

2. ダム貯水池内の洪水流下に関する既往の研究と本研究の位置づけ

2.1 概説

ダム貯水池の洪水流下特性に関する既往検討について、現行のダム管理で用いられる貯水池内の水面がほぼ水平に上昇するとみなした検討から、近年の洪水流の流動、貯留現象に関する研究までを概観し、本研究の位置づけを示す。

2.2 ダムへの洪水流入量に関する検討

2.2.1 現行の洪水流入量の算定方法

ダム貯水池への洪水流入量の算定方法は、ダム管理用制御処理設備標準設計仕様書（案）¹⁾に規定されており、一定時間内におけるダム貯留量の変化から算出される「貯留量分流入量」と、この間の平均放流量である「放流量分流入量」の和から求めることとされている。現行のダム管理では、この貯留量分流入量を算定する際に、貯水池内の水面がほぼ水平に上昇するとみなし、ダム放流量と貯水池の水位-水量（H-V）関係からダム流入量が算定される。式(2-1)に、現行のダム管理で用いられているダム流入量の算定式を示す。

$$Q_{in} = Q_{out} + dS / dt \quad (2-1)$$

ここに、 Q_{in} ：ダムへの流入量、 Q_{out} ：ダムからの放流量、 S ：貯留量、 t ：時間を示す。

2.2.2 ダム貯水池における洪水伝播に関する検討

現行のダム管理における貯水池への洪水流入量は、貯水池内の水面がほぼ水平に上昇すると仮定して算定される。この仮定は、貯水池に流入した洪水流が、貯水池内を波形を変えずに素早く伝播することを意味している（図 2.2-1 参照）。しかし、上流河川から貯水池に流入する洪水流は、流動・貯留しながら波形を変形しつつ流下することから、水位と流量は遅れを有しながら伝播している。このため、現行の貯水池への洪水流入量算定における貯水池内の水面がほぼ水平に上昇する仮定や、ダム貯水池内の洪水伝播特性に関する研究を整理し、既往の知見を取りまとめる。

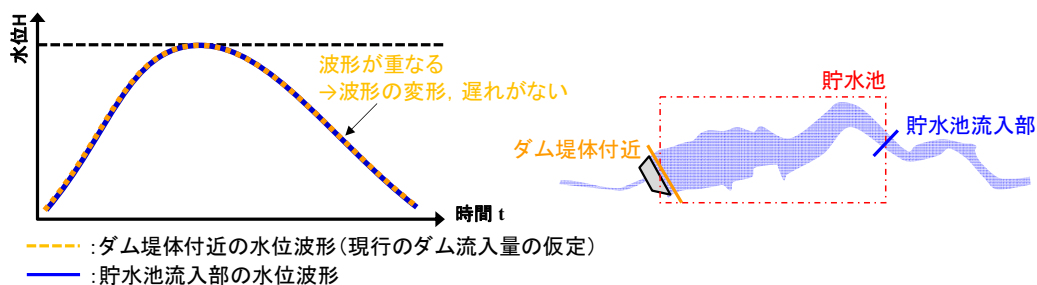


図 2.2-1 水位波形の変形，伝播

(1) 実測データに基づく洪水伝播機構の検討

ダム貯水池において、洪水時の貯水池流れの伝播、挙動が観測されている事例は少ない。伊藤²⁾は、木曾川の笠置貯水池を対象に、発電所の使用水量の変化により発生する流速の鉛直分布の観測を行っている。この研究では、観測結果から、貯水池内で発生する小さいピーク波では、その波速は長波の伝播速度 \sqrt{gh} とほぼ等しくなり、水深が非常に深い所では、波形が素早く伝わることを示している。また、貯水池水深に比較して水位上昇量が大きい洪水波では、水位波形は流速に近い速度で伝播することを示している。

Wilkinson³⁾は、アメリカの Wheeler ダム貯水池において、貯水池内の水位観測を実施している。この研究では、貯水池内で約 45km 離れた区間 (Decatur~Wheeler Dam) の水位ハイドログラフがほぼ同形状となっており、伊藤の研究と同様に、水位波形が貯水池内を素早く伝播することが示されている。

これらの研究は、1930 年~1940 年代に検討されたものであり、現行のダム管理における貯水池内の水面がほぼ水平に上昇し、水位波形が形を変えずに素早く貯水池内を伝播する仮定の根拠になっている。この様に、ダム貯水池内の水位波形は長波として伝わり、水深の深い貯水池では水位波形の伝播速度が大きくなることから、ダム貯水池は、通常の河川と比較して水位波形の伝播を速めている。洪水追跡という工学的な目的から見ると、湛水領域の大きいダム貯水池では、これらの仮定を用いた検討を行うことに問題はないものと考えられる。しかし、湛水領域が小さい貯水池や貯水池特性の異なる場においては、この仮定には誤差を伴うものと考えられる。

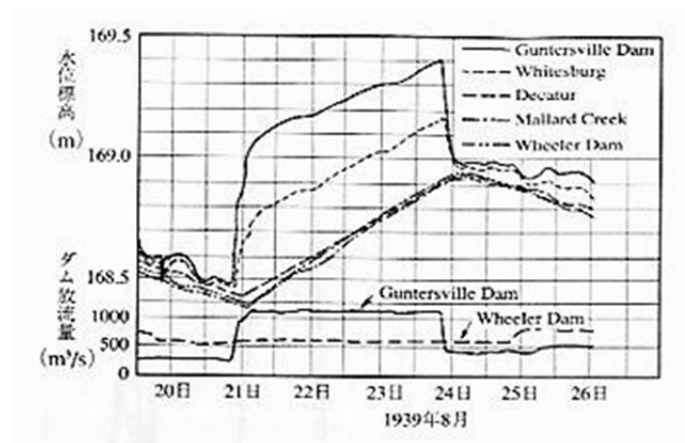


図 2.2-2 Wilkinson の水位観測例

(2) 水理実験に基づく洪水伝播機構の検討

矢野ら⁴⁾は、木曾川の丸山貯水池を対象に模型実験を実施し、洪水波の伝播について詳細に調べている。模型縮尺は水平方向に 1/200、鉛直方向に 1/100 とし、木曾川上流部の笠置堰堤から丸山堰堤までの約 15.5km 区間を対象としている。この水路に、最大流量、水位上昇時間の異なる 5 ケースの洪水を通水し、洪水波形の伝播特性を調べている。この研究では、洪水波形の伝播は、河道域では主として流速の大きさにより決定付けられるが、貯水池では洪水流の流下特性に応じて湛水領域、河道域に分けることができ、湛水領域では水位はその波形をほとんど変形することなく、短時間の内に伝播し、その速度は長波の伝播速度で近似できることを示している。この結論は、伊藤²⁾、Wilkinson³⁾の現地観測結果と同様であり、水理実験からも湛水領域では、水位波形は波形を変えずに、長波の波速で伝播することが示されている。

また、矢野、芦田、高橋ら^{5)~7)}は、一様勾配、一様幅の直線水路に刃型堰を設置したダム貯水池模型で、流動形態を湛水領域、遷移領域、上流領域に分類し、実験的検討を行っている。伊藤、Wilkinson、矢野らの検討により、湛水領域が大きい貯水池の水理特性が明らかになったが、湛水領域と河道域の間に位置する遷移領域については詳細な議論が残されていた。矢野、芦田、高橋らの研究では、湛水領域が小さく、遷移領域が重要な意味を持つ貯水池を対象に、洪水波形の伝播機構について詳細に分析している。この研究では、水位波形の変形特性に応じて、湛水領域、遷移領域、上流領域の 3 領域に分類している。湛水領域は貯水池内の水面がほぼ水平に上昇し水位波形がほぼ同一の形状を有する区間、上流領域は洪水流が貯水池に流入する前の河道区間、湛水領域は湛水領域と上流領域の間に位置し水位波形が大きく変化する区間として定義されている。

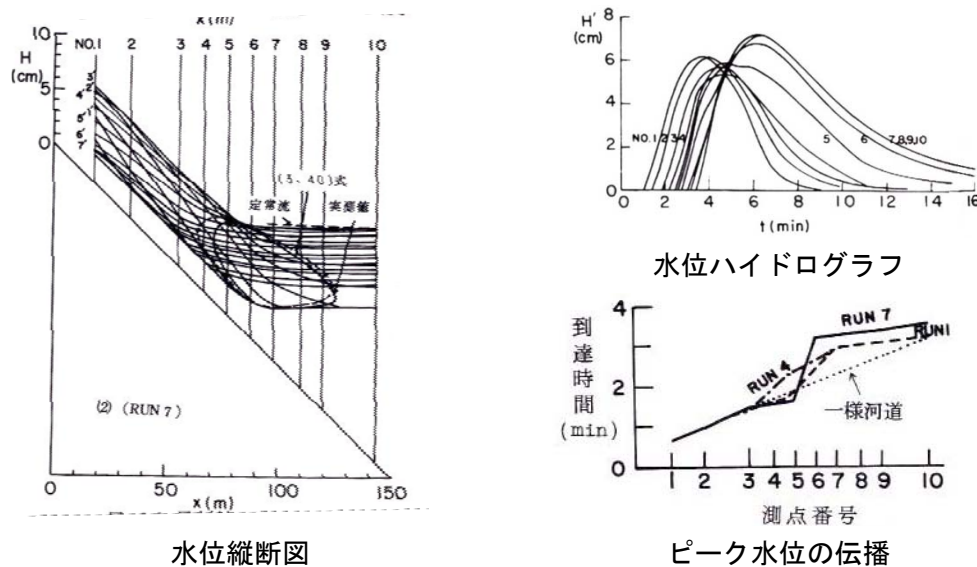


図 2.2-3 矢野らの検討結果（水位波形）

一方、流量波形については、観測水位と $dS/dt=Q_{in}-Q_{out}$ の関係より流量ハイドログラフを推定し、伝播機構について分析している。このため、流量の算定精度は必ずしも高いとはいえないものの、概ねの流量波形の伝播特性について考察している。図 2.2-4 の左図は流量ピークの伝播を示しており、図中の実線は一様河道領域において Kleitz-Seddon の式を適用した結果を示している。この結果より、河道領域及び遷移領域では、一様河道と考えた Kleitz-Seddon の式が比較的良く当てはまることが示されている。湛水領域では、図 2.2-4 の右図の水位-流量曲線に示すように、ピーク流量の方が、ピーク水位より早く発生していることが示されている。これは、流量と水位波形の間に遅れを有しながら変形し、伝播することを意味している。

このように、矢野、芦田、高橋らの研究は、水位、流量波形の伝播を考える上でのパイオニア的研究であり、ダム貯水池における洪水伝播特性の基礎的情報を与えている。しかし、実際のダム貯水池を対象に洪水伝播特性を分析するには、対象とする水理模型が直線水路であること、流量の算定精度が低いことに課題を有している。

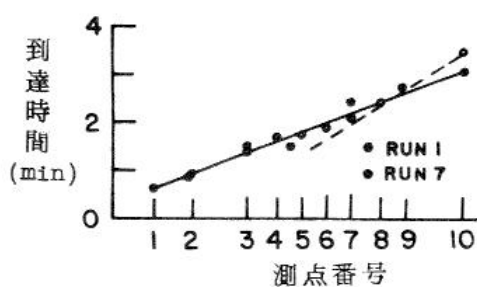


図- 3.12 流量ピークの伝播

ピーク流量の伝播

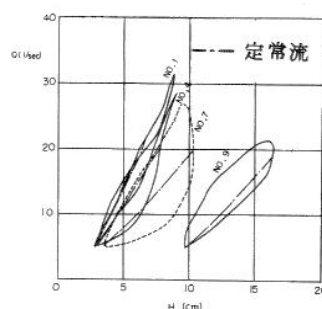


図- 3.13 水深～流量曲線

水位-流量曲線

図 2.2-4 矢野らの検討結果（流量波形）

(3) 解析的考察に基づく洪水伝播機構の検討

石原ら^{8) 9)}は、最も簡単な場合として、幅が一様な広矩形の水路に設けられた貯水池について、解析的に検討を行っている。以下に、連続式(2-2)、運動方程式(2-3)を示す。

$$\text{連続式} \quad : \quad \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2-2)$$

$$\text{運動方程式} \quad : \quad S - \left(1 - \frac{Q^2}{gH^3}\right) \frac{\partial H}{\partial x} = \frac{1}{gH} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2Q}{gH^2} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{Q^2}{C^2 H^3} \quad (2-3)$$

ここに、 H ：水深、 Q ：単位幅流量、 S ：河床勾配、 C ：Chezy 係数、 g ：重力加速度、 x ：距離、 t ：時間を示す。

ダム貯水池では、湛水領域と遷移領域において洪水の流下機構が異なる。このため、この 2 つの領域において、運動方程式は、近似的に式(2-4)、(2-5)で表される。

$$\text{湛水領域} \quad : \quad S - \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (2-4)$$

$$\text{遷移領域} \quad : \quad S - \left(1 - \frac{Q^2}{gH^3}\right) \frac{\partial H}{\partial x} = \frac{Q^2}{C^2 H^3} \quad (2-5)$$

湛水領域では、貯水池内の流速が小さいことから $Fr \ll 0$ とみなせる。この時、式(2-3)の右辺項は、左辺項と比べ無視できるほど小さく、左辺項の第 2 項の括弧内の第 2 項も同様の理由で小さい。遷移領域では、 Fr は前者の場合と比較して大きいものの、1 に比べると十分小さいものと考えられる。この領域では、右辺第 3 項の抵抗項は無視できない。この研究では、式(2-4)、(2-5)を第 1 次近似式として、逐次近似法によって特性を調べた結果、①貯水池における洪水伝播は、洪水波の大きさ、形状、貯水池の規模、ダム地点の境界条件に大きく影響を受ける、②湛水領域における最大波高の伝播速度は非常に速く、遷移領域においてはかなり遅い、また、最大流量の伝播速度は、いわゆる容量遅れにほぼ等しく、ダム近傍及び遷移においては、形式的に Seddon の法則に従うことを示している。

一方、尾崎ら¹⁰⁾は、洪水伝播を考える上で、ダム貯水池では、貯水池下流端のダム放流の条件により、洪水の流動特性は大きく異なることを指摘し、①ダム地点で自由越流する場合、②ゲート操作で貯水位を一定に制御する場合、ダムがない（自然河道）場合のそれぞれについて洪水波の伝播を理論解析と実験から検討している。①については、矢野、芦田、高橋らの実験的検討によれば、波動の伝播速度は上流河川と湛水領域の間の遷移領域で遅くなり、湛水領域で見かけ上急激に速くなる。これは、洪水の流入により \sqrt{gh} で流下する波動が、ダム地点で一部越流し、一部は反射して波動の往復による重ね合わせが起こり、湛水池の水面がほぼ水平に昇降するためである。一方、流量の伝播速度は自然河川より遅くなり、ダム地点で流量と波動のピークの位相が一致する。このため、自由越流方式は、自然河道よりも放流量のピークを遅らせ、低減させる効果を持つ。これに対し②の場合、湛水領域で波動の速い伝播に応じて下流端の水位が一定となる様にゲートを操作する結果、湛水池内には、ダム地点を節とする定常波が発生するため放流量が変動し、自然河川よりも放流量のピークが速くなることがある。定常波が発生すると、ダム地点の水位観測では、貯水池内への流入量を正しく把握することが難しく、貯水池の貯留効果を有効に活用できなくなることが指摘されている。

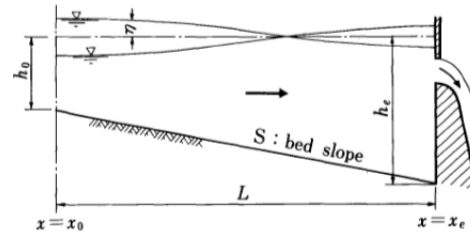
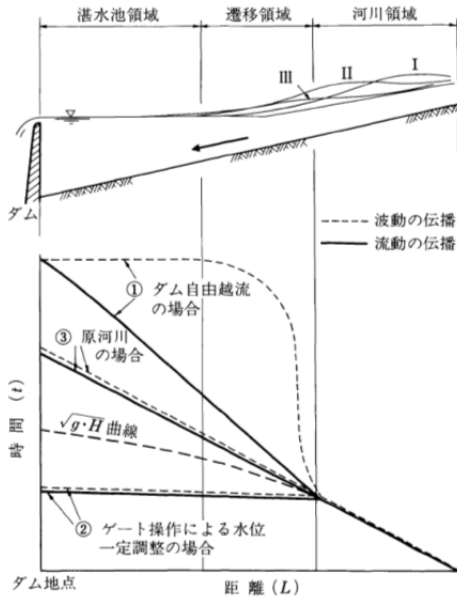


図-2 放流量を制御した場合の定常波¹⁵⁾

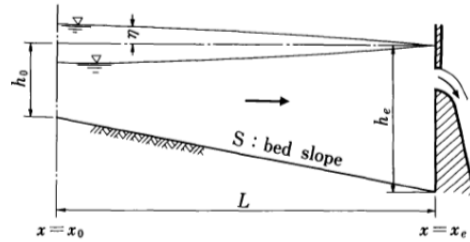


図-3 水位を制御した場合の定常波¹⁵⁾

図 2.2-5 左図：貯水池内の洪水伝播，右図：定常波の模式図

(4) 数値解析に基づく検討

Ferrick¹¹⁾は、河川やダム貯水池における洪水波を、その特性から Kinematic-wave, Dynamic-wave, Gravity-wave に分類し、Saint-Venant 方程式を用いて定式化を行っている。この研究では、ダム貯水池の洪水波は Dynamic-wave に分類され定式化されている。また、方程式中のパラメータについて、Old Hickory Reservoir, Pine Falls Reservoir, Wheeler Reservoir の実測結果をもとに検証している。

Garcia-navarro ら¹²⁾は、McCormac 法を用いた一次元不定流解析モデルを構築し、スペインの Ebro 川流域に位置する Bubal, Mediano, El Grado, Barasona, Vadiello, Oliana の 6 つの貯水池からなる貯水池システムに適用することで、解析モデルの妥当性について検討している。また、構築した解析モデルを 1982 年 11 月に発生した洪水に適用し、現行のダム操作の有無がダム放流量に及ぼす影響を評価している。

秋元^{13) 14)}らは、特性曲線による不定流解析法を提案し、実際のダム貯水池への適用している。この解析法は、いくつかの幅の異なる水路の組み合わせで近似し、一次元不定流の基礎式を数値計算するもので、特性方程式は以下のように表される。

$$\frac{dx}{dt} = u \pm \sqrt{gh}$$

$$d(u \pm 2\sqrt{gh}) = g(I - n^2 u^2 / R^{1/3}) dt$$
(2-6)

ここに、 x ：距離， t ：時間， u ：断面平均流速， h ：水深， g ：重力加速度， I ：河床勾配， n ：粗度係数， R ：径深を示す。

秋元ら^{13), 14)}は、この解析法を現地への適用を図っているが、貯水池形状の適切な近似方法が定まっていないこと、特性曲線上に解が求まることから、複雑なゲート操作への適用が困難であること等の問題を有している。

竹村¹⁵⁾らは河道溪谷部や山間狭隘河道区間に位置する小規模電力ダムが連続する実河川を対象に、実測データと次元不定流解析法により、ゲート操作の違いが河道貯留効果や洪水波形の伝播に及ぼす影響を定量的に評価している。しかし、対象とする貯水池規模が小さいことから、貯水容量の大きい貯水池を対象とした場合、貯水池内の洪水の流れ、波形の伝播特性が異なるものと考えられる。

これらの研究は、ダム貯水池内の洪水流を1次元的に取り扱うことで単純化し、貯水池内の洪水伝播機構を分析した基礎的研究であり、洪水波形の変形・伝播を理解する上で重要な情報を与えている。しかし、複雑な貯水池特性を有するダム貯水池において詳細な分析を行うには、ダム貯水池内特有の三次元的な流動を踏まえた議論が必要である。

2.3 ダムからの放流量の算定方法

2.3.1 現行のダム放流量の算定方法

ダムからの放流量は、一般にダム堤体付近では大きな断面を有することから、洪水流の接近流速を無視できると仮定した比エネルギー式に基づくダム放流量算定式より評価される^{1), 16)}。式(2-7)に、現行のダム管理で用いられているダム放流量算定式を示す。

$$Q_{out} = CaB\sqrt{2gH} \quad (2-7)$$

ここに、 Q_{out} ：ダムからの放流量、 C ：流量係数、 a ：ゲート開度、 B ：流出幅、 H ：水深、 g ：重力加速度を示す。

式(2-7)をもとに、ダムからの放流量は、放流口のゲート形式に応じた算定式が用いられる。越流頂に設置されるゲート形式の代表的なものにローラーゲート、ラジアルゲートがある。以下にローラーゲート、ラジアルゲートの算定式を示す。

$$\text{ローラーゲート： } Q = CaB\sqrt{2gh_1} \quad (2-8)$$

$$\text{ラジアルゲート： } Q = \frac{2}{3}\sqrt{2g}CB(H_1^{3/2} - H_2^{3/2}) \quad (2-9)$$

ここに、 Q ：流量、 C ：流量係数、 a ：ゲート開度、 B ：流出幅、 g ：重力加速度、 h_1 ：堤頂を基準とした上流水深、 H_1 ：ゲート全閉時の底部位置を基準とした総水頭、 H_2 ：ゲート底部を基準とした総水頭を示す。

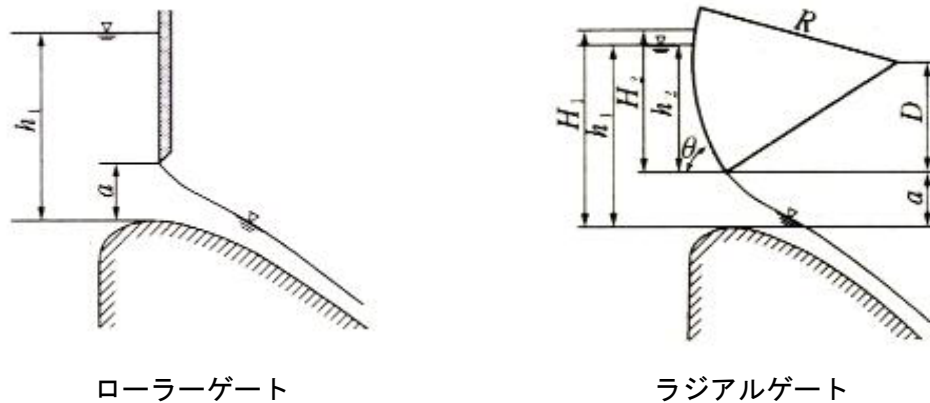


図 2.3-1 ゲート形状とパラメータの定義

2.3.2 ダム放流量の算定精度に関する検討

鈴木ら^{17)~19)}は、小規模発電ダムにおいては、ダム放流量が下流河川で観測された流量より小さく算定される傾向があることを指摘し、この不整合の要因が、小規模貯水池に流入する洪水流の接近流速の増大によることを示した。

以下に、接近流速水頭を考慮した補正放流量式を示す。

$$Q_0 = F \left(a, H + \frac{u^2}{2g} \right) \quad (2-10)$$

ここに、 Q_0 ：流量， a ：ゲート開度， H ：水深， u ：接近流速， g ：重力加速度を示す。

この研究では、断面平均流速 $u=Q/A(H)$ を、洪水流下に伴う洪水波の遅れ時間は小さいものとし、接近流速として代用している。このため、使用している接近流速には、ダム貯水池内の縦横断的な地形変化による流速変化の影響は考慮されていない。なお、補正放流量式を用いて算定した放流量は、当該区間における一次元不定流解析より、その妥当性が確認されている。この現象は、特に、貯水容量の小さい貯水池で顕著になる。このため、実測データやダム貯水池内の流動を踏まえ、ダム放流量算定式について検証が必要である。

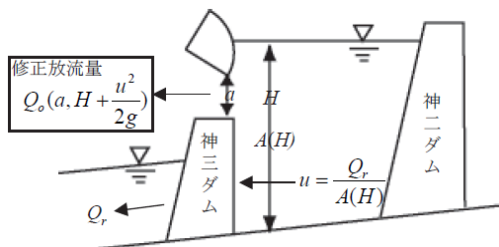


図-6 神三ダム放流量の修正計算概念図

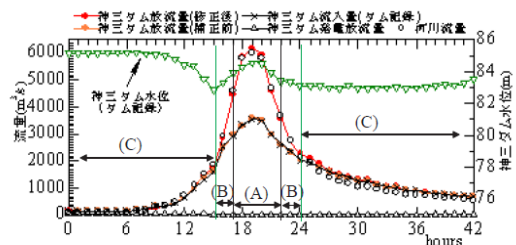


図-7 神三ダム補正計算の結果

図 2.3-2 速度水頭を考慮したダム放流量の評価

2.4 洪水流の流動に関する検討

伊藤は²⁾、木曾川の笠置貯水池を対象に、発電所の使用水量の変化により発生する流速の鉛直分布の観測を行っている。しかし、水位波形の伝播特性について詳細な分析が行われているものの、観測流速に基づく貯水池内の洪水流動について言及されていない。

また、齋藤ら²⁰⁾は、沙流川の二風谷ダムを対象に、1997年8月8日～14日に発生した洪水を対象に、貯水池内の流速鉛直分布を縦断的に観測している。この観測結果より、貯水池内の流速は、貯水池上流部では水面ほど流速が速く、下流に行くに従って深さ方向に一様化する傾向を示した。

これらの研究は、ダム貯水池内の洪水流動を知る上での重要な知見である。しかし、洪水時の現地観測は観測自体に危険を伴うこと、流動を分析するのに必要な観測地点数の確保が困難であり、流動分析のための十分なデータが収集できない点に課題を有している。

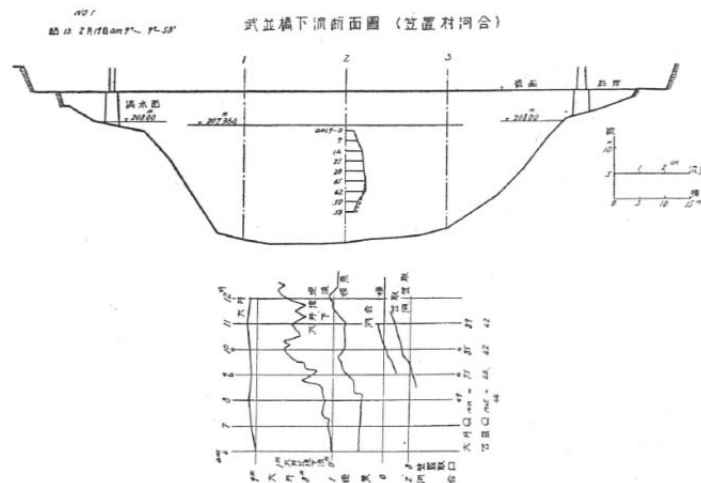


図 2.4-1 伊藤の観測例

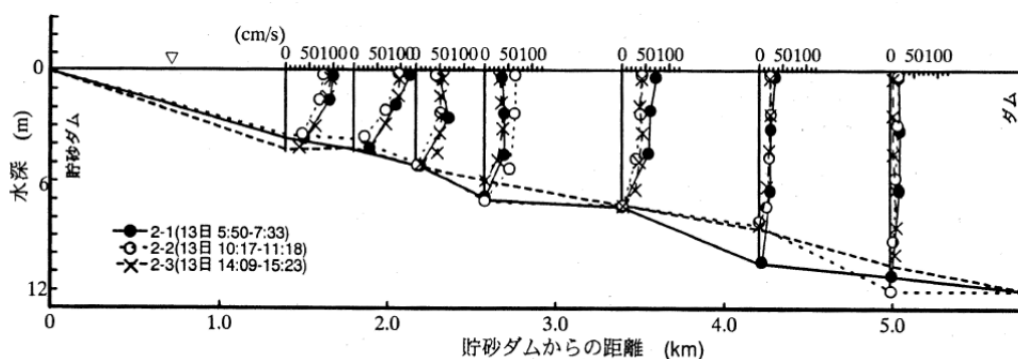


図 2.4-2 齋藤らの観測例

2.5 観測水面形の時系列データを用いた流量，貯留量の算定法に関する検討

福岡ら^{21), 22)}は，洪水時に観測された水面形の時間変化を説明するように洪水解析（非定常平面二次元解析法¹⁶⁾，一般底面流速解析法²³⁾）を行うことで，多くの河川における洪水流と河床変動の特性を明らかにしてきた．これにより，洪水時の流量ハイドログラフや貯留量を実用上十分な精度で算出可能であることを示し，流量ハイドログラフ，貯留量ハイドログラフの特性を明らかにしている^{24), 25)}．この考え方は，ダム貯水池でも同様であり，ダム貯水池を含む上下流河川で観測された水面形の時系列データには，ダム貯水池における特徴的な洪水流の流動が現れている．

これらの研究により，実河川を流下する洪水流の変形・伝播を定量的に評価することが可能になったが，縦横断的に複雑な地形変化を有するダム貯水池における，水位・流量ハイドログラフの変形・伝播機構については明らかになっていない．

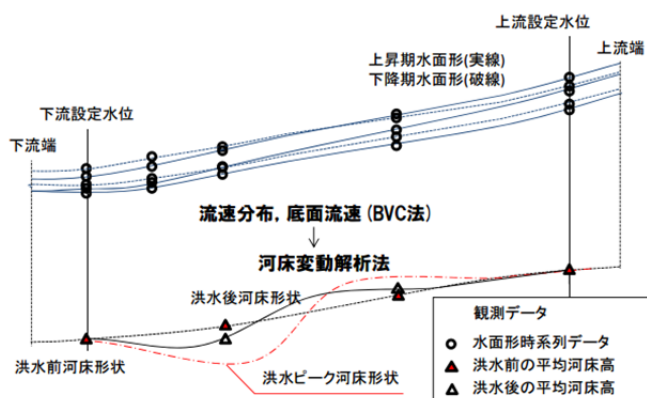


図 2.5-1 観測水面形の時系列データを用いた流量，貯留量の推定方法

2.6 本研究の特徴

既往研究の整理結果をもとに，ダム貯水池における洪水流下と，洪水流入量，放流量を評価する上での課題を以下に示す．

- ・ ダムへの洪水流入量は，貯水池内の水面がほぼ水平に上昇する仮定のもとで算定されている．この仮定には，洪水時にダム貯水池内で発生する流動に伴う水位波形の変形，遅れや，流量波形と水位波形の間の時差が考慮されていない．
- ・ ダム貯水池内の洪水流下は，洪水流の流動，貯留，伝播が相互に関係し形成されるが，現行のダム管理ではこれらの機構については十分な説明がされていない．ダム貯水池の洪水の伝播，貯留現象を考える上では，貯水池内における洪水の流動や，縦横断的な流速分布の変化が重要となることから，これを踏まえた詳細な分析が必要である．

- ・ 洪水放流量の算定には，ダム堤体付近における洪水流の接近流速の増大に伴う速度水頭の影響が考慮されておらず，洪水放流量を小さく評価する恐れがある．この影響は，貯水池規模の小さなダムで顕著であり，特に，土砂堆積により貯水池が河道化し，貯水容量が小さくなるダム貯水池で問題となる．

以上の調査，既往研究の整理から，ダム貯水池内の流動，貯留，伝播機構は未だ十分に解明されておらず，貯水池管理への適切な課題解明が求められている．そのためには，洪水時に貯水池内で発生する三次元流れや，流速分布の変形機構の詳細な検討が必要なることが明らかになった．本研究では，現地ダム貯水池での洪水観測と大規模水理模型実験を実施し，貯水池内での洪水流の流動実態把握を行う．また，現地観測および模型実験結果をもとに貯水池内の三次元流れや縦横断的な流速分布の変化機構を説明できる準三次元貯水池洪水流解析法を開発し，観測された洪水流の流動，貯留，伝播の機構を明らかにする．さらに，現行の洪水流入量，放流量の算定方法が有する課題を明らかにした上で，貯水池内と，ダム上下流河川の観測水面形の時系列データに基づく洪水解析から，ダム流入量，放流量の評価方法を提示し，その有効性，実効性を示す．

参考文献

- 1) 財団法人 ダム水源地環境整備センター編：ダム管理用制御処理設備標準設計仕様書（案），1995.
- 2) 伊藤剛：河道に設けた貯水池の水理，土木試験所報告，46，pp49-69.
- 3) Wilkinson, J. H. (1944), Translatory Waves in Natural Channels, Transaction of the American Society of Civil Engineering, Vol.110, No.1, 1203-1225.
- 4) 矢野，足立：貯水池における洪水波伝播に関する実験的研究，京大防災研究所創立5周年記念論文集，pp.211-219，1956
- 5) 矢野勝正，芦田和男，高橋保：境界条件による洪水流の変形に関する研究（第1報），京都大学防災研年報第8号，pp.257-270，1965.
- 6) 芦田和男，高橋保：境界条件による洪水流の変形に関する研究（第2報），京都大学防災研年報第9号，pp.579-591，1966.
- 7) 高橋保：河道における洪水流特性に関する研究，京都大学博士論文，1971.
- 8) 石原安雄，岸田陸：貯水池による洪水調節とその下流部洪水流に及ぼす総合的效果について，京都大学防災研究所創立5周年記念論文集，pp.201-213，1956.
- 9) 石原藤次郎，石原安雄，岸田陸：電氣的模擬法による貯水池の洪水調節効果に関する研究，第1回水理講演会論文集，pp.20-21，1956.
- 10) 尾崎幸雄，秋元保：貯水池内に流入する洪水の挙動について，第23回水理講演会講演集，

- pp.27-33, 1979.
- 11) Michael G Ferric : Analysis of River Wave Types, Water Resources Research, Vol21, No.2, pp.209-220, 1985
 - 12) Garcia-Navato P. and Zorraquino : Numerical Modeling of Flood Propagation Through System of Reservoir, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.119, No.3, 380-389, 1993.
 - 13) 秋元保, 丸岡計 : 貯水池内における洪水伝播の解析とダム放流操作に関する考察, 第 12 回水理公演論文集, pp.43-48, 1968.
 - 14) 秋元保, 工藤正介 : 河川の洪水対策に関する研究 (その 1) - 貯水池内洪水伝播挙動に関する現地実験, 電力中央研究所報告, No.376015, 1977.
 - 15) 竹村吉晴, 福岡捷二, 浅見和人 : 小規模発電ダムが連続する河道における洪水流の伝播と貯留効果について, 水文・水資源学会誌, 第 23 巻, 2 号, pp.129-143, 2010.
 - 16) 土木学会 : 水理公式集, 平成 11 年度版.
 - 17) 鈴木洋之, 落合厚, 九田将茂, 溝口敦子 : 高精度流入量推定法を用いた神通川の小規模ダム群における推定流量の精度評価, 水文・水資源学会誌, 第 21 巻, 第 4 号, pp.285-295, 2008.
 - 18) 鈴木洋之, 落合厚, 須賀正志, 溝口敦子 : 小規模発電ダム貯水池で洪水時に生じる流量推定精度の劣化, 土木学会論文集 B, Vol.65, No.2, 81-86, 2009.
 - 19) 鈴木洋之, 谷口友梨, 河村陽一 : 庄川の連続ダム群における推定流量の精度劣化要因, 水文・水資源学会誌, 第 24 巻, 第 3 号, pp.149-158, 2011.
 - 20) 齋藤大作, 清水康行, 坊野聡子, 伊藤丹 : 洪水時のダム湖における濁水の観測と数値シミュレーション, 水工学論文集, 第 42 巻, pp.709-714, 1998.
 - 21) 福岡捷二 : 河道設計のための基本は何か - 水面形時系列観測値と洪水流 - 土砂流の解析を組み合わせた河道水理システムとその見える化, 河川技術論文集, 第 17 巻, pp83-88, 2011.
 - 22) 福岡捷二 : 実務面からみた洪水流・河床変動解析法の最前線と今後の調査研究の方向性, 河川技術論文集, 第 20 巻, pp.253-258, 2014.
 - 23) 内田龍彦, 福岡捷二 : 非平衡粗面抵抗則を用いた一般底面流速解析法の導出と局所三次元流れへの適用, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.71, No.2, pp.43-62, 2015.
 - 24) 福岡捷二, 渡邊明英, 原 俊彦, 秋山正人 : 水面形の時間変化と非定常二次元解析を用いた洪水流量ハイドログラフと貯留量の高精度推算, 土木学会論文集, No.761/II-67, pp.45-56, 2004.
 - 25) 福岡捷二, 渡邊明英, 永井慎也 : 河道内貯留量推算のための水位観測法と粗度係数に与える流れの非定常性の影響, 河川技術論文集, 第 10 巻, pp.71-76, 2004.