

ら2ダムに加えて Huffman ダムにも訪問したが、共通して生態系を含めた流水の連続性は十分維持されている印象であった。事実、Taylorsville ダム直下で魚釣りをしている人が釣り上げた魚を見せてくれたが、その魚は Great Miami 川最上流の Indian 湖 (図-5 の上端) まで回遊しているとの話であった。

(6) MCD ダムの他ダムへの影響

MCD における DRY ダムの建設は、ダムにより洪水調節を行う米国における最初の成功例となり、その後、同じオハイオ州で実施された Muskingum Conservancy District 事業 (1930 年代) などとそのコンセプトが引き継がれ、ここでもいくつかの DRY ダムが建設されている。また、先述のように Arthur E. Morgan はその後 TVA の初代代表に就任しており、彼の著書の記述によれば、TVA 事業は MCD 事業の拡張版として位置付けられ、また、MCD で経験を積んだ多くの技術者が TVA で活躍したことが特筆される。

4. Mount Morris ダム⁵⁾

(1) 計画概要

Mount Morris ダムは、Kodak の本社があることで有名なニューヨーク州 Rochester 市を流れる Genesee 川上流部に米国陸軍工兵隊 Buffalo 局によって建設された洪水調節専用ダムである。本プロジェクトは 1944 年の洪水制御法によって連邦議会の承認を受け、\$25 百万の費用で 1952 年に完成した。ダムは重力式コンクリートダムであり、ゲート付きの常用洪水吐きが 9 条、その上部に自由越流形式の非常用洪水吐きが設置されている。図-8 にダム標準断面図を、写真-10 にダム上流面を示す。

この地域では、1800 年以降たびたび洪水被害が発生しており、1865 年にはナイアガラの滝の約半分に相当



写真-10 ダム上流面 (Mount Morris ダム)

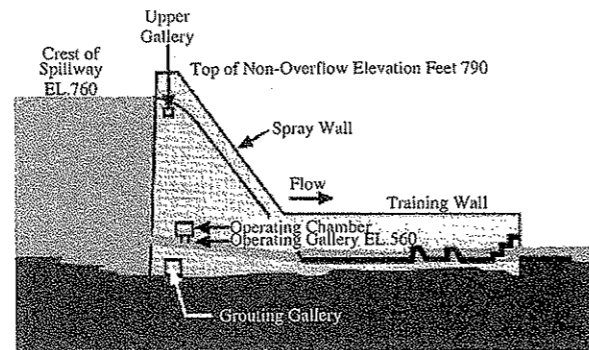


図-8 Mount Morris ダム標準断面図 (1952 年完成)

する流量の洪水が、その後、1865 年から 1950 年までの間に、およそ 7 年毎に大きな洪水が発生していた。ダム完成後は、ダムの洪水調節容量を用いて、Rochester 市都市圏を含むオンタリオ湖に注ぐ Genesee 川沿いの低平地の農地、住宅区域および工業および商業開発地の治水安全度は飛躍的に向上した。

(2) ダムの特徴

このダムは、米国の DRY ダムとしてはめずらしく重力式コンクリートダムである。その理由として、本ダムは当初より DRY ダムとして計画されたのではなく、洪水調節および水力発電の多目的ダムとして計画・設計されていたが、その後、経済性などの理由により水力発電目的が廃止されて、洪水調節専用に変更されたようである。常用洪水吐きにゲートが設置されているのはその理由による。

写真-11 に洪水時の状況、写真-12 にダム直上流部の状況を示す。このダムでは MCD ダムと異なり河床勾配が急かつ土砂生産が盛んであり、洪水時に流入する土砂と流木の一部分が貯水池内に堆積・捕捉されていること

が伺える。これらによる常用洪水吐きの閉塞対策は管理上の課題であり、土砂についてはダム直上流部の定期的な掘削除去 (写真-12 のダム直上流部の堤体と平行する水路状の掘削) が、また、流木については網場による捕捉 (写真-12 の左端) と除去が行われている。

貯水池全体の平面図を図-9 に示すが、このダムの湛

水地内は「東部のグランドキャニオン」と称されるなど美しい渓谷が連続しており、また、湛水末端部には 3 段の滝が形成され、Letchworth 州立公園として指定されるなど観光地となっている⁶⁾。従って、このダムの場合は、DRY ダムとすることでその渓谷美が保存されたと見ることもできる。

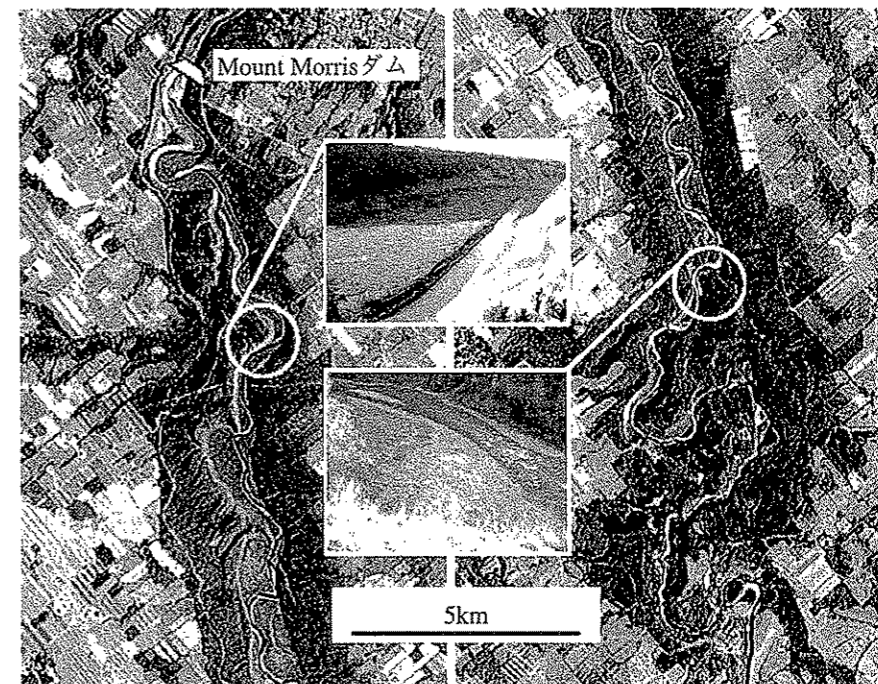


図-9 Mount Morris ダム平面図

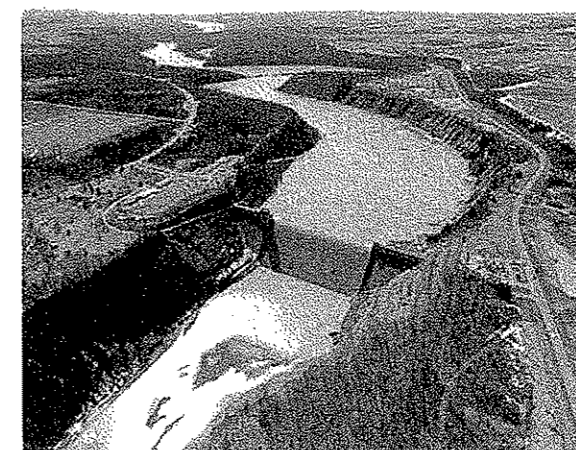


写真-11 洪水時の状況 (Mount Morris ダム)



写真-12 貯水池内の状況 (Mount Morris ダム)

5. Prado ダムおよび Seven Oaks ダム

(1) Santa Ana 川プロジェクト (SARP) の計画概要
 Santa Ana 川プロジェクト (SARP) は、カリフォルニア州南部の Orange, Riverside および San Bernardino 郡内の都市化の著しい地域 (人口 3.35 百万人) を対象とする洪水対策であり、最も厳しい洪水時には約 445 km² のエリアに約 1 m の浸水をもたらし、\$150 億以上の経済的損失が発生する可能性があるとして推定されている。このプロジェクトは、図-10 に示すように Santa Ana 川の約 140 km の河道区間が対象であり、この中には Seven Oaks ダムの建設、既設 Prado ダムの再開発の他、

支川や本川下流部の河道改修 (Lower Santa Ana) などが含まれている。

SARP プロジェクトは、1964 年にその調査が開始され、その後、1986 年の連邦政府と地方政府の費用負担ガイドラインの制定を受けて、1989 年に上記の 3 郡と米国陸軍工兵隊の間の共同事業協定が締結されて工事が開始された。プロジェクトの総事業費は \$1,431 百万であり、主要な事業は表-5 に示す 3 つである。費用負担は連邦政府が全体の約 70.5% を、3 郡の中では下流域に位置して最も受益を受ける Orange 郡が 27.1% を、残りを Riverside 郡 (0.7%)、San Bernardino 郡 (1.7%) がそれぞれ負担している。

Santa Ana River Project

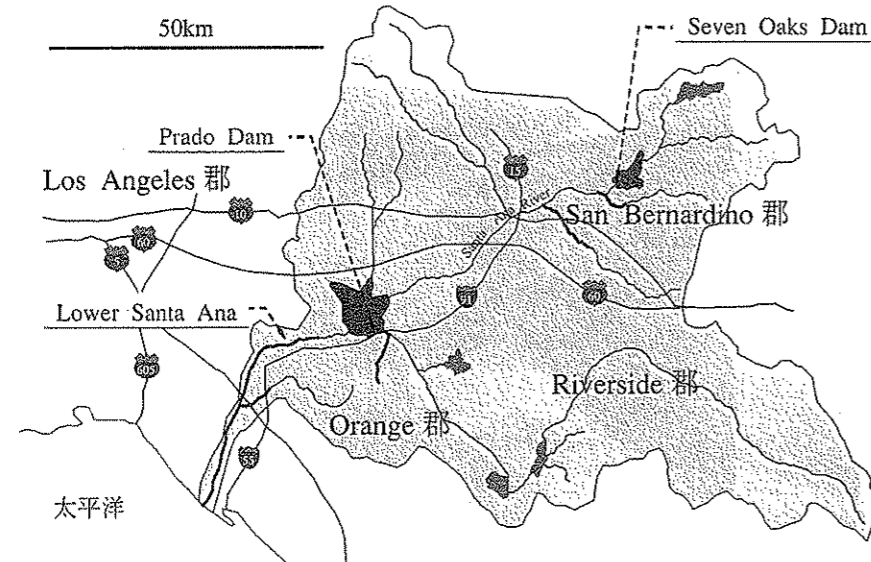


図-10 Santa Ana 川流域図
 ダム技術 No. 256 (2008. 1)

表-5 Santa Ana 川プロジェクト (SARP) の概要

プロジェクト	開始年	完成年	総事業費(\$百万)
Lower Santa Ana 川改修	1991	2006	367
Seven Oaks ダム	1994	1999	464
Prado ダム再開発	2003	2010	420

(2) Prado ダム⁷⁾

Prado ダムは、1941 年に米国陸軍工兵隊により建設されたダムであり、写真-13 に示す位置に常用洪水吐きコンジットおよび自由越流形式の非常用洪水吐きが設置されている。Prado ダムは洪水調節専用の完全な DRY ダムではなく、常用洪水吐き敷高から約 10 m の間に Debris Pool (容量) が設定されて、その上に洪水調節容量が確保されている。この Debris Pool は、常用洪水吐きに対する流木などの閉塞防止と、Santa Ana 川下流で取水して滞水層に大規模な地下水涵養を行っている Orange 郡水道局 (Orange County Water District) のための流況安定化容量となっている。

また、この Debris Pool と上部の洪水調節容量の間には、一定の Buffer Pool (容量) が 1.5 m (洪水期 (10 ~ 2 月)) ~ 4.5 m (非洪水期 (3 ~ 9 月)) と季節的に設定されており、洪水時にダム放流量を漸増させる際の貯水位上昇や上記の地下水涵養目的にも利用される、いわば弾力的に利用可能な容量となっている。

このように Prado ダムは洪水調節と下流の地下水涵養のための流況調整として活用されてきたダムであるが、Santa Ana 川プロジェクト (SARP) の一部として洪水調節容量の増強が図られることとなり、現在、ダムの嵩上げ (堤高 32.8 → 40.8 m、貯水容量 267.7 → 446.5 百万 m³) と常用洪水吐きの新設、非常用洪水吐きの改造が進められている。写真-14 に再開発計画の概要を示す。

再開発工事は陸軍工兵隊ロサンゼルス局が 2010 年の完成を目指して進めており、堤体の嵩上げは完了し、新設常用洪水吐きもほぼ概成し、訪問時は、ゲート設置工事が進められていた (写真-15)。写真の格子状の柱は流木止めスクリーンである。Prado ダムの場合、60 年間の管理実績があり、常用洪水吐きの配置が変更になったものの、流水型ダムとしての特徴は再開発後も引き継がれることになる。また、湛水地内は樹木がそのまま生育しており、多様な生物のための生息空間を提供している点では MCD ダムと同様であった。

なお、Prado ダム上流域は都市化の進展が著しく、下流利水者である Orange 郡水道局では、河川水を引き込んで流入河川に含まれる栄養塩 (主に窒素) を除去するための小規模ため池を Prado ダム湛水地内に複数箇所建設してきている。Orange 郡水道局は、DRY ダムの容量の一部を使って地下水涵養の安定化も図っており、水源としての水質改善には大変意欲的であり、ユニークな DRY ダム湛水地内の利用法として注目される。

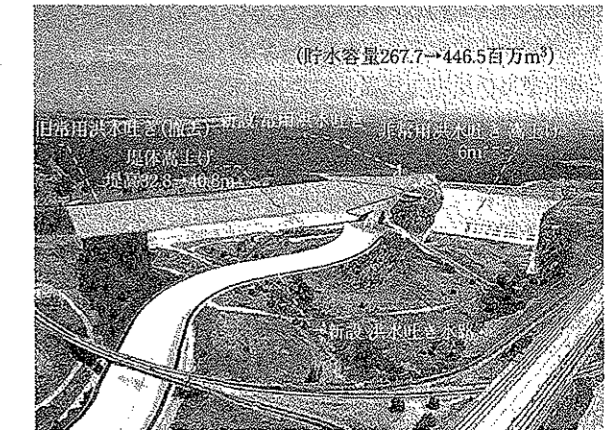


写真-14 Prado ダム再開発計画

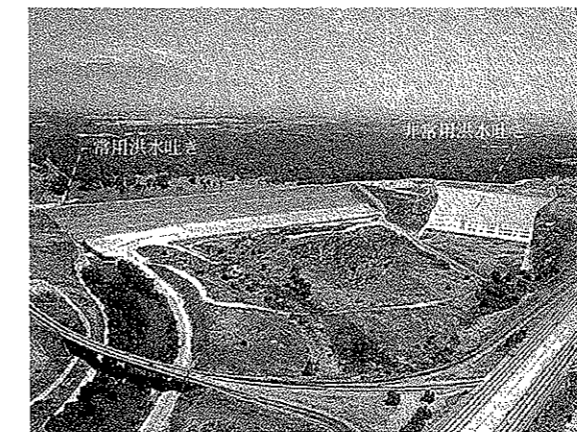


写真-13 Prado ダム全景 (再開発前)

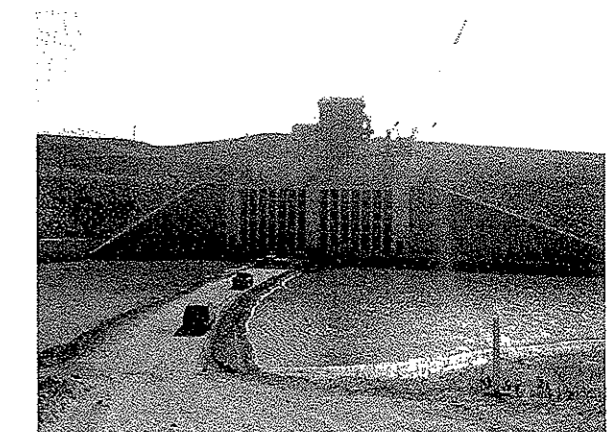


写真-15 新設常用洪水吐き流入部

(3) Seven Oaks ダム⁶⁾

Seven Oaks ダムは、Santa Ana 川プロジェクトの最上流の山岳河川に米国陸軍工兵隊ロサンゼルス局によって建設された洪水調節専用ダムであり、協定に従って、地方政府3郡（ダムの直接的な管理は San Bernardino 郡）に管理が移管されている。堤体は堤高 167.6 m のロックフィルダムであり、米国における他の洪水調節専用ダムの中では郡を抜いて高い施設である。ダムサイトが San Andreas 断層にも近いことからこれを考慮した耐震設計も行われている。

写真-16 にダム下流面を示すが、写真中央に見える円形の池が常用洪水吐きの減勢池であり、図-11 に示

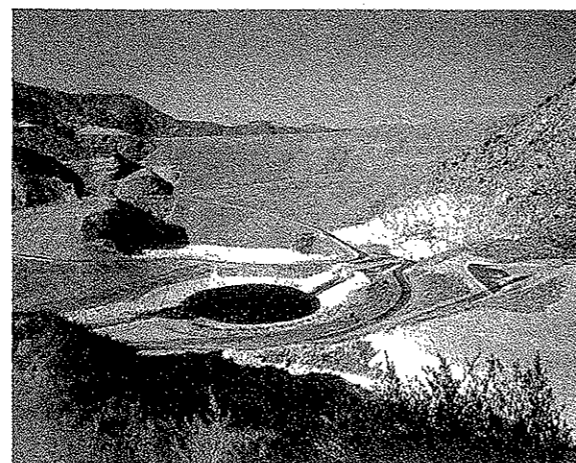


写真-16 Seven Oaks ダム (1999 年完成)

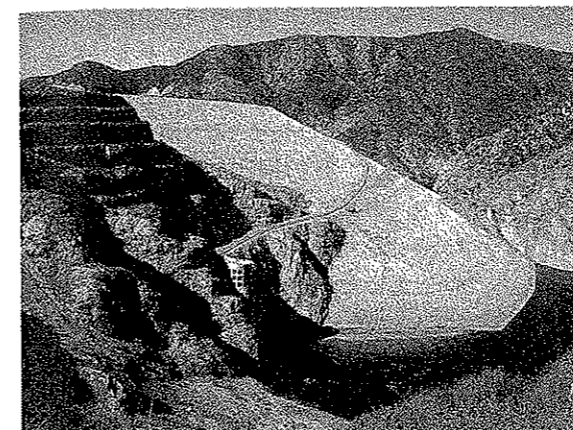


写真-17 貯水池内の状況 (Seven Oaks ダム)

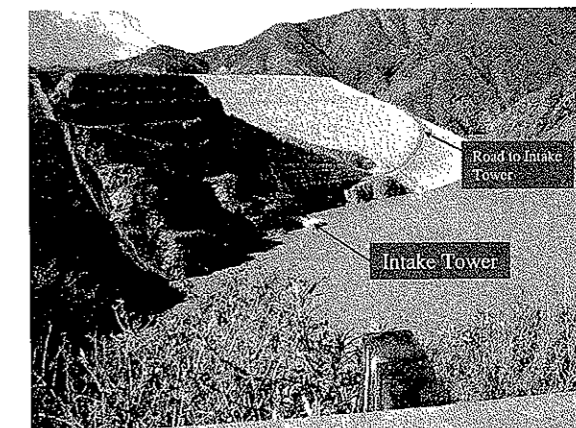
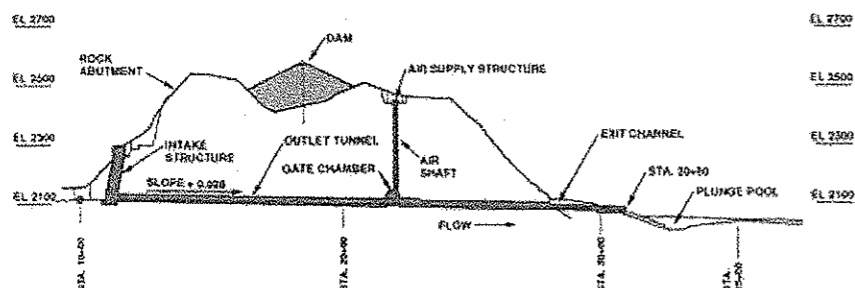


写真-18 2005 年洪水貯留中の状況 (Seven Oaks ダム)

SEVEN OAKS DAM OUTLET WORKS PROFILE

OUTLET WORKS

- 1,600-FOOT LONG TUNNEL
- 200-FOOT HIGH INTAKE STRUCTURE
- 300-FOOT HIGH AIR SHAFT
- GATE CHAMBER
- EXIT CHANNEL
- PLUNGE POOL



EMBANKMENT CROSS SECTION

DAM

- 550-FOOT HIGH
- 3,000-FOOT LONG
- 40-FOOT WIDE AT CREST
- 2,000 FEET FROM U/S TOE TO D/S DOT

ZONE	PURPOSE
CORE	WATER BARRIER
TRANSITION	DRAINAGE, STABILITY, AND ECONOMICAL USE OF EXCAVATED MATERIALS
ROCKFILL	STABILITY AND ECONOMICAL USE OF EXCAVATED MATERIALS
SHELL	DRAINAGE, EROSION CONTROL, AND STABILITY

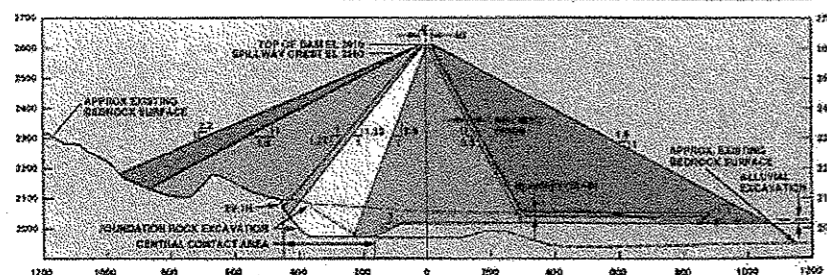


図-11 Seven Oaks ダム (標準断面図および洪水吐き断面図)

ダム技術 No. 256 (2008. 1)

すように洪水吐きトンネルが左岸側の岩盤を掘削して設置されている。洪水吐きトンネルには中型2門、小型1門の高圧スライドゲートがほぼ中間地点に設置されている。写真-17 にダム上流面を示すが、写真手前の円筒状のタワーが常用洪水吐き呑口部である。このダムは山岳河川に設置されることから洪水とともに土砂を通過させる流水型 DRY ダムではなく、堆砂容量を確保して土砂は湛水地内に捕捉する計画となっている。その理由として、ダム高が高く、高速流で土砂を流下させた場合の磨耗問題などが課題となることが挙げられていた。写真-18 は 2005 年に発生した洪水により常用洪水吐き呑口部上端まで約 60 m 湛水した状況である。Seven Oaks ダムの場合にはこのように流水型というよりもゲート付きの従来型の貯水ダムに近い性格を有している。なお、平常時の下流への維持流量の補給は、ダム直上流域に形成

された池からポンプアップし、地山岩盤内に設置された配管を通じて常用洪水吐きの吐け口まで導水することにより行われている。

6. おわりに

ここでは、今回の調査で訪問した米国の流水型 DRY ダムの概要について報告を行った。3箇所(4機関)の訪問を通じての感想としては、従前の河川の状態がかなり異なることから、ダム建設後の湛水地内および下流河川に対する影響、さらには地域における評価もダムごとにかなり異なっているものと考えられた。歴史的には、MCD が米国における DRY ダムの原点であることが確認され、Dayton 市民と関係した Arthur E. Morgan を初めとする卓越した技術者チームがこれを実現させた先見性に大いに感動を覚えた。



写真-19 Sepulveda ダム (1941 年完成)

ダム技術 No. 256 (2008. 1)

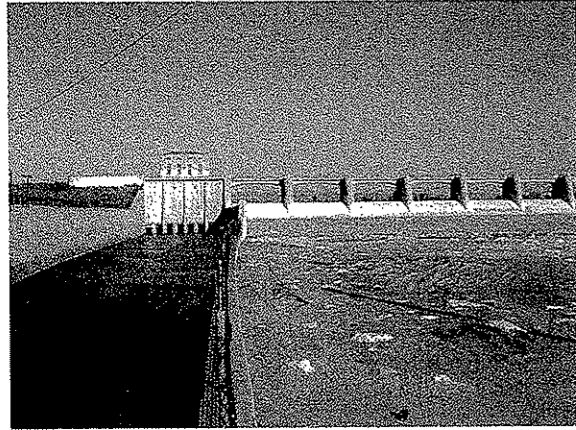


写真-20 Sepulveda ダム洪水吐き
(左：常用，右：非常用（ドラムゲート付）)

なお、全体を通じて、DRY ダムを選択した理由として、流砂の連続性や放流水質を含めた環境面のメリットはそれほど意識されていないように感じられた。これは、米国の他のダムにおいて、例えば濁水長期化などが顕著ではないことも関係していると考えられる。

一方、MCD の DRY ダムが農地利用の存続を理由に挙げているように、湛水地内の土地利用との共存の意識は高く、例えば、最後に訪問した工兵隊ロサンゼ

ス局管内では、都市部に流れ込む河川の中流部に写真-19、20 に示すような低い堤高の DRY ダム（写真は Sepulveda ダム）が複数設置されていることが明らかとなった⁹⁾。これらの湛水地は公園（野球場やゴルフ場など）や野鳥園などとして都市域のオープンスペースとして有効に利用されており、また、堤体の一部が高速道路の盛土と一部一体化されるなど、遊水地に非常に近い形態を有しており、新たな発見であった。

今回の概要報告を踏まえて次回以降、1) 治水計画、2) 構造的特徴、3) 水理的特徴、4) 環境管理、5) 土地（湛水地）管理、6) ダム管理、7) 日本の事例との比較などの観点で順次報告を行っていく予定である。これらの情報が今後の日本の流水型ダムの計画・設計・管理の発展に何らかの参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 角 哲也：スイスにおける治水専用オルデンダムの水理設計と管理，ダム技術 No.241，2006.
- 2) Arthur E. Morgan：The Miami Conservancy District，McGRAW-HILL BOOK COMPANY Inc.，1951.
- 3) http://www.fleuve-loire.net/article.php?id_article=37
- 4) <http://www.miamiconservancy.org/index.asp>
- 5) <http://www.lrb.usace.army.mil/WhoWeAre/MMD/MMD.html>
- 6) <http://nysparks.state.ny.us/parks/info.asp?parkId=12>
- 7) <http://www.spl.usace.army.mil/resreg/htdocs/prdo.html>
- 8) <http://www.spl.usace.army.mil/resreg/htdocs/7oaks.html>
- 9) <http://www.spl.usace.army.mil/resreg/htdocs/spda.html>

米国 DRY DAM の設計、施工上の特徴

(米国調査 第2報)

独立行政法人 土木研究所 吉田 等*

キーワード DRY DAM・洪水調節専用ダム・流水型ダム・掘込み式減勢工・Hydraulic Fill

1. はじめに

本報は、本誌2008年1月号に掲載された京都大学角哲也氏の「米国における洪水調節専用（流水型（DRY）ダム）」の続報で、DRY DAMの設計、施工上の特徴について紹介する。

米国では、洪水調節だけを目的とするダムをDRY DAMと呼んでいる。米国内にDRY DAMは数多くあるが、その歴史は1922年にOhio州のMCD (Miami Conservancy District) により建設された5つのダムが始まりとされる^{1),2)}。そのうちの1つ、Taylorsvilleダムの状況を写真-1.1~1.6に示す。湛水区域には樹木が生い茂り、優れた環境の公園 (Metro Park) として遊歩道 (Trail) が整備され、ジョギングや散歩を楽しむ人々を見かけた。湛水区域は広大で、公園の他に農地として利用されている。減勢池には、我が国の副ダムのような流れを遮断する構造物がないため、水面が下流の河川へと連続している。減勢池で、釣り人がこの日一番の大物を釣り上げて得意げに見せてくれた (写真-2)。このように、MCDの5ダムは当初洪水調節だけを目的として建設されたが、完成後85年経過した現在ではダムが周辺の自然環境に溶け込み、河川環境が良好に保全されている。

米国のDRY DAMは、一般にダムサイトや湛水区域の地形が広大で河川勾配も緩やかである。このため、米国のDRY DAMをそのまま我が国に適用することは困難ではあるが、今後、我が国の洪水調節専用（流水型）ダム（以下、「流水型ダム」という）のあるべき姿を考える上で、多くの示唆を与えてくれる。

DRY DAMには、Taylorsvilleダムのように、常用洪水吐きにゲートがないことが一般的である。平常時は、湛水区域を河川がその形態を保ちつつ流れ下り、常用洪水

* 地質監, (前)水工研究グループ長

吐きを通して下流の河川へと連続している。洪水時は、ゲートがないため人為的な操作を一切行わずに下流の河川が安全に流すことのできる流量をダムから放流しながら、過剰な洪水を一時的に貯留する。

米国のDRY DAMは、ダムサイトの谷幅も湛水区域も広いため、堤頂長が長くて堤高が低いフィルダムが多い。一方、我が国で計画中の流水型ダムは、ダムサイトの谷幅も湛水区域も狭いため、堤頂長が短くて堤高が高い重力式コンクリートダムが多い。

米国のDRY DAMであれ我が国の流水型ダムであれ、ダム設計上最も重要なポイントは、常用洪水吐きや減勢工などの放流設備の構造にある。洪水調節の機能に加えて、流砂の連続性や生態系の連続性という新たな機能を発揮させるには、常用洪水吐きや減勢工などの放流設備の構造を工夫する必要がある。堤体の形式がフィルダムであるかコンクリートダムであるかという違いは、ダムの機能を考える上では本質的な問題ではない。

米国調査では、MCDの5ダムについて豊富なデータを手に入れたが、陸軍工兵隊が管理するダムについては、現地説明資料、質疑応答以外に詳細な情報が得られなかった。陸軍工兵隊のウェブサイトにも詳細な情報は掲載されていない。これは、MCDがGreat Miami川流域の自治体により構成される河川管理組織 (Conservancy District) であって、ダムに関する積極的な情報公開を行っているのに対して、陸軍工兵隊はテロに対する厳重な警戒警備上の理由から詳細な情報が提供できないという事情があり、やむを得ない面がある。

以下に、MCDと陸軍工兵隊のDRY DAMの設計、施工上の特徴について紹介するが、入手できた情報量の多寡から生じる内容の精粗の差は避けることができないことを、予めお断りしておく。

なお、Ohio州のMCD5ダムは、その後続くTVA等のアメリカの輝かしいダム技術の発展の基礎となった

事業でもある。収集した資料の中からダム技術者にとって参考と思われる点についても適宜紹介する。



写真-1.1 全景



写真-1.2 洪水吐き直上流河道

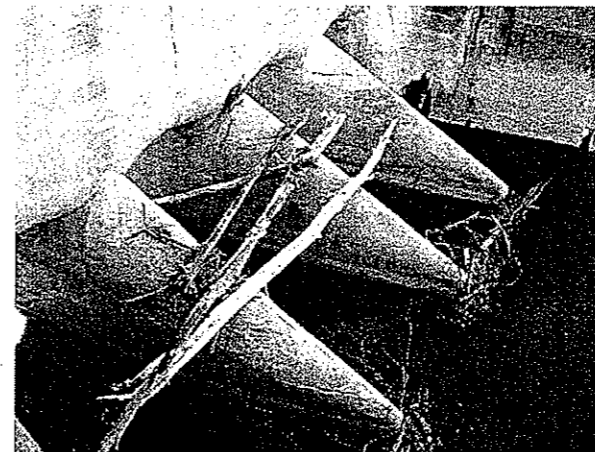


写真-1.3 常用洪水吐き呑み口部

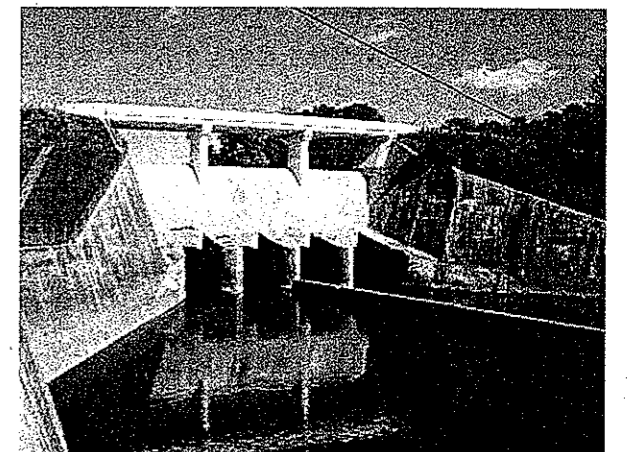


写真-1.4 洪水吐き全景 (下流側)

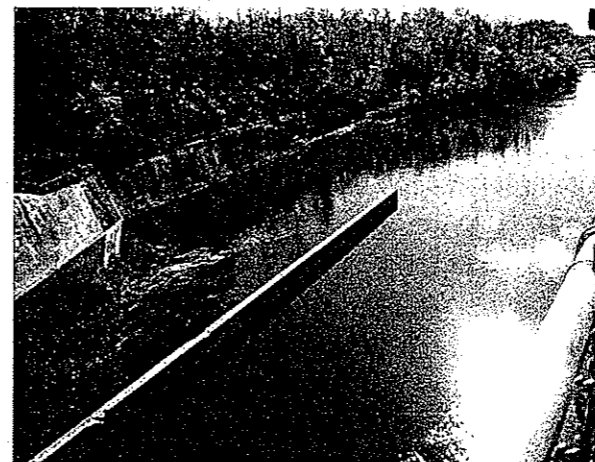


写真-1.5 減勢工



写真-1.6 減勢工下流の河道

写真-1 Taylorsville ダム