

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04624

研究課題名(和文) 跳水内部の空気混入と流速の特性に対する模型縮尺の影響

研究課題名(英文) Effects of model scale on characteristics of void fraction and velocity in hydraulic jumps

研究代表者

高橋 正行 (TAKAHASHI, Masayuki)

日本大学・理工学部・教授

研究者番号：10318363

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：スルースゲート下流側の射流の流速・水面変動特性に対する縮流部フルード数の影響が示された。また、射流の乱流境界層発達状態と水面変動の関係が示され、十分な乱れの発達に必要な流下距離が示された。流入射流の乱流境界層が未発達の場合の跳水(UD)と十分に発達した場合の跳水を対象に、跳水内部の流速特性が示され、跳水内部の流速特性に対する流入射流の乱流境界層発達状態の影響が明確にされた。また、UDを対象に、跳水内部の空気混入率・流速分布が示され、空気混入率と流速特性に対するレイノルズ数の影響が示された。以上より、跳水内部の空気混入率・流速特性に対して粘性の影響を無視できないレイノルズ数の範囲が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

開水路流現象の多くは、原型での水理現象にフルード相似則を適用して水理模型実験で再現し、実験結果に基づいて水工設計する手法が用いられている。しかし、模型縮尺を小さくしすぎると粘性の影響が大きくなってしまい、原型と異なる流れになることが知られている。跳水を対象とする場合については、本研究課題成果によって、レイノルズ数の大きさが30000から60000よりも大きくなると、空気混入率と流速特性に対するレイノルズ数の効果は認められないことが示された。この成果によって、水理模型実験を行う場合、レイノルズ数の大きさが30000よりも小さい場合は、河川や水路などで生じる原型の現象を再現できないことが示された。

研究成果の概要(英文)：Effects of Froude number on velocity characteristics and water surface fluctuations are shown for a given Reynolds number. It is illustrated that water surface begins to fluctuate slightly upstream of the critical point. The water-surface fluctuations and turbulence intensities downstream of the critical point are obtained, demonstrating the length required for the water-surface fluctuations and turbulence intensities to fully develop.

For a given Reynolds number and Froude number, velocity characteristics in hydraulic jumps are investigated under both undeveloped and fully developed inflow conditions, showing the effects of boundary layer development on velocity characteristics in hydraulic jumps. For undeveloped inflow conditions, the experimental investigations reveal characteristics of velocity and air-concentration in hydraulic jumps, clarifying the effect of Reynolds number on hydraulic characteristics in hydraulic jumps.

研究分野：水工水理学

キーワード：跳水 射流 エネルギー減勢 空気混入率 流速特性

### 1. 研究開始当初の背景

開水路流の現象の多くは、重力と慣性力の比で表されるフルードの相似則を適用して原型での水理現象を再現し、水工設計する手法が用いられている。しかしながら、原型で生じている水理現象を模型実験で解明しようとする場合、模型縮尺を小さくしすぎてしまうと粘性の影響が大きくなってしまい、原型とは異なった流れになってしまう。原型の現象が重力の影響を支配的に受ける場合には、ある程度以上の水路の規模や流量が必要であることは経験的に実験的研究を行う一部の研究者や技術者に知られているものの、広く一般には知られていない。研究代表者らの研究によって、模型縮尺の影響と呼ばれているものはレイノルズ数の影響によるものと推定されることが示された<sup>1)</sup>。これによって、フルード相似則を適用して原型での水理現象を縮尺模型の水理実験で再現するためには、対象とする流れの水理量に対してレイノルズ数の影響を無視できるように実験条件を選定する必要があるものと理解される。すなわち、模型規模をどの程度大きくすれば原型で生じる水理現象をとらえられるかということが学術的な問いとして重要であり、実務上も問われることが多い。近年、種々の水理現象に対してレイノルズ数の影響の無視しうる範囲を明らかにしようとする試みがなされている<sup>2),3)</sup>ものの、解明しようとする水理量に対して系統的にレイノルズ数を変化させた実験によって抽出した結果ではないため、さらなる検討が必要である。

開水路流れには種々の水理現象があるが、本研究課題ではエネルギー減勢構造物に利用されている跳水を対象にする。ゲート下流側に形成される跳水の流況は、従来、跳水始端のフルード数  $F_1 (=V_1/(gh_1)^{0.5})$ 、 $h_1$  は跳水始端水深、 $V_1$  は跳水始端断面の断面平均流速) によって変化するとされている<sup>4)</sup>。研究代表者らの研究によって、スルースゲート下流側に形成される跳水の流況については、跳水始端のフルード数  $F_1$  ばかりではなく、レイノルズ数  $R (=V_1 h_1 / \nu ; \nu$  は動粘性係数)、跳水始端断面での乱流境界層の発達状態、跳水始端のアスペクト比  $B/h_1$  ( $B$  は水路幅) によって変化することが示されている<sup>5),6)</sup>。すなわち、跳水始端断面における乱流境界層の発達状態とフルード数  $F_1$  を一定にしてもレイノルズ数  $R$  が小さくなると粘性の影響が大きくなり、跳水の流況が変化することが示されている。しかしながら、広範囲な水理条件に対する模型の縮尺効果に対する系統的研究はなされておらず、フルード相似則を用いて水理設計するために必要な水理実験の規模が十分には明らかにされていない。以上のことから、広範囲なフルード数  $F_1$  に対してレイノルズ数  $R$  が空気混入メカニズム、空気混入率  $C$ 、および跳水内部の流速特性に与える影響については不明であるため、さらなる系統的实验による研究が待たれていた。

### 2. 研究の目的

スルースゲート下流側に形成される跳水を対象とし、系統的实验によって跳水の流況および跳水内部の流速や空気混入特性に対する模型の縮尺効果を明らかにすることを目的とする。申請者らのこれまでの研究<sup>1)</sup>によって、ゲート下流側に形成される跳水の空気混入率を考える場合、模型の縮尺効果とはレイノルズ数  $R$  が水理量に与える影響のこととなる。なぜならば、代表長さの選び方によって、表面張力の影響を示す無次元量であるウェバー数  $W$  をフルード数とレイノルズ数とで表現できる<sup>1)</sup>ためである。また、これまで空気混入流において模型の縮尺効果と漠然と呼ばれているものが、基本無次元量の一つであるレイノルズ数  $R$  で示されることを明らかにすることで、原型の水理現象を模型実験によって解明しようとするときにフルード相似則を適用できるレイノルズ数  $R$  の範囲を明確にすることが期待される。

本研究課題では、(1)ゲート下流側に形成される射流の特性に対するレイノルズ数  $R$  の影響；(2)跳水の流況に対するレイノルズ数  $R$  の影響；(3)跳水内部の空気混入特性に対するレイノルズ数  $R$  の影響；(4)跳水内部の流速特性に対するレイノルズ数  $R$  の影響を明らかにする。これらによって、跳水の流況や跳水内部の流速や空気混入率に対するレイノルズ数の影響を実験的検討によって示し、これまで曖昧に表現されていた「模型の縮尺効果」を明確にすることを目的としている。

### 3. 研究の方法

目的の(1)を検討するため、スルースゲートを有する水路幅  $B=0.40\text{m}$  の滑面長方形断面水平水路を用いて、縮流部のフルード数  $F_0 (=V_0/(gh_0)^{0.5})$ ； $V_0$  は縮流部断面の断面平均流速、 $h_0$  は縮流部断面の水深)とレイノルズ数  $R$  を系統的に変化させ、射流の流下方向の瞬間流速  $u$  は二次元レーザードップラー流速計を用いて測定された。また、時間平均流速  $\bar{u}$  と乱れ強さ  $\sqrt{u'^2}$  を求めた。時間平均水深  $\bar{h}$  および水面変動  $\sqrt{h'^2}$  は超音波水位計を用いて測定された。なお、水面変動していない射流水深  $h$  については、ポイントゲージを用いて測定された。なお、全ての測定は水路中央面で行われた。

目的の(2)を検討するため、スルースゲートを有する水路幅  $B=0.40\text{m}$  の滑面長方形断面水平水路を用いて、縮流部のフルード数  $F_0 (=V_0/(gh_0)^{0.5})$ ； $V_0$  は縮流部断面の断面平均流速、 $h_0$  は縮流部断面の水深)を 8.0 の一定値にしてレイノルズ数  $R$  を系統的に変化させた。ここに、跳水始端断面がゲート下流側の縮流部となっている跳水を Undeveloped inflow condition の跳水と呼ぶ。

Undeveloped inflow condition の跳水では、跳水始端断面のフルード数  $F_1$  は  $F_0$  と等しい。跳水への空気混入状況を観察するため、高速度ビデオカメラとデジタルカメラを用いて流況を記録した。

目的の (3) を検討するため、スルースゲートを有する水路幅  $B=0.40\text{m}$  の滑面長方形断面水平水路を用いて、Undeveloped inflow condition の跳水を対象に、縮流部のフルード数  $F_0=7.2$  の一定値にしてレイノルズ数  $R$  を系統的に変化させた。空気混入率  $C$  (=空気の体積/(空気の体積+水の体積)) は、2点電極型ボイド率計を用いて水路中央面で測定された。

目的の (4) を検討するため、スルースゲートを有する水路幅  $B=0.40\text{m}$  の滑面長方形断面水平水路を用いて、Undeveloped inflow condition の跳水を対象に、縮流部のフルード数  $F_0=5.2$  の一定値にしてレイノルズ数  $R$  を系統的に変化させた。跳水内部の流下方向瞬間流速  $u$ 、鉛直方向瞬間流速  $v$ 、横断方向瞬間流速  $w$  は三次元電磁流速計を用いて測定された。また、各方向の時間平均流速  $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ 、 $\bar{w}$  と各方向の乱れ強さは  $\sqrt{u'^2}$ 、 $\sqrt{v'^2}$ 、 $\sqrt{w'^2}$  の値は間接的に求められた。

#### 4. 研究成果

##### (1) スルースゲート下流側の射流の特性

スルースゲート下流側の射流の水力特性に対する縮流部フルード数  $F_0$  の影響を明らかにするため、与えられた  $R=7 \times 10^4$  に対して、 $4 \leq F_0 \leq 8$  の範囲で  $F_0$  を系統的に変化させ、射流の流速分布・乱れ強さ分布・水面変動の大きさについて検討を行った。与えられた  $R=7 \times 10^4$  に対して、 $F_0=4 \sim 8$  の範囲では、developing flow での無次元化された流速分布、乱れ強さ分布、水面変動の特性に対する  $F_0$  の変化の影響は認められなかった<sup>7), 8)</sup>。また、縮流部から評価断面までの距離  $x$  と乱流境界層厚  $\delta$  が水面に到達する断面までの縮流部からの距離  $x_{cp}$  との比  $x/x_{cp}$  の値によって、射流水面の流況が異なることを明確にした<sup>7), 8)</sup> (図 1 参照)。すなわち、 $0 < x/x_{cp} < 0.5$  の場合 (図 1a 参照)、水面は滑らかで凹凸と変動が認められないことが示された。また、 $0.6 < x/x_{cp} < 1.0 \sim 1.5$  の場合 (図 1b, c 参照)、 $x/x_{cp}$  の増加に伴い水面の凹凸と変動が大きくなること示された。さらに、 $x/x_{cp} > 1.0 \sim 1.5$  の場合 (図 1d 参照)、水面の凹凸と変動の大きさはほぼ一定で十分に大きくなることが示された<sup>7), 8)</sup>。

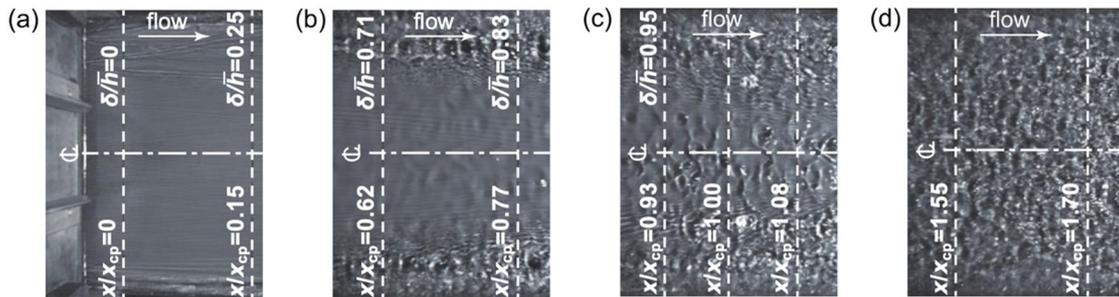


図 1 ゲート下流側の射流水面の変動<sup>8)</sup> ( $F_0=8, R=7 \times 10^4$ )

ゲート下流側の射流の流速特性に対するレイノルズ数  $R$  の影響を調べるため、縮流部のフルード数  $F_0$  を  $F_0=8$  の一定値にして  $R$  の大きさを  $3 \times 10^4 \leq R < 9 \times 10^4$  の範囲で系統的に変化させた。その結果、無次元化された乱れ強さの分布に対するレイノルズ数  $R$  の影響は認められなかった。さらに、 $R=9 \times 10^4$  の場合、解析的に求めた水面形と乱流境界層厚は実験値と比較し概ね一致することを実証した<sup>8)</sup>。

##### (2) 跳水の流況に対するレイノルズ数の影響

ゲート下流側に形成される跳水の流況については、跳水始端のフルード数  $F_1$  ばかりでなく、射流の境界層発達状態  $\delta/h_1$  ( $\delta$  は乱流境界層厚)、跳水始端断面のアスペクト比  $B/h_1$  によって変化することが示されている<sup>5)</sup>。また、 $B/h_1 \geq 10$  かつ流入射流の乱流境界層が十分に発達している

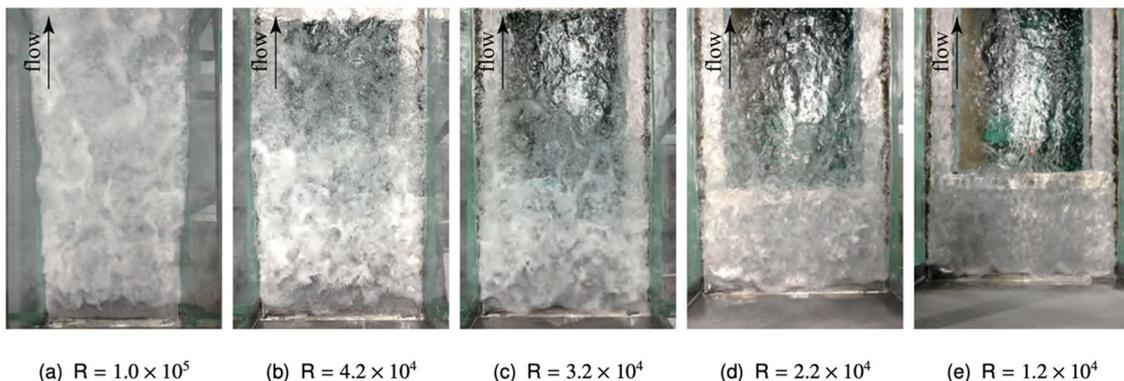


図 2 Undeveloped inflow condition の跳水の流況<sup>9)</sup> ( $F_1=7.2$ )

Fully Developed inflow condition の跳水に対して、

$$\text{跳水の流況} = f(F_1, R) \quad (1)$$

の関係で整理すると、nonbreaking undular jump, breaking undular jump, weak jump, oscillating jump, steady jump に分類される<sup>1),4)</sup>。跳水始端断面を縮流部に位置させた場合については、跳水の流況に対して、式(1)の関係で整理できるものと考えられる。

跳水始端断面をゲート下流側の縮流部に位置させた場合の跳水(undeveloped inflow condition の跳水)を対象に、与えられた跳水始端断面のフルード数  $F_1=7.2$  に対してレイノルズ数  $R$  を  $12000 \leq R \leq 100000$  の範囲で系統的に変化させ、跳水をデジタルカメラで水路上部から撮影した静止画の一例を図 2 に示す。図 2 に示されるように、 $R$  の大きさによらず、左右対称で安定的な表面渦が形成され、steady jump の流況が観察された。  $42000 \leq R \leq 100000$  の場合 [ 図 2a, 図 2b 参照 ], 跳水内部の気泡混入量は多く、表面渦の逆流域全体に気泡が混入している。また、 $R \leq 32000$  の場合 [ 図 2c, 図 2d, 図 2e 参照 ],  $R$  の値の減少とともに跳水中の気泡混入量が減少している<sup>9)</sup>。

### ( 3 ) 跳水内部の流速特性

跳水内部の流速特性は、 $F_1, R$ , および跳水に流入する射流の乱流境界層の発達状態によって変化するものと考えられる。したがって、跳水内部の流速特性に対するレイノルズ数の影響を明確にするためには、流入射流の乱流境界層の発達状態が流速特性に与える影響を明らかにする必要がある。跳水始端断面のフルード数  $F_1=7.2$  かつレイノルズ数  $R=6.2 \times 10^4$  を対象に、流入射流の乱流境界層の発達状態が Undeveloped inflow condition の跳水 (UD と略す) と Fully developed inflow condition の跳水 (FD と略す) の場合の跳水内部の流速と乱れ強さの特性を実験的に検討した。その結果、図 3 に示されるように、跳水内部の流下方向時間平均流速分布は二次元壁面噴流の流速分布と類似な分布になることを確認した<sup>10)</sup>。また、最大流速が生じる相対高さおよび相対半値幅は、それぞれ FD のほうが UD よりも大きくなった。一方、跳水始端水深で無次元化された相対流下距離が同一な場合、跳水始端断面平均流速で無次元化された相対最大流速については、UD と FD とで同程度の大きさとなった<sup>10)</sup>。また、各方向の乱れ強さの鉛直方向分布が示された。さらに、跳水の上下流端で囲まれる領域を検査領域に選び、検査領域表面でのレイノルズ応力による仕事の大きさが示された。さらに、乱れの対流項の大きさが示された<sup>10)</sup>。これらの結果から、乱れの対流項が十分に小さくなり、エネルギー損失を完了するために必要な跳水の長さが示された<sup>10),11)</sup>。

跳水内部の流速特性に対する検討については、undeveloped inflow condition の跳水を対象に、跳水始端断面のフルード数  $F_1=5.2$  とし、レイノルズ数  $R$  の値を  $10000 \leq R \leq 100000$  の範囲で系統的に変化をさせた場合の流速特性を実験的に検討した。その結果、跳水内部の流速特性に対するレイノルズ数の影響が示された。また、跳水内部の乱れ強さに対するレイノルズ数の影響が示された。さらに、跳水内部のエネルギー収支に対するレイノルズ数の影響が示された。

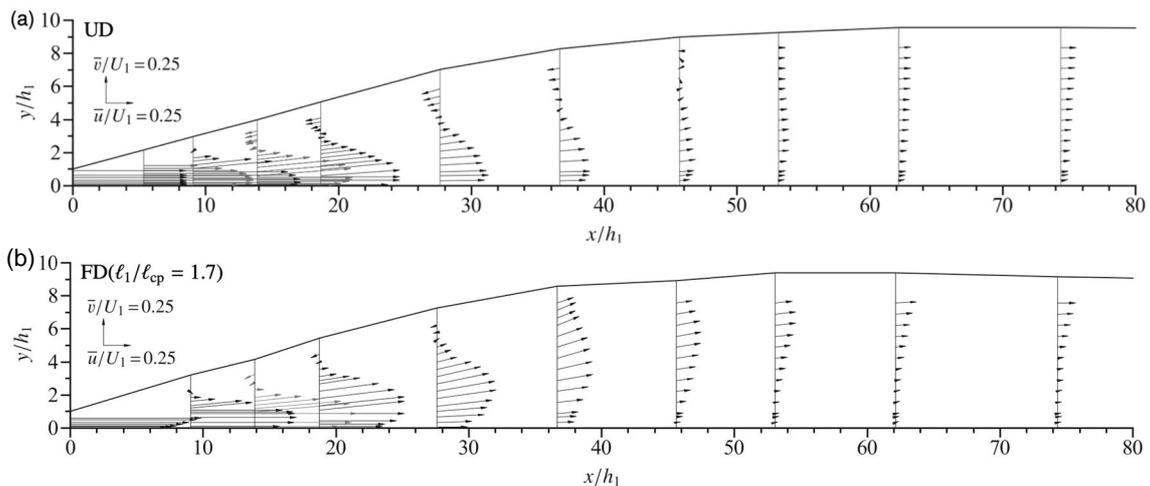


図 3 跳水内部の時間平均流速の分布の一例<sup>10)</sup> ( $F_1=7.2, R=6.2 \times 10^4$ )

### ( 4 ) 跳水内部の空気混入特性に対するレイノルズ数の影響

跳水内部の空気混入特性については、Undeveloped inflow condition の跳水を対象に、跳水始端のフルード数  $F_1$  を  $F_1=5$  と  $7$  の場合を対象に、レイノルズ数  $R$  の値を  $10000 \leq R \leq 100000$  の範囲で系統的に変化をさせた実験を行い、跳水内部の空気混入率の測定を行った。その結果、図 4 に示されるように、レイノルズ数  $R = 4 \times 10^4 \sim 6 \times 10^4$  の場合、 $R$  の値が小さくなると跳水内部の空気混入率が小さくなった<sup>9)</sup>。一方、 $R > 4 \times 10^4 \sim 6 \times 10^4$  の場合、 $R$  に関わらず跳水内部の空気混入率の大きさは一定であることが示された<sup>9)</sup>。

以上より、本研究課題の検討の範囲では、 $R > 4 \times 10^4 - 6 \times 10^4$  の場合；( 1 ) スルースゲート下流側の射流の水面変動と流速特性に対するレイノルズ数の影響は無視できる；( 2 ) 跳水の流況特性に対するレイノルズ数の影響は無視できる；( 3 ) 跳水内部の時間平均流速特性に対するレイノルズ数の影響は無視できる；( 4 ) 跳水内部の空気混入率分布特性に対するレイノルズ数の影響は無視できることが示された。一方、 $R < 3 \times 10^4$  の場合、跳水内部の空気混入率・流速特性に対するレイノルズ数の影響が明らかにされた。

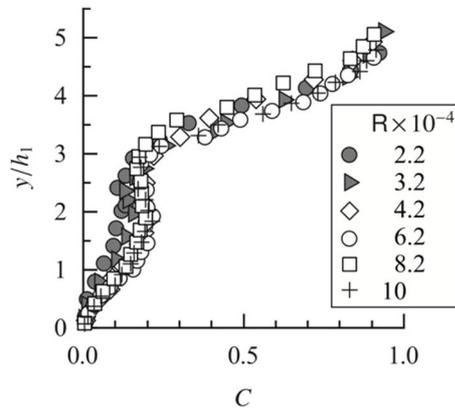


図 4 空気混入率分布に対するレイノルズ数の影響の一例<sup>9)</sup> ( $F_1=7.2$ ,  $UD$ ,  $x/h_1=14$ )

<引用文献>

- 1) 高橋正行, 内田健太, 大津岩夫, 跳水の流況と空気混入特性に対するレイノルズ数の影響, 土木学会論文集B1(水工学), 土木学会, 74(4), I\_625-I\_630, 2018.
- 2) Heller, V., Scale effects in physical hydraulic engineering models, Journal of Hydraulic Research, Vol.49, No.3, pp.293-306, 2011.
- 3) Heller, V., Self-similarity and Reynolds number invariance in Froude modelling, Journal of Hydraulic Research, Vol.55, No.3, pp.293-309, 2017.
- 4) Chow, V. T., Open channel hydraulics, McGraw-Hill, New York, 1959.
- 5) Ohtsu, I., Yasuda, Y., Takahashi, M., Discussion of energy dissipation and turbulent production in weak hydraulic jumps, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 137(8), 860-862, 2011.
- 6) Ohtsu, I., Yasuda, Y., Takahashi, M., Discussion of particle image velocity measurements of undular and hydraulic jumps, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 135(5), 434-436, 2009.
- 7) Satoh, R., Takahashi, M., Ohtsu, I., Characteristics of supercritical flow below a sluice gate in a horizontal channel, E-proceedings of the 38th IAHR World Congress, 4109-4118.
- 8) Satoh, R., Takahashi, M., Effect of boundary-layer development on the water-surface fluctuations of supercritical flow below a sluice gate, 8<sup>th</sup> International Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures, 163-170, 2023.
- 9) 佐藤柳言, 高橋正行, ゲート直下に形成される跳水の空気混入特性に対するレイノルズ数の影響, 土木学会論文集, 80(16), 23-16046-1-23-16046-7, 2024.
- 10) 佐藤柳言, 高橋正行, 跳水の流速特性に対する流入射流の境界層発達状態の影響, 土木学会論文集B1(水工学), 78(2), I\_631-I\_636, 2022.
- 11) Takahashi, M., Satoh, R., Ohtsu, I., Discussion of effect of inflow conditions on the free-surface properties of hydraulic jumps, Journal of Hydraulic Research, 61(6), 920-923, 2023.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Masayuki Takahashi, Ryugen Satoh, Iwao Ohtsu	4. 巻 61(6)
2. 論文標題 Discussion of Effect of Inflow Conditions on the Free-Surface Properties of Hydraulic Jumps	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Hydraulic Research	6. 最初と最後の頁 920-923
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/00221686.2023.2283351	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 佐藤柳言, 高橋正行	4. 巻 80(16)
2. 論文標題 ゲート直下に形成される跳水の空気混入特性に対するレイノルズ数の影響	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 土木学会論文集	6. 最初と最後の頁 16016(1-7)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 佐藤柳言, 高橋正行	4. 巻 78(2)
2. 論文標題 跳水の流速特性に対する流入射流の境界層発達状態の影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_631-I_636
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Ryugen Satoh, Masayuki Takahashi, Iwao Ohtsu	4. 巻 -
2. 論文標題 Physical Meaning of the Length of Classical Hydraulic Jumps in a Horizontal Rectangular Channel	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 39th IAHR World Congress	6. 最初と最後の頁 2324-2332
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3850/IAHR-39WC2521716X2022832	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Ryugen Satoh, Masayuki Takahashi, Iwao Ohtsu	4. 巻 -
2. 論文標題 Effect of Boundary-Layer Development on the Water-Surface Fluctuations of Supercritical Flow below a Sluice Gate	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 8th IAHR International Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures -- 8th IJREWS, 5-8 July 2021	6. 最初と最後の頁 163-170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.26077/6f4d-62c1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 佐藤柳言, 高橋正行, 大津岩夫	4. 巻 77(2)
2. 論文標題 長方形断面水平水路の跳水の長さエネルギー損失との関係	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集 A2(応用力学)	6. 最初と最後の頁 I_457-I_466
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ryugen Satoh, Masayuki Takahashi, Iwao Ohtsu	4. 巻 -
2. 論文標題 Characteristics of supercritical flow below a sluice gate in a horizontal channel	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 E-proceedings of the 38th IAHR World Congress	6. 最初と最後の頁 4109-4118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3850/38WC092019-1295	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 佐久間光希, 酒井悠輔, 佐藤柳言, 高橋正行
2. 発表標題 スルースゲート直下に形成される跳水の空気混入特性に対するレイノルズ数の影響
3. 学会等名 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三井洋平, 榊原瑞生, 佐藤柳言, 高橋正行
2. 発表標題 定常跳水の乱れ強さの特性に対する流入射流の境界層発達状態に関する実験的検討
3. 学会等名 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐久間光希, 佐藤柳言, 高橋正行
2. 発表標題 スルースゲート直下に形成される跳水の空気混入特性に対するレイノルズ数の影響
3. 学会等名 令和5年度(第67回)日本大学工学部学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三井洋平, 佐藤柳言, 高橋正行
2. 発表標題 ゲート直下に形成される定常跳水の流速分布と乱れ強さ分布に関する実験的検討
3. 学会等名 令和5年度(第67回)日本大学工学部学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三井洋平, 佐藤柳言, 高橋正行
2. 発表標題 ゲート直下に形成される定常跳水の流速と乱れ強さ特性に関する実験的検討
3. 学会等名 日本大学工学部第66回学術研究報告会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐久間光希, 佐藤柳言, 高橋正行
2. 発表標題 スルースゲート直下に形成される跳水の空気混入特性に対するレイノルズ数の影響
3. 学会等名 日本大学工学部第66回学術研究報告会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤柳言, 高橋正行
2. 発表標題 長方形断面水平水路に形成される自由跳水の流速特性に対する流入射流の境界層発達状態の影響
3. 学会等名 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中島直樹, 佐藤柳言, 高橋正行
2. 発表標題 スルースゲート下流側に形成される射流の水面変動に対するレイノルズ数の影響
3. 学会等名 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤柳言, 高橋正行
2. 発表標題 長方形断面水平水路のスルースゲート直下に形成される跳水の長さエネルギー損失との関係
3. 学会等名 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林雄太郎, 佐藤柳言, 高橋正行
2. 発表標題 スルースゲート下流側に形成される射流の水面変動に対するレイノルズ数の影響
3. 学会等名 第65回日本大学理工学部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 榊原瑞生, 佐藤柳言, 高橋正行
2. 発表標題 ゲート直下に形成される跳水の下流側断面における乱れ強さに関する二, 三の検討
3. 学会等名 第49回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤柳言, 高橋正行
2. 発表標題 ゲート下流側に形成されるdeveloping flowの形状係数と乱流境界層の発達に関する検討
3. 学会等名 土木学会令和2年度全国大会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤柳言, 高橋正行
2. 発表標題 ゲート下流の射流における乱流境界層の発達
3. 学会等名 第61回日本大学工学部学術研究報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤柳言, 高橋正行
2. 発表標題 ゲート下流の射流における乱流境界層の発達
3. 学会等名 第62回日本大学理工学部学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------