

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 4 月 22 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420526

研究課題名(和文) 直列配置された流水型ダム群による効率的な洪水制御手法の開発

研究課題名(英文) Development of an Efficient Flood Control Method Using Multiple Dry Dams
Constructed in Series

研究代表者

押川 英夫(Oshikawa, Hideo)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80311851

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、非常用洪水吐きからのダムの越流を許容する新しい治水の概念に基づき、直列に配置された流水型ダム群の洪水制御能力を強化する手法を開発した。従来の考え方は、直列配置された場合であっても個々のダムで計画高水流量を定め、各ダムが溢れないように洪水処理を行うものである(従来型)。本研究により従来型の流水型ダム群と新しい概念に基づき配置された同じスケールの流水型ダム群(越流型)で洪水制御能力を比較した結果、越流型の最下流のダムからの最大放流量は従来型よりも顕著に小さくなることが分かった。なお、上流側のダムの越流を許容する新たな治水方式は、ゲート操作を行う一般的な貯水型ダム群にも適用可能である。

研究成果の概要(英文)：A new flood control method which permits dams to overflow around an upstream region with a sequence of dams constructed in a river was proposed. Multiple small scale dry dams should be constructed in series instead of a large scale dam in order to prevent flood disaster and preserve the natural environment. Recently a flood control dam with a bottom outlet hole as its regular spillway, known as 'dry dam', has been constructed in Japan. Under a condition of a common reservoir capacity, the new method permitting upstream dams to overflow except for the most downstream dam was compared with a conventional one not to overflow each dam. As a result, it was made clear that the new method using dry dams is much more effective than the conventional one. In this connection, the new method can be applied to normal storage dams with slide gates operated. Therefore, it could become an effective adaptation method for the global warming problem.

研究分野：水工学

キーワード：流水型ダム 洪水制御 河道内遊水池

1. 研究開始当初の背景

近年地球温暖化によると思われる豪雨、干ばつ、台風の強大化などの災害外力の増大が実感されるようになってきた。今後も温暖化による様々な影響が顕在化してくると考えられ、これまでに経験したことがない大規模超過洪水による水・土砂災害の発生も危惧されている。しかしながら、我が国の社会・防災基盤は高度経済成長期に整備されたものが多く、その大部分は老朽化しつつある。東日本大震災などを契機にごく最近では国土強靱化が一部で叫ばれるようになってきているものの、世界的な不況の影響もあり、大規模な防災施設の新設や積極的な施設更新が中長期的に続くとは考えにくく、既存施設の有効利用などの智慧を絞った防災対策が今後益々必要になってくるものと考えられる。

2. 研究の目的

前述のような背景の下で、今後は増大する災害外力と社会の望む自然環境の保全に同時に対応していかなければならない。特に日本では、今時の震災特需を別とした公共事業費の著しい削減や環境への影響に対する危惧感から、ダム建設に代表される大規模な公共工事の実施は極めて困難になってきており、今後は小規模なインフラが重要視されるものと考えられる。そのような中、近年流水型ダム(穴あきダム)の機能が見直され、島根県の益田川ダム、鹿児島県の西之谷ダムに代表されるように各地で計画されて既に施工されるまでになってきた。しかしながら、我が国では比較的小さな農地防災ダムとしては、1970年代頃まで流水型ダムの建設例があったものの、本格的な治水専用ダムとしての例は少ない。既に幾つかの課題も指摘されていることから、今後の研究成果の蓄積による問題解決が望まれている。

そこで本研究は“ダムの非常用洪水吐きからの越流を許容する”という新しい治水の概念に基づき、ダムをより効果的に活用すべく、複数の流水型ダムを直列に配置することによる洪水制御能力を詳細に検討する。すなわち、直列配置された流水型ダム群において、山間部の上流側のダムで非常用洪水吐きから洪水が溢れることを許容することで、一般的にはより重要な下流側に対する洪水制御能力を効率的に引き出すことを考える。

従来のダムによる治水の考え方は、直列に配置されている場合であっても、個々のダム下流で計画高水流量を定め、それぞれのダムが溢れないように洪水処理を行うものである。本研究では、このような従来の考え方に基づいて配置された流水型ダム群(以後、従来型と呼ぶ)と、上記の新しい概念に基づき配置された同じスケールの流水型ダム群(以後、越流型もしくはカスケード方式と呼ぶ)において、洪水制御能力がどのように異なるのかを室内実験により比較・検討した。

3. 研究の方法

本研究では、3基の流水型ダムが連続的に配置された対象流域において、簡単のために上流側からの流入量以外に降雨や支川からの流入等がない状況を設定した。また、後述の結果から明らかなように、本研究ではダムからの顕著なオーバーフロー(堤体上部の非常用洪水吐きからの越流)が頻繁に生じる。しかしながら本研究の流水型ダム群は、上流の山間河川部で河川水位の上昇や越水のある程度許容できる箇所での設置を想定しているため、越流型では流水型ダム群の設置領域全体を実質的な河道内遊水池と見なしており、最下流のダムからのオーバーフローのみが問題となる。

実験には、長さ1400.0cm、幅60.0cm、深さ60.0cm、水路床勾配1/25の直線開水路を用いた(図1参照)。複数のダムの効果の比較を容易にするため、対象とするダムは(常用洪水吐きの断面積を除いて)全て同一とした。

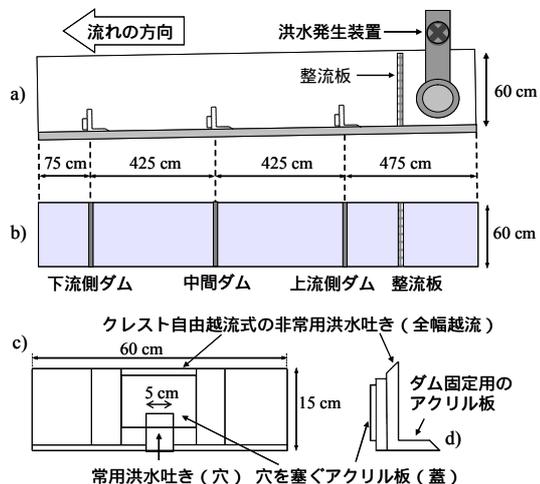


図1 実験装置の概略図 [a)装置全体の側面図, b)平面図, c)ダムの正面図, d)ダムの側面図]

ダムは堤高 $H=15.0\text{cm}$ の長方形断面の垂直壁とし、常用洪水吐きに相当する矩形の穴の横幅は一定で、その断面積の微調整が出来るようになっている。すなわち、穴の下端は水路床であるが、穴を塞ぐアクリル板を上下にスライドさせることで穴の上端の位置の微調整が可能である。なお、ここでは穴の断面積が重要となるため、横幅一杯の穴(すなわち、鉛直2次元の実験)では穴の上端の位置の調整において十分な精度の確保が困難であったことから、穴の横幅 B_0 を 5.0cm と狭くしている。実験における3基のダムは、水路の上流端から 475.0cm 、 900.0cm 、 1325.0cm の位置に設置されている。これらは、ダムが満水のときの貯水池水位が上流側のダムから影響を受けない程度の十分な流下方向の長さを設定している。また、各ダムの非常用洪水吐きに関しては、クレスト自由越流式のゲートレスダム(いわゆる“坊主ダム”)を対象としており、越流する際は全幅で越流する(図1参照)。ダムのベースの部分(ダムを

水路に固定するためのアクリル板 (図 1 参照) などを除いて求められた各ダムの貯水容量は、全ての Case で 3 基ともに $168,750\text{cm}^3$ である。なお、簡単のために堆砂容量等は無視している。

水路上端で発生させる洪水のハイドログラフの作成には、自動制御式のパルプを有する任意の洪水波形の生成可能な洪水発生装置を用いている (図 1 参照)。パルプの開度に応じて配管内の流下能力が変わることを利用しているため、後述の $H-Q$ 曲線の作成と同様に、定常状態を対象に予め作成したパルプの開度と流量に関する検定曲線を利用して、所定のハイドログラフを実現している。

本研究では、3 台のデジタルビデオカメラを用いてそれぞれのダムに水が溜まる (条件によっては越流する) 様子を各ダムの真横から撮影した。この画像から 5.0 秒ごとのダムの堤体直前の水位を判読することでダムの貯水位の時系列データを取得した。さらに、別途水路に一定流量を十分な時間流して定常状態を設定し、ダムの貯水位とその時の測定された流量から各ダムのいわゆる $H-Q$ 曲線を作成した。なお、穴の高さ (断面積) に応じて $H-Q$ 曲線が変わるため、実験において (試行錯誤中の条件を除いて最終的に) 設定された全ての穴の高さごとに $H-Q$ 曲線が得られている。例として後述の Case1 (従来型)、および Case2 (越流型) における $H-Q$ 曲線を図 2 に示す。各ダムの堤高が 15.0cm であることから分かるように、図 2 中の緩勾配部分は越流することなく常用洪水吐きのみから流下している場合の水深で、急勾配部分は越流が生じている場合である。なお、図 2 中の緩勾配部分はトリチェリの定理が示すように水深のほぼ $1/2$ 乗に比例している。これらの $H-Q$ 曲線を用いることで、非定常な水位から流量を換算して求めた。

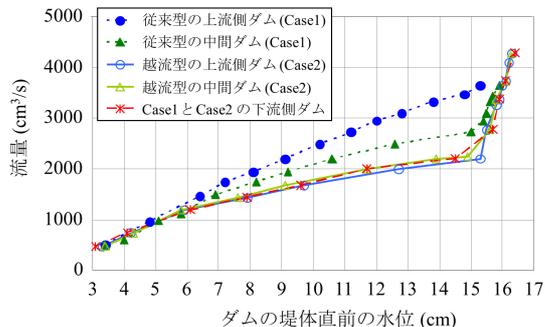


図 2 Case1 および Case2 における $H-Q$ 曲線

4. 研究成果

(1) 実験結果および考察

従来型との比較に基づいて越流型の効果を実験的に検証した。実験における流入波形 Q_{in} としては、平常流量 $66\text{cm}^3/\text{s}$ を十分な時間流した後、ピーク流量 $Q_p=5982\text{cm}^3/\text{s}$ のハイド

ログラフを設定した。実際の流入波形は、後述の図 3 から図 8 中の流入洪水のハイドログラフ (Q_{in}) を参照されたい。また今後、添字 i ($i=1, 2, 3$) は上流側からのダムの番号とする。本節で行われる実験の主な条件と、各ダムからの最大放流量を Q_{imax} とした場合の最下流の 3 基目のダムからの最大放流量 Q_{3max} の結果をまとめて表 1 に示す。なお、表中の最適化とは、非常用洪水吐きからの越流が生じないように常用洪水吐きの大きさを試行錯誤により調整することを意味している。

表 1 主な実験条件と実験結果

	Case1	Case2	Case3
洪水制御方式	従来型	越流型	越流型
最適化	有 (3基全て)	無	有 (最下流)
Q_p [cm^3/s]	5982	5982	5982
Q_{a1} [cm^3/s]	3570	2300	1390
Q_{a2} [cm^3/s]	3030	2300	1390
Q_{a3} [cm^3/s]	2300	2300	1390
Q_{3max} [cm^3/s]	2300	2110	1390

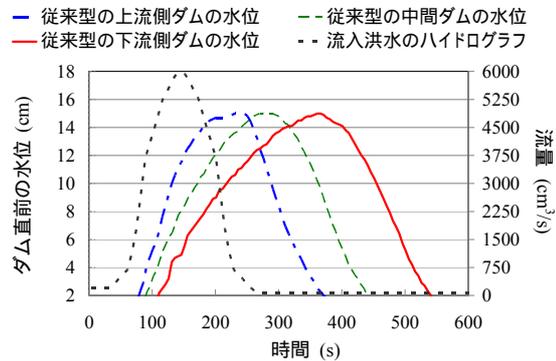


図 3 従来型の流入流量と水位の時系列 (Case1)

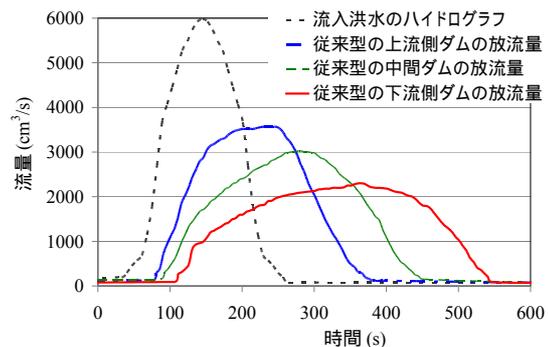


図 4 従来型における流量の時系列 (Case1)

まず、従来型の考え方に基づき、 Q_{in} に対してそれぞれのダムがオーバーフローしない限界の状態を穴の高さ (上端の位置) を変えることで設定した。その結果、ダムの穴の高さは上流側から順に、 6.075cm 、 4.67cm 、 3.745cm となった (Case1)。このときの各ダムの貯水位の時系列を図 3 に示す。これより、各ダムの最高水位がダムの堤高と同じ 15.0cm となっていることから、3 基全てがオーバーフローしない限界の状態に据え付いていることが理解される。ここで、それぞれ

のダムで穴の高さに応じて作成した $H-Q$ 曲線を用いることにより、図3を各ダムからの放流量の経時変化に書き換えた結果を図4に示す。図4より各ダムからの最大放流量を求めると、上流側から順に、 $3570\text{cm}^3/\text{s}$ 、 $3030\text{cm}^3/\text{s}$ 、 $2300\text{cm}^3/\text{s}$ となり、これらが本実験の Q_{in} を基本高水ハイドログラフとする場合の各ダム下流部における計画高水流量 $Q_a (=Q_{ai})$ に相当することになる (表1参照)。

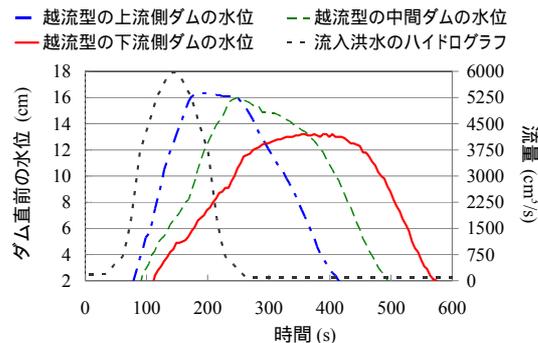


図5 越流型の流入流量と水位の時系列(Case2)

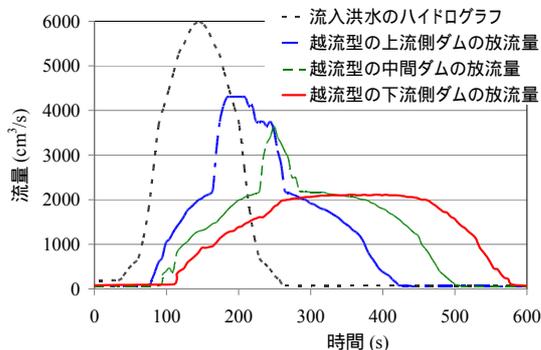


図6 越流型における流量の時系列(Case2)

次に、3基全ての穴の高さを従来型の下流側ダムの穴の高さにそろえて 3.745cm とした越流型の実験を行った(Case2)。これは、3基のダムで満水時の常用洪水吐きからの放流量を同一の $2300\text{cm}^3/\text{s}$ とすることに相当する。

Case2における3基のダムそれぞれの貯水位の経時変化を洪水の流入波形と併せて図5に示す。ダムの堤高が全て 15.0cm であることから、越流型(Case2)では、上流側と中間のダムで溢れているものの、下流側ダムでは越流型に比べて水位が 1.8cm 低く抑えられている。これより越流型にすることで、従来型と比較して洪水制御能力が強化されていることが理解される。ここで、それぞれのダムの $H-Q$ 曲線を用いることで得られた各ダムからの放流量の時系列を図6に示す。図4の従来型(Case1)の下流側ダムからの最大放流量が $2300\text{cm}^3/\text{s}$ であるのに対し、図6の越流型(Case2)の下流側ダムからの最大放流量は $2110\text{cm}^3/\text{s}$ で、 8.3% ピーク流量が低く抑えられている。しかしながら越流型では、図5の結果が示すように下流側ダムで貯水容量(すなわち、洪水制御能力)にまだ余裕がある。

次に上述の結果を踏まえて、越流型ダムの

貯水容量の全てを使用するように、3基の穴の高さを同一のまま、下流側ダムでオーバーフローしない限界まで低くした(Case3)。Case3の貯水位の経時変化を図7に示す。

図7より、Case3では下流側ダムの最高水位が堤高(15.0cm)と等しくなり、貯水容量の全てを使い切っていることがわかる。また、図7を $H-Q$ 曲線によって各ダムからの放流量の経時変化に書き換えたものが図8である。これより、従来型(Case1)の下流側ダムからの最大放流量が $2300\text{cm}^3/\text{s}$ であるのに対し、越流型(Case3)の下流側ダムからの最大放流量は $1390\text{cm}^3/\text{s}$ で、従来型に比べてピーク流量が 40% も低く抑えられていることが分かる。

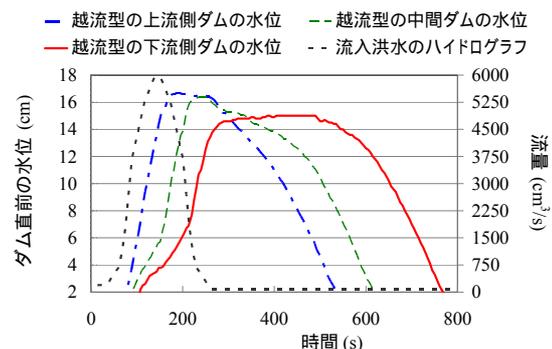


図7 越流型の流入流量と水位の時系列(Case3)

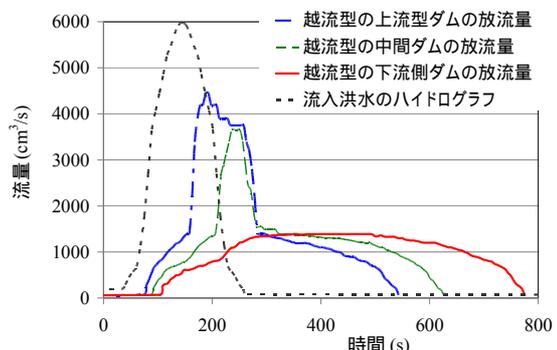


図8 越流型における流量の時系列(Case3)

(2) 研究成果のまとめ

本研究では、複数の流水型ダムが直列に配置された場合、従来の考え方に基づいた非常用洪水吐きからの越流を(積極的に)許容しない流水型ダム群と比較して、山間部の上流側のダムで非常用洪水吐きからの越流を許容することで、一般的にはより重要となる下流側の洪水制御能力が顕著に強化されることを室内模型実験により検証した。

本研究で提案される上流側のダムの越流を許容する新たな治水方式(カスケード方式)は、従来から一般的に用いられているゲート操作を行う貯水型ダム群にも適用可能である。この場合、従来は想定規模を超える場合に止むを得ず行っていた、いわゆる“但し書き操作”を大規模洪水に対してはむしろ積極的に実施することになる。この方法では、既存ダム群の操作方法を変えるだけで更なる洪水制御能力を引き出せるため(既存施設

の有効利用), 今後の地球温暖化による災害外力の増加に対する適応策としても利用価値は極めて高いものと考えられる。なお, 越流型の治水方式では, 上流側のダムから貯水容量を一杯使って洪水制御を行うため, 現行操作では起こり得る, “下流側のダムでは洪水を制御しきれなくて大きな被害が生じたにも拘わらず, 上流側のダムでは貯水容量に余裕が残されていた” というようなダム批判の種は基本的に起こりえない。

流水型ダム群を利用した新たな治水方式の提案である本研究が実用化にまで到れば, 元々環境へのインパクトが少ない流水型ダムの堤体の小型化が図れるため, アースフィルやロックフィルダム型式とすることも考えられる。したがって, 複数の小規模な流水型ダムを河道内遊水池として適切に構築・管理することで, 巨大ダムに依らない環境と調和した持続可能な治水が実現されることになる。すなわち, 本格的な「環境(保全)」と「防災(治水)」の融合が可能になるものと期待される。

<引用文献>

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), “Climate Change 2007: The Physical Science Basis,” Cambridge University Press, 996p., 2007.

日本学術会議、国土・社会と自然災害分科会：提言 地球環境の変化に伴う水災害への適応、2008。

T. Sumi, “Designing and Operating of Flood Retention ‘Dry’ Dams in Japan and USA,” Advances in Hydro-Science and Engineering, Vol.8, pp.1768-1777 (CD-ROM), 2008.

H. Oshikawa, A. Hashimoto, K. Tsukahara, and T. Komatsu, “Impacts of Recent Climate Change on Flood Disaster and Preventive Measures,” Journal of Disaster Research, Vol.3, No.2, pp.131-141, 2008.

M. E. M. Shahmirzadi, T. Sumi, and S. A. Kantoush, “Echo-Friendly Adaptation Design for Stilling Basin of Masudagawa Flood Mitigation Dam,” Proceedings of the International Symposium on Urban Flood Risk Management (UFRIM), pp.69-74, September 2011.

新田福美, 丸田満弘：西之谷ダム(流水型ダム)の概要について、土木技術、65巻、2号、pp.65-67、2010。

中川学：「流水型穴あき式ダム」の安全性・環境影響を問う、

<http://homepage3.nifty.com/nokki/bekkou.pdf>

中島泰裕、押川英夫、小松利光、治水専用穴あきダムの洪水調節能力改善手法に関する研究、河川技術論文集、第15巻、pp.417-422、2009年6月。

T. Sumi, S. A. Kantoush, and A. Shirai, “Worldwide Flood Mitigation Dams: Operating and Designing Issues,”

Proceedings of the International Symposium on Urban Flood Risk Management (UFRIM), pp.101-106, September 2011.

Hideo Oshikawa, Yuka Mito, Toshimitsu Komatsu, Study of Flood Control Capability and Advanced Application of Multiple Dams Constructed in Series, Journal of Disaster Research, Vol.8, No.3, pp.447-455, 2013.

押川英夫、今村友彦、小松利光、治水専用穴あきダムの河道内遊水池としての洪水制御効果に関する研究、土木学会論文集 B1 (水工学)、Vol.67、No.4、pp.I_667-I_672、2011。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計9件)

Hideo Oshikawa, Yuka Mito, Toshimitsu Komatsu, An Experimental Study on Flood Control Capability of Dry Dams Constructed in a Series, Journal of Disaster Research, Vol.10, No.3, pp.467-474, 2015, 査読有
DOI: 10.20965/jdr.2015.p0467

Hideo Oshikawa, Toshimitsu Komatsu, Flood Control Mechanism of Multiple Dams Constructed in a Series Based on Cascade Method, Journal of Disaster Research, Vol.10, No.3, pp.475-485, 2015, 査読有
DOI: 10.20965/jdr.2015.p0475

押川英夫、小松利光、カスケード方式に基づく直列配置された流水型ダム群の洪水制御能力の評価、土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.71、No.4、pp.I_1417-I_1422、2015、査読有。

押川英夫、小松利光、カスケード方式に基づく直列配置されたダム群の洪水制御機構、土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.70、No.4、pp.I_1555-I_1560、2014、査読有。

Akira Tai, Hideo Oshikawa, Toshimitsu Komatsu, New Development of Functions of a Dry Dam for an Adaptation to Climate Change, Journal of Disaster Research, Vol.9, No.1, pp.78-85, 2014, 査読有
DOI: 10.20965/jdr.2014.p0078

Hideo Oshikawa, Toshimitsu Komatsu, Flood Control Capability of Dry Dams Constructed in Series, Proceedings of the 35th IAHR World Congress, Vol.35, A11171 (USB, 9p.), 2013, 査読有。

押川英夫、三戸佑夏、小松利光、直列配置された流水型ダム群の洪水制御効果、水利科学、第57巻、第3号、pp.33-50、2013、査読有。

[学会発表](計9件)

小松利光、気候変動下のこれからの治水対策について、平成27年度自然災害総合研究班西部地区部会・研究発表会、2016年2月5日、九州大学西新プラザ(福岡

県福岡市).

押川英夫、流水型ダムによる今後の水・土砂災害への適応、地球温暖化時代の水・土砂災害適応策シンポジウム -九州から全国へ向けて、2015年3月20日、九州大学筑紫キャンパス(福岡県春日市).

押川英夫、カスケード方式に基づく直列配置された流水型ダム群の洪水制御能力の評価、第59回水工学講演会、2015年3月12日、早稲田大学西早稲田キャンパス(東京都新宿区).

押川英夫、ダムによる今後の水・土砂災害への適応、地球温暖化時代の水・土砂災害適応策シンポジウム -九州から全国へ向けて、2014年12月10日、佐賀大学本庄キャンパス(佐賀県佐賀市).

押川英夫、河川災害への適応策の取り組み、地球温暖化時代の水・土砂災害適応策シンポジウム -沖縄から全国へ向けて、2014年5月8日、沖縄県庁(沖縄県那覇市).

Hideo Oshikawa, Research on Dry Dams for Flood Control and Flood Surge, Flood Disaster Prevention (Special Seminar), 2014年3月20日, Makassar (Indonesia).

押川英夫、カスケード方式に基づく直列配置されたダム群の洪水制御機構、第58回水工学講演会、2014年3月5日、神戸大学六甲台第2キャンパス(兵庫県神戸市).

Hideo Oshikawa, Flood Control Capability of Dry Dams Constructed in Series, 35th IAHR World Congress, 2013年9月13日, Chengdu (China).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

押川 英夫 (OSHIKAWA, Hideo)

佐賀大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号：80311851

(2) 研究分担者

小松 利光 (KOMATSU, Toshimitsu)

九州大学・大学院工学研究院・特命教授

研究者番号：50091343