

「欧米に於ける堰堤及水力工事視察報告書」を読む

岡田 一天¹

¹正会員 株式会社景観計画工房（〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 1-8-10）

E-mail: kokada@pn-planet.co.jp

わが国初の水力発電用のコンクリート造高堰堤は、宇治川電気株式会社が京都府の宇治川筋に計画設計した大峯堰堤（H=31.2m大正13（1924）年）である。その後、大井堰堤（H=53.4m大正13年）、小牧堰堤（H=79.2m昭和9年）と水力発電用のコンクリート高堰堤が次々と建設される。

当時はコンクリート高堰堤に対する知見、技術はまだ未熟であり、いきおい、先進国である欧米の堰堤、水力発電所の視察により多くのことを学ぶことになった。

筆者は過日、たまたま古書店で「欧米に於ける堰堤及水力工事視察報告書」のタイトルの書籍を入手した。この視察報告書は、宇治川電気の土木部長であった永井専三の欧米視察の報告書であり、当時の欧米の水力発電工事の状況が丁寧に記述されているとともに、多数の写真、図面類が添付されており貴重な歴史資料である。本稿は、この資料を読み解き、視察調査がわが国初期の発電用コンクリート高堰堤である大峯堰堤の建設に対して与えた影響について考察を行ったものである。

Key Words: 永井専三, 石井頼一郎, 大峯堰堤, 天端越流型, Cheoa Dam

1. 「欧米に於ける堰堤及水力工事視察報告書」 (1) 視察報告書について

「欧米に於ける堰堤及水力工事視察報告書（以下、視察報告書）」は、永井専三が著わした調査報告書である。巻頭には、『小職 曩ニ命ヲ受ケ 本社囑託京都帝国大学助教授高橋逸夫氏ヲ伴ヒ大正九年四月ヨリ満八ヶ月間ニ亘リ欧米諸國ニ於ケル堰堤工事並ニ水力発電工事ヲ視察セルガ茲ニソノ見聞ノ大要ヲ記録シ附属圖及寫眞ヲ添ヘ高覽ニ供ス 大正十一年十月 土木技師長 永井専三 宇治川電気株式會社 社長 木村 清 殿』とある。これからも分かるように、視察報告書は、宇治川電気株式会社（以下、宇治電）の土木技師長であった永井専三が、会社の命を受けて欧米の堰堤工事、水力発電工事を視察した結果を会社に報告したものである。視察期間は大正9（1920）年4月から8ヶ月間。視察報告書を見ると4月24日大阪出発、27日門司出帆～（ホンコン・シンガポール経由）～マルセイユ着6月19日、以降ヨーロッパ各地を巡り、9月16日ロンドン発～9月25日ニューヨーク着。アメリカ国内を巡り12月3日サンフランシスコ発～12月20日横浜着、12月23日大阪帰着。視察先はヨーロッパ（スペイン、フランス、イタリア、スイス、ドイツ、スウェーデン、ノルウェー）、アメリカ、主要視察堰堤約30カ所におよぶ広範囲・長期間の視察調査であった。

(2) 永井専三（1877～1966）について

永井専三は明治10（1877）年、大阪に生まれる。地元の大阪市立北野中学校を卒業、東京大学に入学し土木工学科卒業（明治33年）後、京都大学大学院に進学、明治37（1904）年に卒業している。大学院卒業後、住友鉱業別子銅山に入社、明治40（1907）年には請われて宇治電に入社する。そして後述する宇治電の第一期工事、第二期工事に中心的に携わり、土木技師長、取締役を経て、昭和23（1948）年、関連会社の宇治電ビル社長に就任する。

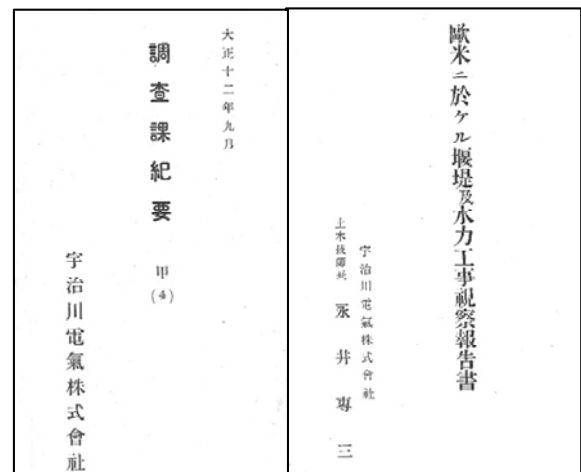


図-1 視察報告書表紙（左）及び中扉（右）¹⁾

(3) 宇治電と宇治川の水電事業について

宇治電は、明治 39 (1906) 年 11 月に設立された宇治川の水電事業等を手掛けた会社である。宇治川の水電関連事業の経緯は複雑である。概略ではあるがその概要に触れておく³⁾。その始まりは、明治 27 (1894) 年、京都の高木文平らによって京都府に申請された発電計画である。時を同じくして、京都の濱岡光哲ら、大坂の外山脩造ら、滋賀の小泉新助らによって同様の申請がなされる。これらの発起人間の調整が行われ、宇治水電株式会社が設立される(京阪派)。

これで纏まるかと思われたが、明治 29 (1894) 年 4 月、東京の岩谷松平他 3 名が宇治川電力株式会社を設立し、宇治川沿岸水路開削願を申請する(東京派)。そしてさらに、明治 31 (1898) 年 1 月、滋賀の河村彦三郎、浅見又蔵らの発起による琵琶湖運河株式会社から発電事業の出願がなされる(滋賀派)。

大事業であるため、京都府知事から上申を受けていた内務省は、三派合同の調整を行う。紆余曲折もあったが、最終的に、明治 35 (1902) 年 2 月、三派合同の発起人 22 名が、宇治川水路開削事業を京都府・滋賀県両知事に宛てて提出し、明治 39 (1906) 年 4 月 4 日に認可される(第一期工事)。因みに、宇治電株式会社の設立は前述のとおり明治 39 年 11 月である。

第一期工事の内容は発電と舟運を目的とするものであったが、実際は舟運をとりやめ発電のみを目的とする工事となった。たびたびの計画変更はあったが、瀬田川洗堰上流右岸南郷地先に取り入口を設け、総延長 6081 間(11058m)、内隧道部 4875.5 間(8865m)の大水路で下流の地下調整池(宇治町仏徳山中腹)に導き、内径 8 尺(2.4m)の水圧鉄管 6 本により発電所内に送水し発電を行う計画であった。明治 41 (1908) 年 12 月より本格工事に着手し、大正 2 (1913) 年 7 月に竣工、8 月より送電が始まった。

第一期工事の完了間近の大正元(1912)年 8 月、宇治電は京都府・滋賀県知事に第二期工事の事業申請を提出する。第二期工事についても反対運動などがあり(主に高堰堤に対する安全性の観点)紆余曲折があったが、大正 8 (1919) 年 1 月に事業認可がおり、翌大正 9 (1920) 年 9 月に起工され大正 13 (1924) 年 3 月に竣工した。これがわが国初の発電用高堰堤(大峯堰堤)と志津川発電所である。

(4) 視察調査の目的について

視察調査の行程からみると、視察調査が行われたのは第一期工事の終盤、第二期工事の認可(1919.1)後、工事起工(1920.9)の直前である。ここから判断すると、視察調査の目的は第二期工事のためと考えるのが妥当であろう。それを裏付けるように、『(第二期工事の)着工は徐々に延び、大正 8 (1919) 年頃から開始される。しかし永井がアメリカにダムを見に行くことになり、「留守中には締切

りでもやっておけ』と言って出掛けてしまう』(鹿島の軌跡第 51 回宇治川電気大峯ダム、2019 年 12 月 27 日公開)と著わした資料がある。

大峯堰堤はわが国初の発電用高堰堤であり、曲線越流型ダムとして竣工している。しかし、大峯堰堤は当初から天端越流方式で設計されていたのか。筆者は、そうではなかったと推察している。これについては、第 2 章で考察を加えたい。当時は、ダム上部を越流する越流方式は危険であると思われており、越流部をダム本体の横に設置する形式が普通であった。第二期工事に対して、下流域域から決壊の危惧などに対して反対運動が起こっていたこともあり、堤体上部を越流させる越流型ダムに関する先進事例とその技術的知見を得ることは、まさに社命であったのではないだろうか。

また、視察報告書の中には『水力電気工事トシテ見ルベキモノ多々アルノ他、水車及ビ発電機械製作工場トシテ著名ナルモノアレドモ、視察ノ目的ガ堰堤ニテ在リシト時日ノ許サザルトニ因リ、単ニ・・・ヲ見ルニ止メタリ』(第五章瑞西)『多数ノ発電所ヲ車中ヨリ瞥見シ・・・、然レドモ視察ノ目的ガ主トシテ堰堤工事ニ在リシト巡遊ノ時日僅少ナリシ為メ・・・』(第四章伊太利)といった、視察の主目的が堰堤工事にあることを伺わせる記述がみられる。

決定的と思われるのは、視察報告書第十章 アメリカアルミニウム会社関係水力工事、の記述である。そこには『而シテソノ計画ガ本社第二期工事ニ甚ダ類似セルヲ以テ特ニ左記工事ヲ視察セリ』とある。左記工事として記されているのは、

Yadkin Falls Power Work .
Yadkin Narrows Power Work.
Cheoa Power Work.

の 3 つの工事である。これらについては第 3 章において詳述する。

2. 大峯堰堤について

大峯堰堤は、宇治川水電の第二期工事として、大正 13 (1924) 年、曲線越流型ダムとして竣工した。天端には 9 門のテンターゲート(幅 3.5m・高 6.5m)、左岸部にストーニー式のバーチカルゲート 2 門を有している。これらが当初計画から想定されていたものか否かについて考察を行う。



図-2 大峯堰堤竣工時の写真³⁾

第二期工事については、宇治電は水路式発電ではなく堰堤式発電とすることを当初から決めていたと思われる。それに関する記述が以下である。『当社は、第二期工事の計画を樹て、これが準備に着手した。第一期工事の際は技術上の不安等のために、ダム式を採用することを避けたが、第二期工事に着手の際には、曩に買収した淀川電力の水利権を利用してダム式を採用することとし、その方針を以て主任技師永井専三氏等その設計に当つたのである』²⁾。これを見る限り、第二期工事においては当初からダム式として計画されており、その原点は、淀川電力の計画にあるようである。

第二期工事は、宇治橋の上流約 5.5 kmの地点に大堰堤を築き、その上流（右岸）に取入口を設け、そこから山腹を一直線に貫く隧道を掘って調整池に導き、水圧鉄管で発電所に水を送り込む計画であったとされる。具体の絵姿については「宇治川電気株式会社第二期工事水路圖」の図面がある。大正時代の作成とされているが詳細な年代は不明のようである。宇治川電気株式会社の名があるので、淀川電力の当初の計画ではなく、宇治電が淀川電力の水利権を買収し計画を引き継いだ後の、宇治電による初期の計画と考えられる。

では、原点と考えられる淀川電力の計画とはどのようなものであったのか。図面等は確認できていないが以下の記述がある。『志津川の水利権は・・・淀川電力が明治40年に獲得したものであった。それは、当初宇治発電所の放流した水を取得して水路式で発電する計画であったが、42年に設計を変更してダム式を併用し、有効落差を大きくしようとした。

この変更は宇治発電所の放水を困難にするものであったため、宇治川電気は異議を申し立て・・・43年に宇治川電気が譲渡を受けて決着したのである』²⁾

ここから推察すると、淀川電力の最初の計画は、宇治発電所の放流した水を利用する水路式の発電計画であった。発電所の位置は分からないが、水路式ということは宇治発電所よりもかなり下流であったと推察できる。その計画が明治42年に、ダム式を併用した発電計画に変更される。その計画では、ダムの貯水池内に宇治発電所の放水口が水没することになる計画であった。ということは、淀川電力の計画したダムの位置は宇治川発電所の放水口位置よりも下流の地点であったと推察される。この淀川電力の計画変更には、当時、関西地方の電力事業をめぐる、新興勢力である宇治電とライバル関係にあった大阪電灯による妨害工作との言説もある。とにかく、宇治電にとっては、宇治川発電所が運用できなくなるという社運のかかった大問題であり、異議を申し立て、最終的には宇治電が淀川電力の水利権を買収するかたちで、この変更計画を阻止し、淀川電力のダム式発電の計画は実現されることはなかった。

原点となった淀川電力によるダム式発電計画であるが、ダムの計画地点の確定はできないが、宇治川発電所よりも下流であることは間違いなく、図-2に示された堰堤位置とは異なるものである。図-2の堰堤計画はやはり、水利権買収後の宇治電による初期の計画であると考えられる。

再び図面に戻りその内容をみてみたい。図面では堰堤の平面線形は湾曲型であるが、天端には特段の施設は描かれていない。堰堤左岸には、天端から上

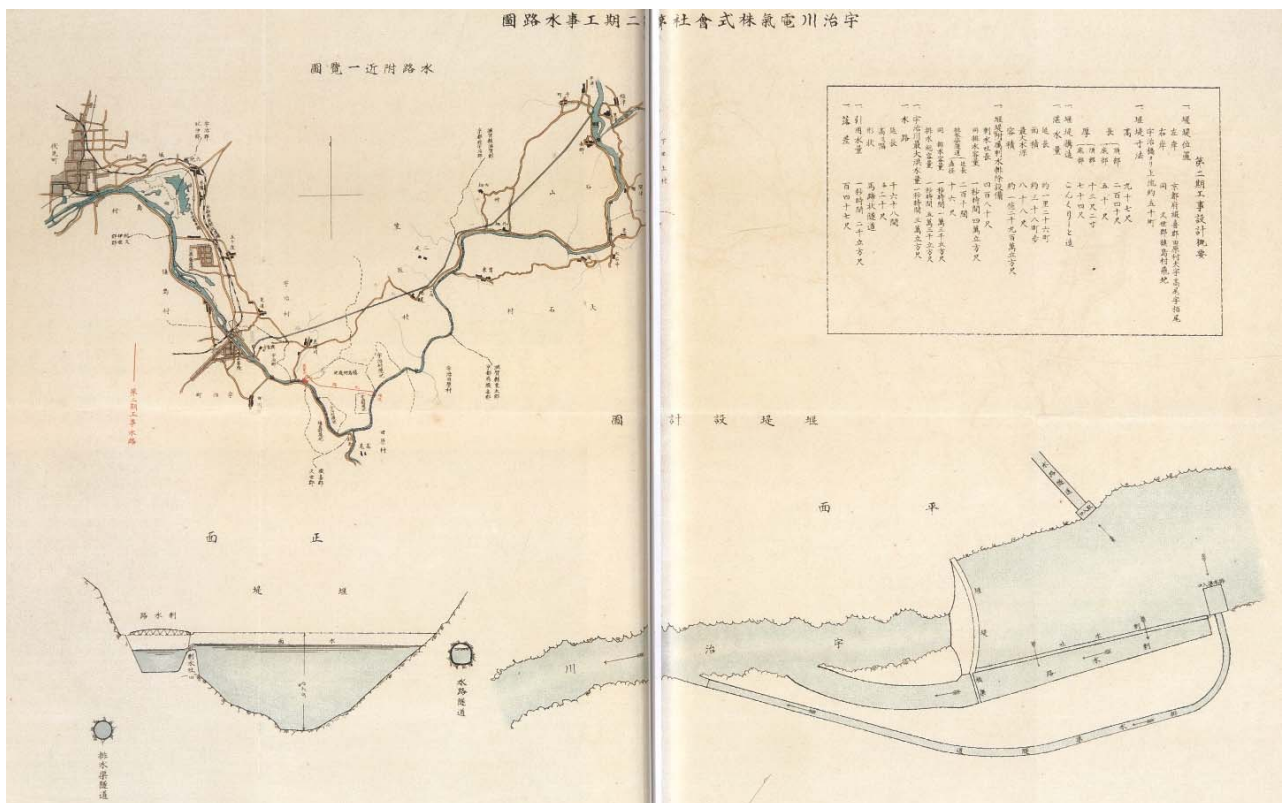


図-3 宇治川電気株式会社第二期工事水路図（図中に第二期工事設計概要が記載されている）³⁾

流に向けて制水吐と堰堤下流に至る制水路が設けられている。また、制水吐の上流には排水導入口があり、ここから堰堤下流に向けて排水梁隧道が設けられている。

図中に書き込まれている第二期工事設計概要では、堰堤寸法は、高さ97尺、堰堤構造はこんくりーと造と記されている。そして堰堤附属制水排除設備として、制水吐長 480 尺、同排水容量一秒時間四萬立方尺、排水梁隧道延長 210 間、直径 16 尺、同排水容量一秒時間一萬三千立方尺、排水総容量一秒時間五萬三千立方尺と記されている。

同じく図中に記されている、宇治川最大洪水水量一秒時間三萬立方尺と比して考えると、排水総容量五萬三千立方尺はかなり過大な値である。制水路の排水容量四萬立方尺だけでも、最大洪水水量に対しては十分な量であるのに対し、さらに排水梁隧道（一萬三千立方尺）を計画していることになる。

この数値から考えると、堰堤天端にさらなる排水設備（越流設備）を計画する必要性は考えらず、堰堤天端に越流設備はなかったものと考えられる。

宇治電は水利権買収後、数回の設計変更を行っている。その大きな理由の一つが、洪水時における堰堤の安全性を危惧する地域の反対運動に対する対応であるとされている。洪水に対しては、流量的には制水路だけでも十分な計画ではあったが、反対運動に対応するかたちでさらに余裕を持たせ排水梁隧道を計画したのではないかと推察されるがそのあたりの詳細を示す資料はない。制水路+排水隧道と天端の越流設備との費用的な比較も気にはなるところであるが、これに関する資料も今のところ見つけられていない。ダムエンジニアとしての永井の挑戦魂であったのかもしれない。

いずれにしても、宇治電の初期の計画においては、竣工した大峯堰堤にある天端の越流設備（テントーゲート 9 門、排水ゲート 2 門）は無かったと判断してよいと考える。

では、どの段階で、どのような理由から天端の越流設備が設けられることになったのか。それに大きく関わっているのが、永井専三の欧米への堰堤視察であると考えられる。

一 堰堤位置 右岸 宇治橋より上流約五十町 左岸 京都府磯香郡田原村大字高尾字柏尾 宇治橋より上流約五十町	一 堰堤寸法 高 九十七尺 長 頂部 二百四十尺 底部 五十二尺 厚 頂部 十三尺二寸 底部 七十四尺 一 堰堤構造 こんくりーと造	一 堰堤附属制水排除設備 制水吐長 四百八十八尺 同排水容量 一秒時間四萬立方尺 排水梁隧道 延長 二百一十間 同排水容量 一秒時間一萬三千立方尺 排水総容量 一秒時間五萬三千立方尺	一 宇治川最大洪水水量 一秒時間三萬立方尺	一 制水吐長 四百八十八尺	一 排水梁隧道 延長 二百一十間	一 排水容量 一秒時間一萬三千立方尺	一 排水総容量 一秒時間五萬三千立方尺	一 引用水量 百四十七尺	一 落差 馬蹄狀隧道 二立方尺
--	---	--	-----------------------	---------------	------------------	--------------------	---------------------	--------------	-----------------

図-4 第二期工事設計概要³⁾

3. 視察報告書第十章について

視察報告書第十章は、先に記したようにアメリカアルミニウム会社関係水力工事の視察報告である。以下、視察報告書の記述に基づき、永井が何に注目したのかを考察してみる。

(1) Yadkin Narrows 及 Yadkin Falls 発電工事

当該堰堤に関する記述をみると「佛人ノ設計ハ・・・高 200 尺（約 60m）長 1350 尺ヲ有する不溢流混凝土堰堤・・・、剩水吐ハ比較的小ナルモノニシテ計画ナリシガ、Tallassee Power Co. ニテハ堰堤ヲ溢流式ニ改メ」とある。不溢流混凝土堰堤を溢流式に変更したことに関心を寄せているようである。また「堤体ハ巨石入混凝土ニシテ當今溢流型堰堤中最大ナルモノノ一ナリ、頂長 1250 尺ニシテ右岸ノ 450 尺左岸ノ 168 尺ヲ除キテ他ハ溢流スルコトトシ、堰堤ノ平面ヲ半径 1678 尺ノ曲線トスル。鋼板製水圧鉄管ノ入口ニハ流木除塵除格子、stonegate 等ヲ設ク。堤頂ニハ幅 25 尺高 10 尺ノ Taintor gate 23 戸ヲ並べ、又左岸に於テ堤頂ニ略々直角ニ剩水堰ヲ造リ、ソノ上ニ径間 33 尺高 26 尺ノ stone gate 10 門ヲ設ク Taintor gate 及ビ stone gate ヲ通ジテ流下する流量は 245,000 秒立方尺（内剩水吐 180,000 秒立方尺、堰堤溢流 65,000 秒立方尺）ニシテ記録ニヨル最大洪水水量ニ比シ尚 90,000 秒立方尺ノ余裕ヲ在ス」とある。ここでは、溢流型堰堤の具体的な構造にふれ、その形状さらには総排水量と最大洪水量との関係にも着目している。湾曲する平面形状、堰堤上流側に延びた余水堰は先に示した大峯堰堤の初期と思われる図面と酷似している。

また、堰堤頂部に設けられた越流設備（Taintor gate）はまさに大峯堰堤に設けられた形式である。もちろんこれについても大きな関心を寄せ、詳細な構造図面を掲載している。また、堰堤構造についても、当時最新と思われる浸透水に対する排水対策、グラウチングについて詳細に記述している。これについては第 4 章であらためて詳細に考察を加える。

第三十六葉 Yadkin Narrows 発電工事平面圖

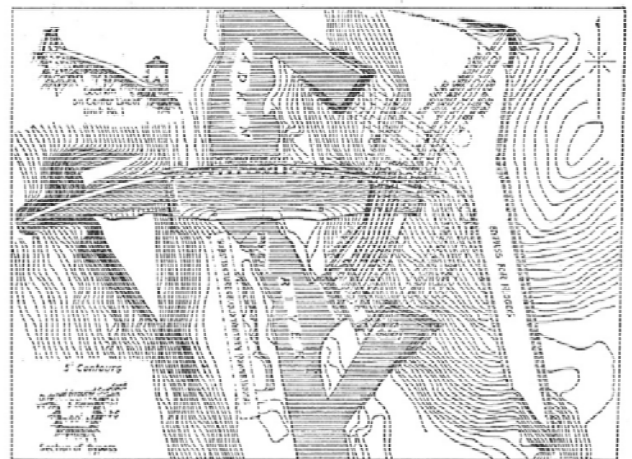


図-5 Yadkin Narrows 発電工事平面図¹⁾

最大洪水量と総排水量との関係に着目していることにも注目したい。数値的にみると、余水吐と堰堤越流量では余水吐からの排水量が大きい。数値的にみると、2.77 : 1 である。最大洪水流量と総排水量との関係では、1 : 1.58 である。大峰堰堤の最大洪水流量と総排水量の関係は、1 : 1.77 となっている。この数値をどのように解釈するかは難しいところである。そもそも両河川の最大洪水量には大きな差がある。宇治川の最大洪水流量が 30,000 秒立方尺に対して、YADKIN RIVER が 155,000 秒立方尺、およそ 5 倍の差がある。余裕量については大峰堰堤の場合の余裕量が 23,000 秒立方尺に対して YADKIN RIVER の場合は 90,000 秒立方尺である。比率でみると、大峰堰堤の場合は最大洪水流量に対して 0.77 の余裕を見ているのに対して YADKIN RIVER の場合は 0.58 の余裕をみていることになる。最大洪水流量（河川の規模）には大きな差があるが、1.65 程度（1.58~1.77）の安全率で総排水量を設定しているといえる。

溢流設備の開閉構造については「Taintor gate 22 戸ノ開閉ヲ取扱フニ橋梁上ヲ往復スベキ一臺ノ可動巻揚機ヲ以テシ、コハ各門扉ニ一ツツノ巻揚機ヲ附属セシムルニ比シ経済ナリト謂ヒ巻揚機ハ軌道ヲ敷設シ電力ヲ以テ往復ス。（架空線式ナリ）」と着目している。ゲートの開閉に、門扉ごとに巻揚機を設置するのではなく、橋梁上を往復する可動巻揚機を装備するのが経済的であると報告をおこなっている。

大峰堰堤のゲート巻上げ機構については不明な

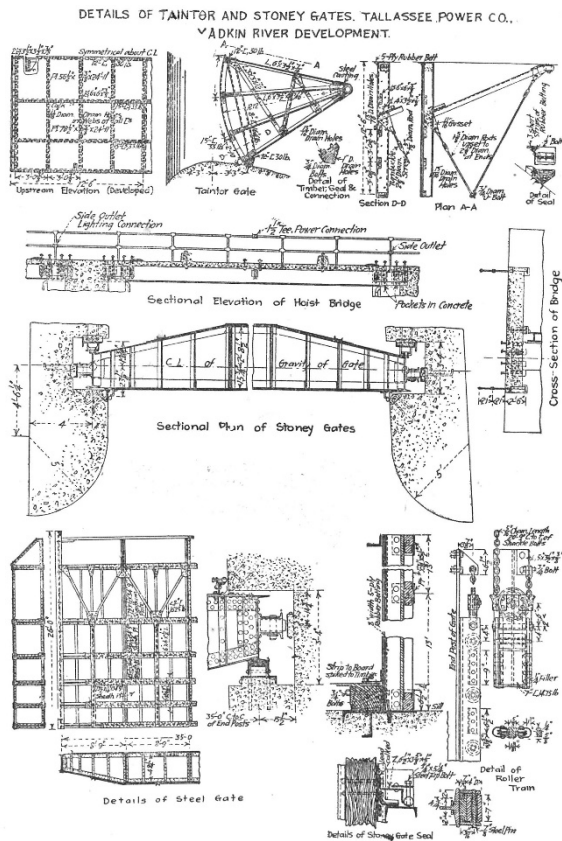


図-6 Yadkin Narrows Dam テンターゲート構造図¹⁾

点も多い。堰堤地点が天ヶ瀬ダム貯水池内にあり、堰堤本体も取り壊されてしまっている。しかし、近年ダムマニアなどが大峰堰堤の遺構に着目し探検と称した調査を行っている。これらを散見すると、天ヶ瀬ダムの貯水池湖岸に残っている大峰堰堤左右岸部に、天端に敷設されていたと思われる軌道の遺構らしきものに着目している。説明はこれからの課題であるが、大峰堰堤の工事写真にも天端に敷設された軌道らしきものが写っており、大峰堰堤の全体像の解明には興味を持たれる。



図-7 大峰堰堤の遺構写真

調査時は水位が高く遺構らしきものの一部しか確認できなかった(右上は湧水時の写真)

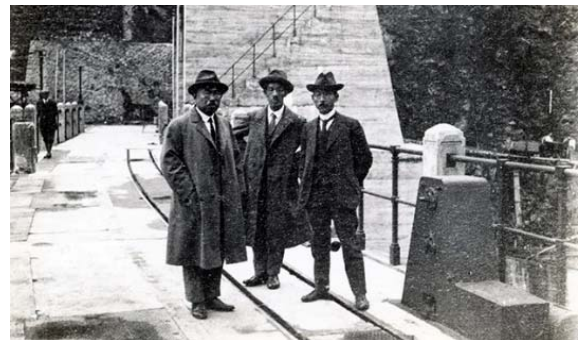


図-8 大峰堰堤工事写真⁵⁾

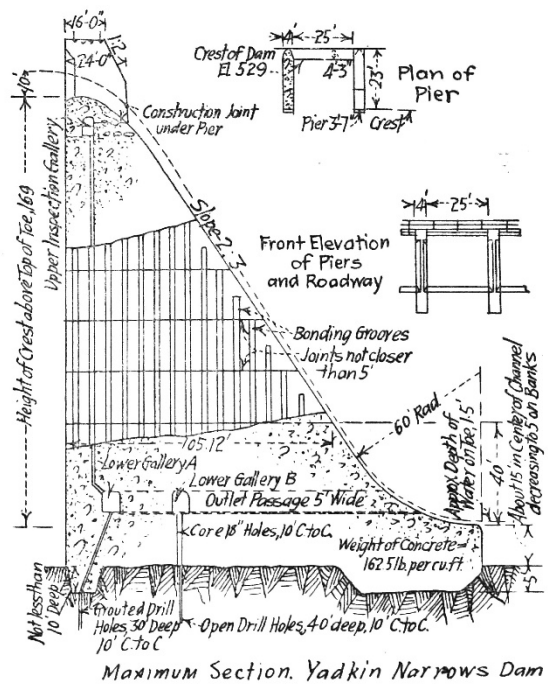


図-9 Yadkin Narrows Dam 断面図¹⁾

(2) Cheoa Power Work.

当該堰堤に関する記述をみると「堰堤ヲ築キ水位ヲ嵩メ水圧隧道ニヨリ発電所ニ送水スル。堰堤ハソノ最大断面ニ於テ高193尺遮溝ノ深10尺溢型ニシテ下流面ノ勾配三分ノ二bucket部ノ半径ハ最大断面ニ於テ50尺ニシテ左右ニ向ヒ漸次減ジテ両端ニテ35尺トナル、下流面ハ堤頂ヨリ下方ニ至リ漸次狭マリ底幅170尺トナリ溢水ノ水流ヲ中央ニ集ムベキ形状トス」とあり、先ずは堰堤の全体形状、特に平面の湾曲形状が堤頂からの溢流を中央に集める効果があること指摘している。

さらに、「堤平面ハ円弧状ヲ為シ上流面ノ半径400尺トス堤頂ニハ幅25尺高15尺ノTaintor gate 20門ヲ配列シTaintor gateノ構造ハ第42及ビ43葉ニ示スガ如シ貯水池ノ水位基準線以上1154尺ニシテ嵩水ノ及ブ延長約8哩ナリ」と、溢流設備であるTaintor gateの詳細な構造に着目し、視察調査報告書の掲載図面の中でも最も大きい折込の図面を2枚掲載している。

堰堤の構造及び施工についても強い関心を寄せ、

基本的に前述のYadkin Narrou の場合と殆ど等しいとしながらも、多くの記述がなされている。以下、本文の記述とその着目点を整理する。

「堰堤上流面下ニ深サ10尺ヲ有スル遮溝ヲ作り、ソノ底ニ10尺ノ間隔ニ最大断面ニ於テ深40尺ニシテ堤高ノ減ズルト共ニ漸次浅キ穿孔ヲ穿チ堤体混凝土ガ高サ50尺以上ニ進ミタル時底設検査廊ヨリ2吋鉄管ヲ通ジテ乳疹灰ヲ圧入シ其下流ニ同ジク深サ40尺ノ穿孔ヲナシ下流ノ底設検査廊ニ管ヲ以テ連絡シdrainage foundationトス」。これは、堤体上流面からの浸水を逃がすための工夫、いわゆるカーテングラウチングあるいはコンソリデーショングラウチングのことである。

「堰堤ハ大約50尺毎ノ断面ニ分チ収縮接合ヲ作り尚接合ヲ通シテ水ノ滲透スルヲ防グ為メ鉛板ヲ縦ニ挿入ス」。これは縦目地部における漏水防止のための工夫である。

堤体構造については「堤体ハ巨石入り混凝土造トシソノ混凝土ノ配合ハ1、2、5又6、平均1、2半、5半ニシテ碎石ノ大サハ四分ノ一吋乃至二吋

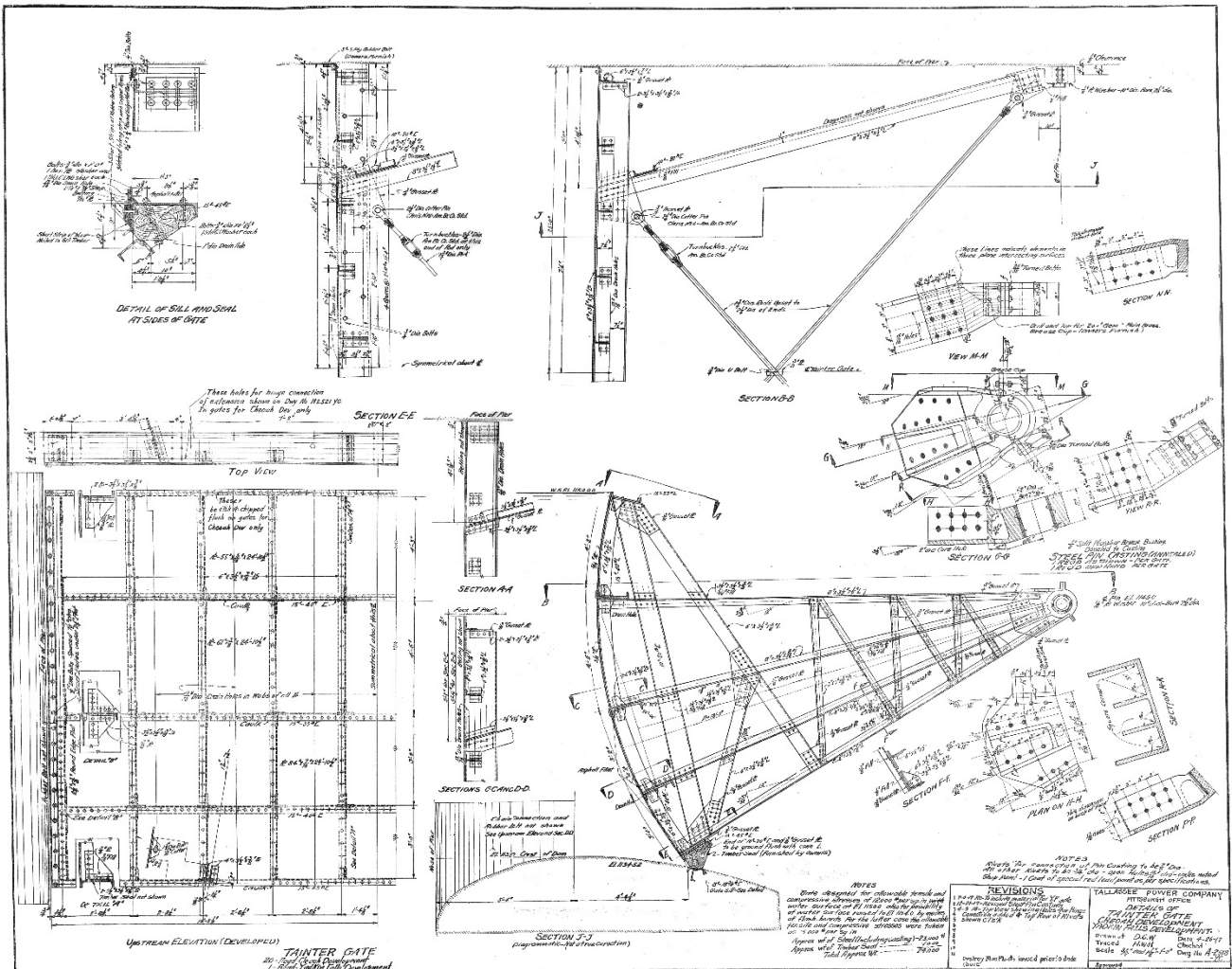


図-10 Cheoa Dam Taintor gateの詳細図面¹⁾

トス、溢流ノ為メ堤趾ノ洗堀セラルルヲ予防スル為メ特ニ鉄筋ヲ挿入シ且コノ部分ニ於ケル混凝土ノ配合ヲ1, 2, 4トセリ」。コンクリートの配合、特に下流エプロン部の洗堀防止のための配慮に着目している。

また、Cheoa堰堤については多く（6枚）の写真も視察調査報告書に掲載されている。堰堤の形状の理解の助けとして下流正面景およびゲート部の写真を示す。ちなみに、Yadkin Narrows Dam は残念ながら写真は1枚も掲載されていない。

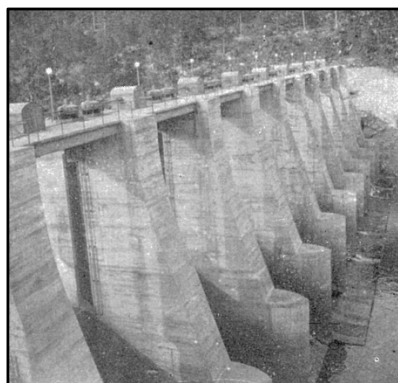


図-11 Cheoaダムゲート部橋脚¹⁾

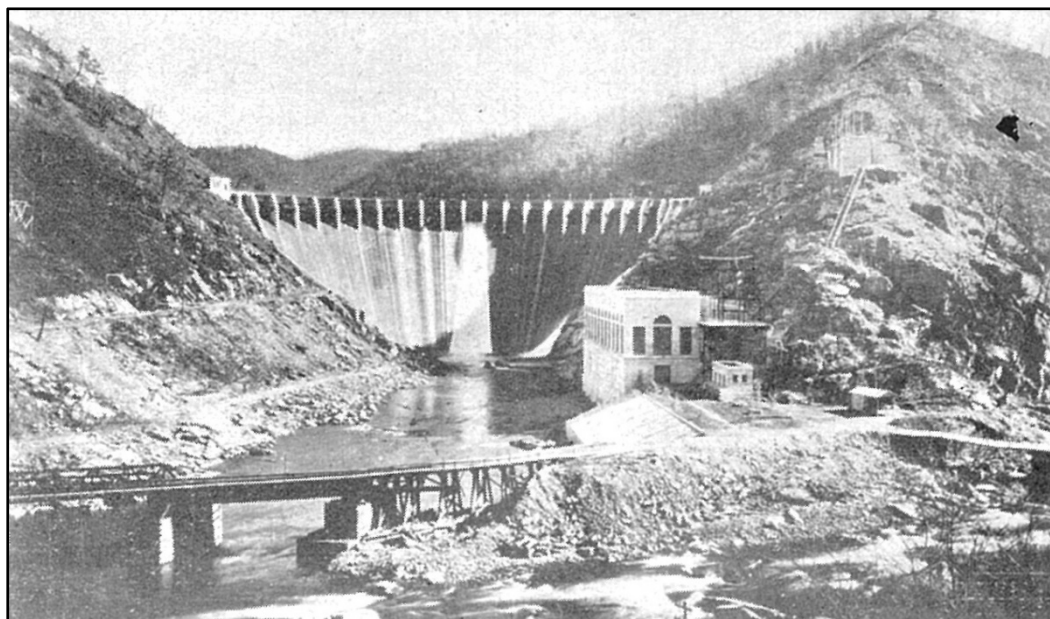


図-12 Cheoaダム下流面全景¹⁾

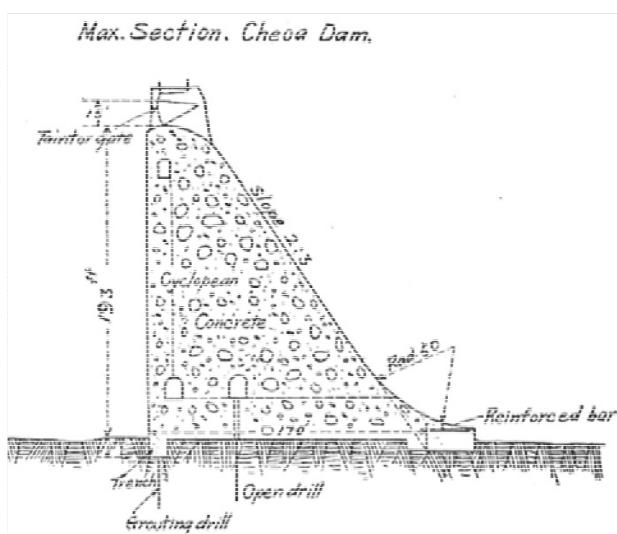
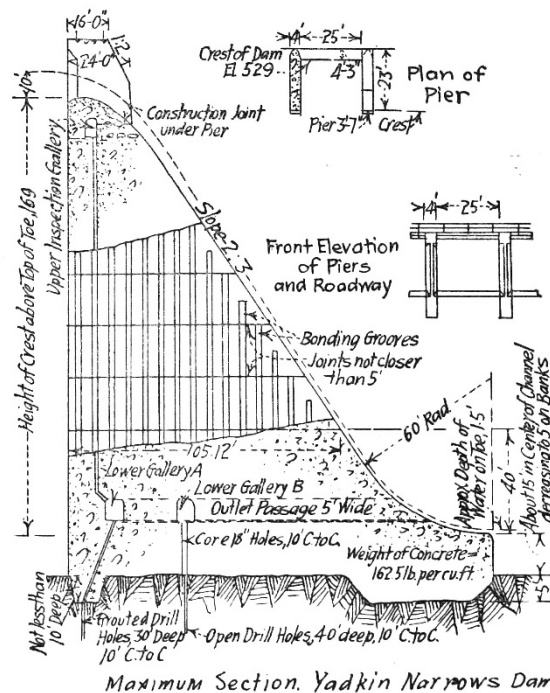


図-13 CheoaダムとYadkinダム断面図の比較¹⁾



Cheoa ダムの断面図(左)ではダム内部の構造についてはそれほど詳細に描かれていない。ほとんど同じと記している先のYadkin Narrowsの断面図(右再掲)が参考になる。

4. 大峯堰堤への影響

【天端越流型】

視察調査の影響を考察する上でのポイントの一つは天端越流型ということである。わが国初の越流型ということ、越流方式＝ゲート設備については間違いなく視察調査で学んだことが参考にされたはずである。実際、大峯堰堤で用いられたテンターゲート（ラジアルゲート）は、Choea 堰堤、Yadkin 堰堤で使用されているゲート形式と同一のものである。影響については先に示した視察報告書の記述からも十分に推察できる。さらにそれを裏付ける言説が「チェオア・ダムの図面を永井さんが持って帰って、その図面を基として宇治川のダムのテンターゲートを設計し治した」⁶ という石井穎一郎の講演会での話である。ここでは明確に、永井が視察調査で Choea 堰堤から持って帰ったゲートの図面を基に大峯堰堤のテンターゲートが設計されたことを述べている。「設計し治した」という言葉が少し気になるがこれについては後程触れたい。石井はさらに続け「所がそれ丈では琵琶湖の洪水が吐ききれないので、昔のサイド・スピルウェイの末端を残して、左岸にストーンリー式の大きなバーチカルゲートを二つはめたんです」と述べている。

当時はダムの天端を越流させるという考えは危険と思われており、洪水処理についてはサイド・スピルウェイで処理するのが一般的であった。

これらから、大峯堰堤の洪水処理の姿を想像して見ると、最初は、天端越流方式ではなく、サイド・スピルウェイ方式（図-2 の制水吐と制水路）であったが、永井が視察調査を通して最新の天端越流式の洪水処理方式を学び、持ち帰った Choea 堰堤のテンターゲートの図面を参考に設計し治したが、それだけでは洪水が吐ききれないので、当初計画にあったサイド・スピルウェイを活用して、竣工写真に見るようなテンターゲート 9 門、バーチカルゲート 2 門とした、と考えられる。

次に、堰堤構造についてみてみたい。まずは湾曲型の平面線形についてである。

【平面湾曲型】

平面湾曲型重力式ダムという形式は、明治以降の近代化の中で技術導入された新しいダム形式である。わが国では立ヶ畑堰堤（1905）、大湊水源地堰堤（1909）、本庄堰堤（1916）などが既に建造されており、大峯堰堤がわが国初ではない。しかし、立ヶ畑堰堤などはいずれも石積み粗石コンクリート堰堤（メンソンリーダム）であり、湾曲した平面線形は、今でいうアーチアクションを考慮したものというよりは、石積みの抜け落ちを防ぐということに主眼があったといわれている。しかし、大峯堰堤はわが国初のコンクリートダムであり、立ヶ畑ダムなどとは少し事情が異なる。

単に石積みの抜け落ちを防ぐための石積み堰堤の湾曲型を真似たとは考えにくく、天端越流型あるいはコンクリートダムと関わる構造的な理由があったと考えるのが普通であろう。

石井はこのことについても、講演会の中で次のように述べている。「クリーガーがアップリフトということを書いておまして、全水頭に等しいアップリフトが全部働いてもダムが浮かされない。どこにクラックが起こっても安全だということで、当時アメリカにおいても絶対安全だというグラビティ・セクションにして、しかもどこかにクラックが起こってもお互いに引っかかって破壊しないようにカーブド・セクションにする。そういうのが絶対安全のセクションだということで、カーブド・グラビティにしたわけでした」。

これによると、平面線形については、コンクリートダムの課題の一つであるクラックに対して、どこかにクラックが起こってもお互いに引っかかって破壊しないという機能的な理由から湾曲型にしたということである。また、具体の堰堤名は出てきていないが、当時アメリカにおいて行われていたグラビティ・セクション、カーブド・グラビティは、永井が視察してきた Choea 堰堤、Yadkin 堰堤も参考にしたものと考えられる。そのことは、視察報告書の永井の記述からも推察できる。

【揚圧力対策】

そして石井は、このクラックが生じる原因の一つであるアップリフト（揚圧力）に着目していた。

揚圧力については、有名なフランスの Bouzey ダムの決壊事故（1895）の教訓から重力式ダムの構造設計に採り入れられるようにはなっていたが、当時はまだ十分に解明されておらず、揚圧力に関する総括的な報告書「Uplift in Masonry Dams」が米国土木学会により取りまとめられたのは1951年になってからである。

石井の講演会記録ではこのことに関しても興味深い記述がみられる。

「吾々が学校を出る時分に中島先生（中島鋭治のこと）に教わったダムの方法は、ウェグマン・メソッドで、ダムの上流から水が圧している力だけに対してグラビティで持たせる。下からダムを持ち上げる浮力というものは、学校では教わらなかった。」

「宇治川の時に初めてクリーガーのダムの本を読んで、それ一冊を頼りにしてアップリフトの計算をしてダムの設計をしたわけです。」

これによると、大峯堰堤において初めてアップリフト（揚圧力）を考慮した設計を行ったということ、そしてそれはクリーガーのダムの本を参考に、独学に近いかたちで設計したということである。

ここで石井の述べているクリーガーというのは、W.P. クリーガーのことである。クリーガーは、J.D. ジャスチン、J. ハインズとの共著で“Engineering for Dams”という論文を著わしている（1945年）。この論文は、1955（昭和30）年に「コンクリートダム」（村幸雄訳）で出版され、コンクリートダムの設計・施工の教科書とも称されている。もちろん揚圧力に関する内容も含まれている。W.P. クリーガーの大峯堰堤以前の論文として“Engineering for masonry Dams”（Wiley, Chapman&Hall 1917）があるが、石井の

いうクリーガーのダムの本というのがこれであるかどうかはまだ未調査である。

永井の視察調査の影響はどうだったのか。永井の視察調査については先に記したとおりであり、Yadkin 堰堤および Cheoa 堰堤にみたような基礎処理が行われたと推察することもできるが、大峯堰堤の基礎処理の具体的内容がわからないため、確実なこととは言えない。

実は最近、石井穎一郎氏のご遺族の家に伺う機会を得、石井が生前所有していた資料の中に「日本大堰堤臺帳」を見つけた。臺帳には今までなかなか見つからなかった大峯堰堤（臺帳では宇治川堰堤となっている）の図面や諸元などが記載されている。

形式:曲線越流型コンクリート重力式ダム
堤高:31.21m 堤頂長:91.3m
排水施設
排水用テンターゲート(ラジアルゲート)9門(w3m×h6m)
排水用バーチカルゲート 2門(不明)
排砂設備
排水用シリンダーゲート
竣工:大正13(1924)年3月

図-11 大峯堰堤基本諸元⁸⁾

そこには、補足的参考事項として、揚圧力ヲ防グ方法、上流面防水設備及上流堤踵止水法の項目があり、それぞれ次のように記されている。

「堤踵部止水壁ノ底盤ニ「グラウチング」ヲ施シ滲透水ハ排水井ニ集メ監査坑ニ導キ排水管ニヨリ堰堤ノ下流ニ排除ス」「上流面ニハ「ガナイト(原文まま、Gunite:コンクリート又はモルタル吹付け工のこと)」エヲ施シ堤踵部ニ止水壁ヲ設ケ止水セシム」

クリーガーのダムの本が同定できていない以上、推論の域をでないが、日本大堰堤臺帳に記された揚圧力を防ぐ方法は、永井が Cheoa 堰堤、Yadkin 堰堤の視察報告書の中で drainage foundation と記している、上流面からの浸水を逃がすための基礎処理の方法ときわめて類似したものであるといえる。

下図の大峯堰堤の断面図をみると、Cheoa 堰堤、Yadkin 堰堤に比べて、Drainage (排水管) の位置が下流側に寄っていることや排水井および排水井から監査坑に導く施設など不明な点も残るが今後の課題としたい。

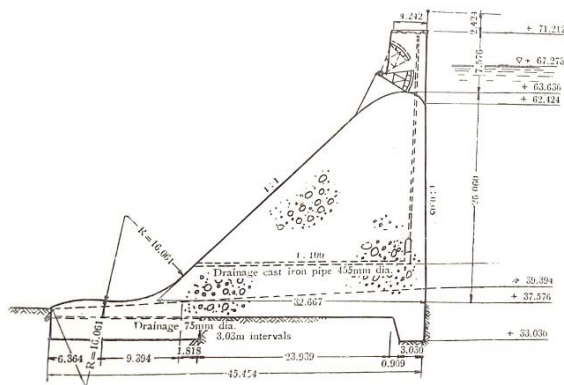


図-12 大峯堰堤断面図⁸⁾

底盤部に「Drainage 75mm dia 303m intervals」の記述有り

まとめ

本稿の論考のまとめを以下に記す。

視察報告書並びにその他の関連資料を総合的に照合することで、大峯堰堤の設計における視察調査の影響を明らかにすることができた。

そして、視察調査の影響は特に、天端越流型のダム型式、平面湾曲型のダム線形、揚圧力を防ぐための堤体及び基礎対策において顕著にみられることを示すことができた。

また、これらの視察調査の影響は特に、アメリカの Cheoa 堰堤、Yadkin 堰堤から学んだところが大きいことを示すことができた。

石井が影響を受けたという W.P. クリーガーのダムの本の特定はできなかったが、大峯堰堤の設計の経緯、考え方を、今まで見つからなかった新しい資料も含めて、海外視察調査との関係から一定程度明らかにすることができたと考える。

最後になってしまったが、ダムエンジニアとしての石井穎一郎について簡単に触れておきたい。

石井は東京帝国大学土木工学科を卒業(1911年)後、横浜市水道局、高松市水道工務部長を経て、1918年より大阪にあった逓信省西部通信局の水力課長として勤務。ダムをやらないかという誘いを受け、本物のダムをやりたいとの熱い思いから1920年に宇治電に入社。宇治電の第二期工事で永井の下で主任技師として大峯堰堤の建造に携わる。第二期工事完了後日本電力に移籍。日本電力の土木部長、技師長として、小牧ダム(1930竣工)や建築家山口文象を巻き込んでの小屋平ダム(1936竣工)、仙人谷ダム(1940竣工)などの多くのダムの建造に関わったわが国を代表する黎明期のダムエンジニアである。1972年1月、浦賀の生家で永眠。享年86歳。ご冥福をお祈りいたします。

参考文献

- 1) 欧米に於ける堰堤及水力工事視察報告書、調査課紀要 甲(4):宇治川電気株式会社, 1923.
- 2) 宇治電之回顧:林安繁,宇治電ビルディング, 1942.
- 3) 宇治電—水力の時代へ—:宇治電発電所竣工100年記念特別展,宇治市歴史資料館, 2013.
- 4) 関西地方電気事業百年誌:関西地方電気事業史編纂委員会(関西電力株式会社内), 1987
- 5) 鹿島建設百三十年史:鹿島建設社史編纂委員会,鹿島建設株式会社, 1971.
- 6) 日本最初のコンクリート高堰堤工事の思出:工学博士石井穎一郎氏講演,鹿島建設株式会社, 1957
- 7) コンクリートダム:W.P. Creager [ほか]著,村幸雄訳,丸善, 1955
- 8) 日本大堰堤臺帳:世界動力会議大堰堤国際委員会日本国内委員会編集, 1936
- 9) 鹿島の軌跡第51回宇治川電気大峯ダム:鹿島建設株式会社HP, 2019年12月公開
- 10) 土木遺産と基礎工(河川・ダム):岡田一天,雑誌基礎工, 2024