

第4章 デジタル画像による赤土濁水測定

4.1 はじめに

現在、赤土流出防止のために建設された12基の貯留型沈砂池の濁水管理上の問題点としては、

- ① SS濃度の測定では、採水に加え、ろ過や乾燥などの室内測定を伴うため、現地での迅速な排出の可否判断に対応できない。
- ② 現在行われている濁度計や透視度計による測定では、携帯ボートによる現地での採水と測定が必要であり、破天荒時などは転落等の危険が伴う。
- ③ 沈砂池が遠く離れた中部地域に広く点在しているため、測定にはかなりの時間と労力を要する。
- ④ 自動測定が可能な沈胴型の濁度計は高価であり、全沈砂池への設置は難しい状況にある。
- ⑤ 米軍基地内での測定を強いられているので、入場許可の申請手続き等が煩雑で時間を要する。

などが挙げられる。このような問題に対処するため、伊原は赤土濁水に関する新たな濁水評価方法として、市販のデジタルカメラを使用した安価な測定装置開発の研究を行った¹⁶⁾。それは撮影されたデジタル画像から輝度を分析し、各濃度において求めた輝度と濃度との間の相関性を利用したものである。本研究では、伊原の開発測定装置の原理に基づき、測定精度向上と現地計測可能な装置構造に改良した濁水評価測定装置（Ⅰ型とⅡ型）を作製している。Ⅱ型についてはⅠ型の測定装置にさらに改良を加えたものであり、測定装置Ⅰ型とⅡ型の主な改良点は下記のような事項である。

- ① 撮影容器の取付け位置の変更
- ② 取水循環ポンプの外部への移設および大型化

本章では、改良した2つの測定装置（Ⅰ型とⅡ型）を使用して測定を試みている。Ⅰ型とⅡ型の測定では、現地の赤土試料で濃度調整して作製した赤土濁水を使用して、輝度とSS濃度との間の相関関係を求めることに主眼を置いている。開発装置Ⅰ型では、伊原が作製した装置の測定で相関性が低かったSS濃度200 mg/l以上の相関性を得ることを主目的とした。特に、排出判断の基準とされるSS濃度200 mg/l付近で、高い精度で相関性を求めることが可能であるかについて重視した。開発装置Ⅱ型ではⅠ型より測定範囲を広げ、濁度0~2000 ppmまでの測定を実施して高濃度域を含む相関性について考察している。そこで、本研究で開発した測定装置ⅠとⅡ型に関する主要な考察は、次の2項目である。

① 開発装置Ⅰ型：輝度とSS濃度との間に高い精度での相関性の確立
(排出判断基準SS濃度200mg/lの推定の適否)

② 開発装置Ⅱ型：濁度0~2000ppmの広範囲での輝度とSS濃度との間の相関性の確立

上記の①を測定1, ②を測定2とし, その主眼について図4-1にまとめている.

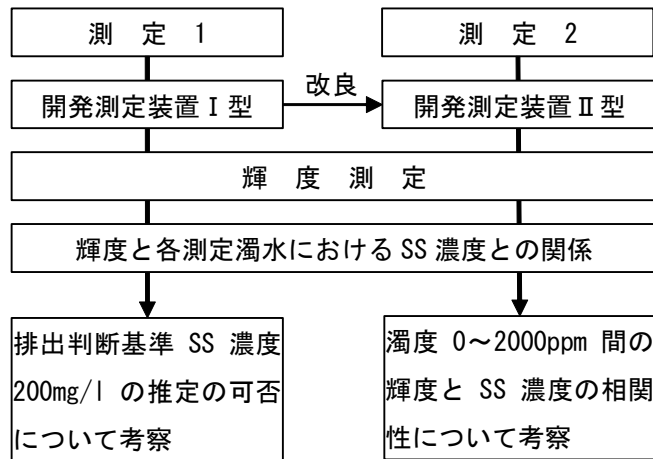


図4-1 両開発測定装置での測定内容

4.2 本開発測定装置の構造と特徴

本研究で作製した測定装置は光源から発する光により, 濁水中で懸濁している土粒子に生じる反射光をデジタルカメラにより撮影するものである. この装置では撮影画像から得られる輝度をもとにSS濃度を推定することになる. また開発測定装置ⅠとⅡ型については, 現地で測定することを考慮した構造設計となっており, 伊原が作製した測定装置に大幅な改良を加えている. 以下に各測定装置(Ⅰ型とⅡ型)の構造と特徴について説明する.

4.2.1 開発測定装置Ⅰ型の構造と特徴

開発測定装置Ⅰ型は沈砂池に貯留された赤土濁水の表層水のSS濃度を測定することを目的とした装置である(写真4-1). この装置の構造の概略を図4-2に示す. 測定装置Ⅰ型は測定時に使用する濁水や降雨による浸水から装置に内蔵されている部品を保護するため, 耐水性のボックスを使用している. その内部には撮影用のデジタルカメラ(SONY性ZC-003 CCDカメラ), 濁水に光を照射するための光源(12V/20W LW/K3/KZ型ハロゲンランプ)および濁水を耐水性ボックス底部にある撮影容器内に取り入れるための取水循環ポンプ(BPH-474PSバイモルポンプ)が内蔵されている. また底部に撮影容器を備えているため, 沈砂池へ設置

する場合は常時水中にセットできる構造となっている。本装置の特徴として、以下の点が挙げられる。

- ① 比較的広い波長域を有するハロゲンランプを光源として仕様していること。
- ② 安定な輝度を得るための定電圧化が計られていること。
- ③ 照射出口での輝度むらを極力低減化することを目的としてランダムに配置されたファイバを使用していること。

(光源部では円形に光源を取り込み、出口では長方形にスリットで変換される)

- ④ 撮影容器内への濁水の取水と撮影画像への気泡混入による影響を防止する目的で、取水循環ポンプを取付けていること。
- ⑤ 沈砂池に設置した場合、撮影容器は常時表層水に沈水できる構造としていること。

特にファイバについては光源での光の取り込みを確実にし、照射時には、輝度が出口から一定幅になるように明るさを保ちながら照射でき、しかも出口から遠ざかるにつれ一定の幅で輝度が減衰するように、光の入口は直径 10 mm の円形に、出口は 3×22 mm の長方形としている。

この I 型装置の撮影は次のように行われる。当初、ポンプにより濁水を循環させると共に、ハロゲンランプを光源とする光をファイバにより取り込み、撮影容器内で長方形のスリット部に変換した部分から照射して濁水中に水平に進入させる。進入光により濁水に生じる反射光を、進入光と垂直かつ上方に設置した 3CCD カメラにより撮影する。



(a) I 型全景



(b) I 型底部



(c) 底部撮影容器

写真 4-1 開発測定装置 I 型の全景

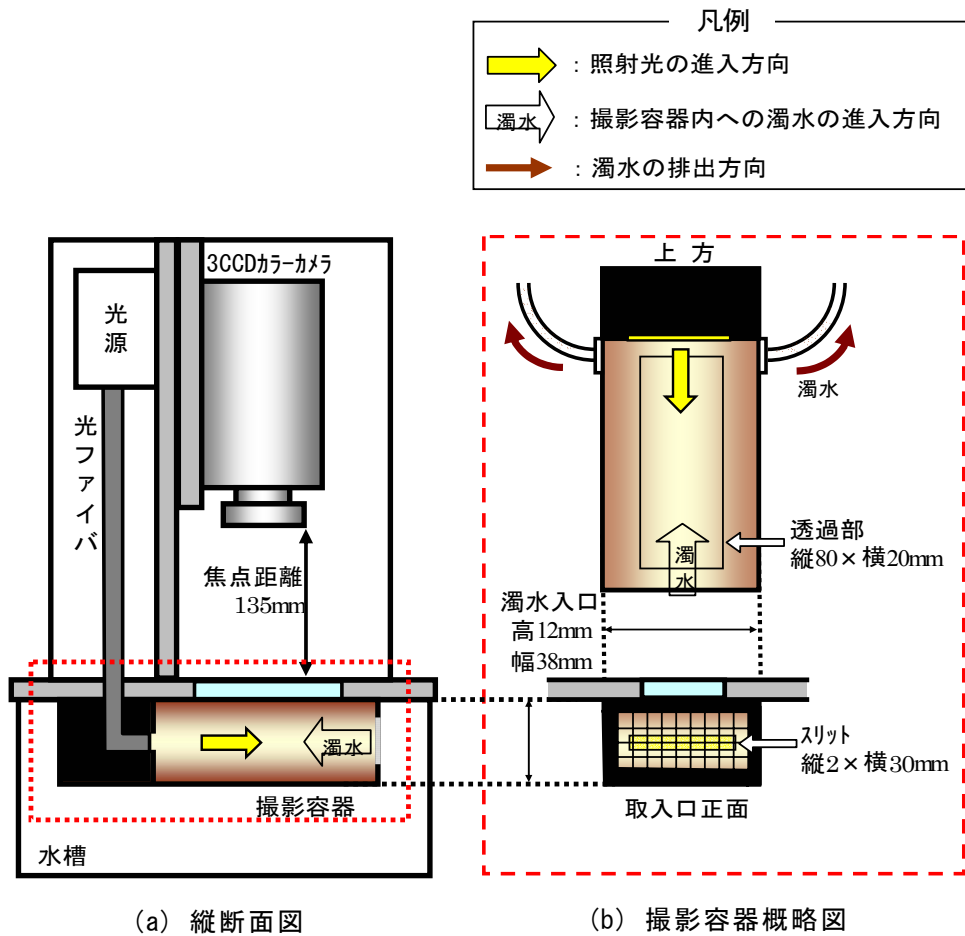


図 4-2 開発測定装置 I 型の構造システムの概略図

この際、濁水の撮影については全撮影において同じ条件となるように、光源と光を取り込むファイバの距離およびカメラと撮影容器の距離は一定にしている。

4. 2. 2 開発測定装置 II 型の構造と特徴

開発測定装置 II 型は、I 型の測定において変更が必要と思われる事項について改良を行った装置である(写真 4-2)。I 型と比べて外装も異なっているが、II 型も内部への濁水と降雨などによる浸水を防止するため機密性が高い構造となっている。この装置の概略的な構造について図 4-3 に示している。内部のデジタルカメラと光源は I 型と同様の器材を使用している。撮影部への濁水の取水と撮影画像への気泡の混入防止のために取付けられていた取水循環ポンプは設置されていない。II 型の大きな改良点としては、

- ① 撮影容器の取付け位置の変更
- ② 撮影容器の変更に伴う循環ポンプの外部への移設および大型化

が挙げられる。①の撮影容器の取付位置は、写真 4-2 と図 4-3 で示すように、ボックスの底部から側面部に変更され、水面に対し垂直に設置されている。これは、長期間の設置・観測を実施する場合、撮影容器が水面と水平になっていると容器底面に土粒子が沈降する。そのため以後の測定において循環ポンプを作動させた場合、沈降した土粒子が舞い上がり、懸濁の度合いが実際よりも高くなることが考えられるためである。また②では、①により撮影容器が常時浸水していないため濁水を撮影容器まで送水する必要性があり、従来の取水循環ポンプでは能力不足となるために大型化を図っている。また測定容器内の気泡除去については、従来の循環ポンプでは送流力が低く、除去に不十分であったことから、ポンプ能力をアップしたことと、撮影容器を縦形に設置することで改善を図っている。

このⅡ型は、撮影容器の底部から側面への取付位置の変更とポンプの移設以外、構造的にはⅠ型とほとんど同様である。撮影手順としては、当初、撮影容器内に外部循環ポンプにより濁水を送水した後、光源が発する光をファイバにより長方形のスリット状に変換して照射する。以後、照射光は濁水中を水面に対し垂直下向きに進行し、濁水中の土粒子に反射光を生じさせる。これを進入光に垂直な方向にセットした 3CCD カメラにより測定する。また光源とファイバおよびデジタルカメラと測定装置の距離についてもⅠ型と同様に一定の距離を保って測定を行っている。



(a) 装置全景



(b) 撮影容器

写真 4-2 開発測定装置Ⅱ型の全景

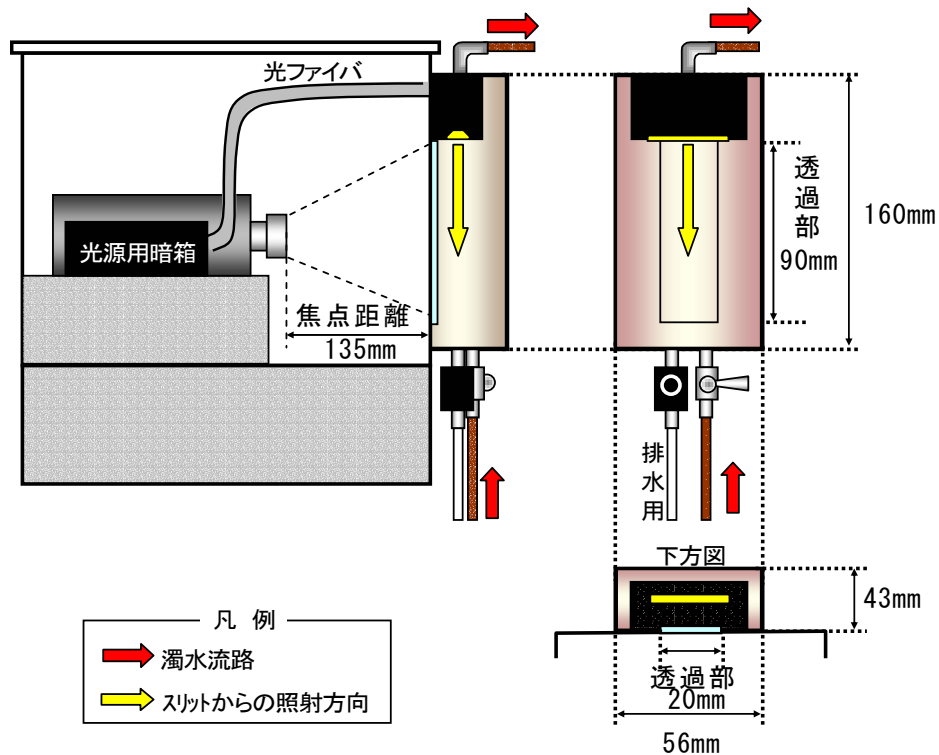


図 4-3 開発測定装置 II 型の構造システムの概略図

4. 3 SS 濃度測定システムの構成

本研究で作製した測定装置 I または II 型により構成される SS 濃度測定システムについて写真 4-3 に示す。写真は開発測定装置 II 型を使用した SS 濃度測定システムである。この SS 濃度測定システムは、測定ユニット部、制御部、データ取得部から構成される。濁水の撮影を行う開発測定装置 I と II 型は測定ユニット部を担い、制御部はその測定ユニット部に内蔵される光源、排水弁、3CCD カラーカメラ、ポンプの電源と制御を行う装置である。またデータ取得部であるパーソナルコンピュータは測定ユニット部で撮影されたデジタル画像の取り込みと記録を行い、その後専用ソフトウェアにより記録した各画像の色調、赤、緑、青 (R, G, B) ごとの輝度を解析する役割を担っている。

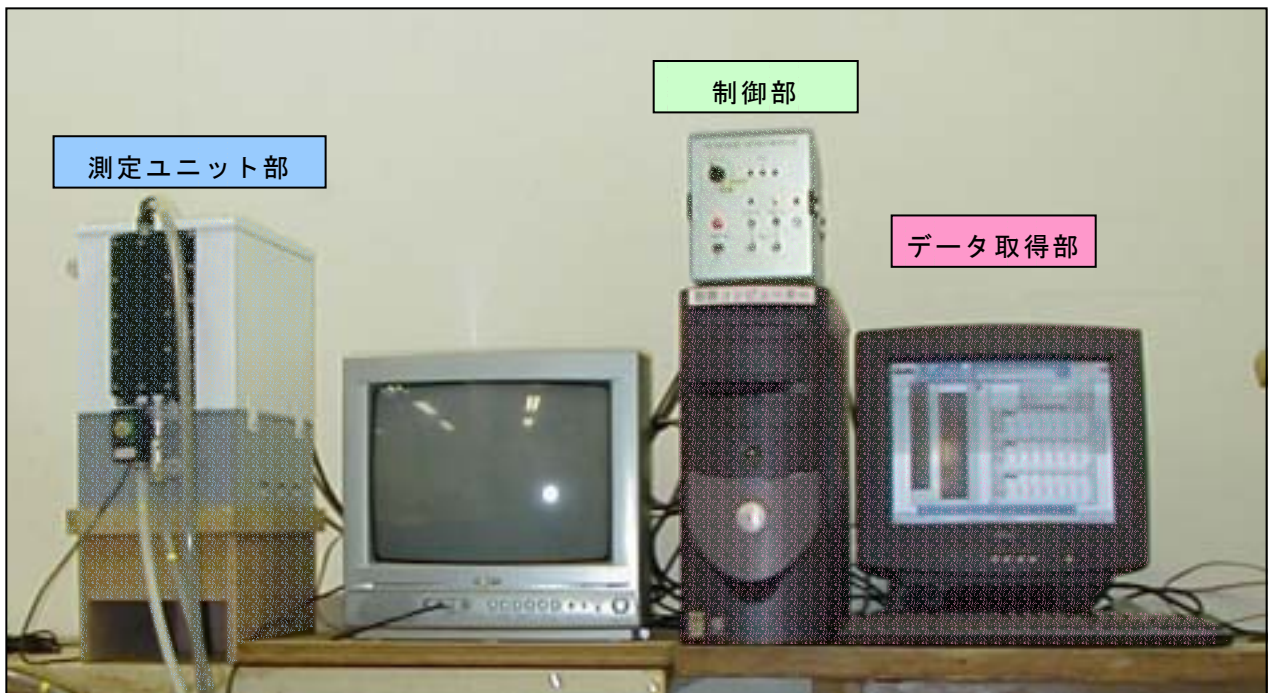


写真 4-3 SS 測定システムの構成

4. 4 赤土試料の作製と濁水の測定実施要領

ここでは測定に使用した赤土試料の作製要領と開発した濁水評価測定装置の赤土濁水の測定要領について示す。赤土濁水を作製するために使用した赤土は、調査研究の対象地域である沖縄本島中部地域の貯留型沈砂池で流出・堆積していた底質土である（図 4-4）。採取した赤土試料は、2 mm のふるいにより粒径 2 mm 以上の土粒子および落葉落枝を除去し、恒温乾燥炉により 110℃ で 48 時間乾燥をした。その後ディスクミルにより粉砕を行って粒径を均一に調整した。この乾燥・粉砕した赤土を試料として赤土濁水を作製した。

赤土濁水は、精製水（イオン交換水）4 l に対して計量した赤土試料を添加して作製している。赤土濁水と SS 濃度の相関性を求めるため、この赤土試料の添加は段階的に実施し、赤土濁水の濃度を徐々に増加させることにより濁水に生じる反射光の変化の撮影を行っている。撮影の間、作製した赤土濁水は土粒子の沈降を防止するためマグネティックスターラにより攪拌を行っている。各測定で使用した赤土試料はすべて同一の方法で作製している。そのため測定結果について考察を行う際、粒径による影響をほとんど考慮することなく各沈砂池間での赤土濁水の結果を比較することが可能である。

4. 5 撮影画像と濃度の変化

輝度と SS 濃度の相関性を得るために実施した測定は、図 4-1 に示した測定 1 と 2 であり、濁度 0~2000 ppm 間の測定を実施している。測定 1 では赤土の添加質量を最大 1000 mg/l とし、各沈砂池の測定で計 18~20 回の濃度調製を行っている。測定 2 では適宜に赤土添加量を変化させて、濁度 2000 ppm に達するまで測定を実施している。各沈砂池での添加した赤土の質量濃度 (mg/l)、添加回数および各添加時の濁度の範囲を表 4-1 と 2 にそれぞれ示している。

同表より測定 1 では開発測定装置 I 型、測定 2 では II 型を使用して各沈砂池の輝度と SS 濃度の相関性を求める測定を実施している。各測定での濃度変化に伴う撮影画像の変化について、測定 1 と測定 2 で撮影した 04 漢那福地の画像を図 4-5 と 6 に示している。

図 4-5 と 6 は、測定時に撮影された画像をパノラマ表示したものである。その撮影画像の下に併記した表は、各撮影時の濃度と濁度を示している。また光ファイバにより取り込んだ光を照射するスリット部は撮影画像の上部に位置している。濃度ごとに配列しているため、濃度の変化に伴う撮影画像の濃淡の変化を見ることができる。濁度が 0~2000 ppm 範囲まで測定を行った図 4-6 の測定 2 での撮影画像を見ると、0~120 mg/l 程度までは照射光による土粒子の反射はあまり見られない。これは濃度が低く、水中で反射する土粒子が少ないためと思われる。しかし濃度が上昇するとスリット部方向に強い反射光が生じ、その面積は増加する傾向を見せている。それと同時に反対方向には暗部が生じ、その面積も増加している。強い反射光を放つ面積の増加は濃度が 500 mg/l 程度まで見られ、その後減少している。暗部については濃度の上昇により徐々にその面積が増加している。この現象は照射される輝度が一定であることから、照射光の濁水中の透過量と土粒子による反射量が土粒子濃度により変化したことで生じたものと思われる。

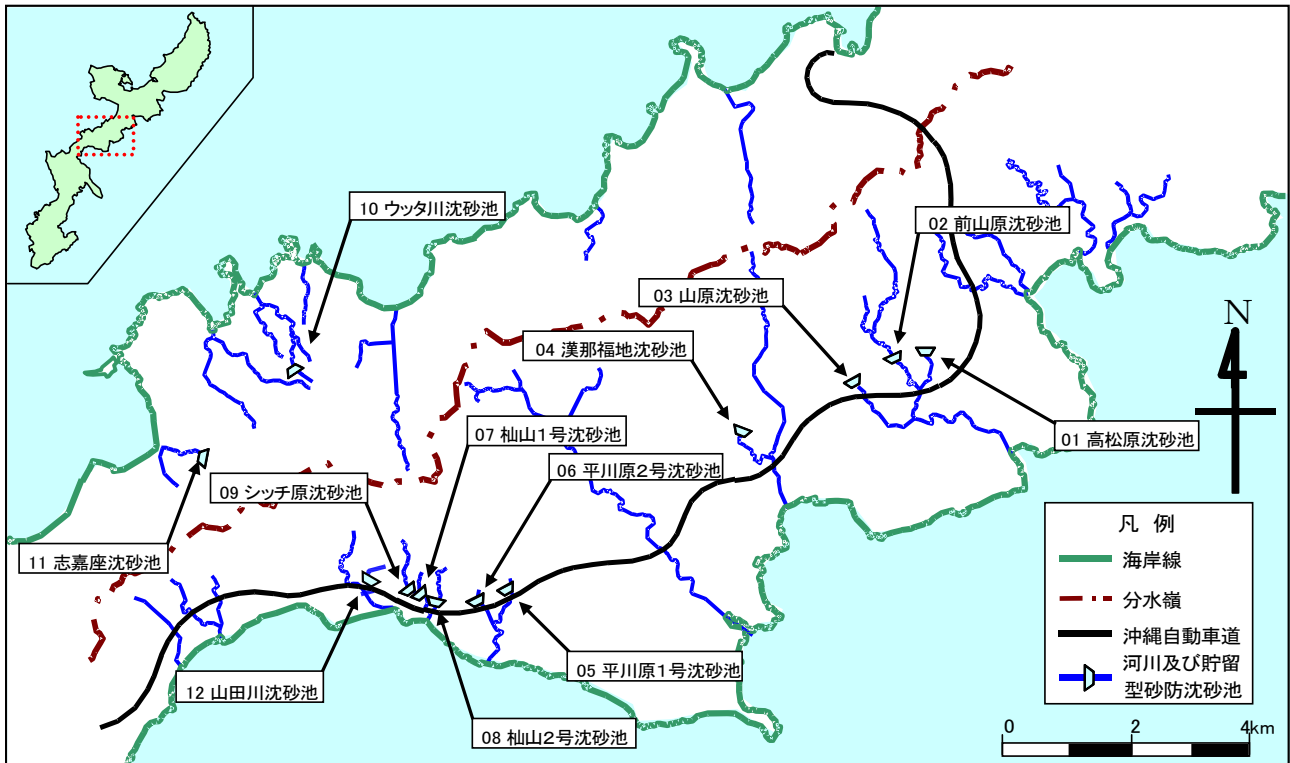


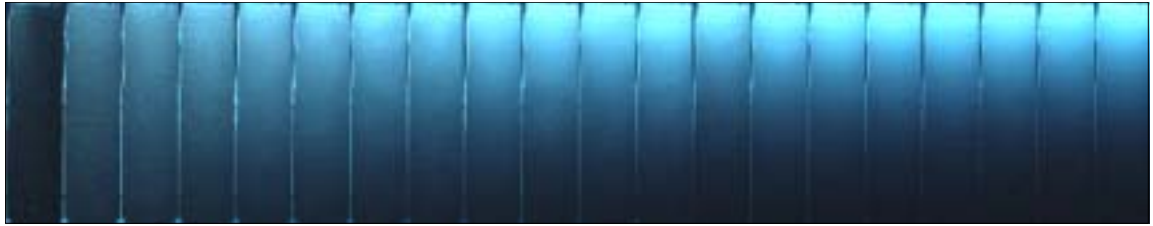
図 4-4 赤土の採取を実施した貯留型沈砂池の設置場所

表 4-1 測定 1 の添加量，回数，濁度

| 沈砂池 | 使用開発装置 | 添加質量濃度 (mg/l) | 添加回数 (回) | 測定濁度範囲 (ppm) |
|----------|--------|------------------|-------------|-----------------|
| 01 高松原下 | I 型 | 1000 | 20 | 700 |
| 02 前山原 | | 1000 | 20 | 530 |
| 03 山原 | | 1000 | 20 | 890 |
| 04 漢那福地 | | 1000 | 20 | 630 |
| 05 平川原1号 | | 950 | 19 | 700 |
| 06 平川原2号 | | 1000 | 20 | 600 |
| 07 杣山1号 | | 1000 | 20 | 555 |
| 08 杣山2号 | | 900 | 18 | 685 |
| 09 シッチ原 | | 1000 | 20 | 900 |
| 10 ウッタ川 | | 1000 | 20 | 810 |
| 11 志嘉座① | | 1000 | 20 | 560 |
| 11 志嘉座② | | 1000 | 20 | 525 |
| 12 山田川 | 900 | 18 | 725 | |

表 4-2 測定 2 の添加量，回数，濁度

| 沈砂池 | 使用開発装置 | 添加質量濃度 (mg/l) | 添加回数 (回) | 測定濁度範囲 (ppm) |
|---------|--------|------------------|-------------|-----------------|
| 01 高松原下 | II 型 | 6780 | 98 | 2000 |
| 03 山原 | | 6480 | 80 | 1950 |
| 04 漢那福地 | | 2330 | 60 | 2000 |
| 10 ウッタ川 | | 5180 | 79 | 2000 |
| 11 志嘉座 | | 2830 | 65 | 2000 |



| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 測定No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 濃度 (mg/l) | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 | 750 | 800 | 850 | 900 | 950 | 1000 |
| 濁度 (ppm) | 50 | 80 | 100 | 165 | 185 | 230 | 260 | 285 | 310 | 340 | 370 | 380 | 435 | 460 | 475 | 525 | 540 | 580 | 610 | 630 |

図 4-5 (測定 1) 04 漢那福地における撮影デジタル画像



| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 測定No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 濃度 (mg/l) | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 240 | 260 | 280 | 300 | 320 | 340 | 360 | 380 |
| 濁度 (ppm) | 0 | 10 | 25 | 45 | 60 | 80 | 95 | 120 | 140 | 160 | 175 | 200 | 220 | 240 | 270 | 280 | 295 | 320 | 335 | 355 |



| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 測定No. | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| 濃度 (mg/l) | 400 | 420 | 440 | 460 | 480 | 500 | 520 | 540 | 560 | 580 | 600 | 620 | 640 | 660 | 680 | 700 | 720 | 740 | 760 | 780 |
| 濁度 (ppm) | 385 | 405 | 440 | 440 | 460 | 475 | 490 | 510 | 525 | 545 | 560 | 595 | 610 | 630 | 645 | 660 | 675 | 695 | 710 | 720 |



| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 測定No. | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 |
| 濃度 (mg/l) | 830 | 880 | 930 | 980 | 1030 | 1080 | 1130 | 1180 | 1230 | 1280 | 1330 | 1380 | 1480 | 1580 | 1680 | 1780 | 1930 | 2080 | 2230 | 2330 |
| 濁度 (ppm) | 770 | 800 | 845 | 880 | 915 | 950 | 985 | 1025 | 1060 | 1100 | 1140 | 1180 | 1260 | 1330 | 1400 | 1475 | 1650 | 1775 | 1900 | 2000 |

図 4-6 (測定 2) 04 漢那福地における撮影デジタル画像

4. 6 撮影画像の解析

図 4-5 と 6 のように各濃度において撮影された画像は、データ取得部で記録し、その後専用ソフトウェアにより画像の輝度が解析される。解析された一例を表 4-3 に示している。この表は測定 1 で行われた 01 高松原沈砂池の色調 R (Red) についての解析結果である。この表では行が下に行くにつれて、濃度の高い濁水を撮影した画像が解析されている。解析された R, G, B (Red, Green, Blue) の各色調の輝度は、区分された輝度値ヒストグラム内の該当する 0~255 の各輝度値に度数分布で表示される¹⁸⁾。この各階級の輝度値に表示された値が輝度数である。また輝度分布表の輝度数の総和が撮影された画像の輝度となる。この表で輝度値 0~255 を 33 の階級に分けて表示しているが、実際の解析では輝度値 0~255 の間を 2 輝度値ごとに分け、128 の階級で表示している。表では各濃度で輝度値の取り得る値が異なっていることから、各濃度において撮影された土粒子の反射光に差異が生じていることが分かる。次節の 4. 7 ではこれを各濃度における特性としてとらえ、測定 1 および測定 2 の結果に基づき濁水の評価を試みている。

表 4-3 測定 1 での高松原沈砂池の輝度値ヒストグラム

| 255 | 248 | 240 | 232 | 224 | 216 | 208 | 200 | 192 | 184 | 176 | 168 | 160 | 152 | 144 | 136 | 128 | 120 | 112 | 104 | 96 | 88 | 80 | 72 | 64 | 56 | 48 | 40 | 32 | 24 | 16 | 8 | 0 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 32 | 49 | 28 | 27 | 55 | 266 | 2312 | 6276 | 8401 | 12972 | 16083 | 284 | 0 | 1 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 41 | 42 | 43 | 40 | 207 | 877 | 2168 | 3597 | 4316 | 5368 | 7176 | 10171 | 12600 | 150 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 32 | 47 | 49 | 162 | 575 | 1088 | 1702 | 2392 | 3097 | 3733 | 3434 | 4424 | 5383 | 8090 | 12112 | 481 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 29 | 56 | 139 | 472 | 1002 | 1171 | 1495 | 1995 | 2069 | 2264 | 2598 | 2997 | 3715 | 4897 | 7068 | 13673 | 1158 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 47 | 86 | 300 | 950 | 1417 | 1325 | 1546 | 1903 | 2244 | 2314 | 2364 | 2800 | 3178 | 4198 | 6415 | 13206 | 2495 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 43 | 62 | 311 | 812 | 1153 | 1208 | 1342 | 1363 | 1565 | 1988 | 2038 | 2269 | 2647 | 2946 | 3893 | 6092 | 13076 | 3984 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 30 | 112 | 330 | 665 | 865 | 1044 | 1191 | 1303 | 1472 | 1399 | 1636 | 1778 | 1970 | 2378 | 2919 | 3535 | 5714 | 12750 | 5704 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 48 | 238 | 519 | 794 | 884 | 1021 | 1233 | 1269 | 1310 | 1421 | 1601 | 1894 | 1870 | 2102 | 2693 | 3677 | 5302 | 12187 | 6722 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 46 | 153 | 534 | 1375 | 1427 | 968 | 1054 | 1085 | 1079 | 1154 | 1280 | 1542 | 1825 | 2250 | 2711 | 3544 | 5509 | 12693 | 6553 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 28 | 200 | 499 | 667 | 668 | 768 | 921 | 1085 | 1107 | 1142 | 1338 | 1464 | 1548 | 1673 | 1929 | 2359 | 3363 | 4925 | 11621 | 9496 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 30 | 210 | 477 | 689 | 667 | 805 | 848 | 964 | 1070 | 1065 | 1121 | 1326 | 1572 | 1771 | 1968 | 2274 | 3164 | 4914 | 12203 | 9658 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 37 | 243 | 619 | 883 | 829 | 791 | 862 | 1025 | 996 | 1106 | 1251 | 1416 | 1665 | 2015 | 2230 | 3080 | 4434 | 10691 | 12622 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 61 | 331 | 512 | 677 | 638 | 693 | 789 | 903 | 953 | 1050 | 1143 | 1345 | 1616 | 1882 | 2180 | 3002 | 4545 | 10818 | 13658 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 78 | 358 | 619 | 622 | 688 | 680 | 828 | 932 | 988 | 1016 | 1110 | 1332 | 1524 | 1756 | 2082 | 2852 | 4365 | 10455 | 14506 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 96 | 393 | 716 | 684 | 649 | 656 | 751 | 874 | 908 | 918 | 1072 | 1251 | 1443 | 1736 | 2155 | 2773 | 4249 | 10233 | 15235 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 68 | 376 | 611 | 599 | 596 | 623 | 718 | 777 | 861 | 907 | 1010 | 1138 | 1321 | 1616 | 2068 | 2807 | 4267 | 10942 | 15486 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 23 | 221 | 471 | 565 | 528 | 655 | 647 | 808 | 912 | 901 | 990 | 1097 | 1271 | 1560 | 1927 | 2611 | 4068 | 9373 | 18167 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 64 | 348 | 516 | 575 | 507 | 643 | 661 | 765 | 874 | 896 | 1000 | 1103 | 1315 | 1578 | 1931 | 2576 | 4097 | 10013 | 17331 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 41 | 242 | 486 | 574 | 501 | 623 | 553 | 749 | 852 | 938 | 987 | 1071 | 1246 | 1504 | 1793 | 2456 | 3826 | 8462 | 19890 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 43 | 253 | 513 | 611 | 480 | 572 | 557 | 706 | 777 | 839 | 885 | 1026 | 1183 | 1443 | 1764 | 2442 | 3677 | 7661 | 21346 | 17 | 0 | 0 | 0 |

4. 7 濁水評価

4. 7. 1 開発測定装置 I 型による濁水評価（測定 1）

測定 1 の濁水評価では，濁水撮影時の光のムラなどによる影響を考慮して輝度値 0～255 範囲の内，40～174 範囲にある輝度数の和を求め，R，G，B の各色調の輝度とみなしている．この求めた輝度数の和を「選定輝度」とし，SS 濃度との相関関係を求める際に使用した．

SS 濃度と選定輝度の関係を考察するため，まず SS 濃度と相関関係にある濁度と選定輝度（輝度値 40～174 間の輝度数の和）の関係を求めている．**図 4-7** は，濁水評価測定装置により求めた 01 高松原沈砂池の選定輝度と各濁水で測定した濁度の関係について片対数紙上にプロットしたものである．図中の R，G，B の各色調における選定輝度の対数値と濁度の関係には線形性が見られ，傾きや切片は異なっているが濁度が増加すると減少する傾向を示している．この各色調の選定輝度～濁度関係の近似式を見た場合，色調 R（Red）の相関係数（ R^2 値）が最も高くなっている．同様の傾向は，測定を行った他の沈砂池においても見られ，**表 4-4** に示すように 12 沈砂池中 11 沈砂池で色調 R（Red）が最も高くなった．その結果に基づき色調 R の場合の選定輝度～濁度関係を求めた（**図 4-8**）．この際，濁度 100 ppm 未満の選定輝度については各沈砂池においてばらつきが生じているため，100 ppm 以上の濁度と選定輝度の関係を求めている．図より各沈砂池の濁度は，構成土粒子の粒子特性の相違などにより取り得る濁度範囲に差異が生じている．しかしながら各沈砂池の選定輝度～濁度関係には良好な線形性があることが分かる．**図 4-9** は 09 シッチ原沈砂池の SS 濃度～濁度の関係を表している．この関係図は，降雨終了後数日から 1 週間程度の間沈砂池内の貯留水において表層水，中層水，低層水，放流水から採水した濁水を用いて，SS 濃度と濁度を測定したものである．降雨終了後数日間経過した後の採水であるため，赤土濁水の濁度は低いが，この図から濁度と SS 濃度との関係を示す近似直線には線形性が認められる．この線形性は，採水を実施した 11 志嘉座沈砂池 No.2 と 12 山田川沈砂池を除く他の 10 地点についても同様に認められた．各沈砂池において求めた近似直線の傾き・切片・ R^2 について**表 4-5** にまとめている．次に SS 濃度～濁度関係と選定輝度～濁度関係を近似した両相関式を基に選定輝度～SS 濃度関係図を作成し（**図 4-10**），各沈砂池における近似直線を求めている．図から SS 濃度が約 100～900 mg/l の範囲では，選定輝度～SS 濃度関係に良好な線形性が存在しているのが認められる．沖縄県赤土等流出防止条例での沈砂池の濁水排出規準は，SS 濃度 200 mg/l 以下となっていることから，**図 4-10** の結果は SS 濃度の輝度による推定と排出の判断が可能であることを示している．

4. 7. 2 開発測定器Ⅱ型による濁水評価（測定2）

輝度値の一部を使用することによりSS濃度の推定可能な範囲は100～900 mg/l範囲であり、排出判断基準となるSS濃度200 mg/l前後の測定が可能であることから、沈砂池の濁水評価に適用できると考えられる。しかしながらSS濃度100 mg/l未満および900 mg/l以上の濁水の場合の測定も必要となる。また測定された輝度を対数値にしてSS濃度の推定を行うため、濁水濃度の微小変化に伴う輝度の変化が大きく、SS濃度の推定値に精度の低下が生じる。そのため新たなSS濃度の推定方法として、輝度値ヒストグラムをある一定の輝度値ごとに区分してSS濃度と輝度の関係式を求め、低濃度～高濃度範囲まで輝度によるSS濃度の推定を試みている。

ここでは測定2による5沈砂池（01高松原，03山原，04漢那福地，10ウッタ川，11志嘉座）での測定結果をもとに、SS濃度～輝度関係を求めている。SS濃度～輝度関係を求めるにあたり、輝度については色調R（Red）を使用している。これは測定1で最も相関性が高かったためである。また輝度との相関性を見るSS濃度については、添加した赤土試料の質量濃度をSS濃度として扱っている。

01高松原沈砂池での輝度の変化を輝度値ヒストグラムで図4-11に示している。図はSS濃度が0～6780 mg/lまでの範囲の濃度における輝度ヒストグラムである。各濃度でのヒストグラムは、それぞれ増加および減少の状態が異なっていることが分かる。そのため、輝度値ヒストグラムにおいてある輝度値から一定の輝度値ごとに区分して、各範囲でSS濃度との相関性を求めた。その区分の方法は、分布する輝度数を合計して得られる輝度が、連続的増加または減少を示す範囲を1区分とする方法である。そのように区分した範囲での輝度とSS濃度の関係式を求めている。この方法は輝度値ヒストグラムにより求めているため、各沈砂池で取り得る範囲が異なる。そのため各沈砂池で独自の検量線を得る必要性が生じる。図4-12は01高松原沈砂池における輝度とSS濃度の関係を求めている。各範囲において分布している輝度とSS濃度に相関性が見られる。またこの各範囲で求めた輝度とSS濃度の相関式を表4-6に示している。各近似式に高い相関性が存在することが分かる。また各区分でSS濃度が重複しているが、これは各区分の間に該当する輝度が検出された場合でもSS濃度の測定が実施できるように配慮しているためである。01高松原沈砂池で求めた各範囲の相関関係を実際に使用するには、どの範囲の近似式を適用すればSS濃度を求めることが可能であるかという条件が必要となってくる。この条件について表4-7に示している。この条件を適用することで輝度からSS濃度の推定が可能となる。また得られた結果は、01高松原の場合に適

用可能であり、各沈砂池で輝度値ヒストグラムが異なることから、それぞれ個別に関係式および適用条件を作成する必要がある。そこで上述の 01 高松原の場合と同様の方法で、輝度～SS 濃度関係図を作成している（図 4-13, 14, 15, 16）。またその関係図での各輝度値の範囲、近似式および適用条件については表 4-8, 9, 10, 11 にまとめている。

4. 8 まとめ

伊原が行ったデジタルカメラを使用した濁水評価に関する研究において輝度と濁度の間に相関性が得られたことから、本章では同様の原理を用いた改良装置を新たに作製（開発測定装置 I, II 型）し、輝度と SS 濃度との相関性を求める測定（測定 1 と 2）を実施した。

測定 1 では、輝度の一部（輝度値 40～174 の間の輝度値）と SS 濃度の相関性を求めた。その結果、SS 濃度 100～900 mg/l の範囲で輝度により SS 濃度が推定可能であることが分かった。これにより排出判断基準である SS 濃度 200 mg/l の判定が可能であることが分かった。しかしこの測定で求めた検量線は輝度を対数値化しているため、濁水の微小な変化に対応できない欠点があることが分かった。

測定 2 では、輝度値 0～255 を 4～5 区間に分け、各区間内の輝度と SS 濃度の相関関係を求めている。範囲を区分して得られる輝度に適用条件を与えて各区分での SS 濃度の推定を行うこの方法は、輝度を対数値化してないため、輝度の微細な変化にも十分対応できるとともに低～高濃度までの測定が可能であることが分かった。今後としては、さらに高濃度における輝度の変化についても測定を実施し、輝度～SS 濃度の相関性について求めていく必要がある。また現地における測定を実施し、室内測定で得られた検量線と現地の沈砂池での測定値を比較・検討することにより、検量線の補正方法を検討することが必要となる。