ISSN 0386－5878
土木研究所資料第3798号

土 木 研 究 所 資 料

涸沼川洪水観測レポート［2］
1990～2000

平成13年3月

国土交通省土木研究所
河川部河川研究室

Copyright © (2001) 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。

建設省は、平成１３年１月６日付けで国土交通省に再編

土木研究所資料
第3798号2001年3月

涸沼川洪水観測レポート［2］
1990～2000

河川研究室　前室長　藤田光一[1)]
室長　末次忠司
前主任研究員　平林桂[2)]
主任研究員　坂野章
主任研究員　諏訪義雄
主任研究員　服部敦
研究員　横山勝英
研究員　平舘治
研究員　瀬崎智之
研究員　東高徳
二村貴幸
交流研究員　吉田昌樹

要　旨

水系一貫した土砂動態の把握は、河道内の地形変化予測や物質輸送が自然環境に与える影響の評価に当たり重要である。本報告書は、そのための合理的な観測手法および把握手法の開発を目的としたものであり、浮遊土砂・掃流砂観測装置を新たに開発し、涸沼川に適用した。また、涸沼川流域の土砂動態を検討し、水系土砂動態マップに示した。

涸沼川における1990年～2000年の調査結果（洪水時観測結果、堆積・浸食調査結果）を示した。

キーワード：涸沼川、観測手法、土砂動態、水系土砂動態マップ、河岸浸食・堆積

[1)] 現　中部地方整備局三重工事事務所長
[2)] 現　株式会社サンポー技術管理部メンバーチーフ

まえがき

国土交通省土木研究所河川研究室では、フィールド研究を活動の柱の１つに据え、1986年から涸沼川を対象に調査研究を実施している。この調査研究で得られた成果は、これまで1990年１月と1990年10月の２回にわたってまとめられている（第１章参照）。本報告書は、涸沼川を対象にした調査研究成果報告の第３段として、その後の調査研究成果を1990年10月のレポートの続編としてとりまとめたものである。第２段の報告以降長く時間がかかっているが、これは、成果報告の場として学会や技術情報誌に重点を置いたためであり、決してその間の情報生産量が落ちたのではない。今回、改めて成果報告として総括したのは、流砂観測とその結果の活用について実用化の見通しが立ったため、区切りの時期として適切と考えたからである。

現在この成果は、技術研究会指定課題「水系一貫土砂管理に向けた河川における土砂観測、土砂動態マップの作成及びモニター体制構築に関する研究」において、現地河川への適用を試みるとともに、成果の検証、全国への普及を図っているところである。平成10年７月の河川審議会総合土砂管理小委員会の「流砂系の総合的な土砂管理に向けて」の報告を契機に、“流砂系土砂管理”に向けた調査研究が関係部局で進んでいる。本研究成果がこれらを統合した“流砂系土砂管理施策”に反映されることが期待される。

このレポートでは、調査研究途上のテーマについても観測結果を報告している。具体的には、●栄養塩（N、P）の動態把握、●掃流砂の流域スケールの動態把握、●流域スケールにおける土砂・物質のモニタリング手法の確立等である。これらは、観測データの不足、調査手法・観測手法の不完全さ等から十分なとりまとめが行えていない。さらに、今回のレポートに盛り込むことはできていないが、既に調査研究に着手しはじめているテーマとして、●涸沼における土砂・栄養塩の流入流出動態把握、●土砂・栄養塩の生産・素過程の実態観測、等がある。これらの成果は、今後の国土技術政策の重要な柱の１つである“流域管理”あるいは“流域マネージメント”施策に寄与することが期待される。今後も精力的に観測・調査・研究を進め、成果を次回のレポートで報告したい。

本調査・研究は、本省河川局治水課、北海道開発局・各地方整備局の支援のもと、測量・試験費「河川における現地観測手法と計測器の開発」（昭和61年～）、行政部費「粒径集団別供給土砂量のマクロ予測手法に関する研究」（平成９年～）により実施されている。また、調査・研究にあたっては、関東地方整備局常陸工事事務所をはじめ、茨城県土木部河川課、茨城県水戸工事事務所、茨城県飯田ダム管理所にデータ提供等多大なる便宜を図っていただくとともに、地元関係者の方の協力を頂いている。各関係機関・関係者の支援・協力に感謝申し上げるとともに、調査・研究の重要性について理解頂き、今後も引き続いての支

援・協力をお願い申し上げる。

なお、本レポートの扱った調査・研究期間には筆者ら以外に次の者が関係した（敬称略）。山本晃一（～1993.3：室長）、宇多高明（1993.4～1996.3：室長）、望月達也（1996.4～1997.8：室長）、高橋晃（～1995.6：主任研究員）、渡辺明英（～1991.3：研究員、1994.4～1995.3：主任研究員）、松尾和己（1996.4～1999.3：主任研究員）、林正男（～1993.3：研究員）、有沢俊治（1990.4～1993.3：研究員）、佐々木克也（1991.4～1994.3：研究員）、藤井政人（1991.4～1994.7：研究員）、塚原隆夫（1995.4～1998.3：研究員）、栂野浩一（1995.4～1998.3：研究員）、西尾正博（～1991.3）、大森徹治（～1991.3）、小池康雄（～1992.3）、深谷渉（1991.4～1994.3）、伊藤克雄（1992.4～1995.3）、池内覚（～1990.9：部外研究員）、小澤宏二（1990.10～1991.9：部外研究員）、川越達郎（1991.4～1992.3：部外研究員）、赤堀安宏（1991.10～1992.9：部外研究員）、太田知章（1992.10～1993.9：部外研究員）、松田英明（1994.4～1995.3：部外研究員）、高橋邦治（1995～1996：部外研究員）、掘謙吾（1995～1997：交流研究員）、渡辺敏（1996.10～1998.5：交流研究員）、赤木泰雄（1996.4～1998.1：受け入れ研究員）、山形宙（1997.4～1998.3：交流研究員）、近藤和仁（1997～1998：交流研究員）、李参熙（1997.2～1998.10：受け入れ研究員）、小藪剛（1998.4～1999.3：交流研究員）、徳田真（1998：交流研究員）。

11 年間にも及ぶため多数の研究室スタッフが携わっている一方、全期間にわたって携わった研究担当者は一人もいない。このため研究テーマによっては、報告内容に当時の研究担当者の意図が十分に反映できていないケースや、調査結果が抜け落ちているケースがあるかもしれないが御容赦願いたい。

また、2000 年 6 月からは、筑波大学応用生物化学系土壌環境化学研究室とも連携しながら観測を行っており、2000 年 7 月の浮遊砂観測では御協力を頂いた。流域における物質動態の実態把握のために、今後も連携して調査研究を進める予定である。

2001 年 3 月

目　　次

まえがき

第1章　研究の経緯・本報告書の概要 …… 1
1.1　本報告書の位置づけ …… 1
1.2　本報告書の構成 …… 1

第2章　水系スケールの土砂動態把握上必要な概念 …… 3
2.1　水系スケールの土砂動態把握の重要性 …… 3
2.2　有効粒径集団の概念 …… 3
2.3　流域スケールの土砂動態のための共通言語－土砂動態マップ－ …… 6
2.3.1　土砂動態マップとは …… 6
2.3.2　土砂動態マップの利用と今後期待される利用の方向について …… 7

第3章　涸沼川の河道特性と有効粒径集団の区分 …… 9
3.1　涸沼川流域の概要 …… 9
3.2　涸沼川の河道縦断特性（セグメント区分） …… 10
(1)　セグメント区分 …… 10
(2)　洪水時の掃流力の縦断特性 …… 11
3.3　涸沼川における有効粒径集団の区分 …… 11

第4章　セグメント2－3～河口テラスにおける地形変化量からの粒径別通過土砂量調査 …… 15
4.1　調査方法 …… 15
4.2　調査結果 …… 17
4.2.1　堆積状況 …… 17
4.2.2　通過土砂量の算出 …… 18
(1)　調査限界 …… 18
(2)　年当たりの粒径別通過土砂量の推定 …… 19
(3)　まとめ …… 19

第5章　涸沼川洪水観測施設における流砂観測の概要 …… 21
5.1　目　的 …… 21
5.2　粒径別運動形態の推定と観測手法の選定 …… 21
(1)　粒径別運動形態の推定 …… 21
(2)　観測手法の選定 …… 24
5.3　調査内容 …… 24

第6章　涸沼川洪水観測施設における浮遊砂・ウォシュロード観測 …… 26
6.1　観測装置・手法 …… 26
6.1.1　既往の観測方法の比較 …… 26
6.1.2　鉛直方向の採水が可能な採水手法の開発 …… 28
(1)　水面から機器を差し込む方式 …… 28
(2)　観測柱を用いる方式 …… 28
6.1.3　自動採水装置を用いた浮遊土砂観測 …… 30
6.1.4　濁度計を用いた流砂観測 …… 31
6.1.5　採水量に関する検討 …… 31
6.2　調査結果 …… 32
6.2.1　対象洪水 …… 32
6.2.2　観測地点における浮遊土砂移動の実態 …… 32
(1)　浮遊土砂の最大粒径 …… 32
(2)　水深方向の濃度分布 …… 45
(3)　水深方向の流速分布 …… 58
(4)　横断方向の濃度分布 …… 60
(5)　粒径別 Q-Qs 式の作成 …… 61
(6)　Lane-Kalinske 式との比較 …… 62
(7)　浮遊砂・ウォッシュロードのヒステリシス …… 62
(8)　ヒステリシスが生じる要因 …… 70
(9)　ヒステリシスの発生状況 …… 71
(10)　Q-Qs 式による土砂移動量評価の妥当性 …… 90

第7章　涸沼川洪水観測施設における掃流砂観測 …… 92
7.1　観測装置・手法 …… 92
7.1.1　観測方法の比較 …… 92
7.1.2　掃流採砂装置 …… 94
(1)　装置の特徴と観測方法 …… 94
(2)　掃流採砂装置の適用限界 …… 94
7.1.3　平水時におけるトレンチによる掃流砂観測 …… 97
7.2　調査結果 …… 98
7.2.1　対象洪水 …… 98
7.2.2　調査結果 …… 100
(1)　バケットの形状が異なることによる影響 …… 100
(2)　観測された掃流砂量および粒径特性 …… 101
(3)　横断方向の掃流砂量 …… 104
(4)　洪水毎の粒径別掃流砂量の比較 …… 104
7.2.3　芦田・道上式との比較 …… 106
7.2.4　山本の整理図との比較 …… 108

第8章　年間流砂量の評価と考察 ……111
8.1　整理手法 ……111
8.1.1　粒径別流砂量の整理（第6章、第7章の観測結果より） ……111
8.1.2　浮遊砂の下限値について ……113
8.1.3　年間流砂量算出の整理方針 ……113
(1)　外　力 ……113
(2)　粒径別流砂量フラックス ……115
(3)　検　討 ……115
8.2　年間流砂量の算定 ……115
8.2.1　算定結果 ……115
(1)　地形変化量からの推定と①流砂観測結果によるQ-Qs式からの推定の比較 ……115
(2)　芦田・道上式+Lane-Kalinske式からの推定と地形変化量からの推定の比較 ……117
(3)　涸沼川に適応する流砂量式 ……117
8.3　河床材料の存在確率と流砂量に関する考察 ……125
8.3.1　有効粒径集団との関連 ……125
8.3.2　河床材料の存在確率と供給土砂の粒度分布 ……126
8.3.3　全国の比供給土砂量との比較 ……127
8.3.4　本川上流域における土砂供給量調査 ……129

第9章　土砂・物質動態の流域特性に関する調査 ……131
9.1　概　要 ……131
9.2　浮遊砂的運動形態・ウォッシュロード的運動形態で流下する土砂の流域動態観測 ……131
(1)　サブ流域への分割と各サブ流域の特徴 ……131
(2)　調査方法 ……136
(3)　各サブ流域の細粒土砂供給特性 ……136
(4)　サブ流域毎の粒径範囲の供給特性について ……136
(5)　サブ流域 涸沼川洪水観測施設の土砂収支と、土砂供給のタイミングがヒステリシスにおよぼす影響 ……139
(6)　細粒土砂の水系内の土砂収支と1洪水における土砂動態マップ ……140
(7)　細粒土砂の水系土砂動態に関する考察 ……144
9.3　涸沼川流域における掃流砂動態及び供給特性観測の試み ……144
(1)　支川別地質状況・河床材料調査 ……144
(2)　稲田川流域における掃流砂供給状況と掃流砂移動のタイミング調査 ……148
(3)　涸沼前川における掃流土砂供給量調査 ……155
9.4　流域スケールの物質動態調査 ……158
(1)　涸沼川水系の物質移動調査 ……158
(2)　サブ流域毎の物質供給特性 ……165

第10章　侵食・堆積 ……189
10.1　概　要 ……189
10.2　調査方法 ……189

10.3　調査結果 ……192
10.3.1　仁古田橋下流地点（河岸侵食調査）……192
10.3.2　仁古田上流地点（河岸侵食調査）……198
10.3.3　大湾曲地点（河岸侵食調査）……206
10.3.4　仁古田橋下流地点（河岸堆積調査）……212
10.3.5　常磐高速下流地点（河岸堆積調査）……218

資　料　編 ……223
１．資料の概要 ……223
２．観測施設における水位調査結果 ……233
2.1　調査概要 ……233
2.2　データフォーマット ……233
３．洪水時観測結果 ……239
3.1　1990年8月10日洪水 ……239
3.2　1990年9月30日洪水 ……241
3.3　1990年10月8日洪水 ……243
3.4　1991年6月20日洪水 ……245
3.5　1991年8月20日洪水 ……247
3.6　1991年9月8日洪水 ……249
3.7　1991年9月19日洪水 ……251
3.8　1992年10月9日洪水 ……253
3.9　1992年12月8日洪水 ……255
3.10　1993年8月27日洪水 ……257
3.11　1993年11月14日洪水 ……259
3.12　1994年9月30日洪水 ……261
3.13　1995年11月20日洪水 ……263
3.14　1996年9月22日洪水 ……265
3.15　1997年6月20日洪水 ……271
3.16　1998年9月16日洪水 ……274
3.17　1999年10月27日洪水 ……281
3.18　2000年7月7日洪水 ……283

第1章　研究の経緯・本報告書の概要

1.1　本報告書の位置づけ

土木研究所河川研究室では、河川局治水課・各地方建設局・北海道開発局（いずれも当時）の調査費の援助、茨城県をはじめとする関係機関の協力を得て、昭和61年に那珂川の右支川で茨城県中央部に位置する涸沼川の中流部に涸沼川洪水観測施設を設置し、この施設周辺をフィールドとして現地観測や調査研究を進めてきた。

1986～1987年度の間には、主として洪水時における流れの抵抗に関する調査に重点が置かれ、その実態と流れの抵抗の評価法に関する重要な成果が得られている。その成果は、「涸沼川における洪水流と河床変動の研究」（土木研究所報告 180 号、1990.1）にまとめられている[1),2)]。1988～1990年度の間には、洪水時の土砂動態および河道の変化に重点を置いた調査が実施され、高水敷の形成過程や高水敷上の土砂の堆積、河岸侵食の実態に関する資料が得られた。また、河床材料の動態についても、主として縮尺1/15の模型実験によって調べられた。それらは、「涸沼川洪水観測所レポート〔1〕」、（土木研究所資料第2895号、1990.10）[3)]にとりまとめられている。

1990年以降は、涸沼川洪水観測施設における流砂を現地で観測することに重点を置いて調査研究が進められ、また観測フィールドも涸沼川洪水観測施設周辺から流域に広げている。本報告書は、これらの観測結果を「涸沼川洪水観測レポート〔2〕」としてとりまとめたものである。

1.2　本報告書の構成

本報告書の構成は、まず、第2章で水系スケールでの土砂動態を把握するにあたっての前提条件となる重要な事項を示し、第3章では第2章で示した重要事項を涸沼川に適用し、有効粒径集団の区分を行った。第4章ではセグメント2-3、3区間および涸沼川の涸沼流入部付近（以下、河口テラスと呼ぶ）の地形変化量から涸沼川洪水観測施設における通過土砂量を推定した。第5章では、涸沼川で実施した流砂観測の概要と観測結果のとりまとめ方針を示した。第6章、第7章では、28.1km に位置する涸沼川洪水観測施設において実施した浮遊砂・ウォッシュロード観測、掃流砂観測についてそれぞれの観測結果を示し、各運動形態で流送される流砂の実態把握を行った。ここで、浮遊砂・ウォッシュロード、掃流砂の粒径については、涸沼川洪水観測施設のある28.1km 地点における流砂の運動形態から論じることとする。つまり、28.1km 地点で浮遊砂的運動形態、ウォッシュロード的運動形態で流下する粒径集団については第6章の浮遊砂・ウォッシュロード観測で、掃流砂もしくは浮遊砂的運動形態の一部については第7章の掃流砂観測で述べることとした。ここで、浮遊砂的運動形態で流下する粒径のうち、0.42～0.84mm の粗粒径の成分については掃流形態で流下する場合もあること、調査内容によっては掃流砂と浮遊砂的運動形態との区別が難しいことがあることから、両章で取り上げることとした。

第8章では、第6章、第7章の観測結果から涸沼川洪水観測施設における粒径別流砂量式・通過土砂量式を作成して年間の流砂量・通過土砂量を推定するとともに、第4章で行った下流部の地形変化量から推定した年間通過土砂量との比較を行い、流砂量・通過土砂量の評価手法についての検討を行った。

第9章では、流砂観測の地点を涸沼川の支川流入部（以下、その観測地点がカバーする流域を「サブ流域」と呼ぶ）に増やし、流域スケールでの土砂動態及び物質動態の把握を試みるとともに、水系スケールでの土砂動態・物質動態把握の有効なツールである「土砂動態マップ」、「物質

動態マップ」の試作を行った。

第10章では涸沼川洪水観測施設周辺（27.9km～29.1km）で継続的に実施した河岸侵食・堆積量調査結果を示した。

また、本報告書では、1990～2000年に実施した調査・観測結果を添付のCD-Rに収録するとともに、資料編に収録データの概要およびデータフォーマットを示した。

【参考文献】

1) 福岡他：涸沼川における洪水流と河床変動の研究、土木研究所報告第180号、1990.1
2) 福岡、藤田：洪水流に及ぼす河道内樹木群の水理的影響、土木研究所報告第180号、1990.1
3) 山本他：涸沼川洪水観測所レポート〔1〕1988～1989、土木研究所資料第2895号、1990.10

第 2 章　水系スケールの土砂動態把握上必要な概念

2.1　水系スケールの土砂動態把握の重要性

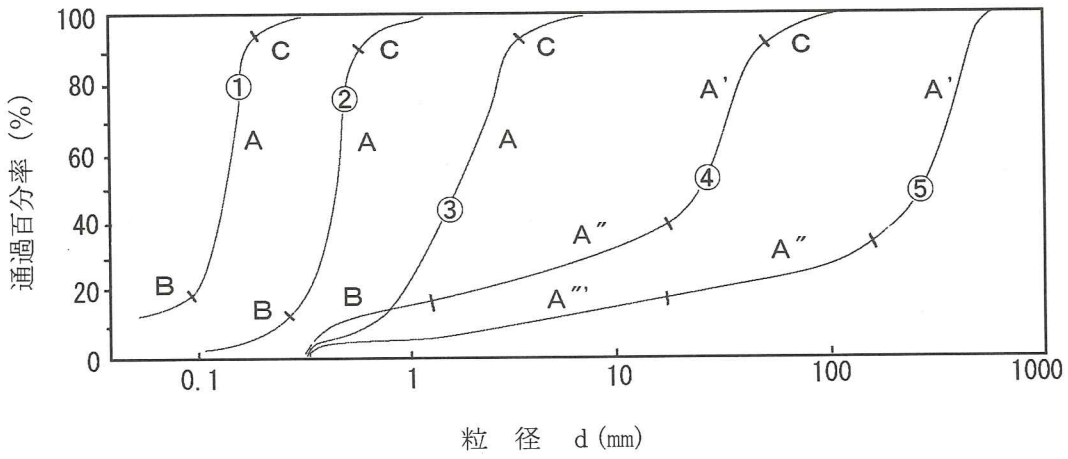
河川の土砂管理に関する今後の重要な問題として、河床低下対策、海岸保全、河川下流域での浚渫等が挙げられる。これらの問題の原因分析と効率的かつ計画的な土砂管理計画を立案するためには、問題が発生している地点の河床材料の生産・供給特性、輸送形態などの流域全体の視点からの土砂移動形態、すなわち水系一貫の土砂動態を知ることが必要である。このような水系一貫の土砂動態を把握する上で、これまでに、以下のような重要な研究がなされている。

山本[1)]は、沖積河道を縦断的にとらえた場合、河床勾配と河床材料がほぼ一定で洪水時の水理特性がほぼ同一と見なせるいくつかの区間（以下「セグメント」と呼ぶ）に分割することができ、各セグメントでは、粒径集団ごとに洪水時の動態がほぼ同じであることを見いだした。藤田、宇多、服部[2)]は、流域における土砂の動態を概念的に示すとともに、河道管理のターゲットとなる土砂環境、河床低下、海岸侵食などの各現象に直接関与する粒径集団を「有効粒径集団」と名付け、有効粒径集団別に土砂動態を示すこと、これらの動態に着目することの重要性を示した。また、山本、藤田ら[3)]は、沖積平野の堆積物調査から全国河川の粒径別土砂供給量の推定を行い、生産土砂に占める礫、砂、シルト・粘土の比率が、(0～10)：(20～40)：(55～60)であることを明らかにした。

本報告書では、これらの技術を基に水系一貫の土砂動態を必要な精度でかつ、効率的に観測するための手法の開発を目的とし、洪水時における流砂観測手法の開発・改良を実施し、涸沼川洪水観測施設をテストサイトとしてその適用性の検討および実態把握を行った。

2.2　有効粒径集団[2)]の概念

河床材料の粒径分布は、特性の異なる三つ以上の粒径集団を持っているのが普通である。そこで、山本は、**図－2.2.1** のように、粒径加積曲線上の勾配の急変点を集団区分粒径と決め、この区分粒径によって粒径集団の粒径範囲を定め、粒径集団ごとの移動特性と移動量を評価することが、河床変動の評価や土砂の分級機構を解明および解釈する上で実用的であることから、粒度分布形から粒径集団を区分する方法を提案している[1)]。具体的には、河床材料の主モードである粒径集団をＡ集団、それより細かいものをＢ集団、Ａ集団より粒径の大きいものをＣ集団と呼ぶ。



図－2.2.1　粒径集団の存在範囲

ただし、砂利を河床材料の主モードとする場合には、砂利成分をＡ集団とするとＡ集団とみなされる粒径の範囲が広く、これを一つの粒径集団と見なすことは問題が多いことから、Ａ集団を二つあるいは三つに分けてＡ’、Ａ”、Ａ”’集団とする方がよい。

洪水時に運搬される土砂は、粒径と水理量に応じてその運動形態を変化させながら流下することが明らかになっており、河床材料との交換の有無によって「河床物質輸送量」：bed-material load と「ウォッシュロード」：wash load に分類される[4]。前者については流砂の運動形態から「掃流砂」：bed load と「浮遊砂」：suspended load に分類される。本研究では、特に浮遊砂とウォッシュロードの運動形態について、土砂の鉛直方向の濃度差が大きいものを「浮遊砂的運動形態」、土砂の鉛直方向の濃度差が小さいものを「ウォッシュロード的運動形態」と区分することにする。また、本報告書では、流送土砂が当該区間河床材料の主体を構成する粒径集団（Ａ集団）と同一でありかつ河床材料と有意に混合しながら流送される土砂を「混合型」、河床材料の主体を構成する土砂とは異なりかつ河床材料と有意に混合されずに流下する土砂を「通過型」と区分する。ここで、「混合型」に分類される土砂（粒径集団）が、当該区間の河床の「有効粒径集団」である。**表－2.2.1**[5]にそれらの分類と相互の関係を示す。

表－2.2.1　混合型と通過型の土砂動態分類

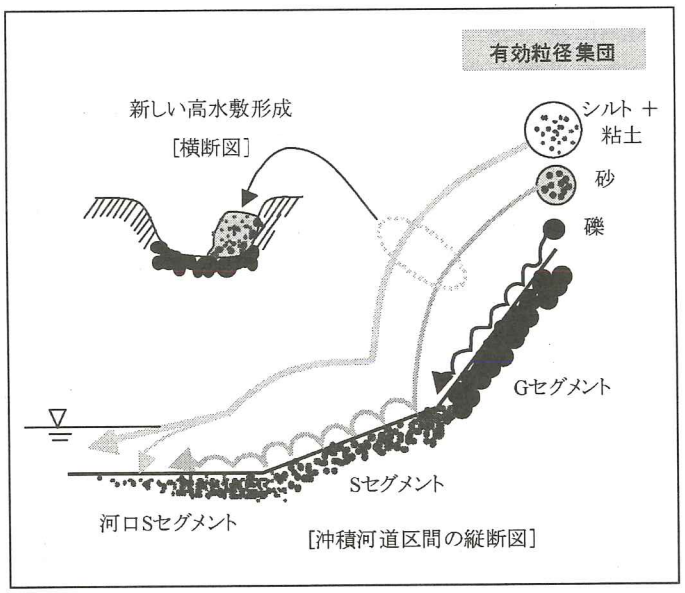
”土砂動態分類” （ある粒径集団に対して）	従来の分類	
	水理的分類 または運動形態による分類	一出水程度の時間スケールで見た(?)起源による分類
a)混合型：その場所の主河床材料と有意に混じり合いながら輸送される。河床変動に寄与できるが、その時は、自身の流送量も縦断的に変化する。	掃流砂または浮遊砂、両者の混在	Bed material load
b)通過型：その場所の主河床材料と有意には混ざり合わない（主材料の隙間を満たす程度）。河床変動にはほとんど寄与できない。その場所は”通過区間”で、自身の流送量の縦断変化は小。	多くの場合、ウォッシュロード的運動形態*。小出水時には浮遊砂的運動形態*、掃流形態のこともあり。	多くの場合 Wash load。小出水時には、Bed material load のこともあり。

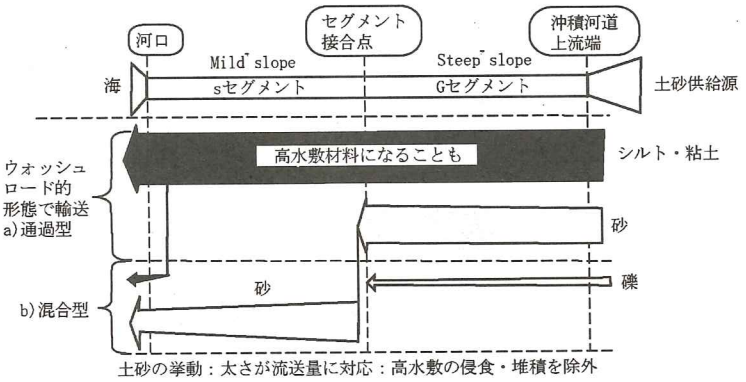
＊ウォッシュロード的運動形態：濃度分布の鉛直方向の差が小さい浮遊砂
浮遊砂的運動形態：濃度分布の鉛直方向の差が大きい浮遊砂

日本の沖積河川のうち砂河床区間（Ｓセグメント）と砂利河床区間（Ｇセグメント）がはっきり分かれた河川について粒径と土砂動態の分類を示すと**図－2.2.2** のようになる。沖積平野に供給される土砂（シルト・粘土、砂、砂利）のうち、シルト・粘土に関してはＧセグメント、Ｓセグメントともに「通過型」土砂として、河道内にほとんど堆積せずにウォッシュロード的運動形態で運搬され、大部分が海に流出する。そのうちの一部については感潮域などの緩勾配セグメントで「混合型」土砂として河床材料と有意に混合しながら流下するものや中下流域で高水敷を形成するものがある。砂については、Ｇセグメントを「通過型」土砂として河床材料と有意に混じり合うことなく、洪水時にはウォッシュロード的運動形態もしくは浮遊砂的運動形態で、小出水時に

は掃流砂として流下し、S セグメントでは「混合型」土砂として河床材料と有意に混じり合いながら掃流砂または浮遊砂として運搬される。礫に関しては、G セグメント内を「混合型」土砂として洪水時に河床材料と有意に混じり合いながら掃流砂として運ばれ、S セグメントとの境界で流送されることができなくなり堆積する。

以上の例のように、水系内で移動する土砂は、その粒径毎に動き方、河床変動への影響の仕方、河床材料との関係が大きく異なる。**図－2.2.2** の場合、礫の動きは G セグメントの河床変動に、砂の動きは S セグメントの河床変動に影響を与え、シルト・粘土の動きは高水敷の形成や河口部の地形形成、土粒子に付着して流下する栄養塩や有害物質等の物質の移動に影響を与える。このような、「ある特定の河川地形変化」にとって有効な粒径集団が「有効粒径集団」であり、対象とする河川地形変化に応じた「有効粒径集団」を追跡することにより（対象とする粒径集団のみを把握するだけで）、水系内の土砂の動きを合理的に把握することができる。





図－2.2.2 セグメント区分と土砂動態の分類 [2),5),8)]

2.3 流域スケールの土砂動態のための共通言語 －土砂動態マップ－

2.3.1 土砂動態マップとは

実際に水系内の土砂動態を把握するにあたり、土砂動態を水系スケール全体で捕らえることが重要である。このための基礎情報は、現地調査・現地観測、計算などの詳細な土砂動態の検討によって得られるものの、水系全体のスケールで見ると、土砂動態の特性が場所や粒径によって大きく変わるため、個別区間の詳細な検討を水系全体に積み上げたからといって、自動的に上記のような広い視野が得られるとは限らない。このような技術面の課題を克服するために、藤田・平舘ほか [6)] は土砂動態を極力きちんと把握しようとする努力と土砂管理方針策定との間をつなぐ情報集積・分析・編集の場が必要であると考え、具体的には、水系スケールでの土砂動態及び管理の要点を見通すための「水系土砂動態マップ」の作成・利用を提案している。

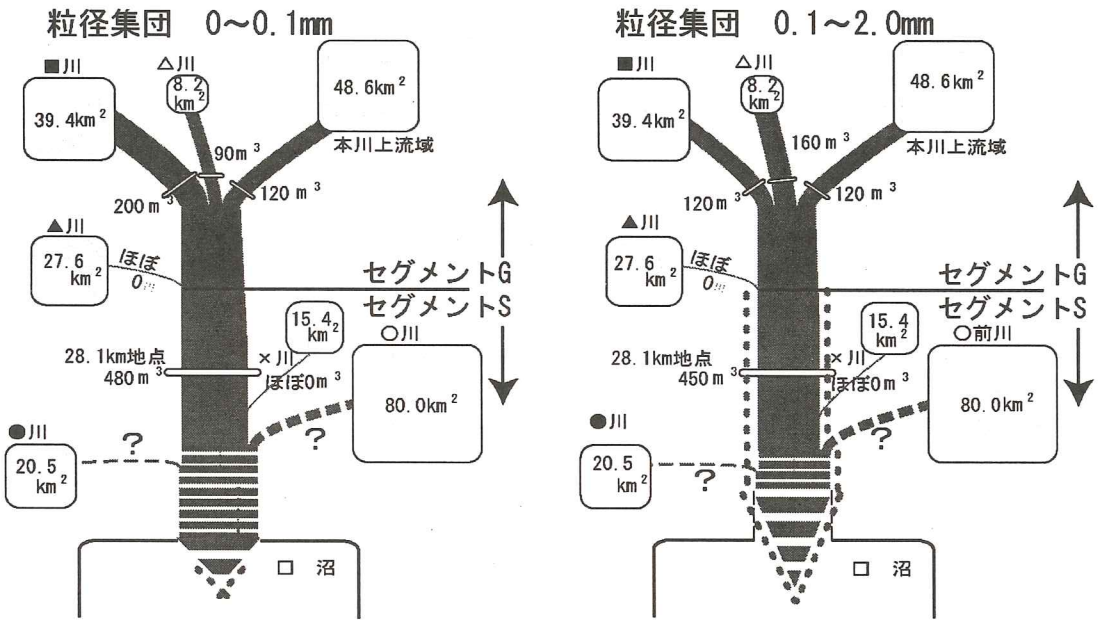
「水系土砂動態マップ」は水系における土砂の全体的な動きを簡潔に合理的に示すものである。マップ作成の一般的な要点は次の 5 点である。

①水系内で一貫した表示法とする

②極力実測に基づき、分からない部分は「分からない」ことを表示する。
③同じような挙動を示し、同じような働きを持つ粒径集団（有効粒径集団）毎に分けて表示する。
④その場所の河床材料と有意に混合しながら輸送される（「混合型」）か、ほとんど混ざらずに輸送される（「通過型」）かを分けて表示する。
⑤土砂の生産源である上流流域を、流域の特徴把握にとっても流域管理の単位としても適切なスケールをもつ単位流域（以下、サブ流域と呼ぶ）に分割する。

このようなマップの作成は土砂管理方針策定への利用のみでなく、現状の土砂動態の課題を明らかにし、当該水系に合った調査・観測を検討する上でも重要である。

図－2.3.1 を例に、本報告書で用いる水系土砂動態マップの具体的な作成方法と読み方を以下に示す[7]。



図－2.3.1　水系土砂動態マップの作成例[7]

- 水系内で、一貫した表示法とする。
- 有効粒径集団毎に分けて描く。**図－2.3.1** では、0.0～0.1mm 未満と 0.1～2.0mm の 2 つの粒径集団に分けて描いている。
- 土砂輸送量を黒線の太さで示し、堆積、侵食傾向にある区間が明確になるように表示する。**図－2.3.1** で黒線が下流に向かって細くなる区間は堆積傾向にある河道区間であることを示し、逆に黒線が下流に向かって太くなる区間は侵食傾向にある河道区間であることを示す。
- 極力実測したデータ・検証が確実なデータを用いて描くこととし、わからない場合・自信がない場合は「わからない」、「自信がない」ことを表示する。**図－2.3.1** で黒線が破線表示となっている区間は、土砂通過量がわからない、もしくは自信がないことを示している。
- 流砂観測点及び算定地点は黒線を跨ぐ線で表示し、観測された土砂輸送量を示す。**図－2.3.1** で数字に？が無いものは、実測値あるいは検証された数値であることを示し、？

がついている数値は値に自信がないことを示している。

- 河床材料と有意に混じり合いながら輸送される「混合型」土砂か、河床材料と有意に混じり合うことなく（河床変動に寄与しない形態で）輸送される「通過型」土砂かを分けて表示する。**図－2.3.1** で黒線の両サイドに点線があるものは河床材料と混じり合いながら輸送されている「混合型」であることを示し、点線がないものは河床と混じり合うことなく輸送される「通過型」であることを示す。
- 土砂の生産源である上流流域を、流域の特徴把握にとっても流域管理の単位としても適切なスケールを持つサブ流域に分割して表示する。土砂生産源となるサブ流域とその流域面積は四角形およびその大きさで示す。また、サブ流域内に土砂の流送を遮断するダム等の構造物がある場合には、ダムの集水面積を同じような四角形およびその大きさで示す。

2.3.2　土砂動態マップの利用と今後期待される利用の方向について

土砂動態マップを描くことによって、サブ流域の土砂供給特性、平野部での土砂流送形態、河床材料との有意な混合の有無、堆積領域といった、水系全体での土砂動態を総合的に把握することができる。また、このマップを土台として、次のような課題について全体を見通すことができる。

①例えば、あるサブ流域において自然的、人為的インパクトにより供給土砂の量や粒径が変化したことが、下流部の地形や自然環境におよぼす影響の短期、長期予測。

②土砂に吸着して流下する物質について、輸送量・質・供給源・堆積域の推定と、それが水質や自然環境に与える影響評価。

なお、同じ流域を対象とする場合でも、対象期間や時間・空間スケール、栄養塩等の物質など種々の動態マップを作成することにより、土砂・物質移動を多角的に捕らえることができる。このように、対象流域固有の土砂動態とそれに関わる課題を捕らえるための基本情報として、土砂動態マップは有用であるといえる。

【参考文献】

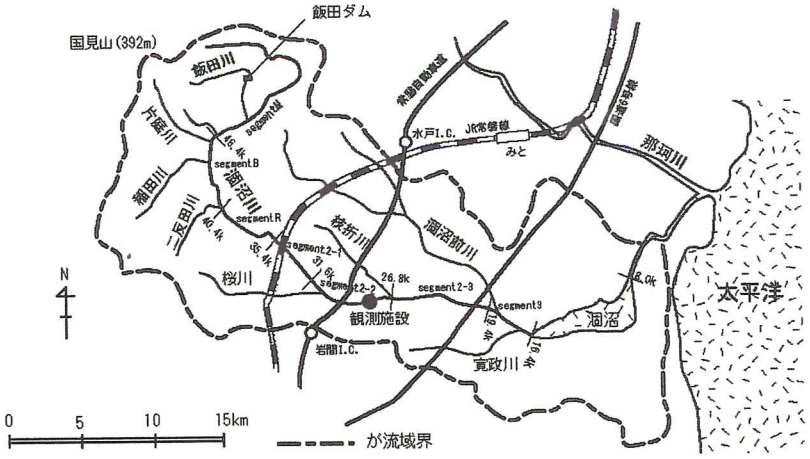
1) 山本晃一：沖積河川学（堆積環境の視点から）、pp1～pp16、山海堂、1994.9
2) 藤田、宇多、服部：水系土砂収支分析のための「有効粒径集団」の考え方の提案、土木技術資料 37-12、pp34～pp39、1995.12
3) 山本、藤田、赤堀、太田：沖積河川縦断形の形成機構に関する研究－水系環境変化に伴う河道縦断形変化の長期予測のために－、土木研究所資料、pp9～pp17、第 3164 号、1993.3
4) 土木学会：水理公式集〔平成 11 年度版〕、pp156、1999.11
5) 藤田光一：水系スケールの土砂動態のとらえ方－現象理解を実務にどう橋渡しするか？－、シンポジウム「流域・沿岸域の環境管理はいかにあるべきか」、1999.8
6) 藤田、平舘、服部、山内、加藤：水系土砂動態マップの作成と利用－涸沼川と江合川の事例から－、土木技術資料 41-7、pp42～pp47、1999.7
7) 河川局治水課、土木研究所河川研究室、各地方建設局河川計画課：水系一貫土砂管理に向けた河川における土砂観測、土砂動態マップの作成及びモニター体制構築に関する研究、平成

12 年度（第 54 回）建設省技術研究会指定課題、pp17～pp29、平成 12 年 11 月
8) 望月、藤田、平林、平舘：新しい観点からの浮遊砂・ウォッシュロード観測の提案、土木技術資料 38-10、pp50～pp55

第 3 章　涸沼川の河道特性と有効粒径集団の区分

3.1　涸沼川流域の概要

図－3.1.1 に涸沼川の流域図を示す。涸沼川は茨城県中央部を流下する一級河川那珂川の右支川であり、その流域面積は 459km²、流路延長は 65km である。涸沼川はその下流部である 8.0～16.4km 区間で一旦涸沼（面積 9.1km²）を介し、那珂川へ合流する。涸沼流入部から 11.7km 上流の 28.1km 地点には、涸沼川洪水観測施設を有する。写真－3.1.1 に観測所付近の河道状況を示す。なお、涸沼川の詳細な河道特性は前報 [1]に示してあるため、そちらを参照されたい。



図－3.1.1　涸沼川の流域図



写真－3.1.1　観測施設付近の河道状況

3.2 涸沼川の河道縦断特性(セグメント区分)

(1)セグメント区分

図－3.2.1 に涸沼より上流の涸沼川の縦断形と河床材料粒径の縦断変化、セグメント区分を示す。全川を通じて河床勾配の急変はなく上流に行くに従い徐々に勾配が急になる縦断形をなしている。河床材料粒径分布は似た特徴を持ついくつかの区間に区分でき、河床縦断形と合わせると、次の７つのセグメントに区分できる。なお、セグメント区分結果は、図－3.1.1 にも示してある。

・ セグメント 3 (16.4～19.4km)

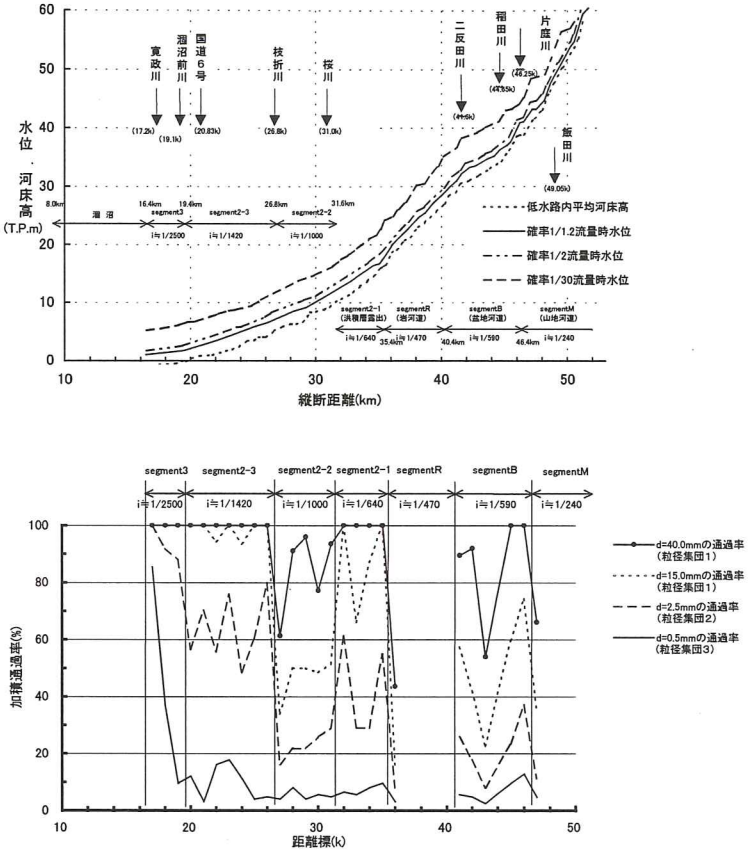
涸沼流入部～涸沼前川合流点上流までの 16.4～19.4km 区間。河床勾配は 1/2,500 と緩やかで、河床材料は粒径 0.5mm 前後の細砂・中砂からなる。

・ セグメント 2-3 (19.4～26.8km)

セグメント 3 の上流端～枝折川合流点までの 19.4～26.8km 区間。河床勾配は 1/1,420、河床材料は粒径 2.5mm 程度の粗砂・小礫が主体となっている。

・ セグメント 2-2 (26.8～31.6km)

枝折川合流点～桜川合流点上流までの 26.8～31.6km 区間。河床勾配は 1/1,000、河床材料は粒径 2.5mm 程度の粗砂・小礫と粒径 10mm 以上の礫で構成されている。涸沼川洪水観測施設は、このセグメント内にある。



図－3.2.1 涸沼川の縦断形とセグメント区分(涸沼より上流部)

・ セグメント 2-1 (31.6～35.4km)

セグメント 2-2 上流端からＪＲ常磐線鉄橋の上流までの 31.6～35.4km 区間。河床勾配は 1/640 と急になり、所々に洪積層が露出している。河床材料は、セグメント 2-3 と同様、粒径数 mm の粗砂・小礫が主体となっている。セグメント 2-2 で見られた粒径 10mm 以上の礫は河床材料にほとんど含まれない。

・ セグメント R (35.4～40.4km)

セグメント 2-1 上流端から笠間盆地出口までの 35.4～40.4km 区間。河床勾配は 1/470 とさらに急になる。河床や河岸に岩が露出する岩河道狭窄区間となっている。セグメント R は、Rock の頭文字である。

・ セグメント B (40.4～46.4km)

笠間盆地の中を流れる 40.4～46.4km 区間。河床勾配は、下流で緩く上流に行くに従い急になるが、平均して 1/590 程度である。河床材料は、粒径数 mm の粗砂・小礫と粒径 10mm 以上の礫

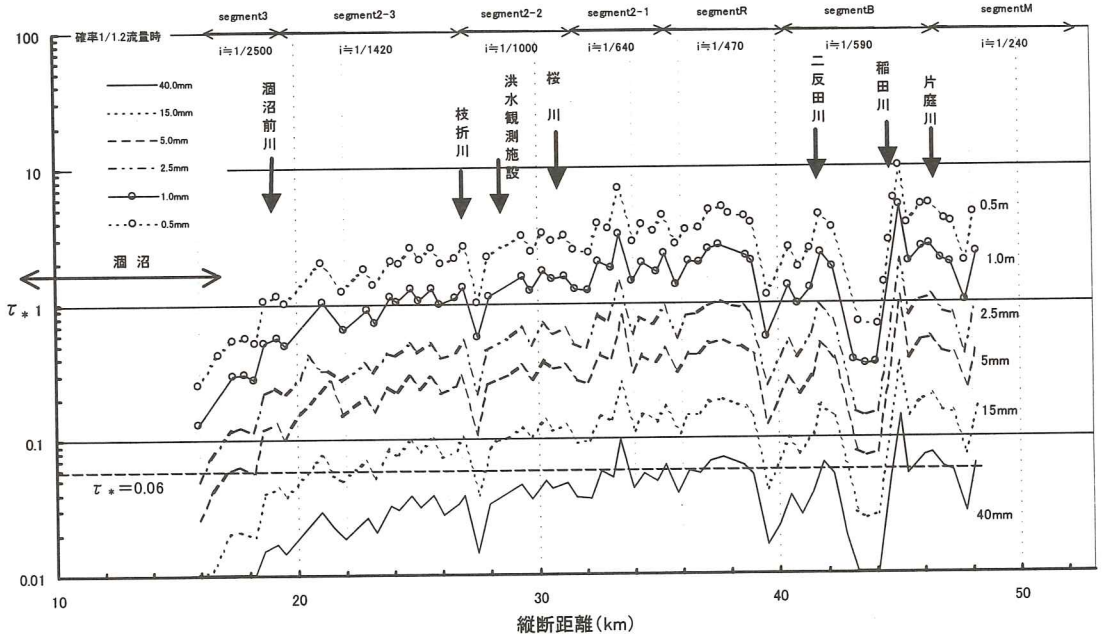
から構成される。このセグメントで支川の二反田川、稲田川、片庭川が合流している。セグメントBは、Basinの頭文字である。

・ セグメントM（46.4km～）

46.4kmより上流。山間部を流れるようになる。河床勾配はさらに急になり1/240程度。河床材料がたまっている場所を見ると、粒径10mm以上の礫が主体である（**写真－9.2.1**参照）。セグメントMは、MountainのMである。

(2)洪水時の掃流力の縦断特性

図－3.2.2は、確率1/1.2流量における不等流計算結果をもとに、粒径別無次元掃流力τ_*を計算し縦断図にしたものである。図から、粒径5mm以下の材料は、セグメントMからセグメント2-3まで無次元掃流力が$0.06<\tau_*$となっている。このことから、上流域で供給される土砂のうち粒径5mm以下の材料は、28.1kmの洪水涸沼川洪水観測施設付近まで到達すると考えられる。逆に、セグメント3（16km～19.1km）区間では、粒径2.5mm以上の材料は、この区間で無次元掃流力が$\tau_*<0.06$に減少するため移動できなくなり堆積するものと考えられる。



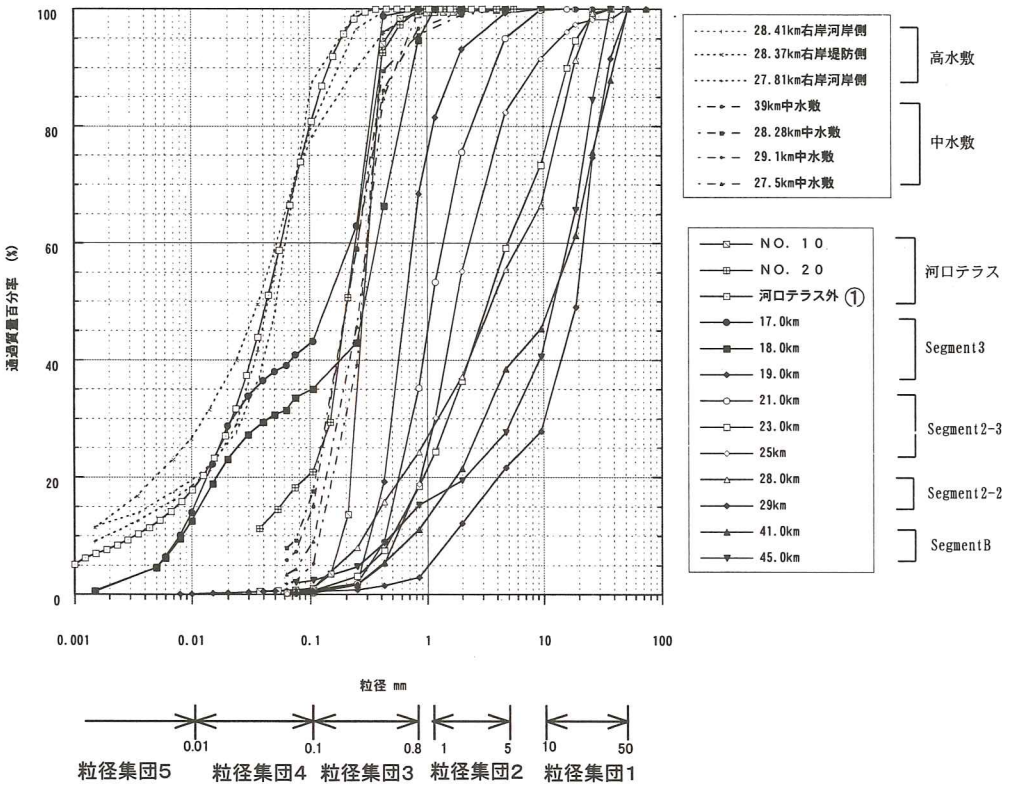
図－3.2.2 粒径別τ_*縦断計算値（確率1/1.2流量時）

3.3 涸沼川における有効粒径集団の区分

第2章で述べたとおり、水系内への供給土砂量・流送土砂量を2.2で示した有効粒径集団の観点から追跡することによって、ある区間へ及ぼす地形変化の推定、もしくはある区間に影響を及ぼす土砂を供給域で制御するといった水系スケールでの土砂管理が合理的に実施可能となる。そのような有効粒径集団毎の土砂動態を把握する上では、まず、供給・輸送される土砂のうち、どの粒径がどの河道区間の地形変化を支配するのかを対応づけ、ある地形変化に同じように影響を及ぼす土砂の粒径範囲を粒径集団としてまとめて整理することが重要である。

そこで、これ以降涸沼川において土砂動態の把握手法の検討および水系土砂動態マップの作成を行うに当たり、涸沼川を構成する材料について粒径集団の区分を行うこととした。**図－3.2.1** で区分した涸沼川におけるセグメント毎の河床材料の粒度分布を**図－3.3.1** に示す。図には涸沼湖内および涸沼川中流部の高水敷・中水敷の河床材料についても併せて示した。なお、凡例中にある No.10,No.20,河口テラス外①は、涸沼川の涸沼流入部に形成されたテラス地形上の材料であり、第 4 章の**図－4.1.1** に示す地点に対応している。

図－3.2.1 及び**図－3.3.1** より、涸沼川では、流送される土砂を**表－3.3.1** に示す粒径集団１～５までの５つの粒径集団に区分することができる。



図－3.3.1 セグメント毎の河床材料の粒度分布

・ 粒径集団１

粒径 10～50mm の粗礫分であり、セグメント M（46.4km～）、B（40.4～46.4km）の河床材料Ａ’集団、セグメント 2-1（31.6～35.4km）、2-3（19.4～26.8km）の河床材料Ｃ集団を形成している。セグメント 2-2（26.8～31.6km、**図－3.3.1** の 28、29km 地点）では、セグメント B と同様に河床材料のＡ’集団を形成している。

・ 粒径集団２

粒径 1～5mm の粗砂・小礫であり、セグメント 2-1（31.6～35.4km）、2-3（19.4～26.8km）の河床材料Ａ集団、セグメント B（40.4～46.4km）及びセグメント 2-2（26.8～31.6km）の河床材料Ａ”集団を形成している。セグメント３の上端（**図－3.3.1** の 19km 地点）では河床材料Ｃ集団を形成している。

・ 粒径集団３

粒径 0.1～0.8mm の細砂・中砂であり、セグメント 3（16.4～19.4km）の河床材料Ａ集団、涸

沼流入口の河口テラスの河床材料Ａ集団、涸沼川中流部の中水敷(写真－3.3.1参照)材料を形成する。また、セグメント B (40.4～46.4km)、セグメント 2-1 (31.6～35.4km)、2-2 (26.8～31.6km)、2-3 (19.4～26.8km)の河床材料Ｂ集団、中流域の高水敷材料及び河口テラス下流底質材料のＣ集団も形成している。



写真－3.3.1 涸沼川中流域のテラス地形

・ 粒径集団４

粒径 0.1～0.01mm のシルトであり、涸沼流入口の河口テラス下流の底質材料、涸沼川中流域の高水敷材料を形成している。また、セグメント３及び涸沼流入口河口テラスの河床材料Ｂ集団も形成している。

・ 粒径集団５

粒径 0.01mm 未満のシルト・粘土であり、図－3.3.1作成にあたって資料を収集した範囲では主たる構成材料となっている場所はなく、海まで流出していると考えられるが、涸沼湖心の底質材料を形成している可能性もある。また、中流域高水敷材料及び河口テラス下流底質のＢ集団も形成している。

表－3.3.1 涸沼川における粒径集団区分

		粒径集団1 d=50.0 ～10.0mm (礫)	粒径集団2 d=5.0 ～1.0mm (粗砂・小礫)	粒径集団3 d=0.8 ～0.1mm (細砂・中砂)	粒径集団4 d=0.1 ～0.01mm未満 (シルト)	粒径集団5 d=0.01mm未満 (粘土)
Segment-M (46.4km～)		A'集団	A"集団	B集団		
Segment-B (40.4～46.4km)						
Segment-R (35.4～40.4km)						
Segment-2	2-1 (31.6～ 35.4km)	C集団	A集団			
	2-2 (26.8～ 31.6km)	A'集団	A"集団	B集団		
	2-3 (19.4～ 26.8km)	C集団	A集団			
Segment-3 (16.4～19.4km)			C集団	A集団		
涸 沼 (8.0～ 16.4km)	河口テラス			A集団 (0.4～0.1mm)	B集団	
	河口テラス より下流			C集団 (0.4～0.1mm)	A集団	B集団
	湖 心				C集団(？)	A集団(？)
沼下流 (0.0～8.0km)				A集団(？)	B集団(？)	
高水敷形成				C集団 (0.4～0.1mm)	A集団	B集団
中水敷形成				A集団 (0.4～0.1mm)	B集団	

【参考文献】

1) 山本他：涸沼川洪水観測所レポート〔１〕、pp19～pp80、土木研究所資料第 2895 号、1990.10

第4章　セグメント2-3～河口テラスにおける地形変化量からの粒径別通過土砂量調査

本章では、セグメント2-3区間～涸沼の涸沼川流入部付近（以下、河口テラスと呼ぶ）の地形変化量と河床材料の粒径分布をもとに、涸沼川洪水観測施設～河口テラスまでの粒径別の土砂動態を把握しようとしたものである。

4.1　調査方法

図－3.1.1に示したとおり、涸沼川は下流部の8～16.4kmに涸沼を、16.4～19.4km区間に河床勾配1/2,500のセグメント3区間を介して流下している。このセグメント3～河口テラスでは、上流部に比べて掃流力が急激に減少し、上流から流送されてきた土砂の粗粒成分が堆積しやすい。従って、この区間の河床変動量を求めることによって、粒径集団2（1～5mm）、粒径集団3（0.1～0.8mm）の土砂流入量と測量区間における河床材料の土砂収支を算出することが可能と考えられる。そこで、2つの時点における横断測量結果の比較を行い河道内の堆積量を算出し、また河床材料調査結果を用いて粒径別の土砂移動量を推定した[1),2)]。

調査は、①**図－4.1.1**に示す涸沼の河口テラス500×200mの範囲と、②涸沼川16.4km～19.1km区間（セグメント3区間）、③19.1km～26.6km区間（セグメント2-3区間）で実施した。測量手法、実施時期等は以下の通りである。

①河口テラス

測線：涸沼川の流入方向に25m間隔で横断測線を設定し、深浅測量を実施(**図－4.1.1**参照)した。

使用した横断データ：1994年と1997年

河床材料：1994年、1996年における河床材料粒度分布調査結果の平均値を用いた。

②16.4km～19.1km（セグメント3）区間

測線：200m間隔に測線を設置し、水準測量を実施した。

使用した断面データ：　1987年と1998年の断面測量データを用いた。

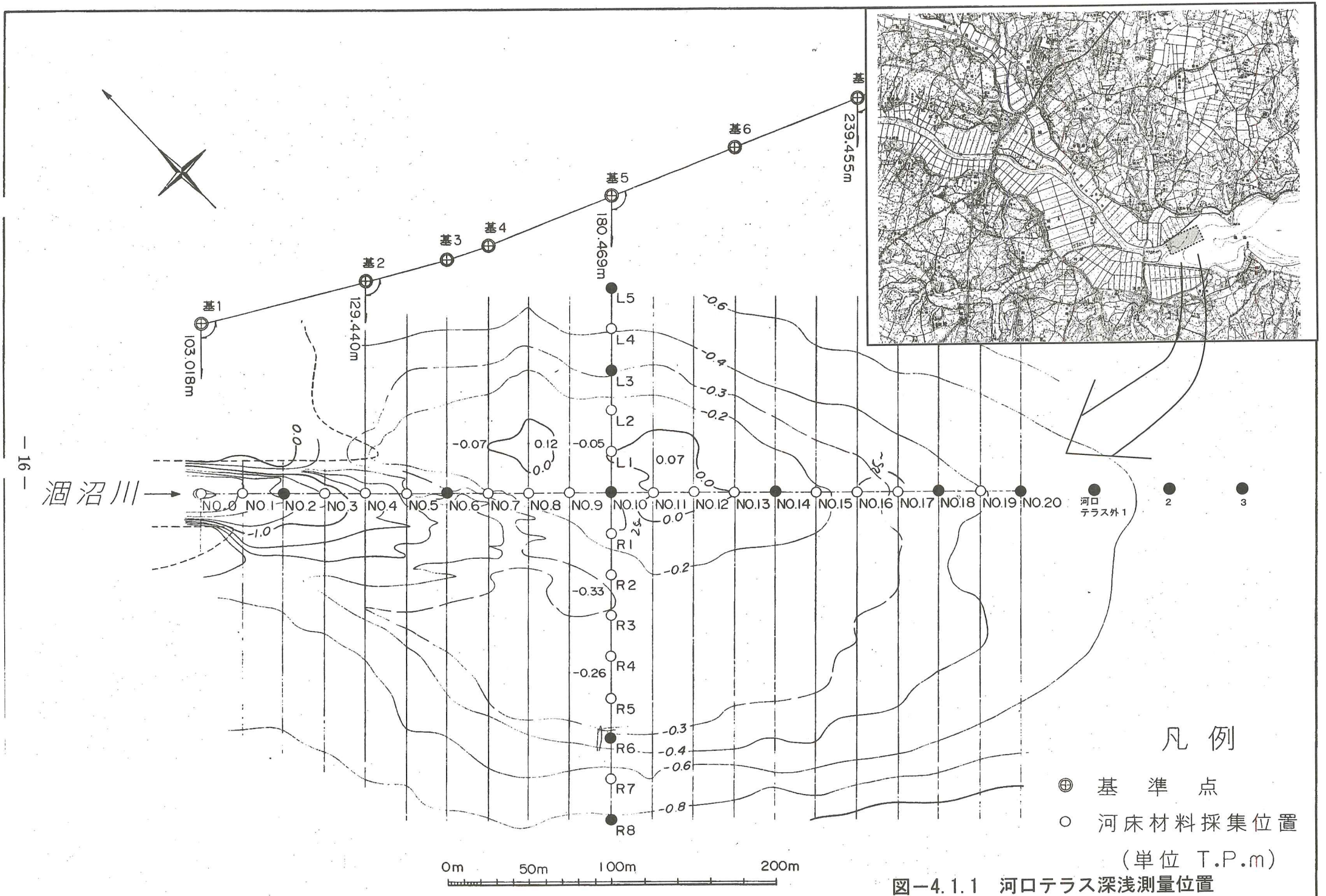
河床材料：1987、1998年における河床材料粒度分布調査結果の平均値を用いた。

③19.1km～26.6km（セグメント2-3）区間

測線：200m間隔に横断測線を設置し、水準測量を実施した。

使用した断面データ：1987年と1999年の断面測量データを用いた。

河床材料：1987、1998年における河床材料粒度分布調査結果の平均値を用いた。



図—4.1.1 河口テラス深浅測量位置

4.2　調査結果

4.2.1　堆積状況

図－4.2.1 に区間毎の年あたり土砂堆積・侵食量を粒径別に示す。主な堆積区間は、河口テラス、16.4～17.2km 区間（セグメント 3 下流端）、18.2～19.6km 区間（セグメント 3 の上流端とセグメント 2-3 の下流端）の 3 区間である。各区間の堆積物の粒度組成は、河口テラスでは 0.075mm 未満（粒径集団４）が、16.4～17.0km では 0.1～0.425mm（粒径集団３）と 0.075mm 未満（粒径集団４）が、18.2～19.4km では 0.1～0.84mm（粒径集団３）と 0.84～9.52mm（粒径集団２）が主な構成材料となっている。19.4km より上流（セグメント 2-3）の堆積物は、0.84～9.52mm（粒径集団２）と 0.21～0.84mm（粒径集団３）が主たる構成材料となっている。21km 付近で突出した堆積がみられるが、この地点で中州が形成された影響によるものである。**図－4.2.2** に粒径別の河口テラスからの累積土砂堆積量を示す。16.4km～19.4km（セグメント３区間）において、上流から下流に移るに従って、掃流力の低下とともに粒径範囲ごとに土砂が分級されて堆積している様子がわかる。すなわち、粒径集団２（0.84～9.52mm）と粒径集団３の粗粒分（0.42～0.84mm）はその大部分がセグメント３の上流端（18.4～19.4km）区間に集中して堆積するが、粒径集団３（0.1～0.4mm）はセグメント３区間全体に均等に堆積する。また、粒径集団４（0.01～0.1mm）は、大部分が河口テラスに堆積する。この結果は、**図－2.2.2** の概念図とよく合っている。

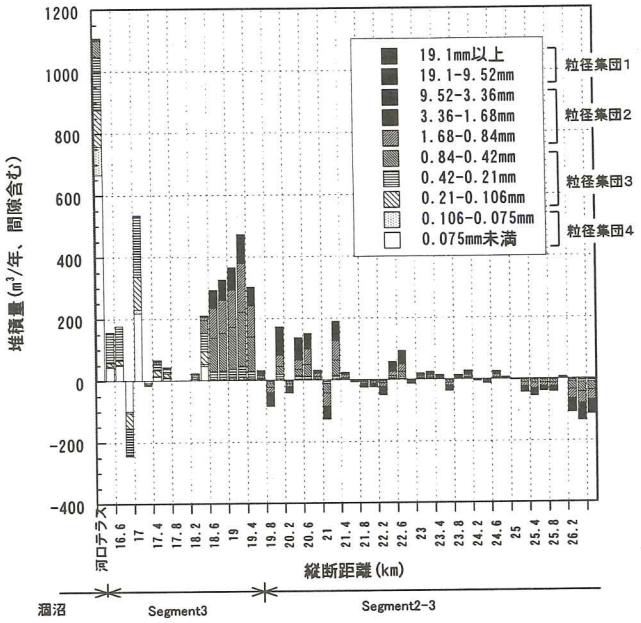


図-4.2.1　区間毎の土砂堆積・侵食量

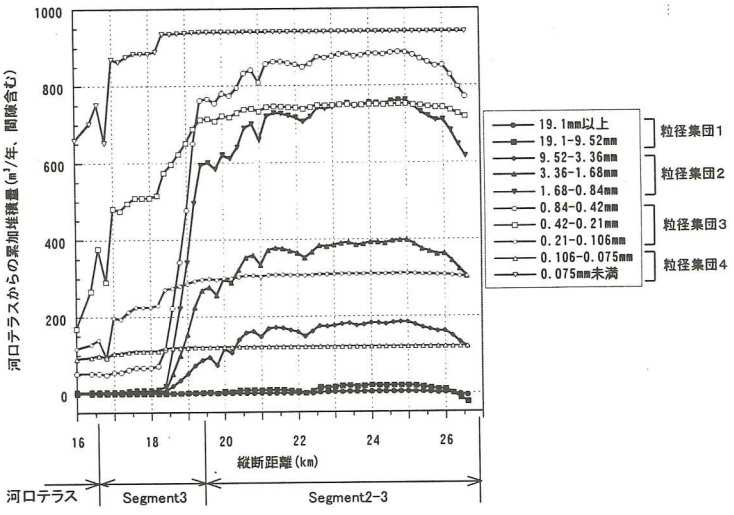


図-4.2.2　河口テラスからの累加土砂堆

セグメント 2-3（19.4～26.6km）区間に着目すると、25.8km より上流で河床低下が見うけられるが、総じて堆積・洗掘量は少なくなる。特に 23～25.8km 区間では少なく、流砂が動的平衡状態になっていると考えられる。その検証のため、**図－4.2.3** に不等流計算から求めた τ_* の縦断図を示す。τ_* の算出は平均年最大流量（涸沼川においては 1/1.2 確率[3]）時の不等流計算結果を用い、粒径は 23～25km 区間のほぼ平均粒径である 3mm とした。図より、23km 付近から上流において、τ_* が縦断的にほぼ 0.35～0.45 で一定となっている。また、**図－4.2.4** に低水路幅の縦断変化を示すと、22km より上流では低水路幅はほぼ一定である。従って、この区間の土砂移動量は前述の

通り縦断的に平衡状態になっているといえる。

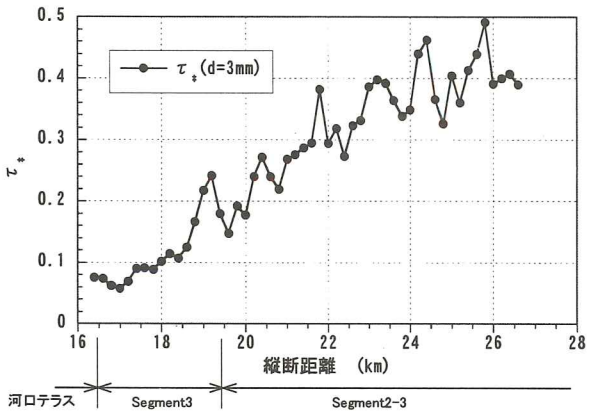


図-4.2.3 τ_*縦断図(確率 1/1.2 流量時、d=3mm)

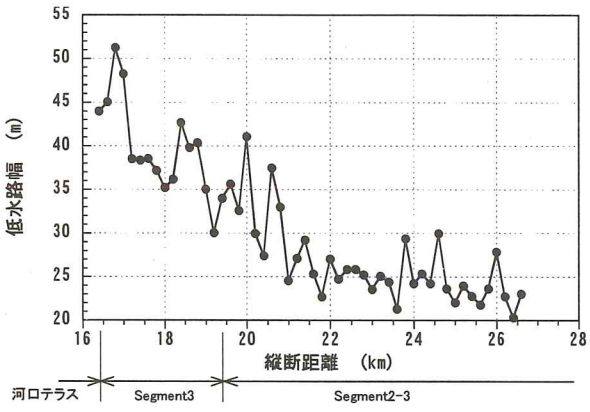


図-4.2.4 低水路幅の縦断分布

4.2.2 通過土砂量の算出

(1)調査限界

セグメント 2-3、3 及び河口テラスの堆積量から粒径別土砂移動量の推定を試みる条件として、河口テラス部までの土砂収支が閉じている必要がある。つまり、河口テラス部の測量範囲よりも下流に流出する粒径集団の土砂については土砂移動量を把握することができない。そこで、河口テラスで実施した粒度分布調査から、河口テラス内の土砂の分級状況を把握することとした。

図－4.2.5 は**図－4.1.1** の●地点で実施した粒度試験結果である。ここで、河口テラスより外部に位置する「河口テラス外①～③」に着目すると、その最大粒径は 0.2～0.3mm であり、それ以上の粒径の材料は存在しない。以上より、セグメント 2-3、3、河口テラスにおける堆積量からの土砂移動量の推定は、0.2～0.3mm 以上の粒径であれば可能であるといえる。

次に、粗粒径の土砂に目を向けると、**表－3.3.1** に示した有効粒径集団区分より、粒径 10mm 以上の粒径集団 1 の土砂は本調査対象外であるセグメント 2-2 から上流に存在するため、本調査によって正確な土砂移動量を把握することは不可能であると考えられる。

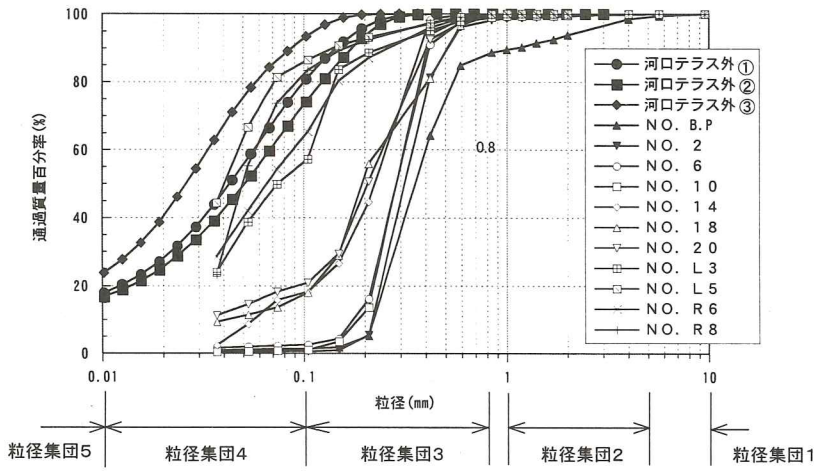


図-4.2.5 河口テラス部の粒度試験結果

(2)年当たり粒径別通過土砂量の推定

次に、上記測量結果を用いて、28.1km より下流における通過土砂量の推定を行う。河口テラス部と河道内の測量を実施した期間はそれぞれ異なっており、そのままでは比較できないことから、年あたりの土砂移動量として整理する。なお、**図－4.2.2** の年あたりの累積堆積量で河口地点（16.0～16.4km）で値が 0 となっていないのは、河口テラスの堆積量を加えたためである。

本調査で測量を行っていない 26.6～28.1km で堆積も侵食もないと仮定すると、観測地点における年間通過土砂量は**図－4.2.6** の通りである。ここで、(1)の結果より通過土砂量の算出が可能な最小粒径は 0.2～0.3mm であることから、図にその旨を示してある。0.21～0.075mm の粒径範囲の通過土砂量が小さくなる傾向を示すのは涸沼の河口テラス下流へ土砂が流送されたためと考えられる。0.42～0.21mm の粒径集団については、河口テラス外へ流出する粒径が存在するが、**図－4.2.5** に示すとおり、河口テラス外の底質材料中に占める割合が少ないことから通過土砂量データとして差し支えないものと考えられるものの、ここでは(1)の検討結果に従い、今後は参考値として検討を進めていくこととする。

0.42mm 以上の粒径では、本調査による結果では 0.42～0.84mm の粒径が最も多く、780m³/年（間隙込み）の通過量があるのに対し、粒径が大きくなるに従って通過土砂量が減少する傾向となっている。特に 9.52mm 以上の粒径集団 1 ではマイナスの値となった。この理由として、粒径集団 1 の材料は、**図－1.2.1** に示す通りセグメント 2-2 より上流でその存在確率が高く(1)で述べた通り本調査手法の適用範囲外であるにもかかわらず、**図－4.2.1、4.2.2** で河床低下傾向にある 25km より上流にのみC集団として存在したため、調査区間から侵食された土砂としてカウントされた可能性が高い。また、河床材料調査が 1km ピッチと粗いことから、本来河床低下区間の河床に存在している粒径と異なる粒径がカウントされた可能性や河床低下により進んだはずのアーマリングが今回の調査方法では把握できなかった可能性も考えられる。

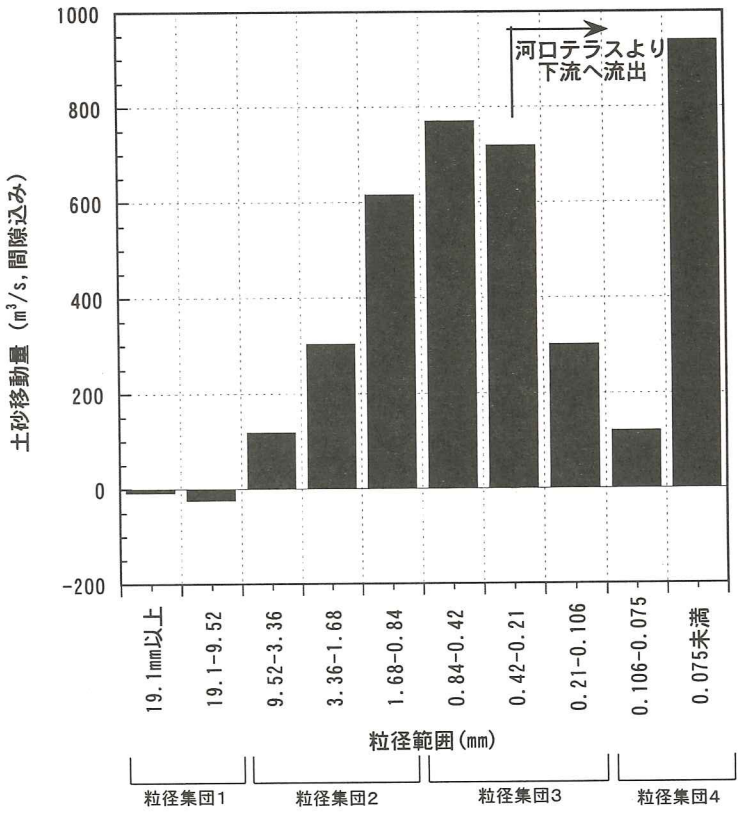


図-4.2.6 観測施設における年間土砂移動量

(3)まとめ

セグメント 2-3、3 及び河口テラスに堆積した土砂量から、涸沼川洪水観測施設を通過している粒径別流砂量（空隙込み）を推定すると、**図－4.2.6** 及び次に示すとおりである。

粒径集団１

9.52mm 以上：不明

粒径集団２

3.36～9.52mm：100 m^3/年

1.68～3.36mm：300 m^3/年

0.84～1.68mm：600 m^3/年

計　　：1000 m^3/年

粒径集団３

0.42～0.84mm：770 m^3/年

0.21～0.42mm（参考）：700 m^3/年以上

0.106～0.21mm（参考）：300 m^3/年以上

計　　（参考）：1770 m^3/年以上

粒径集団４

0.106mm～0.01mm（参考）：1000 m^3/年以上

粒径集団５

0.01mm 未満：不明

【参考文献】

1) 平舘、藤田他：細粒土砂に関する涸沼川の水系土砂動態マップ、土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要２、pp328～pp329、社団法人土木学会編、1999.9

2) 藤田、平舘、服部、山内、加藤：水系土砂動態マップの作成と利用－涸沼川と江合川の事例から－、土木技術資料 41-7、pp42～pp47、1999.7

3) 山本他：涸沼川洪水観測所レポート〔１〕、pp19～pp80、土木研究所資料 2895 号

第5章　涸沼川洪水観測施設における流砂観測の概要

5.1　目的

第5章～第7章では、28.1km地点の涸沼川洪水観測施設において実施した洪水時・平水時の流砂観測について述べる。これは、涸沼川洪水観測施設において、洪水時・平水時の流砂を直接採取して、涸沼川洪水観測施設のある河道断面の通過土砂量を明らかにしようとするものである。具体的な検討内容は、以下の3点である。

①流砂観測手法の開発
②涸沼川洪水観測施設における土砂動態の実態把握
③粒径別流砂量・年間通過土砂量の評価法の検討

5.2　粒径別運動形態の推定と観測手法の選定

(1)粒径別運動形態の推定

2.2で述べたように、流砂は粒径と水理量によって運動形態が異なっている。また、流砂観測の手法も様々なものがあり、手法ごとに採取できる流砂の運動形態が異なる。このため、流砂観測を合理的かつ高精度に実施するためには、観測実施地点の水理量を明らかにし、観測の対象とする土砂の運動形態を推定して流砂観測手法を適切に選択することが重要である。以下に涸沼川洪水観測施設における水理量毎の流砂の運動形態を粒径別に推定し、流砂観測手法の選定についての検討結果および観測で得られる資料の整理方針を述べる。

まず、流砂の運動形態の違いが観測手法に与える影響について検討する[1)]。浮遊砂・ウォッシュロード観測を例に述べれば、水深方向の土砂の濃度が一様なウォッシュロード的運動形態の流砂であれば、水面付近でバケツ採水を行い土砂の濃度を測定して流量に掛ければ、その断面を通過している流砂量がわかる。一方、水深方向に濃度分布を持つ浮遊砂的運動形態の流砂であれば、表面の土砂の濃度がわかってもその断面を通過する流砂量を算出することはできないため、鉛直方向の採水を行い土砂濃度の鉛直分布を把握した上で断面を通過する流砂量を算出しなければならない。また、河床付近のみを掃流形態で移動する掃流砂であれば、河床面上を移動する流砂の量を直接採取する掃流砂観測を実施する必要がある。そこで、流砂の鉛直濃度分布にラウス式を、流速の鉛直分布に対数式を仮定し、流砂の運動形態区分を試みる。**図－5.2.1**は、ラウス式による土砂の鉛直濃度分布と対数式による鉛直流速分布をもとに流砂フラックスの鉛直分布を算出したものである。ここで、ラウス式・対数分布式は次式を用いている[2)]。

ラウス式

$$\frac{C(y)}{Ca}=\left(\frac{h-y}{y}\cdot\frac{a}{h-a}\right)^{z} \qquad (5\text{-}1)$$

$$Z=\omega_0/\kappa u_*$$

ここに、y：流路床からの距離、h：水深、C：浮遊砂濃度、Ca：z=aにおける濃度、w_0：砂粒子の沈降速度、k：karman定数(=0.4)、u_*：摩擦速度$(gHI)^{1/2}$である。

対数分布式

$$\frac{u(y)}{u_*}=8.5+5.75\log_{10}\frac{y}{k_s} \qquad (5\text{-}2)$$

ここに、k_s：相当粗度である。

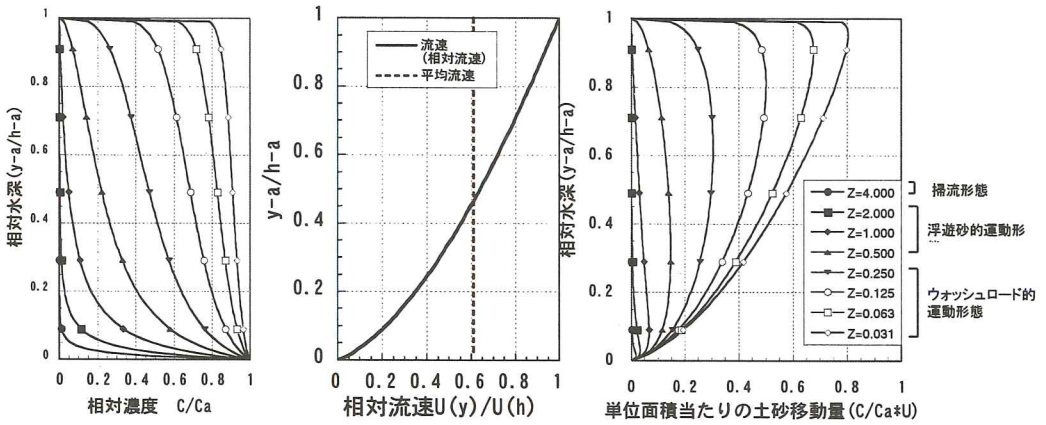


図-5.2.1 土砂の相対濃度・流速分布・土砂フラックスの鉛直分布

流砂フラックスの鉛直分布は、高さ y における相対濃度 C/Ca と流速 U を乗じて求めた。また、流砂フラックスは、式(5-1)の Z 毎に示した。

図より、河道内を流下する土砂濃度の鉛直分布がラウス分布に、鉛直流速分布が対数則に従うとすると、Z<0.125 の微細粒径土砂の流砂フラックスは水面付近が最も多くなることが分かる。Z が増加するとともに、流砂フラックスは水深方向に一様となり、Z が 2 程度の場合の流砂フラックスは河床付近のみに見られるようになる。

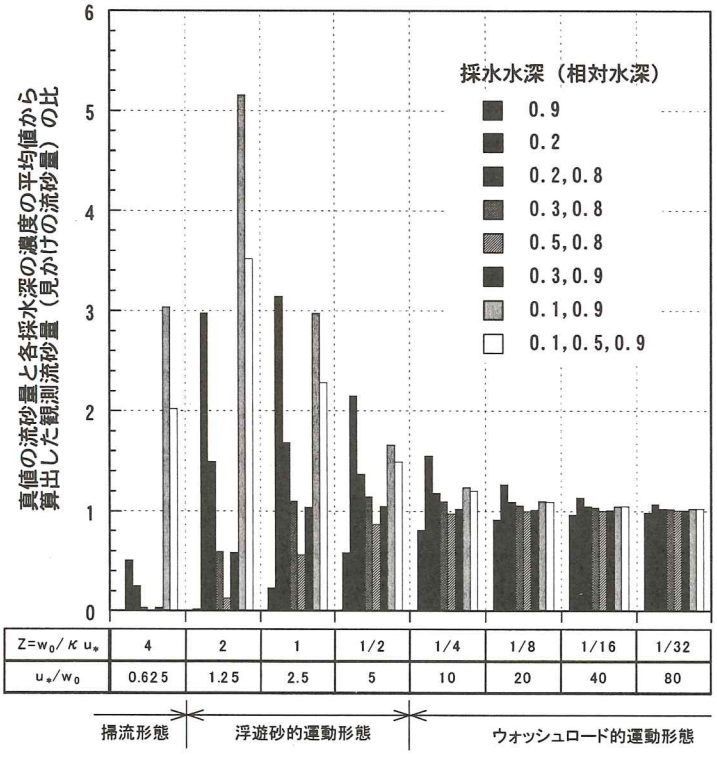


図-5.2.2 見かけの流砂量と土砂フラックスの比

図－5.2.1 のような鉛直濃度分布と流速分布を持つ場合に、どの位置の土砂濃度を把握すれば（どの水深で採水すれば）必要な精度の流砂量観測データが得られるのかを検討する。**図－5.2.2** は、**図－5.2.1** における流砂フラックスの鉛直方向の積分値（真値の流砂量）と、複数高さの土砂濃度を平均した濃度に単位幅流量を乗じた観測流砂量（例えば、凡例の 0.3、0.9 は、相対水深 0.3 と 0.9 の地点で採水し、両者の土砂濃度を平均して単位幅流量を乗じた値を示す）の比を式(5-1)の $Z(u_*/w_0)$ 毎に整理した結果である。図の見方として、縦軸の値が 1 の時に断面内の真値の流砂量と、ある水深での採水によって得られる観測流砂量（見かけの流砂量）の値が一致することを示している。図から、Z<1/8 であれば、表面採水（相対水深 0.9）で流砂観測を行っても誤差

は１割以内であることがわかる。Z=1/4 でも、表面採水による流砂観測の誤差は２割程度である。逆に、1/2<Z では、複数の適切な高さで採水を行って観測しないと、観測流砂量の誤差が大きくなることがわかる。

表－5.2.1 は、涸沼川洪水観測施設における水理量と粒径と上記 u_*/w_0（Z）区分を対応づけるために作成した一覧表である 1)。表の最上欄には有効粒径集団区分と各粒径集団が涸沼川のどの地形変化に寄与するかを示してある。なお、水理量の算定にあたっては、等流を仮定している。表には、上記の u_*/w_0 区分(Z)毎に色分けするとともに、各区分毎に実施すべき観測手法を示した。

表－5.2.1 より、粒径集団４に属する粒径 0.075mm の砂は、T.P.7m 以上の水位で $10<u_*/w_0$(Z<1/4) のウォッシュロード的運動形態になると推定される。また、粒径集団３は、粒径や水理量（洪水規模）によって土砂濃度の鉛直分布、流砂の運動形態が異なっている。例えば、粒径 0.42mm では、水位 T.P.7m 以下において、$0.65<u_*/w_0<1.25$ (Z<2) の掃流形態の流砂になると推定される。一方、粒径 0.42mm の水位 T.P.7.5m 以上、粒径 0.21mm の全水位時、粒径 0.106mm の水位 T.P.8m 以下では、$1.25<u_*/w_0<10$ (1/4<Z<2) の浮遊砂的運動形態の流砂になると推定される。粒径 0.84mm 以上の粒径集団２は、概ね $u_*/w_0<1.25$ (2<Z) の掃流形態の流砂になると推定される。

表-5.2.1 各水理量毎の粒径別 u_*/w_0

有効粒径集団		粒径集団2		粒径集団3				粒径集団4
有効粒径集団が寄与する場所		セグメント2		セグメント3、河口テラス 中水敷形成				涸沼テラスより下流及び高水敷形成
水位	d(mm)	3.36	1.68	0.84	0.42	0.21	0.106	0.075
(T.P.m)	w_0(cm/s)	39.38	24.80	14.41	7.20	3.60	1.34	0.67
12.0	u_*/w_0	0.56	0.89	1.53	3.06	6.13	16.45	32.86
11.5		0.54	0.85	1.47	2.93	5.87	15.75	31.45
11.0		0.51	0.81	1.40	2.80	5.59	15.01	29.98
10.5		0.48	0.77	1.33	2.65	5.30	14.23	28.43
10.0		0.46	0.73	1.25	2.50	5.00	13.41	26.79
9.5		0.43	0.68	1.17	2.34	4.67	12.54	25.04
9.0		0.40	0.63	1.08	2.16	4.32	11.60	23.17
8.5		0.36	0.57	0.98	1.97	3.94	10.57	21.12
8.0		0.32	0.51	0.88	1.76	3.52	9.44	18.86
7.5		0.28	0.44	0.76	1.52	3.04	8.15	16.28
7.0		0.23	0.36	0.62	1.23	2.46	6.61	13.21
6.5		0.16	0.25	0.43	0.85	1.71	4.59	9.17

			u*/w0	Z	観測手法
	概ね浮遊	ウォッシュロード的運動形態	10以上	1/4以下	バケツ採水
	上・下層に多少の濃度差	浮遊砂的運動形態	5.0～10.0	1/4～1/2	5割、8割水深での採水、バケツ採水
	上・下層に濃度差		2.5～5.0	1/2～1	3割、8～9割水深での採水
	下層を浮遊		1.25～2.5	1～2	2～3割、8～9割水深での採水
	跳躍を伴った掃流	掃流形態	0.625～1.25	2～4	掃流砂観測
	掃流		0.625以下	4以上	掃流砂観測

(2)観測手法の選定

次に、流砂観測手法と観測結果の整理方法について考察する。図－5.2.2 および表－5.2.1 をもとに流砂観測手法と観測結果の整理方法を整理した。整理した内容について説明すれば以下のとおりである。

$Z<1/4$ ($10<u_*/w_0$) の領域では、d=0.106mm の水位 T.P.8.5m 以上、d=0.075mm の水位 T.P.7.0m 以上であれば、相対水深 0.9 の位置での土砂濃度を用いれば、ほぼ断面内流砂量の真値と一致し、表面付近での簡易的な採水（バケツ採水など）で流砂量の把握が可能であるといえる。

また、$4<Z$ ($u_*/w_0<0.625$) の領域では、d=3.36mm の全水位時、d=1.68mm の水位 T.P.8.5m 以下、d=0.84 の水位 7.0m 以下の洪水時は、相対水深が 0.2 以上での採水ではほとんど土砂が採取されず、底面を含めた複数の高さで採水しても観測流砂量の誤差は大きいことから掃流砂観測によるしかないことがわかる。さらに、$1<Z<2$ ($1.25<u_*/w_0<2.5$) の領域では、d=0.84mm で水位 T.P.10.5m 以上、d=0.42mm で水位 T.P.7.5m～T.P.10.0m、d=0.21 の水位 7.0m 以下において相対水深 0.5 以上の採水ではほとんど土砂は採取されず、また、下層付近の 0.1～0.2 での 1 点のみの採水による観測流砂量は流砂量の真値に較べ 3～5 倍と過大な値となる。相対水深 0.2 と 0.8 の平均土砂濃度、0.3 と 0.8 の平均土砂濃度を用いた観測流砂量は、流砂量の真値に比べてそれぞれ 1.4 倍、0.6 倍と観測精度は落ちるものの、採水高さに注意すれば、採水による流砂観測でも流砂量の把握は可能であると考えられる。この領域の流砂は掃流砂観測も併用する方が無難であろう。

$1/2<Z<1$ ($2.5<u_*/w_0<5.0$) の領域では、d=0.42 で水位 T.P.10.5m 以上、d=0.21mm で水位 T.P.7.5m～T.P.10.0m、d=0.106mm で水位 T.P.6.5m 以下においては、相対水深 0.9（表面付近）や 0.2（底面付近）の 1 点での土砂濃度を用いる場合や、相対水深 0.1 と 0.9 の平均土砂濃度や相対水深 0.1、0.5、0.9 の 3 点平均土砂濃度を用いる場合には観測流砂量の誤差が大きいが、相対水深 0.3 と 0.8 の平均土砂濃度や相対水深 0.3 と 0.9 の平均土砂濃度を用いた観測流砂量は高い適合性を示す。相対水深 0.2 と 0.8 の平均土砂濃度を用いる場合の観測流砂量は真値の 1.6 倍程度と過大に、相対水深 0.5 と 0.8 の平均土砂濃度を用いた観測流砂量は真値の約 5 割程度と過小になる。この領域では、適切な高さにおける採水土砂濃度を用いて観測流砂量を求めることが重要である。

$1/4<Z<1/2$ ($5.0<u_*/w_0<10$) の領域では、d=0.21mm の水位 T.P.10.5m 以上、d=0.106mm の水位 T.P.7.0m～T.P.8.0m、dm=0.075mm で水位 6.5m 以下においては、土砂濃度の算出方法による観測流砂量の誤差は小さくなり、相対水深 0.5 と 0.8 の平均土砂濃度を用いた観測流砂量で真値の 8 割程度となり、5 割程度の水深から採水すれば流砂量の把握が可能であるといえる。なお、各流砂観測方法の具体的な内容については、6.1, 7.1 にそれぞれ記述する。

5.3　調査内容

調査結果については、以下のようにとりまとめた。

①　流砂観測手法の開発

2.2 で述べたとおり、流砂は、水理量や粒径毎に異なる運動形態を呈しながら流送される。そこで、ウォッシュロード・浮遊砂、掃流砂の観測手法について既存の観測手法を整理するとともに、新たな観測手法の開発を流砂の運動形態別に行い、水理的な適用限界を整理し、涸沼川洪水観測施設において実際に適用した。

②　涸沼川洪水観測施設における土砂動態の実態把握

各観測手法で得られた調査結果は、5.2.2 での流砂の運動形態予測と比較する。具体的には、

浮遊砂・ウォッシュロードについては、鉛直濃度分布・流速分布の検討、Lane-Kalinske[3]式との比較を行う。掃流砂については、粒径別の特性を整理するとともに水理量毎に芦田・道上式[4]および山本によるτ_*-無次元流砂量図[5]との比較等を行う。

③　粒径別流砂量・通過土砂量の評価法の検討

ウォッシュロードの流砂量整理手法として用いられる流量－流砂量（Q－Qs）関係に、観測された流砂量を粒径別にプロットし、粒径別Q－Qs関係図を作成する。そこで得られたQ－Qs関係について、従来から流砂量の推定によく用いられている掃流砂の芦田・道上式、浮遊砂のLane-Kalinske式、過去の浮遊砂・ウォッシュロード観測結果（Q－Qs関係図）[6]と比較した。

さらに、涸沼川洪水観測施設の位況データと上で整理した粒径別Q－Qs関係を用いて、涸沼川洪水観測施設地点における粒径別土砂の年間通過量を算出する。算出した年間通過土砂量と第4章で河口テラス、セグメント3、2-3における地形変化量から推定した粒径別年間通過土砂量との比較を行い、流砂量評価手法の妥当性および今後更なる検討が必要である粒径範囲、水理量を検討する。

【参考文献】

1) 河川局治水課、土木研究所河川研究室、各地方建設局河川課：水系一貫土砂管理に向けた河川における土砂観測、土砂動態マップの作成及びモニター体制構築に関する研究、平成12年度（第54回）建設省技術研究会指定課題、pp17-6～pp17-31、平成12年11月
2) 吉川秀夫編著：流砂の水理学、pp86～pp87、丸善、1985.7
3) たとえば、土木学会：水理公式集〔平成11年度版〕、pp167、1999.11
4) たとえば、土木学会：水理公式集〔平成11年度版〕、pp163～pp165、1999.11
5) 山本晃一：沖積河川学、pp406～pp415、山海堂、1994.9
6) たとえば、建設省河川局監修、財団法人日本河川協会編：改訂新版建設省河川砂防技術基準（案）同解説調査編、pp282、1997.10

第 6 章　涸沼川洪水観測施設における浮遊砂・ウォッシュロード観測

本章では、涸沼川洪水観測施設付近で主に浮遊砂的運動形態、ウォッシュロード的運動形態で流下する細粒分である粒径 0.84mm 未満の粒径集団３、４、５の流砂を対象に検討を行った。なお、浮遊砂的運動形態・ウォッシュロード的運動形態で流送される土砂の最大粒径が 0.84mm 未満としたのは第 5 章による。

6.1　観測装置・手法

6.1.1　既往の観測方法の比較

観測手法の決定に当たり、浮游砂の各観測手法の特性を明らかにする必要がある。そこで、**表－6.1.1** は既存の観測手法を整理したもの[1)]に、涸沼川において実施した観測手法を追加し整理・比較を行ったものである。また、**図－6.1.1**[1)]には各観測手法の概念図を示す。ここで示した観測手法のうち、涸沼川洪水観測施設で実施した手法は**表－6.1.1** 中の a),c),g),h),i)である。詳細な観測手法については次項の通りである。

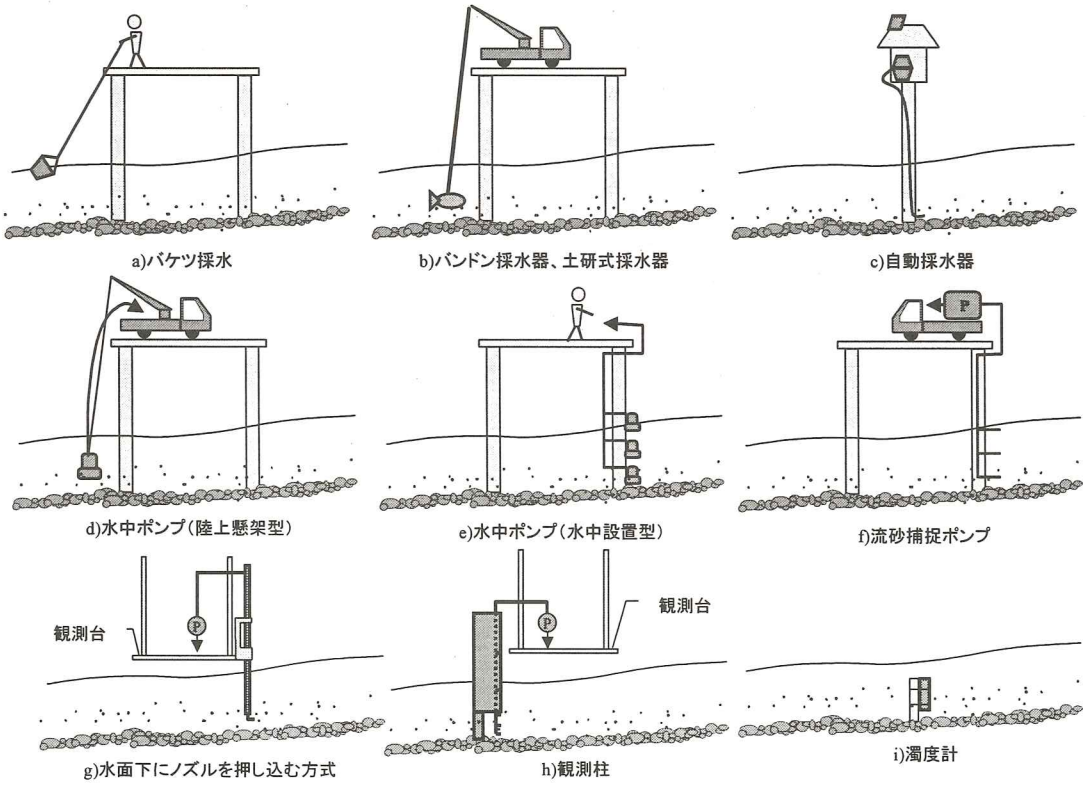


図-6.1.1　各観測手法の概念図

表-6.1.1 浮遊土砂採取装置の比較 [1)]

	a)バケツ採水	b)バンドン採水器,土研式採水器	c)自動採水機
方式	橋梁よりロープを付けたバケツを水面に放り投げて濁水を汲む	開閉装置の付いた容器(2 リットル程度)を橋梁から吊り下げ、重りや棒を使って任意の水深に押し込む	自動制御装置、真空ポンプ、水位計、貯蔵瓶、採取管、太陽電池が一体になった装置。予め採取管を橋脚や護岸に、装置を陸上に装置しておく。設定水位を感知すると自動的に採水を開始し、貯蔵瓶(1 リットル)の数量分(24 本)一定間隔で採水する。
採取粒径（最大）	0.2mm 程度 表層採取のためウォッシュロードが主体、細砂を補足したい場合は 20 ﾘｯﾄﾙ程度採取して濃縮分析する必要あり	0.5mm 程度 採取量が少ないため粗砂の計測には注意を要する（採取回数を増やすなど）	1mm 程度 採取量が少ないため粗砂の計測には注意を要する。粒子の採取特性については<注 1>参照
設置･作業ｽﾍﾟｰｽ	設置なし、橋梁の下流側に 3～4 名が作業できる空間（歩道など）が必要	設置なし、橋梁の下流側に 5～6 名作業できる空間（歩道など）が必要	採取管を水中に設置しておき（1 本）、機械は陸上設置（1 台）、人員作業無し
揚程	15m 以下（ロープ操作の経験上）	10m 程度まで	8m 以下（真空ポンプのため大気圧以下）
採取深度	表面のみ	任意	任意
作業性	簡易	流速が早いと(1m 以上)、装置を潜らせることが出来ない	無人採取するため効率よし、ただし 1 台 1 水深しか採れない
安全性（人員）	やや危険 バケツに流木等が引っかかった場合、人員が不意に引きずり込まれることがある	危険 装置を水中に潜らせている最中に流木等が引っかかった場合は危険	安全 （無人運転）
安全性（機械）	* 安価なので流出しても支障なし、ただし予備を準備しておく必要有り	やや危険 流木により本体が破損する恐れあり	やや危険 装置位置が低いと水位上昇により機械が流出する恐れあり
本体価格	1 万円以下	数十万円	200 万円程度

	d)水中ポンプ（陸上懸架型）	e)水中ポンプ（水中設置型）	f)流砂捕捉ポンプ
方式	水中ポンプを橋梁から懸架して、重りや棒を使って任意の水深に押し込み、水中から濁水を陸上に圧送する。	水中ポンプを予め橋脚や護岸に設置しておき、水中から濁水を陸上に圧送する。	真空ポンプ、気泡混入装置、採取管から構成される。採取管と空気管を予め橋脚や護岸に設置しておき、陸上からポンプ装置を運転して濁水を吸引する。吸引水に空気を混入することで見かけ比重を 1 以下にし、また管路でエアリフト効果により、揚程を 20m 以上に上げている。
採取粒径（最大）	2mm 以下 駆動部分に砂礫等が噛まないようにストレーナーが取り付けあり、この効果のために粗砂以上は採取できない。粒子の採取特性（粗砂の回収率は低い）が不明なため、実験により確認する必要あり。	2mm 以下 駆動部分に砂礫等が噛まれないようにストレーナーが取り付けてあり、この効果のために粗砂以上は採取できない。粒子の採取特性（粗砂の回収率は低い）が不明なため、実験により確認する必要あり。	5mm 以上 管路部は空気混じり濁水の高速流となっており、ポンプ部は駆動部分が砂礫に接触しないため、小礫程度まで採取できる。 粒子の採取特性については<注 2>参照
設置･作業ｽﾍﾟｰｽ	設置なし、橋梁の下流側に 2t ユニック車を駐車し 5～6 名が作業する空間が必要	機械を水深方向に数台設置する、橋梁や堤防上に車両および 3～4 名が作業する空間が必要	採取管を水深方向に数本設置し、機械は陸上設置（1 台）、橋梁や堤防上に 2t トラックおよび 3～4 名が作業する空間が必要、騒音やや大
揚程	20m 以上	20m 以上	20m 以上
採取深度	任意	任意	任意
作業性	流速が早いと(1m 以上)、装置を潜らせることが出来ない	機械の台数分、鉛直分布を計測できる、ただし流木やゴミを排除できない	採取管の本数分、鉛直分布を計測できる、採取口のゴミ除去も可能
安全性（人員）	危険 装置を水中に潜らせている最中に流木等が引っかかった場合は危険	安全	安全
安全性（機械）	やや危険 流木により本体が破損する恐れあり	危険 流木により本体が破損しる恐れあり、洪水中に回収が不可能である	安全 機械は安全、採水管が流木等により破損する恐れあり
本体価格	50 万円以下	50 万円	500 万円程度

	g)水面下にノズルを押し込む方式	h)観測柱	i)濁度計
方式	単管パイプに取り付けてあるノズルを水面下に挿入して任意の水深から真空ポンプを用いて採水する。	河道中央部に水深方向にノズルが設置された観測柱を設置しておき、観測台上からポンプを用いて採水する。	河道内に濁度計を設置し、濃度を濁度として測定する。
採取粒径（最大）	1.0mm（涸沼における実績） ノズル径がφ10 であるため、2mm 程度が限界と推定される。ポンプ内に粗砂が沈降するおそれがあるため、ノズルとポンプの間に浮遊砂沈降装置を設置するか、粗砂でも吸引可能なポンプの設置が必要。	0.85mm（涸沼における実績） 同左	- 粒径別の濃度は把握できず。別途採水による補正が必要
設置･作業ｽﾍﾟｰｽ	パイプ及びポンプを設置可能な、水面付近まで近づくことができる観測台が必要	河道中央部に設置するため、観測柱付近まで近づくことができる観測台が必要。	低水路中に濁度計が設置可能な場所（杭、護岸等）があればよい
揚程	10m 程度（大気圧以下）	10m 程度（大気圧以下）	-
採取深度	任意（最大 2.0m）	任意。ただし、水深<観測柱の高さ	濁度計の数量による
作業性	パイプの昇降装置がない場合、流体力が大きく、作業性は悪くなる。	採取管の台数分、鉛直分布を計測できる。少量のゴミであれば除去可能	無人で観測できるため、効率よし。ただし、1 台 1 水深のみ
安全性（人員）	危険 装置を水中に潜らせている最中に流木等が引っかかった場合は危険	安全+	安全
安全性（機械）	危険 流木等により観測台が破損するおそれ有り	危険 流木等により破損するおそれ有り	やや危険 設置場所によっては流出するおそれ有り
本体価格	50 万円程度	300? 400 万円	100 万円/台程度

6.1.2　鉛直方向の採水が可能な採水手法の開発

(1)　水面から機器を差し込む方式（**表－6.1.1** 中の g)）

図－6.1.2 に装置の構造を示す。本装置は、ポンプ、昇降可能なロッド先端に設置されたノズル、ノズルとそれをつなぐホースから構成される。ロッドにはスケールが設置されており、観測時にはロッドを水面下に没する。理論的には、鉛直方向に任意の点で採水が可能となる。しかし、洪水時にはロッド前面にかかる流体力が大きく、また、ゴミ等がロッドに付着してしまい、涸沼川においては水面下 2m までの採取が限界であった。

ポンプ内に粗粒径の砂が入ると故障しやすく、また、ポンプ内に粗粒分が堆積し、観測精度が低下するおそれがあることから、1995、1996 年はノズルとポンプ間に粗粒砂沈降装置を設置している。その概念的な構造は**図－6.1.3** に示すとおりで、一時的な滞留を起こして粒径の粗い土砂を沈降させるものである。1997 年以降は、(2)で説明する回転容積ポンプを用いることにしたため、粗粒砂沈降装置は不要となった。

ノズルの内径は以下の点に留意して決定した。すなわち，①ノズル内の流速は採取されるであろう最大粒径の土砂の沈降速度よりも十分速くなくてはならないこと，②ノズル内に土砂が詰まらないだけの内径が必要なこと，③引き込み流速がその場所の洪水流速と一致する必要があること，の 3 点である。ただし，現実的にはこれらを同時に満足するのは難しく，①、②を満たすようノズルの吸い込み流速が接近流速よりも少し大きくなるように設定した。

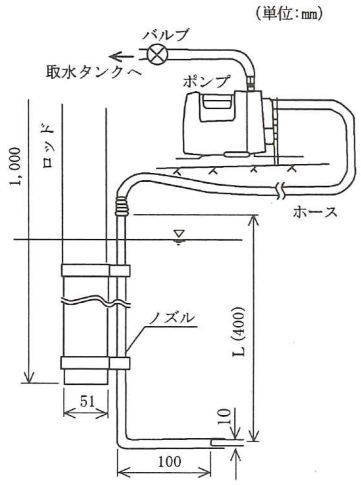


図-6.1.2 採水装置の概念図(水面下にノズルを差し込む方式)

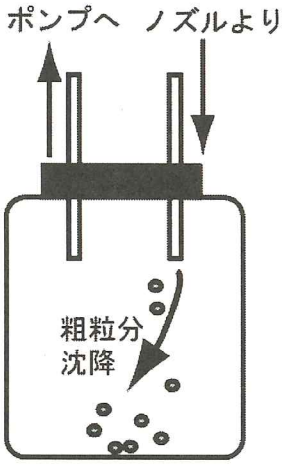


図-6.1.3 粗流砂沈降装置の概念図

(2)　観測柱を用いる方式[2),3)]（**表－6.1.1** 中の h)）

写真－6.1.1 に観測柱の外観を示す。この観測柱は低水路中央部に設置されており、柱の高さは 4m である。周囲には流体力を軽減するためステンレス製の流線形のカバーが取り付けられている。カバー内部には新たに開発した浮遊土砂採取装置および掃流砂採取装置が据え付けられている。ここでの説明は浮遊土砂採取装置のみ行い、掃流砂採取装置については 7.1.2 で述べる。

装置の概念的な構造を**図－6.1.4** に示す。浮遊砂採取装置は，基本的には観測柱に取り付けた複数のノズル，ポンプ，およびそれをつなぐホースから構成されている。浮遊土砂の採取はノズルから水中ポンプで浮遊砂を水ごと吸い込むことによって行う。観測柱を用いた浮遊砂・ウォッ

シュロード観測は、1995 年から開始した。ノズルとポンプの間には粗粒砂沈降装置が設置されている。なお、1997 年からは、新たに回転容積型のポンプを設置し、粗粒砂沈降装置の設置を不要とした。このポンプは図－6.1.5 のようにステータ内でロータが偏心回転することによって液体を吸込口から吐出側に連続的に流送する。このポンプの利点として、一般のスクリュー式ポンプのように粗粒分がポンプ内に沈降してしまう心配がない。また、操作盤にはインバータが接続され、ポンプの回転数を変化させることによって、採水量を変化させることができ（図－6.1.6 にポンプ回転数と採水速度の関係を示す。）、河道内のノズル前面の接近流速とノズルからの採水速度を一致させることが可能である。本システムではノズル近傍に流速計を差し出してノズル付近の流速を測定し、採水速度を決定した。

ノズルは鉛直方向に 5 箇所設置してあり，その設置高さは河床面から 0.1m，0.4m，1.0m，2.0m，および 3.0m である。2.0m および 3.0m のノズルは流線形カバー先端（最上流端）のよどみ点に設置している。

なお、水位が T.P.10m 以上となる場合には、観測柱全体が水没してしまうため、(1)の表面採水による手法に切り替えて観測している。

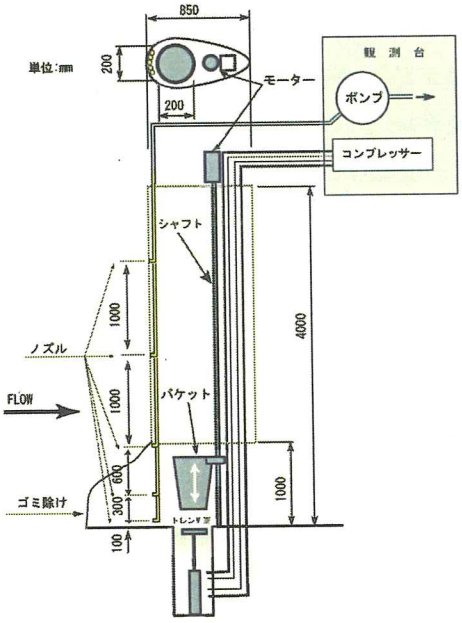


図-6.1.4 観測柱の構造図

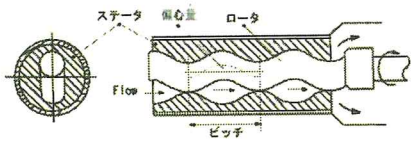


図-6.1.5 ポンプの構造図

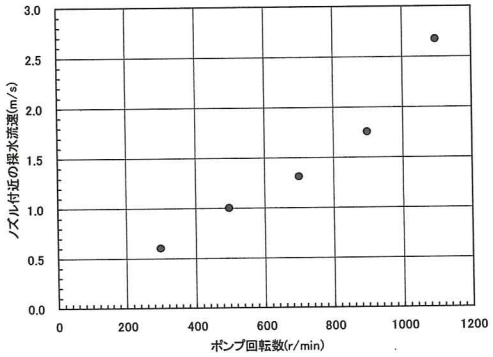


図-6.1.6 ポンプ回転数と採水速度



写真-6.1.1 観測柱の外観

6.1.3　自動採水装置を用いた浮遊土砂観測（表－6.1.1 中の f））

洪水時に観測を行う際には、降雨・強風などの悪条件中での作業となるため、人員にかかる負担および危険は大きい。また、水系スケールでの土砂動態把握にあたっては、多地点観測の必要があり、その際には常時多人数の人員を確保しなければならないなど、負担が大きい。自動採水装置は、河川の採水を無人で自動的に行うことができ、目的によっては非常に有用な観測手法である。

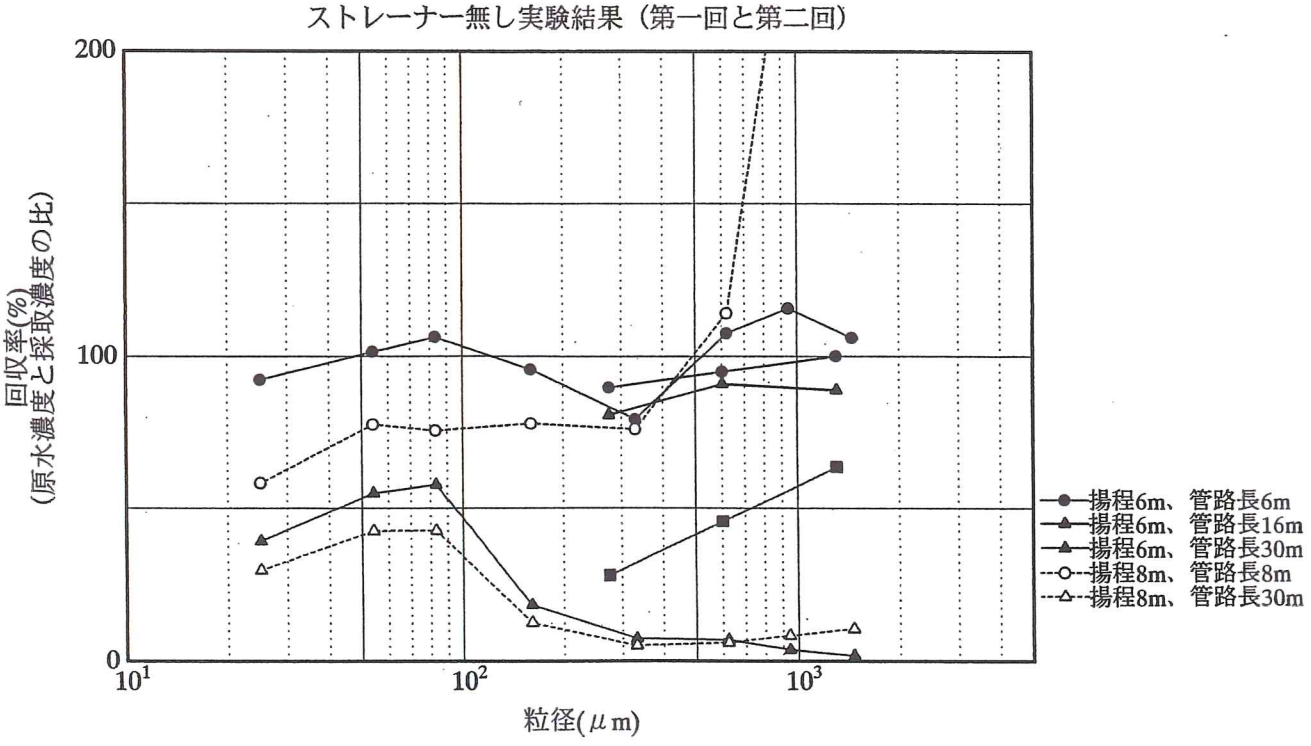


写真-6.1.2　自動採水装置

本装置は、河川水の採水を自動的に一定間隔で行う機能を有する。写真－6.1.2 にその外観を示す。自動採水装置内には 1 リットルのサンプリング瓶が 24 本配置され、指定した時間間隔で採水される。水位計・雨量計の観測機器や、電話回線でパーソナルコンピュータとの接続が可能であり、また、それらの機器をトリガーとして設定することにより、採水機の起動、停止を行うことができる。

本装置は、最大揚程が 8.5m、採水チューブの最大長さが 30m といった制限がある。また、チューブ内の吸引速度は 50～80cm/s（揚程の高さ、採水チューブの長さによって変化する）であり、粗粒径土砂成分がチューブ内で沈降するおそれがある。

そこで、以下に自動採水装置の観測限界を把握するため、採水試験を行った。試験結果については、図－6.1.7[1)]に示す。試験結果より、0.1mm 未満のウォッシュロード的運動形態で流送される土砂については管路長が 16m 程度であれば把握可能であることが分かった。0.1～0.84mm については、濃度低下が生じるため、係数等による補正が必要であることが分かった。



図－6.1.7 自動採水装置における粒径と濃度

6.1.4　濁度計を用いた流砂観測（表－6.1.1 中の i））

涸沼川洪水観測施設の低水路左岸側には、メモリ式濁度計(測定範囲 0～2000ppm)[4]が設置されている。観測労力や、経時的な土砂移動量把握の上では有利である。ただし、得られる結果は土砂濃度ではなく、濁度であり、また、粒径毎の土砂濃度が得られないため、採水観測と併用し、濁度と濃度の相関を得るとともに、浮遊土砂量の粒度組成を明らかにしておくことが必要である。**図－6.1.8** に涸沼川における濁度と実測濃度の関係を示す。採水による実測濃度と濁度とはほぼ線形の関係にあるものの、濁度の方が実測濃度と比較して約 0.6 倍程度高い値を示した。濁度から濃度への換算にはこの値を補正係数として用いた。

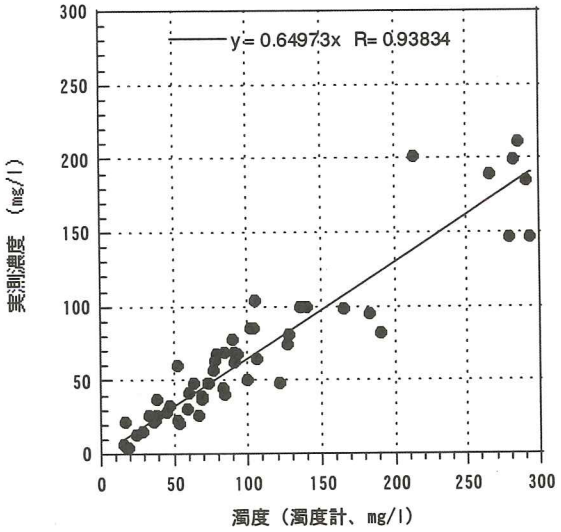
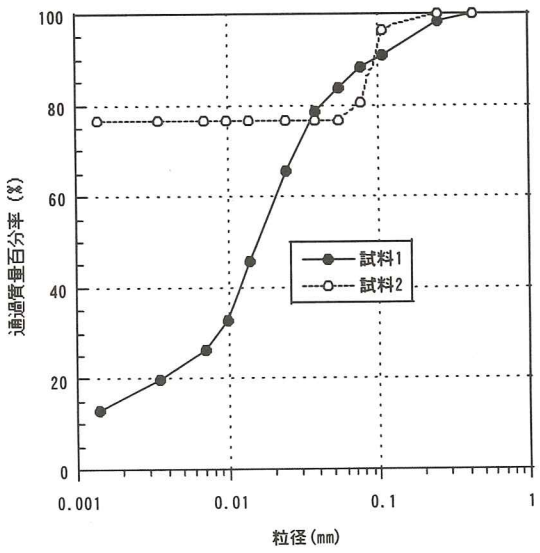


図-6.1.8　濁度と実測濃度の関係

6.1.5　採水量に関する検討

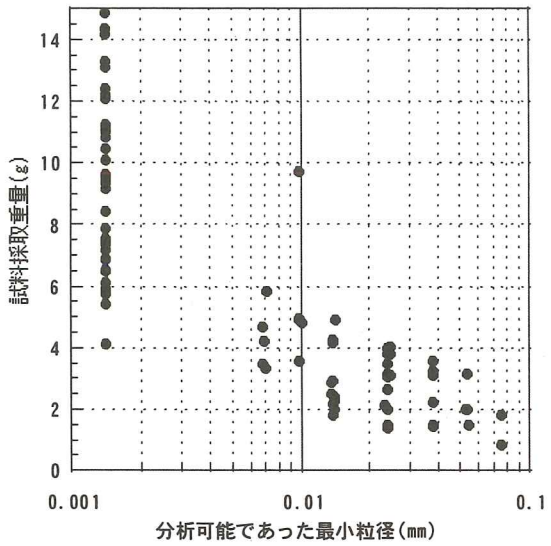
表－6.1.1 の f)を除く観測手法により採水した試料は、SS 分析および粒度試験を行い、粒径別の土砂濃度を算出する。ここで、特に微細粒径土砂を対象とした観測を行う場合、粒度分析は各試験方法によって適用限界や結果が異なる場合があることから、一定精度のデータを収集するためには分析手法は統一した手法を用いるか、従来と異なる手法で分析を行う場合には、共通の試料を用いて両方の手法で分析を行い、補正を行う必要がある。分析手法の選定に際しては、そのコスト、分析精度とともに、試料の最低必要量に注意する必要がある。つまり、洪水の減水期や、河川の下流域のような土砂濃度が非常に薄い試料の場合、分析に必要な試料を得ることができない可能性がある。例えば、比重浮標試験を例に取ると、土砂の密度が重要なファクターとなってくるため、土砂濃度が薄い試料では微細粒径の判定が不可能となる（**図－6.1.9** 参照。試料 1 は良好な調査結果の例、これに対し、試料 2 は微細粒径について分析できなかった例）。**図－6.1.10** には、JIS A-2104 に記載されている標準的な比重浮標試験を行った場合の、土砂重量と最小測定可能な粒径の関係を示した。図より、涸沼川においては、土砂量が約 6g 未満では粒度分布を把握することが不可能であることがわかる。**図－6.1.11** には参考までに土砂量が 6g 以上採取可能な採水量と濃度の関係を示しておく。



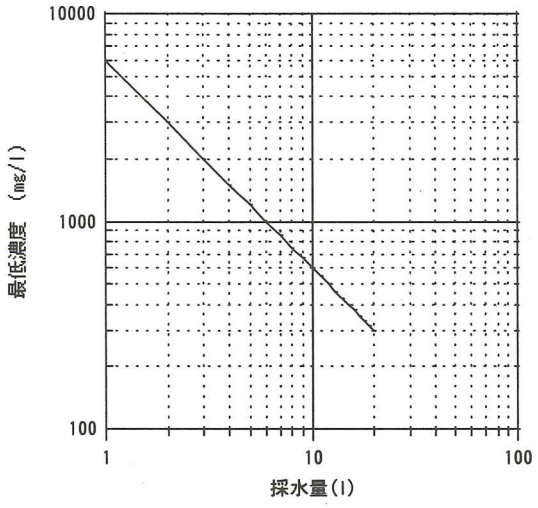
図－6.1.9 沈降試験による粒度分析の例

河口域などの土砂濃度が非常に薄い地点、もしくは、自動採水装置のように 1 回当たりの採水量が限られてしまう(1 リットル)観測においては、レーザーカウンター式粒度分析装置などの極

少量の試料でも分析可能な粒度分析装置を使用する必要がある。



図－6.1.10 試料採取量と沈降試験で試験可能な最小粒径の関係



図－6.1.11 沈降試験に必要な河川水の最低濃度

6.2 調査結果

6.2.1 対象洪水

これまで涸沼川洪水観測施設で実施した観測結果を**表－6.2.1** に一覧表にして示す。各観測の詳細な方法等については、資料編に示したのでそちらを参照されたい。なお、表中にグレーで示しているデータについては、ノズルの採水速度がノズル前面での予想される接近速度よりも大幅に小さくなり、粗粒径土砂の採取率低下が懸念される試料である。

6.2.2 観測地点における浮遊土砂移動の実態

(1)浮遊土砂の最大粒径

第5章において、涸沼川洪水観測施設における掃流砂と浮遊砂の境界は d=0.84mm の u_*/w_0=1.25 であると予測されることを示した。断面内の通過土砂量の算出には浮遊砂と掃流砂を足し合わせることが必要となるが、浮遊砂の最大粒径を把握することで、それ以上の粒径については掃流砂のみを対象とすれば良いことになる。このように、土砂移動量の検討を行う上で重要となることから、まず実際の浮遊土砂の最大粒径を把握する。**図－6.2.1** は、各浮遊土砂の粒径加積曲線を示したものである。ただし、1990 年の３洪水および 1991.6.20 洪水については 0.25mm のふるいまで、1991.8.20、1991.9.8 洪水は 0.42mm のふるいまで、1991.9.19～1994.9.30 の５洪水は 0.59mm のふるいまでしか試験を行っていない。1995 年以降の洪水では浮遊砂の最大粒径範囲を把握できる試験を行っているものの、1998.9.16 洪水では、0.84mm のふるい分けは実施しておらず、1.08mm についてふるい分けを行った。また、粒度分析は、1990.8.10 洪水は、試料を乾燥後ふるい分け試験を行った。その結果、最初の乾燥で細粒土砂（シルト・粘土）が固結することが判明したため、その後は、採水した試料を水と一緒にふるい分けしてから乾燥する洗浄ふるい分けを行っている。1996 年、1997 年は、ふるい分けできない細粒分について、比重浮標による沈降分析を行っ

ている。1998年からは、比重浮標による沈降分析に変えて、沈降式粒度分析装置を用いたレーザー光による光透析法を用いている。

図－6.2.1及び**表－6.2.1**から、1998.9.16洪水に着目すると、観測柱を用いた採水データのうち、減水期に２割水深程度で採水した４回のうちの２回で1.18～4.25mmの粗粒径土砂が確認されたが、それ以外の全てのデータで最大粒径は0.425～1.18mmであった。また、ノズルによる表面採水のデータ、特に水深が4m以上のデータでは、4:07（水深3.19m）と20:00（水深4.29m）の２回のみ0.425～1.18mmの粒径が確認されたが、それ以外はすべて粒径0.25～0.425mmが最大粒径であった。観測柱を用いた場合と表面からノズルを突っ込んだ場合の採水方法の違いによって観測される最大粒径が変化しないと仮定すれば、涸沼川洪水観測施設では、水深4m以下の洪水時には粒径0.425～1.18mmの土砂が浮遊しているが、水深が4mを越えるような大洪水時には８～９割水深（表面付近）まで浮遊する土砂の粒径は0.25～0.425mmと小さくなると言えそうである。これは、(3)で考察する鉛直流速分布の変化、すなわち高水敷が冠水するような大水深時に表面流速が小さくなる現象、によって粒径の大きな土砂が浮遊できなくなるためと考えられる。1996.9.22洪水でもほぼ同じ現象が見られた。水深4m以下の増水時には最大粒径0.59～0.84mm、水深4m以上の大洪水時には最大粒径が0.21～0.42mmとなっていた。減水期の観測結果はバラツキが大きい。1997.6.21洪水では、水深4m以上で最大粒径が小さくなる現象は、上記２洪水ほどはっきりとは表れなかった。増水期には、水深3.5mで観測される最大粒径が0.425～0.85mmから0.25～0.425mm へ小さくなる現象が見られたが、水位ピーク時以降は最大粒径が再び 0.425～0.85mmと大きくなった。

1995年以前の観測結果からは、上記のような現象を読みとることはできない。1993.8.27洪水（ピーク時水深5.16m）や1991.9.19洪水（ピーク時水深6.13m）では大洪水時の採水データが得られているが、1993.8.27洪水ではすべて最大粒径が0.59mm以上、1991.9.19洪水では最大粒径が0.59mm以上もしくは0.42～0.59mmとなっており、1996年以降の観測で得られる水深4m以上の大洪水時は、最大粒径が0.42mm以下に小さくなる現象は見られない。

表－5.2.1から、水深4m（水位T.P.約10m）以下では、粒径0.42mmの土砂は$u_*/w_0<2.5$、粒径0.21mmの土砂は$u_*/w_0<5.0$となっている。粒径0.42mm以上の土砂が上層で観測された最小水深は、1998.9.16洪水で1.07m、1997.6.21洪水で2.17m、1996.9.22洪水で2.96m（水深1.67m時に６割水深で確認）であった。粒径0.42mm以上の土砂が上層で確認された時の粒径0.42～0.84mmのu_*/w_0は、1998.9.16洪水で$0.62<u_*/w_0<1.76$、1997.6.21洪水（増水期のみ）で$0.98<u_*/w_0<2.34$、**1996.9.22**洪水で$0.76<u_*/w_0<2.5$であった。これら領域は、**表－5.2.1**で下層を浮遊している浮遊砂的運動形態もしくは跳躍をともなった掃流形態に分類した範囲にあたっている。1998.9.16洪水で粒径1.18mm以上の土砂が観測されたのは、水深2.05m時、1.76m時の２割水深である。**表－5.2.1**からこの時の粒径0.84～1.68mmの土砂は$u_*/w_0=0.4$～0.88程度で掃流形態から跳躍を伴った掃流形態に区分される。同様に1996.9.22洪水で粒径0.84mm以上の土砂が観測されたのは、水深3.57m時の0.03水深の場所と、水深1.67m、1.55mの２割水深である。**表－5.2.1**からこの時の粒径0.84～1.68mmのu_*/w_0は、$u_*/w_0=0.68$～1.17、0.44～0.88となり、跳躍を伴った掃流から掃流形態に分類される。$0.44<u_*/w_0<0.57$の掃流形態土砂も、特に減水期に、下層からの採水で時折観測されるようである。

以上の結果から、水深4m以下では、若干の試料について0.84mm以上の材料が確認されたものの、他の大部分のデータについては最大粒径が0.84mm未満であり、５章の推定と比較的合ってい

る。1996 年以降のデータを重視すると、水深 4m を越える（高水敷が冠水する）大規模洪水では、表面付近まで浮遊する土砂の最大粒径が細かくなり、５章で推定した流砂の運動形態とは合わない。以上より、水深 4m 程度までは、流砂の運動形態は５章の推定に合っており、浮遊砂の最大粒径はほぼ 0.84mm であるといえる。水深 4m を越えると、高水敷上流れとの混合や河岸植生の抵抗が大きくなり低水路内流速が小さくなるため、浮遊砂最大粒径が小さくなるようである。したがって、大洪水時には第５章の推定は適用できない可能性が高い。

表-6.2.1(1)　浮遊土砂観測結果

2000年7月7日　　粒径別の濃度(mg/l)

採取位置(横断方向)	採水方法	粒度分析方法	採取時刻	水深(m)	流量(m^3/s)	河床からの採取位置(m)	相対水深	流速m/s(実測)	u*	1.6 −0.84	0.84 −0.42	0.42 −0.21	0.21 −0.105	0.105 −0.075	0.075 未満	合計濃度
観測柱	観測柱＋回転容積ポンプ	(粗粒分)洗浄ふるい分け→乾燥 (細粒分)沈降式粒土分析装置を用いるレザー光による光透過法	19:00	0.464	4.71	0.1	0.22		6.2	0.00	0.00	0.00	0.57	1.66	24.40	26.64
			19:10	0.464	4.71	0.4	0.86		6.2	0.00	0.00	0.02	0.86	1.77	25.74	28.40
			20:00	0.444	4.06	0.1	0.23		6.0	0.00	0.00	0.00	0.08	0.70	28.95	29.73
			20:09	0.444	4.06	0.4	0.90		6.0	0.00	0.00	0.00	0.08	0.75	30.46	31.29
			21:00	0.444	4.96	0.1	0.23		6.0	0.00	0.00	0.02	0.55	1.43	29.69	31.69
			21:07	0.444	4.96	0.4	0.90		6.0	0.00	0.00	0.00	0.30	1.25	29.01	30.57
			22:00	0.544	5.87	0.1	0.18		6.7	0.00	0.00	0.00	0.83	2.59	38.98	42.40
			22:10	0.544	5.87	0.4	0.74		6.7	0.00	0.00	0.00	1.15	3.18	40.38	44.71
			23:00	0.744	9.86	0.1	0.13		7.8	0.00	0.00	0.00	3.33	9.03	103.49	115.85
			23:10	0.744	9.86	0.4	0.54		7.8	0.00	0.00	0.00	4.67	11.86	117.07	133.60
			0:10	1.254	19.75	0.4	0.32		10.1	0.00	0.00	0.00	9.73	24.31	252.28	286.32
			0:23	1.254	23.66	1.0	0.80		10.1	0.00	0.00	0.00	9.36	21.35	270.34	301.05
			1:00	1.764	31.69	0.4	0.23		12.0	0.00	0.00	0.57	19.57	44.32	345.83	410.29
			1:05	1.764	31.69	1.0	0.57		12.0	0.00	0.00	0.00	1.39	13.28	375.79	390.46
			1:05	2.574	53.23	0.4	0.16		14.5	0.00	0.00	1.07	43.26	70.20	686.81	801.33
			2:03	2.574	53.23	2.0	0.78		14.5	0.00	0.00	0.00	2.88	22.07	587.49	612.44

1999/10/27　　粒径別の濃度(mg/l)

採取位置(横断方向)	採水方法	粒度分析方法	採取時刻	水深(m)	流量(m^3/s)	河床からの採取位置(m)	相対水深	流速m/s(実測)	u*	0.3以上	0.3 −0.212	0.212 −0.15	0.15 −0.106	0.106 −0.075	0.075 未満	合計濃度
低水路中央付近	バケツによる表面採水	(粗粒分)洗浄ふるい分け→乾燥 (細粒分)沈降式粒土分析装置を用いるレザー光による光透過法	17:00	0.482	2.83	水面付近	−		6.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	61.34	61.34
			18:00	0.672	5.75	水面付近	−		7.4	0.00	0.00	0.00	0.68	10.22	108.18	119.08
			19:00	0.952	10.22	水面付近	−		8.8	0.00	0.00	8.15	9.42	37.48	247.12	302.17
			20:00	1.262	18.83	水面付近	−		10.2	0.00	0.00	2.59	26.17	7.89	335.35	372.00
			21:00	1.602	24.86	水面付近	−		11.4	2.44	3.14	12.21	34.65	44.76	368.87	466.07
			22:00	1.822	28.34	水面付近	−		12.2	0.00	0.00	0.00	24.45	65.49	379.98	469.92
			23:00	1.822	30.84	水面付近	−		12.2	0.00	0.00	16.34	28.52	69.92	378.66	493.44
			0:00	1.742	25.22	水面付近	−		11.9	0.00	0.00	5.31	20.96	39.13	338.67	404.07
			2:00	1.512	22.17	水面付近	−		11.1	0.00	0.00	0.00	0.00	7.36	267.09	274.45
			4:00	1.222	14.28	水面付近	−		10.0	0.00	0.00	0.00	1.07	14.52	147.89	163.48
			6:00	1.042	12.87	水面付近	−		9.2	0.00	0.00	0.00	0.87	11.83	103.66	116.36

1998年9月16日　　粒径別の濃度(mg/l)

採取位置(横断方向)	採水方法	粒度分析方法	採取時刻	水深(m)	流量(m^3/s)	河床からの採取位置(m)	相対水深	流速m/s(実測)	u*	4.25 −1.18	1.18 −0.425	0.425 −0.25	0.25 −0.106	0.106 −0.075	0.075 −0.015	0.015 未満	合計濃度	吸引速度(m/s)
観測柱	観測柱＋回転容積ポンプ	(粗粒分)洗浄ふるい分け→乾燥 (細粒分)沈降式粒土分析装置を用いるレザー光による光透過法	23:28	0.774	10.13	0.4	0.52	0.8	8.0	0.00	0.12	0.95	3.83	2.23	33.75	49.62	90.50	0.95
			0:01	0.834	12.56	0.4	0.48	0.8	8.3	0.00	0.09	0.88	7.77	4.49	60.54	67.23	141.00	0.95
			1:01	1.144	16.45	0.4	0.35	1.0	9.7	0.00	0.62	4.17	19.06	8.16	117.77	103.23	253.00	0.95
			1:07	1.144	16.45	1.0	0.87	1.1	9.7	0.00	0.04	1.54	14.80	9.23	114.11	105.28	245.00	1.06
			1:58	1.819	32.50	0.4	0.22	1.4	12.2	0.00	1.51	12.32	46.14	22.40	232.20	221.43	536.00	1.33
			2:12	1.819	32.50	1.0	0.55	1.7	12.2	0.00	1.05	7.98	50.87	25.36	277.06	222.68	585.00	1.63
			3:03	2.494	48.60	0.4	0.16	1.5	14.3	0.00	8.97	27.51	70.87	35.15	353.42	392.09	888.00	1.48
			3:15	2.494	48.60	2.0	0.80	1.9	14.3	0.00	1.25	6.22	53.30	34.63	376.12	384.48	856.00	1.75
			3:55	3.194	81.76	0.4	0.13	1.5	16.2	0.00	20.10	20.81	45.63	25.11	352.09	290.26	754.00	1.48
			4:02	3.194	81.76	2.0	0.63	1.8	16.2	0.00	3.30	10.41	56.06	28.75	390.21	269.28	758.00	1.73
表面、観測柱付近	ノズル突込み＋回転容積ポンプ		4:07	3.194	81.76	2.9	0.91	1.9	16.2	0.00	0.32	6.37	46.23	30.50	337.83	342.75	764.00	1.77
			5:13	3.674	89.33	3.4	0.92	1.7	17.3	0.00	0.00	4.54	37.33	24.72	374.19	547.22	988.00	1.60
			5:37	3.894	89.00	3.6	0.92	1.9	17.8	0.00	0.00	4.39	26.57	16.65	252.35	422.03	722.00	1.77
			6:02	4.114	115.93	3.8	0.93	1.6	18.3	0.00	0.00	2.13	24.89	14.03	268.29	438.66	748.00	1.56
			6:28	4.274	116.81	4.0	0.93	1.9	18.7	0.00	0.00	1.72	21.93	13.98	321.17	349.20	708.00	1.77
			7:01	4.444	117.69	4.1	0.93	1.7	19.1	0.00	0.00	1.78	17.71	13.12	259.99	329.41	622.00	1.63
			7:29	4.574	122.57	4.3	0.93	1.7	19.3	0.00	0.00	1.59	20.56	12.08	214.19	315.58	564.00	1.60
			8:02	4.694	127.44	4.4	0.94	1.7	19.6	0.00	0.00	1.17	12.91	10.27	191.56	258.08	474.00	1.60
			8:32	4.774	130.20	4.5	0.94	1.6	19.7	0.00	0.00	1.22	12.23	9.20	175.05	276.30	474.00	1.56
			9:02	4.864	132.97	4.6	0.94	1.3	19.9	0.00	0.00	1.84	13.84	9.68	187.57	279.08	492.00	1.25
			9:36	4.944	135.74	4.6	0.94	1.1	20.1	0.00	0.00	1.59	13.71	9.43	148.63	308.64	482.00	1.06
			10:00	5.024	138.50	4.7	0.94	1.3	20.3	0.00	0.00	1.60	14.13	8.74	157.69	267.84	450.00	1.06
			10:35	5.084	143.18	4.8	0.94	1.2	20.4	0.00	0.00	0.94	11.72	8.42	146.51	254.41	422.00	1.08
			11:04	5.154	147.86	4.9	0.94	1.0	20.5	0.00	0.00	0.73	9.26	6.13	156.32	189.56	362.00	0.95
			12:01	5.234	121.40	4.9	0.94	0.7	20.7	0.00	0.00	0.72	8.02	5.28	137.00	164.98	316.00	0.68
			12:30	5.259	130.00	5.0	0.94	0.9	20.7	0.00	0.00	1.46	12.15	7.06	149.22	199.12	369.00	0.87
			13:10	5.284	138.60	5.0	0.94	0.8	20.8	0.00	0.00	1.11	10.57	4.67	140.55	195.09	352.00	0.76
			13:35	5.289	139.54	5.0	0.94	0.9	20.8	0.00	0.00	0.95	8.39	4.91	111.82	200.94	327.00	0.87
			14:05	5.294	140.49	5.0	0.94	0.8	20.8	0.00	0.00	0.91	8.65	5.01	104.16	209.27	328.00	0.76
			15:00	5.234	133.20	4.9	0.94	0.8	20.7	0.00	0.00	0.55	7.76	4.84	110.31	221.54	345.00	0.72
			16:07	5.154	127.20	4.9	0.94	0.9	20.5	0.00	0.00	0.91	6.35	4.20	62.93	187.61	262.00	0.84
			17:00	4.984	126.80	4.7	0.94	0.7	20.2	0.00	0.00	1.04	4.88	3.69	62.60	102.79	175.00	0.68
			18:03	4.814	126.40	4.5	0.94	0.9	19.8	0.00	0.00	1.47	7.65	3.61	53.69	115.59	182.00	0.87
			19:00	4.574	133.16	4.3	0.93	1.3	19.3	0.00	0.00	0.78	5.59	2.63	63.37	136.63	209.00	1.22
			20:00	4.294	177.09	4.0	0.93	1.3	18.7	0.00	0.05	1.13	4.93	4.34	62.06	99.49	172.00	1.25
			21:00	4.054	109.47	3.8	0.93	1.4	18.2	0.00	0.00	0.91	6.53	4.86	52.28	98.42	163.00	1.33
			7:15	2.104	32.00	1.8	0.86	1.5	13.1	0.00	0.00	0.99	9.31	5.02	37.23	59.44	112.00	1.44
観測柱	観測柱＋回転容積ポンプ		7:30	2.054	30.10	0.4	0.19	1.5	13.0	4.71	15.52	7.02	15.85	4.64	34.51	41.74	124.00	1.44
			9:03	1.944	31.00	0.4	0.21	1.4	12.6	0.00	7.09	7.52	19.63	6.99	35.17	48.60	125.00	1.37
表面、観測柱付近	ノズル突込み＋回転容積ポンプ		9:07	1.944	31.00	1.6	0.85	1.4	12.6	0.00	0.00	1.40	10.37	4.60	46.85	60.79	124.00	1.37
			11:00	1.854	30.80	1.6	0.84	1.3	12.3	0.00	2.39	2.92	13.09	6.10	34.71	55.78	115.00	1.22
観測柱	観測柱＋回転容積ポンプ		11:07	1.854	30.80	0.4	0.22	1.3	12.3	0.00	7.97	7.58	18.42	6.61	31.61	45.82	118.00	1.22
			13:00	1.764	30.00	0.4	0.23	1.4	12.0	2.19	9.96	8.17	21.08	5.80	26.96	40.85	115.00	1.33
表面、観測柱付近	ノズル突込み＋回転容積ポンプ		13:05	1.764	30.00	1.5	0.83	1.4	12.0	0.00	0.00	0.50	6.91	4.59	45.61	37.89	95.50	1.33

表-6.2.1(2)　浮遊土砂観測結果

1997年6月21日　　粒径別の濃度(mg/l)

採取位置(横断方向)	採水方法	粒度分析方法	採取時刻	水深(m)	流量(m^3/s)	河床からの採取位置(m)	相対水深	流速m/s(実測)	u*	2.0 -0.85	0.85 -0.425	0.425 -0.25	0.25 -0.106	0.106 -0.075	0.075 -0.016	0.014 未満	合計濃度	吸引速度(cm/s)
観測柱	観測柱＋回転容積ポンプ	(粗粒分)試料乾燥→ふるい分け試験	12:00	2.214	50.00	1.0	0.45		13.4	0.00	4.67	6.74	53.43	37.35	202.30	214.23	518.72	119.23
			12:08	2.214	52.00	0.4	0.18		13.4	0.00	1.17	20.46	60.21	30.98	204.01	267.73	584.57	152.70
			12:57	2.594	60.00	0.4	0.15		14.6	0.00	0.00	13.70	63.36	23.98	362.20	393.03	856.28	151.54
			13:01	2.594	60.00	1.0	0.39		14.6	0.00	2.24	4.48	20.18	19.43	334.82	366.20	747.36	55.85
			13:08	2.594	62.00	2.0	0.77		14.6	0.00	4.09	21.15	63.45	33.43	403.87	156.23	682.22	76.36
			14:00	2.794	70.00	2.0	0.72		15.1	0.00	4.32	16.04	27.76	15.42	132.62	420.69	616.85	52.66
			14:07	2.794	71.00	1.0	0.36		15.1	0.00	5.54	0.00	13.85	11.08	412.04	111.32	553.82	25.56
			14:17	2.794	72.00	0.4	0.14		15.1	0.00	8.81	18.98	31.86	15.59	256.23	346.38	677.85	117.99
			14:56	3.024	76.50	0.4	0.13		15.7	0.00	6.09	7.30	25.56	13.39	435.80	120.51	608.65	70.65
			15:00	3.024	77.00	1.0	0.33		15.7	0.00	5.88	1.77	24.71	17.06	414.85	124.16	588.44	34.30
			15:11	3.024	79.00	2.0	0.66		15.7	0.00	2.32	3.48	24.34	26.08	330.95	192.43	579.60	88.49
			16:23	3.504	98.00	2.0	0.57		16.9	0.00	12.87	10.84	33.20	26.42	418.71	175.48	677.53	48.59
			16:40	3.504	103.00	3.0	0.86	1.7	16.9	0.00	0.00	2.91	16.28	12.79	431.93	117.43	581.33	72.41
			17:16	3.764	116.00	3.0	0.80	2.0	17.5	0.00	0.00	2.57	18.64	14.78	326.46	280.19	642.64	121.48
			17:20	3.764	118.00	2.0	0.53	2.0	17.5	0.00	0.00	2.10	10.48	4.19			16.77	25.12
表面、観測柱付近	ノズル突込み＋回転容積ポンプ	(細粒分)比重浮ひょうによる沈降分析試験	18:00	4.044	133.00	3.7	0.93	1.6	18.2	0.00	0.00	0.00	28.71	19.14	378.83	370.85	797.53	160.57
			19:00	4.354	142.00	4.1	0.93	1.6	18.9	0.00	0.00	7.80	76.34	52.38	95.29	325.44	557.26	214.60
			20:00	4.554	144.00	4.3	0.93	1.5	19.3	0.00	0.00	1.88	11.27	7.99	126.36	322.24	469.73	211.31
			20:59	4.674	143.00	4.4	0.94	1.3	19.5	0.00	1.40	1.87	11.19	6.99	172.54	272.34	466.33	218.91
			22:00	4.694	135.00	4.4	0.94	1.3	19.6	0.00	0.00	1.35	6.09	5.41	89.63	235.73	338.21	216.65
			23:00	4.644	124.00	4.3	0.94	1.3	19.5	0.00	0.97	1.94	6.06	2.91	111.42	118.93	242.22	214.82
			0:00	4.454	118.00	4.2	0.93	1.3	19.1	0.00	0.42	1.48	5.07	2.96	145.65	55.81	211.39	213.98
			1:00	4.194	110.00	3.9	0.93	1.3	18.5	0.00	1.48	0.37	5.37	3.89	135.21	38.90	185.22	218.71
			2:00	3.874	100.00	3.6	0.92	1.3	17.8	0.00	1.04	3.81	14.91	6.24			26.00	219.68
			3:00	3.494	88.00	3.2	0.91	1.3	16.9	0.00	0.46	1.52	4.40	3.34			9.72	218.32
			4:00	3.114	77.00	2.8	0.90	1.3	15.9	0.00	0.00	1.89	11.16	6.29			19.33	218.87
			5:00	2.804	68.00	2.5	0.89	1.3	15.1	0.00	0.50	3.34	13.88	9.03	102.18	38.30	167.23	221.75
			6:00	2.554	60.00	2.3	0.88	1.3	14.4	0.00	0.45	1.94	7.63	5.23	96.15	38.13	149.54	223.29
			8:00	2.174	48.00	1.9	0.86	1.3	13.3	0.00	0.89	2.83	22.19	11.77			37.68	225.06

1996年9月22日　　粒径別の濃度(mg/l)

採取位置(横断方向)	採水方法	粒度分析方法	採取時刻	水深(m)	流量(m^3/s)	河床からの採取位置(m)	相対水深	流速m/s(実測)	u*	1.0 -0.84	0.84 -0.59	0.59 -0.42	0.42 -0.21	0.21 -0.149	0.149 -0.105	0.105 -0.074	0.074 未満	合計濃度	吸引速度(cm/s)
観測柱	観測柱＋粗粒分沈降装置＋スクリュー式ポンプ	(粗流分)洗浄ふるい分け試験→乾燥	11:21	1.824	40.40	0.1	0.05		12.2	0.00	1.88	2.58	7.23	2.48	23.57	41.50	370.46	449.71	107.17
			11:28	1.824	42.20	0.4	0.22		12.2	0.00	3.15	7.69	36.00	21.92	39.23	37.31	396.03	541.35	137.99
			11:48	1.824	47.20	1.0	0.55		12.2	0.00	1.22	3.34	14.49	17.42	33.13	57.95	150.73	278.27	130.43
			13:25	2.824	72.80	0.4	0.14		15.2	0.00	21.41	36.52	92.84	43.81	41.47	130.08	313.95	680.07	118.01
			13:45	2.824	80.50	1.0	0.35		15.2	0.00	8.30	10.96	33.48	57.49	34.97	35.71	215.28	396.19	71.65
			14:00	2.964	86.30	2.0	0.67		15.6	0.00	5.41	6.26	58.87	46.19	44.95	108.16	296.22	566.06	198.36
			14:15	2.964	92.00	3.0	1.01		15.6	0.00	6.17	5.51	151.28	42.27	100.22	200.61	234.53	740.59	239.08
			14:23	3.574	95.10	0.1	0.03		17.1	28.18	49.93	82.96	309.56	36.10	76.56	57.61	239.66	880.55	41.46
			14:30	3.574	97.80	0.4	0.11		17.1	0.00	10.24	25.18	39.69	162.59	56.76	49.60	372.12	716.08	24.88
			14:40	3.574	101.63	3.0	0.84		17.1	0.00	1.97	6.14	23.96	26.29	65.34	154.47	588.59	866.76	58.63
			15:02	3.764	113.50	1.0	0.27		17.5	0.00	1.54	5.43	72.66	63.87	155.89	63.19	445.67	808.25	241.91
			14:55	3.764	109.70	2.0	0.53		17.5	0.00	0.00	5.98	119.32	13.94	13.76	24.81	373.17	550.97	220.90
			15:17	3.864	121.60	3.0	0.78		17.8	0.00	0.00	0.00	3.66	28.12	15.02	36.78	533.05	616.62	74.53
			15:44	4.054	134.30	2.0	0.49		18.2	0.00	388.25	414.60	528.54	85.31	65.37	68.08	568.42	2118.59	55.13
表面、観測柱付近	ノズル突込み＋粗粒分沈降装置＋スクリュー式ポンプ	(細粒分)比重浮ひょうによる沈降分析試験	16:32	4.324	139.60	4.0	0.93		18.8	0.00	0.00	0.00	37.86	35.40	116.08	114.08	271.51	574.93	207.23
			17:55	4.824	176.70	4.5	0.94		19.8	0.00	0.00	0.00	19.08	48.69	57.38	56.51	336.76	518.41	207.58
			18:57	5.334	174.20	5.0	0.94		20.9	0.00	0.00	0.00	7.13	8.00	27.96	24.16	447.04	514.29	206.00
			20:00	5.534	174.55	5.2	0.95		21.3	0.00	0.00	0.00	13.46	10.38	16.20	21.62	399.52	461.17	158.58
			21:03	5.624	150.50	5.3	0.95		21.4	0.00	0.00	0.00	7.36	8.16	41.10	28.12	308.37	393.11	171.75
			22:00	5.628	154.42	5.3	0.95		21.4	0.00	0.00	0.00	0.00	12.20	6.98	15.37	318.94	353.50	180.93
			23:00	5.609	153.40	5.3	0.95		21.4	0.00	0.00	0.00	2.51	11.71	7.35	12.31	251.39	285.27	177.66
観測柱	観測柱＋粗粒分沈降装置＋スクリュー式ポンプ		15:30	1.784	34.10	0.4	0.22		12.1	0.00	0.00	0.00	4.61	2.85	4.51	6.46	67.13	85.55	212.06
			15:55	1.784	34.10	1.0	0.56		12.1	0.00	0.00	0.00	2.06	2.54	8.53	3.31	57.38	73.82	221.47
			17:25	1.674	34.20	0.4	0.24		11.7	5.91	4.38	2.17	5.41	6.00	5.14	6.18	60.20	95.39	235.25
			17:32	1.674	33.80	1.0	0.60		11.7	0.00	0.61	0.44	3.91	5.49	14.54	5.93	41.95	72.87	241.68
			19:25	1.554	27.00	0.4	0.26		11.3	4.22	4.48	2.38	6.43	11.12	9.86	5.46	37.42	81.37	151.77
			19:31	1.554	26.60	1.0	0.64		11.3	0.00	0.00	0.00	2.23	2.82	4.52	5.11	48.05	62.72	162.16

1995年11月20日　　粒径別の濃度(mg/l)

採取位置(横断方向)	採水方法	粒度分析方法	採取時刻	水深(m)	流量(m^3/s)	河床からの採取位置(m)	相対水深	流速m/s(実測)	u*	1.0 -0.84	0.84 -0.59	0.59 -0.42	0.42 -0.21	0.21 -0.149	0.149 -0.105	0.105 -0.074	0.074 未満	合計濃度	吸引速度(cm/s)
観測柱	観測柱＋粗粒分沈降装置＋スクリュー式ポンプ	洗浄ふるい分け→乾燥	15:52	0.534	5.00	0.4	0.75		6.6	3.05	0.07	0.14	6.24	3.05	10.44	7.79	13.55	44.32	
			16:23	0.534	6.10	0.4	0.75		6.6	2.12	7.81	5.35	8.47	5.91	7.92	1.90	16.73	56.20	
			17:29	0.584	7.49	0.4	0.68		6.9	3.59	1.91	5.50	16.41	4.89	8.17	6.49	32.83	79.78	
			18:02	0.684	9.30	0.4	0.58		7.5	3.88	5.82	12.00	30.43	8.73	19.64	12.85	51.64	144.99	
			18:40	0.674	9.63	0.4	0.59		7.4	4.42	10.05	8.44	48.64	22.51	14.47	10.45	30.15	149.14	
			19:16	0.664	9.24	0.4	0.60		7.4	3.44	6.73	13.00	34.22	12.55	27.35	2.99	23.16	123.45	
			19:40	0.644	8.80	0.4	0.62		7.3	3.69	2.58	3.50	16.41	13.46	12.36	5.16	20.65	77.82	
			20:00	0.634	8.65	0.4	0.63		7.2	10.07	4.22	19.17	17.55	6.50	3.25	2.92	5.13	68.82	

表-6.2.1(3)　浮遊土砂観測結果

1994年9月30日

採取位置(横断方向)	採水方法	粒度分析方法	採取時刻	水深(m)	流量(m^3/s)	河床からの採取位置(m)	相対水深	流速m/s(実測)	u*	粒径別の濃度(mg/l) 1.0 -0.84	0.84 -0.59	0.59 -0.42	0.42 -0.21	0.21 -0.149	0.149 -0.105	0.105 -0.074	0.074 未満	合計濃度	吸引速度(cm/s)
測線4	ノズル突込み＋スクリュー式ポンプポンプ	洗浄ふるい分け→乾燥	11:20	2.424	46.32	1.9	0.79		14.1		0.88	0.55	2.80	2.47	16.74	16.08	238.63	278.14	193.33
			11:27	2.424	46.32	1.4	0.59		14.1		0.66	6.78	22.58	1.64	4.59	20.83	215.56	272.65	194.03
			11:33	2.424	46.32	0.9	0.38		14.1		0.89	8.06	9.24	2.37	9.30	5.09	238.16	273.11	179.10
			11:38	2.424	46.32	0.4	0.17		14.1		0.84	1.50	4.12	3.73	8.86	11.98	224.00	255.04	190.42
			12:24	2.304	48.53	1.8	0.78		13.7		2.24	2.30	10.23	4.43	7.38	11.37	191.45	229.40	194.03
			12:28	2.304	48.53	1.3	0.57		13.7		3.39	5.94	4.09	3.64	12.46	11.44	196.57	237.52	166.09
			12:34	2.304	48.53	0.8	0.35		13.7		1.47	1.90	4.40	4.83	10.75	11.35	199.32	234.01	195.42
			12:38	2.304	48.53	0.3	0.13		13.7		1.73	1.95	6.88	6.61	15.82	20.86	229.13	282.99	195.83
			13:24	2.194	44.74	1.7	0.77		13.4		1.20	3.38	5.78	4.58	9.55	7.09	215.89	247.47	194.52
			13:28	2.194	44.74	1.2	0.54		13.4		3.23	1.72	4.26	6.74	15.04	9.06	210.28	250.33	196.84
			13:32	2.194	44.74	0.7	0.32		13.4		1.30	1.84	3.31	5.15	6.95	9.71	194.41	222.68	195.55
			13:36	2.194	44.74	0.2	0.09		13.4		1.33	3.73	6.65	5.19	6.58	6.20	183.87	213.55	167.64
			14:51	2.064	41.28	1.6	0.76		13.0		1.53	5.18	3.38	6.16	7.31	10.69	177.67	211.91	194.63
			14:54	2.064	41.28	1.1	0.52		13.0		0.87	8.86	3.75	4.35	6.36	8.37	198.83	231.40	195.15
			14:58	2.064	41.28	0.6	0.27		13.0		3.90	5.52	6.74	7.91	9.59	9.25	187.81	230.72	190.39
			15:02	2.064	41.28	0.1	0.03		13.0		3.20	1.90	6.34	6.28	14.19	8.96	167.57	208.45	162.22

1993年8月27日

採取位置(横断方向)	採水方法	粒度分析方法	採取時刻	水深(m)	流量(m^3/s)	河床からの採取位置(m)	相対水深	流速m/s(実測)	u*	粒径別の濃度(mg/l) -0.59	0.59 -0.42	0.42 -0.21	0.21 -0.149	0.149 -0.105	0.105 -0.074	0.074 未満	合計濃度	吸引速度(cm/s)
測線5	ノズル突込み＋スクリュー式ポンプ	洗浄ふるい分け→乾燥	-	2.164		1.7	0.77	0.0	13.3	0.25	1.04	8.73	9.07	19.88	44.73	118.90	202.60	214.01
			10:30	2.204	47.18	1.2	0.55	0.2	13.4	0.72	0.86	3.41	9.36	17.52	32.65	132.36	196.88	221.04
			10:39	2.234	47.18	0.7	0.33	0.3	13.5	0.14	1.65	8.96	20.39	46.43	34.86	114.21	226.63	231.07
測線4			10:52	2.354	56.87	1.9	0.79	1.7	13.9	0.30	2.07	12.14	14.21	62.87	52.10	90.16	233.84	179.25
			10:57	2.404	56.87	1.4	0.58	1.4	14.0	0.32	1.74	13.78	12.46	28.50	36.36	152.16	245.31	201.06
			11:03	2.454	56.87	1.0	0.39	1.3	14.2	0.21	5.61	37.29	24.82	27.27	33.97	159.50	288.68	194.93
測線5			11:30	2.714	66.56	2.2	0.82	0.3	14.9	0.10	6.43	39.81	17.62	31.43	42.19	275.31	412.86	222.87
			11:52	2.754	73.24	1.8	0.64	0.1	15.0	1.09	3.17	25.38	22.69	50.25	44.01	313.73	460.32	224.49
			11:55	2.784	74.15	1.3	0.46	0.2	15.1	1.00	19.78	24.94	34.85	36.86	57.42	325.84	500.71	232.30
測線4			12:22	3.204	82.34	2.7	0.84	1.3	16.2	2.17	7.24	24.55	46.93	49.98	69.39	467.67	667.93	146.51
			12:37	3.334	86.90	2.3	0.70	1.6	16.5	6.70	0.71	20.99	23.29	41.46	58.04	530.51	681.71	60.15
			-	3.404		1.9	0.56	1.6	16.7	16.62	5.90	52.88	77.39	88.95	79.70	415.79	737.24	165.36
測線5			13:55	3.944	110.57	3.4	0.87	1.6	17.9	2.06	0.23	30.47	77.20	60.70	89.80	452.65	713.11	46.32
			14:05	4.014	112.27	3.5	0.88	0.9	18.1	5.14	1.87	15.36	30.00	44.21	46.99	503.67	647.24	175.46
			14:10	4.044	113.12	3.0	0.75	1.0	18.2	1.92	15.53	14.87	23.49	43.69	44.95	494.16	638.61	193.35
			14:54	4.324	120.78	3.8	0.88	1.1	18.8	1.11	7.87	22.50	34.86	48.26	27.92	615.37	757.89	182.05
			14:59	4.354	120.78	2.9	0.66	1.1	18.9	0.09	8.20	85.73	22.23	68.54	71.74	481.05	737.59	225.27
測線4			15:10	4.364	120.78	3.4	0.77	1.5	18.9	1.33	1.46	5.05	10.89	17.66	26.42	605.81	668.61	79.93
			16:13	4.724	148.98	3.7	0.79	1.6	19.6	1.16	1.35	8.49	12.35	23.15	36.85	574.33	657.69	109.99
			16:48	4.844	148.85	3.8	0.79	1.5	19.9	0.35	0.49	3.95	6.99	16.30	21.45	580.41	629.94	150.40
			18:00	5.044	149.00	4.5	0.90	1.5	20.3	1.36	2.22	10.59	15.17	22.04	35.92	466.62	553.90	148.32
			18:03	5.044	149.00	4.5	0.90	1.4	20.3	0.64	1.03	18.70	29.52	34.61	58.48	425.92	568.90	133.37
			18:32	5.084	150.72	4.6	0.90	1.6	20.4	2.19	3.10	57.41	22.64	20.54	18.07	465.12	589.07	116.26
			18:35	5.094	150.72	3.6	0.71	1.5	20.4	0.15	0.60	2.99	4.64	7.86	14.44	555.17	585.85	141.79
			18:58	5.124	155.69	4.6	0.90	1.5	20.5	0.57	1.43	14.30	7.01	18.95	19.23	560.20	621.69	148.42
			19:01	5.124	155.69	3.6	0.71	1.5	20.5	0.77	1.15	4.92	4.41	17.96	20.64	523.06	572.92	166.03
			19:33	5.144	156.81	4.6	0.90	1.4	20.5	0.60	0.54	3.43	5.98	8.80	6.85	643.46	669.65	158.01
			19:35	5.144	156.81	3.6	0.71	1.4	20.5	0.43	0.92	4.72	11.19	31.28	19.22	651.25	719.02	195.43
			19:57	5.164	134.70	4.7	0.90	1.3	20.5	1.04	1.97	13.53	10.90	30.74	3.94	578.74	640.87	193.68
			19:59	5.164	134.70	3.7	0.71	1.6	20.5	0.40	3.55	37.57	45.64	25.03	35.05	510.77	658.00	185.30
			20:33	5.144	156.88	4.6	0.90	1.2	20.5	0.72	2.17	8.01	11.47	35.01	23.49	544.67	625.54	190.66
			20:36	5.144	156.88	3.6	0.71	1.2	20.5	5.88	5.83	64.24	16.03	17.27	22.67	544.29	676.22	196.58
			20:56	5.134	162.88	4.6	0.90	1.5	20.5	1.35	0.28	3.32	6.14	13.12	13.96	664.35	702.52	188.48
			20:58	5.134	162.88	3.6	0.71	1.5	20.5	0.54	0.72	5.16	9.36	13.79	39.16	523.61	592.34	176.94
			21:33	5.104	158.71	4.6	0.90	1.4	20.4	0.11	0.34	90.18	11.86	100.35	24.10	533.82	760.75	188.87
			21:35	5.104	158.71	3.6	0.71	1.0	20.4	0.34	3.08	7.23	5.27	28.58	8.01	591.93	644.44	189.36
			21:55	5.074	159.20	4.6	0.90	1.4	20.4	0.28	0.68	8.43	5.87	14.70	23.76	559.99	613.71	186.28
			21:59	5.074	159.20	3.6	0.70	1.6	20.4	0.58	10.65	8.34	11.22	9.49	13.21	544.35	597.84	165.45

1992年12月8日

採取位置(横断方向)	採水方法	粒度分析方法	採取時刻	水深(m)	流量(m^3/s)	河床からの採取位置(m)	相対水深	流速m/s(実測)	u*	粒径別の濃度(mg/l) -0.59	0.59 -0.42	0.42 -0.21	0.21 -0.149	0.149 -0.105	0.105 -0.074	0.074 未満	合計濃度	吸引速度(cm/s)
測線4	ノズル突込み＋スクリュー式ポンプ	洗浄ふるい分け→乾燥	13:03	1.994		1.5	0.75		12.8	0.82	3.20	24.64	20.29	36.15	52.01	371.80	508.90	155.87
			13:06	1.994		1.0	0.50		12.8	0.22	3.18	38.02	70.71	98.08	57.55	264.50	532.26	143.45
			13:08	1.994		0.5	0.25		12.8	0.20	2.93	20.64	24.16	28.86	37.76	398.52	513.07	108.47
測線5			13:30	1.994		1.5	0.75		12.8	0.94	2.88	24.70	27.85	102.10	85.96	255.55	499.98	158.48
			13:32	1.994		1.0	0.50		12.8	0.12	17.81	59.05	25.70	70.08	61.70	266.26	500.71	172.15
			13:34	1.994		0.5	0.25		12.8	0.49	6.35	75.98	22.68	35.62	33.59	297.21	471.92	172.18
測線4			14:02	2.024	26.77	1.5	0.75		12.9	0.92	6.72	63.10	18.67	50.86	44.63	283.79	468.69	150.00
			14:06	2.024	26.77	1.0	0.51		12.9	1.82	7.82	27.83	20.22	31.20	104.60	275.44	468.93	157.44
			14:10	2.024	26.77	0.5	0.26		12.9	2.38	4.53	20.94	18.79	33.95	35.53	359.63	475.74	93.76
測線5			14:26	2.024	26.77	1.5	0.75		12.9	1.09	5.90	21.10	26.46	34.94	51.02	352.34	492.85	156.38
			14:30	2.024	26.77	1.0	0.51		12.9	1.06	13.51	16.45	38.40	49.09	38.84	356.16	513.52	169.66
			14:33	2.024	26.77	0.5	0.26		12.9	0.79	12.10	25.43	38.44	57.66	51.64	369.41	555.48	174.43
測線4			14:59	1.924	21.44	1.4	0.74		12.5	0.07	4.41	77.03	19.04	29.73	30.20	501.77	662.23	158.83
			15:02	1.924	21.44	0.9	0.48		12.5	1.21	5.29	17.63	20.58	28.42	30.83	544.63	648.58	158.31
			15:05	1.924	21.44	0.4	0.22		12.5	0.80	5.27	33.79	22.79	49.85	29.33	538.86	680.69	159.19
測線5			15:14	1.924	21.44	1.4	0.74		12.5	2.16	81.58	34.14	16.26	62.55	91.29	407.07	695.04	157.25
			15:17	1.924	23.44	0.9	0.48		12.5	0.63	3.83	19.96	23.60	28.69	96.99	539.37	713.07	169.02
			15:20	1.924	23.44	0.4	0.22		12.5	0.67	39.52	16.25	44.78	31.83	45.27	523.47	701.79	173.69
測線4			15:57	1.744	23.44	1.2	0.71		11.9	0.65	6.87	61.28	39.24	29.10	37.02	512.44	686.61	162.23
			15:59	1.744	23.44	0.7	0.43		11.9	0.28	5.96	26.20	47.90	116.73	54.62	340.69	592.38	153.07
			16:07	1.744	23.44	0.2	0.14		11.9	0.68	4.03	39.18	22.08	42.18	25.98	471.07	605.22	155.19
測線5			16:14	1.744	23.44	1.2	0.71		11.9	0.54	3.40	22.55	13.65	16.30	31.11	484.77	572.32	156.21
			16:17	1.744	23.44	0.7	0.43		11.9	0.71	2.91	41.67	25.30	16.30	33.00	497.88	617.78	163.99
			16:20	1.744	23.44	0.2	0.14		11.9	0.57	2.71	14.99	20.03	18.46	19.85	499.28	575.89	168.42

表-6.2.1(4)　浮遊土砂観測結果

1992年10月9日　　粒径別の濃度(mg/l)

採取位置(横断方向)	採水方法	粒度分析方法	採取時刻	水深(m)	流量(m^3/s)	河床からの採取位置(m)	相対水深	流速m/s(実測)	u*		-0.59	0.59 -0.42	0.42 -0.21	0.21 -0.149	0.149 -0.105	0.105 -0.074	0.074未満	合計濃度	吸引速度(cm/s)
測線5	ノズル突込み+スクリュー式ポンプ	洗浄ふるい分け→乾燥	10:26	3.654	78.92	3.2	0.86		17.3		0.42	36.09	79.74	69.27	159.81	158.22	615.94	1119.49	200.51
			10:45	3.654	78.92	2.7	0.73		17.3		3.12	8.51	36.29	42.62	121.54	126.17	599.09	937.33	112.27
			10:50	3.654	78.92	2.2	0.59		17.3		4.12	5.02	39.34	59.06	201.87	193.38	415.62	918.41	213.60
測線4			11:26	3.654	78.92	3.2	0.86		17.3		4.96	11.75	17.24	43.57	161.91	138.56	350.59	728.57	139.06
			11:34	3.654	78.92	2.7	0.73		17.3		4.37	3.07	38.18	37.11	88.40	79.81	499.19	750.12	138.39
			11:39	3.654	78.92	2.2	0.59		17.3		9.54	6.92	19.21	31.79	66.90	163.39	486.16	783.91	150.20
測線5			11:55	3.844	93.16	3.3	0.87		17.7		0.35	2.60	10.05	67.92	79.22	261.03	286.14	707.32	212.14
			11:59	3.844	93.16	2.8	0.74		17.7		1.39	4.48	22.20	24.53	56.05	156.40	327.42	592.46	236.63
			12:03	3.844	93.16	2.3	0.61		17.7		0.25	3.12	18.93	54.42	215.79	71.16	357.42	721.08	169.83
測線4			12:29	3.844	93.16	3.3	0.87		17.7		0.62	6.44	22.46	30.13	69.44	128.27	438.78	696.15	154.93
			12:32	3.844	93.16	2.8	0.74		17.7		5.93	6.32	17.84	37.94	43.86	270.81	320.49	703.19	187.95
			12:36	3.844	93.16	2.3	0.61		17.7		11.43	5.69	49.28	75.97	84.63	153.35	294.63	674.97	195.95
測線5			13:25	3.924	81.83	3.4	0.87		17.9		1.13	2.86	16.27	21.77	123.40	97.69	405.32	668.44	196.91
			13:29	3.924	81.83	2.9	0.75		17.9		0.62	4.15	17.61	25.45	36.82	230.84	368.39	683.88	186.75
			13:33	3.924	81.83	2.4	0.62		17.9		0.30	3.32	14.68	19.14	38.68	38.83	413.93	528.88	213.96
測線4			13:46	3.924	81.83	3.4	0.87		17.9		0.36	4.68	15.61	18.36	84.69	98.74	412.11	634.56	203.96
			13:50	3.924	81.83	2.9	0.75		17.9		0.36	4.65	21.37	39.64	87.19	49.40	470.73	673.34	205.54
			13:54	3.924	81.83	2.4	0.62		17.9		0.25	4.10	22.30	53.44	79.94	78.01	372.95	610.99	215.02
測線5			15:10	3.444	70.33	2.9	0.85		16.8		0.38	5.28	7.71	11.10	26.41	142.99	288.51	482.37	196.86
			15:13	3.444	70.33	2.4	0.71		16.8		0.31	2.30	7.31	37.62	37.98	46.41	330.54	462.46	207.59
			15:17	3.444	70.33	1.9	0.56		16.8		0.21	2.33	15.71	80.89	73.06	46.82	233.39	452.42	204.62
測線4			15:28	3.444	70.33	2.9	0.85		16.8		0.11	5.95	124.69	21.08	133.93	39.83	236.30	561.89	187.28
			15:33	3.444	70.33	2.4	0.71		16.8		0.10	1.71	14.49	30.54	42.24	38.41	314.98	442.48	204.98
			15:36	3.444	70.33	1.9	0.56		16.8		0.31	2.90	7.35	14.18	31.72	85.84	312.15	454.44	205.07
測線5			16:39	2.864	58.52	2.4	0.83		15.3		0.27	1.69	4.81	9.77	17.26	48.93	258.73	341.46	194.30
			16:43	2.864	58.52	1.9	0.65		15.3		0.41	3.73	80.31	37.39	62.92	14.45	183.98	383.19	204.90
			16:45	2.864	58.52	1.4	0.48		15.3		0.36	5.44	6.94	17.60	38.63	75.80	186.14	330.91	204.92
測線4			16:55	2.864	58.52	2.4	0.83		15.3		0.28	6.74	8.98	26.05	72.54	29.59	203.64	347.82	188.98
			17:00	2.864	58.52	1.9	0.65		15.3		0.51	6.54	16.49	30.03	56.46	45.15	164.61	319.79	209.16
			17:03	2.864	58.52	1.4	0.48		15.3		0.67	2.94	18.70	17.30	37.49	55.42	186.96	319.48	205.45

1991年9月19日　　粒径別の濃度(mg/l)

採取位置(横断方向)	採水方法	粒度分析方法	採取時刻	水深(m)	流量(m^3/s)	河床からの採取位置(m)	相対水深	流速m/s(実測)	u*		-0.59	0.59 -0.42	0.42 -0.21	0.21 -0.149	0.149 -0.105	0.105 -0.074	0.074未満	合計濃度	吸引速度(cm/s)
測線4	ノズル突込み+スクリュー式ポンプ	洗浄ふるい分け→乾燥	11:00				#DIV/0!				0.00	6.72	15.96	24.35	24.35	31.07	432.50	534.95	126.34
			12:00	4.754	166.06	3.8	0.79		19.7		0.00	6.94	14.58	15.97	43.75	21.53	351.38	454.15	152.79
			13:00	4.994	143.96	4.0	0.80		20.2		0.00	3.27	10.46	37.27	24.85	28.12	460.33	564.30	162.27
			14:04	5.214	160.54	4.2	0.81		20.6		1.20	7.79	12.59	11.99	12.59	36.56	439.88	522.58	177.05
			14:57	5.374	165.07	4.4	0.81		20.9		0.77	6.15	14.60	16.14	18.45	22.29	540.31	618.71	138.05
			15:57	5.534	165.36	4.5	0.82		21.3		1.45	5.80	28.26	25.36	19.56	16.67	530.42	627.52	146.43
			16:58	5.724	178.88	4.7	0.83		21.6		0.00	1.79	14.93	5.97	13.14	16.72	546.50	599.06	177.65
			17:55	5.894	164.34	4.9	0.83		21.9		0.00	3.57	8.58	6.43	12.87	17.15	508.18	556.78	148.45
			19:00	6.024	154.22	5.0	0.83		22.2		1.27	7.61	8.88	10.78	12.68	13.32	401.37	455.91	167.33
			19:57	6.104	170.96	5.1	0.84		22.3		1.90	6.34	10.14	7.60	20.28	18.38	323.79	388.42	167.45
			20:58	6.134	178.50	5.1	0.84		22.4		0.59	3.57	6.54	17.85	142.79	22.61	336.74	530.70	178.34
			21:55	6.134	174.00	5.1	0.84		22.4		0.00	4.62	9.90	7.26	56.74	147.78	339.11	565.40	160.83
			22:58	6.084	173.57	5.1	0.84		22.3		0.00	3.15	6.93	5.04	11.34	28.35	352.18	406.99	168.41
			23:57	5.984	175.29	5.0	0.83		22.1		0.64	1.91	9.54	1.27	4.45	17.18	334.60	369.59	166.80

1991年9月8日　　粒径別の濃度(mg/l)

採取位置(横断方向)	採水方法	粒度分析方法	採取時刻	水深(m)	流量(m^3/s)	河床からの採取位置(m)	相対水深	流速m/s(実測)	u*		-0.59	0.59 -0.42	0.42 -0.21	0.21 -0.149	0.149 -0.105	0.105 -0.074	0.074未満	合計濃度	吸引速度(cm/s)
測線3	ノズル突込み+スクリュー式ポンプ	洗浄ふるい分け→乾燥	17:35	3.164	23.02	2.2	0.68		16.1			3.33	15.30	15.96	16.63	15.30	299.98	366.49	159.52
測線1			17:40	3.164	14.75	2.2	0.68		16.1			4.90	16.54	15.32	28.80	28.80	280.64	375.00	173.16
測線4			17:48	3.164	16.84	2.2	0.68		16.1			4.04	7.49	14.41	18.45	6.34	265.77	316.51	184.04
測線5			17:53	3.164	6.12	2.2	0.68		16.1			1.80	3.61	13.22	16.23	24.04	236.23	295.14	176.51
			18:47	3.064	7.01	2.1	0.67		15.8			2.38	5.36	22.05	41.72	34.57	184.18	290.28	178.01
測線4			18:37	3.064	16.90	2.1	0.67		15.8			1.86	21.69	18.59	17.35	16.11	252.82	328.42	171.23
測線1			18:42	3.064	14.59	2.1	0.67		15.8			4.09	16.36	14.02	17.53	9.35	240.10	301.44	181.63
測線3			18:32	3.064	22.03	2.1	0.67		15.8			2.94	12.36	71.82	13.54	14.72	241.35	356.72	180.25
			19:36	2.864	20.79	1.9	0.65		15.3			1.78	12.45	27.87	26.68	17.20	224.74	310.72	178.93
測線4			19:40	2.864	15.29	1.9	0.65		15.3			6.60	12.54	19.14	17.82	15.18	231.71	303.00	160.73
測線5			19:44	2.864	4.97	1.9	0.65		15.3			4.61	10.38	12.11	12.68	17.29	229.42	286.49	184.07
測線1			19:50	2.864	14.14	1.9	0.65		15.3			3.34	8.34	12.23	15.02	12.79	228.01	279.72	190.79

表-6.2.1(5)　浮遊土砂観測結果

1991年8月20日　　粒径別の濃度(mg/l)

採取位置(横断方向)	採水方法	粒度分析方法	採取時刻	水深(m)	流量(m^3/s)	河床からの採取位置(m)	相対水深	流速m/s(実測)	u*			-0.42	0.42 -0.21	0.21 -0.149	0.149 -0.105	0.105 -0.074	0.074 未満	合計濃度	吸引速度(cm/s)
測線4	ノズル突込み＋スクリュー式ポンプ	洗浄ふるい分け→乾燥	20:03	1.944	37.40	0.9	0.49		12.6			12.74	36.88	20.79	34.87	54.31	279.59	439.17	158.33
			20:32	2.054	43.40	1.1	0.51		13.0			21.33	55.69	34.36	34.96	39.70	228.11	414.15	179.17
			21:30	2.354	55.29	1.4	0.58		13.9			24.76	37.46	50.79	81.90	58.41	168.25	421.58	167.20
			22:00	2.484	55.16	1.5	0.60		14.2			49.70	43.99	57.70	60.56	65.13	346.20	623.28	185.82
			22:06	2.504	55.16	1.5	0.60		14.3			28.76	58.76	45.63	36.26	71.89	166.91	408.21	169.81
			22:30	2.604	58.60	1.6	0.62		14.6			18.19	55.19	104.74	126.69	88.43	369.40	762.63	169.27
			23:01	2.704	60.86	1.7	0.63		14.9			23.19	39.49	57.04	60.80	26.95	568.49	775.95	169.37
			23:36	2.804	67.40	1.8	0.64		15.1			11.59	37.66	31.86	57.93	31.14	494.61	664.79	146.59
			0:02	2.884	65.92	1.9	0.65		15.3			17.57	49.32	34.46	43.92	33.78	471.61	650.66	157.12
			0:21	2.944	66.00	1.9	0.66		15.5			10.97	26.05	34.27	61.01	45.93	437.35	615.57	154.86
			0:31	2.954	66.10	2.0	0.66		15.5			13.27	33.16	42.74	65.59	39.80	445.12	639.68	144.05
			0:47	2.994	72.00	2.0	0.67		15.6			23.58	39.05	38.31	61.15	53.05	387.54	602.68	144.08
			1:02	3.034	77.82	2.0	0.67		15.7			23.63	45.37	39.70	54.83	44.43	393.25	601.21	112.30
			1:31	3.064	76.04	2.1	0.67		15.8			13.02	26.04	40.43	58.24	37.68	381.64	557.04	154.94
			1:59	3.094	77.41	2.1	0.68		15.9			22.96	47.35	55.24	85.37	31.56	720.25	962.72	147.98
			2:30	3.094	79.57	2.1	0.68		15.9			18.40	32.70	16.35	29.98	42.24	354.28	493.95	155.81
			3:00	3.094	77.22	2.1	0.68		15.9			12.02	29.00	29.71	33.24	26.88	396.08	526.93	150.09
			3:30	3.024	73.77	2.0	0.67		15.7			12.39	22.17	22.82	28.04	28.04	333.83	447.28	162.81
			4:00	3.024	73.41	2.0	0.67		15.7			11.93	14.58	19.22	20.55	19.22	281.73	367.24	160.14
			5:00	2.794	64.20	1.8	0.64		15.1			11.27	28.52	26.53	25.86	9.28	252.66	354.12	160.08
			5:59	2.664	55.26	1.7	0.62		14.7			7.57	19.95	26.83	24.77	11.01	182.31	272.43	154.31
			7:00	2.494	49.58	1.5	0.60		14.3			9.76	15.86	16.47	15.25	14.03	215.90	287.26	174.06
			8:00	2.324	45.99	1.3	0.57		13.8			8.85	29.51	19.18	17.71	11.07	197.73	284.05	143.89
			9:00	2.174	39.18	1.2	0.54		13.3			10.58	22.93	16.46	17.05	12.35	169.92	249.30	180.55
			10:00	2.054	36.81	1.1	0.51		13.0			11.19	15.98	10.39	15.18	17.58	149.44	219.77	132.84
			11:00	1.944	34.09	0.9	0.49		12.6			10.91	12.73	9.70	12.13	7.88	129.15	182.51	175.07
			12:00	1.824	27.85	0.8	0.45		12.2			12.24	20.80	17.13	17.13	12.24	141.93	221.46	173.53
			13:00	1.784	27.46	0.8	0.44		12.1			11.29	15.44	11.29	13.07	13.07	136.62	200.77	178.72
			14:00	1.754	27.07	0.8	0.43		12.0			11.58	15.21	18.10	15.93	15.93	130.33	207.08	146.61
			15:00	1.654	20.17	0.7	0.40		11.6			7.27	14.54	17.66	16.62	8.31	129.83	194.22	102.21

1991年6月20日　　粒径別の濃度(mg/l)

採取位置(横断方向)	採水方法	粒度分析方法	採取時刻	水深(m)	流量(m^3/s)	河床からの採取位置(m)	相対水深	流速m/s(実測)	u*			-0.21	0.21 -0.149	0.149 -0.105	0.105 -0.074	0.074 未満	合計濃度	吸引速度(cm/s)
測線4	ノズル突込み＋スクリュー式ポンプ	洗浄ふるい分け→乾燥	15:07	0.944		0.6	0.68		8.8			34.00	34.00	30.00	30.00	199.00	327.00	
			15:33	0.964		0.7	0.69		8.9			14.00	27.00	27.00	12.00	77.00	157.00	
			16:35	1.034		0.7	0.71		9.2			19.00	27.00	23.00	21.00	126.00	216.00	
			18:00	1.144		0.8	0.74		9.7			19.00	20.00	40.00	24.00	146.00	249.00	
			18:05	1.144		0.8	0.74		9.7			27.00	36.00	19.00	36.00	148.00	266.00	
			18:10	1.144		0.8	0.74		9.7			28.00	30.00	29.00	27.00	190.00	304.00	

1990年10月8日　　粒径別の濃度(mg/l)

採取位置(横断方向)	採水方法	粒度分析方法	採取時刻	水深(m)	流量(m^3/s)	河床からの採取位置(m)	相対水深	流速m/s(実測)	u*			-0.25	0.25 -0.105	0.105 -0.075	0.075 未満	合計濃度	吸引速度(cm/s)
測線4	ノズル突込み＋スクリュー式ポンプ	洗浄ふるい分け→乾燥	19:30	2.964	67.22	2.5	0.83		15.6			53.07	66.34	39.81	358.25	517.48	160.01
			19:30	2.964	67.22	1.5	0.49		15.6			32.27	103.25	45.17	413.02	593.71	164.50
			20:30	3.204	93.39	2.7	0.84		16.2			51.60	167.69	77.40	290.23	586.92	164.59
			20:30	3.204	93.39	1.7	0.53		16.2			166.00	295.11	24.59	221.34	707.04	172.66
			21:30	3.284	87.65	2.8	0.85		16.4			31.64	89.64	63.28	358.56	543.11	201.32
			21:30	3.284	87.65	1.8	0.54		16.4			55.97	151.12	61.57	319.04	587.71	189.66
			22:30	3.214	84.57	2.7	0.84		16.2			25.02	87.57	43.79	494.17	650.55	169.71
			22:30	3.214	84.57	1.7	0.53		16.2			66.26	82.82	60.74	474.84	684.66	192.26
			0:30	2.844	65.14	2.3	0.82		15.2			29.35	70.43	29.35	176.09	305.22	180.86
			0:30	2.844	65.14	1.3	0.47		15.2			69.17	79.82	31.93	196.88	377.80	199.50
			2:30	2.494	54.66	2.0	0.80		14.3			24.31	63.20	29.17	97.24	213.92	218.35
			3:10	2.494	48.00	1.0	0.40		14.3			58.15	74.00	21.14	126.86	280.16	200.83
			3:15	2.494	48.00	0.7	0.28		14.3			10.81	37.85	16.22	102.73	167.61	196.34
			4:30	2.244	43.30	1.7	0.78		13.5			20.54	51.35	15.41	87.30	174.60	206.72
			5:30	2.154	43.30	0.7	0.30		13.3			31.25	78.14	15.63	83.34	208.36	203.79
			6:10	2.064	41.08	1.6	0.76		13.0			19.13	57.39	23.91	62.17	162.59	221.99
			6:30	2.064	41.08	0.6	0.27		13.0			29.27	78.05	19.51	92.68	219.52	217.62
			8:30	1.914	38.81	1.4	0.74		12.5			15.05	40.12	20.06	15.05	90.28	211.66
			8:30	1.914	38.81	0.4	0.22		12.5			33.11	59.59	19.86	59.59	172.15	160.33

表-6.2.1(6)　浮遊土砂観測結果

1990年10月1日　　粒径別の濃度(mg/l)

採取位置(横断方向)	採水方法	粒度分析方法	採取時刻	水深(m)	流量(m^3/s)	河床からの採取位置(m)	相対水深	流速m/s(実測)	u*			-0.25	0.25 -0.105	0.105 -0.075	0.075未満	合計濃度	吸引速度(cm/s)
測線4	ノズル突込み＋スクリュー式ポンプ	洗浄ふるい分け→乾燥	22:07	3.244	77.73	2.7	0.85		16.3			7.92	39.58	197.88	641.13	886.50	134.05
			22:13	3.244	77.73	2.2	0.69		16.3			32.45	194.67	308.23	446.13	981.48	130.81
			23:05	3.554	88.07	3.1	0.86		17.0			23.71	31.61	118.55	766.60	940.47	134.25
			23:11	3.554	88.07	2.6	0.72		17.0			75.10	309.81	131.43	478.79	995.14	113.02
			23:55	3.844	101.50	3.3	0.87		17.7			18.58	222.98	167.24	377.83	786.63	171.30
			23:58	3.844	102.50	2.8	0.74		17.7			32.45	283.95	194.71	665.27	1176.38	130.78
			0:56	4.044	114.80	3.5	0.88		18.2			22.86	114.30	68.58	685.78	891.51	139.25
			1:00	4.044	115.30	3.0	0.75		18.2			26.59	79.78	59.84	525.24	691.46	159.59
			1:58	4.134	108.00	3.6	0.88		18.4			12.46	68.53	99.68	299.05	479.72	170.31
			2:00	4.134	108.00	3.1	0.76		18.4			7.37	66.37	36.87	368.70	479.32	143.89
			2:57	4.144	114.11	3.6	0.88		18.4			14.52	72.60	58.08	333.98	479.18	146.14
			3:00	4.144	109.00	3.1	0.76		18.4			15.20	53.20	53.20	273.62	395.23	139.60
			3:57	4.084	110.20	3.6	0.88		18.3			11.59	46.36	28.97	214.40	301.31	183.11
			4:00	4.084	110.20	3.1	0.76		18.3			17.28	57.60	46.08	201.61	322.58	184.19
			4:59	3.964	106.90	3.5	0.87		18.0			12.21	36.64	24.43	164.88	238.15	173.75
			5:03	3.964	106.90	3.0	0.75		18.0			17.18	51.54	8.59	188.98	266.29	123.52

1990年8月10日　　粒径別の濃度(mg/l)

採取位置(横断方向)	採水方法	粒度分析方法	採取時刻	水深(m)	流量(m^3/s)	河床からの採取位置(m)	相対水深	流速m/s(実測)	u*			-0.25	0.25 -0.105	0.105 -0.074	0.074未満	合計濃度	吸引速度(cm/s)
測線4	ノズル突込み＋スクリュー式ポンプ	試料乾燥→ふるい分け試験	15:48	2.944	63.03	2.4	0.83		15.5			9.02	293.04	121.73	374.19	797.98	235.35
			15:48	2.944	63.03	1.9	0.66		15.5			9.22	198.16	115.21	437.80	760.40	230.24
			16:49	3.184	71.31	2.7	0.84		16.1			5.28	179.65	132.09	332.88	649.90	200.81
			16:49	3.184	71.31	2.2	0.69		16.1			6.68	166.90	126.84	373.85	674.27	158.93
			17:43	3.354	82.26	2.9	0.85		16.6			10.25	169.20	112.80	364.03	656.28	206.94
			17:43	3.354	82.26	2.4	0.70		16.6			5.67	215.45	90.72	351.53	663.37	187.14
			19:02	3.574	97.97	3.1	0.86		17.1			6.03	241.08	114.52	343.55	705.17	176.04
			19:02	3.574	97.97	2.6	0.72		17.1			10.99	236.23	71.42	329.63	648.27	193.13
			19:45	3.634	96.95	3.1	0.86		17.2			12.40	198.41	142.60	390.61	744.02	171.13
			19:45	3.634	96.95	2.6	0.72		17.2			14.29	257.15	121.43	421.45	814.32	148.54
			20:53	3.644	95.12	3.1	0.86		17.3			5.30	392.42	148.48	381.82	928.02	200.08
			20:53	3.644	95.12	2.6	0.73		17.3			5.03	296.95	120.79	493.24	916.02	210.81
			21:50	3.534	86.66	3.0	0.86		17.0			9.38	187.55	75.02	276.63	548.57	226.30
			21:50	3.534	86.66	2.5	0.72		17.0			5.88	170.49	117.58	235.16	529.10	180.48
			22:47	3.334	78.67	2.8	0.85		16.5			4.64	136.80	39.08	151.45	331.98	217.18
			22:47	3.334	78.67	2.3	0.70		16.5			2.66	288.39	11.31	56.55	358.90	187.64

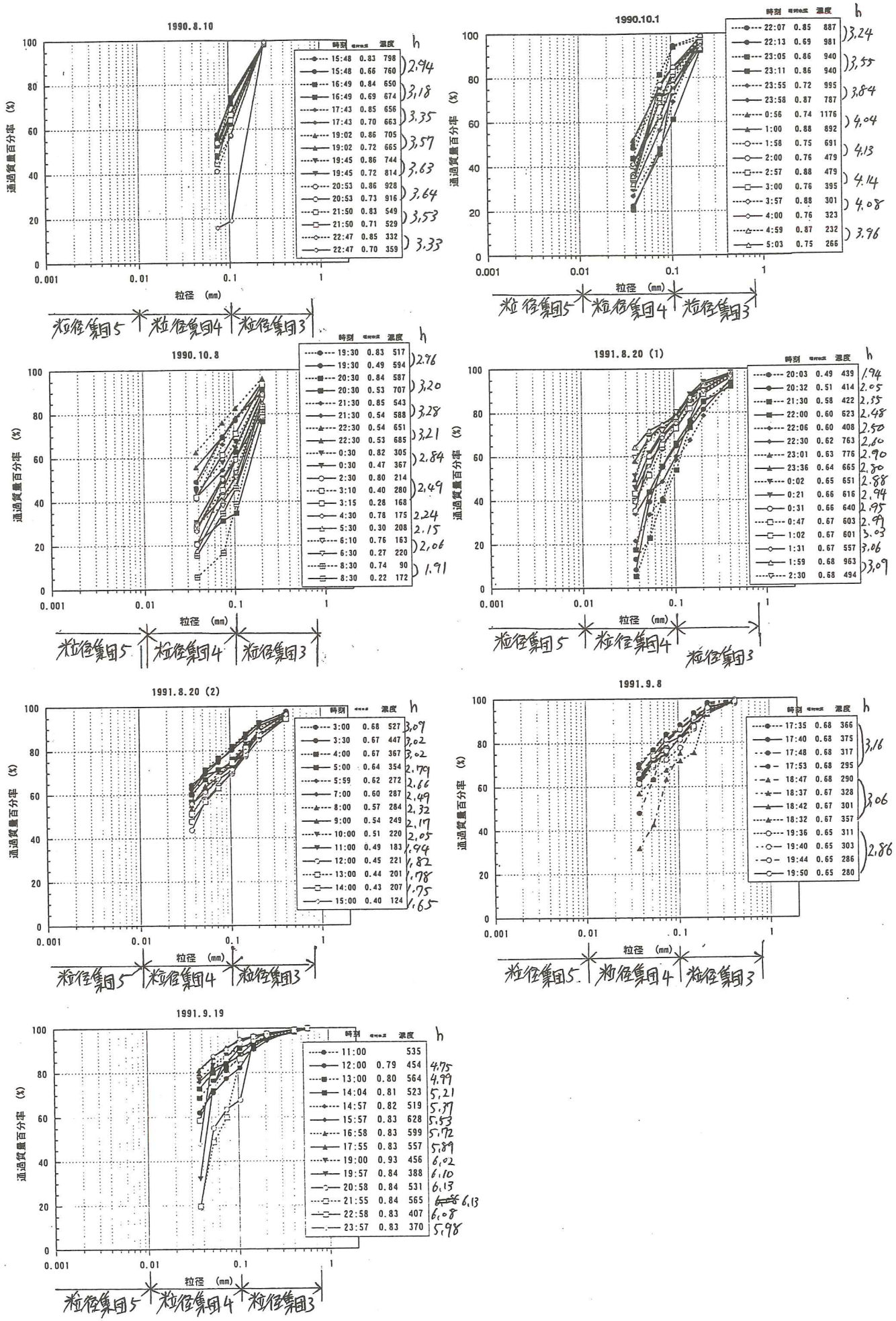


図-6.2.1(1)　浮遊土砂の粒径加積曲線

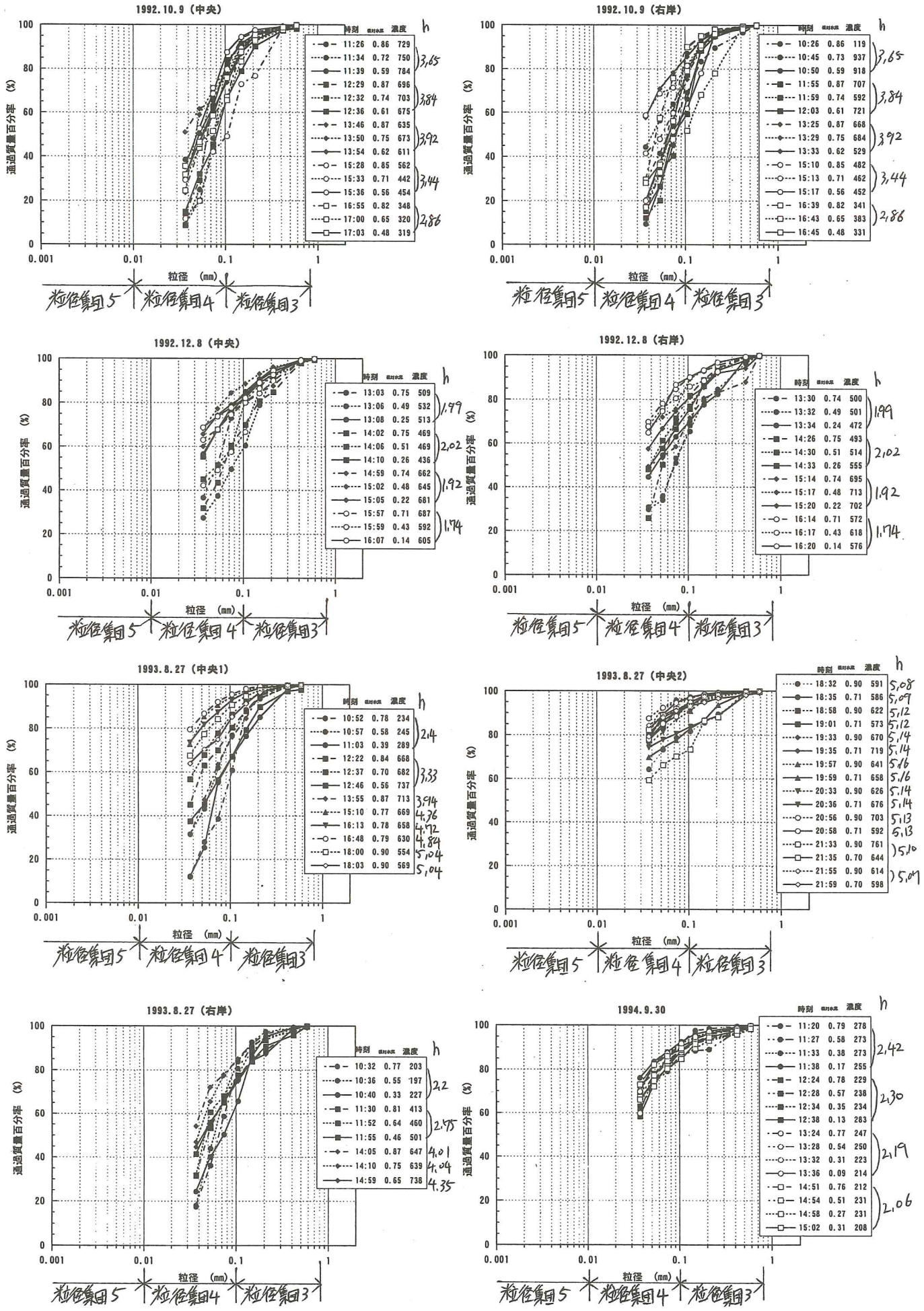


図-6.2.1(2)　浮遊土砂の粒径加積曲線

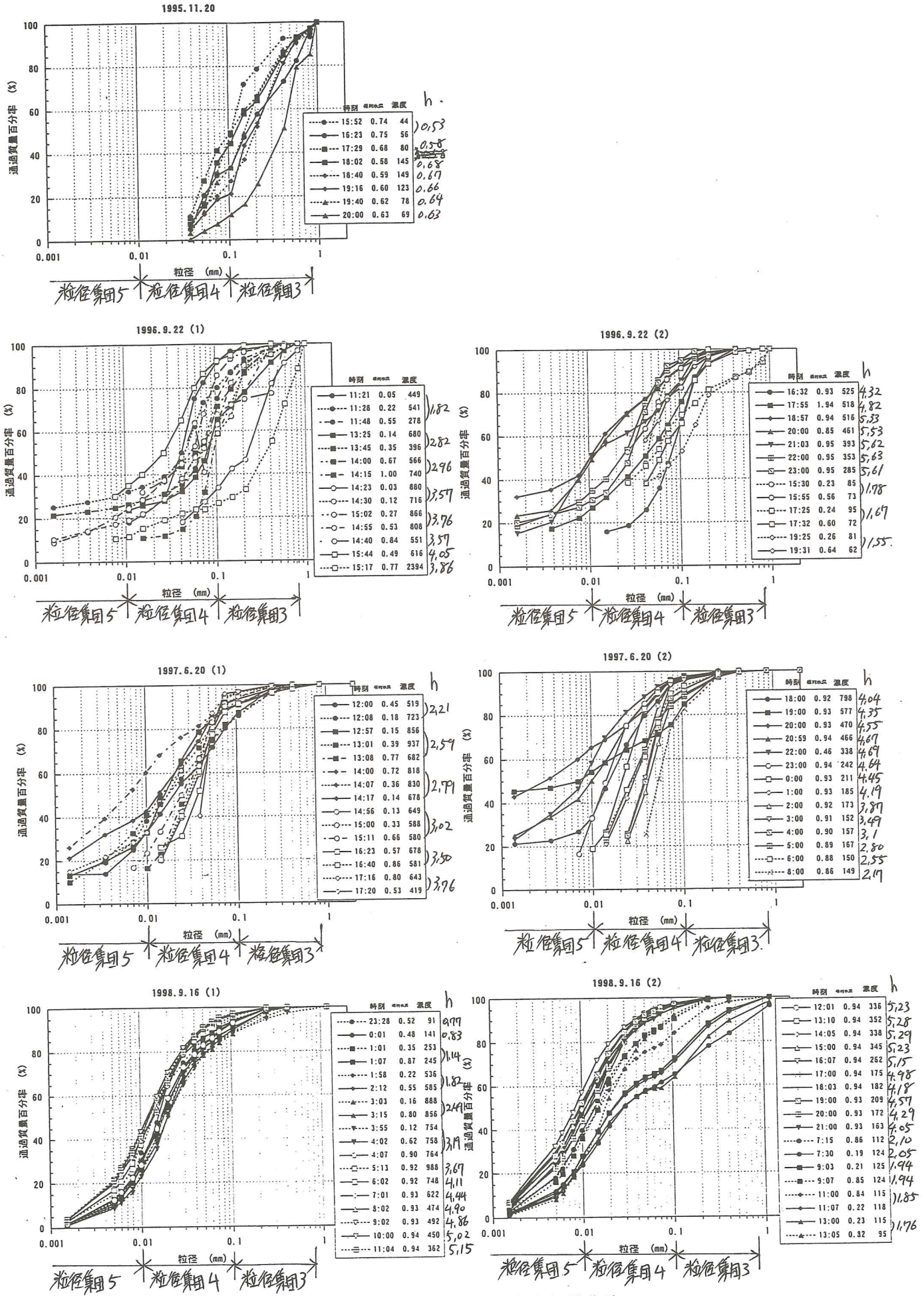
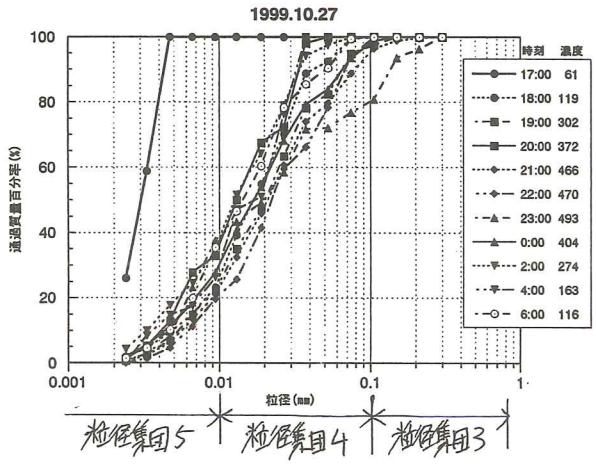


図-6.2.1(3)　浮遊土砂の粒径加積曲線



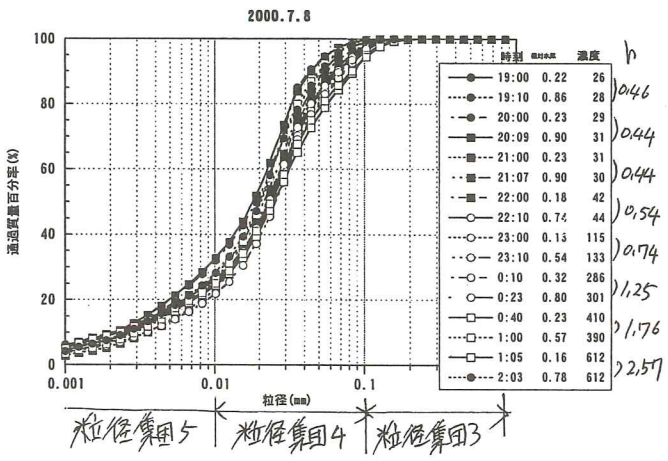


図-6.2.1(4)　浮遊土砂の粒径加積曲線

(2)水深方向の濃度分布

浮遊砂の断面移動量を正確に把握するため、第5章では、土砂移動量算出のための採取方法（採取深さ）を粒径別に示した。ただし、その採取法が適用されるためには、その算定に用いたラウス式による濃度分布および対数則による流速分布が一致している必要がある。そこで、水深方向の流速分布および濃度分布の実測結果と計算値を比較する。

図－6.2.2、6.2.3[3]は、土砂濃度の観測を河床近傍から水面付近まで水深方向に多点に渡って行うことのできた1996.9.16洪水の13:25および14:23の試料について土砂濃度の鉛直分布を示したものである。鉛直方向5点の採水を行うことが出来た14:23のデータに着目すると、採水深は、河床から0.1m,0.4m,1.0m,2.0m,3.0mであるが、このうち0.1m、0.4mについてはノズルの採水速度がノズル前面の接近流速に対して小さく、濃度が過小評価されるおそれがあるため、※印を示した。粒径0.42～0.84mm、0.21～0.42mmの粒径集団3の土砂は、引き込み流速が接近流速に対して小さいデータが混じっているものの、水深方向に明確に濃度差が生じており、河床に近づくに従い濃度が急激に上昇している傾向にあることが分かる。逆に、水深方向に土砂濃度の差が生じないと予想された粒径集団4（5）の土砂、粒径0.075～0.106mmおよび0.075mm未満の土砂濃度の鉛直分布は、引き込み流速が接近流速に対して小さい0.1、0.4mのデータで濃度が小さくなるというバラツキが見られるものの、全体的な傾向として水深方向に一様な傾向を示している。採水の引き込み流速が低下すると、沈降速度の大きい大粒径土砂ほど採取しにくくなり、引き込み流速に対して沈降速度が十分に小さいウォッシュロード的運動形態で流送される細粒土砂は、あまり影響を受けないものと推定されるが、本観測ではウォッシュロード的運動形態で流送されていると考えられる粒径0.106mm未満の粒径集団4の土砂についても濃度が低下する結果となっていた。この理由が、ゴミがノズル前面に引っかかったため生じたのか、観測のバラツキなのかは明らかでない。

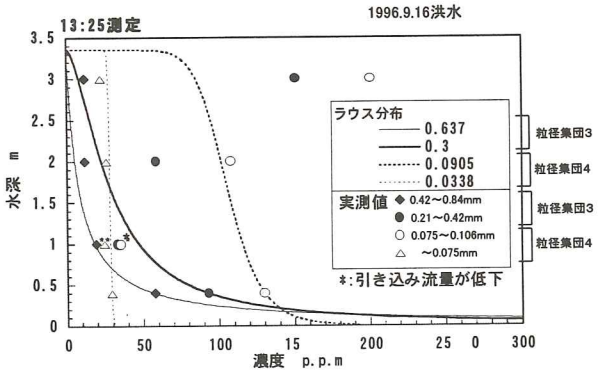


図-6.2.2 鉛直濃度分布(1996年9月16日洪水 13:25)

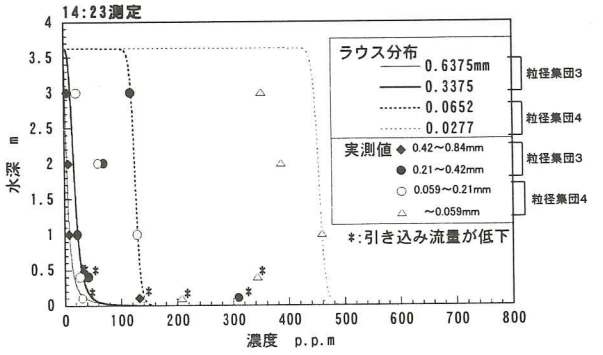


図-6.2.3 鉛直濃度分布(1996年9月16日洪水 14:23)

なお、**図－6.2.2、図－6.2.3**には、Rouse分布を重ね書きしてある。Rouse分布をプロットする際の基準点aおよび基準点濃度Caは、（ノズルの採水速度）＞（接近流速）の下側の採水地点の値を用いた。図から、全体的な傾向としてはRouse分布に近い濃度分布を示している。ただし、Rouse分布に対してバラツキの大きい観測結果も見られ、完全に一致したとは言い難い。

図－6.2.4には、その他の観測結果について粒径別の土砂濃度鉛直分布を示した。なお、**図－6.2.4**は水深方向に2点以上測定した結果のみ示した。また、それらの土砂濃度分布を一括してRouse分布と比較するため、**図－6.2.5**には、Rouse式（5-1）の指数Zを鉛直方向に複数採水できた観測結果から逆算して求めたZ1と水理量から求めた計算値$Z(=w_0/\kappa u_*)$の関係を示し、Rouse分布と涸沼川における実測濃度分布の比較を行った。なお、採

水速度<<接近流速となる試料については除外した。すると、そのバラツキは非常に大きくなる結果となり、試料によっては濃度の逆転現象が生じる（Z_1がマイナスになる）ケースが見られる。ただ、かなり大まかな傾向としては、Zが小さい（u_*/w_0が大きい）ときには観測結果は$Z=Z_1$のまわりに分布し、Zの増大（u_*/w_0が小さくなる）とともに$Z_1<Z$の濃度分布を示す傾向、つまりRouse分布に対して観測濃度分布が一様になるような傾向を示している。この傾向は、**図－6.2.6**[5]に示すEinstein、Chienによる Missouri川（1951、1952年）やAtchafalaya川の観測結果３と合っている。

図－6.2.5において$Z_1=w_0/\beta\kappa u_*$と仮定して、観測結果の平均を代表するβを逆算したところ、$\beta=4.5$となり、**図－6.2.6**の観測結果とよく合う値$\beta=1.2$に対して、非常に大きな値となった。結局、水深方向の濃度分布は非常に大きくばらつくこと、大まかな傾向として濃度分布は生じるが、Rouse分布に対して観測結果の鉛直濃度差は小さくなる傾向にあると言える。

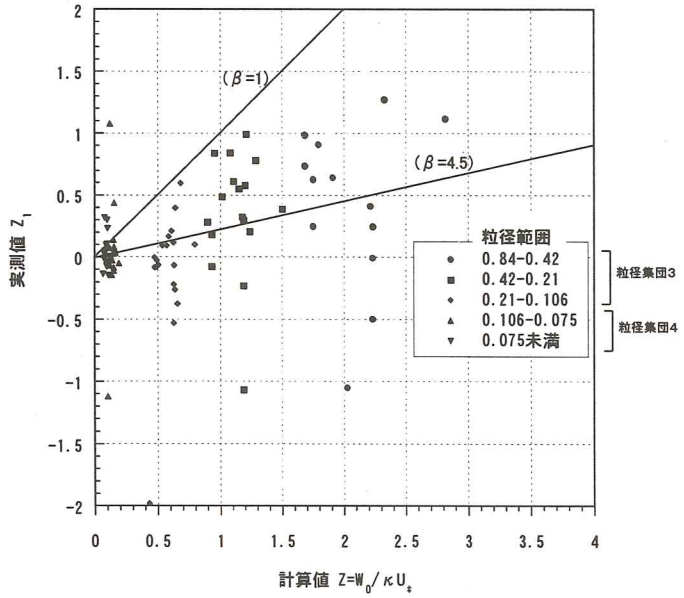


図-6.2.5 ラウス分布におけるZと実測値Z1の関係

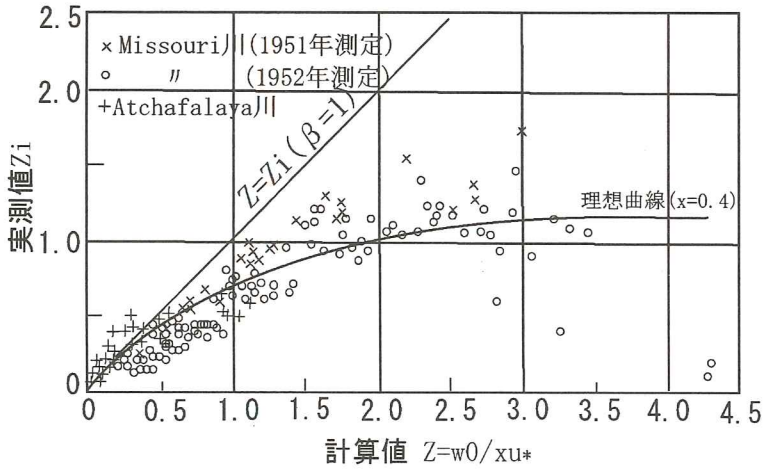


図-6.2.6 Missouri川とAtchafara川における観測結果

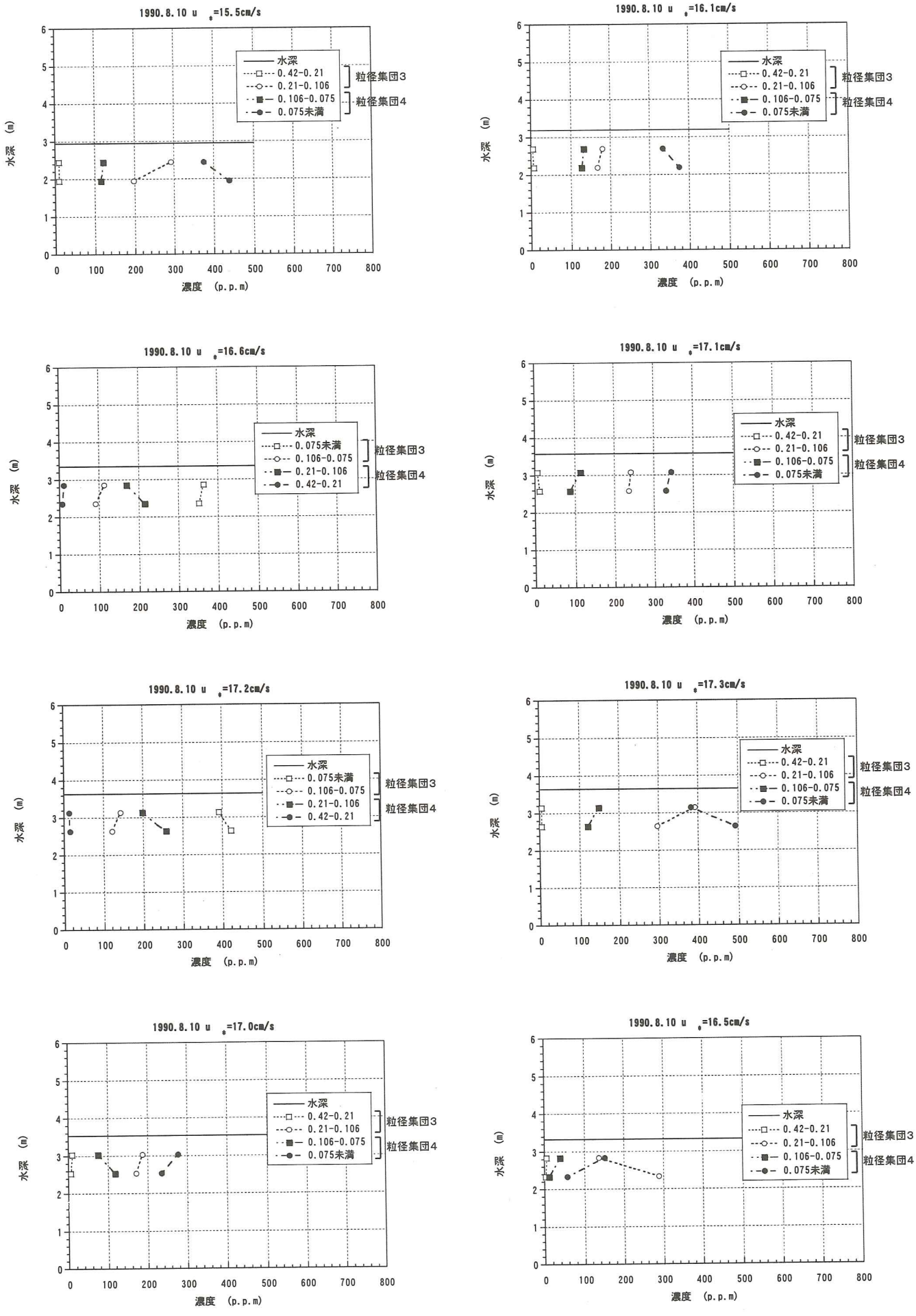


図-6.2.4(1)　浮遊土砂濃度の鉛直分布

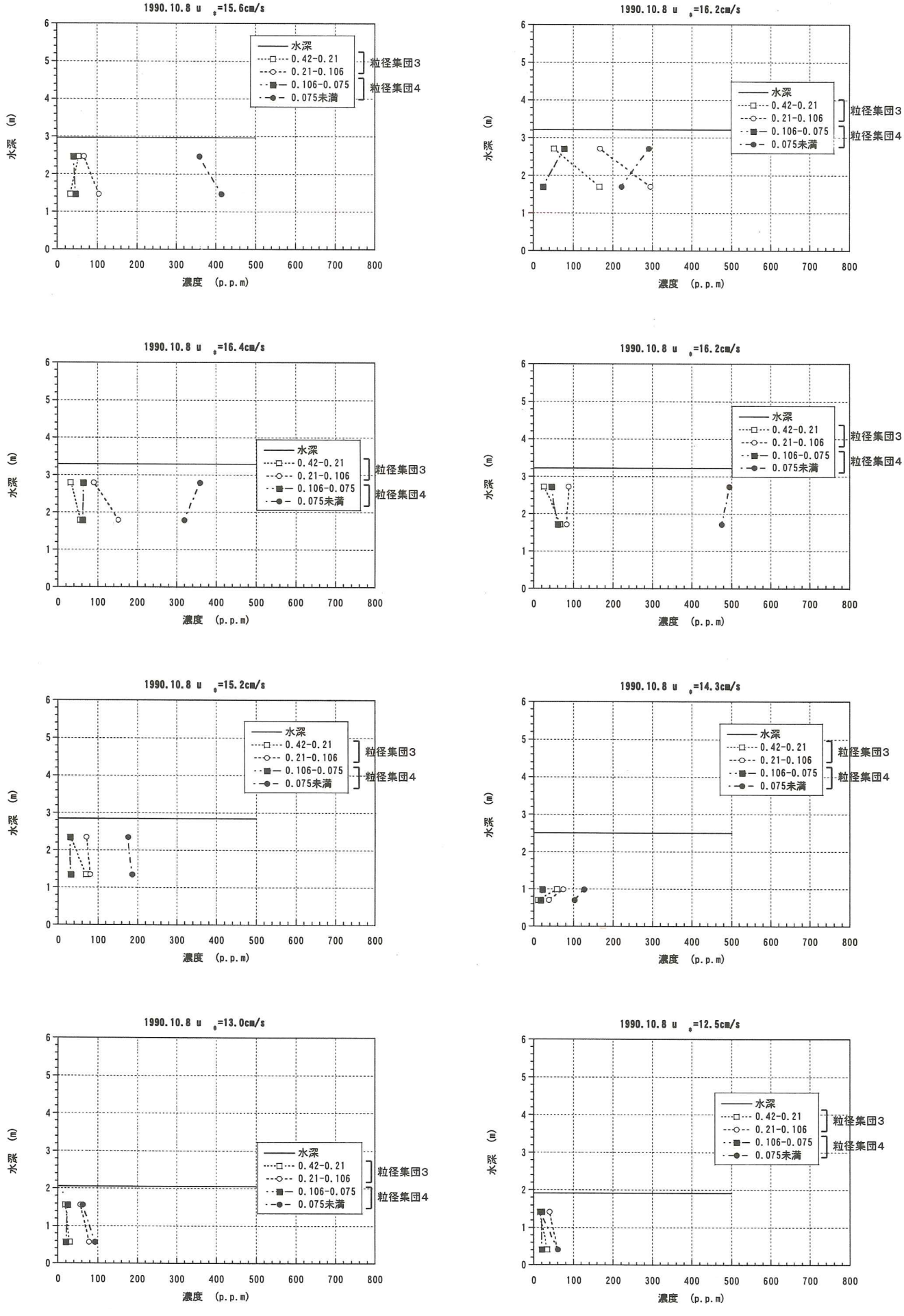


図-6.2.4(2)　浮遊土砂濃度の鉛直分布

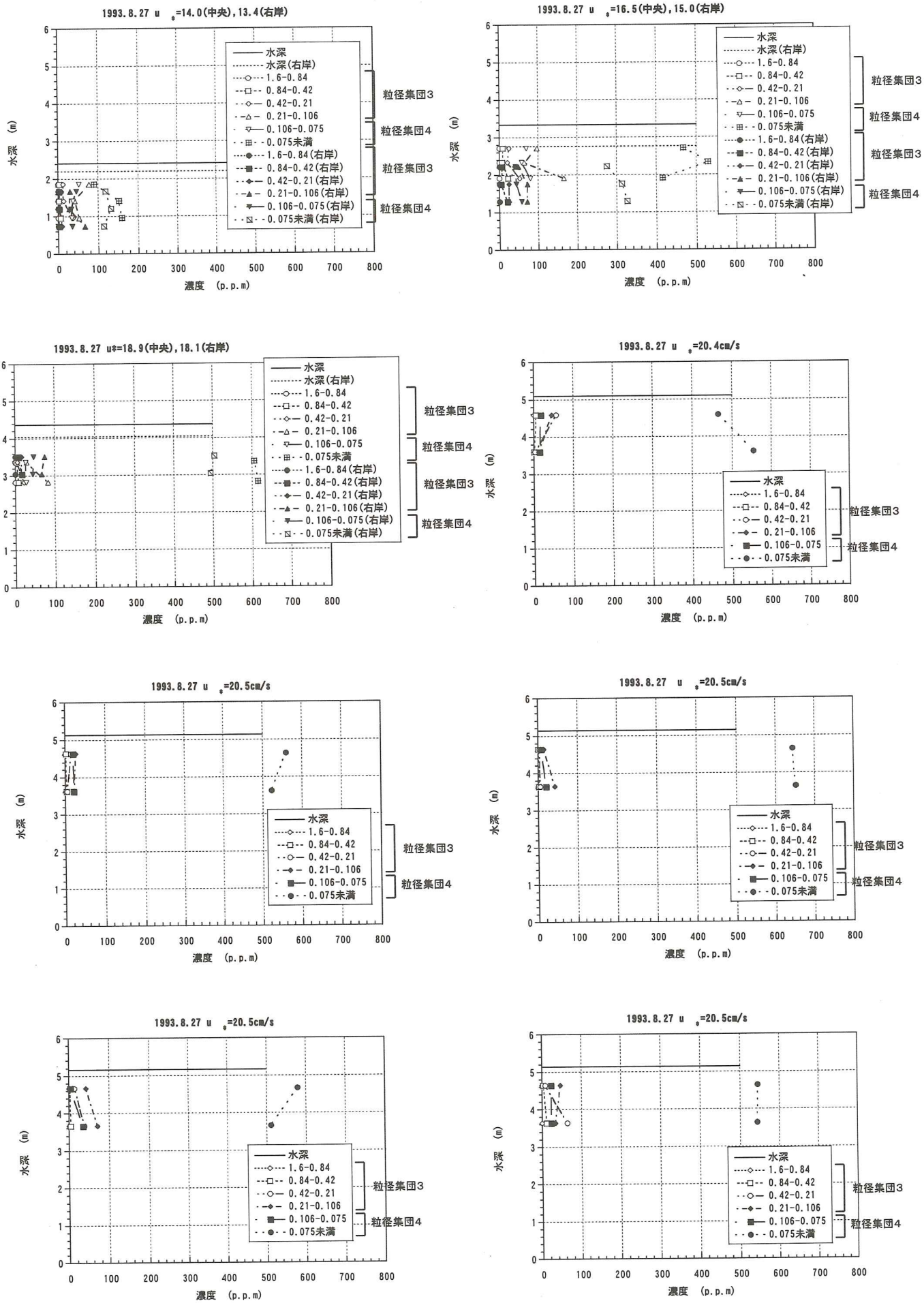
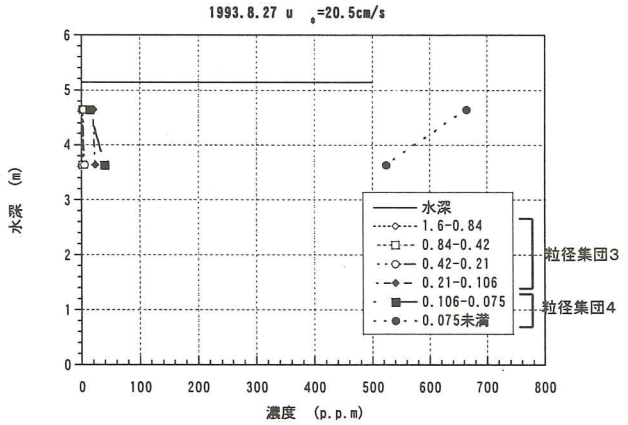
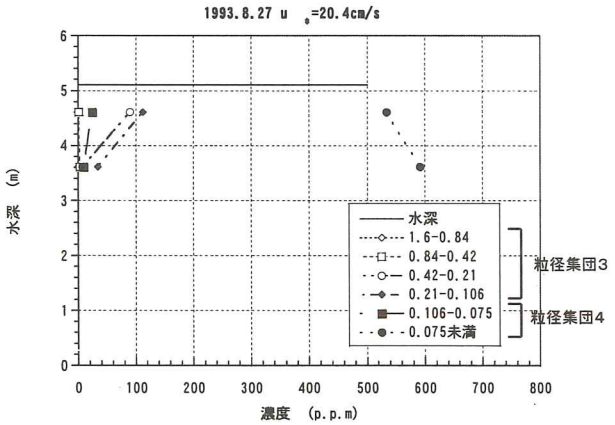


図-6.2.4(3)　浮遊土砂濃度の鉛直分布





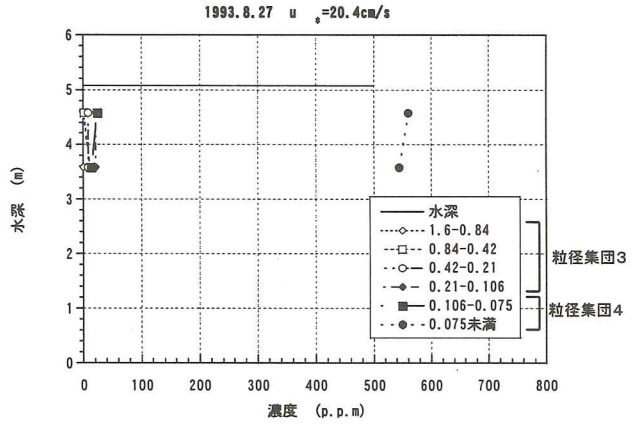
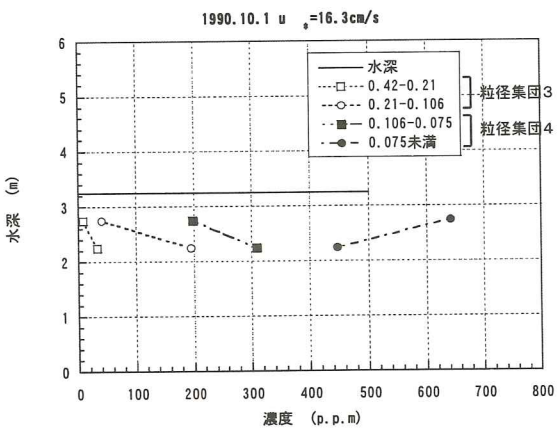
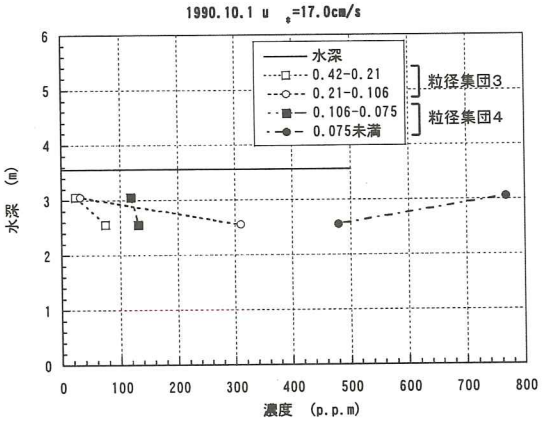
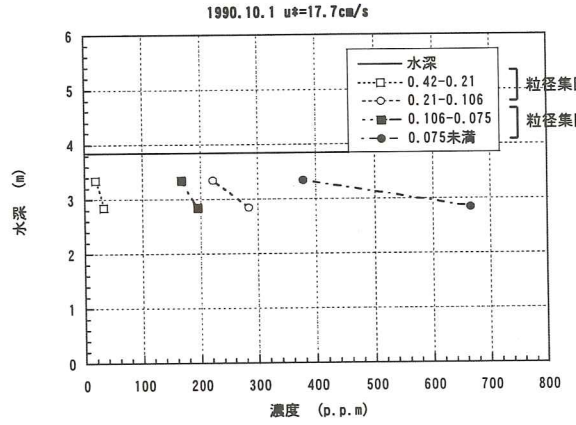
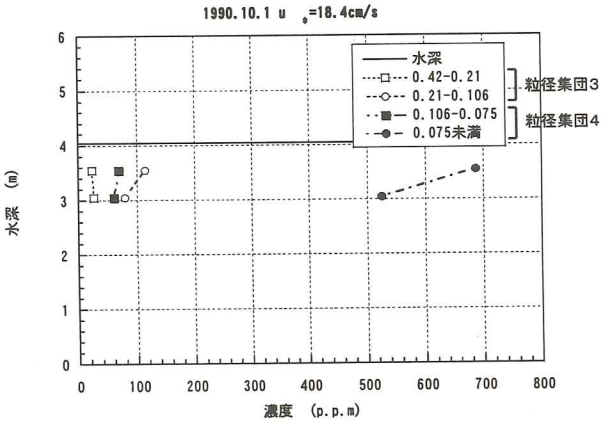


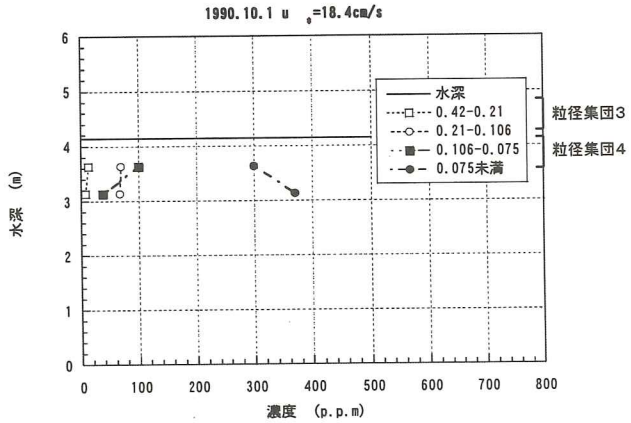
図-6.2.4(4)　浮遊土砂濃度の鉛直分布

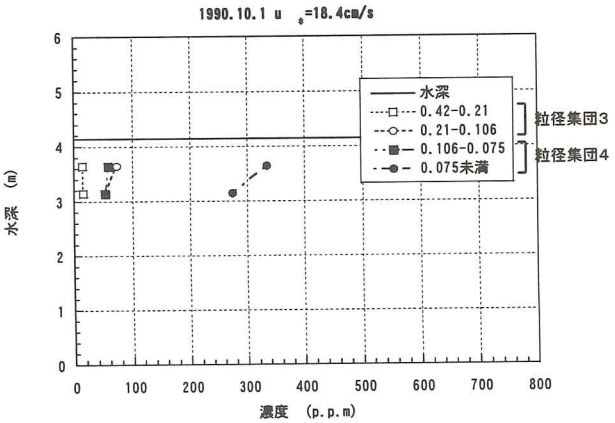


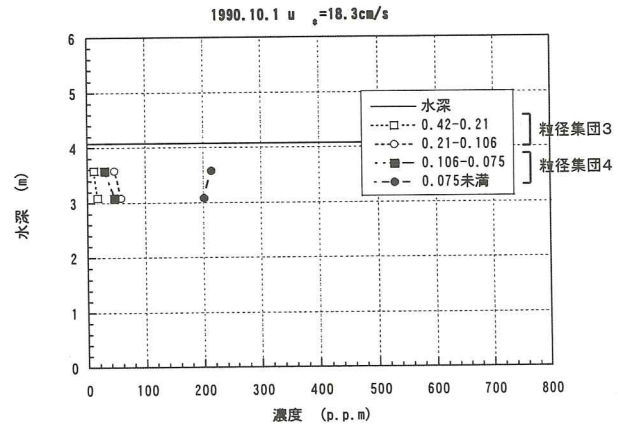












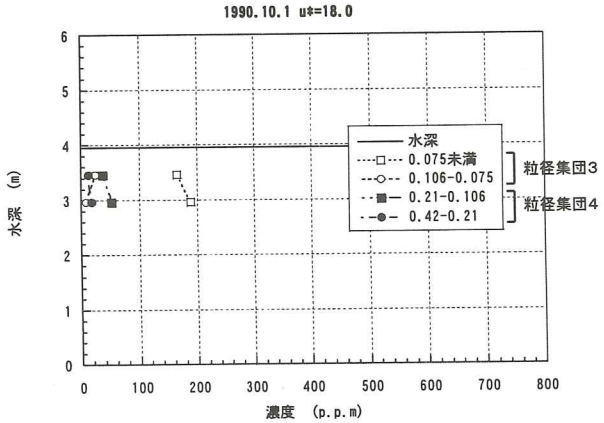
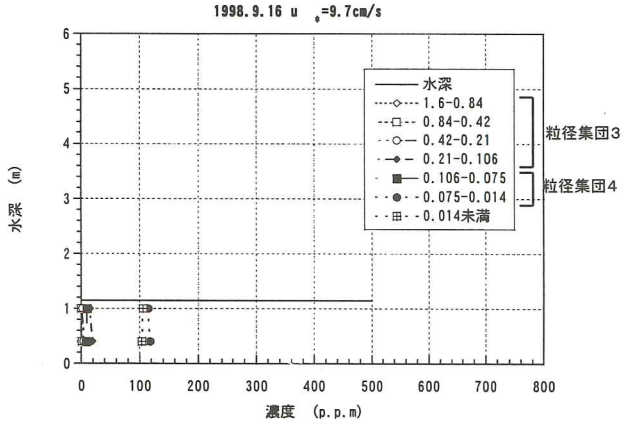
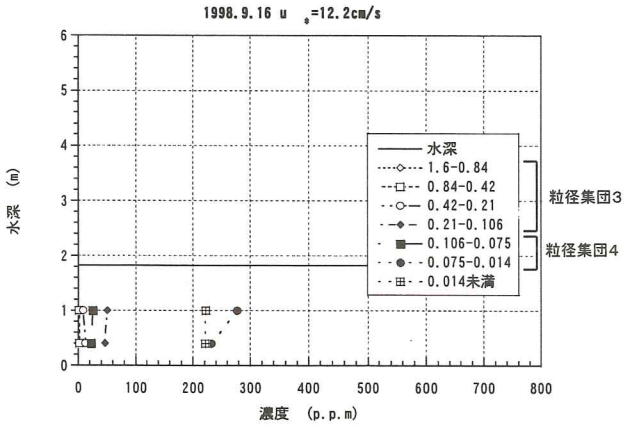
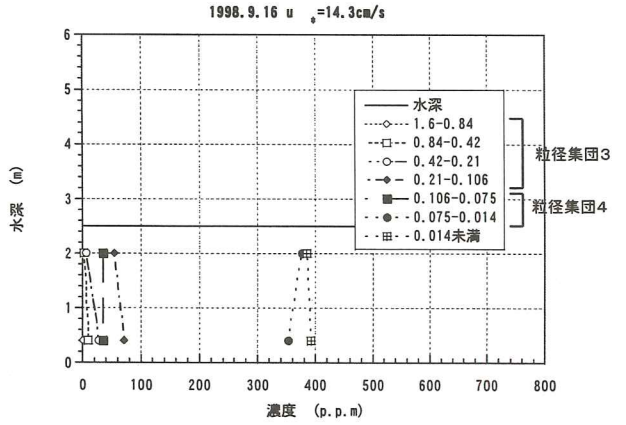
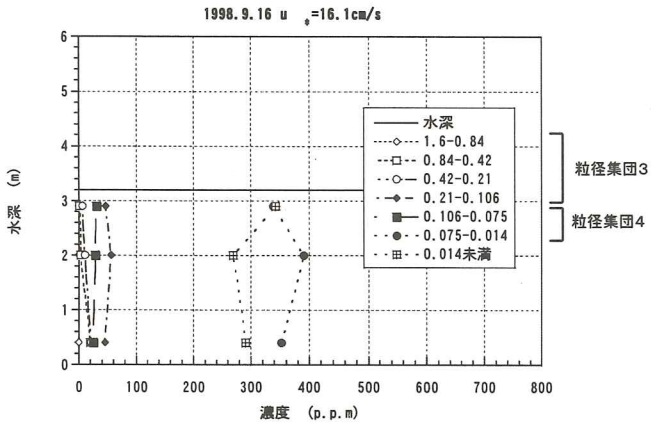


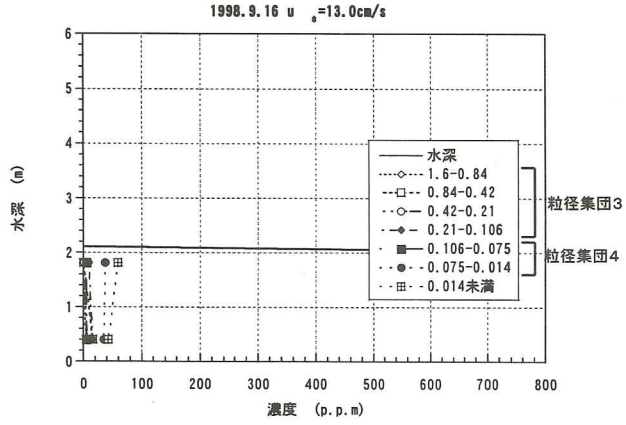
図-6.2.4(5)　浮遊土砂濃度の鉛直分布

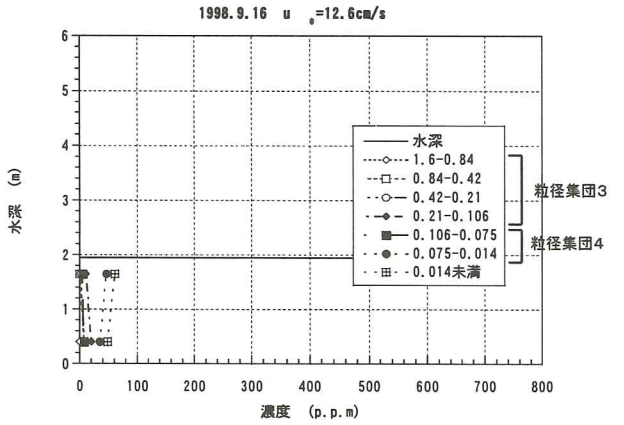


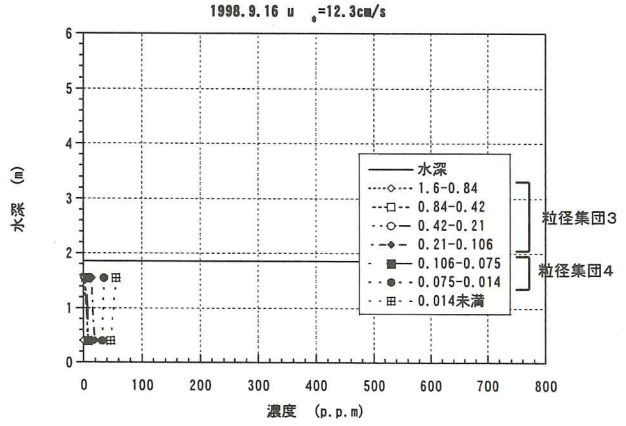












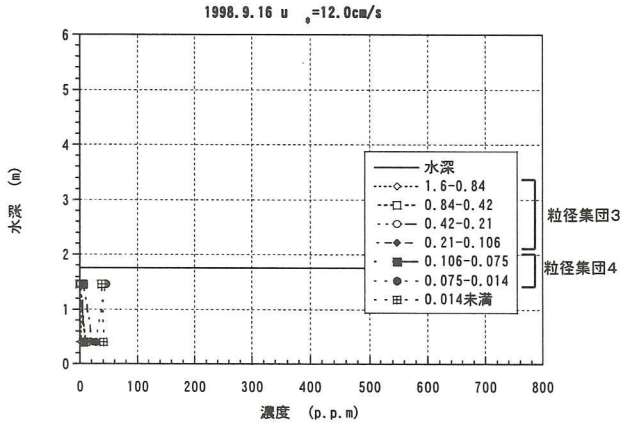
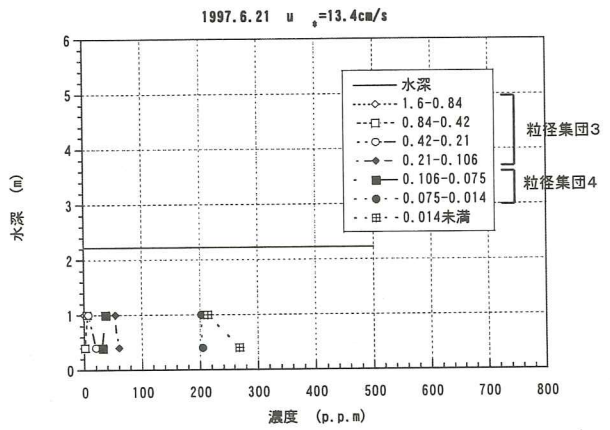
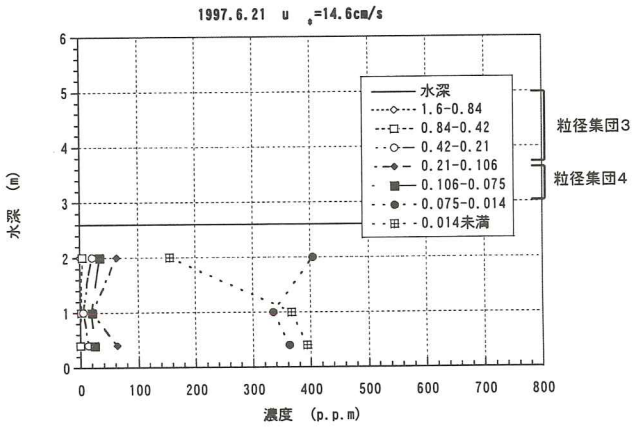
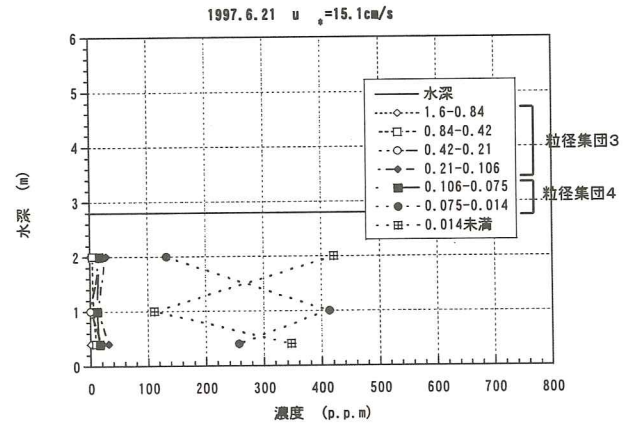
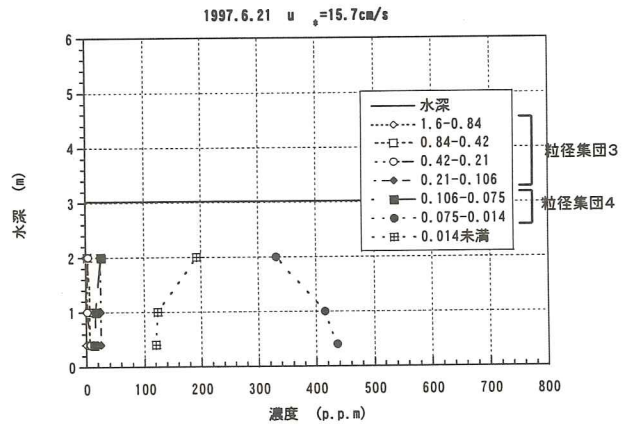


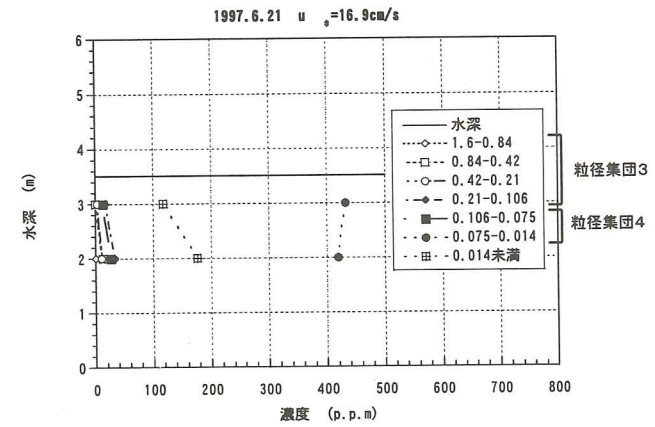
図-6.2.4(6)　浮遊土砂濃度の鉛直分布











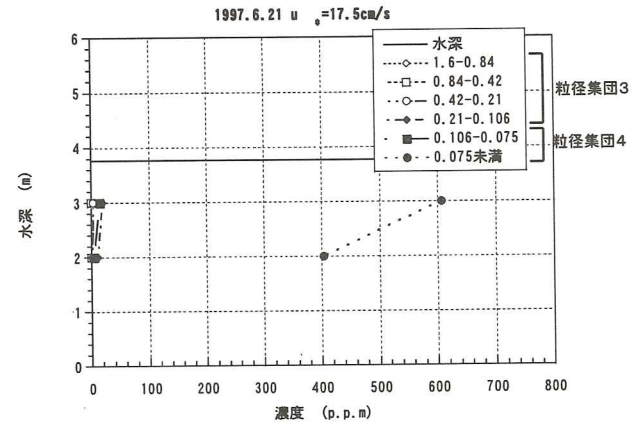


図-6.2.4(7)　浮遊土砂濃度の鉛直分布

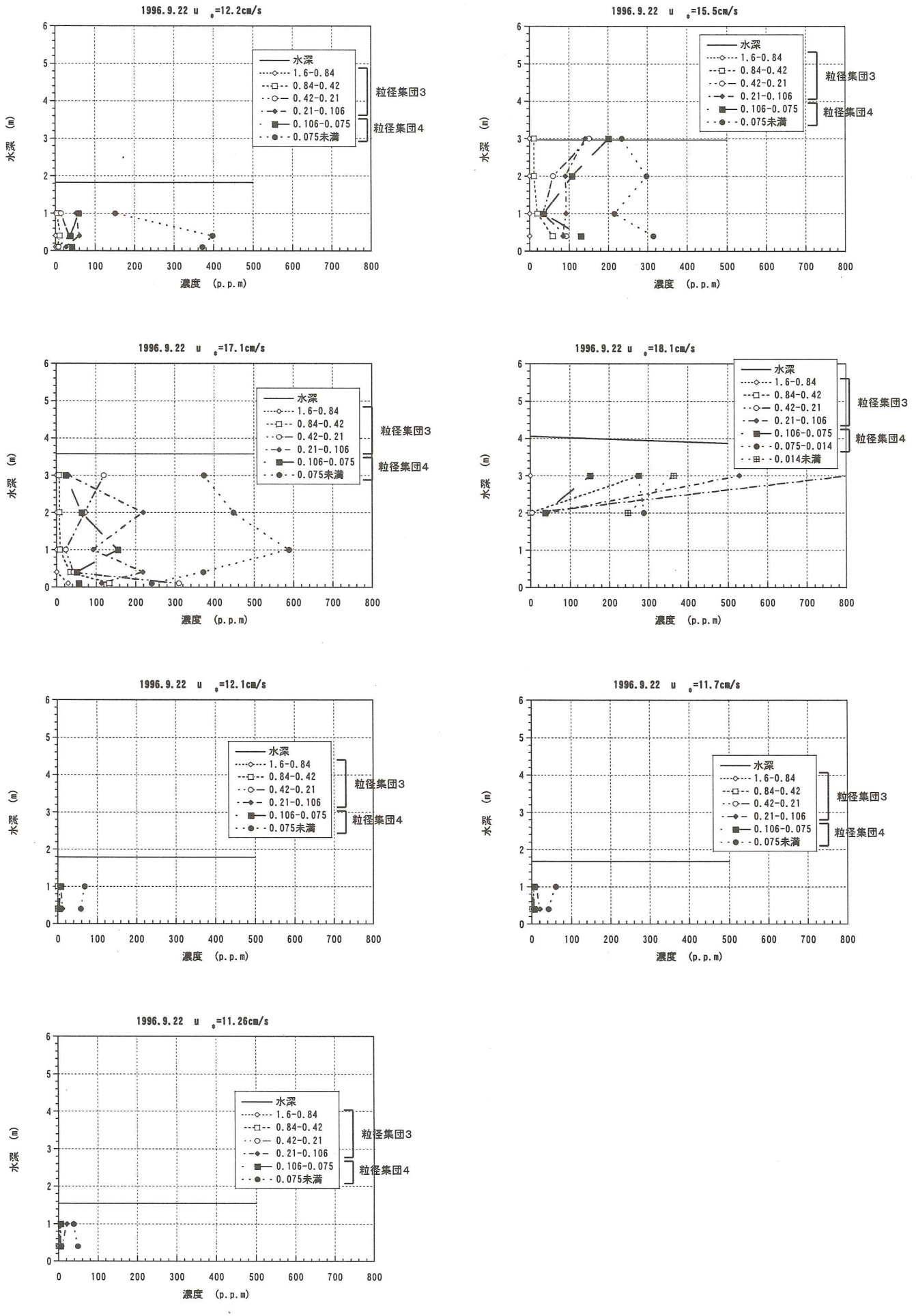


図-6.2.4(8)　浮遊土砂濃度の鉛直分布

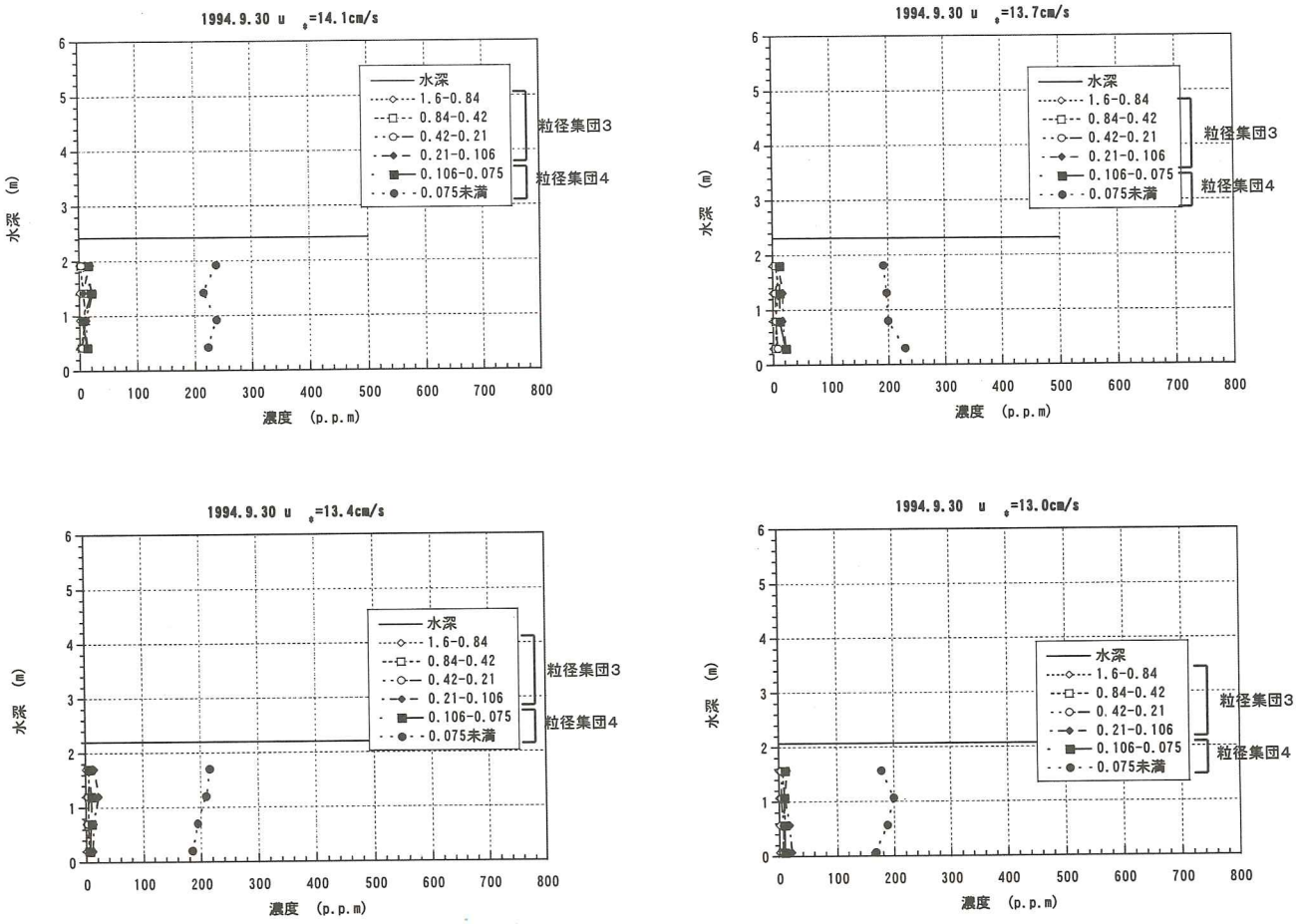


図-6.2.4(9)　浮遊土砂濃度の鉛直分布

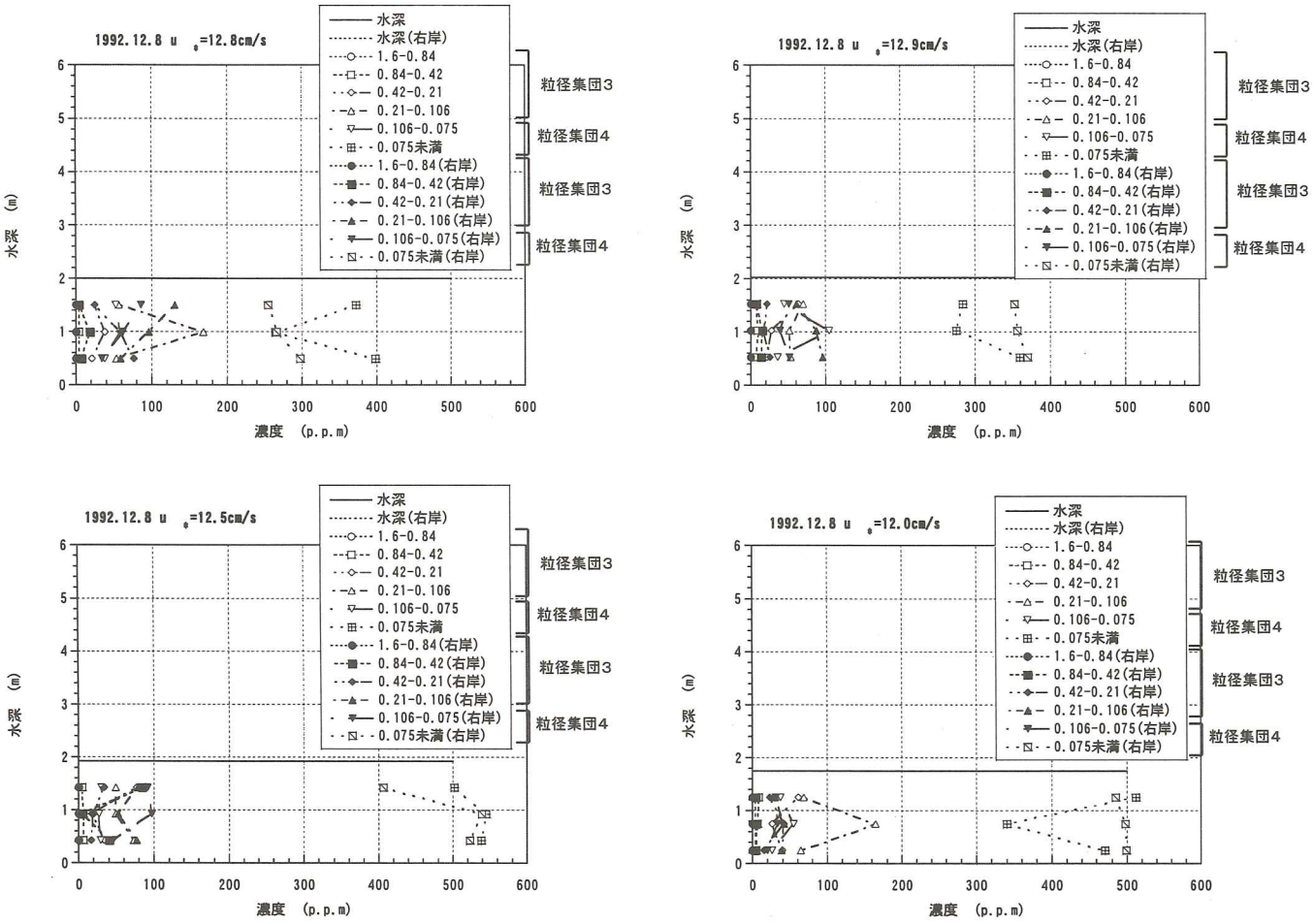


図-6.2.4(10) 浮遊土砂濃度の鉛直分布

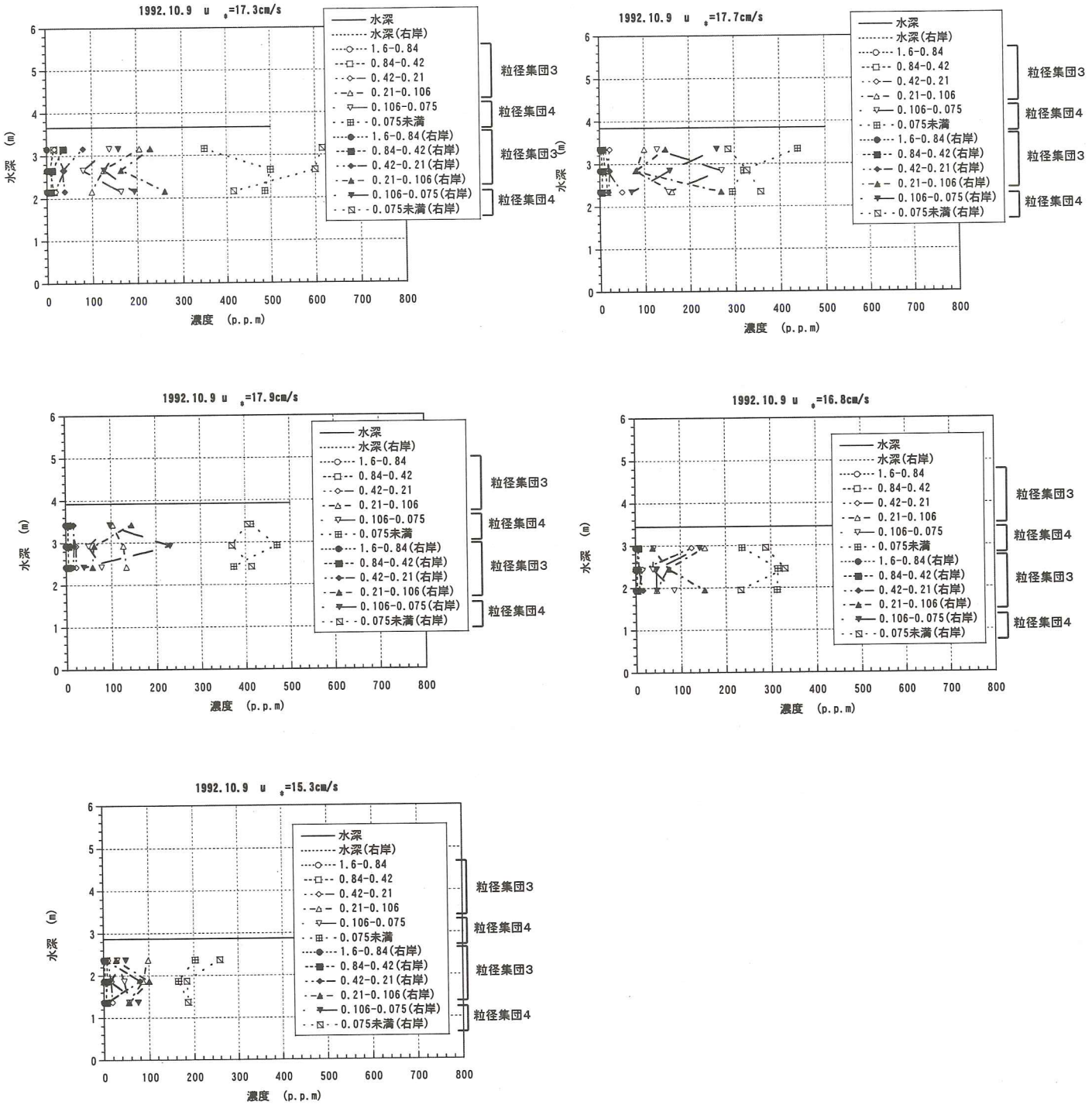


図-6.2.4(11)　浮遊土砂濃度の鉛直分布

(3)水深方向の流速分布

図－6.2.7 には洪水時の流速鉛直分布の測定結果と対数則による計算の比較を示す。バラツキが大きいが、傾向的には対数則による計算と近い分布を示している。**図－6.2.8** は、参考までに**図－6.2.7** の各洪水時の流速測定結果を一つの図に重ね書きしたものである。なお、図中には、**図－6.2.7** と同様に対数則による計算を合わせて示した。また、流速値は異なる水理量での比較を行うことから、u/u_*の無次元表示とした。**図－6.2.8** より、水深が 3.5m を越えると流速は小さくなる傾向を示した。このような傾向を示した理由として、中規模河川である涸沼川は、観測地点での B/H が平均年最大流量時で 5 程度と小さいことから、高水敷から流入する流水や、河岸に密生する竹、柳等の植生に起因する河岸渦の影響[6)]が河道中央部まで及び、水深 3m 以上の流速を低減させたためと考えられる。**図－6.2.8** から、河床付近から水深 3m 程度までの流速は、対数則による計算に対して若干大きめの値を示すものの、その分布形状は対数則分布とほぼ近似する傾向にある。

(2)、(3)の結果より、土砂濃度の鉛直分布については水深方向に一様化する傾向にあるが、第 5 章の検討における平均化の仮定に比べて図－5.2.1 の土砂の鉛直濃度分布がより平滑化されるものと考えられ、水深方向の平均濃度を算出する上で生じる観測誤差の問題は小さくなると考えられる。従って、涸沼川における浮遊砂・ウォッシュロード観測の採水位置・観測結果整理については第 5 章の方法を用いても大きな誤差は生じないものと判断した。

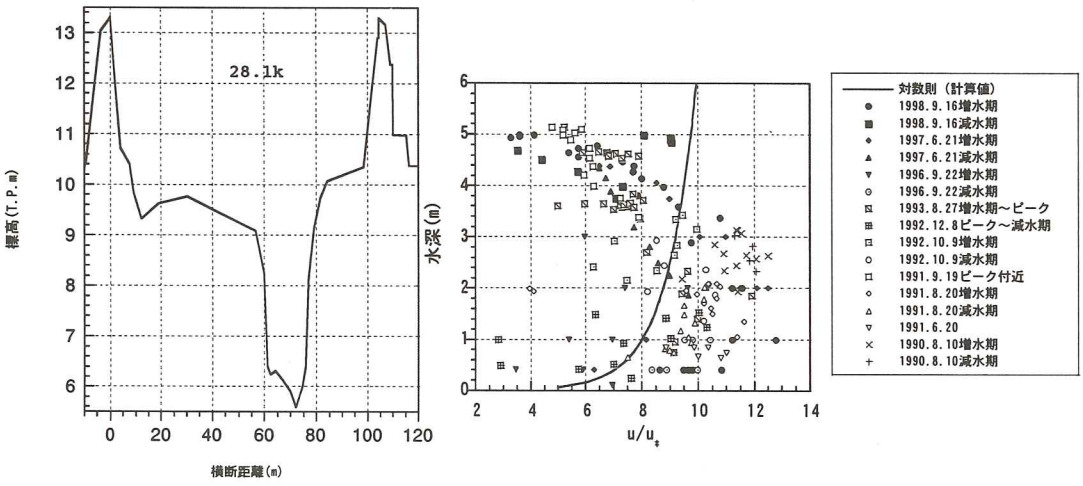
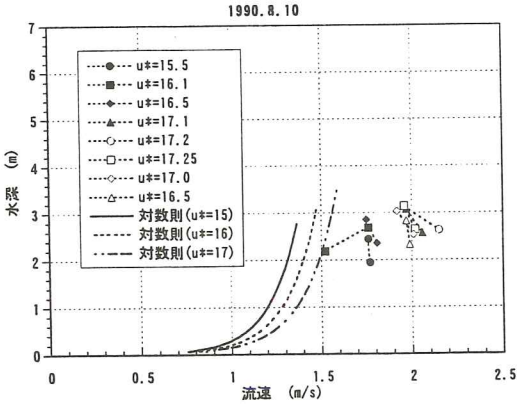
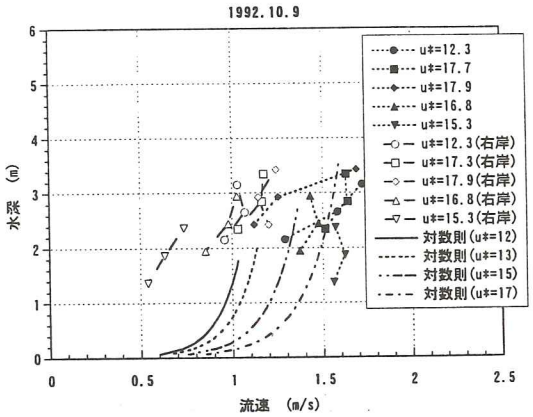
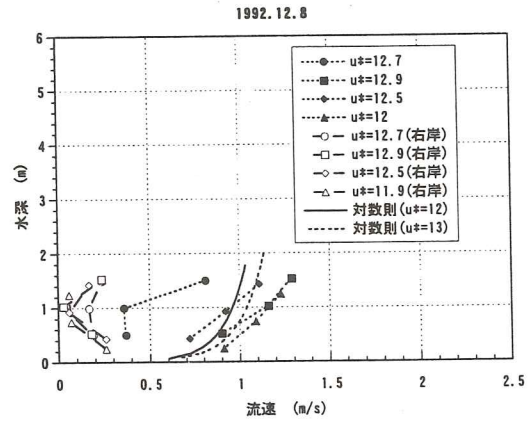
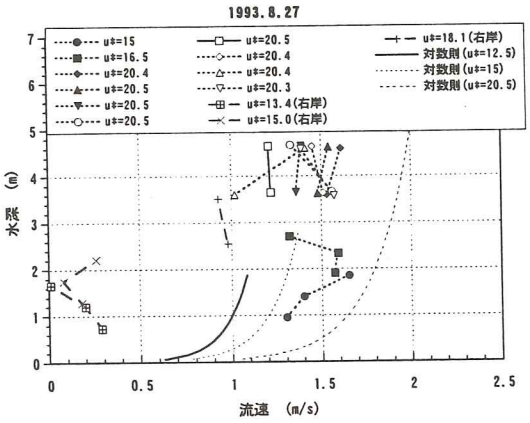


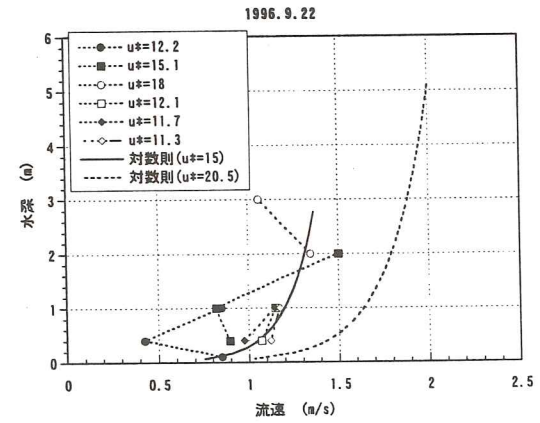
図-6.2.8 水深方向の流速分布と対数則

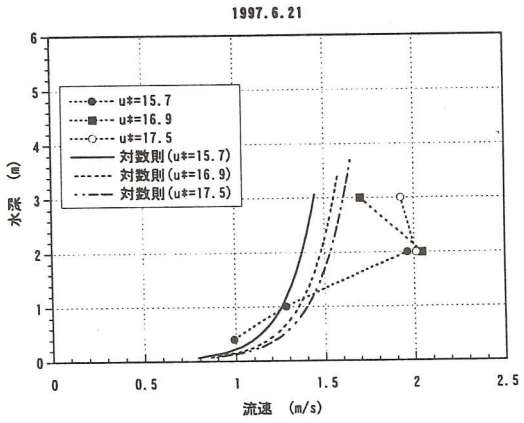












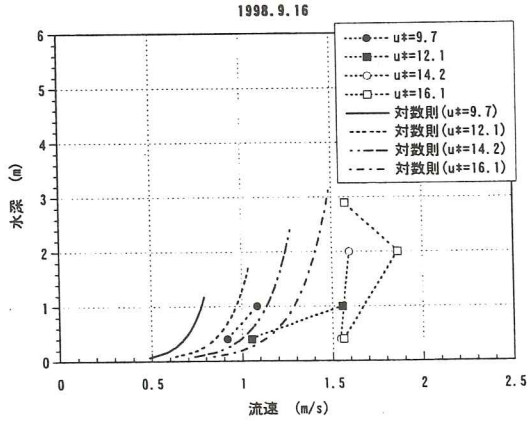


図-6.2.7　水深方向の流速分布

(4)横断方向の濃度分布

次に、土砂濃度の横断方向の分布について検討を行う。1991.9.8 洪水では、洪水減水期に 3 回、横断方向 4 測線について採水を行った。**図－6.2.9** は、各測線の粒径別土砂濃度および流速分布を示したものである。各採水および流速測定とも水面から 1.0m の深さで行った。なお、各測線の位置を**図－6.2.10** に示す。流速は、各測定とも河道中央付近の測線 3 及び 4 で最大値を示した。次に土砂濃度に着目すると、18:30 および 19:30 の観測では比較的測線 3 および測線 4 で粒径 0.21mm 以上の土砂が多い傾向を示すものの、全ての観測について同じような傾向が得られたわけではない。また、流速が最も小さく、濃度が低くなると考えられる測線 5 についても観測によっては粒径 0.21mm 以上の土砂が他の側線よりも多くなる場合（18:30 の観測）がある。**図－6.2.9** より、横断方向の濃度分布の差は観測誤差よりも小さいものと考えられる。

以上より、1 洪水の減水期のみの観測結果ではあるが、横断方向の土砂の濃度差は明確に現れなかったことから、横断方向に 1 点のみの採水で浮遊土砂量は十分に代表されるものと考えられる。

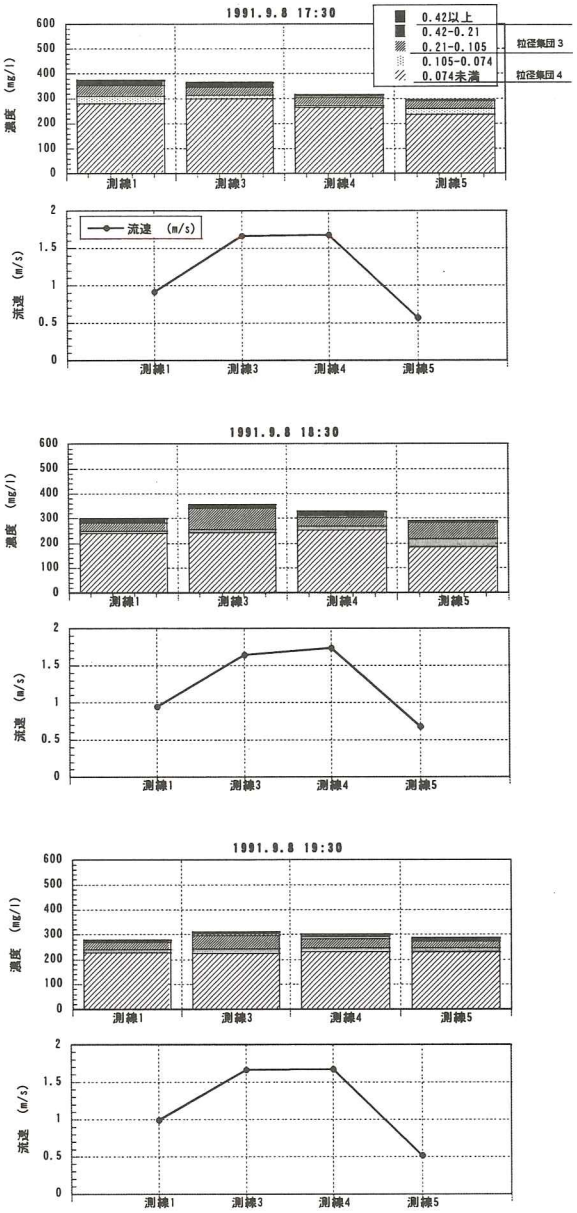


図-6.2.9 粒径別濃度および流速分布(1991 年 9 月 8 日洪水)

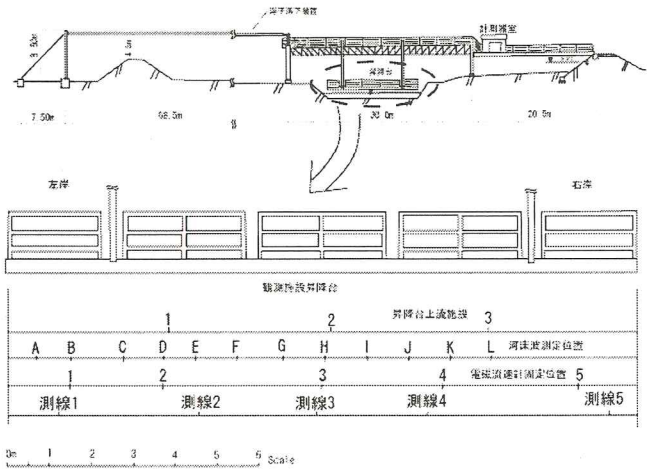


図-6.2.10 1991 年 9 月 8 日洪水観測の測定位置

(5)粒径別 Q-Qs 式の作成

一般にウォッシュロードの評価法として、

$Qs=\alpha Q^p$

の関係が用いられる[7]。ここで、α,p は係数である。**図－6.2.11** は涸沼川洪水観測施設におけるウォッシュロード･浮遊砂観測で得られた流砂について粒径別 Q-Qs 関係を描きその関係を求めたものである。図より、各粒径範囲の Q-Qs 関係は以下の通りとなる。

粒径集団４、５	0.075mm 未満	$Qs=3.13\times10^{-6}Q^{1.8}$
粒径集団４	0.075mm～0.106mm	$Qs=1.77\times10^{-6}Q^{1.33}$
粒径集団３	0.106mm～0.24mm	$Qs=3.10\times10^{-8}Q^{2.55}$
〃	0.24mm～0.42mm	$Qs=5.55\times10^{-10}Q^{3.36}$
〃	0.42mm～0.84mm	$Qs=5.46\times10^{-10}Q^{3.19}$

ここで、粒径集団３の 0.106mm 以上の浮遊砂的運動形態で流下する流砂については、水深方向に濃度差を生じることから、5.1.2 で述べたとおり、断面内の通過土砂量を正確に算定できると考えられる採取深度から採取した試料のみ抽出して整理を行った。従って、粒径 0.42～0.84mm の土砂は、水深方向に 2～3 割かつ 8～9 割で採水が行われた観測結果のみを用いているため、それより小粒径の土砂に対して観測結果のデータ数が少ない。

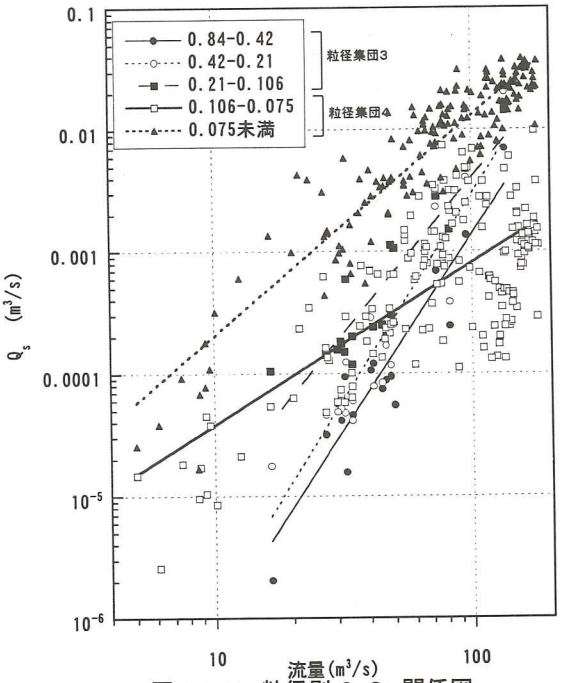


図-6.2.11 粒径別 Q-Qs 関係図

図－6.2.12 は、参考までに粒径 0.106～0.84mm の粒径集団３の土砂について、全観測結果を対象に単純な平均土砂濃度から Qs を算出する場合と水深方向に適切な複数の高さの採水を行っている結果のみを用いて平均化した土砂濃度から Qs を算出した場合について、Q と Qs の関係を求めたものである。適切な濃度評価法で Qs 算出したデータと比較して、単純平均して濃度を評価した Qs を算出したデータは、粒径が粗くなるに従ってそのばらつきは非常に大きくなる。このことからも、高い精度で浮遊砂量を算出するためには、適正な水深から採取したものを整理することが重要であるといえる。

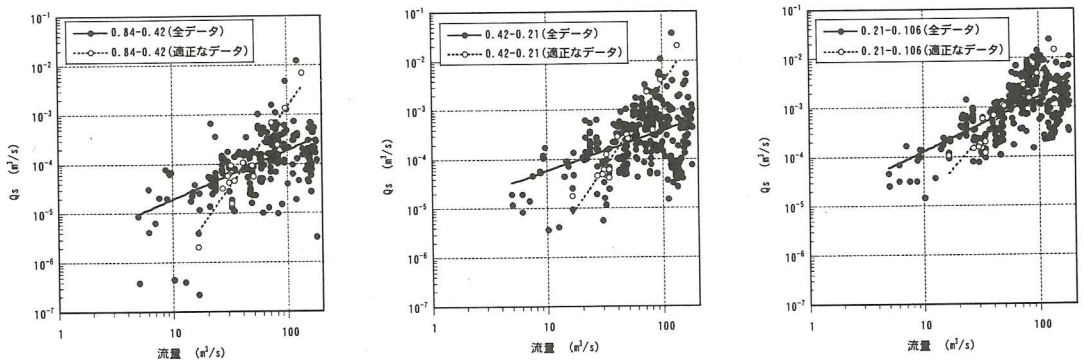


図-6.2.12 濃度補正を行わない場合の Q-Qs

(6)Lane-Kalinske 式との比較

次に、浮遊砂・ウォッシュロード観測で得られた流砂量に対して、従来から浮遊砂量の算定によく用いられている Lane-Kalinske 式[8]がどの程度の適合性を示すか検討した。**図－6.2.13** は前述の $Q_S=\alpha Q^P$ を仮定して求めた粒径別 Q-Qs の関係と Lane-Kalinske 式による計算値を比較したものである。図より、粒径 0.106～0.21mm の土砂については、その傾き、量ともにほぼ一致している。粒径 0.21～0.42mm の土砂は、小流量時においては値のズレは小さく傾きが一致する傾向にあるが、流量が増大し、Q=30m³/s を越えるところから Lane-Kalinske 式のとの差が大きくなりはじめ、Q=100m³/s になるとほぼ 1 オーダーの差が生じる。粒径 0.42～0.84mm の土砂については、Lane-Kalinske 式の値が観測から求めた Q-Qs 式に対して 1 オーダー程度小さかった。特に小流量時でその差が大きくなる。一方、粒径 0.42～0.84mm 以外は Lane-Kalinske 式による計算値は観測データの幅の中に入っている。

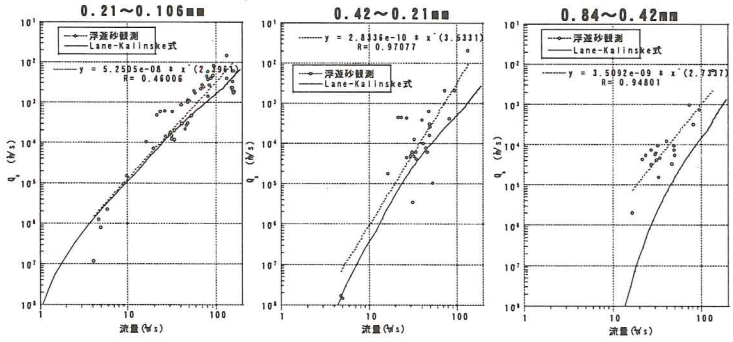


図-6.2.13 Lane-Kalinske 式による結果と Q-Qs の比較

以上のように観測値と Lane-Kalinske 式では、観測データの範囲内に入る粒径と、観測データの範囲から外れる粒径とに分かれる結果となった。これが何に起因するのかは、底面濃度算定における河床材料の粒径別の存在確率、計算と観測の土砂濃度分布の差違、カルマン定数の変化等要因が多く、現段階で特定することは難しい。この解明は今後の課題である。ただ、混合粒径の河床材料についての浮遊砂量式、特に細粒土砂の適用にあたっては、現地の状況や係数の設定によって誤差が大きく生じることが予想されるため、できるだけ現地での実測値との比較を行い、適用性を評価することが必要であるといえる。

(7)浮遊砂・ウォッシュロードのヒステリシス

図－6.2.1 の観測された土砂の粒度分布をそれぞれ比較すると、その組成は観測洪水や採水時間によって大きく異なる傾向を示す。**図－6.2.14** に砂以上（粒径 0.075mm 以上）の粒径を抽出した粒度加積曲線を示すと、そのばらつきは全粒径土砂の粒度分布に対して小さくなる傾向を示した。以上の結果は、砂分以上の観測流砂の粒度組成に対して、粒径 0.075mm 未満の粒径集団４、５の土砂量が洪水中に大きく変化していることを示唆している。

図－6.2.15 に、1990 年～1999 年の各観測についての土砂濃度の経時変化を流量とともに示す。図は流量ピーク時点をとらえた観測のみについて示しており、減水期のみしか観測していない洪

水は省いている。採水位置は各観測で異なることから、比較可能なように河道中央部の水面付近で採水したデータのみを用いた。したがって、粒径 0.106mm 以上の粒径集団３の土砂については、水深方向に土砂濃度の差が生じると考えられるため、この値が断面平均濃度を示していないことに留意する必要がある。

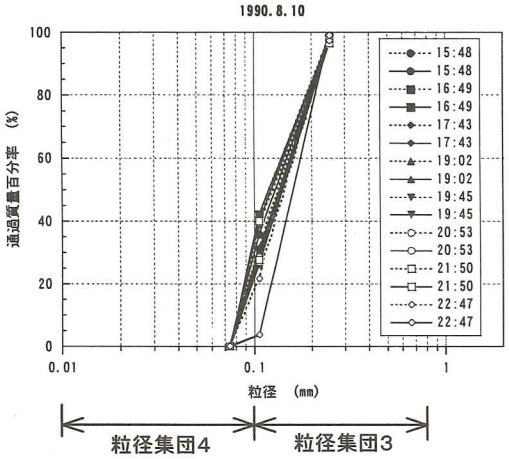
図－6.2.15 より、粒径 0.075mm 未満のウォッシュロード的運動形態で流下すると考えられる粒径集団４、５の土砂濃度の変化に着目すると、流量がピークを迎える 2～3 時間前に土砂濃度がピークを迎える、いわゆるヒステリシスが生じている場合がある。ただし、洪水によってはヒステリシスが生じないものもある。

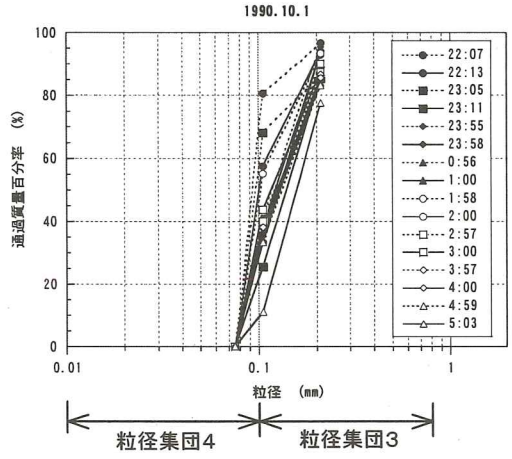
粒径 0.075mm 以上の浮遊砂的運動形態で流下していると考えられる粒径集団３の土砂濃度の変化については、例えば 1991.8.20 洪水や 1998.9.16 洪水のようにウォッシュロード的運動形態で流下すると考えられる粒径集団４、５の土砂濃度とほぼ同じような変動を示すものもあるが、他の洪水については、両者の変動はそれほどよく一致していない。流量の増加に伴って土砂濃度が増大する傾向にはあるものの、減水期に土砂濃度が突発的に増大するもの、洪水を通じて土砂濃度にあまり変化が生じないものなど様々であった。その変化量自体はウォッシュロード的運動形態で流下していると考えられる粒径集団４、５の土砂濃度の変化量に対して小さい。

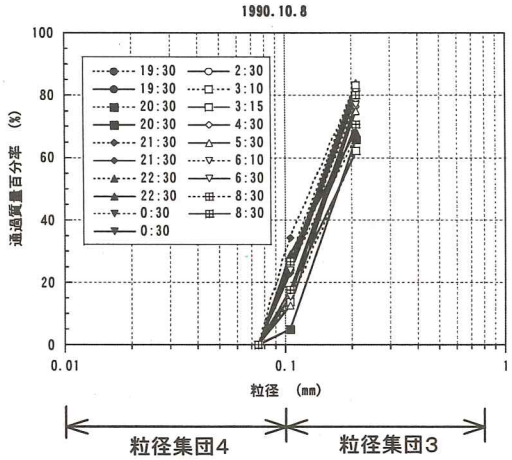
図－6.2.11 の Q-Qs 関係図では、粒径 0.075mm 以上の浮遊砂的運動形態で流下していると考えられる粒径集団３の流砂量についても Q-Qs の関係は成り立っていることから、この結果とは一致しない。これは、**図－6.2.15** が水面付近で採水したデータで作成している一方、**図－6.2.11** が適切な複数の水深で採水できた観測結果を厳選して作成しているためと考えられる。したがって、この違いは浮遊砂的運動形態で流下する土砂の流砂量の変化が観測された表面付近の土砂濃度の変化と対応していないことを示していると考えられ、これが実態を表しているのかどうか、実態を表しているとすればその原因が何かは現時点では判断できない。

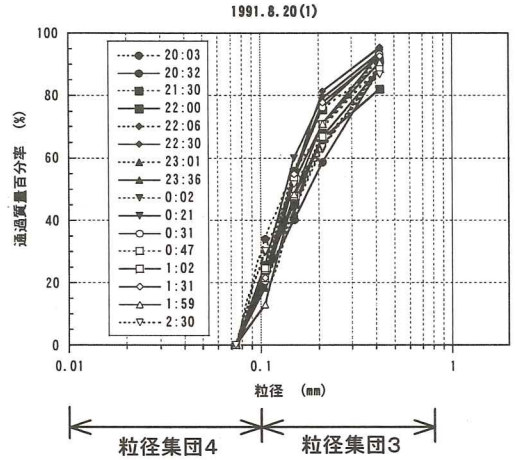
次に、洪水毎の浮遊砂・ウォッシュロードの濃度変化特性を比較するため、**図－6.2.16** に流量と浮遊砂・ウォッシュロード濃度（全粒径）の関係を示した。なお、図中には、濁度計による観測結果を合わせて示した。ただし、濁度計の値および濃度の値は、浮遊砂・ウォッシュロードの流砂量を説明しているものと考えられる。図より、流量と濃度の間には関連性が見られるが、そのばらつきは大きく、1 オーダー程度の幅がある。以降に、図から確認される事項について列挙する。

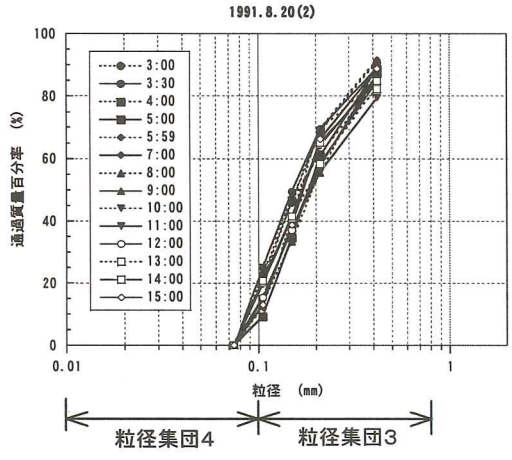
- 濃度と濁度の関係は 1 オーダーのばらつきが生じているが、採水による濃度と濁度データは両者ともこの範囲内には入っている。
- 流量ピーク期～減水期にかけて濃度が減少する傾向を示し、ループが生じている。このループが前述のヒステリシスを示している。ただし、これらのループは洪水毎に生じたり生じなかったりする。また、洪水規模の増大とともにループは大きくなるもの、ループを生じないものが混在しており、一般的な傾向は示さない。
- 涸沼川洪水観測施設付近で観測される最大濃度は、約 800～1000mg/l であり、その後は流量が増大しても濃度が増加することはなく、頭打ちとなる傾向となった。この結果は、涸沼川における土砂崩壊などの大規模なインパクトが生じていない際のウォッシュロード生産量の限界を示していると考えられる。
- 濁度計の観測によれば平水時にも 20～30mg/l 程度の濃度を生じている。ただし、この濁度が土粒子の移動を示しているものかどうかは不明である。

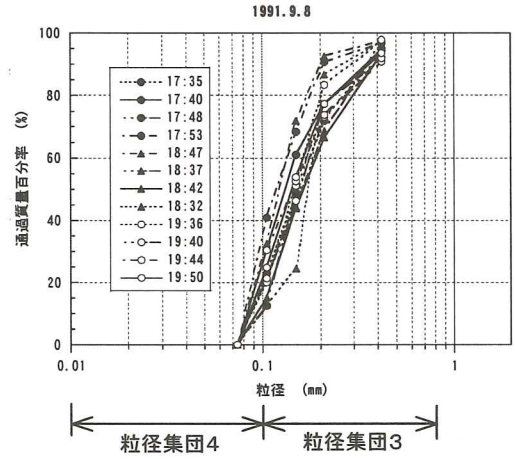












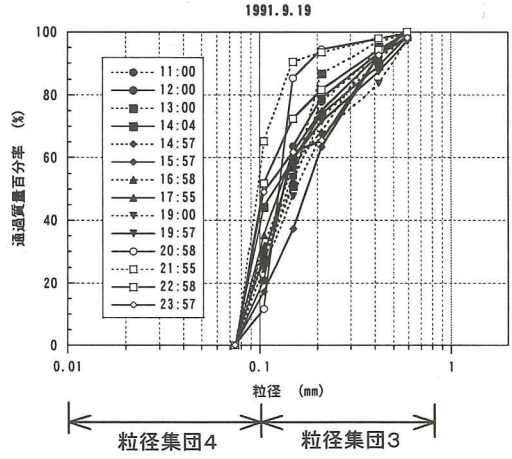


図-6.2.14(1)　浮遊土砂の粒径加積曲線(0.075mm 以上)

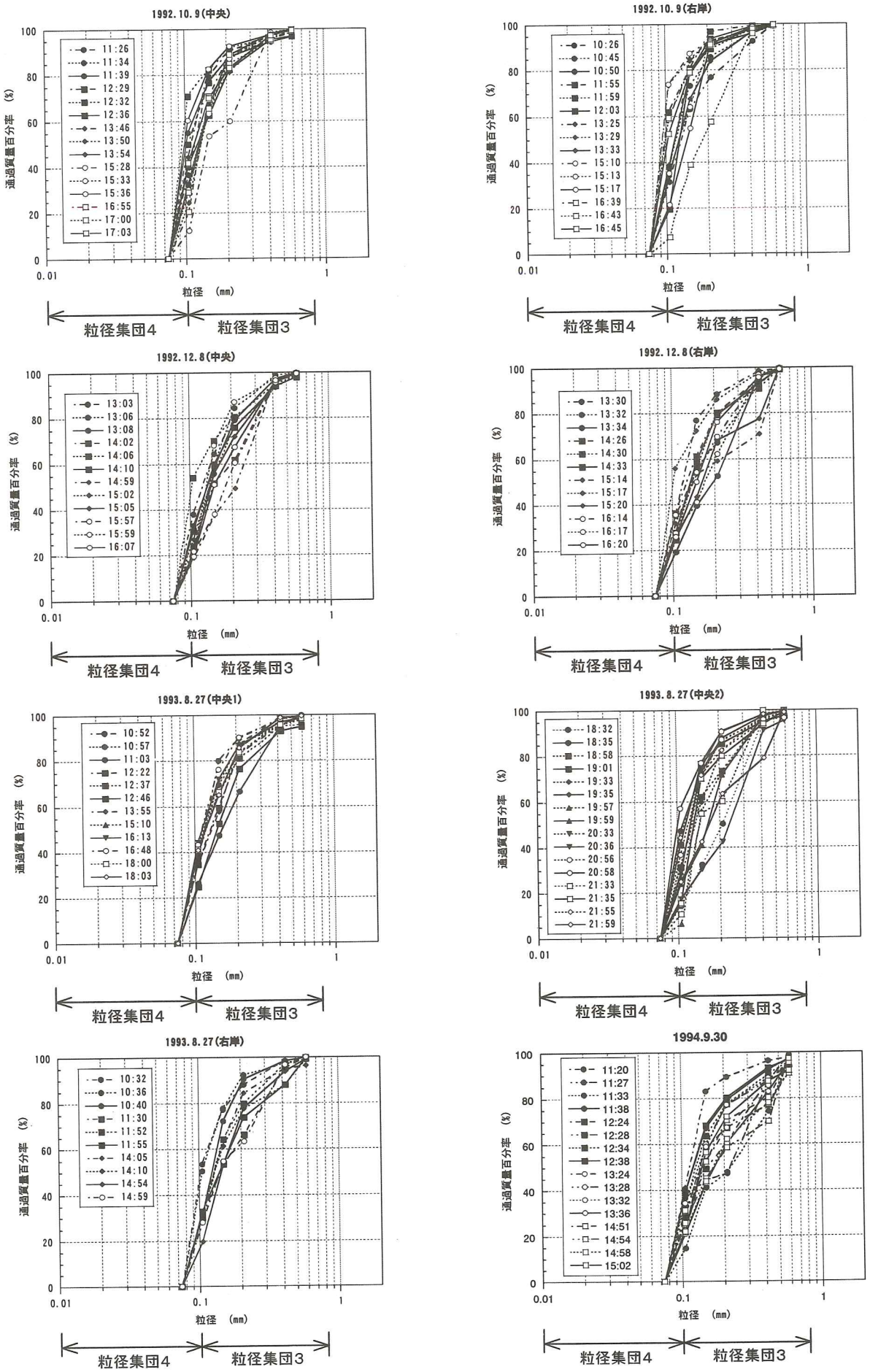
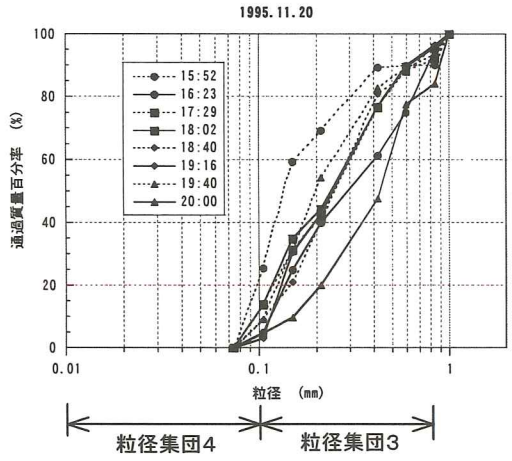
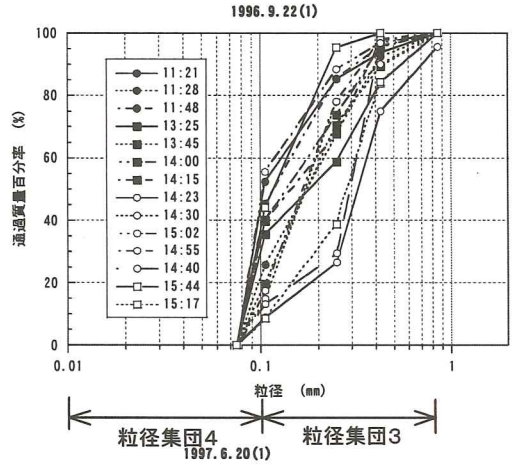
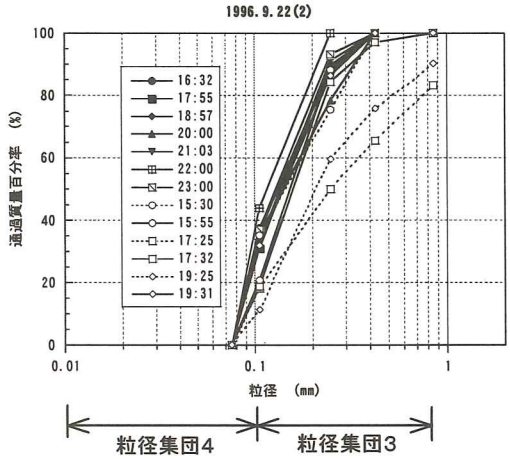
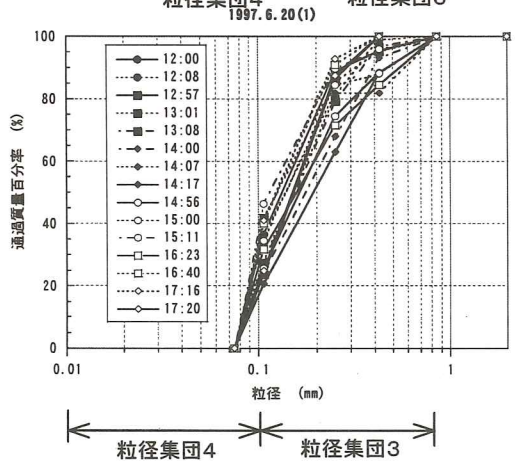


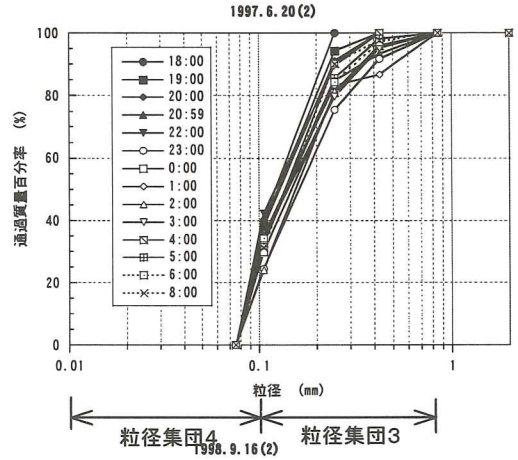
図-6.2.14(2)　浮遊土砂の粒径加積曲線(0.075mm 以上)

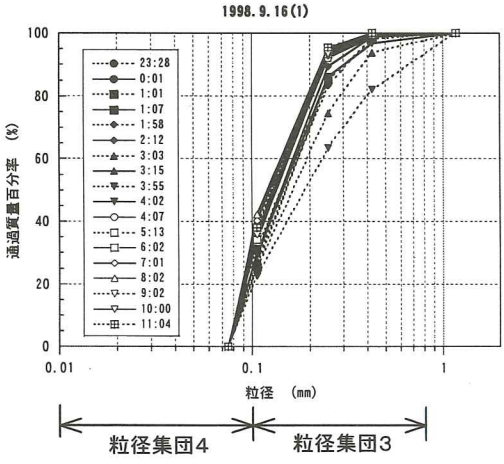












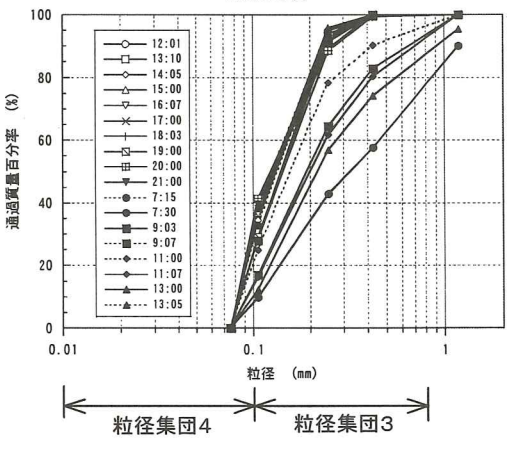


図-6.2.14(3)　浮遊土砂の粒径加積曲線(0.075mm 以上)

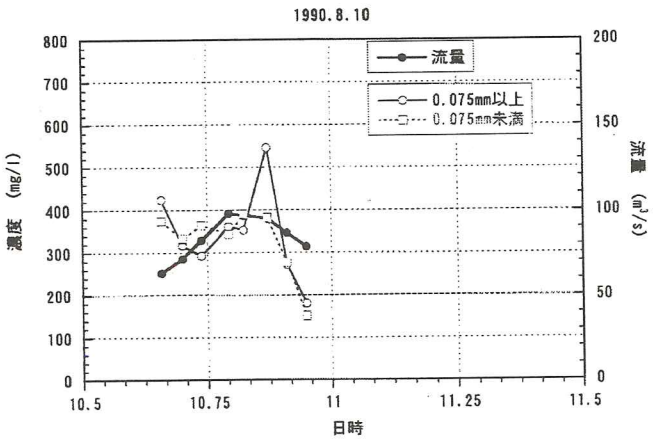


図-6.2.15(1)　浮遊土砂濃度の経時変化
（1990 年 8 月 10 日洪水）

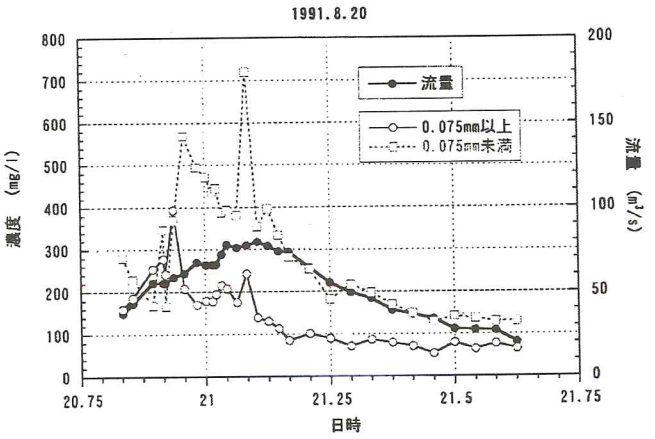


図-6.2.15（2）　浮遊土砂濃度の経時変化
（1991 年 8 月 20 日洪水）

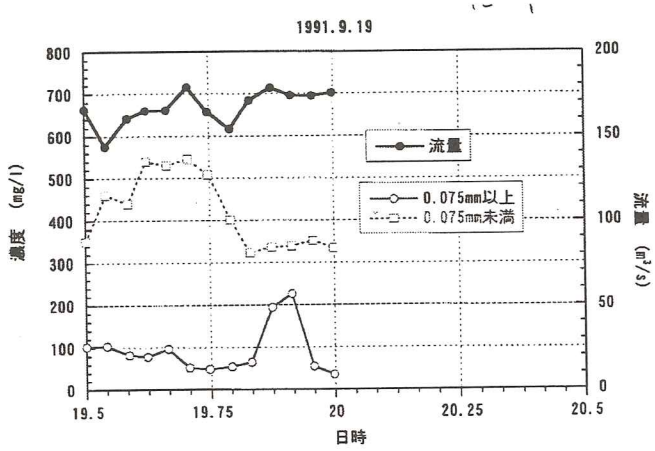


図-6.2.15（3）　浮遊土砂濃度の経時変化
（1991 年 9 月 19 日洪水）

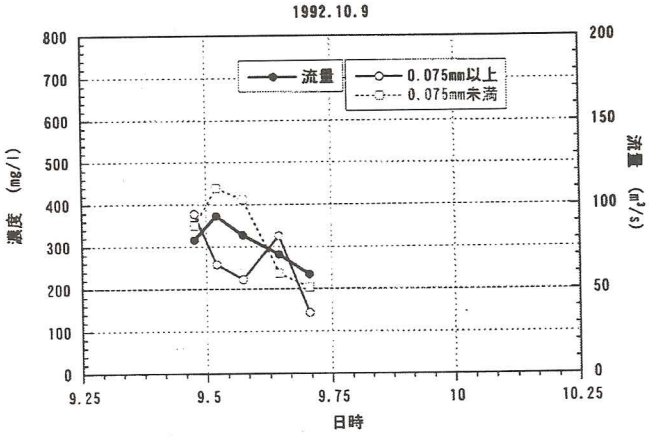


図-6.2.15（4）　浮遊土砂濃度の経時変化
（1992 年 10 月 9 日洪水）

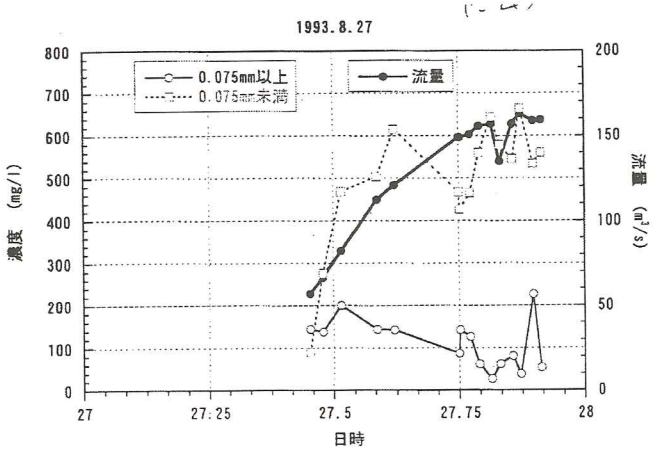


図-6.2.15（5）　浮遊土砂濃度の経時変化
（1993 年 8 月 27 日洪水）

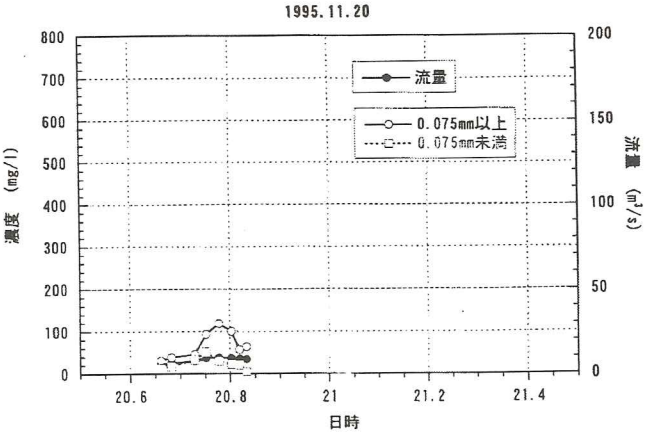


図-6.2.15（6）　浮遊土砂濃度の経時変化
（1995 年 11 月 20 日洪水）

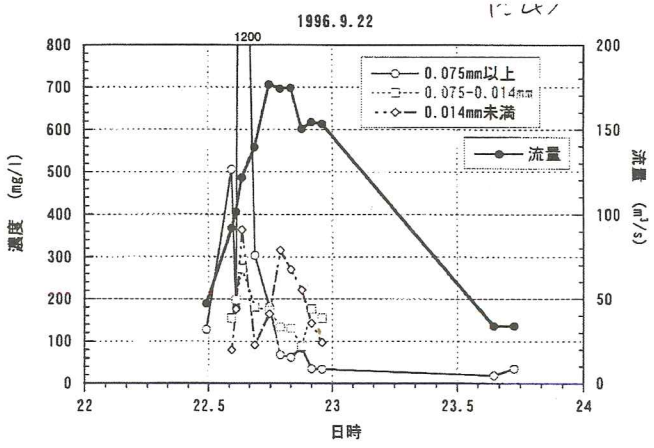


図-6.2.15 (7) 浮遊土砂濃度の経時変化
(1996 年 9 月 22 日洪水)

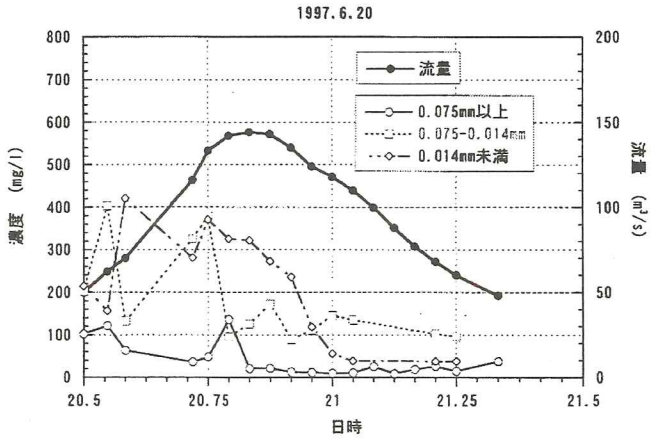


図-6.2.15 (8) 浮遊土砂濃度の経時変化
(1997 年 6 月 20 日洪水)

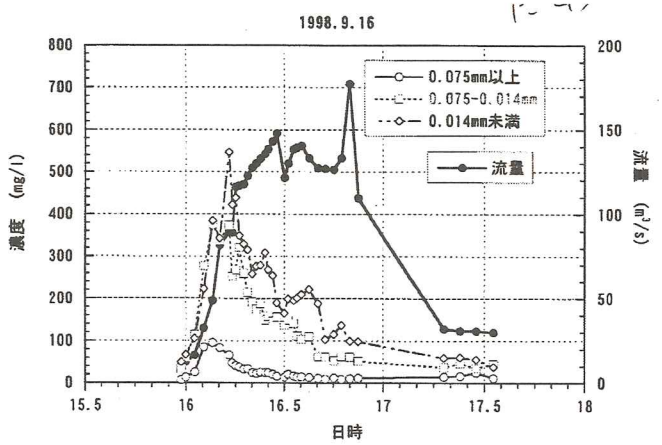


図-6.2.15 (9) 浮遊土砂濃度の経時変化
(1998 年 9 月 16 日洪水)

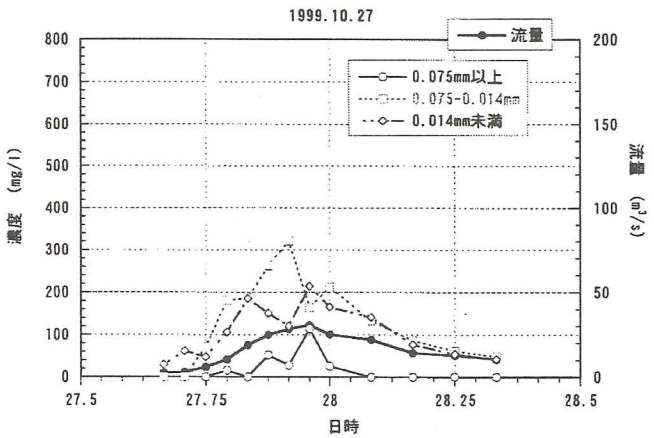


図-6.2.15 (10) 浮遊土砂濃度の経時変化
(1999 年 10 月 27 日洪水)

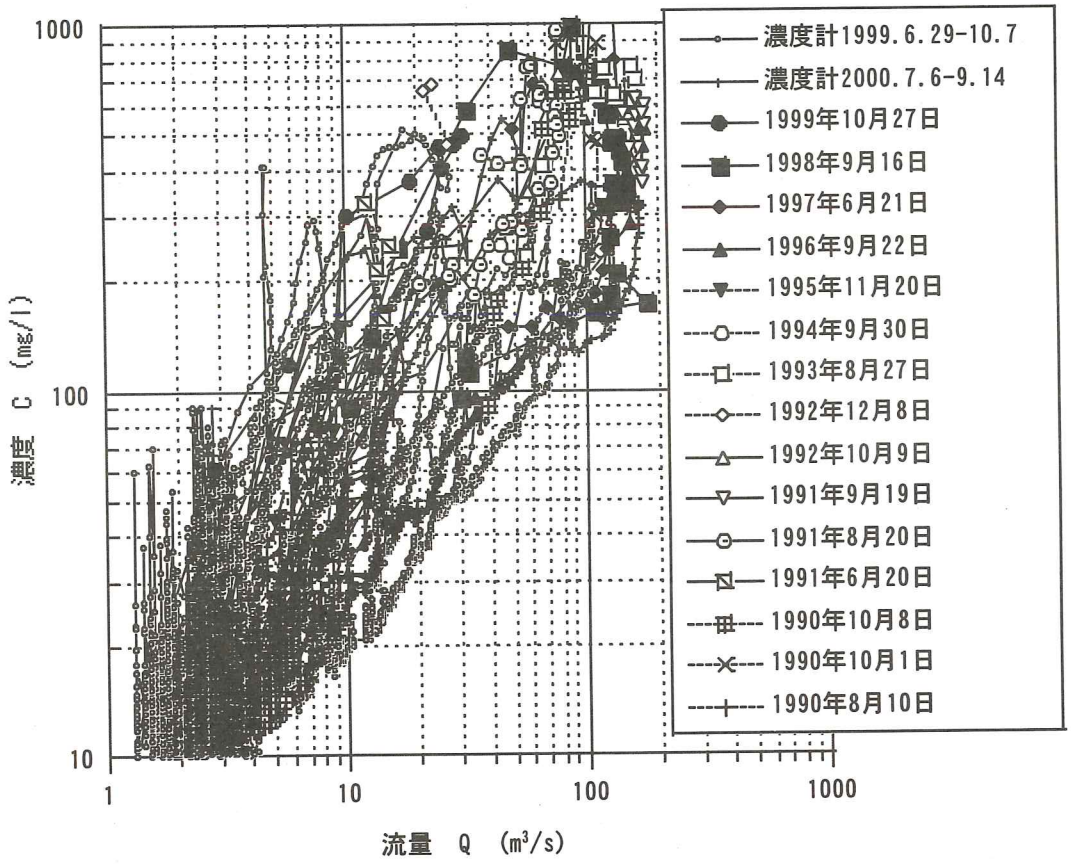


図-6.2.16 流量と濃度(濁度)の関係

(8) ヒステリシスが生じる要因

以下になぜ 0.075mm 未満の粒径集団のヒステリシスが生じるのかを考察する。

濃度と流量にヒステリシスが生じる理由として、河道を流下する間に生じる、土砂生産源での供給土砂量の枯渇に起因する、サブ流域から本川への流入のタイミングに起因するなどの原因が考えられる。**図－6.2.17** に涸沼川洪水観測所のある 28.1km 地点、**図－6.2.18** に涸沼川洪水観測所より 16.1km 上流で本川に流入する支川稲田川の 1998 年 9 月 16 日洪水の粒径別流砂量 Qs と流量 Q の経時変化を示す。両者とも、流量 Q と流砂量 Qs との間には、ヒステリシス現象が生じている。しかし、稲田川のずれ時間が 1～2 時間程度であるのに対し（他のサブ流域観測地点でも同程度のずれであった）、28.1km のそれは 5 時間と、流下するにつれてずれが大きくなる傾向となっている。このずれの変化の理由を明らかにするため、**図－6.2.19～図－6.2.24** に 1998 年 9 月 16 日および 1999 年 10 月 27 日洪水について、サブ流域の粒径別 Qs を合計したもの（本川上流＋片庭川＋稲田川＋桜川）と 28.1km 地点の粒径別の Qs を重ね合わせた。なお、28.1km の横断面図と水位ハイドログラフも示した。ここで、両者の比較を容易にするため、サブ流域の合計 Qs は、サブ流域合流点から 28.1km 地点までの経過時間を考慮するため、予想される洪水到達時間（28.1km からサブ流域までの距離/流速）を加味して（本川上流、稲田川、片庭川：16.4(km)/2(m/s)≒2.3 時間、桜川 3.0(km)/2(m/s)≒0.5 時間）作成した。この合計 Qs は各サブ流域の観測値を単純に加算したものであり、流下による拡散等は考慮していない。図によれば、28.1 km の観測結果と比較して、多少の誤差は有するものの、その経時変化の傾向はほぼ一致した。このことは、特にウォッシュロード的運動形態で流下する流送土砂については、上流のサブ流域からの流出土砂量を単純に足しあわせる水文学的手法により、下流地点の土砂量の変化をある程度把握することが可能であることを示唆している[9]。

また、サブ流域ごとに着目すると、支川桜川の Qs のピークは他のサブ流域に比べ 3 時間程度早く迎え、他のサブ流域がピークを迎える頃には既に減衰している。これは、桜川が他のサブ流域より 28.1km 地点に近く、洪水到達時間が短いことによる。

以上の結果から、涸沼川ではサブ流域から本川に土砂が供給されるタイミングのズレやサブ流域毎の流下時間のズレが涸沼川洪水観測施設におけるウォッシュロードのヒステリシスに最も大きな影響を与えていると考えられる[3]。

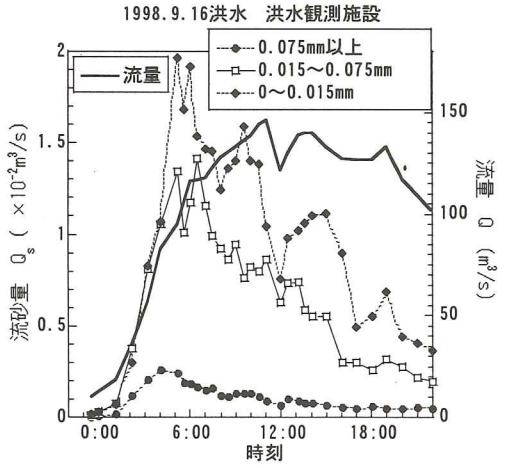


図-6.2.17 観測施設における粒径別流砂量と流量の経時変化(1996.9.16)

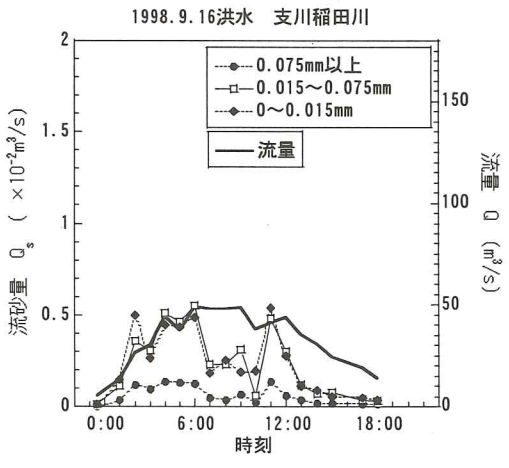


図-6.2.18 稲田川流域における粒径別流砂量と流量の経時変化(1996.9.16)

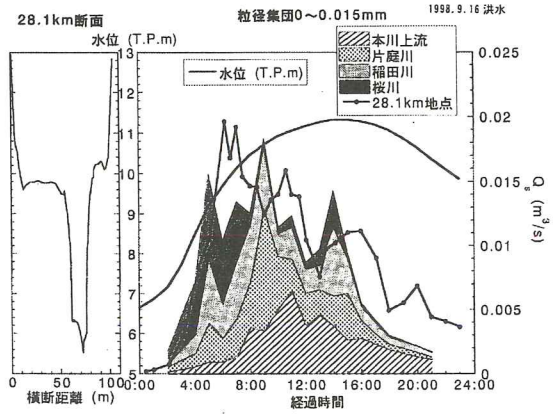


図-6.2.19 サブ流域と観測施設の Qs の経時変化(1998.9.16 洪水、d=0～0.015mm)

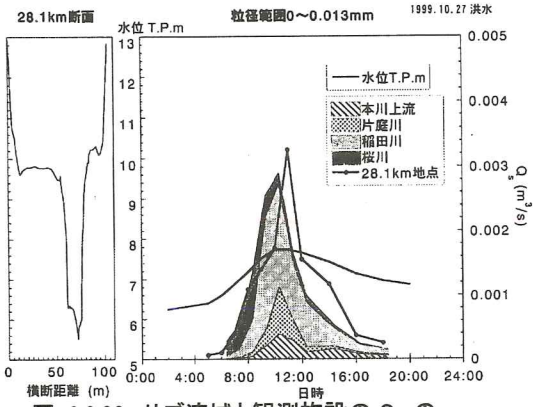


図-6.2.22 サブ流域と観測施設の Qs の経時変化(1999.10.27 洪水、d=0～0.015mm)

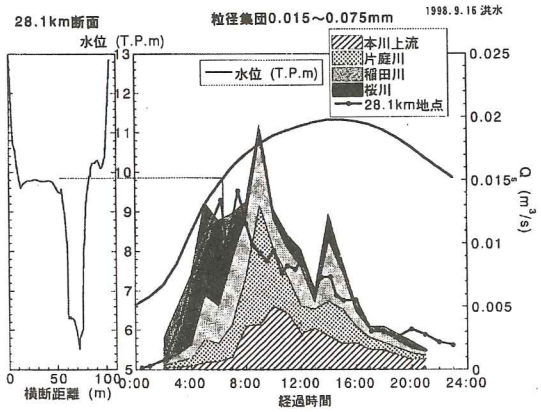


図-6.2.20 サブ流域と観測施設の Qs の経時変化(1998.9.16 洪水、d=0.015～0.075mm)

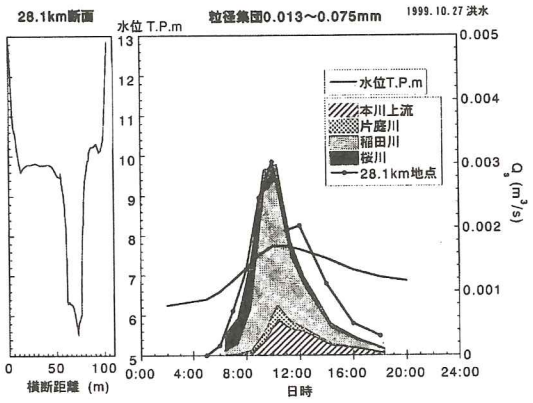


図-6.2.23 サブ流域と観測施設の Qs の経時変化(1999.10.27 洪水、d=0.015～0.075mm)

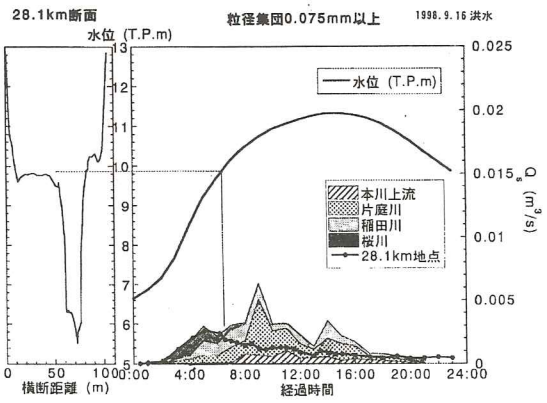


図-6.2.21 サブ流域と観測施設の Qs の経時変化(1998.9.16 洪水、d=0.075mm 以上)

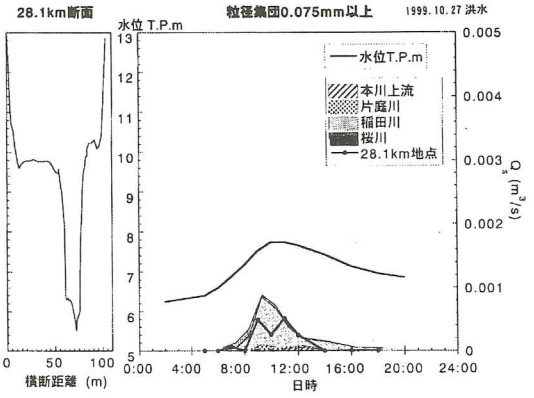


図-6.2.24 サブ流域と観測施設の Qs の経時変化(1999.10.27 洪水、d=0.075mm 以上)

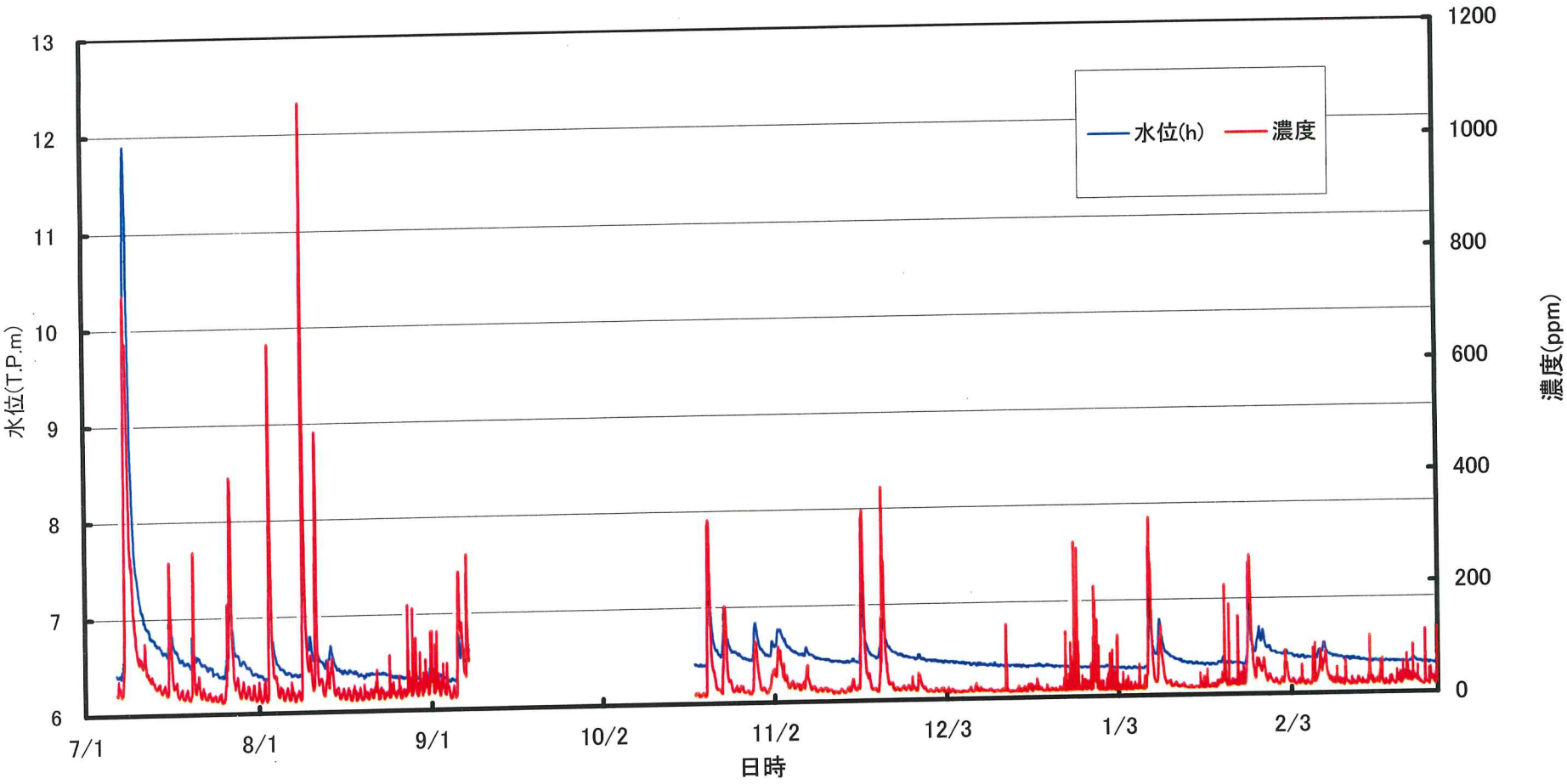
(9) ヒステリシスの発生状況

涸沼川洪水観測施設における濁度計の観測期間の濁度（濃度）と水位をもとにヒステリシスの発生状況を把握した。図－6.2.25 には、洪水観測施設における水位と濁時計によって観測された濁度（濃度）を示す。また、図－6.2.26 には、月別の水位と濁度の変動状況及び出水毎の水位と濁度の変動状況を示す。図－6.2.26 をもとにヒステリシスの発生の有無、ヒステリシスと水位の

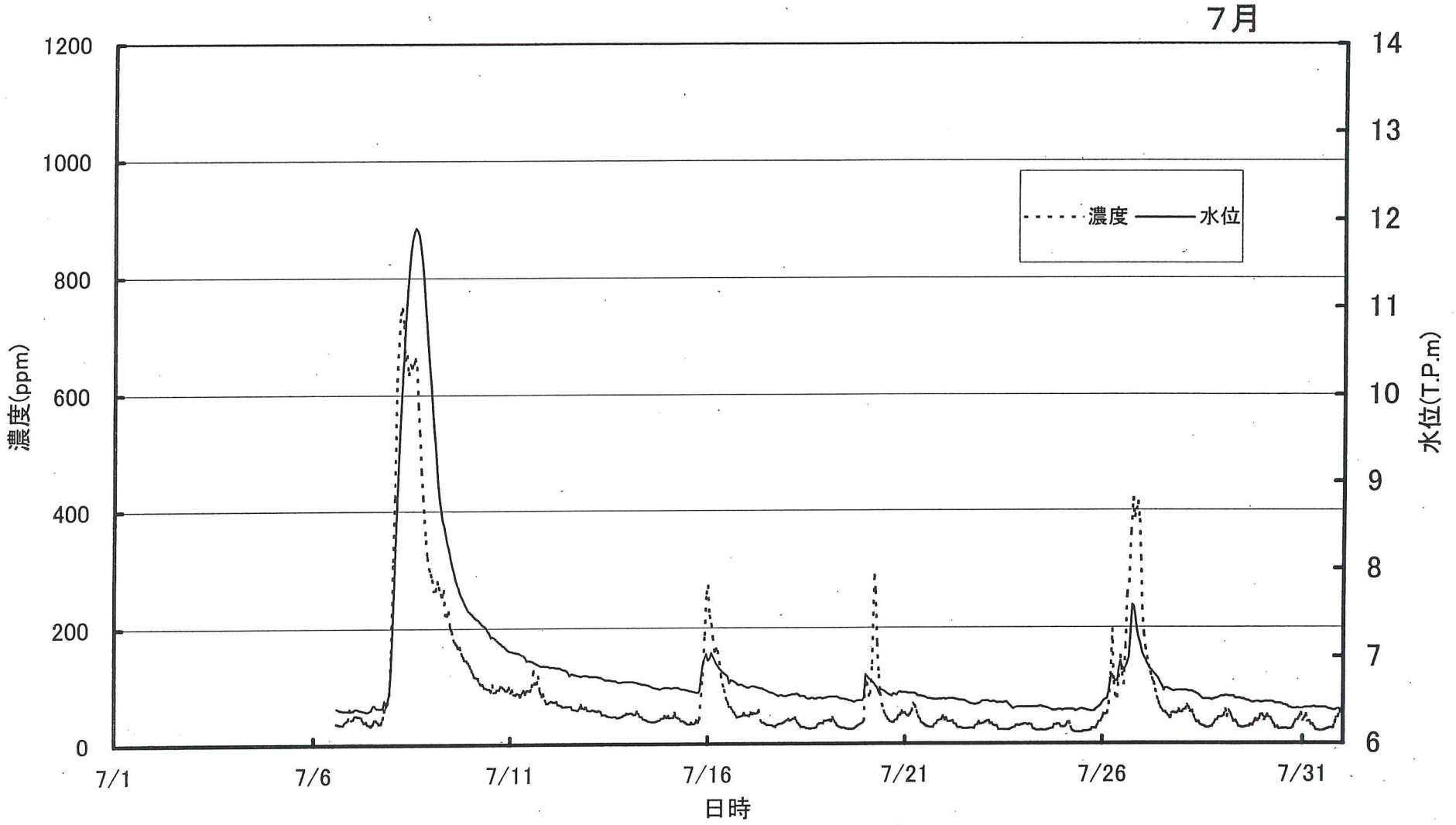
関係（増水期か減水期）、ヒステリシスの時間差が大きいか小さいかを整理した。その結果を**表－6.2.2** に示す。これより、ヒステリシスの発生を 13 回確認できた。一方、ヒステリシスが発生しない洪水は 5 回である。ヒステリシスを確認できない出水があるもののヒステリシスの発生頻度は高いといえる。さらに、ヒステリシスと出水規模の関係について見てみると、ピーク流量が 169m³/s と比較的大きな洪水であった 2000.7.8 洪水とピーク流量が 8.0m³/s～7.0m³/s と小規模出水である 2001.3.1 洪水、2001.3.4 洪水においてもヒステリシスが発生していることから、出水規模に関係なくヒステリシスが発生することがわかる。また、ヒステリシスと水位の変動状況に着目すると、ヒステリシスは増水期、減水期にバラツキをもって発生しており、ヒステリシスの発生と水位変動に明確な関連性を確認できない。また、ピーク水位とヒステリシスの濃度ピークの時間差も大きいものもあれば小さなものもあり、統一性に欠ける。以上の内容より、ヒステリシスは洪水規模に関係なく発生し、かつその発生タイミングと濃度の変化状況も様々である。

表－6.2.2 ヒステリシスの発生状況

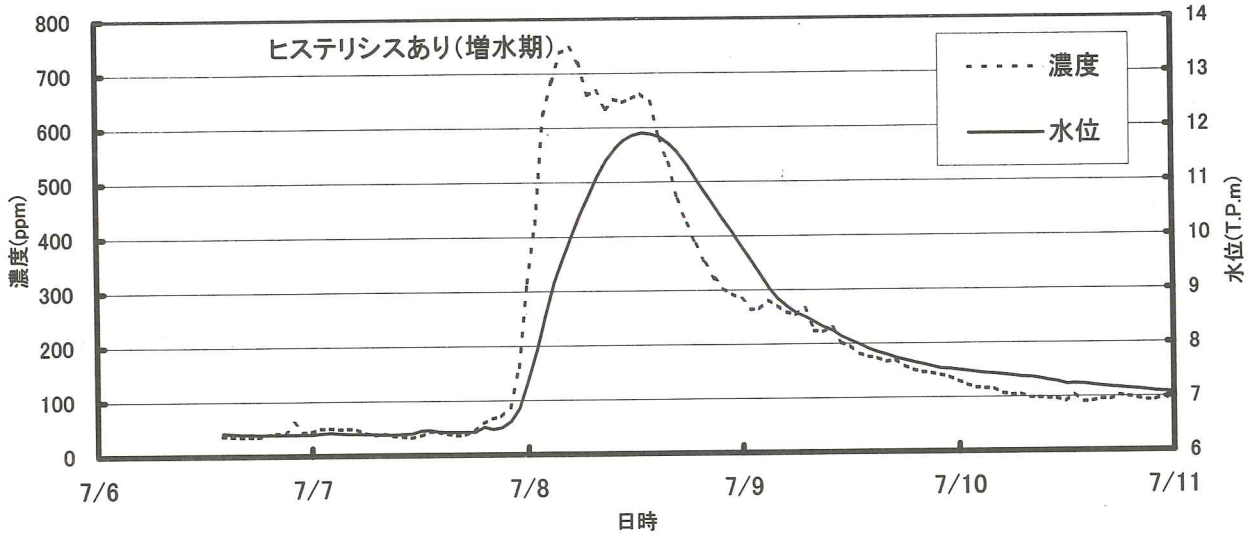
洪水期間	ピーク水位 (T.P.m)	ピーク流 (m^3/s)	ヒステリシス		
			有:○ 無:×	水位状況	時間差
H12.07.08 ～ H12.07.09	11.90	169.7	○	増水期	大
H12.07.15 ～ H12.07.17	7.05	15.7	×	－	－
H12.07.20 ～ H12.07.21	6.80	11.6	○	減水期	大
H12.07.26 ～ H12.07.27	7.59	26.7	×	－	－
H12.08.02 ～ H12.08.03	7.82	32.3	○	減水期	小
H12.08.08 ～ H12.08.09	8.53	52.7	○	減水期	小
H12.08.10 ～ H12.08.11	7.13	17.2	○	減水期	大
H12.10.20 ～ H12.10.21	7.76	30.8	○	増水期	小
H12.10.23 ～ H12.10.25	7.00	14.9	○	減水期	大
H12.10.29 ～ H12.10.30	6.83	12.1	×	－	－
H12.11.17 ～ H12.11.18	7.14	17.4	○	減水期	小
H12.11.21 ～ H12.11.22	7.08	16.3	×	－	－
H13.01.08 ～ H13.01.09	7.01	15.0	○	増水期	小
H13.01.10 ～ H13.01.11	6.79	10.3	○	減水期	小
H13.01.26 ～ H13.01.27	6.93	13.7	○	減水期	小
H13.03.01 ～ H13.03.01	6.72	8.7	×	－	－
H13.03.01 ～ H13.03.03	6.66	7.4	○	増水期	小
H13.03.04 ～ H13.03.05	6.71	8.5	○	減水期	大

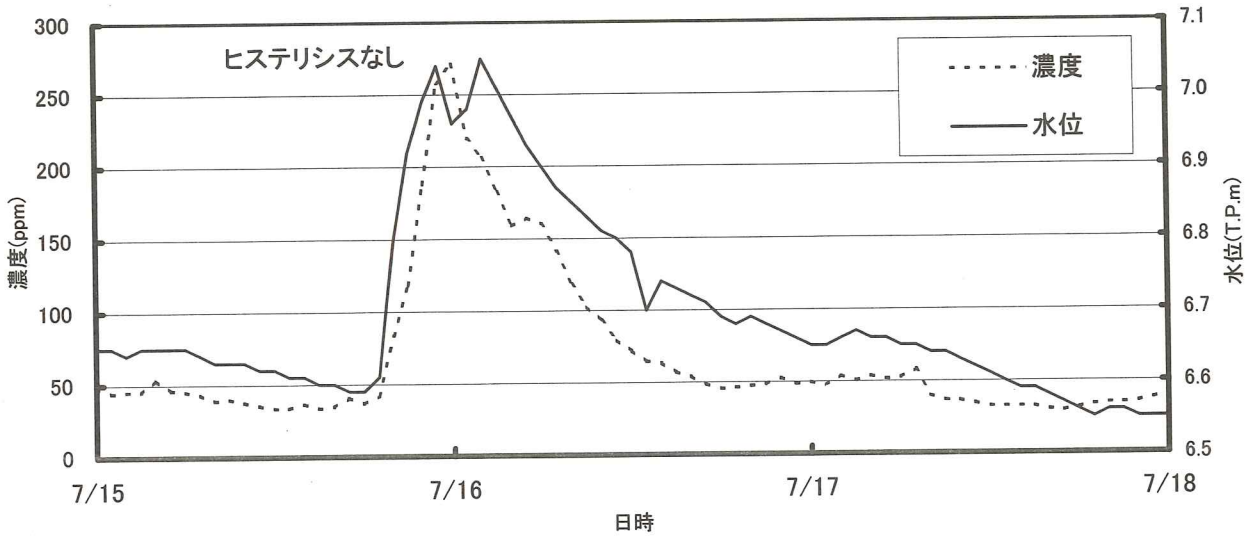


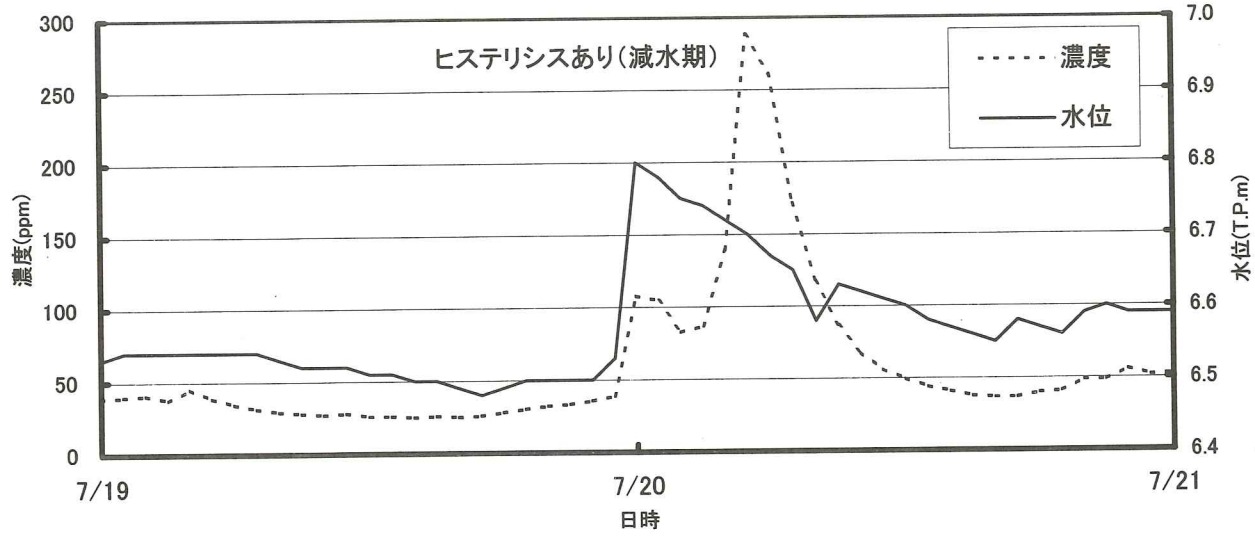
図－6.2.25　洪水観測施設における濁度と水位(2000年7月～2001年3月



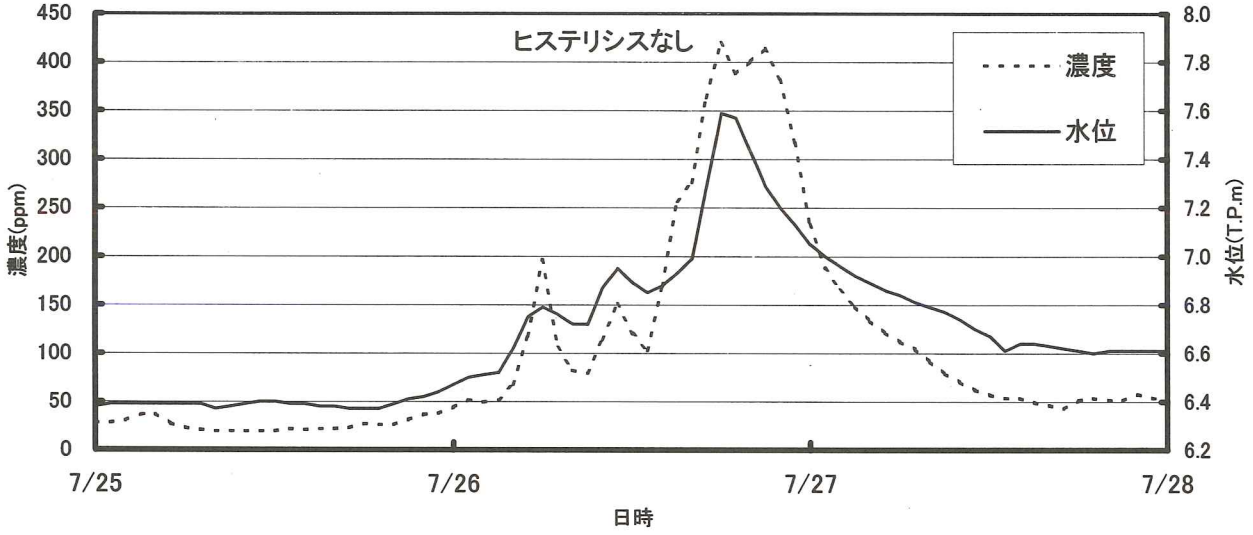
図－6.2.26(1) 洪水観測施設における濁度と水位（2000年7月～2001年3月）



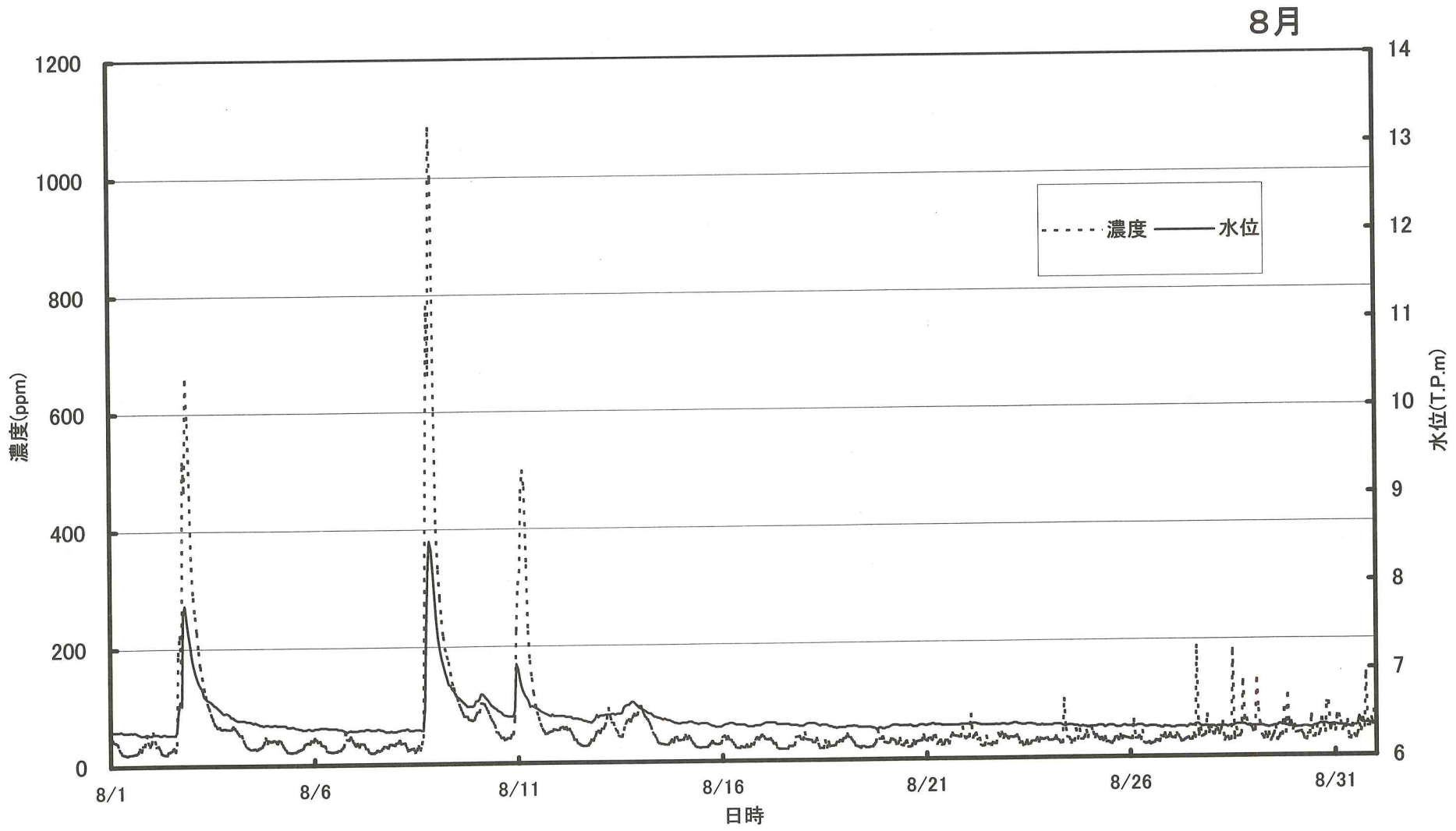




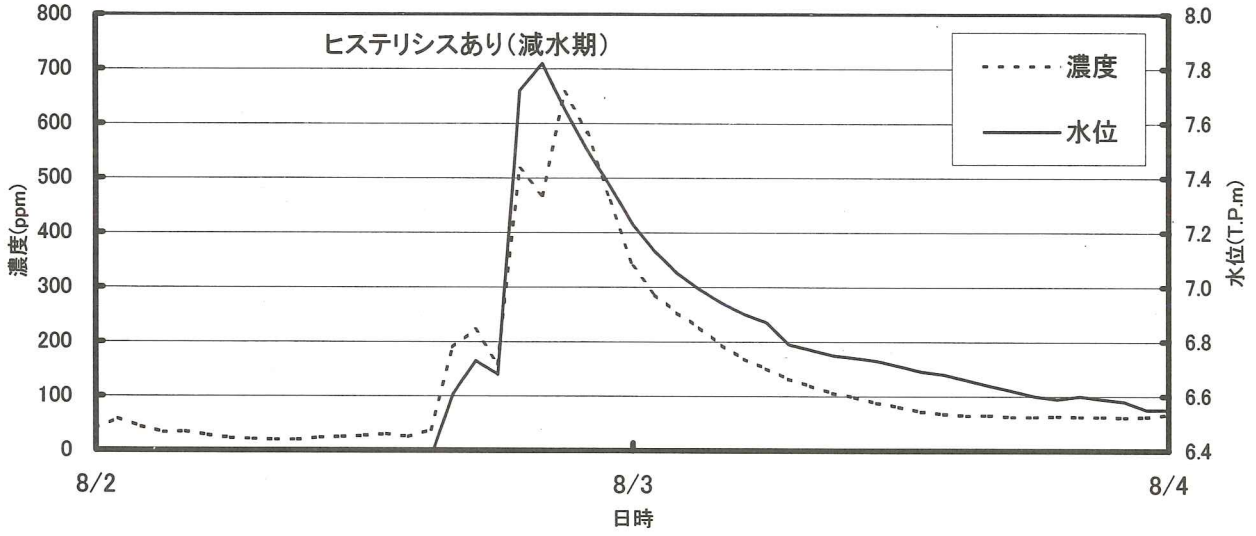
図－6.2.26(2) ヒステリシスの発生状況(2000年7月)

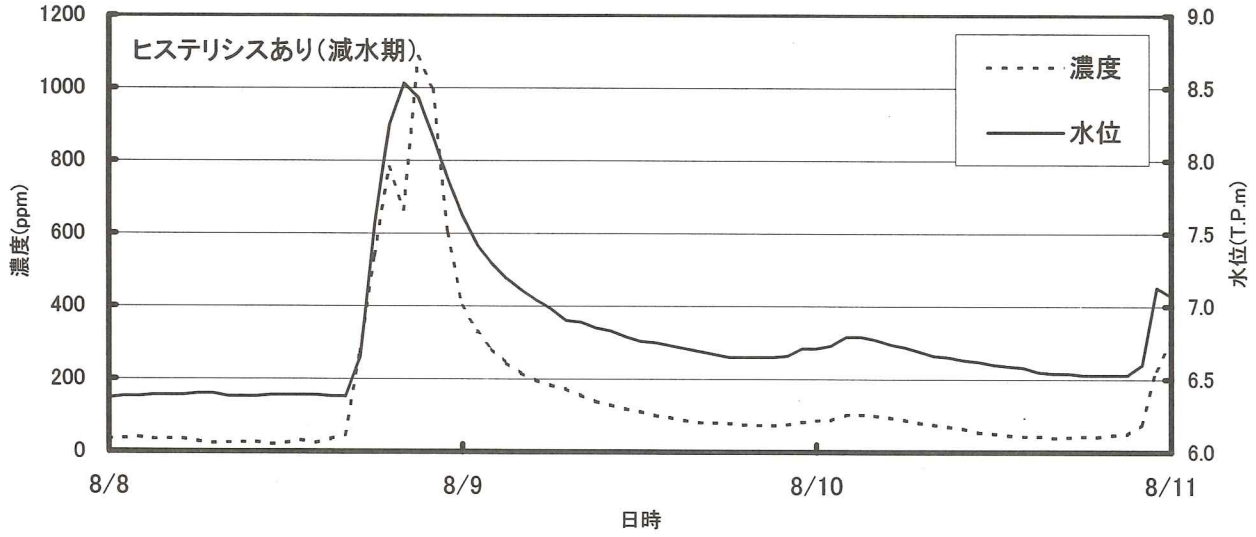


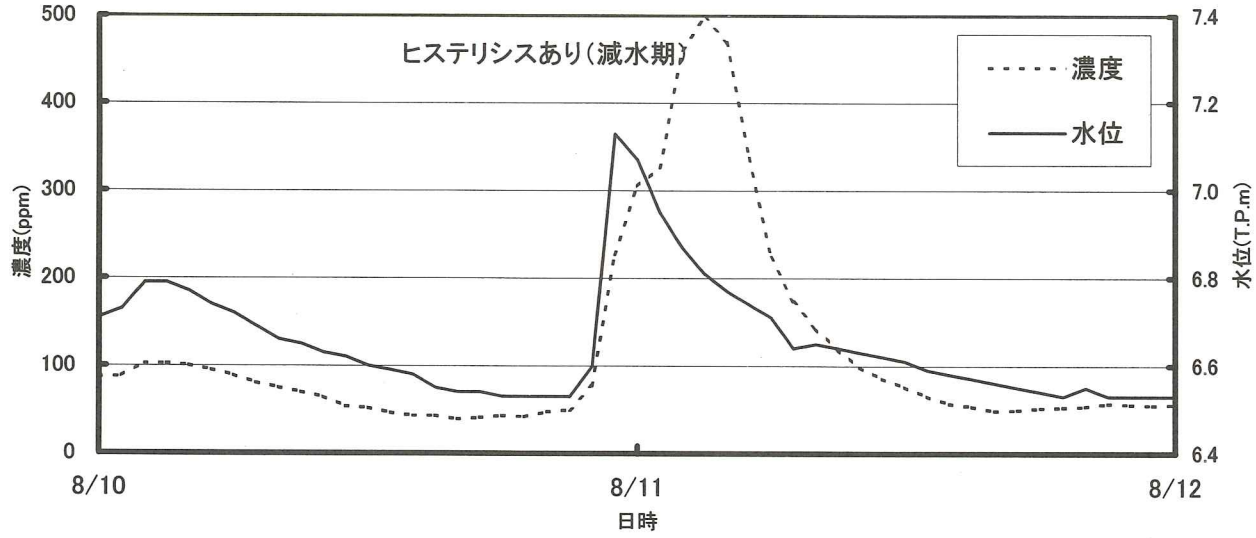
図－6.2.26(3) ヒステリシスの発生状況(2000年7月)



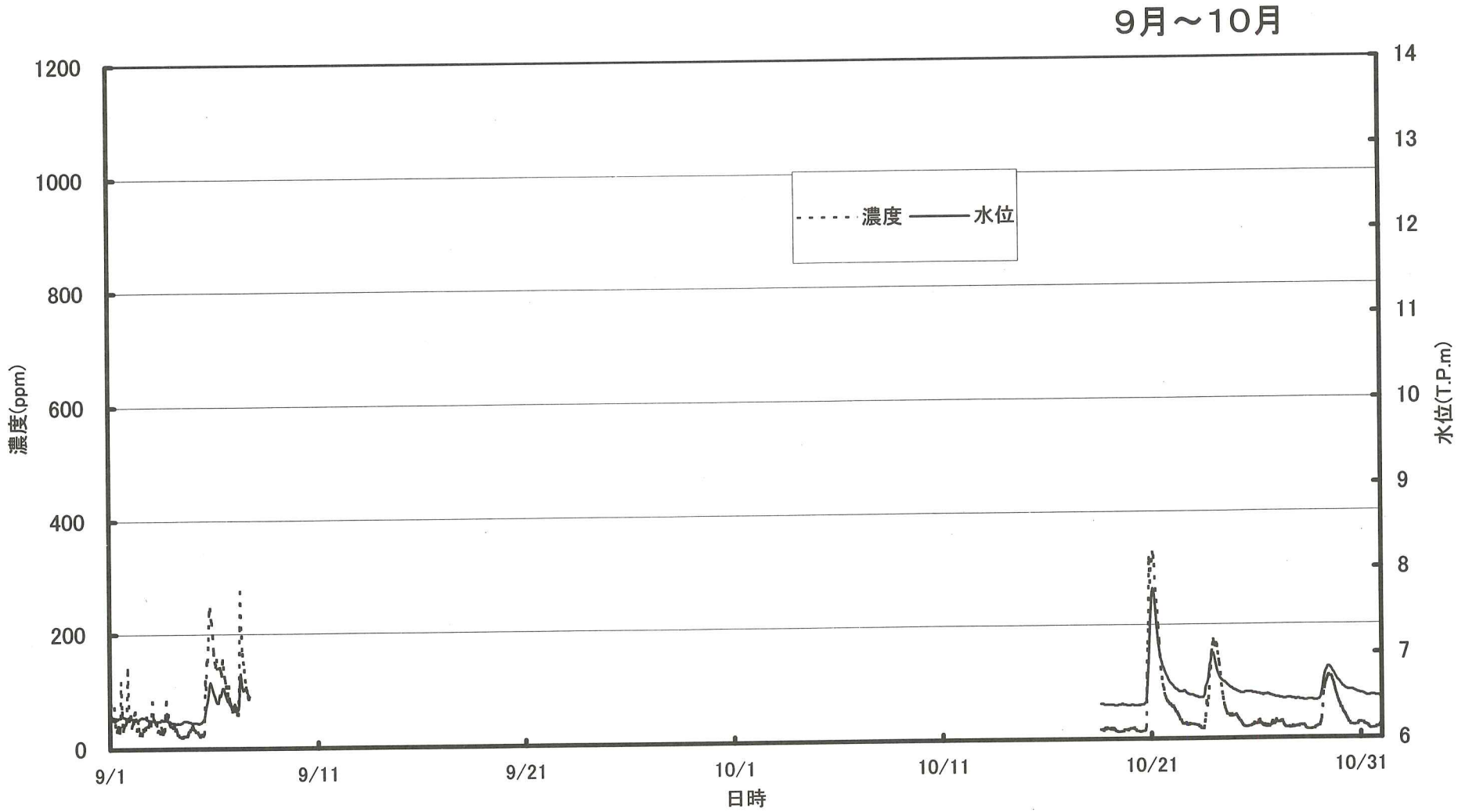
図－6.2.26(4) 洪水観測施設における濁度と水位(2000年8月)



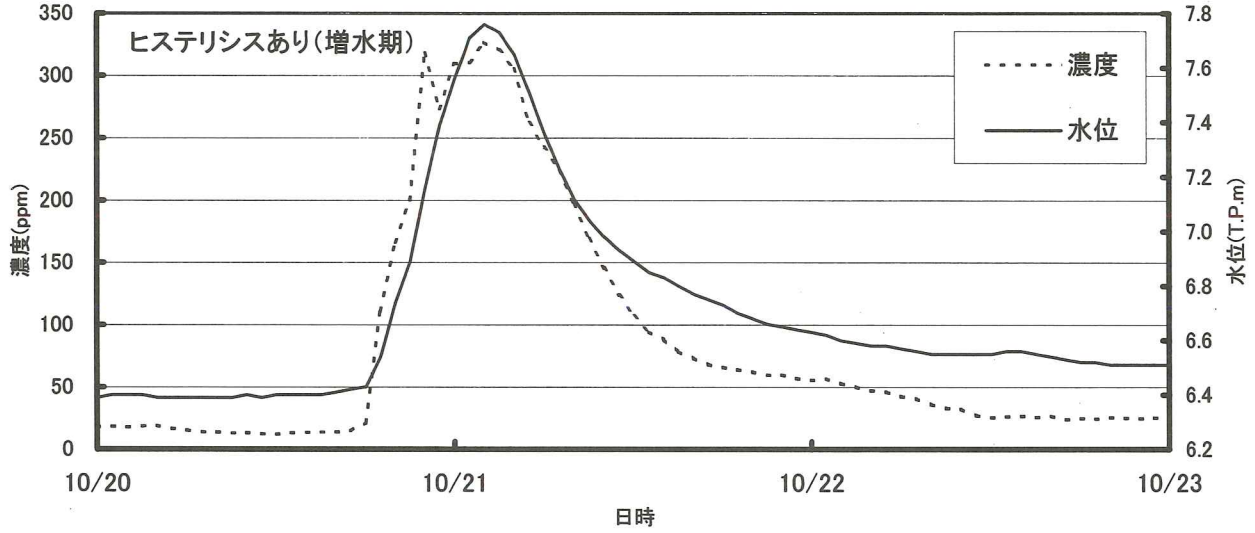


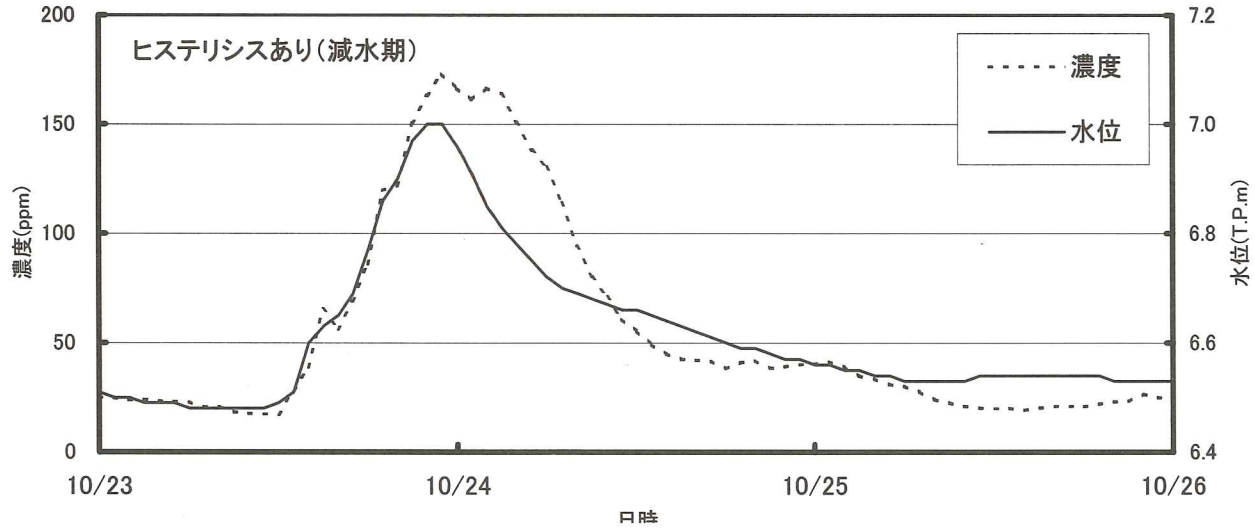


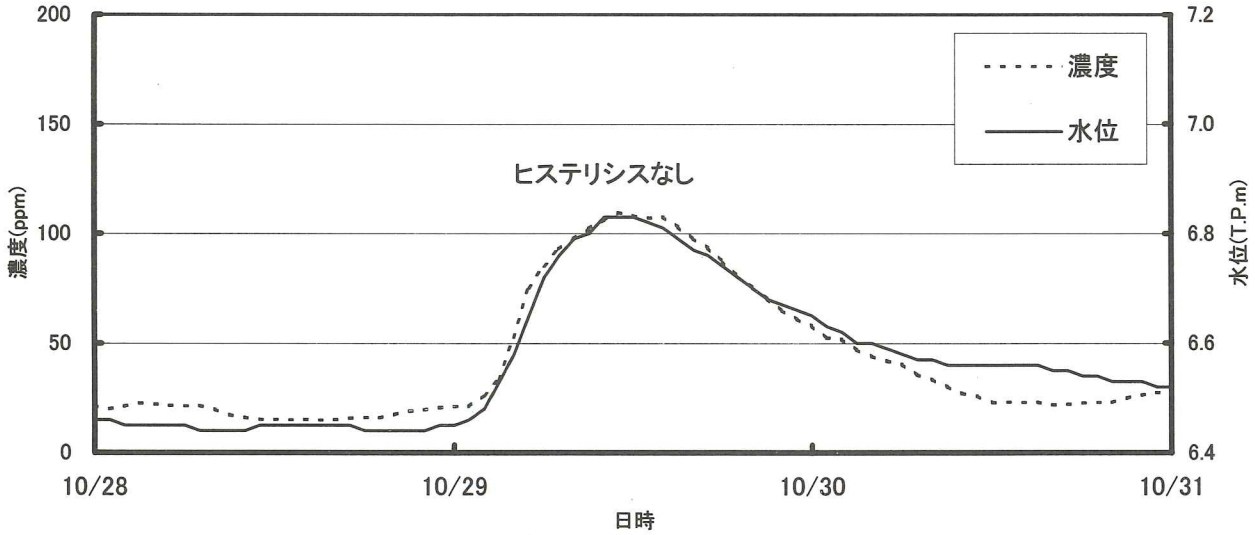
図－6.2.26(5) ヒステリシスの発生状況（2000年8月）



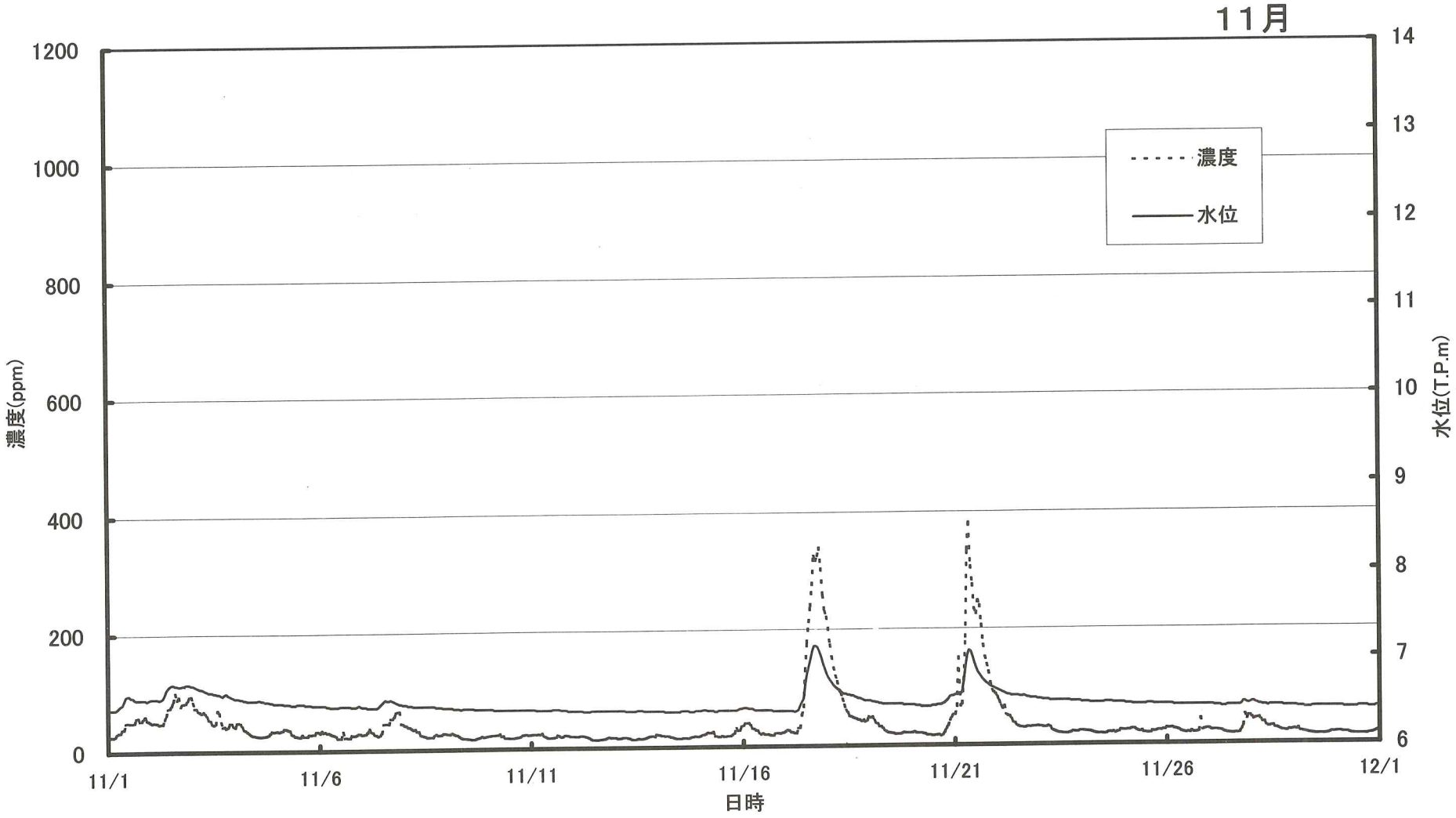
図－6.2.26(6)　洪水観測施設における濁度と水位(2000年9月、10月)



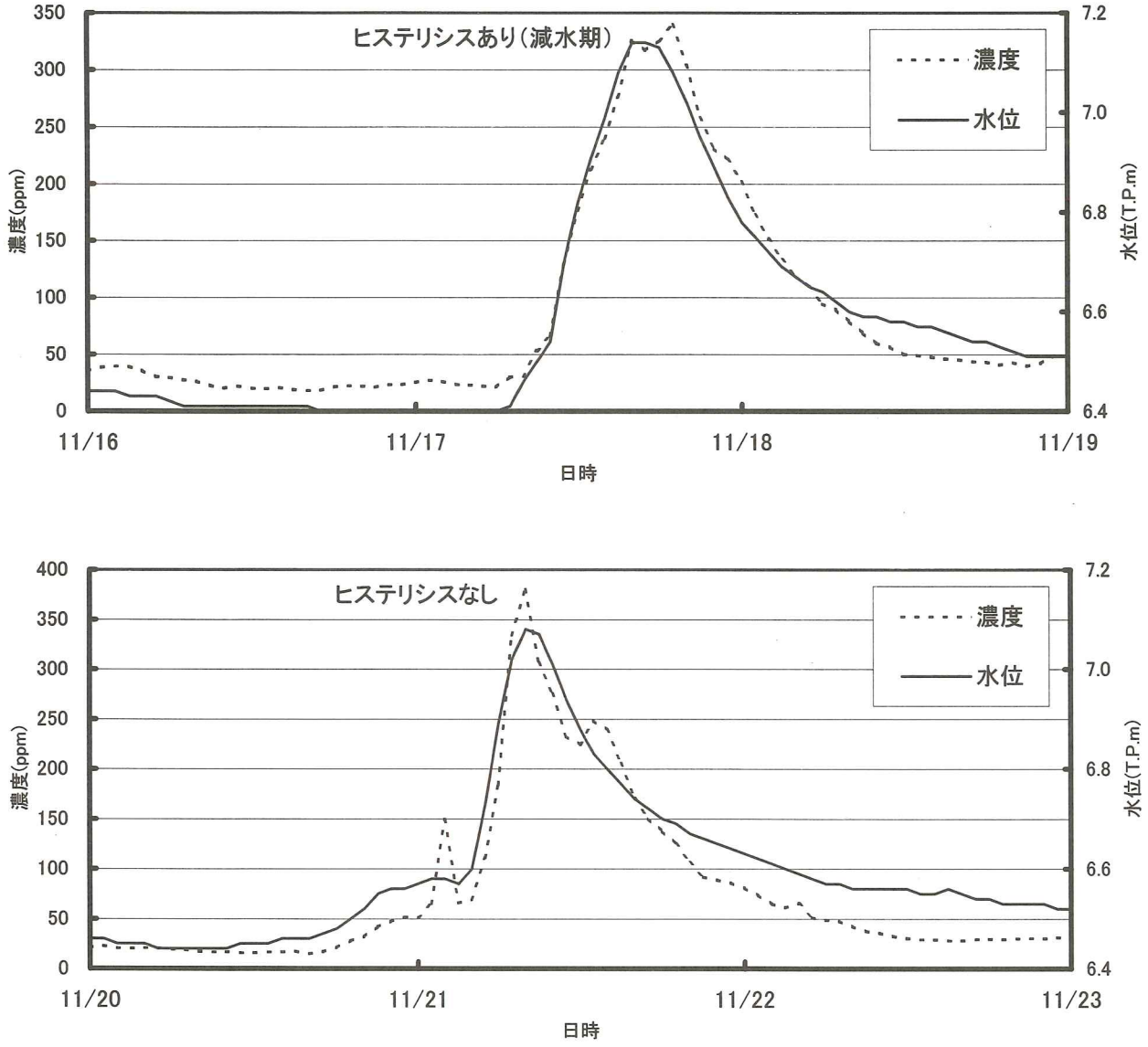




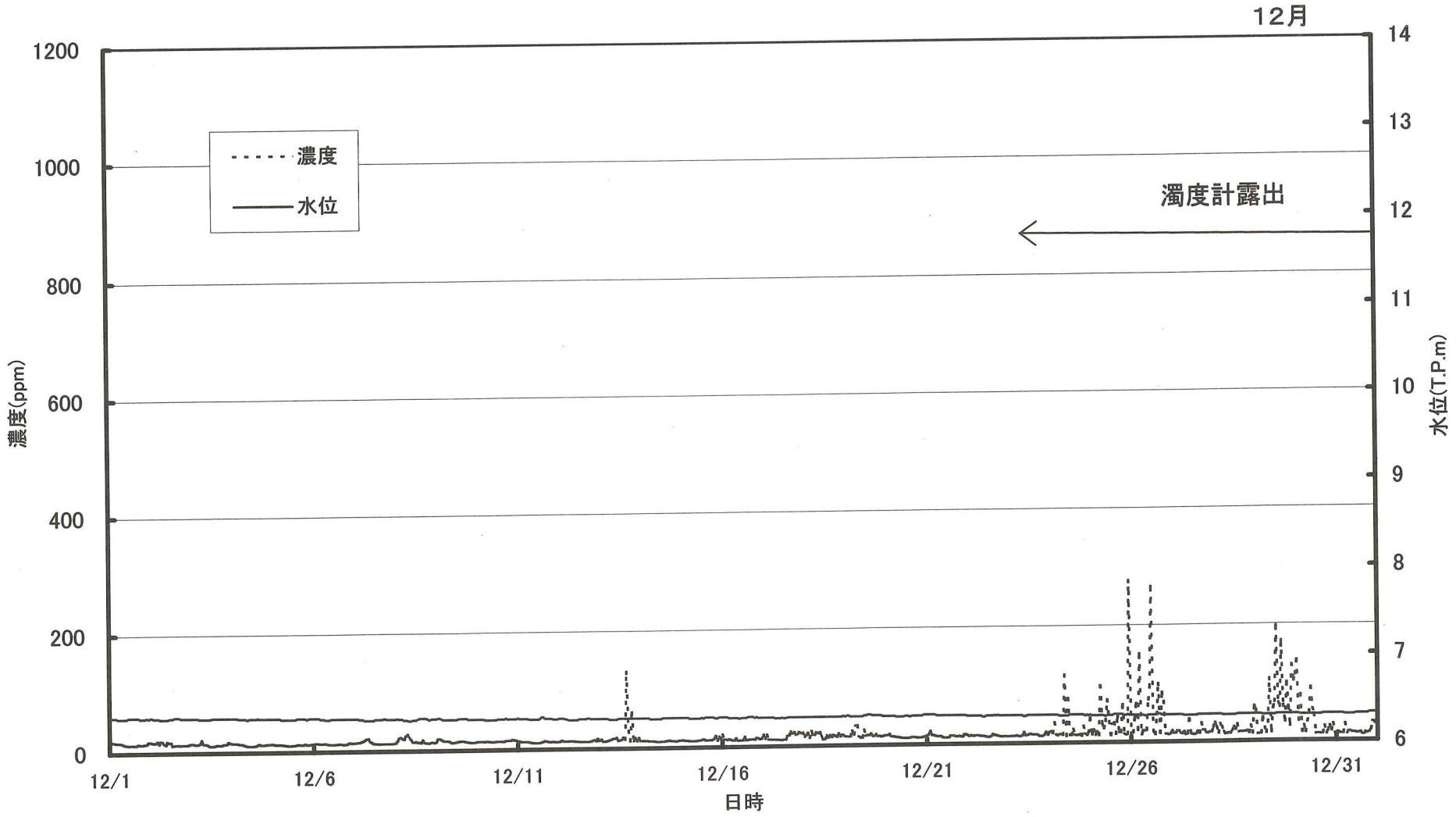
図－6.2.26(7) ヒステリシスの発生状況（2000年9月、10月）



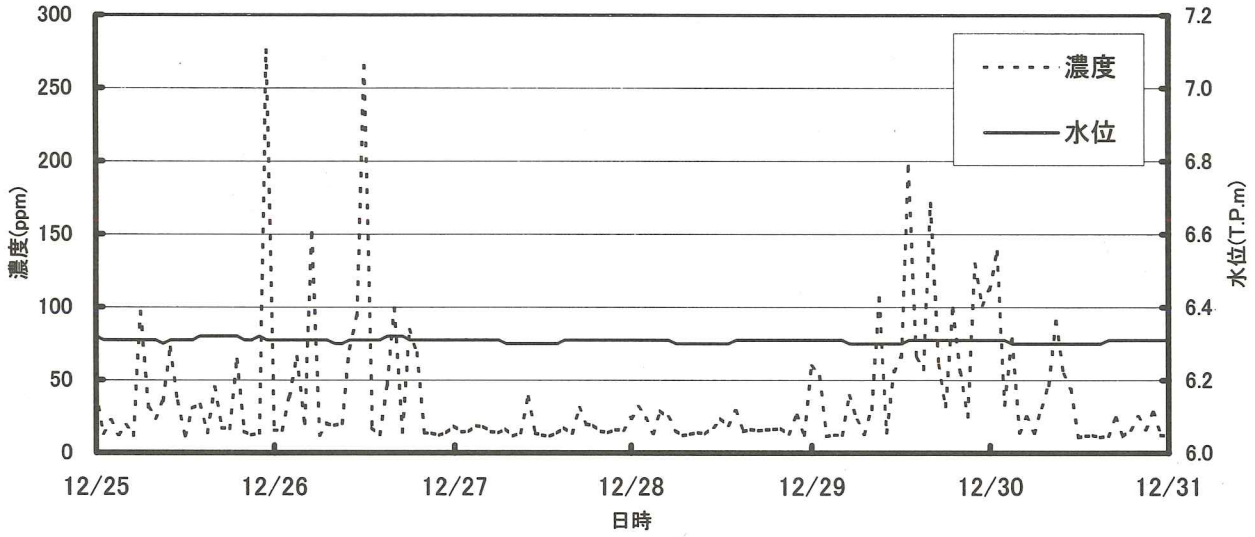
図－6.2.26(8)　洪水観測施設における濁度と水位(2000年11月)



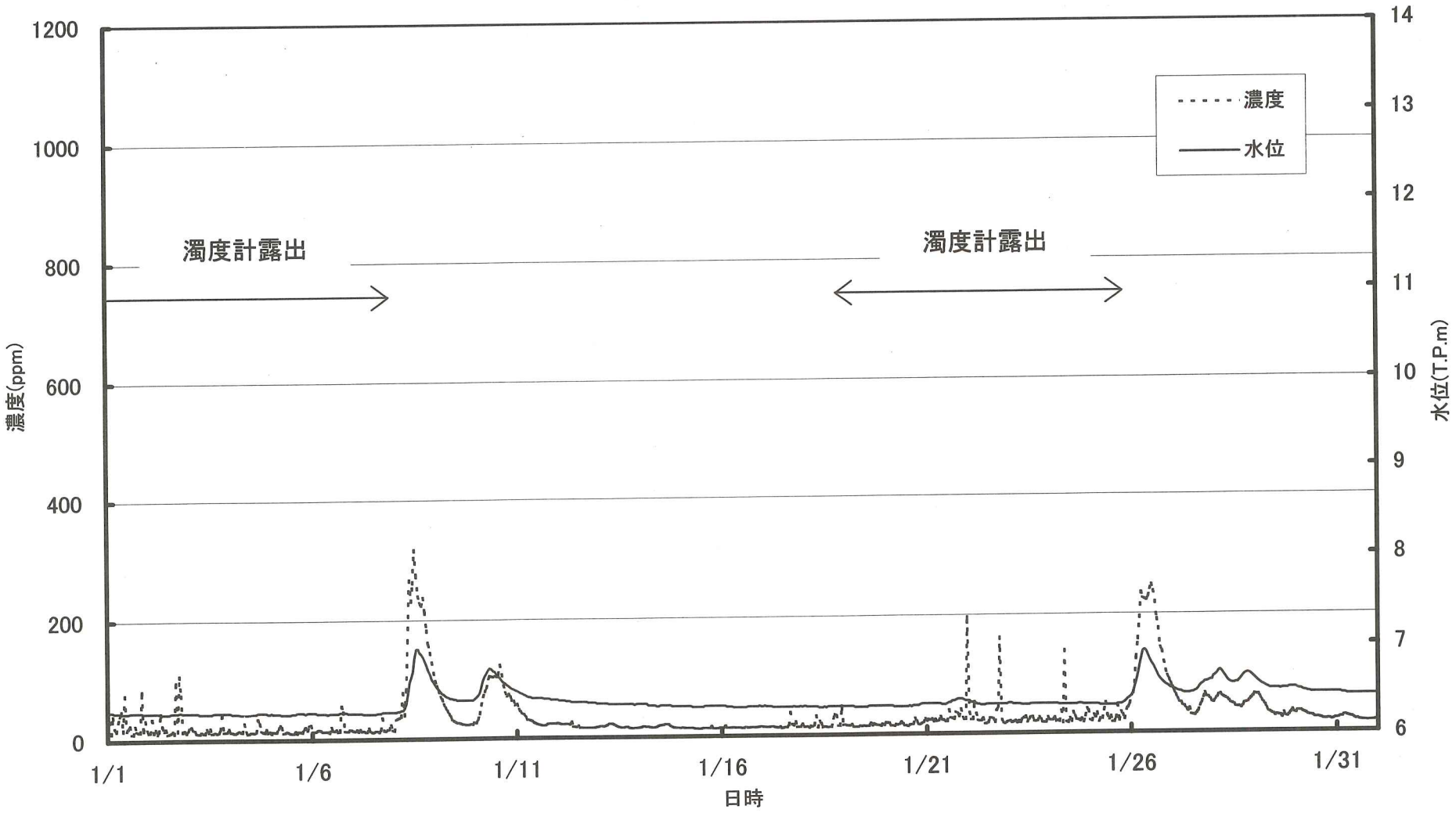
図－6.2.26(9) ヒステリシスの発生状況（2000年11月）



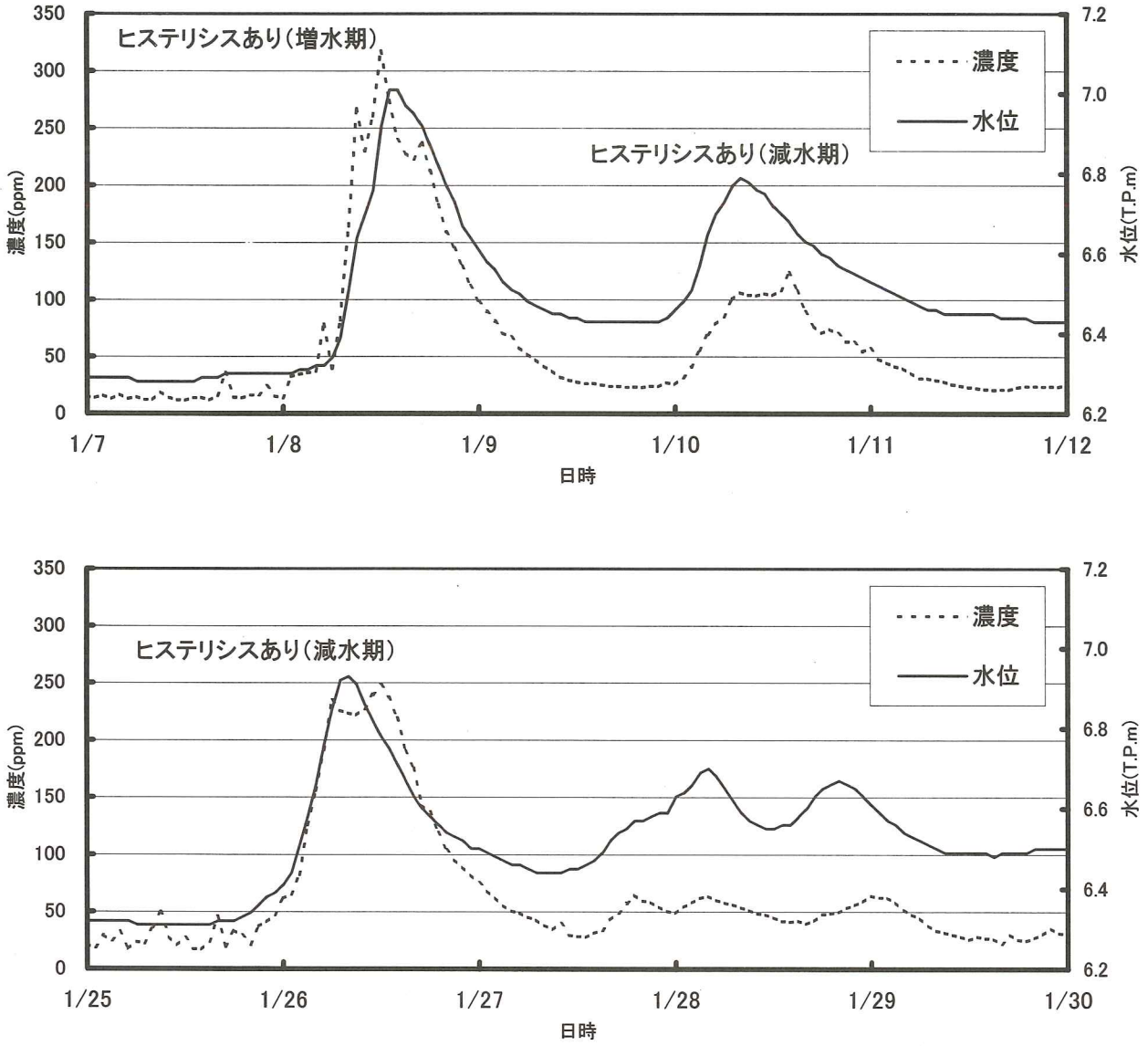
図－6.2.26(10)　洪水観測施設における濁度と水位



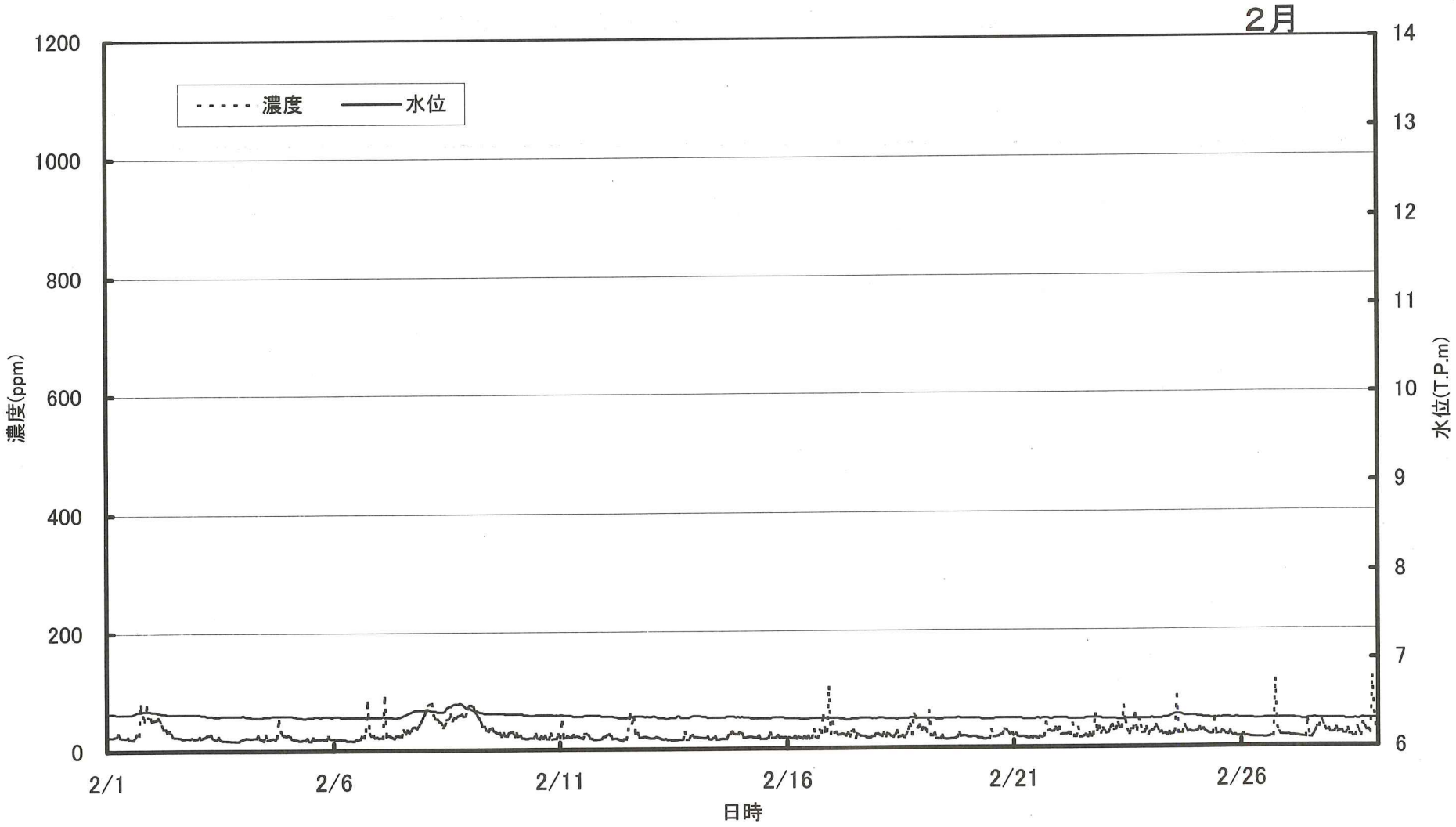
図－6.2.26(11) ヒステリシスの発生状況（2000年12月）



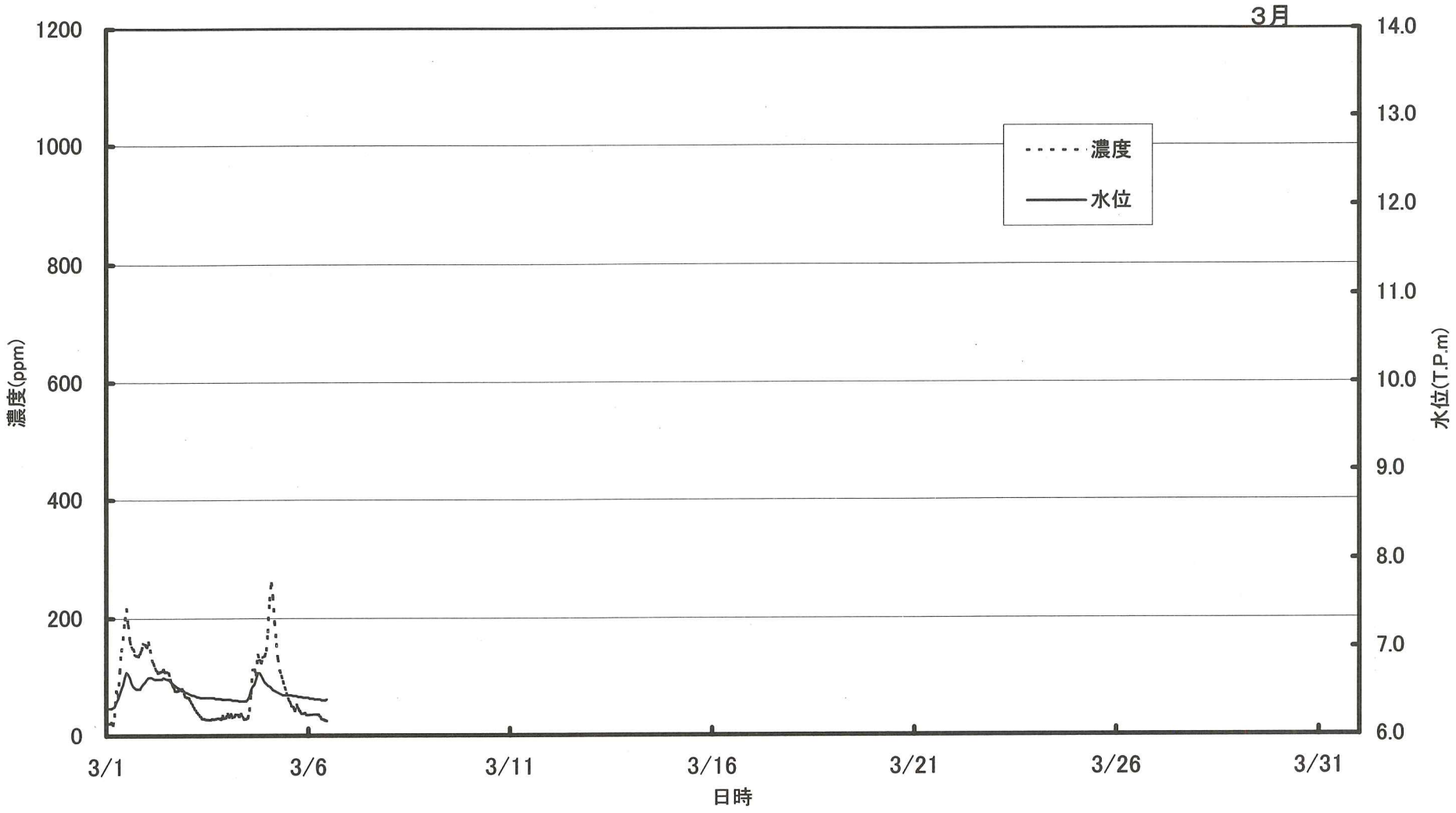
図－6.2.26(12) 洪水観測施設における濁度と水位(2001年1月)



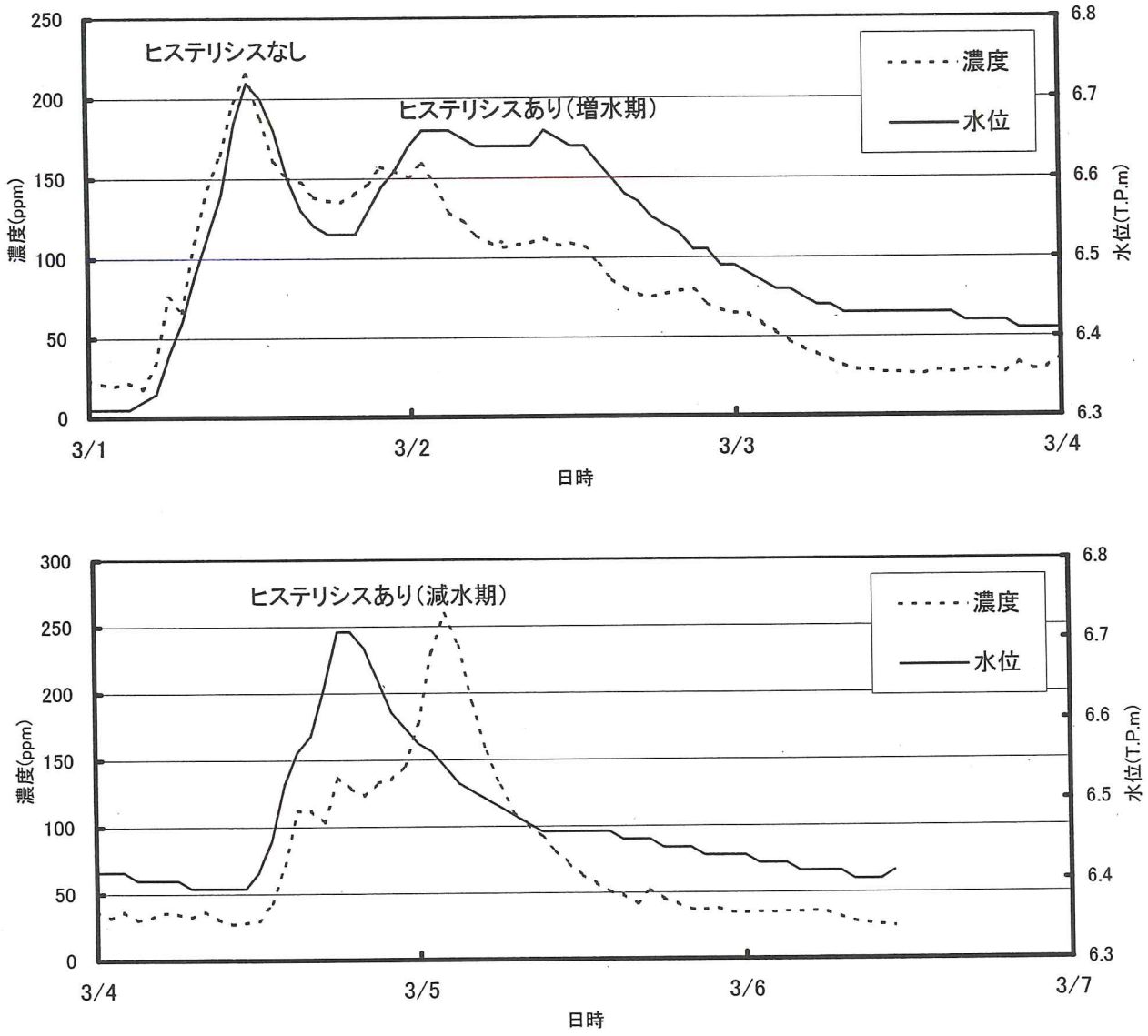
図－6.2.26(13) ヒステリシスの発生状況（2001年1月）



図－6.2.26(14) 洪水観測施設における濁度と水位(2001年2月)



図－6.2.26(15) 洪水観測施設における濁度と水位(2001年3月)



図－6.2.26(16) ヒステリシスの発生状況(2001年3月)

(10)Q－Qs 式による通過土砂量評価の妥当性

Q－Qs 関係に基づく年間流砂量・通過土砂量の算出にあたっては、(7)で示したとおり流量と濃度の間にヒステリシスを生じることがあるため、流量 Q と Qs の実態関係が Q－Qs 式と一致せずに誤差を生じるおそれがある。そこで、ここでは濁度計による連続観測データを用いてある期間における累加流砂量・通過土砂量を算出し、これと Q-Qs 式より算出したウォッシュロードの累加流砂量・通過土砂量推定値と比較する。ここで比較を実施するに当たり、濁度と濃度が一致することが必要となるが、6.1.4 の両者の比較により、濁度に補正係数を乗じれば、ほぼ線形の関数として示されることが明らかとなっているため、問題ないものと考えた。

図－6.2.27 は、濁度計の計測期間における濁度および Q-Qs 式から算出した累加流砂量・通過土砂量を示す。ここで、Q-Qs 式による計算を行うに当たっては、ウォッシュロード的運動形態で流下する粒径 0.106mm 未満の粒径集団４、５の Q-Qs 式を使用している。その結果、濁度計による計算値と Q-Qs 式による計算値の間には約 30%程度の差が生じることが明らかとなった。出水別に着目すると、小出水時および平水時の濁度計による Qs と実測 Qs の誤差は比較的小さいものの、7 月 7 日に生じた大出水時にはその差が大きかった。観測期間中に生じた大洪水はこれのみであるため、その誤差の範囲や扱い方については今後、更なる観測を実施して検討を積み上げる必要がある。

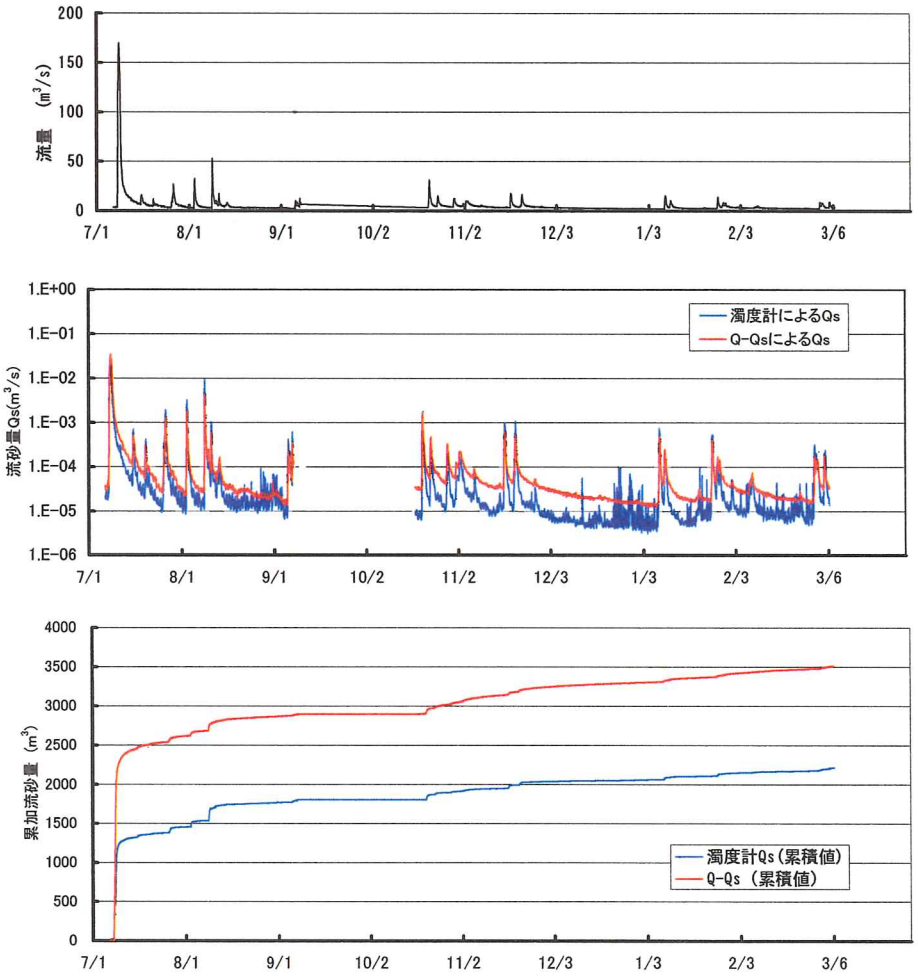


図-6.2.27 累加堆積量の比較(濁度計と Q-Qs 式)

【参考文献】

1) 河川局治水課、土木研究所河川研究室、各地方建設局河川計画課：水系一貫土砂管理に向けた河川における土砂観測、土砂動態マップの作成及びモニター体制構築に関する研究、平成12年度（第54回）建設省技術研究会指定課題、pp17-6～pp17-31、平成12年11月
2) 望月達也、藤田光一、平林桂、平舘治：新しい観点からの浮游砂・ウォッシュロード観測の提案、土木技術資料38-10、pp50～pp55、1996.10
3) 望月、藤田他：涸沼川における流砂観測、水工学論文集第41巻、pp1011～pp1016、1997.2
4) 横山勝英、梅田信、石川忠晴：七ヶ宿貯水池への濁質輸送、土木学会第53回年次学術講演会講演概要集２、pp750～pp751、1998.10
5) 吉川秀夫編著：流砂の水理学、丸善株式会社、pp86～pp95、1985.7
6) 福岡捷二、藤田光一：洪水流に及ぼす河道内樹木群の水理的影響、土木研究所報告第180号、pp133～p134
7) 吉川秀夫編著：流砂の水理学、丸善株式会社、pp142～pp143、1985.7
8) たとえば土木学会：水理公式集〔平成11年度版〕、pp167、1999.11
9) 藤田光一、宇多高明、服部敦：水系土砂収支分析のための「有効粒径集団」の考え方の提案、土木技術資料37-12、pp34～pp39、1995.12

第 7 章　涸沼川洪水観測施設における掃流砂観測

本章では、涸沼川洪水観測施設付近において掃流形態で流下し、河床材料と有意に混ざり合いながら河床の地形変化に直接影響を及ぼす有効粒径集団である粒径 0.42mm 以上の粒径集団３の一部、粒径集団２、粒径集団１を対象に掃流砂量等について検討を行った。

第 4 章では、下流部（セグメント 3、2-3 及び河口テラス）の地形変化量及び粒径分布から流砂量を推定したことに対し、本調査は河道内に観測装置を設置し、洪水中に流送される掃流砂の直接採取を試みたものである。前述の地形変化量からの調査の時間スケールが数年間の土砂移動量をマクロ的に求めようとしているのに対し、本手法では、1 時点～1 洪水スケールの流砂観測を積み重ねることによって、掃流砂の年間流砂量、年間通過土砂量を明らかにしようとするものである。

また、観測結果について、芦田・道上式[1]による計算結果、山本による粒径・水深粒径比別流砂量－無次元掃流力関係図[2]などの既存の流砂量評価方法との比較を行った。

7.1　観測装置・手法

7.1.1　観測方法の比較

掃流砂観測は、河床を流れる流砂を観測しなければならないことから、浮遊砂・ウォッシュロードよりも観測が困難である。しかし、掃流砂は河床の変動予測に直結する情報であることから、過去にもいくつかの方法が提案され、現地観測が試みられている[3),4),5)]。また最近、掃流砂量実態把握の重要性から、新たな観測方法も考案されている[6)]。ここでは、涸沼川洪水観測施設で用いた観測方法も含め、**図－7.1.1** に各種掃流砂観測方式の概念図を、**表－7.1.1** に観測方式の違いによる特性を整理する。

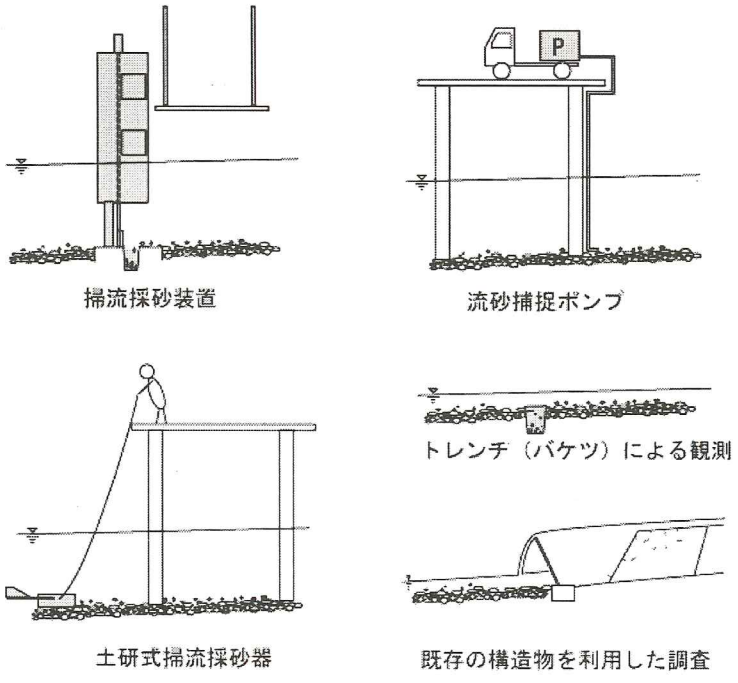


図-7.1.1　各掃流砂観測方式の概念図

表-7.1.1　掃流砂の採取方式の違いによる特性

	方　式	採取粒径	最大水深	設置方式	特　徴	価　格
流砂捕捉ポンプ	真空ポンプ、気泡混入装置、採取管から混入される。採取管と空気管を予め橋脚や護岸に設置しておき、陸上からポンプ装置を運転して濁水を吸引する。吸引水に空気を混入することで見かけ比重を 1 以下にし、また管路でのエアリフト効果により、揚程を 20m 以上に上げている。	0 小礫程度 (実験により 5mm までの砂については確認済み)	揚程 20m 以上、水深の影響なし	採水管は固定式 機械は陸上設置(2t トラックに積載可能	・採水管が設置できれば、作業性は高い。 ・採水口のゴミ除去が可能 ・浮遊砂の採取を目的に作成された装置であるため、掃流砂の取り込み口形状等を検討する必要がある。 ・流木に対して、採水管が破損するおそれ有り。	500 万円程度（機械のみ）
土研式掃流採砂器	橋脚上からロープもしくはワイヤーに吊した採砂器を河床上に降ろして流砂を採取する。	細砂 小礫程度？ 明確な採取割合は不明	特になし。	可搬型	・多地点での観測が可能 ・河床に密接させるのが難しい ・土砂の捕捉率が低いと言われている)。 ・装置を河床に設置している際に流木等が引っかかった場合、危険である。	数十万？
掃流採砂装置	河道内に観測柱を設置し、その直下に設置されたトレンチ内に昇降可能なバケットを押し込み、そこに沈降する土砂を採取する。	バケットの大きさと水理量に規定される（詳細は 3.1.2 で述べる）	掃流砂の採取口の高さにより制限される(涸沼川では 2.5m)。	固定式	・観測範囲内ならば精度の高い結果が期待される。 ・ゴミがトレンチ付近に付着した場合、採取不能となる。 ・観測柱、昇降台が必要なことから通常の河川では難しい。	300 万円程度 （機器の設置位置による）
トレンチ（バケツ）による採砂	河床にトレンチを掘削し、バケットを埋め込む。そこに沈降する土砂を採取する。	シルト・細砂	50cm 程度（人力で作業できる範囲）	可搬型	・簡易に作業できるため、多地点に適用可能。 ・平水時のみの観測に限られる。	安価
既存の構造物を利用した調査	既存の堰などの横断構造物への堆積量を測量より把握する。	シルト・細砂 （最小粒径は堰等の形状、貯水深、貯水面積に規定される）	-	固定式	・洪水中の流砂量把握はできない。 ・構造物の運用方法によっては、観測できない場合もある（落水期の農業用取水堰など)。	既存の構造物を用いるため、安価

7.1.2　掃流採砂装置

(1) 装置の特徴と観測方法

写真－7.1.1 に涸沼川洪水観測施設に設置した観測柱に組み込まれている掃流採砂装置の外観と掃流砂の採取状況を示す。掃流採砂装置の構造図は図－6.1.4 の通りである。掃流採砂装置は図－6.1.4 の涸沼川洪水観測施設の観測柱に組み込まれた機器の内、モーター～シャフト～バケット～トレンチを用いる。観測柱上部に設置されたモーターとシャフトは直結され、その回転運動をバケットの昇降運動に変換している。バケット直下の河床にはトレンチが掘られており、バケットを降下させるとトレンチ内に収納され、バケットの上面が河床高と同一の高さになり、掃流砂がバケット内に捕獲される。捕獲した掃流砂は、バケットを河床から取り出し口まで上昇させ、採取する[7),8)]。トレンチには、エアコンプレッサーによって昇降できるトレンチ蓋が設置してある。バケットが上がっている間はトレンチ蓋を上げておき、バケットをトレンチに下ろす直前にトレンチ蓋を下げてトレンチ内をなるべく空になるようにし、バケットがスムーズにトレンチに収納されるよう操作する。

掃流砂の観測はバケットをトレンチ内に降下させ、バケット上面高が河床高と一致した時点から数分～数十分後に引き上げるまでを１サイクルとして行った。なお、測定時間は観測精度向上のため、バケットが５分目以下にならない範囲でなるべく長時間とるよう心がけた。

本装置のようにトレンチで掃流砂をトラップする方式の装置では、掃流砂の跳躍に対して十分なトレンチ（バケット）の長さを確保することが重要である。しかしながら本装置では、洪水中にバケットにかかる流体力が大きいため、その大きさは 20cm が限度であった。



写真-7.1.1　掃流採砂装置の外観と掃流砂の採取状況

(2) 掃流採砂装置の適用限界

涸沼川洪水観測施設に設置された掃流採砂装置による観測を行うに当たり、その適用範囲を整理した。観測の限界を規定する要因として、次の２点が挙げられる。

①採砂装置の構造上の限界・・・・・観測柱の高さ・構造に伴う限界

②水理量による限界・・・・・・・・バケットの大きさ（採取口の面積、容量）

①：掃流採砂装置の最も高い掃流砂取り出し口が T.P.9m であり、観測台上で作業を行う上での安全を考慮すると、水位 T.P.8.5m（水深 2.5m）が観測の上限である。

②：バケット上を浮遊・跳躍する土砂は採取できないことから、その状態が生じる水理量と粒径を明らかにする。

表－7.1.2 は水理量毎に粒径別 u_*/w_0（および参考に τ_*）を計算し、流砂の運動形態を分類したものである[6)]。運動形態の分類は、５章と同様 u_*/w_0 で行った。具体的な運動形態の区分は以下のとおりである。

・　掃流形態で移動する土砂　　$u_*/w_0 < 0.625$　かつ　$\tau_{*c} < \tau_*$

・ 跳躍を伴った移動も含む掃流形態土砂　　$0.625<u_*/w_0<1.25$
・ 上層にほとんど巻き上がらない浮遊砂的運動形態　　$1.25<u_*/w_0<2.5$
・ 鉛直方向に濃度差のある浮遊砂的運動形態　　$2.5<u_*/w_0<5$
・ 上下層に多少の濃度差を有する浮遊砂的運動形態　　$5<u_*/w_0<10$
・ ウォッシュロード的運動形態　　$10<u_*/w_0$

掃流形態で移動する土砂と跳躍を伴った移動も含む掃流形態土砂の区分 $u_*/w_0=0.625$ については便宜的に定めたものであり特別な根拠はない。

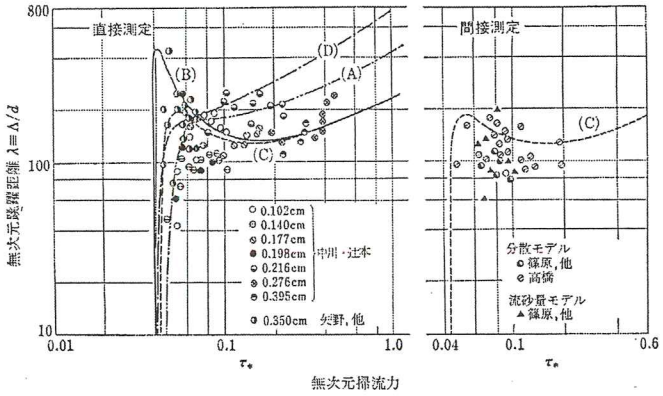
表-7.1.2　水理量毎の粒径別 u_*/w_0

			粒径集団1								粒径集団2						粒径集団3								粒径集団4	
水位	u_*	d(mm)	54		38.3		24.2		19.1		9.52		3.38		1.6		0.84		0.42		0.21		0.105		0.075	
		w_0(cm)	170.10		143.26		113.87		101.16		71.42		39.53		24.01		15.62		7.20		3.60		1.32		0.67	
			u_*/w_0	τ_*	u_*/w_0	τ_*	u_*/w_0	τ_*	u_*/w_0	τ_*	u_*/w_0	τ_*	u_*/w_0	τ_*	u_*/w_0	τ_*	u_*/w_0	τ_*	u_*/w_0	τ_*	u_*/w_0	τ_*	u_*/w_0	τ_*	u_*/w_0	τ_*
12.0	22.07		0.13	0.06	0.15	0.08	0.19	0.12	0.22	0.16	0.31	0.32	0.56	0.89	0.92	1.88	1.41	3.59	3.06	7.17	6.13	14.34	16.77	28.69	32.86	40.16
11.5	21.12		0.12	0.05	0.15	0.07	0.19	0.11	0.21	0.14	0.30	0.29	0.53	0.82	0.88	1.72	1.35	3.29	2.93	6.57	5.87	13.14	16.05	26.28	31.45	36.79
11.0	20.13		0.12	0.05	0.14	0.07	0.18	0.10	0.20	0.13	0.28	0.26	0.51	0.74	0.84	1.57	1.29	2.98	2.80	5.97	5.59	11.94	15.30	23.88	29.98	33.43
10.5	19.09		0.11	0.04	0.13	0.06	0.17	0.09	0.19	0.12	0.27	0.24	0.48	0.67	0.80	1.41	1.22	2.68	2.65	5.37	5.30	10.74	14.50	21.47	28.43	30.06
10.0	17.99		0.11	0.04	0.13	0.05	0.16	0.08	0.18	0.10	0.25	0.21	0.46	0.59	0.75	1.25	1.15	2.38	2.50	4.77	5.00	9.53	13.67	19.07	26.79	26.69
9.5	16.82		0.10	0.03	0.12	0.05	0.15	0.07	0.17	0.09	0.24	0.18	0.43	0.52	0.70	1.09	1.08	2.08	2.34	4.17	4.67	8.33	12.78	16.66	25.04	23.33
9.0	15.56		0.09	0.03	0.11	0.04	0.14	0.06	0.15	0.08	0.22	0.16	0.39	0.44	0.65	0.94	1.00	1.78	2.16	3.56	4.32	7.13	11.82	14.26	23.17	19.96
8.5	14.19		0.08	0.02	0.10	0.03	0.12	0.05	0.14	0.07	0.20	0.13	0.36	0.37	0.59	0.78	0.91	1.48	1.97	2.96	3.94	5.93	10.78	11.85	21.12	16.59
8.0	12.66		0.07	0.02	0.09	0.03	0.11	0.04	0.13	0.05	0.18	0.10	0.32	0.29	0.53	0.62	0.81	1.18	1.76	2.36	3.52	4.72	9.62	9.45	18.86	13.23
7.5	10.93		0.06	0.01	0.08	0.02	0.10	0.03	0.11	0.04	0.15	0.08	0.28	0.22	0.46	0.46	0.70	0.88	1.52	1.76	3.04	3.52	8.31	7.04	16.28	9.86
7.0	8.87		0.05	0.01	0.06	0.01	0.08	0.02	0.09	0.03	0.12	0.05	0.22	0.14	0.37	0.30	0.57	0.58	1.23	1.16	2.46	2.32	6.74	4.64	13.21	6.49
6.5	6.16		0.04	0.00	0.04	0.01	0.05	0.01	0.06	0.01	0.09	0.02	0.16	0.07	0.26	0.15	0.39	0.28	0.85	0.56	1.71	1.12	4.68	2.23	9.17	3.12
	τ_{*c}			0.02		0.02		0.03		0.03		0.05		0.09		0.20		0.37		0.74		1.49		2.97		4.16

:移動しない
:掃流形態($\tau_{*c}<\tau_*$ かつ $U_*/w_0<0.625$)
:跳躍を伴った掃流形態($0.625<U_*/w_0<1.25$)
:上層にほとんど巻き上がらない浮遊砂的運動形態($1.25<U_*/w_0<2.5$)
:鉛直方向に濃度差のある浮遊砂的運動形態($2.5<U_*/w_0<5.0$)
:上層下層に多少の濃度分布を有する浮遊砂的運動形態($5.0<U_*/w_0<10.0$)
:ウォッシュロード的運動形態($10.0<U_*/w_0$)

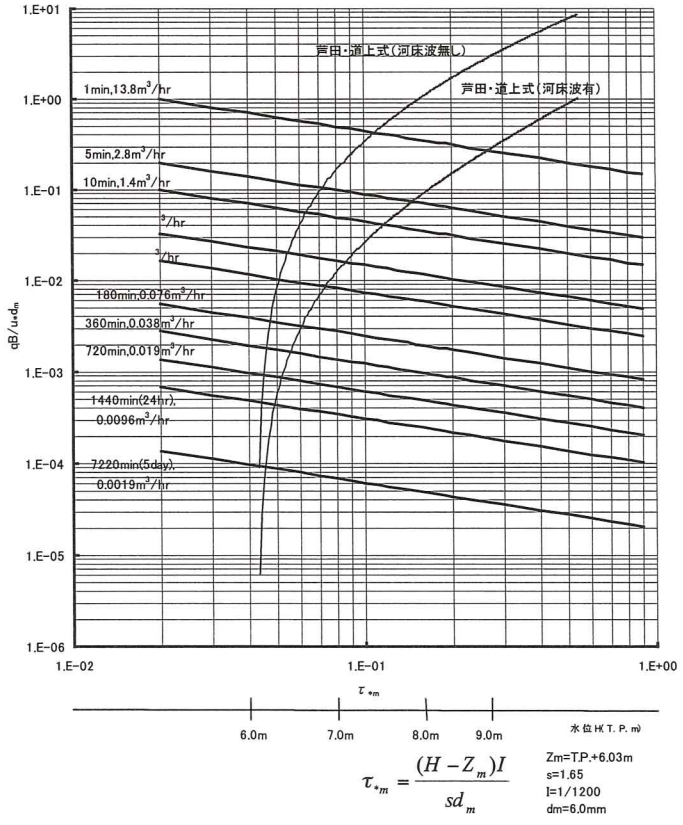
} 掃流形態
} 浮遊砂的運動形態

表より、d=0.84mm の土砂は水位が T.P.11.0m 以上で、d=0.42mm の土砂は水位 T.P.7.5m 以上で、d=0.21mm の土砂は水位 T.P.6.5m 以上で浮遊砂的運動形態になると推定され、掃流採砂装置では観測できない可能性がある。また、d=1.6mm の土砂は水位 T.P.9.0m 以上で、d=0.84mm の土砂は水位 T.P.7.5m で、d=0.42mm の土砂は水位 T.P.6.5m で、土粒子が跳躍しつつ流下する掃流形態になると推定される。流砂の step length は図－7.1.2[9]に示すように粒径の 100～200 倍程度とされており、掃流採砂装置の観測可能な水理量において、跳躍しつつ流下する掃流形態と推定される土砂の最大粒径 1.6mm ならば、step length は 16～32cm とバケットの直径 20cm の 0.8～1.6 倍となる。しかし、一般には step length は流体力によって飛び出した砂が河床に停止するまでの距離と定義され、その間には河床との衝突など接触がある[9]。つまり、step length とは、土粒子が河床から飛び上がって次に河床に接触するまでの１つの saltation 長を意味するのではなく、複数の saltation 運動の合計である。バケット長による観測限界は、step length より saltation 長の方が重要である。１つの saltation 長は、既往の研究によれば、粒子の数倍から数 10 倍程度であるので、粒径 1.6mm の土砂の saltation 長は 10cm 以下と考えられ、掃流採砂装置のバケット長 20cm よりも小さい。したがって、土粒子が跳躍しつつ流下する掃流形態と推定される粒径 0.42～1.6mm の土砂、それより粒径の大きい掃流形態で流下していると推定される土砂はほぼ全量捕捉できるものと考えられる。



図－7.1.2　step length の平均（中川・辻本）

次に、バケット容量から決まる限界について整理する。図－7.1.3 は、涸沼川洪水観測施設における予想流砂量と観測に必要な時間の関係を無次元掃流力 τ_{*m} － 無次元掃流砂量 q_B/u_*d 関係図に整理したものである。予想流砂量は、芦田・道上式によって河床波有りと河床波無しの２ケース計算した[10]。この計算結果を横切る太線は、バケット容量の半分まで堆積するのに必要な時間と涸沼川洪水観測施設断面の時間当たり掃流砂移動量を示している。バケットの昇降時間が１分程度かかること、観測精度を落とさないこと等を考慮すると、採取時間は５分以上必要である。河床波有りの芦田・道上式の流砂量が観測値と合うとすれば、観測可能な限界水位は T.P.8.0m 程度である。これが観測限界の目安となる。ただし、観測結果が芦田・道上式と一致するかは実際のところ不明であること、バケットの７～８割でも観測可能と考えられるため、観測は T.P.8.5m 程度まで行うこととした。



$$\tau_{*m} = \frac{(H - Z_m)I}{sd_m}$$

図-7.1.3　τ_{*m} と無次元掃流砂量 q_B/u_*d と土砂採取時間の関係

以上の結果から、涸沼川における掃流採砂装置の観測限界は T.P.8.5m(水深 2.5m)までであり、また上限付近の水理量では 0.84mm 未満の粒径の土砂が浮遊形態となり、全量採取できなくなると判断される。

図－7.1.4 には 1989 年～1999 年までに生じた 0.1m 毎の水位発生頻度の年平均値と芦田・道上式による涸沼川洪水観測施設（28.1km）における累加土砂移動量を示し、T.P.8.5m 程度までの観測で把握可能な掃流砂量が年間掃流砂量に占める割合を推定したところ、５割程度と評価された。

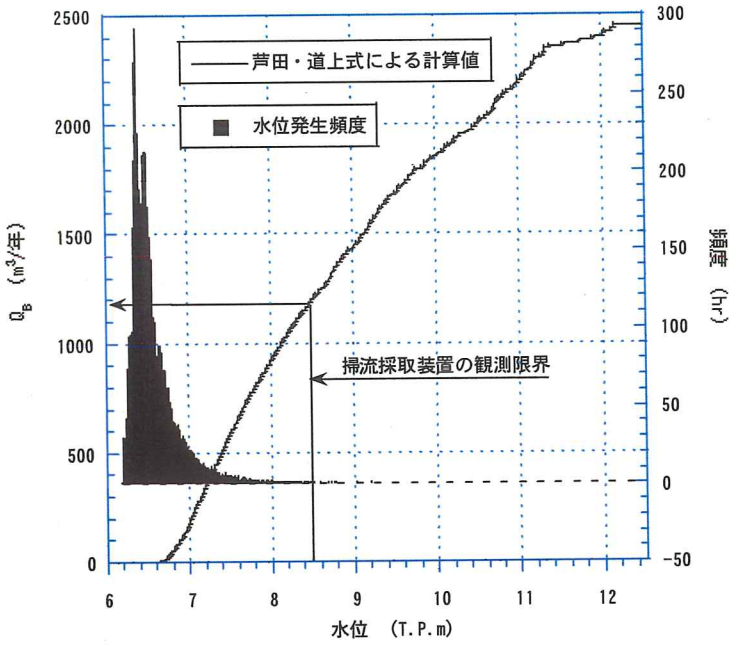


図-7.1.4　1989　1999 年までの水発生頻度の年平均値と芦田・道上式による累加土砂移動

7.1.3　平水時におけるトレンチによる掃流砂観測

掃流砂量の横断方向の差、平水時および小出水時における土砂移動量の実態を明らかにするために、**写真－7.1.2** に示すトレンチ（プランター、バケツ等）を河床に埋め込むようにして設置し、そこに堆積した土砂を採取する掃流砂観測を行った。採取した掃流砂はふるい分け試験を実施し、粒径別の掃流砂量として整理した。本観測手法の特徴として、以下の点が挙げられる。

- トレンチを掘削し、その中にプランター、バケツ等の既存の容器を埋めるのみであるため、調査準備・調査作業は簡単であり、また、安価である。
- 人力でトレンチ掘削および採取を行うことから、水深が深い地点での観測はできない。また、同様に安全上の理由から洪水中の観測についても不可能である。
- 平水時の掃流砂の有無、掃流砂発生のタイミングを調査するのに向いている。

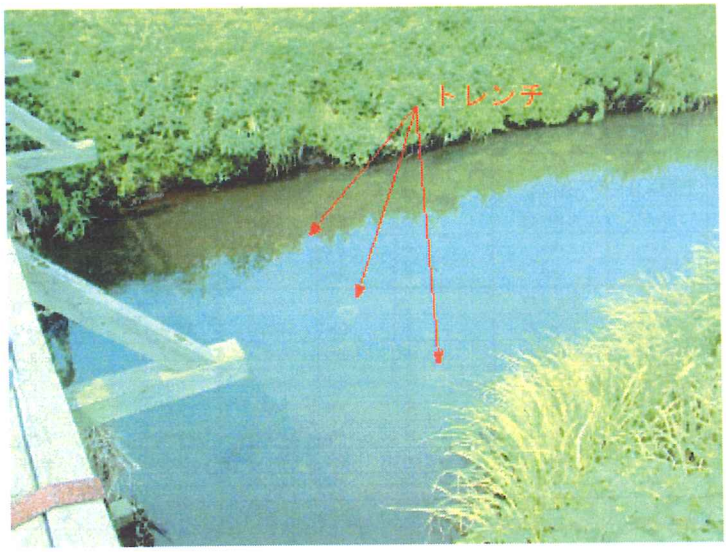


写真-7.1.2 トレンチの設置状況

7.2 調査結果

7.2.1 対象洪水

涸沼川洪水観測施設において実施した掃流砂観測日時・水理量・採取時間・採取方法および各観測結果を単位幅流砂量 q_B に換算したものを一覧にして表－7.2.1 に、また、調査期間の位況と調査日時を図－7.2.1～図－7.2.5 に示す。1992 年 1 月 17 日および 1992 年 3 月 3 日、1992 年 3 月 11 日のデータは、既にトレンチ内が満砂となっていたため、q_B を空欄とした。

表-7.2.1 掃流砂観測結果一覧表

採取日時	水位(T.P.m)	摩擦速度(cm/s)	観測時間(min)	採取量(g)	q_B(間隙無)	q_B(間隙込)	採取方法	採取位置	
1992/1/17			197280	3316	満砂	-	トレンチ		
1992/1/21	6.34-6.42	4.98-5.6	5760	1516	5.518E-05	9.196E-05	トレンチ	左岸	
1992/1/21	6.34-6.42	4.98-5.6	5760	175	6.369E-06	1.062E-05	トレンチ	中央	
1992/1/21	6.34-6.42	4.98-5.6	5760	2530	9.208E-05	1.535E-04	トレンチ	右岸	
1992/1/30	6.34-6.40	4.98-5.45	12960	817	1.322E-05	2.203E-05	トレンチ	左岸	
1992/1/30	6.34-6.40	4.98-5.45	12960	53	8.541E-07	1.424E-06	トレンチ	中央	
1992/1/30	6.34-6.40	4.98-5.45	12960	73	1.178E-06	1.963E-06	トレンチ	右岸	
1992/2/18	6.31-6.40	4.73-5.45	27360	17740	1.359E-04	2.266E-04	トレンチ	左岸	
1992/2/18	6.31-6.40	4.73-5.45	27360	14660	1.123E-04	1.872E-04	トレンチ	中央	
1992/2/18	6.31-6.40	4.73-5.45	27360	13898	1.065E-04	1.775E-04	トレンチ	右岸	
1992/3/3			20160	703	満砂	-	トレンチ	左岸	
1992/3/3			20160	14	満砂	-	トレンチ	中央	
1992/3/11			11520	20525	満砂	-	トレンチ	左岸	
1992/3/11			11520	21048	満砂	-	トレンチ	中央	
1992/3/11			11520	21391	満砂	-	トレンチ	右岸	
1996/9/9	6.71	7.4	66	30	1.442E-04	2.403E-04	掃流採砂器		洪水
1996/9/9	6.75	7.61	31	120	1.221E-03	2.035E-03	掃流採砂器		
1996/9/9	6.75	7.61	30	197	2.038E-03	3.396E-03	掃流採砂器		
1996/9/9	6.76	7.67	30	157	1.629E-03	2.716E-03	掃流採砂器		
1996/9/22	7.92	12.39	3	2081	1.208E-01	2.013E-01	掃流採砂器		洪水
2000/7/7	6.48-6.50	6.02-6.16	50	107	6.730E-04	1.122E-03	掃流採砂器		洪水
2000/7/7	6.48	6.02	49	44	2.824E-04	4.706E-04	掃流採砂器		
2000/7/7	6.57-6.73	6.60-7.53	55	273	1.561E-03	2.601E-03	掃流採砂器		
2000/7/7	6.78-7.22	7.79-9.83	50	967	6.082E-03	1.014E-02	掃流採砂器		
2000/7/7	7.29-7.48	10.12-10.86	24	1929	2.528E-02	4.213E-02	掃流採砂器		
2000/7/7	7.51-7.75	10.97-11.83	25	6569	8.263E-02	1.377E-01	掃流採砂器		
2000/7/7	7.85-8.01	12.17-12.70	11	4572	1.307E-01	2.178E-01	掃流採砂器		
2000/7/21	6.54	6.42	125	5955	1.498E-02	2.497E-02	掃流採砂器		
2000/7/21	6.54	6.42	125	4414	1.110E-02	1.851E-02	トレンチ	右岸	
2000/8/24	6.34	4.98	5760	7204	3.933E-04	6.555E-04	トレンチ	左岸	
2000/8/24	6.34	4.98	2880	2775	3.030E-04	5.050E-04	トレンチ	右岸	
2000/11/15	6.41	5.53	165	2544	3.232E-03	8.081E-03	掃流採砂器		
2000/11/17	6.66-6.95	7.14-8.64	158	9023	1.796E-02	2.993E-02	掃流採砂器		洪水
2000/11/17	6.96-7.04	8.69-9.06	60	8693	4.556E-02	7.593E-02	掃流採砂器		
2000/11/17	7.06-7.09	9.14-9.28	19	7291	1.207E-01	2.011E-01	掃流採砂器		
2000/11/17	7.09-7.11	9.28-9.32	5	4336	2.792E-01	4.654E-01	掃流採砂器		
2000/11/17	7.11	9.37	4	2247	1.927E-01	3.212E-01	掃流採砂器		
2000/11/17	7.11-7.12	9.37-9.41	5	2102	1.322E-01	2.203E-01	掃流採砂器		
2000/11/17	7.12-7.13	9.41-9.45	9	6764	2.279E-01	3.798E-01	掃流採砂器		
2000/11/17	7.13-7.14	9.45-9.50	10	3059	9.783E-02	1.630E-01	掃流採砂器		
2000/11/17	7.14	9.5	10	3986	1.253E-01	2.089E-01	掃流採砂器		
2000/11/17	7.14	9.5	10	5494	1.742E-01	2.904E-01	掃流採砂器		
2000/11/21	6.95-6.94	8.64-8.59	9	476	1.618E-02	2.697E-02	掃流採砂器		洪水
2000/11/21	6.93-6.88	8.54-8.30	59	3184	1.690E-02	3.178E-02	掃流採砂器		
2000/11/21	6.87-6.84	8.25-8.10	30	1590	2.778E-02	4.630E-02	掃流採砂器		
2000/11/21	6.84-6.81	8.10-7.95	59	5988	2.816E-02	5.297E-02	掃流採砂器		
2000/11/21	6.80-6.78	7.90-7.79	60	7155	6.285E-02	1.047E-01	掃流採砂器		
2000/11/21	6.77-6.74	7.74-7.58	59	6360	5.634E-02	9.390E-02	掃流採砂器		
2000/11/21	6.90	8.4	5	738	4.642E-02	7.736E-02	土研式掃流採砂装置	右岸	
2000/11/21	6.89	8.35	5	263	1.654E-02	2.757E-02	土研式掃流採砂装置	左岸	
2000/11/27	6.43	5.67	1455	7950	1.542E-03	2.570E-03	掃流採砂器		

：記録を誤ったと思われるデータ

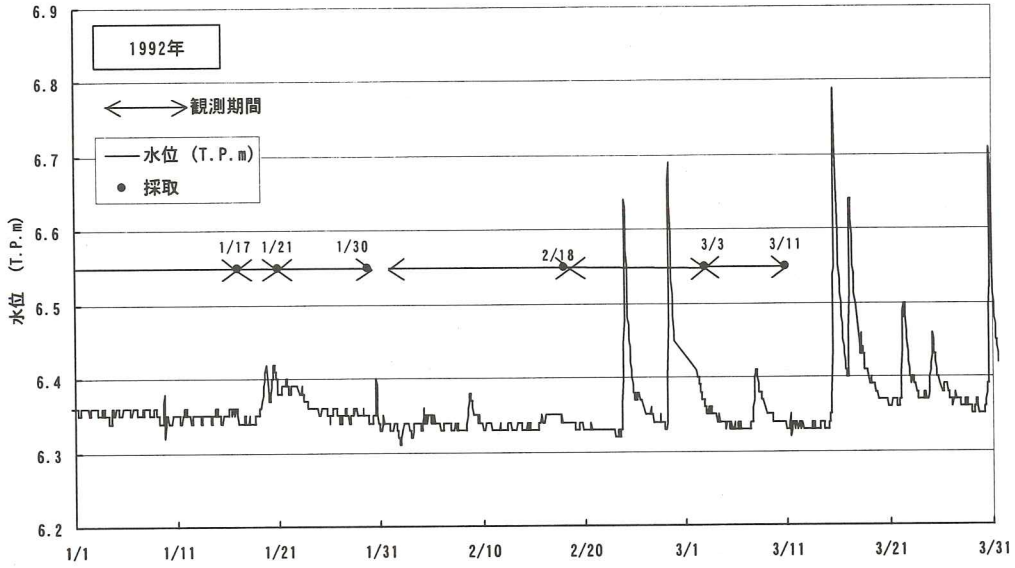


図-7.2.1 調査期間の位況と調査日時（1992 年調査、平水時）

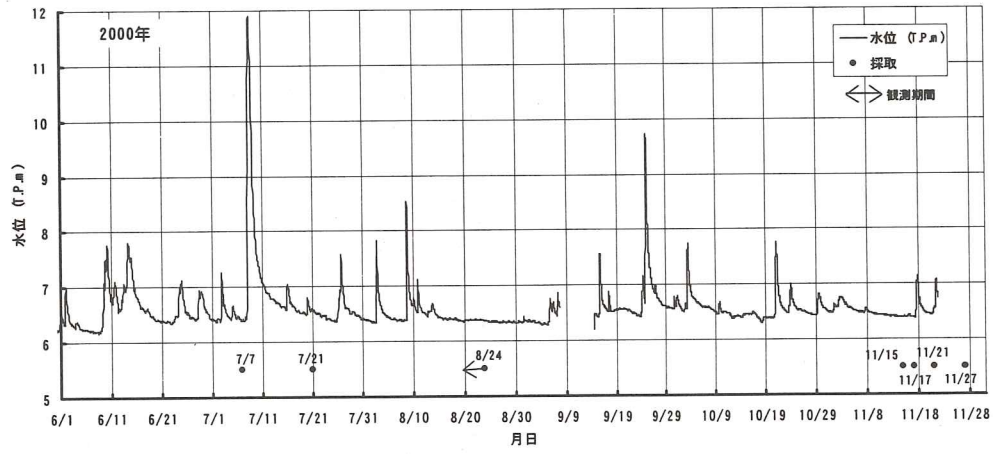


図-7.2.2 調査期間の位況と調査日時（2000 年調査、平水時、洪水時）

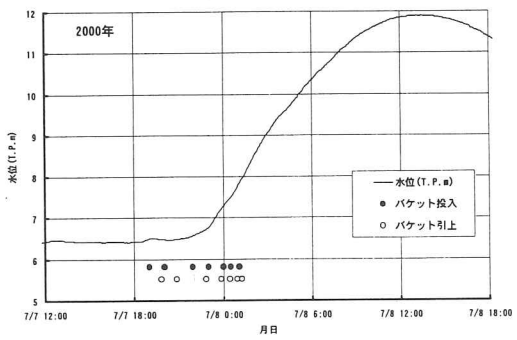


図-7.2.3 調査期間の位況と調査日時
（2000 年 7 月 7 日洪水）

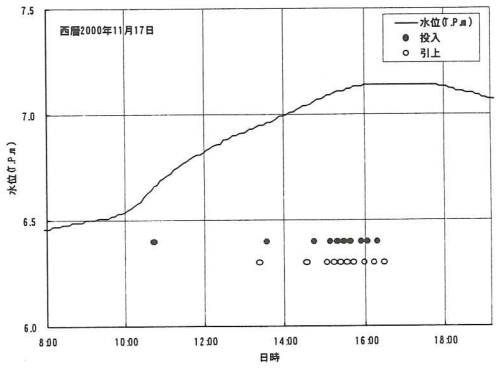


図-7.2.4 調査期間の位況と調査日時
（2000 年 11 月 17 日洪水）

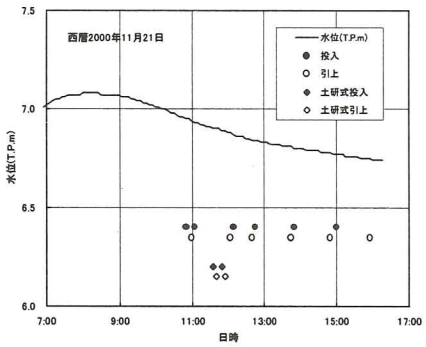


図-7.2.5 調査期間の位況と調査日時(2000 年 11 月 21 日洪水)

7.2.2 調査結果

(1) バケットの形状が異なることによる影響

観測柱に設置された掃流採砂器のバケットの形状は、1996 年 9 月 22 日までは、20cm 四方の角形のものを使用していたが [7),8)]、角形のバケット形状では、トレンチとトレンチ蓋、およびトレンチとバケットの間の密着がうまくいかなくなり、礫がその間に入り込んでバケットの昇降が行えなくなる場合があり、1 洪水に 1 回しか観測できないケースや 1 洪水に 1 回も観測できないケースもあった。そこで、2000 年の観測では、バケットを丸形(直径 22cm)に変更したところ、バケットの昇降が行えなくなることは減り、1 洪水で多数回の観測が可能となった。ただし、丸形のバケットでは、左右の端部においては流砂の saltation 長がバケットの縦断長よりも長くなり、掃流砂を全て把握できなくなる可能性がある。そこで、角形と丸形のバケットの採取特性を把握するため、ほぼ同じ水理量で採取された掃流砂の粒径別流砂量を比較した。

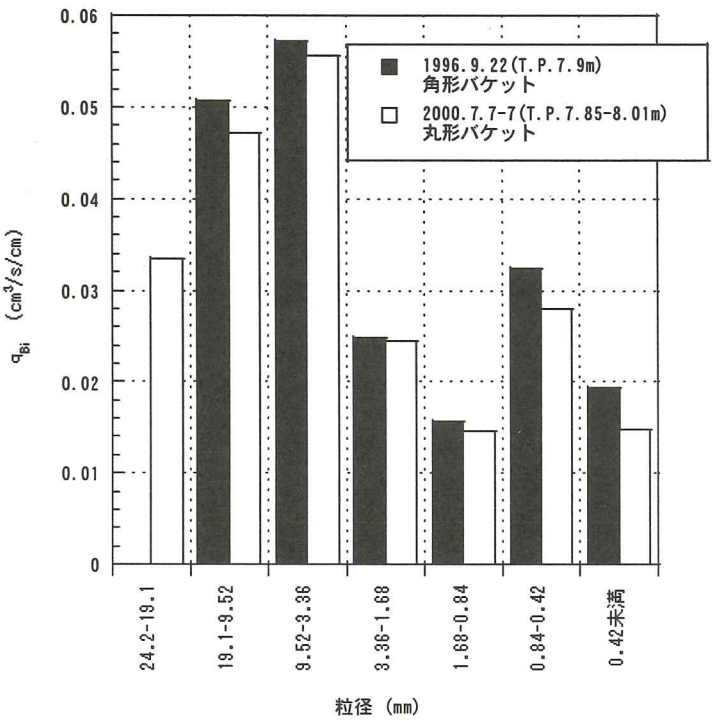


図-7.2.6 角形バケットと丸形バケットの比較

図－7.2.6 には T.P.8.0m 付近で観測された 1996.9.22（角形バケット）洪水の観測結果と 2000.7.7-7（丸形バケット）の観測結果を q_{Bi} で比較したものである。すると、全粒径にわたって、丸形の方が少ない傾向を示すが、その差は非常に小さい結果となった。粒径 19.1～24.2mm の土砂は 2000.7.7 の観測結果では存在するのに対して、1996.9.22 の観測結果では採取されていない。この理由は定かではないが、この粒径の u_*/w_0 は 0.11 であり、土砂が跳躍して流下するとは考えにくいのでバケットの形状による差ではないと考えられる。したがって、たまたま

1996.9.22 洪水の観測時には掃流砂中にその粒径の土砂が存在しなかった可能性が高い。

以上の結果より、水位（水理量）が同じであれば流砂量も同じであると仮定すれば、1996.9.22 洪水と 2000.7.7 洪水の観測結果の比較からは、バケットの丸形と角形の違いの影響は微少なものと考えられる。以降は、バケット形状の違いは観測結果に影響しないと考え検討を進める。

(2) 観測された掃流砂量および粒径特性

図－7.2.7 は、これまで得られた掃流砂観測結果を τ_{*dm} と q_B/u_*d（全粒径の合計、間隙込み）の関係図に整理したものである。図から、水理量の増大とともに q_B/u_*d も増大する傾向にあるが、黒塗りの印でプロットした値と、白抜きの印でプロットした値では明確に異なる傾向を描き、同じ水理量でありながら大きいところでは 1 オーダー近い差が見られた。2000.11.17 洪水、2000.11.21 洪水の観測など、水理量が余り変化しない同じ洪水における観測結果でも、q_B/u_*d の値は最大 2 倍程度の幅がみられる。掃流砂観測は、たとえ同じ掃流力であったとしても、観測結果にある程度の幅が生じることは避けられない。その幅の大きさは同じ洪水の観測値で 2 倍程度、洪水が違えば 1 オーダーにもなる場合がある。

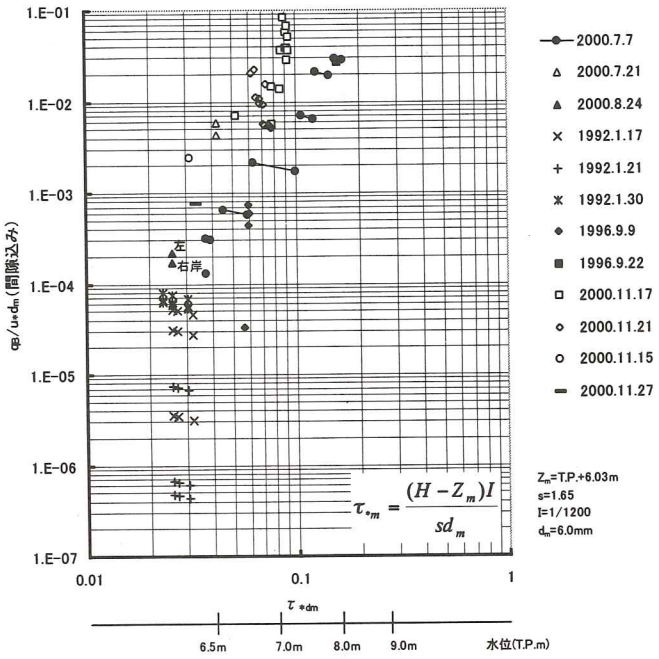


図-7.2.7　τ_{*m} と無次元流砂量 q_B/u_*d の比較

次に、この結果を粒径別に整理するため、**図－7.2.8** に採取した掃流砂の粒度分布を示し、図中には涸沼川洪水観測施設付近（28.10km）の河床材料粒度分布も併せて表示した。1992 年 1 月 30 日中央、1992 年 3 月 3 日中央、1996 年 9 月 9 日の No.1～4 の d_{60} は 0.3～0.5mm と、他のデータに比して非常に小さい。このときの採取量は 14～197g と非常に少なく、特に 1996 年 9 月 9 日における τ_{*dm}（d_m=6.0mm）を計算すると、0.056～0.061 であるのに対して、採取される粒径は非常に小さい結果となった。このことから、掃流砂採取用のバケットもしくはトレンチが完全に河床中に埋没していなかった可能性が高い。逆に、1992 年 1 月 21 日中央部の d_{60} は 8mm と 1992 年 1 月 30 日中央と同水理量でも非常に大きい値を示す。採取量は 175ｇ(116cm^3)程度であり、偶発的に河床中の礫が混入し、それが粒度分布に影響したものと考えられる。

水位が T.P.6.3～6.6m 程度の平水時には 0.84～2mm 程度の粒径が卓越し、均一に近い粒度組成を示すのに対し、水深が増加するとともに粗粒化する傾向となった。そこで、水理量に対する流砂の平均粒径の変化を把握するため、**図－7.2.9** の混合粒径の河床材料を用いた水路実験で測定された流砂の平均粒径 d_{sm} と河床材料の平均粒径 d_m の比 d_{sm}/d_m と τ_{*m} の関係[11]に、今回の掃流砂観測結果をプロットしてみた。**図－7.2.9** より、水路実験の結果と同様 τ_{*m} の増大とともに d_{sm} も増加する傾向にあることがわかる。また、涸沼川洪水観測施設付近の d_{84}/d_{16} を計算すると、約 25 であり、**図－7.2.9** における d_{84}/d_{16}＝16～36 の水路実験結果とほぼ一致する傾向を示した。

表－7.2.2 は**図－7.2.8** の結果と水理量の関係を明らかにするため、**表－7.1.2** と同様に粒径別 u_*/w_0 と τ_* について水位を細分化して計算し、掃流砂観測の実測範囲と比較したものである。また、表中には実測できない範囲の水理量・粒径について、既往の評価手法および前章で示した浮遊砂観測の適用範囲を示した。なお、表の下端の τ_{*c} はエギナザロフの式から求めた。以下、**表－7.2.2** と**図－7.2.8** を用いて検討を行う。

2000.7.7 洪水の掃流砂観測では、水位が T.P.7.6～8m までの範囲については掃流砂の最大粒径が 24.1mm となっており、**表－7.2.2** で予想される掃流砂の最大粒径 24.2mm(水位 T.P.7.6m、7.8m)、38.3mm (水位 T.P.8.0m) より小さい。2000.11.17 洪水の掃流砂観測 (水位 T.P.6.66～7.14m)および 11.21 洪水の掃流砂観測 (水位 T.P.6.74～6.95m) では、掃流砂の最大粒径はほぼ 9.52～19.1mm となっており、**表－7.2.2** から予想される最大粒径 3.38mm (水位 T.P.6.8m)、9.52mm (水位 T.P.7.0m、7.2m) より若干大きめであった。1996.9.9 洪水の掃流砂観測 (水位 T.P.6.706～6.756m) では、計算上掃流砂の最大粒径は 3.38mm と予想されたが、観測結果の最大粒径は 19.1mm と大きかった。なお、粒度分布調査からは、24.2mm 以上の粒径範囲も 2～3%存在している

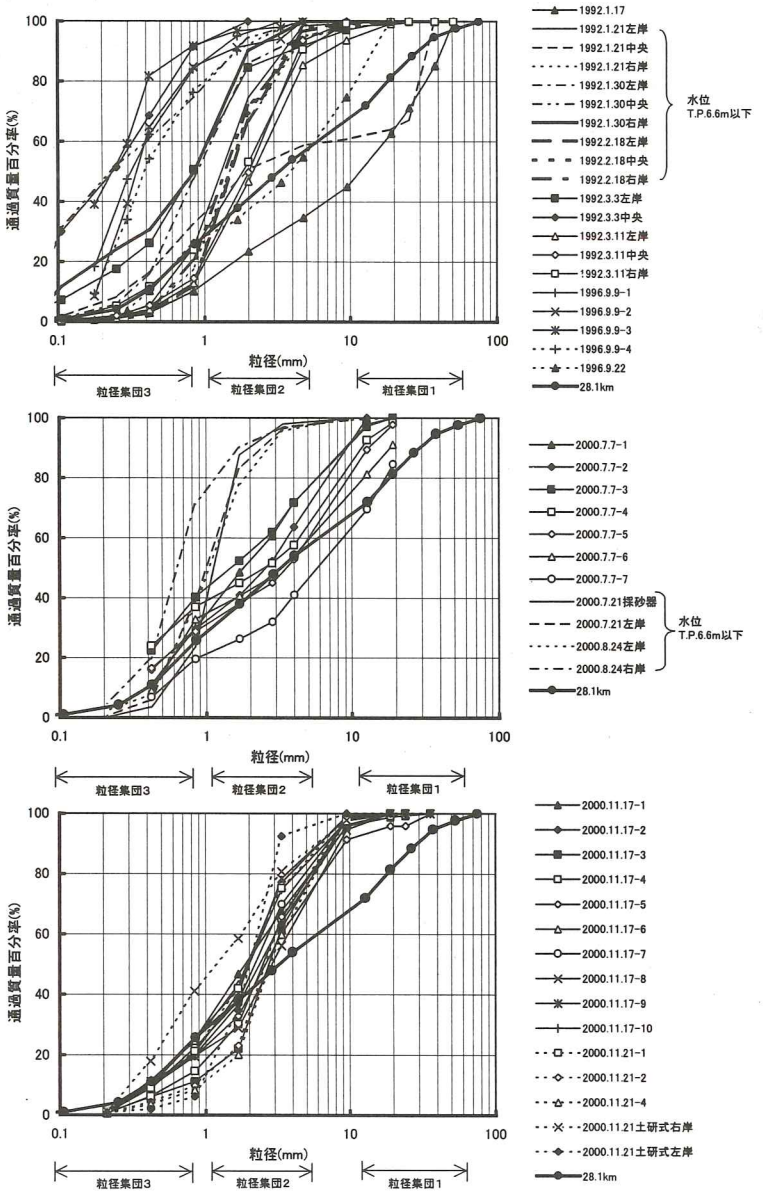


図-7.2.8 掃流砂の粒度分布

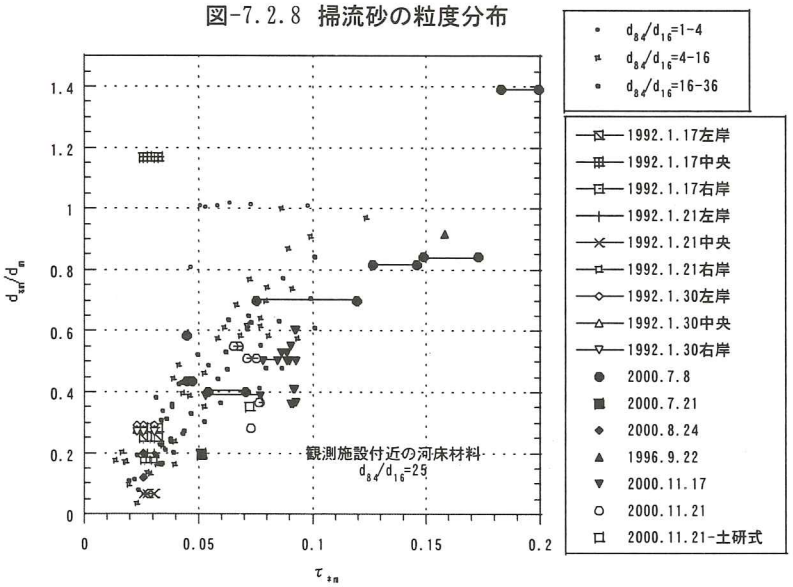


図-7.2.9 流砂の平均粒径 d_{sm} と
河床材料の平均粒径 dm の比 d_{sm}/d_m と τ_* の関係

表-7.2.2 粒径別 u_* と τ_* の実測範囲

水位	u_*	d(mm)	54		38.3		24.2		19.1		9.52		3.38		1.6		0.84		0.42		0.21	
		w_0(cm)	170.10		143.26		113.87		101.16		71.42		39.53		24.01		15.62		7.20		3.60	
			u_*/w_0	τ_*	u_*/w_0	τ_*	u_*/w_0	τ_*	u_*/w_0	τ_*	u_*/w_0	τ_*	u_*/w_0	τ_*	u_*/w_0	τ_*	u_*/w_0	τ_*	u_*/w_0	τ_*	u_*/w_0	τ_*
12.0	22.07		0.130	0.056	0.154	0.079	0.194	0.124	0.218	0.158	0.309	0.316	0.558	0.891	0.919	1.883	1.413	3.586	3.064	7.172	6.128	14.343
11.8	21.70		0.128	0.054	0.151	0.076	0.191	0.120	0.214	0.152	0.304	0.306	0.549	0.861	0.904	1.819	1.389	3.466	3.012	6.931	6.024	13.862
11.6	21.32		0.125	0.052	0.149	0.073	0.187	0.116	0.211	0.147	0.298	0.295	0.539	0.831	0.888	1.756	1.365	3.345	2.959	6.691	5.919	13.381
11.4	20.93		0.123	0.050	0.146	0.071	0.184	0.112	0.207	0.142	0.293	0.285	0.529	0.802	0.872	1.693	1.340	3.225	2.906	6.450	5.811	12.900
11.2	20.54		0.121	0.048	0.143	0.068	0.180	0.108	0.203	0.137	0.288	0.274	0.519	0.772	0.855	1.630	1.315	3.105	2.851	6.210	5.702	12.419
11.0	20.13		0.118	0.046	0.141	0.065	0.177	0.104	0.199	0.131	0.282	0.263	0.509	0.742	0.839	1.567	1.289	2.985	2.795	5.969	5.591	11.938
10.8	19.72		0.116	0.045	0.138	0.063	0.173	0.099	0.195	0.126	0.276	0.253	0.499	0.712	0.822	1.504	1.263	2.864	2.738	5.729	5.477	11.457
10.6	19.31		0.113	0.043	0.135	0.060	0.170	0.095	0.191	0.121	0.270	0.242	0.488	0.682	0.804	1.441	1.236	2.744	2.680	5.488	5.361	10.976
10.4	18.88		0.111	0.041	0.132	0.058	0.166	0.091	0.187	0.115	0.264	0.232	0.478	0.652	0.786	1.378	1.209	2.624	2.621	5.248	5.242	10.495
10.2	18.44		0.108	0.039	0.129	0.055	0.162	0.087	0.182	0.110	0.258	0.221	0.466	0.622	0.768	1.314	1.181	2.504	2.560	5.007	5.120	10.014
10.0	17.99		0.106	0.037	0.126	0.052	0.158	0.083	0.178	0.105	0.252	0.210	0.455	0.592	0.750	1.251	1.152	2.383	2.498	4.767	4.996	9.533
9.8	17.53		0.103	0.035	0.122	0.050	0.154	0.079	0.173	0.100	0.245	0.200	0.444	0.562	0.730	1.188	1.123	2.263	2.434	4.526	4.868	9.052
9.6	17.06		0.100	0.033	0.119	0.047	0.150	0.074	0.169	0.094	0.239	0.189	0.432	0.533	0.711	1.125	1.092	2.143	2.369	4.286	4.737	8.571
9.4	16.57		0.097	0.031	0.116	0.044	0.146	0.070	0.164	0.089	0.232	0.178	0.419	0.503	0.690	1.062	1.061	2.023	2.301	4.045	4.602	8.090
9.2	16.07		0.095	0.030	0.112	0.042	0.141	0.066	0.159	0.084	0.225	0.168	0.407	0.473	0.670	0.999	1.029	1.902	2.232	3.805	4.463	7.609
9.0	15.56		0.091	0.028	0.109	0.039	0.137	0.062	0.154	0.078	0.218	0.157	0.394	0.443	0.648	0.936	0.996	1.782	2.160	3.564	4.320	7.128
8.8	15.02		0.088	0.026	0.105	0.036	0.132	0.058	0.149	0.073	0.210	0.147	0.380	0.413	0.626	0.872	0.962	1.662	2.086	3.324	4.172	6.647
8.6	14.47		0.085	0.024	0.101	0.034	0.127	0.054	0.143	0.068	0.203	0.136	0.366	0.383	0.603	0.809	0.926	1.542	2.009	3.083	4.018	6.166
8.4	13.89		0.082	0.022	0.097	0.031	0.122	0.049	0.137	0.063	0.195	0.125	0.351	0.353	0.579	0.746	0.890	1.421	1.929	2.843	3.858	5.685
8.2	13.29		0.078	0.020	0.093	0.029	0.117	0.045	0.131	0.057	0.186	0.115	0.336	0.323	0.554	0.683	0.851	1.301	1.846	2.602	3.691	5.204
8.0	12.66		0.074	0.018	0.088	0.026	0.111	0.041	0.125	0.052	0.177	0.104	0.320	0.293	0.528	0.620	0.811	1.181	1.758	2.362	3.516	4.723
7.8	12.00		0.071	0.016	0.084	0.023	0.105	0.037	0.119	0.047	0.168	0.094	0.304	0.264	0.500	0.557	0.768	1.061	1.666	2.121	3.333	4.242
7.6	11.30		0.066	0.015	0.079	0.021	0.099	0.033	0.112	0.041	0.158	0.083	0.286	0.234	0.471	0.494	0.724	0.940	1.569	1.881	3.138	3.761
7.4	10.55		0.062	0.013	0.074	0.018	0.093	0.028	0.104	0.036	0.148	0.072	0.267	0.204	0.440	0.431	0.676	0.820	1.465	1.640	2.931	3.280
7.2	9.75		0.057	0.011	0.068	0.015	0.086	0.024	0.096	0.031	0.137	0.062	0.247	0.174	0.406	0.367	0.624	0.700	1.354	1.400	2.707	2.799
7.0	8.87		0.052	0.009	0.062	0.013	0.078	0.020	0.088	0.025	0.124	0.051	0.224	0.144	0.370	0.304	0.568	0.580	1.232	1.159	2.464	2.318
6.8	7.90		0.046	0.007	0.055	0.010	0.069	0.016	0.078	0.020	0.111	0.041	0.200	0.114	0.329	0.241	0.506	0.459	1.097	0.919	2.193	1.837
6.6	6.79		0.040	0.005	0.047	0.007	0.060	0.012	0.067	0.015	0.095	0.030	0.172	0.084	0.283	0.178	0.435	0.339	0.942	0.678	1.884	1.356
6.4	5.45		0.032	0.003	0.038	0.005	0.048	0.008	0.054	0.010	0.076	0.019	0.138	0.054	0.227	0.115	0.349	0.219	0.757	0.438	1.514	0.875
Q-Qs	τ_{*c}			0.0201		0.023		0.0282		0.0315		0.0457		0.0943		0.1951		0.3716		0.7431		1.4863

芦田・道上式による評価が可能な範囲
実測できた範囲、もしくは実測による評価が可能な範囲
実測Q-Qsの範囲
Q-Qsの適用が難しい範囲

料のほとんどが**写真－7.2.1** に示すような固結した粘土塊であった。これは水中比重が対象とする材料と一致しないことから、表の水理量と対応しない。

逆に、小粒径の範囲に目を向けると 2000.7.7 洪水の掃流砂観測では、0.4mm 以上でふるい分けを行っているため、最小粒径はわからないが、粒径 0.4mm 以下の材料も 10～25％程度含まれている。2000.11.17 洪水の掃流砂観測では洪水を通じて、最小粒径が 0.2mm であり、粒径 0.2～0.4mm の材料が占める割合は 10％程度であった。2000. 11.21 洪水の掃流砂観測では、最小粒径は 0.2mm、粒径 0.2～0.84mm の占める割合が 10％程度と少なかった。粒径 0.84mm 以上の土砂が多い。



写真-7.2.1 採取された粘土塊

以上から、採取できた最小粒径は 0.42～0.84mm の範囲であると判断され、計算による採取可能な限界値とほぼ一致する結果となった。

次いで、水位 T.P.6.4m において流砂が観測されたことに着目すると、この水位では、すべての粒径で $\tau_* < \tau_{*c}$ であり、計算上掃流砂が生じない領域にも関わらず、0.42～3.36mm の粒径集団を中心に最大 9.52mm 程度の流砂が観測された。

(3) 横断方向の掃流砂量

涸沼川洪水観測施設の横断形状は、左岸側に対して右岸側の水深が大きいことから、横断方向に掃流力及び流砂量の差が生じる可能性がある。そこで、平水時に実施した横断方向の掃流砂観測から、横断方向の掃流砂量及び粒径分布の差を検討してみると（図－7.2.7、図－7.2.8 参照、2000.7.21、2000.8.24 に実施した観測）、量・粒径とも左岸、中央、右岸で異なった傾向は示さなかった。平水時のみの観測ではあるが、横断方向に掃流砂量の差を生じないことが明らかとなったことより、今後は掃流採取装置による結果が断面内の流砂量を代表しているものとして検討を進めることとした。

(4) 洪水ごとの粒径別掃流砂量の比較

洪水毎・観測毎に流砂量が大きく異なることは前述したが、では、ほぼ同じような水理量の下で観測された結果を比較して、各粒径範囲ごとにどのような違いが生じているのか検討する。

図－7.2.10 は T.P.8.0m 付近で観測された 1996.9.22 と 2000.7.7-7 の q_{Bi} を比較したものである。両者とも図－7.2.7 では■、●でプロットされており、総量はほぼ同じ値である。19.1-24.2mm の粒径集団を除き、各粒径範囲ごとに高い適合性を示した。ズレはほぼ粒径 19.1-24.2mm の試料の有無のみに規定されている結果となっている。

次に、図－7.2.11 に水位 T.P.6.6～6.9m で掃流砂観測を行った 2000.11.17 洪水１回目と 2000.11.21 洪水の２回目、３回目の観測結果を比較したものである。両洪水の観測結果ともに、図－7.2.7 の□と◇でプロットした洪水であり、大きめの観測値である。2000.11.17-1 と 2000.11.21-2 では掃流砂量総量はほぼ同じであり、粒径別流砂量にも大きな差はない。2000.11.17-1 と 2000.11.21-3 では掃流砂量総量で約２倍程度の差が生じており、掃流砂量の差が大きく異なる粒径範囲は粒径 1.68～3.36mm と 3.36～9.52mm であった。他の粒径範囲については、ほぼ同じような値を示す。

図－7.2.12 は水位 T.P.7.0m 付近で掃流砂観測を行った 2000.7.7-4(水位 T.P.6.78～7.22m、図－7.2.7 で●プロット)、

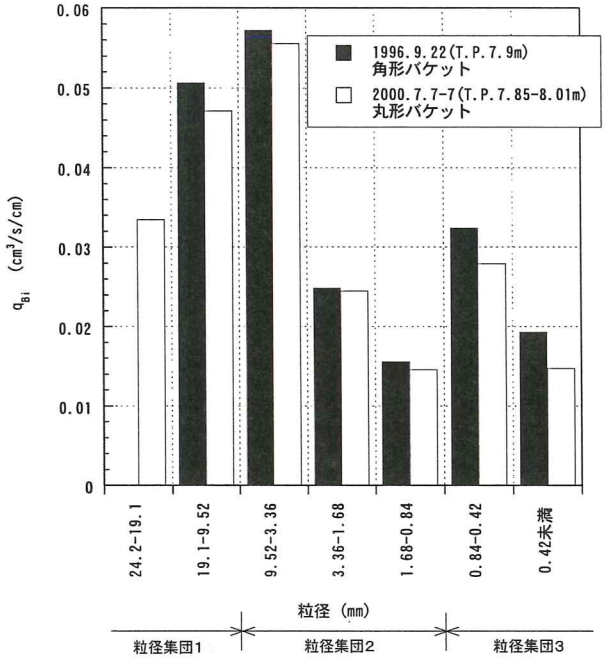


図-7.2.10 掃流砂の q_{Bi} の比較

(1996.9.22:T.P.7.9m、2000.7.7:T.P.7.85～8.01m)

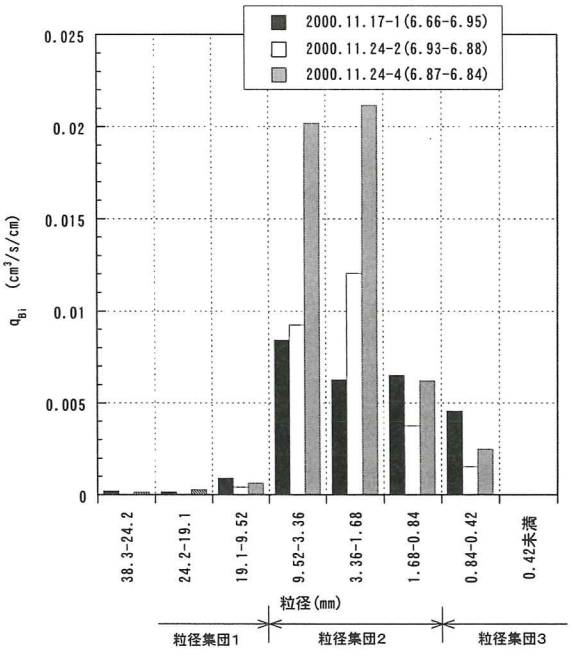


図-7.2.11 掃流砂の q_{Bi} の比較

(2000.11.17:T.P.6.66～6.95m、T.P.6.93～6.88m 、

2000.11.24:T.P.6.87～6.84m)

2000.11.17-2（水位 T.P.6.96～7.04m、図－7.2.7 で□プロット）を比較した。両者は流砂量総量で約 8 倍の差を有する。粒径別に比較してみると、粒径 9.52mm 以上の粒径集団 1 を除いていずれの粒径範囲においても大きな差が生じていた。特に、粒径 0.84～9.52mm の粒径集団 2 でその差が大きい。

図－7.2.8 において、2000.7.7 洪水の 4 回目以降の掃流砂観測結果で粒径集団 1（粒径 9.52mm 以上）の全流砂量に占める割合が 2000.11.17 洪水の掃流砂観測結果（水位 T.P.6.66～7.14m）に比べて多い傾向となっているのは、2000.7.7 洪水 4 回目以降の掃流砂観測時の最高水位が 7.22m 以上となり、19.1mm の粒径が τ_{*c} 以上の範囲となったため（表－7.2.2 参照）であると考えられる。以上の結果を整理すると以下のようになる。

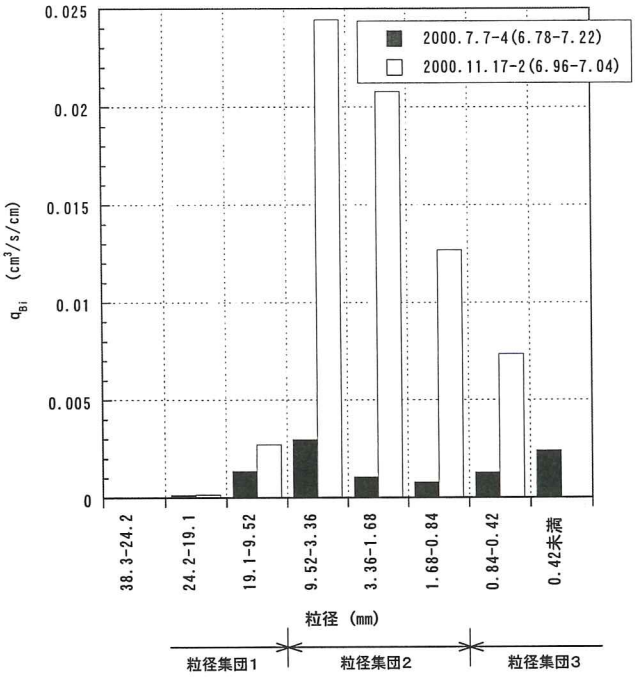


図-7.2.12 掃流砂の q_{Bi} の比較（2000.7.7：T.P.6.78～7.22m、2000.11.17：T.P.6.96～7.04m）

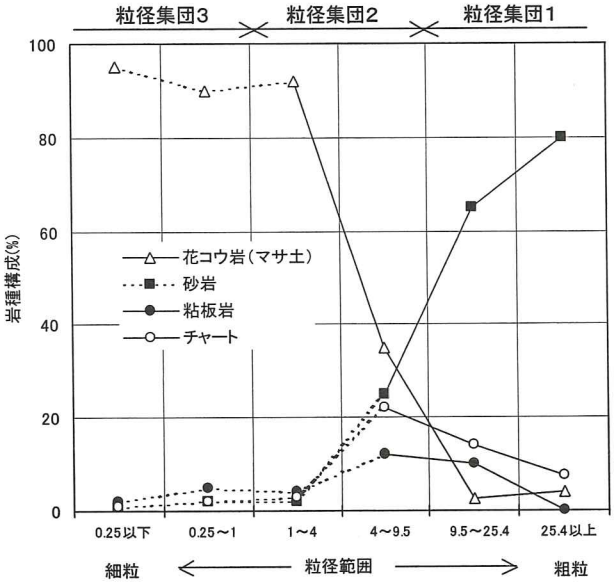


図-7.2.13 岩種別粒度構成

- 2000.11.17 洪水、2000.11.21 洪水の掃流砂量が大きい値となる観測結果では、粒径 0.84～9.52mm の粒径集団 2 の掃流砂量が多くなっている。
- 掃流砂総量が同じ値を示す場合、粒径別の掃流砂量もほぼ同じような値を示す。
- 例えば、図－7.2.7 における白抜き印のプロット同士のような、比較的同じ傾向を示す洪水での差は、図－7.2.11 のように粒径 1.68～9.52mm の粒径集団 2 の掃流砂量の差に支配される傾向にある。
- 図－7.2.7 の白抜き印と黒塗り印のように τ_*-q_B 関係が明確に分かれる傾向を示す場合は、ほぼ全粒径にわたり差が生じ、特に 0.84～9.52mm の粒径集団 2 でその差は顕著である。

0.84～9.52mm の粒径集団 2 の差違が顕著である結果を得たが、なぜこの粒径集団 2 が顕著な差を生じるのか、その理由を明らかにすることは現段階では難しい。ただ、涸沼川の河床材料の特徴として、マサを大量に含む河川であり、図－7.2.13 のとおりマサはちょうどこの粒径集団に該当する。このマサ土の移動特性あるいは供給特性が洪水中もしくは洪水毎に変化し、掃流砂量に大きく影響する可能性が考えられるが、この解明については今後の課題である。

7.2.3　芦田・道上式との比較

既存の掃流砂量式（芦田・道上式）[1),10)]との適合性を評価するため、観測値との比較を行った。図－7.2.14 は掃流砂総量について無次元流砂量 q_B/u_*d_m と τ_{*m} の関係を示しており、図中には芦田・道上式による計算結果を河床波有りと無しの場合に分けて示した。7.2.2 において、洪水時の観測値には幅があり、大きい場合には１オーダー程度あることを示したものの、全観測結果を平均するとほぼ芦田・道上式（河床波有り）の計算結果と同じような傾向を示した。ただし、芦田・道上式の検討対象外である τ_{*m} く τ_{*c} となる時にも微少ながら掃流砂量は存在する。

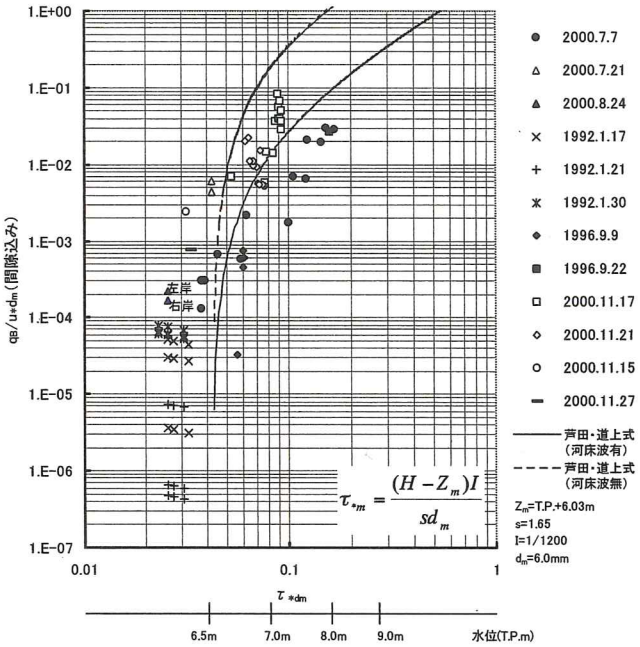


図-7.2.14　粒径別流砂量 Q_{bi} と芦田・道上式の計算結果との比較

次に、粒径別に検討すべく図－7.2.15 に粒径別 q_{Bi} の観測値及び計算値を Q_S-Q_B 図に示した。芦田・道上式による q_{Bi} は河床波有りの場合である。図より、各粒径範囲とも観測値は芦田・道上式によく合う傾向を示している。ただし、測定できた洪水規模は最大で水位 T.P.8.0m（流量 Q=37m³/s）であり、それ以上の水理量についても芦田・道上式と一致しているのかは不明である。

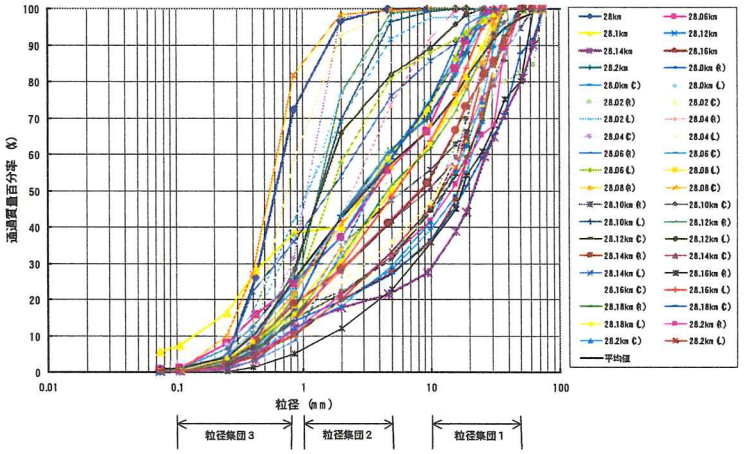
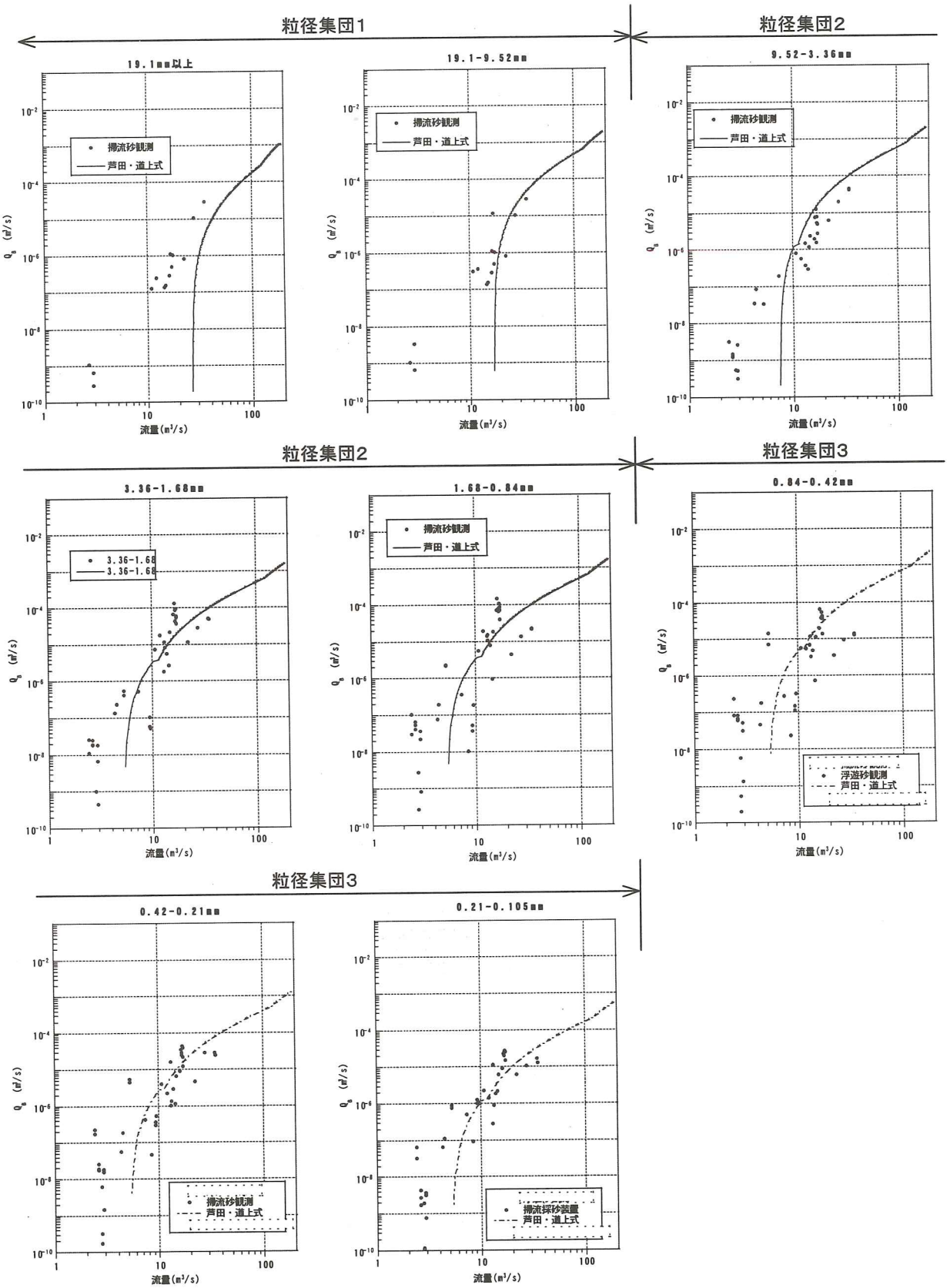


図-7.2.16　芦田・道上式に使用した粒径加積曲線

なお、芦田・道上式で流砂量を計算する際に用いた粒度分布は、図－7.2.16 のとおりであり、28.0～28.2km 区間 20m ピッチで左右岸及び中央から採取した河床材料調査結果を単純平均したものである。

以上をまとめると、涸沼川洪水観測施設における掃流砂観測結果は、平均的には河床波ありの芦田・道上式の計算結果と一致する傾向を示した。ただし、大洪水時で観測を実施できないことから、大水理量時の芦田・道上式との比較を行うことができなかった。今後は、大水理量時の掃流砂観測手法を開発し、芦田・道上式との比較を行うことが課題となる。また、洪水毎、観測毎に掃流砂観測結果が幅を持つことから、流砂量式の適用性を検討するためには、１回の観測結果のみで判断せず、何回か観測を行い、データを積み重ねた上で判断することが重要である。



図－7.2.15 粒径別q_{Bi}の観測値と芦田・道上式によるQ-Q_S曲線

7.2.4　山本の流砂量整理図との比較

次に山本が実験および現地のデータから流砂量と掃流力との関係を整理した結果[2)]との比較を行う。

図－7.2.17 と図－7.2.18 は、山本が整理した τ_*-q_s/u_*d 図[2)]に観測結果をプロットしたものである。山本の図は粒径別に均一粒径について整理されたものであるが、混合粒径河床材料の現地観測結果とも比較できるものと仮定し、観測された掃流砂の平均粒径に近い d=0.1cm と d=0.3cm のものと比較することにした。また、プロットの横に示してある数字は、各観測時点での H/d である。図中の各 H/d 曲線と観測結果を比較すると、観測結果は Ripple の曲線群付近にプロットされる。観測結果の平均的な傾きは Ripple の τ_*-q_s/u_*d 関係よりも急である。2000 年 11 月 17 日洪水の観測結果は山本の Ripple の τ_*-q_s/u_*d 関係と比較的よく一致しているものの、その他の洪水の観測値は小さな値となっている。

その理由等については、混合粒径であるためか、マサの粒径特性、河床波、季節、位況等によるものなのか現時点では不明である。今後は流砂量の検討とともに河床波の観測等も組み合わせることにより、河床波が流砂量に与える要因についても併せて検討を行っていくことが課題となる。

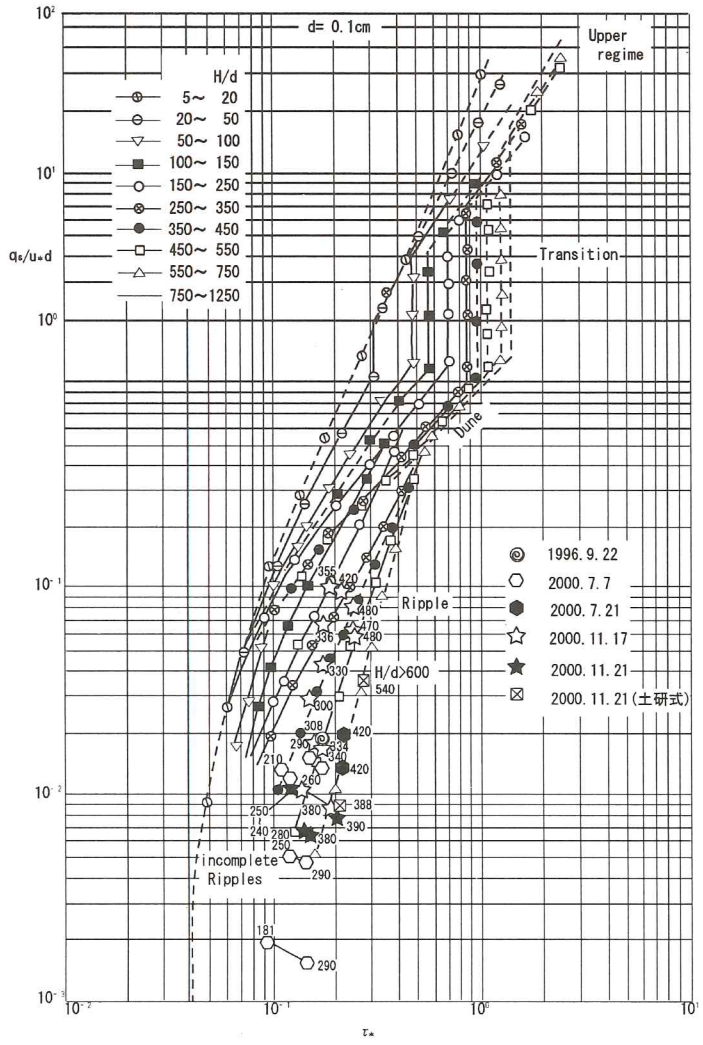


図-7.2.17　q_B/u_*d と τ_* の比較(d=0.1cm、文献 2))

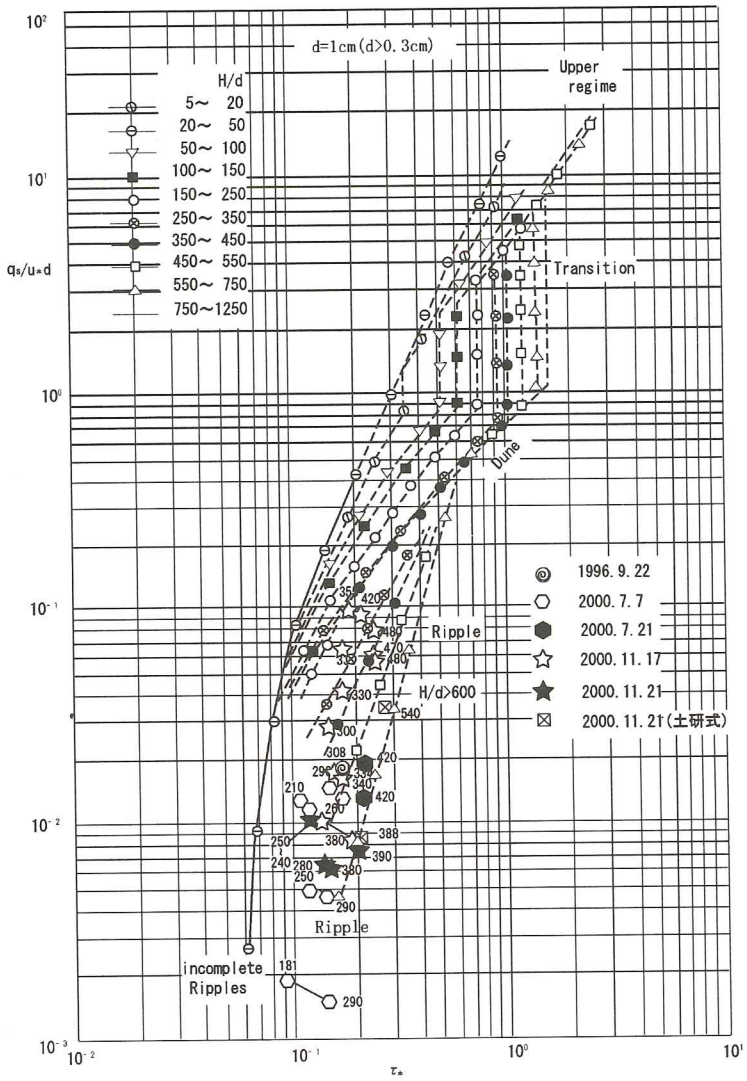


図-7.2.18 q_B/u_*d と τ_* の比較(d=0.3cm、文献 2))

【参考文献】

1) 芦田・道上；移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する研究、土木学会論文報告集、第 266 号、土木学会、pp.59-69、1972
2) 山本晃一；沖積河川学、pp406～pp415、山海堂、1994.9
3) 河川局治水課、土木研究所河川研究室：河床変動に関する研究、第 18～23 建設省技術研究会報告、1964～1969
4) 土木学会：水理公式集〔平成 11 年度版〕、pp80～pp81、1999.11
5) 吉川秀夫編著：流砂の水理学、丸善株式会社、pp524～pp527、1985.7
6) 河川局治水課、土木研究所河川研究室、各地方整備局河川計画課：水系一貫土砂管理に向けた河川における土砂観測・土砂動態マップの作成及びモニター体制構築に関する研究。平成 12 年度（第 54 回）建設省技術研究会指定課題、pp17-6～pp17-31、平成 12 年 11 月
7) 望月達也、藤田光一、平林桂、平舘治：新しい観点からの浮遊砂・ウォッシュロード観測の提案、土木技術資料 38-10,pp50～pp55、1996.10

8) 望月、藤田他：涸沼川における流砂観測、水工学論文集第41巻、pp1011～pp1016、1997.2
9) 吉川秀夫編著：流砂の水理学、丸善株式会社、pp125、1985.7
10) たとえば、建設省河川局監修、社団法人日本河川協会編：改訂新版建設省河川砂防技術基準（案）同解説調査編、山海堂、pp277～pp278、1997.10
11) 山本晃一：沖積河川学、山海堂、pp441～pp442、1994.9

第 8 章　年間流砂量の評価と考察

本章では、第 6 章の浮遊砂・ウォッシュロード観測結果、第 7 章の掃流砂観測結果から年間流砂量を推定し、第 4 章のセグメント 2-3、セグメント 3、河口テラスの地形変化量から推定した年間流砂量と比較する。また、既存の流砂量式（Lane-kalinske 式[1]、芦田・道上式[2]）による年間流砂量の推定を行い、これとも比較した。

8.1　整理手法

8.1.1　粒径別流砂量の整理（第 6 章・第 7 章の観測結果より）

流砂観測結果からの年間流砂量の整理にあたっては、掃流形態～ウォッシュロード的運動形態まで一括して整理するため、本報告書では粒径別 Q-Qs の関係図を作成した。**図－8.1.1**[3]は、第 6 章、第 7 章で示した粒径別の Q-Qs 図を重ね合わせたものである。したがって、0.84mm 以上の粒径は掃流砂観測の結果のみ、0.106mm 未満の粒径は浮遊砂・ウォッシュロード観測の結果のみ、0.106～0.84mm の粒径については掃流砂観測と浮遊砂・ウォッシュロード観測の両方で観測されていることから、両方の結果を記載している。各図には、芦田・道上式および Lane-Kalinske 式による計算結果も示し、掃流砂観測結果、浮遊砂・ウォッシュロード観測結果と比較できるようにしている。ここで、両式は以下の通りである。

・芦田・道上式

掃流砂量式は、次式の芦田・道上の式を適用した。

$$\frac{q_{Bj}}{f_0(d_i)u_{*e}d_i} = 17\tau_{*ei}\left(1-\frac{\tau_{*cj}}{\tau_{*j}}\right)\left(1-\frac{u_{*cj}}{u_*}\right) \qquad (8-1)$$

ここに、q_{Bi}：粒径 d_i の砂礫の流砂量

$f_0(d_i)$：d_i の砂礫の河床への存在確率

u_{*e}：有効摩擦速度（$=U/(6+5.75\log_{10}(R/d_m(1+2\tau_*)))$）

U：平均流速

また、限界掃流力は、次式で求めた。

$$\left.\begin{aligned}&\frac{d_i}{d_m} \geq 0.4 : \frac{\tau_{ci}}{\tau_{cm}} = \left\{\frac{\log_{10}19}{\log_{10}(19d_i/d_m)}\right\}\frac{d_i}{d_m}\\&\frac{d_i}{d_m} < 0.4 : \frac{\tau_{ci}}{\tau_{cm}} = 0.85\end{aligned}\right\} \quad (8\text{-}2)$$

（「水理公式集平成 11 年度版」p159 より）

$$u_{*cm}{}^2 = 80.9d_m$$

（「水理公式集平成 11 年度版」p158 より）

・Lane-Kalinske 式

浮遊砂量式については、次式の Lane-Kalinske 式を用いた。

$$q_s = qC_0P, C_0 = a\Delta F(\omega_0)\left[\frac{1}{2}\left(\frac{u_*}{\omega_0}\right)\exp\left\{-\left(\frac{\omega_0}{u_*}\right)^2\right\}\right]^n \qquad (8-3)$$

$$P = \int_0^1\left[1+\frac{1}{\kappa\psi}(1+\ln\eta)\right]\exp\left(-\frac{6\omega_0}{\kappa u_*}\eta\right)d\eta$$

ここに、q_s：単位幅流砂量、q：単位幅流量、P：w_0/u_*、カルマン定数κおよび$\psi=v/u_*$の関数、c_0:河床濃度、$\Delta F(w_0)$:沈降速度w_0になる砂粒の河床への存在割合(%)、a,n:定数で、a=5.55,n=1.61、$\eta=z/h$である。なお、C_0の算定にあたっては、u_*は、河床波の影響を考慮し、有効摩擦速度を用いることとした。

また、図中には実測の結果についてはQ-Qs関係の推定直線を合わせて示した。

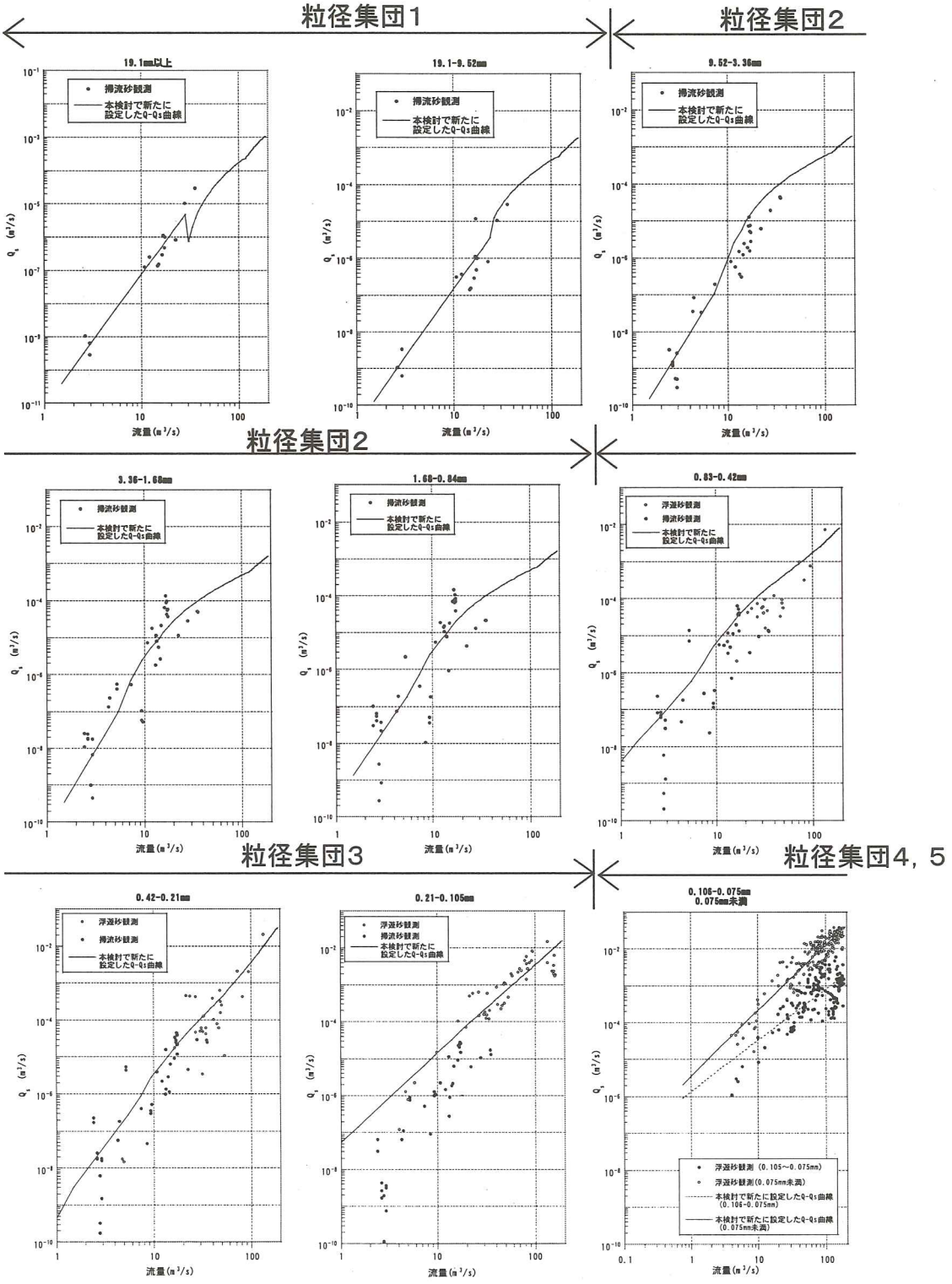


図-8.1.1 粒径別流砂量と流量の関係

8.1.2　浮遊砂の下限値について

0.106～0.84mm までの粒径については、掃流砂観測と浮遊砂・ウォッシュロード観測の両方で観測されている。ここで、各粒径毎に特徴を記述すると、粒径 0.42～0.84mm については、浮遊砂・ウォッシュロード観測と掃流砂観測の結果は掃流砂観測結果の方が若干大きい値とはなっているものの、ほぼ一直線上に並んでいる。特に掃流砂観測が実施された上限付近である Q=15～30m³/s では同じオーダーの量が流れているらしいことが分かる。粒径 0.21～0.42mm でも同様であり、特に掃流砂観測結果の Q-Qs 推定線と浮遊砂・ウォッシュロード観測結果の Q-Qs 推定線がほぼ一致しているのが興味深い。粒径 0.106～0.21mm では、浮遊砂・ウォッシュロード観測結果の Q-Qs 推定線が掃流砂観測結果の Q-Qs 推定線よりも大きくなり、Q=10m³/s ではほぼ 1 オーダーの差が生じている。

全流砂量の Q-Qs は掃流砂観測結果と浮遊砂･ウォッシュロード観測結果を加えて算出することになるが､特に 0.42～0.84mm､0.21～0.42mm の粒径については両者の値がほぼ同程度になるため、その水理的な発生限界を正確に把握する必要がある。つまり、大規模・中規模出水時には浮遊砂的運動形態となっているが、平水～小出水時については浮遊限界以下の水理量となり掃流形態の流砂である場合が考えられるため、浮遊砂・ウォッシュロード観測結果から推定した Q-Qs 関係と掃流砂観測結果から推定した Q-Qs 関係を単純に足し合わせると算出結果が過大となるおそれがある。

そこで、**図－8.1.2** には u_*/w_0 と Q_s の関係を粒径別に示し、涸沼川洪水観測施設における浮遊限界の整理を行った。すると、0.42～0.84mm の粒径は、u_*/w_0 がほぼ 1 以上になると浮遊砂・ウォッシュロード観測で採取されることが分かる。なお、$1<u_*/w_0$ では掃流砂観測結果が無いが、これは掃流砂観測ができた最大の水理量が $u_*/w_0 \fallingdotseq 1$ であったことによる。0.21～0.42mm、0.106～0.21mm の粒径については、全ての観測時点で $1<u_*/w_0$ となっており、掃流砂観測と浮遊砂・ウォッシュロード観測の両方確認されている。これに対し、0.84～1.68mm の粒径は、掃流砂観測のみで採取され、浮遊砂・ウォッシュロード観測では採取されておらず、観測時の水理量はほとんどが $u_*/w_0<1$ であった。

以上から、浮遊砂的運動形態の流砂は $1 \leqq u_*/w_0$ で生じるものと判断される。一方、掃流形態の流砂は $1 \leqq u_*/w_0$ でも観測される。掃流形態土砂はある程度以上の掃流力になると、大部分が浮遊砂的運動形態に移行し、掃流形態の流砂量が減少する可能性が考えられるが、今回得られた観測結果ではその判断を行うことはできなかった。

8.1.3　年間流砂量算出の整理方針

(1)外力

粒径別の年間流砂量の算出は､粒径･流量規模毎の断面通過フラックスに**図－8.1.3** に示す 1990 年～2000 年の年平均位況を乗じることによって行う。年平均位況の作成にあたっては 1 時間間隔のデータを用いた。H-Q 式については、過去実施した水位流量観測の結果 [4] をもとに以下のように設定した（**図-8.1.4 参照**）。

T.P.6.8m 未満　　$Q=13.512(H-5.918)^2$

T.P.6.8～10.0m　　$Q=4.955(H-5.269)^2$

T.P.10.0m 以上　　$Q=1.415(H-0.9499)^2$

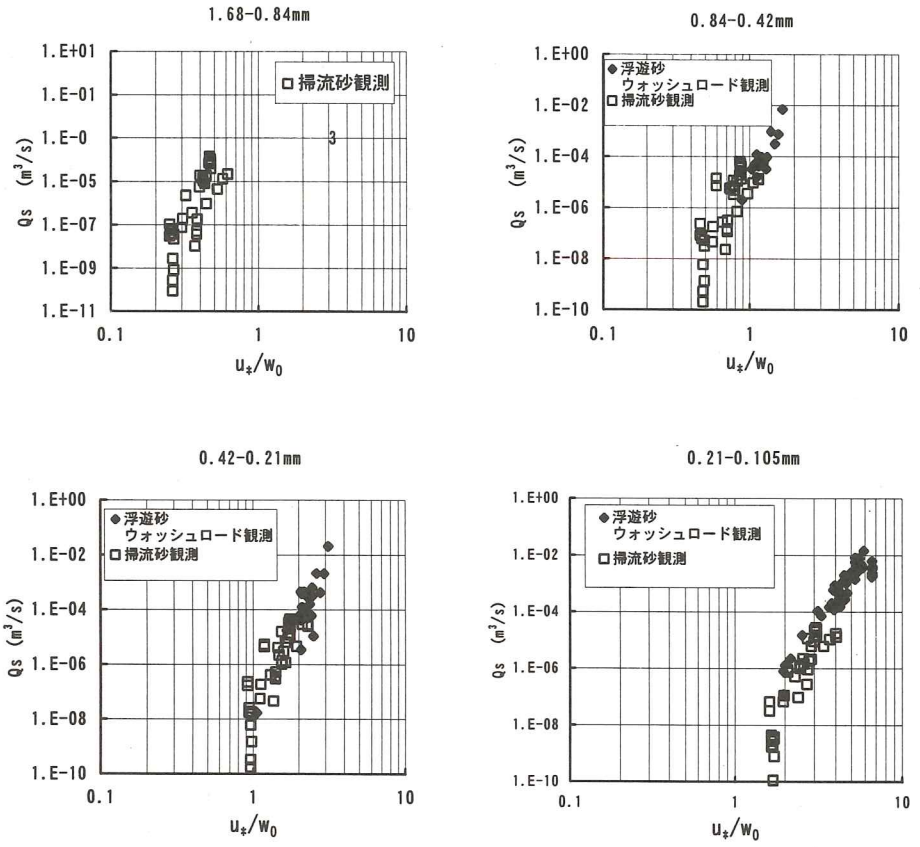


図-8.1.2 u_*/w_0 と Qs、Q_B の関係

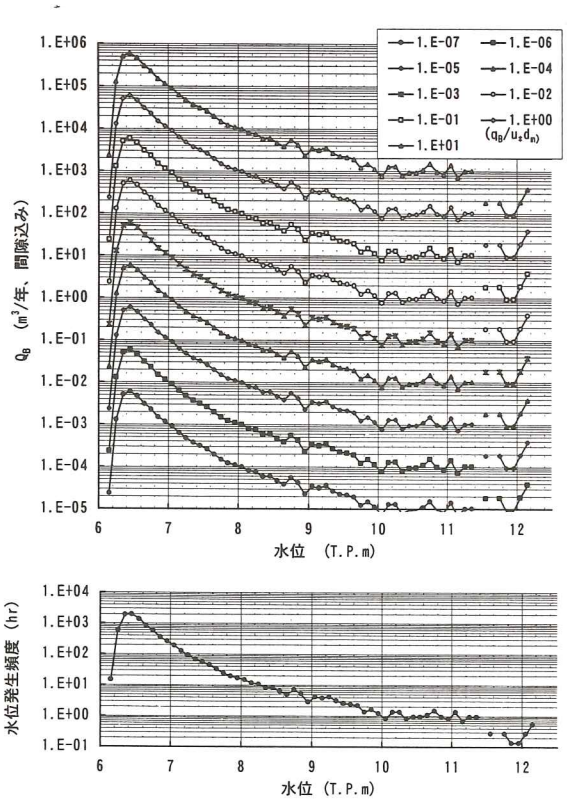


図-8.1.3 1990 年～2000 年の年平均水位発生頻度

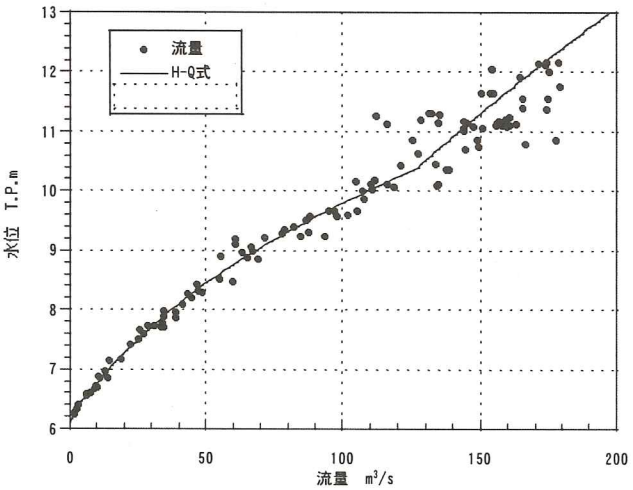


図-8.1.4 観測施設における H-Q の関係

(2)粒径別流砂量フラックス

粒径別のフラックスの算出については以下の手法を用いることとした。

①Q-Qs 式による算出

図－8.1.1 に示した Q-Qs 関係を用いて推定を行う。d=0.106～0.84mm の掃流砂観測結果と浮遊砂・ウォッシュロード観測結果が混在する粒径では、掃流砂観測結果から得られる Q-Qs 関係と浮遊砂・ウォッシュロード観測結果から得られる Q-Qs を足し合わせて合計の Q-Qs 関係を作り直した。各粒径の Q-Qs 関係式は次のようになる。

19.1mm 以上	$Qs=8\times10^{-12}Q^{4.0}$	（掃流砂観測結果による Q-Qs のみ）
9.52～19.1mm	$Qs=3\times10^{-11}Q^{3.7}$	（掃流砂観測結果による Q-Qs のみ）
3.36～9.52mm	$Qs=3\times10^{-11}Q^{4.1}$	（掃流砂観測結果による Q-Qs のみ）
1.68～3.36mm	$Qs=6\times10^{-11}Q^{4.4}$	（掃流砂観測結果による Q-Qs のみ）
0.84～1.68mm	$Qs=3\times10^{-10}Q^{3.8}$	（掃流砂観測結果による Q-Qs のみ）
0.42～0.84mm	$Qs=1\times10^{-9}Q^{3.3}$	（掃流砂観測結果による Q-Qs+浮遊砂・ウォッシュロード観測結果による Q-Qs）
0.21～0.42mm	$Qs=6\times10^{-10}Q^{3.5}$	（掃流砂観測結果による Q-Qs+浮遊砂・ウォッシュロード観測結果による Q-Qs）
0.106～0.21mm	$Qs=3\times10^{-8}Q^{2.6}$	（掃流砂観測結果による Q-Qs+浮遊砂・ウォッシュロード観測結果による Q-Qs）
0.075～0.106mm	$Qs=2\times10^{-6}Q^{1.3}$	（浮遊砂・ウォッシュロード観測結果による Q-Qs のみ）
0.075mm 未満	$Qs=3\times10^{-6}Q^{1.8}$	（浮遊砂・ウォッシュロード観測結果による Q-Qs のみ）

ここで、8.1.2 における検討結果から $u_*/w_0<1$ となる水理量については、浮遊砂・ウォッシュロード的運動形態の Q-Qs は存在しないものとした。

②芦田・道上式および Lane-Kalinske 式による算出

①による算出結果と流砂量式による計算結果との比較を試みるため、芦田・道上式および Lane-Kalinske 式を用いて水理量別流砂量を算定する。式は、8.1.1 に示すとおりである。

(3)比較検討

(2)における２種類の流砂フラックス算出法①および②を用いた粒径別年間流砂量推定結果を第４章でセグメント 2-3、セグメント 3、河口テラスの地形変化量から推定した粒径別年間流砂量と比較し、総合的に涸沼川に最適な流砂フラックス算出方法を検討する。このような検討を行った理由として、掃流砂観測結果と芦田・道上式の計算結果とは良い相関を示しているものの大流量時については掃流砂観測の実測データがないため、複数の水深からの浮遊砂・ウォッシュロード観測についても大流量時のデータがないためである。

8.2　年間流砂量の算定

8.2.1　算定結果

(1)地形変化量からの推定と①流砂観測結果による Q-Qs 式からの推定の比較

図－8.2.1[3]に、３種類の方法で推定した粒径別の年間流砂量の比較結果を示す。４章で実施したセグメント 2-3、セグメント 3、河口テラスの地形変化量から推定した値と、①流砂観測結果による Q-Qs 式から推定した値の間には、大きな差が生じた。粒径別に着目すると、0.42～0.84mm

の粒径範囲ではほぼ同じ値であったものの、他の粒径範囲、特に掃流砂として流下する粒径のうち、1.68～3.36mm の粒径範囲については、地形変化量からの推定が 307m³/年に対して、流砂観測結果による Q-Qs からの推定が 20,923m³/年と 70 倍近い値になっている。また、地形変化量からの推定が有効と考えられる粒径 0.21mm 以上の年間総流砂量についても、地形変化量からの推定値が 2,553m³/年であるのに対して、流砂観測結果による Q-Qs からの推定値が 34,253m³/年とその差は 13 倍以上である。

このような差違が生じた要因の一つとして、掃流砂観測による Q-Qs 作成の際に、観測を実施していない水位 T.P.8.0m(Q=40m³/s)以上の値を単純な外挿によって求めたことが考えられる。つまり、6.2.2 で述べたように、涸沼川では水位が高水敷高さより上昇しても低水路内の流速は増加しない。このため、河床に作用する掃流力も等流で仮定しているほど増加せず、流量規模に対応する流砂フラックスの誤差が過大に生じた可能性が考えられる。

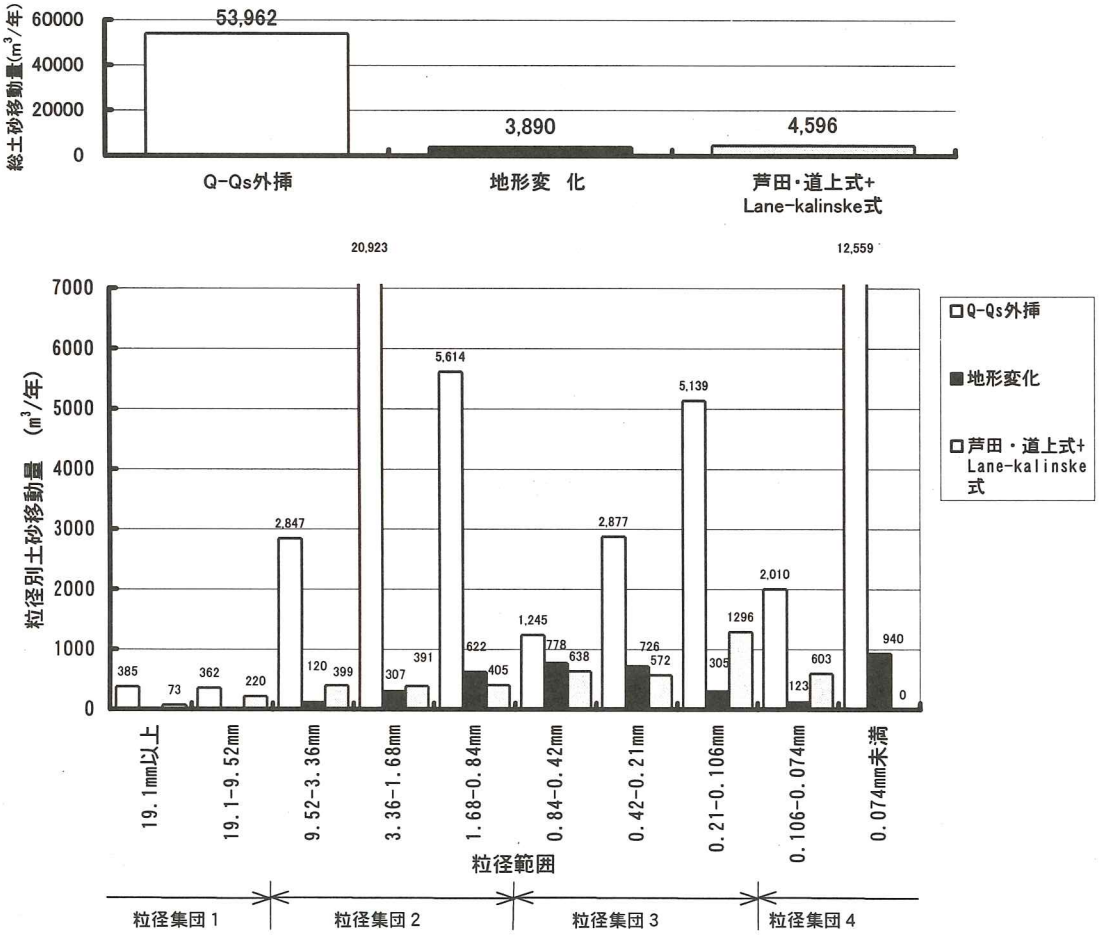


図-8.2.1 土砂移動量の比較(Q-Qs 曲線)

そこで、次に、低水路満杯流量（Q＝40m³/s）以上の Qs を一定と仮定し、年間流砂量を推定した。推定結果を**図－8.2.2** に示す。図より、各粒径とも年間流砂量は減少し、最も差の大きかった 1.68～3.36mm の粒径で 6,276m³/年となった。しかし、依然として地形変化量からの推定値 307m³/年に比べて 20 倍以上大きい値を示す。また、地形変化量からの推定が有効と考えられる粒径 0.21mm 以上の年間流砂量は、11,765 m³/年となり、地形変化量からの推定値 2,553 m³/年より

4倍以上大きい。**図－8.1.1**の低水路満杯流量以上のQsを一定とした場合としない場合について、**図－8.2.3** に年間当たりの各流量の生起時間と、それに対する累加土砂移動量を記してみると、低水路満杯流量以上で Qs を一定としない場合、Q=120～150m³/s の範囲で急激に累加流砂量が大きくなる。この流量は流砂観測データが得られていない領域であり、流砂観測結果による Q-Qs からの推定方法では過大の値を示す可能性が高い。

(2)芦田・道上式＋Lane-Kalinske 式からの推定と地形変化量からの推定の比較

芦田・道上式＋Lane-Kalinske 式からの推定値は、地形変化量からの推定が有効と考えられる粒径 0.21mm 以上で 2,698m³/年となり、地形変化量からの推定値 2,553m³/年に近い値となる。粒径範囲別についても、粒径 0.21mm 以上では近い値を示す。特に粒径 0.21～3.36mm で高い適合性を示した。

(3)涸沼川に適用する流砂量式

(1)、(2)における地形変化量からの推定値との比較の結果、流砂観測結果による Q-Qs からの推定よりも芦田・道上式からの推定の方が一致する傾向を示した。このような差が生じた要因として、特に流砂観測結果による粒径別 Q-Qs 式からの推定、および地形変化量からの推定の両手法について、次の２点が考えられる。

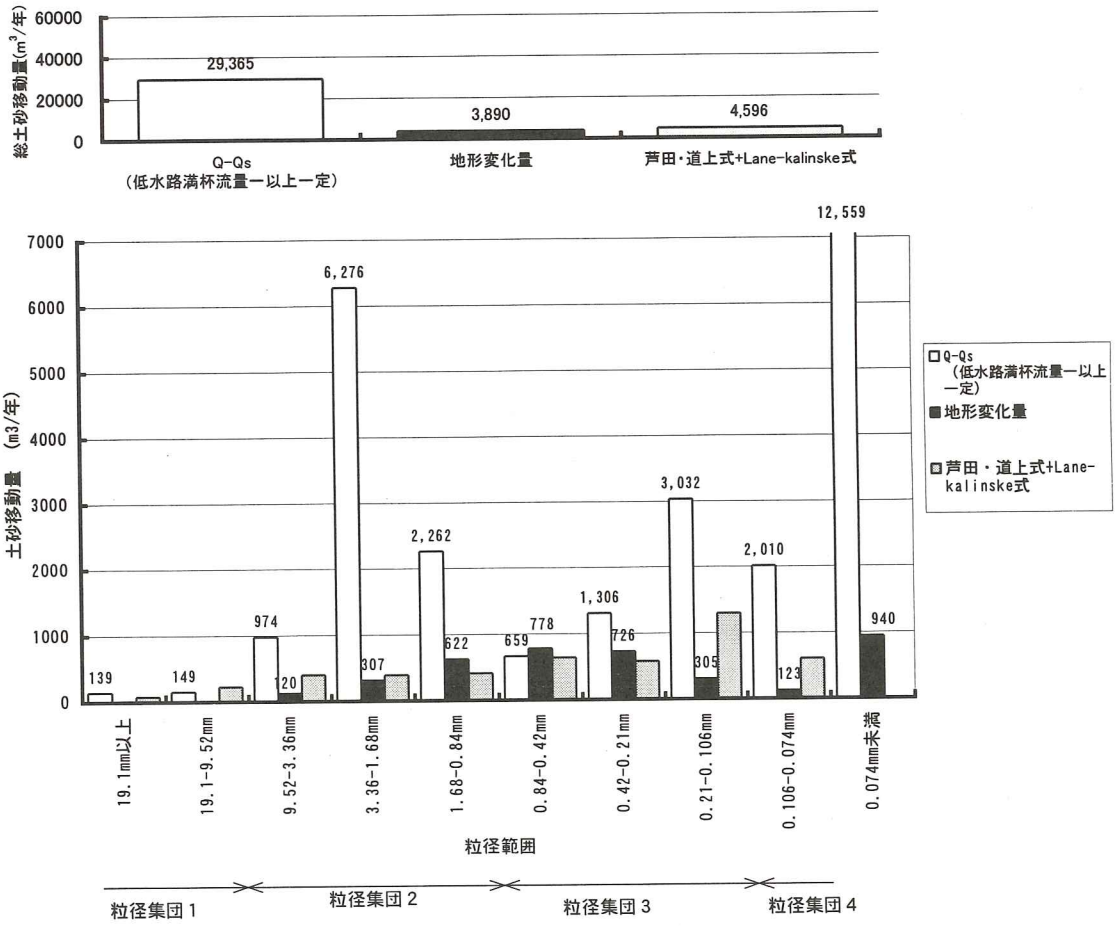


図-8.2.2(1) 土砂移動量の比較(平均年最大流量以上の Qs を一定)

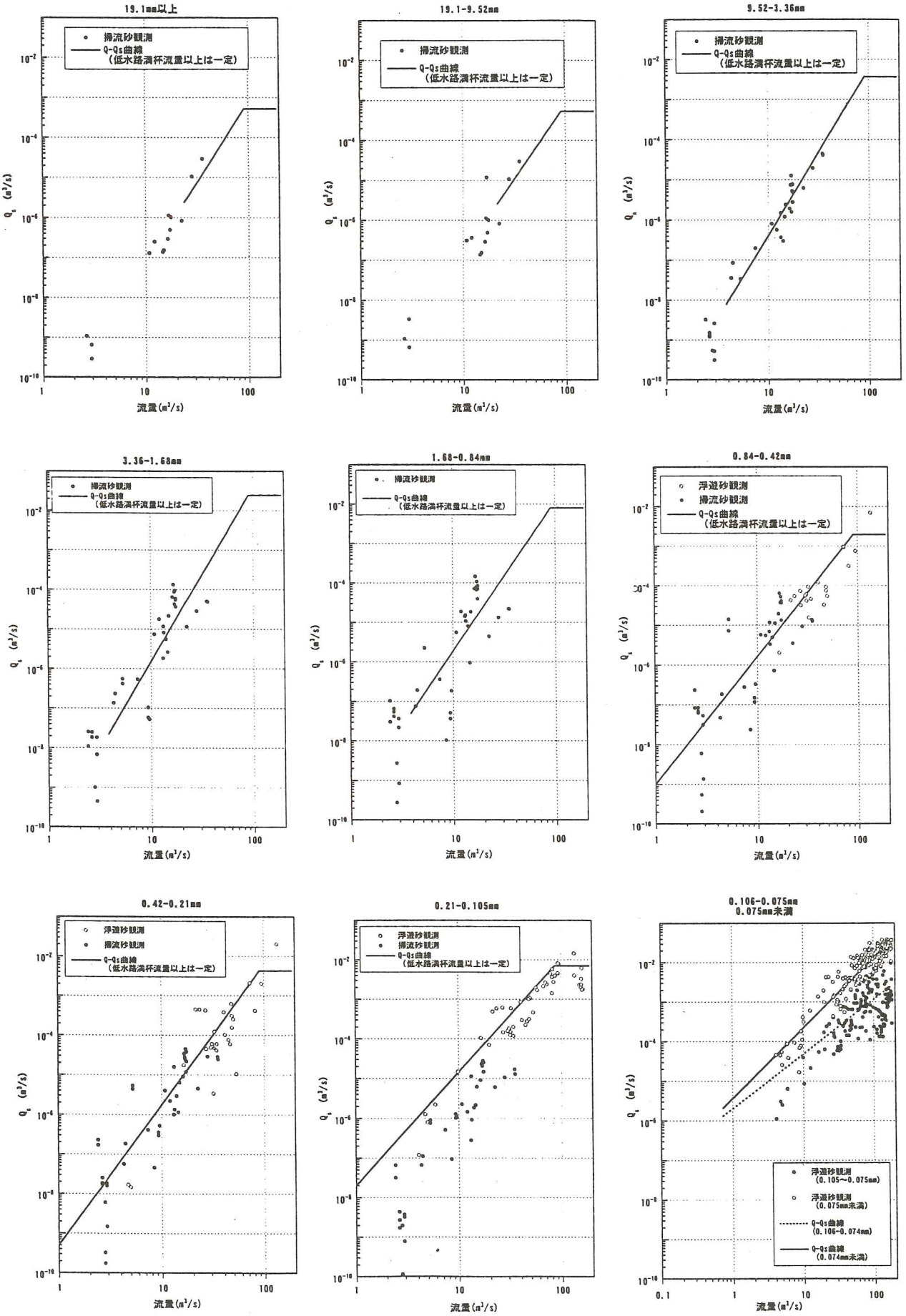


図-8.2.2(2)　粒径別 Q-Qs 曲線（平均年最大流量以上の Qs を一定）

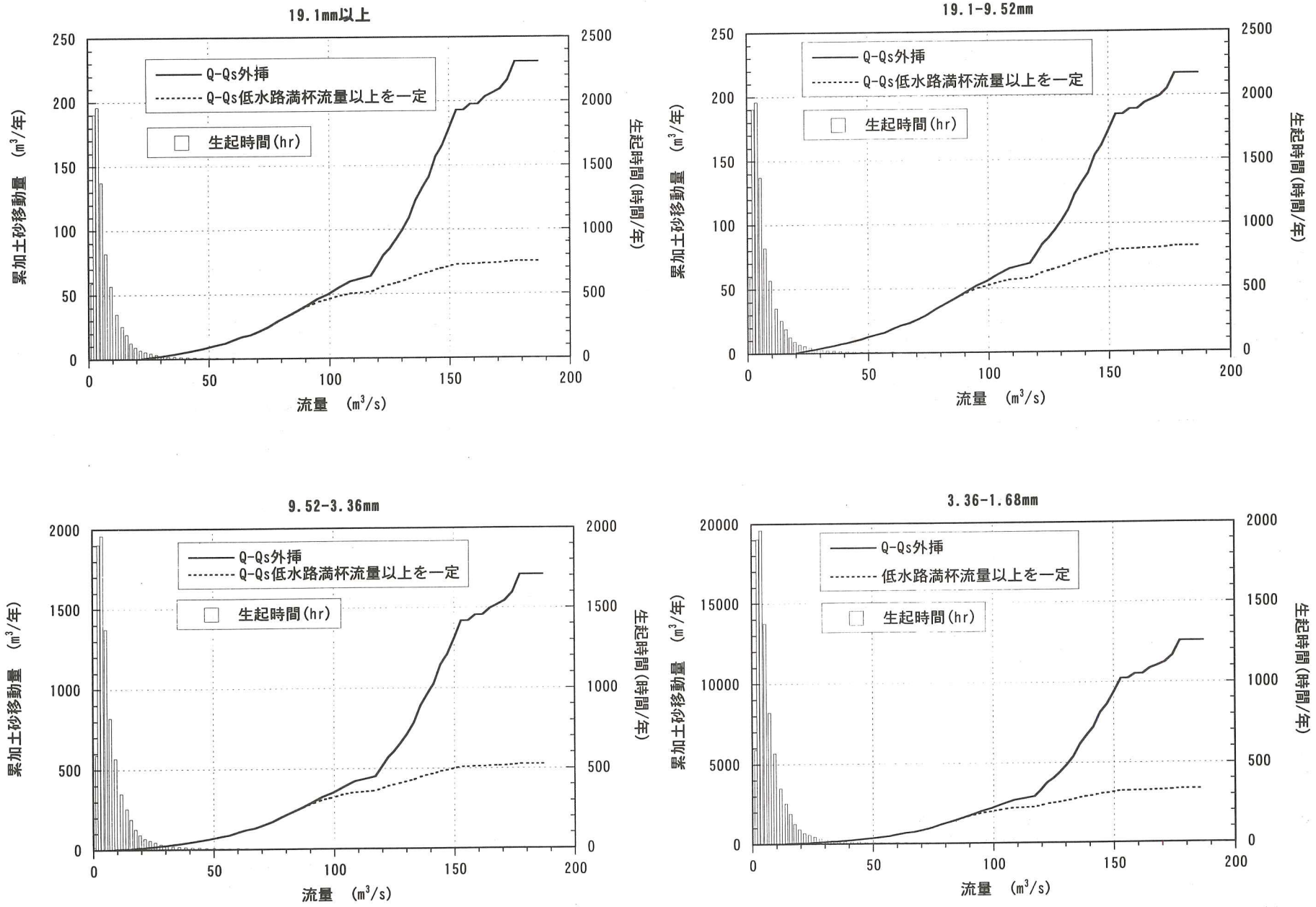


図-8.2.3(1)　年当たりの流量の生起時間と累加土砂移動量

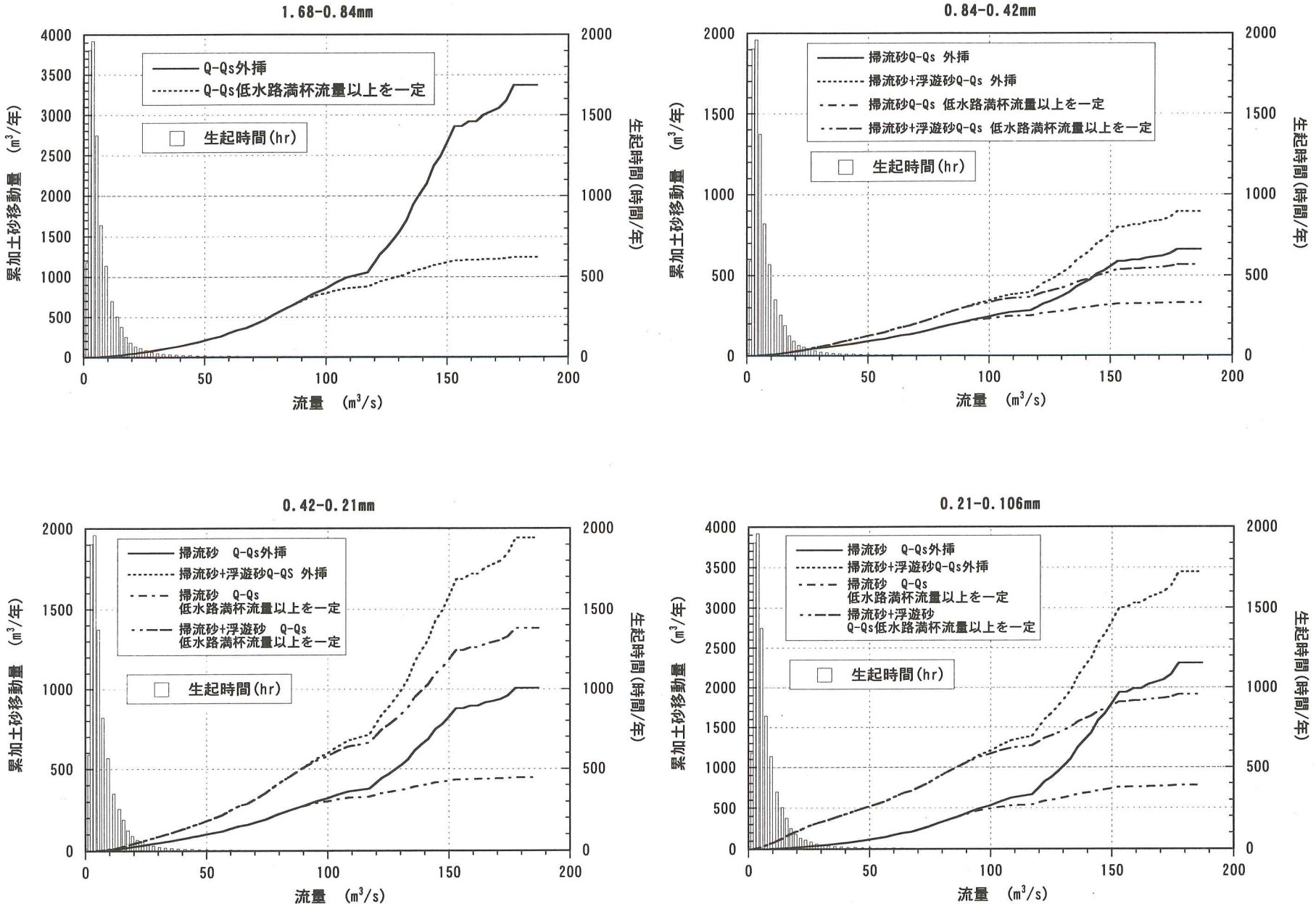


図-8.2.3(2)　年当たりの流量の生起時間と累加土砂移動量

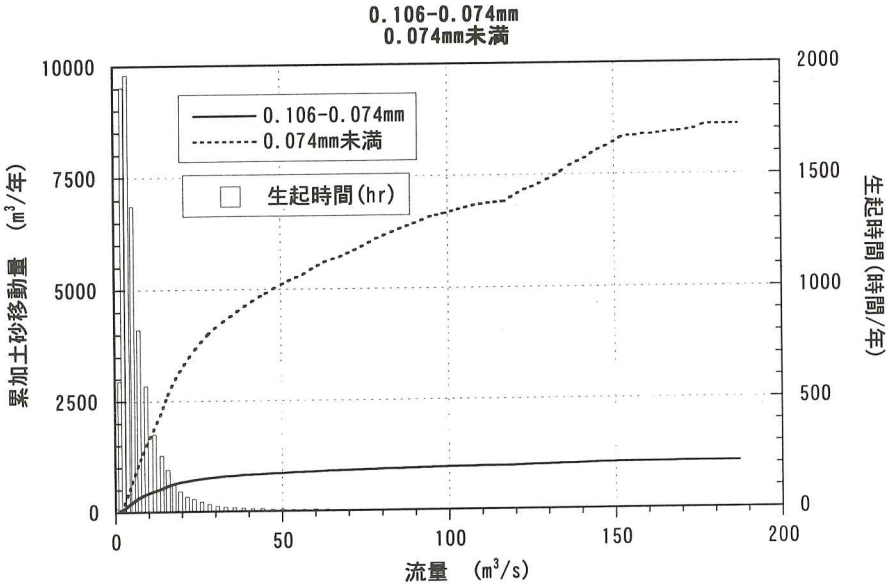


図-8.2.3(3)　年当たりの流量の生起時間と累加土砂移動量

・　地形変化量からの推定・・・測量誤差、河床材料調査結果と実際の河床材料分布の不一致
・　流砂観測結果による粒径別 Q-Qs からの推定・・・観測実績を上回る大流量時の推定時の誤差

また、両者における外力の違い（地形変化量は実績外力、Q-Qs からの推定は数年間の平均外力）も考えられるが、経年的な水位変化図によると、両者の流況の差違はそれほど無い。

地形変化量からの推定については、流砂観測結果による Q-Qs からの推定値が正しいと仮定すると、測量全区間を平均して約 1.2m 程度（＝（34,253 m³/年－2,553 m³/年、粒径 0.21mm 以上の流砂量の合計）･12 年／（(26.8km－16.4km）･1,000m･30m)）高さ方向に誤差が生じていなければならない。しかし、実際の測量内容を勘案するとそれほどの誤差が生じるとは考えられず、また、粒度試験と実際の河床材料分布に問題があったとしても問題のある粒径集団の移動量が他の粒径集団にシフトするのみであり、総量は変わらないはずである。

また、前述の**図－8.2.3** の年間当たり流量生起時間と、それに対する累加流砂量の関係を見ると、流砂観測結果から作成した Q-Qs を単純に用いた場合には、粒径 0.075mm 未満以外のすべての粒径範囲で、Q=120～150m³/s の流量で累加流砂量が急増する。また、**図－8.1.1** と**図－8.2.2** を比較すると、**図－8.2.2** において低水路満杯流量以上で Qs を一定とした場合の Q-Qs からの推定値が、地形変化量からの推定値、芦田・道上式からの推定値に比べて極端に大きい粒径範囲では、**図－8.1.1** において Q-Qs 推定値が芦田・道上式の推定値に比べて大きくなっている。

以上から、誤差要因としては、Q-Qs の大流量時の推定誤差が最も大きいと考えられる。また、大流量時の Q-Qs 関係は芦田・道上式で推定した傾向を示す可能性が高い。

そこで、流砂量フラックスの算出は、新たに以下のように設定することとした。

・　掃流砂の算定には、芦田・道上式を用いて算定する。
・　ただし、掃流砂の Qs は計算上の限界掃流力未満でも生じていることから、**図－8.2.1** において Q-Qs 推定線が芦田･道上式の曲線と交わるまでの小出水時については Q-Qs 曲線を用いる。
・　浮遊砂については、大流量まで観測されていることから、実測値を真値とすることとし、Q-Qs 推定線を用いることとする。
・　0.106～0.84mm の粒径範囲は、掃流砂・浮遊土砂の両者を足し合わせて粒径別掃流砂量を算出する。

この手法により算出した結果を**図－8.2.4** に示す。地形変化量からの推定の有効範囲である 0.42mm 以上の粒径について、高い適合性を示した。ただし、粒径 3.36mm 以上の土砂については地形変化量から推定した年間流砂量が少ない結果となっているが、これはセグメント 2-3 より下流については、該当する粒径の土砂が非常に少ないことによると思われる。また、粒径 0.21～0.42mm の土砂では、地形変化量からの推定値に対して 2 倍程度の値となっていた。この粒径の土砂は、第 4 章において、河口テラスより下流に流送されるもののその量は少ないと考察していたが、新たに設定した流砂量フラックス算出手法が正しいとすれば、この粒径範囲の土砂はかなりの量が河口テラス下流に流送されてしまっていることになる。

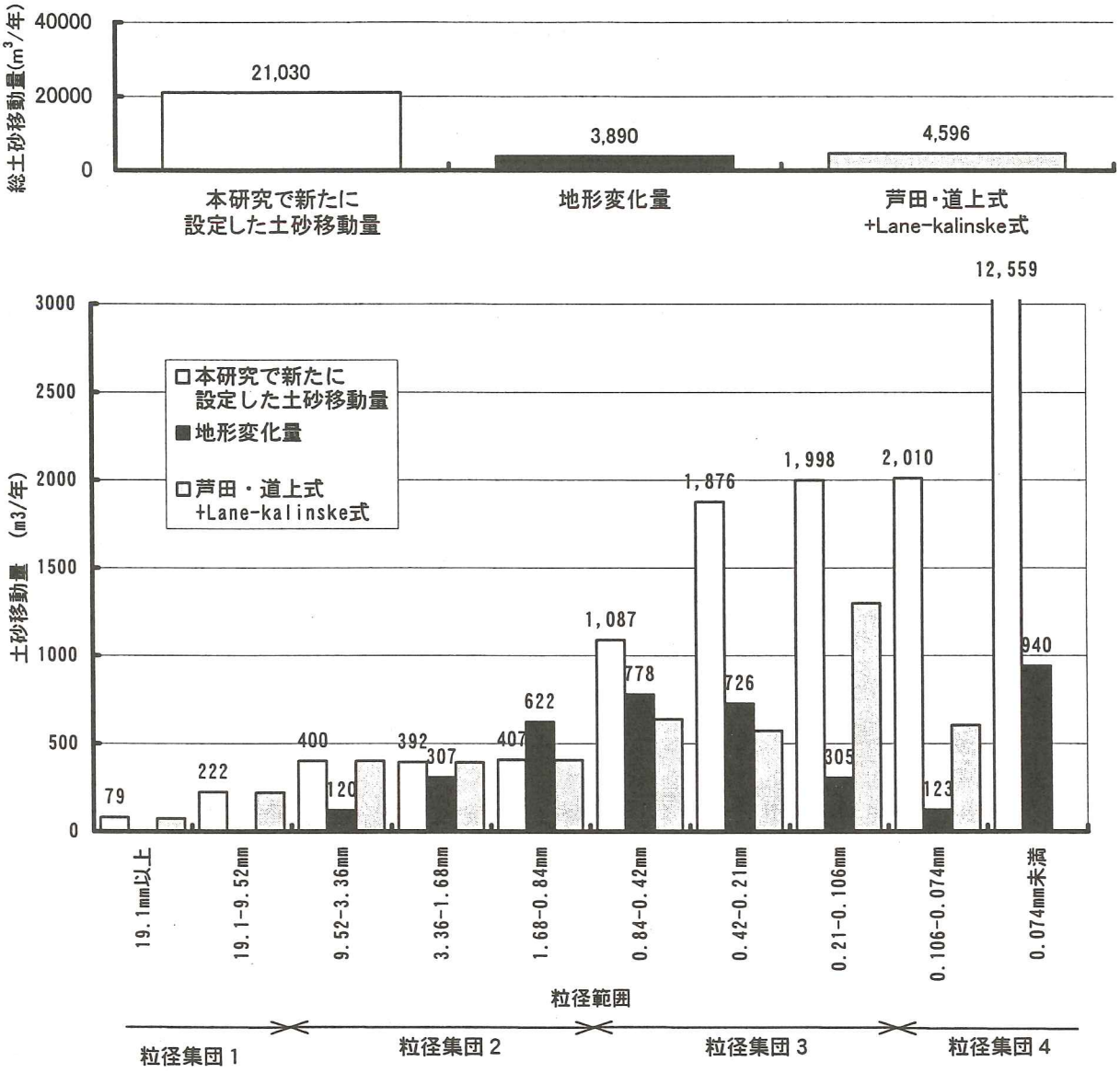


図-8.2.4(1) 土砂移動量の比較(本検討で新たに設定した Q-Qs 曲線)

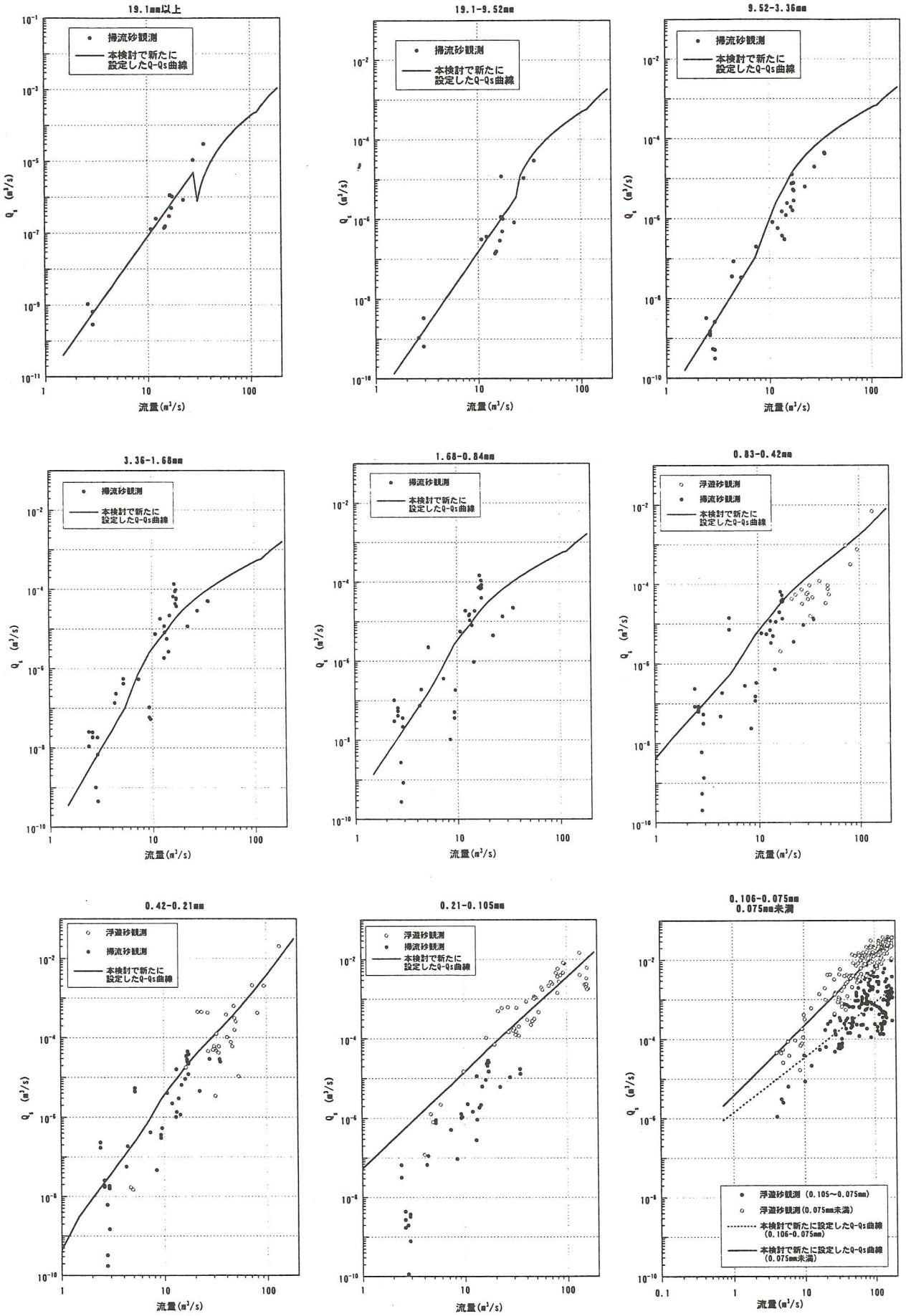


図-8.2.4(2)　粒径別 Q-Qs 曲線（本検討で新たに設定した Q-Qs 曲線）

8.3　河床材料の存在確率と流砂量に関する考察

8.2 までの結果により、涸沼川洪水観測施設における年間流砂量を推定した。この年間流砂量は言い換えれば涸沼川洪水観測施設下流に対する供給土砂量と見なすことができる。次に、このような供給土砂量の観点からの検討を行う。

8.3.1　有効粒径集団との関連

図－8.3.1 は、表－3.1.1 に示した粒径集団毎に、図－8.2.4 で最終的に設定した手法を用いて算出した年間流砂量の内訳を描いたものである。図－8.3.1 より、セグメント 2-1、2-2、2-3 区間の河床変動に寄与する粒径 0.84mm 以上の粒径集団１、２の供給量が全供給土砂量に占める割合と量はそれぞれ、約 7%、1500m³/年（間隙込み）程度であった。また、セグメント 3～河口テラスの河床材料および中水敷を形成する有効粒径集団３（粒径 0.1～0.8mm）の供給量が全供給土砂量に占める割合と量は、それぞれ約 24%で、約 5000m³/年（間隙込み）程度であった。ウォッシュロードとして流送され、河口テラス下流の沼底質及び高水敷形成に影響を及ぼす有効粒径集団４、５（粒径 0.1mm 未満）の全供給土砂量に占める割合と量は、それぞれ 68%、約 14,000m³/年（空隙込み）であった。

図－8.3.2 は、年間の供給土砂量のうち、どの粒径がどの水理量で流送されたかを把握するために、水位と水位上昇に対する累加流砂量の関係を描いたものである。この図は推定値であり、特に大流量時の粒径 0.106mm 以上の土砂については断定できないものの、その傾向は粒径集団毎に異なる傾向を示した。0.106mm 未満の粒径集団４、５は、水位 T.P.8m を越えると累加流砂量の増加率が小さくなり、低水路満杯流量（水位 T.P.9.5m）以下の水理量で年間流砂量（年間供給土砂量）の７割以上が供給されているのに対して、粒径 0.106

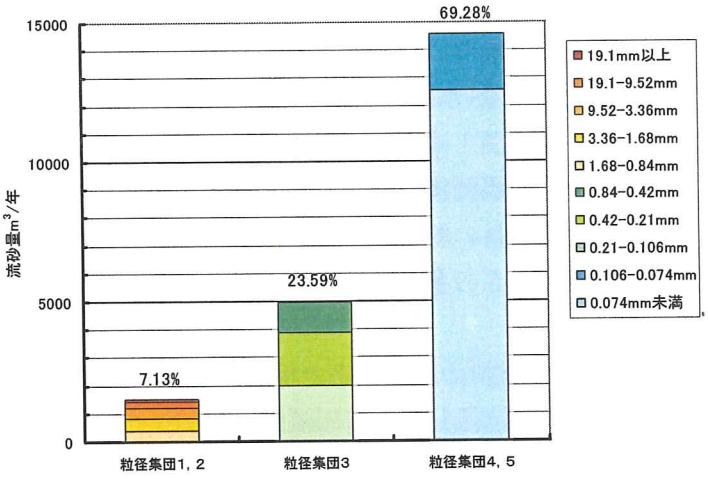


図-8.3.1　土砂移動量の粒径別内訳

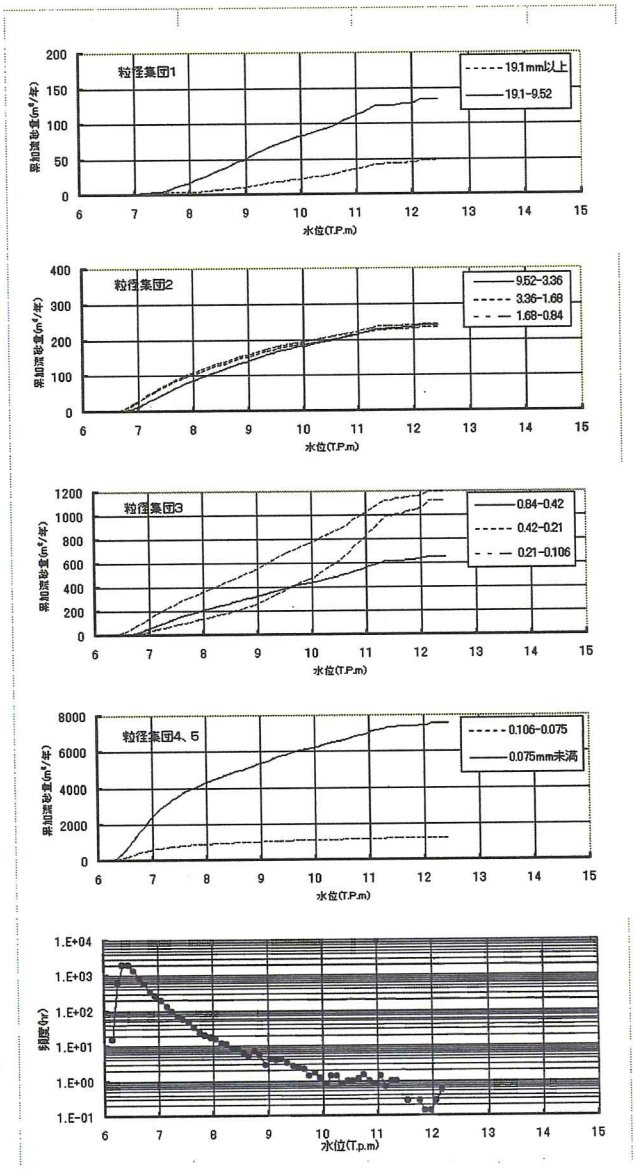


図-8.3.2　水位に対する粒径別の累加流砂量

～0.84mm の粒径集団３は、水位 T.P.8m を越えても累加流砂量の増加率は変化せず、低水路満杯流量（水位 T.P.9.5m）以下の水理量で供給される土砂量は、年間流砂量（年間供給土砂量）の４～６割程度である。粒径 0.84～9.52mm の粒径集団２は、粒径集団４、５と同じ様な変化を示し、低水路満杯流量(水位 T.P.9.5m)以下の水理量で年間流砂量の８割程度が供給される。粒径 9.52mm 以上の粒径集団１は、水位 T.P.8m 以上で年間流砂量のほとんどが供給される。このことは、例えば涸沼川洪水観測施設周辺の高水敷形成に影響を及ぼす有効粒径集団４（粒径 0.01～0.1mm）は、年間供給土砂量の約７割は高水敷に冠水する前に下流域へ流下してしまうことを意味しており、粒径集団４、５の多くが涸沼内もしくは涸沼下流に流下してしまうことが推定される。

8.3.2　河床材料の存在確率と供給土砂の粒度分布

供給土砂の粒径分布と河床縦断形の関係を検討するため、以下に涸沼川洪水観測施設が位置するセグメント 2-2 から涸沼流入部のセグメント 3 までのセグメント長・低水路幅及び河床材料粒径分布から、涸沼川洪水観測施設より下流の河床材料の粒径別存在割合を明らかにし、これを涸沼川洪水観測施設における供給土砂の粒度分布と比較する。

山本・藤田ら[5]は、全国の１級河川の縦断形について、河床勾配と河床材料の代表粒径の関係を整理し、日本の沖積河川は、Ｇ（礫）ｾｸﾞﾒﾝﾄの下流にＳ（砂）ｾｸﾞﾒﾝﾄに接続する縦断形を持つタイプＡ河川、Ｇｾｸﾞﾒﾝﾄしか持たないタイプＢ河川、Ｇセグメントと Ｓセグメントのいずれにも入らない中間的なセグメントを持つタイプＣ河川、の３つに分けられると述べている。また、タイプＡ河川のうち花崗岩風化物の流域を持つ、代表粒径１～３mm、河床勾配 1/1000 前後のセグメントをＳ’セグメントとしている。図－8.3.3 は山本・藤田[5]らが全国のタイプ A およびタイプ C 河川の直轄区間について、平均粒径 dm とその dm が受け持つ累加河道区間長割合を示したものである。図には、涸沼川のセグメント 2-2～3 について、同様に整理して示した。山本・藤田らによれば、タイプ A 河川は 0.5mm 程度の中砂を河床材料に持つ河道区間が多く、タイプ C 河川は逆に中砂を河床材料に持つ河道区間が少ない傾向を示す。涸沼川は、このいずれにも当てはまら

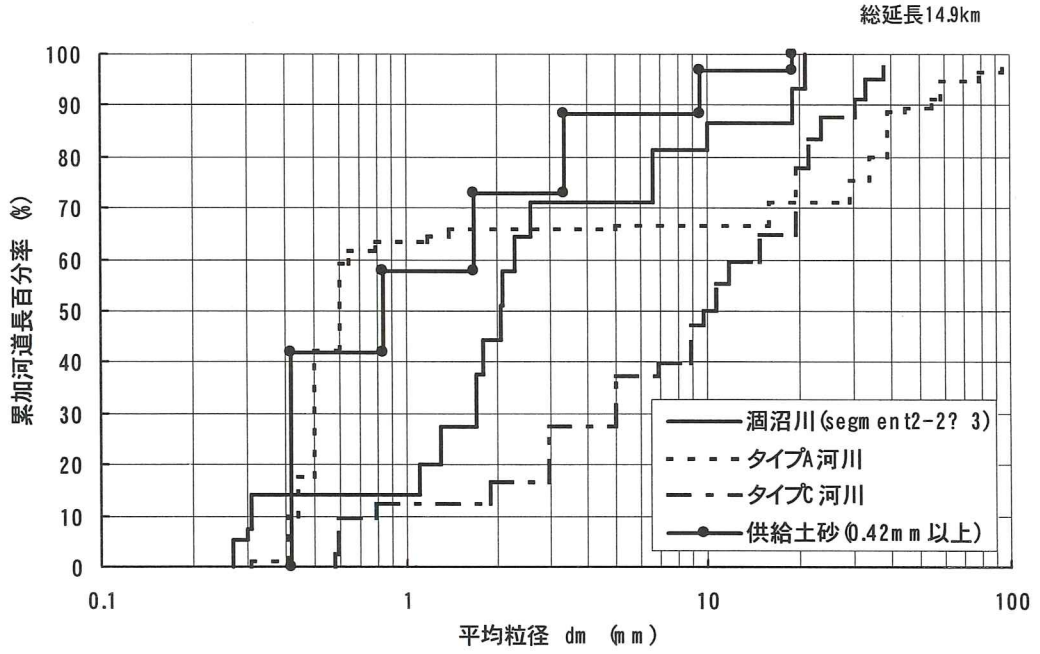


図-8.3.3　平均粒径 dm の受け持つ累加河道区間長の比較と供給土砂の粒度分布(0.42mm 以上)

ず、粒径 1～3mm を河床材料に持つ河道区間が多い。また、粒径 1～3mm の河床材料を持つセグメント 2-2、セグメント 2-3 の河床勾配は 1/1,000～1/1,500 であり、上流域に花崗岩風化物を有することから、典型的な S'セグメントを有する河川であるといえる。

図中には**図－8.2.4** で求めた供給土砂のうち、0.43mm 以上の材料について粒度分布を示した。すると、0.42～0.84mm の材料の割合が非常に多く、タイプ A 河川に近い粒度分布を呈している。S'セグメントを有する河川の特性である、1～3mm の粒径については、0.42～0.84mm の粒径に次いで多い傾向を示すが、河道区間存在割合の結果と比較するとその割合は少ない結果となっている。

8.3.3　全国の比供給土砂量との比較

次に、涸沼川洪水観測施設における供給土砂の特性を全国のものと比較するため、算出した年間流砂量を涸沼川洪水観測施設までの土砂生産域の流域面積(A=121km^2)で割り、比供給土砂量を算出し、全国河川の調査結果と比較する。なお、比較対象は、山本・藤田が 1 級河川の沖積平野の堆積物から推定した比供給土砂量[6]と、全国 14 のダムの堆砂量およびボーリング調査結果から推定した比供給土砂量[7]に対して行った。

図－8.3.4 は、芦田・奥村[8]が全国のダム堆砂資料から作成した比堆砂量－流域面積関係に涸沼川のデータ、全国 14 のダム堆砂量データをプロットしたものである。図から、涸沼川の比堆砂量は土砂流出の少ない河川の範囲にプロットされることがわかる。

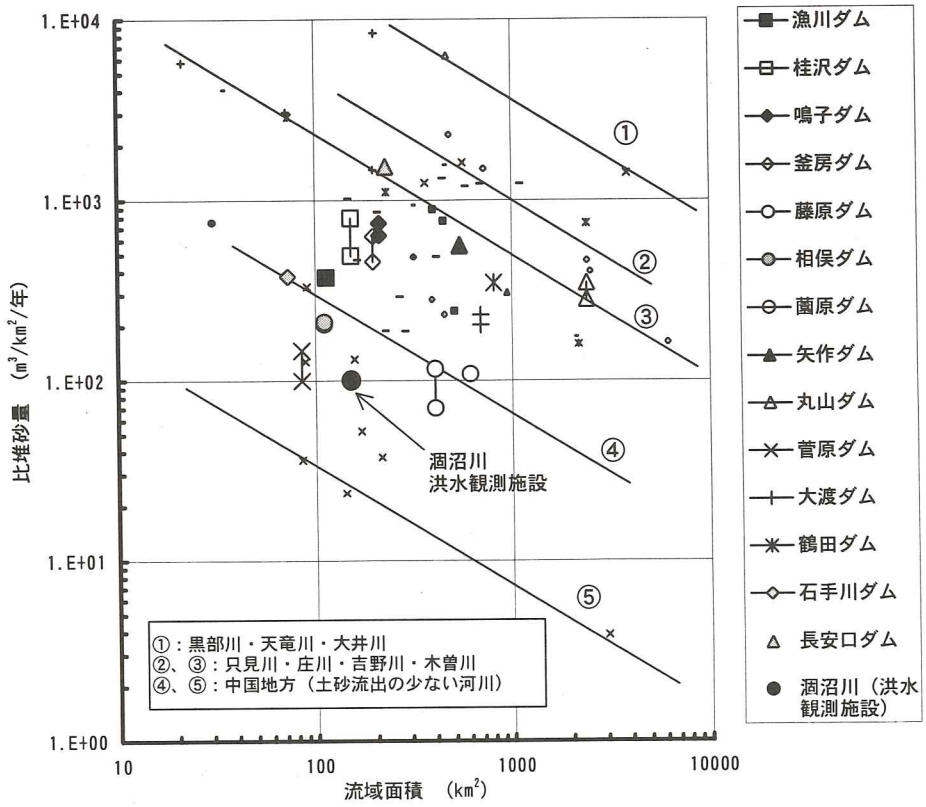


図-8.3.4　全国の比供給土砂量との比較

図－8.3.5[3]は、比供給土砂量の内訳を礫、砂、シルト・粘土に区分し、山本・藤田らが沖積平野の堆積物から調査した結果[6]、全国14のダム堆積物調査結果[7]と比較したものである。涸沼川流域の比供給土砂量は101m³/km²/年と小さく、同じ関東地方の利根川のダム（藤原・相俣・薗原ダム）と近い値を示した。**図－8.3.6** は、礫、砂、シルト・粘土別の比供給土砂量と流域面積の関係[7]を**図－8.3.4** にしたがって整理したものである。涸沼川の比供給土砂量は、全国14のダム堆積物調査結果と比較して少ないことがわかる。涸沼川の供給土砂量の粒径比率に着目すると、礫・砂・シルト・粘土の比率は5.3%:33.1%:61.5%であった。山本・藤田ら[6]がタイプAの沖積河川の堆積物を調査した結果によると、礫：砂：シルト・粘土の構成比は（0～10%）:（35～40%）:（50～65%）であるとの結果を得ており、涸沼川の供給土砂量もほぼこの比率に当てはまる結果となった。

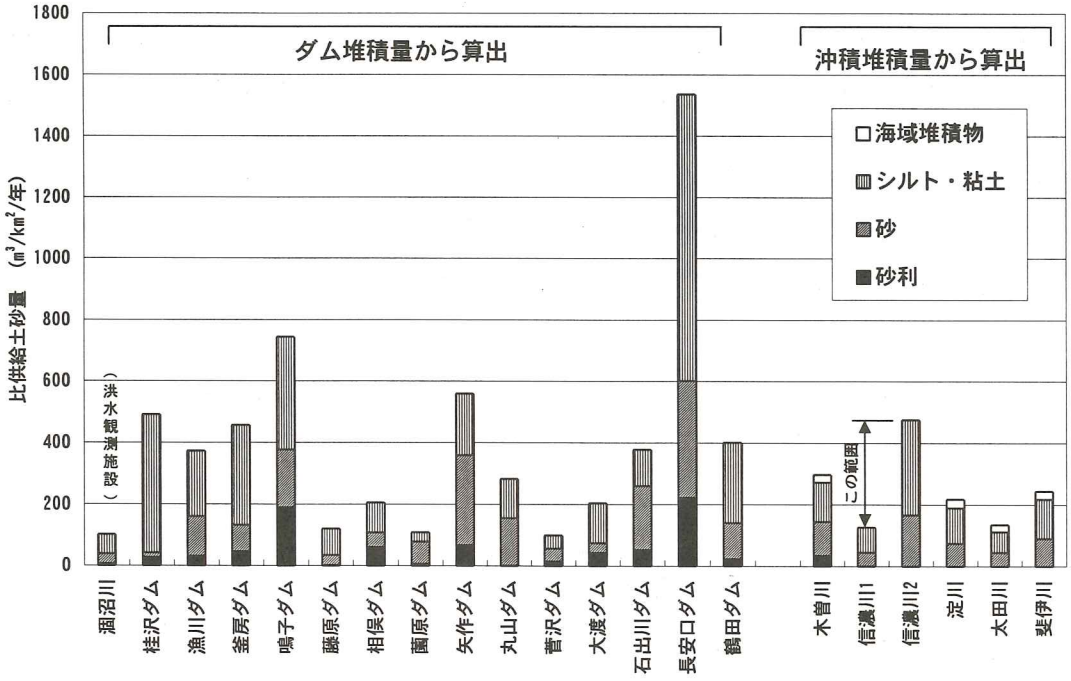


図-8.3..5 全国の比供給土砂量の内訳

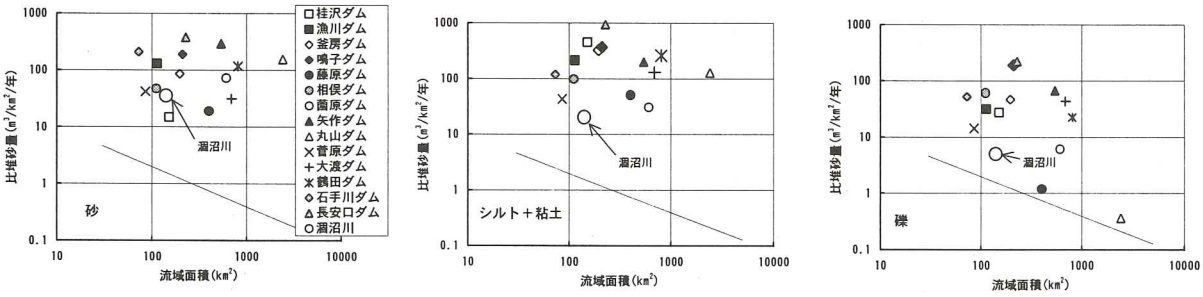


図-8.3.6 礫、砂、シルト・粘土別の比供給土砂量と流域面積の関係

8.3.4　本川上流域における土砂供給量調査

涸沼川は、本川上流サブ流域の支川飯田川に飯田ダムを有している。飯田ダムは、流域面積13.7km²（飯田川6.5km²（直接），涸沼川7.3km²（間接））を有する多目的の重力式ダムである。**図－9.2.14**から、本川上流部、飯田川とも地質は砂岩であること、ほぼ同じような地形であることから、同じ土砂供給特性を持っていると考えられる。そこで、飯田ダム貯水池への土砂堆積量から本川上流サブ流域の土砂供給量を推定し、涸沼川洪水観測施設におけるそれと比較することとした。

図－8.3.7は、飯田ダムにおける年間土砂堆積量の経年変化を示す。平成2年のダム竣工後、平成3年をピークに平成5年まで年間土砂堆砂量が多くなっているが、これはダム建造による影響と判断される。平成6年以降は、平均1,560m³/年とほぼ一定である。この結果を飯田ダムへの年間供給土砂量とし、比堆砂量を算出すると、113.9 m³/km²/年となる。**図－8.3.8**の芦田・奥村[8]による流域面積と比堆砂量の整理結果にプロットすると、飯田川・涸沼川本川上流からの飯田ダムへの比供給土砂量は全国的立場から見て少なく、涸沼川洪水観測施設における比供給土砂量101m³/km²/年と比較しても小さいことが分かる。涸沼川洪水観測施設への土砂供給量の観点から見ると、本川上流サブ流域の役割は比較的小さいことが分かる。

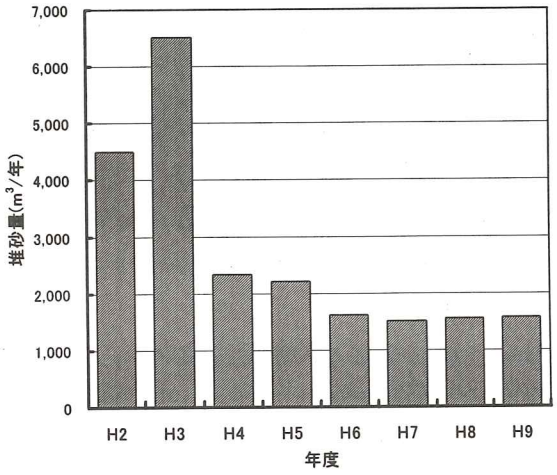


図-8.3.7 飯田ダムにおける年間土砂堆積量の経年変化

次にこの結果から本川上流サブ流域全体からの供給土砂量を推定する。芦田・奥村らが作成した**図－8.3.8**の流域面積と比堆砂量は-0.7乗の関係にあることを示しており、涸沼川本川上流についてもこの関係が成り立つとすると、涸沼川本川上流サブ流域全体からの供給量は約2,900m³/年(60m³/km²/年)となる。ここから飯田ダムへの供給土砂量1,560m³/年を差し引きすると、飯田ダム完成後の涸沼川上流サブ流域からは、1,400m³/年の土砂が供給されていることになる。以上より飯田ダムが建設されたことによる土砂供給量のインパクトとして、約1/2を抑止されるものと推定される。

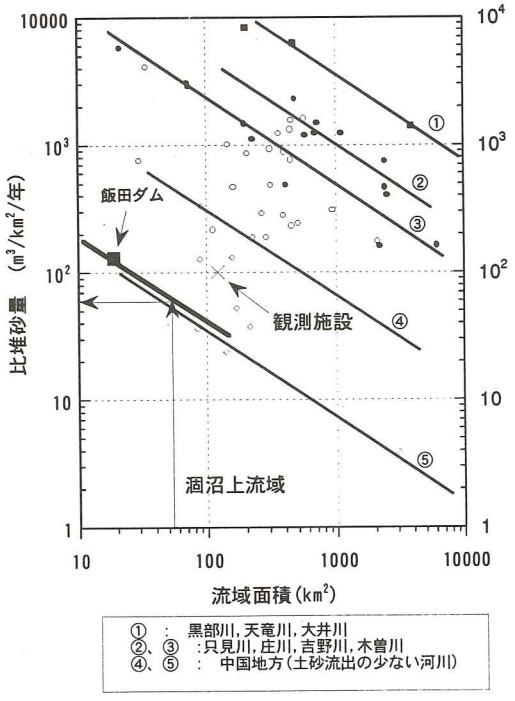


図-8.3.8 流域面積と比堆砂量の関係

なお、飯田ダムへの供給土砂量は、礫～シルト・粘土に至る全粒径の土砂であることから、供給土砂の質に対して議論を行う場合には対象とする粒径集団を抽出する必要があるが、飯田ダムでは堆積物の粒度調査を実施していない。そこで、山本、藤田ら[6]が国内の沖積河川について、沖積堆積物から算定した供給土

砂粒径の構成比（砂利：砂：シルト・粘土=0～10%：35～40%：50～65%）を用いると、涸沼上流域からの粒径別土砂供給量は次のように推定される。

	涸沼川本川上流サブ流域	（飯田ダム無し）	涸沼川洪水観測施設
・砂利(d>2.0mm)	0～140m³/年	0～290m³/年	1,093 m³/年
・砂(2.0>d>0.075mm)	490～560m³/年	1,015～1,160m³/年	6,785 m³/年
・粘土・シルト(d<0.075mm)	700～910m³/年	1,450～1,885m³/年	12,590 m³/年
合計	1,400 m³/年	2,900m³/年	20,468 m³/年

【参考文献】

1) たとえば、土木学会：水理公式集〔平成11年度〕、pp167、1999.11
2) たとえば、建設省河川局監修、財団法人日本河川協会編：建設省河川砂防技術基準（案）同解説調査編、山海堂、pp277～pp278、1997.10
3) 平舘他：涸沼川観測施設における流砂観測と粒径別年間土砂移動量の把握、土木学会第56回年次学術講演会講演概要集（投稿中）
4) 山本他:涸沼川洪水観測所レポート〔1〕1988～1989、土木研究所資料第2895号、pp81～pp82、1990.10
5) 山本・藤田ほか；沖積河道縦断形の形成機構に関する研究－水系環境変化に伴う河道縦断形変化の長期予測のために－、土木研究所資料第3164号、pp3～pp8、1993.3
6) 山本、藤田ほか：沖積河道縦断形の形成機構に関する研究－水系環境変化に伴う河道縦断形変化の長期予測のために－、土木研究所資料第3164号、pp9～pp17、1993.3
7) 河川局治水課、土木研究所河川研究室、各地方整備局河川計画課：水系一貫土砂管理に向けた河川における土砂観測、土砂動態マップの作成及びモニター体制構築に関する研究、平成12年度（第54回）建設省技術研究会指定課題,pp17-32～pp17-35、2000.11
8) 芦田和男・奥村武信；ダム堆砂に関する研究、京大防災研究所年報第17号B、pp588、昭和49年4月

第 9 章　土砂・物質動態の流域特性に関する調査

9.1　概要

第 8 章までの調査では、涸沼川洪水観測施設における流砂量を検討し、その動態を概ね明らかにした。本章では、調査対象範囲を流域に広げて水系スケールの土砂・物質移動の把握を試みる。

水系スケールでの土砂動態を把握する上で、明確にすべき点として、以下の土砂移動の過程をあきらかにする必要がある。

①土砂供給源からの土砂生産過程

②水系内の土砂輸送量把握

③地形変化に与えるインパクト

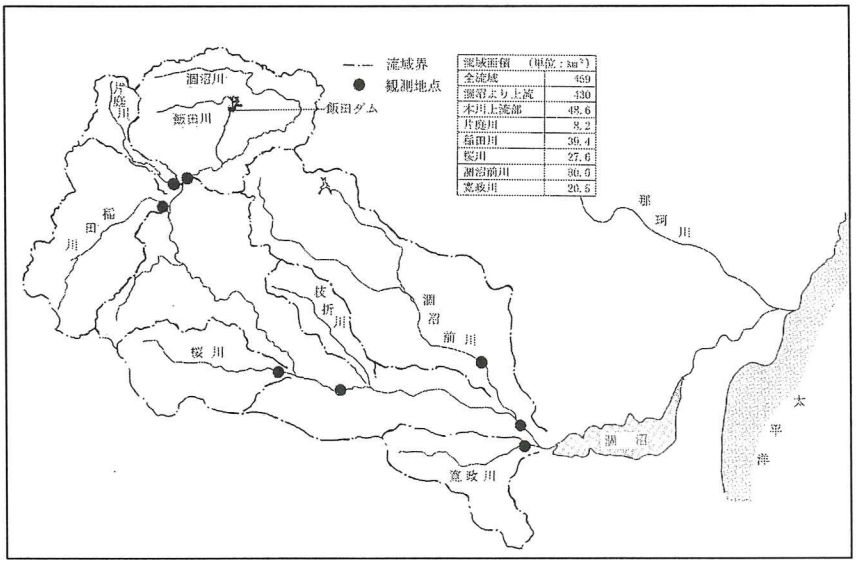
本報告書では、これらの情報を一括して表示可能な、土砂・物質動態マップ [1),2),3)]の完成を最終目標として、検討を行う。

流域スケールの土砂動態を観測するに当たり、涸沼川洪水観測施設に設置した観測柱のような機器による浮遊砂・ウォッシュロード～掃流砂を全てカバーできるような精度の高い観測は施設の設置、観測人員の都合上不可能である。そこで、最初から全ての粒径について、水系内全てにおける供給量、移動量を明らかにしようとせず、可能な範囲の土砂動態観測を積み重ねることによって水系全体の土砂動態に広げることとした。具体的に実施した調査項目として、ウォッシュロード的運動形態で流下する土砂の動態把握、掃流砂の主たる供給源の推定と大まかな動態である。それぞれ調査方法は大きく異なることから、調査方法、結果は別に記載する。

9.2　浮遊砂的運動形態・ウォッシュロード的運動形態で流下する土砂の流域動態観測

(1)　サブ流域への分割と各サブ流域の特徴

流域動態観測に先立ち、浮遊砂的運動形態・ウォッシュロード的運動形態で流下する土砂の主たる供給源を把握するため、支川の流域調査を行った。その結果、涸沼川では支川によって地形、地質、および土地利用状態がそれぞれ異なることが明らかになった。また、河道内に目を向けると、河床材料や堆積物等も支川ごとに異なっていた。そこで、本川に合流する各支川流域及び本川の片庭川合流点より上流域をサブ流域と名付け [1),2)]、涸沼川では**図－9.2.1** の通りに分割した。



流域面積　（単位：km²）	
全流域	459
涸沼より上流	430
本川上流部	48.6
片庭川	8.2
稲田川	39.4
桜川	27.6
涸沼前川	30.9
寛政川	26.5

図-9.2.1　サブ流域への分割

土地利用	本川上流部	片庭川	稲田川	稲田川～桜川	桜川	枝折川	涸沼前川	寛政川
田	4.89	0.97	6.76	7.82	2.19	1.69	16.97	3.10
畑	2.81	1.04	3.38	12.95	1.39	3.80	21.62	8.53
果樹園	0.06	0.01	0.09	6.13	2.58	1.33	2.43	1.85
その他木材	0.80	0.00	0.12	1.91	0.28	0.37	1.61	0.65
森林	35.40	5.12	22.84	37.31	15.83	4.08	23.91	7.77
荒地	0.51	0.77	1.16	0.68	0.32	0.07	0.49	0.03
建物用地	1.12	0.42	1.48	6.26	2.41	2.28	7.10	1.41
幹線交通地	0.00	0.00	0.05	0.12	0.02	0.11	0.06	0.00
その他の用地	0.07	0.01	0.15	1.67	0.59	1.00	3.50	0.32
湖沼	0.01	0.00	0.02	0.24	0.04	0.06	0.54	0.04
河川	0.08	0.03	0.00	0.60	0.13	0.00	0.36	0.00

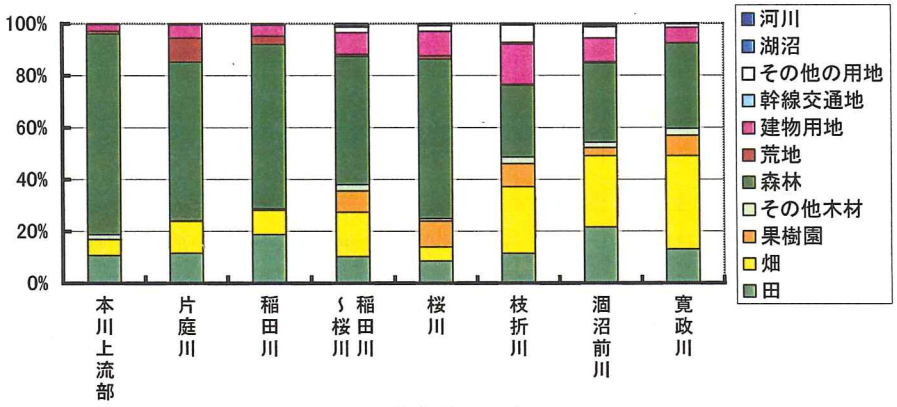


図-9.2.2 サブ流域の土地利用

サブ流域出口にあたる図の●印に示す地点に流砂観測地点を設けた。そこで計測された流砂量は各サブ流域から本川への土砂供給量を示す。以下に各サブ流域の特徴を示す。なお、図－9.2.2 に各サブ流域の土地利用別の流域面積およびその比率を示す。

①本川上流部

本川上流部は、涸沼川の本川最上流部および支川飯田川を加えた流域である。この流域は山林がほぼ 8 割を占めている。最上流部の河道内の様子を写真－9.2.1 に示す。河床には、粒径 10mm 以上の粒径集団 1 が多く、粒径集団 2、3、4、5 の土砂は少ないものと判断される。飯田川流域には飯田ダムを有している。このダムは、総貯水容量 2,440,000m³ の多目的ダムであり、洪水調節はこの規模のダムに多い自由調節式となっている。このダムの特徴として、涸沼川本川上流部からも導水して、本川の洪水調節を行っていることがあげられる。本川の分流施設における導水量は本川計画流量の 1/3 である。

他の流域に比べ、浮遊砂的運動形態・ウォッシュロード的運動形態の土砂の供給量は少ないと考えられるものの飯田ダムによる洪水流量の低減を考慮すると、流域に与える影響は大きいと考えられる。



写真-9.2.1(1) 本川上流域最上流部の河道内の状況



写真-9.2.1(2) 本川上流域最上流部の河道内の状況

②片庭川

流域面積は 8.4km² と最も小さいが、土砂供給の面で涸沼川に与える影響が大きいと判断されることからサブ流域として分割した。写真－9.2.2 に河道内の状況を示すと、河道内に大量の細粒土砂が堆積している。



写真-9.2.2 片庭川の河道内の状況

片庭川流域の地質は本川上流域と同様に砂岩と粘板岩が主であるが、この流域には主たる土砂供給源になりうる裸地の荒地が存在している。裸地の荒地面積がサブ流域の流域面積に占める割合は約 10%である。図－9.2.3 に片庭川流域の裸地の荒地の変化状況を示す。裸地の荒地は昭和 46 年頃に出現し、その後拡大しており、このサブ流域からの土砂供給量は昭和 40 年代以降増加したものと考えられる。

③稲田川

写真－9.2.3 に稲田川と涸沼川本川の合流点の状況を示す。稲田川の合流点に大きな州ができており、稲田川から河床材料が大量に供給されていることがわかる。上流部の地質は他のサブ流域と異なり、花崗岩質となっている。そのため、河床材料の主成分は粒径 2～3mm のマサである。

流域面積は 37km² であり、そのうち森林が 64%, 水田が 18%, 畑が 10%、市街地が 5%を占める。流域北西部には採石場が多数ある。この採石場の歴史は古く、昭和 20 年の地形図には既に採石場が見受けられる。製品は主に建築資材等の切石として使用され、稲田石として有名である。



写真-9.2.3 稲田川と涸沼川本川の合流地

④桜川

桜川は、涸沼川の南部に位置し、涸沼川洪水観測施設の約２km 上流で本川に合流する。その流域面積は 25km² である。主な土地利用として、畑作地と水田、果樹園が中心となっている。また、上流には岩間町市街があり、サブ流域の中でも比較的市街地が多い。

この支川も上流域に裸地の荒地を有し、砕石を年間 130 万 m³ 程度生産している（年間許可量、茨城県資料）。

⑤涸沼前川

涸沼川に合流する支川の中で最大の流域面積を持つ支川であり、その流域面積は 80km² である。他の流域に比べ山地面積は少ない。主な土地利用形態として、水田および畑地が挙げられる。両者の流域面積に占める割合は 50%を越え、また、市街地も多い特徴を呈している。

⑥寛政川

流域面積は 23km² と、涸沼川では中規模の流域面積を持つサブ流域である。このサブ流域は、山地がなく、標高差に乏しいという特徴がある。このサブ流域の主な土地利用は田、畑、果樹園

であり、流域面積に占める割合がそれぞれ13%, 36%, 7.8%を占める。従って、この流域からの土砂供給は少ないものと考えられる。

なお、表－9.2.1には年代別の各サブ流域の変化を土地利用を中心に整理しておく。

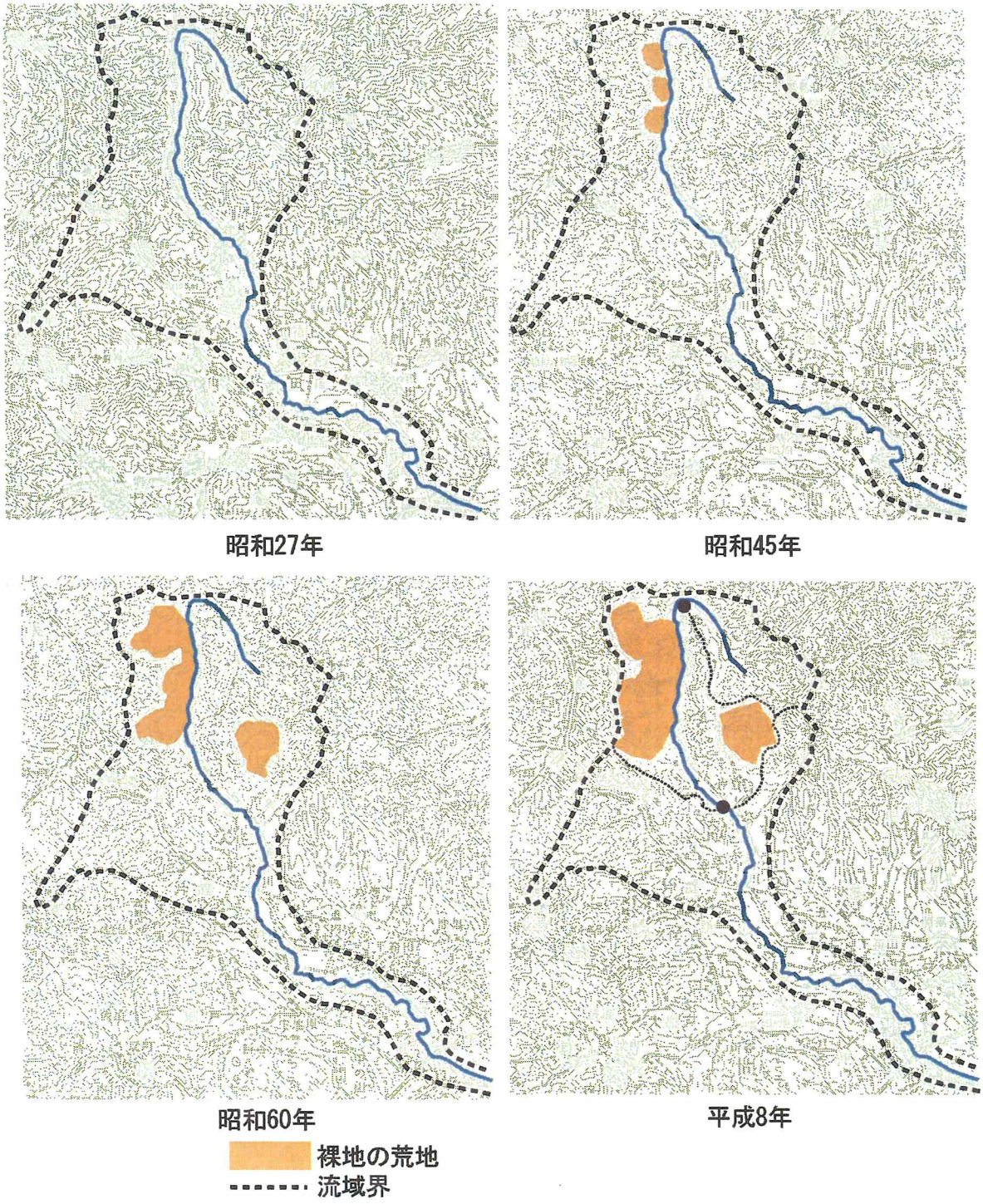


図-9.2.3 片庭川地形図

表－9.2.1 各サブ流域の変化状況

期　間	本川上流部	片庭川	稲田川	桜川	涸沼前川	寛政川	その他
M.38～T.14	桑畑増加 沿川に人家増加	道路直線化	採石場増加 (約16ha)			荒れ地の増加	
T.14～S.15			採石場2箇所増加 (約20ha)	上流部荒れ地減少	武具池周辺の荒れ地減少	桑畑の増加	桜川合流点から1.5km上流側左岸に筑波航空飛行隊の飛行場
S.15～S.26	人家減少						
S.26～S.43	畑地出現	上流部に大規模裸地の荒地出現 (約17.5ha) 下流部に畑地	採石場拡大 (計42ha) 畑地出現	上流部に裸地の荒地1箇所 (約2.5ha) 桑畑減少 畑地、果樹園増	桑畑消滅 畑地、果樹園増 桜宮CC (152ha)	桑畑消滅 畑地、果樹園増	河道の平面形状安定化 空地消滅、畑地、果樹園に 枝折川中流部の河道改変、現況の平面に飛行場跡地区画整理、宅地畑地に
S.43～S.59	採石場 (5.9ha)	裸地の荒地 (80ha)	採石場増加 (36ha)	裸地の荒地増加 (19ha)	上流部にゴルフ場2箇所 (260ha) 常磐自動車道施工中		中流部にゴルフ場1箇所 (218ha)
S.59～H.5	飯田ダム竣工	裸地の荒地拡大 (110ha) 下流部総合公園 (14ha)	上流採石場拡大 (63ha) 上流部にゴルフ場2箇所 (270ha)	上流裸地の荒地拡大 (32ha) ゴルフ場1箇所 (110ha)	中流部ゴルフ場1箇所 (70ha) 常磐自動車道開通	ゴルフ場1箇所 (112ha)	

(2)　調査方法

流域細粒土砂動態観測は1997年6月20日洪水、平成1998年9月16日～17日洪水および1999年10月27日洪水で行った[2),4)]。1998年9月16～17日洪水の観測は水位ピーク時において洪水観測地点の低水路の水深が約5.4m、高水敷での水深は約1.5mと比較的規模の大きな出水であった。1999年10月27日洪水は低水路の水深が約1.6mであり、高水敷に冠水するまでには至らない小規模出水であった。粒径の小さな土砂の観測は、表面付近の採水で十分な流砂量の精度が得られることがわかっているので、採水は表面付近の採水とした。観測結果は粒径0～0.015mmの粒径集団５、粒径0.015mm～0.075mmの粒径集団４、粒径0.075mm以上の３つに区分して整理した。

(3)　各サブ流域の細粒土砂供給特性

表－9.2.2 に各観測地点で得られた洪水毎の流出土砂量と流域面積を示す。サブ流域ごとに比流砂量（=流出土砂量/流域面積）を算出し比較してみると、片庭川および稲田川が他のサブ流域に比べて高い値を示した[5)]。次に、各サブ流域の土砂供給量をわかりやすくするため、Q-Qsの関係を調べた。**図－9.2.4** に、涸沼川の各サブ流域でのQ-Qs関係を示す。比較のため、図には全国河川のQ-Qsも重ね合わせた[1)]。各サブ流域観測地点でのQ-Qsの関係は、全国河川のそれと比較し、ほぼ同じくらいのオーダーから１オーダー高い値を示した。個別のサブ流域では、片庭川の土砂濃度が全国平均レベルよりもかなり大きく、次いで稲田川が大きい。涸沼川上流部、涸沼前川の土砂濃度については全国平均並であることがわかる。片庭、稲田の両支川の土砂濃度が大きい原因については、(1)で述べた通り流域内に裸地の荒地を有していること、流域面積の多くが山地部であること、また、稲田川ではその地質が花崗岩であり、土砂を供給しやすい地質を有していること等が関与しているものと考えられる。このようにサブ流域ごとに土砂供給量が大きく異なる理由として、各サブ流域の地形・地質、土地利用等が影響しているものと考えられる。

以上の結果、涸沼川サブ流域は全国河川と比較して、洪水中の細粒土砂濃度が大きい値を示すこと、サブ流域によっては１オーダー大きい値を示す場合もあることが明らかとなった。

このように、同一の流域内においても同じような特徴を持つサブ流域に分割することによって、その土砂供給特性は大きく異なることが明らかとなった。

(4)　サブ流域毎の粒径範囲の供給特性について

表－9.2.2 より粒径区分別の内訳を検討する。各サブ流域ともに、粒径0.015mm未満の粒径集団５、粒径0.015～0.075mmの粒径集団４、粒径0.075～0.4mmの粒径集団３の比率はほぼ同じ値となっている。このことは、特に浮遊砂的運動形態・ウォッシュロード的運動形態で流送される土砂の内訳については、サブ流域の地質・土地利用等の流域状況に対して、余り変わらないことを示唆しているものと考えられる。

表-9.2.2(1) 本川上流域最上流部の河道内の状況

サブ流域	流域面積 (km^2)	1洪水当たりの土砂移動量(m^3)					
		1997.6.20洪水		1998.9.16洪水		1999.10.27洪水	
		総移動量 (m^3)	比流砂量 (m^3/km^2)	総移動量 (m^3)	比流砂量 (m^3/km^2)	総移動量 (m^3)	比流砂量 (m^3/km^2)
本川上流部	48.6	280.0	5.7	342.0	7.0	15.0	0.3
片庭川	8.2	307.0	37.4	405.0	49.3	9.0	1.2
稲田川	39.4	351.0	8.9	376.0	9.5	64.0	1.6
桜川	27.6			320.0	11.6	14.0	0.5
涸沼前川	80.0			302.0	3.7	40.0	0.5
寛政川	20.5			31.0	1.5		

表-9.2.2(2) 本川上流域最上流部の河道内の状況(河床)

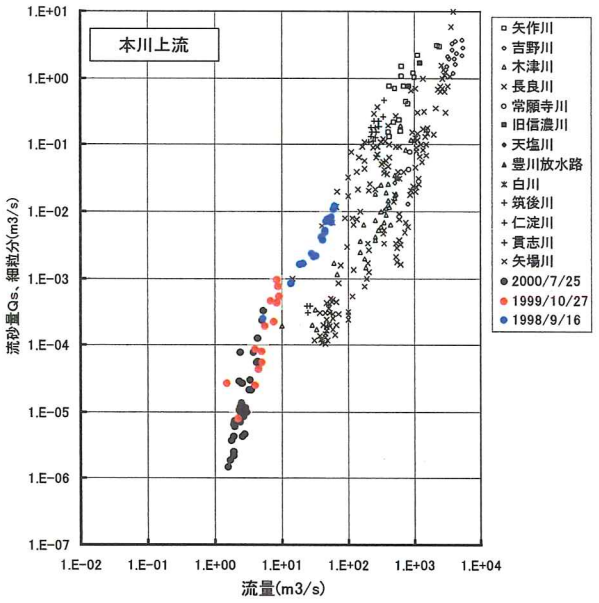
比土砂供給量(m^3/km^2)

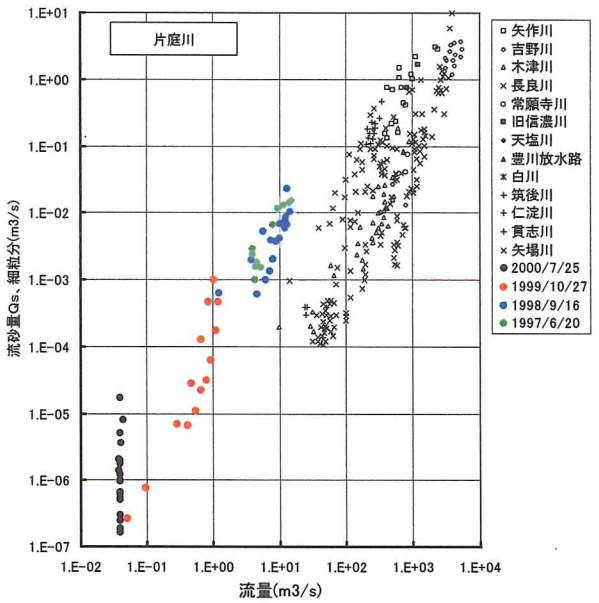
1999.10.27洪水

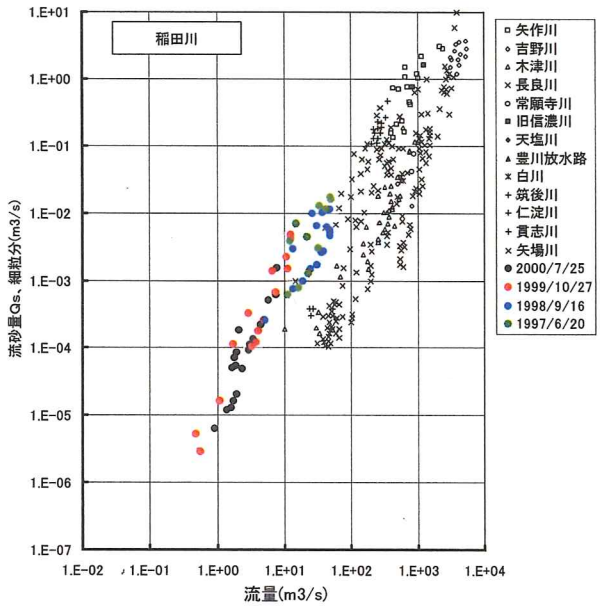
サブ流域	0.015mm未満 (粒径集団5)		0.015mm～0.075mm (粒径集団4)		0.075mm以上 (粒径集団3)		合計
	m^3/km^2	%	m^3/km^2	%	m^3/km^2	%	m^3/km^2
本川上流部	0.130	40.0	0.180	40.0	0.015	40.0	0.325
片庭川	0.720	61.9	0.360	30.9	0.084	7.2	1.164
稲田川	0.700	40.5	0.780	45.1	0.250	14.5	1.730
桜川	0.230	41.7	0.271	49.2	0.050	9.1	0.551
涸沼前川	0.220	43.7	0.250	49.6	0.034	6.7	0.504
寛政川							

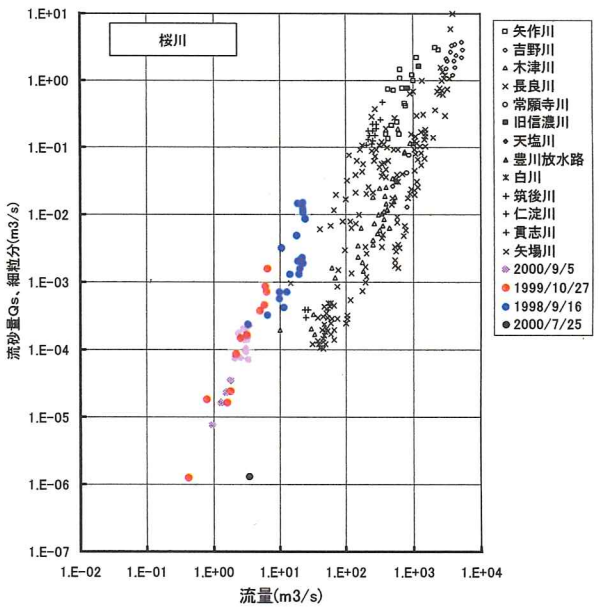
1998.9.16洪水

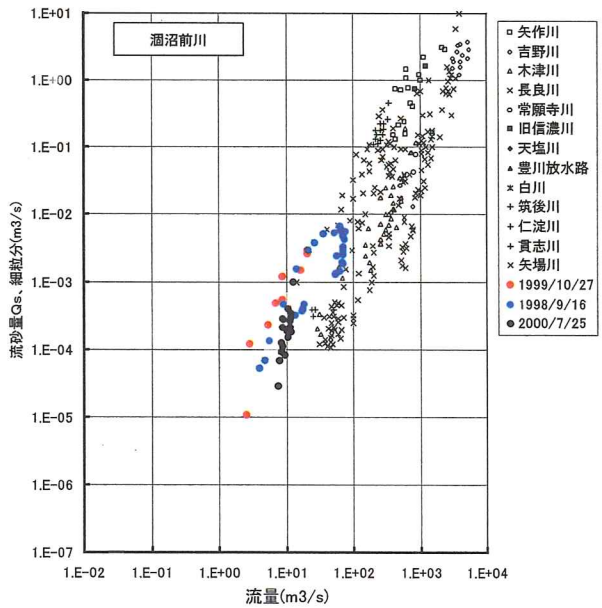
サブ流域	0.015mm未満 (粒径集団5)		0.015mm～0.075mm (粒径集団4)		0.075mm以上 (粒径集団3)		合計
	m^3/km^2	%	m^3/km^2	%	m^3/km^2	%	m^3/km^2
本川上流部	3.720	49.7	3.500	46.8	0.260	3.5	7.480
片庭川	19.280	39.5	24.090	49.4	5.420	11.1	48.790
稲田川	4.310	42.5	5.120	50.5	0.700	6.9	10.130
桜川	5.430	43.8	6.590	53.1	0.390	3.1	12.410
涸沼前川	2.160	56.4	1.520	39.7	0.150	3.9	3.830
寛政川	0.630	48.0	0.640	48.8	0.042	3.2	1.312











図－9.2.4　各サブ流域のQ-Q_S関係

(5)　サブ流域～涸沼川洪水観測施設の土砂収支と、土砂供給のタイミングがヒステリシスにおよぼす影響

図－9.2.5(1)に 28.1km 地点、**図－9.2.5(2)**に支川稲田川流域の 1998 年 9 月 16 日洪水の粒径別流砂量 Qs と流量 Q の経時変化を示す。両者とも、流量 Q と Qs との間には、ヒステリシス現象が生じている。しかし、稲田川流域のずれ時間が 1～2 時間程度であるのに対し（他のサブ流域でも同程度のずれであった）、28.1km のそれは 5 時間と、流下するにつれてずれが大きくなる傾向となっている。このずれの変化の理由を明らかにするため、**図－9.2.6～図－9.2.11** には、1998 年 9 月 16 日洪水と 1999 年 10 月 27 日洪水におけるサブ流域（本川上流＋片庭川＋稲田川＋桜川）と 28.1km 地点の粒径別の Qs を重ね合わせた。なお、28.1km の横断面図と水位ハイドログラフも示した。ここで、両者の比較を容易にするため、サブ流域の経過時間は 28.1km まで到達した時の値とし、予想される洪水到達時間（28.1km からサブ流域までの距離/流速）を加味した（本川上流、稲田川、片庭川：16.4(km)/2.0(m/s)≒2.3(時間)、桜川 3.0(km)/2.0(m/s)≒0.5(時間)）。この Qs は各サブ流域の観測値を単純に加算したものであり、流下による拡散等は考慮していない。図によれば、28.1 km と比較して、誤差を有するものの線形の幾何形状はほぼ一致した。このことは、特にウオッシュロード形態で流下する流送土砂については、上流のサブ流域からの土砂流出量を単純に加算する水文学的手法により、下流の土砂動態をある程度把握することが可能であることを示唆している。

また、サブ流域ごとに着目すると、支川桜川の Qs のピークは他のサブ流域に比べ約 3 時間ほど早く迎え、他のサブ流域がピークを迎える頃には既に減衰している。これは、桜川が他のサブ流域より 28.1km 地点に近く、洪水到達時間が短いことによる。

以上の結果から、涸沼川ではサブ流域毎に本川への土砂供給のタイミングが異なること、それが下流部のヒステリシスに大きな影響を与えたと考えられる。

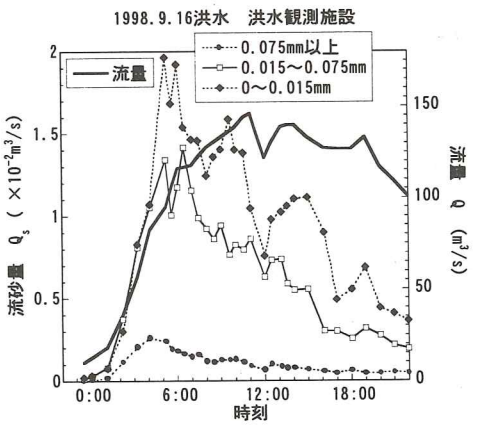


図-9.2.5(1)　観測施設の Qs と流量の経時変化

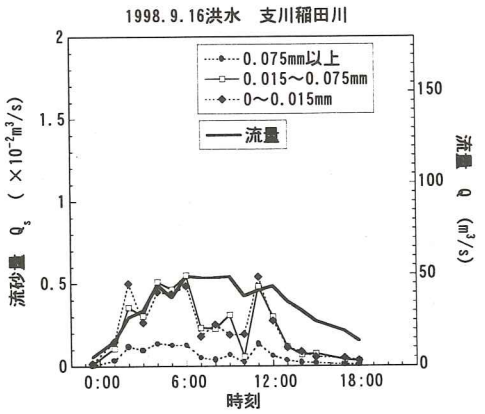


図-9.2.5(2)　稲田川の Qs と流量の経時変化

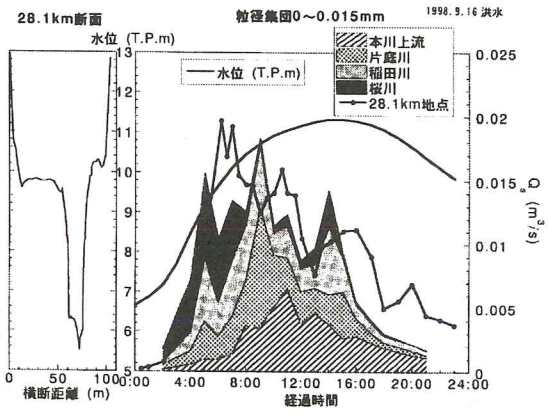


図-9.2.6 サブ流域と観測施設の Qs の経時変化(1998.9.16 洪水、d=0～0.015mm)

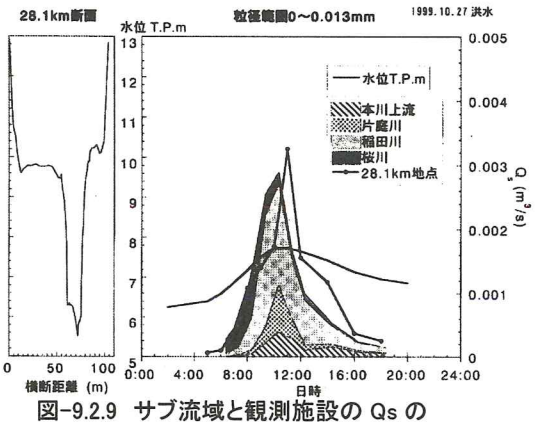


図-9.2.9 サブ流域と観測施設の Qs の経時変化(1999.10.27 洪水、d=0～0.015mm)

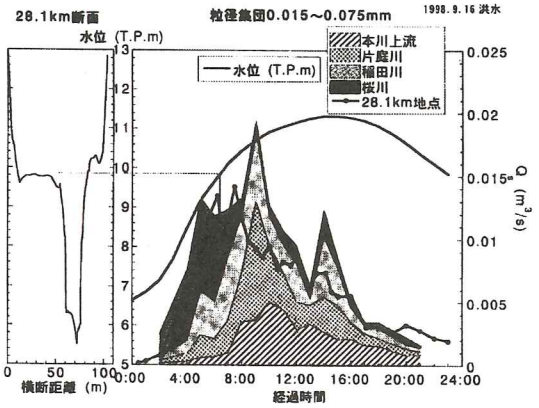


図-9.2.7 サブ流域と観測施設の Qs の経時変化(1998.9.16 洪水、d=0.015～0.075mm)

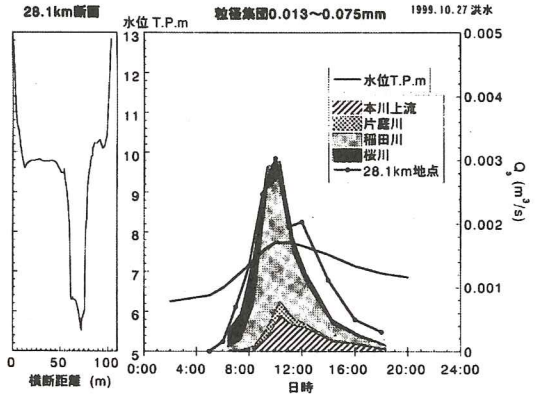


図-9.2.10 サブ流域と観測施設の Qs の経時変化(1999.10.27 洪水、d=0.015～0.075mm)

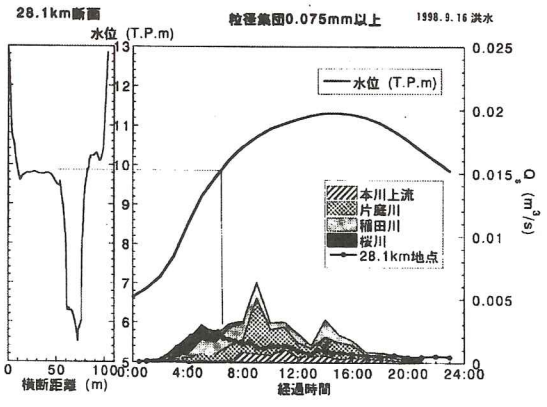


図-9.2.8 サブ流域と観測施設の Qs の経時変化(1998.9.16 洪水、d=0.075mm 以上)

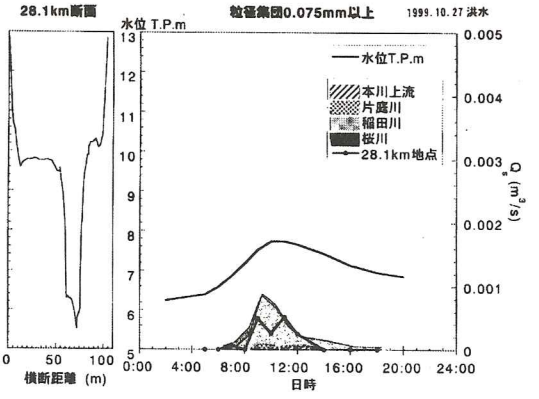


図-9.2.11 サブ流域と観測施設の Qs の経時変化(1999.10.27 洪水、d=0.075mm 以上)

(6) 細粒土砂の水系内の土砂収支と1洪水における土砂動態マップ

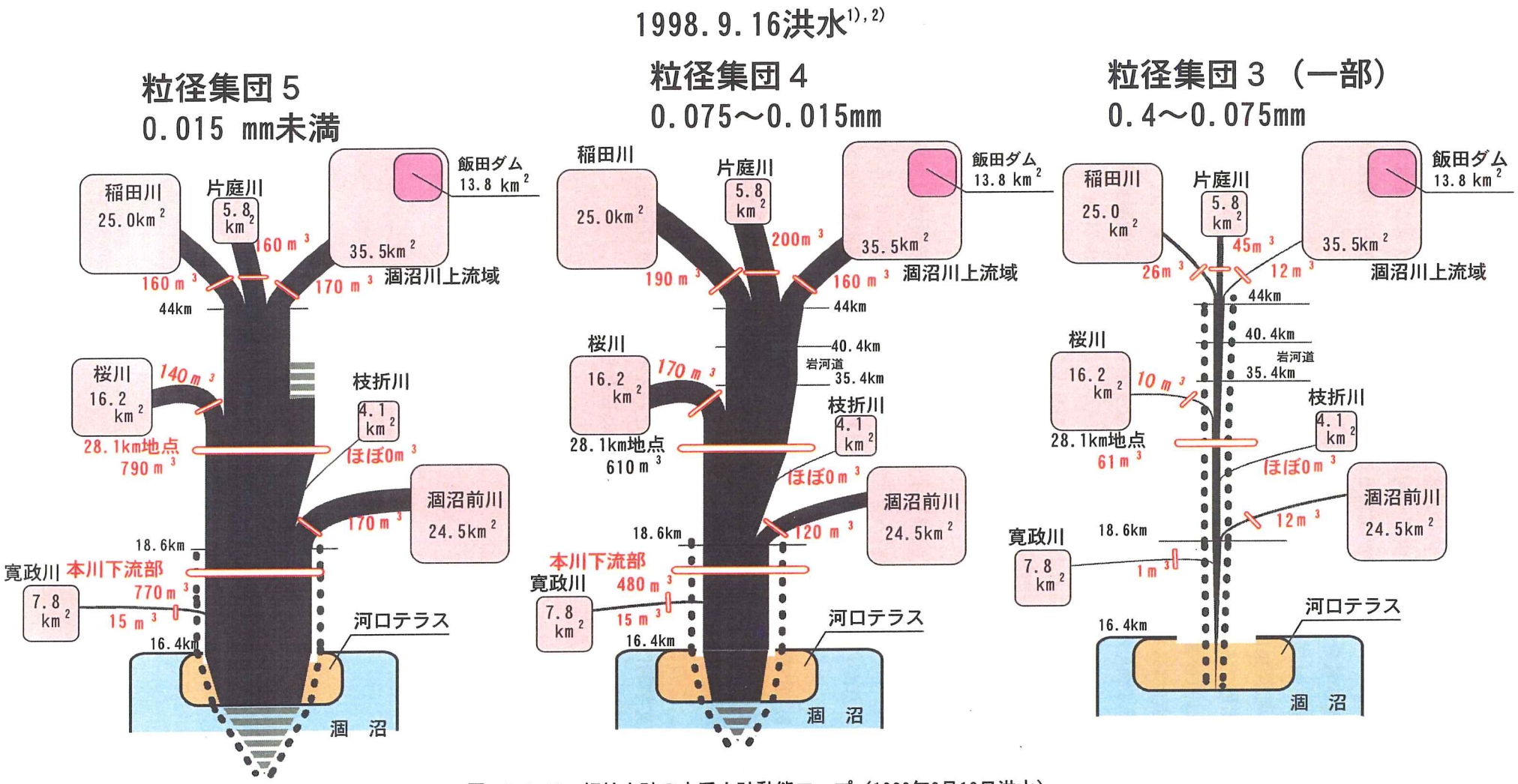
(5)で、浮遊砂的運動形態・ウォッシュロード的運動形態で流下する流送土砂の動態については、サブ流域からの土砂流出を単純に足し合わせる水文学的手法で把握可能であることを示唆した。本項では、以上の結果を基に細粒土砂の1洪水における土砂動態マップを描く。ここで、土砂動

態マップを描くに当たり、サブ流域～本川下流部までの土砂量は表－9.2.2 で示した観測結果を用いることとした。本川下流部～河口テラスについてはセグメント 3 領域に属し、土砂の運動形態や河床変動への関わり方が異なることが考えられることから、第４章で求めた地形変化量から推定した流砂量を用いて補完することとした。

土砂動態マップを作成する粒径範囲の区分は、粒径 0～0.015mm の粒径集団５、粒径 0.015～0.075mm の粒径集団４、粒径 0.075mm～0.4mm の粒径集団３の３区分とした。第５章で述べたように、細粒土砂でも粒径が大きくなると流砂濃度の鉛直方向の差が大きくなるため、水面付近の採水のみでは流砂量算定精度が落ちる可能性がある。表－5.2.1、表－7.2.2 で整理したとおり 28.1km 地点においては、粒径 0.105mm の u_*/w_0 は 4（水位 T.P.6.5m）～10（水位 T.P.8.2m）～16.7（水位 T.P.12m）と水位 T.P.8.2m 以上ではウォッシュロード的運動形態の流砂となっており、表面採水で流砂量の観測が可能と考えられる。一方、粒径 0.21mm の土砂は u_*/w_0 は 1.5（水位 T.P.6.4m）～6（水位 T.P.12m）であり、鉛直方向に濃度差を持つ浮遊砂的運動形態の流砂となっており、表面採水のみでは精度のよい流砂量は観測できない。したがって、セグメント 3 区間・河口付近と 0.2mm 以上の土砂を除けば、水面付近の採水でも流砂量の把握は概ねできているものとしている。

土砂動態マップで、サブ流域を示す四角の大きさは、流域面積のうち、特に土砂供給が多いと考えられる山地の流域面積の大きさを表す。フラックスの横に記した点線は、河床材料と有意に混じり合いながら流下する「混合型」であることを示す。高水敷への堆積については考慮していない。

図－9.2.12[1),2)]は 1998 年 9 月 16～17 日洪水の、図－9.2.13 は 1999 年 10 月 27 日洪水の細粒土砂の水系土砂動態マップである。図によると、サブ流域から供給される土砂量と、28.1km および本川下流部観測地点での土砂通過量の間では、1～2 割の誤差があるものの、ほぼ収支が合う結果となった。このことから、河川中流域での細粒土砂移動量は、各サブ流域からの供給土砂量を粒径別に水文学的に追跡すれば把握できるといえる。また、サブ流域によって供給土砂量が大きく異なり、流域面積の大きさには比例しないこともわかる。



図－9.2.12　細粒土砂の水系土砂動態マップ（1998年9月16日洪水）

1999.10.27～10.28洪水

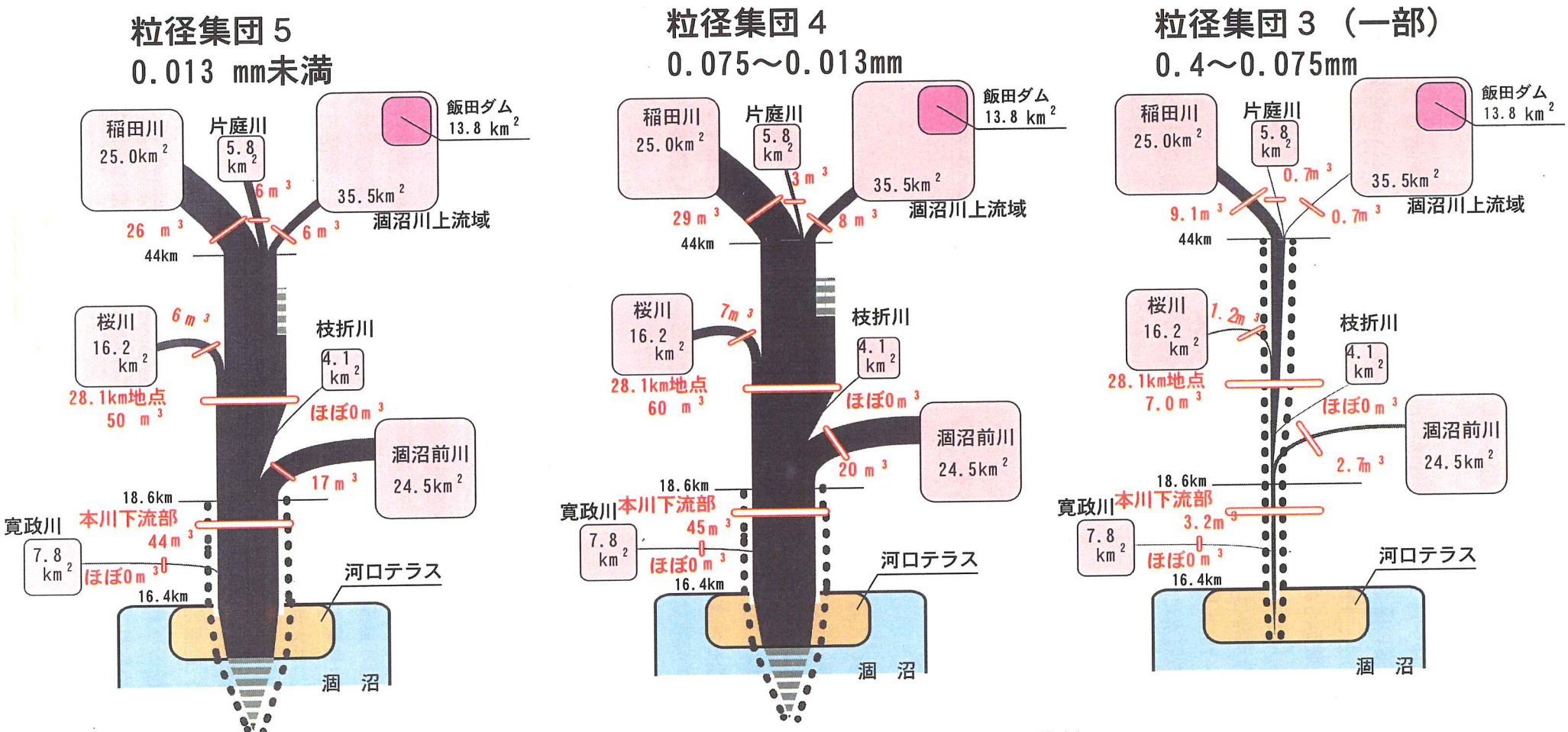


図-9.2.13　細粒土砂の水系土砂動態マップ（1999年10月27日洪水）

(7)　細粒土砂の水系土砂動態に関する考察

1)高水敷への浮遊土砂の堆積

1998年9月16～17日洪水と1999年10月27日洪水において、前者は28.1km付近において高水敷上1.5m程度の冠水があったのに対し、後者は高水敷に冠水しない小規模の洪水であった。両者の比較を行うと、1998年洪水の図－9.2.6～9.2.8では、0.015～0.075mm、0.075mm以上の粒径集団は、サブ流域からの供給量に対して28.1km地点のQsが減少している。その経時的な傾向は、水位が高水敷高以上になるとともに生じている。これに対し、図－9.2.9～9.2.11の1999年洪水ではそのような現象は見られなかった。この理由として、以下の2点が考えられる。

①サブ流域～28.1 km地点間の高水敷部への堆積。

②高水敷への冠水により、洪水中の流況が変化し、この粒径集団が過小に採取されてしまった。

現時点では、①もしくは②のどちらが支配的か明確ではなく、また、河岸侵食による土砂供給の影響を見込んでいないことから、その理由を特定することはできない。図－3.1の28.1km付近の高水敷表面の粒度分布を見ると粒径 0.01～0.1mm の土砂が主体となっている。一方、図－6.2.1の1998.9.16洪水の浮遊砂・ウォッシュロード観測で採取された土砂の粒径分布を見ると、粒径0.008～0.075mmの土砂が主体となっている。両者を比較すると、高水敷上の土砂の方がやや粒径が粗いものの両者はほぼ同じである。これは、①の可能性があることを示唆していると考えられる。

2)サブ流域からの土砂流出のタイミングが下流堆積域に与える影響

図－9.2.7、図－9.2.8から、1998.9.16洪水では28.1km地点で洪水位が高水敷に乗った時には、サブ流域桜川から供給される土砂は大部分が流下し終わっており、本川上流、片庭川、稲田川の３つのサブ流域から供給された土砂がこの付近の高水敷上に堆積したことがわかる。このように、細粒土砂の挙動を水文学的手法で追跡することにより、その地点に堆積する細粒土砂の主たる供給源がどのサブ流域なのかを推定することができる。サブ流域毎に懸濁物質とともに流下する物質の流出量が大きく異なる場合には、このような考察を行うことにより、物質の動態とその堆積場所を推定できるであろう。

このように、移動速度が速い細粒土砂は、サブ流域からの土砂供給のタイミングのずれによって、堆積地点に与える影響が異なる可能性があるため、今後、細粒土砂の動態モデルを構築するにあたり、量や質のみでなく、時間スケールについても検討を行う必要があると考えられる。

9.3　涸沼川流域における掃流砂動態及び供給特性観測の試み

本項では、涸沼川流域における掃流砂の土砂動態マップの作成を最終目標とするものの、第7章で述べたとおり掃流砂の観測は難しく、かつ全てのサブ流域に涸沼川洪水観測施設のような観測柱や掃流採砂装置を設置するのは非現実的であるため、その第一段階として掃流砂の主たる供給源の推定と、平水時の移動状況について調査を行ったものである。

(1)　支川別地質状況・河床材料調査

写真－9.3.1に涸沼川洪水観測施設における掃流砂観測で採取された掃流砂について、ふるい分けを行った後の写真を示す。写真から、掃流砂の多くが風化花崗岩、いわゆるマサからなる粒径集団２で占められており、全掃流砂量に対するマサの割合は非常に高いことが伺える。そこで、

図－9.3.1 の地質分布図[6]を参考に、掃流砂供給源すなわちマサの供給源と思われる支川を中心に支川をピックアップし、河床材料調査を行った。図中には調査地点を、図－9.3.2 および写真－9.3.2 に各調査地点の粒度試験結果を示す。

図－9.3.2 からは、二反田川、逆川、本川上流（片庭川合流点直上流）、桜川、稲田川の河床材料に粒径集団２が入っていることがわかる。このうちマサが供給される支川として、図－9.3.1、写真－9.3.2 から二反田川、逆川、稲田川、および本川上流部（片庭川合流点直上流）が推定される。このうち、稲田川は上流部に採石場を有すること、他の支川と比較して流域面積が広いことから、供給土砂量が最も多いと考えられる。これを裏付けるように、稲田川と本川の合流点には、写真－9.2.3 のように稲田川から流入する掃流砂によって形成された砂州がある。二反田川・逆川については、河床材料はマサであるものの上流域に大規模な崩壊地や採石場が無いことから、稲田川より供給土砂量は少ないと考えられる。本川上流部の土砂生産源の大部分は、図－9.3.1 に示されているとおり砂岩地質であり、花崗岩地質は片庭川合流部から上流部に若干存在するのみである。図－9.3.2、写真－9.3.2 の河床材料調査によると、本川上流部の上流側調査地点ではマサや粒径集団２は見られないが、片庭川合流点直上流にはマサや粒径集団２が見られる。片庭川合流点直上流に見られるマサは、前述の本川上流に若干存在する花崗岩地質から生産されたものと推定される。この生産源の面積は小さいことから下流側へのマサの供給量自体は少ないと判断される。



写真－9.3.1　観察された掃流砂の一例

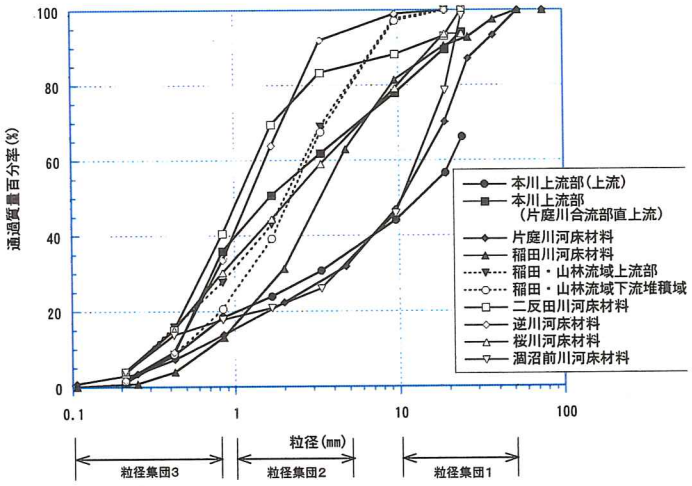


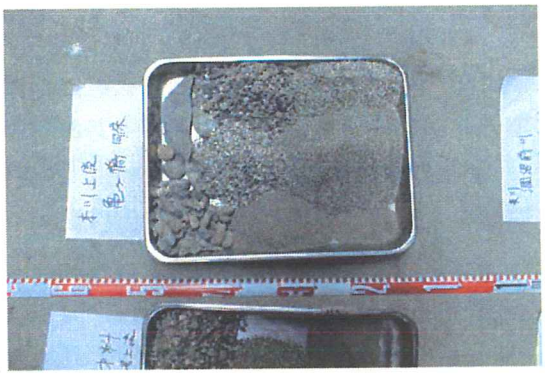
図-9.3.2　支川の河床材料の粒度分布


gkP 花崗閃緑岩、花崗岩、花崗斑岩、閃緑岩 Granodiorite, granite, granite porphyry and diorite
uK 超塩基性岩類（かんらん岩、蛇紋岩、角閃岩等） Ultrabasic rocks
mTSp 泥質片岩、砂質片岩、片麻岩など Pelitic schists, psammitic schists gneisses, etc.,
Jo1 Jo2 砂岩、泥岩、砂岩・泥岩互層 Sandstone, mudstone and alternation of sandstone and mudstone
Jch チャート Chert
Js 石灰岩 Limestone
Jba 玄武岩質岩 Basaltic rocks
r 礫・砂・泥 Gravel, sand and mud
a 礫・砂・泥 Gravel, sand and mud
c 泥 Mud
s 礫・砂 Gravel and sand
f 礫・砂・泥 Gravel, sand and mud
t6 礫・砂・泥 Gravel, sand and mud
dt db 岩屑・礫・砂 Detritus, gravel and sand
t5 礫・砂・泥 Gravel, sand and mud
t4 礫・砂・泥 Gravel, sand and mud
t3 礫・砂・泥 Gravel, sand and mud
Q3 礫・砂・泥、砂質泥、砂泥互層 Gravel, sand, mud, sandy mud and alternation of sand and mud
片庭川
飯田川
本川上流部
稲田川
逆川
二皮田川
桜川
枝折川
涸沼前川
涸沼
寛政川
●：河床材料調査地点

図－9.3.1　地質分布図



本川上流部（上流）



本川上流部（片庭川合流部直上流）



稲田・山林流域上流部



稲田・山林流域下流堆積域



二反田川



逆　川



桜　川



涸沼前川

写真－9.3.2　支川の河床材料

(2)　稲田川流域における掃流砂供給状況と掃流砂移動のタイミング調査

(1)での検討によって掃流砂の主体である粒径集団２の供給源となる支川が明確になってきた。しかし、上記結果は定性的なものであり、各支川からの粒径集団２の土砂の供給量、供給割合はわからない。各支川で掃流砂観測を行えば、支川からの土砂供給量を定量的に把握することができるが、前にも述べたとおり、全支川の掃流砂観測を一気に実施するのは観測人員、機器の設置などを考慮すると非現実的である。そこで、流域内における掃流砂の土砂動態を定量的に把握する第一歩として、まず最も供給土砂量が多いと考えられる稲田川流域の土砂供給特性調査を試みた。

調査に先立ち、稲田川流域を図－9.3.3 の通り細分化し、地形図・空中写真・現地踏査により、土砂生産源の推定を行った。その結果、稲田川流域内でも稲田沢川と山地流域河川の上流域には採石場が多数あること、河床にマサが多く見られることから、供給土砂量が多いと判断された。また、稲田川と稲田沢川の合流地点では、平水時でも写真－9.3.3 のように稲田沢川からの流水が濁っていることがある。

そこで、この２支川で次のような平水時掃流砂観測を実施した。稲田沢川および山林流域河川は、流域内に農業取水用の可倒堰が設置され、その湛水部に明確な前縁線を形成しながら土砂が堆積している場所があった。そこで図－9.3.4 に示すように、１週間毎に堆積土砂の前縁線の前進量を調査して土砂供給量を推定した。土砂の堆積状況を写真－9.3.4、写真－9.3.5 に示す。ただし、ある程度以上の規模の洪水や、稲作の落水時には堰が倒伏されるため、調査期間が限定されること、大洪水時には観測できないことなどの問題がある。調査回数も上記の問題により稲田沢川で３回、山地流域河川で１回しかできなかった。図－9.3.5 に稲田沢川の掃流砂観測期間の位況を示す。なお、稲田沢川においては期間 2 において堆積物の粒度試験を実施している。

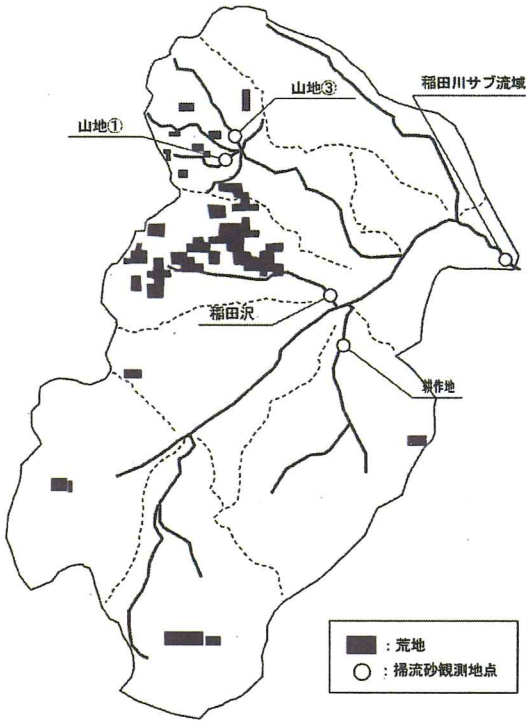
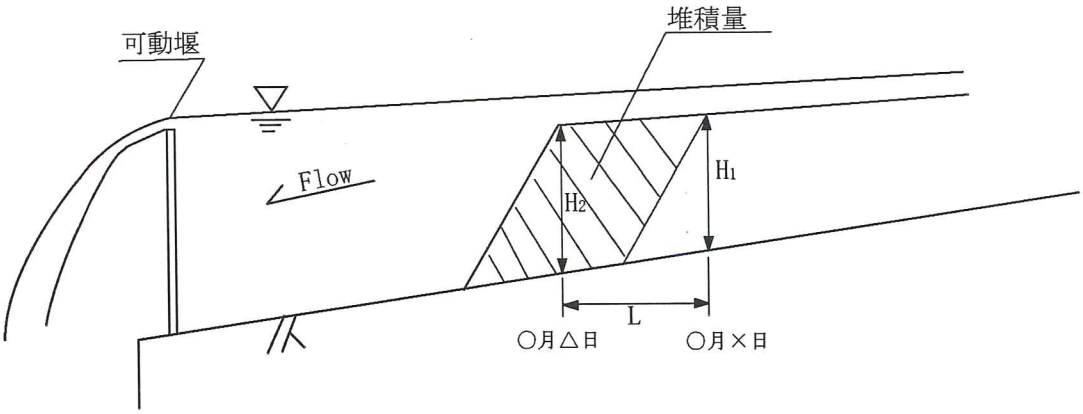


図-9.3.3　稲田川流域の土地利用状況



写真-9.3.3　稲田川と稲田沢川の合流点



土砂移動量(m^3/日)＝$\frac{H1+H2}{2}$ BL/堆積日数

ここに、B：水路幅

図-9.3.4 堆積量の算出手法の概念図



写真-9.3.4 山林流域の掃流砂堆積状況



写真-9.3.5 稲田沢川の掃流砂堆積状況

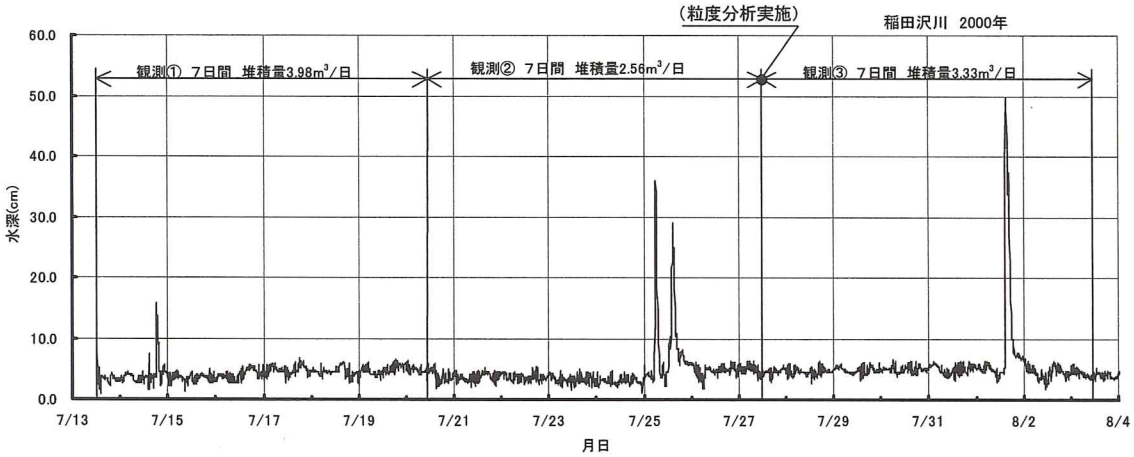


図-9.3.5 調査期間の位況(稲田沢川)

表－9.3.1 に稲田沢川の観測結果を、表－9.3.2 に山地流域河川の観測結果を示す。稲田沢川では調査した3時点での日当たりの土砂堆積量はそれぞれ4.0、2.6、3.3m³/日であった。図－9.3.5 の位況図から、調査期間中には3回とも水深 16～50cm (平水時は 4～6cm) の小規模な出水が生じていた。出水規模との関係で見ると、最も出水規模の小さい期間①で最も土砂供給量が多かった。採石場を有する流域からの土砂供給特性の解明の上で、興味深い結果ではあるが、データを蓄積した上で考察する必要がある。山地流域河川の供給土砂量は 1.28m³/日であった。観測期間における稲田沢川と山地流域河川の掃流砂供給比はほぼ2.0～3.1：1であり、稲田沢川からの供給土砂量が多いことが明らかとなった。

表-9.3.2 調査結果(山地流域河川)

山地流域

今回調査年月日 2000.8.4 前回調査年月日

日数	7	
堆砂前緑線進行(m)	5.90	
堆積厚さ(m)	0.30	上流
	0.48	下流
	0.39	平均
低水路(m)	3.90	
堆積量(m³)	8.97	
日あたり堆積量(m³)	1.28	

年間土砂供給量(m³) 467.92

表－9.3.1 調査結果(稲田沢川)

稲田沢川 取水堰堆積量調査 (間隙率含む)

調査開始年月日 2000/7/14

今回調査年月日 2000/7/21

日数	7	
堆砂前縁線進行距離(m)	18.80	
堆積厚さ(m)	0.30	上流
	0.40	下流
	0.35	平均
低水路幅(m)	4.23	
堆積量(m3)	27.83	
日あたり堆積量(m3/日)	3.98	

今回調査年月日 2000/7/27

日数	7	
堆砂前縁線進行距離(m)	9.40	
堆積厚さ(m)	0.40	
	0.50	下流、今回調査
	0.45	平均
低水路幅(m)	4.23	
堆積量(m3)	17.89	
日あたり堆積量 m3/日	2.56	

調査年月日 2000/8/4

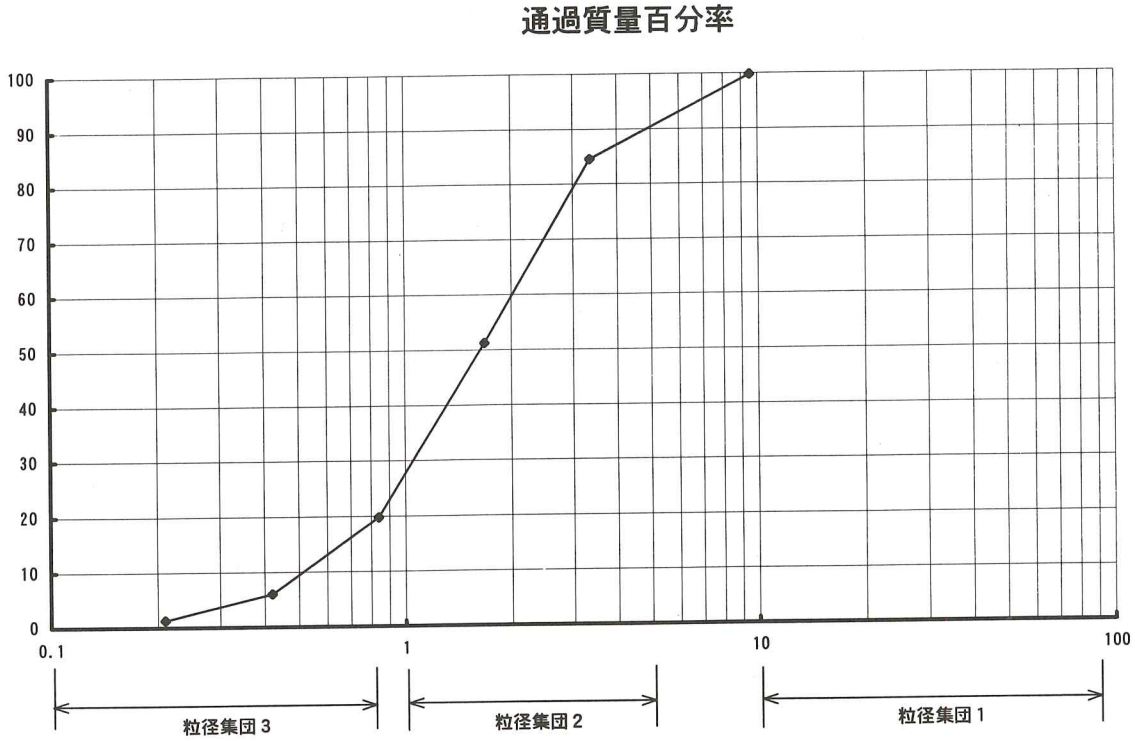
日数	8	
堆砂前縁線進行距離(m)	10.50	
堆積厚さ(m)	0.50	
	0.70	下流、今回調査
	0.60	平均
低水路幅(m)	4.23	
堆積量(m3)	26.65	
日あたり堆積量 m3/日	3.33	

日当たり堆砂量（平均値） 3.29

年間土砂供給量 1200.05

堆積物の粒度試験

	粒径(mm)	稲田沢川（容器+重量,g)	容器重量(g)	実重量(g)	通過質量百分率
9.52以上	9.52	739	728	11	99.78574211
9.52-3.36	3.36	1510	728	782	84.55395403
3.36-1.68	1.68	2439	728	1711	51.22711336
1.68-0.84	0.84	2341	728	1613	19.8091157
0.84-0.42	0.42	1437	728	709	5.99922088
0.42-0.21	0.21	970	728	242	1.285547332
	0.21未満	794	728	66	
	計			5134	



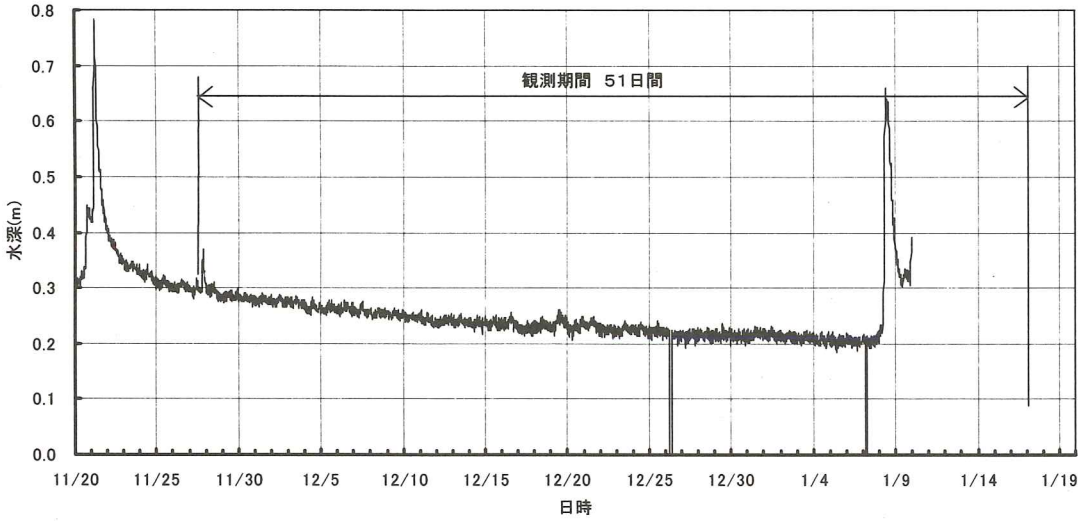


図-9.3.6 調査期間の位況(稲田川)

上記検討で、稲田川の支川からある程度の掃流砂供給量があることがわかったので、次に稲田川の本川合流部付近における掃流砂移動状況をバケツ埋め込みによる平水時掃流砂観測で調査を試みた。観測は、本川との合流点から約 50m 上流の地点でバケツを低水路の右岸側と左岸側に埋め込み行った。調査実施時期は、2000 年 11 月 27 日～2001 年 1 月 17 日の 51 日間であり、稲田沢川・山地流域河川の観測時期と異なる。これは、この時期に取水堰が転倒され、両支川で掃流砂観測が実施できなかったためである。

なお、この観測場所と稲田沢川・山地流域河川合流点の間には、農業用取水堰がある。この堰も灌漑期には堰を閉じているが、非灌漑期には堰を開けている。2000 年 11 月 27 日～2001 年 1 月 17 日の掃流砂観測期間中には、堰は開いていた。**図－9.3.6** に掃流砂観測期間の稲田川の水位状況を示す。この期間に、稲田川と本川合流部付近の平水時掃流砂観測ではバケツ内に土砂の堆積は見られなかった。観測実施個所の河床勾配は 1/345 であり、観測時の水深は、20～35cm であった(水深 65cm 程度の小出水が 1 回あり)。この期間の観測場所における摩擦速度は 7.5～9.2cm/s であり、稲田沢川や山地流域河川から供給される粒径集団２（粒径 1～5mm、均一砂の場合の移動限界摩擦速度 U_{*c}＝3.1～7.0cm/s)が河床を覆っていれば、移動可能な掃流力である。同じ期間に、稲田沢川の様子を観察すると、河床が水苔（水垢）で覆われており、掃流砂が供給されている様子は見られなかった。したがって、この時期に稲田川の本川合流点上流で掃流砂が観測されなかったのは、流域からの供給がなかったためと考えられる。

図－9.3.7 は、稲田沢川・山地流域河川で掃流砂観測を行った期間（7/14～8/4）と、稲田川の本川合流点上流で掃流砂観測行った期間（11/27～1/17）の流況を比較するため、両期間における稲田川と稲田沢川の水位状況を示したものである。図から、稲田沢川の水深は、出水を除いて、両期間ではほとんど差がないこと、稲田川の平水位は11/27～1/17の方が10～15cm程度低いこと、11/27～1/17 ではほとんど出水がなかったことがわかる。また、稲田沢川、稲田川の両観測期間ともに平水時の摩擦速度 6.4m/s～11.9m/s は粒径集団２（粒径 1.0mm～5.0mm）の土砂が動きうる水理量である。粒径集団２の土砂供給は、水路の水理量ではなく出水の有無に支配されていると考えられる。

稲田沢川・山地流域河川で掃流砂観測を行った期間（7/14～8/4）でも、両支川合流点と稲田川の本川合流点の間にある農業用取水堰が開けられないかぎり、本川に対する掃流砂の供給はなか

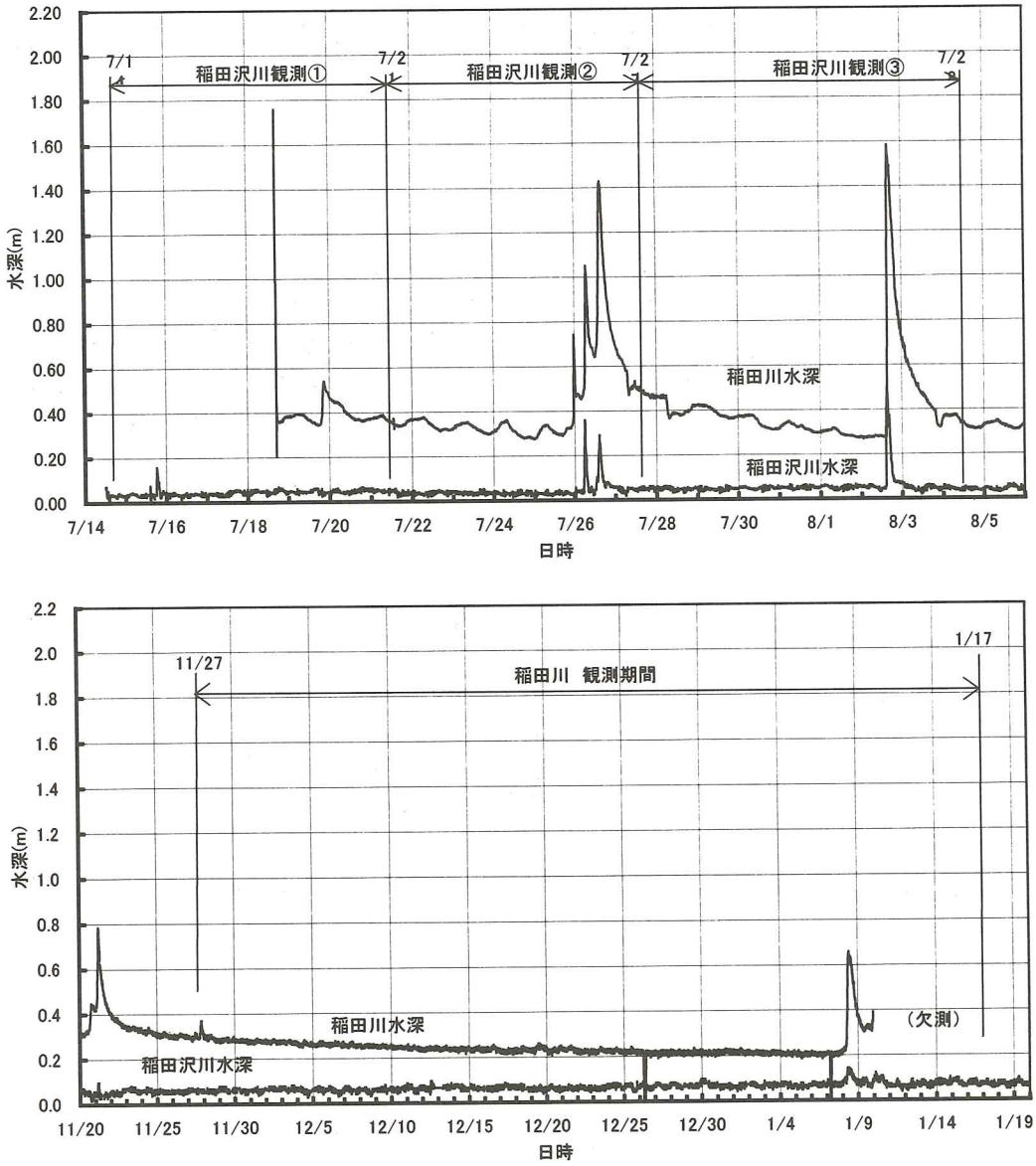
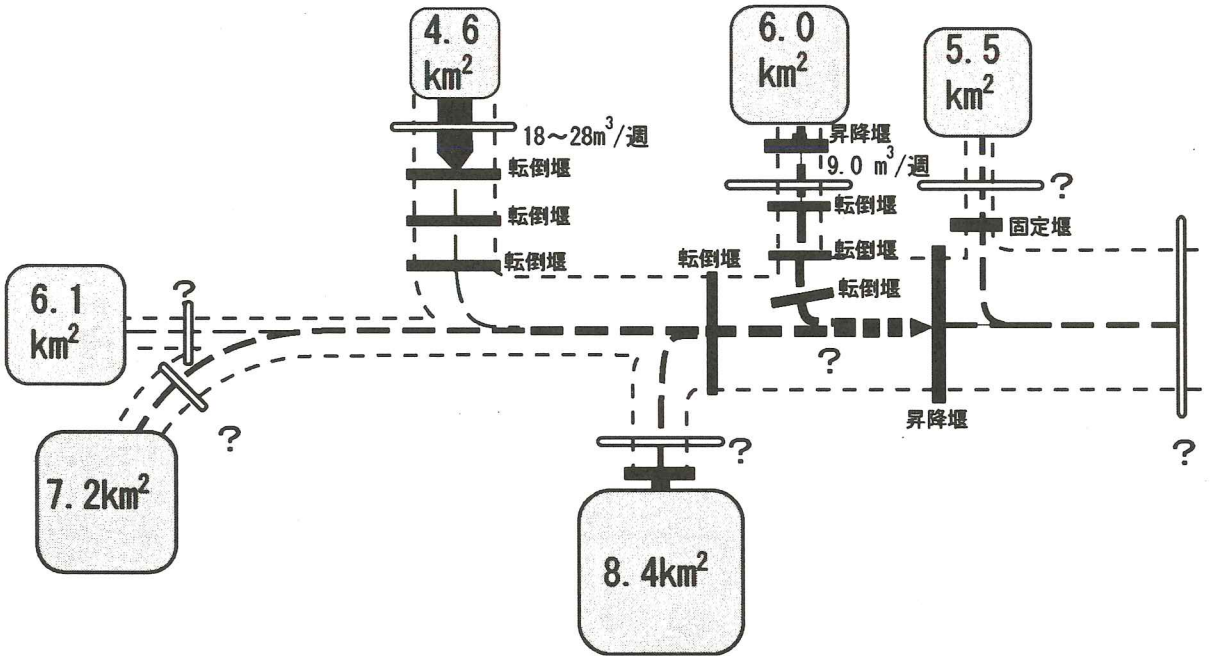


図-9.3.7 位況の比較(稲田川と稲田沢川)

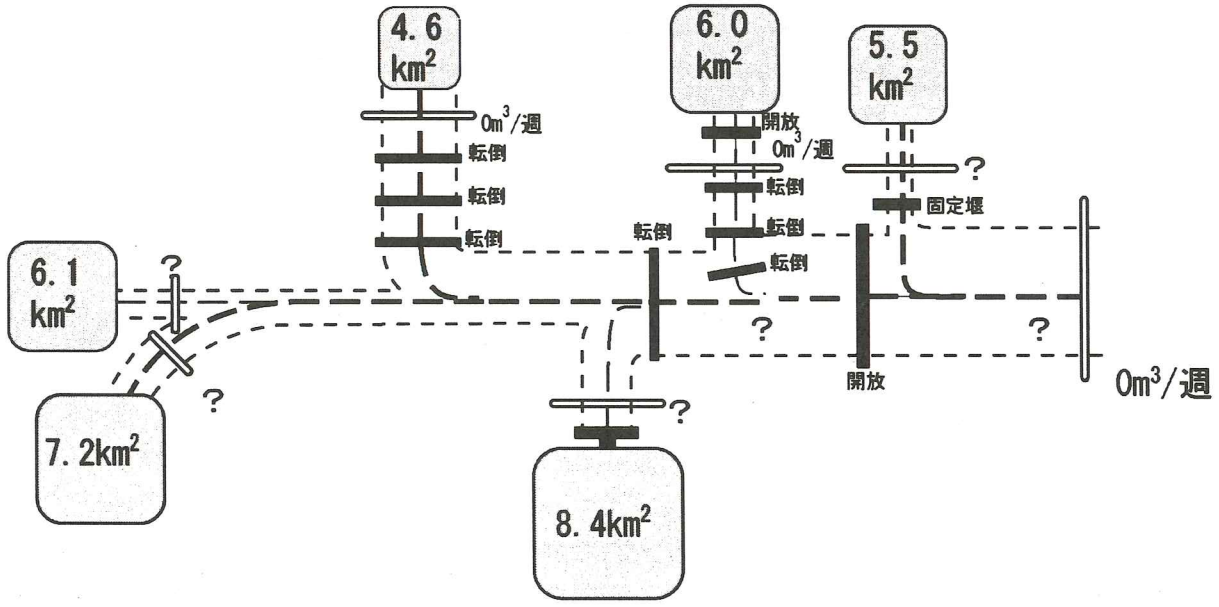
ったと推定される。稲田川から本川への掃流砂の供給・動態は、出水の有無と農業用取水堰の運用に左右されていると考えられる。

以上を踏まえて、不完全ながら稲田川における粒径集団２の土砂動態マップ作成を試みる。ここで、不完全であってもマップ作成を試みるのは、今後の調査すべきポイントを整理するためである。**図－9.3.8** は稲田沢川・山地流域河川で掃流砂観測を行った期間（7/14～8/4）、**図－9.3.9** は稲田川の本川合流点上流 50m 地点で掃流砂観測を行った期間（11/27～1/17）における土砂動態推定マップである。土砂動態マップから、稲田沢川・山地流域河川の農業用取水堰、両支川合流点と稲田川・本川の合流点の間にある比較的大きな農業用取水堰により、灌漑期（大洪水時は除く）には堰湛水池に掃流砂が貯まり、縦断的に不連続な土砂動態となっていることが推定される。逆に落水期には堰が倒伏され、湛水池に貯まっていた土砂が下流に流れ、ある程度の出水時に流下していることが推定される。今後、観測データを蓄積し、上記推定が実際に生じているのか検討する必要がある。

稲田川流域の掃流砂動態マップ（2000年7月14日～8月4日）



稲田川流域の掃流砂動態マップ（2000年11月27日～2001年1月17日）



図－9.3.9　稲田川の土砂動態マップ

(3)　涸沼前川における掃流土砂供給量調査

涸沼川最大の支川である涸沼前川の掃流砂供給実態の把握を試みる。調査方法は、トレンチによる平水時掃流砂観測である。観測は 2000 年 8 月 24 日～8 月 29 日に実施したものであり同時に涸沼川洪水観測施設においても同様の調査を実施している。観測場所は、河床勾配 1/1,400、低水路幅 14.7m、観測時の水深は 0.35m であった。涸沼川洪水観測施設は、河床勾配 1/1,200、低水路幅 15m、観測時の水深は 0.30～0.33m であった。両者の摩擦速度は涸沼前川で 4.9cm/s、涸沼川洪水観測施設で 4.9～5.2cm/s であり、ほとんど同じである。

トレンチによる掃流砂観測結果を**表－9.3.3** に示す。表には同時期に調査した涸沼川洪水観測施設の結果を併せて示す。また、**写真－9.3.6** に採取した掃流砂を、**写真－9.3.7** に比較のため、同時期に涸沼川洪水観測施設で採取した掃流砂を示す。表より、涸沼前川の断面平均の q_B は $8.3\times10^{-5}cm^3/s/cm$ であるのに対して涸沼川洪水観測施設の q_B は $7.8\times10^{-4}cm^3/s/cm$ であり、涸沼前川の平水時の単位幅掃流砂量は涸沼川洪水観測施設のそれに対して約１割と非常に少ない。全流砂量に直すと、涸沼川洪水観測施設で $0.099m^3$/日、涸沼前川で $0.011m^3$/日となっており、両者の差は９倍と大きい。

図－9.3.10 には採取した掃流砂の粒度分析結果を示す。涸沼前川左岸側の粒径は他の粒径と比べて突出して大きいが、この試料の採取量は非常に少なく、トレンチ埋設時に偶然入った大粒径土砂の影響が強いと考えられるため、検討から除外する。涸沼前川の掃流砂は、涸沼川洪水観測施設の掃流砂と比較すると、粒径 0.425mm 未満の細粒分の占める割合が多いが、両者とも粒径集団３（粒径 0.1～0.8mm）が主体であることがわかる。



写真-9.3.6　平水時掃流砂（涸沼前川）

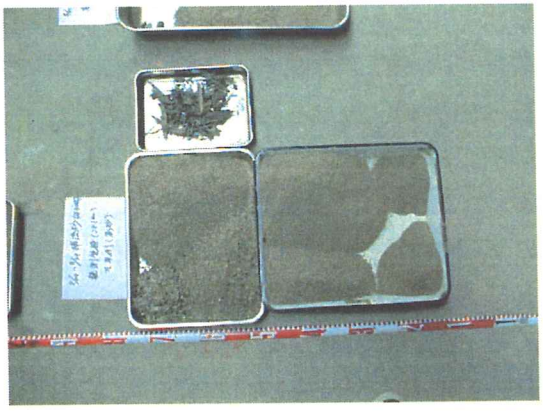


写真-9.3.7　平水時掃流砂（観測施設）

表-9.3.3 掃流砂の観測結果(平水時)

単位時間・単位幅あたり流砂量(cm3/s/cm)間隙込み

篩い目(mm)	観測施設左岸側	観測施設右岸側	涸沼前川左岸側	涸沼前川中央	涸沼前川右岸
24.2	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
19.1	0.0000E+00	0.0000E+00	8.1892E-07	1.9836E-06	0.0000E+00
9.52	0.0000E+00	1.8198E-06	6.3876E-06	2.8389E-06	1.8562E-06
3.36	5.7506E-05	6.2602E-06	4.5314E-06	8.3712E-06	3.0118E-06
1.68	2.3359E-04	1.7106E-05	1.8380E-06	4.5678E-06	3.0118E-06
0.84	5.3390E-04	4.7497E-05	1.7288E-06	1.0755E-05	1.7398E-05
0.42	3.8511E-04	1.3044E-04	2.6569E-06	4.2529E-05	2.1256E-05
0.21	7.2575E-05	3.7306E-05	4.5314E-06	4.0491E-05	2.3003E-05
210未満	2.8389E-05	1.2084E-05	9.6815E-06	1.4468E-05	2.3803E-05
計	1.3111E-03	2.5252E-04	3.1356E-05	1.2402E-04	9.3339E-05
m^3/日	0.0990		0.0110		
総体積(cm^3)	4531.1	1745.4	222.4	870.9	645.2
U*(cm/s)	4.56	6.49	4.95	4.95	4.95
q_B(cm^3/s/cm)	7.8180E-04		8.2905E-05		
期間	8/24～8/26	8/26～8/29	8/24～8/29	8/24～8/29	8/24～8/29

平水時ではあるが、涸沼川洪水観測施設と涸沼前川では、ほぼ同じ摩擦速度時における掃流砂量の差が大きいことから、年間供給土砂量における両者の差も大きいと考えられる。第４章で下流部の地形変化量から年間流砂量を推定したが、これに涸沼前川からの供給土砂量が与える影響は微少であると考えられる。

図－9.3.11 には涸沼前川の平水時掃流砂観測箇所より約 1km 上流の河原（両者の位置関係は図－9.3.12 に示す）の河床材料粒度分布を示すが、d_{60}=12mm と涸沼川洪水観測施設の d_{60}=6.0mm に対して大きく、粒径集団２はほとんどない粒径分布となっている。また、図－9.3.1 の流域地質図でも、花崗岩地質は涸沼前川流域に見られない。平水時掃流砂観測実施場所の河床には、マサが見られたことから平水時掃流砂観測を行ったが、以上の状況を踏まえると、このマサは涸沼川本川の堆積物が露出したものと考えられ、涸沼前川からの供給土砂は図－9.3.11 に示される粒径集団２がほとんどないものと推定される。これらから、涸沼前川からの掃流砂（特にマサ）の土砂供給量は少ないものと判断される。

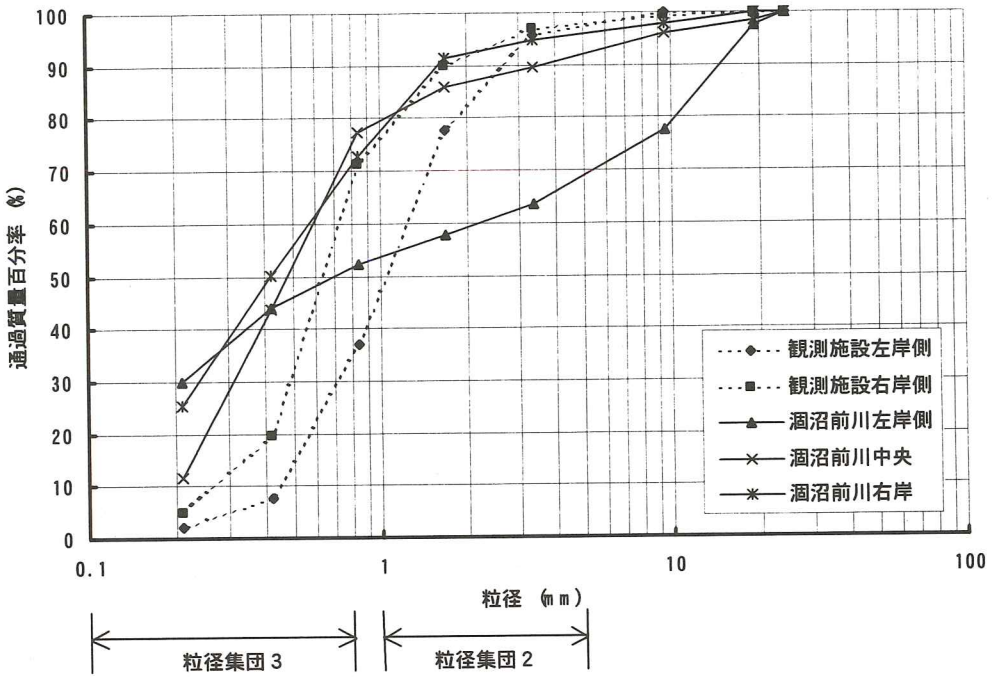


図-9.3.10 涸沼前川の掃流砂の粒度分布

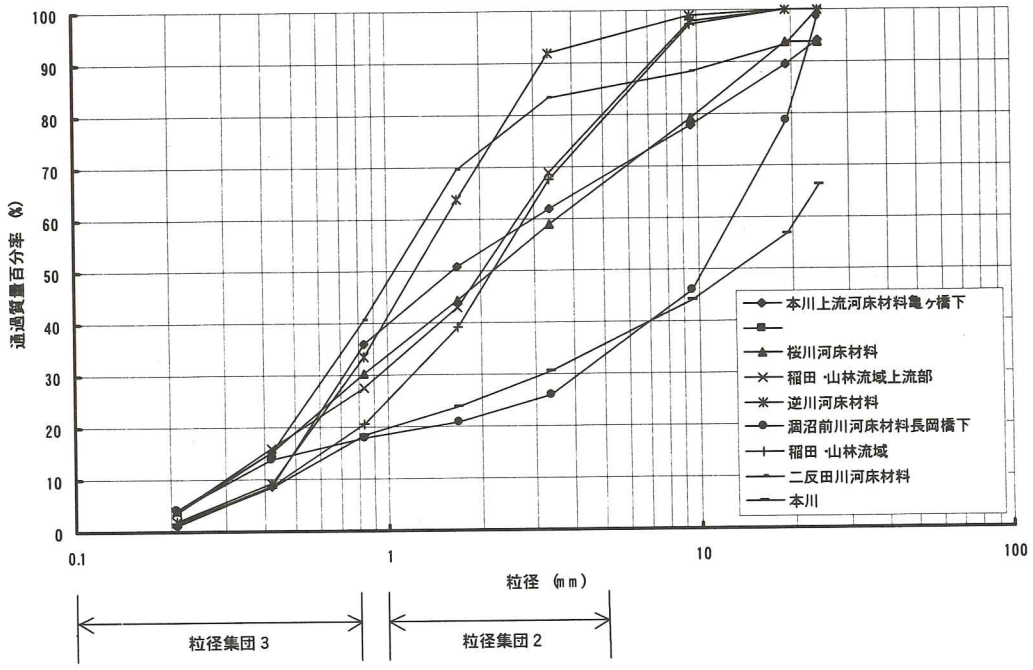


図-9.3.11 涸沼前川の河床材料の粒度分布

9.4　流域スケールの物質動態調査

本項では、河川の下流域・湖沼や高水敷などの自然環境に大きな影響を与えると考えられる物質の栄養塩の動態把握および土砂移動との関係の把握を目的として、物質の動態観測を実施したものである。

(1)涸沼川水系の物質動態調査

9.2 で分割したサブ流域の細粒土砂動態観測地点において、洪水時および平水時に物質動態観測を行った。観測は、自動採水装置を用い、水深方向に 1 点の採水を 1 時間ピッチで 24 回連続して行い（1999 年の観測については、一部バケツ・柄杓による表面からの人力採水）、その中から増水期、ピーク時、減水期から代表的な試料を抜き出し、水質分析を行った。分析は、T-P（全リン）、D-P（溶存体リン）、NH4-N（アンモニア態窒素）、NO2-N（亜硝酸態窒素）、NO3-N（硝酸態窒素）、T-N（全窒素）、IL（強熱減量）、SS について実施した。ただし、1999 年は、T-P、D-P、IL、SS の４項目である。観測年月日、観測地点、データの収集状況、水質分析資料数を**表－9.4.1** に示す。また、各観測地点における水位と観測時間を**図－9.4.1** に示す。観測は、洪水時３回、平水時１回行った。このうち、2000 年の洪水時２回は、採水できない地点があること、水位（流量）データが収集できていない地点があることなどにより、物質動態マップを作成することはできなかった。

図-9.4.1 涸沼川流域における水質観測と分析状況

観測年月日	観測地点	採水法	水位(流量)データ	分析項目										備考
				濁度計	SS	IL	T-P	D-P	NH4-N	NO2-N	No3-N	T-N	粒度	
1999.10.27 (洪水)	本川上流	手動	○	-	16	4	15	15	-	-	-	-	○	
	片庭川	手動	○	-	15	5	13	15	-	-	-	-	○	
	稲田川	手動	○	-	15	5	15	15	-	-	-	-	○	
	桜川	手動	○	-	13	4	10	13	-	-	-	-	○	
	涸沼洪水観測施設	手動	○	-	14	4	14	14	-	-	-	-	○	水位はテレメーターの観測
	涸沼前川	手動	○	-	10	0	10	10	-	-	-	-	○	
	本川下流部	手動	○	-	17	2	17	17	-	-	-	-	○	
2000.7.25 (洪水)	本川上流	自動	○	-	32	12	32	32	32	32	32	32	○	水位は「間黒」の観測データ
	片庭川	自動	-	-	20	8	20	20	20	20	20	20	○	水位計に異常発生
	稲田川	自動	○	-	18	8	18	18	18	18	18	18	○	
	桜川	自動	○	-	1	1	1	1	1	1	1	1	○	自動採水機が動作せず
	涸沼洪水観測施設	自動	○	○	35	13	35	35	35	35	35	35	○	水位はテレメーターの観測データ
	涸沼前川	自動	○	○	19	8	19	19	19	19	19	19	○	水位は「長岡橋」の観測データ
2000.9.5 (洪水)	桜川	自動	○	-	18	7	18	18	18	18	18	18	-	
	洪水観測施設	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	水位はテレメーターの観測データ
	涸沼前川	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	水位は「長岡橋」の観測データ
2001.2.6 ～2.9 (平水時)	本川上流	自動	間黒	-	24	8	24	24	24	24	24	24	-	水位は「間黒」の観測データ
	片庭川	自動	○	-	24	8	24	24	24	24	24	24	-	
	稲田川	自動	○	-	24	8	24	24	24	24	24	24	-	
	桜川	自動	○	-	24	8	24	24	24	24	24	24	-	
	涸沼洪水観測施設	自動	○	-	24	8	24	24	24	24	24	24	-	水位はテレメータの観測データ
	涸沼前川	自動	○	○	24	8	24	24	24	24	24	24	-	水位は「長岡橋」の観測データ
	涸沼下流	自動	○	○	24	8	24	24	24	24	24	24	-	水位は「下石崎」の観測データ

*) SS, IL, T-P, D-P, NH4-N, NO2-N, NO3-N, TNについては分析した試料の数を示す

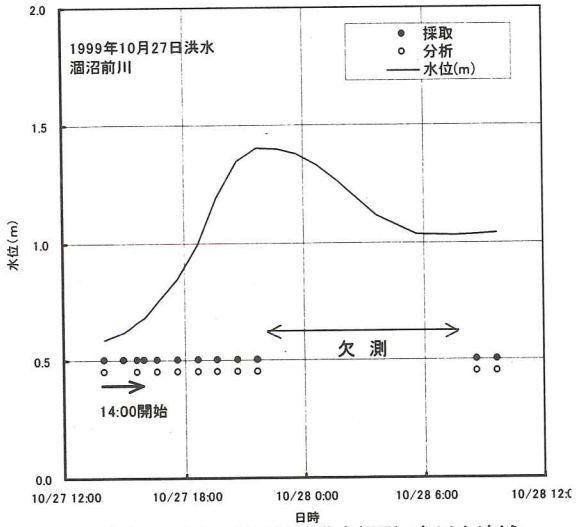


図-9.4.1(1) 1999.10.27 洪水観測、本川上流域における採水状況と位況

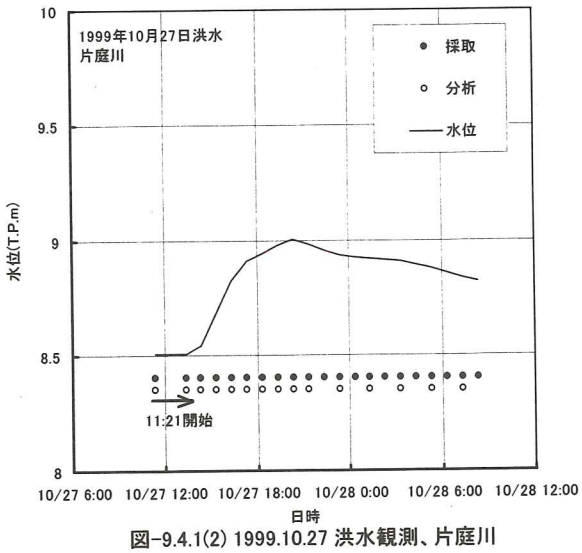


図-9.4.1(2) 1999.10.27 洪水観測、片庭川における採水状況と位況

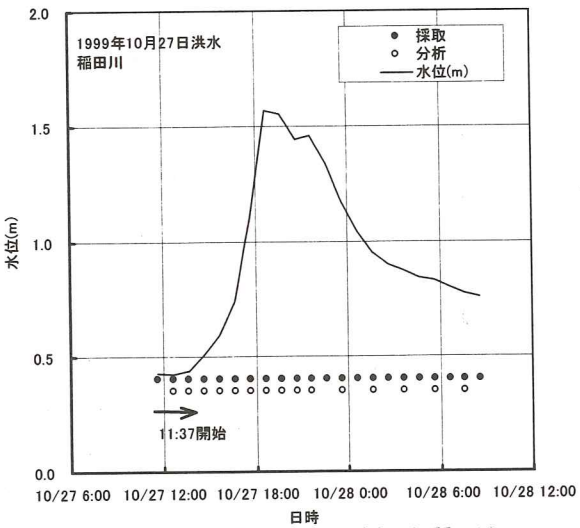


図-9.4.1(3) 1999.10.27 洪水観測、稲田川における採水状況と位況

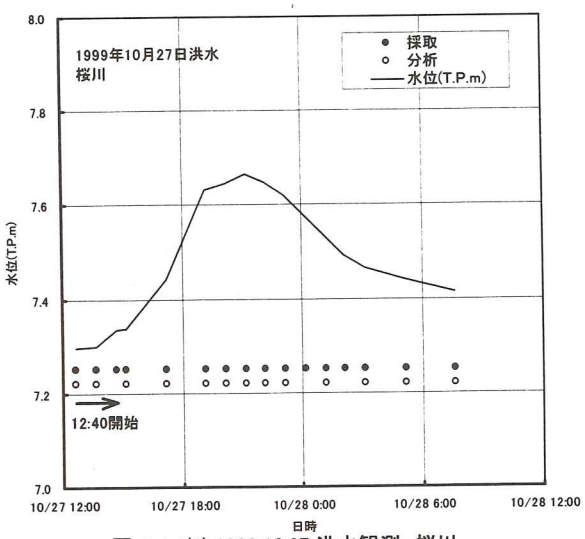


図-9.4.1(4) 1999.10.27 洪水観測、桜川における採水状況と位況

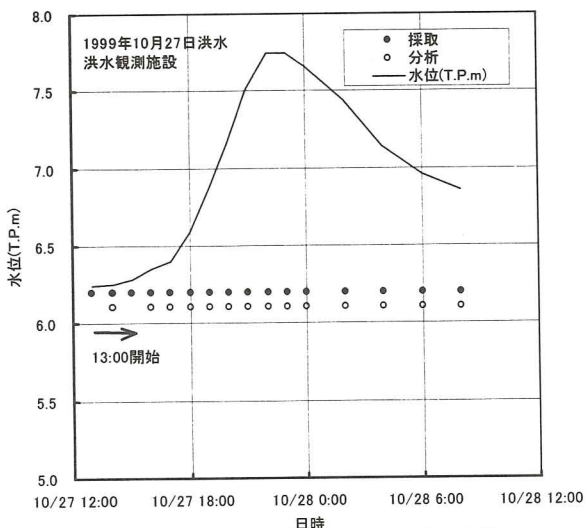


図-9.4.1(5) 1999.10.27 洪水観測、洪水観測施設における採水状況と位況

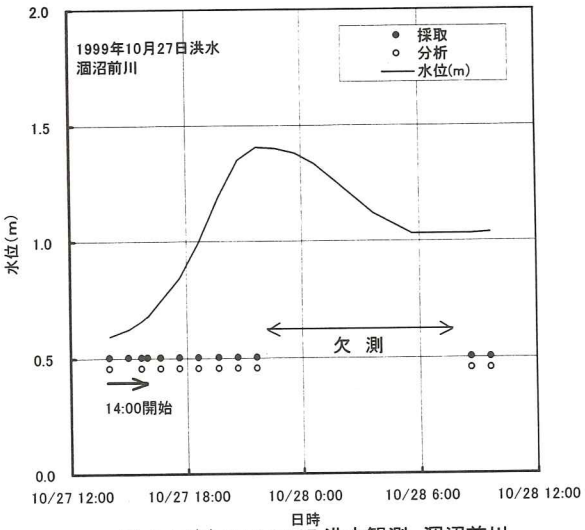


図-9.4.1(6) 1999.10.27 洪水観測、涸沼前川における採水状況と位況

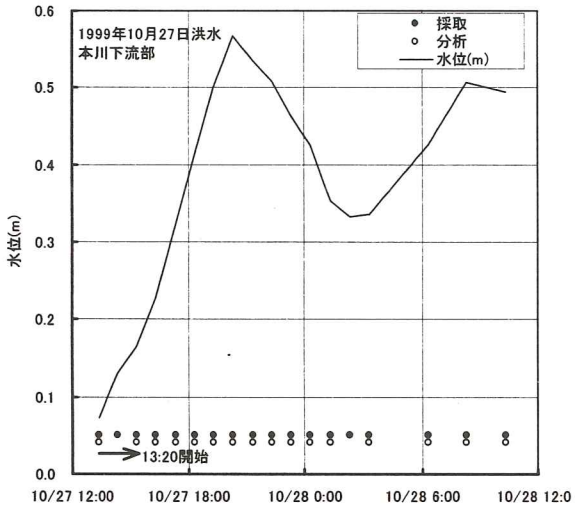


図-9.4.1(7) 1999.10.27 洪水観測、本川下流における採水状況と位況

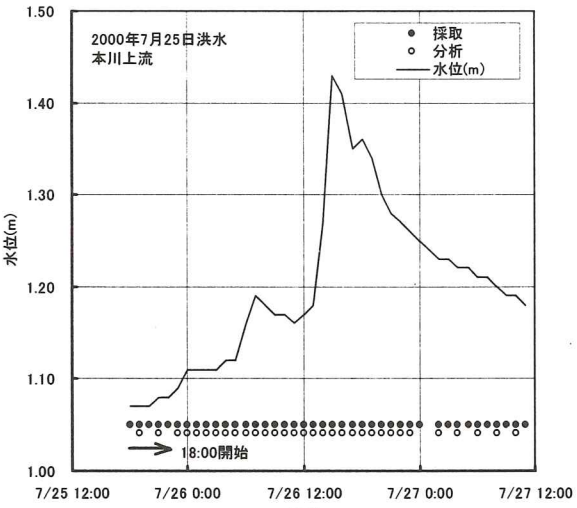


図-9.4.1(8) 2000.7.25 洪水観測、本川上流における採水状況と位況

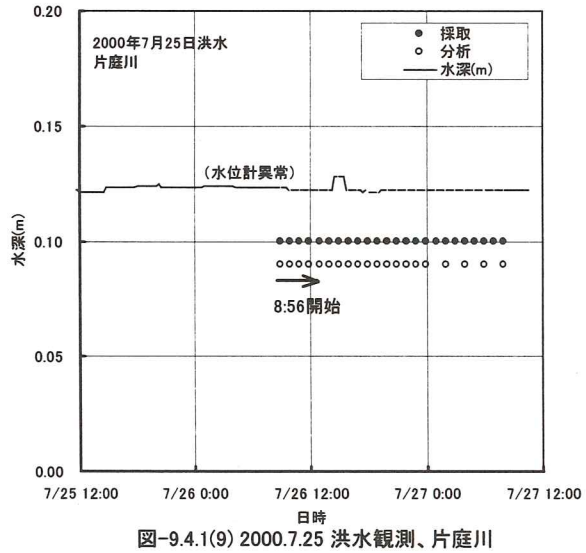


図-9.4.1(9) 2000.7.25 洪水観測、片庭川における採水状況と位況

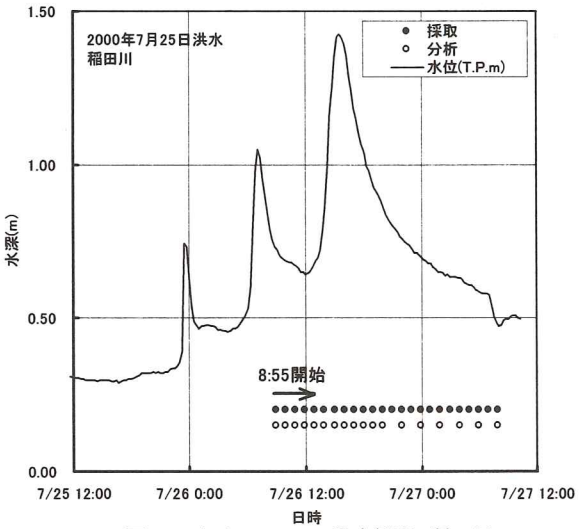


図-9.4.1(10) 2000.7.25 洪水観測、稲田川における採水状況と位況

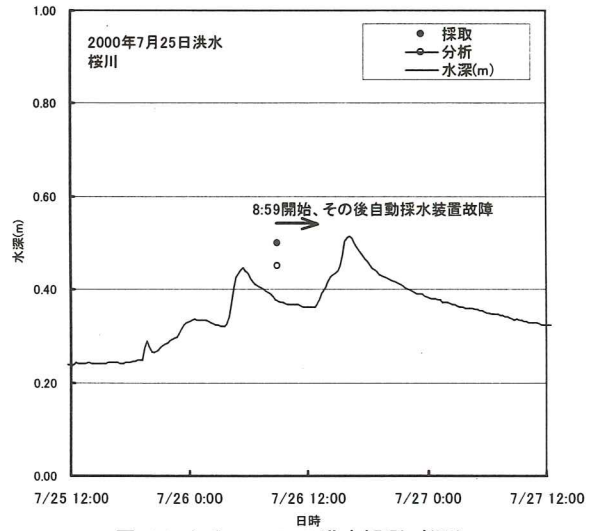


図-9.4.1(11) 2000.7.25 洪水観測、桜川における採水状況と位況

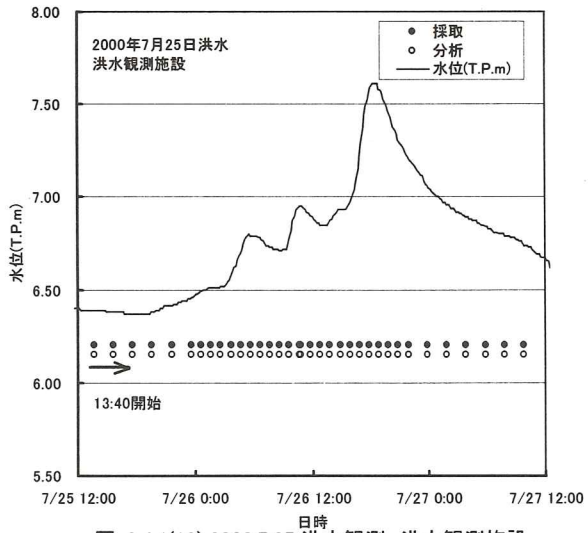


図-9.4.1(12) 2000.7.25 洪水観測、洪水観測施設における採水状況と位況

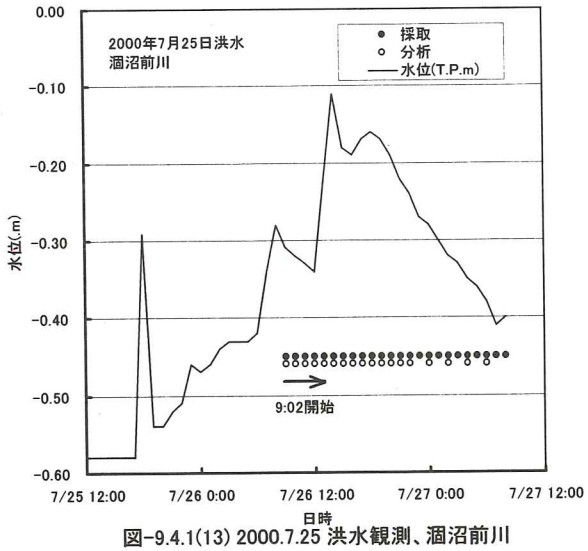


図-9.4.1(13) 2000.7.25 洪水観測、涸沼前川における採水状況と位況

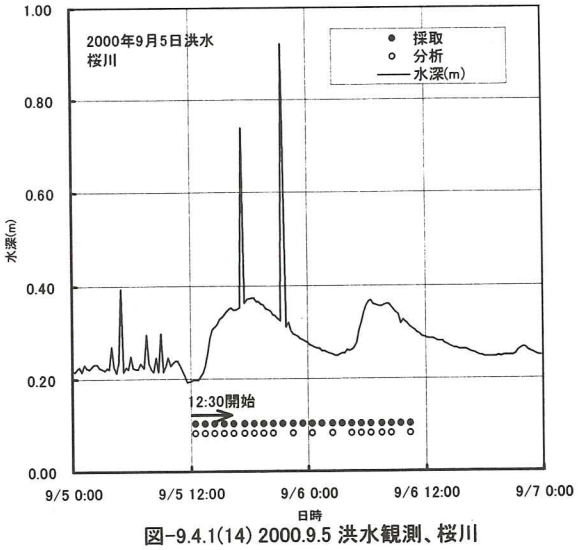


図-9.4.1(14) 2000.9.5 洪水観測、桜川における採水状況と位況

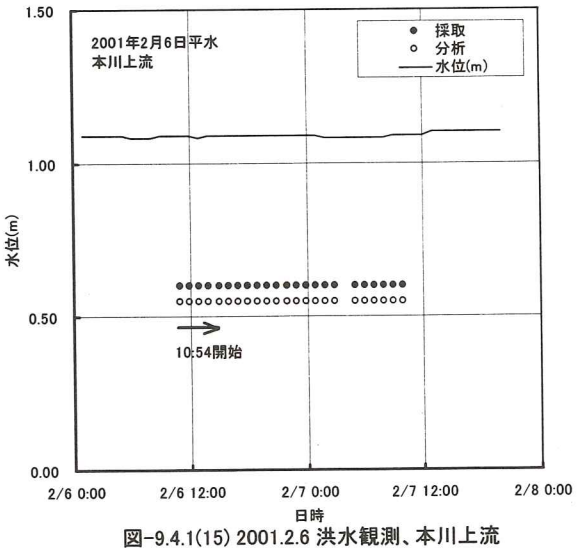


図-9.4.1(15) 2001.2.6 洪水観測、本川上流における採水状況と位況

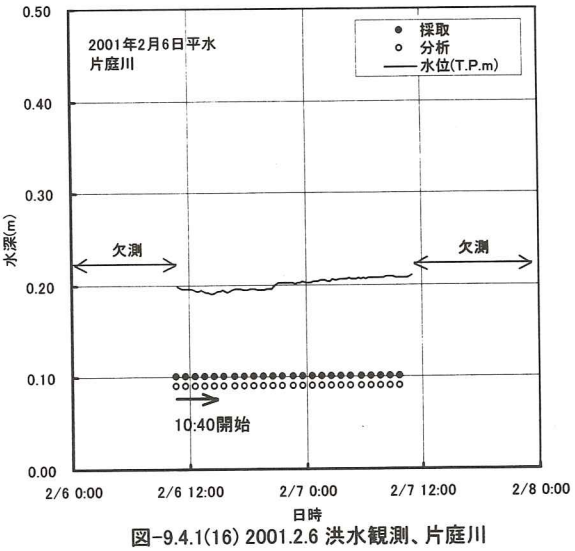


図-9.4.1(16) 2001.2.6 洪水観測、片庭川における採水状況と位況

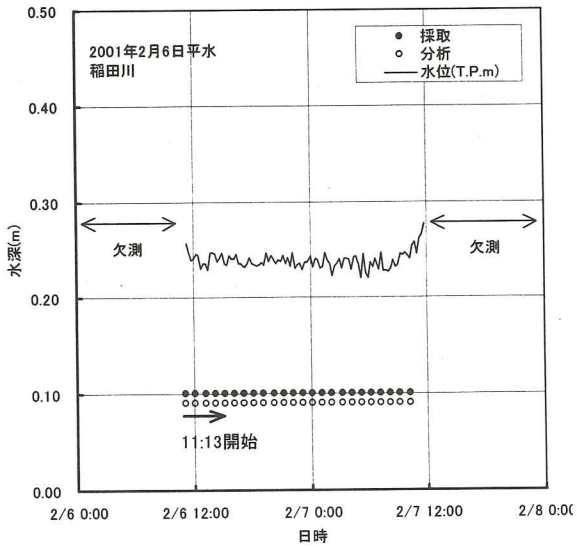


図-9.4.1(17) 2001.2.6 洪水観測、稲田川における採水状況と位況

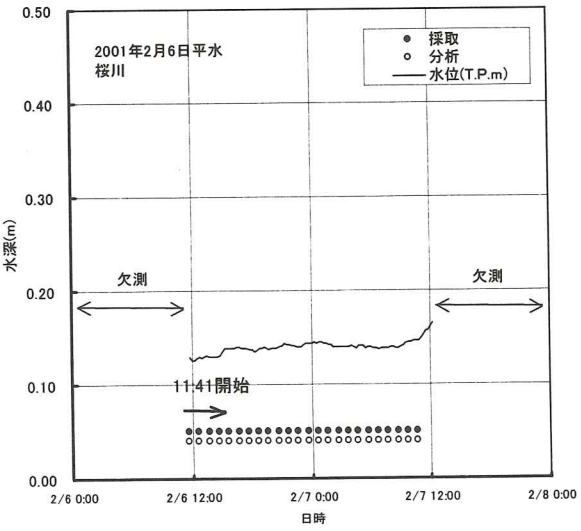


図-9.4.1(18) 2001.2.6 洪水観測、桜川における採水状況と位況

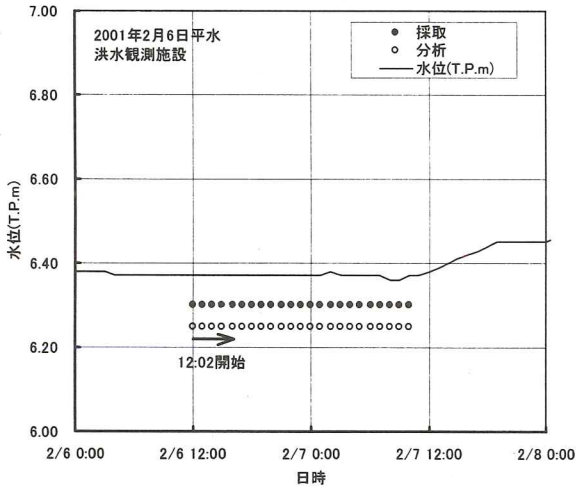


図-9.4.1(19) 2001.2.6 洪水観測、観測施設における採水状況と位況

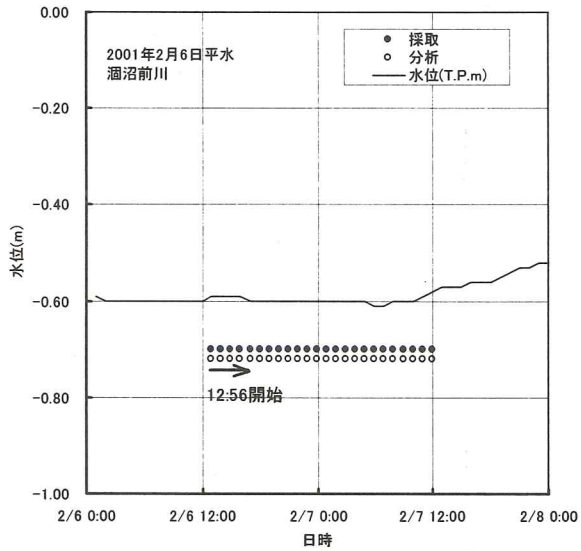


図-9.4.1(19) 2001.2.6 洪水観測、涸沼前川における採水状況と位況

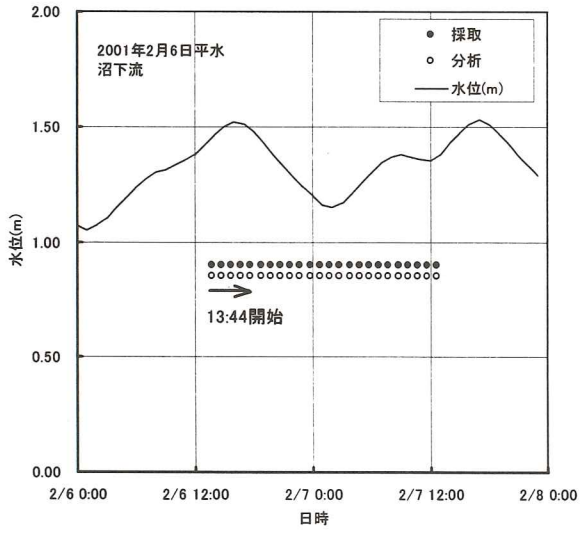


図-9.4.1(19) 2001.2.6 洪水観測、沼下流における採水状況と位況

図－9.4.2 に全サブ流域の観測を実施できた 1999 年 10 月 27 日洪水について、サブ流域（本川上流＋片庭川＋稲田川＋桜川）と 28.1km 地点の全リン(T-P)移動量を重ね合わせた物質移動量推移グラフを水位ハイドログラフとともに示す。ここで、両者の比較を容易にするため、サブ流域の経過時間は 28.1km まで到達した時の値とし、予想される洪水到達時間（28.1km からサブ流域までの距離/流速）を加味した（つまり、本川上流、稲田川、片庭川：16.4(km)/2(m/s)≒2.3 時間、桜川 3.0(km)/2(m/s)≒0.5 時間を本来の計測時刻に加えてある)。この T-P は各サブ流域の観測値を単純に加算したものであり、流下による拡散等は考慮していない。その結果、サブ流域の合計値と 28.1km 地点の観測値では、リン流出のピーク時刻はサブ流域の合計値の方が 2 時間程度早く出現し、そのピーク値は 28.1km の観測値より低いものの、その値の変化傾向はある程度一致している。ただし、サブ流域の合計値に対して、涸沼川洪水観測施設の観測値の方がピーク時か

ら減水期にかけて多い結果となっている。この理由としては、山地からの供給が主な土砂と異なり、平野部の残流域からの物質供給量も多いことを示しているものと考えられる。

以上から、流域スケールでの物質移動収支を検討する上では、少なくともリンについては細粒土砂の動態と同様に、水文学的な追跡手法により土砂同様にマップによる整理が可能であり、またサブ流域のみの観測によって下流側の物質移動をある程度把握できる。ただし、高い精度での物質動態把握が必要な場合や、サブ流域より下流地点に有意な物質生産源となる面源・点源負荷供給源を有する場合には、例えば涸沼川洪水観測施設における観測のように、対象区間の最下流点もしくは中間地点においても物質移動量の把握を試みることが必要であると考えられる。

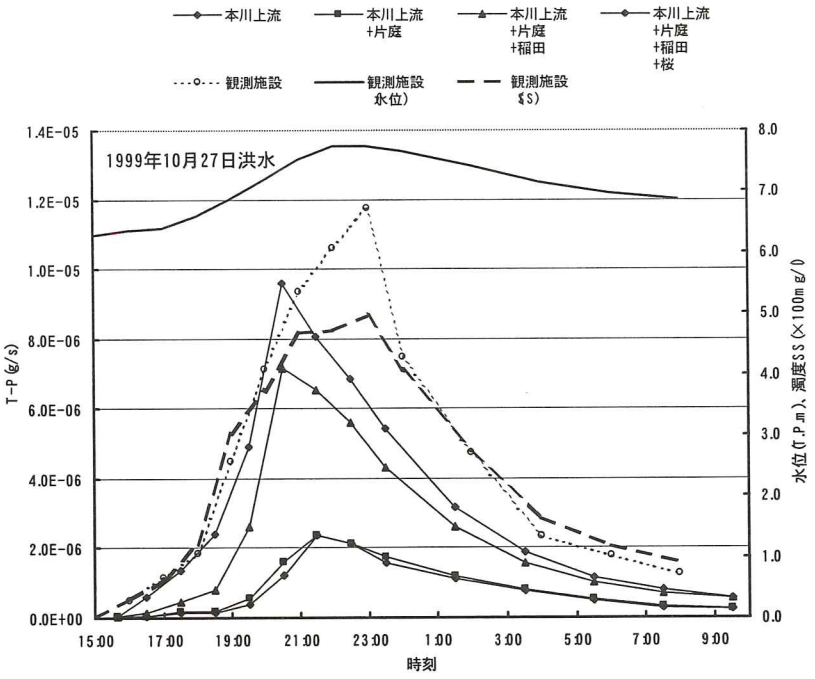
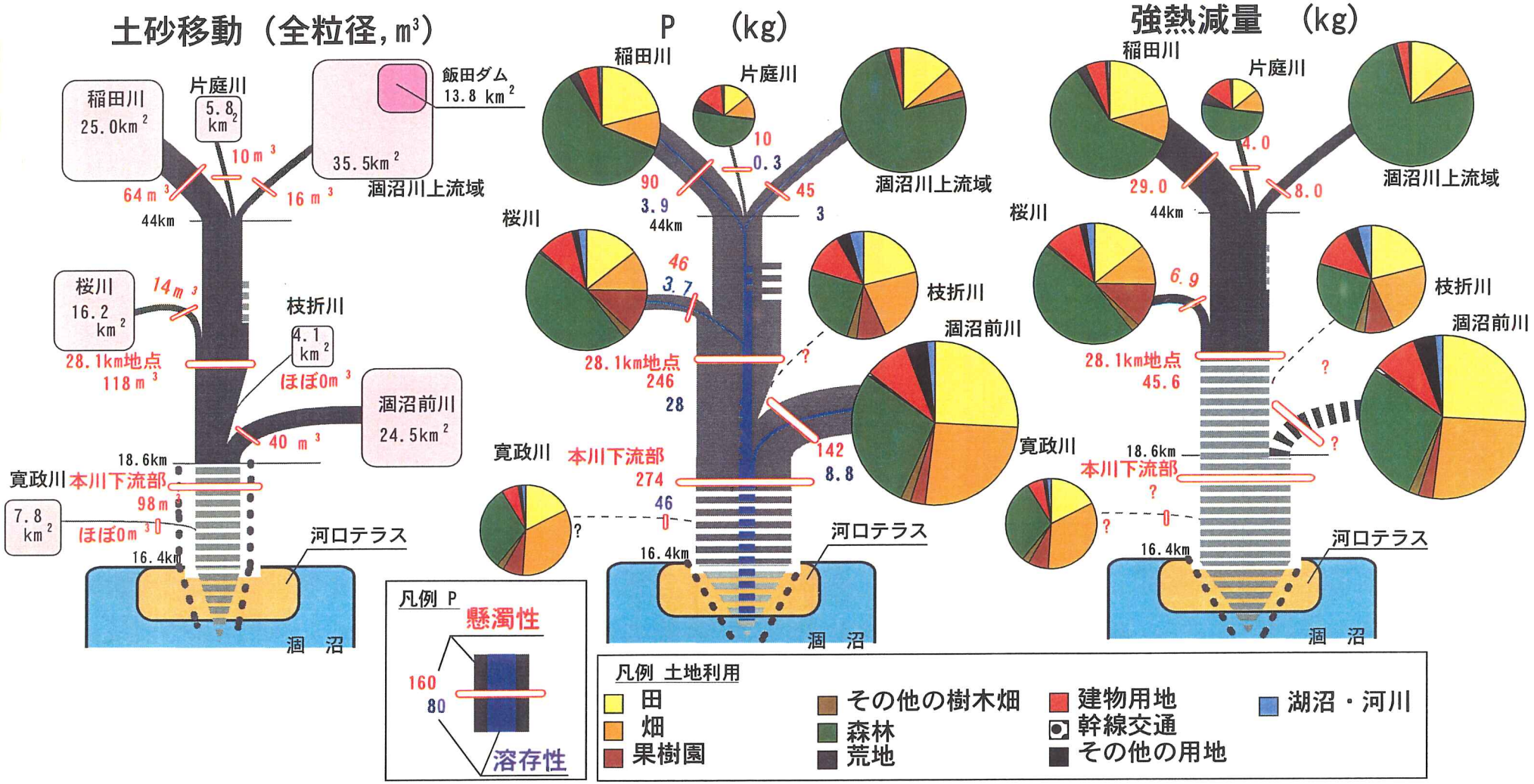


図-9.4.2 サブ流域と洪水観測施設における全リン移動量の比較

図－9.4.3は、1999.10.27洪水における土砂（SS)、リン、強熱減量についての物質動態マップを作成したものである。リンについては、懸濁態（P-P)と溶存態(D-P)の内訳も表示している。また、各サブ流域の土地利用形態の内訳も合わせて示した。サブ流域の合計と涸沼川洪水観測施設（28.1km）地点、涸沼川洪水観測施設（28.1km）と本川下流部の観測結果の間で収支が合わないものもあるが、概ね流域スケールの物質動態やその特徴が表現されている。特に、サブ流域からの供給比率が土砂と物質で全く異なっており、物質についてはサブ流域内の土地利用形態が大きく関係することがよくわかる。



図－9.4.3　1999.10.27洪水における物質移動マップ

(2)サブ流域毎の物質供給特性

図－9.4.4 に各観測地点における全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化をハイドログラフとともに示す。図より、各観測地点において全リン濃度(T-P)は SS 濃度とともに、概ね流量と同様の変化傾向を示している。洪水によっては（例えば 1999.10.29 洪水）流量と SS、T-P がヒステリシスを示す場合もある。これに対して溶存体リン濃度は流量の変化に関わらずほぼ一定の値であり、全リン濃度に占める割合は低い。以上から、涸沼川における洪水時のリンは主に懸濁体として輸送されていることが明らかとなった。

懸濁体リンについては、従来から SS との相関の高さが指摘されているところであるが、その相関関係がサブ流域の特性（土地利用形態など）毎にどのような差違を生じるのかについては明らかとなっていない点が多い。そこで、次に、サブ流域ごとの物質供給特性の違いについて検討を行う。**図－9.4.5** は、SS 濃度と懸濁態リン濃度(P-P)の関係を示したものである。図より、SS 濃度と懸濁体リン濃度(P-P)は高い相関を示すとともに、サブ流域によって、また洪水によってその関係は大きく異なる結果となった。

図－9.2.2 に示す土地利用形態との関係に着目すると、流域面積に対する耕作地の比率が高い涸沼前川の SS 濃度と懸濁態リン濃度(P-P)の関係の傾きが急である。つまり SS 濃度に占める懸濁態リン濃度(P-P)が高くなっている。一方、裸地の荒地が主な土砂供給源と考えられる稲田川、片庭川では傾きが緩い、つまり SS 濃度に占める懸濁態リン濃度 (P-P)が低くなっている。

また、洪水による違いは、いずれのサブ流域においても、1999.10.27 洪水より、2000.7.26 洪水の方が傾きが急である。つまり SS 濃度に占める懸濁態リン濃度(P-P)が高かった。この理由として、①気温の上昇に起因する細菌類の活性化による分解活動と排出量の増加、②例えば耕作地における施肥などの人為的要因による排出量の増加等が考えられる。サブ流域別に見ると、稲田川や片庭川などの比較的耕作地よりも採石場のような土砂供給の面でインパクトを与えるような流域は、他のサブ流域と比較して洪水による傾きの違いは小さい傾向にある。

以上の結果から、各サブ流域からの供給土砂は、流域状況によって、また洪水（季節）によって、仮に同じ供給土砂量でも懸濁態リンの輸送量に差違を生じさせることが明らかとなった。今後の湖沼や高水敷等への物質供給の実態把握、機構解明の上で水系スケールの土砂・物質動態把握は重要であるといえる。

図－9.4.6 には、強熱減量(IL)についても同様の比較を行った。すると、やはり 2000 年 7 月 25 日の方が傾きが急になる傾向にあるが、懸濁態リン(P-P)ほど、流域状況による明確な違いは生じていない。

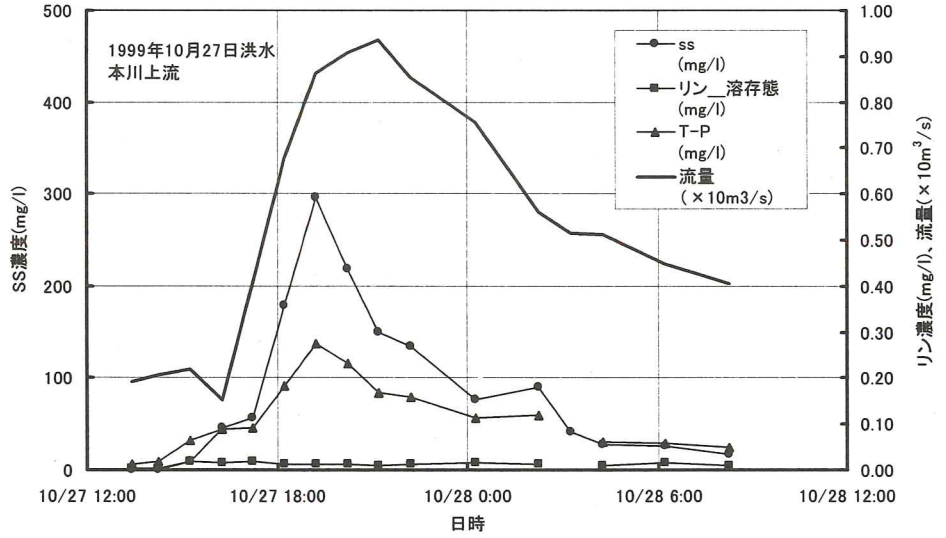


図-9.4.4(1) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化

(1999.10.27 洪水観測、本川上流)

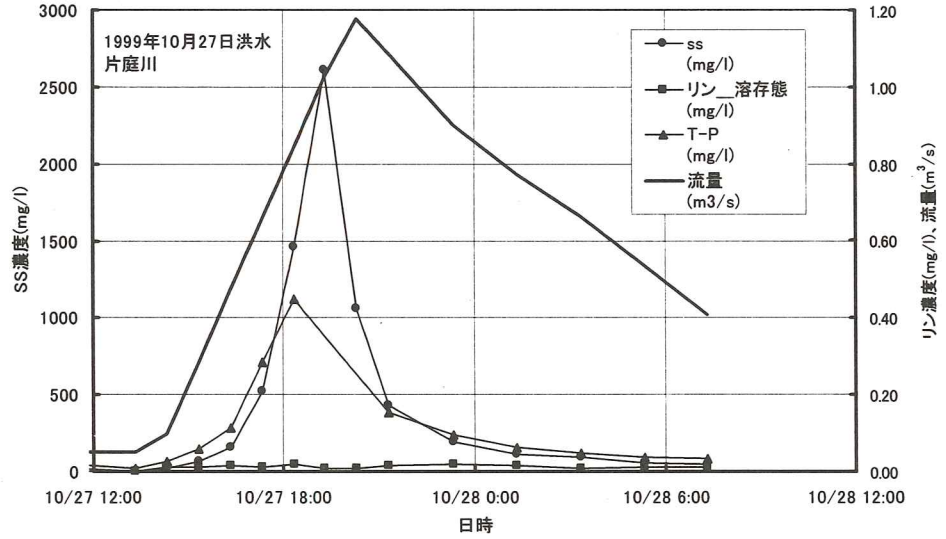


図-9.4.4(2) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化

(1999.10.27 洪水観測、片庭川)

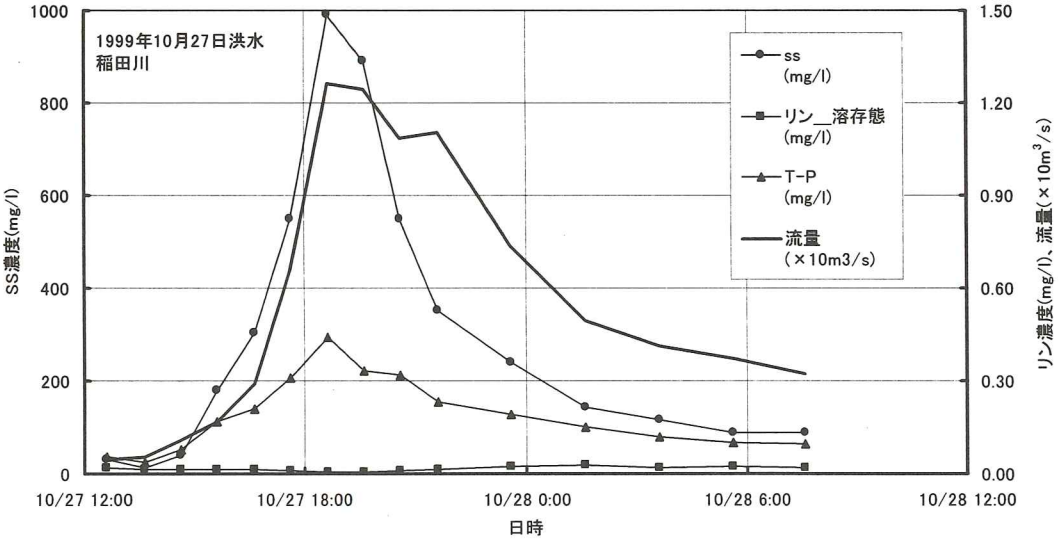


図-9.4.4(3) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化

(1999.10.27 洪水観測、稲田川)

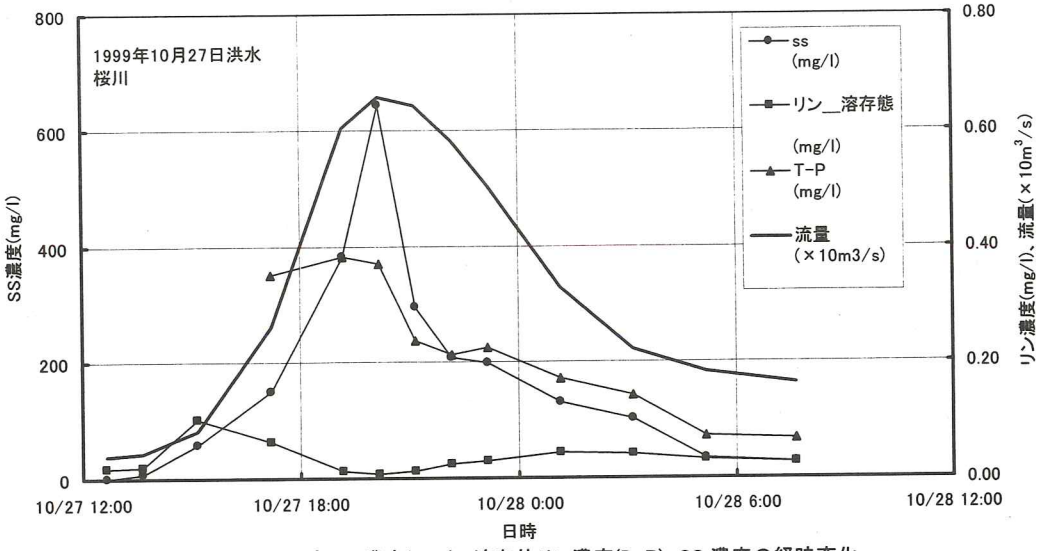


図-9.4.4(4) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化

(1999.10.27 洪水観測、桜川)

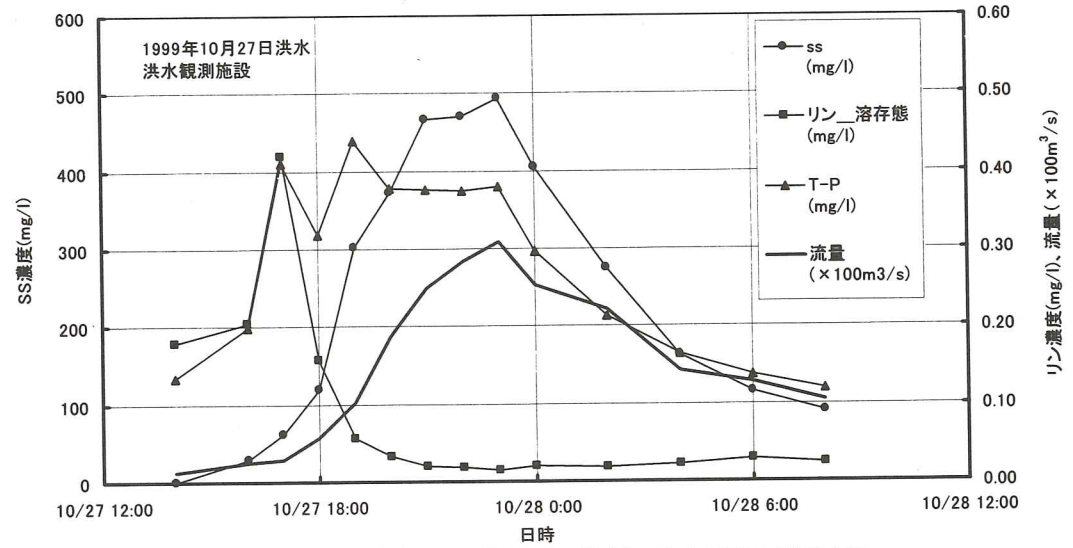


図-9.4.4(5) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化

(1999.10.27 洪水観測、洪水観測施設)

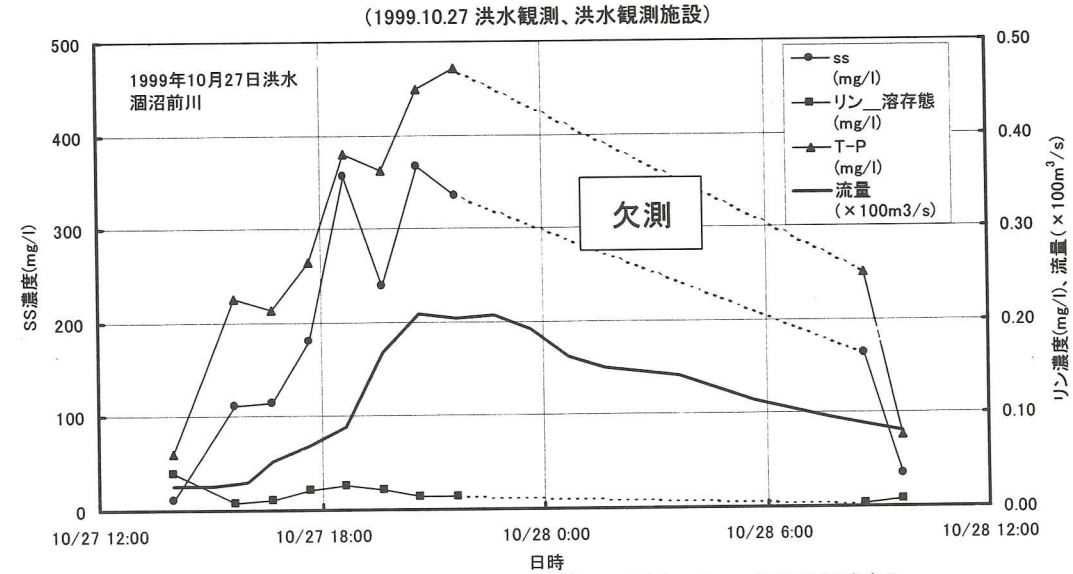


図-9.4.4(6) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化

(1999.10.27 洪水観測、涸沼前川)

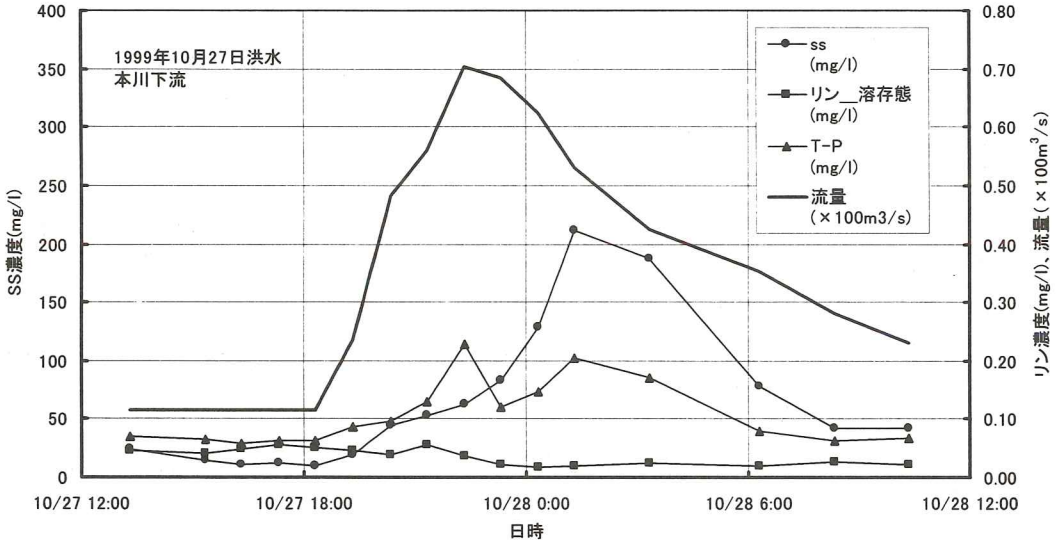


図-9.4.4(7) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化

(1999.10.27 洪水観測、本川下流)

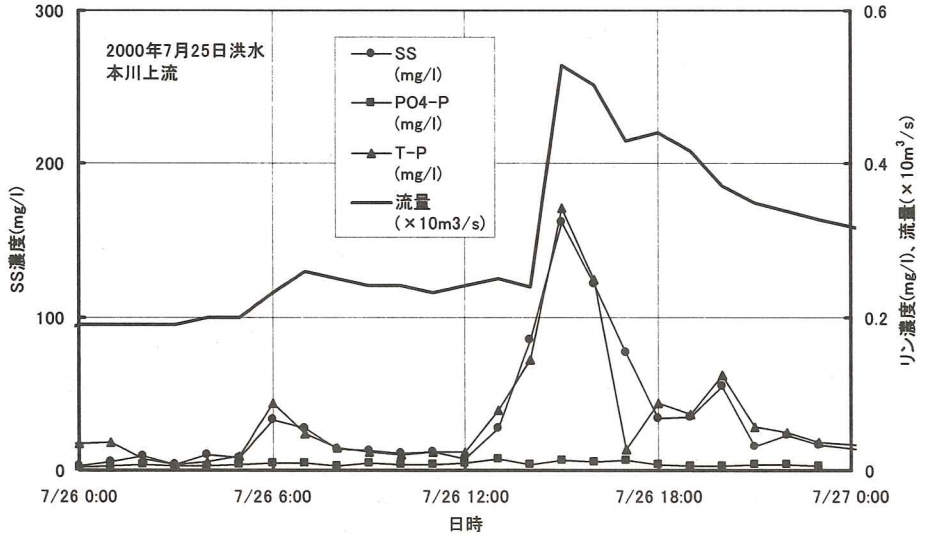


図-9.4.4(8) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化

(2000.7.25 洪水観測、本川上流)

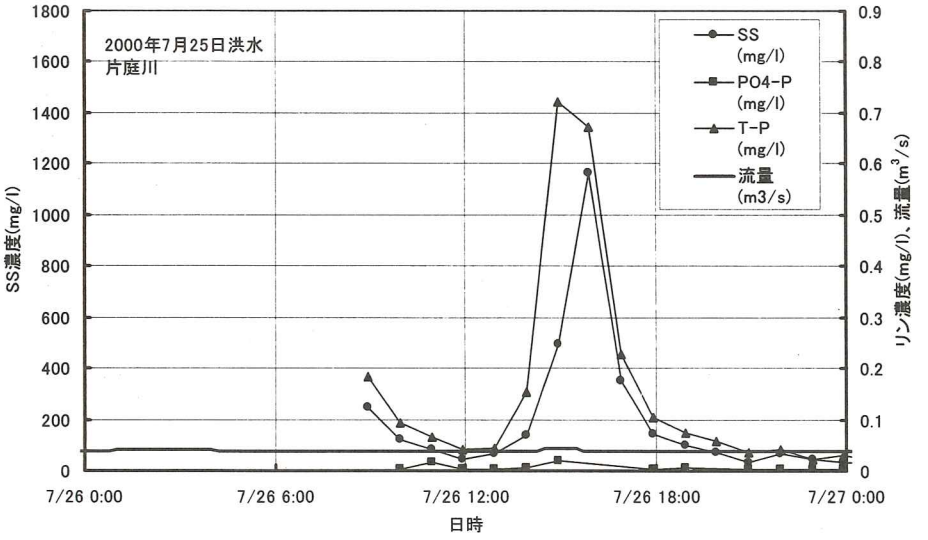


図-9.4.4(9) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化

(2000.7.25 洪水観測、片庭川)

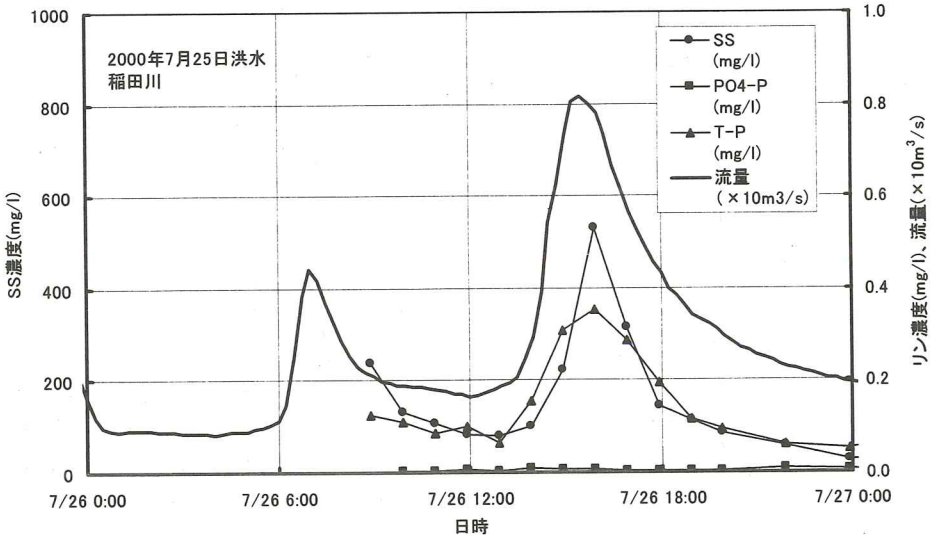


図-9.4.4(10) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化

(2000.7.25 洪水観測、稲田川)

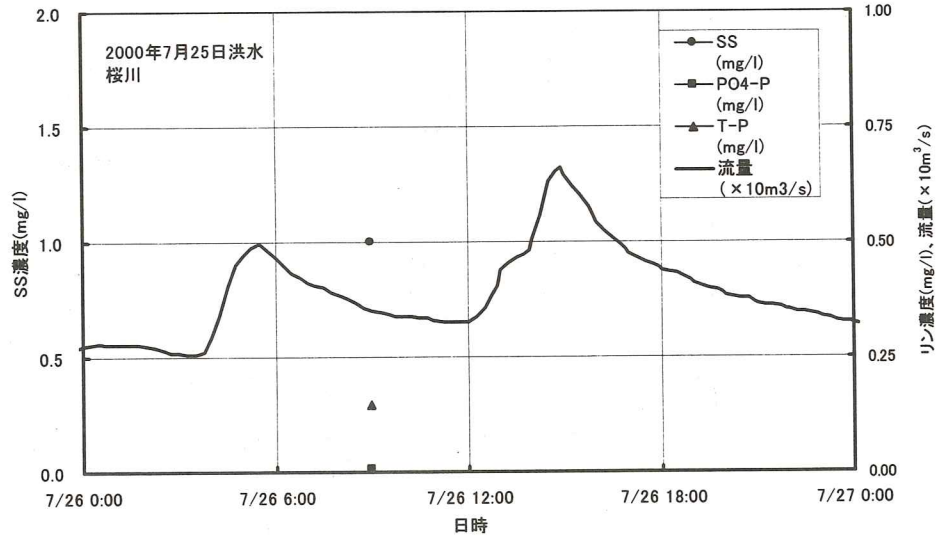


図-9.4.4(11) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化

(2000.7.25 洪水観測、桜川)

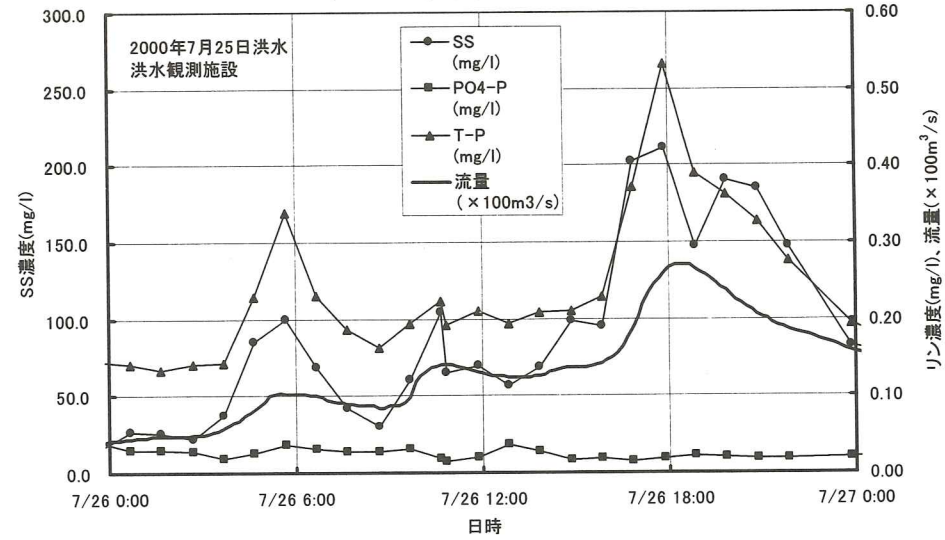


図-9.4.4(12) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化

(2000.7.25 洪水観測、洪水観測施設)

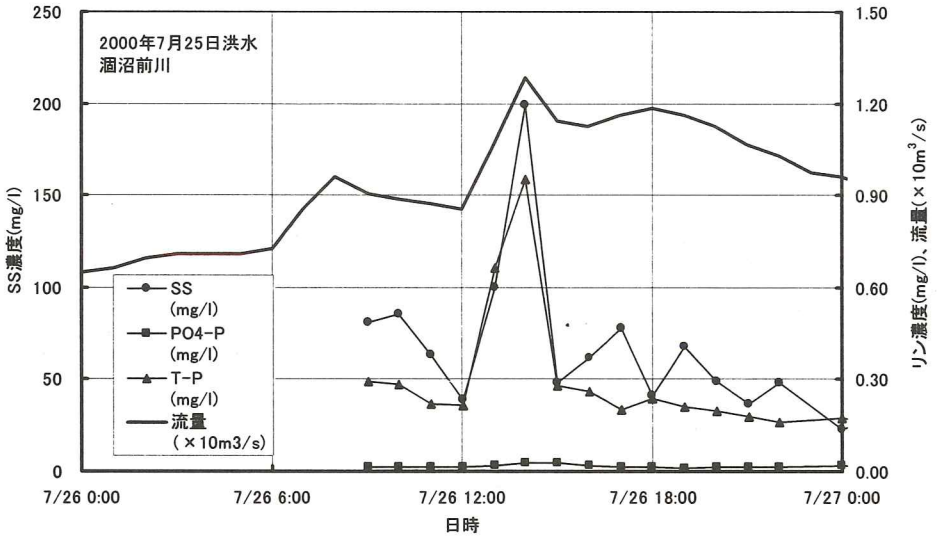


図-9.4.4(13) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化

(2000.7.25 洪水観測、涸沼前川)

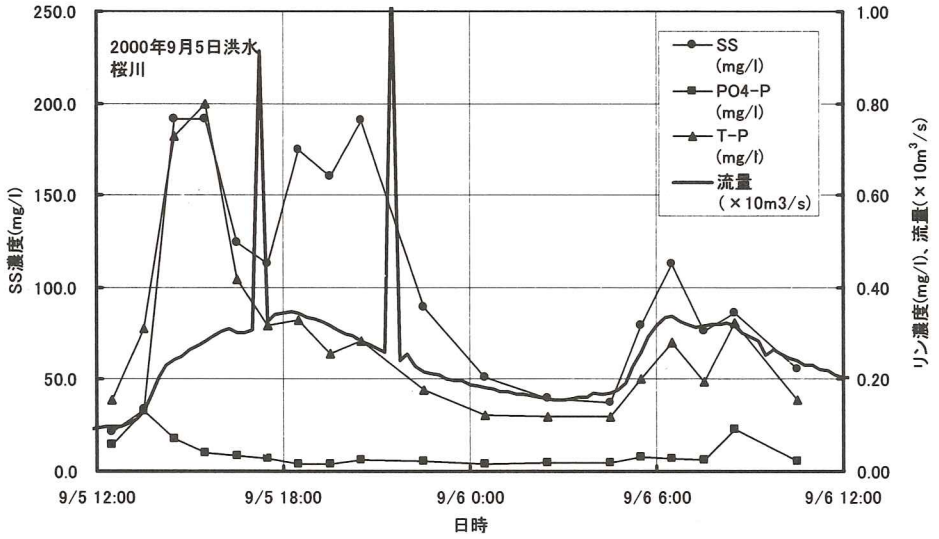


図-9.4.4(14) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化

(2000.9.5 洪水観測、桜川)

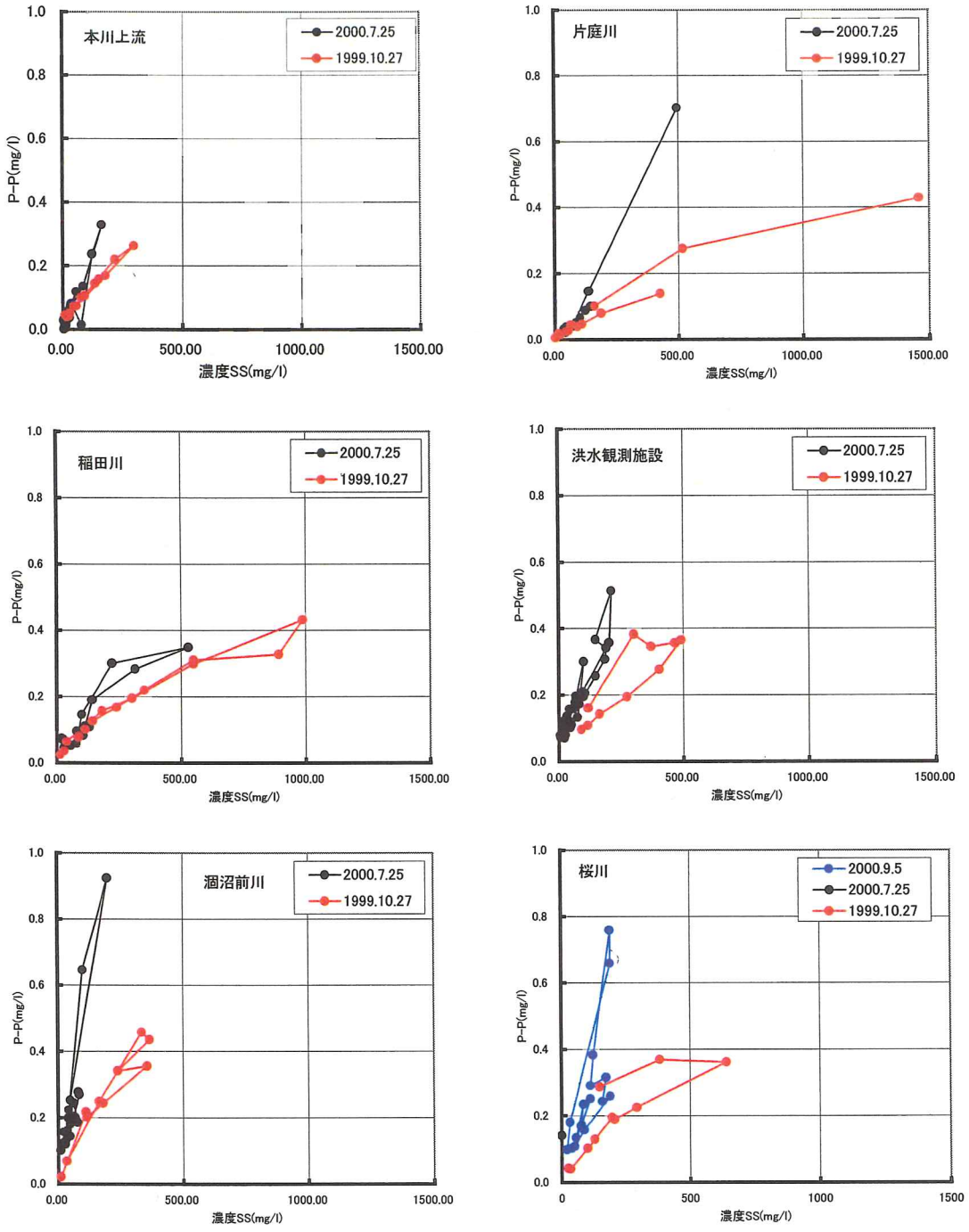
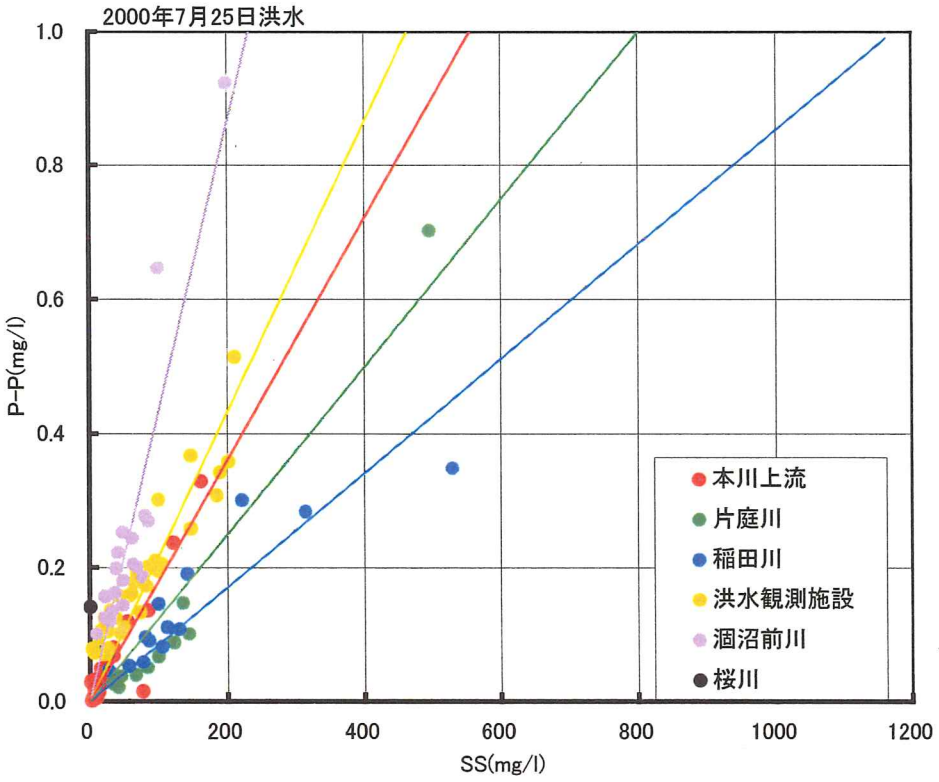


図-9.4.5(1) 濃度 SS と懸濁体リン(P-P)の関係(流域別)



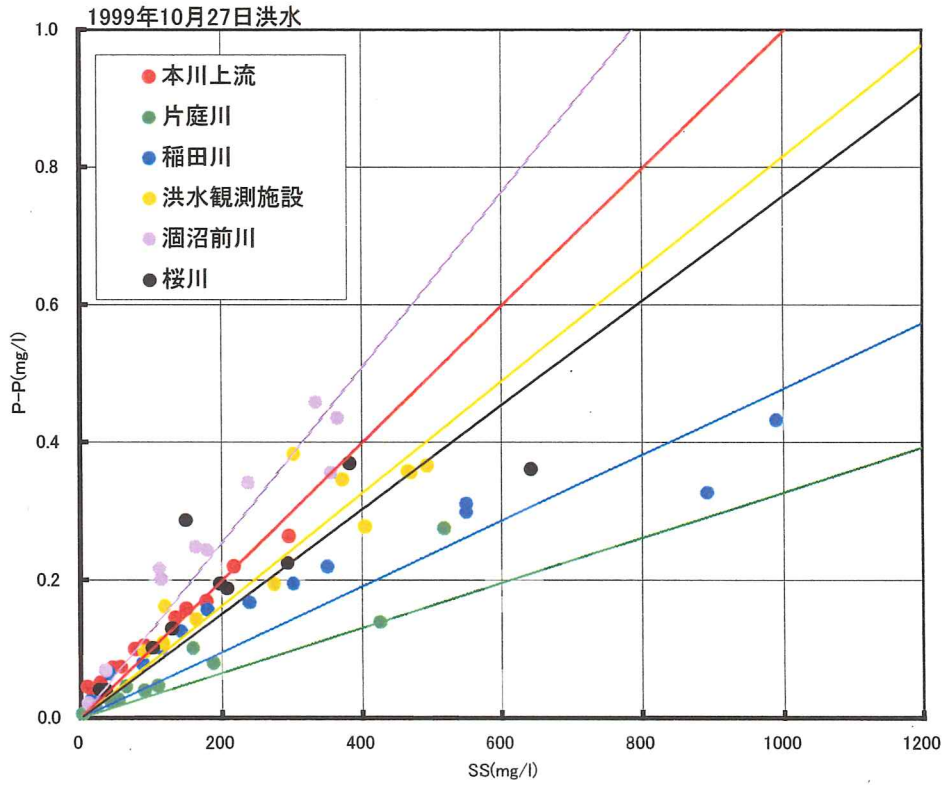


図-9.4.5(2) 濃度 SS と懸濁体リン(P-P)の関係(洪水別)

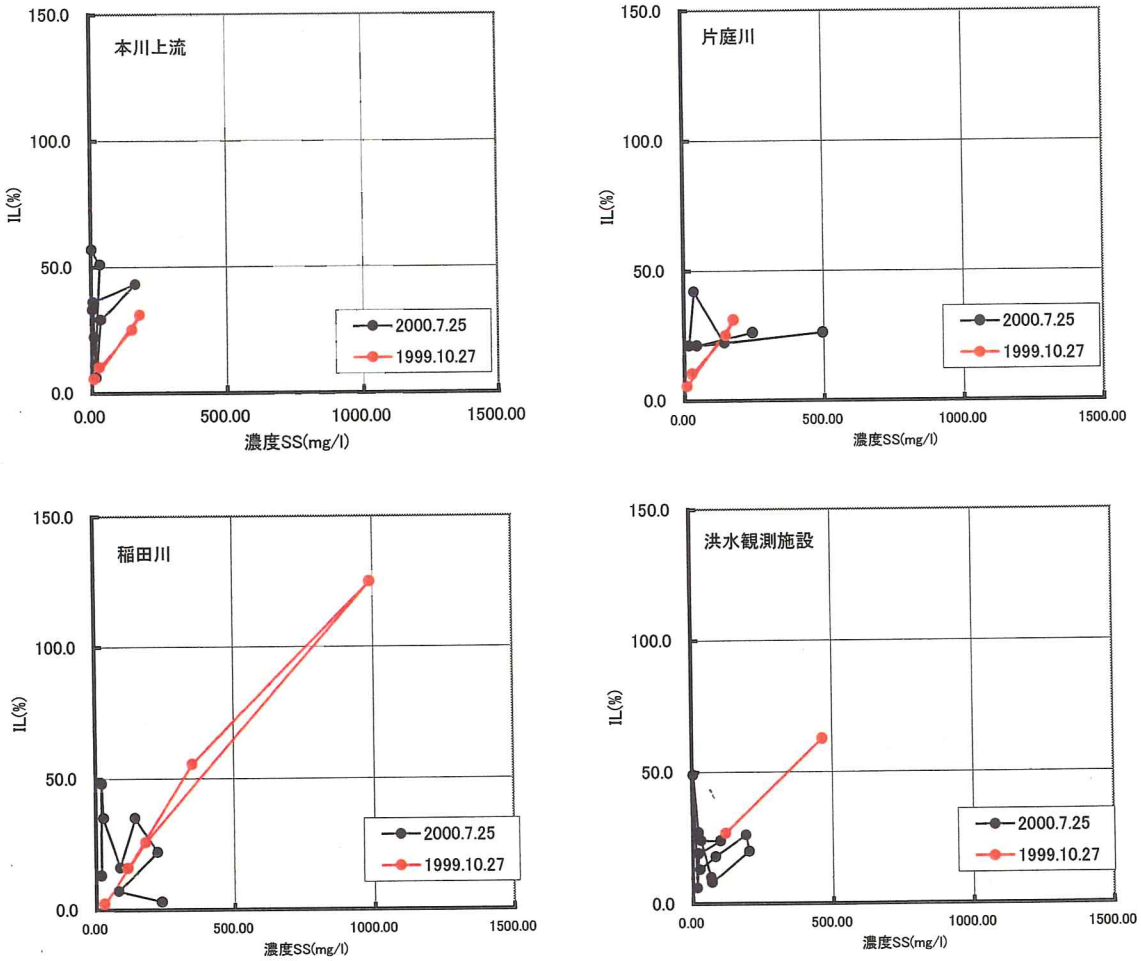


図-9.4.6(1) 濃度 SS と強熱減量(IL)の関係(流域別)

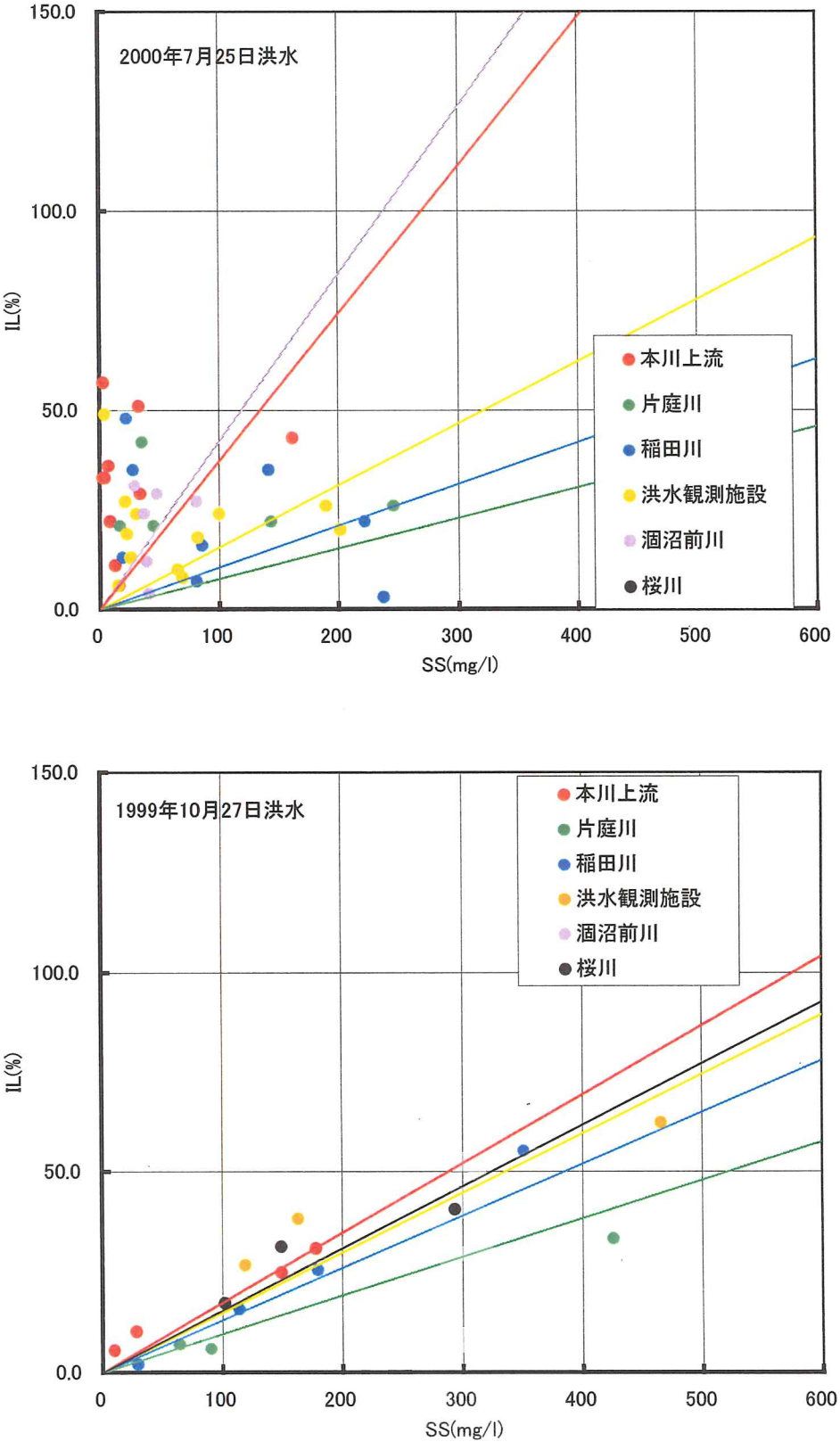


図-9.4.6(2) 濃度 SS と強熱減量(IL)の関係(洪水別)

次に窒素(NH_4-N、NO_2-N、NO_3-N、T-N)濃度の経時変化についてもリンと同様にハイドログラフと比較できるよう**図－9.4.7**に整理した。**図－9.4.8**には、窒素(NH_4-N、NO_2-N、NO_3-N、P-N)濃度とSS濃度の関係を整理した。ここで、懸濁態窒素（P-N）は、全窒素（T-N）濃度から溶存態窒素濃度(NH_4-N、NO_2-N、NO_3-Nの合計）を差し引いて算出している。両図から、溶存体成分のうち、NH_4-N、NO_2-Nについてはその濃度は非常に小さいこと、これに対しNO_3-Nの濃度は高くT-Nと同オーダーを占めていること、NO_3-N濃度は流量が変化してもあまり変化しないこと、懸濁態窒素（P-N）濃度はSS濃度と相関がありそうなことがわかる。これらは従来指摘されているものとほぼ一致する結果であった。

図－9.4.9は、SSと懸濁態窒素(P-N)の相関関係をサブ流域間で比較した結果である。図から、SSと懸濁態窒素(P-N)の相関関係はサブ流域によって大きく異なり、サブ流域による傾きの大きさ（SS濃度に占める懸濁態窒素濃度(P-N)の大きさ）の違いの傾向は、涸沼前川で傾きが急となり、片庭川と稲田川で傾きが緩くなる傾向は懸濁態リンのそれとほぼ同じである。これは、SS削減対策を行った時に得られる懸濁態栄養塩負荷の削減効果の大きさは、リンも窒素も同じ程度あることを意味している。しかし、窒素の場合には溶存態のNO_3-Nの濃度（負荷量）が大きいことから、窒素負荷の総量を削減するためにはNO_3-N負荷の削減対策が重要であることがリンとの大きな違いである。しかも、NO_3-N濃度は流量によってあまり変化しないため、平水時における削減対策も重要となろう。

2001年2月6日に行った平常時観測の濁度(SS)、全リン(T-P)、溶存態リン(PO_4-P)と窒素(NH_4-N、NO_2-N、NO_3-N、T-N)濃度の経時変化を流量ハイドログラフとともに**図－9.4.10**と**図－9.4.11**に示す。また、**図－9.4.12**には各サブ流域のSS濃度と懸濁態リン(P-P)の関係を示す。**図－9.4.13**にはSS濃度と強熱減量(IL)の関係を示す。さらに、**図－9.4.14**には窒素(NH_4-N、NO_2-N、NO_3-N、P-N)濃度とSS濃度の関係を整理した。**図－9.4.15**は、濁度(SS)と懸濁態窒素(P-N)の相関関係をサブ流域間で比較した結果である。**図－9.4.5**に示した洪水時のSS濃度と懸濁態リン(P-P)の関係と**図－9.4.12**に示す平常時のSS濃度と懸濁態リン(P-P)の関係を比較すると、平常時の方が傾きが急であることがわかる。これは、平水時には、SS濃度に占める懸濁態リン(P-P)の割合が高くなることを示している。しかし、懸濁態リン濃度の値は主に0.1mg/l以下と小さい。また、平水時におけるサブ流域の傾向について明確な違いはみられなかった。このリン濃度の傾向は**図－9.4.6**と**図－9.4.13**に示す強熱減量(IL)においても見られる。

さらに、洪水時と平水時における窒素(NH_4-N、NO_2-N、NO_3-N、P-N)濃度を示す**図－9.4.8**と**図－9.4.14**および**図－9.4.15**から、窒素(NH_4-N、NO_2-N、NO_3-N、P-N)濃度のSSに対する傾きは、サブ流域・洪水毎に異なっており、SSと窒素(NH_4-N、NO_2-N、NO_3-N、P-N)濃度の関係を把握できなかった。しかし、窒素(NH_4-N、NO_2-N、NO_3-N、P-N)濃度のオーダーは洪水時と平水時でほぼ同じである。また、懸濁態窒素(P-N)については、平常時でも涸沼前川の傾きが急であり、それに次いで本川上流と洪水観測施設の傾きが急であり、片庭川の傾きが一番緩くなる傾向は洪水時と同様である。これより、流域の土地利用形態が懸濁態窒素(P-N)に関連していること考えられる。

今後、流域スケールでの栄養塩負荷管理対策を考えるためには、年間の流域物質動態を把握した上で考えることが効果的と考えられる。そのためにも、年間の物質動態観測は重要と考えられる。

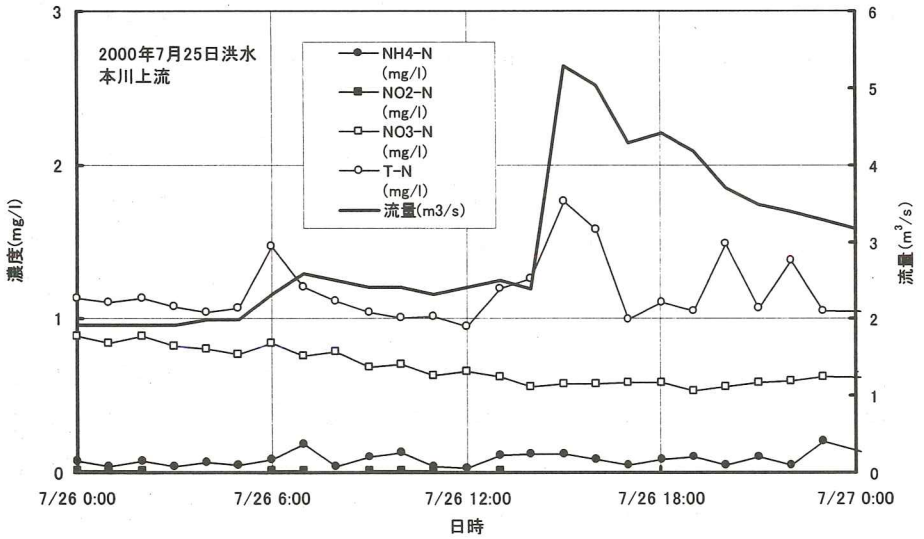


図-9.4.7(1) 窒素(NH_4-N,NO_2-N,NO_3-N,T-N)濃度の経時変化(2000.7.25 洪水観測、本川上流)

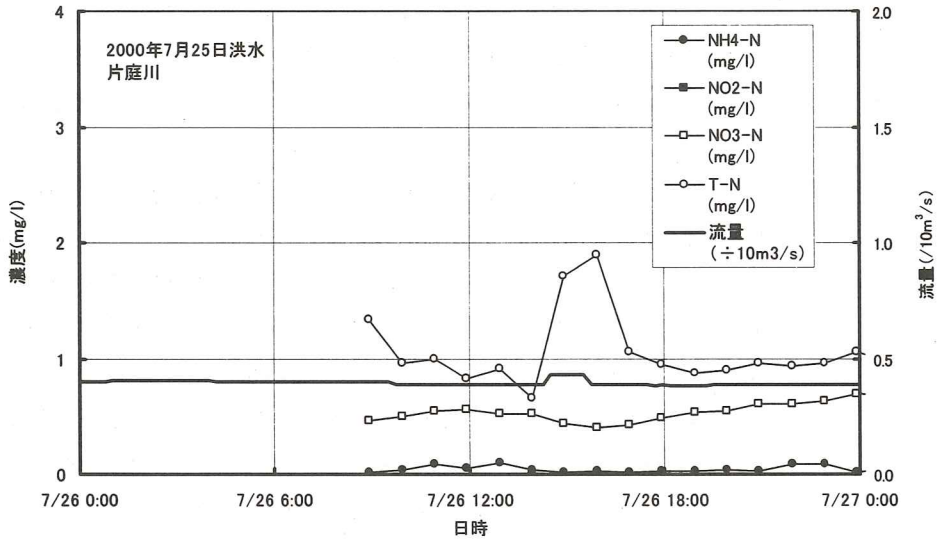


図-9.4.7(2) 窒素(NH_4-N,NO_2-N,NO_3-N,T-N)濃度の経時変化(2000.7.25 洪水観測、片庭川)

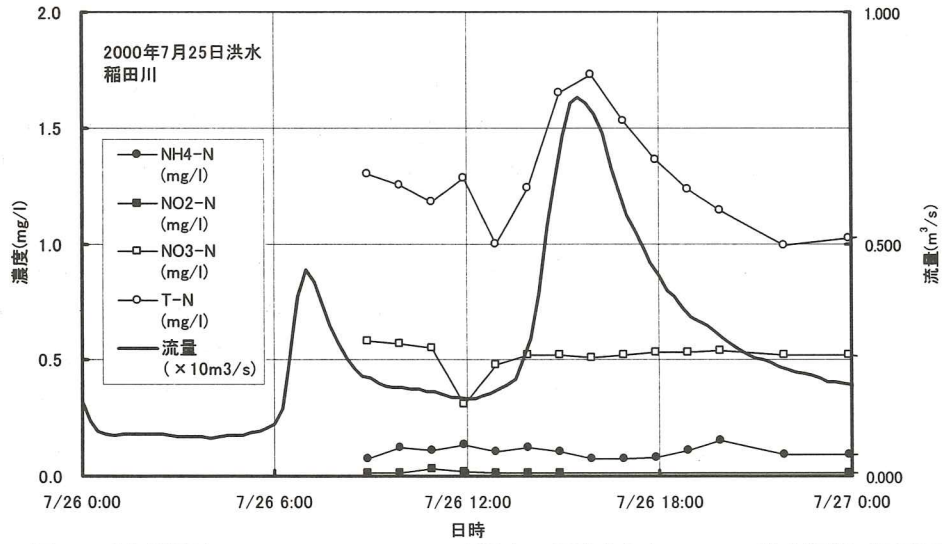


図-9.4.7(3) 窒素(NH_4-N,NO_2-N,NO_3-N,T-N)濃度の経時変化(2000.7.25 洪水観測、稲田川)

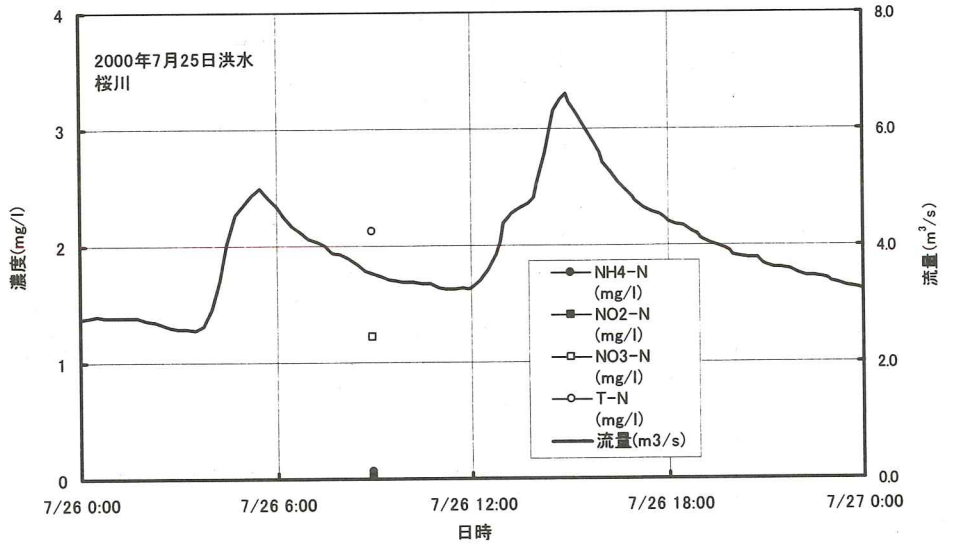


図-9.4.7(4) 窒素(NH_4-N,NO_2-N,NO_3-N,T-N)濃度の経時変化(2000.7.25 洪水観測、桜川)

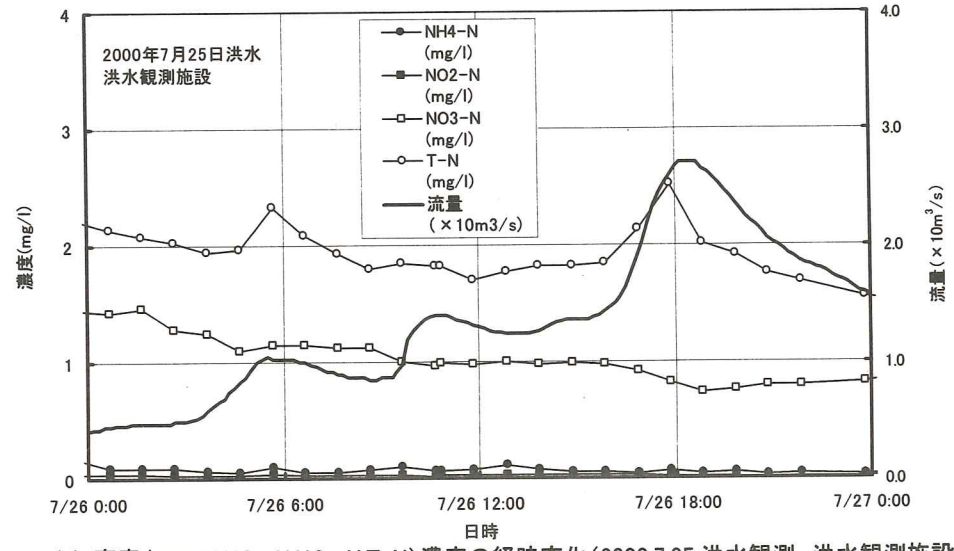


図-9.4.7(5) 窒素(NH_4-N,NO_2-N,NO_3-N,T-N)濃度の経時変化(2000.7.25 洪水観測、洪水観測施設)

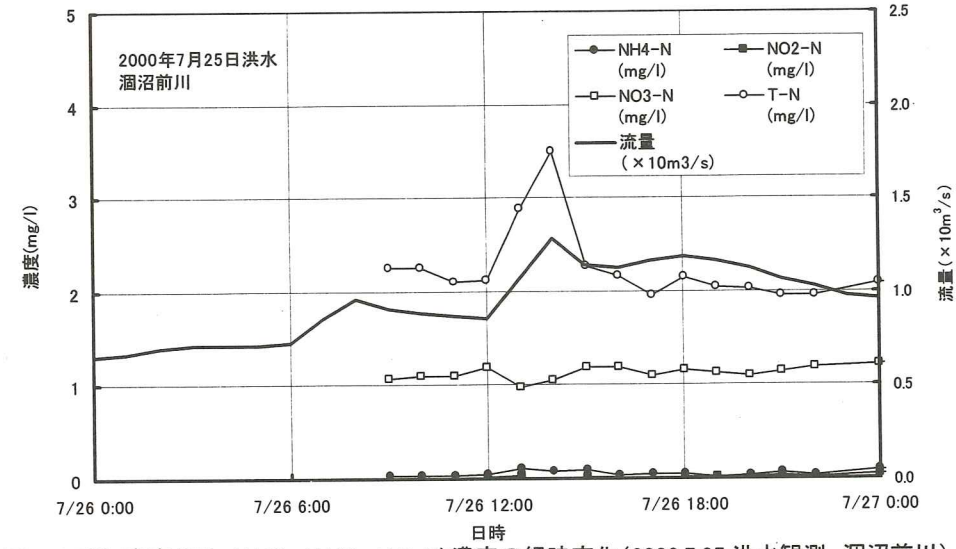


図-9.4.7(6) 窒素(NH_4-N,NO_2-N,NO_3-N,T-N)濃度の経時変化(2000.7.25 洪水観測、涸沼前川)

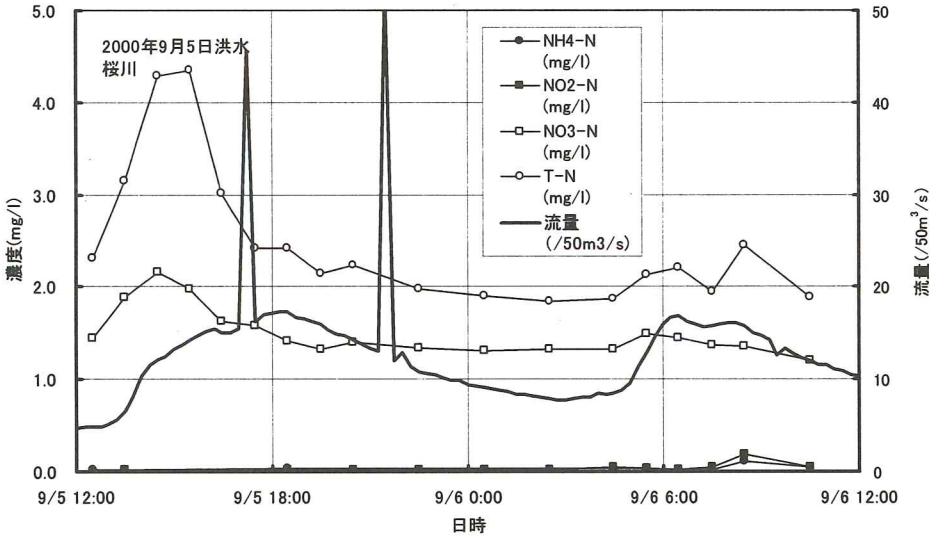
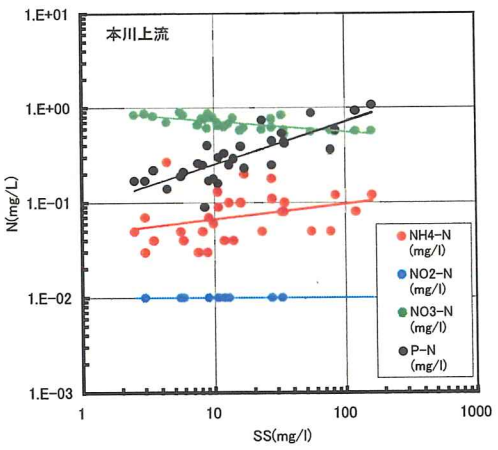
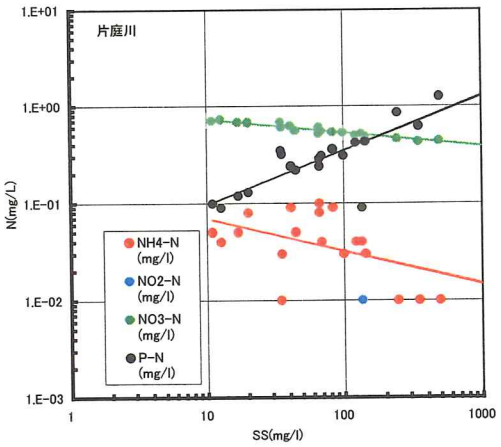
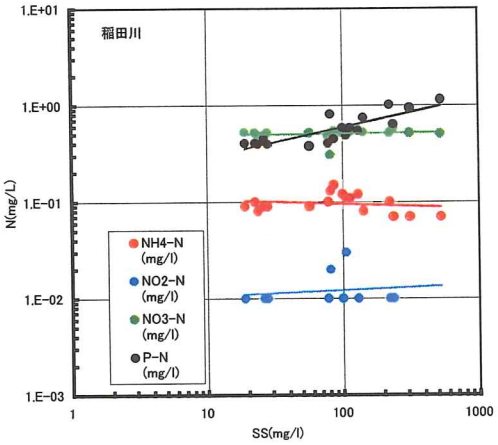
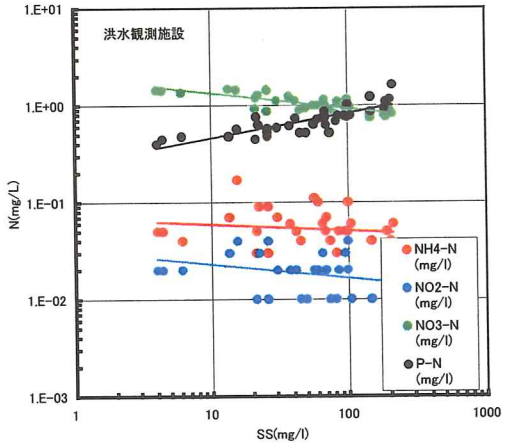


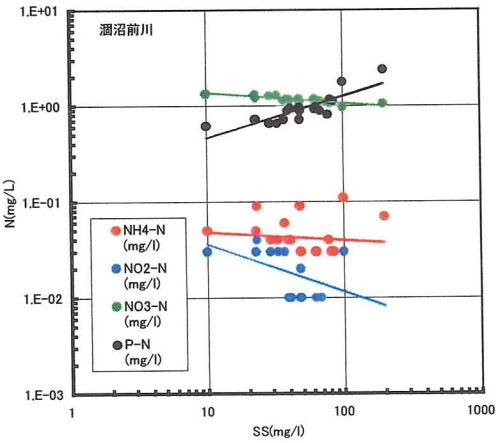
図-9.4.7(7) 窒素(NH_4-N,NO_2-N,NO_3-N,T-N)濃度の経時変化(2000.9.5 洪水観測、桜川)

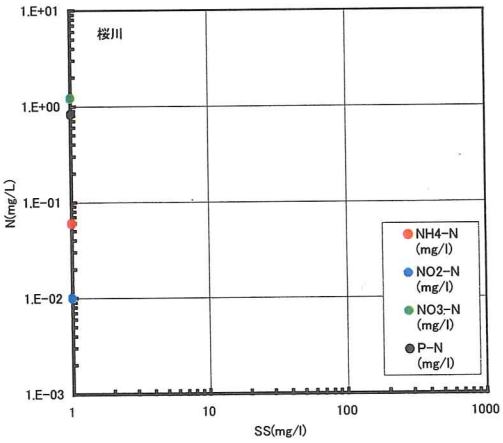












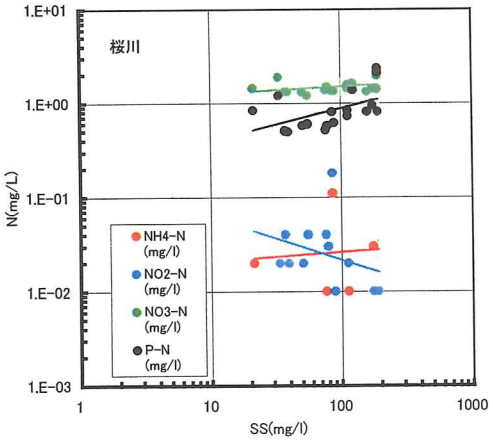
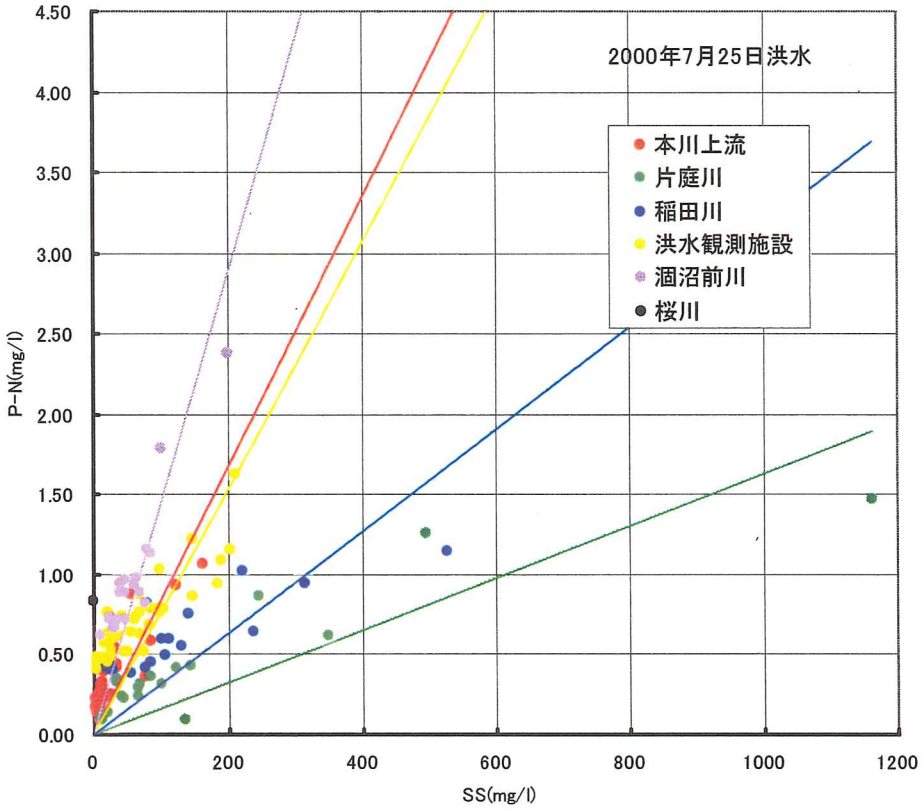


図-9.4.8 濃度 SS と窒素
(NH_4-N,NO_2-N,NO_3-N,T-N) 濃度の関係



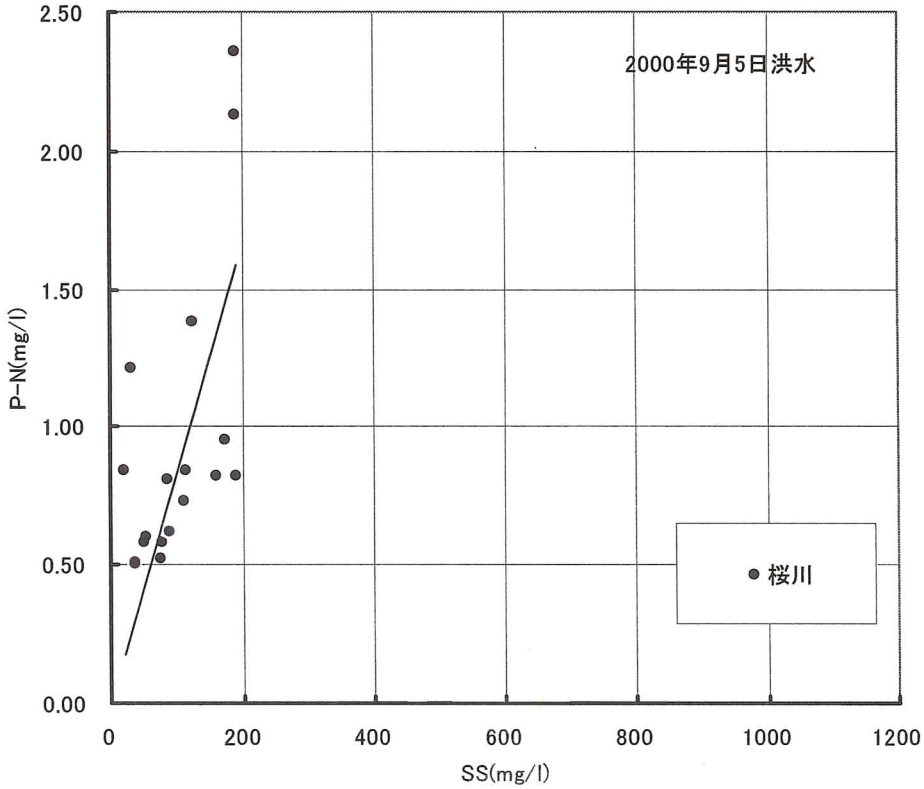


図-9.4.9 濃度 SS と懸濁体窒素(P-N)濃度の関係(小流域別)

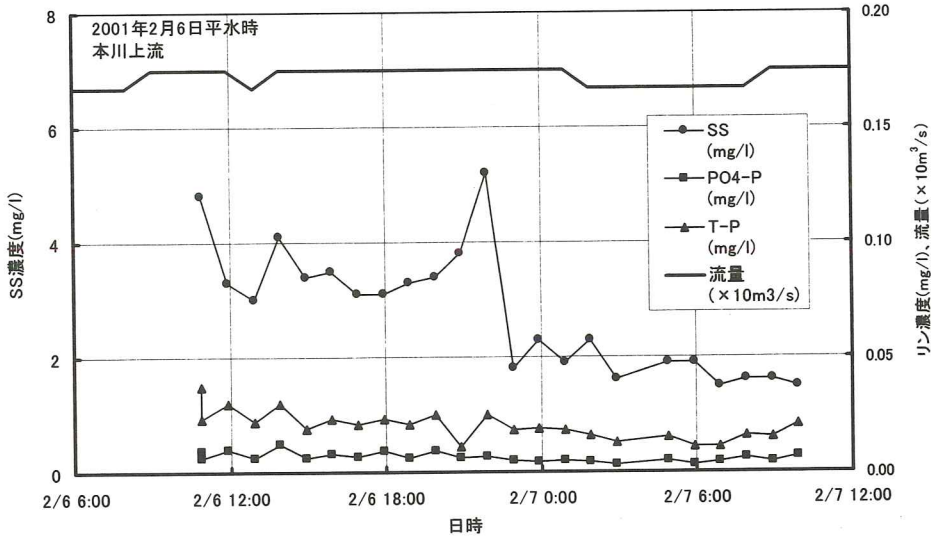


図-9.4.10(1) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化(2001.2.6 平水観測、本川上流)

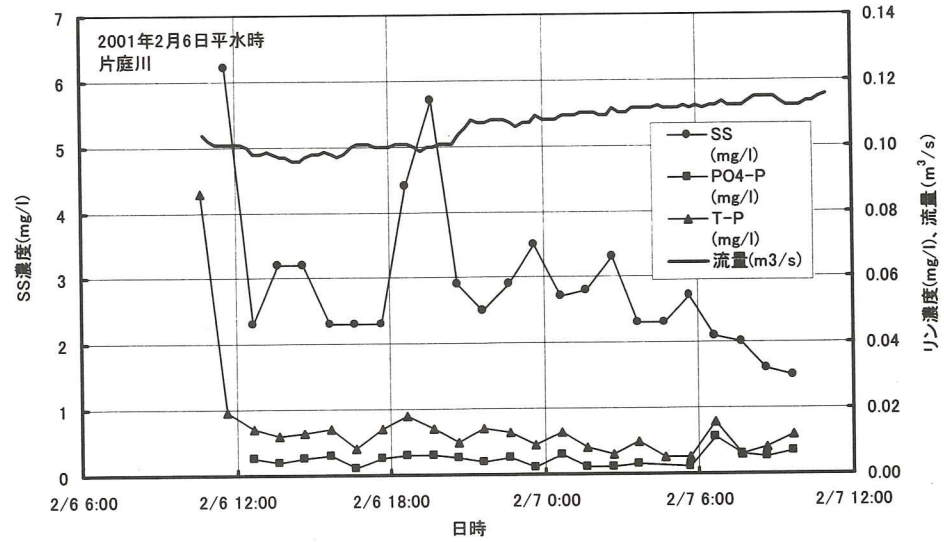


図-9.4.10(2) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化(2001.2.6 平水観測、片庭川)

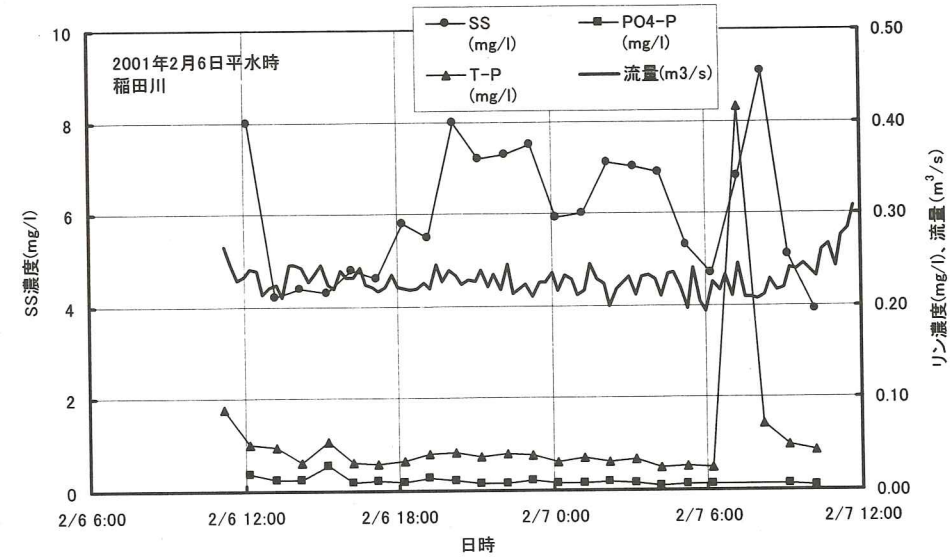


図-9.4.10(3) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化(2001.2.6 平水観測、稲田川)

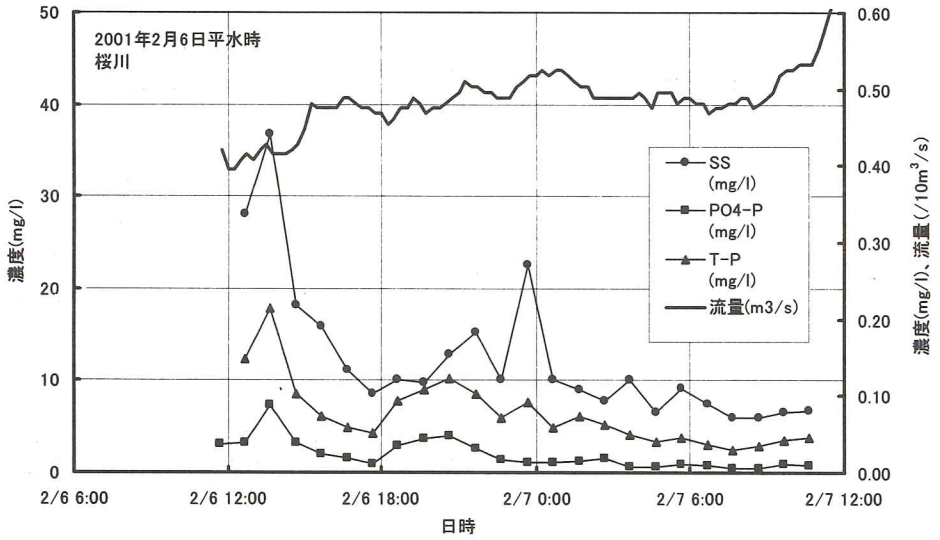


図-9.4.10(4) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化(2001.2.6 平水観測、桜川)

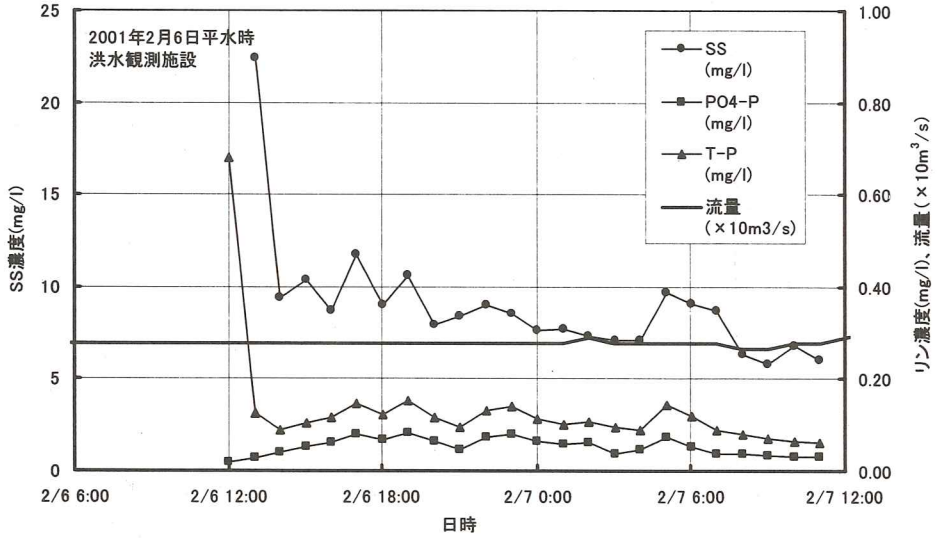


図-9.4.10(5) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化(2001.2.6 平水観測、洪水観測施設)

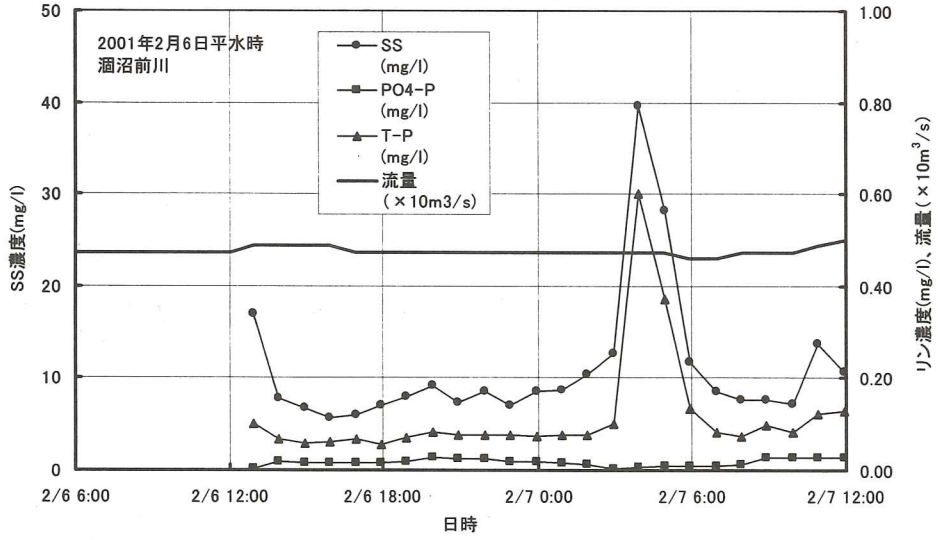


図-9.4.10(6) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化(2001.2.6 平水観測、涸沼前川)

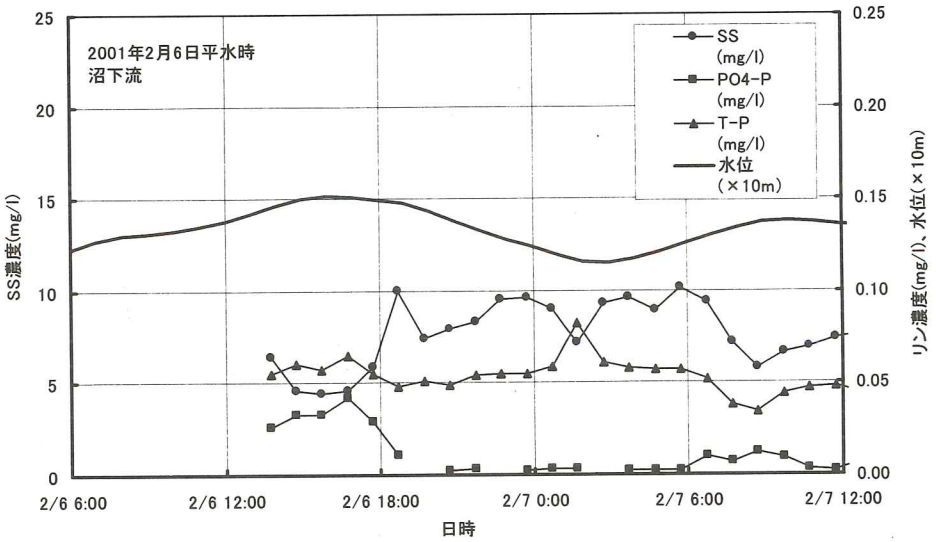


図-9.4.10(7) 全リン濃度(T-P)、溶存体リン濃度(D-P)、SS 濃度の経時変化(2001.2.6 平水観測、沼下流)

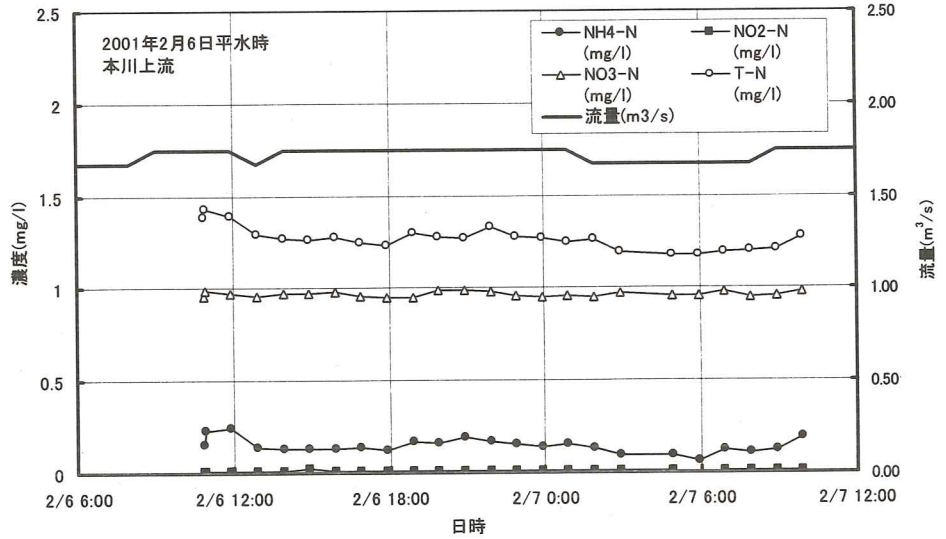


図-9.4.11(1) 窒素(NH_4-N,NO_2-N,NO_3-N,T-N)濃度の経時変化(2001.2.6 洪水観測、本川上流)

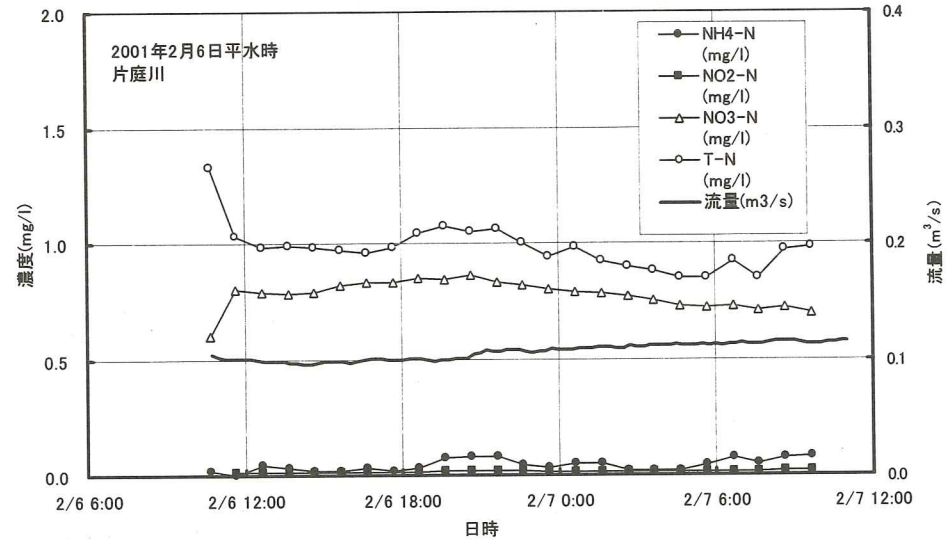


図-9.4.11(2) 窒素(NH_4-N,NO_2-N,NO_3-N,T-N)濃度の経時変化(2001.2.6 洪水観測、片庭川)

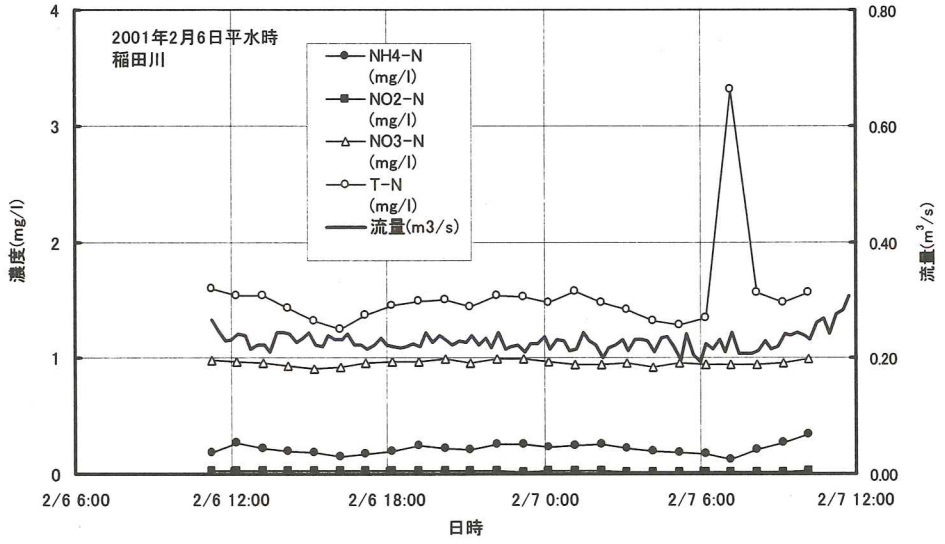


図-9.4.11(3) 窒素(NH_4-N,NO_2-N,NO_3-N,T-N)濃度の経時変化(2001.2.6 洪水観測、稲田川)

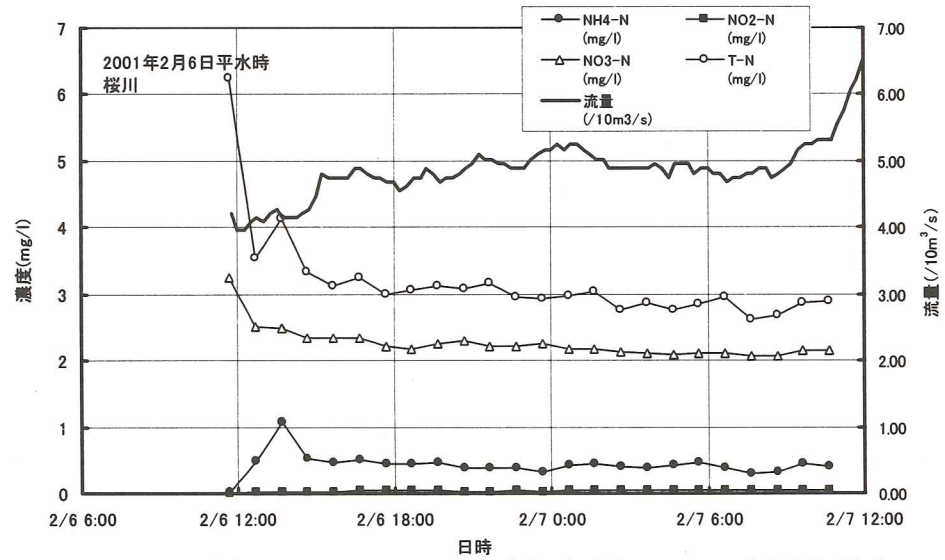


図-9.4.11(4) 窒素(NH_4-N,NO_2-N,NO_3-N,T-N)濃度の経時変化(2001.2.6 洪水観測、桜川)

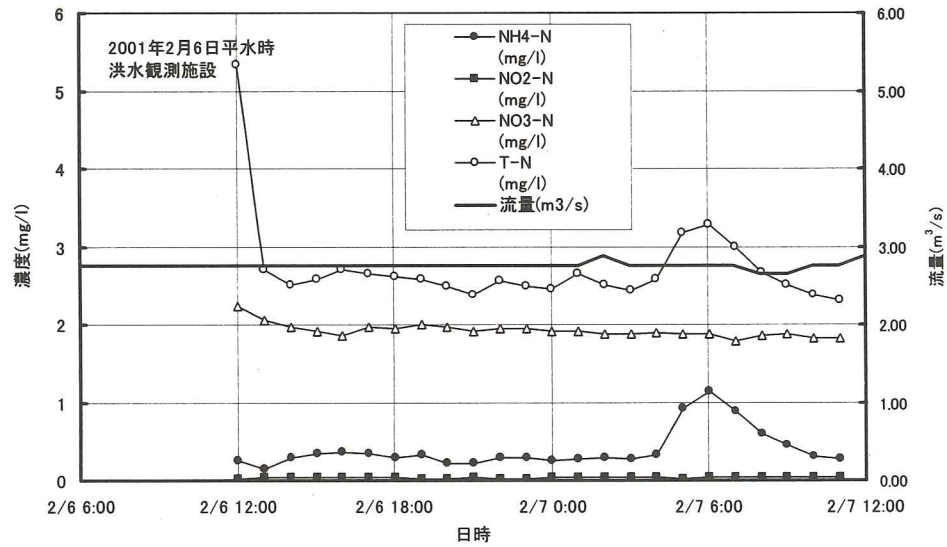


図-9.4.11(5) 窒素(NH_4-N,NO_2-N,NO_3-N,T-N)濃度の経時変化(2001.2.6 洪水観測、洪水観測施設)

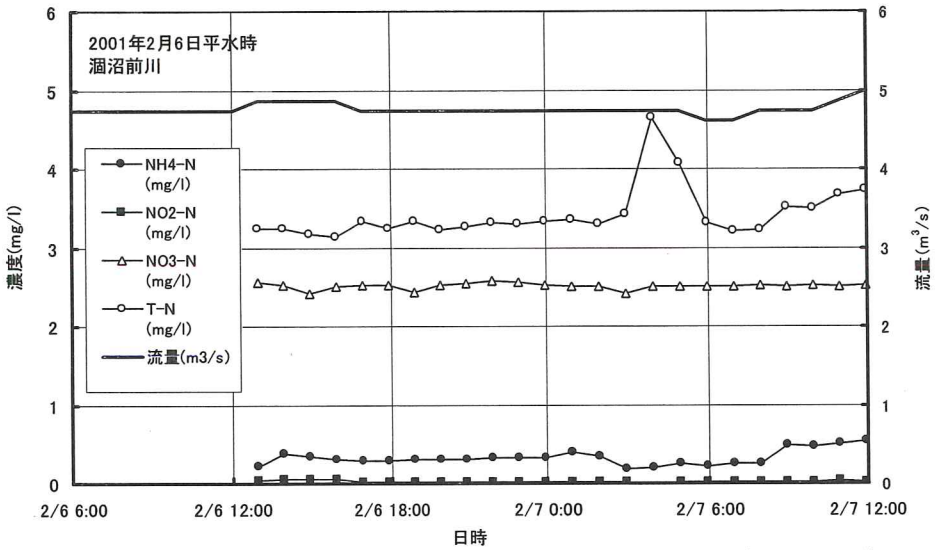


図-9.4.11(6) 窒素(NH_4-N,NO_2-N,NO_3-N,T-N)濃度の経時変化(2001.2.6 洪水観測、涸沼前川)

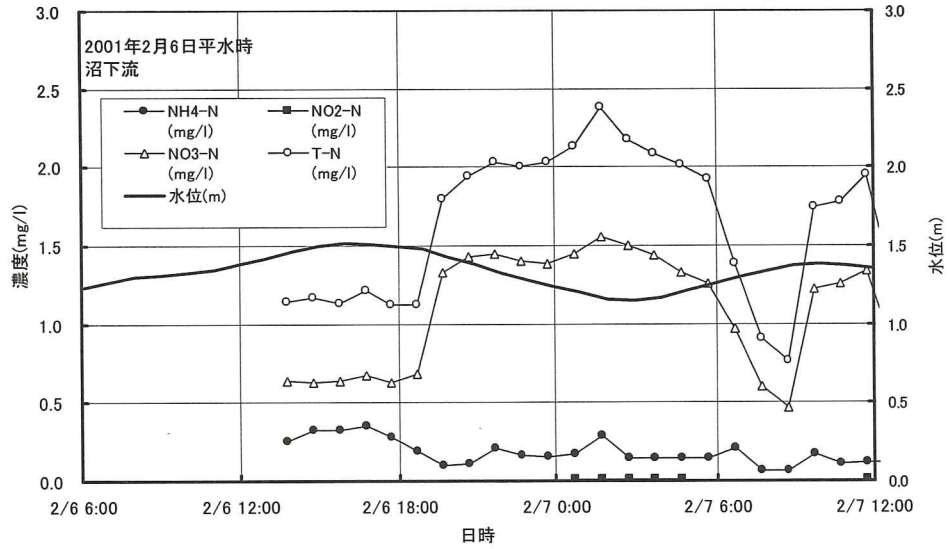


図-9.4.11(7) 窒素(NH_4-N,NO_2-N,NO_3-N,T-N)濃度の経時変化(2001.2.6 洪水観測、沼下流)

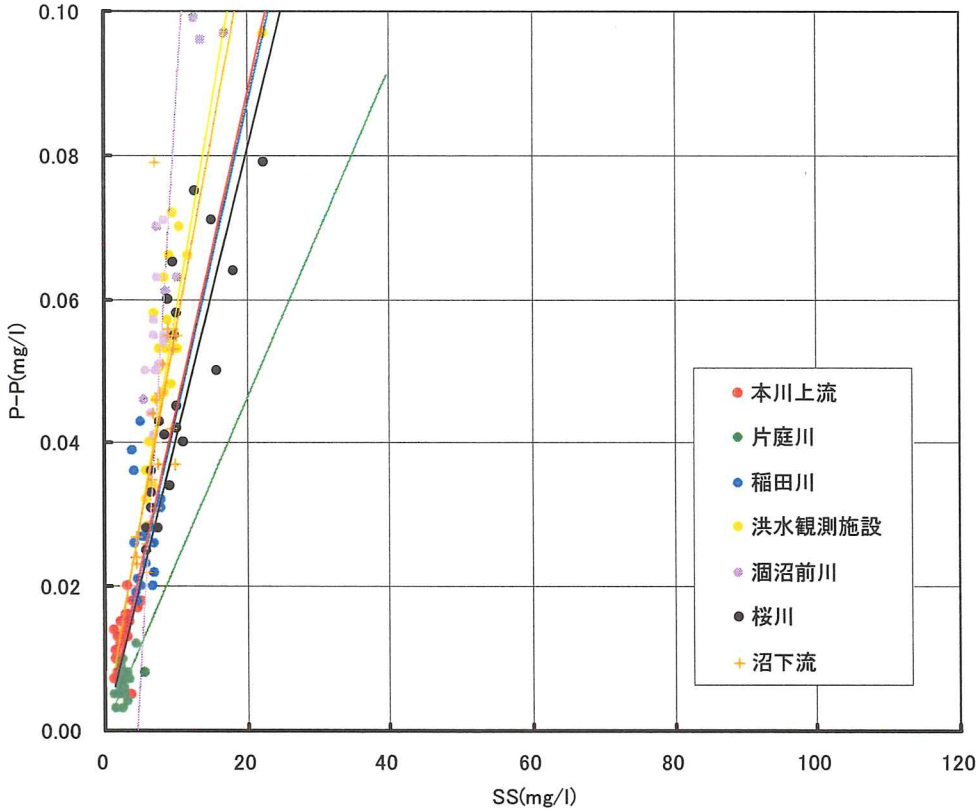


図-9.4.12 濃度 SS と懸濁体リン(P-P)の関係

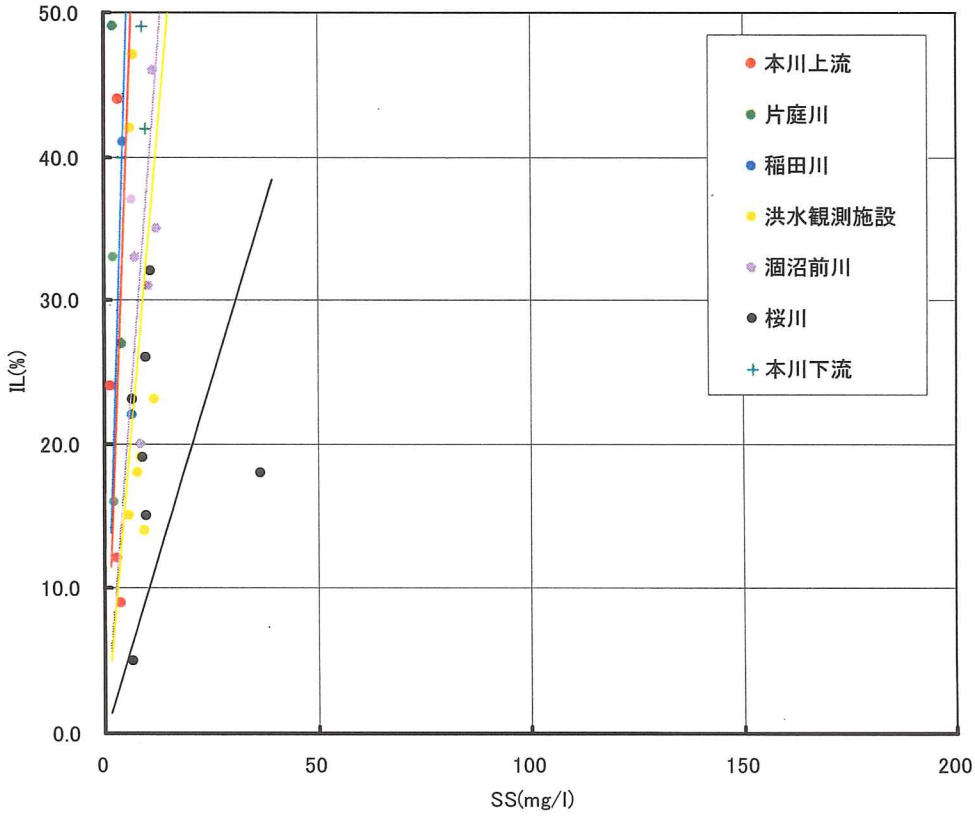
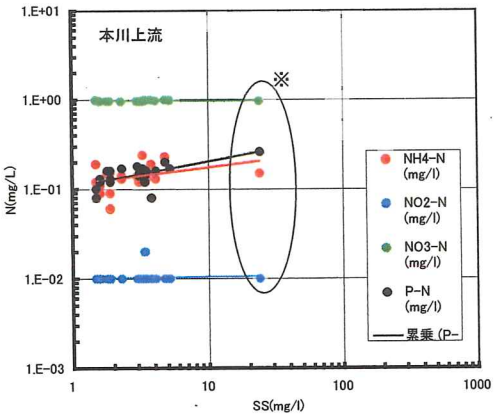
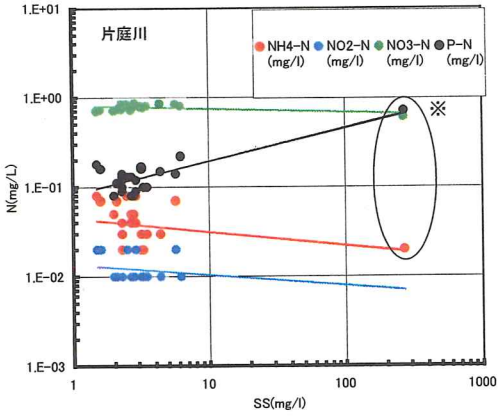
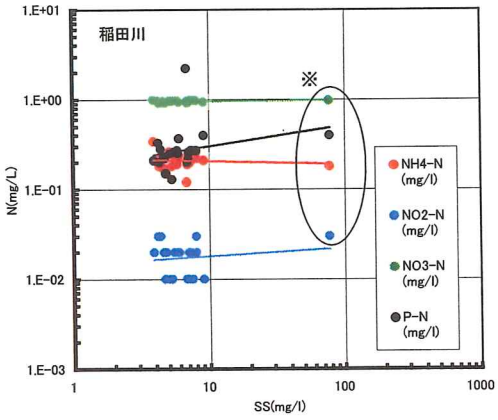
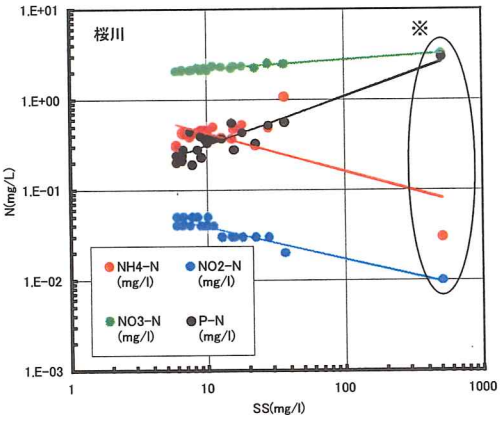


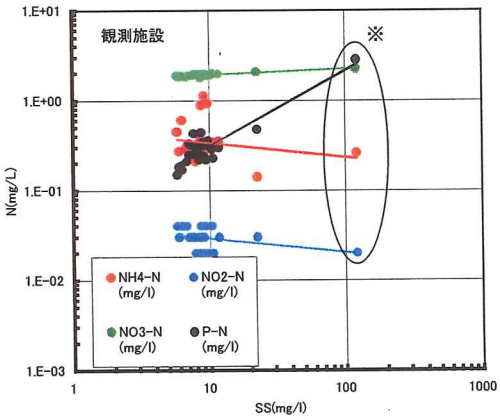
図-9.4.13 濃度 SS と強熱減量(IL)の関係

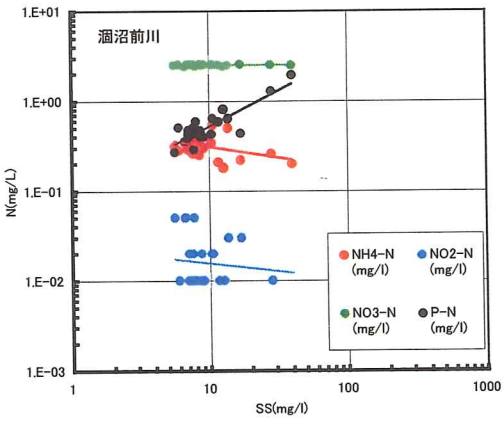












※：いずれも採水１回目の値であり、ストレーナーに付着していた藻類が多量に入った可能性が高い

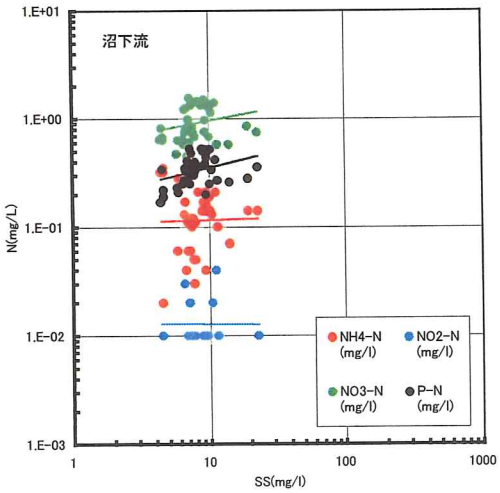


図-9.4.14 濃度 SS と窒素（NH_4-N,NO_2-N,NO_3-N,T-N）濃度の関係

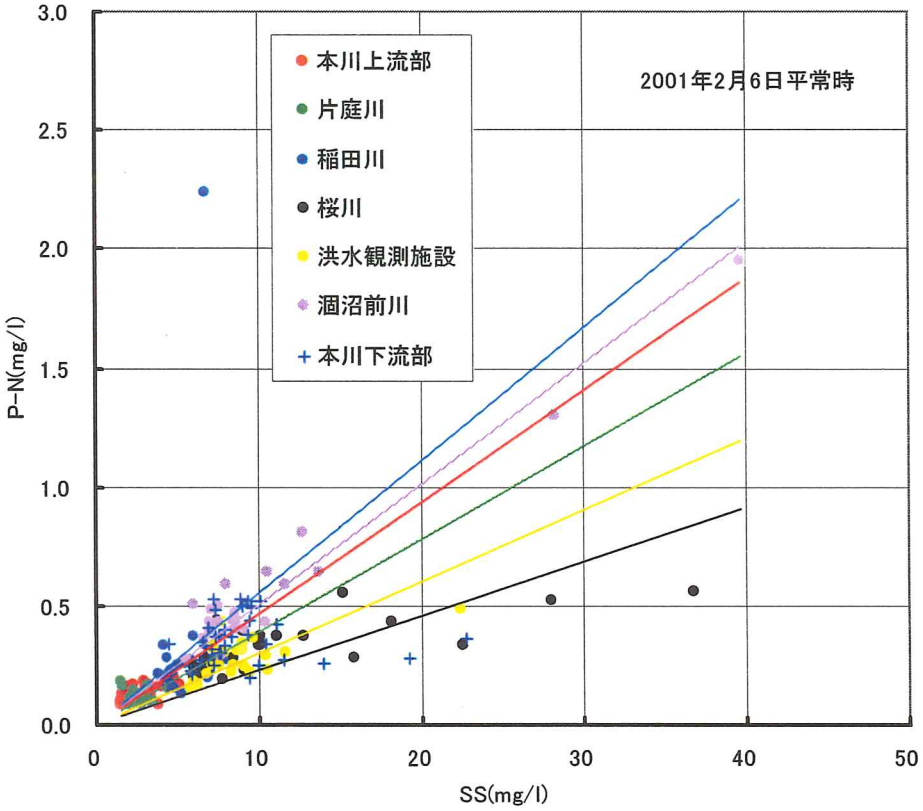


図-9.4.15 濃度 SS と懸濁体窒素(P-N)の関係

【参考文献】

1) 藤田、平舘、服部、山本、加藤：水系土砂動態マップの作成と利用－涸沼川と江合川の事例から－、土木技術資料 41-7、pp42～pp47、1999.7
2) 平舘、藤田他：細粒土砂に関する涸沼川の水系土砂動態マップ、土木学会代 54 回年次学術講演会講演概要集２、pp328～pp329、社団法人土木学会編、1999.9
3) 河川局治水課、土木研究所河川研究室、各地方建設局河川計画課：水系一貫土砂管理に向けた河川における土砂観測、土砂動態マップの作成及びモニター体制構築に関する研究、平成 12 年度（第 54 回）建設省技術研究会指定課題、pp17-29、2000.11
4) 平林他：洪水時広域採水による涸沼川水系の土砂動態観測、水工学論文集第 42 巻、pp1045～pp1050、1998.2
5) たとえば建設省河川局監修財団法人日本河川協会編：改訂新版建設省河川砂防技術基準（案）同解説調査編、山海堂、pp282、1997.10
6) 関東地方建設局：関東地方地質図解説書、平成 8 年 3 月

第10章　河岸侵食・堆積調査

10.1　概　要

涸沼川では平成５年より現在に至るまで通称仁古田橋下流地点(県距離標 27.65km 地点)の右岸側で河岸侵食調査、通称仁古田橋上流地点(建設省距離標 27.74km 地点)の左岸側、通称大湾曲地点（建設省距離標 28.36km 地点）の左岸側で河岸侵食調査を、通称常磐高速下流地点（県距離標 28.95km 地点）左岸側で河岸堆積調査を実施している。本章ではその調査結果について報告する。

10.2　調査方法

河岸侵食調査・堆積調査とは、上記の観測地点を対象とし、洪水直後に密な間隔で横断測量を実施し、地形変化の状況を捉えようとするものである。調査の実施日を地点ごとに表－10.2.1 に一括表示す。また、図－10.2.1 には調査地点位置を示す。

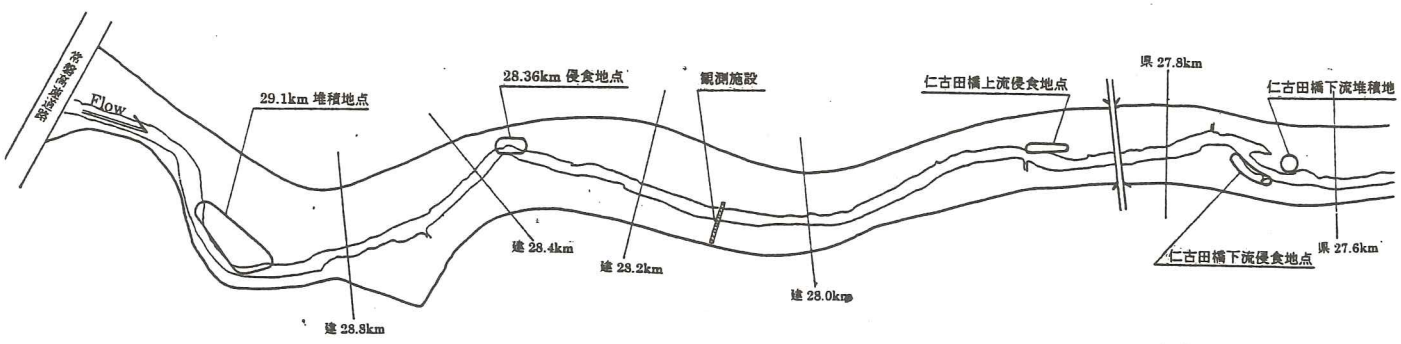
なお、河岸侵食調査の対象地点ではボーリング調査も合わせて実施しており、河岸の土質構造が明らかにされている。

表－10.2.1(1)　河岸侵食・堆積調査の実施状況

年	洪水月日	ピーク水位 T.P.m	洪水観測	調査年月日	調査内容	横断測量	侵食・堆積調査（測量）				
							ポイントバー	大湾曲部	仁吉田上流竹林	仁吉田下流左岸	仁吉田下流右岸
1986年						9月11日					
1987年						11月1日					
1988年						11月25日					
				12月	28.3km砂州トレンチ						
1989年						7月22日					
							3月トレンチ				
1990年						2月					
	4月1日	8.32									
	4月23日	8.87									
	7月13日	8.52									
				7/4～9/1	ボーリング調査・・・28.34右,28.24左,27.96右,27.86左						
	8月10日	9.69	○		簡易貫入試験・・・28.36右,28.28右,28.6左						
	8月26日	8.75									
	9月14日	8.1									
	9月20日	8.12									
	9月23日		○								
	9月30日	9.51	○								
	10月1日	10.18									
	10月8日	9.31	○								
	10月31日	8									
	11月4日	9.88									
	11月30日	10.6									
	12月1日	10.69									
	12月12日	8.17									
1991年						2月					
	2月16日	9.26									
	6月20日		○								
	6月29日	8.2									
	7月6日	8.08									
	8月7日	8									
	8月13日	8.06									
	8月21日	9.15	○								
	9月8日	9.26	○								
	9月14日	8.94									
	9月19日	12.16	○								
	9月21日	8.78									
				9月24日	洪水痕跡（9/19洪水）						
				9月26日	侵食，堆積調査（河道平面図へのスケッチ）						
	10月1日	10.27									
	10月12日	11.08									
	10月18日	8.18		↑10/14							
	10月27日	9.21			河道内堆積物調査						
	11月8日	8.33			28.41,28.37,28.18,27.81,28.03km						
				↓11/15							
	11月29日	8.38									
1992年						3月					
	3月19日	9.76									
							5/27，トレンチ調査有り				
	7月1日	8.89									
	10月9日	9.92	○								
							10月27日				
	12月8日	8.08	○								
							12月15日				
1993年						2月5日					
							5月25日				
	7月5日	9.31									
	7月25日	8.78									
							8月4日				
	8月27日	11.2	○								
							9月27日				
	11月14日	11.33	洪水痕跡のみ								
								11月14日	11月14日	11月14日	11月14日
							11月19日				
1994年	2月22日	8.31									
	5月28日	8.84									
	7月9日	8.17									
	7月19日	8.08									
						8月					
							9月5日			9月8日	

表－10.2.1(2)　河岸侵食・堆積調査の実施状況

年	洪水月日	ピーク水位 T.P.m	洪水観測	調査年月日	調査内容	横断測量	侵食・堆積調査（測量）				
							ポイントバー	大湾曲部	仁古田上流竹林	仁古田下流左岸	仁古田下流右岸
1994年	9月15日	9.59									
							9月26日			9月27日	
	10月1日	10.86	○								
							10月18日	10月25日	10月21日	10月19日	10月28日
1995年							2月23日	3月18日	3月25日	2月29日	4月4日
				3月	河床材料調査						
	5月14日	9.37									
	5月16日	8.75									
	6月5日	8.9									
	6月15日	8.78									
	7月6日	8.16									
	7月12日	8.95									
	7月14日	8.82									
	9月18日	9.59									
				9月25日	39km河道内堆積量						
							11月7日	10月23日	10月26日	11月1日	10月30日
	11月20日	6.64	○								
				12月	河口深浅測量						
				12月14日	39km河道内堆積量，河床材料						
1996年	5月9日	9.22									
				6月6日	45km河道内堆積量						
	7月29日	8.15									
	9月22日	11.6	○								
							10月9日	10月15日	10月25日	10月18日	10月12日
				10月	39km,45km河道内堆積量，河床材料						
				10月	河口測量						
1997年				1月	河口ボーリング				ボーリング調査		ボーリング調査
	1月6日	7.95									
					河床材料調査						
	5月25日	9.94									
	5月27日	8.2									
	6月20日	10.71	○								



図－10.2.1　河岸侵食・堆積調査の実施位置

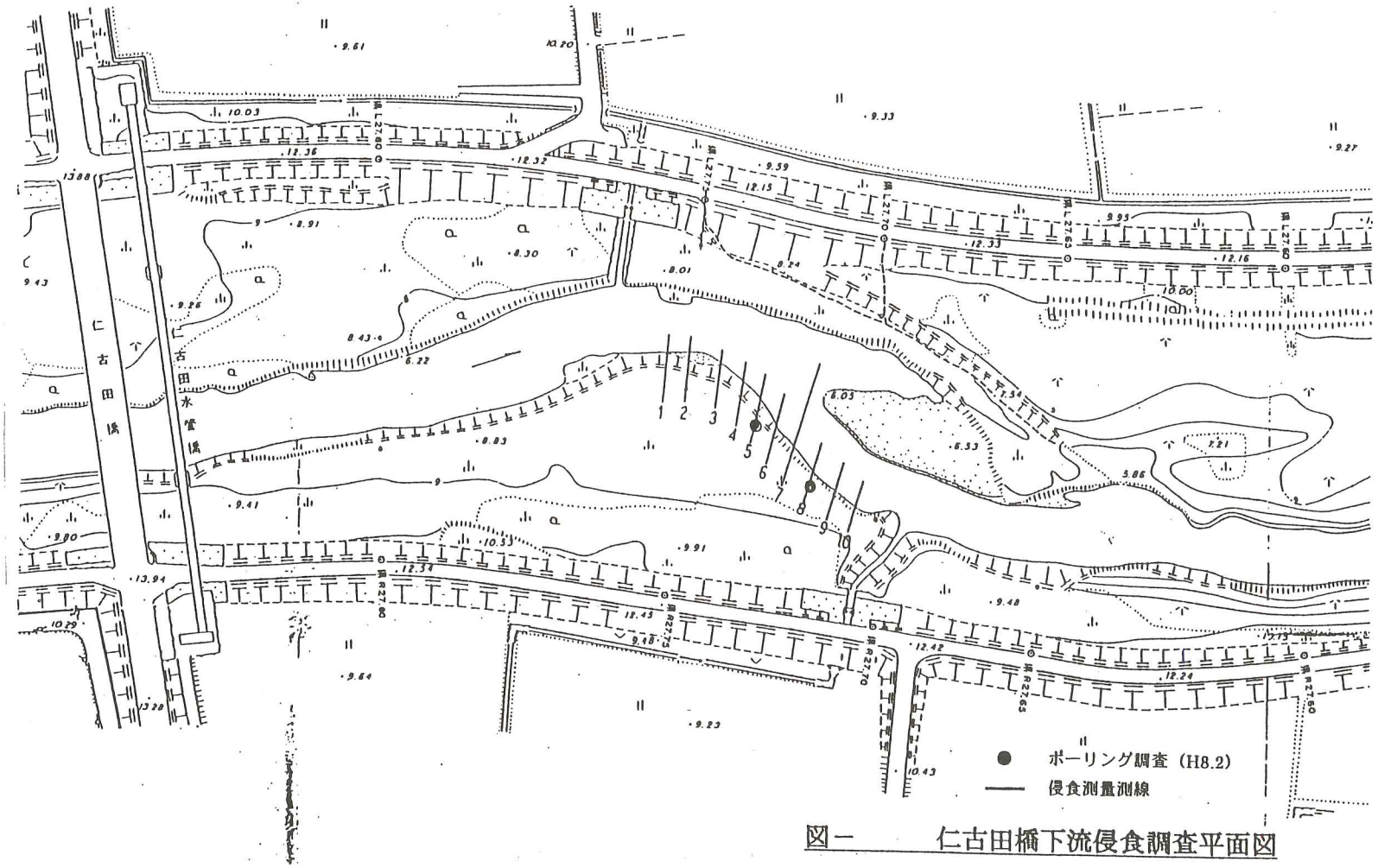
10.3.調査結果

10.3.1　仁古田橋下流地点（河岸侵食調査）

当該地点の河道平面形状および測定位置を図－10.3.1に示す。当該地点は高水敷が大きく張り出し堤防とは異なる位相で低水路が蛇行しているところの下流部にあたる。大洪水時には高水敷上の流れが低水路に落ち込み河岸近傍の流速が増大する可能性が高い。

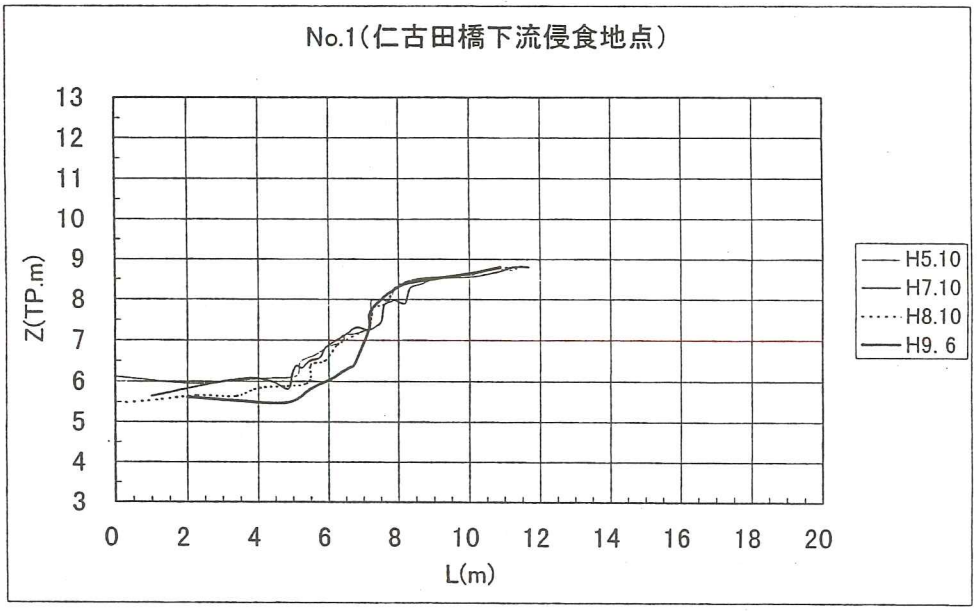
同地点では平成５年ごろから河岸侵食が発達し始めたところで、現在も縦断延長数ｍオーダーで侵食が下流から上流へさかのぼるように発達を続けている。横断測量断面数は10面である。測量結果を図－10.3.2～10.3.11に示す。なお、平成８年度にはNo.8およびNo.10断面上でボーリング調査を実施している。顕著な侵食が捉えられているのは下流側の断面である。ここでNo.8断面に注目し、侵食機構について推定することにする。目立った河岸侵食は３度発生している。平成７年10月には河床から高水敷天端に至る高さ約4m、幅2m以上に渡る大規模な河岸侵食が発生した。引き続いて平成８年10月にも前回とほとんど同スケールの河岸侵食が発生している。平成９年６月に発生したものは幅は2m弱と前２回と概ね同様であるが、高さは2mと前２回のおよそ半分である。　ここでの侵食の第一の特徴は洪水前後で局所洗掘が見られないことである。ただし、測定が洪水直後に行われたものであるので、洪水中に局所洗掘が大きく発達していた可能性はある。

次の特徴は河岸の土質構造との関連が深いと思われることである。平成７年10月および平成８年 10 月の崩落土の底面はシルトと砂混じりシルトの境界面に一致し、平成９年 6 月の侵食底面は表土と細砂層の境界に一致している。いずれも他の地層に比べて粘着性の劣るところが崩落土の底面となっていることから、河岸侵食の原因としては浸透水による崩落土の単位堆積重量の増加や土質強度の低下が挙げられる。しかし、河岸侵食は河道平面的に見て流速が速くなるところで発生しているので、流れの作用がどのような形であるにせよ関与しているとも見なすことができる。今後は洪水流の水理学的な作用について検討していく必要があろう。

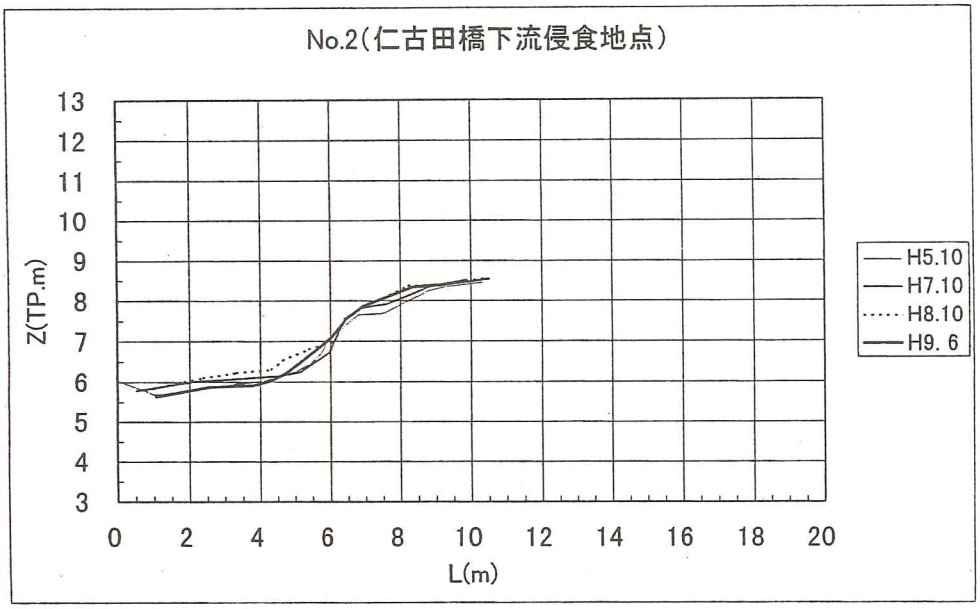


図－　　仁古田橋下流侵食調査平面図

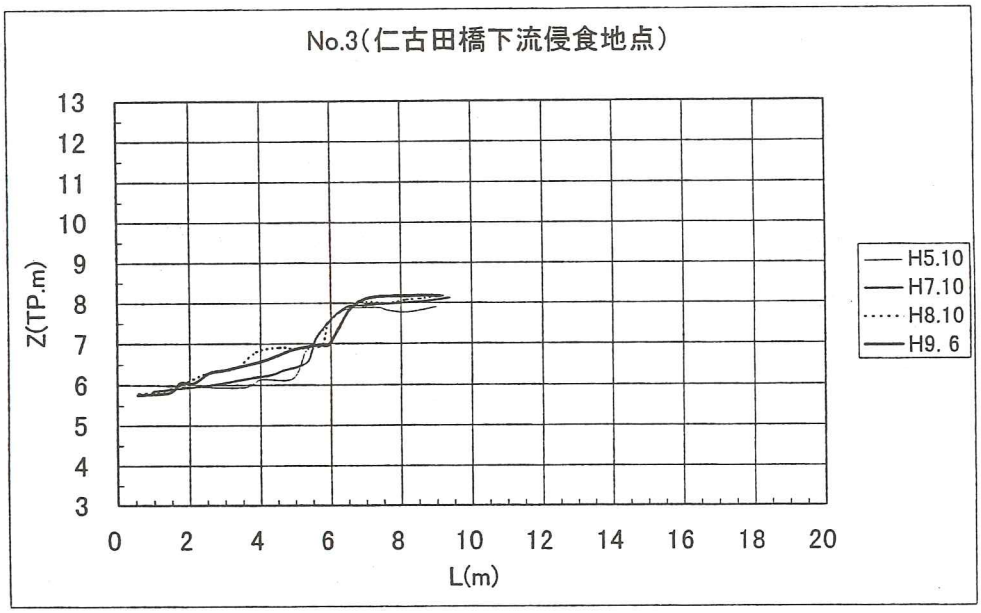
図－10.3.1　仁古田橋下流侵食調査位置図



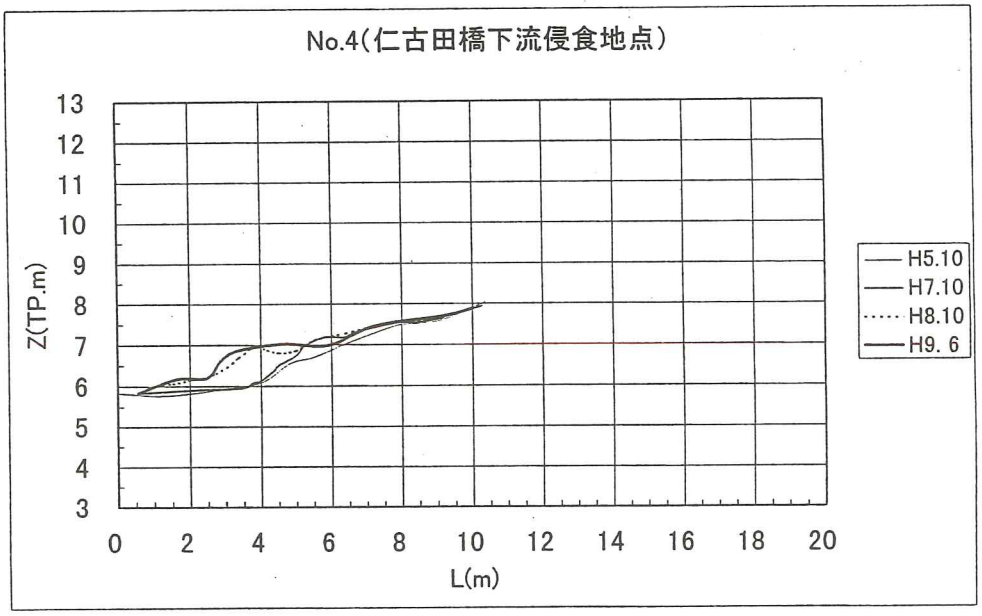
図－10.3.2　仁古田橋下流河岸（右岸）の変化状況(No.1)



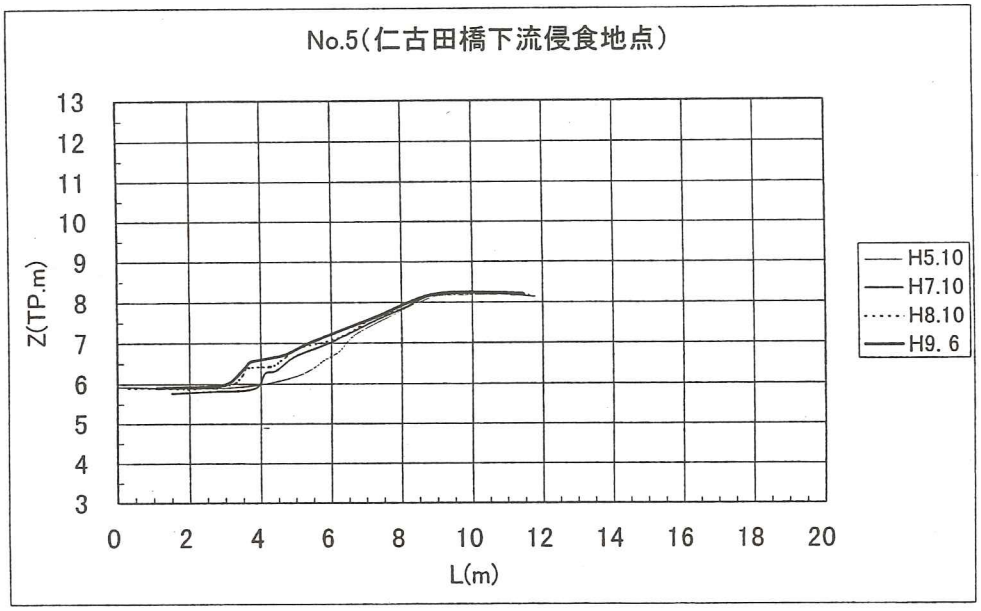
図－10.3.3　仁古田橋下流河岸（右岸）の変化状況(No.2)



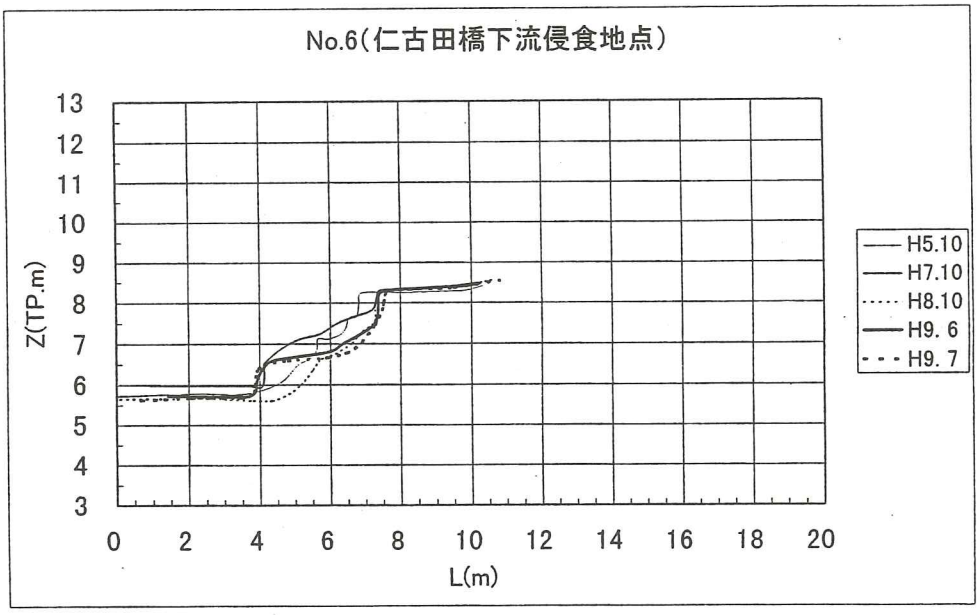
図－10.3.4　仁古田橋下流河岸（右岸）の変化状況(No.3)



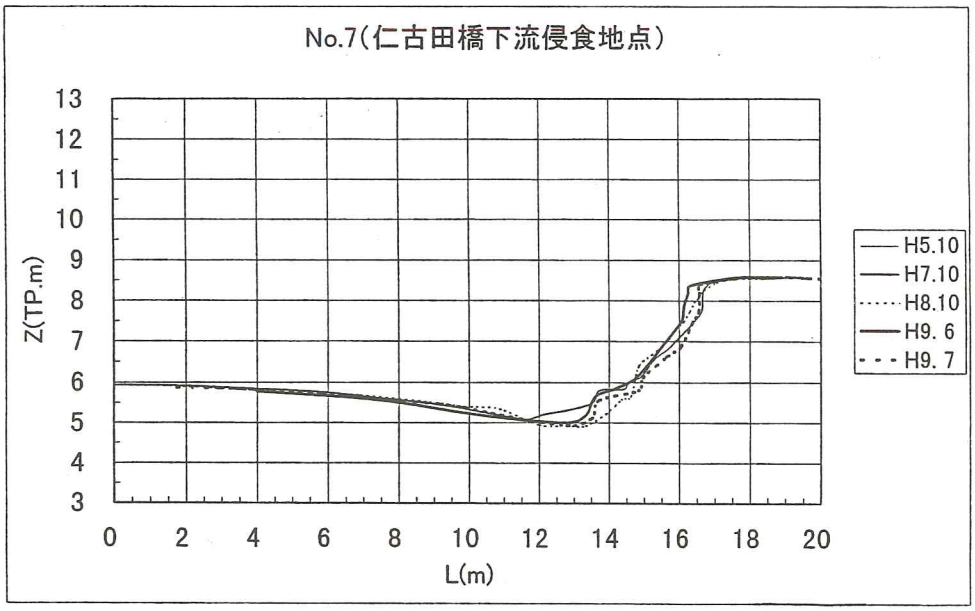
図－10.3.5　仁古田橋下流河岸（右岸）の変化状況(No.4)



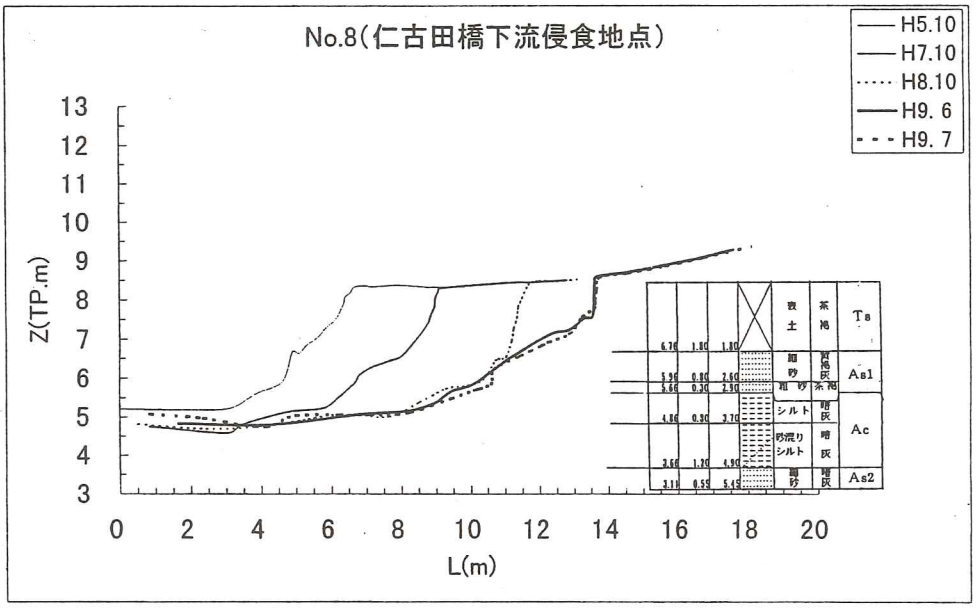
図－10.3.6　仁古田橋下流河岸（右岸）の変化状況(No.5)



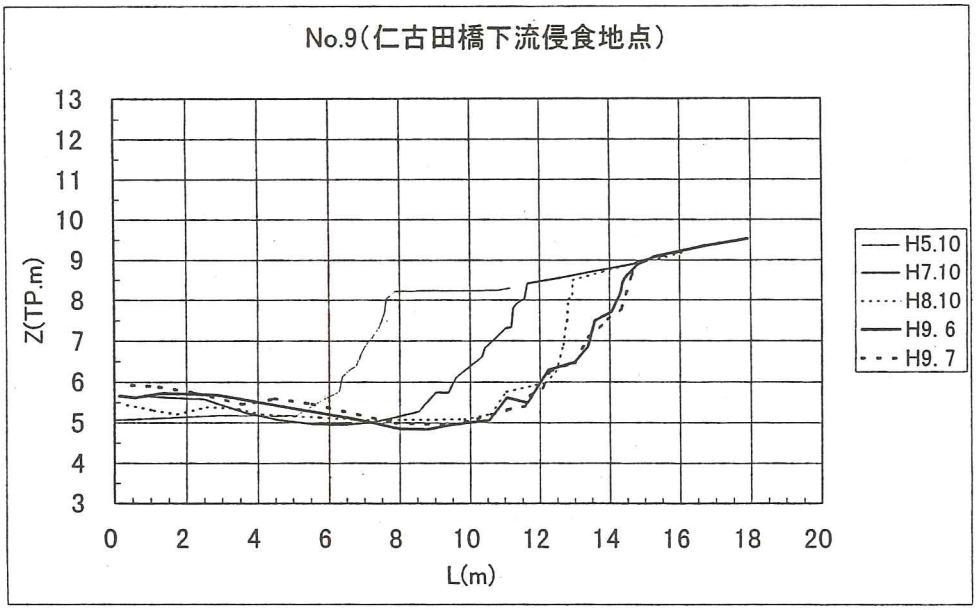
図－10.3.7　仁古田橋下流河岸（右岸）の変化状況(No.6)



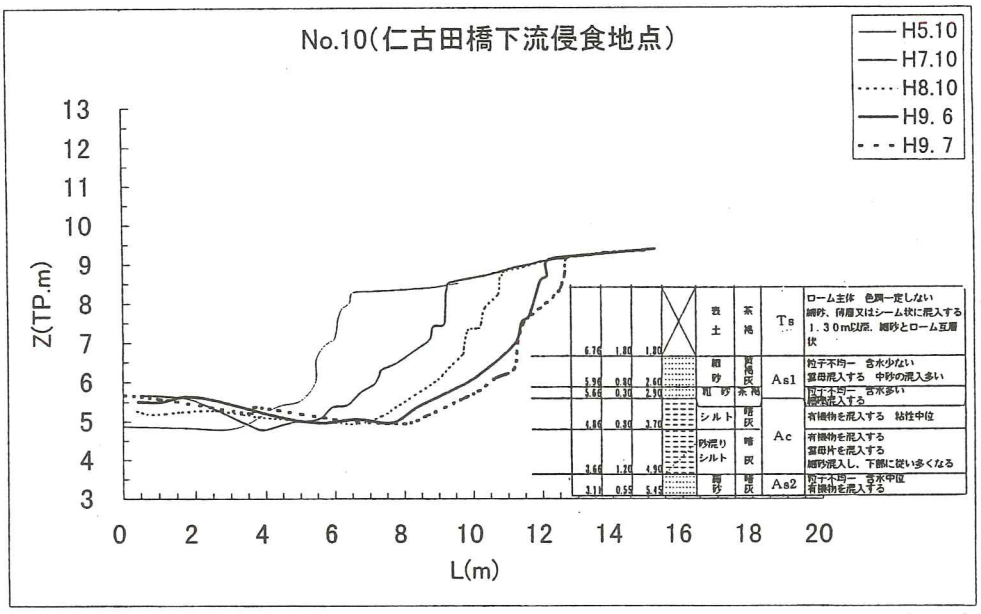
図－10.3.8　仁古田橋下流河岸（右岸）の変化状況(No.7)



図－10.3.9　仁古田橋下流河岸（右岸）の変化状況(No.8)



図－10.3.10　仁古田橋下流河岸（右岸）の変化状況(No.9)



図－10.3.11　仁古田橋下流河岸（右岸）の変化状況(No.10)

10.3.2　仁古田橋上流地点（河岸侵食調査）

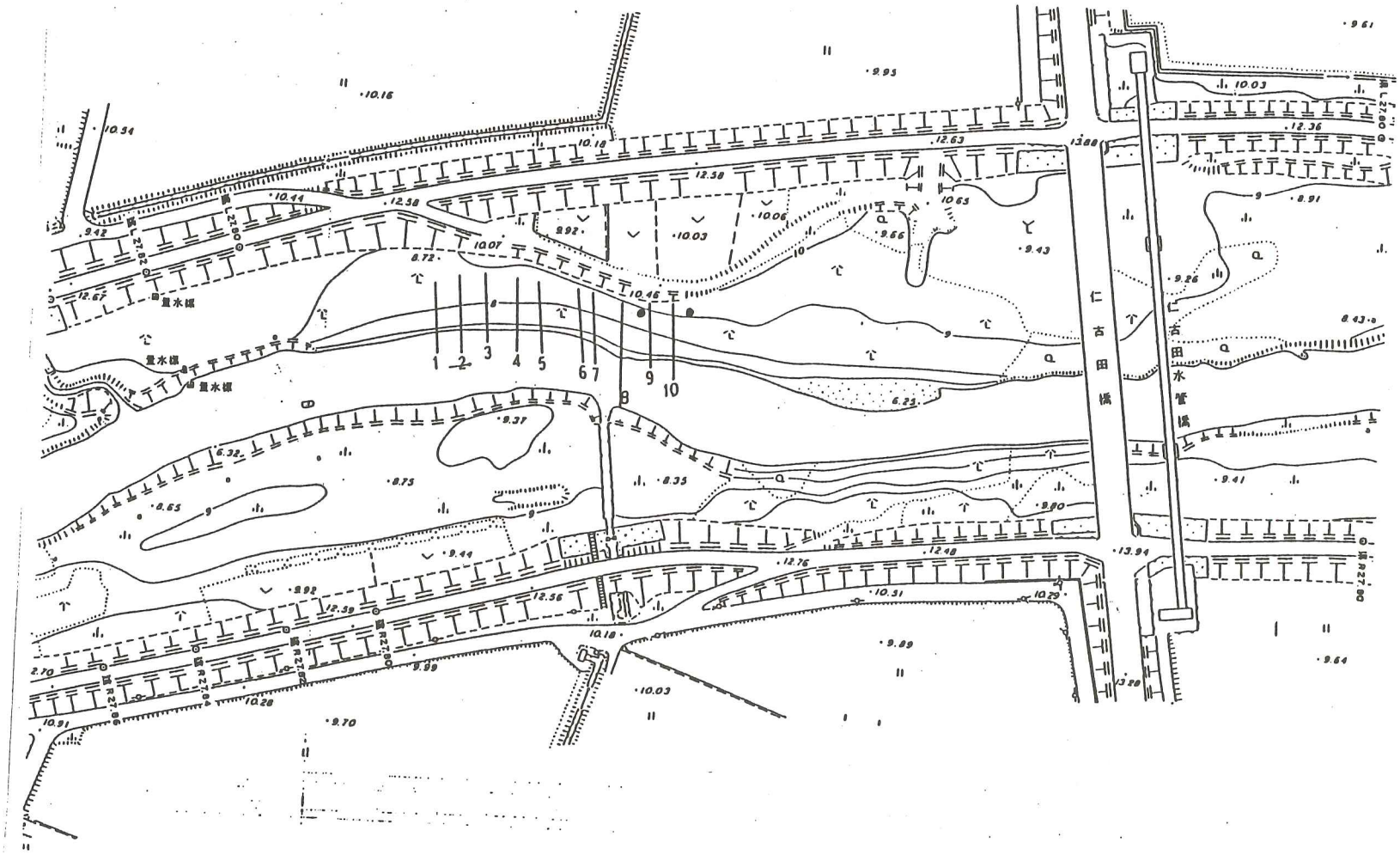
当該地点の河道平面形状および測定位置、ボーリング調査位置を図－10.3.12、図－10.3.13 に示す。当該地点は緩やかな湾曲部の外岸側にあたる。高水敷は竹類、ヨシ等により密に覆われている。

当該地点では、1993 年 8 月 27 日、台風 11 号によりもたらされた洪水（最大流量 163m³/s）により河岸侵食が発生した。河岸侵食発生後の横断測量結果を図－10.3.14 に示す。これによると、侵食発生地点直上流ではほぼ平水位（T.P.6.3m 程度）の高さが侵食され、それより上層がオーバーハング状に取り残されていることがわかる。また、直近で実施されたボーリング調査結果（図-10.3.15 参照）によれば、平水位付近の標高に沖積砂層（As）がかんでおり、この層が侵食されてオーバーハング状の地形を形成したものであると考えられる。このことから、同地点の河岸侵食のプロセスとして、

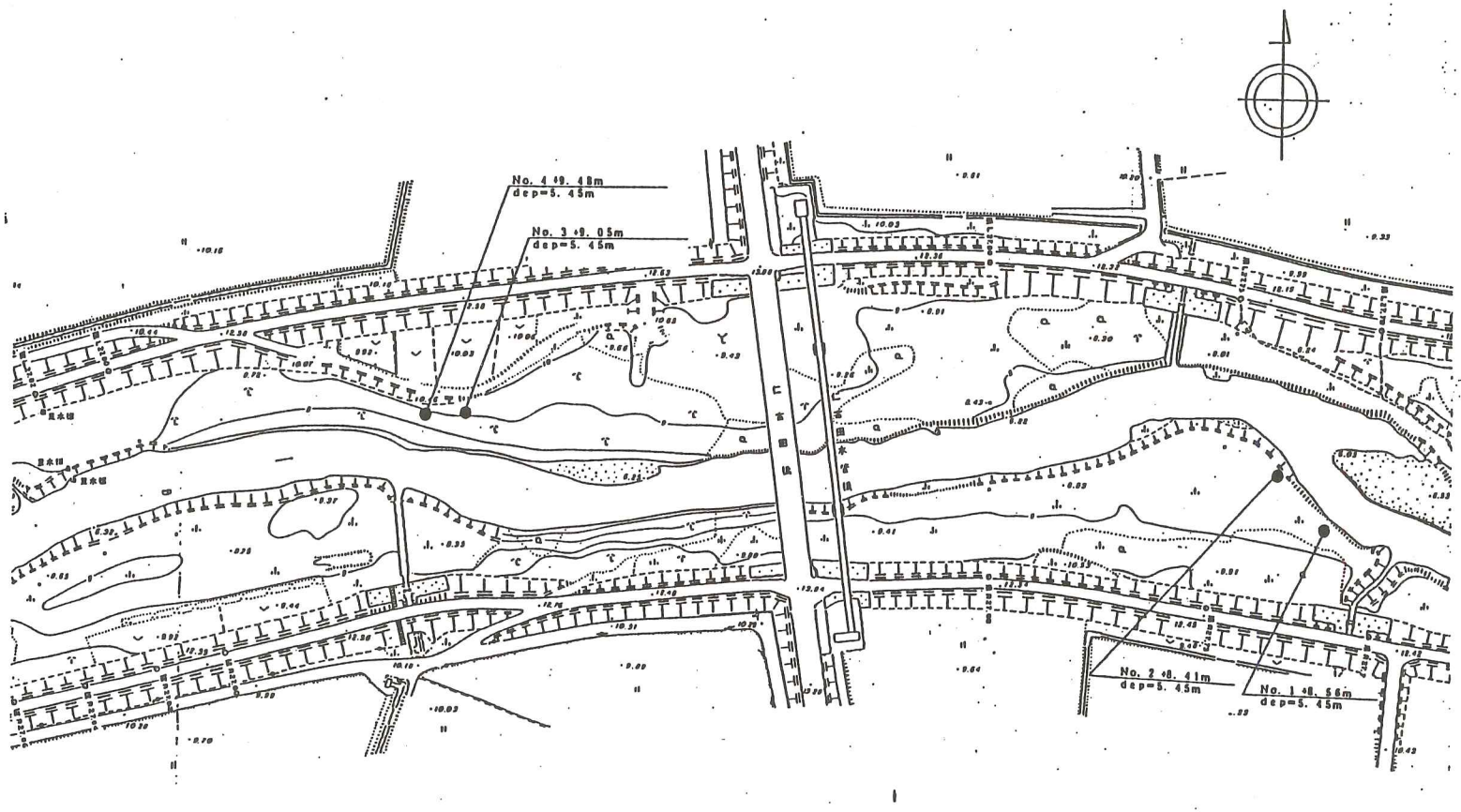
沖積砂層の侵食→オーバーハング部の形成→その崩落

が推定できる。

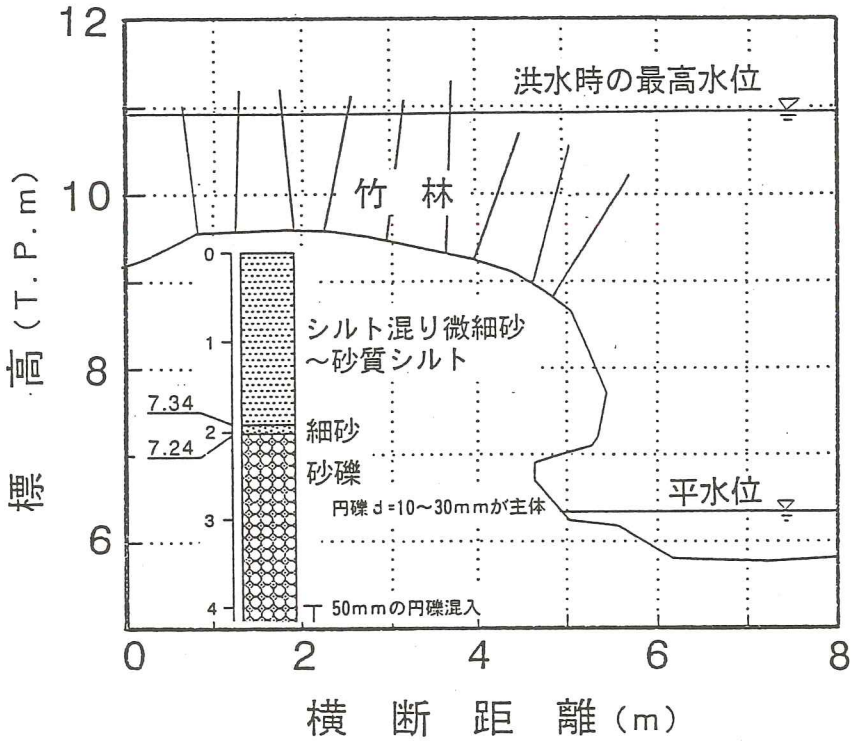
当該地点の横断測量は平成 9 年度現在まで継続して行っている。その結果を図－10.3.16～図－10.3.25 に示す。上記の河岸侵食発生以来、目立った侵食は発生していない。図からもわかるように河岸前面には崩落したオーバーハング部が若干変形した程度で流送されずに残されている。



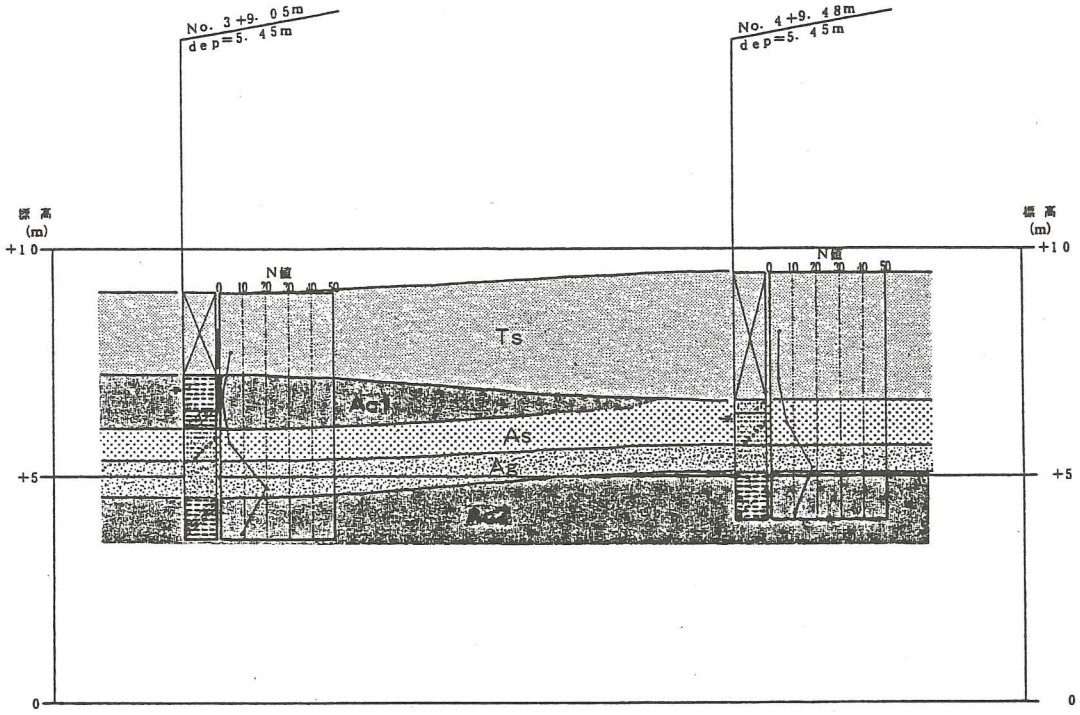
図－10.3.12　仁古田橋上流浸食調査位置図



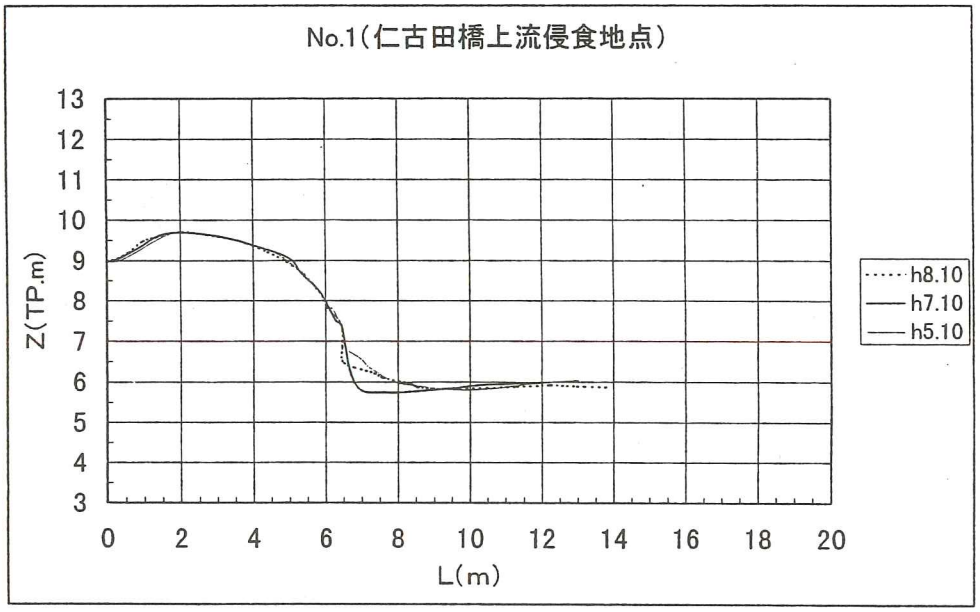
図－10.3.13　仁古田橋上流浸食調査位置図



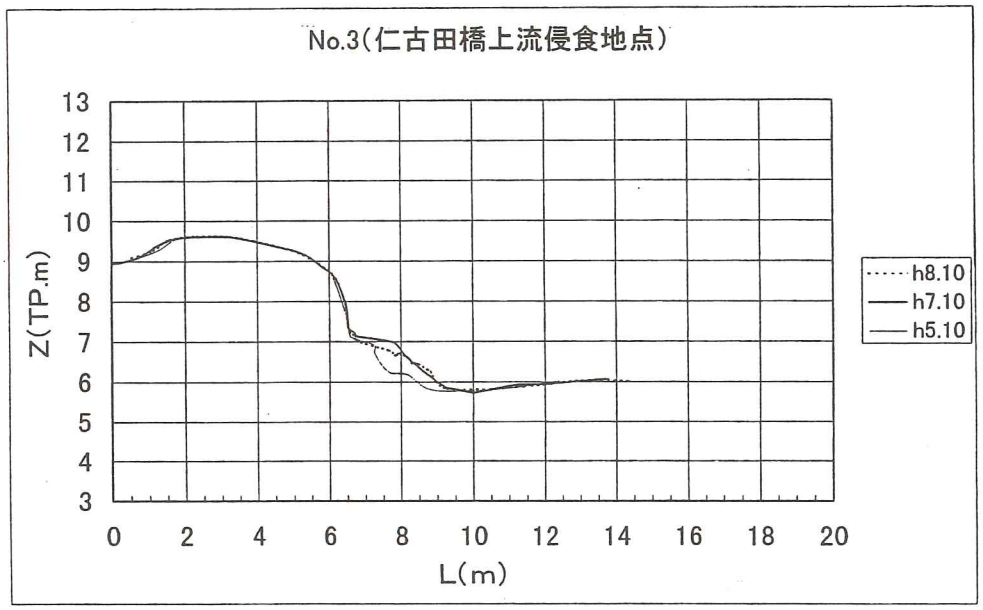
図－10.3.14　河岸浸食発生後の河岸断面



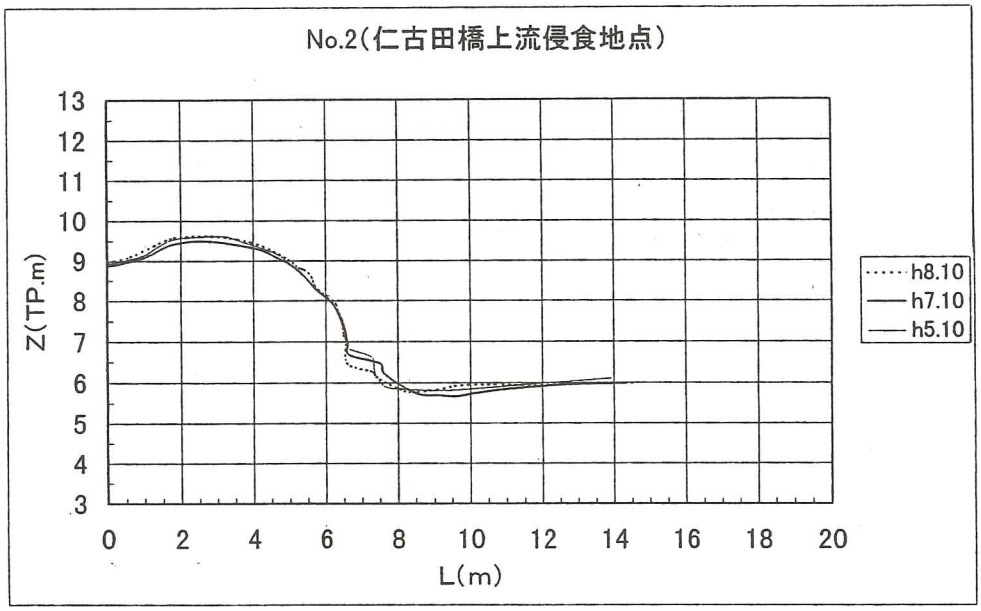
図－10.3.15　ボーリング調査結果



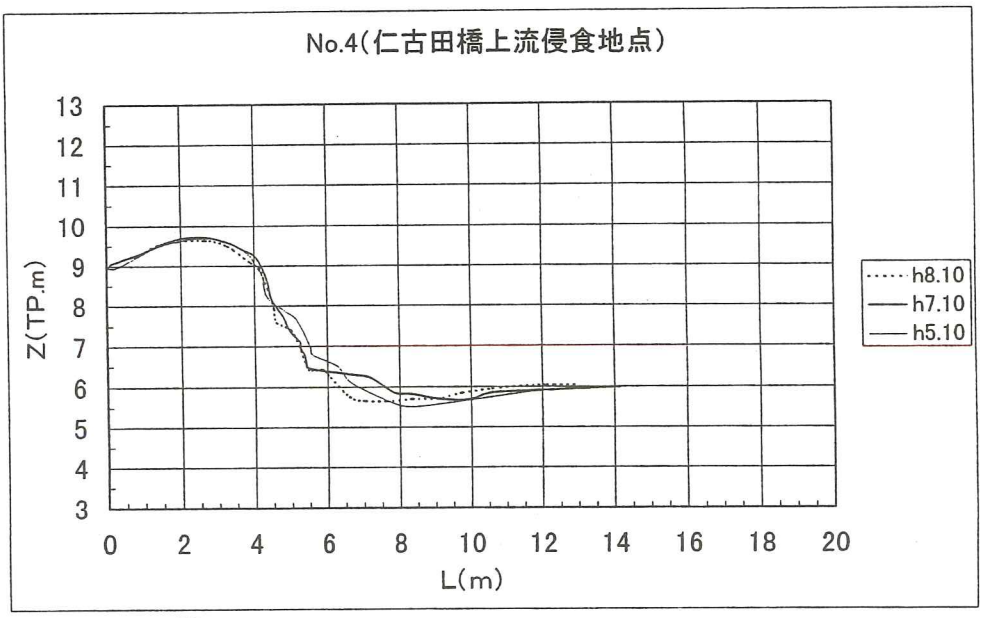
図－10.3.16　仁古田橋上流河岸（左岸）の変化状況(No.1)



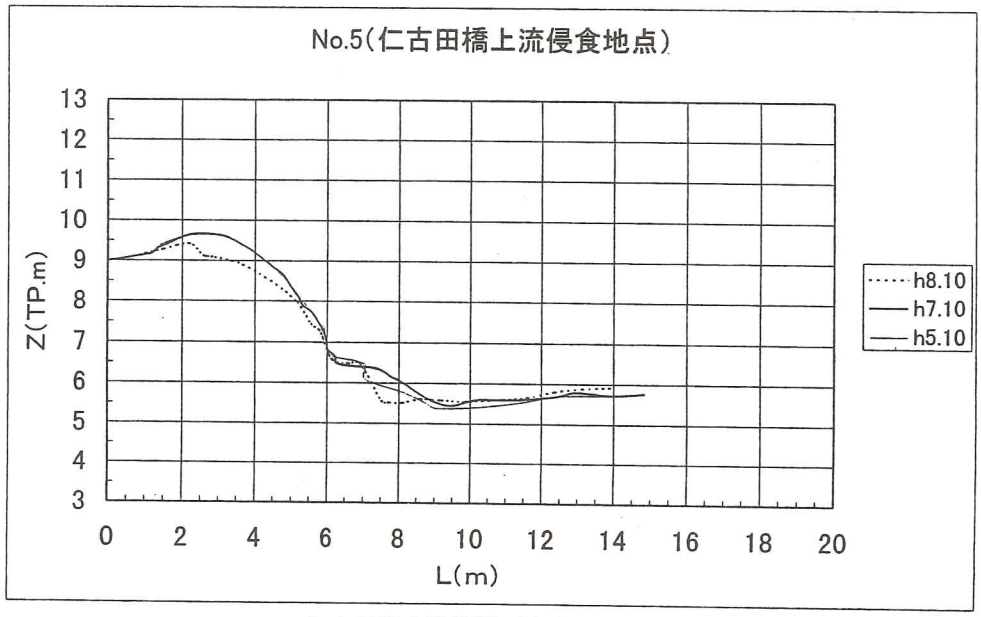
図－10.3.17　仁古田橋上流河岸（左岸）の変化状況(No.2)



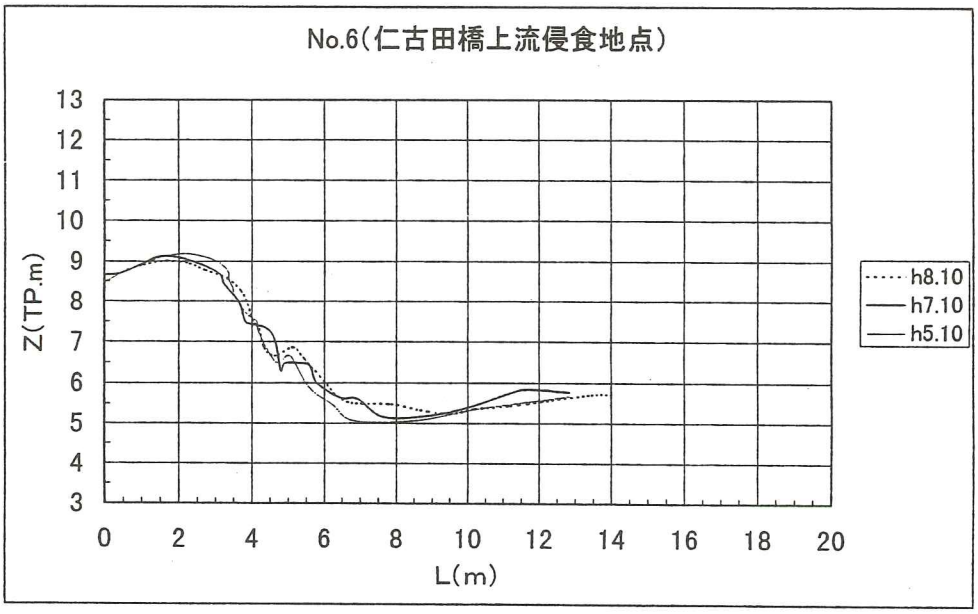
図－10.3.18　仁古田橋上流河岸（左岸）の変化状況(No.3)



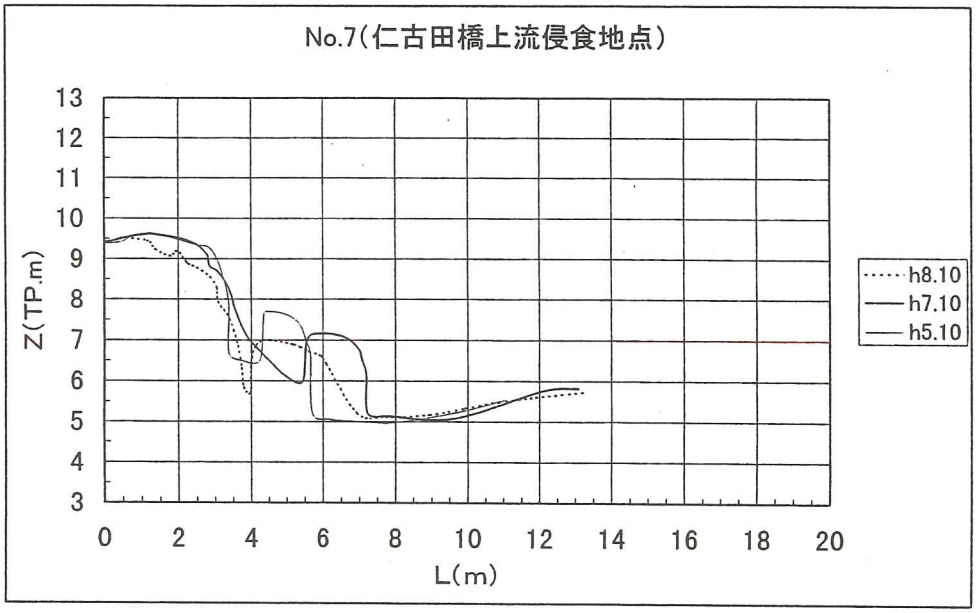
図－10.3.19　仁古田橋上流河岸（左岸）の変化状況(No.4)



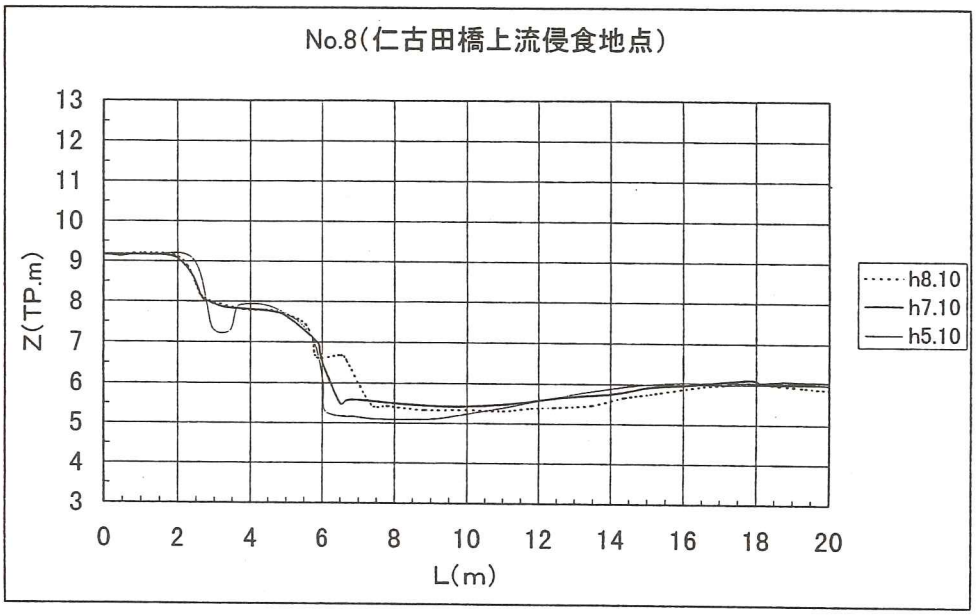
図－10.3.20　仁古田橋上流河岸（左岸）の変化状況(No.5)



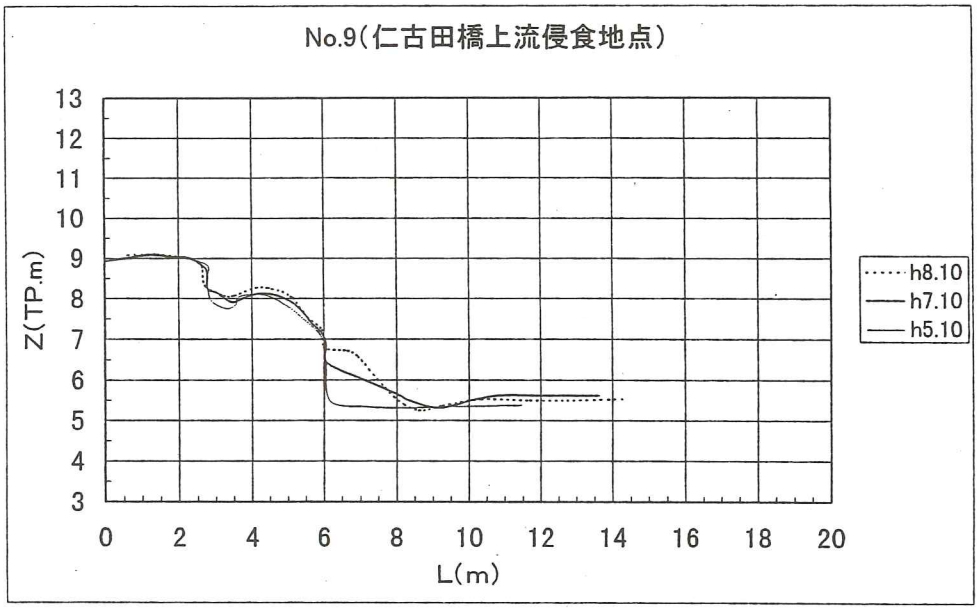
図－10.3.21　仁古田橋上流河岸（左岸）の変化状況(No.6)



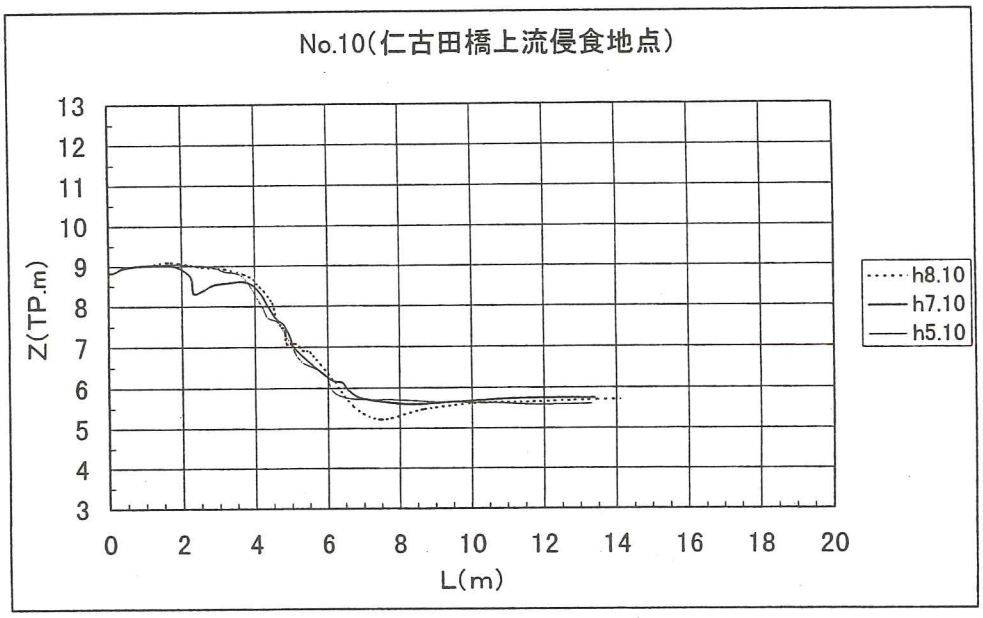
図－10.3.22　仁古田橋上流河岸（左岸）の変化状況(No.7)



図－10.3.23　仁古田橋上流河岸（左岸）の変化状況(No.8)



図－10.3.24　仁古田橋上流河岸（左岸）の変化状況(No.9)

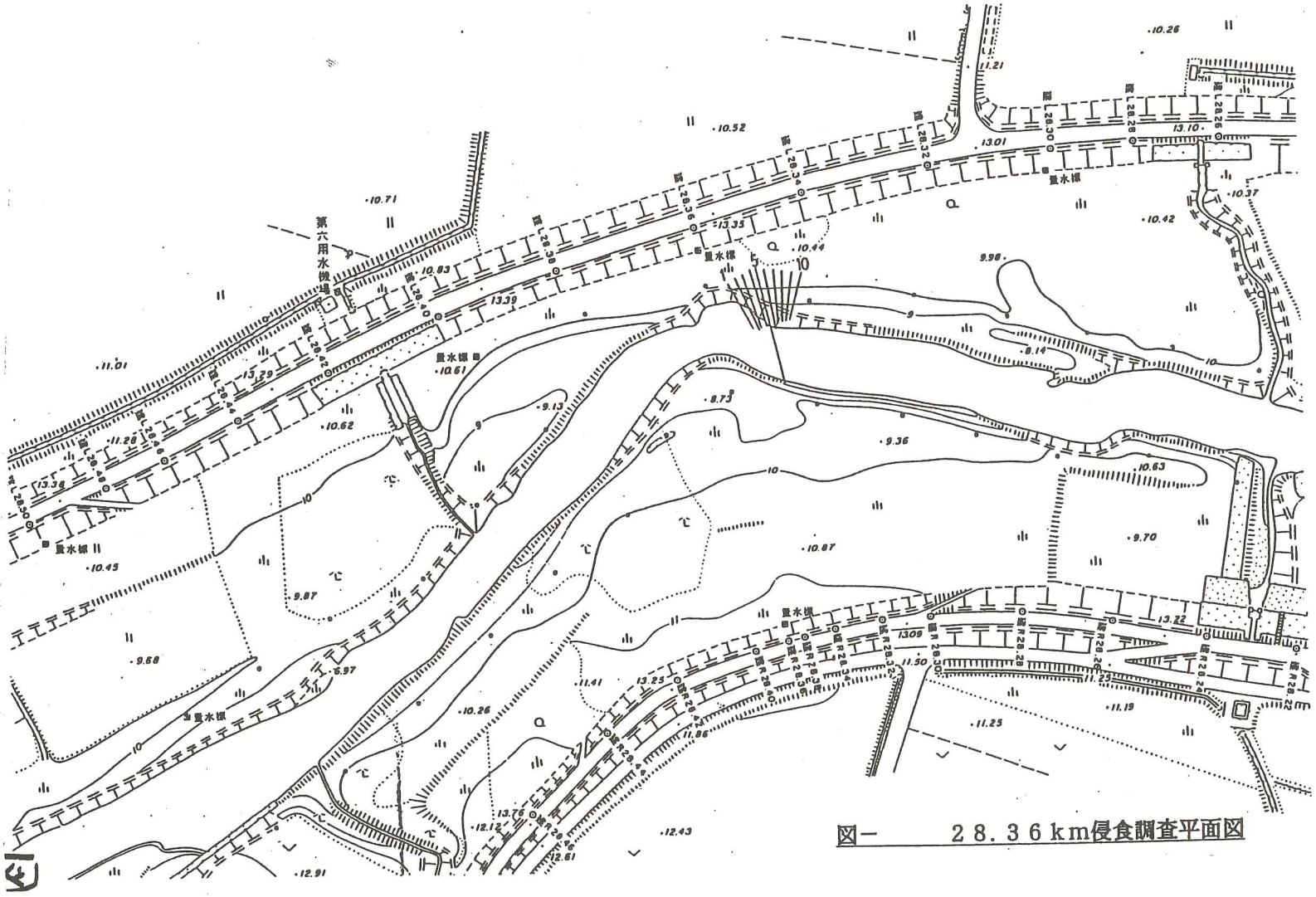


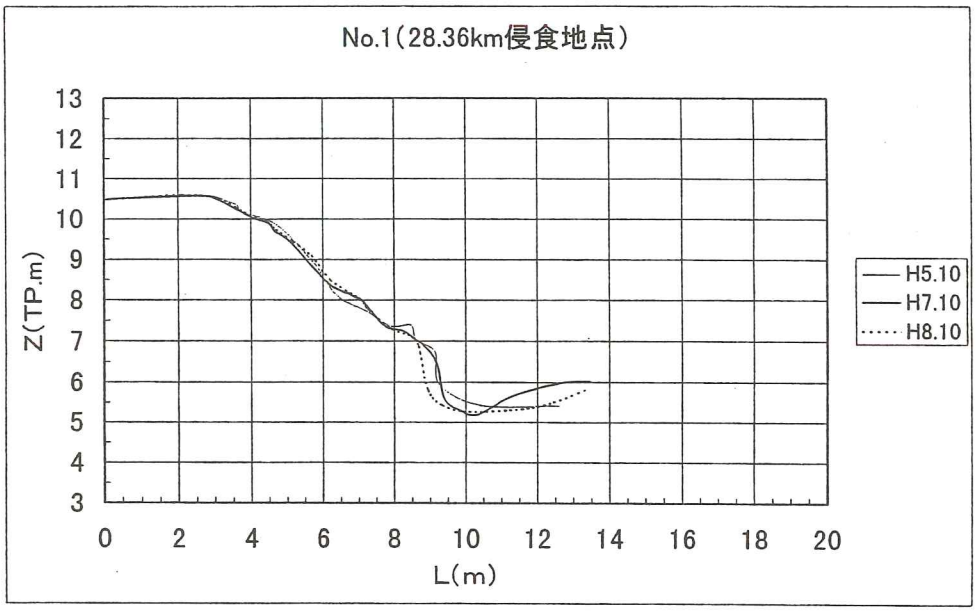
図－10.3.25　仁古田橋上流河岸（左岸）の変化状況(No.10)

10.3.3　大湾曲地点（河岸侵食調査）

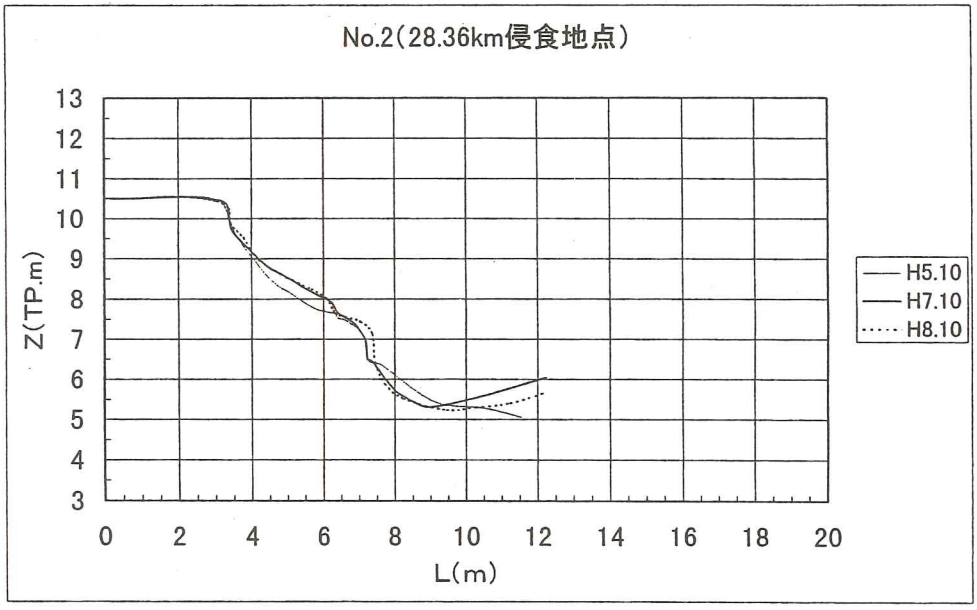
当該地点の河道平面形状および測定位置を図－10.3.26 に示す。当該地点は自然堤防の発達が顕著であり、周辺に比べ標高が高く、結果として低水路深さが大きいという特徴を持つ。

横断測量結果を図－10.3.27～図－10.3.36 に示す。一部の箇所を除いてほとんど侵食が進んでいないことがわかる。実は、ここは本調査を開始する以前に河岸侵食の進行が顕著なところであった。その過程を定性的ではあるがここに記述しておく。当該地点は洪水時にはもともと強い水衝部になるところであった。洪水の度に河岸侵食が上流から下流へと進行する傾向が見られた。河岸侵食発生がある程度下流に移行したところでもともと設置されていた連節ブロックが侵食面を覆うように屈撓を始めた。すると、河岸侵食発生点が下流に進行するのがくい止められ、侵食の方向は再び側方へと向かった。侵食箇所の法線形状は現在のように極端に左岸側にふくらみ局所的な曲率が低水路の全体的な曲率よりかなり大きくなった。このため、洪水時の流れは剥離するようになり、侵食面に直接作用しなくなった。現在顕著な侵食が生じなくなったのはこのためである。

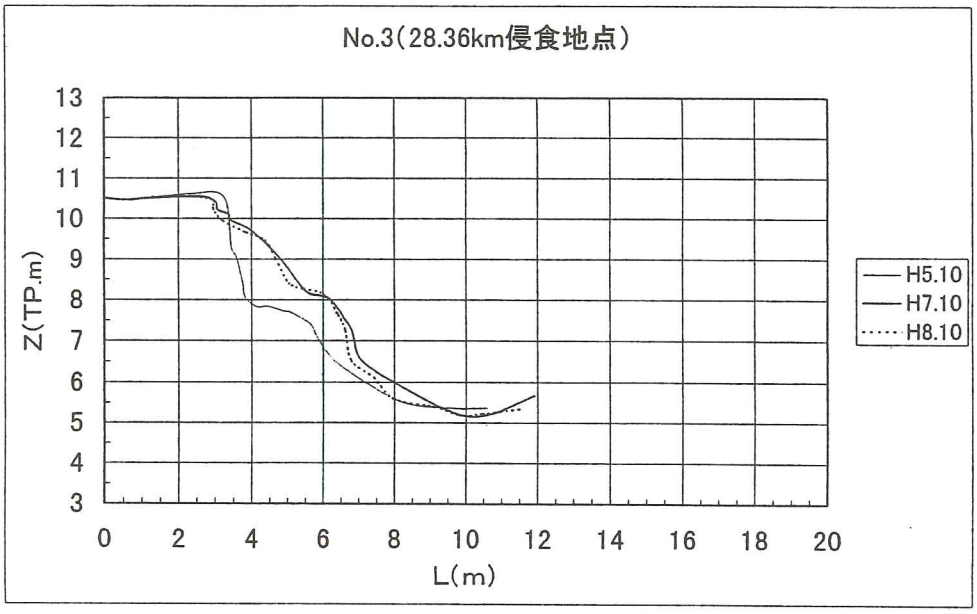

第六用水機場
量水標
量水標
量水標



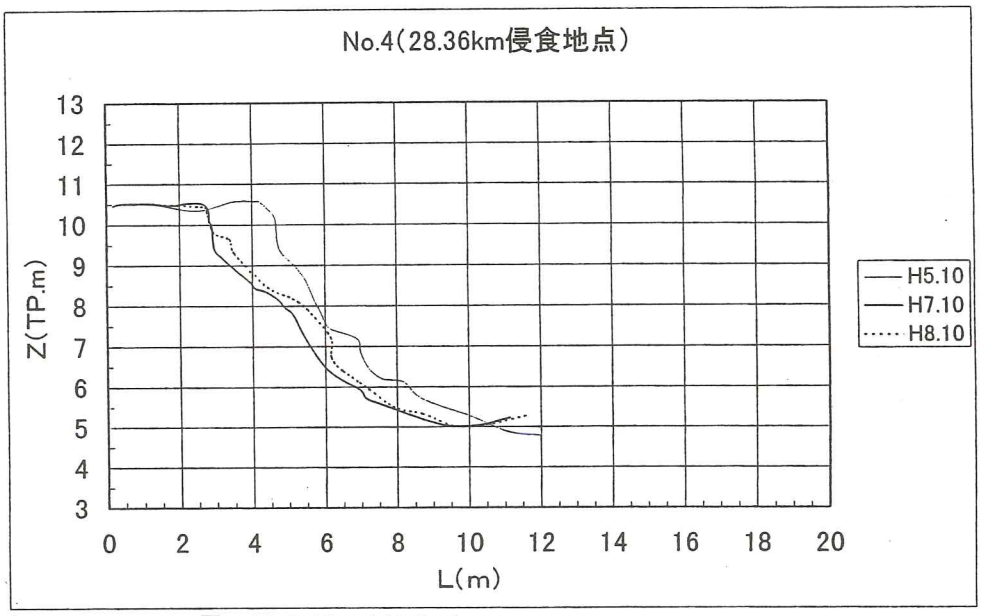
図－10.3.27　大湾曲（28.36km）地点の変化状況(No.1)



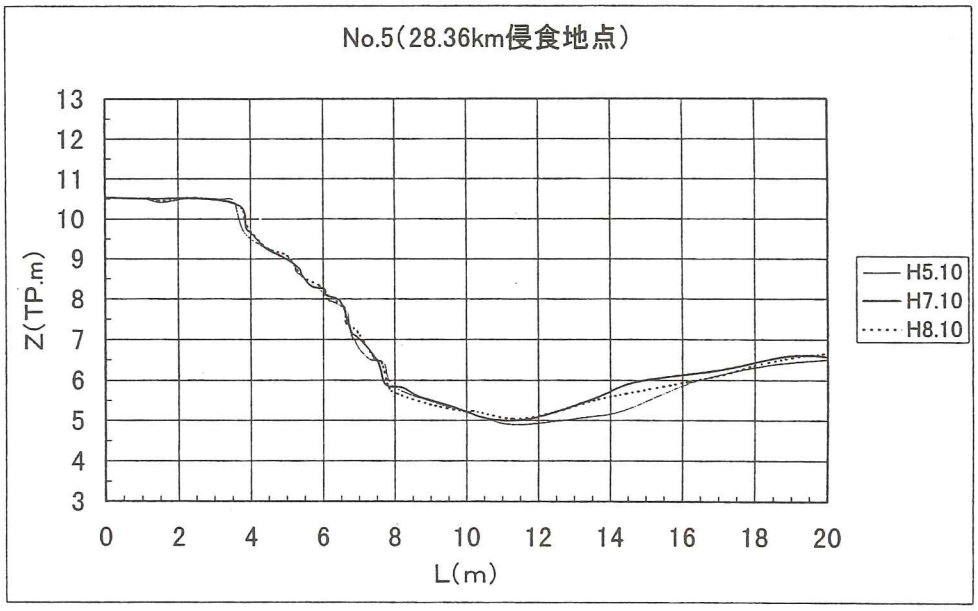
図－10.3.28　大湾曲（28.36km）地点の変化状況(No.2)



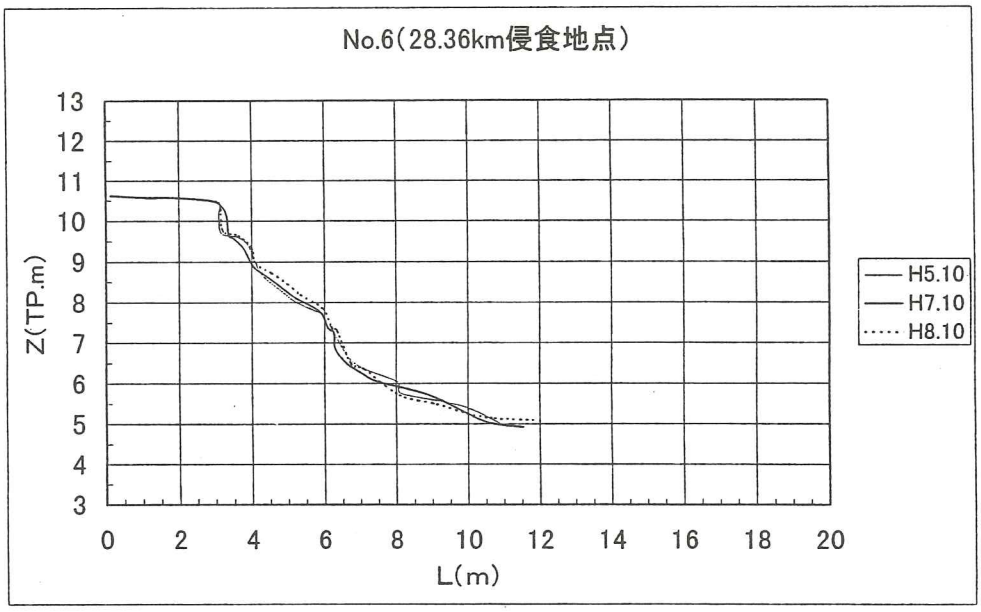
図－10.3.29　大湾曲（28.36km）地点の変化状況(No.3)



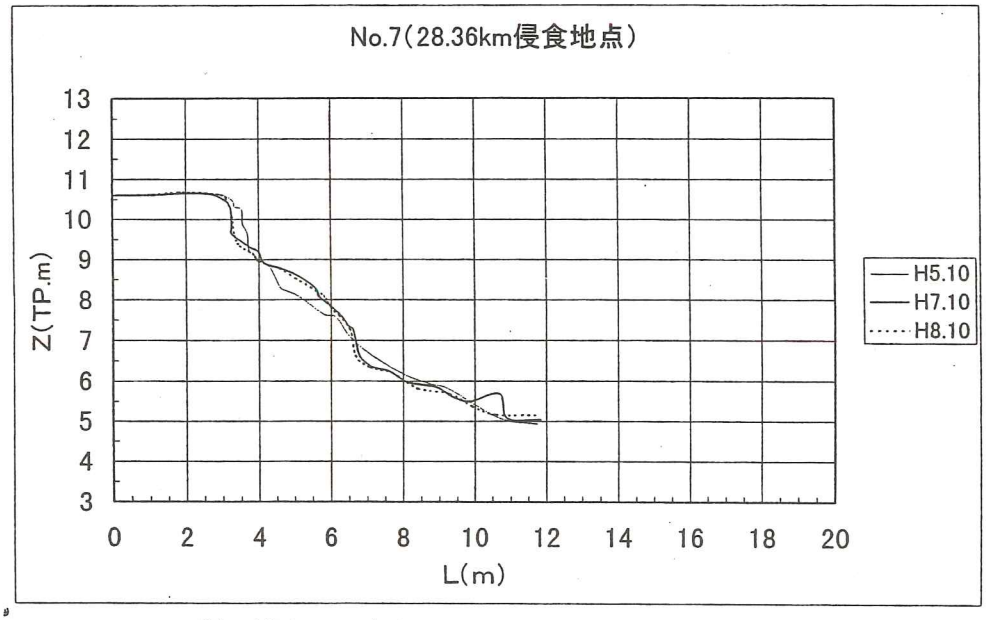
図－10.3.30　大湾曲（28.36km）地点の変化状況(No.4)



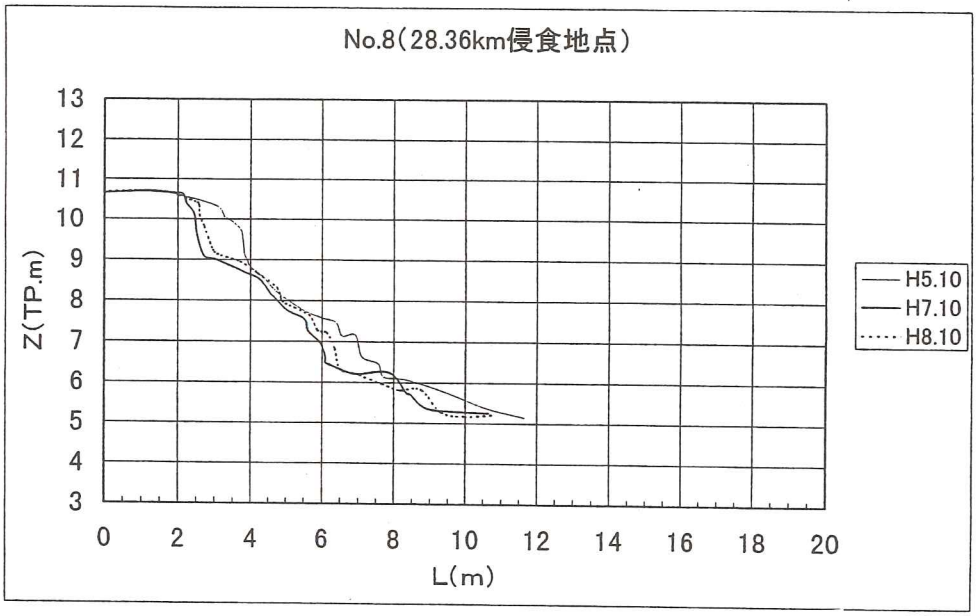
図－10.3.31　大湾曲（28.36km）地点の変化状況(No.5)



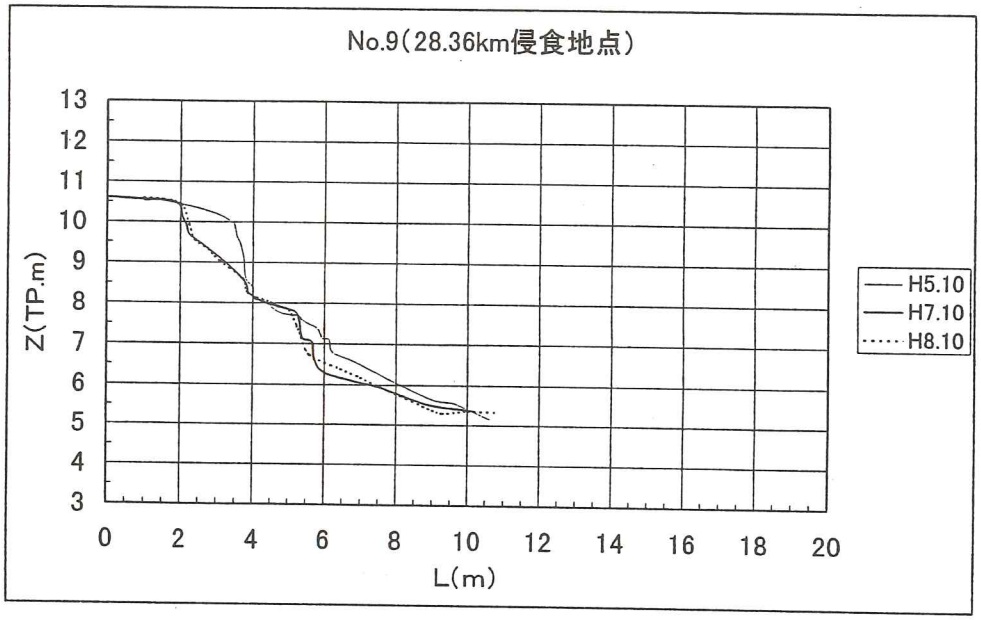
図－10.3.32　大湾曲（28.36km）地点の変化状況(No.6)



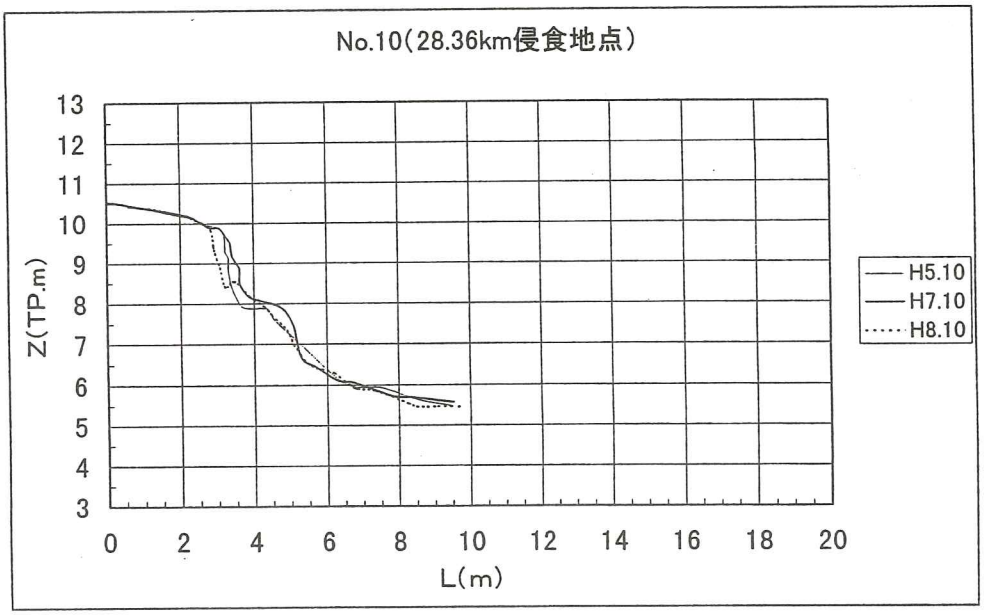
図－10.3.33　大湾曲（28.36km）地点の変化状況(No.7)



図－10.3.34　大湾曲（28.36km）地点の変化状況(No.8)



図－10.3.35　大湾曲（28.36km）地点の変化状況(No.9)

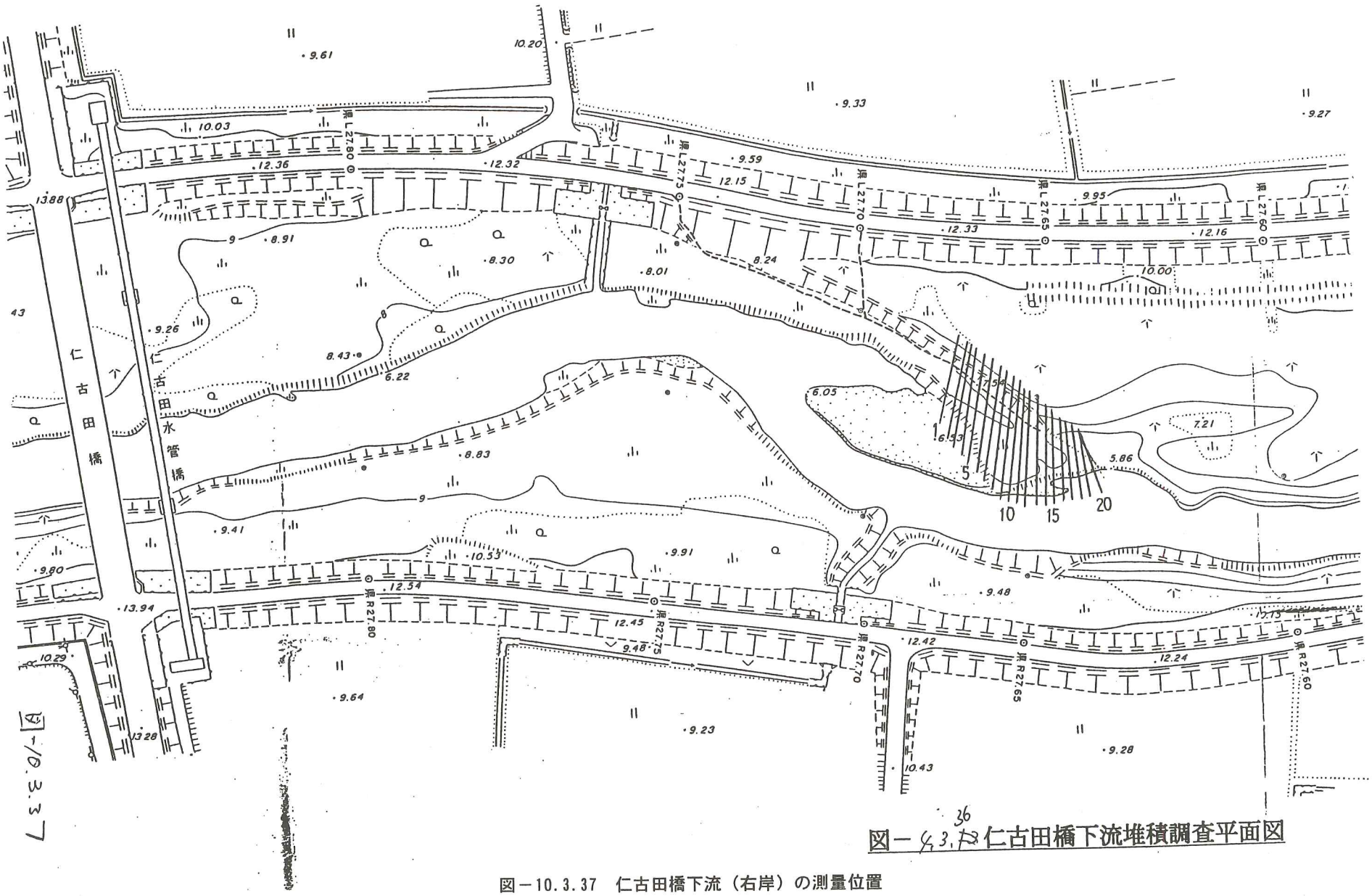


図－10.3.36　大湾曲（28.36km）地点の変化状況(No.10)

10.3.4　仁古田橋下流地点（河岸堆積調査）

当該地点の河道平面形状および測定位置を図－10.3.37 に、横断測量結果を図－10.3.38～図－10.3.48 に示す。

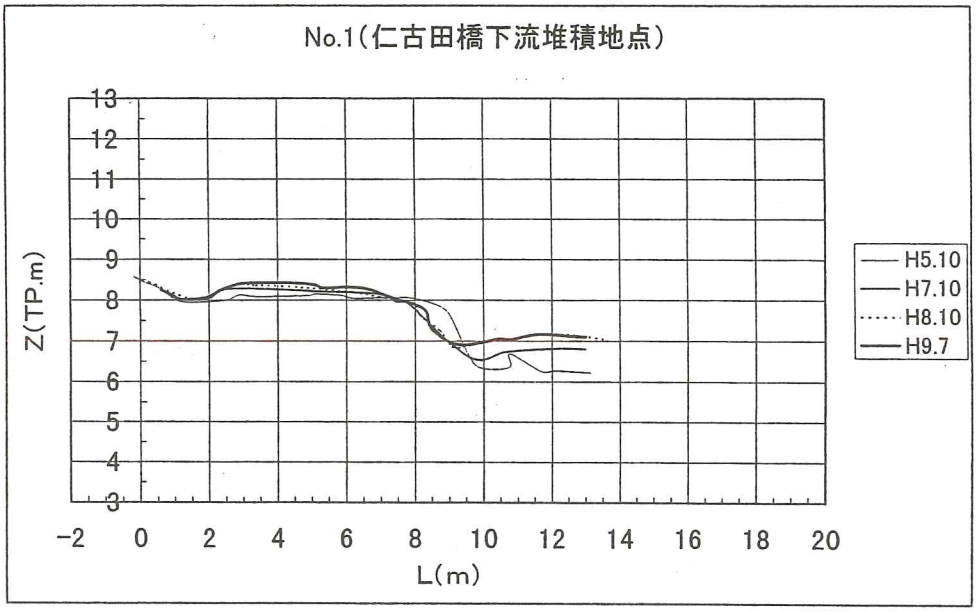
当該地点においては本調査を開始する以前には堆積の発達が見られたものの、調査開始後には目立った堆積は確認されていない。しかし今後対岸の河岸侵食が発達して河積の著しい増大があれば再び堆積が進行し始める可能性は残されている。



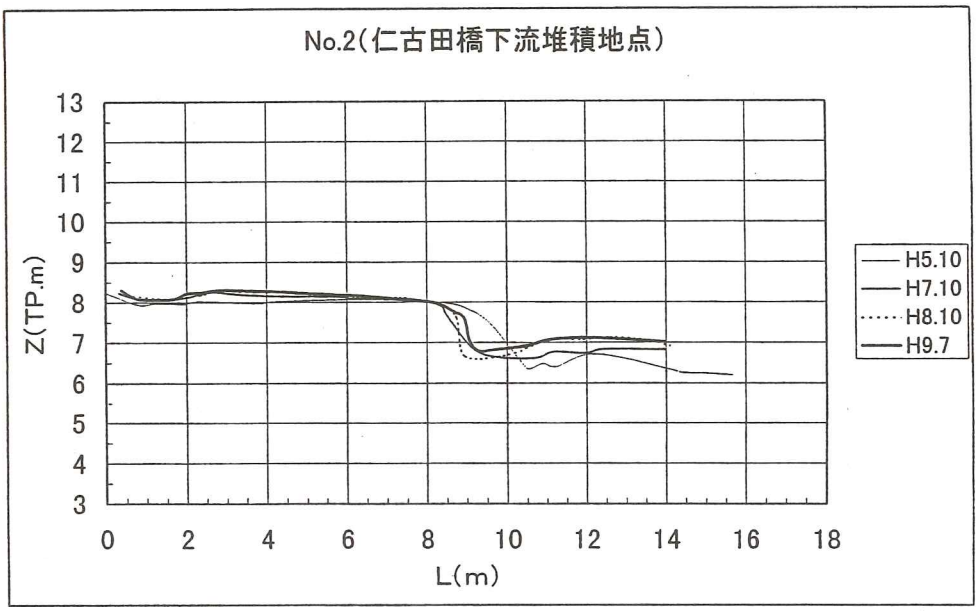
図－10.3.37

図－10.3.36 仁古田橋下流堆積調査平面図

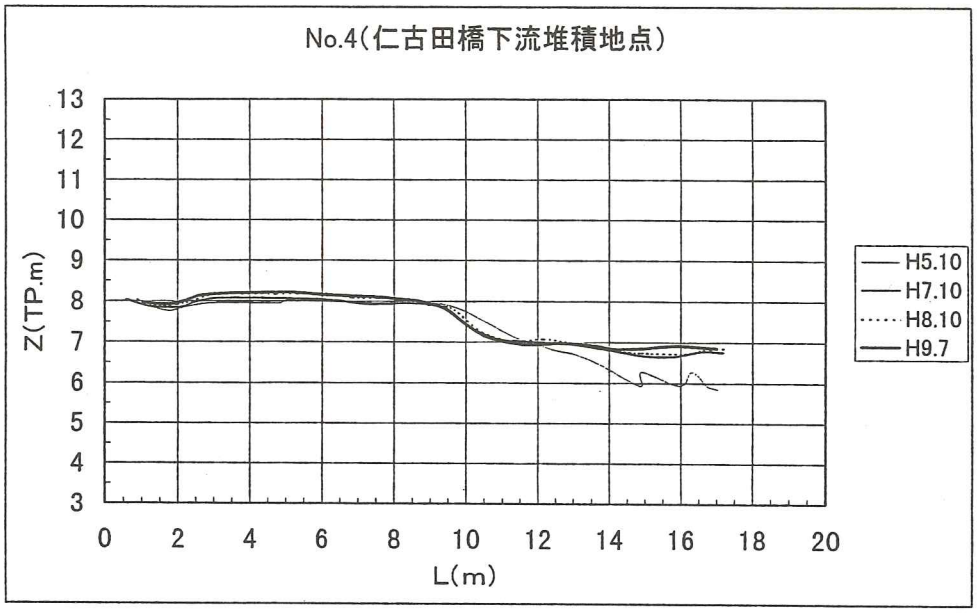
図－10.3.37　仁古田橋下流（右岸）の測量位置



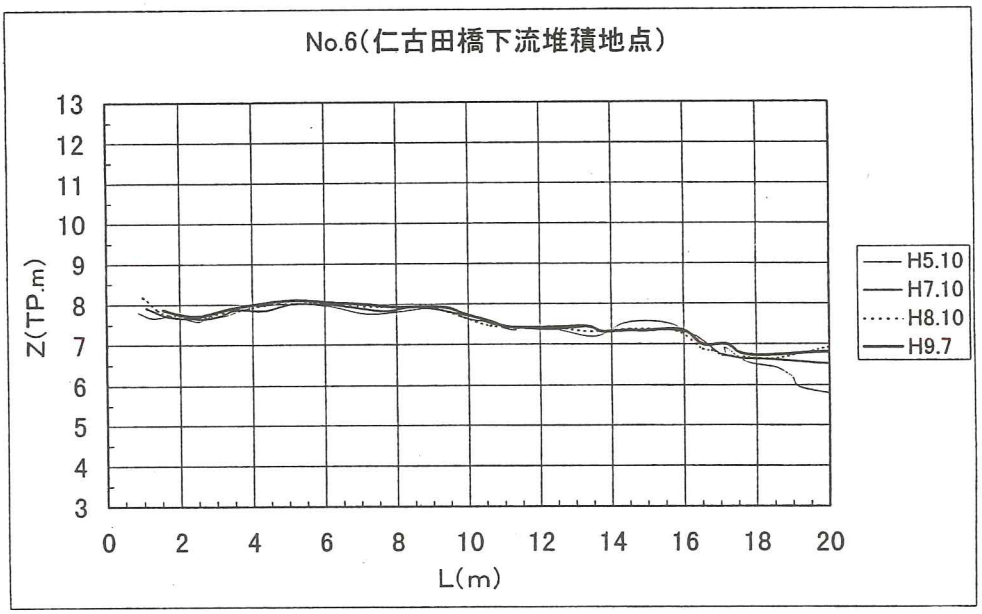
図－10.3.38　仁古田橋下流（左岸）の変化状況(No.1)



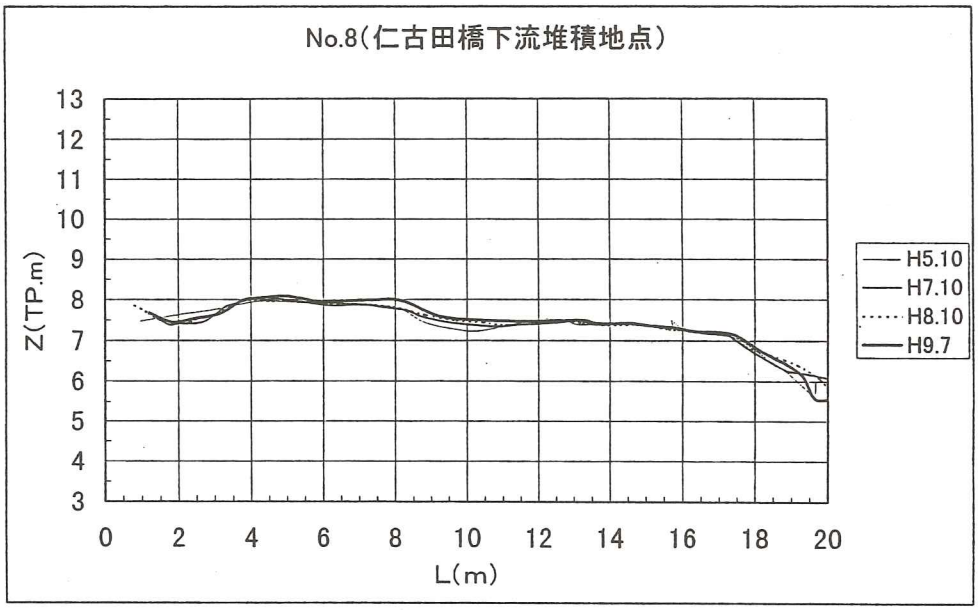
図－10.3.39　仁古田橋下流（左岸）の変化状況(No.2)



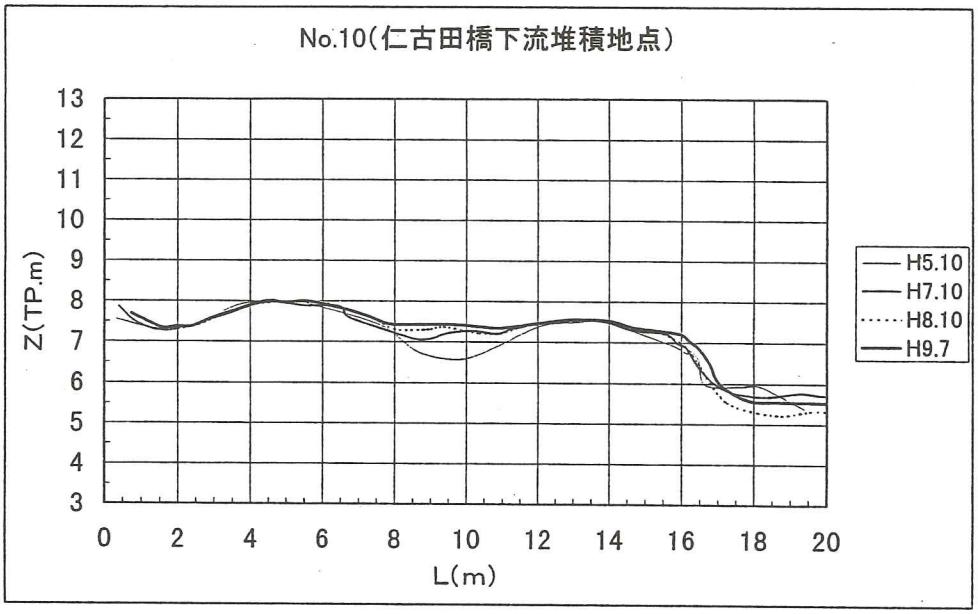
図－10.3.40　仁古田橋下流（左岸）の変化状況(No.4)



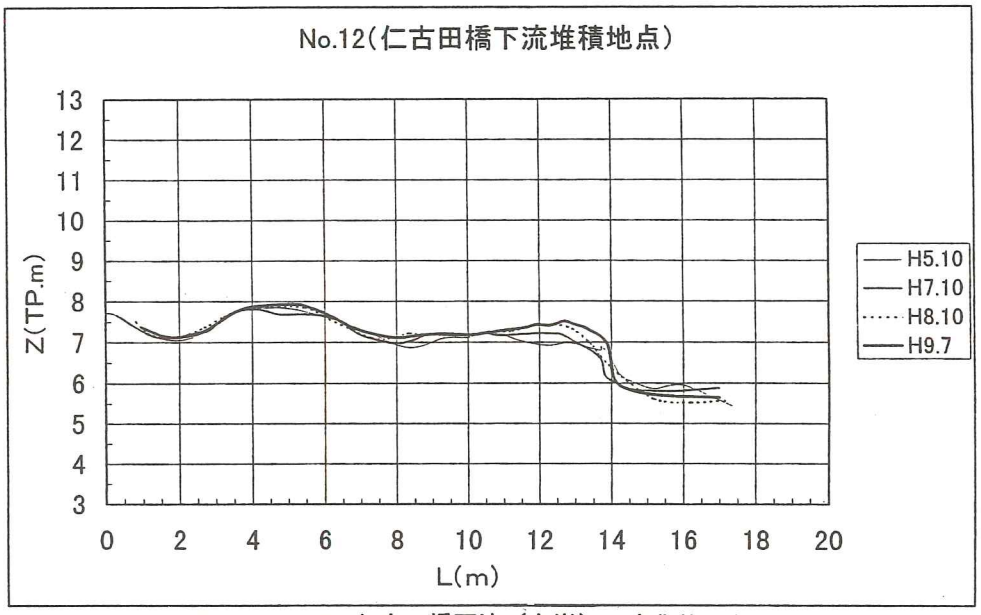
図－10.3.41　仁古田橋下流（左岸）の変化状況(No.6)



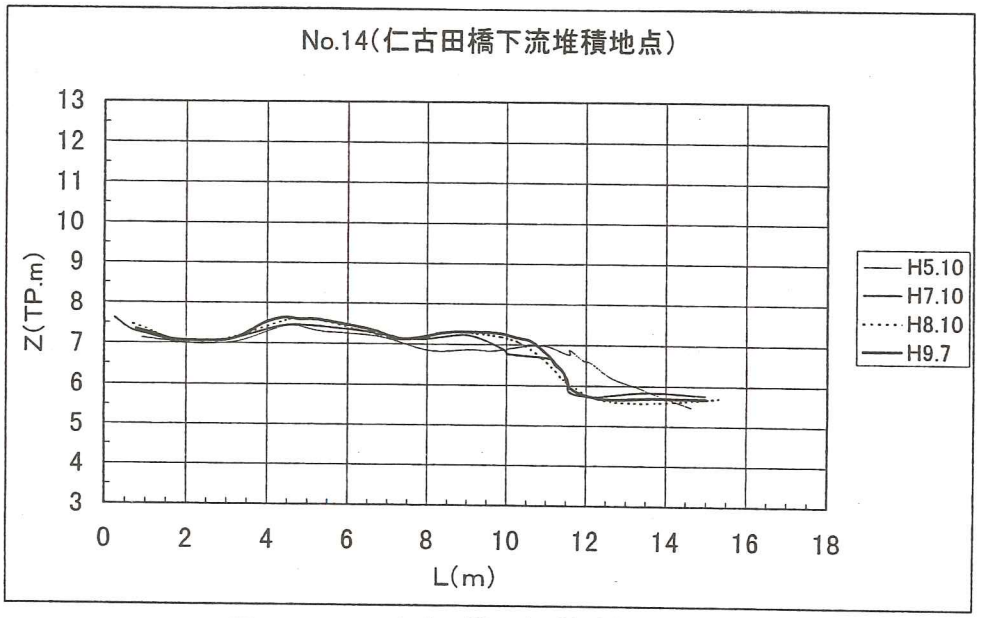
図－10.3.42　仁古田橋下流（左岸）の変化状況(No.8)



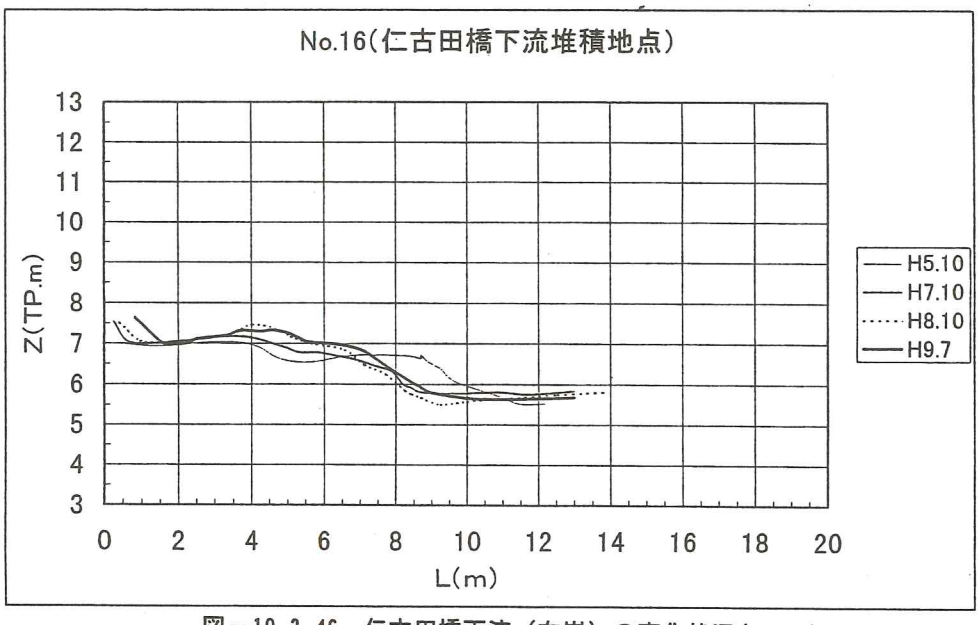
図－10.3.43　仁古田橋下流（左岸）の変化状況(No.10)



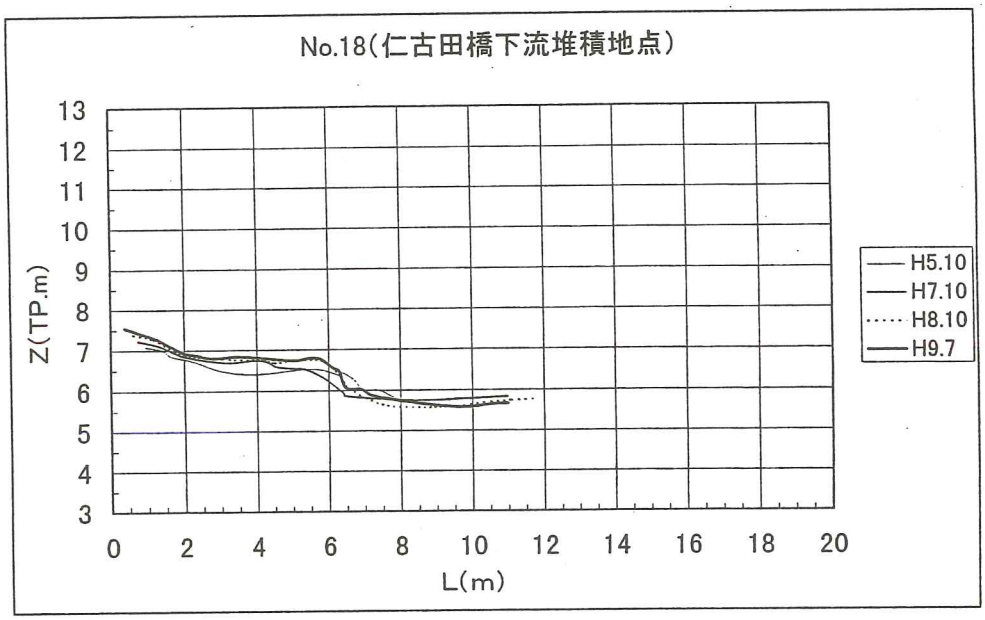
図－10.3.44　仁古田橋下流（左岸）の変化状況(No.12)



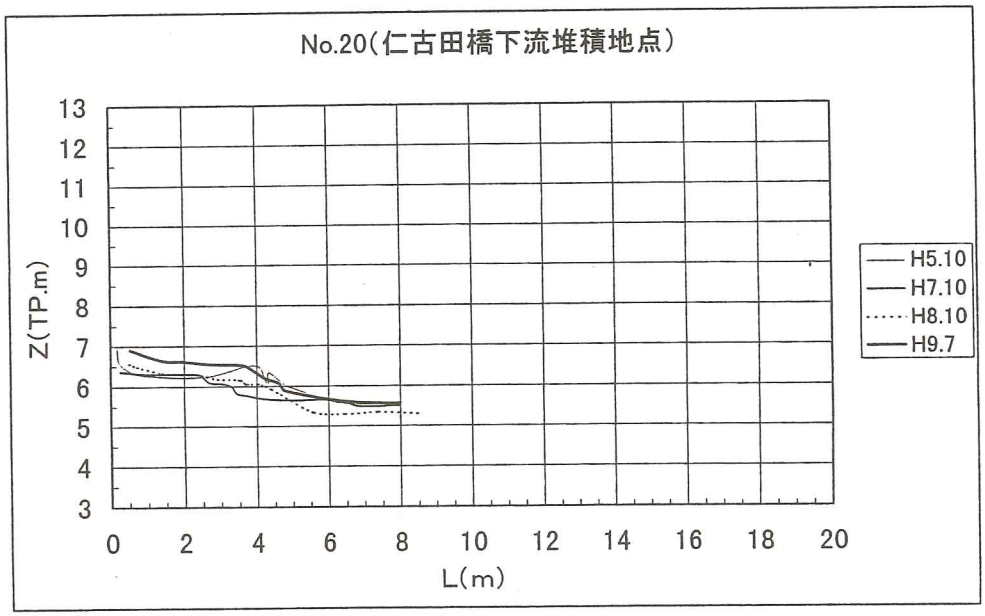
図－10.3.45　仁古田橋下流（左岸）の変化状況(No.14)



図－10.3.46　仁古田橋下流（左岸）の変化状況(No.16)



図－10.3.47　仁古田橋下流（左岸）の変化状況(No.18)

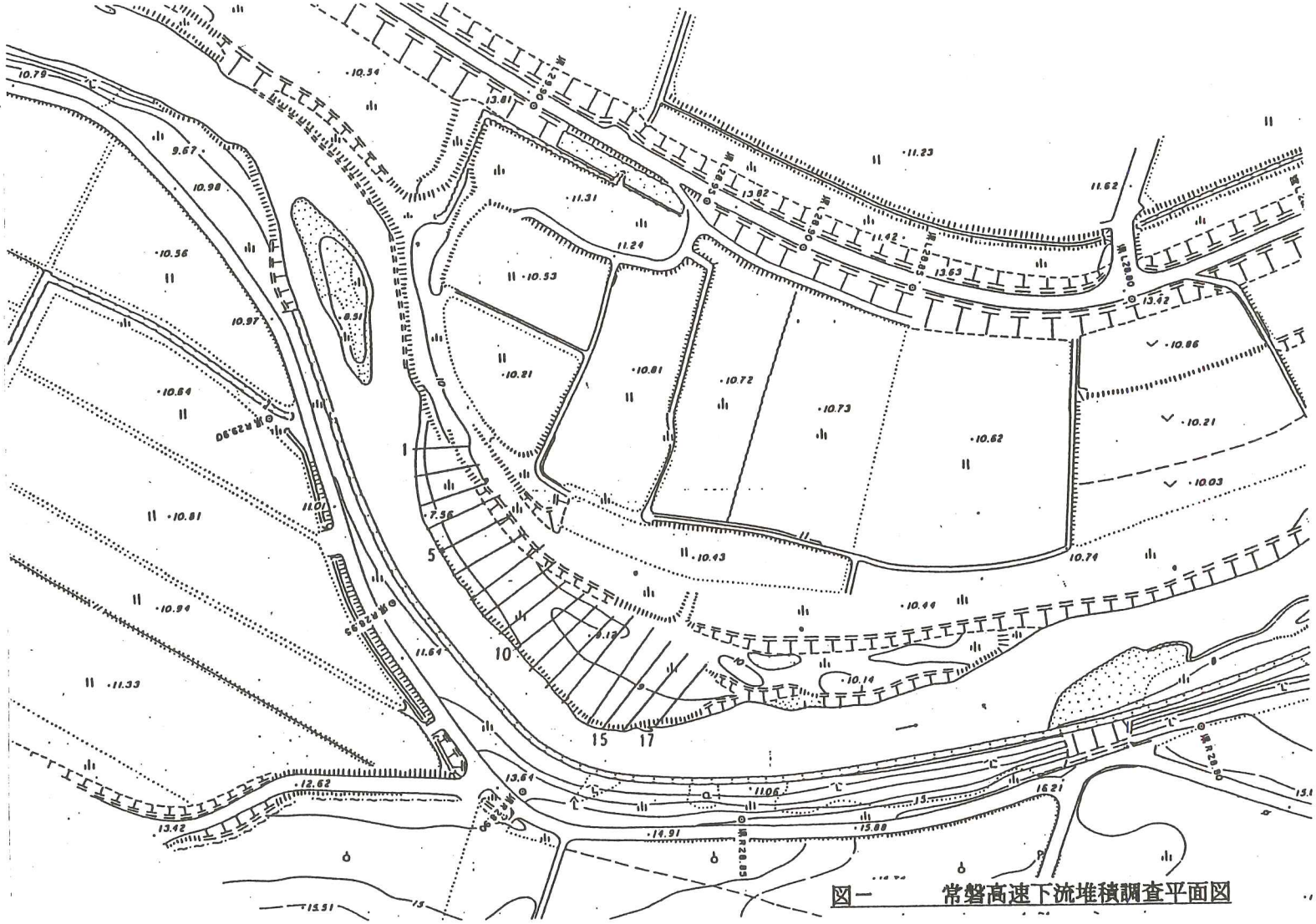


図－10.3.48　仁古田橋下流（左岸）の変化状況(No.20)

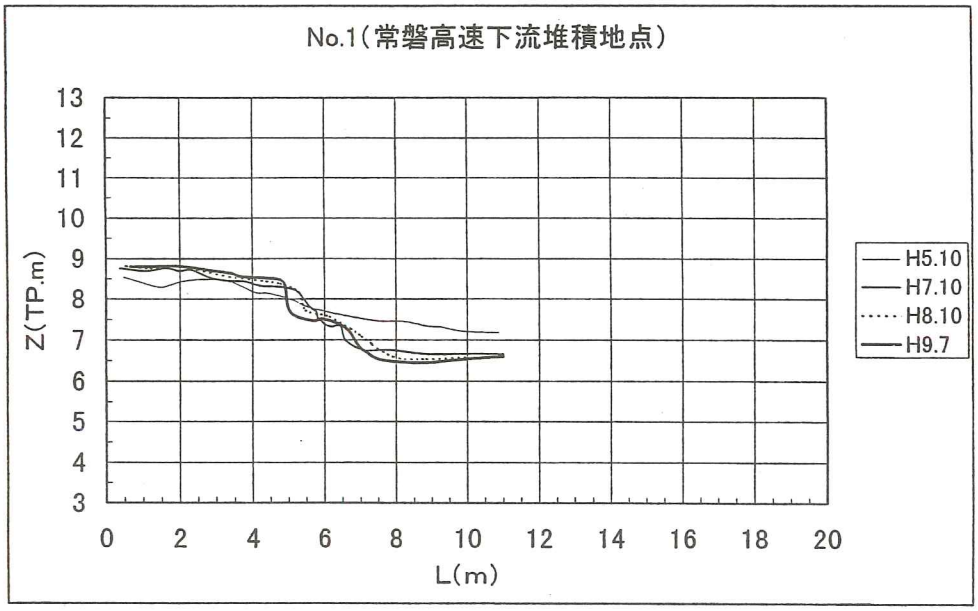
10.3.5　常磐高速下流地点（河岸堆積調査）

当該地点の河道平面形状および測定位置を図－10.3.49 に示す。同地点は部分的に河道拡幅した湾曲部の内岸側にあたるところで、もともと内岸側に堆積したポイントバーであった。本調査を実施する前の発達状況は概ね次の通りであった。まず砂利がポイントバーを形成し、しばらくして植生が繁茂した。この状態で洪水を経験すると植生が細粒土を捕捉しつつ次第に標高を高めた。標高が高くなるといっそう密に植生が繁茂するようになり、それがまた洪水時の土砂捕捉機能を高めるという相乗効果を生み出して堆積速度を高めた。ある程度比高が高まると、①冠水頻度が減る、②繁茂する植生の種類がヨシ等の流速軽減効果の大きいと考えられる植生からカナムグラなど背が低く流速低減効果の低い植生に遷移が進んだこと、の２点によりポイントバーの発達速度は急速に低下した。なお、ポイントバーの発達過程の詳細については前回のレポートを参照されたい。

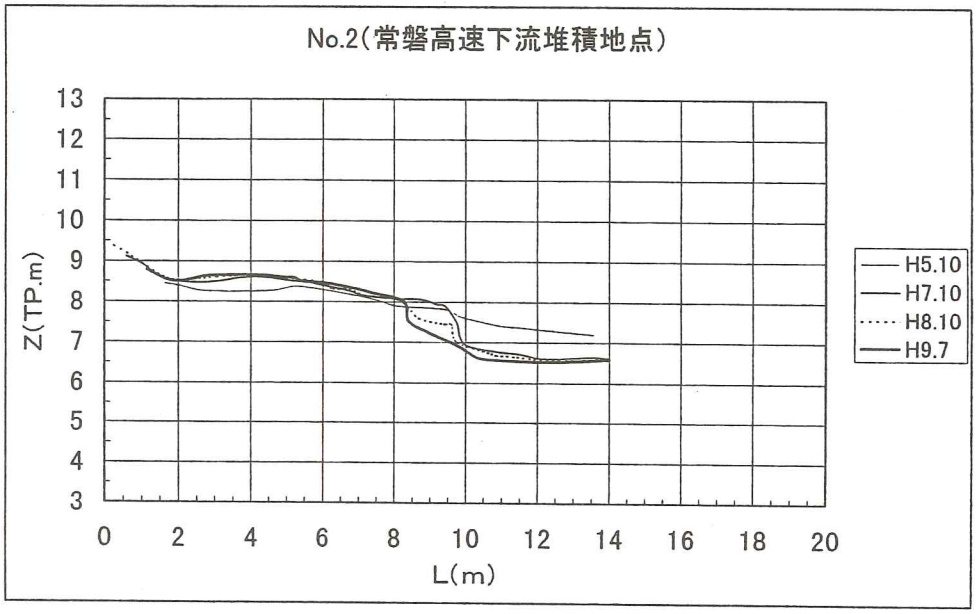
本調査結果を図－10.3.50～図－10.3.58 に示す。本調査を開始して間もない平成７年にはほぼ現在の標高に達しており、成長がほぼ終了した状況になっている。この標高は周辺の高水敷河道にほぼ一致している。現在では河岸部が小規模な侵食を受ける程度の微少な変化が確認できるだけである。



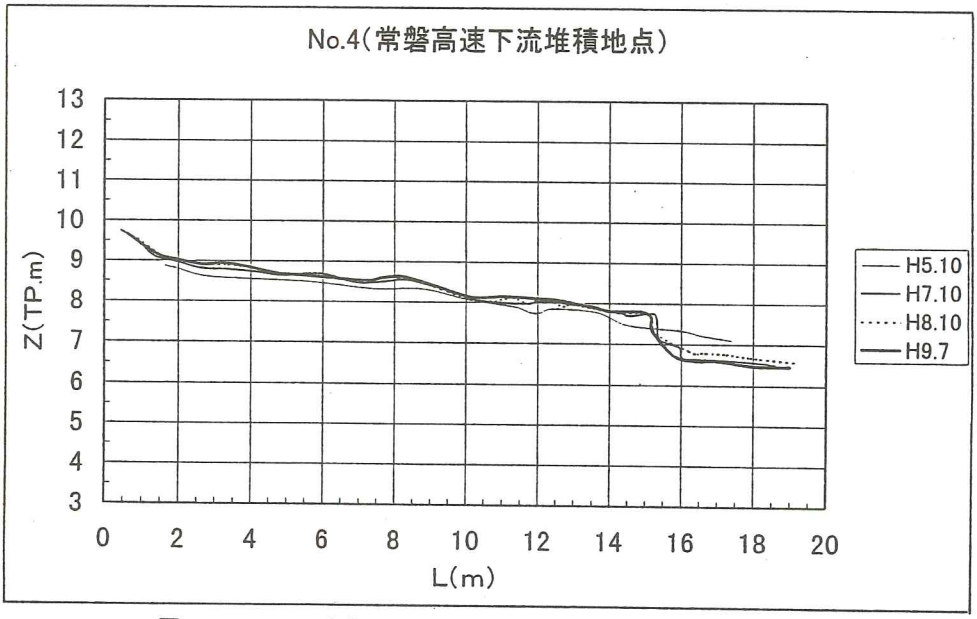
図－10.3.49　常磐高速下流地点の測量位置図



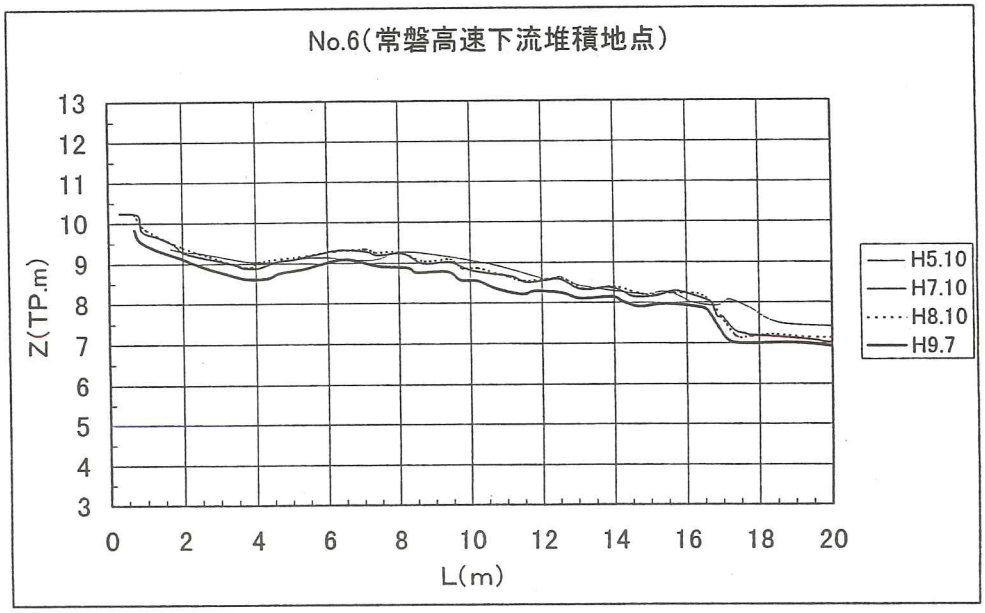
図－10.3.50　常磐高速下流地点（左岸）の変化状況（No.1）



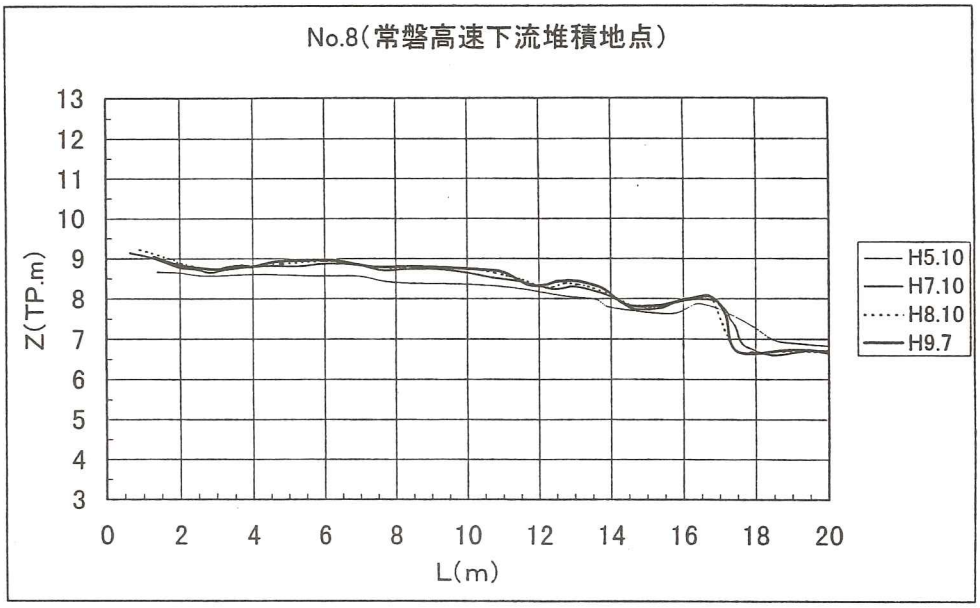
図－10.3.51　常磐高速下流地点（左岸）の変化状況（No.2）



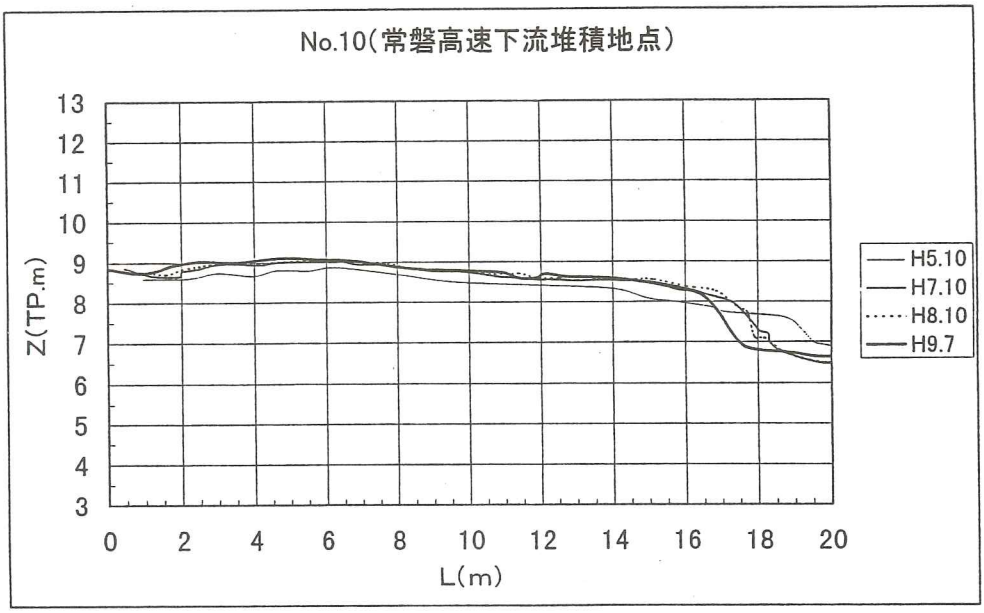
図－10.3.52　常磐高速下流地点（左岸）の変化状況（No.4）



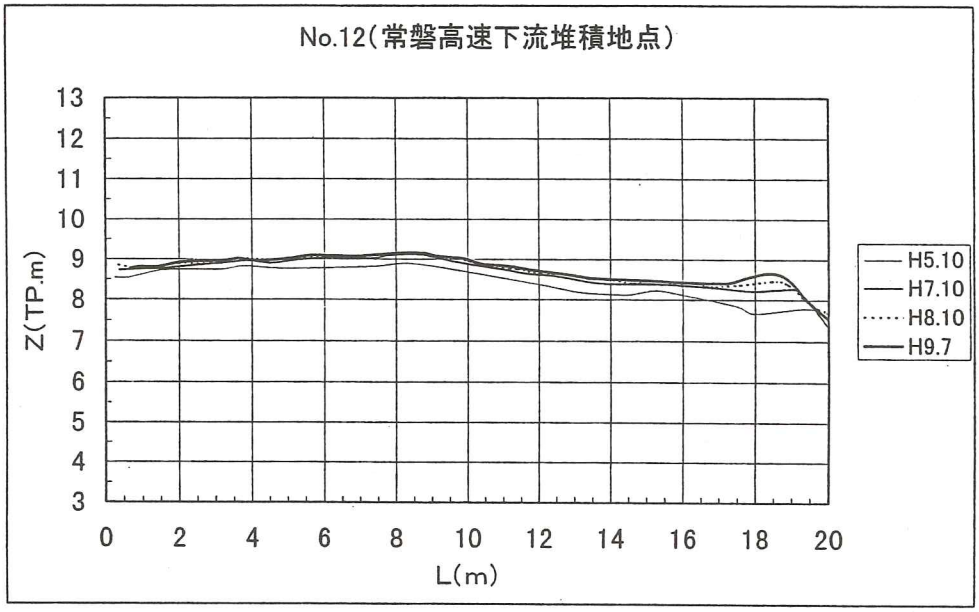
図－10.3.53　常磐高速下流地点（左岸）の変化状況（No.6）



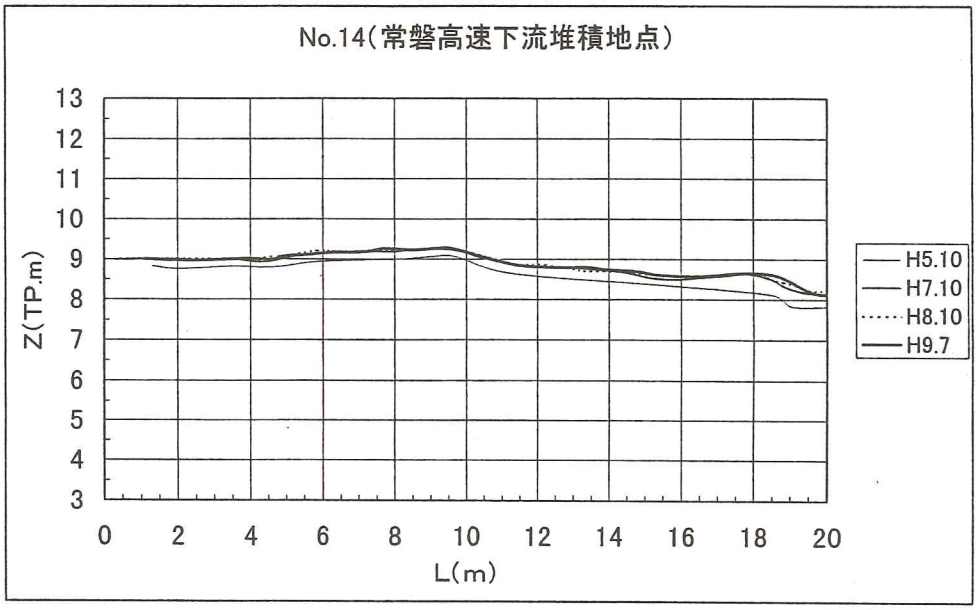
図－10.3.54　常磐高速下流地点（左岸）の変化状況（No.8）



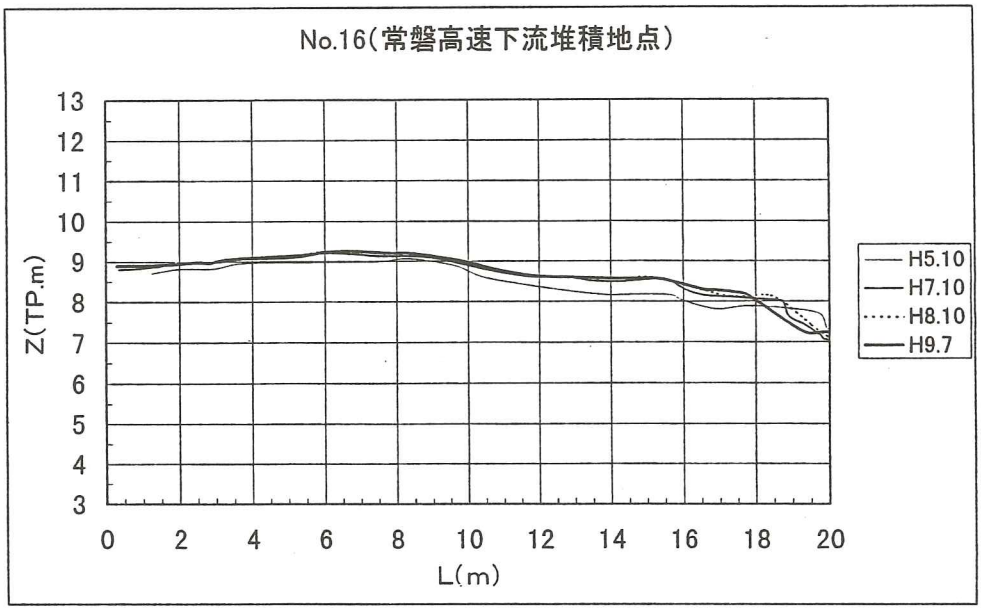
図－10.3.55　常磐高速下流地点（左岸）の変化状況（No.10）



図－10.3.56　常磐高速下流地点（左岸）の変化状況（No.12）



図－10.3.57　常磐高速下流地点（左岸）の変化状況（No.14）



図－10.3.58　常磐高速下流地点（左岸）の変化状況（No.16）

資　料　編

1．資料の概要

1990 年～2000 年に涸沼川で実施した調査項目を表－資 1.1 示す。本編では、これらの調査結果を可能な限り記載し、今後の基礎資料とする。データの記載に当たっては、容易にデータの再編集・整理ができるよう、電子データとして CD-R に収録することとした。なお、コンピュータの動作環境については、Windows95 が動作するものとし、各データは Microsoft Excel 95 形式で収録した。CD-R の収録データは以下のとおりである。

① 洪水観測データ　⑤ 粒度試験データ
② 水位データ　⑥ 雨量データ
③ 浮遊砂データ　⑦ 水質分析結果
④ 地形変化データ　⑧ 流域情報

洪水観測データは、洪水時観測データを各洪水毎に示した。データの内容は、水位、流量、浮遊土砂、水面勾配、痕跡水位によって構成される（測定項目は各観測によって異なる）。

涸沼川洪水観測施設における水位・雨量データは、28.1km 涸沼川洪水観測施設に設置されているテレメータ装置による連続水位データである。また、雨量は涸沼川流域付近に設置されている徳蔵雨量観測所（建設省所管）の時間雨量データである。

地形変化データは、涸沼川洪水観測施設周辺の侵食・堆積調査結果（第 10 章参照）および涸沼川の涸沼流入部における河口テラスの堆積調査結果（第 4 章参照）の数値結果を示した。

資料－1.1 観測項目

1990年8月10日洪水

観測施設	8/10												
開始時刻	14:01	14:16	15:48	16:49	17:43	19:02	19:45	20:53	21:50	22:47			
水面勾配													
流量観測			○	○	○	○	○	○	○	○			
流速変動(20sec平均)	60sec	60sec	○	○	○	○	○	○	○	○			
浮遊土砂(河道中央:水深0.5m)			○	○	○	○	○	○	○	○			
〃(河道中央:水深1.5m)			○	○	○	○	○	○	○	○			

1990年9月30日洪水

観測施設	9/30				10/1								
開始時刻	10:07	11:05	11:55	12:56	1:57	2:57	3:57	4:59					
水面勾配													
流量観測	○	○	○	○	○	○	○	○					
流速変動(10sec平均)													
浮遊土砂(河道中央:水深0.5m)	○	○	○	○	○	○	○	○					
〃(河道中央:水深1.0m)	○	○	○	○	○	○	○	○					

1990年10月8日洪水

観測施設	10/8				10/1								
開始時刻	19:30	20:30	21:30	22:30	0:30	2:30	3:10	4:30	5:30	6:10	6:30	8:30	9:30
水面勾配(28.06ー28.08km)	○	○	○	○	○	○		○			○	○	
流量観測	○	○	○	○	○	○		○			○	○	
流速変動													
浮遊土砂(河道中央:水深0.3m)												○	○
〃(河道中央:水深0.5m)	○	○	○	○	○	○		○		○		○	
〃(河道中央:水深1.5m)	○	○	○	○	○		○		○		○	○	

1991年6月20日洪水

観測施設	6/20												
開始時刻	14:30	15:07	15:33	16:00	16:36	17:00	18:00						
水面勾配													
流量観測													
流速変動(10sec平均)	○	○	○	○	○	○	○						
浮遊土砂(河道中央:水深0.3m)							○						
〃(河道中央:水深0.5m)		○	○		○		○						
〃(河道中央:水深0.8m)							○						

1991年8月20日洪水

観測施設	8/20								8/21				
開始時刻	20:03	20:32	21:30	22:00	22:06	22:30	23:01	23:36	0:02	0:21	0:31	0:47	1:02
水面勾配													
流量観測													
流速変動(10sec平均)		○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(河道中央:水深1.0m)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

観測施設	8/21												
開始時刻	1:31	1:59	2:30	3:00	4:00	5:00	5:59	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00
水面勾配													
流量観測													
流速変動(10sec平均)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(河道中央:水深1.0m)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

観測施設	8/21												
開始時刻	13:00	14:00	15:00										
水面勾配													
流量観測													
流速変動(10sec平均)	○	○	○										
浮遊土砂(河道中央:水深1.0m)	○	○	○										

資料－1.1 観測項目

1991年9月8日洪水

観測施設	9/8												
開始時刻	20:03	20:32	21:30										
水面勾配													
流量観測(電磁流速計、4断面)	○	○	○										
流速変動(10sec平均、4断面)	○	○	○										
浮遊土砂(測線1)	○	○	○										
〃(測線2)	○	○	○										
〃(測線3)	○	○	○										
〃(測線4)	○	○	○										

1991年9月19日洪水

観測施設	9/19												
開始時刻	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	21:30	22:00
水面勾配(27.9ー28.4km)				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
流量観測		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
流速変動(10sec平均)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○
浮遊土砂(河道中央:水深1.0m)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○
洪水痕跡(両岸)													

観測施設		9/20											
開始時刻	23:00	0:00	洪水後										
水面勾配(27.9ー28.4km)	○	○											
流量観測	○	○											
流速変動(10sec平均)	○	○											
浮遊土砂(河道中央:水深1.0m)	○	○											
洪水痕跡(両岸)			○										

1992年10月9日洪水

観測施設	10/9												
開始時刻	10:26	11:26	11:55	12:29	13:25	13:46	15:10	15:28	16:39	16:55			
水面勾配													
流量観測													
流速変動(10sec平均)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
浮遊土砂(河道中央:水深0.5m)		○		○		○		○		○			
〃(河道中央:水深1.0m)		○		○		○		○		○			
〃(河道中央:水深1.5m)		○		○		○		○		○			
〃(右岸:水深0.5m)	○		○		○		○		○				
〃(右岸:水深1.0m)	○		○		○		○		○				
〃(右岸:水深1.5m)	○		○		○		○		○				

1992年12月8日洪水

観測施設	12/8												
開始時刻	13:03	13:30	14:02	14:26	14:59	15:14	15:57	16:14					
水面勾配													
流量観測													
流速変動(10sec平均)	○	○	○	○	○	○	○	○					
浮遊土砂(河道中央:水深0.5m)	○		○		○		○						
〃(河道中央:水深1.0m)	○		○		○		○						
〃(河道中央:水深1.5m)	○		○		○		○						
〃(右岸:水深0.5m)		○		○		○		○					
〃(右岸:水深1.0m)		○		○		○		○					
〃(右岸:水深1.5m)		○		○		○		○					

資料－1.1　観測項目

1993年8月27日洪水

観測施設	12/8												
開始時刻	10:24	10:32	11:29	13:55	14:54	16:13	16:48	18:00	18:32	18:58	19:33	19:57	20:33
水面勾配							○	○		○		○	
流量観測(電磁、断面内1点)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
流量観測(浮子法)									○	○	○	○	○
流速変動(1sec平均)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(河道中央:水深0.5m)		○	○					○	○	○	○	○	○
〃(河道中央:水深1.0m)		○	○	○	○	○	○						
〃(河道中央:水深1.5m)		○	○					○	○	○	○	○	○
〃(右岸:水深0.5m)		○	○	○	○								
〃(右岸:水深1.0m)		○	○										
〃(右岸:水深1.5m)		○	○	○	○								
痕跡水位(27.8ー28.5km)													

観測施設	12/8												
開始時刻	20:56	21:33	21:55	洪水後									
水面勾配	○												
流量観測(電磁、断面内1点)	○	○	○										
流量観測(浮子法)	○	○	○										
流速変動(10sec平均)	○	○	○										
浮遊土砂(河道中央:水深0.5m)	○	○	○										
〃(河道中央:水深1.0m)													
〃(河道中央:水深1.5m)	○	○	○										
〃(右岸:水深0.5m)													
〃(右岸:水深1.0m)													
〃(右岸:水深1.5m)													
痕跡水位(27.8ー28.5km)				○									

1994年9月30日洪水

観測施設	9/30												
開始時刻	11:20	12:20	13:24	14:50									
水面勾配(28.1,28.2km)	○	○	○	○									
流量観測(浮子法)	○	○	○	○									
流速変動(1sec平均)	○	○	○	○									
浮遊土砂(河道中央:水深0.5m)	○	○	○	○									
〃(河道中央:水深1.0m)	○	○	○	○									
〃(河道中央:水深1.5m)	○	○	○	○									
〃(河道中央:水深2.0m)	○	○	○	○									

1995年11月20日洪水

観測施設	11/20												
開始時刻	15:52	16:23	17:29	18:02	18:40	19:16	19:40	20:00					
水面勾配(28.1,28.2km)	○	○	○	○		○		○					
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○					
流速変動(電磁流速計,33Hz)	○	○	○	○	○	○	○	○					
浮遊土砂(掃流採砂器:河床0.1m)	○	○	○	○	○	○	○	○					
〃(〃:河床0.4m)													
〃(〃:河床1.0m)													
〃(〃:河床2.0m)													
〃(〃:河床3.0m)													

資料－1.1 観測項目

1996年9月22日洪水

観測施設	9/22											9/23	
開始時刻	11:21	13:25	14:02	15:17	16:32	17:55	18:57	20:00	21:03	22:00	23:00	15:30	17:25
水面勾配(28.1,28.2km)													
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
流速変動(電磁流速計,33Hz)	○	○	○	○								○	○
浮遊土砂(掃流採砂器:河床0.1m)	○		○										
〃(〃:河床0.4m)	○	○	○									○	○
〃(〃:河床1.0m)		○	○									○	○
〃(〃:河床2.0m)		○	○	○									
〃(〃:河床3.0m)		○	○	○									
〃(河道中央:水深0.5m)					○	○	○	○	○	○	○		

観測施設	9/23												
開始時刻	19:25												
水面勾配(28.1,28.2km)													
流量観測(浮子法)	○												
流速変動(電磁流速計,33Hz)	○												
浮遊土砂(掃流採砂器:河床0.1m)													
〃(〃:河床0.4m)	○												
〃(〃:河床1.0m)	○												
〃(〃:河床2.0m)													
〃(〃:河床3.0m)													
〃(河道中央:水深0.5m)													

支川:稲田川	9/23												
開始時刻	14:00	15:00	17:00	19:00	21:00	23:00							
水面勾配	○	○	○	○	○	○							
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○							
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○	○	○	○							

支川:片庭川	9/23												
開始時刻	14:00	15:00	17:00	19:00	21:00	23:00							
水面勾配	○	○	○	○	○	○							
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○							
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○	○	○	○							

1997年6月20日洪水

観測施設	6/20												6/21
開始時刻	12:00	12:57	14:00	14:56	16:06	16:51	18:00	19:00	20:00	20:59	22:00	23:00	0:00
水面勾配(28.1,28.2km)													
流量観測(浮子法)													
流速変動(電磁流速計,33Hz)					○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(掃流採砂器:河床0.1m)													
〃(〃:河床0.4m)	○	○	○	○									
〃(〃:河床1.0m)	○	○	○	○									
〃(〃:河床2.0m)			○	○	○	○							
〃(〃:河床3.0m)					○	○							
〃(河道中央:水深0.5m)							○	○	○	○	○	○	○

観測施設	6/21												
開始時刻	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	8:00						
水面勾配(28.1,28.2km)													
流量観測(浮子法)													
流速変動(電磁流速計,33Hz)	○	○	○	○	○	○	○						
浮遊土砂(掃流採砂器:河床0.1m)													
〃(〃:河床0.4m)													
〃(〃:河床1.0m)													
〃(〃:河床2.0m)													
〃(〃:河床3.0m)													
〃(河道中央:水深0.5m)	○	○	○	○	○	○	○						

資料－1.1　観測項目

本川上流部	6/20										6/21		
開始時刻	10:00	12:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	20:00	21:00	22:00	0:00	2:00	
水面勾配													
流量観測(浮子法)													
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

支川:稲田川	9/20												9/21
開始時刻	10:00	12:00	14:00	15:00	16:00	17:00	17:30	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	0:00
水面勾配	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○		○		○	○	○	○
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○	○	○	○		○		○	○	○	○

支川:稲田川	9/21												
開始時刻	2:00												
水面勾配	○												
流量観測(浮子法)	○												
浮遊土砂(水深0.5m)	○												

支川:片庭川	9/20												9/21
開始時刻	10:00	12:00	14:00	15:00	16:00	17:00	17:30	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	0:00
水面勾配	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○		○		○	○	○	○
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○	○	○	○		○		○	○	○	○

支川:片庭川	9/21												
開始時刻	2:00												
水面勾配	○												
流量観測(浮子法)	○												
浮遊土砂(水深0.5m)	○												

1998年9月16日洪水

観測施設	9/15	9/16											
開始時刻	23:28	0:01	1:01	1:58	3:03	3:55	5:13	5:37	6:02	6:28	7:01	7:29	8:02
水面勾配(28.1,28.2km)													
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
流速変動(電磁流速計,33Hz)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(掃流採砂器:河床0.1m)													
〃(〃:河床0.4m)	○	○	○	○	○	○							
〃(〃:河床1.0m)			○	○									
〃(〃:河床2.0m)				○	○	○							
〃(〃:河床3.0m)						○							
〃(河道中央:水深0.5m)							○	○	○	○	○	○	○

観測施設	9/16												
開始時刻	8:32	9:02	9:36	10:00	10:35	11:04	12:01	12:30	13:10	13:35	14:05	15:00	16:07
水面勾配(28.1,28.2km)													
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
流速変動(電磁流速計,33Hz)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(掃流採砂器:河床0.1m)													
〃(〃:河床0.4m)													
〃(〃:河床1.0m)													
〃(〃:河床2.0m)													
〃(〃:河床3.0m)													
〃(河道中央:水深0.5m)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

観測施設	9/16					9/17							
開始時刻	17:00	18:03	19:00	20:00	21:00	7:15	9:03	11:00	13:00				
水面勾配(28.1,28.2km)													
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
流速変動(電磁流速計,33Hz)	○	○	○	○	○								
浮遊土砂(掃流採砂器:河床0.1m)													
〃(〃:河床0.4m)						○	○	○	○				
〃(〃:河床1.0m)													
〃(〃:河床2.0m)													
〃(〃:河床3.0m)													
〃(河道中央:水深0.5m)	○	○	○	○	○	○	○	○	○				

資料－1.1 観測項目

本川上流部	9/15	9/16											
開始時刻	23:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00
水面勾配	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

本川上流部	9/16												
開始時刻	13:00	14:00	15:00	17:00	18:00								
水面勾配	○	○	○	○	○								
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○								
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○	○	○								

支川:稲田川	9/15	9/16											
開始時刻	23:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00
水面勾配	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

支川:稲田川	9/16												
開始時刻	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00							
水面勾配	○	○	○		○	○							
流量観測(浮子法)	○	○	○		○	○							
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○		○	○							

支川:片庭川	9/15	9/16											
開始時刻	23:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00
水面勾配	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

支川:片庭川	9/16												
開始時刻	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00							
水面勾配	○	○	○		○	○							
流量観測(浮子法)	○	○	○		○	○							
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○		○	○							

支川:桜川	9/15	9/16											
開始時刻	23:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00
水面勾配	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

支川:桜川	9/16												
開始時刻	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00					
水面勾配	○	○	○	○	○	○		○					
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○		○					
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○	○	○	○		○					

支川:涸沼前川	9/15		9/16										
開始時刻	22:00	23:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
水面勾配													
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○	○	○	○	▲	▲	▲	○	○	○	○

支川:涸沼前川	9/16										9/17		
開始時刻	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	9:00	10:00	11:00
水面勾配													
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

支川:涸沼前川	9/17												
開始時刻	12:00	13:00											
水面勾配													
流量観測(浮子法)	○	○											
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○											

資料－1.1 観測項目

支川:寛政川	9/15		9/16										
開始時刻	22:00	23:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
水面勾配													
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

支川:寛政川	9/16										9/17		
開始時刻	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	9:00	10:00	11:00
水面勾配													
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

支川:寛政川	9/17												
開始時刻	12:00	13:00											
水面勾配													
流量観測(浮子法)	○	○											
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○											

本川下流部	9/15		9/16										
開始時刻	22:00	23:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
水面勾配													
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	バケツ	バケツ	バケツ

本川下流部	9/16										9/17		
開始時刻	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	9:00	10:00	11:00
水面勾配													
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

本川下流部	9/17												
開始時刻	12:00	13:00											
水面勾配													
流量観測(浮子法)	○	○											
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○											

1999年10月27日洪水

観測施設	10/27												10/28
開始時刻	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
水面勾配													
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

観測施設	10/28												
開始時刻	2:00	4:00	6:00	8:00									
水面勾配													
流量観測(浮子法)	○	○	○	○									
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○	○									

本川上流部	10/27												10/28
開始時刻	13:25	15:20	14:15	15:15	16:15	17:15	18:15	19:15	20:15	21:15	22:15	23:15	0:15
水面勾配	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(水深0.5m)	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○		○

本川上流部	10/28												
開始時刻	1:15	2:15	3:15	4:15	5:15	6:15	7:15	8:15					
水面勾配	○	○	○	○	○	○	○	○					
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○					
浮遊土砂(水深0.5m)		○	○	○		○		○					

支川:稲田川	10/27												
開始時刻	11:37	12:37	13:37	14:37	15:37	16:37	17:37	18:37	19:37	20:37	21:37	22:37	23:37
水面勾配													
流量観測(浮子法)													
浮遊土砂(水深0.5m)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○

資料－1.1　観測項目

支川:稲田川	10/28												
開始時刻	0:37	1:37	2:37	3:37	4:37	5:37	6:37	7:37					
水面勾配													
流量観測(浮子法)													
浮遊土砂(水深0.5m)		○		○		○		○					

支川:片庭川	10/27												
開始時刻	11:21	13:20	14:20	15:20	16:20	16:46	17:20	18:20	19:20	20:20	21:20	22:20	23:20
水面勾配													
流量観測(浮子法)			○			○				○			
浮遊土砂(水深0.5m)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○

支川:片庭川	10/28												
開始時刻	0:20	1:20	2:20	3:20	4:20	5:20	6:20	7:20	8:47				
水面勾配													
流量観測(浮子法)				○					○				
浮遊土砂(水深0.5m)		○		○		○		○					

支川:桜川	10/27												10/28
開始時刻	12:40	13:40	14:40	15:10	16:10	17:10	18:10	19:10	20:10	21:10	22:10	23:10	0:10
水面勾配	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(水深0.5m)		○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	

支川:桜川	10/28												
開始時刻	1:10	2:10	3:10	4:10	5:10	6:10	7:40						
水面勾配	○	○	○		○		○						
流量観測(浮子法)	○	○	○		○		○						
浮遊土砂(水深0.5m)	○		○		○		○						

支川:涸沼前川	10/27												10/28
開始時刻	14:00	15:00	15:40	16:00	16:40	17:40	18:40	19:40	20:40	21:40	22:40	23:40	0:40
水面勾配	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(水深0.5m)		○		○	○	○	○	○	○				

支川:涸沼前川	10/28												
開始時刻	1:40	2:40	3:40	4:40	5:40	6:40	7:40	8:40	9:40				
水面勾配	○		○		○		○	○	○				
流量観測(浮子法)	○		○		○		○	○	○				
浮遊土砂(水深0.5m)								○	○				

本川下流部	10/27											10/28	
開始時刻	13:20	14:20	15:20	16:20	17:20	18:20	19:20	20:20	21:20	22:20	23:20	0:20	1:20
水面勾配													
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(水深0.5m)	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

本川下流部	10/28												
開始時刻	2:20	3:20	4:20	5:20	6:20	7:20	8:20	9:20	10:20				
水面勾配													
流量観測(浮子法)	○	○			○		○		○				
浮遊土砂(水深0.5m)		○			○		○		○				

資料－1.1 観測項目

2000年7月7日洪水

観測施設	7/7										7/8		
開始時刻	19:00	19:10	20:00	20:09	21:00	21:07	22:00	22:10	23:00	23:10	0:10	0:23	1:00
流量観測(浮子法)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
浮遊土砂(掃流採砂器:河床0.45m)	○	○	○	○	○	○							
〃(〃:河床0.55m)							○	○					
〃(〃:河床0.75m)									○	○			
〃(〃:河床1.25m)											○	○	
〃(〃:河床1.75m)													○
〃(〃:河床2.57)													

観測施設	7/8												
開始時刻	1:05	1:05	2:03										
流量観測(浮子法)	○	○	○										
浮遊土砂(掃流採砂器:河床0.45m)													
〃(〃:河床0.55m)													
〃(〃:河床0.75m)													
〃(〃:河床1.25m)													
〃(〃:河床1.75m)	○												
〃(〃:河床2.57m)		○	○										

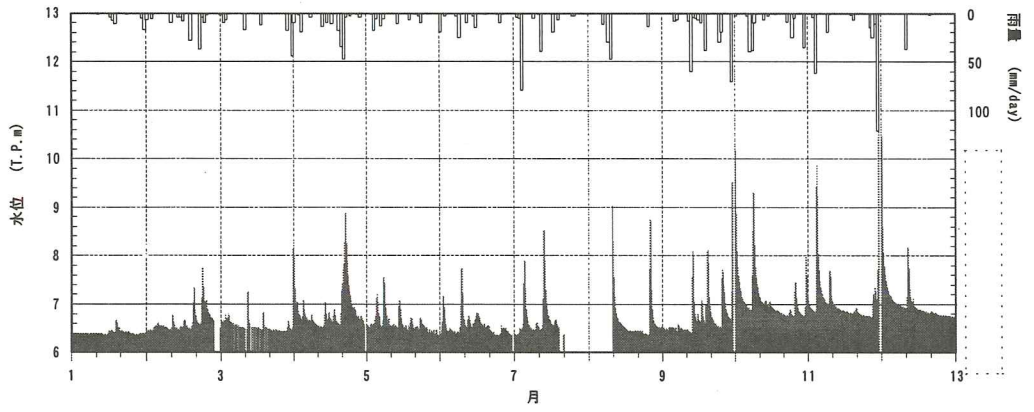
2．涸沼川洪水観測施設における水位調査結果

2.1　調査概要

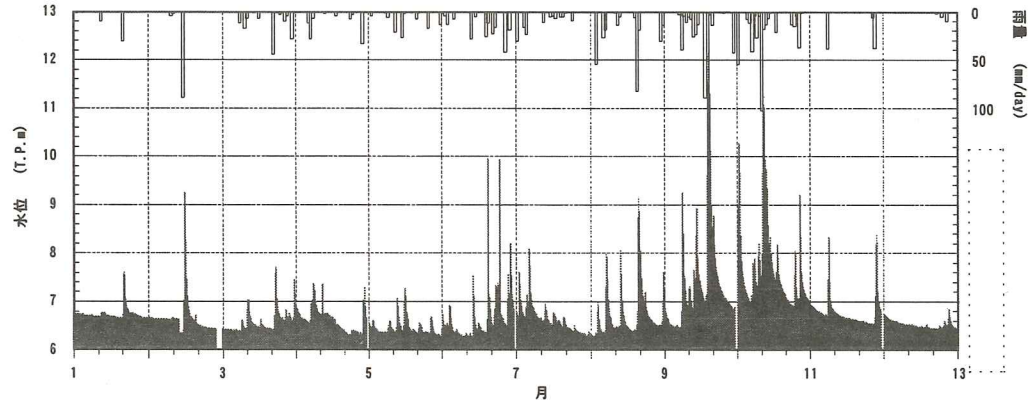
涸沼川洪水観測施設における水位データは、圧力式水位計を用いた。取得したデータは、5分間隔の連続データである。図－資2.1～図－資2.11に1990年から2000年の涸沼川洪水観測施設における日水位変動と徳蔵雨量観測所における日雨量を示す。

2.2 データフォーマット

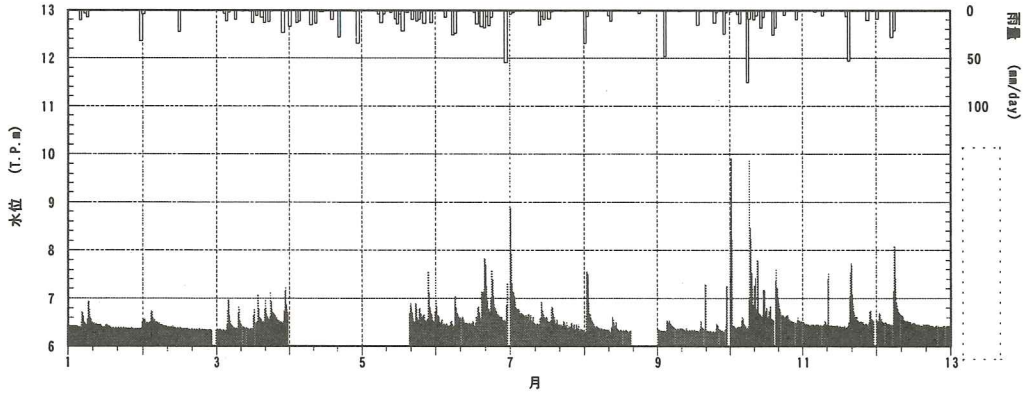
データファイルは、時間雨量月表および、日雨量年表、日水位年表として整理した。表－資2.1にデータフォーマットを示す。



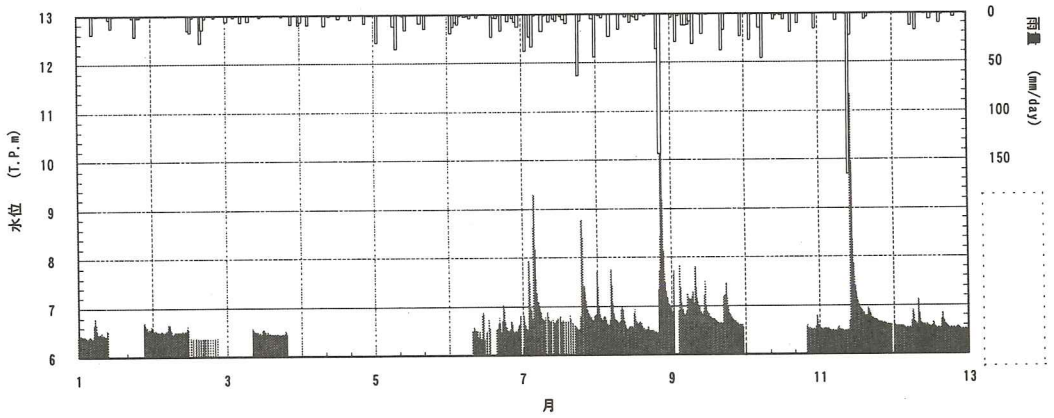
図－資 2.1　涸沼川洪水観測施設における水位変動と雨量(1990 年)



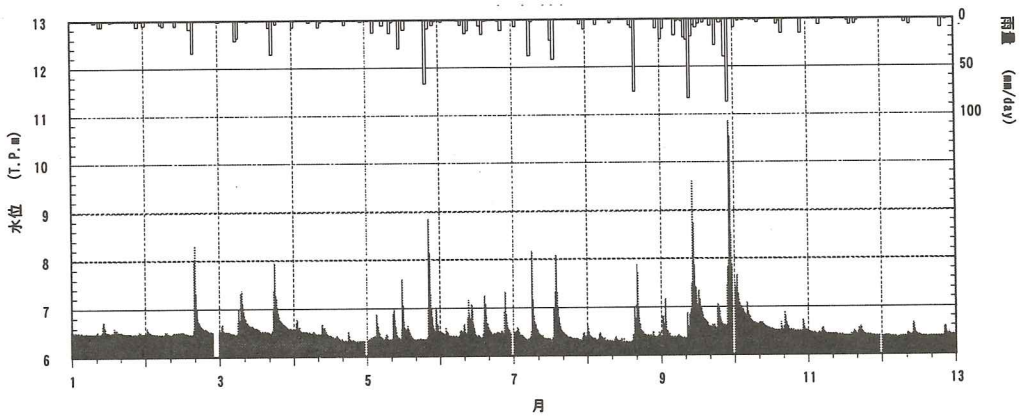
図－資 2.2　涸沼川洪水観測施設における水位変動と雨量(1991 年)



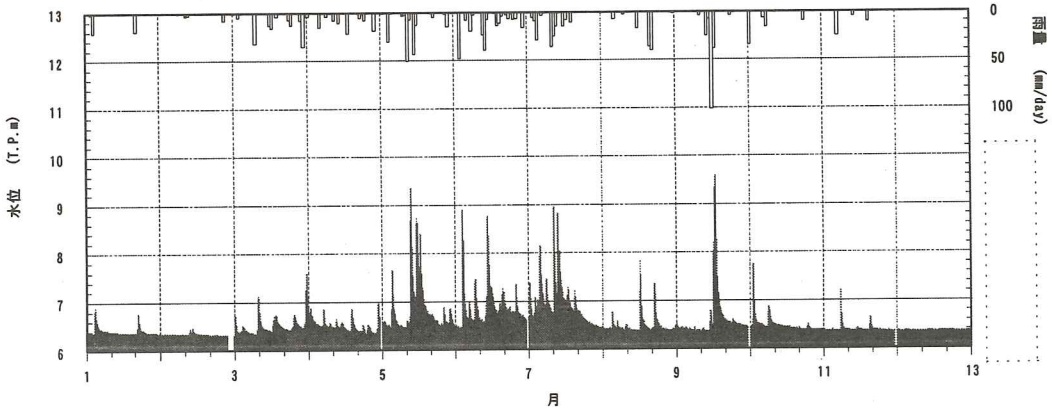
図－資 2.3　涸沼川洪水観測施設における水位変動と雨量(1992 年)



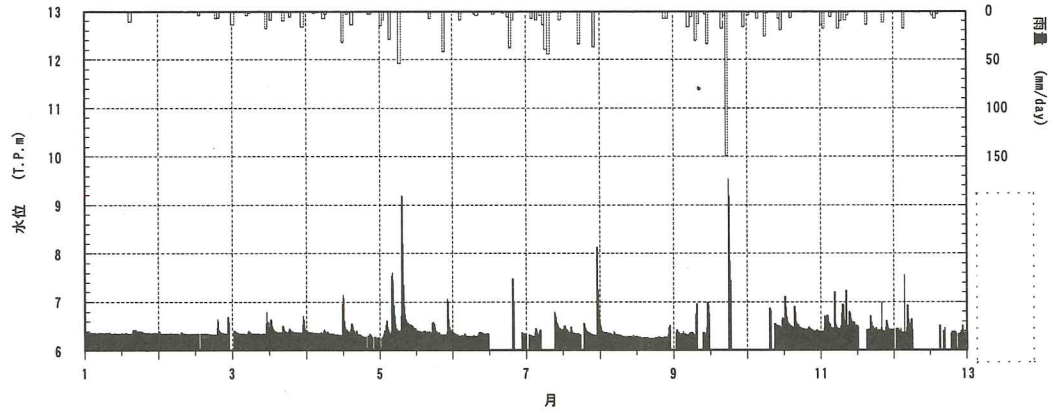
図－資 2.4　涸沼川洪水観測施設における水位変動と雨量(1993 年)



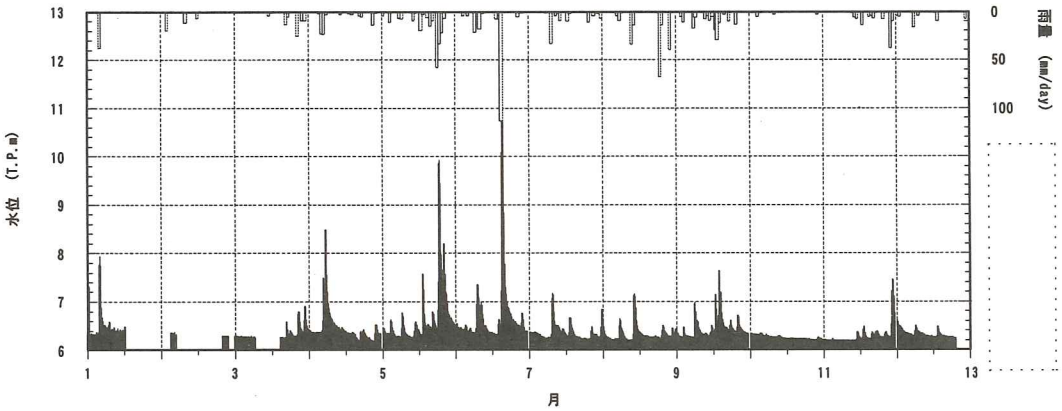
図－資 2.5　涸沼川洪水観測施設における水位変動と雨量(1994 年)



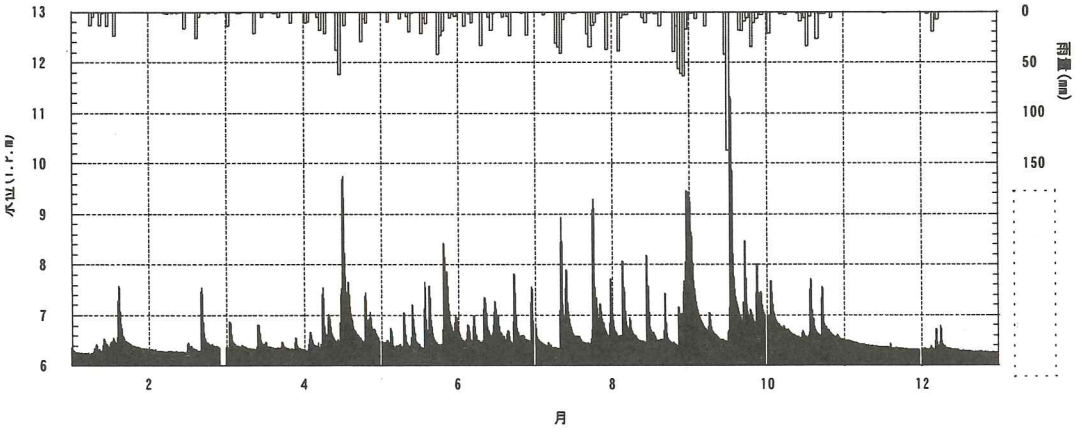
図－資 2.6　涸沼川洪水観測施設における水位変動と雨量(1995 年)



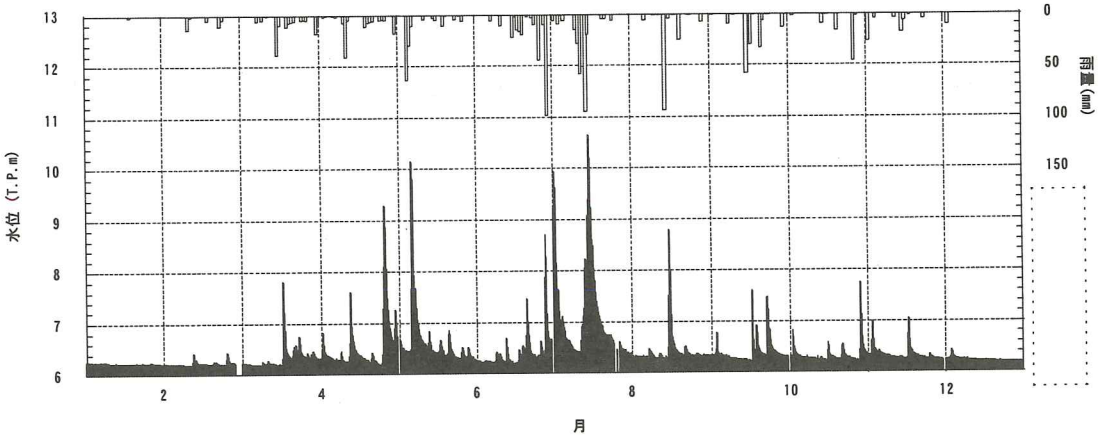
図－資 2.7　涸沼川洪水観測施設における水位変動と雨量(1996 年)



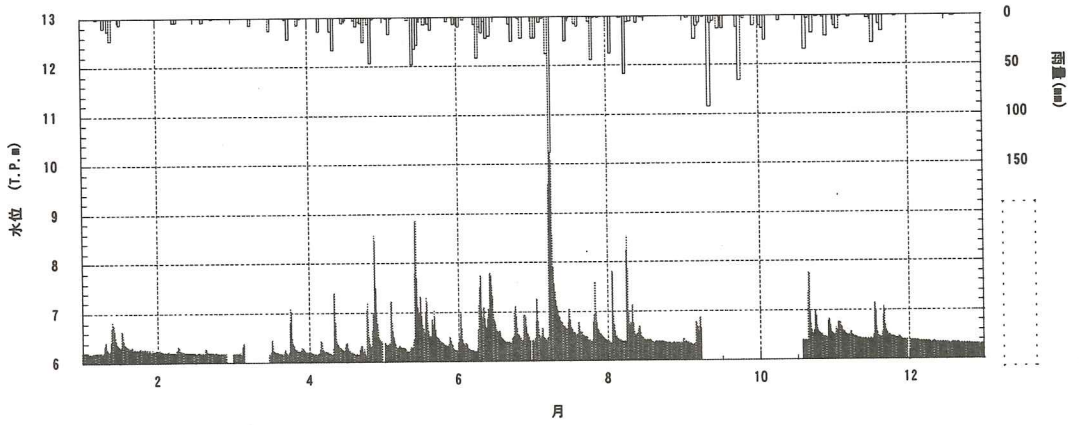
図－資 2.8　涸沼川洪水観測施設における水位変動と雨量(1997 年)



図－資 2.9　涸沼川洪水観測施設における水位変動と雨量(1998 年)



図－資 2.10 涸沼川洪水観測施設における水位変動と雨量(1999 年)



図－資 2.11 涸沼川洪水観測施設における水位変動と雨量(2000 年)

表－資 2.1(1)　データフォーマット（時間雨量月表）

年	月	時刻 日	10:00	11:00	12:00	……	7:00	8:00	9:00	日雨量	普通雨量
1990	1	1				……				0	
		2				……				0	
		3				……		1	1	2	2.2
		4		2	2	……				19	21.6
		5				……				0	
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

表－資 2.2(2)　データフォーマット（日雨量年表）

年	月	日 1	2	3	4	5	……	28	29	30	31	総雨量
1990	1			2.2	21.6		……					43.4
	2					0.4	……	8.8				17.4
	3	1	0.1	5.3	1		……		8.7	35.6	3.2	142.9
	4	4.2					……		18.6			104.6
	5	1.1	1.2		30.8	1	……	1.8	14.5		1	181.1
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

表－資 2.3(3)　データフォーマット（日水位年表）

1990 年												
日	月											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	6.23	6.23	6.24	6.23	•	•	•	•	•	•	•	•
2	6.23	6.23	6.22	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3	6.25	6.23	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
4	6.24	6.23	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
5	6.23	6.23	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
31	6.23	6.45	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

3．洪水観測結果

3.1 1990年8月10日洪水

●洪水・観測概要

図－資3.1.1に洪水発生日の天気図を示す。　台風第11号は，10日の9時頃静岡県に上陸した後，太平洋側を東北に進み 11 日に北海道の東海上へ抜けた。この台風の影響により涸沼川流域に大雨が降り，徳蔵雨量観測所では9日から10日にかけて101mmの降雨を記録した。このため，涸沼川洪水観測施設が設置されている涸沼川28.1km付近の水位は，T.P.9.68m（低水路河床からの水深約3.6m）まで上昇した。図－資3.1.2に水位ハイドログラフおよび測定時刻を示す。測定は、増水期からピークにかけて測定を行った。

●観測項目

表－資1.1に測定項目一覧を示す。

●観測方法

・流量観測

流量は浮子測法により観測を行った。観測を行う上で必用な見通し杭は28.08kmを第1見通し断面，28.06kmを第2見通し断面とし，それぞれの両岸高水敷上に設置されている。図－資3.1.3には28.10km付近の横断面図，浮子投下位置を示す。図に示すとおり浮子投下位置は5測線とし，各浮子が受け持つ断面は，隣り合う測線の中央部で分割した。なお，横断面測量は90年のデータを用いた。

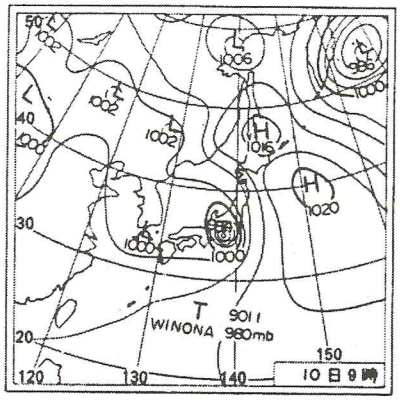
・浮遊土砂観測

浮遊土砂の採取は，洪水流を直接採水することによって行った。図－資3.1.3に採水位置を示す。横断方向には流心付近の1点とし，水面から0.5m，1.0m，1.5mの深さで採水を行った。採水には本編の図－6.1.2 に示す装置を用いた。この装置は，ノズル，接続ホース，吸引ポンプによって構成される。採水した試料は，濃度測定およびふるい分け試験による粒度測定を行った。ただし，試料をふるい分け前に乾燥すると土砂が容器に固結し，粒度を正確に測定することが困難になるので，採水した河川水を直接ふるいにかけ、その後乾燥して重量を計測した。なお，ふるい目は250μm，105μm，74μm，38μmを用いた。

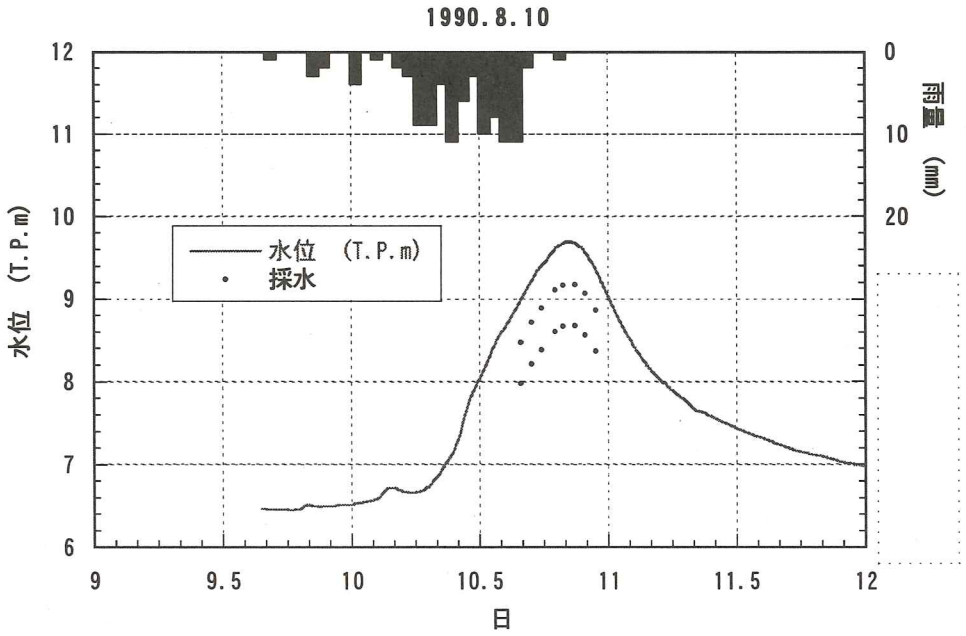
ノズルはロッド先端に固定して水中に入れる構造であるため，水深 2.0m より深い地点ではロッドが流体力により大きく振動し，屈曲する恐れもあることから観測は行っていない。

・流速測定

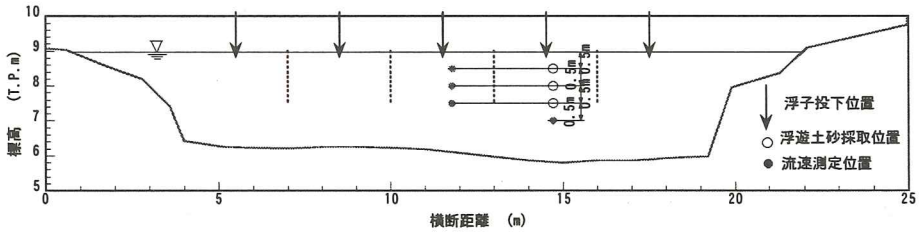
流速測定は，浮遊土砂量を算出するため，浮遊土砂の採取と同時刻、同水深で計測した。計測は電磁流速計（流下方向1成分）を用い，流速の10秒平均値として連続120秒間行った。



図－資 3.1.1　洪水発生日の天気図



図－資 3.1.2　洪水観測施設の水位と徳蔵の雨量



図－資 3.1.3　浮子投下位置および浮遊砂採取位置

3.2 1990年9月30日洪水

●洪水・観測概要

図－資 3.2.1 に洪水発生日の天気図を示す。東京湾で台風 20 号から変化した温帯低気圧により涸沼川流域は大雨をもたらされた。徳蔵観測所では 30 日に日雨量 70mm を記録した。この降雨により、涸沼川洪水観測施設付近の水位はピーク時にT.P.10.18m を記録した(図－資 3.2.2 参照)。観測は、増水後期から水位ピークにかけて 1 時間間隔で 8 回行った。

●観測項目・日時

表－資 1.1 に測定項目一覧を示す。

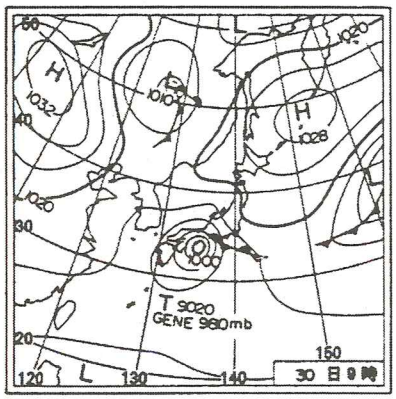
●観測方法

・流量観測

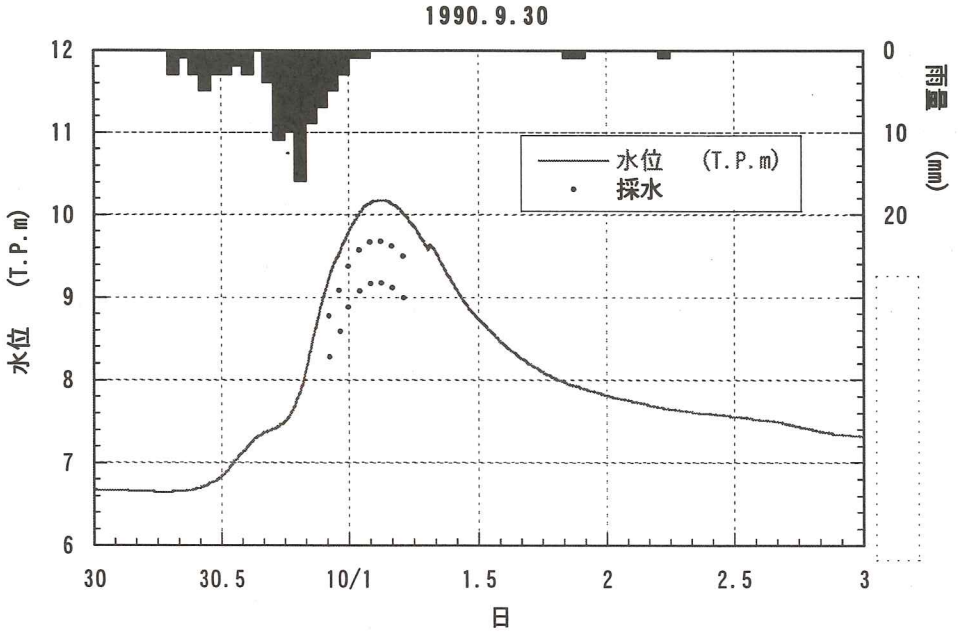
流量観測は浮子測法を用いた。詳細な観測方法・使用した断面データは 8 月 10 日洪水と同様である。

・浮遊土砂

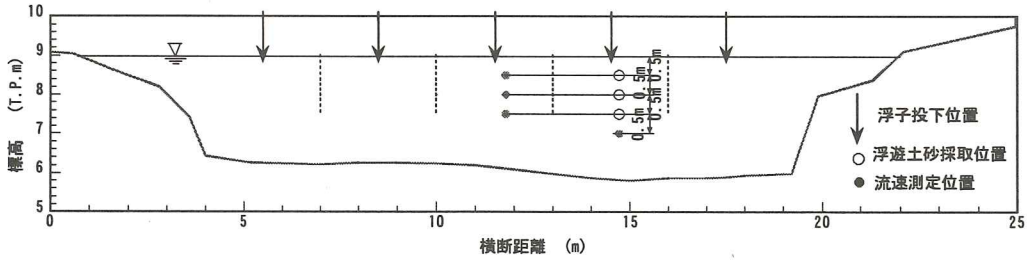
図－資 3.2.3 の〇印のうち、水面から 0.5,1.0m の深さで採取を行った。採取方法は 8 月 10 日洪水と同様に、ノズルとポンプを接続し、吸引する手法をとった。



図－資 3.2.1　洪水発生日の天気図



図－資 3.2.2　洪水観測施設の水位と徳蔵の雨量



図－資 3.2.3　採水位置

3.3 1990年10月8日洪水

●洪水・観測概要

図－資 3.3.1 に洪水発生日の天気図を示す。台風 21 号が関東地方を通過した影響により徳蔵観測所では 8 日に日雨量 79mm の降雨を記録した。本洪水では、8 日の 10:00 頃に一旦降雨が止み、その後 16:00 頃に時間雨量 24mm の降雨があったため、洪水波形は二山の形状となった。涸沼川洪水観測施設付近ではピーク水位は T.P.9.32m を記録した（図－資 3.3.2 参照）。観測は、2 度目のピーク付近の増水期から T.P.8m に減水するまで 1 時間間隔で 9 回の観測を行った。

●観測項目・日時

水面勾配，流量観測、浮遊土砂観測を実施した。表－資 1.1 に測定項目一覧を示す。

●観測方法

・水面勾配

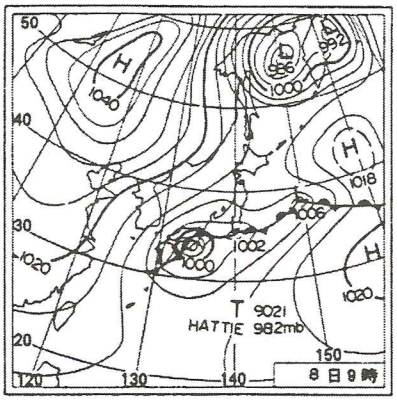
28.06km と 28.08km の左岸側に設置してある量水標の水位差を縦断距離で 除すことによって求めた。

・流量観測

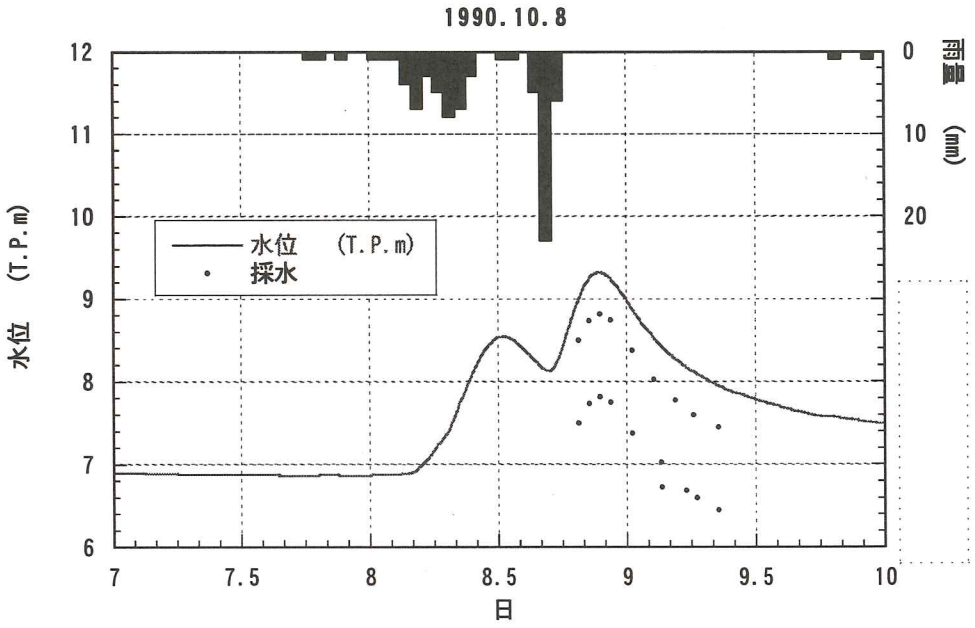
浮子測法による。断面・測線は 1990 年 8 月 10 日洪水と同様である。

・浮遊土砂

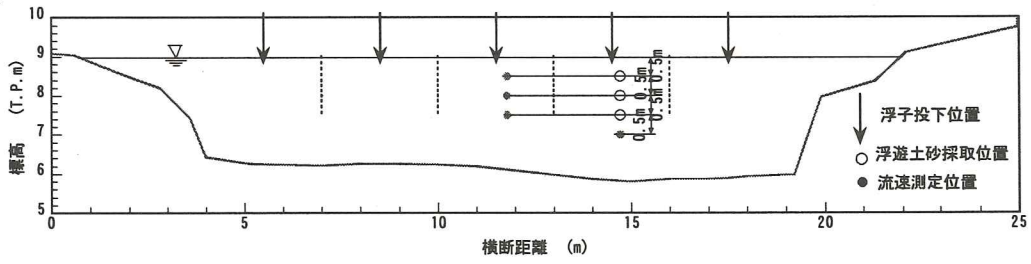
図－資 3.3.3 に示す○印のうち、0.5,1.5m の深さで採水を行った。



図－資 3.3.1　洪水発生日の天気図



図－資 3.3.2　洪水観測施設の水位と徳蔵の雨量



図－資 3.3.3　観測浮游砂観測位置

3.4 1991年6月20日洪水

●洪水・観測概要

図－資3.4.1に洪水発生日の天気図を示す。20日，梅雨前線の北上と低気圧の発生により涸沼川流域で雨が続いた。徳蔵雨量観測所の20日の日雨量は39mmであった。涸沼川では，水位が涸沼川洪水観測施設で平水時より1m程度上昇した（図－資3.4.2参照）。観測は、水位ピークから減水期にかけて6回の観測を実施した。

●観測項目・日時

流速測定，浮遊土砂である。表－資1.1に測定項目一覧を示す。

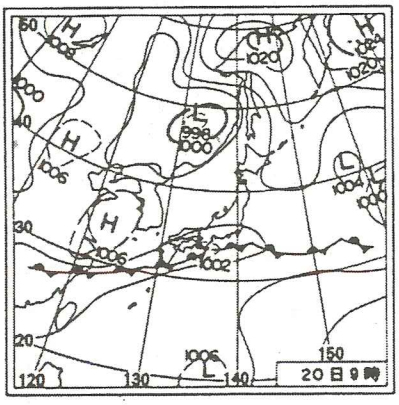
●観測方法

・流速測定

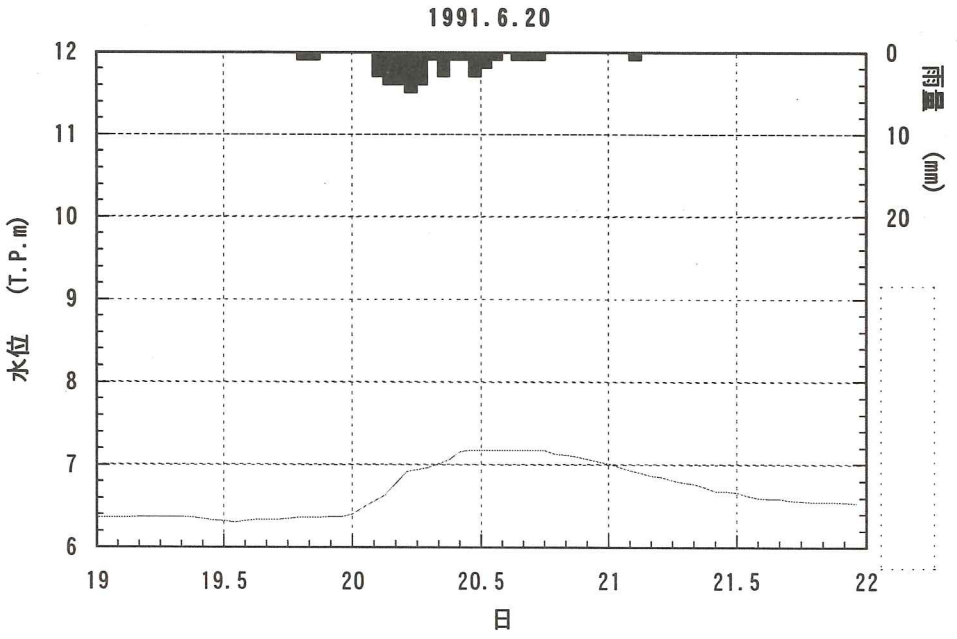
電磁流速計（1方向成分）を用い，10sec平均で190秒間の測定を行った。測定位置は図－資3.4.3の○印のうち，14:30～17:00の6回は水面から0.5mの深さで，18:00には水面から0.5,1.0,1.5mの深さで行った。

・浮遊土砂

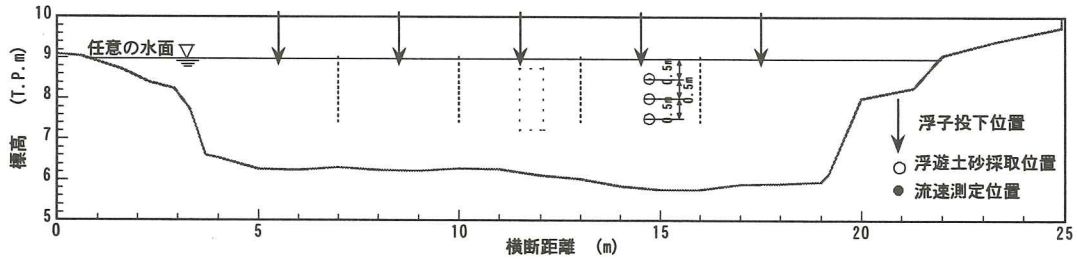
採取位置は流速測定と、採取方法については1990年8月10日洪水と同様である。



図－資 3.4.1　洪水発生日の天気図



図－資 3.4.2　洪水観測施設の水位と徳蔵の雨量



図－資 3.4.3　流速測定位置及び浮遊砂採取位置

3.5 1991年8月20日洪水

●洪水・観測概要

図－資3.5.1に洪水発生日の天気図を示す。19日から20日にかけて，台風第12号に伴う暖かい湿った気流の影響で大雨となった。徳蔵雨量観測所で19～20日間の降雨量は89mmであった。このため，涸沼川洪水観測施設付近では，水位ピーク時にT.P. 9.13mでほぼ低水路満杯となった（図－資3.5.2参照）。観測は、増水期後半から減水期にかけて0.5～1時間間隔で30回の観測を実施した。

●観測項目・日時

流速測定，浮遊土砂観測である。表－資1.1に観測項目一覧を示す。

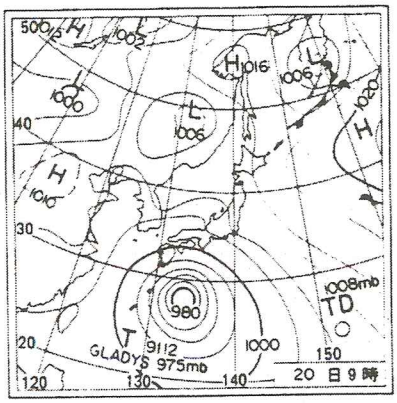
●観測方法

・浮遊砂観測

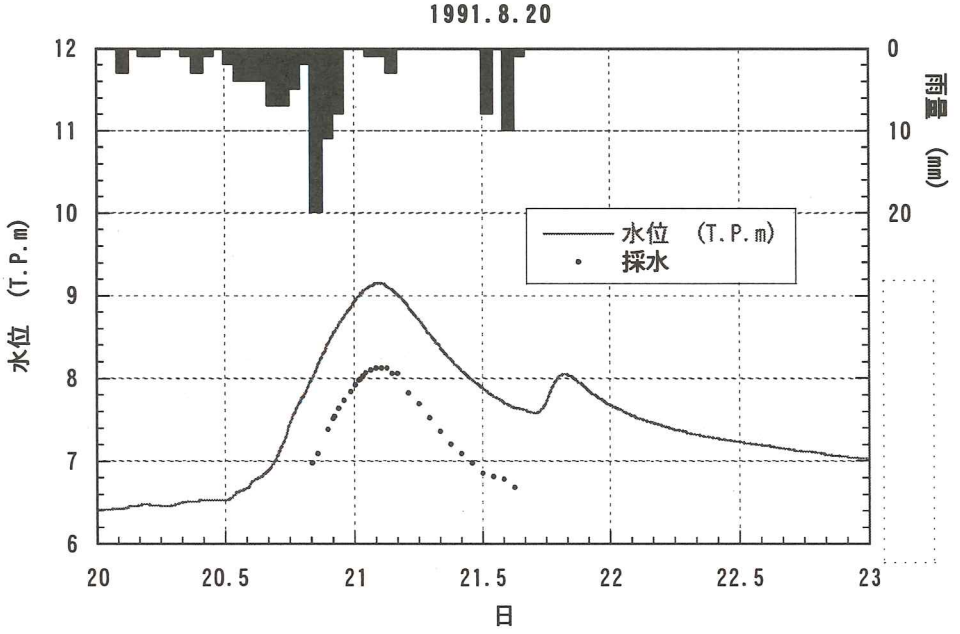
図－資3.5.3に示す○印のうち、水面から1.0mの深さで採水を行った。基本的な採取方法は昨年までの観測と変わりないが、以下の2つの問題について改良を行った。1つ目は水中1.2m以上ロッドを進入させると、流水の表面及び側辺からの抵抗によりロッドが振動し、採取時の作業に伴うことである。2つ目は、ポンプ内に粗粒分が沈殿して、採取容器にまでこれが達せず、更に沈殿物の影響でポンプが作動不能に陥ることである。よって、これを踏まえ、1つめの問題については矩形ロッドを円形ロッド（φ=10cm）に変え、全方向からの断面二次モーメントを一定とし、流水のあらゆる方向からの乱れに対しても抵抗力を発揮できるようにした。2つ目の問題については、ノズルとポンプの間に浮遊砂粗粒分沈降装置（本編の図－6.1.3参照）を接続し、ポンプに粗粒分が吸引される前に沈降させる機構をもたせた（ただし、今回の観測では試作品としてポリ容器を使用したが、1分以上の吸引を行うと、装置内の負圧に耐えられず、使用できなかった）。

・流速測定

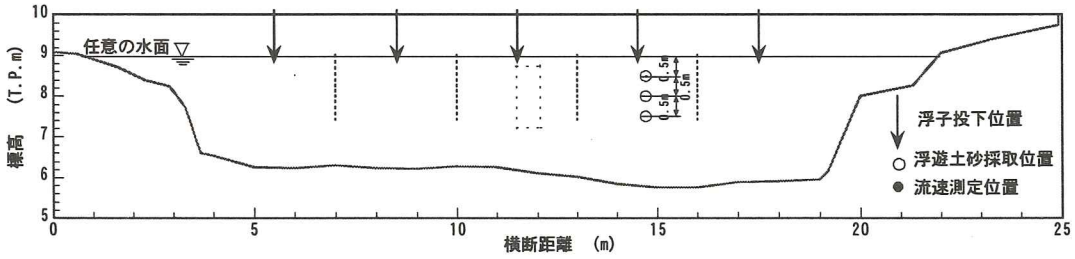
1方向成分の電磁流速計を用い，10sec平均で50もしくは60秒間の測定を行った。



図－資 3.5.1　洪水発生日の天気図



図－資 3.5.2　洪水観測施設の水位と徳蔵の雨量



図－資 3.5.3　浮游砂観測位置

3.6 1991年9月8日洪水

●洪水・観測概要

図－資3.6.1に観測日の天気図を示す。9日，台風第15号が関東地方の南東海上を東進し徳蔵雨量観測所では日雨量49mmを記録した。涸沼川洪水観測施設の水位はピーク時でT.P.9.4mを記録した（図－資3.6.2参照）。観測は、減水期について1時間間隔で3回の測定を行った。

●観測項目・日時

流量観測，流速測定，浮遊土砂観測である。表－資1.1に観測項目一覧を示す。

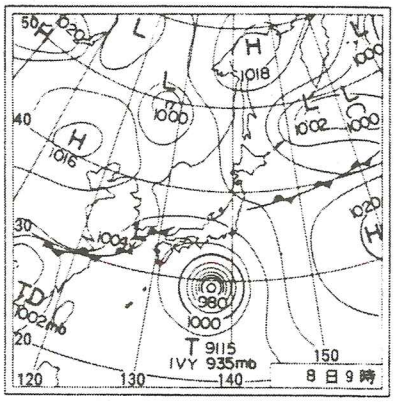
●観測方法

・流量観測および流速測定

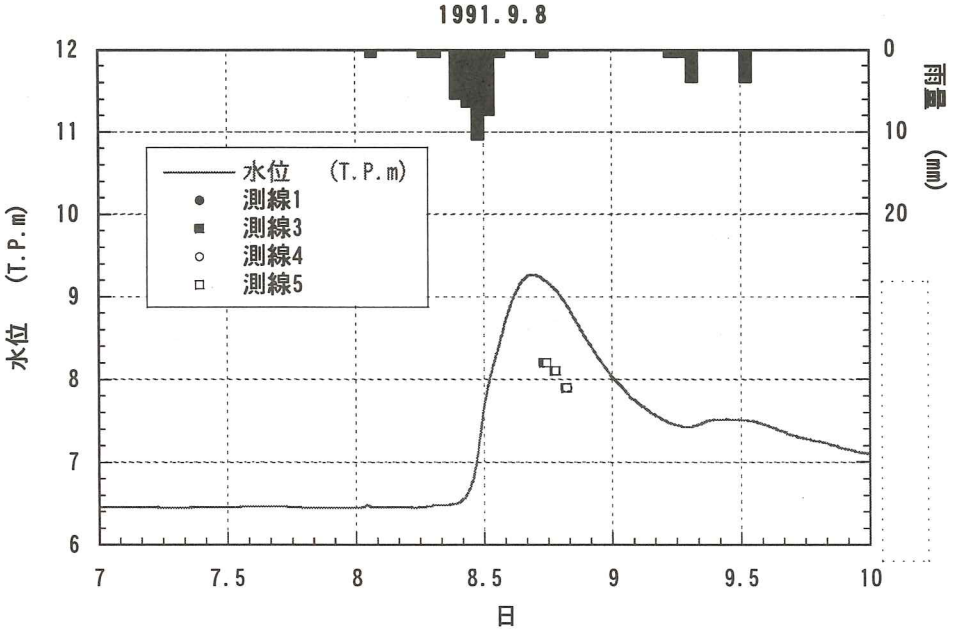
図－資3.6.3に示す採水地点と同じ4測点で電磁流速計（10sec平均，2分間測定）を用いて平均流速の測定を行った。各流速計が受け持つ断面の区分は隣り合う測線の中央とした。

・浮遊砂観測

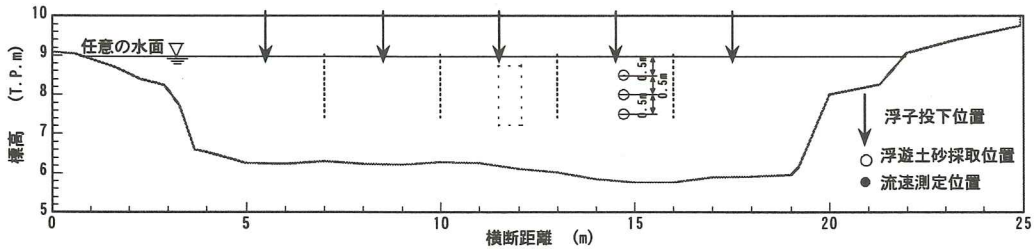
本洪水では，浮遊土砂濃度の横断方向分布を明らかにするため、本編の－6.2.10測線１、測線３、測線４、測線５で採水を行った。なお、水深方向の測点は水面から1.0mの1点としている。採水手法は1991年8月20日洪水と同様である。



図－資 3.6.1　洪水発生日の天気図



図－資 3.6.2　洪水観測施設の水位と徳蔵の雨量



図－資 3.6.3　流量・浮游砂観測位置

3.7 1991年9月19日洪水

●洪水・観測概要

図－資3.7.1に洪水発生日の天気図を示す。19日に台風第18号により活発化した前線により，涸沼川流域に大雨が発生した。徳蔵雨量観測所では18日～19日の二日間で143mmを記録した。この降雨で、涸沼川洪水観測施設ではピーク水位が12.18mと大規模なものとなった（図－資3.7.2参照)。観測は、増水期後半から減水期初期にかけて、1時間間隔で14回の観測を行った。

●観測項目・日時

流量観測，流速測定，浮遊土砂，水位縦断、洪水痕跡調査を実施した。表－資1.1に測定項目一覧を示す。

●観測方法

・流量観測

浮子測法による。使用した断面および測線を図－資3.7.3に示す。

・流速測定

電磁流速計（1方向成分）を用いて平均流速を測定した。測定時間は2分間（10秒平均）とした。測定位置については、図－資3.7.3の○印のうち、水面から1.0mの地点で行った。

・浮遊土砂

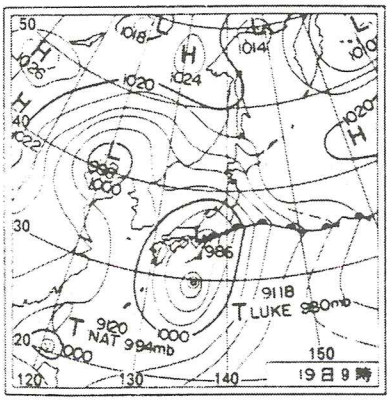
図－資3.7.3のとおり水面からの深さが1.0mの地点で採水を行った。採水方法は1991年6月20日洪水と同様である。

・水面勾配

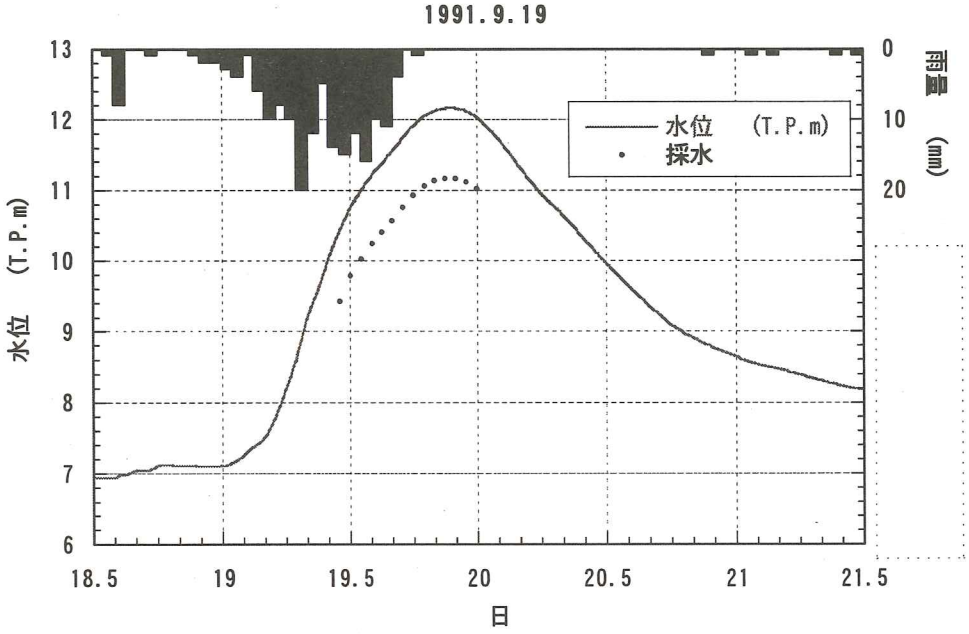
27.9、28.0、28.06、28.08、28.1、28.2、28.3、28.36、28.4km地点について水位測定を行い、水面勾配を算出した。

・洪水痕跡

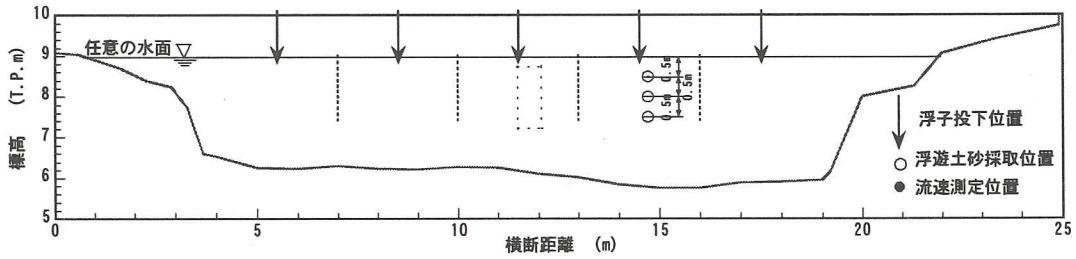
洪水後，洪水痕跡調査を行った。調査は左右両岸で行い，調査範囲は左岸27.42km～28.56km，右岸27.64km～28.56km約20mピッチとした。



図－資 3.7.1　洪水発生日の天気図



図－資 3.7.2　洪水観測施設の水位と徳蔵の雨量



図－資 3.7.3　浮子投下位置と浮游砂採取位置

3.8 1992年10月9日洪水

●洪水・観測概要

図－資 3.8.1 に洪水発生日の天気図を示す。9 日、低気圧が発達しながら関東地方を通過し、徳蔵雨量観測所で日雨量 80mm を記録した。この降雨により、涸沼川洪水観測施設の水位ピークは T.P.9.90m を記録した（図－資 3.8.2 参照）。観測は、増水期の後半から減水期にかけて 1 時間間隔で 5 回の観測を行った。

●観測項目・日時

流速測定，浮遊土砂観測を実施した。表－資 1.1 に測定項目一覧を示す。

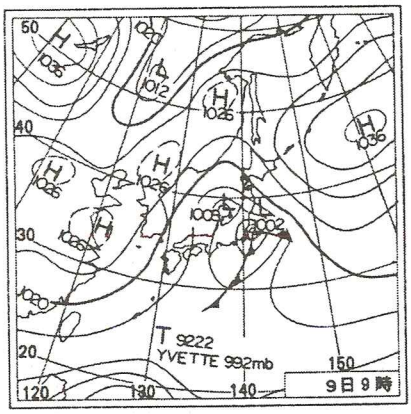
●観測方法

・流速測定

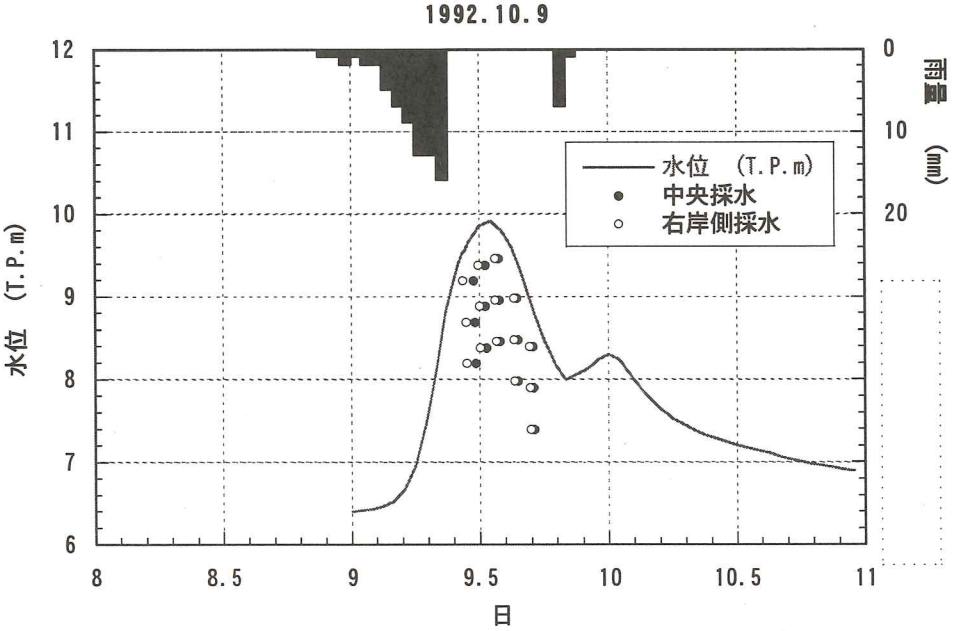
電磁流速計（1 方向成分）を用い，10 秒平均で 2 分間の測定を行った。観測位置，回数は，以下の浮遊土砂の採水位置と同様である。

・浮遊土砂

図－6.2.10 に本洪水で用いた断面形を示す。採取位置は、図中の測線３（河道中央）及び、測線４（右岸側）において，それぞれ水面から 0.5,1.0,1.5m の深さで採水を行った。ここで、昨年度試作した沈砂タンクは，タンク内の負圧に耐えきれないことから，素材を透明塩ビとした新たな沈砂タンクの製作をおこなった（ただし、本装置では水密性の問題等より十分に機能しなかった）。その他の採取装置等は前年と同様である。



図－資 3.8.1　洪水発生日の天気図



図－資 3.8.2　洪水観測施設の水位と徳蔵の雨量

3.9 1992年12月8日洪水

●洪水・観測概要

図－資 3.9.1 に洪水発生日の天気図を示す。8 日、低気圧が関東地方を通過し、徳蔵雨量観測所で日雨量 45mm を記録した。この降雨により、涸沼川洪水観測施設の水位ピークはT.P.8.08m となった（図－資 3.9.2 参照）。観測は水位ピークから減水期にかけて 1 時間間隔で 4 回の観測を行った。

●観測項目・日時

流速測定，浮遊土砂観測を実施した。表－資 1.1 に測定項目一覧を示す。

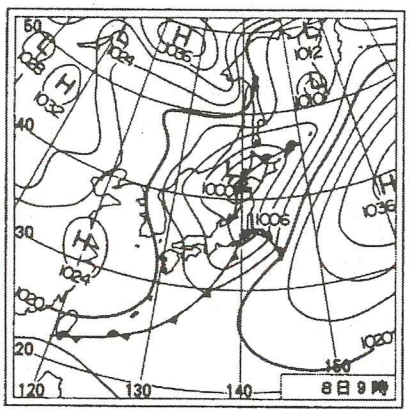
●観測方法

・流速測定

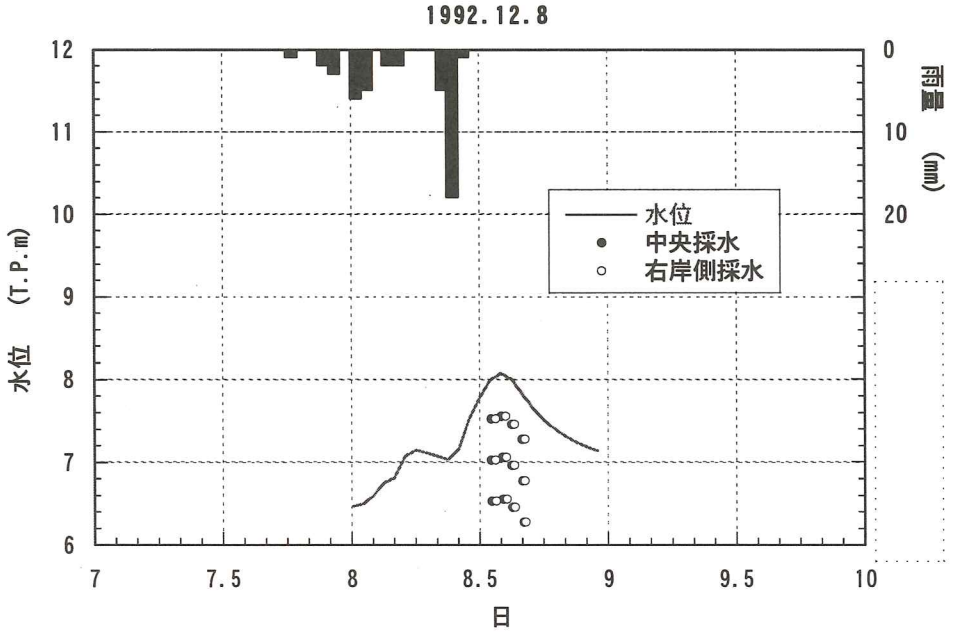
電磁流速計（1 方向成分）で測定を行った。計測位置は 1992 年 10 月 9 日洪水と同じである。計測時間は 10 秒平均で 60 秒間である。

・浮遊土砂

1992 年 10 月 9 日洪水と同様の手法、位置で採水を行った。



図－資 3.9.1　洪水発生日の天気図



図－資 3.9.2　洪水観測施設の水位と徳蔵の雨量

3.10 1993年8月27日洪水

●洪水・観測概要

図－資3.10.1に洪水発生日の天気図を示す。台風11号が茨城県沿岸を北上し、その影響で涸沼川流域に大雨を降らせた。徳蔵雨量観測所では日雨量138mmを記録し、涸沼川洪水観測施設の水位ピークは11.2mに達した（図－資3.10.2参照）。観測は増水期から減水期当初にかけて1時間間隔で15回の観測を行った。

●観測項目・日時

観測項目は、流量観測，流速変動，水面勾配，浮遊土砂，痕跡水位である。表－資1.1に測定項目一覧を示す。

●観測方法

・流量観測

流観は、10:32～18:00は電磁流速計による平均流速から算出し，平均流速は1断面の結果を代表させた。18:32以降については、浮子測法による観測も行った。断面は、図－資3.10.3に示す93年2月の測量データを用い、流速測定位置・浮子投下位置は図に示すとおり5測線、5断面とした。

・流速変動

本編の図－6.2.10 の測線３（中央部の測線）において電磁流速計（1 方向成分）を用い，1秒平均で120秒間の計測を行った。測定に当たり、流速計アンプの表示部に表示される測定値をビデオ撮影して記録を行った。

・水面勾配

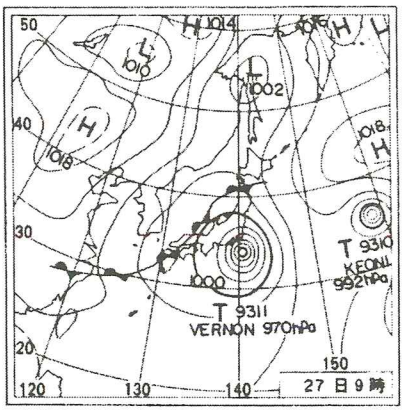
28.10km，28.08kmの左岸に設置してある量水標の水位を測定し、量水標間の距離で除して算出した。

・浮遊土砂

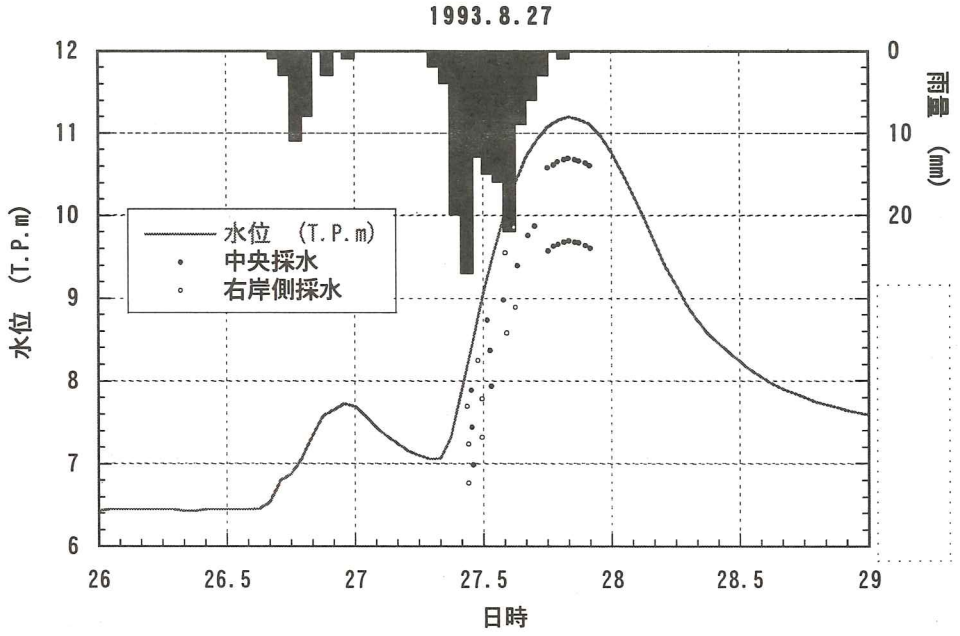
本編の図－6.2.10 の測線３と測線２で採水を行った。採水時の水深は，観測 No.1～4 では0.5m,1.0m,1.5m，No.5,6 では1.0m，No.7～15 では0.5m,1.5mである。昨年度適用した沈砂タンクの作業効率が悪く、かつ、空気の混入により採取不能となることが多かったため、タンクを小型化し、2台を並列に設置することにより、作業の効率化を図った。

・痕跡水位

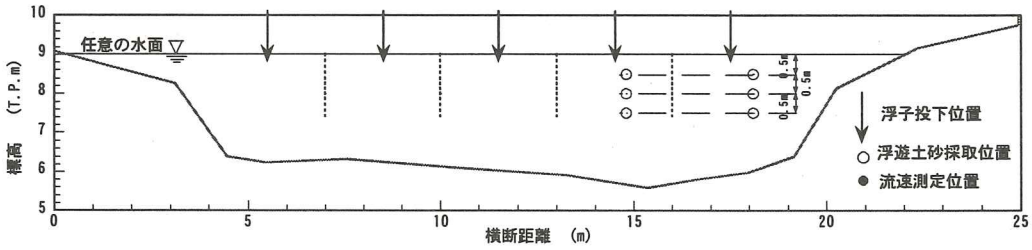
洪水後の9月2日、27.8km～28.5kmについて100mピッチで右岸側の痕跡水位を測定した。



図－資 3.10.1　洪水発生日の天気図



図－資 3.10.2　洪水観測施設の水位と徳蔵の雨量



図－資 3.10.3　流量観測位置図

3.11 1993年11月14日洪水

●洪水・観測概要

図－資 3.11.1 に洪水発生時の天気図を示す。低気圧の影響で涸沼川に大雨をもたらした。この降雨により、涸沼川洪水観測施設の水位ピークは11.3mを記録した(図－資3.11.2参照)。本洪水の観測は、洪水後に痕跡水位調査のみ行った。

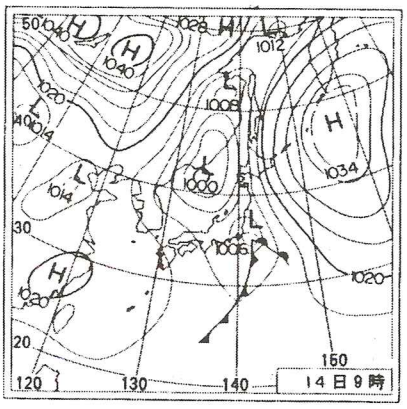
●観測項目・日時

調査項目は洪水後、痕跡水位調査を行った。

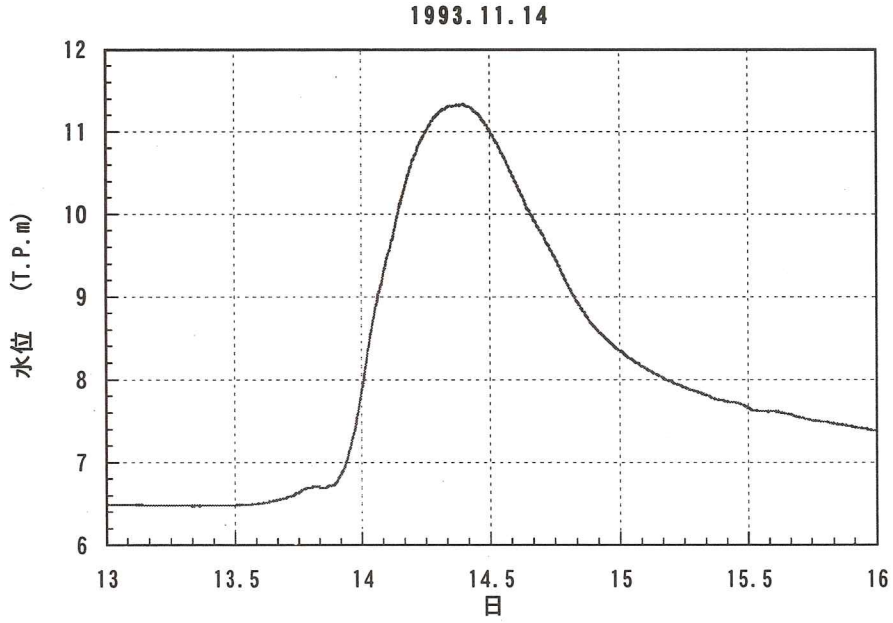
●観測方法

・痕跡水位

27.8km～28.5km区間の左岸側を100mピッチで8点測定した。



図－資 3.11.1　洪水発生時の天気図



図－資 3.11.2　洪水観測施設の水位と徳蔵の雨量

3.12 1994年9月30日洪水

●洪水・観測概要

図－資3.12.1に洪水発生時の天気図を示す。本洪水は、台風26号によって刺激された前線によってもたらされた。徳蔵雨量観測所では日雨量123mmを記録し、涸沼川洪水観測施設の水位ピークはT.P.10.8mであった（図－資3.12.2参照）。観測は、減水期に1時間間隔で4回調査を行った。

●観測項目・日時

観測項目は、流量観測，流速変動，水面勾配，浮遊土砂である。表－資1.1に観測項目一覧を示す。

●観測方法

・流量観測

浮子測法による。測定断面および浮子投下位置を図－資3.12.3に示す。

・流速変動

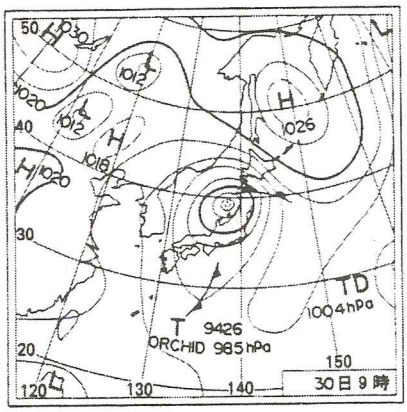
電磁流速計を用い，I型、L型の両プローブによる3次元の流速変動の測定を試みた。測定時間は2分間、サンプリングレートは33Hzである。測定位置は、浮遊土砂測定位置と同じとした。しかしながら、本調査の結果、ノイズが非常に大きく満足のいく結果が得られなかった。この原因として、流速計プローブへのゴミの付着とプローブを設置したパイプの振動が考えられる。

・浮遊土砂

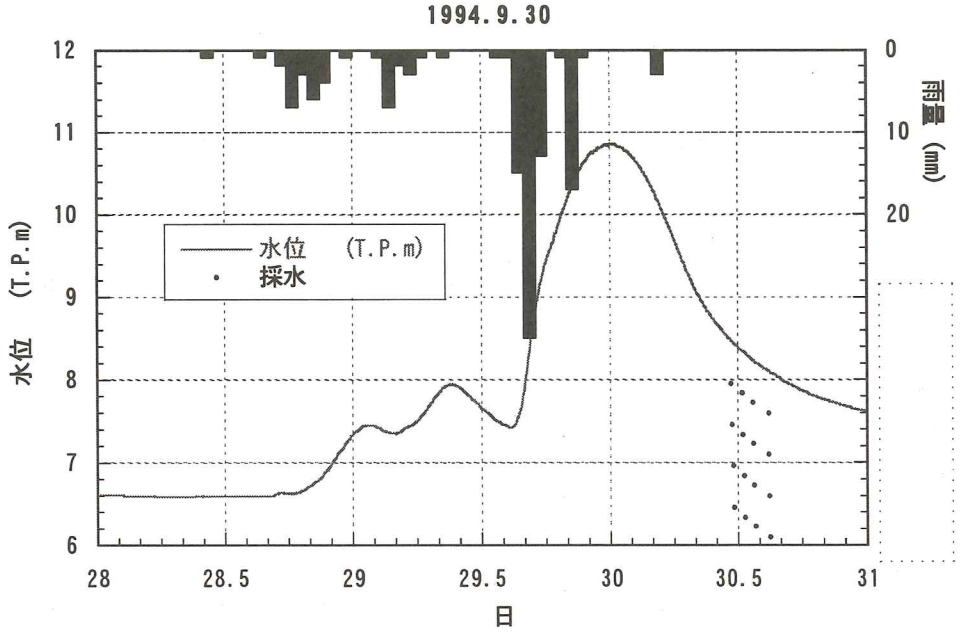
図－資3.12.3のとおり水面から0.5m,1.0m,1.5m,2.0mの水深で採水を行った。採水時間は2分間とした。採取方法については、1993年8月27日観測と同様である。

・水面勾配

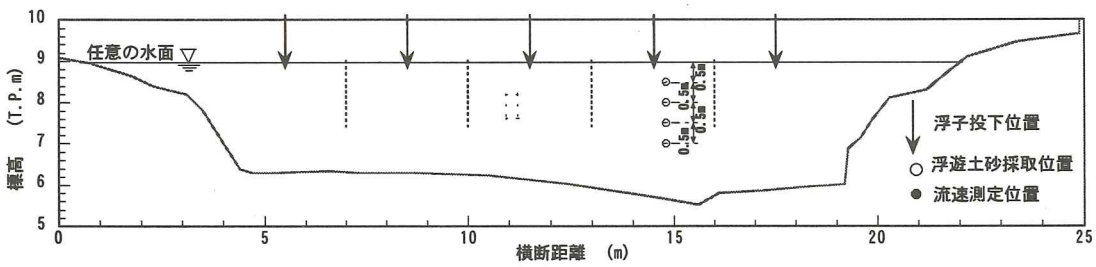
28.10km，28.08kmの左岸側に設置してある量水標の水位を縦断距離で除して求めた。



図－資 3.12.1　洪水発生時の天気図



図－資 3.12.2　洪水観測施設の水位と徳蔵の雨量



図－資 3.12.3　浮游砂観測位置

3.13 1995年11月20日洪水

●洪水・観測概要

図－資 3.13.1 に観測日の天気図を示す。20 日，前線による降雨により洪水がもたらされた。徳蔵雨量観測所では日雨量 11mm を記録した。洪水規模は小規模であり，涸沼川洪水観測施設付近での水位上昇はピーク時に平水時から約 0.3m であった（図－資 3.13.2 参照）。

本洪水では、小規模洪水での流砂量把握とともに、新たに設置した浮遊砂・掃流砂採砂装置（観測柱）のテストを行った。

●観測項目・日時

観測項目は、流量観測，流速変動，浮遊土砂である。測定項目一覧を表－資 1.1 に示す。

●観測方法

・流量観測

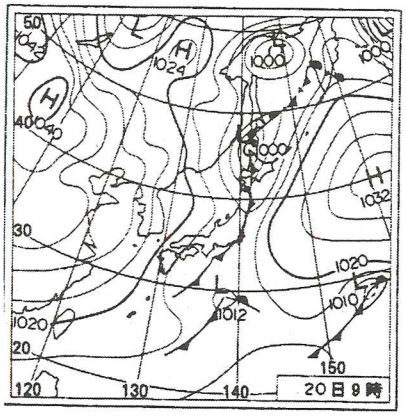
浮子測法による。断面形およびその分割方法は前洪水と同様である。

・浮遊土砂

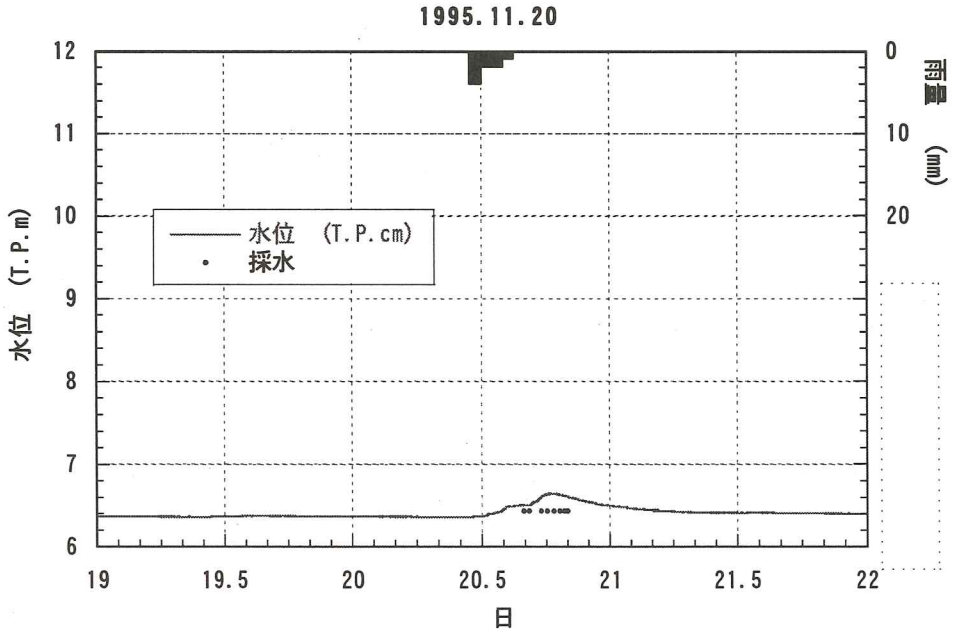
前回と同様、掃流砂採取器に固定されているノズルを用いて採水を行った。採水高さは水位が低いことから 0.1m とした。

・流速変動

浮遊土砂採取と同じ水深，同時刻で計測を行った。測定は、I 型（33Hz，2 成分）電磁流速計を用いた。



図－資 3.13.1　洪水発生日の天気図



図－資 3.13.2　洪水観測施設の水位と徳蔵の雨量

3.14 1996年9月22日洪水

●洪水・観測概要

図－資3.14.1に洪水発生日の天気図を示す。台風第17号が関東の東海上を通り，涸沼川流域に大雨を降らせた。徳蔵雨量観測所では日雨量150mmを記録し（図－資3.14.2参照)、洪水観測施設におけるピーク水位は11mを越えた（図－資3.14.2参照)。本洪水では、28.1km地点における観測に加え、そこから約 16km 程度上流の支川稲田川および支川片庭川において浮遊土砂観測を行った。

●観測項目・日時

表－資1.1のとおり。

●観測方法

・流量観測

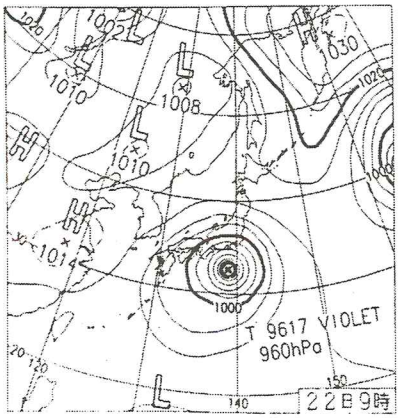
全観測地点とも浮子測法による。涸沼川洪水観測施設においては、5測線とし、その断面形、分割方法は図－6.2.10 の通りである。支川片庭川および稲田川は、川幅がそれぞれ約 3m、5mと狭いことから、１測線とした。図－資3.14.3、図－資3.14.4に稲田川および片庭川の観測地点の平面図および断面特性を示す。

・浮遊土砂

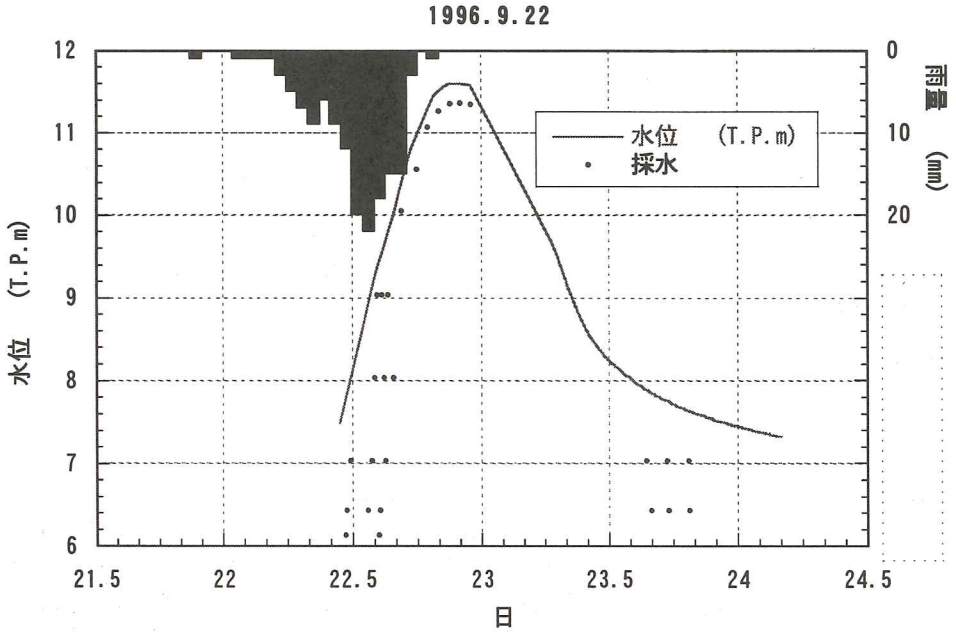
観測地点	観測方法
洪水観測施設付近	22日11:21～15:17および23日15:30～19:25では観測柱に固定されたノズルを用いて採水を行った。22日16:30～23:00では，涸沼川洪水観測施設付近の水位がT.P.9.0mを超え，掃流砂採取器が水没したため，水面下30cm付近の採水に切り替えた。
支川稲田川 支川片庭川	流観地点において、柄杓による水面付近の採水を行った。ただし、平均的な土砂濃度を採取できるよう、採水を数回繰り返した。

・流速変動

涸沼川洪水観測施設地点のみで観測を行い、浮遊土砂採取と同位置，同時刻に計測した。計測には電磁流速計（I型，2成分，33Hz）を用いた。水深2m以上については、掃流採砂器の周囲にカバーが設置されていることから、掃流採砂器の 3m上流にロッド先端に接続した流速計プローブを、観測台上から採取位置と同じ高さに設置し、測定を行った。

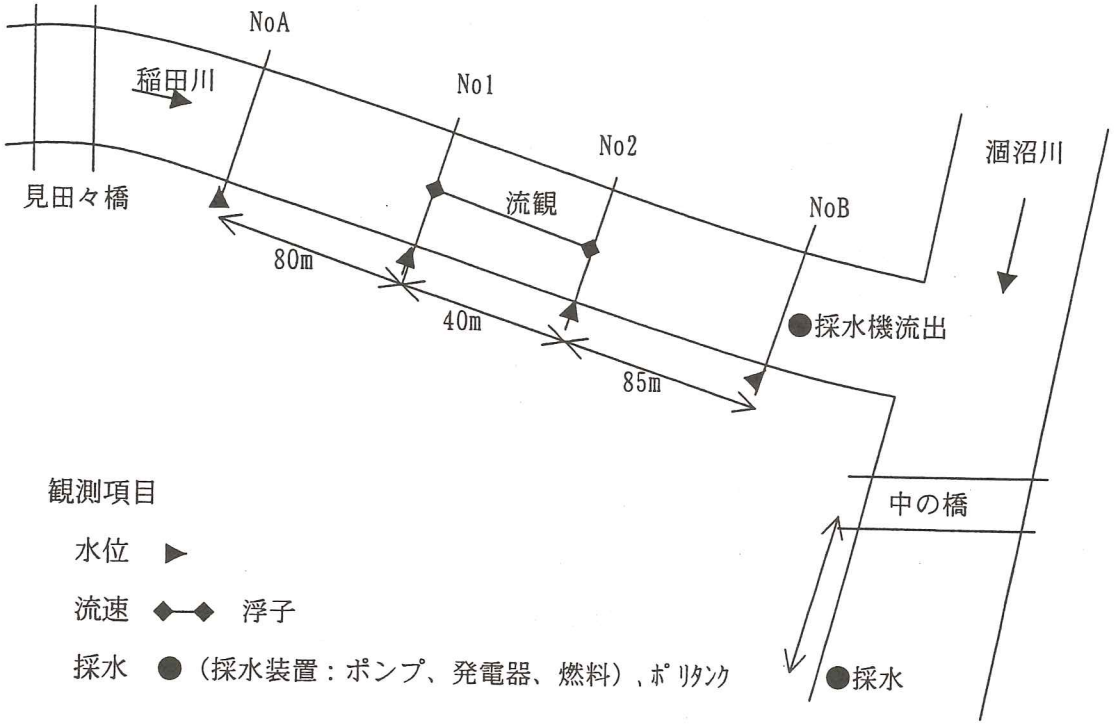


図－資 3.14.1　洪水発生日の天気図



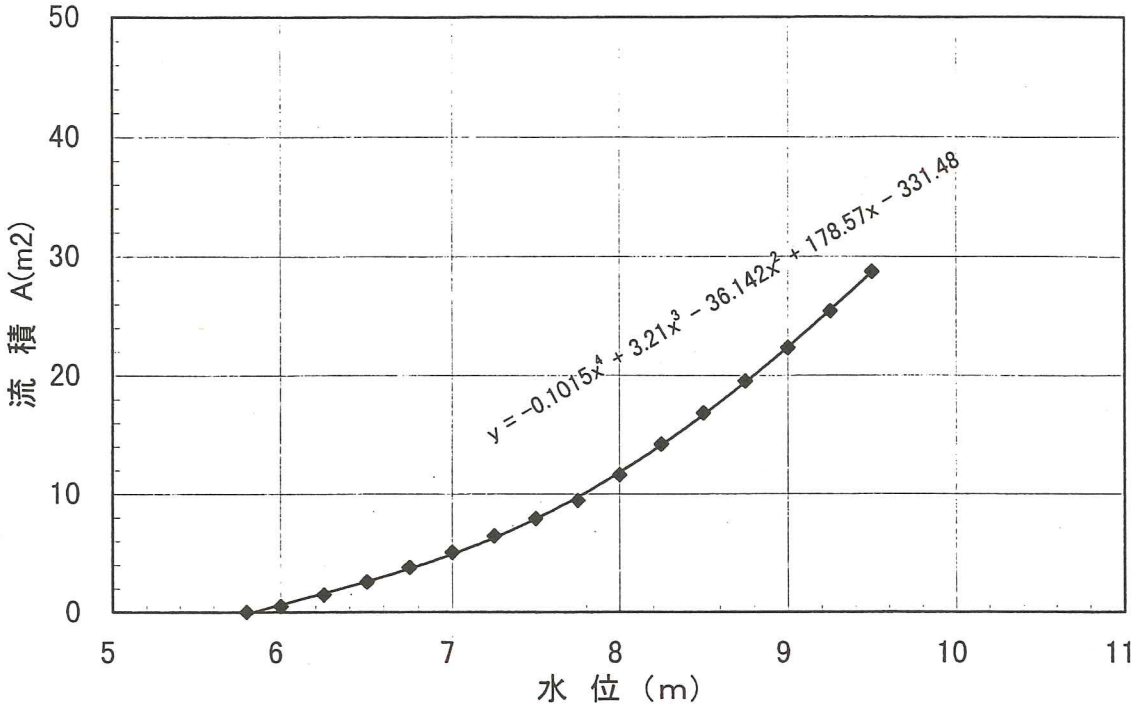
図－資 3.14.2　洪水観測施設の水位と徳蔵の雨量

③④　支川稲田川及び稲田川合流地点

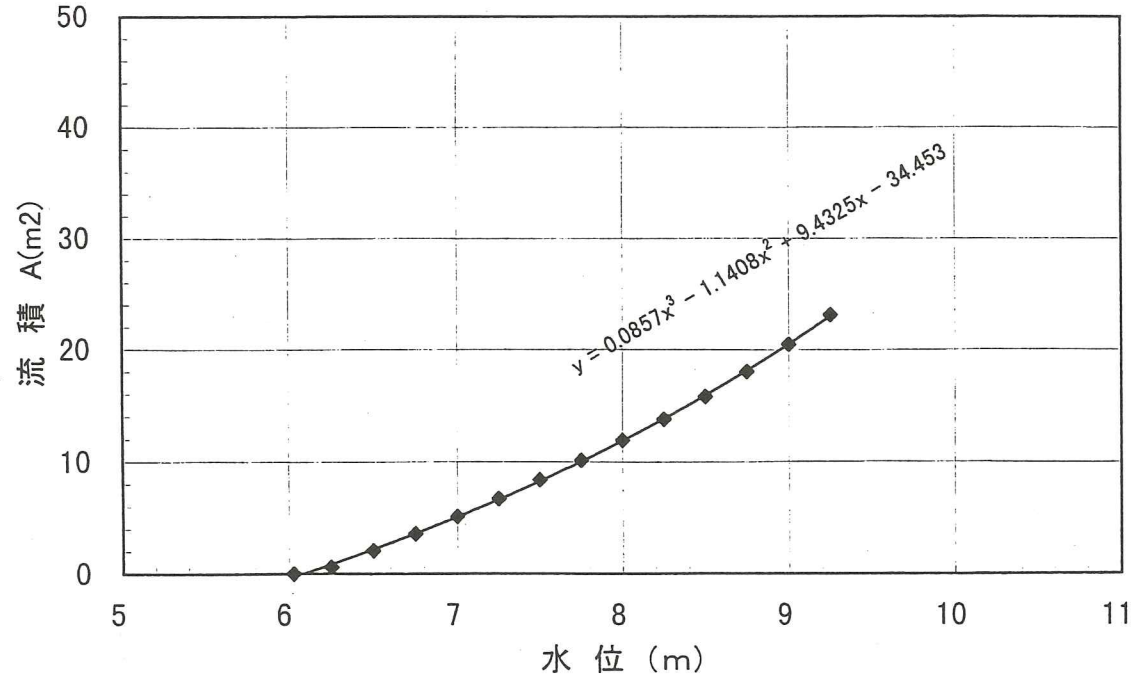


図－資 3.14.3　稲田川の観測地点

図－3.7 断面特性：稲田川No2

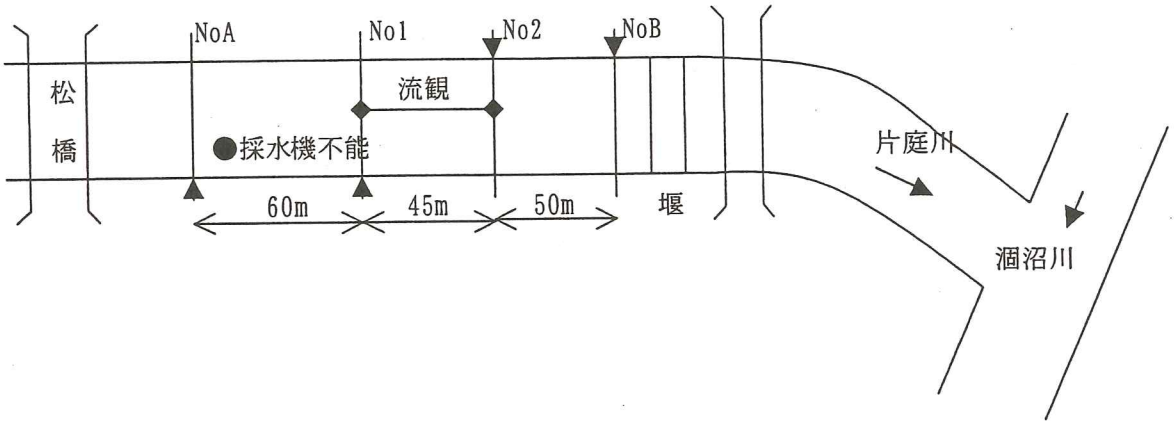


稲田川No1



図－資 3.14.4 稲田川のＨ－Ａ関係図

② 支川片庭川



観測項目

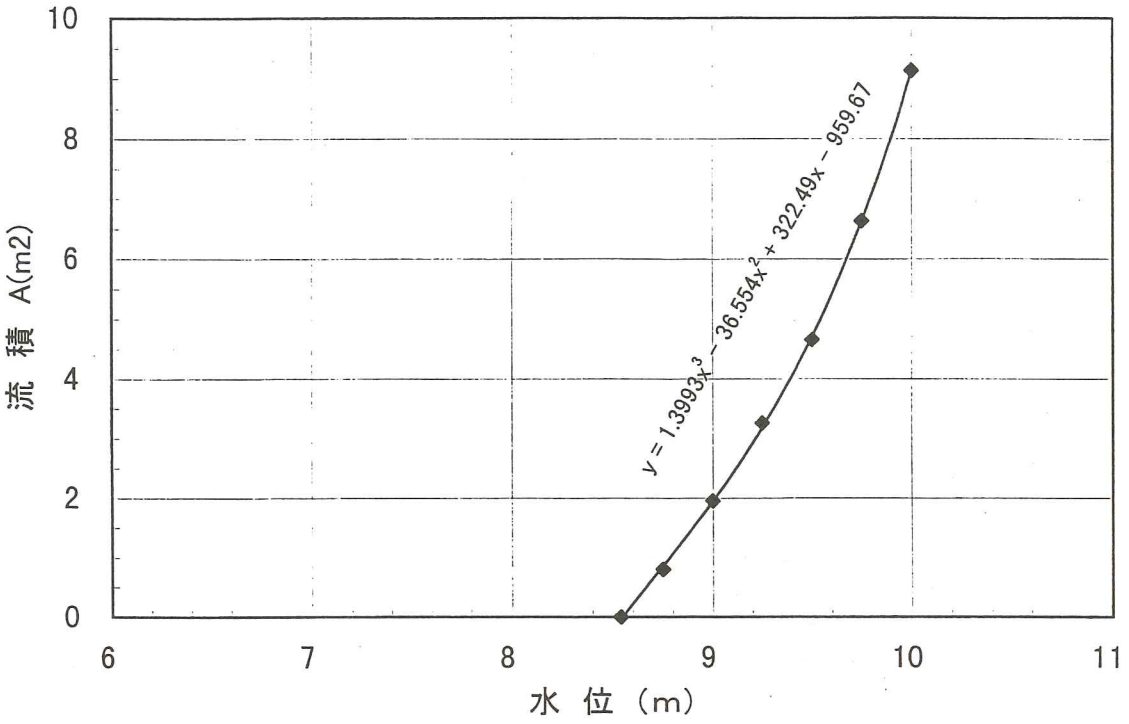
水位 ➤

流速 ◆——◆ 浮子

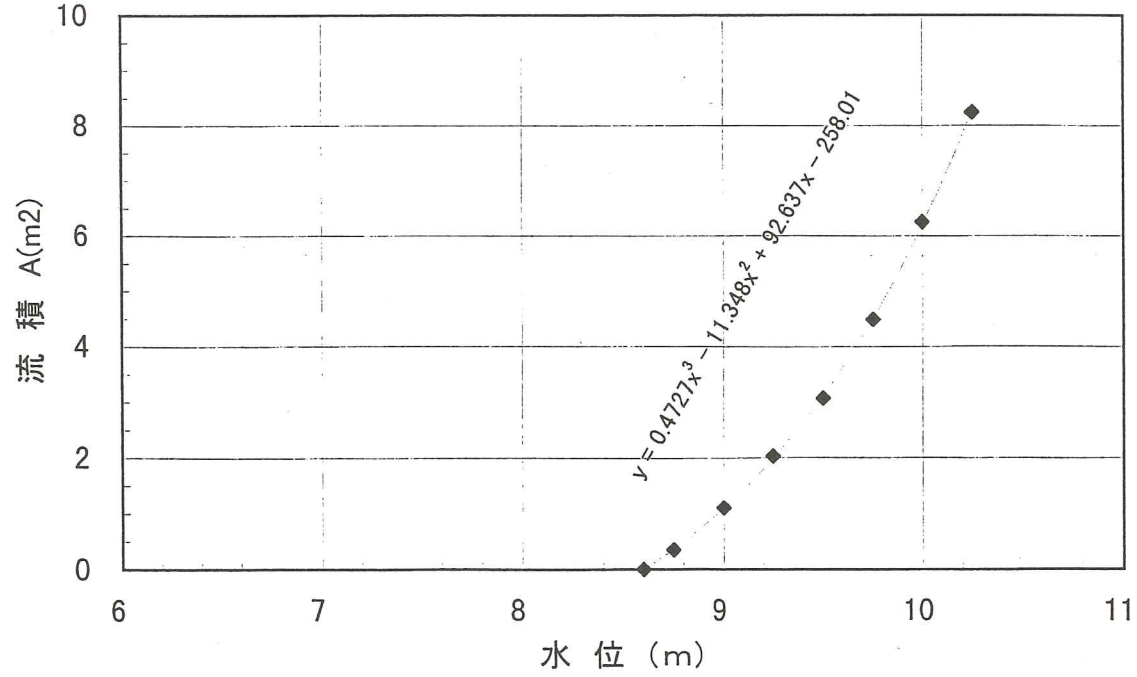
採水 ● （採水装置：ポンプ、発電器、燃料）、ポリタンク

図－資 3.14.5　片庭川の観測地点

図－3.6　断面特性:片庭川No2



片庭川No1



図－資 3.14.6 片庭川の H-A 関係図

3.15 1997年6月20日洪水

●洪水概要

図－資 3.15.1 に洪水発生日の天気図を示す。本洪水は台風 9 号によりもたらされた。徳蔵雨量観測所における累加雨量は 113mm、涸沼川洪水観測施設におけるピーク水位は 10.74m であった（図－資 3.15.2 参照）。1996.9.22 の洪水観測地点（涸沼川洪水観測施設地点、支川片庭川、支川稲田川）に加え、本川上流部を観測地点として加えた。

●観測項目・日時

観測地点	観測項目
洪水観測施設付近	流速、浮游砂
本川上流	浮游砂
支川稲田川	流量観測、水位縦断、浮游砂
支川片庭川	流量観測、水位縦断、浮游砂

表－資 1.1 に一覧表を示す。

●観測方法

・流量観測

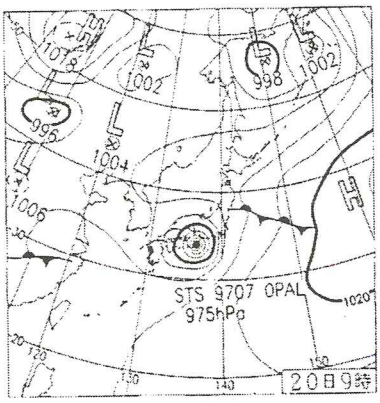
観測地点	観測項目
洪水観測施設	装置の不調で観測ができなかったため、H-Q 式により推定を行った
本川上流	本観測では流量観測を実施しなかったことから、流量は洪水観測施設の流量と支川片庭川・稲田川の流量の差とした。
支川稲田川	1996.9.22 と同様に本川合流部付近の，また，本川の水位の影響を受けない地点において浮子測法による観測を行った。
支川片庭川	1996.9.22 と同様に本川合流部付近の，また，本川の水位の影響を受けない地点において浮子測法による観測を行った。

・浮遊土砂

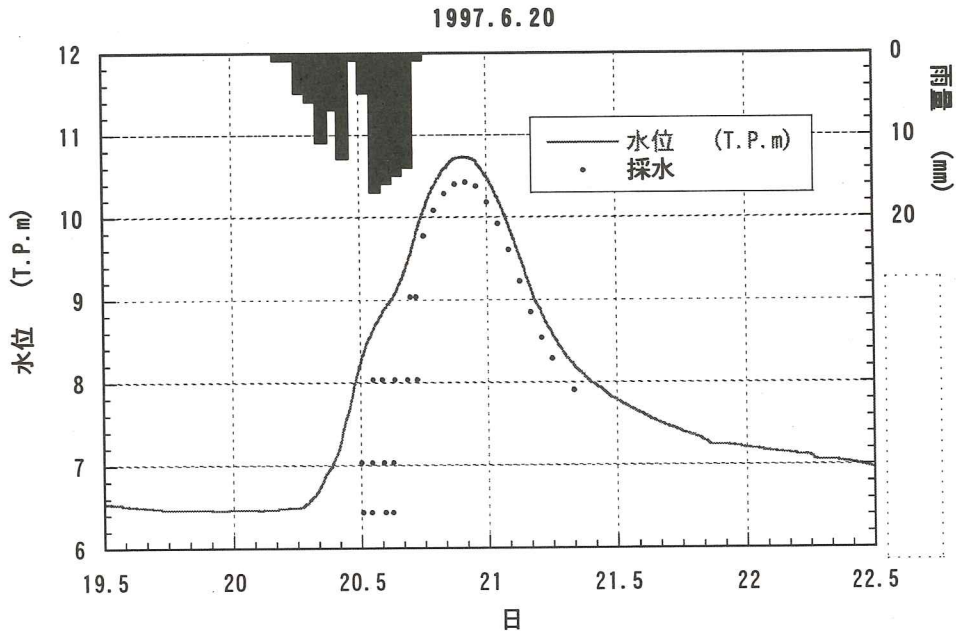
観測地点	観測項目
洪水観測施設	16:51 までは観測柱に固定されたノズルを用いた採水を行ったが，18:00 以降は水位が観測柱の使用限界である T.P.9.0m を超えたため，河道中央付近で水面下 0.3m の水深 1 点での観測のみ行った。

・流速変動

測定は涸沼川洪水観測施設のみで行った。浮遊土砂採取と同位置，同時刻に計測を行った。計測には電磁流量計（I 型プローブ，2 成分，33Hz）を用いた。



図－資 3.15.1　洪水発生日の天気図



図－資 3.15.2　洪水観測施設の水位と徳蔵の雨量

3.16 1998年9月16日洪水

●洪水・観測概要

図－資 3.16.1 に洪水発生日の天気図を示す。本洪水は、台風 5 号によってもたらされた。図－資 3.16.2 の水位ハイドログラフによると、水位ピークは約 11.4m と、高水敷上 1.5m 程度冠水する中規模な洪水であった。降雨のピークが二山の性状を示し、洪水継続時間が他の同規模の洪水と比べて長い。

本観測は、図の通り減水期の一部を除き、洪水立ち上がりから洪水減水期に至るまでの連続観測を行った。

観測地点は、前回の観測地点に下流部、支川涸沼前川、支川桜川を追加した。これによってほぼ全流域について細粒土砂の動態を明らかにすることが可能となった。

涸沼川洪水観測施設における浮遊砂採取は、本観測からインバータ付きのポンプを採用し、採水スピードを自在に調節する事が可能となった。

●観測項目・日時

本編の図－9.2.1 に本洪水の観測地点平面図を示す。各測点における測定項目は以下の通りである。

観測地点	観測項目
洪水観測施設	水位、流量観測、浮游砂、流速変動
本川上流部	水位、流観、水面勾配、浮遊土砂
支川稲田川	水位、流観、水面勾配、浮遊土砂
支川片庭川	水位、流観、水面勾配、浮遊土砂
支川桜川	水位、流観、水面勾配、浮遊土砂
本川下流部	水位、流観、浮遊土砂
涸沼前川	水位、流観、浮遊土砂
寛政川	水位、流観、浮遊土砂

表－資 1.1 に観測項目一覧を示す。

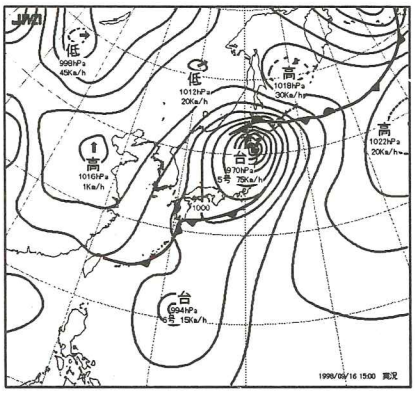
●観測方法

・流量観測

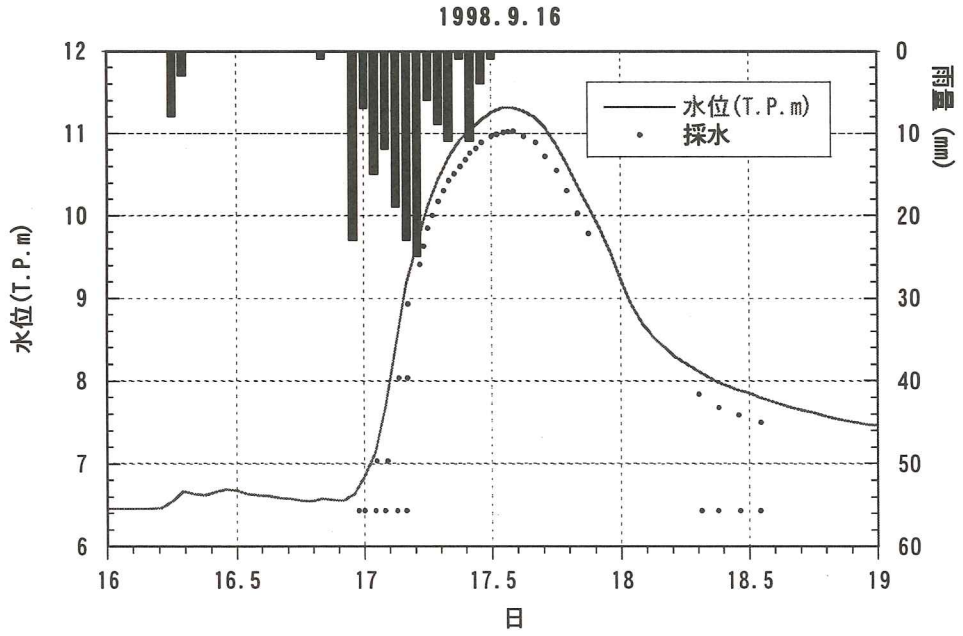
観測地点	観測方法
洪水観測施設	浮子法による。断面形、断面分割は図－6.2.10 の通りである。ただし、観測人員測定のため、VTR に撮影した浮子の挙動を洪水終了後に分析するという手法をとった。
本川上流部	浮子法による。断面位置、H-A 特性を図－資 3.16.3 に示す。
支川稲田川	浮子法による。断面分割は 96 年 9 月 22 日洪水と同様である。
支川片庭川	浮子法による。断面分割は 96 年 9 月 22 日洪水と同様である。
支川桜川	浮子法による。断面位置、H-A 特性を図－資 3.16.4 に示す。測線は 1 測線とした。
本川下流部	浮子法による。測線は低水路 3 測線、高水敷 1 測線とした。なお、断面位置のＨ－Ａ特性のデータは紛失した。
涸沼前川	浮子法による。測線は低水路 1 測線とした。なお、断面位置のＨ－Ａ特性のデータは紛失した。
寛政川	浮子法による。測線は低水路 1 測線とした。なお、断面位置のＨ－Ａ特性のデータは紛失した。

・浮遊土砂

観測地点	観測方法
洪水観測施設	T.P.10m 未満では観測柱を用いて鉛直方向の採水観測を、T.P.10m 以上では水面付近の採水観測を行った。採水には、インバータ付きポンプを用いた。このポンプの特徴として、従来の渦巻き式ポンプと異なりポンプと異なり、ポンプ内への砂分の沈降が無いため、浮遊砂の採取が高精度で行えることが期待できる。
洪水観測施設以外	涸沼川洪水観測施設以外の測点においては、バケツ採水による水面付近の採水により行った。

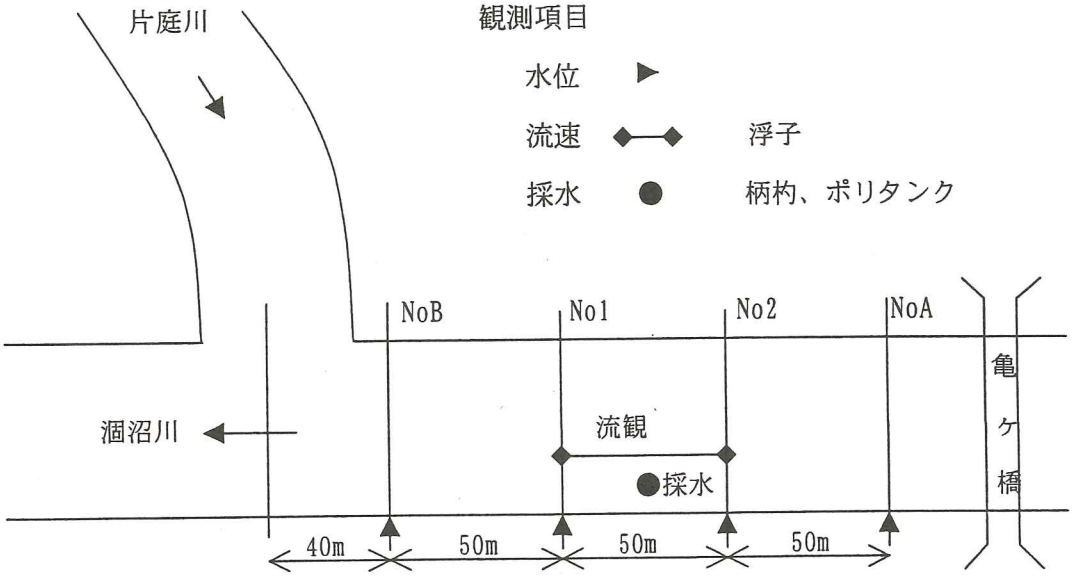


図－資 3.16.1　洪水発生日の天気図

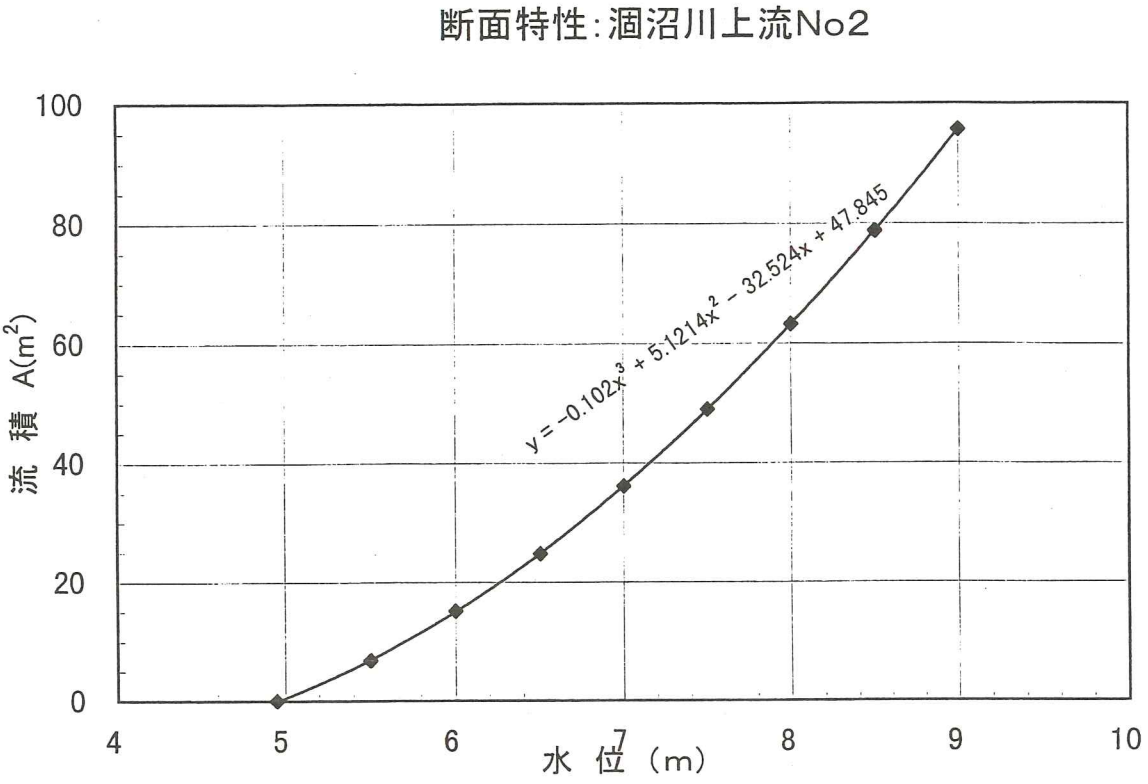


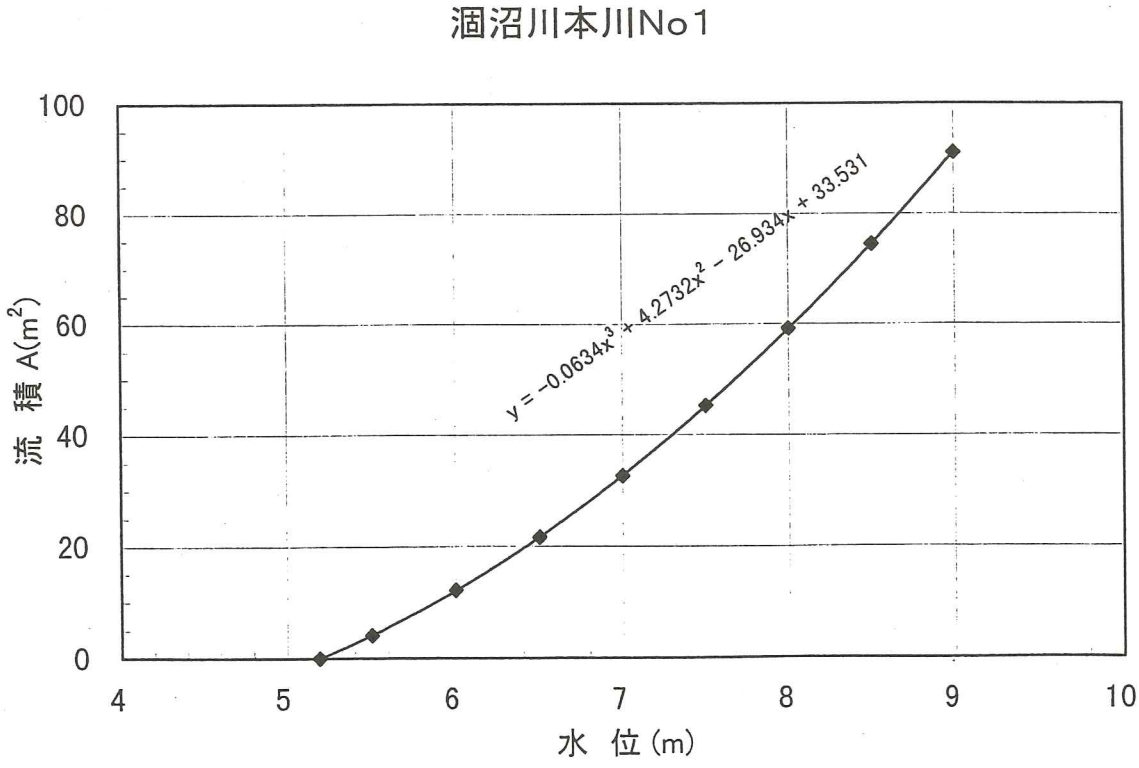
図－資 3.16.2　洪水観測施設の水位と徳蔵の雨量

① 涸沼川上流地点



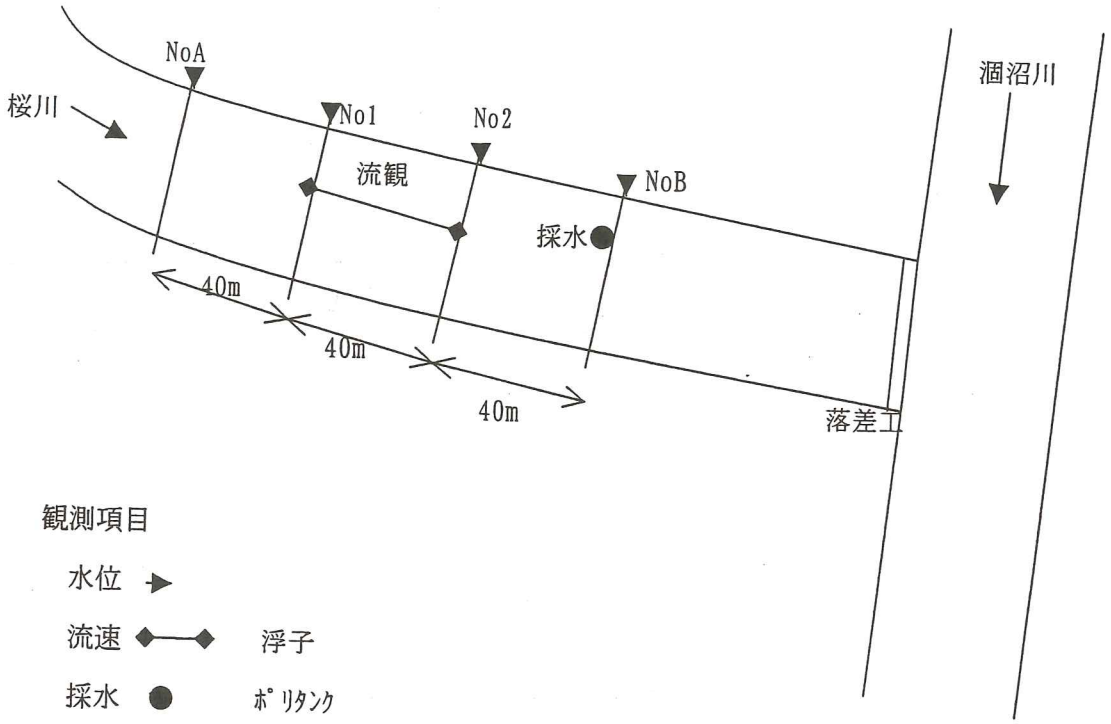
図－資 3.16.3(1)　本川上流における浮子投下位置



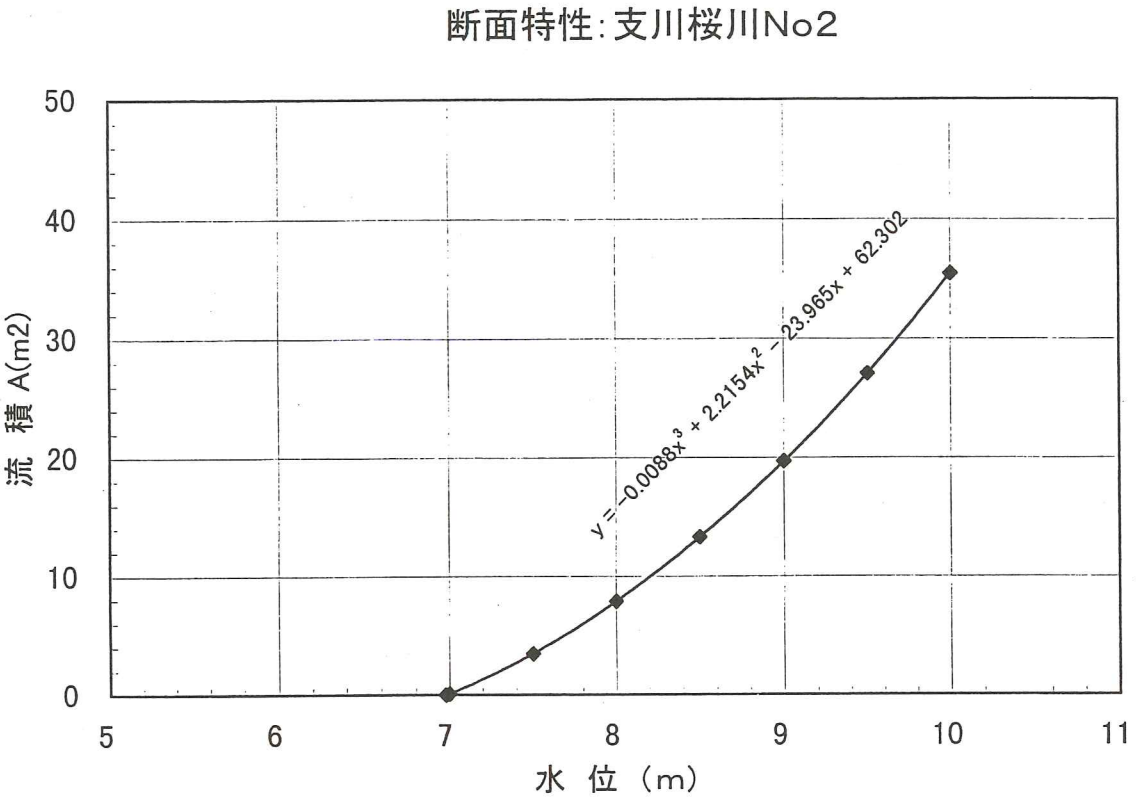


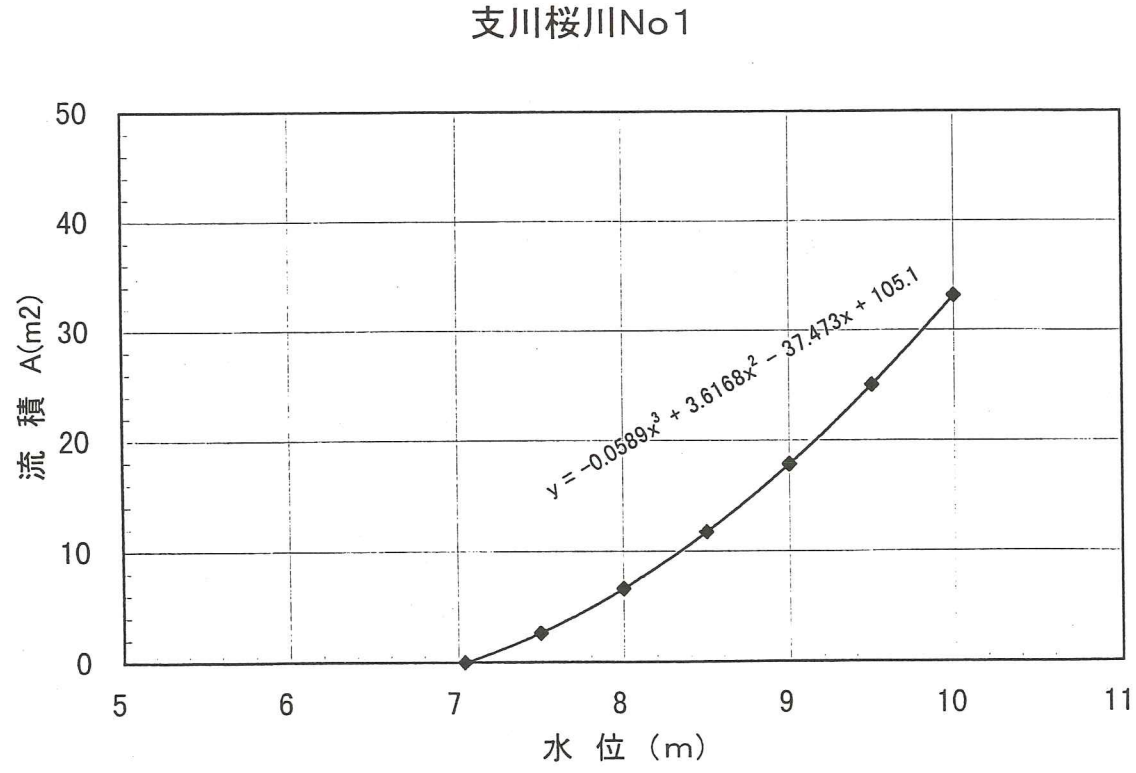
図－資 3.16.3(2)　本川上流部のＨ－Ａ特性

⑤　支川桜川



図－資 3.16.4(1)　支川桜川における浮子投下位置





図－資 3.16.4(2)　支川桜川の H-A 特性

3.17 1999年10月27日

●洪水・観測概要

洪水発生日の天気図を**図－資3.17.1**に示す。笠間雨量観測所において時間雨量20㎜を記録したが雨域が狭く、洪水規模は小さめであった。観測は1999年10月27日12:00　28日8:00の間で実施し、ハイドロの立ち上がりから減水期まで測定を実施した。観測地点は、土砂供給が少ないと判断される枝折川、寛政川を除き、涸沼川のほぼ全体の流域で観測を行った。

●観測項目

表－資1.1に測定項目一覧を示す。

観測地点は、本川上流部、支川片庭川、支川稲田川、支川桜川、観測施設、支川涸沼前川、本川下流部である。各観測地点において、水位、流量観測、採水観測（水質分析）を実施した。水質分析の分析項目はSS、粒度分析、リン（溶解性、粒子性）、強熱減量である。

●観測方法

本洪水から浮遊土砂採取の自動化を図るため、自動採水装置を併設した。これは、システムに水位計や雨量計を組み込んであり、採水地点の水位や雨量から採水のON,OFFを設定することが可能である。ポンプはローラー方式（チューブを押しつぶし、それを移動させることによって採水を行う）を採用し、異物の混入に対して強い。ただ、採水速度は一定のため、場所によっては採水スピードが流速よりも遅くなってしまう可能性がある。

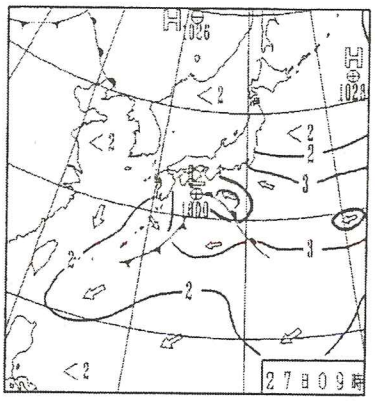
・流量観測・・・・1998年9月16日洪水と同様

・浮遊土砂・水質調査

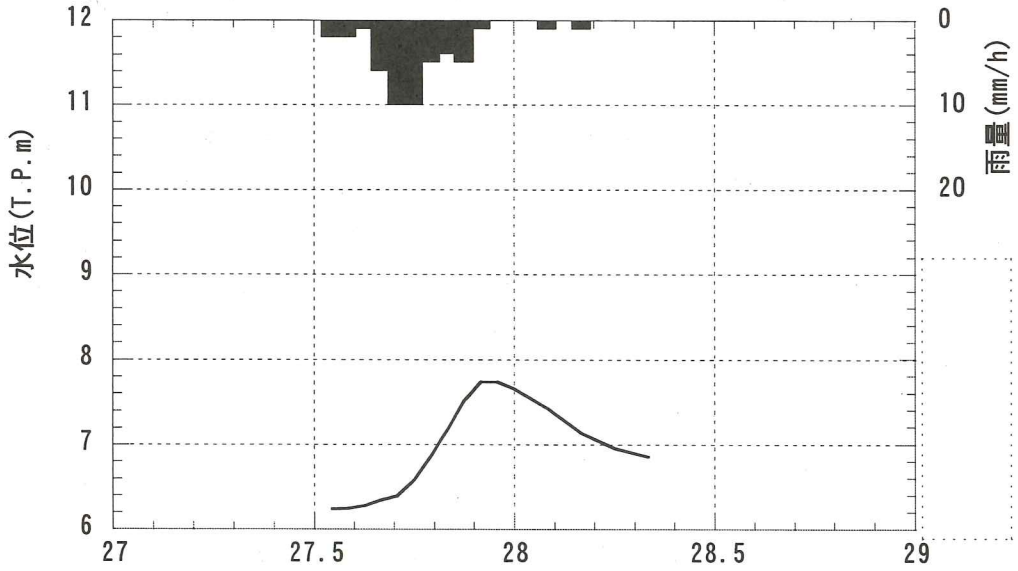
観測施設・・・バケツ採水による採水

片庭、稲田川・・・自動採水装置による採水

他の観測施設・・・自動採水装置による採水（洪水時設置）



図－資 3.17.1　洪水発生日の天気図



図－資 3.17.2　洪水観測施設の水位

3.18 2000年7月7日

●洪水・観測概要

台風3号の影響により、涸沼川流域には大雨がもたらされた。笠間雨量観測所では、10mm以上の降雨が連続して続き、累加雨量 146mm を記録した。観測施設におけるピーク時の水位は、約 12 m であった。観測は、観測施設で浮遊砂観測・掃流砂観測および流観を実施した。本観測の主目的は、鉛直方向の浮遊砂採取と掃流砂採取であったことから、観測は観測柱の掃流採砂装置が故障した7月8日午前2時(水位8.5m)まで実施した。

●観測項目

観測施設において、浮遊砂および掃流砂観測。実施時刻は**図－資1.1**のとおり。

●観測方法

流量は、浮子により観測を行った。なお、断面分割は3断面とした。

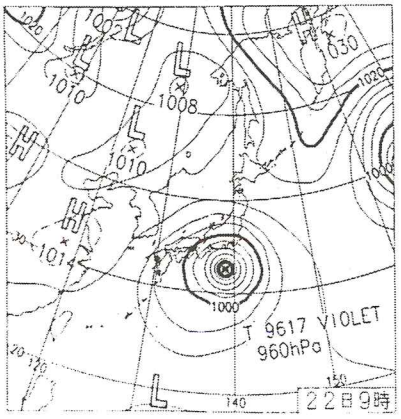
●分析項目

浮遊砂については、SS及び粒度試験を実施

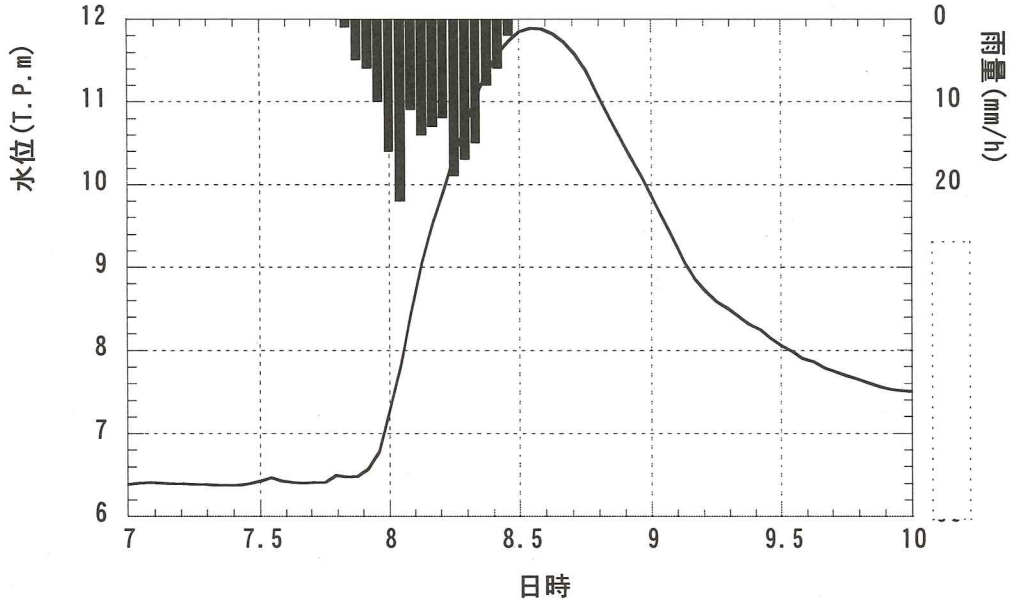
掃流砂については、乾燥重量及び粒度試験を実施

●観測を実施しての問題点

掃流採砂器が 2:00 の観測を最後にバケットが河床面から上昇せず、動作不能となった。後日調査を行った結果、バケット周囲とトレンチの間に礫が噛み合い、動かなくなったことが判明した。浮遊砂採取装置では、11:00頃から0.1mのノズルがつまり、採水量が非常に少なくなった。ポンプによる逆噴射後、再び採取を試みたが、事態は解決せず。それ以降の採水時には0.1mの高さの採水はあきらめざるを得なかった。前述の逆噴射時はポンプの送水量は調子の良いときと余り変わらなかったことから、ノズル前面にビニールなどのゴミが覆うような形で引っかかった可能性が高い。



図－資 3.18.1　洪水発生日の天気図



図－資 3.18.2　洪水観測施設における水位