

(21) 三春ダム湖の富栄養化と前貯水池の流入負荷捕捉特性

Eutrophication of Miharu dam and Characteristics of the Inflow load grasp  
By the Pre-reservoir

佐藤洋一\* 法靈崎健史\*\* 中村玄正\*

Youichi SATOU\*, Takeshi HOURYOUZAKI\*\*, Michimasa NAKAMURA\*

**ABSTRACT:** This research is the one that studied the effect and subject of the pre-reservoir based on the present condition of the Eutrophication of Miharu dam.

The following result was obtained about the effect of the pre-reservoir.

- (1) The pre-reservoir is grasping 10% of T-N and 17% of T-P to the inflow load of when that is usual flow based on the surveys completed on Sep. to Dec.1998.
- (2) It is grasping 28.4% of T-N, T-P to the inflow load at the time of the flood based on the surveys completed on Oct.27-28, 1999.

Also, we understood the following as the load grasp characteristic of the pre-reservoir.

- (5) The T-N and T-P load grasp quantity is correlated to flow fluctuation quantity.
- (6) It interlocks it to the fluctuation of SS load grasp quantity except the period in which flow decreases.

**KEYWORDS:** Miharu Dam, Pre-reservoir, pollutant load, nitrogen, phosphorus

## 1 はじめに

前貯水池方式は、三春ダム湖水質対策の一環として採用された流入負荷削減方式であり、流域内に都市部や畜産地帯を擁するため流入負荷が大きい三春ダムにおいて、ダム湖流入直前に大量の懸濁成分を沈降させ得ることから湖内水質対策の一環としてその効果が期待されている。また、三春ダム以降、将来の水資源計画においても貯水池の水質対策に寄与していく有効な方式であると考えられる。しかし、前貯水池には、蓄積された底泥から出水時の攪拌混合により負荷が流出する<sup>1)</sup>等の課題もあり、負荷削減効果の検証とダム湖水質に対する潜在負荷としての影響把握が課題となっている。

本研究は、三春ダム流入量の85%を占める大滝根川に設置された前貯水池において、三春ダムの富栄養化の現状を踏まえ前貯水池の効果と課題の把握を目的としたものであり、1998年9～12月の期間(平水時)と1999年10月27～28日に生じた洪水を対象に、前貯水池の流入及び流出水質を調査し、富栄養化と関わり合いの強いT-N、T-P負荷に関わる前貯水池での捕捉効果とその特性について考察を行った。

## 2 三春ダム概要

### 2.1 ダム及び流域の概要

三春ダムは阿武隈川水系大滝根川に建設された建設省所管の多目的ダムであり、1998年から運用が開始された。貯水池容量は総貯水量42,800千 $\text{m}^3$ ・有効貯水量36,000千 $\text{m}^3$ を有し、洪水調節と流水の正常な機能

\* 日本大学工学部 土木工学科 〒963-8642 郡山市田村町徳定 TEL&FAX:024-956-8708

Department of Civil Engineering College of Engineering NIHON UNIVERSITY

\*\* 日本大学大学院工学研究科 土木工学専攻 (現:(株)フジタ首都圏土木支店)

維持のほか約 4,000ha の灌漑と郡山市・三春町・船引町及び白沢村の水道用水して最大 107,300 $\text{m}^3$ /日 を供給し、また最大 2,100 $\text{m}^3$ /日の工業用水を供給する水源となっている。

図-1 に示すダム流域は、226.4 $\text{km}^2$  の面積に常葉町・大越町の全域と船引町の主要部及び郡山市・滝根町・三春町の一部を含み、流域内人口は約 34,000 人と東北地方のダム湖で最大の 150 人/ $\text{km}^2$  の人口密度と有している。また、阿武隈山系の高地を活かした畜産を基幹産業とする地域であり、約 5,500 頭の牛の他、約 400 頭の豚が飼育されている。

流域の主な地質は降雨流出し易いマサ土（風化した花崗岩）であり、また下水道が未整備であること及び畜産系の負荷が未処理であること等により、ダム湖に流達する汚濁負荷量が大きく、ダム湖の約 8km 上流に位置する大滝根川船引橋地点の水質は 1986 年～1998 年において T-N が 1.55～2.09 (mg/l) の範囲であり平均 1.80 (mg/l)、T-P が 0.04～0.16 (mg/l) の範囲であり平均 0.09 (mg/l) となっている<sup>2)</sup>。このため三春ダム湖へは、湖沼の富栄養化基準とされる T-N : 0.15 (mg/l)、T-P : 0.02 (mg/l)<sup>3)</sup> を恒常的に超過した負荷が流入していることになる。

## 2. 2 水質対策と前貯水池の概要

三春ダム湖の水質対策は、流入負荷の削減と植物プランクトンの増殖抑制を主眼として、図-2 に示す流入

バイパス管、前貯水池、浅層循環、深層曝気の 4 つの手法が採用されている<sup>4)</sup>。これらの中、前貯水池に期待される主な効果は SS 及び窒素・リンの沈降除去であり、湖内の曝気、循環と併せて植物プランクトンの増殖抑制策に活用されている<sup>5)</sup>。また、三春ダムは流入流量 100 $\text{m}^3$ /s 以上では、洪水調節を行うため前貯水池を除く各水質対策施設は運用を停止するが、洪水時には、大流量の流入とダム堤体中央のコンジットゲートからの放流によりダム湖内では水の交換が行われる。これに対し、流入流量 100 $\text{m}^3$ /s 以下ではダム湖への水の貯留が行われ流入負荷がそのまま滞留することとなる。

従って、ダム湖内での植物プランクトン増殖に大きな影響を及ぼすのは、流入流量 100 $\text{m}^3$ /s 未満の小洪水による栄養塩類の供給であり、前貯水池の効果検証もこの流量規模で行うことが必要であると考える。

なお、三春ダムの前貯水池は、表-1 に示すように流入する主要 4 河川に各々設置されている<sup>4)</sup>。

## 3 富栄養化の現状

植物プランクトンの光合成により水中の二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) が消費されると平衡状態を保つため炭酸水素イオン ( $\text{HCO}_3^-$ ) や炭酸イオン ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) から  $\text{CO}_2$  を供給する反応が進み水素イオン ( $\text{H}^+$ ) が減少し pH 値はアルカリ側へ移行する。また、アルカリ化が進み pH 値 8 付近になると  $\text{CO}_2$  は  $\text{HCO}_3^-$  の形態での存在が主流となるため  $\text{CO}_2$  に加え  $\text{HCO}_3^-$  を光合成に使うことができる藍藻類が  $\text{CO}_2$  のみを光合成に使う他藻類に対し優先種となる<sup>6)</sup>。

三春ダムでは、運用を開始した 1998 年及び 1999 年と 2 年続けて夏季にアオコが大発生している。1999 年のアオコ発生は三春ダムの記録によると、6 月 4 日に最初の *Anabaena* 属の繁殖が確認された後 11 日には湖面全面に浮遊が広がり 6 月末まで *Anabaena* 属の繁殖が続いている。この期間の pH 値の変動を見ると、図-3 に示すように微少ではあるが pH 値が上昇しており光合成の影響が確認できる。また、*Anabaena* 属の衰退

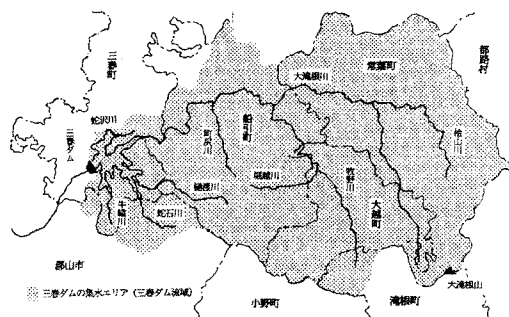


図-1 三春ダム流域図

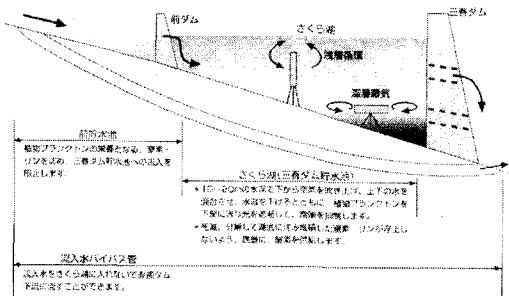


図-2 水質対策の概要<sup>4)</sup>

表-1 三春ダム及び前貯水池の緒元

| 項 目  |                               | ダム名 | 三春ダム              | 前貯水池           |         |               |               |
|------|-------------------------------|-----|-------------------|----------------|---------|---------------|---------------|
|      |                               |     |                   | 大滝根川           | 蛇沢川     | 牛縊川           | 蛇石川           |
| 貯水池  | 流域面積(km <sup>2</sup> )        |     | 226.4             | 192.5          | 2.8     | 5.1           | 10.9          |
|      | 貯水容量(m <sup>3</sup> )         |     | 常満以下 19,800 千     | 225,100        | 114,000 | 214,200       | 152,700       |
|      | 滞留日数(日)                       |     | -                 | 0.5            | 22.0    | 23.0          | 12.5          |
| ダム諸元 | 形 式                           |     | 重力式コンクリート         | 重力式<br>コンクリート  | 堤防形式    | 重力式<br>コンクリート | 重力式<br>コンクリート |
|      | 設計対象流量<br>(m <sup>3</sup> /s) |     | ダム設計対象流量<br>2,200 | (比流量)<br>1,870 | 25.0    | 38.0          | 78.0          |

後の7月初旬には緑藻類の繁殖が局所的に確認されているが、7月下旬から10月上旬にかけては湖面全面での*Microcystis*属の浮遊が確認されておりpH値の上昇と共に藍藻類が優先種となったことが確認できる。なお、pH値の変動を見ると7月下旬から9月上旬にかけての期間が*Microcystis*属の繁殖の最盛期であった様子が伺える。また、ダム湖流入水をN/P値で見ると期別以下のような特徴が見られる。

- (1) 初夏と秋(6・9月)においてはN/P値は小さく概ね10程度以下であり、特に初夏(6月)期においてはT-Pの濃度が高くなりN/P値で5以下の値となることもある。また、盛夏期(7・8月)のN/P値は概ね5以上となるが10を大きく上回る高い値が主体である。
- (2) N/P値の期別区分は比較的明瞭である。また、平成11年の場合、N/P値の区分はアオコの発生時期と対応しており低N/P値期のうち初夏の期間は*Anabaena*属の繁殖時期、高N/P値期は*Microcystis*属の繁殖時期と重複していた。
- (3) T-N濃度の変動幅は4倍程度(1.16～4.23mg/l)であるがT-P濃度は20倍以上(0.05～1.01mg/l)の変動幅を持つ。従って三春ダム湖のN/P値はリン濃度の変動により制限されていると言える。また、図-5に示すように、大滝根川の水質を経時的に見ると、初夏から秋にかけてはT-N濃度が安定的に推移すること比べT-P濃度は流量変動に伴い最大5倍もの変動幅を有している。このことから、三春ダム湖の富栄養化制限因子としてはリンの影響が大きいことがわかる。また、T-P濃度の高い6～7月中旬はアオコの発生期(*Anabaena*属発生期～*Microcystis*属発生の初期)と

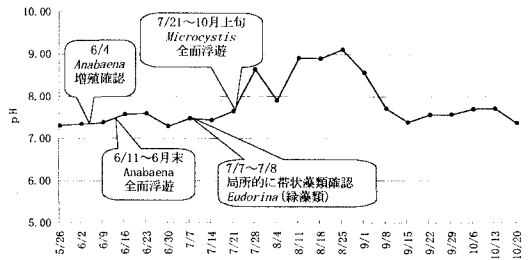


図-3 アオコ発生状況とpH(1999)

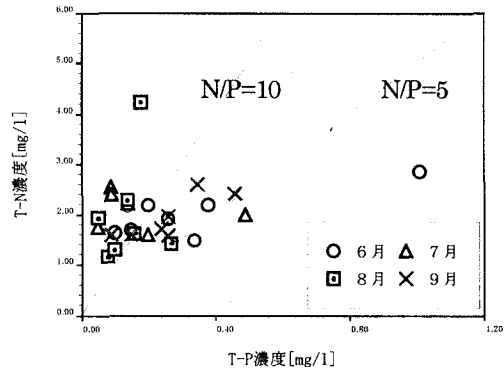


図-4 T-N・T-P濃度の期別分布(1999)

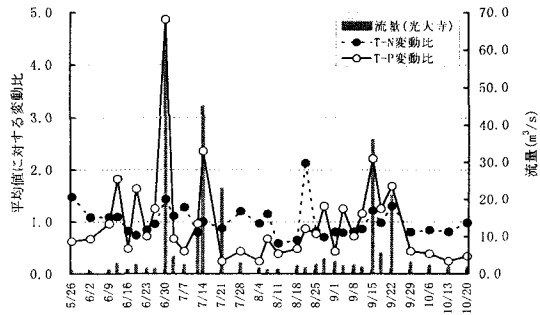


図-5 T-N・T-Pの期別変動

整合することから、十分な栄養塩類の存在の下に、初夏期の気温、水温の上昇と併せ梅雨末期の降雨によるリン供給増が藻類活性化の誘因となりアオコの大量発生に繋がることが推察される。

#### 4 前貯水池の負荷削減効果

##### 4. 1 平水時の前貯水池効果

1998年9月から12月にかけて週一回実施した定期水質調査の結果から前貯水池の平水時の効果を見ると、図-6に示すSS濃度については、前貯水池流入部の値は最小2.5~最大335.0mg/l・平均95.0mg/lで、中間地点の値は最小1.6~最大235mg/l・平均69.7mg/lとなっている。また、流出地点では最小値は1.4~最大272.5mg/l・平均77mg/lと流入水質に比べ中間点、流出部が低下した濃度を示しており、前貯水池がSS捕捉に効果を発揮している結果となっている。なお、各地点での値の変動は流量変動に概ね追従した状況となっており、SSの捕捉効果も流量変動に対応した効果を発揮している結果が得られている。

図-7に示すT-Nの濃度変化については、特に流量変動との密接な連動は見られないが、前貯水池の中間部、流出部地点において時折、流入部での濃度を上回るデータが得られている。また、この傾向は前貯水池中間部地点において流出部点よりも顕著であり、前貯水池内において窒素成分を含む底泥の攪拌混合が起きていることが考えられる。なお、流入地点でのT-N値は最小2.04~最大3.40mg/l・平均2.40mg/l、中間地点では最小1.85~最大2.85mg/l・平均2.24mg/l、流出地点では最小1.29~最大2.95mg/l・平均2.09mg/lと流下に伴い濃度が低下していることから、前貯水池を総体的に見ると窒素負荷の低減効果を発揮していると評価することができる。

図-8に示すT-P濃度を見ると、流入地点の値は最小0.03~最大1.35mg/l・平均0.35mg/lであり、中間地点では最小0.06~最大1.40mg/l・平均0.26mg/l、流出地点では最小0.05~最大1.65mg/l・平均0.29mg/lであり流入地点に比べ中間部、流出地点での濃度が若干低下している様子が伺え、前貯水池によるリンの捕捉効果が発揮されているものと考えられる。また、水中でのリン化合物は懸濁状態で存在することが多いため、前貯水池流入部地点でのリン濃度については流量変化に概ね追従した変動を示している様子も伺える。

なお、本調査によって得られた水質分析結果を用い、採水調査15回の平均値を年間の代表できる平均的な水質であると仮定して前貯水池流入部地点と同流出部地点の負荷収支を試算した場合、大滝根川前貯水池において捕捉する年間負荷蓄積量はT-N:776kg/年・T-P:1,893kg/年となり、流入地点負荷量として算出され

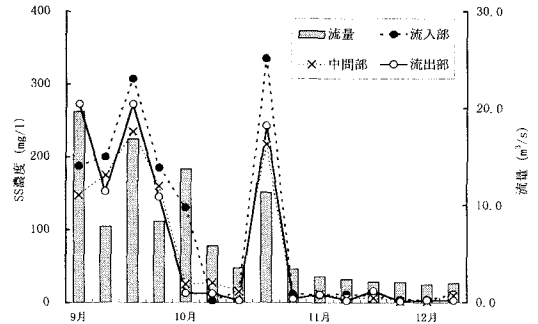


図-6 平水時前貯水池効果・SS

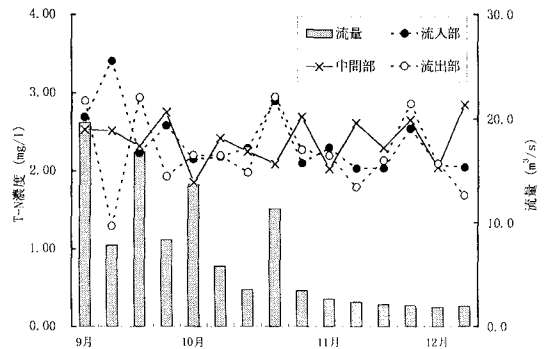


図-7 平水時前貯水池効果・T-N

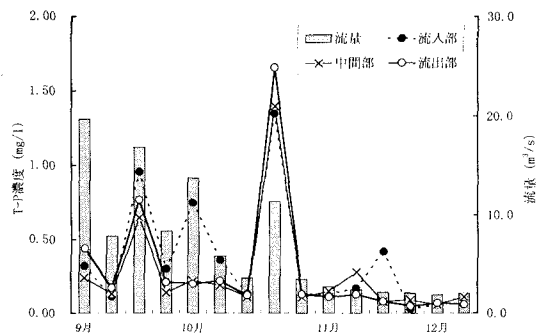


図-8 平水時前貯水池効果・T-P

る T-N : 75, 686kg/年・T-P : 11, 037kg/年に対し, T-N 負荷量の約 10%, T-P 負荷量の約 17%を補足している結果となる。

#### 4. 2 洪水時の前貯水池効果

洪水時の調査は, 1999 年 10 月 27~28 日に実施した。対象降雨は最大時間雨量 12.7 シ, 累加雨量 87.8 シ(降雨継続 20 時間)ではほぼ毎年生起する規模の降雨である。また, 降雨流出による最大河川流量は前貯水池流入部直上流に位置する光大寺地点で 90.86m<sup>3</sup>/s(H-Q 換算)となっており三春ダムの洪水調節に至らない範囲で最大級の出水規模となっている。

調査は前貯水池流入部地点及び流出部地点において降雨開始前の平水状態から降雨終了後ほぼ平水状態に回復するまで毎正時に採水, 水質測定を行い負荷量の変動を追跡した。

前貯水池の流入負荷量と流出負荷量の比較から負荷削減効果を考察すると, 図-9 に示す T-N 負荷量は, 流入総量 10, 926kg と流出総量 7, 822kg との差分の 3, 103kg が前貯水池による捕捉効果量となる。この量は流入総量の 28.4%に当る。また, 洪水後半の流量減水中には前貯水池からの負荷の流出が発生しており, 流出している負荷量は本貯水池へ流出する負荷総量の 7.4%に当る 578kg となっている。

図-10 に示す T-P 負荷についても, 同様に流入総量 3, 053kg と流出総量 2, 185kg の差 868kg が負荷捕捉効果量となり, この量は T-N 負荷量の捕捉効果とほぼ等しい割合の流入総量の 28.4%に当る。また, 前貯水池からの負荷流出は流量の減水期に集中的に発生し, 影響量は本貯水池への流出総量の 9.0%に当る 196kg となっている。

#### 5. 前貯水池の洪水時負荷捕捉特性

洪水時調査により得られた結果から洪水時の負荷流達及び前貯水池の負荷捕捉特性を考察する。

図-11, 12 に示すように前貯水池への流入負荷量は T-N, T-P のいずれも流入流量に関し高い相関を持って累乗関数で回帰するが, T-P 負荷量に関しては流量規模が大きくなると値がばらつく傾向が見られる。また, 図-13, 14 に示すように T-N, T-P 負荷量の変動は, 流量の変動に伴い増減するが, 特に T-P の変動は流入量, 流出量ともに流量変動に対し一定の時差をもって追従した波形を形成し変動することがわかる。また, 前貯水池による T-P 負荷の捕捉量(流入負荷量と流出負荷量の差分)と

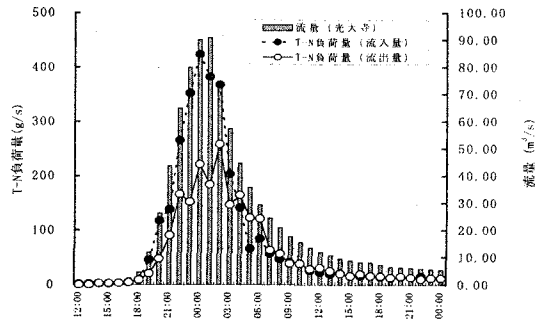


図 - 9 洪水時前貯水池効果・T-N

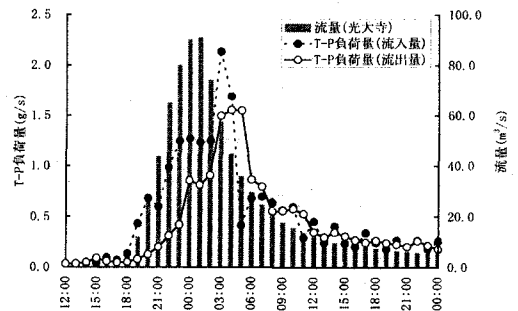


図 - 10 洪水時前貯水池効果・T-P

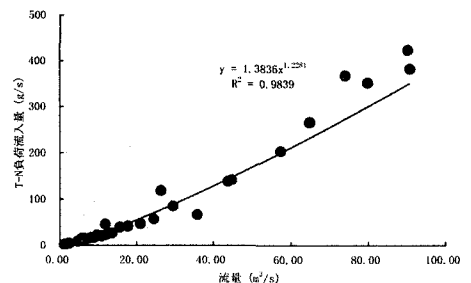


図 - 11 洪水時流量と T-N 負荷量

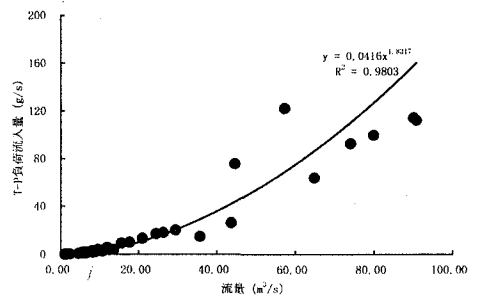


図 - 12 洪水時流量と T-P 負荷量

毎時刻の流量変動量の間にはより明確な関連が見られ、前貯水池内での遅滞時差として3時間を考慮することにより、図-16に示すようにほぼ直線的な回帰を示す。T-N 負荷に関しては、図-15に示すように負荷削減量と流量変動量との間に明確な相関性は見られない。

これらの特性を考察すると、T-N 負荷と T-P 負荷に関する移送形態の相違が考えられ、流量変動に対する追従性の違いから T-N 負荷が溶解性負荷成分も含めた形態で移送されており、T-P 負荷は懸濁粒子体を主体として移送されているものと考えられる。このことは、図-17、18に示すように T-N、T-P それぞれの負荷捕捉量を SS 負荷の捕捉量と比較してみると明らかであり、特に T-P 負荷捕捉量に関しては、SS 負荷の捕捉量とほぼ同様の捕捉状況となっている。また、T-N、T-P とともに SS 負荷の捕捉が収束する直前に、負荷の捕捉がマイナスとなる状況が生じているが、これも前貯水池内での滞留時差により生じる影響と考えることができる。

## 6. まとめ

本研究で得られた結果を整理する。

- (1) 三春ダム前貯水池の富栄養化制限因子としてはリン負荷の影響が大きく、十分な栄養塩類の存在の下に、初夏の気温、水温の上昇と併せ梅雨末期の降雨によるリン供給増が藻類活性化の誘因となりアオコの大量発生に繋がることが考えられる。
- (2) 前貯水池は、平水時、増水時ともに SS、T-N 及び T-P 負荷の捕捉に効果を発揮し、平水時流入負荷に対して T-N の 10%、T-P の 17% 程度を捕捉している。また、洪水時については、T-N、T-P とともに流入負荷量の 28.4% を捕捉している。
- (3) 前貯水池からの負荷流出は、平水時、洪水時ともに発生が見られる。特に洪水時は、流量の減水期間に発生する特徴が見られ本貯水池流入総負荷量に対し T-N 負荷で 7.4%、T-P 負荷で 9.0% 相当の負荷が流出している。
- (4) 洪水時の前貯水池への流入負荷量は、流入流量との間に相関関係を有し、T-N 負荷についてその追従性が高い。
- (5) 洪水時の T-P 負荷捕捉量は流量変動量との間に相関関係を有し、3 時間の時差を考慮するとほぼ直線的に回帰する。
- (6) 洪水時の T-P 負荷は、前貯水池から T-P 負荷が流出する流量減水期間を除き T-P 負荷削減量は SS 負荷削減

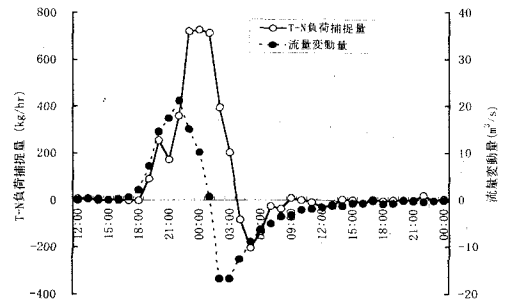


図 - 13 流量変動と T-N 捕捉量

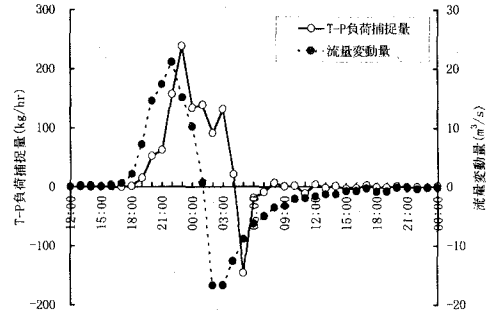


図 - 14 流量変動と T-P 捕捉量

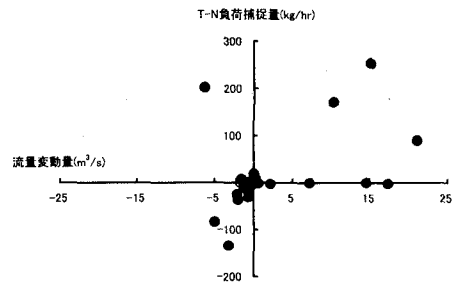


図 - 15 流量変動と T-N 捕捉量(時差 3 時間)

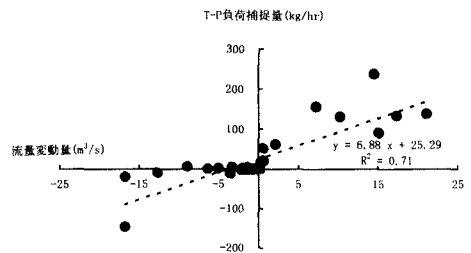


図 - 16 流量変動と T-P 捕捉量(時差 3 時間)

減量の変動に追従する。

## 7. おわりに

本研究の結果により、平時時及び洪水時においても前貯水池が負荷の捕捉に効果を発揮していることが確認された。また、前貯水池でのT-P 負荷の削減効率が流量変動と密な関連を示す知見も得られた。三春ダムの水質対策を効率的に推進し、また、閉鎖性水域の富栄養化対策の一手法として前貯水池方式の機能を適正に評価していくため、今回得られた結果を基に今後の研究の方向性を整理すると、①アオコの発生条件の明確化、②底泥からの負荷流出機構の解明、③前貯水池の負荷捕捉に関わる水理機構の検証が挙げられる。諸課題の解明に向け研究を進めて参りたい。

## 8. 謝辞

本研究の実施にあたり建設省東北地方建設局三春ダム管理所より多大のご協力を頂いた。また、日本大学工学部衛生工学研究室の各位には調査、分析の実施にご尽力を頂いた。ここに記し謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 松井ら；ダム前貯水池の水質挙動と浄水能、用水と排水, Vol.38, No.11, pp7~14, 1996
- 2) 福島県；水質年報, 1986~1998
- 3) 吉村信吉；湖沼学, 生産技術センター, 1976
- 4) 建設省三春ダム管理所；三春ダムガイドブック
- 5) (財)ダム水源地環境整備センター；三春ダム貯水池の水質保全対策, 1996
- 6) 玉井信行編；河川工学, 第4章川と利水, 3貯水池の水質管理, オーム出版局, 1999
- 7) (社)日本水道協会；上水試験方法, 1993
- 8) 法靈崎健史；三春ダム本川前貯水池における汚濁物質の挙動と底質に関する研究, 日本大学大学院工学研究科修士学位論文, 2000

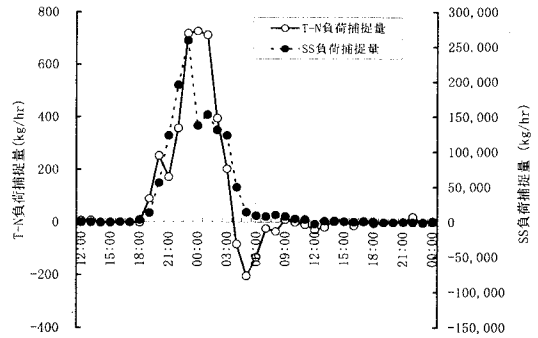


図 - 17 T-N 負荷捕捉量と SS 負荷捕捉量

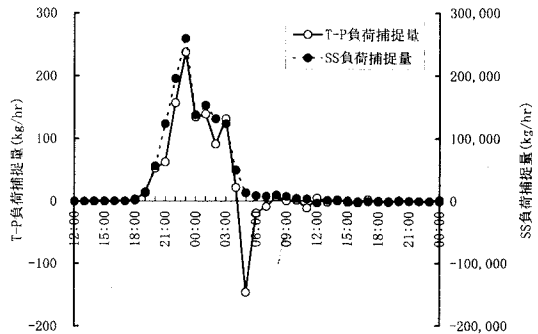


図 - 18 T-P 負荷捕捉量と SS 負荷捕捉量