

4) 調査結果の考察

調査した国内外の文献は全部で135文献にのぼる。大凡の分類とそれぞれの文献数は以下に示す。

・管内水質に関する文献（赤水、濁水（固形物）、生物、菌類、残留塩素等）	32文献
・管路の材質に関する文献（劣化、腐食・防食、滲出等）	12文献
・管網の最適化に関する文献（解析、シミュレータ、ブロック、再構築等）	34文献
・評価方法に関する文献（AOC、費用対効果等）	12文献
・管網の維持管理に関する文献	10文献
・管内異物除去に関する文献	8文献
・小水力発電に関する文献	23文献
・その他	4文献

合計135文献

(1) 管内水質に関する文献について

管内水質に関する文献では、管内の赤水や濁水の発生原因とその対策を調査、研究したものが多。

東京都の調査（文献1G-3）では、赤水濁水発生の基本的要因は、①管路が無ライニング
鑄鉄管で、すでに管内にかなりの鉄さびを蓄積していること、②管路における使用水量や通過水量が少なく、滞留管路となっていること、③複数の流入点を持つ管網では、末端よりむしろ管網内部に水圧均衡点が存在することと推定される。またその抜本的な防止策としては布設替や管更生により①の原因を取り除くことであるが、発生場所によっては制水弁操作による配水調整、流入点の変更、連絡管路の布設によって②、③の状況を改善して赤水濁水の防止が可能である。

また、いままでは赤水の発生指標としてランゲリア指数を用いるのが常識であるが、AWWA（文献1G-1）では、「赤水発生の指標としてのランゲリア指数に絶対性はないと思われる。」と断言し、その理由は①ランゲリア指数が0に近い水に関しては、赤水の苦情がほとんど無い。②ランゲリア指数が正であっても、1グラム分子の水酸化物に対し、炭酸カルシウムの形成が1グラム分子以下の場合に、赤水の苦情が頻繁となる。

細菌類等については、AWWA（文献1G-8,10,12）では、「さびこぶは細菌の増殖を助けるだけでなく、遊離残留塩素を速やかにごく低濃度まで減少させる効果があった。」一方、「大腸菌群基準の代わりに残留塩素などの理化学基準を使用することは水の微生物学的安全性を保証する上で適当でない」との研究結果が発表されている。

IWA（文献1G-21）では、カナダのモントリオール市とフランスのナンシー市の管網内懸濁物質を調査し、「原水の循環期を除く通常期では懸濁物質の40～76%が有機性ものである」と明らかになった。

(2) 管路の材質に関する文献について

管路の材質に関する文献では、管内の析出現象や内面腐食の発生原因と調査手法またその防止対策を調査、研究したものである。

飲料水の水質悪化の原因（文献1G-22）は、腐食や材料の溶出、汚染物質の混入、構造的欠陥による長時間の滞留などである。管の材質の腐食と溶出は無視できない存在である。また、石田（文献1G-27）は、「管の材質・用途に応じて腐食の形態・要因も様々であり、それに伴ってその対策も多岐にわたる物となるため、腐食を完全に防止することは困難であるが、設備全体及び部分的環境や条件を十分に把握し、腐食を減らすことに注意することが肝要である。」と警鐘を鳴らした。

また、坂口ら（文献2G-19）はエポキシ粉体樹脂塗装管路とモルタルライニング管路を比較検討し、「残留塩素濃度減少係数は粉体管の方が小さく、粉体管を用いることにより、残留塩素濃度の減少を低く抑え平準化することが可能」という結論を得た。

管材の腐食を防止するため、中国の高ら（文献2G-50）は、アルカリ溶液の注入で水質安定を調節することにより、水の腐蝕性を大幅に低減させ、管網腐蝕に起因する“赤水”現象を減少または解決する事が可能である。この方法を用いて、飲料水“赤水”現象を防ぐことは、投資が少なく、リスクが小さく、“標本兼治”（発生した現象と発生元をあわせて治す。－訳者注）の効果が得られる。

(3) 管網の最適化に関する文献について

管網の最適化に関する文献では、管網シミュレーションを始め、管内残留塩素の測定調査推定手法の研究や、管網ブロック化に伴い管内水質の改善と漏水防止対策の研究など管網に関する調査、研究したものである。このような文献は本プロジェクトの最適管網の構築に直接関るものである。

韓国のPARKら（文献2G-4）は、管網の最適設計が「2つの目的すなわち信頼性の最大化とコストの最小化になるように努力する必要がある。」と説明している。

また、小泉ら（文献2G-10, 20）は平均誤差0.05mg/L未満のニューラルネットワークによる残留塩素濃度推定モデルを提案し、米国で実配水管網の水質シミュレーションツールとして利用されている動的管網解析モデル（EPANET）と比較検討した。その結果はニューラルネットワークモデルが、配水管網を総体としてとらえるため、非常に簡潔なプロセスでのモデル化が可能となる結論であった。

管網ブロック化の検討では、今田ら（文献2G-12, 13）は、配水支管網の再編成について考察し、格子状の支管網については、支管の幹線を十字形に配置し、その中央から注入することが有効であるとの結論を得た。また、佐々木ら（文献2G-53）は、配水小ブロックの安定性検討で、「流達時間は重要な要素である」と判明した。

管網シミュレーションの手法として、青木（文献2G-14）、保野ら（文献2G-16）は圧力に注目し、より現実的な管網計算が可能となった。廣渡（文献2G-26）は、「管網

計算の精度を向上するためには個々管路の流速係数がある程度の正確さで設定し、それを比率的に調整していく方法がより有利」と提案した。

管内の赤水や濁水のシミュレーションでは、窪田ら（文献2G-34）は流速が0.1m/s以上変化し、布設後30年以上経過した鑄鉄管で赤水が発生しているものと推定された。濁質については、石井ら（文献1G-29）は鉄錆、砂が管内流速0.3m/sから流動化することを確認し、山口ら（文献3G-1）は管内に滞留していたにごり物質が需要水量の急増など流況の変化によってまきあがりにごり水として出てくることが明らかになった。流速が40cm/sを超えると巻き上がるのがわかった。

(4) 評価方法に関する文献について

評価方法に関する文献では、水道施設に約7割を占める管路施設の効率的な更新計画を確立するために、費用対効果を始め、給水の安定性などの指標を用いて管路の評価方法を調査、研究したものである。

宮内（文献2G-33）は機会損出費用の概念を用いて、震災による断水の市民への影響を定量化し、費用対効果を把握することで、管路更新投資の妥当性を探った。

また、鈴木ら（文献2G-23）は、鋼管の管外面腐食程度の予測モデルと管内面閉塞率の予測モデルを用いて、管路の経年劣化の評価を試みた。

管網全体としての評価は、小棚木ら（文献2G-55）の「ネットワーク構造に着目した水供給システムの安定性の評価に関する研究」で、管網系の供給能力を規定する要因である管路のつながりに着目した指標により、水供給システムの安定性を評価する方法を提案した。

(5) 管網の維持管理に関する文献について

管網の維持管理に関する文献では、管路の維持管理のみならず、管網管理の手法や管理のための水質モニタリング手法、停滞水維持管理などの調査、研究をしたものである。

AWWAの論文（文献2G-42, 43）では、管網の維持管理が水質管理であり、滞留時間と残留塩素の管理が必要である。滞留時間の管理方法としては信号処理とトレーサ実験を組み合わせることにより滞留時間解析でリアルタイムに滞留時間を管理することを成功した。また、ブタペストの管網管理では、必要な塩素濃度を維持することと高濃度にならないように、配水ネットワークにおいて再塩素処理を行なうことが有効である。

(6) 管内異物除去に関する文献について

管内異物除去に関する文献では、管内の赤水や濁水、濁質などを効率的な除去する方法と除去装置に関するもの調査、研究の報告である。

大阪市の配水管の洗浄排水調査（文献3G-13）では、粘土とシルトは流速0.3m/sで排出した。2mm未満の砂は0.3m/sで流出し始め、1.0m/sで完全排出した。粒径2～6mmの礫は1.0m/sで流出しはじめ、2.3m/sで完全流出した。粒径が10mmを超える礫は完全排出が不可であった。

管路の清掃および補修方法としては、Hulsmann（文献3G-19）が、以下のようにまとめている。

- ・フラッシング：におい、色、味などの苦情を一時的に減少させる効果しかない。口径200mm以上の配水管には殆ど効果がない。
- ・空気洗浄：加圧空気を加えるもので強い乱流により、微生物や沈殿物を除去する。口径300mmまで可能である。錆を剥離し苦情を発生する場合がある。
- ・ピッグ法：ピッグを水圧で配水管内を移動させて固い付着物を除去する。長期間きれいになるが、腐食層を完全に除去するとかえって腐食が進む。
- ・高圧ジェット：フレキホース先端のノズルから高圧水を噴射して固い付着物を除去する。管内が損傷を受ける場合があるので注意が必要である。
- ・モルタルライニング：75～100mおきにスクレーパーにより清掃した後実施する。高価であるが恒久的である。管材質の強度が十分で、外面腐食のない場合に実施可。
- ・その他のライニング：古い管路に新しい管路を挿入する。ポリエステルまたはエポキシ樹脂を充填し、重合して強度は増大する。
- ・布設替え：新しい管路に取り替える。高価であるが、恒久的な解決策である。

(7) 小水力発電に関する文献について

化石燃料を用いないクリーンな再生可能エネルギーの一つである小水力発電に関する調査文献では水車発電機の開発・技術評価、製品の構造と特長、適用事例、適用される法令等について紹介されている。

・水車発電機の開発・技術評価

（文献2G-66）、（文献2G-67）はポンプ逆転水車の開発を、（文献2G-68）は近年採用が増えつつあるクロスフロー水車、S形チューブラ水車等について「中小水力発電所の新技術適用に関する調査専門委員会」が新技術の実態調査及び評価を行ったものである。

・製品の構造と特長

（文献2G-58）、（文献2G-60）、（文献2G-76）、（文献2G-80）は、管路内設置型水車やポンプ逆転水車の製品紹介である。スケールメリットが出にくいと見越されていた小流量範囲でも経済性が見込めるよう、また既設管路への設置が容易なよう、標準化やユニット化、さらに管路内設置構造の採用等の工夫がなされている。

・適用事例

(文献2G-69)は土地改良事業と農山漁村電気導入促進事業における小水力発電利用事例を紹介している。全国にそれぞれ11ヶ所、200ヶ所の実績を持つ。

(文献2G-74)は神戸市における下水処理水の放流落差6.5mを活用した最大8.5kWの発電事例である。発電電力の一部をポンプ場内で使用し、余剰電力は売電している。

(文献2G-75)は浄水場での適用例である。減圧弁で無駄に消費されていた浄水場と調整池間の落差を有効利用し発電している。残留塩素の減少、油の混入等、水質問題もなく安定した運転を続けている。売電した電気料金は水道料金の低廉化に寄与している。

(文献2G-78)は家庭用電源として設置したインドネシアでの事例と、長野県で砂防ダムから取水し発電電力を公園の照明に利用した事例である。

・適用される法令等

(文献2G-79)は小水力発電設備の設置に際して適用される諸法令と系統連系を行う場合の注意点について述べている。水車発電機の設置場所及び発電電力の利用形態によっては、河川法による水利権の変更認可が、また、10kW以上の発電設備には電気事業法により工事計画認可申請が必要である。更に、系統と連係する場合は「系統連係要件ガイドライン」の定めるところにより電力会社との協議が必要となる。

小水力発電の普及には、これら規制の緩和、手続きの簡素化、そして太陽光・風力発電並の助成制度の適用が不可欠である。

(8) その他の文献について

その他の文献については、今話題のGIS技術を用いて管路のリアルタイム管理への応用について、また、給水ステーションのような小型装置の調査、研究をしたものである。

大規模管網シミュレータの水道情報管理システムへの応用を題として、西川ら(文献2G-17)では、管網シミュレータと水道情報管理システムを統合し、業務効率化を図った。

また、田淵(文献3G-10)は多様な機能を持った給水ステーションを開発し、検針業務の効率化を目的に、電気ガス、水道のメータ表示部を統合したようなパネルを提案した。

3.2.2 管網実態調査

管網における濁質の実態把握を行うために、水道事業体に対してアンケート調査を実施した。実施にあたり、平成13年度に実施した「管路内濁質等に関するアンケート」調査結果を整理し、その結果を踏まえて、平成15年度に実施する追加アンケートの内容について検討した。

(1)平成13年度アンケート結果

平成13年度「管路内濁質等に関するアンケート」は、実態の把握を目処に90の水道事業体に対して実施（83事業体から回答あり）したものであり、主として以下の点が明らかになった。なおアンケート内容とその結果については、後段に添付したとおりである。

- ・ 濁度上昇へは洗管作業で対応していると回答した事業体が8割近くを占めていた。
- ・ 濁度上昇の原因物質としては、錆という回答が最も多く9割程度、次いで砂等の工事時に混入したと考えられる物質や、水質由来のマンガン、錆等が4割弱、さらに塗膜片が3割弱であった。
- ・ 管路の末端部における水質の問題は、8割以上の事業体があると回答し、その内容については、残留塩素の確保が困難なことと回答した事業体が8割近くを占め、次いで赤水の発生や濁質の増加という回答が多かった。
- ・ 利用者からの濁質流出による苦情は、8割以上の事業体で発生しており、その対応策としては、洗管が最も多く6割弱の事業体で実施していた。

(2)平成15年度実施追加アンケート内容

この結果を踏まえて、平成15年度にはさらに詳細なアンケート調査を行い、管路における濁水の状況や水質的問題について仔細に分析を行うこととした。

アンケートの骨子は以下のとおりとした。

① 濁質原因究明（管路研究第1グループ）

- ・ アンケート対象事業体の施設諸元を詳細に把握する。
- ・ 濁質・腐食発生箇所を特定するため、さらに厳密に問題箇所の情報を収集する。

② 管網再形成（管路研究第2グループ）

- ・ 配水系統分類やブロック化の有無等、管網形状による濁水発生状況や水質問題の違いを把握する。
- ・ 洗管作業の詳細を把握するため、洗管方法や、濁水防止のための計画的洗管について情報を収集する。

- ・ 水理的条件との関係を把握するため、流速およびその変化と、錆こぶの発生や濁質の堆積に関する情報を収集する。

なおアンケートの内容については、第1研究グループの報告「2.1 管路内濁質に関する実情把握調査」を参照。

(3) アンケート結果

アンケートは平成15年9月に実施し、86の事業体に対して実施した。73の事業体から回答が得られ回収率は85%であった。

アンケート結果は後段に添付のとおりであった。

① 管網形状の影響について

配水系統を分けている事業体は、約8割であり、事業体の規模による差は見られなかった。また配水系統を分けていると回答した60の事業体のうち、10系統未満が7割、10系統以上が3割であった。事業体の規模が大きくなるほど系統数が多くなる傾向にある。

配水系統と濁質苦情発生件数との関係は、多くの事業体が関係無しと回答しているが、特定の系統で苦情が多いという回答が5件あった。浄水水質によるものか、浄水水質は同じでも、配水過程での系統分割により苦情が発生しているのか追跡調査が必要である。

ブロック化は6割程度の事業体で実施している。その内水質劣化問題がある事業体が6割近くであった。水質劣化としては、残塩低下が最も多く、ブロック末端、ブロック境や水圧均衡箇所など到達時間が長くなる場所で発生している。次いで濁水発生が多く、これもブロック末端やブロック境などで発生している。

② 洗管作業について

濁水発生時の洗管作業に関して、作業をマニュアル化しているのは2事業体のみであり、その他は、マニュアルはないが留意点は心得ている、臨機応変に対応しているという回答が多かった。具体的には、濁水が発生しないよう状況に応じて排水量を調整しながら作業を行っているという回答が大半であった。

濁水防止のための予防的な洗管を行っている事業体は36%であった。その頻度は短いもので3ヶ月、長いもので3年以下であった。年に1回という回答が最も多く、その時期は夏期の水量ピーク前に実施しているという回答が多かった。

③ 水理的条件と濁質の関係について

錆こぶの発生しやすいところは、流速が遅いところ及び流速変化がないところが大半であった。

また、錆、砂等の堆積しやすいところは、流速が遅いところ及び流速変化が無いところであった。また伏せ越し部、傾斜地など管路が低い箇所にも堆積が見られるという回答もあった。

3.3. 管路実験

3.3.1 実験管路の概要

横浜市水道局川井浄水場の遊水池（60m×40m 程度）内に、管網が再現可能な規模の実験管路を築造した。

実験管路の基本的な考え方は下記の通りである。

- ・実験管網形状 : 経験的に赤水発生源と考えられる、末端部（管路形状、圧力均衡）の再現、ブロック管網と枝状管網との比較が可能となる形状とする。また、伏せ越し部での濁質挙動を確認するため屈曲部を設ける。管路の一部は濁質挙動観測用に透明管とした。
- ・管路口径 : $\phi 75$ 、 $\phi 100$ 、 $\phi 150$ とし、 $\phi 100$ をメイン管とする。
- ・ポンプ設備 : 実験としては、単一管路で 2.0m/s 程度を目安とし、繰り返し同じ管路で実験を行うことも考えられるため、徹底した洗管を考慮し 3.0m/s 程度の流速が確保可能なポンプとする。
- ・付帯設備 : 排泥設備、空気弁、給水栓、流量制御が可能な手動弁、濁質投入口を兼ねた消火栓を設置する。また、実験管路通水の循環利用と浄水場からの分水の受水を兼ねた受水槽を設置する。

実験管路モデルの主な設備

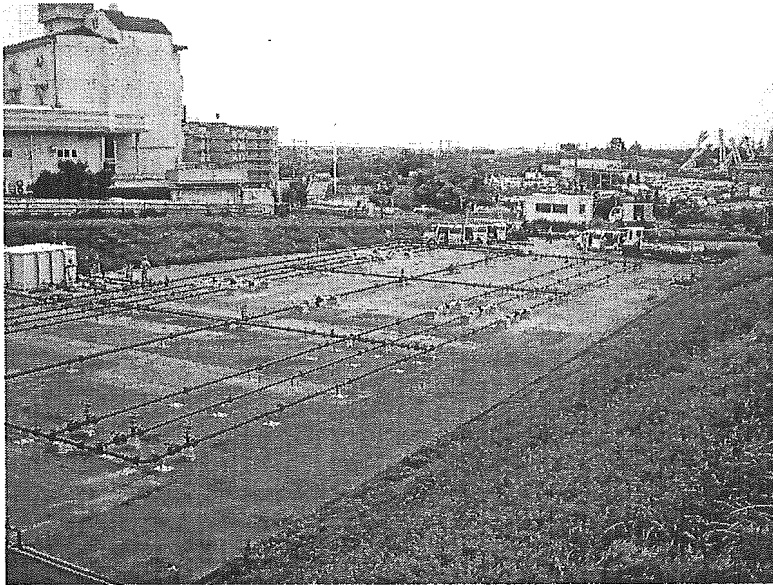


写真-3-3-1 実験管路の全景

* 配管

- φ100をメイン管として、管網を構成
- ・単管路として、
 - φ150 ……2条
 - φ100 ……5条
 - (直管部新・旧)
 - φ75 ……1条
- ・総管路延長=約540m
- ・管内総容量=約5.0m³

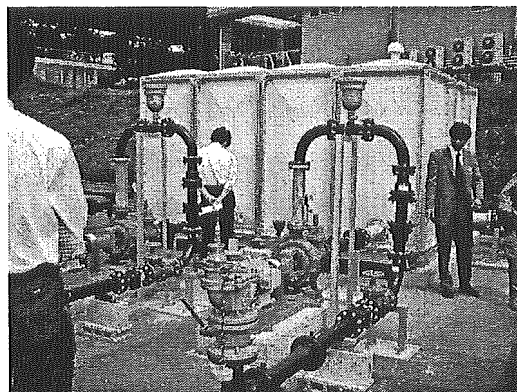


写真-3-3-2 ポンプ設備

* ポンプ設備

- 吐出量=1.6m³/分
- 揚程=20m
- 出力=11kw
- 台数=2台
- * 受水槽
- 有効容量=16.8m³

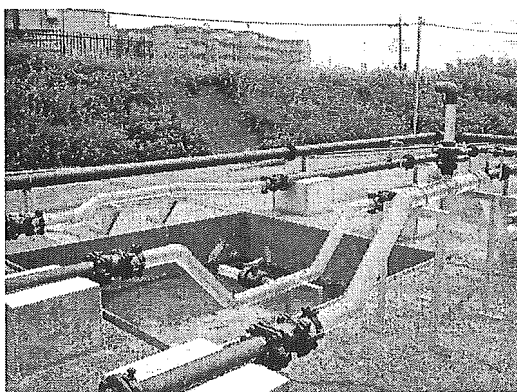


写真-3-3-3 観測用透明管（屈曲部）

* 写真中の観測用透明管より、濁質挙動の観測を行う。(写真中の観測用透明管はφ100)
写真手前右から、上越し、下越し、平面ベンド

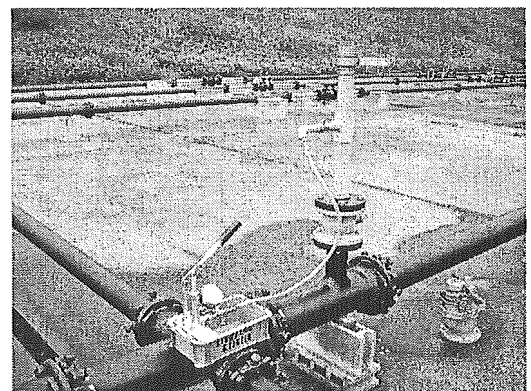
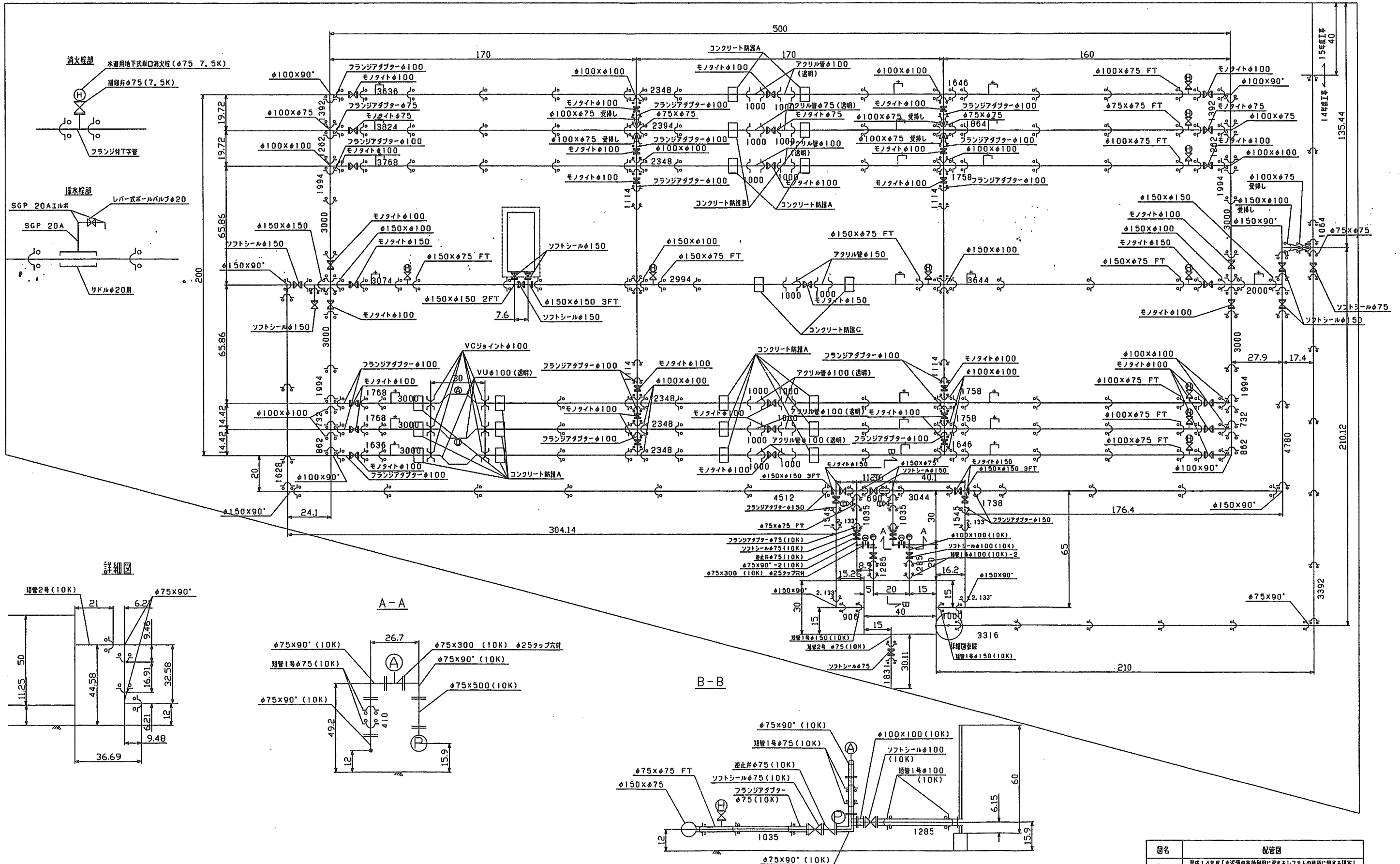


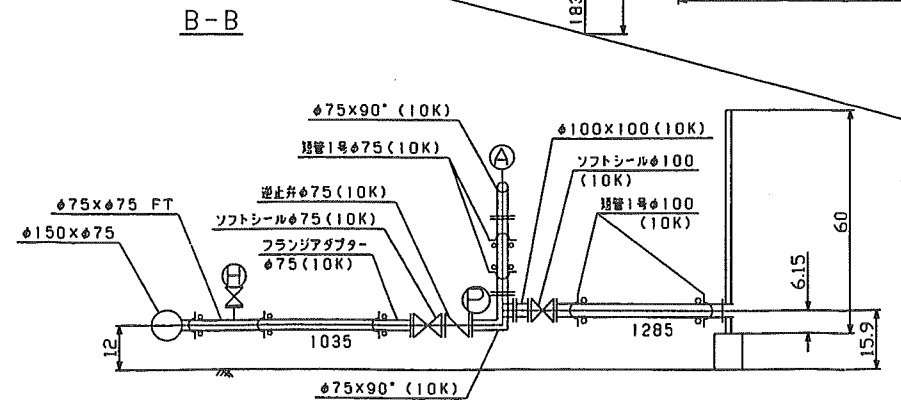
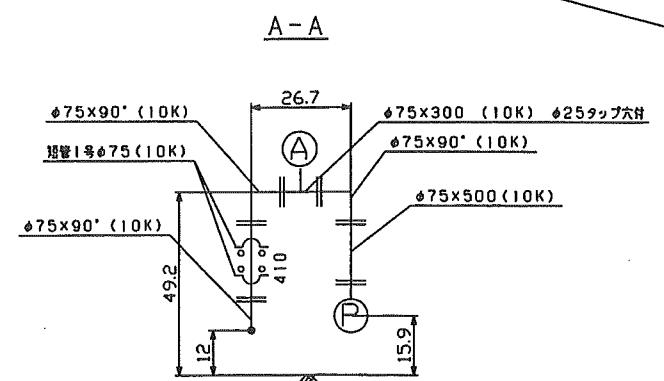
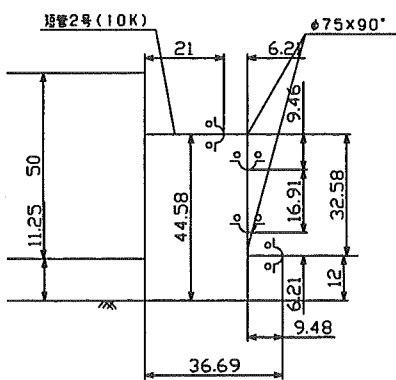
写真-3-3-4 濁質投入口

* 濁質投入装置内の水圧を、手押しポンプにて、加圧を行い通水中の管路へ濁質を、投入する。

実験管路図



詳細図



図名	配管図
工事名	平成14年度「水源の有効利用に資するシステムの構築に関する研究」に伴う実験設備設置工事
工事場所	横浜市南区上川井町255番地(横浜市水道局 川井浄水場内避水池)
製作年月日	

3.3.2 管路基礎実験

1) 実験に使用する濁質

今回の研究では、赤水のように溶解性のものではなく、管路内に存在する濁質原因物質として、砂、錆、塗膜片に着目した研究を行うため、下記の3種類の濁質を使用した。

- ・砂 : モルタルライニング用砂 比重 2.4~2.6 程度

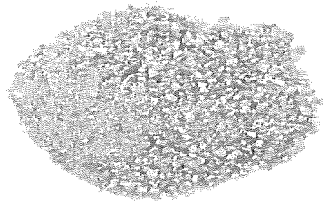


写真-3-3-5 砂 (試料)

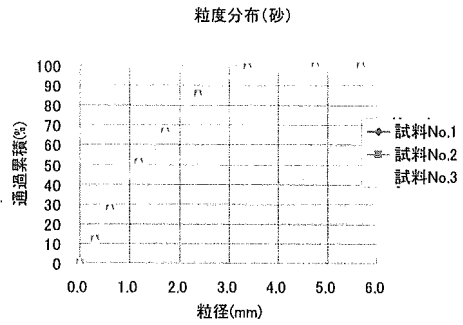


図-3-3-1 砂試料の粒度分布図

- ・錆 : 実管路から採取した錆こぶをすりつぶしたもの 比重 3.2 程度

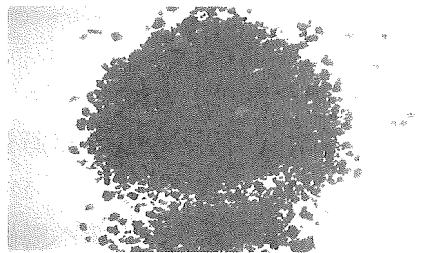


写真-3-3-6 鉄錆 (試料)

- ・塗膜片 : 代替物質として着色した厚さ 25 μ m のフィルムを使用 比重 1.1

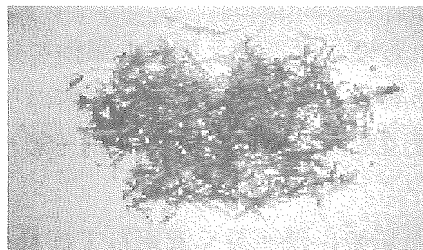


写真 3-3-7 塗膜片 (試料)

2) 濁質挙動の観察実験

(1) 実験の目的

管路流速、濁質の種類、管路の形状（直線、屈曲部）、管路口径等の違いによる、濁質の移動状況を観察し、管路流速と濁質の移動の関係を把握する。

(2) 使用濁質

管路内に存在する濁質原因物質として、砂、錆、塗膜片を利用する。

(3) 実験方法

①. 流量調整

ポンプを起動し、実験初期流速（砂及び錆は 0.2m/s 程度、塗膜片は 0.05m/s 程度）になるよう流量制御弁開度を調整し、ポンプを停止する。

②. 挙動の観察

濁質を投入し 0.1m/s ずつ流速を上げていき、流速と濁質挙動の関係を観察及びデジタルビデオにより撮影する。

(4) 実験結果のまとめ

①. 砂の挙動

- ・直線部では、新管は 0.2m/s 程度、旧管は 0.3m/s 程度で粒子の細かい砂が流れ始めるが、砂が停滞無く安定して流れる流速は新管で 0.4m/s、旧管で 0.5m/s 程度と評価される。また、0.8m/s 程度で粗い砂も勢い良く流れる。
- ・上越し及び下越し部は、0.7m/s 程度で下流へ濁質が移動し、0.9m/s 程度で勢い良く流れる。水平屈曲部は直線部と同様な傾向である。
- ・砂粒子移動速度の本管流速に対する比率の平均値は、φ75 で 42.1～72.1%、φ100 で 25.9～47.4%となっている。

②. 鉄錆びの挙動

- ・直線部、屈曲部ともに、ほぼ砂と同様な挙動を示す。
- ・鉄錆び粒子移動速度の本管流速に対する比率の平均値は、φ75 で 30.2～64.7%、φ100 で 42.4～72.2%、φ150 で 25.6～82.1%となっている。

③. 塗膜片

- ・0.1m/s 程度で流れ始め、停滞無く安定して流れる流速は 0.3m/s 程度と評価される。0.5m/s 程度で勢い良く流れる。管路形状による顕著な影響は見られない。

中砂の管路流速に対する移動速度

①(m/s)	本管口径 φ75				本管口径 φ100				本管口径 φ150			
	濁質流速②(m/s)		流速比②/①		濁質流速②(m/s)		流速比②/①		濁質流速②(m/s)		流速比②/①	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
0.05												
0.10												
0.20					0.025	0.015	12.5%	7.5%				
0.30	0.158	0.055	52.7%	18.3%			12.5%					
0.40					0.050							
0.50	0.429	0.273	85.8%	54.6%								
0.60	0.429	0.230	71.5%	38.3%	0.200		33.3%					
0.70	0.462	0.136	66.0%	19.4%	0.460	0.180	65.7%	25.7%				
0.80	0.500	0.353	62.5%	44.1%	0.750	0.270	93.8%	33.8%				
0.90	0.857	0.545	95.2%	60.6%	0.600	0.330	66.7%	36.7%				
1.00	0.857	0.750	85.7%	75.0%								
1.50	0.857	0.400	57.1%	26.7%								
2.00												
平均			72.1%	42.1%			47.4%	25.9%				

鉄錆びの管路流速に対する移動速度

①(m/s)	本管口径 φ75				本管口径 φ100				本管口径 φ150			
	濁質流速②(m/s)		流速比②/①		濁質流速②(m/s)		流速比②/①		濁質流速②(m/s)		流速比②/①	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
0.05												
0.10												
0.20												
0.30	0.170	0.125	56.7%	41.7%	0.265	0.113	88.3%	37.7%	0.272	0.035	136.0%	17.5%
0.40	0.272	0.004	68.0%	1.0%	0.265	0.103	66.3%	25.8%	0.272	0.070	68.0%	17.5%
0.50	0.375	0.129	75.0%	25.8%	0.375	0.250	75.0%	50.0%	0.250	0.100	50.0%	20.0%
0.60									0.750	0.077	125.0%	12.8%
0.70	0.500				0.500	0.273	71.4%	39.0%	0.500	0.333	71.4%	47.6%
0.80	0.670	0.300	83.8%	37.5%	0.500	0.429	62.5%	53.6%	0.429	0.250	53.6%	31.3%
0.90	0.430	0.300	47.8%	33.3%	0.600	0.429	66.7%	47.7%				
1.00					0.750	0.429	75.0%	42.9%				
1.20	0.600	0.500	50.0%	41.7%					0.500	0.429	41.7%	35.8%
1.50												
2.00												
平均			64.7%	30.2%			72.2%	42.4%			82.1%	25.6%

■濁質挙動観察実験データシート

実験No.	実験管路 口径	濁質種類
No.2-1	実験管路No.4 φ150	中砂 600ml

観察日 2003.8.27

管路流速 (m/s)	濁質挙動観察結果	濁質移動速度 (m/s)		水温 (°C)
		単体	集団	
0.05	変化なし			25.4°C
0.10	同上			
0.20	細かい砂が管底を動く。動いたり止まったり。一回の移動距離は10mm程度。			
0.30	細かい砂が管底を動きつづける。砂のかたまりが形成され始める。			
0.40	細かい砂が流れるように動く。			
0.50	管底から3.0cm程度まで巻き上がる。中径の砂のかたまりが動いてくる。			
0.60	砂のかたまりが動く。			
0.70	砂のかたまりが動く。管底から50mm位まで盛り上がる。			
0.80	中くらいの砂が常に流れる。管底を流れる。			
0.90				
1.00				
1.50				
2.00				

* 単体・・・砂粒子の単体1粒の移動速度
 集団・・・砂粒子が集まり固まりとなって移動する速度

■濁質挙動観察実験データシート

実験No.	実験管路 口径	濁質種類
No.2-2	実験管路No.4 φ150	小砂 600ml

管路流速 (m/s)	濁質挙動観察結果	濁質移動速度(m/s)		水温 (°C)
		単体	集団	
0.05	変化なし			25.4°C
0.10	同上			
0.20	細かい砂が管底を動く。動いたり止まったり。一回の移動距離は10mm程度。			
0.30	細かい砂が管底を動きつづける。砂のかたまりが形成され始める。			
0.40	細かい砂が流れるように動く。			
0.50	管底から3.0cm程度まで巻き上がる。中径の砂のかたまりが動いてくる。			
0.60	砂のかたまりが動く。			
0.70	砂のかたまりが動く。管底から50mm位まで盛り上がる。			
0.80	中くらいの砂が常に流れる。管底を流れる。			
0.90				
1.00				
1.50				
2.00				

*単体・・・砂粒子の単体1粒の移動速度
 集団・・・砂粒子が集まり固まりとなって移動する速度

■濁質挙動観察実験データシート

実験No.	実験管路 口径	濁質種類
No.2-3	実験管路No.3 φ100	中砂 600ml

管路流速 (m/s)	濁質挙動観察結果	濁質移動速度 (m/s)		水温 (°C)
		単体	集団	
0.05	変化なし	---	---	31.0°C
0.10	変化なし	---	---	
0.20	微細な砂が管底を流れ始める。動いたり止まったり。	0.015~0.025		
0.30	細砂が管底に「まだら」模様を形成。	測定不可		
0.40	アクリル管上流端では砂の舞い上がり有り。砂は移動するが速度の強弱あり。 「まだら」の下流への移動。	0.05(中)	---	
0.50	アクリル管上流端に砂の集団、団体で移動。流砂は一団の上を転がり移動。	測定不可	0.006	
0.60	集団の移動が速くなる。集団で移動。	0.2(中)	0.016	
0.70	砂が管底を勢いよく流れる。浮遊はしない。	0.18~0.46	---	
0.80	砂がまとまらず、粗い砂も勢いよく流れる。浮遊はしていない。	0.27~0.75	---	
0.90	粗い大きな砂が流れきる。	0.33~0.60	---	
1.00	(中砂600ml 補充)			
1.50	砂が管内を舞い上がって激しく流れていった。	測定不可		
2.00				

* 単体・・・砂粒子の単体1粒の移動速度
 集団・・・砂粒子が集まり固まりとなって移動する速度

■濁質挙動観察実験データシート

実験No.	実験管路 口径	濁質種類
No.2-4	実験管路No.2 φ75	中砂 600ml

観察日 2003.8.28

管路流速 (m/s)	濁質挙動観察結果	濁質移動速度 (m/s)		水温 (°C)
		単体	集団	
0.05	最初に水が濁り、その後微細の砂が移動。	---	---	31.0°C
0.10	管底の砂が少しづつ移動。	---	---	
0.20	管底の砂が移動。	---	---	
0.30	砂のかたまり(3~4cm)ができる。まだらになりながら流れる。	0.055~0.158	0.0012	
0.40	砂のかたまりがなくなり、流れていく。	---	0.005	
0.50	大きな砂のかたまりとなって、上部の砂が流れながら全体が移動。	0.273~0.429	0.0078	
0.60	同じように砂のかたまりが移動していく。	0.23~0.429	0.021	
0.70	中間点で観察：管底を砂が勢いよく移動していく。	0.136~0.462	---	
0.80	“ :更に勢いよく移動していく。	0.353~0.5	---	
0.90	勢い良く流れきる。	0.545~0.857	---	
1.00	勢い良く流れきる。	0.75~0.857	---	
1.50	勢い良く流れきる。	0.4~0.857	---	
2.00				

* 単体・・・砂粒子の単体1粒の移動速度
 集団・・・砂粒子が集まり固まりとなって移動する速度

■濁質挙動観察実験データシート

実験No.	実験管路 口径	濁質種類
No.2-5	実験管路No.5 φ100	中砂 600ml

観察日 2003.8.29

管路流速 (m/s)	濁質挙動観察結果		濁質移動速度 (m/s)		水温 (°C)
			単体	集団	
0.05	<p>濁流が発生 細砂が捕集される</p> <p>上越し屈曲部</p> <p>●: 堆積砂</p>				32.0°C
0.10					
0.20					
0.30					
0.40					
0.50	<p>屈曲部①の砂が溜まる。</p>				
0.60	<p>細砂の一部が下流へ流れる。①に堆積する砂の量は増えない。 粗粒砂が堆積するもその一部は下流へ流れる。②、③に渦が観察される。 集団が屈曲部に到達。山の上部から下流へ流れる。 堆積物の下流への移動が進む。②の堆積が無くなるが、渦による巻き上げられ た砂は残る。</p>				
0.70	<p>①の堆積量が一定の量で、流入と流出分が等しくなる。堆積物は山頂および先 頭管底部の砂より流れる。</p>				
0.80	<p>①の堆積物も無くなる。</p>				
0.90	<p>①の堆積物も無くなる。</p>				
1.00					
1.50					
2.00					

* 単体・・・砂粒子の単体1粒の移動速度
 集団・・・砂粒子が集まり固まりとなって移動する速度