

UDC 627.8(73)

アメリカのダム行脚

正員 佐藤 志郎*
准員 近藤 邦二**

1. 緒言

私共の今度の渡米は、建設途上にある小河内ダムの設計、施工上の諸問題を解決することを目的として、米国の諸ダムについて視察したので、視察中といえども、私共の頭には常に小河内ダムのことが根底にあり、雄大な総合開発、河川改修工事、その他興味ある問題も幾多あつたが、僅か3ヶ月の短い期日で、ダムの設計と施工面の視察に限られ、非常に狭い範囲についてみてきたので、多くの読者諸彦に期待されるような報告のできないことは残念であるが、二、三興味をひかれたことがらについて報告したいと思う。

2. 視察手続

1952年4月20日、羽田空港をパンアメリカン機で出発し、ハワイ経由で、サンフランシスコに入り、ただちにワシントンに飛んだ。これはダム視察に関して米政府中央諸官庁に連絡し許可を得ることと旅行日程を決めるためであつた。今後同じような目的で渡米される方の御参考までに、このことについて少し述べる。出発前に予め日本国外務省を通じて正式に米政府宛にダム視察の許可を申請しておいたが、向うに着いてまづ連絡を取つたのは米國務省(Training Activities Branch, Educational Exchange Service, International Information Administrative, Department of State)で、これを通じて内務省開拓庁(Bureau of Reclamation, Department of the Interior)、陸軍工兵隊(Chief of Engineers, Corps of Engineers)、T.V.A 事務所の3つにダム視察許可を申請した。

開拓庁には外国人の視察研究に関して一定の規則(Prospectus U.S. Bureau of Reclamation, Training in Reclamation, Irrigation, Hydro-Electric Power, Flood Control, and Drainage)があり、この適用を受けるが、これには Accredited Visitor, Official Observer, Trainee と3種類あり、規則上

それぞれ日数に応じて一定金額を支払い、許可をうけるのである。私達の場合は Official Observer で視察日数33日で1日12ドルの案内料で、もちろんこれにはホテル代、食事費などは含まれない。そのほか資料費として50ドルで、計1人当たり446ドルを支払つた。これは必ず支払わねばならぬと云うわけではなく、1ヶ所のダム2日以内の視察の場合は、許可を得て無料で済ませることもできる。しかしこれを支払つておくと、案内人が一人つき切りで現場を案内してくれ、話をしたい技術者には忙しい人でも適当な機会をつくつてくれ、大変親切にしてくれる上に、資料の請求権を持つので望ましい文献も堂々と要求することができ、便利である。

陸軍工兵隊の方は、申込みが政府機関を通じたものであるか、ないかが問題であり、私達はもちろん正式の手続を踏んだので問題もなかつたが、そうでないと思ふように視察することも技術者と話をすることもなかなかできないようである。この方は開拓庁のように視察料は取らず無料であつたが、資料の入手ははなはだ困難であつた。T.V.A. は國務省を通じて申し込み、誰でも問題なく、視察料も取らず、視ることができる。

その外私達はニューヨーク市、シャトル市、サンフランシスコ市のダムを視た。この方は予め公式の手続はしなかつたが、非常に親切に案内してくれた。

3. 旅程

私達の視察したダムは、旅行順序に従つて表-1に羅列したのでここで挙げることは省略するが、視察したダムの数に比して滞在期間が短かく、アメリカ大陸を文字通りの東奔西走で飛び歩いたが、工兵隊の Pine Flat Dam、開拓庁の Canyon Ferry Dam と Hungry Horse Dam には比較的長く滞在して調査してきた。

この外水道を2ヶ所とダム施工設備関係の機械調査のために、C.S. Johnson Co., Noble Co., Koehring Co., Columbia Steel Co., 等の会社を訪ねてきた。

4. ダムの設計

アメリカのダムの設計書を見て、第一に感ずること

* 東京都小河内貯水池建設事務所長

** 同 事務所

はダム断面が非常に小さいことである。T.V.A. の Hiwassee Dam は堤高 307 ft で下流面は上部 $m=0.615$ 下部 $m=0.79$ で、上流面勾配は $n=0$ で下部岩盤近くで $n=0.2$ 、工兵隊の 440 ft の Pine Flat Dam は $m=0.78$ で $n=0$ 、同じく工兵隊の Detroit Dam は $m=0.75$ で $n=0$ (下部で $n=0.1$)、開拓庁の 602 ft の Shasta Dam, 550 ft の Grand Coulee Dam はいづれも $m=0.80$, $n=0$ で下部で少し法がついている。また Friant Dam は 320 ft で $m=0.70$ $n=0$ (下部 $n=0.30$) と云つた具合で高堰堤になると、 n すなわち上流面勾配が 0 で岩盤近くに法がついているのが数多く見られる。また下流面勾配も割合に小さな値をとつている。それで工兵隊の Pine Flat Dam の設計を調べてみたところ、断面設計は次の5つの場合について行つていた。(1)空水時、Tail water なしで、風圧が下流より 30 psi かかる場合。(2)満水時、水位は天端より 18.5 ft 下にある時(溢流余水柱の門扉が閉鎖している時)で Tail water のない場合。(3)満水時、水位は天端より 0.7 ft 下にある時(余水吐門扉が開いている時)で Tail water が最大の場合。(4)(2)の場合に 0.1 g の地震力が上流からかかった場合。(5)空水時、Tail water、風圧いづれもなく、地震力 0.1 g が下流からかかる場合の5通りである。

そしてダムの非溢流部についてこの結果を示すと、(4)の場合、上流面の主応力は 25 psi の引張応力となり、(5)の場合にも 57 psi の引張主応力が下流面にでている。最大圧縮応力は 589 psi で(4)の場合に生じている。滑動係数は(4)の場合が最大で 0.842 となり、剪断摩擦係数は計算していなかった。

また一方開拓庁の方は 1952 年 12 月に決められた“Design Criteria for Concrete Gravity and Arch Dams”によるとまづ第一に目につくのは、揚圧力、堆砂圧、地震荷重について、不確実なるが故に安全を見越して数値を大きくとるべきでないといつている。これは設計の最終において、ある安定率以上にしない必要性を云つていのである。次に荷重の組合せ方は、(1) Standard load combination と、(2) Extreme load combination (重力ダムの場合のみ)の概念にわけ、それから(1)の方は更に細分して (A) Normal water surface elevation と氷圧、堆砂圧(必要な場合)及び Normal uplift, (B) Normal water surface elevation, 地震、堆砂(必要ならば)及び Normal uplift, (C) Max. flood water surface elevation, 堆砂(必要ならば)及び Normal uplift, の3つの組合せを考えている。また(2)の方は(D)と

して Maximum flood water elevation, 堆砂(必要ならば)及び Extreme uplift (排水孔が働かないと考えて)を組合せている。そして荷重の組合せ方は同時に起り得る可能性のあるものについて行つており、最大地震力と最大洪水水圧とを組合せたり、最大氷圧と最大設計洪水水圧または最大地震力とを組合せたりしないと云つている。

そしてダム設計は圧縮応力や滑動係数によつて支配されていないで、主として剪断摩擦係数について論じているようで、(A)(B)(C)の厳格な標準荷重条件に対して剪断摩擦係数を4以下にしないようにしている(重力ダムの場合)。しかし extreme load combination の(D)の場合は充分安定とみなされればよいとしている。

設計法については開拓庁は試し荷重法(Trial load method)を用いてダムを設計する傾向が多く、Hungry Horse Dam は Arch gravity dam であるから、云うまでもなく試し荷重法でやつているが、直線重力式の Canyon Ferry Dam は高さは 212 ft で、天端長は 1000 ft の比較的河巾の広いダムであるが、試し荷重法で計算して、普通の重力式解法によるより、ダムの断面をへらしえたといつている。しかし、その結果、アバット部の上流側に相当の引張り主応力が生じ、それが斜めの亀裂を生ぜしめる可能性があるといふので、横断継手のグラウチングを貯水位がほとんど満水近くなつてから実施するといふ方法で試し荷重計算を再び行い、亀裂のおそれのない程度の引張応力に下げて、施工もその方針で進めていた。

ちょうど小河内ダムも直線重力式であるが Twisting analysis を試し荷重法で3種類実施して、その結果をもつていたので、他の問題と共に Denver にて昨秋来朝された Savage 博士をおたづねしたところ、開拓庁の現役のコンクリート部門の最高技師である Hammond 氏と、Trial load Method 部門の最高技師である Kirn 氏を招かれて、開拓庁内の博士の顧問室で一日小河内問題を討議する機会をつくれ、その結果大変有益な指導を受けることができた。

一方工兵隊の方は未だ一度も試し荷重法は使用しておらず、重力式解法により pre-cooling の実施により完全なる2次元ダムばかり建設している点開拓庁とその趣きを異にしてきた。Chief Joseph Dam は右岸が岩盤がないので、取り付け部を土堰堤にしており、Look-out Point Dam は余水吐となる溢流部のみをコンクリートダムとして他は、Earth and Rock Fill にするなど、2次元設計の利点を地形に応じて上手に利用していた。

5. 熱処理の問題

根本的には設計による相異もあることであるが、開拓庁のパイプクーリング及び継手グラウチング方式と工兵隊のブレッカーリングによる層状打設工法（縦断継手を設けずに上流側から下流側まで一度にコンクリートを打設してゆく方法）は現在特色ある対立を示していた。

工兵隊のダムは Pine Flat Dam, Chief Joseph Dam, Detroit Dam, Lookout Point Dam と4つを視てきたが、皆ほとんど同一思想よりなり、粗骨材、細骨材の冷却、混合水の冷却並びに氷片または雪状氷の使用、セメントの冷却等の設備をもっていた。骨材の冷却方法は Detroit Dam の冷却水による冷却方法以外は皆空気冷却方式を採用し、セメントは多くⅡ型（中庸熱）セメントを使用していたが、それも1 yd³ 当り 2.0~2.5 袋と云つた超貧配合を使用し、打設後の水和熱による温度上昇を極度に制限し、最終安定温度以上の上昇を 25°F 以下に抑えていた。これは所定の目的を完全に達して、その結果、現在打設の習慣となつている 5 ft リフトを 7.5 ft にして、水平継手の処理費を節約すると云う案が擡頭し始めていた。しかし、このブレッカーリングの計画の根本資料が月平均の気温を対照しているものであるから、日変化、時間変化の気温が入らず、そのため冬期の極度の寒冷時はコンクリートブロックの表面と内部の温度差が激しくなり、Pine Flat Dam, Detroit Dam では相当数多くの縦断方向の亀裂が入つたと云つていた。それも酷寒により1夜にして数本入つたとのことであつた。これは施工上の種々の理由にもよるが、夏期及び初秋の比較的温かいコンクリートは冬期の寒冷気温に接すると亀裂を生じやすいことを示していた。その第一の対策として工兵隊では現在ブロック打上り差を 25 ft にしているが、近く 15 ft にしてほとんど一様に全ブロックを打ち上げるように改めるつもりだと、ワシントン技術本部のコンクリート部門の最高技師である Gilbert 氏が云つていた。

一方開拓庁ではクーリングパイプの配置を 3 ft 程度の密な配管にして、コンクリート打設直後より通水を開始する、いわゆる initial cooling を 14 日間くらい実施していた。セメントは、Canyon Ferry Dam, Hungry Horse Dam 共、中庸熱セメントを使用し、1 yd³ 当り 2~2.5 袋でそれに Fly Ash を 30% 近く混ぜた貧配合でやつており、温度調節の点では工兵隊に勝るとも劣らない優秀さを示していた。Hungry Horse Dam は冬期5ヶ月（12~4月）はコンクリート打設が不可能な条件下にあるが、他の季節は大変好

都合で昨年（1951年）の日平均気温の最高は 68°F と云う低温で夏でも雪の降ることがあると云う風であるが、ここで採用した 185 ft の長大ブロックに、外気温の急冷によるクラックが生じたと云つており、この長大ブロックに対し、現場からも、設計方面からも批判の声が挙がつていた。Canyon Ferry Dam でも同様のクラックが生じていた。ここに面白いことは施工方法は異なつてはいるが、現在開拓庁も工兵隊も、冬期コンクリートブロックの極度の冷却による亀裂に対して同一の悩みをもっていることであつた。

6. 施工設備

機械の発達している米国のことであるから、この点ダムの施工設備についても我が国と比較にならないほど広汎に機械力が利用されているが、ことに batcher plant で異種のコンクリート配合を計量するに当り、操作台でハンドル一つひねることにより瞬間に、予めセットされた計量に変わり得ることで、これは Noble Co. の batching plant でも C.S. Johnson Co. のものでも同じで、種類は 12 種変換できるようになつていた。従つてマスコンクリートも内部、表面コンクリートの2種類くらいでなく数種を使い、発電所用、排水工所用、それらの各種の目的に応ずるコンクリートを同一 plant で要求に応じて、どんだちだち製造できる融通性があり、大変便利のように思つた。そして batching の1サイクルは 30 sec とかからぬ超スピードであつた。

次に cable crane は Pine Flat Dam の一基は径 3.5 in のロックドワイヤケーブルで、いままでのものだと速度 1200 ft/min である。これは直流を使い（いわゆるワードレオナードシステム）、2000 ft/min の超速度で hoist と haul が同時にできるようになつてはいるが、ケーブルの破損が激しく、これの交換が必要で、今日までに1度取りかえており、これからもいま1度取りかえる必要があると云われていたが、これなど工期の短縮による利益との計算によつてやつてはいることで、今日の日本では一工事中にケーブルを3本も用いることなど、ちよつと考えられないことで、国情の違いを痛感した。

7. コンクリート

米国のコンクリートは日本のコンクリートと全然違ふと前から聞いていたが、その点ダムと発電所のコンクリートに関する限り同感を味つてきた。最初見た T.V.A の Norris Dam (1936年完成) は表面は黒く汚れていたが、近づいて見ると型枠の軀板の木目が完全に見えるくらいで、実によく締めたものであつた。Hiwassee Dam (1940年完成) では美しい立派なコン

クリートで堰板の木目はもちろんのこと、堰板に打つた釘の跡まで何本用いたかわかるくらいはつきりとできていて、その優秀さに驚異を感じたが、Hoover Dam (1936年完成)にゆくと、これはその上をゆくすばらしさで、発電所の内部の壁でPlywoodの型枠を用いたものが、これの木目が鮮かに浮きでて、少し離れて見ると、コンクリートかと疑うくらいのものであつた。これは比較的重要でない発電所の内部のことであるからダムコンクリートの優秀さがわかることと思う。

Hungry Horse Damでマスコンクリートについて強度を調べたところ、次のごとくであつた(単位はkg/cm²)。

	3日	7日	28日	90日
内部コンクリート	57	94	184	292
表面コンクリート	99	163	287	403

試験成績表を見たところ、表面コンクリートであつたが7000 psi (490 kg/cm²)の強度をだしているものがあつた。

一方工兵隊の方は貧配合のためか割合粗雑なコンクリートのように思つたが、Pine Flat Damでは2.5袋使いで、内部コンクリート1500 psi (28日強度)、表面コンクリートは4袋使いで3000 psiと云つた成績で、Detroit Damでも同じような成績であつた。

これは骨材の分級の確実性、batching plantの優秀性、配合決定の慎重性、打設当時の締め方のよき等すべてがそろつてのことであるが、コンクリートの根本概念が技術者はもちろんのこと、作業人夫に至るまで我々と少し違ふように思われた。

Cabinet Gorge Damは民間会社のダムで設計会社(Evasco)にまかせて設計及び施工の監督をやらせている低いアーチダムで、コンクリート量も少ない現場で相当荒つぱい仕事をしているようであつたが、コンクリートの配合は100種類以上のものをテストしてから決めたと云つていた。

マスコンクリートの水平継手は、監査廊に入つて見たところでは、どのダムも継手に沿う漏水や石灰の流出した跡はほとんど無いと云つてよいくらいであつた。この点リフトの表面の清掃、打ち継ぎ目の完全性に感心した。

8. カールソンの各種メーター

米国のダムでは古くから、Thermometer, Strain meter, Stress meter等を埋設して種々の調査を行い、10数年間の測定結果を解析し、開拓庁などから少しづつ発表されるようになり、貴重な資料となり、今後のダムの設計、施工上に大きく影響を及ぼすように

なつてきている。これは長期の努力を必要とするが、実際面からの研究として相当高く評価してよいことがらであり、また必要なことであると思つたので、パークレーに住んでおられるカリフォルニア大学の元教授カールソン氏を訪ね、Thermometer, Stress meter, Strain meter, Joint meter及びTest meterについて意見を聞き、上記諸器具を参考に一つづつ購入してきた。

9. 結 び

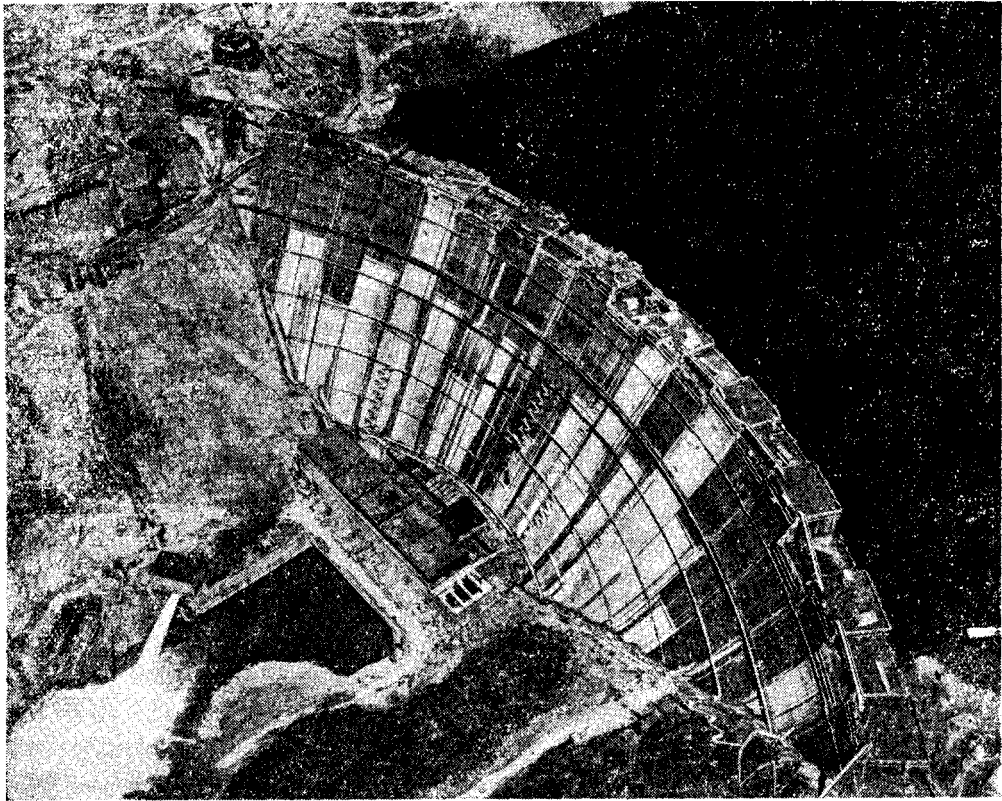
このたびのダム行脚で強く感激したことは、官民を問わずすべての米国人が非常に親切に面倒をみてくれたことで感謝にたえない。Savage博士はかつて開拓庁のChief of Engineerであり、現在もなお開拓庁の最高顧問として一室を持たれ、Hungry Horse DamやCanyon Ferry Damの難問題は直接博士が解答されている。また関係しておられるダムは世界各国に及び、その数はとうてい数え挙げられないほどである。開拓庁はもちろん、T.V.A.,工法の異なる工兵隊、その他ほとんど全米の技術者にも絶大なる信望があつて、尊敬の的となつている。その一例で、私達の質問に対しても、博士と連絡があるのなら博士から聞いたら一番よいと云つて、体裁よく逃げられる場合も幾度かあつたほどである。そして博士は普通の顧問業の技術者と異なり、開拓庁の全機関をいつでも随意に動員できる立場にあるようで、小河内の問題についておたづねしたところ、前述のように現役の最高技師Hammond氏やKirn氏をすぐ動員して、小河内会議を開き研究をされた。またかかる席上、Hammond氏やKirn氏には種々意見がある場合でも、博士の人格と識見の前には強く反対せず、喜んで協力する風で、そばで見ていると役者は二枚も三枚も上手のようで、その偉大さはとうてい計り知ることができない。この偉大なる老大家に近く接して薫陶を受け、いろいろと親身なお世話を頂いたことは、感謝感激にたえぬ次第であつた。

前述のように、設計基準は本邦の方法と異なつているようであるから、本邦としては技術的により優秀であり、かつ経済的なダム建設のために、本邦の立地条件を充分考慮して旧来の方法を再検討すべき時がきているのではないかと思う。

機械設備については、米国は立地的、経済的、社会的、工業的等の諸条件の下において、総合的技術の発達にともない今日に至つたのであつて、我々が機械を購入すればそれで充分間に合うと云う問題ではない。

本邦はその国情に適した総合技術を創造せねばならず、米国の真似は最も危険で、我々は、“我が道を開く”努力をせねばならないと思う。

写真—1 Hungry Horse Dam 工事現場



表—1 Facts about Dams Investigated in U.S.A.

Dam	State	River	Project	Purpose	Type	Year	Max. H.	Crest Length	Reservoir Volume
Damsville	N.Y.	Delaware	N.Y. City	W.S.	E.F.	Feb. 1950	205	1,455	93,000,000
Norris	Tenn.	Clinch	TVA		C.S.G.	Mar. 1933	255	18,600	1,002,300
Hiwassee	N.C.	Hiwassee	TVA		C.S.G.	July 1938	307	12,870	773,000
Hoover	Ariz.	Colorado	B.R.	FC, HP	CAG	Oct. 1936	726	1,244	3,250,000
Davis	Ariz.	Colorado	B.R.	Irr., HP	ERF	Oct. 1936	200	1,600	3,800,000
Pine Flat	Calif.	Kings	C.E.	FC, Irr.	C.S.G.	July 1909	440	1,820	2,150,000
Friant	Calif.	San Joaquin	B.R.	Irr.	C.S.G.	Nov. 1919	314	3,430	2,135,000
Canion Ferry	Mont.	Missouri	B.R.	HP, Irr.	C.S.G.	Apr. 1900	212	1,000	455,000
Hungry Horse	Mont.	Flathead	B.R.	HP, Irr.	CAG	Apr. 1928	564	2,125	3,000,000
Cobraet George	Idaho	Clark Fork	B.R.	HP	Arch	Jan. 1931	170	500	27,000
Grand Coulee	Wash.	Columbia	B.R.	Irr., HP	C.S.G.	Oct. 1911	550	4,173	10,131,990
Chief Joseph	Wash.	Columbia	C.E.	FC, HP	C.S.G.	Nov. 1911	220	2,260	1,005,070
Ross	Wash.	Skogit	Seattle City	H.P.	C.A.	Oct. 1929	540		
Detroit	Oregon	North Santiam	C.E.	FC, Irr.	C.S.G.	Mar. 1909	465	1,580	1,500,000
Lookout Point	Oregon	Willamette	C.E.	FC, HP	ERF	July 1929	265	1,990	951,000
Shasta	Calif.	Sacramento	B.R.	FC, Irr.	C.S.G.	July 1925	478	2,281	6,500,000
O'Shaughnessy	Calif.	Hetch Hetchy	San Fran. City	W.S. Irr.	CAG	July 1914	340	605	3,980,000

Notice E.F.-----Earth Fill C.S.G.-----Concrete Straight Gravity C.A.G.-----Concrete Arch Gravity E.R.F.-----Earth and Rock Fill W.S.-----Water Supply
 FC-----Flood Control H.P.-----Hydroelectric Power Irr-----Irrigation
 Nav.-----Navigation x-----Under Construction B-----Beginning P-----Fish

(昭. 27. 9. 19)