

【海外事情】

米国における洪水調節専用(流水型(DRY))ダム

京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 角 哲也*
 京都大学大学院経営管理研究部

キーワード 洪水調節専用ダム・流水型ダム・DRY ダム

1. はじめに

近年、治水機能のみに特化して洪水吐きを河床付近に設置し、洪水貯留後の水位低下時に自然排砂を行って平衡堆砂を実現するとともに、濁水長期化や富栄養化などの水質問題を生じさせず、河川の上下流の生態系や物質循環の連続性の維持を期待した洪水調節専用ダム（以下、流水型ダムと呼ぶ）の計画・建設事例が増加している。大規模な建設事例としては島根県益田川ダムが挙げられ、これに続く計画事例としては、熊本の立野ダム、福井の足羽川ダムなどがある。

一般に、洪水調節専用ダムの課題としては、ダムの構造形式、洪水吐きや減勢工の設計、貯水池堆砂計画と土砂管理、放流水質の予測と管理、湛水地内の生態系や通常時の土地利用の管理、流木等による洪水吐きの閉塞等への対応などが挙げられる。これら課題を解決していくために、国内における同種の既存ダムの事例に加えて海外における先進事例の知見についても検討しておく必要があり、スイス連邦のオルデンダム（Orden dam）について2006年10月号に報告した¹⁾。

一方、多くの貯水ダムを有する米国においても同様な洪水調節専用ダムが多数存在しており、今回、これらが成立した歴史的背景、計画・設計上の特徴と管理上の課題に関して現地を調査する機会（2007年10月28日～11月2日）を得たので、その概要について報告する。

2. 米国調査の目的と調査概要

(1) 調査メンバーと調査行程

今回の調査の目的は、米国における流水型ダム（DRYダムと呼ばれている）の成立過程や計画・設計・施工・管理にいたるプロジェクトとしての特徴と課題を明らかにすることであり、その経験を日本における今後の事業に役立てることにある。

* 准教授

調査メンバーを表-1に示すが、治水計画、構造および水理設計、環境影響と対策、湛水地を含むダム管理などの観点から専門的に分析するためのメンバー構成とした。ここで Annandale 博士は、米国における貯水池堆砂問題や岩盤洗掘問題などの専門家であり、世界銀行の RESCON プロジェクトのメンバーや2003年の第3回世界水フォーラムの貯水池土砂管理セッションの共同議長を依頼した人物でもある。今回の米国調査のアレンジを依頼するとともに現地調査の一部にも参画していただいた。

今回の調査機関を表-2に、調査行程を図-1に示す。事前の調査によりMCDがDRYダムの発祥の地として歴史が古いことが判明していたので、これをスタートにMount Morrisダム、Pradoダム・Seven Oaksダムの順に調査を行った。

表-1 調査メンバー

角 哲也	京都大学大学院経営管理研究部/工学研究科准教授
吉田 等	独立行政法人 土木研究所水工研究グループ長
天野 邦彦	独立行政法人 土木研究所水環境研究グループ首席研究員
奥田 晃久	国土交通省河川局治水課課長補佐
池田 隆	財団法人 ダム技術センター首席研究員兼企画部長
大本 和弘	株式会社アイ・エヌ・エー事業本部副本部長兼ダム企画部長
George Annandale	President, Engineering and Hydrosystems Inc.

表-2 調査機関および関連ダム

MCD (Miami Conservancy District) (マイアミ川管理局)	Taylorville, Englewood, Huffmann
USACE Buffalo District (米国陸軍工兵隊バッファロー局)	Mount Morris
USACE Los Angeles District (米国陸軍工兵隊ロサンゼルス局)	Seven Oaks, Prado, Sepluveda
Orange County Water District (オレンジ郡水道局)	Prado

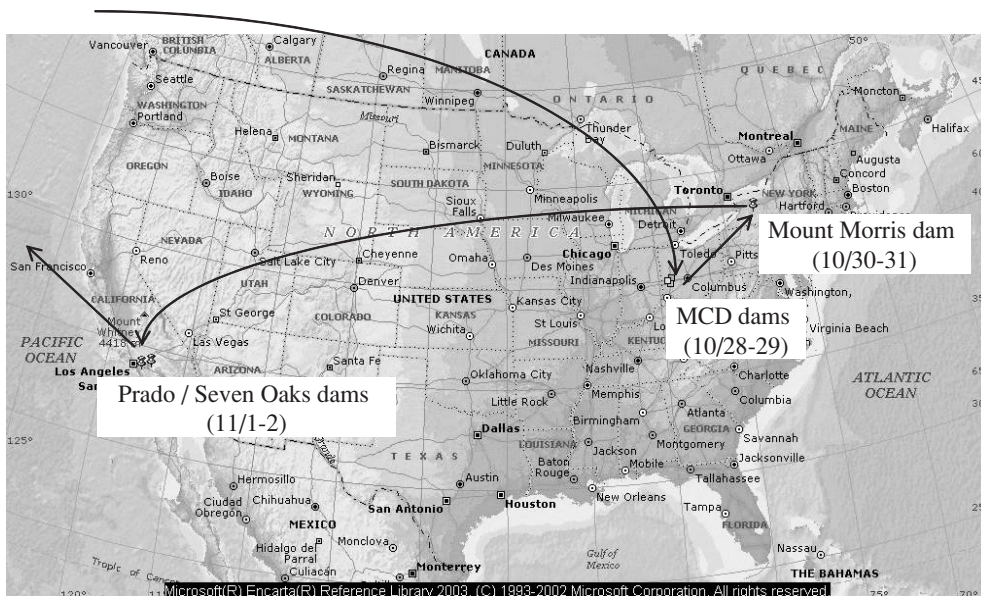


図-1 調査行程

(2) 洪水調節専用ダムの分類

洪水調節専用ダムは、国内および前報のスイス連邦の事例を含めて表-3のように分類できる。分類の観点は、①常用洪水吐きのゲートの有無、および、②洪水吐きを通じた河川の上下流連続性確保の有無である。

ここで、最もシンプルな形式は、ゲートレスの洪水吐きが河床部に設置されたものであり、益田川ダムの他、今回の調査対象であるMCD (Miami Conservancy District) 5ダムのような事例が該当し、魚類の遡上・降下や流砂の連続性などを確保することが可能である。また、全国の小規模の農地防災ダムに同様な形式が採用されていることが明らかとなっており、スイス連邦のオルデンダムもここに分類される。

次に、これに順ずるのが洪水調節の制約から洪水吐きにゲートを設置したものであり、普段はゲート全開操作とすれば、環境に与える影響などは上記のダムとほぼ同等と考えられ、今回の調査対象であるMount MorrisダムやPradoダムのような事例が該当する。

一方、多目的ダムのうち、小流域の洪水調節の確実性を確保するためにゲートレスとして計画された自然調節

方式のダム（いわゆる穴あきダム）の変形として、洪水調節専用として洪水調節容量と堆砂容量（100年）のみを確保したダムや、今回の調査対象であるSeven Oaksダムなどは、洪水吐きがダムの中位標高に位置し、生態系や流砂の連続性の確保が困難なダムであり、非流水型ダムと位置付けられる。

(3) 調査対象ダムの諸元比較

流水型であれ、非流水型（通常の貯留型を含む）であれ、ダムの規模を代表する堤高と貯水容量はダムサイトの地形条件に大きく左右されることになる。今回の米国調査ダムの諸元と洪水吐きなどの特徴を整理したものを表-4に示す。このうちSepulvedaダムは、陸軍工兵隊ロサンゼルス局とのヒアリングにおいて他にも堤高の低いDRYダムが数多く設置されていることが明らかとなり、その代表的な事例として調査ダムに加えたものである。図-2は、これら米国調査ダムと日本およびスイスの流水型ダムの諸元を堤高と貯水容量に着目して比較したものである。

これらのダムの詳細は後述するが、米国のダムは河川勾配が緩く地形的に開けたダムサイトに建設された事例が多く、山岳河川に建設されたSeven Oaksダムを除いて堤高に対する貯水容量が非常に大きいことが特徴である。ダムの構造形式はMount Morrisダムが重力式コンクリート、Seven Oaksダムがロックフィルである他は全てアースフィルダムであり、流水型ダムの標準的な形式となっている。これは、MCDダムやPradoダムに見られるように、堤高が30m程度以下で堤頂長が1,000m

表-3 洪水調節専用ダムの分類

	流水型	非流水型
常用洪水吐きゲートなし	益田川、立野農地防災ダム Orden, MCDダム	貯留型自然調節ダム (穴あきダム)と同等
常用洪水吐きゲートあり	足羽川 Mount Morris, Prado	Seven Oaks

表一 4 洪水調節専用(流水型(DRY))ダム 調査ダム一覧

ダム名	TAYLORSVILLE DAM	HUFFMAN DAM	ENGLEWOOD DAM	MOUNT MORRIS DAM	SEVEN OAKS DAM	PRADO DAM	SEPULVEDA DAM
都市名	Vandalia	Fairborn	Englewood	Mount Morris	Redlands	Corona	Los Angeles
河川名	Great Miami River	Mad River	Stillwater River	Genesee River	Santa Ana River	Santa Ana River	Los Angeles River
郡名	Montgomery	Greene	Montgomery	Livingston	San Bernardino	Riverside	Los Angeles
州名	OH	OH	OH	NY	CA	CA	CA
管理者	MCD (Miami Conservancy District)			USACE Buffalo District	USACE Los Angeles District	USACE Los Angeles District	USACE Los Angeles District
ダム型式	アースフィル	アースフィル	アースフィル	重力式コンクリートダム	ロックフィルダム	アースフィル	アースフィル
完成年	1921	1921	1921	1952	1999	1941	1941
集水面積 (km ²)	2,849	1,738	1,686	2,784	458	5,840	394
堤頂長	908.3	1,018.0	1,437.4	313.0	841.2	695.0	4,706.0
ダム高	20.4	19.8	33.7	75.0	167.6	32.3	17.3
天端幅	不明	不明	不明	6.1	12.2	9.1	不明
堤敷幅	121.0	117.3	225.2	不明	不明	不明	不明
堤体積	0.944	1.265	2.676	不明	28.768	不明	不明
洪水吐き部の体積	36.699	30.582	51.072	—	—	—	不明
天端標高	255.1	259.1	272.0	240.8	795.5	172.5	220.6
最高水位	252.7 Official Plan Flood	254.5 Official Plan Flood	266.1 Official Plan Flood	240.2 DWL	793.8	169.5 Spillway Design Surchage	213.4 Spillway Design Surchage
湛水面積	44,515,421	37,150,142	32,091,571	13,208,406 DWL	3,156,548	35,488,907 Spillway Design Surchage	5,402,553 Spillway Design Surchage
洪水調節容量	229.4 EL.230.1m~EL.252.7m	206.0 EL.240.2m~EL.259.1m	384.8 EL.238.8m~EL.266.1m	372.5	140.1	231.5 Spillway crest	21.49 flood control pool
堆砂容量	不明	不明	不明	39.5	39.5	5.8 debris	0 Allowance sediment
条数(呑口数)	4	3	2	9	1	6	制御なし4, 制御あり4
ゲート等	なし	なし	なし	スライドゲート	Vertical Lift	Vertical Lift	有(4×6×9)
規模(幅×高さ)	4.5×5.9	4.5×5.0	4.0×3.2	1.5×2.1	1.5×2.6	2.1×3.7	制御なし:1.83×1.98 制御あり:1.83×2.74
放流管部規模	—	—	—	9条:1.5×2.1	上流/ゲート部/下流 φ5.5/1.5×2.6/5.5×2.7	2条:4.1×4.1	制御なし:1.83×1.98 制御あり:1.83×2.74
放流管(径)長さ	12.2	12.2	216.1	不明	上流/ゲート部/下流 307.5/21/176.2	228.6	12.2
呑口部数高	213.6(底部)	237付近(底部)	231.3(底部)	178.3	690.4	140.2	203.61
最大放流量	156	990	340	不明	不明	481	467
ゲートの有無	なし(自由越流)	なし(自由越流)	なし(自由越流)	なし(自由越流)	なし(自由越流)	なし(自由越流)	ドラムゲート×7基
ゲート規模(幅×高さ)	—	—	—	—	—	—	17.37×3.05
幅	40.3	30.5	30.5	167.6	152.4	305	121.62
非常用洪水吐き敷高	249.3	254.5	267.0	231.6	786.4	165.5	213.36/216.41

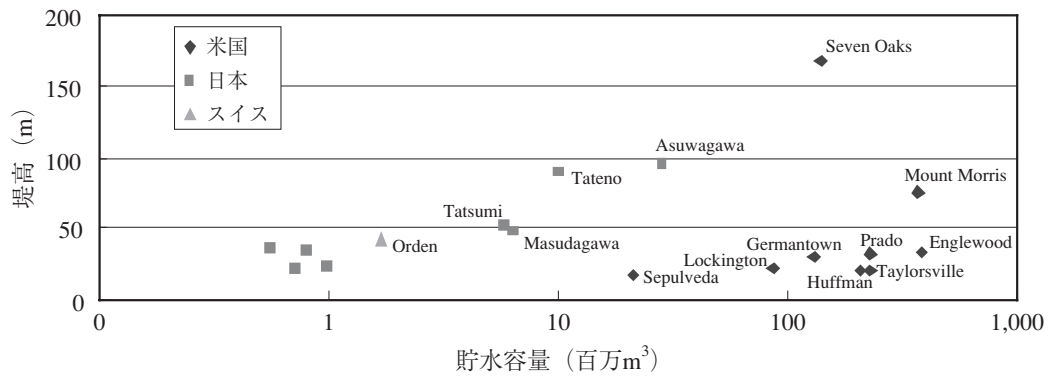


図-2 調査ダム諸元比較

程度もあることから、アースフィルダムを採用することが堤体を最も合理的に建設できるものと考えられる。なお、米国では、常用洪水吐きは堤体中に設置されており、非常用洪水吐きは常用洪水吐きの上部 (Taylorsville, Huffman ダム)、あるいは、別の区画 (Englewood, Prado, Seven Oaks, Sepulveda ダム) に設置される例の両者がある。なお、Sepulveda ダムには洪水吐きゲートとしてドラムゲートが設置されている。

(4) 米国における流水型 (DRY) ダムの歴史

今回の米国調査ダムの中で最も古いものはMCD (Miami Conservancy District) が建設した5ダムである。このMCDはオハイオ州Dayton市を中心とするGreat Miami川の治水事業を実施するために1914年に設立された組織であるが、MCDが建設した5つの洪水調節専用5ダムの計画・設計に従事した重要人物にArthur E. Morgan (1878～1975)がいる。彼は後にTVA (Tennessee Valley Authority) の初代代表 (1933～1938) に就任し、その基礎を築いた人物でもある。

彼の著書「The Miami Conservancy District (McGRAW-Hill, 1951)」にMCDの成立過程、さらには、MCDに流水型ダムを提案した詳細な経緯が記述されている²⁾。注目すべきは、ここで流水型ダムをDRYダムと呼称していることと、MCDダムの建設に当たって、欧州へ事前調査を行い、フランスのロアール (Loire) 川に約200年前のDRYダムの先例 (Pinay, La Roche) を見出していることである。

このうちPinay (1711年完成) ダムは写真-1、図-3のような河道に設置された大きなスリットダムの形態をなしており、例えば1866年の洪水時には図-4のような洪水調節を行ったと推定されている。このダムは洪水を調節するとともに、冬季・春季の洪水時に湛水地内に肥沃な土壌堆積をもたらすことから地元農民から高く



The Pinay Dam on the Loire River in southern France.

写真-1 フランス・ロアール川に建設されたPinayダム (1711年完成)

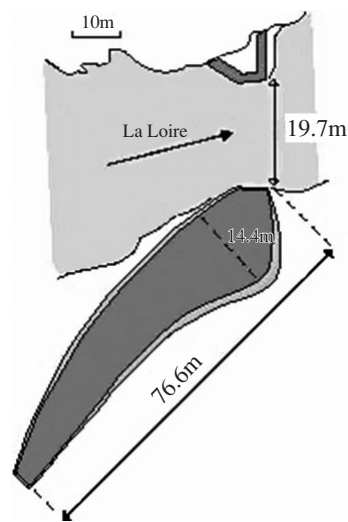
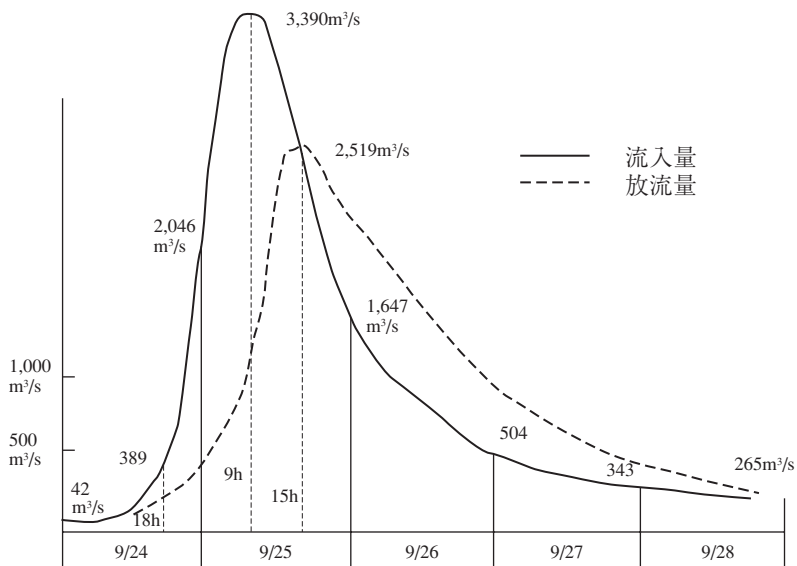


図-3 Pinayダム平面図

評価されており、湛水による農作物の損失 (1%以下) に比較して収穫量の増加 (30～50%) が顕著であったと記述されている。ちなみに、このPinayダムは、下流に建設されたVillerestダム (堤高59m) の湛水地内に



図一 4 1866年9月洪水のPinayダムの調節波形(推定)

位置したことから1984年に廃止・撤去されている。

米国においては、MCDダムの建設に先行して、ミズーリ州のLittle River Drainage Districtにおいて同様な事例があったことがMorganの著書に記載されているが、大規模かつ組織的なプロジェクトとしてはMCDが最初であったものと考えられ、その成功を受けて全米に技術が伝わっていったものと考えられる。

(5) 共通ヒアリング事項

今回の調査で各ダムに共通してヒアリングを行った事項は下記のとおりである。本報告ではこれらの概略を、引き続きその詳細をシリーズとして各メンバーより報告していく予定である。

- * Dry damを含む治水計画
- * Dry damが採用された理由
- * Dry damの洪水調節効果の分析
- * Dry damに対する地元住民の評価
- * Dry damの環境影響(堆砂, 水質, 生態系連続性など)
- * 常用洪水吐きの閉塞問題と対策(土砂, 流木など)
- * 湛水域内の土地権限(他の土地利用方法, 利用制限など)
- * 湛水域内の管理(堆砂, 樹木管理など)

3. MCD (Miami Conservancy District) ダム

(1) 1913年洪水

図一5に示すGreat Miami川流域の中心に位置するDayton市は、周辺含めた都市圏人口80万のオハイオ州第4位の中核都市であり、ライト兄弟の故郷としても有名である。Great Miami川はMississippi川の左支川Ohio



図一 5 Great Miami川流域(オハイオ州)とMCDダム位置図

川の支流であり、10,000 km²以上の流域面積を有し、年間降水量約950 mm程度の肥沃な土壌からなる農地が広がっている。古くはインディアンの町であったが、1800

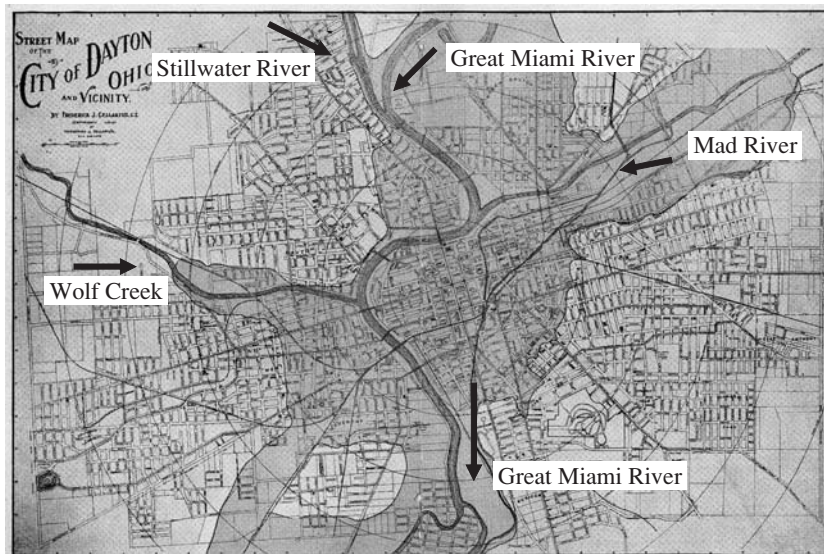


図-6 1913年洪水のDayton市の浸水エリア（図中の着色部分）

年代から入植が開始され、エリー湖と運河で結ばれた1830年代以降水上交通の要所として、また1900年代以降は軍需関係の工業都市として発展した。現在は自動車部品や航空宇宙技術とハイテク機器開発、またライト・パターンソン空軍基地および基地内の国立アメリカ空軍博物館などが有名である。

Dayton市は、図-5に示すようにGreat Miami川とStill Water川とMad川の3川の合流部に位置するため、川沿いに都市が発展した1800年代からしばしば洪水被害に悩まされてきた。1900年代に入って本格的な洪水対策が計画されていた矢先、1913年3月に大洪水が発生した。この洪水は4日間の総雨量が最大で280mm程度の雨量であったが、土地が凍結していたために降雨流出率が極めて高く（87%）、Dayton市で約2,800m³/sの洪水量により洪水氾濫が発生した。図-6にDayton市の浸水エリア、写真-2に中心部の浸水状況を示す。市



写真-2 1913年洪水のDayton市中心部の浸水状況

中心部の建物の1階部分がほぼ水没している様子が伺える。この洪水は360名の死者、\$1億（現在価値で\$20億）の経済損失をもたらすオハイオ州最大の自然災害となった。

（2）MCDの設立と洪水対策計画

この大規模洪水が契機となって抜本的な洪水対策が立案されることとなり、市民23,000人からの\$2百万の基金と地元企業（有力企業としてNCR（キャッシュレジスター会社）など）からの寄付により洪水対策のための組織であるMCD（Miami Conservancy District）が設立された。

MCDの設立に合わせて、初代のMCD代表のEdward A. Deedは、先述のArthur E. Morganらに洪水対策計画の立案を依頼するとともに、全米各地から洪水対策の専門家を招聘し、その中には後にHooverダム計画を指導してダム湖にその名前を残し、その後アメリカ土木学会（ASCE）会長にもなったDaniel W. Mead（1862～1948）も参画している。Morganらが立案した実施可能な洪水対策案の詳細はここでは省略するが、主に、Dayton市で合流する3河川の河道改修（放水路、河床掘削、堤防高上げ、橋梁架け替えなど）や河川上流における洪水調節ダム（5ダム）の建設であった。

（3）DRYダムの選択

これらの案の中から何故洪水調節ダムが、しかもDRYダムとして選定されたか？今回のヒアリングおよびMorganの著書から明らかとなったのは以下の理由と考えられる。

- 1913年の洪水の再度災害防止のために早期に効果

を發揮させる対策が必要であり、放水路や堤防高上げ・河床掘削などは長期間を要する上に高コストとなる

- これに対して、洪水調節ダムは建設後に比較的早期に効果を發揮させることができ、必要最小限の河道改修と組み合わせれば Total コストを大幅に低減させることができる
- ダムの湛水地を全面的に用地買収するとプロジェクトコストが大幅に増大し、MCD の限られた資金では実現が困難となる
- フランスのロアール川の先行事例から明らかのように、湛水地内の農地に対しては、作物生育期には DRY で、洪水時にもみ湛水する形であれば、むしろ肥沃な土壌をもたらして生産性が向上する
- Miami Valley は地下水が豊富であり、利水目的で貯留する必要性が低かった
- Great Miami 川は河況係数が大きく、短期流出による洪水調節にはダムが有効であるが、普段の水量は少なく貯留を行って水力発電を行うほどの効果は小さい

(4) 反対運動と理解促進

このようにして DRY ダムの建設を中心とする洪水対策が提案されたが、以下のような観点からの反対運動も展開された。

- 氷や流木が洪水吐きを閉塞させる
- 最良の農地がダメージを受ける
- 湛水によりマラリアや疾病が発生する
- コストが過少評価ではないか
- 1913 年洪水は過大な洪水ではないか

これらの疑問に対して MCD 代表の Edward A. Deed は、先述の Daniel W. Mead や陸軍工兵隊のエンジニアなどの専門家に計画のレビューを依頼するとともに、説明会の開催や外国の事例を紹介した記事を新聞に連載するなどにより住民の理解促進を図った。このような努力が功を奏して、1913 年の洪水発生からわずか 3 年後の 1916 年に DRY ダムの建設を中心とする Great Miami 川の洪水対策基本計画が正式に承認され実施に移されることとなった。

(5) MCD の DRY ダムの特徴

基本計画を受けて、MCD は 1918 から 1922 年にかけて 5 つの DRY ダムを建設した。図-5 にこれらの所在地を示している。このうち 3 ダム (B, C, D) は Dayton 市に流入する各河川の直上流部に、残りの 2 ダムは Great Miami 川の上流部 (A) と下流部の支川 (E) に位置しており、これらのダム建設と図中に示す一部の堤

防改良により Dayton 市およびその下流に位置する都市部の治水安全度を向上させる計画であった。

5 ダムの堤体は全てアースフィルダムであり、水締め工法 (Hydraulic Fill) で建設されている。洪水吐きはコンクリートで作られ、出口部は水路の幅ののち跳水式減勢工により減勢させて下流河道に接続する形式となっている。

今回の調査で訪問したダムのうち、Taylorsville ダムの全景を写真-3 に、貯水池平面図を図-7 に、また、洪水吐きの上下流および湛水地内の河道部を写真-4~6 に示す。このダムの常用洪水吐きは 4 条構成であり、自由越流型の非常用洪水吐きがその上部に配置されている。このダムの常用洪水吐きは十分大きく、流水の連続性が保たれ、流木についても一部の捕捉が見られたが障害とはならない印象であった。また、写真-6 のように



写真-3 Taylorsville ダム (1921 年完成)



図-7 Taylorsville ダム平面図



写真-4 洪水吐き (Taylorsville ダム)



写真-5 洪水吐き上流側 (Taylorsville ダム)



写真-6 ダム直上流の湛水池内河道 (Taylorsville ダム)



写真-7 Englewood ダム (1921 年完成)



写真-8 洪水吐き (平常時) (Englewood ダム)



写真-9 洪水吐き (洪水時) (Englewood ダム)

湛水地内の河道部も両岸に植生が維持され、従前河道と大きくは変化していない様子であった。

次に、5ダムの中では最も堤高、貯水容量の大きい Englewood ダムの全景を写真-7 に示す。このダムの常

用洪水吐きは2条構成であり、非常用洪水吐きは最右岸に別途設置されている。平常時と洪水時の洪水吐きの状況を写真-8、9 に示すが、洪水時の貯水池側の湛水状況と減勢工部の跳水の発生状況が確認される。これ

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 ダムのお他ダムへの影響

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)などに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

(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

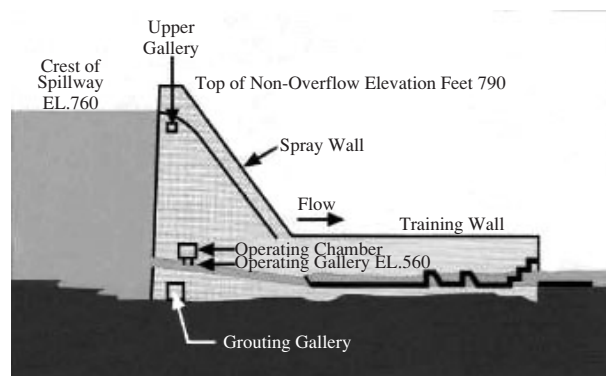


図-8 Mount Morris ダム標準断面図(1952年完成)

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が貯水池内に堆積・捕捉されていること

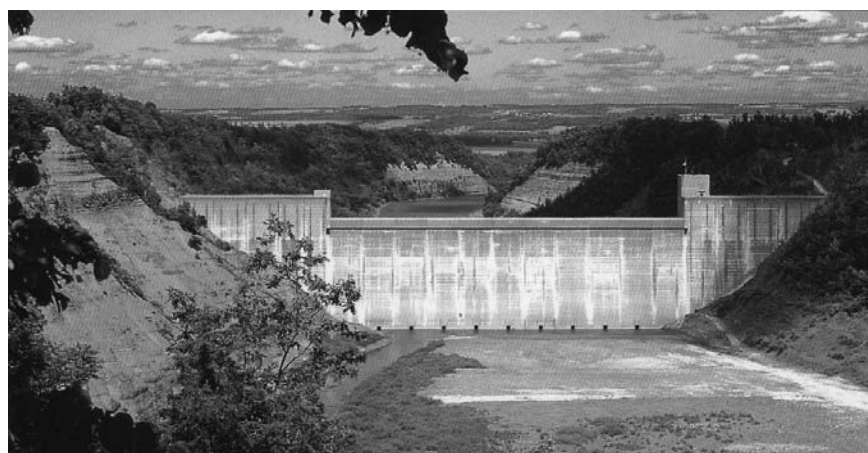
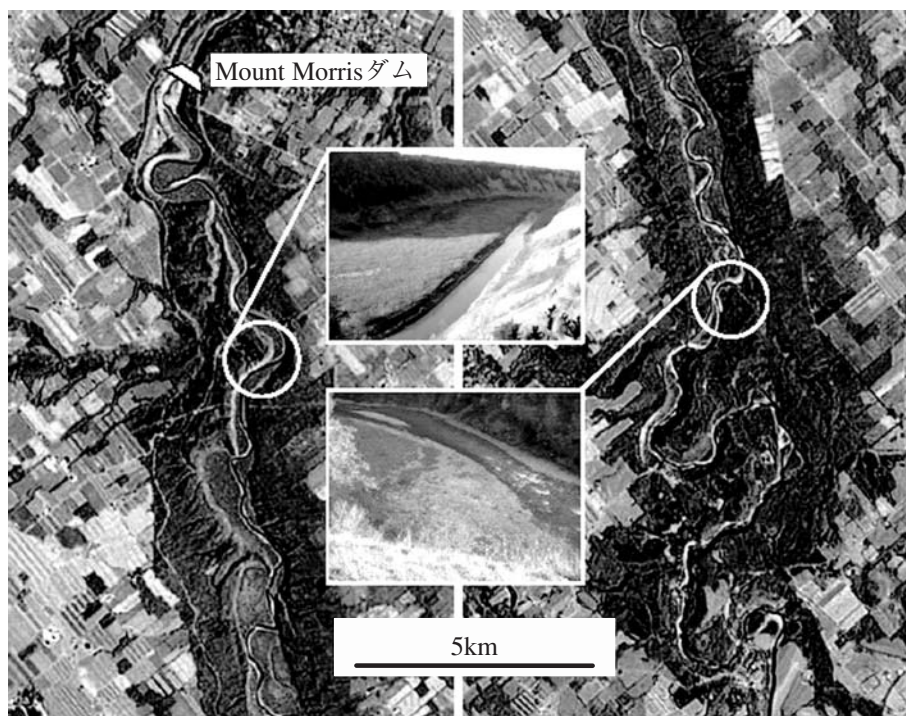


写真-10 ダム上流面(Mount Morris ダム)

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。従って、このダムの場合、DRYダムとすることでその渓谷美が保存されたと見られることもできる。



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

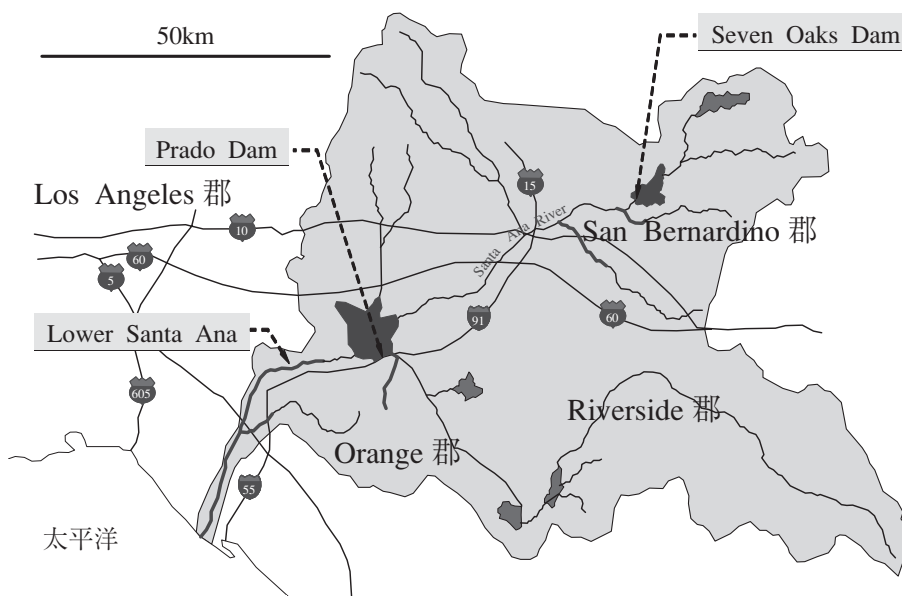


図-10 Santa Ana 川流域図
ダム技術 No.256 (2008. 1)

表一五 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

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が2条（呑口部は拡幅されてゲート6門が設置）、また、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 m^3 ）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

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 167.5 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

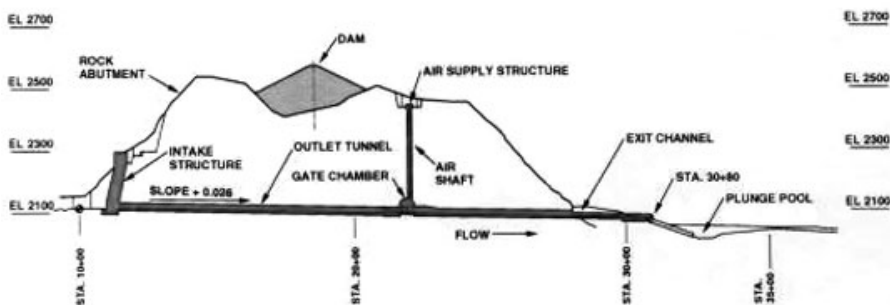


写真-16 Seven Oaks ダム (1999 年完成)

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

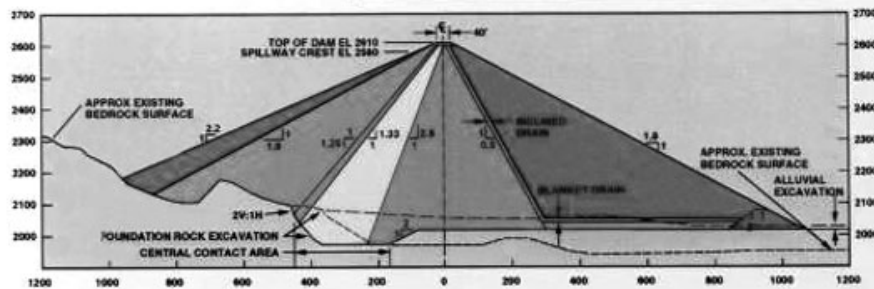


図-11 Seven Oaks ダム (標準断面図および洪水吐き断面図)



写真-17 貯水池内の状況 (Seven Oaks ダム)

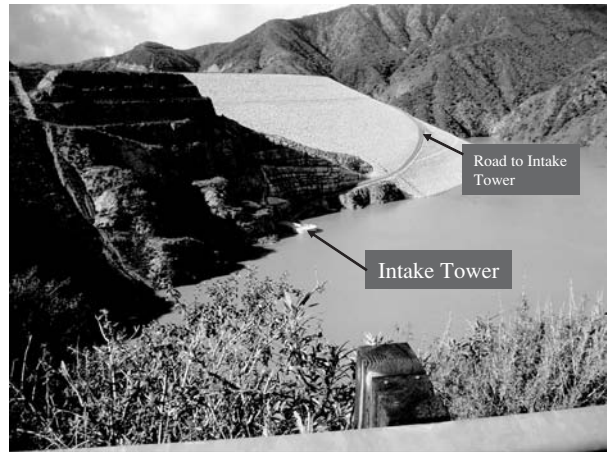


写真-18 2005年洪水貯留中の状況 (Seven Oaks ダム)

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60m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)



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たように、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。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/Toaks.html>
- 9) <http://www.spl.usace.army.mil/resreg/htdocs/spda.html>