

# 実機スワールを用いた合流式下水道越流水中の固形物除去特性の解明と性能評価

長岡技術科学大学 環境システム工学専攻  
廃棄物・有害物管理工学研究室 伊藤 梓  
指導教員 姫野修司 小松俊哉

## 1. 背景および目的

雨水と汚水を同一の管渠で処理場へ導く合流式下水道は、雨天時の処理場への負荷を低減するために未処理下水（Combined Sewer Overflow：CSO）を河川へ放流することから、放流先水域での水質汚濁や公衆衛生の点から問題視されている。この CSO 中にはオイルボール（下水道管内に付着する油の塊）や紙製廃棄物（トイレトーパーや生理用品）等の夾雑物（下水中に含まれる 2mm 以上の固形物）が多く含まれ、放流先の河川や砂浜に残留し臭気の発生や景観の悪化を招くことから、国では緊急かつ効率的な対策を講じている。近年では、その対策として事業費や管理コストの少ない技術が求められている。

本研究では動力やメンテナンスを必要としない CSO 対策技術の一つであるスワールに着目した。スワールは、渦流により懸濁水中の固形物を除去する汚濁負荷削減装置であるが、既存の研究<sup>1)</sup>では、地中への埋設や模型装置での過大評価により、その性能評価が十分に行われず、実際に国内で採用された事例は極わずかである。そこで本研究では、実機のスワールを長岡中央浄化センター内に設置し、実際に流入する CSO に含まれる固形物の除去性能を明らかにし CSO 対策技術としての有効性を評価した。

## 2. 実験施設の概要

スワールは、下水や雨水を円筒槽の内壁に沿って接線方向から懸濁水を流入させることで渦流を発生させ、「ティーカップ現象」と呼ばれる（渦流中心部と外側での角速度の差から生じる揚力によって固形物が渦流中心に集まる）効果により下水中に含まれる固形物を効率的に分離させる装置である。また、エアークッションと呼ばれるトラップを有し、槽内の水位が低下するまで浮遊性の固形物を捕捉し続けることが可能である。スワールによって分離された固形物は装置中心底部から引き抜かれるように遮集され、処理水は装置上部から溢れるようにして河川へ放流される。スワールの構造と効果を図 1 に示す。本実験施設は採水や観察を行なうために、スワールや採水人孔を大気開放型とし、また、スワール側面に観察窓を設けた。さらに、スワールへの流入量と処理場への遮集量を調節するに流入管と越流管に制御バルブを設け様々な流量条件の検討を可能とした（図 2、図 3 参照）。

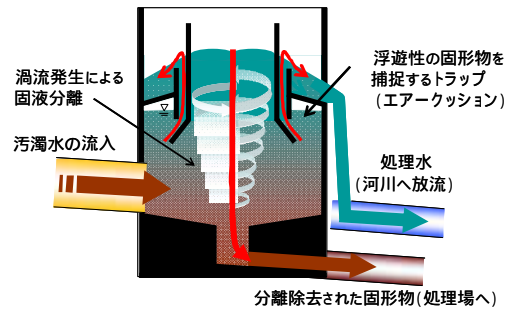


図 1 スワールの構造と効果

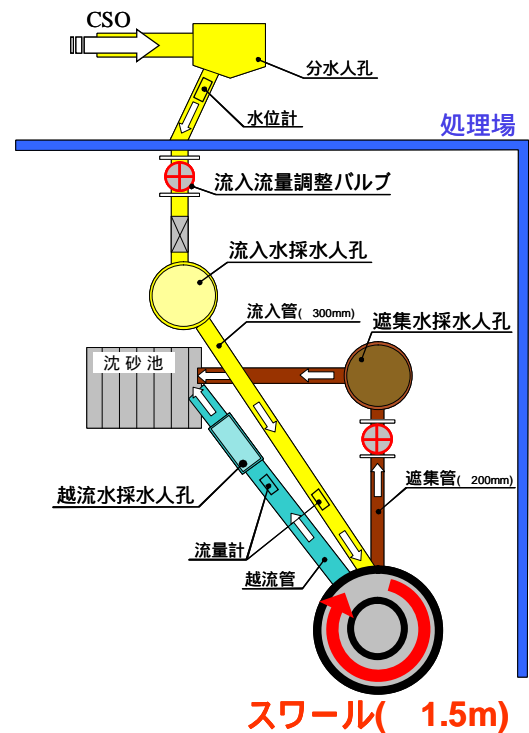


図 2 実験施設鳥瞰図

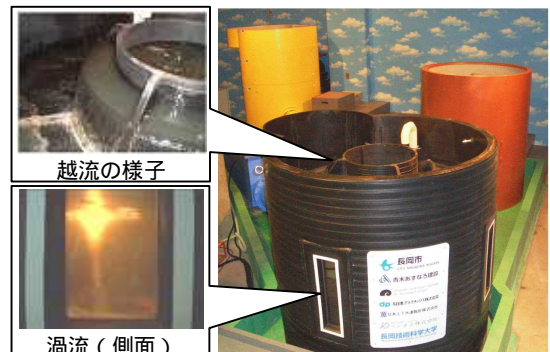


図 3 スワール観測体系

### 3. スワールの性能評価実験

本研究ではスワールの基本的な機能や特性について検証するとともに、実際に雨天時に発生するCSOを流入させ、CSO中の夾雑物の除去性能を評価した。

#### 3.1 最適運転条件（遮集流量）の検討

はじめに流入流量と遮集流量との関係によって変わる渦の深さについて着目し、トイレトーパーや模擬固形物が引き込まれる様子や、このときの渦のくぼみの深さを観察した。渦のくぼみの深さは渦の強さに影響を受ける<sup>2)</sup>ことから、渦流をくぼみの深さから5段階に設定し評価した。評価基準を表1に示し、実験の結果を図4に示す。実験の結果、流入流量の制御だけでは安定した渦流は形成されなかった。また、遮集流量が少なくなると中心部に渦流が形成されなくなることから、渦流の形状や固形物の除去性能には遮集流量が大きく起因していることが考えられた。渦流のくぼみの低部と上部との差が3~10cmの程度の条件では投入したトイレトーパーや模擬固形物が渦流に引き込まれ易いことがわかった。紙を引き込む渦流（除去率が高いとみられる渦流）は、大きくは適切な遮集流量によって形成されることが推測された。これらのことから、除去性能が十分に得られ、さらに遮集量が最小となる20~25 m<sup>3</sup>/hrを雨天時実験の最適な運転条件とした。また、これまでの経験上、流入流量が120 m<sup>3</sup>/hrを超えると渦流が発生せず、大きなトイレトーパーや細かな固形物の越流が多く見られたことから上限を120 m<sup>3</sup>/hr以下となるように調整した。

表1 渦の形状と評価

渦の形状	評価
渦深さ15cm以上	
渦深さ10cm以上 15cm未満	
渦深さ5cm以上10cm未満	
渦深さ5cm未満	
渦が発生しない	x

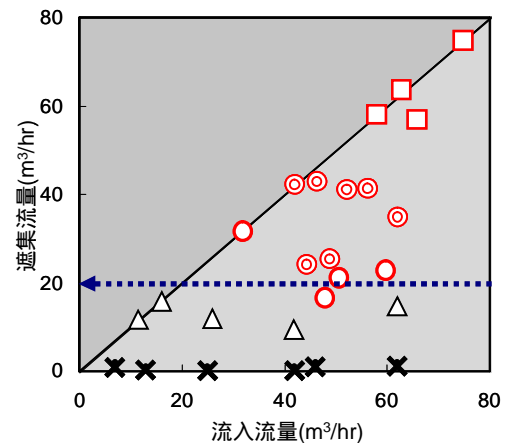


図4 最適運転条件の検討

#### 3.2 スワールの評価方法の提案

スワールは統一された評価方法がないことから、本研究では越流部と遮集部に1.7mmの網を設置し、10分間に捕捉される夾雑物の乾燥重量を比較する2つの指標を提案した。評価指標を式1、式2に示す。「夾雑物負荷除去率」は流入した夾雑物に対して、遮集部で捕捉された夾雑物の量を単位時間当たりの量[g/hr]で比較した値である。また、遮集流量を増大させていくと大部分の夾雑物が遮集されてしまうため見かけ上高い効果が得られる結果となることから、流入部と遮集部の夾雑物負荷量[g/hr]をそれぞれの流量[m<sup>3</sup>/hr]で除して夾雑物重量濃度[g/m<sup>3</sup>]を求め、遮集部と流入部を比較する「夾雑物濃縮率」も用いることとした。そして、本研究ではこれら二つの指標を総称して「除去性能」とした。

$$\text{夾雑物負荷除去率(\%)} = \frac{\text{遮集夾雑物量[g/hr]}}{\text{流入夾雑物量[g/hr]}} \times 100 \text{ (式1)}$$

$$\text{夾雑物濃縮率(\%)} = \frac{\text{遮集夾雑物重量濃度 [g/m}^3\text{]}}{\text{流入夾雑物重量濃度 [g/m}^3\text{]}} \times 100 \text{ (式2)}$$

### 3.3 雨天時実験の結果と考察

#### 1) 高濃度下水に対する除去性能

雨天時実験の結果を表2に示す。先行晴天期間や降雨状況、降雨開始時間によって流入する夾雑物量は異なり、管内に堆積した夾雑物が降雨初期に一斉に掃流される“ファーストフラッシュ”現象を捕らえることが出来たのは、降雨 および降雨 であった。この降雨 , に着目すると夾雑物負荷除去率は50~57%、夾雑物濃縮率は176~195%となり特に高い夾雑物の除去性能が得られた。次にこの降雨 のデータを用いて除去性能に影響する因子について検討した。

表2 雨天時実験の結果

降雨 No.	流量(m <sup>3</sup> /hr)			夾雑物重量(g/10min)			負荷除去率(%)	夾雑物濃縮率(%)
	流入	越流	遮集	流入	越流	遮集		
1	84	62	22	82	41	41	50	195
	65	43		52	36	16	31	91
	72	50		48	40	8	17	55
	67	45		132	57	73	57	176

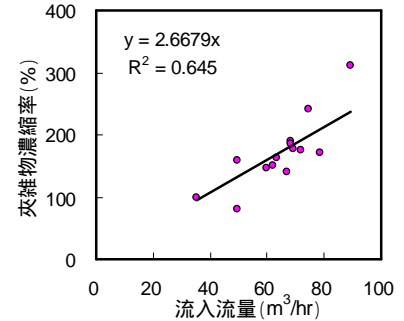
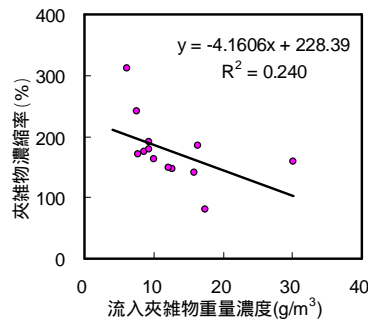


図5(左) 流入夾雑物濃度と夾雑物濃縮率の関係

図6(右) 流入流量と夾雑物濃縮率の関係

#### 2) 除去性能の影響因子

流入した夾雑物量や濃度との関係性について検討したが、これらに関係性は見られなかった。(図5参照) 次に流入流量と除去性能に相関関係について検討した(図6参照) その結果、2つには高い相関関係が見られた。したがって、実際の雨天時にスワールへ流入するCSOが増大しても除去性能が得られることが示唆された。

#### 3) 流入夾雑物の性状(種類)と除去性能の関係

除去性能の影響因子を検討するため、流入した夾雑物に着目し、越流部と遮集部で捕捉された夾雑物(乾燥後)について目視で観察した。越流部には、含水率が高く水と同じ挙動を示すと考えられる細かいトイレトペーパーが多く捕捉された。一方、遮集部には、形の残る大きなトイレトペーパー、草木類、沈殿性のある砂分等が多く遮集される傾向が見られ、河川での残留性の高い夾雑物に対して除去性能が認められた。しかしながら、CSOには多種多様な夾雑物が含まれており、定量的な評価ができないことから、次に、密度と大きさの異なるプラスチック球を投入し物理的特性が除去性能に与える影響を調査することとした。

### 3.4 スワールの固形物除去特性

密度や粒子の大きさが除去性能に与える影響を、プラスチック粒子を用いて検討することとした。プラスチック粒子は、密度0.90, 0.95, 1.02, 1.06, 1.17, 1.28 g/cm<sup>3</sup>、直径3, 6, 9mmであり各50粒ずつスワール内に投入して様々な条件で運転した際の除去性能について求めた。運転条件および、除去率を表3に示す。

実験の結果、密度1.02~1.28g/cmのほぼ全ての粒子が除去されたことから、3mm以上の沈降性の固形物は流入流量や遮集流量などの運転条件に関わらず、高い除去性能が得られることが明らかとなった。

表3 プラスチックの投入実験の結果

運転条件		粒子サイズ mm	除去率(%)					
流入流量 m <sup>3</sup> /hr	遮集流量 m <sup>3</sup> /hr		0.90 g/cm <sup>3</sup>	0.95 g/cm <sup>3</sup>	1.02 g/cm <sup>3</sup>	1.06 g/cm <sup>3</sup>	1.17 g/cm <sup>3</sup>	1.28 g/cm <sup>3</sup>
40	25	3	100	100	—	100	100	100
		6	100	100	100	100	100	100
		9	100	100	—	100	100	100
80		3	100	100	—	100	100	100
		6	100	100	98	100	100	100
		9	100	100	—	100	100	100
110		3	46	50	—	100	100	100
		6	82	74	100	100	100	100
		9	90	70	—	100	100	100
80	0	3	100	100	—	—	—	—
		6	100	100	—	—	—	—
		9	100	100	—	—	—	—
	40	3	98	84	—	100	100	100
		6	100	96	100	100	100	100
		9	100	92	—	100	100	100
	60	3	100	94	—	100	100	100
		6	100	98	100	100	100	100
		9	100	96	—	100	100	100

また、運転期間にスワール上部にある覗き窓から槽内の様子を確認したところ浮遊性のプラスチックの多くがエアークッションで捕捉されたことを確認した(図7)。この浮遊性のプラスチックは遮集流量を0としたときであっても除去性能が得られたことから、実際にスワールを設置することで、CSO中に含まれるオイルボール(0.89g/cm<sup>3</sup>)のような浮遊性の夾雑物に対して高い除去性能を示すことが考えられる。しかし、流入流量が110 m<sup>3</sup>/hrとなると除去率が大きく低下することから、これ以下の流入流量に制御する必要あることが示唆された。

次に、除去可能な粒子サイズについて検討するために2mmのプラスチック粒子を投入した。投入したプラスチックの密度は0.93, 0.97, 1.00, 1.07, 1.39, 1.49, 1.76 g/cm<sup>3</sup>である。また、運転条件は遮集流量が25 m<sup>3</sup>/hrで一定、流入量を40, 60, 80 m<sup>3</sup>/hrの3条件に設定した。

実験の結果を図7に示す。沈殿性の粒子は高い除去率が得られたが、0.93, 0.97, 1.00 g/cm<sup>3</sup>の粒子は流入流量80 m<sup>3</sup>/hrで大きく除去性能が劣る結果となった。これを実際の夾雑物の密度と大きさに照らし合わせると、図8のようになる。よって、CSO中に含まれる固形物の多くは除去することは可能であるが、細かなトイレトペーパーのようなスワール槽内の流体と同じ挙動をする密度1.00g/cm<sup>3</sup>程度の固形物が除去されにくいことが考えられた。

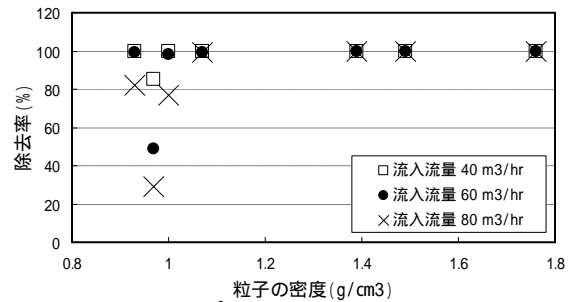


図7 2mmプラスチック粒子の除去性能

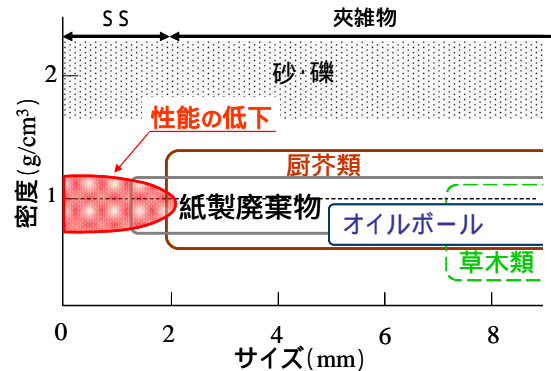


図8 除去可能なCSO中の固形物<sup>3)</sup>

#### 4. まとめ

固形物の引き込まれる様子からスワールの最適な運転条件を明らかにした。

スワールの夾雑物の除去性能を示す指標として夾雑物負荷除去率、夾雑物濃縮率を提案した。ファーストフラッシュの流入した2降雨で全体の負荷除去率は50~57%、平均夾雑物濃縮率は176~195%であった。

河川での残留性の高い大きなトイレトペーパー及び浮遊性の固形物、高い沈殿性を持つ粒子などが除去される傾向が明らかとなった。

プラスチック粒子を用いて、除去可能な固形物の密度や大きさを明らかにし、CSO中の除去可能な固形物を推定した。

#### 5. 結論

CSOの発生に伴い公共用水域に夾雑物が放流される問題に対し、無動力・メンテナンスフリーのスワールを提案し、夾雑物の除去性能やその特性について検討した。実際に流入する夾雑物の除去性能を評価した結果、河川へ放流されやすいトイレトペーパーやオイルボールの除去性能が明らかとなり、CSO対策装置としての有効性を明らかにした。

#### 6. 参考文献

- 1) 財団法人下水道新技術推進機構(2003)小型スワールによる合流改善効果の追跡調査報告書
- 2) 大橋秀雄ら(1988)渦~自然の渦と工学における渦 p36
- 3) 金子栄廣ら(2004)CSOに関するきょう雑物実態調査,第41回下水道研究発表会後援集 pp312-314