

マイクロフィルム用資料

共同研究報告書

整理番号第244号

水質事故検出技術の開発に関する共同研究報告書 ～油膜検知装置の開発～

平成12年 5 月

建設省 土木研究所
株式会社 日立製作所

Copyright© (2000) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

水質事故検出技術の開発に関する共同研究報告書

～油膜検知装置の開発～

建設省土木研究所下水道部

水質研究室 室 長 田 中 宏 明
主任研究員 南 山 瑞 彦*
主任研究員 白 崎 亮
研 究 員 横 田 敏 宏**
研 究 員 高 橋 明 宏
研 究 員 岡 安 祐 司
研 究 員 豊 田 忠 宏***

(株)日立製作所社会システム事業部

副 技 師 長 早稲田 邦 夫
副 技 師 長 依 田 幹 雄
主任研究員 馬 場 研 二
主任技師 原 直 樹
主任研究員 圓 佛 伊智朗
研 究 員 宮 代 明

要 旨

水質事故発生時には、流出初期の迅速な対応が必要であるが、現状では事故発見に時間を要する場合が多く、また、水質事故原因物質の大部分は油類である。このため、発光ダイオードを用いた油膜検知装置について、室内実験、フィールド実験などを行い、油膜を迅速に検知できる連続的計測システムの開発を行った。

キーワード：水質事故、連続監視、油

(* 現、汚泥研究室主任研究員)

(** 現、環境庁水質保全局水質管理課 課長補佐)

(*** 現、下水道研究室研究員)

目 次

1	はじめに	1
2	研究目的	1
3	油膜検知装置の開発	2
3. 1	原理と構成	2
3. 2	室内実験	4
3. 3	還流水路を用いた実験	7
3. 4	排水機場でのフィールド実験	26
3. 5	さざ波の影響評価実験	47
4	成果と課題	50
4. 1	得られた成果	50
4. 2	今後の課題	50
5	まとめ	53

1. はじめに

平成 10 年の 1 級河川における水質事故発生件数は、516 件となっており、平成 9 年と比較して 21 % 増加するなど、年々増加の傾向を示している。このうち上水道の取水停止に至った水質事故は 32 件と、平成 9 年の 14 件と比して大幅に増加している。また、水質事故全体の約 85 % が油類の流出となっている。

水質事故の発生時には、流出初期の迅速な対応が、被害の拡大を防止し、効果的な対策を採るために必要であるが、現状では事故発見に多大な時間を要する場合も多い。このため、連続的に水質を監視し、水質事故を速やかに検出できる信頼性のあるモニターの開発を目的として、平成 8 年度から 3 力年の官民共同研究として民間企業を公募した。共同研究では、土木研究所の還流水路での実験、関東地建江戸川工事事務所古ヶ崎排水機場でのフィールド実験などを実施した。本報告書はその成果をとりまとめたものである。

2. 研究目的

河川等の公共用水域で発生する水質事故の原因は、多種多様であるが油類の流出が大部分を占める。そこで、本共同研究では、発光ダイオードを光源として、水と油の反射率の差異によって油膜を検知する装置について、感度、維持管理性、信頼性などについて検討、改良を行い、現場に設置可能で連続的に油膜を検知できる油膜検知装置の開発を目標とした。

3. 油膜検知装置の開発

3. 1 原理と構成

3. 1. 1 原理

本油膜検知器は、反射率測定方式によって水面上の油膜の有無を連続的に監視するための検知警報器である。油の反射率が、水の反射率に比べて大きいという性質を利用したもので、光源には高輝度発光ダイオードを用い、水面の上方から非接触で監視できる特長を有する。

油は水よりもよく可視光線を反射する、つまり油の反射率の方が大きいことが知られている。屈折率の異なる二種の媒質の境界で、光の反射率を考えると境界面に直角に入射するときは次式のようなになる。

$$\text{反射率} = (n_1 - n_2 / n_1 + n_2)^2 \quad n_1 > n_2 \quad (\text{Fresnel 公式より})$$

n_1 ; 水、油などの屈折率

n_2 ; 空気の屈折率 (1.00)

屈折率 水=1.33、空気=1.00
揮発油=1.40 以上、灯油=1.45 以上
軽油=1.45～1.50、重油=1.45 以上

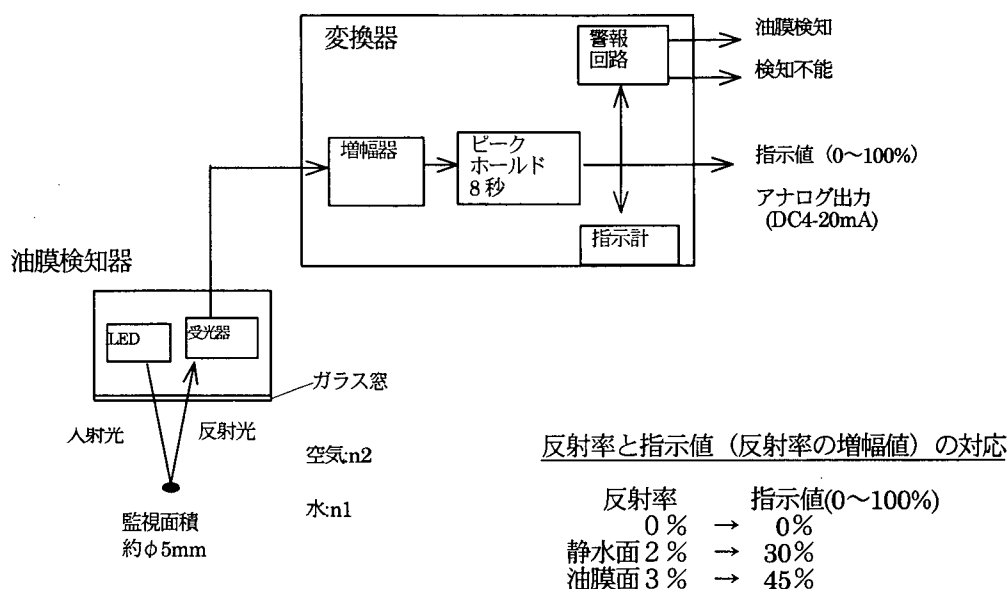


図- 3. 1 油膜検知器の原理

一般に、水面の反射率は2%、油膜の反射率は3～4%なので、油膜が存在すると反射率は水に比べて50～100%増加する。これによって、一定の強度の光を水面に照射して反射率を測定すると、その差から油膜が検出できる。

3. 1. 2 フロートによる水面浮上設置

反射率を精度良く測定するには、検知器の光源と水面間の距離を一定に保つことが前提である。特に、河川など水位変動が大きい場所では必須である。この課題に対して、本油膜検知器は検知器自体をフロートに乗せて水面に浮かす方式にて対応している。

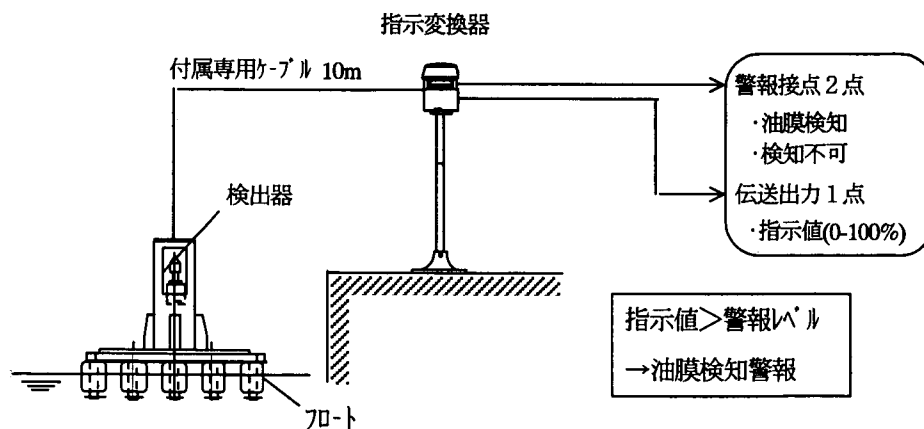
3. 1. 3 油検出装置の仕様

(1) 用途 水面上の浮遊油膜の検知

(2) 機器仕様

測定方式	近赤外線（発光ダイオード光）の反射率測定法、監視面積：約φ5mm		
周囲温度	-5～50℃		
周囲湿度	85%RH 以下		
試料水	凍結しないこと、蒸気発生なきこと		
伝送出力	指示値（反射率の増幅値）0～100% DC4～20mA		
警報接点	油膜検知警報接点出力	AC125V 0.2A 以下	
		または DC30V 1.0A 以下	
	検知不可能接点出力	AC125V 0.2A 以下	
		または DC30V 1.0A 以下	
電 源	AC100V±10% 50/60Hz 約 5VA		
構 造	防雨型、屋外水面浮上設置		
外形寸法	指示変換器	……	約φ170×300mm
	検出器	……	約φ112×242mm（フロートに取付ける）
	フロート	……	約1050×1050×700mm
重 量	指示変換器	……	約 4kg
	検出器	……	約 2kg
	フロート	……	約 15kg
設置場所	監視対象の水面		
	指示変換器～フロート間10m以内		

(3) 装置構成



図－3. 2 油膜検知装置の構成

3. 2 室内実験

3. 2. 1 実験目的

本章には、室内実験結果をまとめた。ラボ実験の目的は、近赤外線反射率測定方式の基本性能を確認することである。

実験項目は、

- 1) RUN 1 : 形成油膜の検知
- 2) RUN 2 : 検知不能条件
- 3) RUN 3 : 指示値に対する油量の影響把握
 - ・油膜厚の計測は実質的に困難なので、水面面積当たりの滴下量ベースで評価する。
 - ・段階的に油量を変化させ指示値の変化を把握する。
 - ・揺れによる指示値の変化を確認する。

3. 2. 2 RUN 1 : 形成油膜の検知実験

(1) 実験方法

水槽 (1500×1500×200mm) に水道水を満たし、油膜検出装置を浮かべ指示変換器の指示値を読む。ここでの指示値は反射率を増幅した値である。実際の操作は以下の通りである。

- ・水道水のみ：清水面での指示値を読む。
- ・油を水面に投入して油膜を形成させ、指示値を読む。

油膜検知のしきい値は、事前検討により指示値 45%以上とした。

(2) 実験結果

実験結果は、以下の通りとなった。

- ・水道水のみ：指示値 33%
- ・機械油一滴：指示値 60% → 油膜検知警報発生

この他、重油、灯油でもほぼ同様の結果を得た。これより、適切なしきい値の設定により、指示値から油膜形成の有無の識別できることを確認できた。

3. 2. 3 RUN 2 : 検知不能条件の確認実験

(1) 実験方法

上記した検知実験と同一の水槽を用い、油膜形成への阻害などが想定される条件で実験した。

- ・木の葉など反射率の低い物質があるときの指示値を読む。
- ・油膜検出装置を揺らしたときの指示値を読む。
- ・水面に波があるときの指示値を読む。
- ・金属片など反射率の高い物質があるときの指示値を読む。

なお、事前検討により指示値が 45%以上にて油膜検知、20%以下で油膜検知不能と判断するようにした。

(2) 実験結果

- ・木の葉 : 10%以下 → 検知不能警報発生
- ・装置揺れ : 清水面の指示値は 31～33%を示し、警報レベルまで達しない
- ・水面の波 : 清水面の指示値は 31～33%を示し、警報レベルまで達しない
(波は水面を手でかき混ぜて発生させた)
- ・アルミ箔 : 70% → 油膜検知警報発生

油膜形成を阻害する夾雑物(木の葉など)が存在する条件では、通常の水表面とは異なる検知不能の状態であることを識別できた。一方、水表面よりも高い反射を示す夾雑物(アルミ箔など)では、誤警報を生ずる可能性のあることが分った。

3. 2. 4 RUN 3 : 指示値に対する油量の影響把握

(1) 実験方法

黒色容器に水道水を満たし、油膜なしの清水とA重油の指示値を比較した。

1) 清水の計測条件

- ・黒色容器サイズ : $\phi 109 \times 100$ mm, 容器の面積 = $\pi \times (109/2)^2 = 9327 \text{ mm}^2$
(底部からの反射が殆ど無視できる)
- ・水道水量 : 500 ml

2) A重油の計測条件

- ・黒色容器サイズ : $\phi 109 \times 100$ mm, 容器の面積 = $\pi \times (109/2)^2 = 9327 \text{ mm}^2$
- ・水道水量 : 500 ml
- ・滴下量 : A重油 0.1 ml, 1.0 ml, 10.0 ml

(2) 実験結果

1) 油膜厚による指示値の変化

得られた指示値を表-3.1 に示す。A重油の場合、油膜厚を 100 倍程度にしても指示値に有意な差が見られなかった。

表- 3. 1 指示値の一覧

油量(ml)	油膜厚さ(mm)	油膜指示値(%)	清水面指示値(%)
0.1	0.0107	67～69	31～33
1.0	0.107	67～69	31～33
5.0	0.535	67～69	31～33
10.0	1.07	67～69	31～33

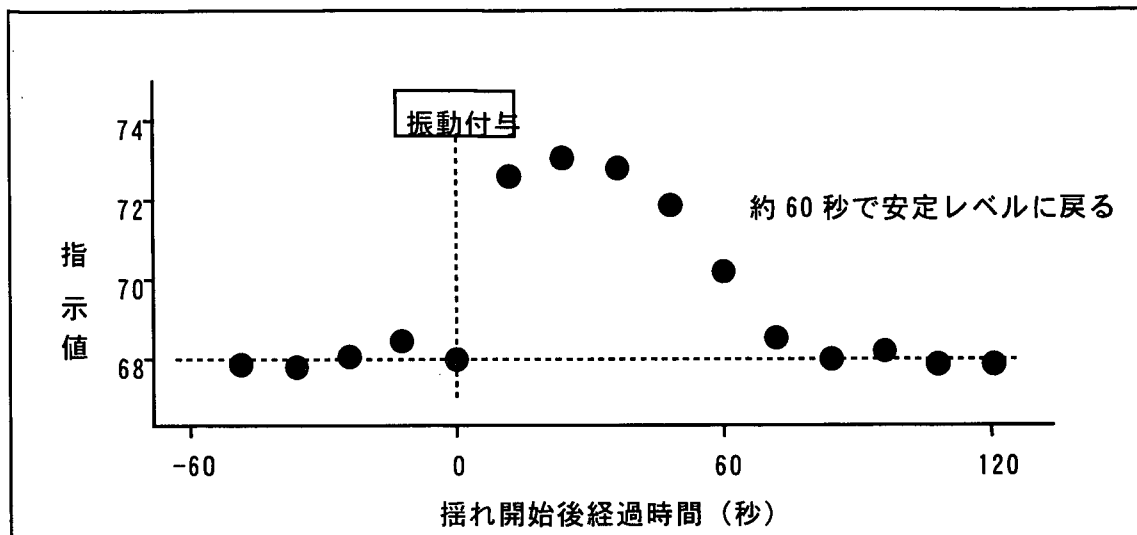
また、実験観察により、以下の結果を得た。

- ・油滴下直後は玉状であるが、数分で容器水面に均一の油膜を形成した。
- ・玉状の油膜の時は、指示値が 40～70%の範囲で変動した。均一になった後、指示値は約 68%にて安

定した。

2) 揺れによる指示値の変化

- ・検知器を手で傾けて揺らすと、指示値は5%程度高くなるが、図-3.3に示すように、揺れが終了した60秒以降では徐々に低下して68%に戻る。



図－ 3. 3 油膜検知器の揺れに対する指示値の応答（油量 0.1 ml）

3. 2. 5 室内実験結果のまとめ

油膜検知の基本性能を確認することを目的に、ラボ環境での実験を実施し、以下の結果を得た。

- 1) 油膜がない清水面での指示値は約 33%でほぼ安定している。
- 2) 油膜が形成されていれば微量でも検出可能である。ただし、油の種類で感度は異なり、本報告には記述していないが、食用油等の粘性の高い油は検出困難であった。
 - ・機械油：粘性が低く油膜を形成しやすい。高感度で検出可能。重油、灯油も同様。
 - ・食用油：粘性が大きいため固まってしまい、油膜は形成し難い。検出感度は機械油よりも劣る。
- 3) 装置の揺れによる清水面の指示値の変化はない。
- 4) 人工的に発生させた水面の波による静水面の指示値の変化は確認されなかった。
- 5) A重油は、滴下直後は玉状であるが数分後には均一な油膜を形成する。従って、河川への混入時には均一な油膜となって拡がるのが想定される。
- 6) 均一に形成されたA重油油膜では、油膜検知器の揺れがあっても指示値は10%以内の変動にとどまり、安定して計測できる。
- 7) 反射率は油膜厚に依存せず、ほぼ一定の指示値（68%）を取るため、反射率の違いから混入油の多寡を推定することは難しい。

3. 3 還流水路を用いた実験

3. 3. 1 実験目的と項目

還流水路設備では、室内環境での再現が困難なフィールド条件を再現したり、逆にフィールドでの生起頻度が小さい特異的な条件での実験を実施した。これにより、油膜検知器のフィールド運用上の課題を事前に抽出することが目的である。

実験項目として、以下の4つを設定した。

- 1) 水面流速：流速を変化させたときの油膜形成状態の変化による影響を調べる
- 2) 水面波立ち：風による水面の波立ち（反射光入射角度のランダム変化）の影響を調べる
- 3) 降 雨：降雨による水面の乱れや油膜破壊、形成状態の変化の影響を調べる
- 4) 検知器フロートによる流れの乱れ：フロート部での乱流発生による影響を調べる

3. 3. 2 実験方法

(1) 実験装置

今回の実験用には、図-3.4に示すような装置を用いた。

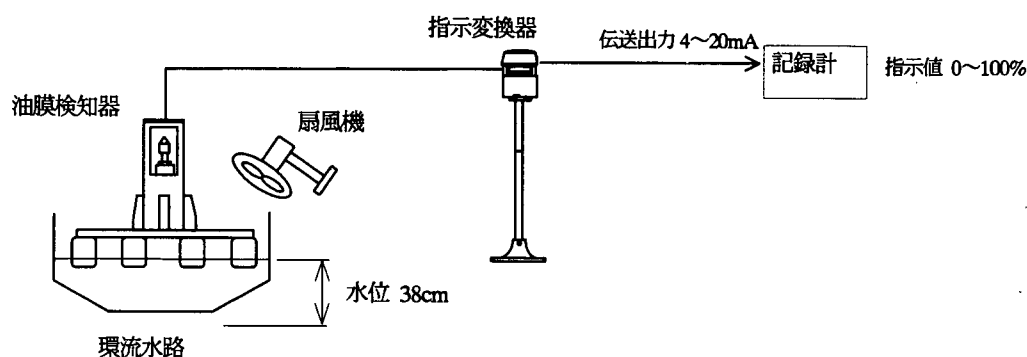


図-3.4 実験装置

(2) 還流水路の構成

還流水路は、河川を模擬した設備であり、貯水槽の水を流通（もしくは循環）できる。主な設備仕様は以下の通りである。（図-3.5 還流水路全体図参照）

- ・貯水槽：1300m³（循環送水も可能）
- ・水路長：周回 290m
- ・水路勾配：1/1000
- ・水深：最大 50cm
- ・水路幅：水路底部 50cm, 水路上端部 150cm

油膜検知実験は、5系列あるNo.1~5水路のうち、No.5水路を用いて実施した。

油膜検知器の設置場所は、図-3.5に示すように周回後半部の中間点付近とした。

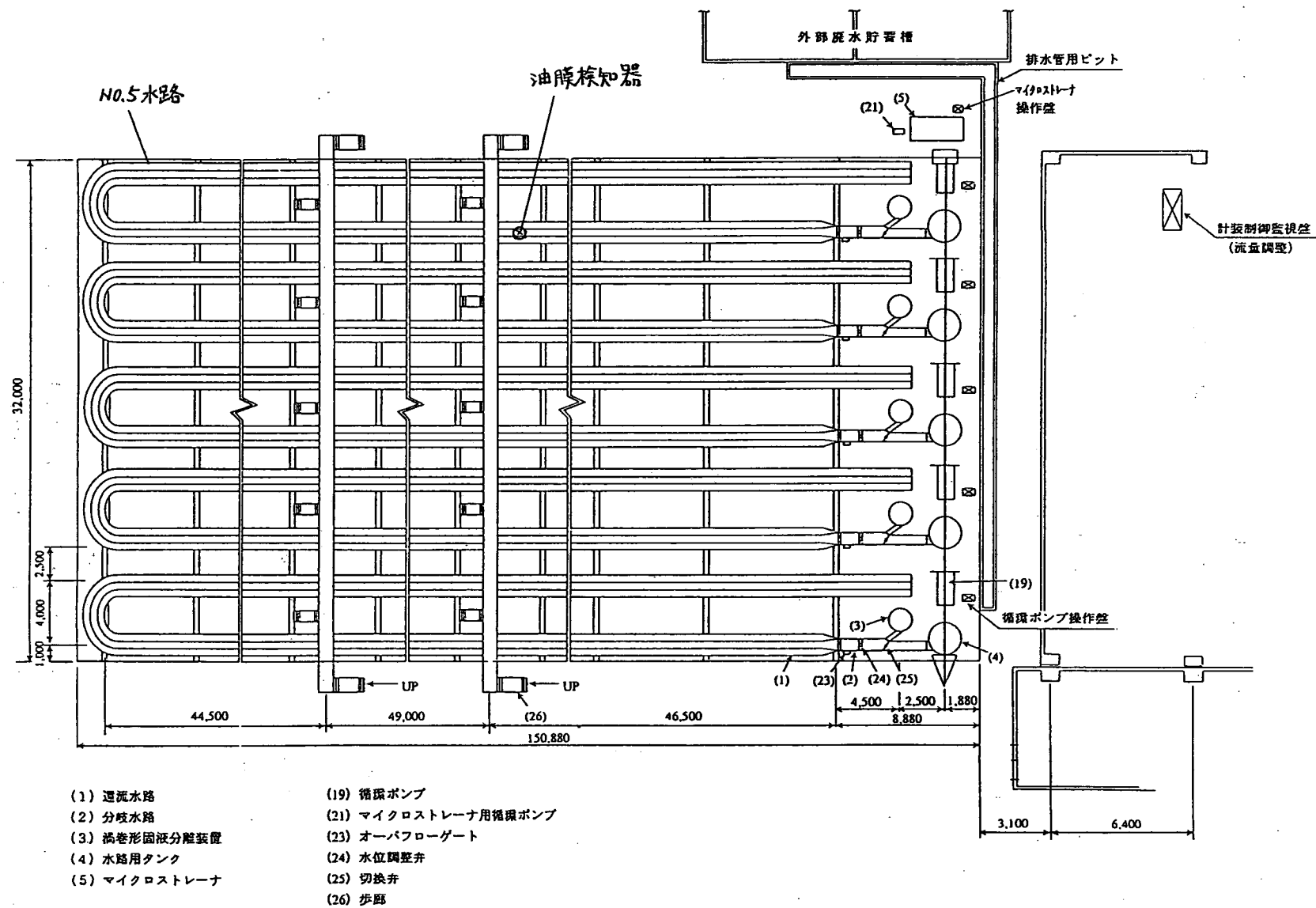


図-3.5 還流水路全体図

(3) 実験手順

実験の工程を表-3.2 に示す。実験時に滴下した油は、計測地点下流にオイルマットを敷設するなど、外部廃水貯留槽への流出がないよう留意した。

表-3.2 還流水路実験の工程

No.	実験内容	工程		
		9月1日	9月2日	9月3日
RUN1	循環ポンプ回転数と流速の関係調査	☐		
RUN2	流速変化実験（清水面）		☐	
RUN3	流速変化実験（A 重油）		☐	
RUN4	さざ波実験（A 重油）			☐
RUN5	降雨実験（A 重油）			☐
RUN6	トレーサー実験 1		☐	
RUN7	トレーサー実験 2			☐
RUN8	トレーサー実験 3			☐

1) RUN1 循環ポンプ回転数と流速の関係

- ・ No5 水路に水を流し、油膜検知器を浮かべて固定する。
- ・ 油滴下地点と油膜計測地点を決め、距離を計測する。
- ・ 送水用の循環ポンプ回転数を変えたときの流速を水面上の浮子で計測し、ポンプ回転数と流速の関係を把握する。

2) RUN2 流速実験（清水面）

- ・ 浮子を流し、流速が約 0.1m/s～0.5m/s になるように流量を調節し、清水面の指示値を記録。

3) RUN3 流速実験（A 重油）

- ・ 浮子を流し、流速が約 0.1m/s～0.5m/s になるように流量を調節し油滴下地点に油を投入し、計測地点の指示値を記録。

4) RUN4 さざ波実験（A 重油）

- ・ 流速を 0m/s として、扇風機の風、水面の攪拌によりさざ波を発生させる。検知器の下に油を滴下し、指示値の変化を記録する。また、上記の条件において、流速を変えたときの影響を確認する。

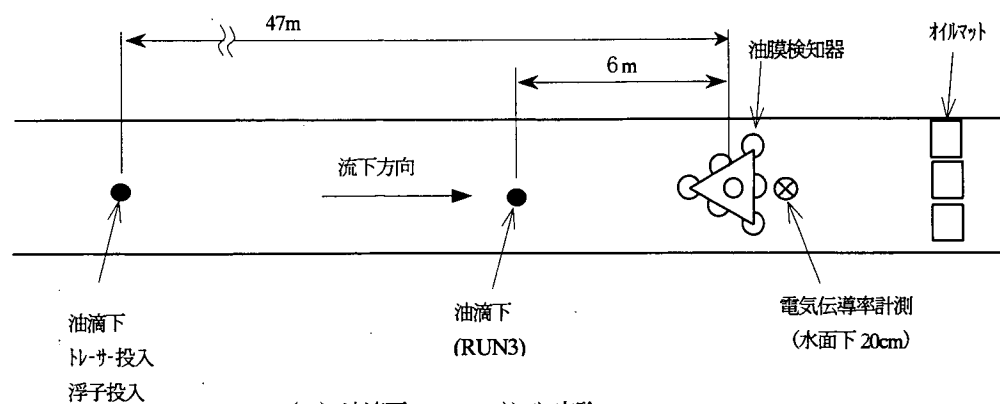
5) RUN5 降雨実験（A 重油）

- ・ 計測地点上流側で油膜通過時に疑似降雨として散水し、指示値を記録する。

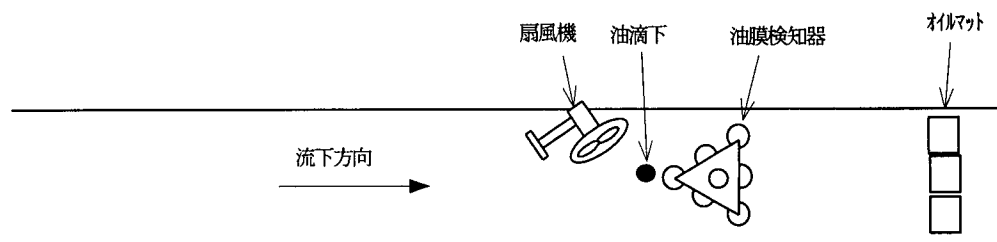
6) RUN6, 7, 8 トレーサー実験

- ・油滴下地点にトレーサーとして食塩水を投入し、計測地点の電気伝導率、目視による油膜の到達、指示値を記録。

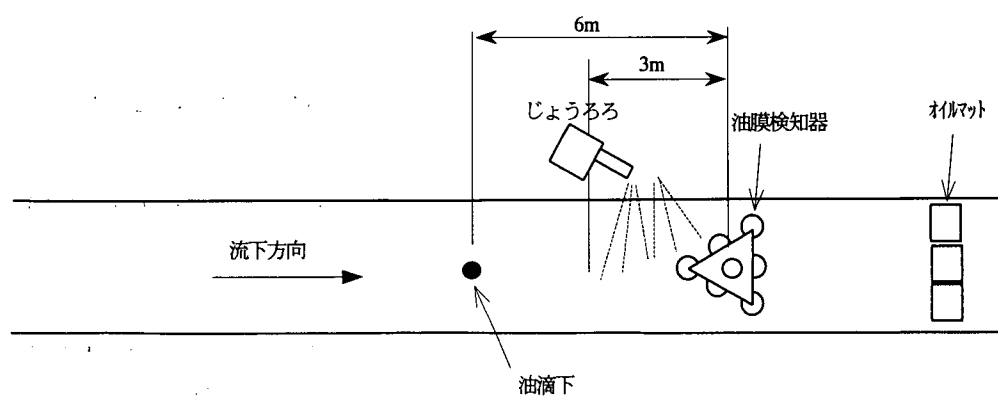
また、油滴下位置と油膜検知器の設置位置の関係を図-3.6(1)(2)(3)に示す。



(1) 油滴下(RUN3)、トレーサー実験(RUN6.7.8)



(2) さざ波実験(RUN4)



(3) 降雨実験(RUN5)

図-3.6 環流水路の実験方法

3. 3. 3 実験結果

(1) RUN1 循環ポンプ回転数と流速の関係

計測制御監視盤の設定器を回して循環ポンプの回転数を変化させ、回転数メータと水面流速（浮子の速度）を記録した。両者の関係を図-3.7に示す。

本実験によって、循環ポンプの回転数と表面流速の相関を把握できた。可能な最大流速は、循環ポンプの回転数 800rpm で約 0.5m/s であった。

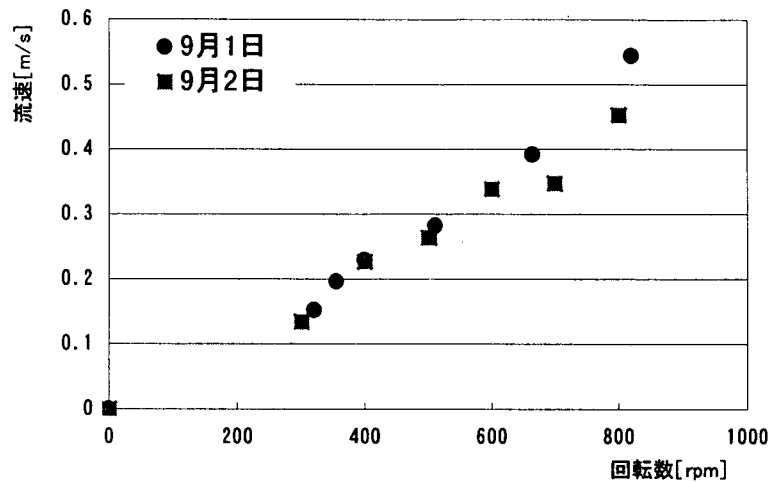


図-3.7 循環ポンプ回転数と流速の関係

(2) RUN2 流速実験（清水面）

図-3.8 に流速を 0m/s～0.35m/s に変化した時の指示値のトレンドを示す。油膜検知器の指示値は、流速ゼロの状態では約 30% であった。また、表-3.3 に流速条件と指示値の平均、最大、最小を示した。

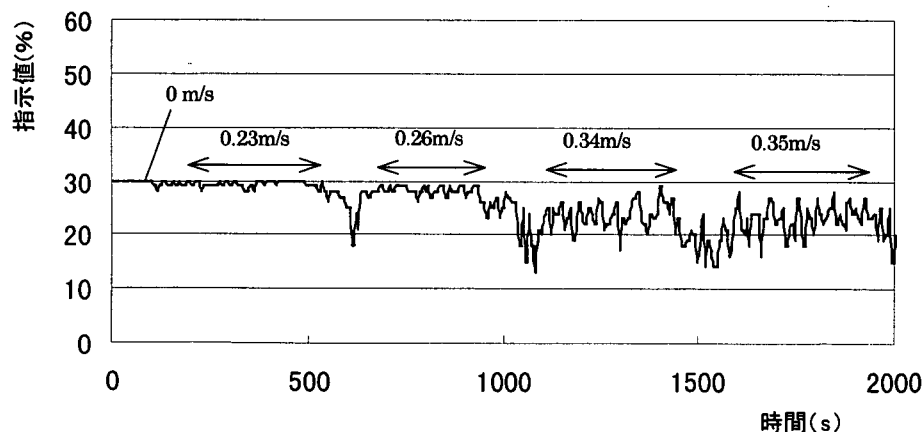


図-3.8 清水面の指示値のトレンド

表-3.3 RUN2 流速と指示値

RUN	流速(浮子) (m/s)	指示値平均 (%)	指示値最大 (%)	指示値最小 (%)
2-0	0.0	30	30	30
2-1	0.23	29	30	28
2-2	0.26	28	29	26
2-3	0.34	24	29	17
2-4	0.35	23	28	16

表-3.3 より、流速が速くなるほど、指示値は低下し、変動幅も大きくなっている。流速を 0.34m/s にすると低下度合は大きくなり、検知精度にも悪影響を与えと考えられた。計測対象水面の目視観察によると、指示値低下の原因は、フロートで発生した乱流の影響による水面の乱れであった。本油膜検知器は、発光ダイオード光を照射している地点をフロートで囲む構造のために、フロートによる水面の乱れの影響を受けやすく、流速が速いほど乱れの影響も大きい。清水面において安定な指示値を得るには構造の改良等により、乱流を低減する必要のあることが分った。流れの乱れを大きくする要因としては、油膜検知器のフロート部への流れの衝突が最も大きい。フロート部の構造を改良すること（例えば、フロート数低減や小型化など）で、より大きな流速への対応が可能になると考えられる。

(3) RUN3 流速実験 (A 重油)

水路内の流速を変えて、計測地点の上流 5.0m に油を滴下したときの油膜検知器指示値の変化を把握する。流速は表-3.4 に示すように、0.10～0.46m/s の範囲を 5 段階で変化させた。流速は、循環ポンプの回転数を調節し、水流が安定した後に浮子を流して測定している。また、RUN3-1 の油量 0.1 ml では必要以上に油膜が大きくなり、除去にも労力を要したので、RUN3-2 以降は油量を 1/10 に減らした。

表-3.4 実験条件

RUN	油量 (ml)	流速(浮子) (m/s)	滴下～計測地点 (m)
3-1	0.10	0.10	5.0
3-2	0.01	0.21	5.0
3-3	0.01	0.33	5.0
3-4	0.01	0.41	5.0
3-5	0.01	0.46	5.0

滴下した油は瞬時に広がって水路の中央に半径約 0.7m の油膜を形成した。この時の油膜厚さは、水と混合等を行わないと仮定すると、油量 0.01 ml から換算して $6.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ となる。油膜は流下と共に長く伸びたが、幅はほぼ一定であった。水路水面幅 1.0m よりも一回り小さく、水路に接触することなく計測地点まで流下した。指示値の経時変化を図-3.9.1, 3.9.2 の(1)～(5)に示す。

また、図-3.9.1, 3.9.2 における油滴下後の最大指示値と、油滴下から最大指示値までの時間を表-3.5 に

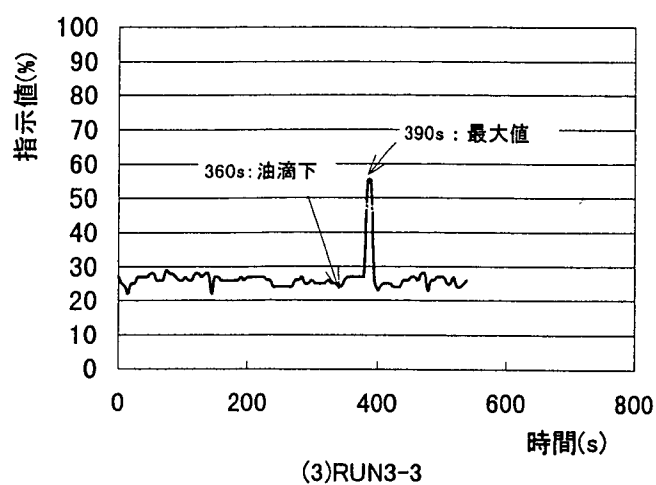
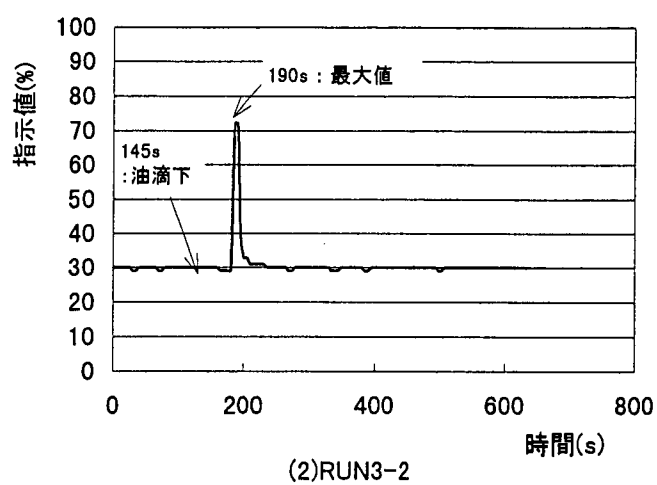
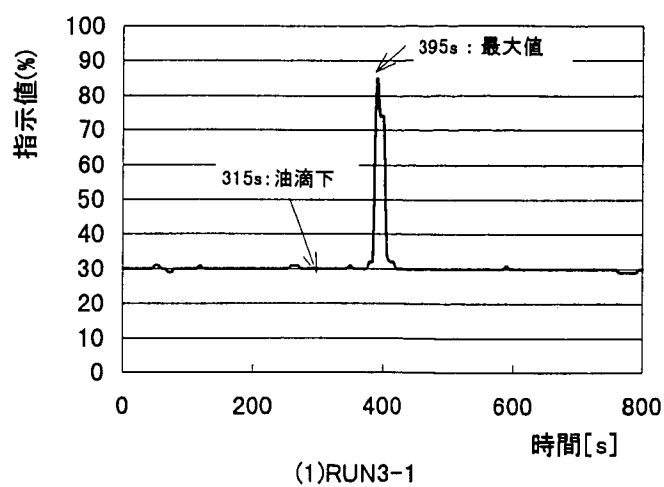
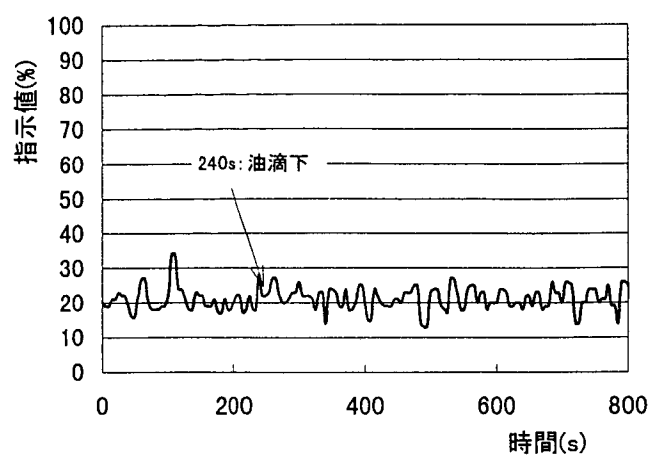
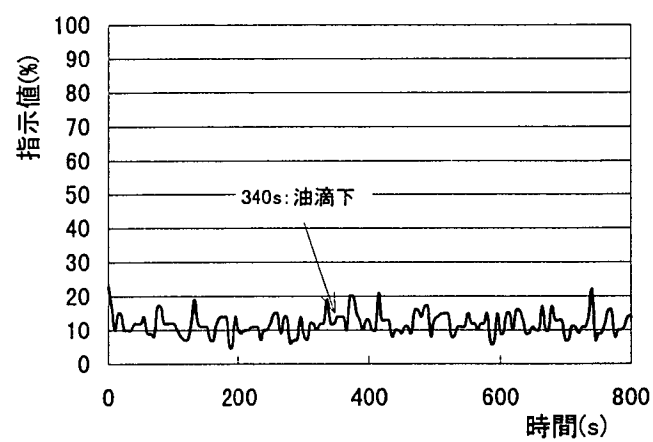


図-3.9.1 RUN3流速実験



(4)RUN3-4



(5)RUN3-5

図-3.9.2 RUN3流速実験

まとめた。

表-3.5 RUN3 実験結果の一覧

RUN	流速(浮子) (m/s)	最大値 (%)	最大値までの時間 (s)	備考
3-1	0.10	84	80	
3-2	0.21	72	45	
3-3	0.33	55	30	
3-4	0.41	確認できない	-	清水面指示値安定せず
3-5	0.46	確認できない	-	清水面指示値安定せず

表-3.5 より、流速が大きくなるに従い指示値の最大は低下する傾向を示したが、RUN3-1 から RUN3-3 の流速までは油膜検知可能であった。RUN3-4, 3-5 の油膜の目視観察によると、油膜はフロート付近に発生している水流の乱れを受けて水中への潜り込んでおり、計測地点（LED を投射している点）を通過していなかった。先の RUN2 では流速が速いと清水面の指示値低下の発生を確認したが、さらに RUN3-4, 3-5 により、流速が速いと油膜検知ができないことも確認できた。この原因は装置構成にあり、反射率測定の原理には問題はない。

この実験結果から、本装置では、流速 0.33m/s 程度までは、微量な油膜でも検知可能であることがわかった。計測地点の油膜の面積は計測できなかったが、流下に伴う拡散により滴下直後の厚さ $6.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ よりも薄くなっていると考えられる。

(4) RUN4 さざ波実験 (A 重油)

後述する古ヶ崎排水機場のフィールド実験結果より、風によるさざ波発生時に指示値が低下することが確認された。本実験では扇風機で人工的にさざ波を発生させ、清水面の指示値低下が再現されるか、また、この状況で油膜は検知可能かを調査した。実験条件を表-3.6 に示す。油膜が必ず計測地点を通過するように、油滴下地点は検知器の直前とした。

表-3.6 さざ波実験条件

RUN	油量	流速(浮子) (m/s)	風力 (扇風機スイッチ)	滴下地点
4-1	1 滴	0.11	微、弱、強	検知器直前
4-2	1 滴	0.28	強	検知器直前
4-3	1 滴	0.42	強	検知器直前

図-3.10 に風力を段階的に強くした時の指示値の経時変化を示す。

図-3.10(1) RUN4-1 に示すように、流速 0.11m/s の条件下では風力を微風、弱風、強風と強くする程、指示値は段階的に低下した。1865s 以降の強風条件での指示値低下は、後述する古ヶ崎排水機場のさざ波の状況と同様であり、本実験によってさざ波の影響は再現されている。目視観察の状況では、風によるさざ波の発生により計測地点の水面が乱れ、受光できる水面からの反射光量が少なくなることが原因と考えられる。

さざ波発生条件（1865s 以降）で A 重油を油膜検知器直前に滴下すると、指示値は最大 79%（2430s）まで上昇した。また、図-3.10(2) RUN4-2 の流速 0.28m/s、強風の条件下においても最大 77%まで上昇した。目視観察によれば、油膜は計測値点を通り、さざ波とフロートが衝突して流れが乱れる現象はなかった。少なくとも流速 0.28m/s 以下であれば、さざ波発生時にも油膜検知は可能である。

一方、図-3.10(2) RUN4-3 の流速 0.42m/s では、無風においても指示値が低下し、強風ではさらに低下した。635s 以降に油を滴下したが、指示値の上昇は見られず、この状況では油膜の検知は不可能であった。この原因は、さざ波の影響ではなく、RUN3 流速実験にて述べている流速である。流速が速いと油膜は計測点を通り過ぎる。

以上より、さざ波によっても指示値は低下するが、少なくとも流速 0.28m/s 以下であれば、さざ波発生時にも油膜検知は可能である。

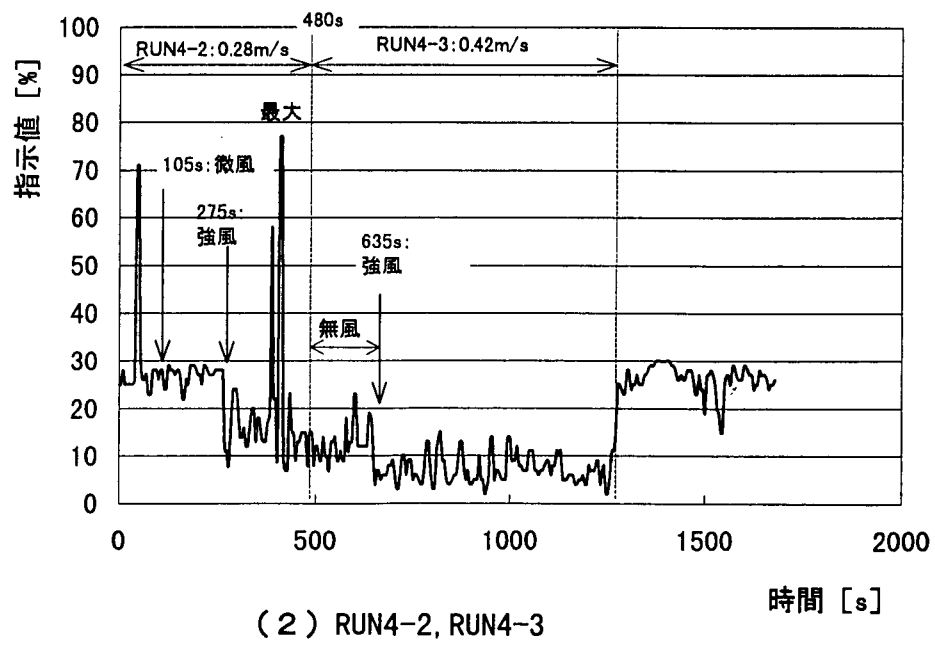
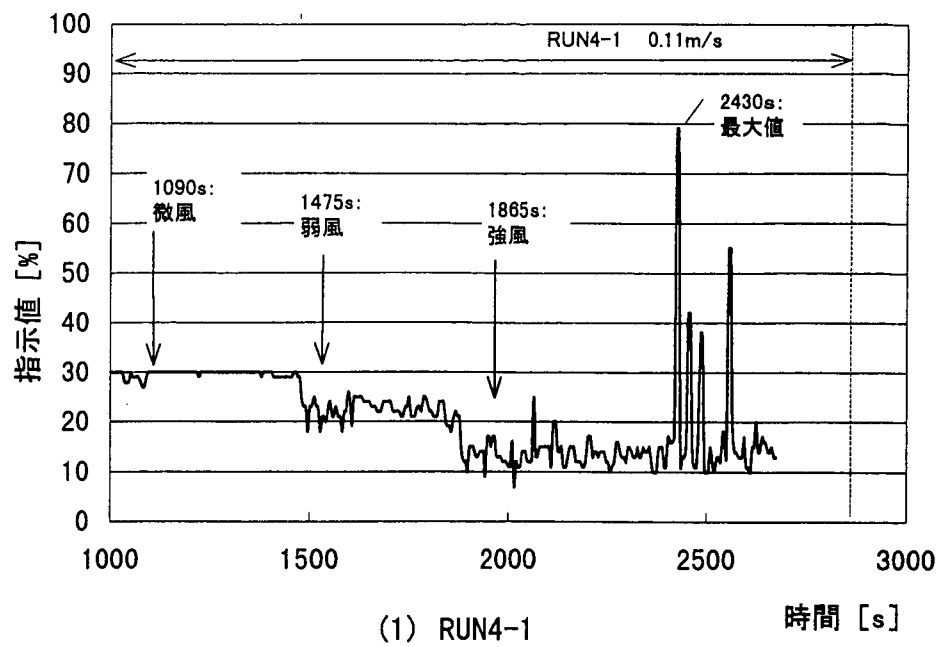


図-3.10 RUN4:さざ波実験

(5) RUN5 降雨

油滴下地点と計測地点の間で、じょうろを用いた散水によって人工的な降雨を発生させ、表-3.7に示すような3回の実験を行った。油膜検知器（計測値点）から上流2mまでの間を散水したので、油膜は約8秒の散水を受けながら油膜検知器に到達する。RUN5-1では油なしの指示値を、RUN5-2, 5-3では油滴下時の指示値を記録した。

表-3.7 降雨実験条件

RUN	油 (ml)	流速(浮子) (m/s)	油滴下～散水地点 (m)	油滴下～計測地点 (m)
5-1	0.00	0.31	3～5	5
5-2	0.01	0.23	3～5	5
5-3	0.01	0.24	3～5	5

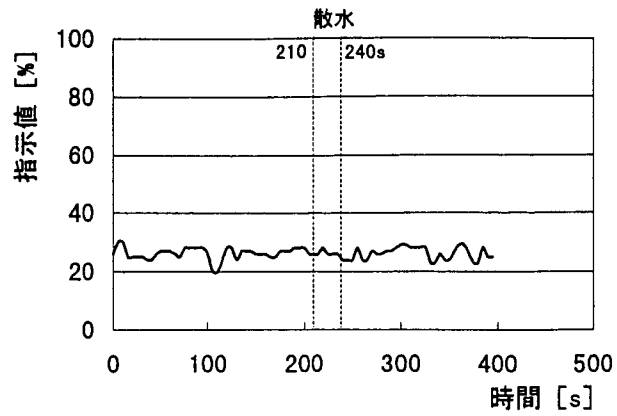
目視により油膜形成状況を観察したところ、油膜は散水により破壊されて見えなくなるが、散水区間通過後、3秒程度の時間経過により再生することが確認できた。各RUNでの指示値の経時変化を図-3.11に示す。また、散水時間帯の最大指示値を表-3.8にまとめた。

表-3.8 指示値最大値の一覧

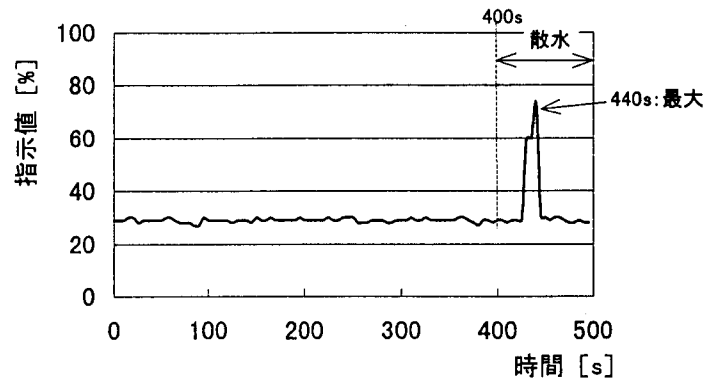
RUN	最大指示値 (%)	備考
5-1	29	油なし
5-2	73	油滴下40s後
5-3	52	油滴下25s後

図-3.11のRUN5-1より、散水時間帯（210s～240s）の指示値とこれ以外の指示値に差異はなく、今回のようなじょうろを使用した散水程度では油膜検知器の検知性能に影響を与えないことが分った。油を滴下した実験RUN5-2, 5-3では、散水時においても指示値は50%以上に上昇しており、油膜検知が可能であった。この結果から、油膜検知器の真下の計測地点では、検知器の架台によって散水が遮られ、油膜は再生していると考えられた。

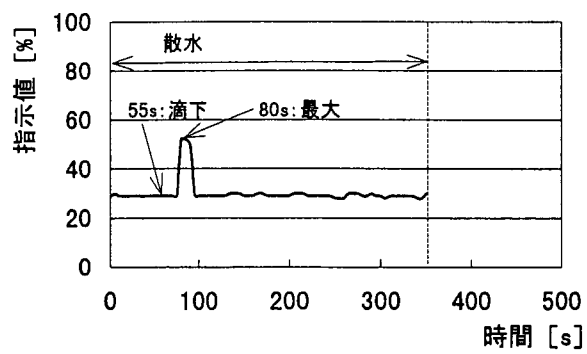
以上より、じょうろ散水、流速0.24m/s以下の条件では油膜検知器の性能には影響がなく、降雨時でも油膜が存在すれば検知可能と言える。ただし、豪雨、又は長時間の降雨により油膜が再生できないほど破壊された場合には検知できない可能性がある。



(1) RUN5-1 (油 0.0 , 流速 0.31m/s)



(2) RUN5-2 (油 0.01 , 流速 0.23m/s)



(3) RUN5-3 (油 0.01 , 流速 0.24m/s)

図-3.11 RUN5: 降雨実験

(6) RUN6 トレーサー実験 1

本実験では、トレーサー（食塩水）の到達時間と水面の流下速度との比較を行う目的で、トレーサーを上流側に投入し、計測地点における電気伝導率の経時変化を計測した。実験条件を表-3.9 に、電気伝導率の経時変化を図-3.12 に示す。

表-3.9 RUN6 トレーサー実験 1 の条件

RUN	油 (ml)	流速(浮子) (m/s)	注入～計測地点 (m)	トレーサ-量 (ml)	トレーサ-原液電 気伝導率 (mS/m)
6	0	0.35	35	1500	400

図-3.12 より、トレーサー注入から電気伝導率変化開始までの時間は 95 秒で、注入～計測地点までの距離 35mからトレーサー流速に換算すると約 0.37m/s となる。これは浮子にて計測した流速 0.35m/s とほぼ一致し、水路の水面と水中（水面下 20cm）の流速に大きな差はなかった。

(7) RUN7 トレーサー実験 2

油、トレーサーを同一地点に投入し、水面流速、目視による油膜の到達時間、及びトレーサーの到達時間の差異を調べた。実験条件を表-3.10 に示す。トレーサーの到達時間を正確に把握するため、RUN6 よりもトレーサー原液の電気伝導率を高めている

表-3.10 RUN7 トレーサー実験 2 の条件

RUN	油 (ml)	流速(浮子) (m/s)	注入～計測地点 (m)	トレーサ-量 (ml)	トレーサ-原液 電気伝導率 (mS/m)
7	0.03	0.14	35	700	1855

計測した電気伝導率の経時変化を図-3.13 に示す。また、目視観察による油膜到達時間と油膜速度、電気伝導率変化開始をトレーサー到達時間とした場合のトレーサー速度をまとめて、表-3.11 に示す。

表-3.11 油膜・トレーサー到達時間

RUN	流速 (浮子) (m/s)	油膜到達時間 (目視監視) (s)	油膜速度 (目視監視) (m/s)	トレーサ-到達時間 (電気伝導率変化開始) (s)	トレーサ-速度 (m/s)
7	0.14	250	0.14	215	0.16

図-3.13 の電気伝導率のトレンドより、トレーサーは 215s から 320s にかけて計測地点を通過し、油膜はトレーサーに 45s 遅れて到達した。なお、油膜先頭部は徐々に分散消滅するので、流下とともにどこが先頭なのかがはっきりしなくなっていた。

(8) RUN8 トレーサー実験 3

流速を変化させて前項と同様に、油、トレーサーを同一地点に投入し、水面流速、目視による油膜の到達時間、及びトレーサーの到達時間の差異を調べた。実験条件を表-3.12 に示す。

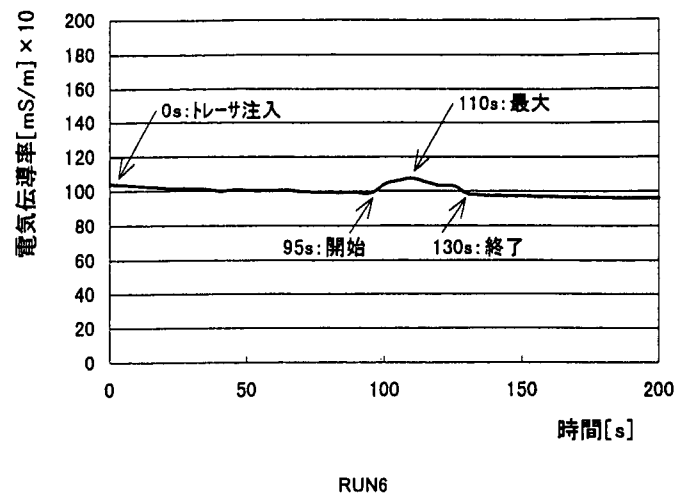


図-3.12 RUN6 トレーサー実験1(トレーサーのみ)

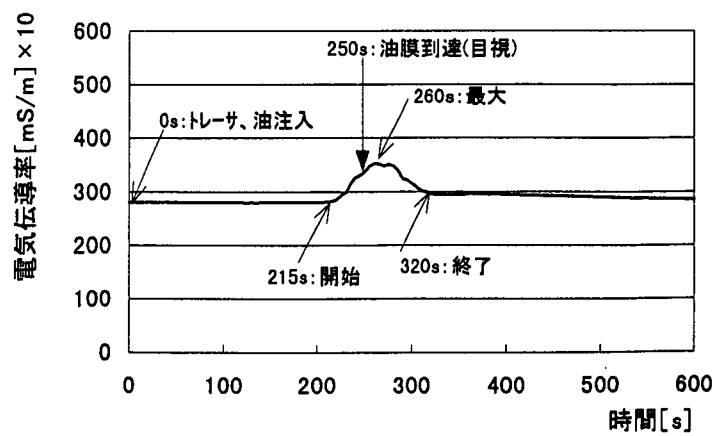


図-3.13 RUN7 トレーサー実験2(トレーサー、油)

表-3.12 RUN8 トレーサー実験3の条件

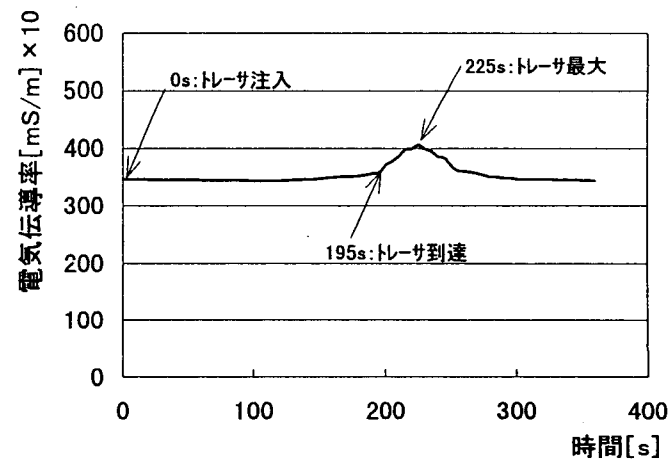
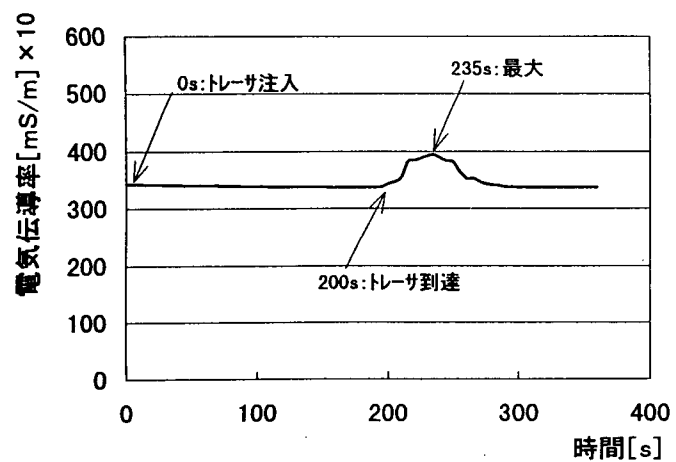
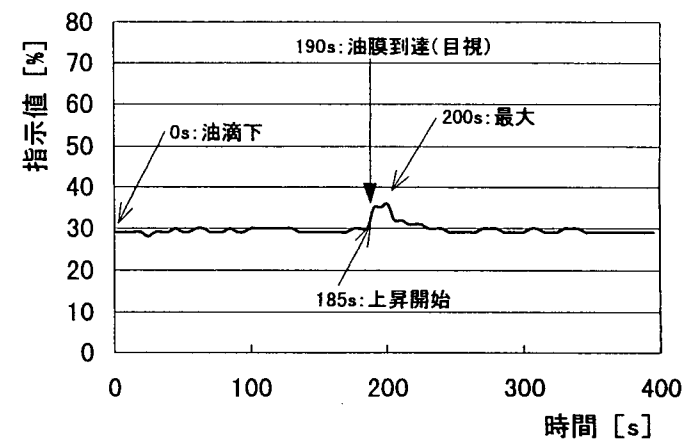
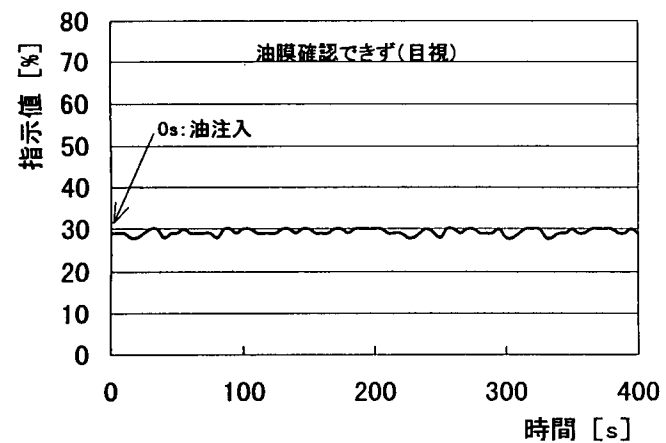
RUN	油 (ml)	流速 (m/s)	注入～計測地点 (m)	トレーサー量 (ml)	トレーサー原液 電気伝導率 (mS/m)
8-1	0.03	0.24	47	700	1864
8-2	0.1	0.24	47	700	1870
8-3	0.1	0.17	47	700	1876
8-4	0.1	0.30	47	700	1820

図-3.14.1, 2 に各 RUN の油膜検知器指示値（上段）と電気伝導率（下段）の経時変化を示す。RUN8-1 の指示値にピークが表れないのは、計測地点においては目視でも確認できないほど油膜は分散したためであった。そこで RUN 8-2 では油量を 0.1ml に増加し、その他は RUN8-1 と同一条件にした。RUN8-2 より目視による油膜到達、油膜検知器の指示値上昇、電気伝導率の上昇はほぼ同時であった。流速を 0.17m/s にした RUN8-3 では、目視による油膜の到達と指示値の変化開始は一致したが、電気伝導率の変化は遅れて表れた。次に RUN8-4 において流速を 0.3m/s に高めたところ、油膜は下流にともない細長くなり、油膜検知器の計測地点を通過しなかった。よって指示値にピークは表れていない。また、電気伝導率の上昇は、目視による油膜到達確認よりも遅れていた。表-3.13 に目視、油膜検知器、トレーサー到着時間の一覧を示す。

表-3.13 油膜・トレーサー到達時間

RUN	流速 (浮子) (m/s)	油膜到達時間 (目視判断) (s)	油膜検知時間 (指示値最大値) (s)	トレーサー到達時間 (電気伝導率変化開始) (s)
8-1	0.24	確認できず	検知不能(油膜分解)	200
8-2	0.24	190	205	195
8-3	0.17	252	265	295
8-4	0.30	133	検知不能(通過せず)	155

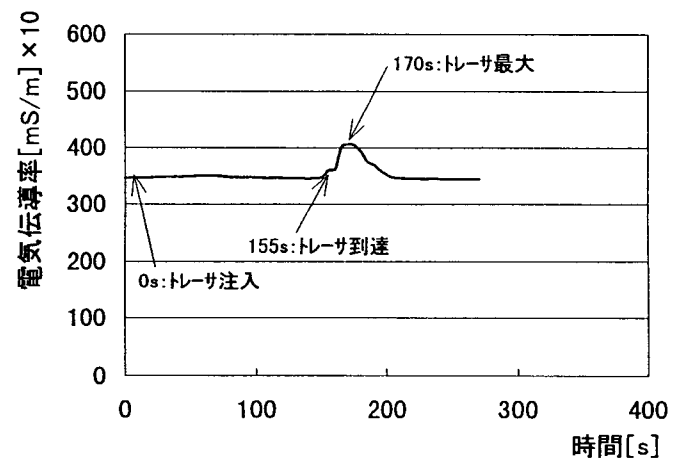
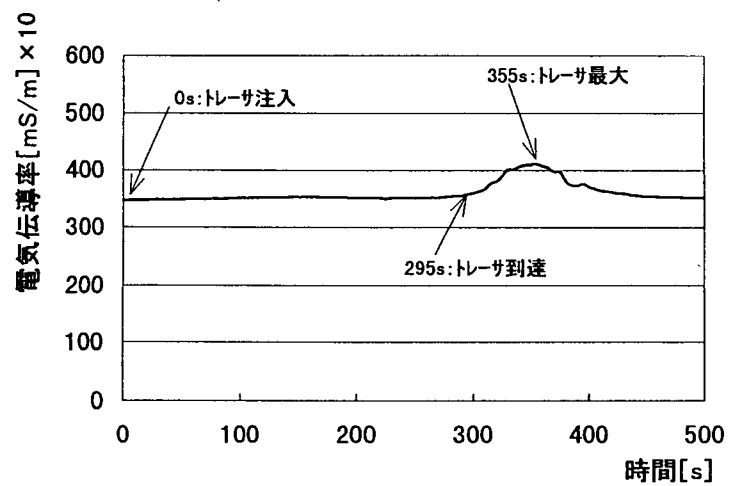
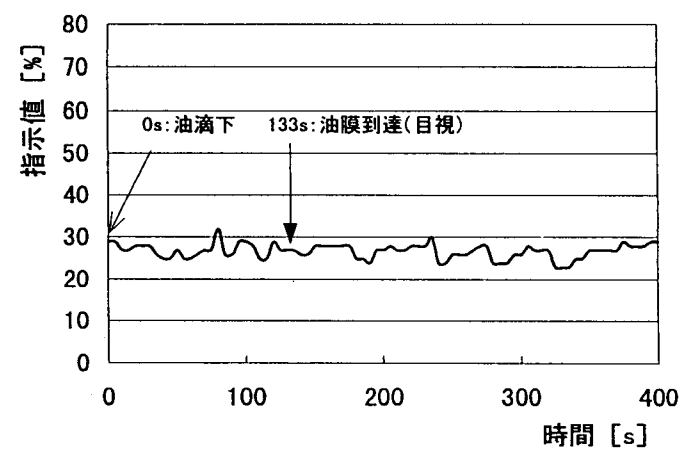
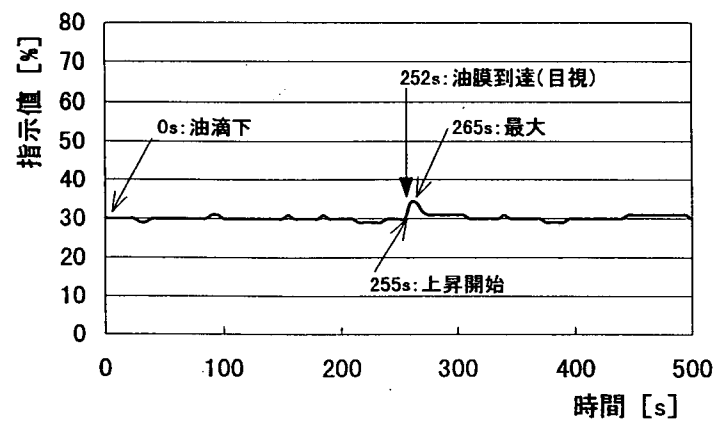
表-3.11 の RUN7 によるとトレーサーの方が油膜よりも早く到達しているが、表-3.13 の RUN8-2、8-3、8-4 では、油膜の方が早い。これは RUN7 では油量が少なく、到達地点までに分散消滅しているのに対して、RUN8 では滴下油量を 0.1ml に増加したことによって油膜の分散が少なく、先頭をより正確に把握できたためである。水表面の油膜は分散消滅しなければ、表面下 20cm で測定したトレーサーよりも早く流下すると考えられる。



(1) RUN8-1 油量0.03ml 流速0.24m/s

(2) RUN8-2 油量0.1ml 流速0.24m/s

図-3.14.1 RUN8トレーサー実験3(トレーサー、油)



(3) RUN8-3 油量0.1ml 流速0.17m/s

(4) RUN8-4 油量0.1ml 流速0.30m/s

図-3.14.2 RUN8トレーサー実験3(トレーサー、油)

3. 3. 4 環流水路実験まとめ

還流水路設備により、ラボ環境での再現が困難なフィールド条件や、フィールドでの生起頻度の小さい特異的な条件を再現して実験した。これらの実験結果から以下のような結論を得た。

1) 水面流速

- ・流速が大きくなる程、流れの乱れの影響により油膜検知器の指示値が低下する。特にフロート部での流れの衝突による乱流の影響が大きいと推測される。
- ・現装置の構成では、流速 0.33m/s 程度以下であれば油膜検知可能である。

2) 水面波立ち

- ・風が強くなる程、さざ波発生の度合いが大きくなり、これに起因する水面の乱れにより油膜検知器の指示値が低下する。
- ・流速 0.28m/s 程度までは、扇風機を用いたさざ波による指示値低下は油膜検知を困難にするレベルではない。これ以上の流速では、指示値低下により油膜と清水面との識別が困難になる場合も想定される。

3) 降 雨

- ・流下過程での降雨は、形成した油膜を破壊するため、一時的に指示値低下を引き起こす可能性がある。
- ・今回の実験では、油膜検知の架台によって降雨が遮られると、油膜の再生が観察された。降雨の状況にもよるが、油膜検知に大きな影響はないものと推定される。

4) 油膜検知器の課題

- ・流速 0.33m/s 以上に対応するためには、フロート部への流れの衝突による乱流発生を抑制することが課題である。

3. 4 排水機場でのフィールド実験

3. 4. 1 実験目的と項目

フィールド運用条件、及び保守条件を把握する目的で、関東地方建設局江戸川工事事務所古ヶ崎排水機場（千葉県松戸市古ヶ崎地先）に油膜検知器を設置した。古ヶ崎排水機場における長期連続計測実験を通して、実河川での油検知性能を評価すると共に、運用上の問題点を抽出した。

本フィールド実験での検討項目は、以下の3項目である。

1) 連続計測による油膜検知評価

2) 計測データの表示方法

3) 運用条件と保守条件

設置した油膜検知器は、江戸川工事事務所の協力を得て、

- ・指示値の確認
- ・警報時の油膜流入状況の確認
- ・油膜発見時の指示値の確認
- ・稼働状況の確認

を適宜実施した。

3. 4. 2 実験期間中の事例

古ヶ崎排水機場は、坂川流域の洪水時における家屋等の被害を未然に防止するため、坂川支流の六間川の水を江戸川に排除することを目的としている。また、古ヶ崎排水機場には六間川と江戸川をつなぐ水路があり、六間川の水は除塵機によってゴミを除いた後に古ヶ崎浄化施設へ導かれる。この水路に油膜検知器を設置し、除塵機通過後の水面の反射率を指示値として計測した。

連続運用実験の期間中を通じて六間川では油流出が多発しており、これらは本油膜検知器によって検知可能であった。除塵機の下流側に設置したため、ゴミの影響はあまり受けなかった。一方、台風、降雪などの事例が発生し、計測に影響を与えることを確認した。これらの事例は表-3.14 にまとめた。以下、代表的な事例について計測データを示しながら概要を述べる。

表-3.14 古ヶ崎排水機場における事例

No.	発生日	現 象	得られた知見など
1	1998. 8. 18 1998. 11. 19 1998. 12. 9 1999. 2. 9 他	六間川から油流入 ・油膜検知警報発生	油流入に対して正しく検知し、警報を発生できた。
2	頻発（日常的）	少量の油流入。川底から油浮上。 ・油膜検知警報発生（短時間）	除塵機を作動させると、スクリーンに付着した油や川底の油が流入する。川底には油を含んだ汚泥が堆積していると推定。
3	1998. 9. 16 1998. 9. 22 1998. 10. 11 他	台風など強風時にさざ波により、指示値低下。 ・検知不可警報発生	さざ波により反射光の受光が不十分になり、指示値が低下する。
4	1998. 01. 12 1998. 01. 15	降雪による転倒した。 ・検知不可警報発生	本体上部へ雪が氷着すると転倒する。施工方式の検討要。
5	1998. 3. 12	水位上昇により検知器上部が既設設備と接触し、指示値低下。 ・検知不可警報発生	検知器が傾くため、反射光の受光が不十分になり、指示値が低下する。
6	時々	水面のゴミにより指示値低下したが、ゴミ通過後は自然に復帰。 ・検知不可警報発生	除塵機の下流側に設置しているので、ゴミの影響は少なかった。
7	時々	排水機場内設備点検のため、油膜検知器の電源断。 ・計測器異常	点検時の電源断のみ発生。装置故障による警報はなかった。

（１）油流入の事例

実験期間中には、六間川からの油流入の事例が複数回発生した。代表事例の指示値トレンドグラフを図-3.15.1, 3.15.2 に示す。この事例では、平成 10 年 8 月 18 日夜から翌 19 日朝にかけて油が流入した。18 日 20:00 以前には約 27%で推移していた指示値が 20:00 以降徐々に上昇し始め、油膜検知警報（軽度）に続いて警報（重度）が発生した。翌 19 日朝には、古ヶ崎排水機場の管理者が油膜の存在を観察しており、オイルマットと中和剤で対策している。また、19 日 01:00～10:00 の間で、指示値が油膜なしの水面（指示値約 27%）よりも低い場合があるのは、油膜に付着したゴミや埃などの反射率の低い物質の影響による。

同様に平成 10 年 11 月 19 日と 12 月 9 日のトレンドグラフを図-3.16.1, 3.16.2、図-3.17.1, 3.17.2 に示す。上述の事例と同じく、油流入に対して正しく警報を発生したことを確認できた。

平成 11 年 2 月 9 日のトレンドグラフを図-3.18 に示す。14:50 頃から指示値の上昇が始り、14:56 に重度の警報が発生した。六間川の水面を古ヶ崎排水機場から上流の松戸駅方面に向って調査したところ、上流橋までは油膜が確認できた。これ以上は、支流に分れていること及び油膜が汚れかがはっきりと確認できなくなっていることから、追跡できなかった。

(2) 台風、さざ波の事例

風の強い日にはさざ波によって指示値低下が発生した。一例として、平成10年10月11日のデータを図-3.19に示す。このように、強風によってさざ波が発生している条件で指示値が低下するのは、水面の乱れによって反射光が乱反射になること、検出器にて適切に受光できる確率が低下することと推測された。

また、実験期間中の平成10年9月には2度の台風を経験した。台風5号(9月16日)、及び台風7号(9月22日)の際の計測データを図-3.20.1, 3.20.2に示す。指示値が長時間に渡って大きく低下していることが分る。これは、台風による強風で水面にさざ波が生じたことが原因であると推測された。図-3.19に前出した事例に比べると指示値低下の度合いは大きい。

実フィールドでは、さざ波のある状況において油流入の現象は発生しにくいと考え、この現象の検証のため、3.3節の環流水路実験ではさざ波を模擬した状況で油膜検知実験を実施した。図-3.10に示すように、さざ波によって油のない水面の指示値は10%程度まで低下したが、A重油を滴下したところ指示値は上昇し、検知可能であった。しかし、図-3.20.1に示すように台風では指示値は5%以下まで低下しているため、環流水路実験結果と同様に油膜検知可能かは、確認できなかった。そこで、さらにさざ波について詳細な実験を行うこととした。

(3) その他の事例：降雪、水位上昇

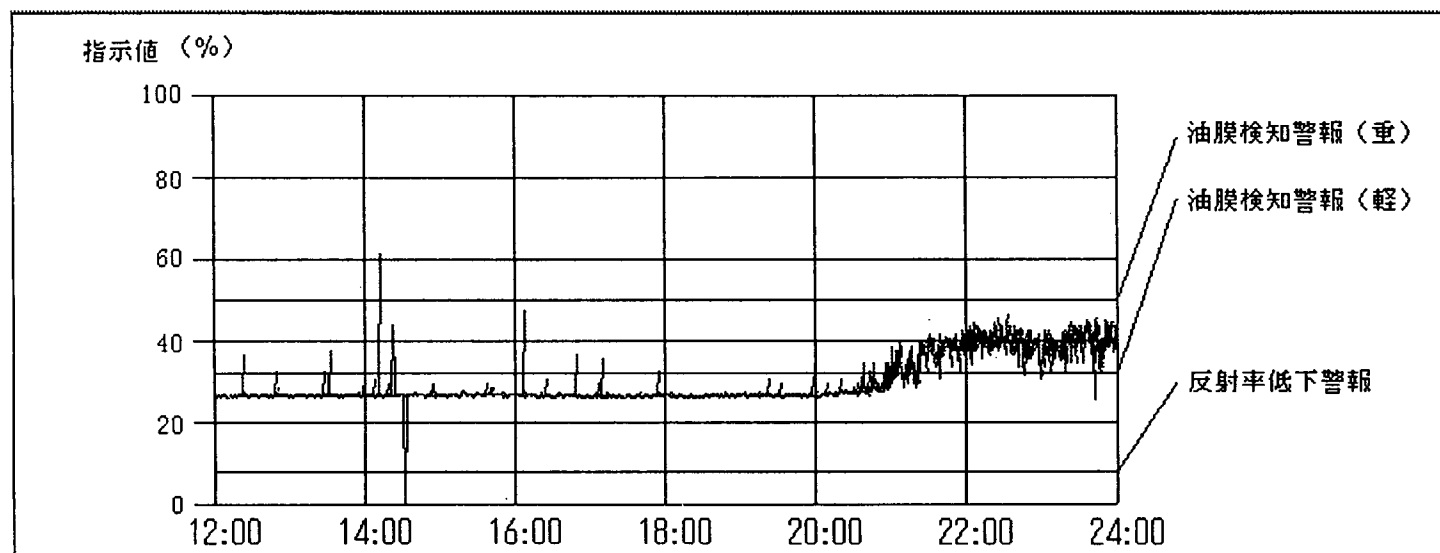
上述以外の事例として、降雪(平成10年1月12日、15日)による検知器本体の転倒を経験した。図-3.21に指示値の変動を記録紙で示す。これは、本体上部へ雪が氷着したことにより重心が高くなったことが原因である。生起頻度が高くないため、これに対する特別な対策は取らなかった。古ヶ崎排水機場では、油膜検知器を1本のガイド棒に係留しているが、寒冷地での運用の際には、転倒防止のための施工方式を検討する必要がある。転倒した油膜検知器を正常に戻すと、指示値も正常復帰した。

また、別の事例として、図-3.22.1, 3.22.2に示すような指示値の低下も経験した。これは六間川の水位上昇により、油膜検知器の上部が古ヶ崎排水機場の既設設備と接触し、傾いたためである。今回のフィールド実験の設置場所に固有の事例ではあるが、油膜検知器の設置にあたって、既設設備や周辺の構造物との位置関係を留意しなければならないことを示唆している。

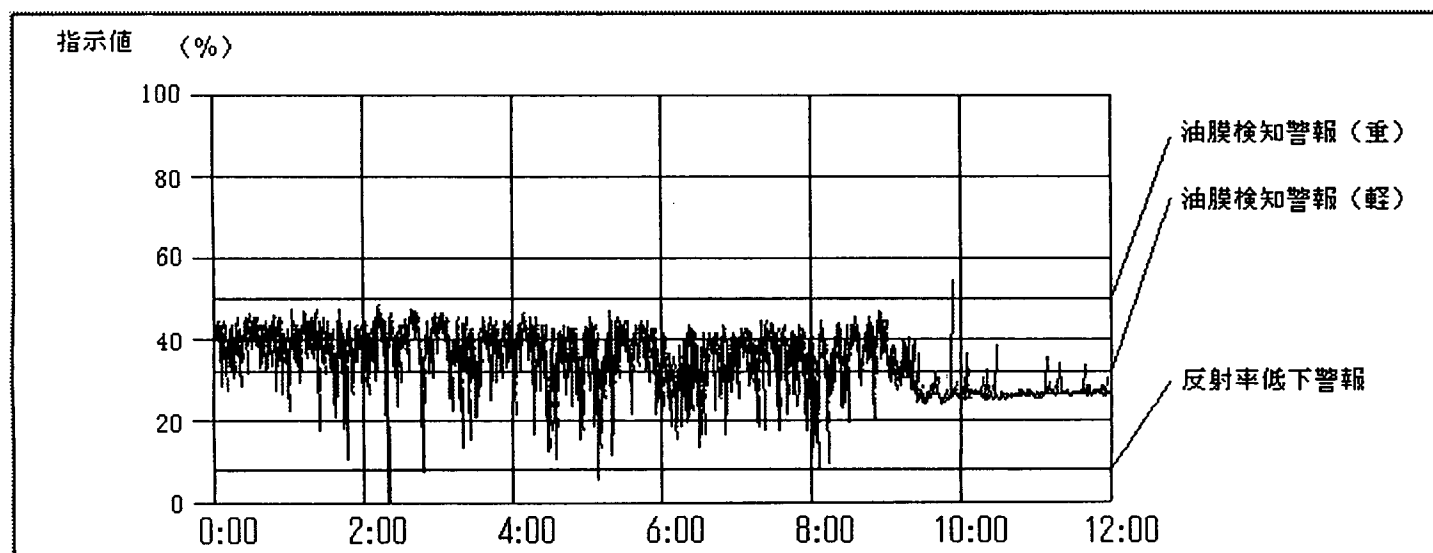
(4) 目視では油膜確認したが、検知できなかった事例

目視では油膜を確認できたが、検知できなかった事例は次の2つがあった。

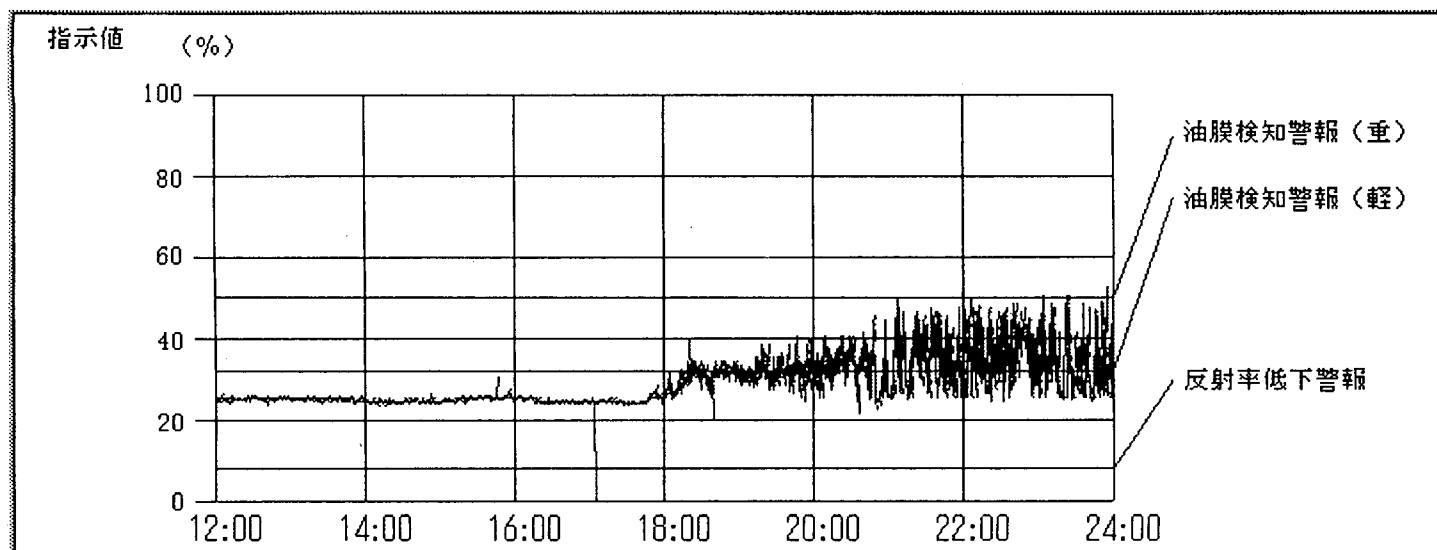
- ・油が細長く流入したため、油膜検知器の下を通過しなかった。
- ・反射率の低い油膜の場合、指示値が警報レベルまで上昇しなかった。



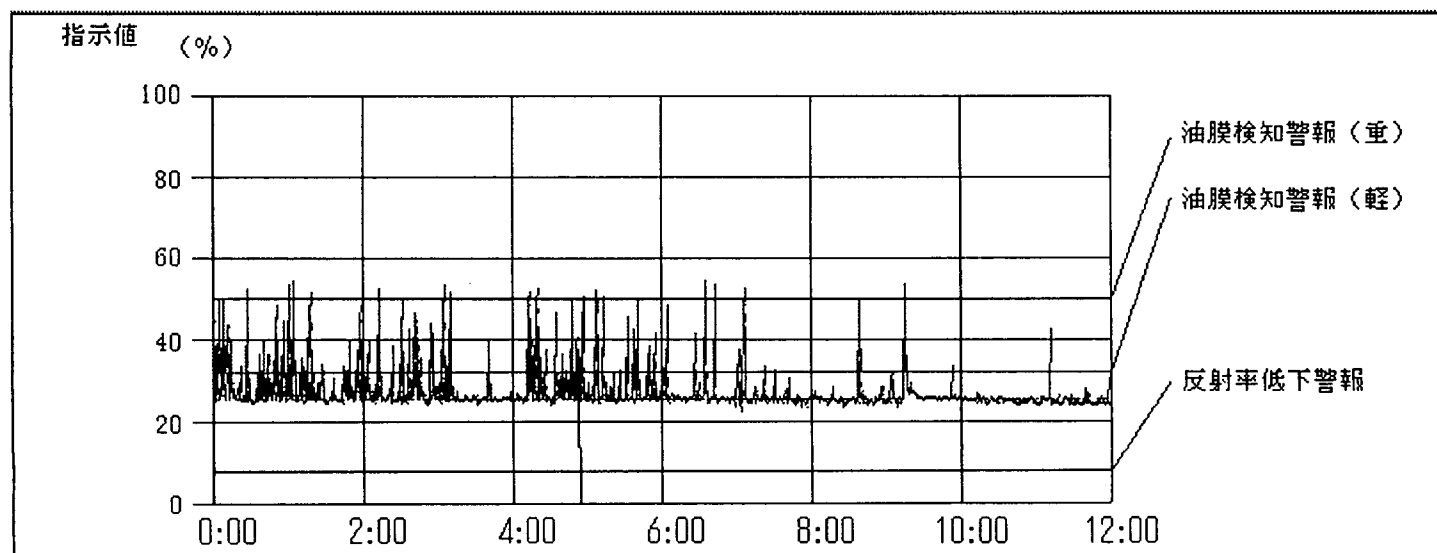
図—3. 1 5. 1 油流入事例 1998.8.18



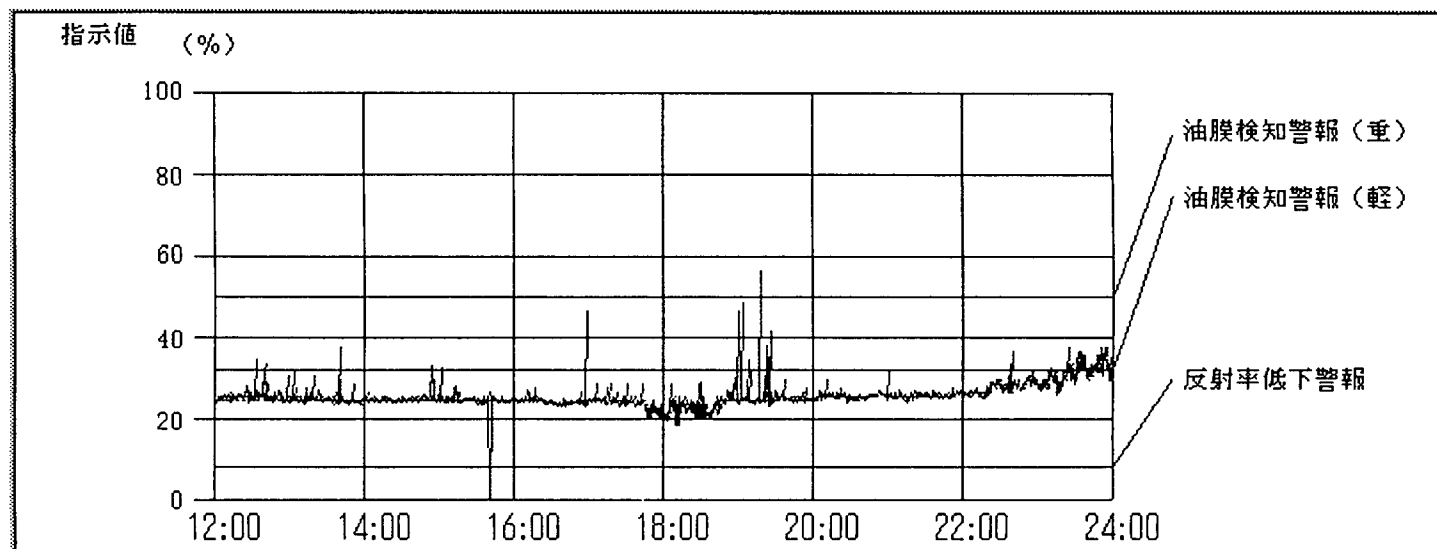
図—3. 1 5. 2 油流入事例 1998.8.19



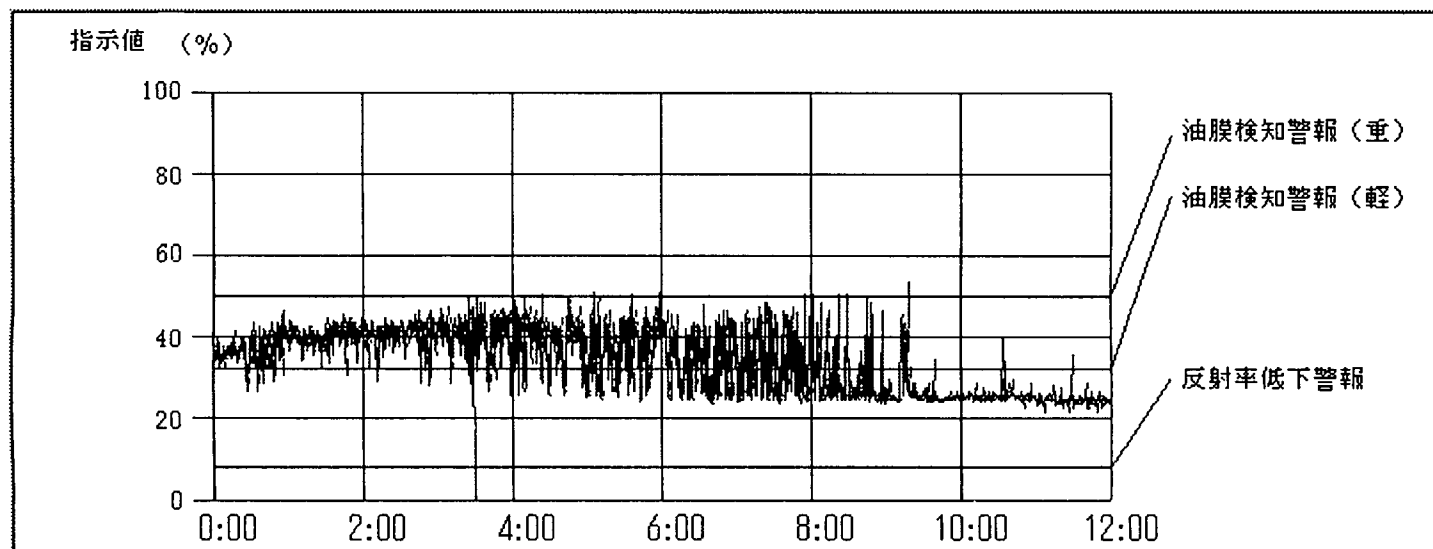
図—3. 1 6. 1 油流入事例 1998.11.19



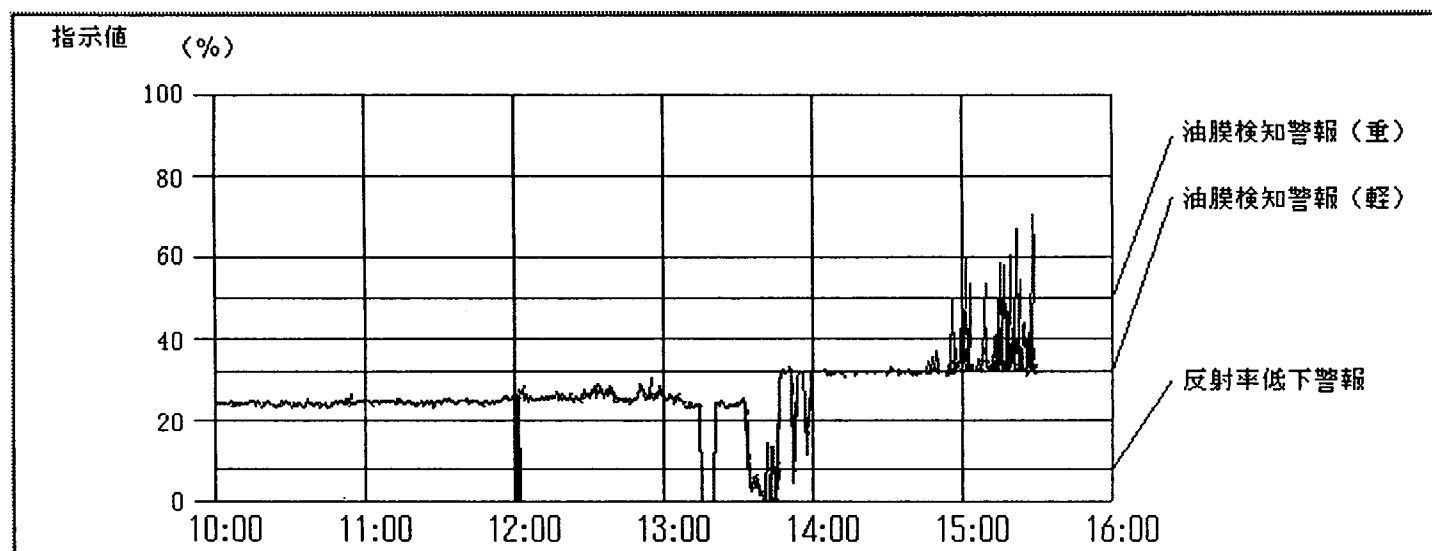
図—3. 1 6. 2 油流入事例 1998.11.20



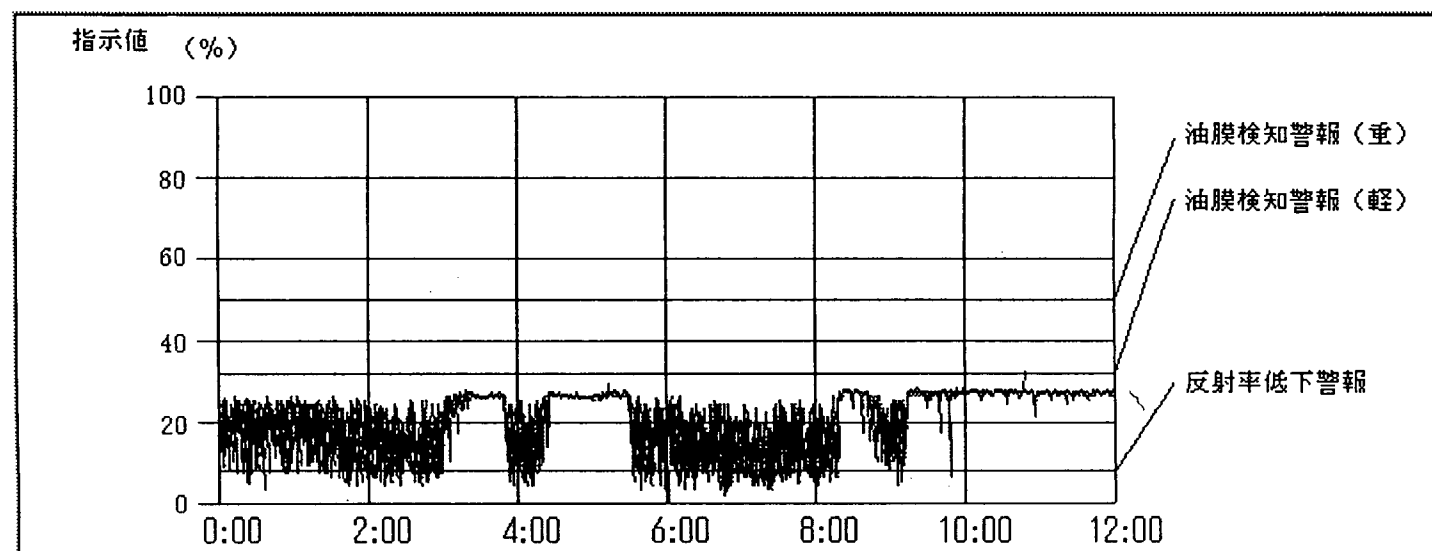
図—3. 1 7. 1 油流入事例 1998.12.9



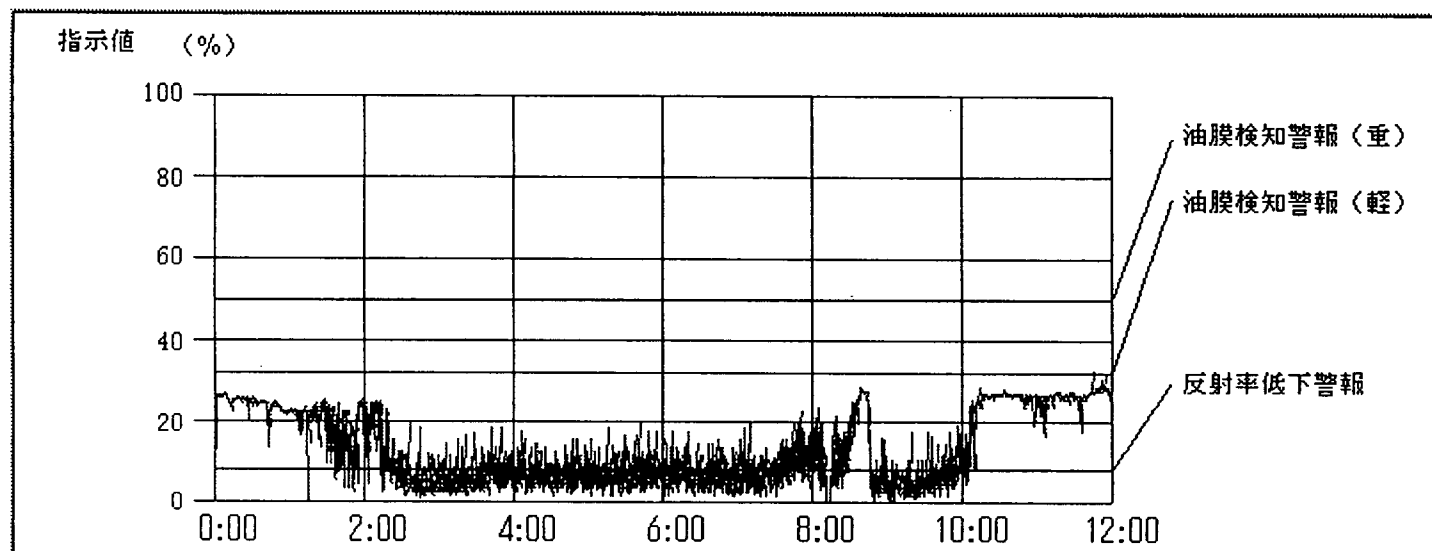
図—3. 1 7. 2 油流入事例 1998.12.10



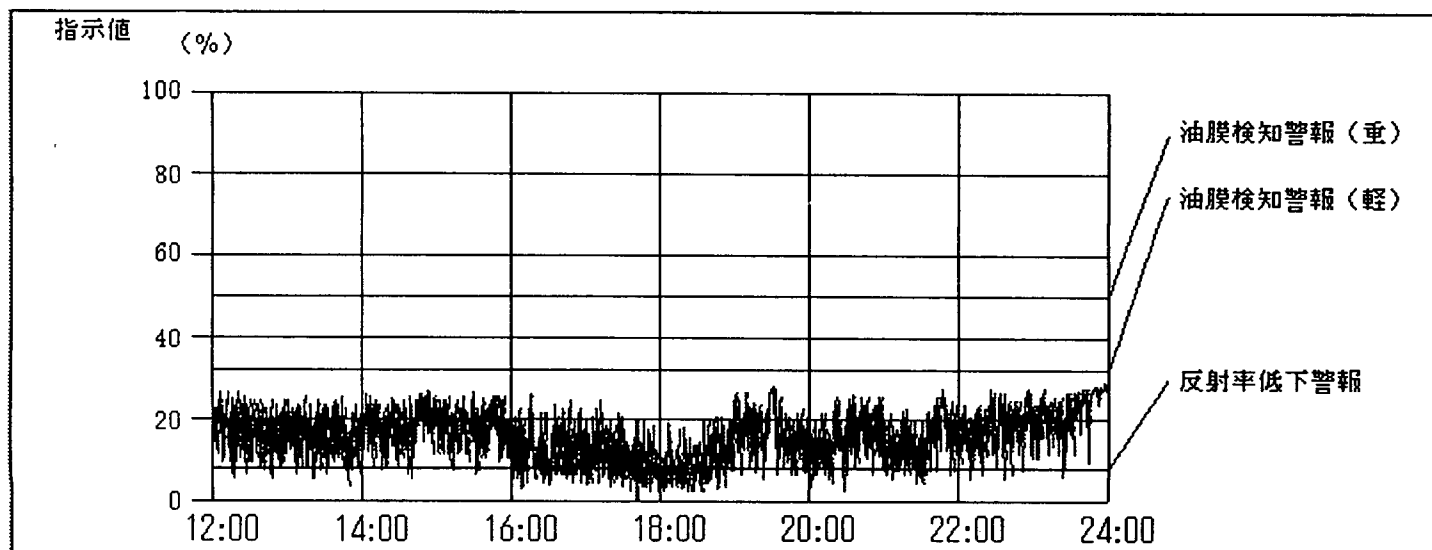
図—3. 18 油流入事例 1999.2.9



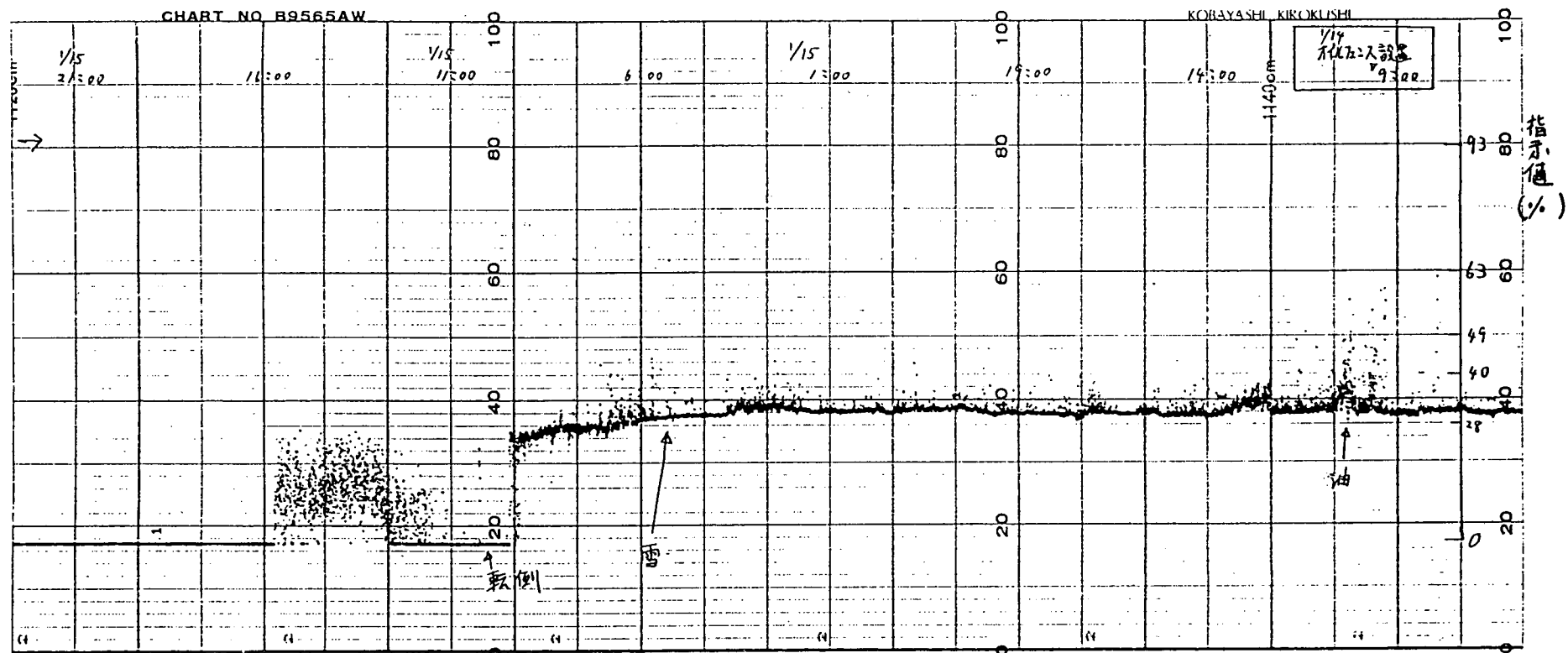
図—3. 19 強風によるさざ波 1999.10.11



図一3. 20. 1 台風5号 1998.9.16

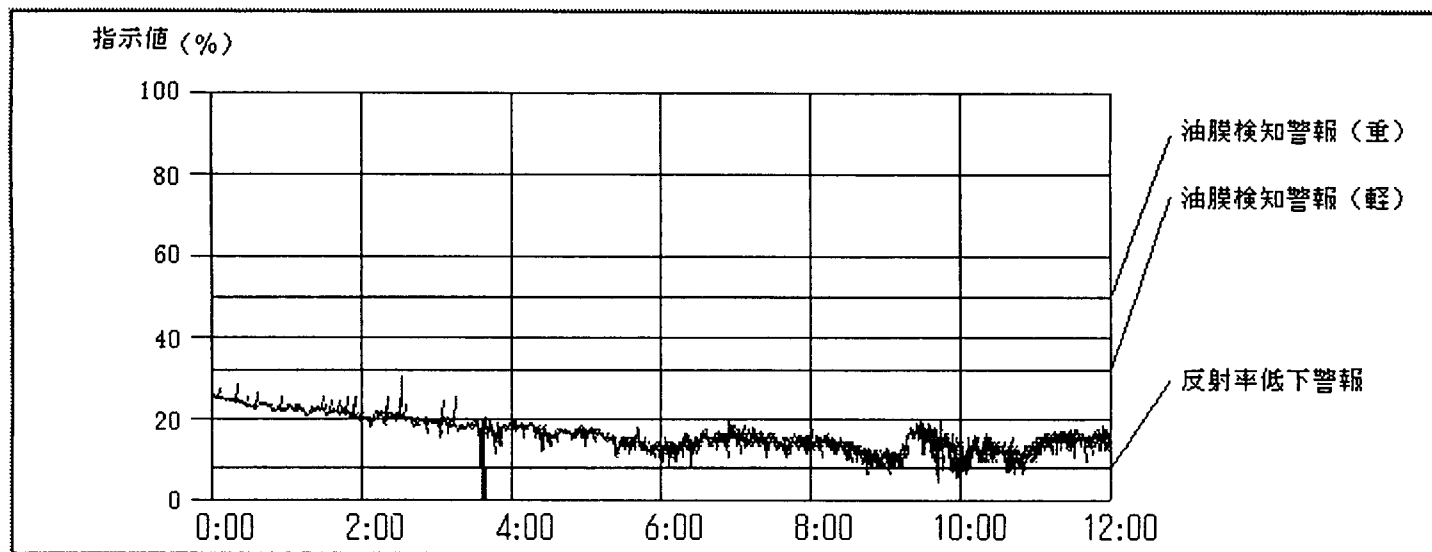


図一3. 20. 2 台風7号 1998.9.22

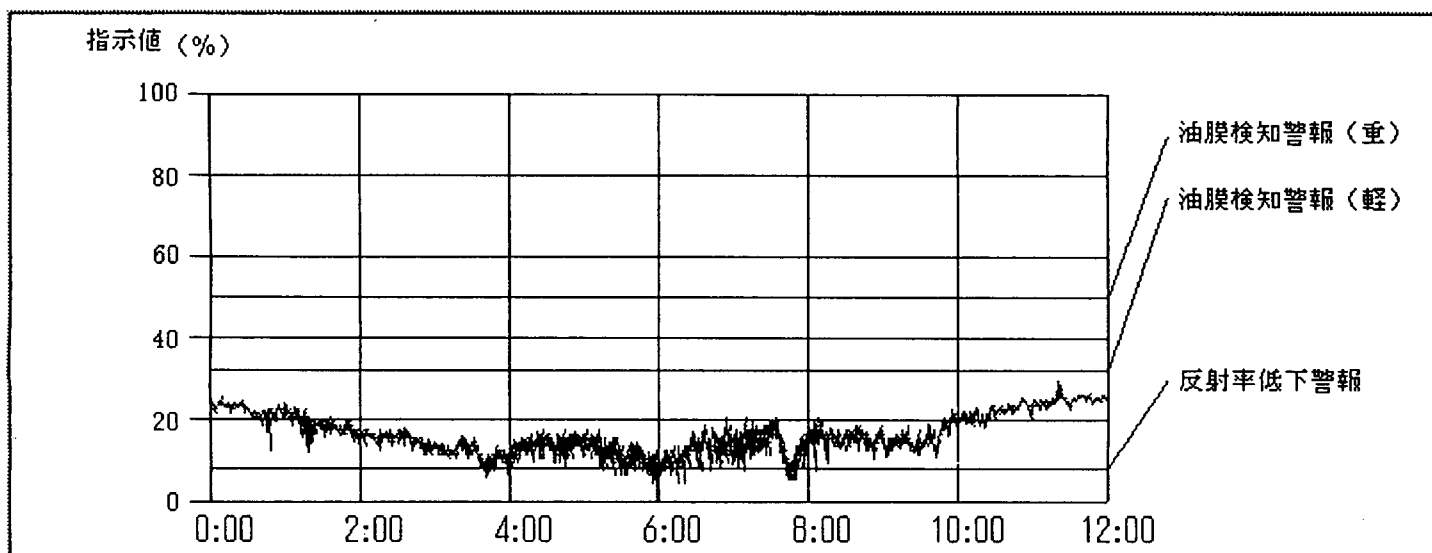


記録紙 '98.1.14 ~ 1.15

図-3. 21 降雪転倒



図一3. 2 2. 1 六間川水位上昇 1998.3.12



図一3. 2 2. 2 六間川水位上昇 1998.5.12

3. 4. 3 実験期間中の指示値の変動

(1) 指示値のヒストグラム

図-3.23 には、平常時（清水面）、さざ波発生時、油流入時の指示値ヒストグラムの一例を示す。ヒストグラムに使用したデータのトレンドを図-3.24 に示す。図-3.24 によると、0:00～9:30 は油流入、9:30～11:00 は平常、11:00～22:00 はさざ波発生、22:00～24:00 は平常である。断続的な風によってさざ波が発生すると、指示値は 10～25%間で上下に振動する。このトレンドから平常時、さざ波発生時、油流入時の代表的な区間を 1 時間（450 点）ずつ下記のように抽出し、ヒストグラムに表した。

- ・ 平常時 : 23:00～24:00
- ・ さざ波発生時 : 21:00～22:00
- ・ 油流入時 : 0:00～ 1:00

図-3.23 より、平常時の指示値は安定しており、変動幅は 21～27%と小さいことが分る。他方、さざ波の指示値変動は 5～25%、油流入時の変動幅は 21～48%と大きく、一部は平常時の値域と重複している。このことから、指示値低下警報や油膜検知警報のためのしきい値判定は、瞬時データ（計測周期 8 秒）1 点ごとに行うのではなく、しきい値超過を所定時間継続する、またはしきい値超過の積算回数などで判定する必要があることが確認できた。警報条件の設定例を図-3.25 に示しておく。ここで、油膜検知警報（重、軽）、反射率低下警報、計測器異常警報の判定条件は次のように定義している。

1) 油膜検知警報（重、軽）

①警報発生

指示値が発生監視時間（ToPH）内において、計測器異常ではなく、上限（PH）以上の出現頻度が上限回数（NPH）以上の場合警報発生

②警報回復

警報発生状態において、計測器異常ではなく、回復監視時間（TrPH）内に上限（PH）以上の出現頻度がゼロの場合

2) 反射率低下警報

① 警報発生

指示値が発生監視時間（ToPL）内において、計測器異常ではなく、下限（PL）以下の出現頻度が下限回数（NPL）以上の場合警報発生

② 警報回復

警報発生状態において、計測器異常ではなく、回復監視時間（TrPH）内に下限（PL）以下の出現頻度がゼロの場合

3) 計測器異常

今回パソコンに実装したアナログ入力ボードは、アナログ信号 DC0～10V をデジタル信号 0～4096dig に変換しているので、油膜検知器の指示値のアナログ信号 DC1～5V は、デジタル信号 409～2048dig に相当する。デジタル信号が最大値（RH）以上、または最小値（RL）以下の場合に計測器異常としている。

（２）油検知警報の発生状況

古ヶ崎排水機場にはデータ収集用にパソコンを設置し、指示値の収集と警報表示の機能を持たせた。指示値の低い油膜が継続的に流入した場合は油膜検知（軽）警報を発生し、指示値の高い油膜については（重）警報を発生させている。また、さざ波やゴミによって指示値が低下した場合には反射率低下警報を、油膜検知器からの信号が途絶えたときは計測器異常の警報をそれぞれ発する。

平成10年3月から平成11年3月までの警報発生回数を表-3.15にまとめ、図-3.26に棒グラフで示した。検出月別の発生回数はばらついており、油膜検知（重）警報は相対的には夏期と冬期に多い傾向を示している。特に12月の発生頻度は高かった。1回の警報発生イコール1回の油流入発生ではない（複数回の一連の警報が1回の油流入に対応する）ので、警報発生回数から油流入回数を把握することはできないが、六間川では少なくとも各月に複数回の油流入が発生し、さらに、少量の油膜に至っては日常的になっていることが分る。このことは、古ヶ崎排水機場の管理者の目視観察によっても確認されている。一方、反射率低下の警報は5月や10月に多くなっている。これらの時期は、風雨や台風の多い季節と一致するもので、前述した水面のさざ波等による影響と考えることができる。今回の実験期間において、計測器異常はごくわずかしが発生してしていない。原因は場内設備点検による電源断のみであり、ほぼ安定した計測が行われた。

次に、各警報の発生時間を表-3.16と図-3.27に示す。警報は正常になると自動的に回復するので、短期間でも油膜が断続的に流入すると警報回数は増加する。一方、警報発生時間とは、油が存在している時間を表すことになる。表-3.16には月別のデータ収集期間も併記した。12月の油検知時間が最も長く、（軽）と（重）を合わせた1865分は12月のデータ収集時間の約4%である。12月は油検知警報の頻度も最大であるが、警報発生頻度がさほど高くない8月については1回の油流入時間が比較的長かったと考えられる。反射率低下警報については9月と10月が高く、警報発生率は3%に達している。9月は下流側（江戸川側）から吹く風によって、①さざ波による反射率低下と、②水面が下流側から上流側に流れるために油の流入が少ないこと、が計測結果に表れている。

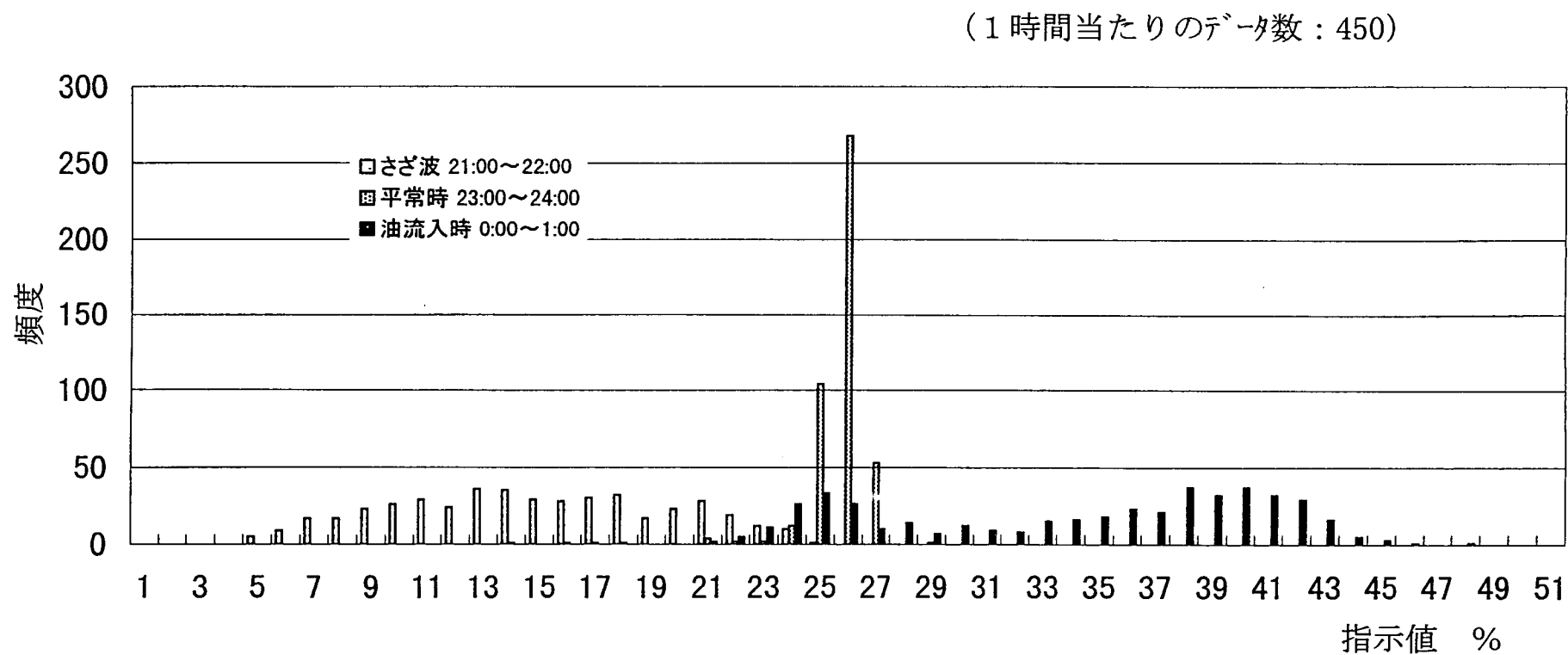
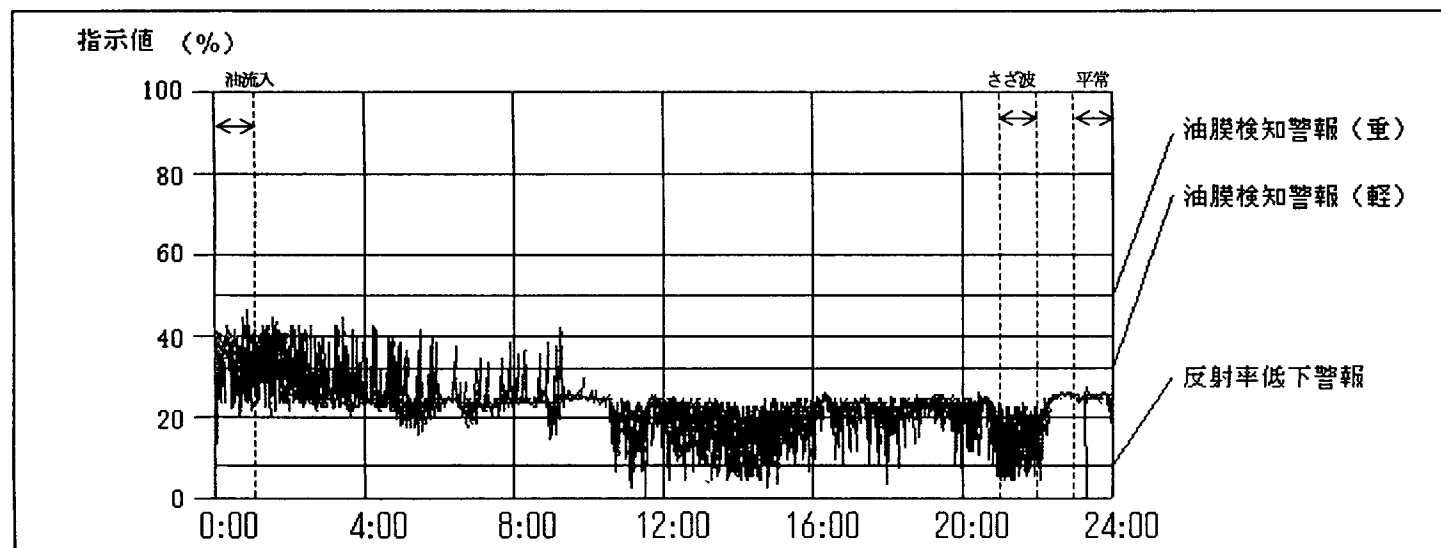


図-3.23 指示値ヒストグラム



図一3. 24 トレンドグラフ 1998.12.20

油膜検知警報（重警報）		反射率低下警報	
発生監視時間（ToPH）	32 秒	発生監視時間（ToPL）	120 秒
回復監視時間（TrPH）	30 秒	回復監視時間（TrPL）	60 秒
指示値上限（PH）	50%	指示値上限（PL）	8 %
上限回数（NPH）	1 回	上限回数（NPL）	10 回

油膜検知警報（軽警報）		計測器異常警報	
発生監視時間（ToPH）	60 秒	最大値（RH）	2048
回復監視時間（TrPH）	60 秒	最小値（RL）	200
指示値上限（PH）	35%		
上限回数（NPH）	4 回		

図－ 3. 2 5 警報判定条件

表-3.15 年間の警報発生回数(1998年3月～1999年3月)

年/月	油膜検知(軽) (回)	油膜検知(重) (回)	反射率低下 (回)	計測器異常 (回)
98/ 3	74	50	46	1
4	31	69	14	0
5	16	63	58	2
6	84	105	7	1
7	80	123	12	5
8	110	138	4	1
9	8	65	21	1
10	64	82	60	0
11	263	52	5	0
12	560	169	1	1
99/ 1	47	64	3	0
2	196	185	9	1
3	161	182	14	0

油膜検知(軽): 指示値35%以上が32秒継続

油膜検知(重): 指示値50%以上

反射率低下 : 指示値8%以下が80秒継続

計測器異常 : 計測器の伝送信号断

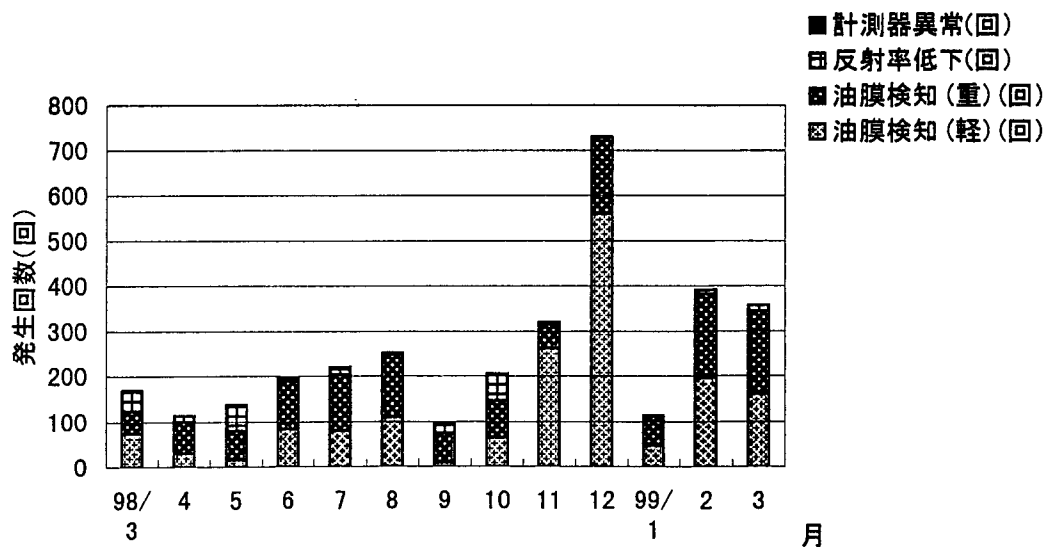


図-3.26 警報発生回数

表-3.16 年間の警報発生時間(1998年3月～1999年3月)

年/月	油膜検知(軽) (分)	油膜検知(重) (分)	反射率低下 (分)	計測器異常 (分)	データ収集時間 (分)
98/ 3	982	33	628	6	33092
4	250	62	87	0	43200
5	54	33	562	0	41837
6	465	61	122	1	41268
7	526	68	402	1	43207
8	1028	97	316	0	44102
9	15	34	1310	0	43128
10	640	168	1179	0	41768
11	729	25	11	0	43200
12	1726	139	3	0	44639
99/ 1	229	45	13	0	44637
2	834	111	67	5	37439
3	624	118	98	0	44627

データ収集時間:データ収集用パソコンが稼働していた時間

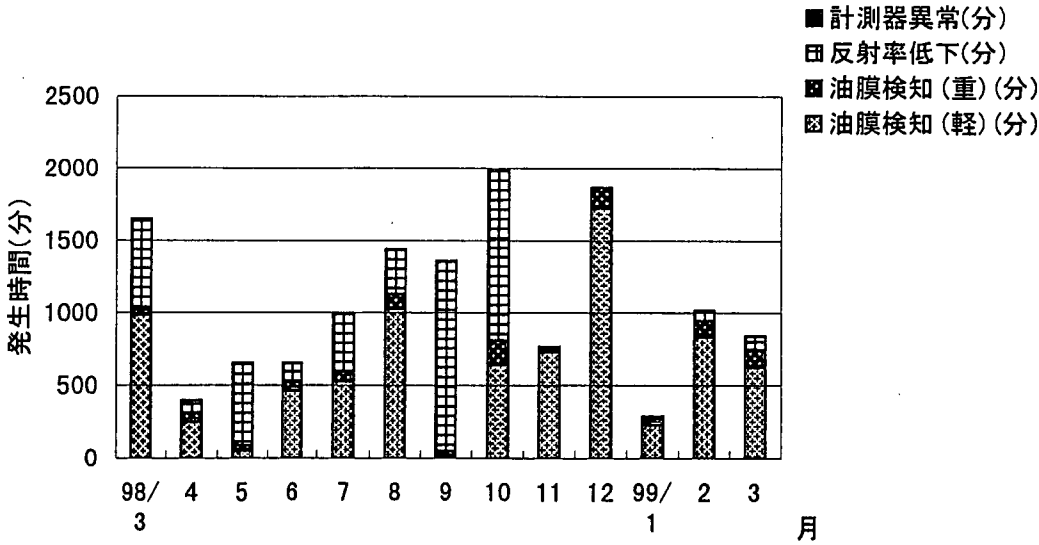


図-3.27 警報発生時間

3. 4. 5 メンテナンス性の評価

(1) 指示値の経時変化（ドリフト）

光源の発光ダイオードは長期間安定していることから、窓ガラスの汚れが指示値の安定性を左右する要因と考えられた。そこで、1998 年 1 月 16 日から約 1 年の間、窓ガラス清掃なしのメンテフリーで稼働させ、清水面の指示値のドリフトについて検討した。月単位に油膜の存在しない清水面指示値を抽出し、表-3.17 に一覧を、図-3.28 にグラフとして示した。初期の 4 カ月で 30%から 26%まで低下、11 カ月経過で 25%になり、その後 2 カ月間に大きな変化はなかった。後述するが、窓ガラスを布で拭きとると指示値の回復が確認されているので、指示値低下の要因は窓ガラスの汚れである。

この 1 年間のメンテフリー期間中でも油膜は十分検知可能であったが、窓ガラスの汚れは指示値を相対的に低くし、油膜検知性能の劣化につながる。良好な検知精度を維持するには、窓ガラスを半年に 1 回程度清掃する、もしくは、指示値の低下に合わせて警報判定値も低く再設定する運用が望ましい。ただし、本ドリフト現象の再現性を確認する必要がある。

(2) 窓ガラスの清掃

図-3.29 には 1999 年 2 月 9 日に実施した窓ガラス清掃の時の指示値トレンドである。清掃作業は電源投入状態で実施した。13:30 に油膜検知器を水面から架台上に引上げ、目視で検知器の窓ガラス面を観察したが汚れは確認できなかった。次に布で乾拭きを実施後、14:00 に水路に降ろしたところ、清水面の指示値は 25%から 32%に上昇した。清掃に要した正味の時間（昇降と乾拭き）は約 10 分であり、簡易な清掃のみで長期間運用できること確認できた。

(3) 機器の故障、損傷

古ヶ崎排水機場における実証期間中、装置の故障や損傷は発生しなかった。これは設置場所が除塵機の下流側という好設置条件に負うところも大きい。

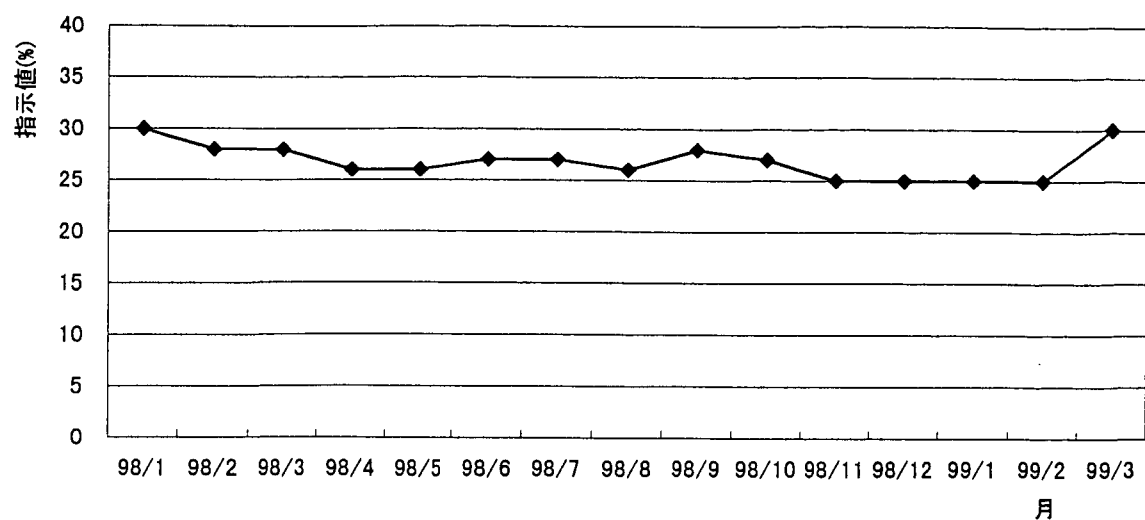
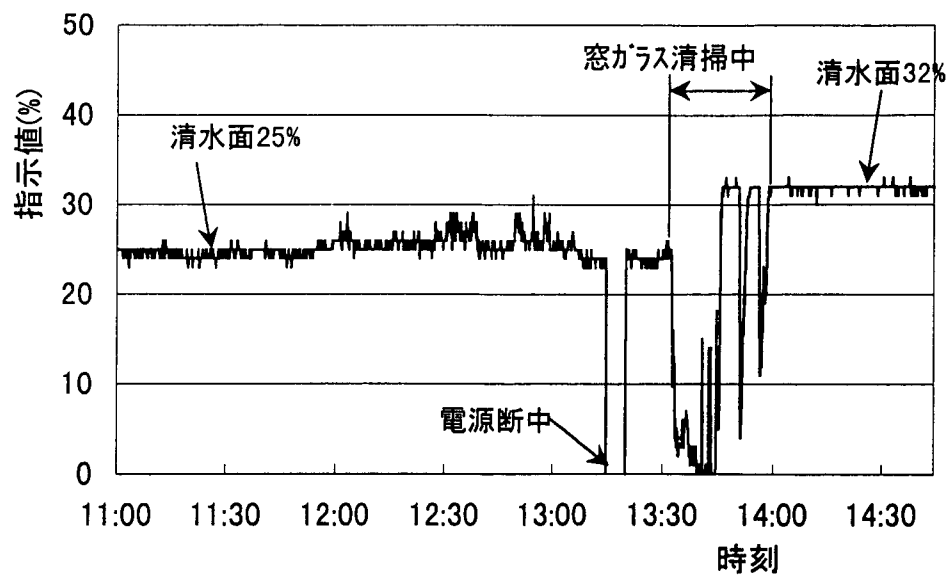


図-3.28 清水面指示値の年間変動

表-3.17 年間の清水面指示値(1998.1～1999.3)

年/月	日	時間	清水面指示値(%)	備 考
98/1	12	11:00	30	1/16転倒後26%、窓ガラス清掃後30%
98/2	7	11:00	28	
98/3	7	1:00	28	
98/4	7	12:00	26	
98/5	7	13:00	26	
98/6	7	5:00	27	
98/7	7	12:00	27	
98/8	7	20:00	26	
98/9	7	12:00	28	
98/10	7	0:00	27	
98/11	15	4:00	25	27% →10/31～11/12の間 20%に低下→ 25%
98/12	7	2:00	25	
99/1	7	11:00	25	
99/2	7	15:00	25	2/9窓ガラス清掃25→32%
99/3	5	9:00	30	



窓ガラス清掃の手順(通電状態にて実施)

- ①油膜検知を引上げる
- ②窓ガラスを乾拭きする
目視観察によると窓ガラスの汚れはない
- ③水面に戻す

図 -3.29 窓ガラス清掃時の指示値(1999/2/9)

3. 4. 6 まとめ

油膜検知器のフィールド運用条件や保守条件を把握する目的で、古ヶ崎排水機場での長期連続計測実験を実施した。この結果から以下の知見を得た。

- 1) 実河川における油流入事故の発生時に、油膜検知警報を正しく発生できることを確認した。
- 2) 台風などの強風時などには、水面でのさざ波発生により反射率低下の警報が発生する場合がある。環流水路の実験により、さざ波によって指示値が 10%程度に低下した場合は油膜検知可能であった。これ以上指示値が低下する場合は確認していないが、油膜検知が困難になる場合もあると推定される。
- 3) 油膜検知の設置に当たっては、降雪による本体転倒や周辺構造物との位置関係を留意する必要がある。
- 4) 計測異常や反射率低下警報を発生する割合は、計測期間の 3%程度であり、安定して計測可能なことが確認できた。また、センサ面の拭き取りなどの保守作業は、半年に 1 回程度で良好な性能を維持できると考えられた。ただし、ドリフトの再現性は確認する必要がある。
- 5) 油流入時やさざ波発生時には、指示値の変動が大きく、平常時の指示値の値域と重複するため、警報発生の判定は時系列の複数データでのしきい値判定が必要である。

3. 5 さざ波の影響評価実験

3. 5. 1 実験目的と方法

(1) 目的

環流水路実験、フィールド実験の結果、さざ波発生により指示値低下の現象を確認した。そこで、本実験では、指示値が低下するさざ波条件下での検知性能への影響を把握することを目的とした。

(2) 実験方法

容器に水道水を満たし、油膜なしの清水とA重油油膜の水面に対してさざ波を発生させて、さざ波の波幅と波高、並びに油膜検知器の指示値を記録する。

1) 実験装置

今回の実験は、図-3.30 に示す装置を用いて実施した。

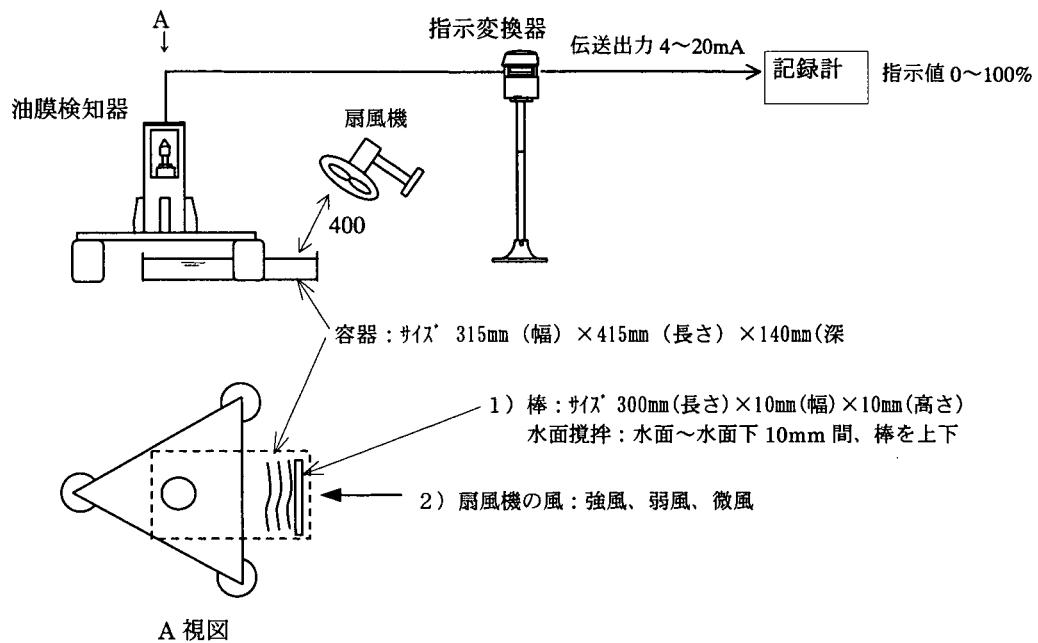


図-3.30 実験装置

2) 清水の条件

- ・プラスチック容器サイズ：315mm (幅) × 415mm (長さ) × 140mm (深さ)
- ・水位 75mm

3) さざ波発生条件

- ・水面撹拌…棒を水面～水面下 10mm の間、上下させた。
棒サイズ：300mm (長さ) × 10mm (幅) × 10mm (高さ)。
上下の周期：約 0.3sec、0.5sec、1.0sec の 3 ケース。
- ・扇風機 …強風、弱風、微風

4) さざ波の計測

- ・容器に取付けた目盛から波幅と波高を目視で読みとった。

5) A 重油の条件

・滴下量：A重油 0.05 ml

3. 5. 2 実験結果

実験条件と結果の一覧を表-3.18 に示す。各 RUN の波幅と波高の計測値は、さざ波が不安定で目視では読みとりずらく、誤差も多分に含まれている。

表-3.18 実験条件と結果の一覧

RUN	さざ波発生条件	さざ波の高さ (波高) (mm)	さざ波の幅 (波幅) (mm)	清水面指示値 の変動(%)	油膜指示値の 変動(%)
9-1	なし	0	0	32 一定	70～85
9-2	水面攪拌 周期 1.0sec	約 30	50～200	23～31	60～68
9-3	水面攪拌 周期 0.5sec	約 20	50～100	15～28	48～75
9-4	水面攪拌 周期 0.3sec	約 20	50～100	12～30	38～68
9-5	扇風機 強風	約 10	約 30	2～15	17～51
9-6	扇風機 弱風	約 5	確認できず*	—	38～55
9-7	扇風機 微風	約 5 以下	確認できず*	—	65～68

(1) さざ波の計測状況

RUN9-1～RUN9-3 のさざ波の波高と波幅の計測においては、周期を約 0.3sec、0.5sec、1.0sec に変えても明確な差は把握できなかったが、周期が短いほど波幅の短い(50mm 程度) さざ波の発生頻度が高いことを確認できた。また、RUN9-5～RUN9-7 においては、扇風機の風力を強風に設定すると、波幅約 30mm のさざ波が比較的安定して形成できた。弱風と微風の条件では風力が弱く、目視確認可能なさざ波は形成されなかった。

(2) 指示値の変動

RUN9-2～RUN9-5の指示値の変動から、波幅が小さいほど指示値の最大値と最小値は低くなり、油膜検知性能も相対的に低くなると考えられた。RUN9-5の清水面指示値は、古ヶ崎排水機場の台風のケースと同様の変動を示している。このRUN9-5のさざ波条件において、油膜検知性能を評価した結果を表-3.19に示した。

表-3.19 油膜検知性能の比較

条件	指示値の変動 (280sec計測)	油膜検知時間 (指示値35%以上)	油膜検知割合 (油膜検知時間／5 min)
RUN9-1 さざ波なしの油膜	70～85%	280sec	100%
RUN9-5 さざ波30mmの油膜	17～51%	128sec	45%

油膜はA重油0.05 ml滴下して形成。

表-3.19から、反射率の高い油膜が5分間形成された場合、最も検知性能に影響が現れたさざ波の波幅30mmの条件下では、静水面に比べて、最大指示値は絶対値で34%低下したが、油膜検知割合（指示値35%以上の時間割合）は45%であった。この結果より、本実験で発生させた波程度であれば、本装置で油膜を検知できる可能性はあるものと考えられる。

4. 成果と課題

4. 1 得られた成果

平成8～10年度に渡って実施した本共同研究の成果を総括する。

本共同研究での油膜検知器の実験は、室内実験、模擬河川（還流水路）実験、フィールド（古ヶ崎排水機場）実験の3種類で実施した。それぞれの実験で得られた知見、成果は以下の通りである。実験の項目は表-4.1にまとめた。

（1）室内実験

- ・油膜種類毎の指示値の違いを把握し、適正な判定しきい値を設定することで清水面との識別が可能であることを確認した。
- ・水面の夾雑物（ごみ、流木など）の指示値への影響を把握した。
- ・水面波による指示値低下の度合いを把握した。
- ・上記知見により、近赤外線反射率測定法によって油膜検知が可能であることを確認できた。

（2）還流水路（模擬河川）実験

- ・流速、水面波立ちや降雨の指示値への影響を把握し、油膜検知が可能な条件範囲を把握した。
- ・油膜検知器フロート部と流れの衝突による乱流の発生は、指示値の低下を引き起こし油膜検知性能を下げる場合がある。流速0.33m/s程度以下の場合であれば、問題なく油膜検知できる。

（3）フィールド（古ヶ崎排水機場）実験

- ・実河川における油流入事故の発生時に、油膜検知警報を正しく発生できることを実証した。
 - ・計測異常を発生する割合は計測期間の1%未満であり、安定した長期計測が可能であることを実証した。
- 保守作業は、半年に1回程度で良好に運用できる。

（4）さざ波の影響評価実験

- ・油膜検知性能にはさざ波の幅が影響を与えることを確認した。反射率の高い油膜であれば、波幅30mmまでは検知の可能性はある。

4. 2 今後の課題

前節で述べたように、本共同研究で開発した油膜検知技術は、フィールドでの連続計測実験により、実際の油流入を検知できることを実証した。台風時などの例外的な運用条件を除くと、実用に供するレベルを確立できたといえる。

今後、実用上の適用範囲を拡大していくためには、以下のような検討を進める必要がある。

- ・流速が大きい場合、波立ちが生じた場合の対策
- ・今回の実験期間よりも更に長期にわたる、ハードウェアの耐久試験
- ・ドリフトの再現性
- ・油膜検知器を係留するための周辺構造物がないような箇所での設置方法
- ・油膜検知器筐体の小型軽量化
- ・複数箇所に設置した油膜検知器データを一元管理するためのデータ通信管理方式

- ・ゴミ等の影響が大きい場合の対応策

表-4.1 実験項目の一覧

No	項 目	警報などの出力	調査場所			実験結果
			室内	還流水路	フィールド	
1	油膜なしの水面		●	●	●	室内実験では指示値安定。流速、さざ波の影響で低下、窓ガラス面の汚れにてドリフトする。
2	油種の判別		●			油種によって指示値は異なるが、油種を判別できるほど明確な差はない。また、指示値は経時変化するので、実河川での判別は不可能である。
3	油膜厚の判定		●			膜厚による指示値の違いは見られない（A重油）。
4	油膜の経時変化		●	●		環流水路実験の目視観察によれば、流下に従い指示値が低下する（A重油）。揮発や分散による指示値低下が生じる。
5	波		●	●		波によって指示値は低下することを確認した。
6	降雨			●		計測地点で油膜が形成されていれば検知可能。フィールドでは、さざ波と油膜は同時に出現せず。
7	流速			●		現在の構造では0.3m/s以上では油膜が破壊され、油膜検知が困難である。
8	流下過程の油膜の挙動			●		流下に従い、油膜は細長くなり、徐々に分散するため、目視でも先頭の判別は困難である。
9	検知器真下にゴミ	検知不可警報	●			計測地点の周辺全面がゴミで覆われなければ油検知可能である。
10	フロートの周囲にゴミ				●	フロートの周囲のゴミによって、油膜が検知器の下を通過しないケース有り。
11	季節				●	季節変動は見られない。降雪転倒、水位変動による接触、風の影響を考慮する必要がある。
12	暴風雨	転倒時は検知不可警報			●	台風では転倒はない。指示値は低下し、変動幅も大きい。油膜検知は困難と推定される。
13	窓ガラスの汚れ	検知不可警報			●	指示値が1年間で25%に低下したが、反射率低下警報までは低下しない。半年に1回程度の清掃が必要と考えられる。
14	故障、損傷	検知不可警報			●	特に問題なし。
15	油膜流入事故の検知	油膜検知警報			●	油流入を多数検知した。
16	警報の出力方法				●	警報判定値は、対象河川の実状に合わせて設定する必要がある。六間川では油流入は多かった。
17	点検・保守項目				●	窓ガラスの拭取り、破損部品の交換が必要である。
18	点検・保守頻度				●	半年に1回程度必要である。
19	耐久性				●	特に問題なし。

●：実施済みの項目

5. まとめ

油膜検知装置の開発について、土木研究所の実験施設で河川流速、波などの影響を検討し、計測可能な条件を把握するとともに、関東地方建設局江戸川工事事務所古ヶ崎排水機場で約1年にわたる長期実験を行い、維持管理性などを検討した。この現地実験は、スクリーンが検知器前に設置されているという好条件下ではあるが、安定した長期計測が可能であり、保守作業は半年に1回程度で充分であった。

本油膜検知装置による油膜の検知については、流速が大きい場合や波立ちが生じた場合の検知性能の向上などについては課題が残っているものの、一定の成果が上げられた。今後は、このような装置が河川管理等に活用され、水質事故の迅速な検出が行われることが期待される。