５－２　　吹流し状の油吸着材を活用した

管路内の白色固形物対策に関する調査

北部建設事務所　工事第一課　高橋　利治

１．調査目的

下水道管路に排出された油脂類は、白色固形物（オイルボール）の原因となり、公共用水域汚染のひとつとなっている。

本調査は、タンカー等の重油流出事故の際、用いられている「油吸着材」を下水道用に加工したものをマンホール内に設置することで、油脂類がどの程度補足、吸着されるか、その効果を把握することを目的として実施した。

今回、一定の効果が把握できたので報告する。

２．　調査内容

２．１　調査期間

予備調査　平成１４年１０月１７日～平成１４年１１月　６日

本 調 査　平成１４年１１月１９日～平成１５年　１月１０日

２．２　予備調査

油吸着材を用いた白色固形物対策は、下水道へ排出された油脂類を管路内で固形化する前の液状の状態で、吸着補足するものである。

しかし、実際の下水道環境下では、油脂が液状の状態ではなくラードのように固形化している可能性もあること、さらに SS 等の夾雑物が多く存在するために、油脂のみを選択的に吸着できるかは未知数である。

そこで、下記項目について把握するために、過去に油脂で管路が閉塞（故障処理）したマンホールと比較対照用として比較的油分の少ないマンホール各１箇所に２０日間油吸着材を設置して、予備調査を行った。

① ＳＳの付着具合、

② ラードの付着状況、

③ 下水の流れを妨げない油吸着材の量と形状、

④ 効果的な設置期間等

２．３　本調査

予備調査での知見等をもとに、調査方法を下記のように決定した。

（１）油吸着材の仕様

材質；ポリプロピレン製解繊糸（下記※2 参照）、形状；吹流し状

（２）油吸着材の形状

予備調査の結果から、①回収時及び室内分析作業性を考慮、②吸着能力の平均化のため油吸着材は 50㎝ 長の試験片を前後２連に設置（図１、図２参照）した。

（３）試験期間

予備調査の結果、油分吸着量は徐々に増加しているものの性能基準以下の０．５ｇ／ｇ程度であった。調査期間中油分含有量の少ない汚水が排出されていたか不明なため、設置期間については比較的長期のスパンで考える必要がある。このため、試料の回収日時は、当初仕様の１日目、3 日目、5 日目、7 日目、10 日目、30 日目に加えて、30 日目以降でも回収可能力な予備日を設けることとし、設置する試料片は、7 束とした。なお、予備試料の回収日時は、１～３０日目までの分析結果を見て判断するものとした。

（４）設置数量

設置する既設管がφ250 と小さい場合も多いため、多量の吸着材を設置すると、管の閉塞要因となること。また、油吸着材の回りに汚物が多量に付着すると、さらに膨化することなど。

予備調査の結果から、分析に必要な数量は、予備調査時（10 本を１束）の半分でも十分であることが判明したため、本調査においては、長さ１ｍの製品を折り返して５本を１束とした。

（図２参照）

なお、製品重量は、3ｇ/ｍであるため、1 束当り 15ｇとなる。１回に回収する試料片は、前後２連に設置した 2 束であるため、１回当り 30g の試料片を回収する。

２．４　調査地区

北部第二管理事務所で過去に発生した故障処理地区のマンホールを、基本的な性質の把握等が行いやすいように、分流地区と合流地区、住宅地区と商業地区との視点からグルーピングを行い、双方の比較を行うこととした。

また、設置した吸着材の７セットは順次回収可能なものとした。そして、この試料回収時に油吸着材への付着状況等の観察を行い、設置場所や経過日数別に整理した。

表１　　油吸着材を設置したマンホール　　（足立区内）

分流地区　１０箇所	合流地区　２０箇所
住宅地区　５箇所	住宅地区　５箇所
商業地区　５箇所	商業地区（飲食店多い）　１０箇所
	商業地区（飲食店少ない）　５箇所
合　計　３０箇所	

２．５　設置及び回収方法

マンホール内への設置は、油吸着材を固定したロープをマンホール内のステップに結びつけた。接続するマンホール内ステップでは上下位置を選択可能であるが、上方に設置すると水流により油吸着材が引っ張られた場合、管口付近のロープが浮き上がりやすくなる。そこで、設置位置は、極力下方のステップとした。

また、試料の回収は、一旦マンホール内に作業員が立ち入り、ロープを引き出して上下流二連のリングに設置された吸着材について、インシュロック（図２参照））を切断して回収した。回収した試料片は、マンホール内ステップに一時的に引っ掛けて、５分間の水きりを行った。水切り終了後の試料は、ガラス製のサンプル瓶内に入れて、分析場所まで輸送した。

なお、サンプル瓶をガラス製としたのは、油分の瓶内吸着を防止するためである。

２．６　油吸着材

２．６．１　油吸着の原理

油吸着材による油脂の吸着作用は、素材の有する油脂との親和力と、繊維構造による毛細管現象に起因する。油吸着材の材質は、ポリプロピレン製解繊糸である。解繊糸は、直径が数 10 ミクロンの繊維束で構成されている。

基本的なメカニズムは、「毛細管現象」の影響が大きい。繊維間に極微細で、そこに液体（油）が接した場合、繊維間が毛細管の役割を果たし、その中を上昇する現象が起こる。

解繊糸は C,H の化学組成で構成されている。一方、油脂も C,H のみで構成されており、親和性が良い。

なお、回収試料は、ポリプロピレン、油の両方とも有機系化合物であることから、完全燃焼させれば水（H_2O）と二酸化炭素（CO_2）になる。

※１　ポリプロプレン　　（CH_3CHCH_2）n

プロピレンの重合体で結晶性が大きく、融点が高い（165～176℃）。比重 0.90～0.91。機械強度、耐摩耗性、透明性に優れているため、各種成形品、フィルム、繊維などに使用されている。

※２　解繊糸　　合成樹脂をフィルム状に形成し、機械的に分繊し（裂いて）、幹糸と枝糸から構成された網目状構造の紐

２．６．２　油吸着材の性能基準

油吸着材の性能基準は、「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律施行規則」に規定されており、油の吸着量は６ｇ／ｇ以上、吸水量は１．５ｇ／ｇ以下とされている。

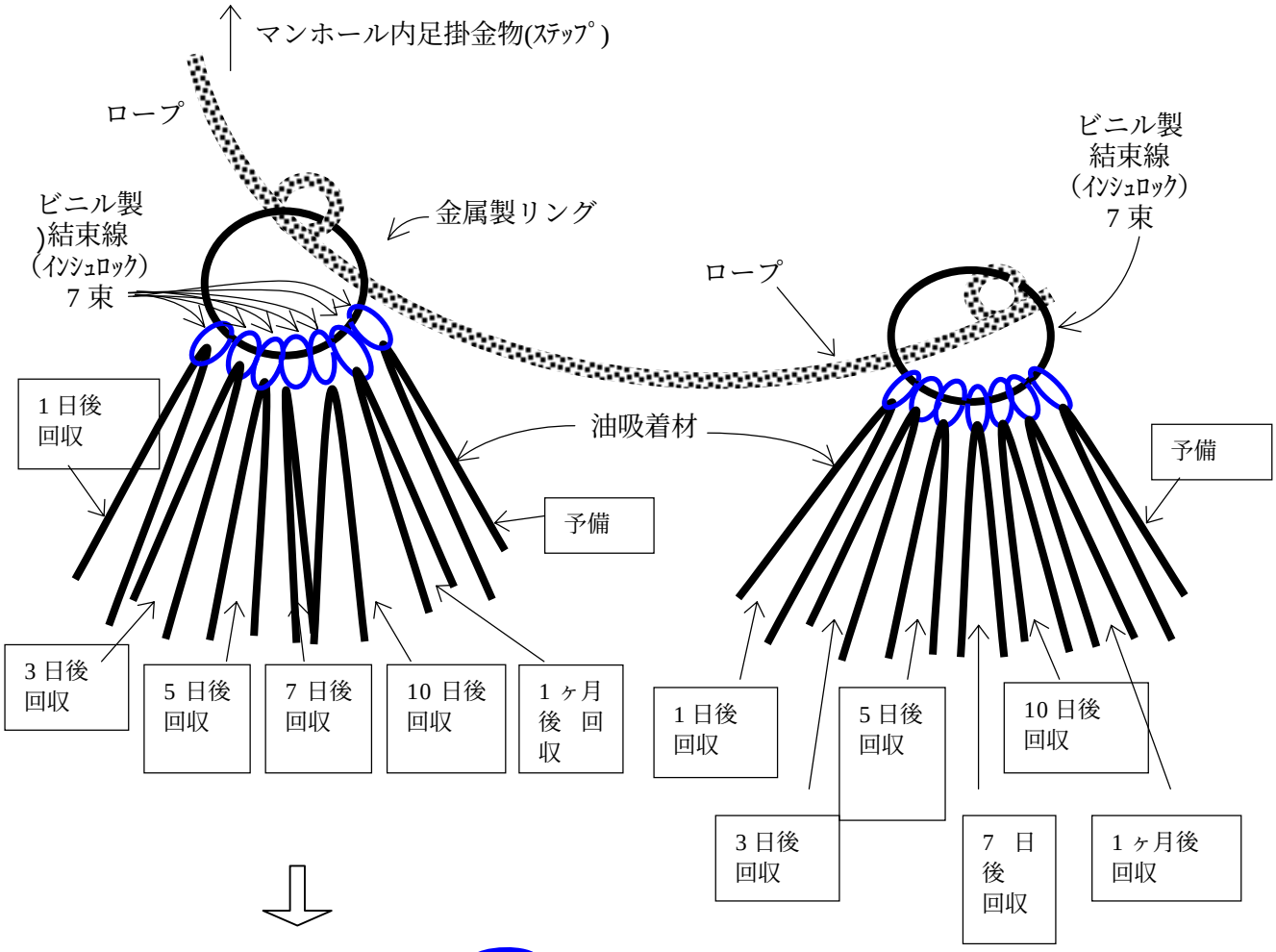
（《参考文献》表４参照）

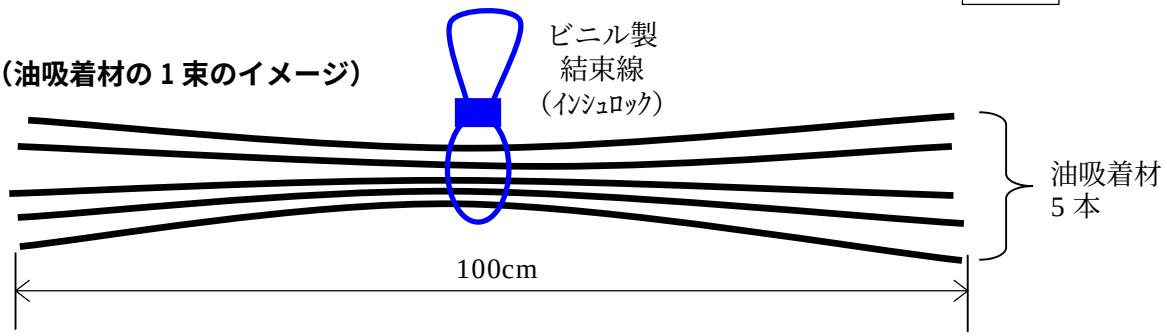
２．７　分析方法

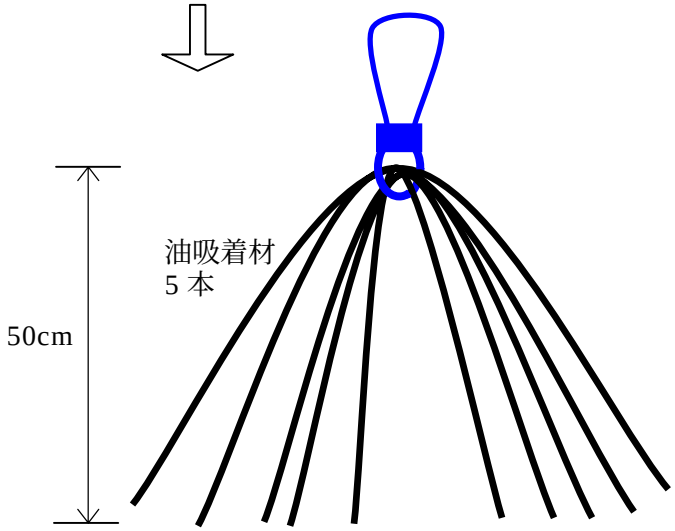
回収した試料は、吸着物の総量を計量した後、吸着物の成分を油分（ｎ－ヘキサン抽出物質）、ＳＳ、水分の３つに分け定量した。そのためには、吸着物を一旦油吸着材と分離する必要がある。試行錯誤の結果、吸着材をガラス棒で挟みこみ強制的に絞り出し、さらに超音波洗浄機を用いて仕上げの絞り出しを行う手法を選定した。吸着材より分離された吸着物について、油分（n-ヘキサン抽出物質）と SS の分析を行い、これらの総和を総重量から控除することで、水分量を測定した。なお、油分（n-ヘキサン抽出物質）の分析試験方法等については、「下水試験方法」（1997 年版、日本下水道協会）に準拠した。

図１　油吸着材概観（上）、マンホール内の設置状況（中）、管路内設置状況（下）

図2　本調査における油吸着材設置方法







油吸着材の重量
1 本当り 3 g／本(1 本＝1m)
1 束当り 3 g／本×5 本＝15 g
1 人孔当り 15 g／束×7 束×2＝210 g

３．　調査結果

３．１　吸着状況

３．１．１油吸着材と汚水との接触

新品の油吸着材は、大きく膨らんでいるため、管路内水位が少ない場合、水面より上に出ている部分も多く、吸着材の未使用部分が生じている。これを時系列的にみると、①1 日目では、まだ吸着材の未使用部分がある場合が多く、②３日目ないしは、５日目ぐらいから、吸着材全体が水に浸かった状態となっている。吸着材への吸着量を見ると、いずれのマンホールも、1 日目が少なくなっているが、やはりこの未使用部分が影響している。

上記に示すような設置初期の状態では、油吸着材への吸着状況が不均一であるが、実際の回収作業では、複数ある試料片の中から、最も吸着量が多いと思われるものを選んで採取している。このため、分析に供する試料片は、現場での平均的な値よりも吸着物量が多い場合もある。

３．１．２　実際の吸着の様子

油吸着材の設置後、日数が経つにつれて、油吸着材へＳＳ分が付着し、特に吸着材の表面が汚物等により覆われていく。油吸着材へ新しい吸着物が付着するという状況よりもむしろ、既に油吸着材に吸着された付着物に対して、新しい吸着物が付着していく状況となっている。

実際の吸着状況を見ると、この吸着物が段々成長し、膨らんでいくケースがあった。このケースのマンホールは、商業地区で認められ、住宅地区では認められなかった。なお、この吸着物が極端に大きく成長すると、降雨により流量が急激に増加する場合に、過剰に付着した吸着物が剥離すると推測される。

一方、住宅地区では、吸着物の量は比較的一定であるが、段々嫌気化し黒くヘドロ状となり悪臭を放つものも見られた。

国土交通省令による油吸着材の性能基準は 6g/g 以上（《参考文献》　表４　参照）であるが、現場での実験では５分の水切り後でも 20g/g 以上吸着しているのも多い。これは、油分以外にＳＳや水分を含んでいるものと考えられる。今回の調査で平均的な油分吸着量は２ｇ／ｇ程度であり、最大吸着量は、合流地区№１１マンホールの３０日目における５．９ｇ／ｇである（表２参照）。

室内実験では液状の油分がポリプロピレン繊維の内部に保持されるメカニズムなのに対して、下水道管路内の過酷な条件下における吸着現象は、室内実験における５分間より長時間下水と接触することにより、繊維の内部に油分が保持されるだけでなく、油吸着材表面に対しても油分・ＳＳ・水分の付着が卓越した現象であると推察される。

3．1．3 吸着量とその内訳

表２　油吸着材の分析結果（抜粋）

吸着材１ｇあたりの吸着量					
マンホール№	経過日数	油分（ｇ）	SS（ｇ）	水分（ｇ）	合計（ｇ）
№7	１日目	0.3	0.1	6.4	6.8
（分流）	３日目	0.7	0.2	17.8	18.7
	５日目	0.5	0.3	12.3	13.1
	７日目	0.5	0.4	11.9	12.8
	１０日目	0.4	0.4	11.6	12.3
	３０日目	0.7	0.7	14.6	15.9
№１１	1日目	1.0	0.1	4.4	5.5
（合流）	３日目	1.3	0.2	7.6	9.2
	５日目	1.5	0.6	11.8	13.9
	７日目	1.8	0.6	13.0	15.4
	１０日目	1.8	0.4	13.1	15.3
	３０日目	5.9	1.6	25.5	32.9
№１２	１日目	0.5	0.0	5.3	5.9
（合流）	３日目	0.9	0.4	14.0	15.3
	５日目	2.0	1.4	31.9	35.2
	７日目	2.2	0.4	39.6	42.2
	１０日目	0.8	0.1	6.9	7.7
	３０日目	1.2	0.3	12.4	13.9
№２１	１日目	1.2	1.1	9.3	11.6
（合流）	３日目	2.5	0.0	22.6	25.1
	５日目	3.2	1.2	30.2	34.6
	７日目	2.1	0.8	18.0	20.9
	１０日目	1.7	1.5	29.2	32.4
	３０日目	2.5	1.4	30.6	34.5

（１）総吸着量について

総吸着量（油分＋SS＋水分）についてみると、３ないし５日経過後に概ね１０ｇ／ｇに達している。２０ｇ／ｇを超過している試料も多くみられるが、これらは飲食店が多い流域であり、中には３０ｇ／ｇを超えた資料が９個あった。

（２）吸着物の内訳

特筆すべき点として、比較的設置初期（例えば、１日目）の試料における油分含有率が高いことである。吸着材と汚水とが接触した初期には、油吸着材の本来の性能であるポリプロピレン繊維による油との親和力によって油分が比較的多く吸着されている。しかし、日数が経つにつれて油吸着材へ SS が付着していき、油吸着材の表面が汚物等により覆われ、油吸着材へ新しい吸着物が付着するというメカニズムでなく、油吸着材に既に吸着された付着物に新しい吸着物がさらに付着するといったメカニズムになっている。

したがって、設置してからある程度日数が経過した油吸着材では、ポリプロピレン素材が有する油との親和力やポリプロピレン繊維の毛管現象を利用した吸着メカニズムよりも、物理的な接触・絡み付きや下水中の有機物質同士の粘着性による吸着メカニズムになっていると考えられる。

（３）SS について

吸着量でみると SS の含有量は油分含有量より低く、最大でも１．８ｇ／ｇである。これにより、油分が卓越して吸着されていることがわかる。

（４）固形分のみに着目した成分比率

吸着物質のうち、水分を除いた固形分のみに着目して成分比率を見てみると、油吸着材を設置したマンホールにより差があるが、油分の比率が高くなっている。特に、設置初期の段階では、80%程度が油分である。

（５）油分濃縮率

吸着物質の成分比率計算の結果、油分比率は 5%程度の箇所が多い。これを一般の水質に置き換えてみると、５０，０００ｍｇ／ｌに相当し極めて高濃度の油分であることがわかる。マンホールごとに下水水質の測定値を元に濃縮率を算出した。その結果、油分は１０００倍以上、ＳＳは１００倍以上で油吸着材は油分の濃縮率が優れていることが判明した。

３．２　降雨による影響

調査期間中の降雨のうち、比較的降雨強度の大きいものに着目してみると、12/4 の 18.5㎜、12/7 の 9.5㎜、12/9 の 25㎜（雪）、12/17 の 9.5㎜、12/21 の 27.5㎜があった。

実際に、No.1～20 では、10 日目（12/5）の回収直前の 12/4（９日目に相当）に 18.5㎜の降雨があり、さらに、10～30 日目の回収の間に４回の降雨（12、14、22、26 日目）があった。

表３　　降雨による油吸着量の変化　　油吸着材１ｇ当り

	№7	№１１	№１２	№２１
５日目				３．２ｇ
				降雨　　６日目 ９．５mm
７日目	０．５ｇ	１．８ｇ	２．２ｇ	２．１ｇ
降雨　９日目（１２／４）　　１８．５mm				－
１０日目	０．４ｇ	１．８ｇ	０．８ｇ	１．７ｇ
３０日目	０．７ｇ	５．９ｇ	１．２ｇ	２．５ｇ

したがって、１０日目の回収試料の場合、油吸着量は、№１２については２．２ｇ／ｇ→０．８ｇ／ｇのように降雨の影響を受けている可能性がある。しかし、№11のように１．８ｇ／ｇで変化が見られない箇所もある。また、30 日目の場合、最終降雨日である 12/21(26 日目に相当)から、回収日まで４日間あったため、この間にある程度吸着された可能性がある。

なお、No.1～10 については、分流地区であるため、降雨の影響は合流地区と比べて軽微である。№７の例では０．５ｇ／ｇ→０．４ｇ／ｇであまり変化がなかった。

次に、No.21～30 では、６日目の 12/17 に 9.5㎜の降雨があった。また、10 日目の回収後の同日と翌年 1/3 に 16.5㎜の降雨（雪）があり、10～30 日目の回収の間に 2 回の降雨があった。

よって、７日目の回収試料の場合、№２１の例では３．２ｇ／ｇ→２．１ｇ／ｇに減少しており降雨の影響を受けている可能性がある。また、30 日目の場合、最終降雨日である 1/3(23 日目に相当)から、回収日まで 7 日間あるため、１．７ｇ／ｇ→２．５ｇ／ｇのように０．８ｇ／ｇの吸着量が回復した可能性もある。

以上のことを降雨の影響としてまとめると

①１２／４の１８．５mmの比較的大きな降雨では、合流地域のマンホール２０箇所のうち１１箇所で吸着量の低下があり、吸着材に吸着した物質が剥離したものと推測される。これは、降雨により流量が急増し、吸着材が洗われるような現象が発生していると思われる。

②吸着量自体が少ない場合には、吸着物質は吸着材の内部に保持されている割合が多く、降雨による影響が少ないと考えられるが、吸着量が多い場合は水流により吸着材が洗われるような挙動を呈し、剥離しやすい状態にあるものと推察される。

③分流式では汚水管に設置しているため、№７のように油吸着量の剥離は降雨による影響が少なくなっている箇所が多いが、地域によっては稀に降雨の影響と思われる吸着量の減少が見られる。

３．３　調査結果のまとめ

①合流・分流地域における油吸着材１ｇ当りの油分の吸着量は、飲食店が多い地区に設置したケースでは、1～２ｇ程度まで増加し、特に合流地域では最大で５．９ｇ／ｇになった箇所があり、油吸着材による油分の捕捉効果があった。

②油吸着材の周りにはＳＳが付着し徐々に膨らんでいく現象が見られた。

③分流・合流地域の住宅地域では、油吸着材１ｇ当りの油分吸着量は１ｇ以下であり、徐々に嫌気化していく現象が見られた。

なお、室内実験では油吸着材はラード等の固形化した油分への吸着能力は少なく、比較的温度の高い液状の状態か、粘着性のあるＳＳ等の共存下でない限り油分を捕捉できない可能性があることが判明した。

３．４　油吸着材による効果

以上の調査結果を踏まえ、油吸着材の効果を整理すると、

１）下水道管路内の白色固形物の原因物質とされる油分を油吸着材で補足することにより白色固形物の総量を減じることができ、公共用水域の水質保全に寄与できる。

２）油分が管路内に付着・停滞する量が減量するため、管閉塞による故障処理の頻度を少なくさせることができる。また、清掃回数を減らすことができる。

３）油吸着材の設置は油分の排出量の多い飲食店の近傍のマンホールに設置するため、店主の排水設備に対する理解の促進が期待でき、グリーストラップ等の除害設備の設置・維持管理が促進される。

４．　今後の課題

今後の課題は、(1) 油吸着材自体（素材）に関する事項、(2) 設置及び交換・回収といった維持管理作業に関する事項、(3) 対策効果に関する事項の３つに大別することができる。

４．１　油吸着材自体（素材）に関する事項

吸着能力が最大限に発揮されるのは、液状油分に対してである。現場調査の結果から油吸着材への吸着物は、流下中の下水と比較して油分が高濃度に濃縮されていた。

しかし、吸着現象としては、油吸着材の繊維構造の内部に油分が保持されるのに加えて、吸着材の表面においてもＳＳが厚く付着する現象が顕著であった。この吸着材の表面に付着する現象の寄与率によ

っては、ポリプロピレン繊維でない別の素材でもある程度の吸着能力が発揮できる可能性もある。

そこで、現行の油吸着材より安価かつ入手しやすい素材（例えば、タオルやロープ等）をいくつか選定し、現場実施調査を行ってその可能性について調査する必要がある。

一方、ＳＳや水の吸着がなく油分のみを選択的に吸着する素材や形状の開発が望まれる。

また、油吸着材が再使用可能であれば、その処分にかかる費用も削減でき、維持管理費低減に大きく役立つことになる。現場調査において、試験的に再使用品を設置してその吸着能力を評価したところ、新品と比べて大差ない結果であった。再使用品では、絞り出し作業後となるため、ＰＰ繊維がつぶれたような状態となり、毛細管現象を利用できないことになる。しかし、前述したように表面への吸着現象が卓越しているのであれば、その影響は少ないと予想される。

４．２　対策すべき施設

足立区内での故障処理実績（平成１３、１４年度）の調査では、原因はラードによるものが多く、飲食店からの排水に起因するものがほとんどであり、ラーメン店によるものが全体の半数を占めていた。また、足立区内をモデル流域（一般住居を含めて約２９万棟）とした試算結果から、ラーメン店は棟数で０．２％に過ぎないが、油分排出量では２０％を占める。このことから、白色固形物対策として油吸着材を使用する場合以下のことがいえる。

①油吸着材は、油分排出量の多いラーメン店等付近の下流側に集中して設置する。

②油吸着材は、汚水桝近くの管路内に設置する。

４．３　維持管理作業に関する事項

油吸着材による簡易合流改善対策を実運用する場合は、定期的な交換作業が必要となるが、その作業の手間（コストも含む）や方法自体が課題となる。また、回収した油吸着材は、絞り出し作業により吸着物と油吸着材を一旦分離し、吸着物（搾り出し残渣）は、理場のスカム処理系統、油吸着材は裁断後、汚泥焼却炉で燃焼させる方法も考えられる。

しかし、実運用では処分すべき大量の油吸着材が発生するために、処理場側の受入れ態勢を十分に協議する必要がある。また、回収した油吸着材をそのまま産業廃棄物として業者での引き取り処分を行うことも可能であるが、コスト面の問題が大きい。

よって、油吸着材による簡易合流改善対策を実運用するに当たっては、回収した油吸着材の再使用を含めた処分方法の確立が課題となる。

４．４　合流改善対策効果に関する事項

油吸着材による簡易合流改善対策としての効果を評価するためには、①下水道管路に排出された油分がどの程度あり、②油吸着材でどの程度捕捉され、③どの程度流出するのか、その収支を把握することが重要である。また、管内に付着する油分量は、何 mg/l 以上といった濃度項が大きく作用するのか、また、その目安となる濃度はどの程度かが分からなと評価できない。

なお、他の簡易合流改善対策では、装置を分水マンホールに設置し、白色固形物が公共用水域へ流出する直前で捕捉するものが多く、その設置効果は降雨時に分水マンホールで調査（観察やサンプリング）を行うことで把握できる。この点が油吸着材による対策と大きく異なる。

上記の示したような排出油分の行き先別比率等の定量的な調査資料は、現時点ではない。今後、モデ

ル流域での詳細な調査等を通じて明らかしていく必要がある。

５．　実用化に向けて

合流改善対策は、緊急的な課題であり、あらゆる方策を組み合わせて実施することが必要である。通常の簡易合流改善対策とアプローチを異にする油吸着材による手法は、暫定的な対策手法として一定の存在価値を有している。

油吸着材による対策手法の最大の特徴は、その簡便さにある。設置はロープでステップに結び付けるのみであり、これを一定頻度で交換すればよく、特別な設備を必要としない。

実用化に当たっては、さらなるデータや知見を集積していくことが必要不可欠である。今後、モデル流域等を設定し、実運用を通した追加調査が望まれる。

《参考文献》

表４　「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律施行規則」
（昭和 46 年運輸省令第 38 号）
最終改正：平成 15 年 3 月 20 日（国土交通省令第 27 号）

第三十三条の二

２　排出油防除資材は、次の各号に掲げる資材ごとに、当該各号の規定に適合するものでなければならない。

三　油吸着材

イ　Ｂ重油による吸着量は、吸油量試験開始後、５分で当該油吸着材１ｇにつき６ｇ以上であり、かつ、当該油吸着材１ｃｍ^{3}につき０．８ｇ以上であること。

ロ　吸水量は、吸水量試験開始後、５分で当該油吸着材１ｇにつき１．５ｇ以下であり、かつ、当該油吸着材１ｃｍ^{3}につき０．１ｇ以下であること。

ハ　材質は、通常の保管状態において変化しにくいものであること。

二　特定油を吸着した状態で長時間原形を保つものであること。

ホ　使用後の回収が容易であること。

ヘ　焼却が容易であり、かつ、焼却による有害ガスの発生が少ないものであること。

表５　油吸着材の性能試験基準（抜粋）

試験項目	試験方法	判定基準	備考
（1）吸着量の試験	10㎝×10㎝ の試験片を 20℃の B 重油の油面に浮かべ、5 分間静置した後、これを金網の上に 5 分間放置した後、その重量を測定する。 試験片 1g 当り及び容積 1㎝3 当りの吸着量を算定する。	吸着量は、当該油吸着材 1g につき 6g 以上であり、かつ 1㎝^{3} につき 0.8g 以上であること	○試験片は単体又は単体の切片とする ○各試験は 3 枚の試験片を用いて個別に行い、それぞれの試験片が判定基準に適合していること
（2）吸水量の試験	10㎝×10㎝ の試験片を 20℃の清水面に浮かべ 5 分静置した後、これを金網の上に 5 分間放置し、その重量を測定する。 試験片 1g 当り及び容積 1㎝3 当りの吸水量を算定する。	吸着量は、当該油吸着材 1g につき 1.5g 以下であり、かつ 1㎝^{3} につき 0.1g 以下であること	

※金網：直径 1㎜ の針金をふるい目の長さが 17㎜ のメッシュ状に編んだもの