

小規模閉鎖性水域に礫間接触酸化槽と植生浮島を適用した水質浄化事例

須江 まゆ*¹・岩田 将英*²・山本 達生*²・小口 深志*¹

A Case Study of the Water Purification with Applying the Biofilm Treatment Plant and Floating Plant Island into a Small Closed Water Area

Mayu SUE, Masahide IWATA, Tatsu YAMAMOTO, Fukashi OGUCHI



図-1 調査地点と設置地点



写真-1 (上) 植生浮島,
(下) 礫間接触酸化槽

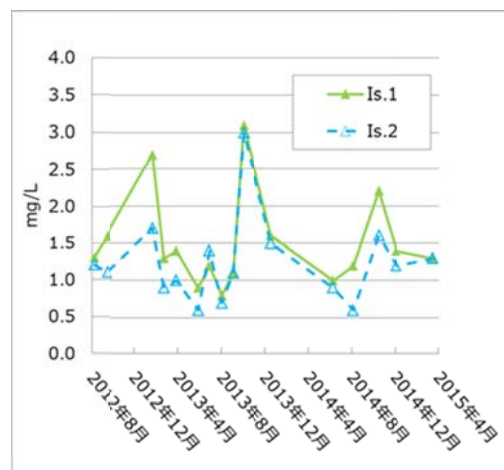


図-2 礫間接触酸化槽流入部の全窒素値変化

研究の目的

閉鎖性水域とは、地理的条件により水の出入りが滞りやすい海域や湖沼を指す。特に閉鎖性湖沼は水利的条件として水の滞留時間が長くなるため、富栄養化などの水質汚濁が発生しやすい。しかし、小規模な湖沼については対策が講じられていない場合も多く課題となっている。そこで、静岡県護国神社にある渚水面積が約3,000m²、最大水深が約1.5m、水量約2,000m³の神池を対象に水質調査を行い、水質の改善を目的に礫間接触酸化槽と植生浮島を設置した。

技術の説明

事前調査として水質の分析（測定分析項目：全窒素、全りん、COD-Mn、透視度、SS、pH、EC、DO）を4か月間行った結果、流入部（Is.1）における全窒素、全りんの値が共に高く、富栄養化の下限の目安値となる全窒素0.15 mg/L 及び、全りん0.02 mg/L を上回った。また、池内部には滞留部があり藻類等の繁茂が懸念されたため、流入部に礫間接触酸化槽、滞留部に植生浮島を設置し（設置期間は2012年8月から2015年3月までの2年7ヶ月間）、設置後、約2年半にわたり水質調査と生物調査を行った。

主な結論

2年半にわたり水質調査を行った結果、礫間接触酸化槽の通過前後（Is.1, Is.2）で全窒素、全りん、COD-Mnの値をそれぞれ比較すると、通過後で値が低下している時期が多く、礫間接触酸化槽の設置が池への流入水の水質改善に寄与していることが示唆される結果となった。COD-Mnの結果についても同様の傾向であった。

また、定期的な生物調査の結果、植生浮島には水中の基盤材にスジエビ、植生部にコシアキトンボの羽化殻を確認するなど、水生生物の生息場所としての役割を果たしていたと考えられる。このことから、これらの水質浄化設備の導入は景観創造、植生基盤や植生部に依存する生物の多様性、環境教育の側面からも意義が期待される。

*1 本店 技術研究所 地盤・環境研究室

*2 本店 土木技術部 環境技術グループ

小規模閉鎖性水域に礫間接触酸化槽と植生浮島を適用した水質浄化事例

須江 まゆ^{*1}岩田 将英^{*2}山本 達生^{*2}小口 深志^{*1}

要 旨

閉鎖性水域とは、地理的条件により水の出入りが滞りやすい海域や湖沼を指す。特に閉鎖性湖沼は、水利的条件として水の滞留時間が長くなるため、富栄養化などの水質汚濁が発生しやすい。しかし、日本各地の小規模な湖沼については対策が講じられていない場合も多く、水質改善が進んでいないのが現状である。そこで、静岡県護国神社にある神池を対象に水質調査を行い、流入部において富栄養化の目安値である全窒素0.15 mg/L、全りん0.02 mg/Lを上回ったため、水質の改善を目的に礫間接触酸化槽を設置した。また、池内部には滞留部があり藻類等の繁茂が懸念されたため、植生浮島を設置し、約2年半にわたり水質調査と生物調査を行った。その結果、礫間接触酸化槽通過後の全窒素、全りん、COD-Mnの値について低下傾向が確認でき、礫間接触酸化槽の設置が池への流入水の水質改善に寄与していることが示唆された。さらに、植生浮島ではシュロガヤツリが繁茂し、窒素吸収に寄与したことが示唆されるとともに、生物の生息場としての役割も確認された。

キーワード 閉鎖性水域／水質浄化／廃棄物利用

目 次

- | | |
|------------|---------|
| 1. はじめに | 4. 植生浮島 |
| 2. 設置前調査 | 5. おわりに |
| 3. 礫間接触酸化槽 | |

A CASE STUDY OF THE WATER PURIFICATION WITH APPLYING THE BIOFILM TREATMENT PLANT AND FLOATING PLANT ISLAND INTO A SMALL CLOSED WATER AREA

Mayu SUE
Tatsuo YAMAMOTO

Masahide IWATA
Fukashi OGUCHI

Synopsis:

“Closed water area” means the bay or lake which is difficult to circulate the water. Especially closed lake tends to show severe pollutions due to its long water stagnation. However, countermeasures for small lakes in Japan are not taken in many cases.

The authors carried out a water quality investigation for a shrine lake in Shizuoka Gokoku-Jinja shrine. As a result, the total nitrogen of more than 0.15 mg/L and the total phosphorus of more than 0.02 mg/L were detected at the inlet of the lake. Therefore a gravel contact oxidation plant was installed at the inflow of the lake as a water purification treatment. In addition, floating plant island was installed in the lake to prevent waterweeds growth. Water quality monitoring was carried out for two and half years after these installations. As the results, both the total nitrogen and the total phosphorus were decreased by passing the gravel contact oxidation plant.

* 1 技術研究所 地盤・環境研究室

* 2 本店 土木技術部 環境技術グループ

1. はじめに

閉鎖性水域とは、地理的条件により水の出入りが滞りやすい海域や湖沼を指す。特に閉鎖性湖沼は、水利的条件として水の滞留時間が長くなるため、富栄養化などの水質汚濁が発生しやすい。また、発生した汚濁物質は蓄積しやすく、一旦汚濁が進行するとその浄化が困難となる特徴がある。富栄養化が進行すると、アオコの大量発生による景観の阻害や悪臭等が発生することになる。このような水域の水質を浄化すべく湖沼水質保全特別措置法に基づき、水質保全が緊要な11の湖沼が指定されている。指定湖沼については、COD、窒素、りん削減のために工場からの排水規制、下水道、浄化槽等の生活排水処理施設の整備、浚渫事業等直接浄化等の施策の推進が図られ水質の改善が進められている¹⁾。

しかし、前記のように対策が講じられているのは大規模な閉鎖性湖沼が中心である。日本には人工的に作られた湖沼を含めて短径が100 m以上のものは約11,600 湖沼あるといわれており、その中で湛水面積が0.1 km²未満の小規模な湖沼は10,000 個以上と言われている。このような小規模な湖沼については対策が講じられていない場合も多く、水質改善が進んでいないのが現状である。

そこで、静岡県護国神社にある神池を対象に水質調査を行い、水質の改善を目的に礫間接触酸化槽と植生浮島を設置した。本報では約3年間で実施した調査を中心に適用事例を報告する。

2. 設置前調査

2.1 調査地点及び測定分析項目

静岡県護国神社境内にある神池は、面積が約 3,000 m²、最大水深が約 1.5 m、水量約 2,000 m³の池である。（写真-1）主な流入水は雨水だが、少量の生活排水が流れ込んでいる可能性がある。この神池を対象に 2012 年 5 月から 8 月にかけて、月 1 回の頻度で 4 回、池の 8 地点（図-1）で水質調査を行った。調査時の測定分析項目は全窒素、全りん、COD-Mn（以下、COD と記載）、透視度、SS、pH、EC、DO とした。試験法は JIS-K-0102 に則って行った。



写真-1 静岡県護国神社内の神池全景



図-1 神池の形状と調査地点

2.2 設置前調査の結果と考察

神池への流入部（Is.1）と池内部の滞留部（Is.4）における全窒素と全りんの測定結果を図-2 と図-3 に示す。特に流入部（Is.1）における全窒素、全りんの値が共に高く、それぞれ富栄養化の下限の目安値³⁾となる全窒素 0.15 mg/L 及び、全りん 0.02 mg/L を大きく上回った。一方で、池内部（Is.4）でもこの目安値は超過していた。流入部で分析値が高い傾向は COD の値も同様であった。

神池は環境省が定める湖沼の定義である、「天然湖沼及び貯水量が 1,000 万 m³ 以上であり、かつ水の滞留時間が 4 日間以上である人工湖」という定義の中で貯水量の項目を満たしていないが、参考として最も水質が悪い湖沼 V 類型と比較した。湖沼 V 類型とは利用目的の適用性において「環境保全」の区分であり、これば国民の沿岸の遊歩等を含む日常生活において不快感を生じない限度とされている。この湖沼 V 類型では全窒素を 1 mg/L 以下、全りんを 0.1 mg/L 以下と定めており、調査値と比較した結果、この基準値を超過した調査日もあった。なお、調査日のうち後半の 2 日間は降雨中に調査を行った。特に 2012 年 7 月 3 日の調査日は時間最大 14 mm、合計 44 mm の降雨であったため、流入水が雨水で希釈され分析値が低下したものと考えられる。

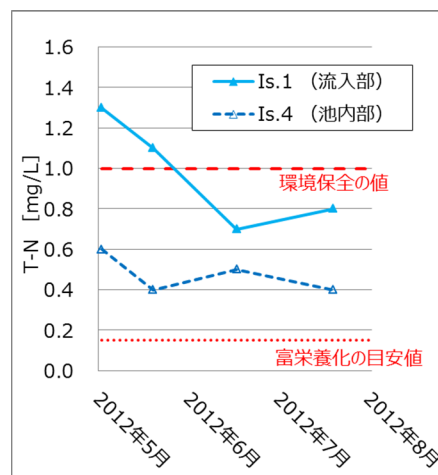


図-2 事前水質調査 全窒素の結果

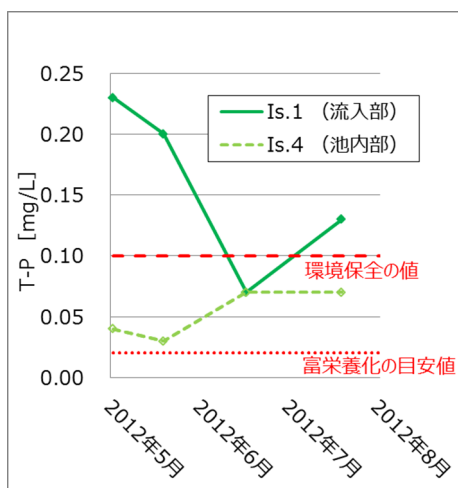


図-3 事前水質調査 全りんの結果

次に、流入部 (Is.1) と池内部の滞留部 (Is.4) における透視度の調査結果を図-4 に示す。なお、透視度計は水深 50 cm のサイズを使用したため、上限が 50 cm であった。そのため、流入部の結果で 50 cm となっている調査日はそれ以上の透視度であったことを示している。また、SS の分析を行った 1 日分のデータも合わせて記載した。

その結果、透視度は流入部より池内部の方が低い値となっており、SS の値は池内部で高く、池内部の方が汚濁している状況が確認された。この値は、環境省が定める湖沼の SS 基準値では、湖沼 B 類型 (SS 値: 5 mg/L～15 mg/L) に相当する。

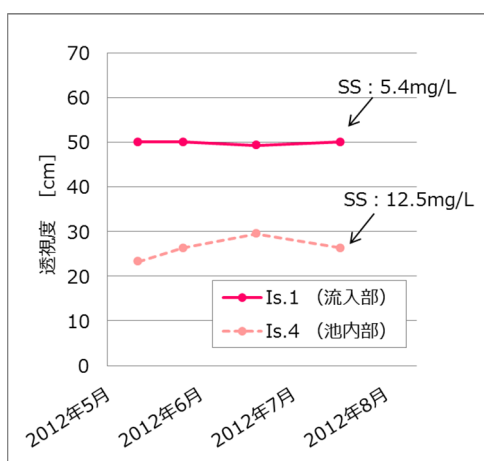


図-4 事前水質調査 透視度の結果

このように、設置前調査の結果では流入水の全窒素、全りん、SS の値が池内部より高く栄養塩類が多く流入していることが示唆されたが、透視度は高く SS は低いことが示された。一方で、池内部では流入水と比較して全窒素、全りん、SS の値は高くなかったが、富栄養化の目安よりも値が高かった。また、透視度は低く、SS は高い傾向となり、SS による濁りがあることが確認された。

このことから、流入水の栄養塩類は SS 由来ではなく、溶

解性であると考えられる。また流入した SS が池内部で滞留することでアオコや、その他の微細藻類等の基質となり濁りの原因になると考えられる。そこで、まず流入水の全窒素、全りん、SS の値を低下させる対策を施す必要があると判断した。また、静岡県護国神社へのヒアリングで夏季に池内部でアオコが発生したことがあるとの回答が得られており滞留部で、夏季に向けてアオコや藻類等の繁茂が懸念されるため対策を講じる必要があると考えた。

3. 水質浄化設備の設置

3.1 流入部の対策 (礫間接触酸化槽)

(1) 構造と設置場所

流入部は流入水の窒素、りん等を減らすことを目的に、礫間接触酸化と植生浄化を組合せた礫間接触酸化槽を設置した。設置場所は図-5 に示すとおりである。設備の設置期間は 2012 年 8 月から 2015 年 3 月までの 2 年 7 ヶ月間であった。

礫間接触酸化槽は、500 mm×500 mm×500 mm のステンレス製の籠に、洗浄したカキ殻を 20～30 mm 程度に破碎して粉末を取り除き、流出防止用の網に入れて充填した (写真-2)。この籠を 16 個、2 列で連結し図-6 に示す池の流入部に設置した。このうちの 6 個の籠には、*Cyperus alternifolius* L. (以下、シュロガヤツリと記す) を定植し、植生部とした (写真-3)。設置場所は図-6 に示すとおり、池への流入部で水路状になっている箇所である。槽は流出防止のため四方に杭を打ち込み、豪雨等で流入量が劇的に増加する場合を考慮し、流入量が多くなる際は槽上部を水が流れることが可能な高さとした。また、魚道を確保して設置した。



図-5 設置場所



写真-2 カキ殻充填状況



写真-3 設置状況

(3) カキ殻

本槽の接触材には、カキ殻を使用した。一般的にカキ殻は産業廃棄物として取り扱われるが、水質浄化資材として効果が高いと期待されている材料である。特にりんに対しての水質改善効果が高いと報告されている⁴⁾。

まず、使用したカキ殻の性質を確認するため走査電子顕微鏡（以下、SEM と記載）による表面観察、強熱減量試験（JIS-A-1126）による有機物含有量の把握、X 線回折による鉱物の同定、蛍光 X 線分析による元素分析を行った。SEM は、「JSM-6010PLUS/LA」（日本電子製）を使用した。SEM によるカキ殻の表面観察の写真を写真-4 に示す。カキ殻の外表面は SEM 写真から薄片状の隔壁がカードハウス構造になっており、毛管現象による吸水性が高いことが推察される。

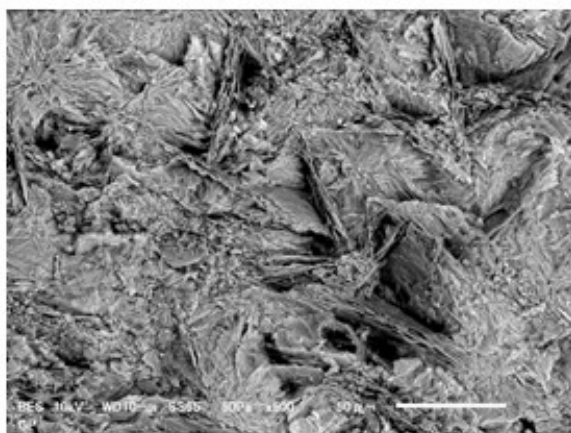


写真-4 SEM によるカキ殻表面の観察写真

さらに、カキ殻を X 線回折装置「MiniFlex」（リガク製）を使用し X 線回折による鉱物同定を行った結果、そのピークのパターン（図-5）から方解石が主であることが確認された。方解石は炭酸カルシウムの結晶である。

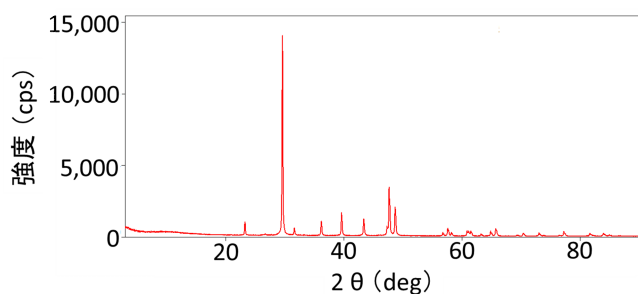


図-6 カキ殻の X 線回折ピークのパターン

さらに、カキ殻をエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置「EDX-8000」（島津製作所製）で分析した結果を表-1 に示す。約 98.3 %が CaO であった。SiO₂ も約 0.8 %含まれていたが、これはカキ殻表面に凹凸があるため土粒子が

付着しており、珪酸塩類が検出されたと考えられる。熱減量試験に供し有機物量を算出した結果、有機物は約 4.9 %であった。これらの有機物はカキ殻中のタンパク質であると考えられる。このタンパク質を構成するアミノ酸はグリシンが最も多く、アスパラギン酸、セリンの順で含まれており、水質改善に寄与する微生物はこれらのアミノ酸の利用分解が可能であることが報告されている⁵⁾。このことから、礫間接触酸化槽にカキ殻を使用することはタンパク質を含まない礫剤を使用した場合と比較して、水質改善に寄与するバクテリアが生育しやすいため、水質改善の観点から利点があると考えられる。

表-1 カキ殻の元素組成

(単位 : mass%)	
物質名	分析値
CaO	98.296
SiO ₂	0.781
SrO	0.249
Fe ₂ O ₃	0.214
K ₂ O	0.084
SO ₃	0.052
ZnO	0.017

(3) シュロガヤツリ

3.1(1)にて記したように接触酸化槽にシュロガヤツリを植生する植生部を設けた。シュロガヤツリは窒素吸収能力が極めて高く、水質浄化用の植物として有用であることが報告されている⁶⁾。そのシュロガヤツリをカキ殻が充填されたステンレス製の籠に、籠 1 個につき 2, 3 本の苗を 30 か所定植した（図-8）。平成 26 年に環境省から示された「自然浄化対策について」によると、植生を用いた自然浄化対策を行う場合、植生の刈り取りや植生の枯死体等の堆積物除去などを定期的に行い、底泥嫌気化の低減に配慮する必要があるとされている⁷⁾。そのため、年一回の頻度で定植した植物の刈取り、枯死した植物の植替えを行うこととした。また、窒素吸収量の把握のため、植物体の地上部（茎と葉）の窒素含有量を比色法により分析した。

3.2 池内部の対策（植生浮島）

前記のとおり、池内部の滞留部は流入部より全窒素が低いものの、富栄養化の目安よりも高く、かつ SS による濁りがある状況であった。そのため、窒素の除去を目的として、浮島状の浮体にシュロガヤツリ主とする植生を定植した植生浮島を設置した（図-7、写真-5）。1 つのユニットは一辺が 400 mm の正六角形とし、このユニットを 7 つ結合したものを 1 つの島とし、島を 2 つ製作した（図-7）。浮島の基盤材は耐候性に優れ、透水性が高い立体状網目状のポリプロピレン製の材料を使用し、この浮島

の浮体にはエチレン酢酸ビニルコポリマーを採用した。エチレン酢酸ビニルコポリマーはチューインガムのベースや水泳用のビート板にも使用されており、安全性が高い材料であるため選定した。底の部分には、SS を捕捉できるようにポリ塩化ビニリデン製の紐状接触剤を取り付けた。設置期間は 2012 年 8 月から 2014 年 3 月までの 2 年 7 か月とした。また、参拝客が数多く訪れる境内にある池のため、景観を考慮しミソハギ等の湿性植物も導入した。ミソハギは、夏から秋にかけて桃色の花が咲き、開花期も長いので景観の向上に寄与できると考えた。また、花が咲く植物は咲かない植物と比較してりんが多く吸収されることも考慮した。このように、空隙が適度に空いた材料や、花が咲く植物を定植することにより、生物の採餌場や生息場所としての役割も目論んだ。なお、礫間接触酸化槽の植生部に定植したシュロガヤツリ同様、年 1 回 10 月から 11 月にかけて刈取りを行うと共に、枯死した植物の撤去や植替えを実施した。

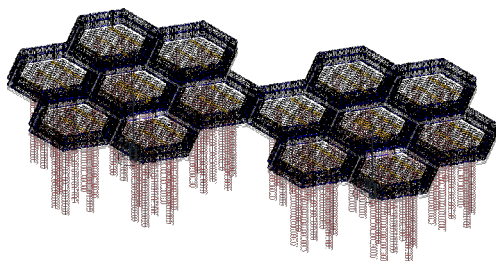


図-7 植生浮島の構造



写真-5 浮島植生の設置状況

4. 設置後の水質調査結果と考察

4.1 水質

通過後 (Is.2) の水質分析結果を図-8～10 に示す。図-8 は全窒素、図-9 は全りん、図-10 は COD である。通過前後の値を比較すると、通過後で値が低下している時期が多く、設備設置が水質改善に寄与していることが示唆される結果となった。しかしながら、富栄養化の目安値を満足することはできなかった。前記した設置前調査の結果と比較するとすべての分析項目で高い値となっており、特に夏季の値が高かった。

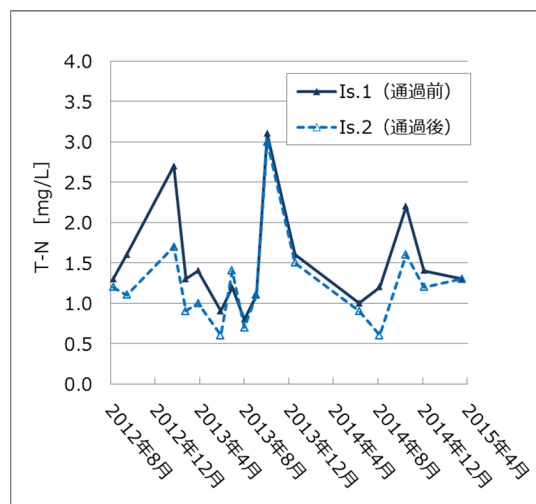


図-8 全窒素の分析結果

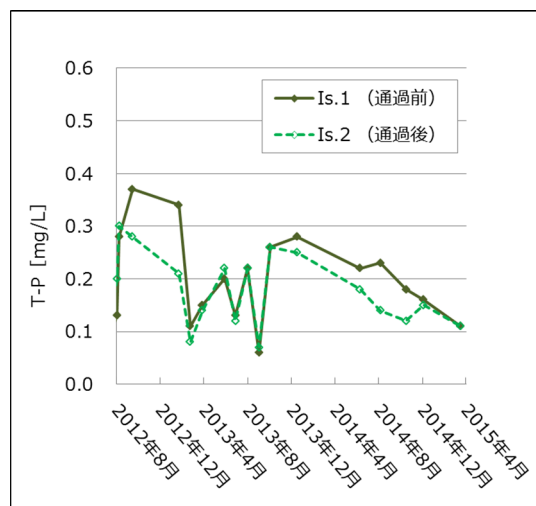


図-9 全りんの分析結果

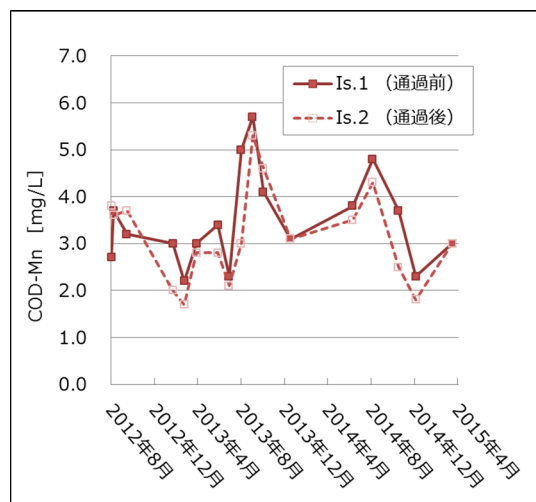


図-10 COD の分析結果

図-11 に池内部の滞留部の全窒素の値を示す。その結果、浮島の有無による明確な水質改善効果は確認できなかった。全りん、COD の結果についても同様の傾向であった。これは、池の面積に対し植生浮島の面積が小さかったためと考えられる。しかし、シュロガヤツリやミソハギなどが旺盛に繁茂し、植生浮島は窒素の吸収に寄与していたことが示唆される。

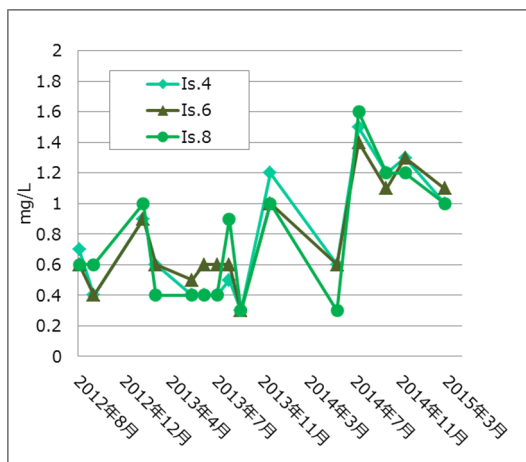


図-11 全窒素の分析結果

4.2 シュロガヤツリ

前記した通り、池内部の水質調査の結果では、明確な水質改善効果は確認できなかった。しかし、シュロガヤツリの植物体は旺盛な繁殖が確認されたため、2013年に生育したシュロガヤツリの植物体について窒素含有量を分析した。採取した植物体は秤量後粉碎して含有窒素成分を測定した。植物体の分解は硫酸分解法により行い、比色定量した。その結果、1 m³ 当りの平均新鮮収量は約 27.1 kg、水分量は 82.3 %であったため、乾燥重量は約 4.8kgであった。乾物当りの窒素濃度は 1.39 %であったため、1 m³ 当りの窒素含有量は 66.7 gであった。この結果より、流入部の礫間接触酸化槽のシュロガヤツリの定植では1作当り約 100.0 g の窒素吸収がなされたと推察される。また、池内部の植生浮島では約 186.8 g の窒素吸収がなされたと推察される。

この分析値から、池内部の水質の改善に寄与するため必要なシュロガヤツリの定植面積を算出した。池全体の全窒素量を富栄養化の目安値である 0.15 mg/L 程度に低下させるために必要な浮島植生は、本取組みで設置した設備の約 6 倍である。

4.3 カキ殻と紐状接触剤

使用前のカキ殻と 2 年 7 か月後のカキ殻の強熱減量の比較を行った結果を図-12 に示す。その結果、使用前の状態と比較して 2 年 7 か月が経過した後のカキ殻の有機物の量の方が多く、カキ殻の表面に有機物が付着していることが確認できた。カキ殻表面にバイオフィームが形成

され水質改善に寄与していたことが示唆された。また、礫間接触酸化槽と植生浮島のそれぞれからカキ殻を採取し有機物量を比較した結果、植生浮島のカキ殻の方が多い傾向がみられた。

また、期間中の紐状接触剤に付着した SS 量の測定結果を図-13 に示す。この結果、外側に位置した浮島に設置した紐状接触剤の方が、内側と比較して SS 量が多い結果となった。これは、水の流れにより、外側の紐状接触剤の方が SS を多く含んだ水との接触機会があるためと考えられる。

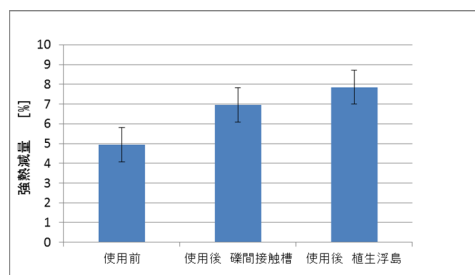


図-12 カキ殻の強熱減量

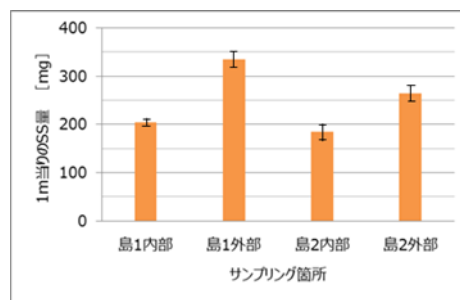


図-13 紐状接触剤に付着した SS 量

5. 生物調査

試験期間を通じて、植生浮島の地上部および水面近傍の生物調査を行った。その結果、植生浮島には水中の基盤材にスジエビ、植生部にコシアクトンボの羽化殻が確認でき、水生生物の生息場所としての役割を果たしていたことがわかった。



写真-6 確認された生物

6. おわりに

礫間接触酸化槽の設置により、栄養塩の流入負荷を低減させる効果を確認した。植生浮島については、窒素やリンの低減に対し定量的な効果は確認できなかった。これは池の面積に対し、設置面積が微小であったためだと考えられ、設置面積を6倍程度に増加させることで水質浄化に直接寄与するものと推測できる。また、植生浮島は水生生物の生息場として機能していることが確認できた。このことから、植生による水質浄化設備の導入は、景観創造、植生基盤や植生部に依存する生物の多様化といった面についても効果があると考ええる。さらに、今回の設置場所については、周辺住民の憩いの場として親しまれている場所であることから環境教育の側面からも意義が期待される。

最後に、本論文を執筆するにあたりご協力いただいた静岡県護国神社の芦原久雄氏、静岡市公園整備課の諸氏に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 環境省水・大気環境局水環境課,逐条解説 湖沼水質保全特別措置法(2007),環境省
- 2) 環境庁水質保全局監修,水質法令研究会編,湖沼の水質保全(1986),地球社
- 3) 田淵俊雄編:農業土木技術者のための水質入門(1986),農業土木学会,pp.139-152.
- 4) 佐々木長市ら,産業廃棄物としてのカキ殻を用いた水質浄化試験(1999),農業土木学会論文集,NO.200,pp.69-77.
- 5) 相澤治郎,牡蠣殻を利用した河川水質浄化効果(1998),岩手大学工学部技術部報告 1, 39-41
- 6) 宮崎彰ら,水上栽培したイネとシュロガヤツリの水質浄化効果の比較(1999)日本作物学会紀事,NO.68(4),pp.570-575.
- 7) 環境省 水・大気環境局,自然浄化対策について～生態系機能を活用した“健やかな湖沼水環境”の実現を目指して～(2014),環境省