1939~1944 年に建設されたもので洪水調節と灌漑水補給とを目的としている。このダムは重力型で最大高 97 m, 天端長 1050 m 体積 162 万 m^3 である。このダムは周知であるからその詳細の記述は省くが, ここで左岸に相当大きな断層があつて詰め替えに要したコンクリートが 7 150 m^3 であつたこと, 特殊なコンクリートを使用してパイプ冷却を行つたことに興味を感じて見に行つた。基礎岩盤は雲母片岩と花崗岩とから成り一般に粗い間隔に亀裂がある。コンクリートに使つたセメントは低熱 17%, 低熱低アルカリ 59%, 中庸熱 24% を混合したものに凝灰岩粉末 20~25% を混加し, 水セメント比 0.72, スランプ 5 cm を標準としたということである。当時は AE 剤がまだ使われていないがダムの表面の型枠にはハイドロンを用いたから気孔のない平滑な面に仕上つている。しかし下流面にはほとんど全面にわたつて約 1.5 m 間隔に水平亀裂が断続的にあつて垂直亀裂もところどころにあり, あるものには石灰の滲出した跡が残っているが, 視察時 (池水位は約 30 m 低下していた) には漏水は認めなかつた。この亀裂の発生原因がパイプ冷却の不徹底, コンクリートの性質, 日照気温の激変等と種々に想像されるが大部分の亀裂は表面に近い箇所に限られているように見受けられた。なお溢流部に設けられたドラムゲートは全部取りはずされて, 溢流頂の窪所には鉄板が張つてあつた。