

神戸大学工学部

尼崎市役所

滋賀県立大学大学院

神戸大学大学院

正会員 ○道奥康治

正会員 松尾昌和

学生員 斉藤敦

学生員 香川健一

1. はじめに

樹林帯整備など水源地の改変が貯水池の水環境に及ぼす影響を調査するために、X貯水池を対象として水理・水質モデルを構築する。従来、貯水池の富栄養化現象の主因は栄養塩負荷にともなう内部生産とされてきたが、栄養塩負荷が小さい清流の貯水池においても落ち葉など植物残滓が水質障害をもたらすことが報告されている。X貯水池では風倒木の流入による富栄養化が顕著であり、図-1に示すように、栄養塩と巨大有機物（植物残滓など）にともなう池内の物質収支を明らかにすることが本プロジェクトの目的である。モデルは、河川流入や自然対流などの乱流生成と密度成層による乱流エネルギー消費を考慮した①水理モデルと、水質に関連する生化学反応を定式化した②水質モデルからなる。X貯水池の洪水調節容量は大きく、洪水流入による成層破壊が顕著であるため、河川流入による内部せん断乱流を考慮しなければ、水質収支を正しく記述することができない。本報告では、成層せん断効果を考慮して鉛直混合を定式化し、観測された水温成層挙動を再現することを試みる。

2. 水質モデルの概要

本モデルは図-2に示すような鉛直一次元モデルのDYRESM¹⁾を基礎にして構築された。質量、エネルギー、水質収支によって第j層が拡大・縮小、移動、融合・分離するラグランジュ層モデルである。貯水池の混合についてはエネルギーのバランス式を考慮し、

$[\Delta P \cdot \text{成層破壊に必要なエネルギー}] < [①風応力の$

擾乱 $E_w] + [②層間の内部せん断 $E_i] + [③自然対流 $E_c]$ の時、鉛直混合すると考える。 ΔP は密度成層のポテンシャルエネルギーである。貯水容量が小さく交換率の高い日本の貯水池では出水にともない場合によっては一日で成層が完全に破壊されることもある。水質予測が目的であるので本モデルの構造は鉛直一次元的であるが、洪水流入にともなう鉛直混合を何らかの形で考慮する必要がある。そこで、②の内部せん断エネルギー E_i の要因として、ここでは内部セイシュや吹送流のみならず河川水が密度流として水平貫入して発生する成層せん断乱流を定式化する。すなわち、洪水流入による成層破壊は、層間の速度差に起因する内部せん断と考える。これは水平貫入にともなう第j層の流速 U_j^d を内部せん断エネルギー ΔK_j に算入することに$$

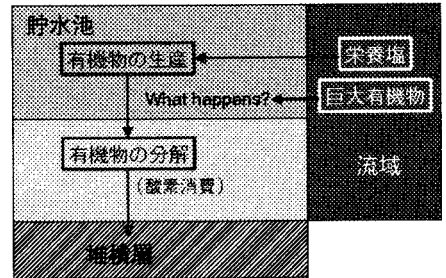


図-1 栄養塩・有機物の収支

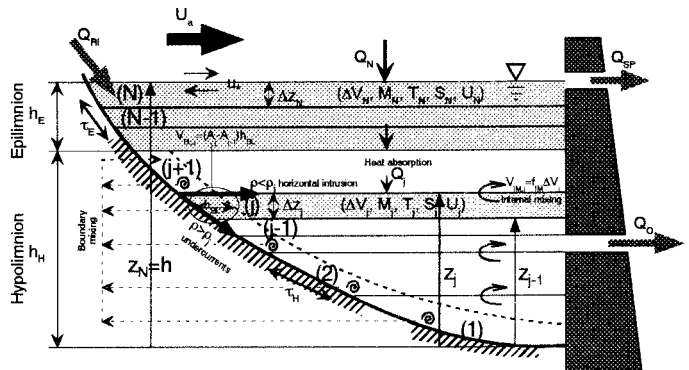


図-2 鉛直一次元モデル

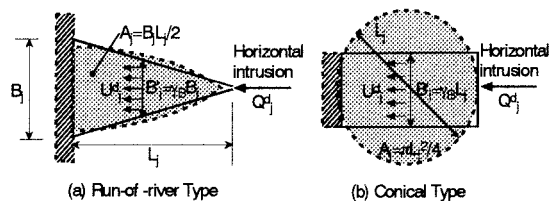


図-3 河川水の貫入速度

Kohji MICHIOKU, Masakazu MATSUO, Atsushi SAITO, Kenichi KAGAWA

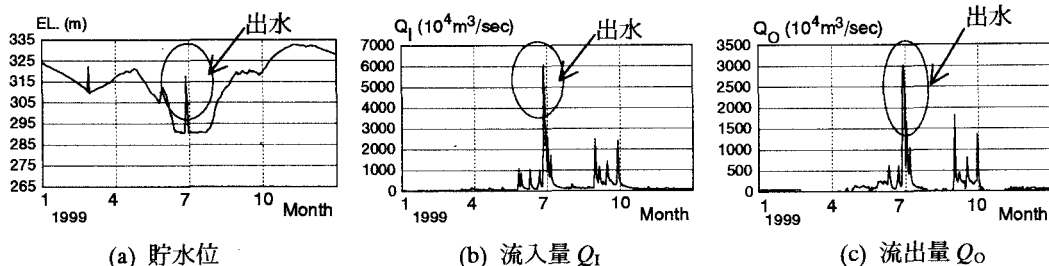


図-4 X ダム貯水池の水文量時系列

より考慮される。層の平均流速 U_j^d は第 j 層に水平貫入した密度流の流量 Q_j^d から次のように与えられる。

$$U_j^d = \frac{Q_j^d}{B_j' \Delta z_j} \quad (1)$$

ここで、 B_j' は第 j 層における水平貫入の幅であり、図-3 のように湖盆地形を 2 種類のタイプにモデル化し、 B_j' を評価する (X 貯水池は (a) の河川型貯水池である)。

3. 対象貯水池

今回解析の対象とした X 貯水池は、洪水調節・発電・河川維持用水の利水を目的としており、総貯水容量：5,930 万 m^3 、取放水口の標高：283m、越流洪水吐の標高：338m である。水文特性として、1999 年を例にとると、洪水吐からの放流実績はなく常時の取放水口のみから放流されている。図-4 に X ダム貯水池の水文量時系列を示す。利用水深が大きく水位の変動が激しい。流入量に関しては、6 月末の集中豪雨によりほぼ総貯水容量に相当する出水があった。

4. 水温解析

1999 年における水温成層の季節変化を図-5 に示す。図-5(a) に示した観測値から、6 月末の集中豪雨による出水にともなって激しい鉛直混合が発生し、急激な躍層低下がみられる。DYRESM においては出水時の内部せん断混合が考慮に入られていないが、本モデルにおいては、式(1)のような形で河川流入の擾乱効果を乱流エネルギー平衡式に算入し、内部せん断による鉛直混合現象をモデル化した。その結果、図-5(b) に示すように、6 月末の急激な躍層低下が良好に再現された。河川水の内部せん断を考慮しない場合には、図-5(c) に示すように、1~3 月において水温 4.5°C 前後の河川流入水が貯水池下層へと流入して安定な躍層を形成する。これによって、1 年を通して取放水口付近に安定な二次躍層が残留し、冬季においても底層水が循環することなく滞留することになる。なお、冬季循環期の自然対流強度がやや低く算定されているため、乱流エネルギー平衡式におけるモデル定数について照査する必要がある。以上のように洪水調節容量の大きな貯水池においては内部せん断乱流を考慮する必要があると確認された。なお、モデルにおけるせん断層幅 B_j' は式(1)のような概算に基づいており、池内の第 j 層における水平鉛誘幅と厳密に等しいわけではない。

参考文献

1) Antenucci, J. and Imerito, A.: *The CWR Dynamic Reservoir Simulation Model Science Manual* October 13, 2000.

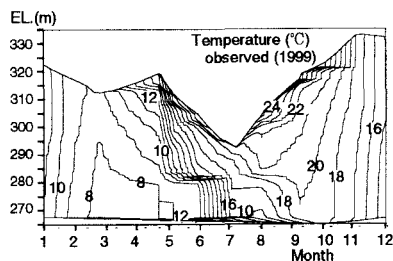


図-5(a) 水温 Insopleth (観測値)

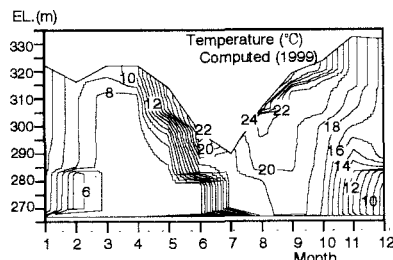


図-5(b) 数値解析(内部せん断考慮)

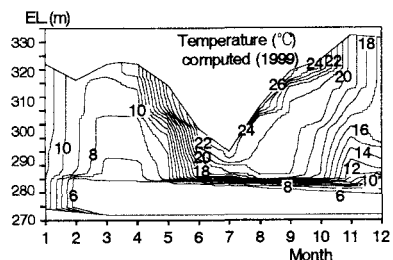


図-5(c) 数値解析
(内部せん断を考慮せず)