

# [11] サンプリング配管内のスライムの影響とその除去

(株)日立製作所 生産技術研究所 ○平塚 豊 小田島 建司  
" 那珂工場 喜花 宏光

1. はじめに 河川の水質監視、工場排水監視、浄水場や下水処理場の水質計測など水質の連続測定が必要は各方面に高まっている。最近特に上下水処理場の大型化にともない、コンピュータに直結した水処理制御が指向され、そのための水質計測は安定性と信頼性の確保が絶対的なものとなってきた。現在の連続水質計にはメンテナンスフリーのものがなく、その設置には保守のし易い集中管理方式を採用するのが一般的である。そのため水質の測定点から水質計に試料水を送るサンプリング配管は長いのが普通で、場合によっては800mに及ぶものがある。このような長いサンプリング配管で試料水を輸送する場合、配管内壁に付着したスライムで測定値が変化したり、ひどい場合には配管の閉塞が起るなどして、水質計測上の大きな問題となっている。

この問題の解決には定期的な配管の清掃が必要であるが、配管に付着堆積してきたスライムの剝離には機械的に擦るか、薬液による殺菌などがなされなければならない。従来次亜塩素酸塩溶液を配管内に充填放置する化学的方法やエラストックピグ<sup>(注)</sup>を配管内に通す機械的方法が有効な手段として試みられているが、前者は長時間採水を停止しなければならないとか、経費がかかる難点があり、後者は分岐や屈曲の多いサンプリング配管では走行性が悪く、作業の確実性に欠ける。したがってこれらに代る効果的で労力のかからない経済的配管洗浄法が要望されていた。

注) ポリウレタンゴムなどから出来ている砲弾形をした弾性体で、パイプライン内部のスケール除去等に使用。

2. スライムの生成 スライムは水に接する器材表面にヌルヌルの状態で付着発生する微生物(細菌類、カビ類、藻類)を主体とした粘着物やこれに微細な土砂粒子を含んだ軟泥を総称しているもので、その性状や生成度合は水質や気温の影響を受け可成り幅がある。水中の有機物成分、窒素、リンの濃度が高いと粘着性スライムができ、これに無機性懸濁物質が共存してくると堆積性スライムができ易い。荒川水系の浄水場について調べたスライムの組成は約12%の有機成分と、 $SiO_2$ (50%)、 $Al_2O_3$ (20%)、 $Fe_2O_3$ (10%)を主成分とする無機成分から成っている。有機成分中の炭素含有率は約50%で細菌組織のそれとほぼ一致している。下水高度処理水を通水して生成したスライムについての国富、金子の報告<sup>1)</sup>によると、有機成分の比率はもつと高く40%前後になっている。またスライム中のFeの割合も約30%と高い値を示している。また、武藤、今井、須貝<sup>2)</sup>は下水の二次処理水(接触酸化法処理水)を中心にスライム発生実験を行ない、生成スライムの化学組成を詳細に分析して $C_7H_{12}NO_2$ の組成式を報告しており、炭素含有率に40.5%の値を示している。

次にスライムの生成度合であるが、浄水場における着水井原水の筆者等の測定結果によると、塩化ビニル配管へのスライムの付着速度は冬場は7~33  $\mu g/cm/d$ であるが、夏場の気温の高い時には110~190  $\mu g/cm/d$ とほぼ1桁は高くなる。この実験の際、通水速度を1.8%と0.4%に変えているがスライム付着速度に明確な差は見られない。むしろ新しい配管にスライムが着き始める通水の初期とスライム層が或る程度生成してからとはスライム付着速度が異なり、前者の値は後者の約1/2である。スライム付着量とスライム中の有機物成分の割合(便宜上加熱減量から求めた)との間には図1に示す関係があり、付着量の少ないもの、言い換えると付着初期のスライムは殆んど有機成分からなり、スライムが生長するに従い有機物の割合が減少して大体20%前後に落ち着く。このことはスライムの付着生長のステップが図2に示すモデルに従っていることを示している。スライムの付着度合について先に挙げた国富<sup>1)</sup>らや武藤<sup>2)</sup>らが示している値は表1の如くで、処理原水の水質や処理程度によって異なるが、下水の高次処理水ではスライム付着速度は10~30  $\mu g/cm/d$ 以下であることを示している。

活性汚泥処理装置の沈澱槽に試験片を浸漬してスライム付着量を調べた結果は図3の通りで、浸漬日数が47日までは経時的にスライム付着量は増加しているが、それ以上経過したものは逆に付着量が減少している。47日目の最大のスライム付着量でも汚泥相に浸漬した場合1 mg/cm<sup>2</sup>前後、上澄相に浸漬した場合、2 mg/cm<sup>2</sup>程度であった。これを付着速度で示すと20~50 μg/cm<sup>2</sup>/dに相当する。

スライムが厚く生長すると下層の微生物は栄養分や酸素の供給状態が悪くなって死滅するため剝離し易くなり、付着量に上限が出来る。その値は水流のあるサンプリング配管では3~5 mg/cm<sup>2</sup>である。

3. スライムの水質測定に及ぼす影響      スライムで汚染されたサンプリング配管による水質測定値への著しい変化を与えた例として渡辺の報告がある。浄水場の着水井から25 mmφの塩化ビニル管400 mで試料水を試験室の原水タンクへ1.1 m/sの流速により輸送する間に溶解性マンガノ濃度は56%, アンモニア性窒素濃度が、36%も損失し低値を示した。

また建設省近畿技術事務所が淀川に設置した水質モニタの試料輸送管について報告しているところによれば、スライムが非常に繁殖したサンプリング配管の前後で溶存酸素測定値が変化しており、45%も減少している例がみられている。

浄水場の着水井原水を50 mmφ塩化ビニル管192 mに0.76 m/sの流速で通水し、5~12 ppmの濁度を配管前後で比較した。懸濁物が配管に付着して起る濁度値の誤差は僅か0.2%に過ぎないが、配管がスライムで汚れてくると(スライム付着量0.2~0.9 mg/cm<sup>2</sup>)濁度値は高い方へ変化し、最大34%にも及ぶことがある。これは主に配管内に堆積したスライムがしばしば局部的に剝離して濁度を高めるためと考えられ、事実このような状態の時に通水速度を0.8 m/sから1.6 m/sに高めると12 ppmの濁度値が23 ppmに上昇することが経験された。

別に遊離塩素に与えるスライム汚染の影響を調べた。次亜塩素酸ナトリウムで調製した遊離塩素濃度3~4 ppmの液を50 mmφ 350 mの塩化ビニル配管による循環回路内に0.8 m/sで60分間流した。スライム付着量1.3 mg/cm<sup>2</sup>の場合に遊離塩素の濃度減少率は18.6%で、貯槽中で攪拌放置している時の減少率1.4%に比べ可成り大きい。

配管内にスライムが生成されていることは微生物が管内を流れる基質(生物の生育に必要な栄養物質)を摂取し、溶存酸素の供給を受けていることに他ならない。水質計測の面からみれば試料水をスライムの堆積した配管

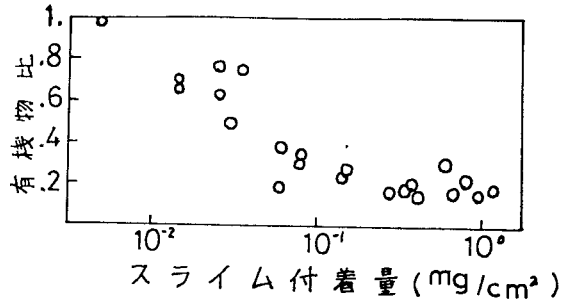
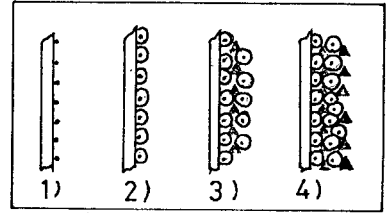


図1 スライム付着量とスライム中の有機物成分の割合



- 微生物    ○ 粘着性物質を伴った微生物
- ▲ 無機物
- 1) 固体表面への微生物付着
- 2) 微生物周囲への粘着性物質の生成
- 3) 粘着性物質による無機懸濁物質の固定
- 4) さらに微生物付着により生長

図2 フォニム形成の模式図

表1 スライム付着速度の測定例

浄水場着水井原水(冬)	7~33 μg/cm <sup>2</sup> /d
〃 (夏)	110~190 〃
下水高次処理水	11~23 〃
下水二次処理水(接触酸化)	5 〃
活性汚泥沈殿槽(汚泥)	20 〃
〃 (上澄)	50 〃

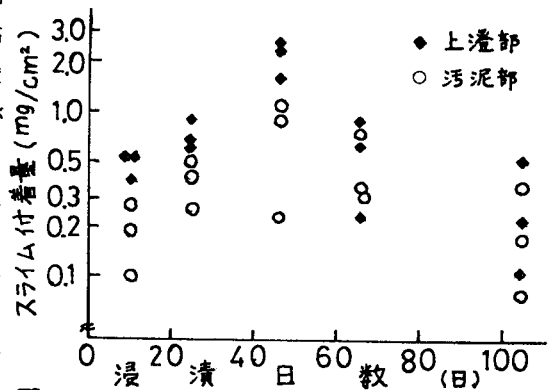


図3 活性汚泥槽のスライム付着量

に通すことは水質中のT O C，アンモニア性窒素，りん，溶存酸素が確実に消費され正確な測定が不可能なことは明らかである。

4. サンプリング配管の洗浄法 サンプリング配管の洗浄法として比較的行なわれてきた方法は加圧水または圧縮空気を用いる逆流洗浄である。圧縮空気を用いる方法は装置的には簡単になるが，溶存酸素を測定項目にしている場合には問題がある。逆洗はストレーナのような水中の爽雑物が一方から覆り形で付着するものには有効であるが，長い，屈曲した配管内の堆積物，特に配管内壁に粘着したスライムの除去には効果が期待できない。スライムの除去には何等かの方法でスライムを管壁から剝離させる作用を与える必要がある。例えば次亜塩素酸溶液（遊離塩素濃度 200 ppm）をサンプリング配管内に充填し，殺菌のため 24 時間放置後水洗する。この方法は有効であるが，長時間採水を止めなければならないため平行してもう一本の配管の敷設が必要になるし，堆積したスライム中の微生物に十分作用させるには高濃度で薬液を注入しなければならないと経費が馬鹿にならない。これに対してエラストックピグをサンプリング配管内に通す方法が試みられたが，分岐や屈曲の多い硬質塩化ビニル管からなる浄水場のサンプリング配管では走行性が悪く，作業の確実性に欠ける。

ピグと同様な機械的清掃法であるスポンジボールを配管内に走行させる方法はボイラー用複水器やチューブラ形逆浸透膜モジュールのスケール除去<sup>4)</sup>に実績がある。そこでこのスポンジボール法をサンプリング配管洗浄用に適用する検討を行なった。

5. スポンジボール洗浄法 配管の清掃にスポンジボールを使用することの利点としては，1) 球形で柔軟性に富み，配管の屈曲部や分岐部でも走行性が良い，2) 走行時の圧力損失が小さい，3) 配管径路への投入，離脱，走行制御が容易，4) 安価などがあげられ，特に3)の点は洗浄操作の自動化にも好都合である。懸念されるスライムの除去性も浄水場に設置した試験設備（図 4）による実施試験の結果図 5 に示すように問題ないことが確認された。例えば夏期以外の時期に着水井原水を 30 日間通水して付着させたスライム（付着量

0.9 mg/cm<sup>2</sup>）は 1 回のボール走行で 95 〇が除去され，3 回走行を繰返せば 100 〇の除去率が得られる。夏期でも 20 日間程度の通水で付着したスライム（付着量 3 mg/cm<sup>2</sup>）ならば 2～3 回のボール走行で 100 〇の除去ができる。ただし，夏期の 30 日間以上の長期に亙る通水は粘液質の強いスライムが形成されるため，6 回程度ボール洗浄を繰返さないで除去できない。したがって短い間隔で洗浄を実施し，スライムが余り生長しないうち取除くことが望ましい。ボールの洗浄周期は夏場では安全をみて 1 日 1 回，（1 往復），冬場は 2 日に 1 回が適当である。

外観的に殆んどスライムの付着が見られなくなったボール洗浄後の配管内壁には 0.02～0.03 mg/cm<sup>2</sup>のスライムしか残って居らず，付着細菌数を調べても 10～100 個/cm<sup>2</sup>しか検出されない。

スポンジボールの洗浄力はボールと配管内壁との間の摩擦によるものであるが，ボールの走行時には水が潤滑作用を示すため 1.7 m/s 以内の走行速度ではスライムの除去性に差は認められない。ボールの走行速度を大き

くするとスライムの除去性は悪くなる。また，ボールの径が配管径に近づくほど，配管内の空気量が増え，配管内の圧力が上昇し，配管の破損の原因となる。したがって，ボールの径は配管径の 90% 以下とする必要がある。

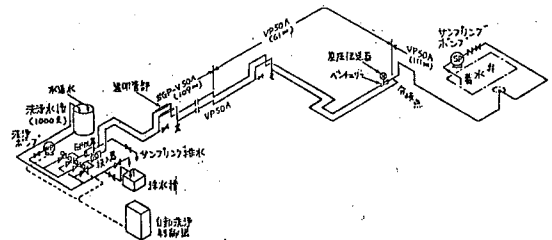


図 4 浄水場に設置したサンプリング配管洗浄試験設備

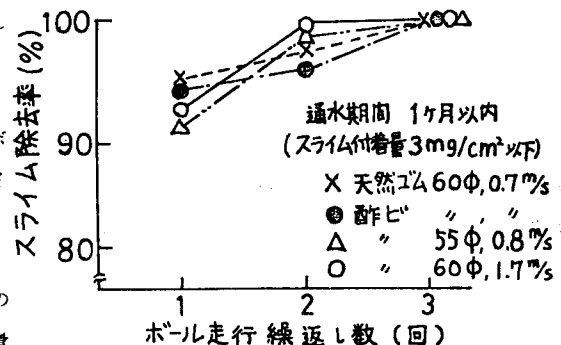


図 5 スポンジボール洗浄のスライム除去性

くすれば洗浄時間の短縮にはなるが、配管の圧力損失も大きくなるので1 m/s程度が適当である。スポンジボールの直径は配管内径より10%以上大きくして置けばスライムの除去効果は確保できる。このような条件範囲でボールを走行させる時の水圧の損失は0.1 kg/cm以下と非常に小さい。

数百メートルの配管内を毎日1回スポンジボールを走行させるとなると、その摩耗が心配であるが、実施試験用設備(90°エルボ58個, T字継手23個, ソケット94個を接続して多数の屈曲部と分岐部を作成してある350 mの配管路)で連続走行試験をした結果、ボール径の減少量は走行距離数に比例し、耐久性のある酢酸ビニルスポンジボール直径1mm摩耗当りの平均走行距離は40 kmである。したがって50 mmφ 500 mのサンプリング配管に1日1往復させるとして70 mmφのボールを使用すれば1年間は無交換で使用できる。(図6)

このスポンジボール洗浄を実施するにはサンプリング配管の両端にボールの投入器と回収器をつけ、逆洗する水源(水道または逆洗用ポンプ)と水流を切替える若干の弁があれば良く、弁を電磁弁にしてタイマーで制御できるようにすれば自動化も容易である。

図7に実用化した自動配管洗浄システムの構成例、図8に装置の外形を示す。洗浄時には採水ポンプを停止させ、洗浄ポンプを働かせてボールを投入器からサンプリング配管を通して分流器へと走行させる。復路は採水ポンプを動かして試料水でボールを走行させ、元の投入器へ回収する。その後試料水を水質計流路に切替えれば直ちに測定を再開させることができる。このように装置の簡素化により延洗浄サイクル数2600回、延テスト時間1300時間、延ボール走行距離1800 kmの連続動作で故障は皆無と言う高い信頼性が得られた。これは1日1回往復洗浄するとして約7年間に相当する。

6. まとめ 集中管理方式で水質計測を行なう場合に重要な問題となっていたサンプリング配管のスライム汚染に対して、スポンジボールによる自動配管洗浄法を最も有効な方法として実用化した。この技術は主に浄水場の着水井の原水を対象に検討して確立したものであるが、配管内のスライムの性状や付着量などの考察から下水処理場のサンプリング配管にも十分に適用できるものと考えている。

#### 引用文献

- 1) 国富, 金子: 工業用水 249 16('79), 2) 武藤, 今井, 須貝: 空気調和・衛生工学会講演論文集 1'269.( '79,10.8), 3) 渡辺: 水道協会誌 52.3 52('78), 4) 高橋: 化学装置 26('72. 2)

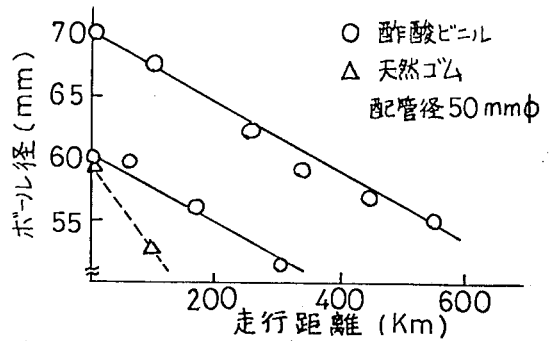


図6 スポンジボールの摩耗特性

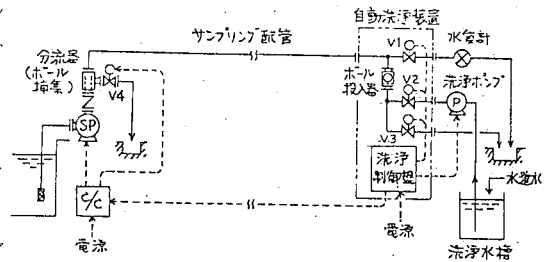


図7 実用化したスポンジボール自動配管洗浄システムの構成例

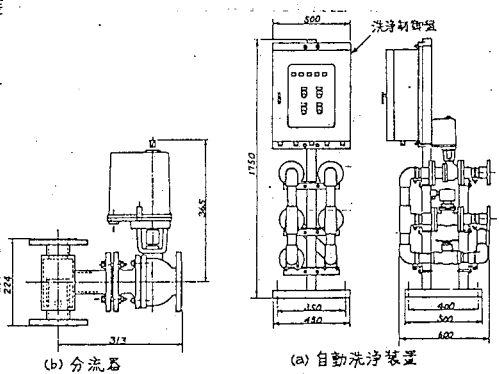


図8 単配管システム用標準自動洗浄装置