

5.1.2 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、鉄錆、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。

- ①砂 : モルタルライニング用砂 比重 2.4~2.6 程度

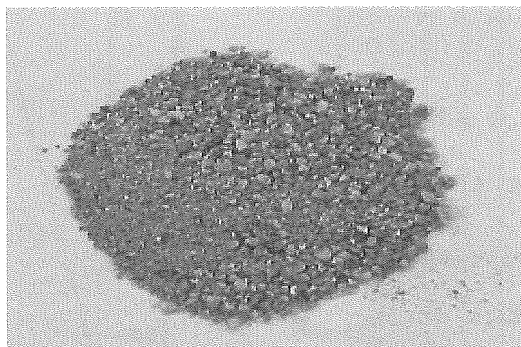


写真 5.1.5 砂(試料)

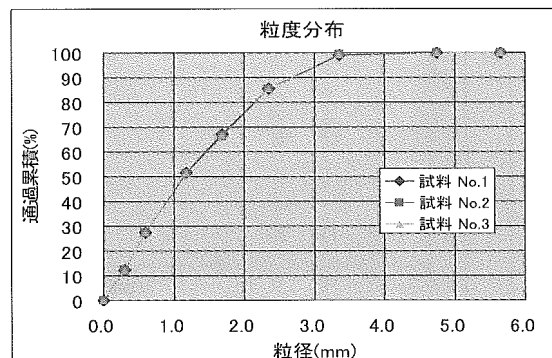


図 5.1.1 砂試料の粒度分布図

- ②鉄錆 : 実管路から採取した鉄錆こぶをすりつぶしたもの 比重 3.2 程度

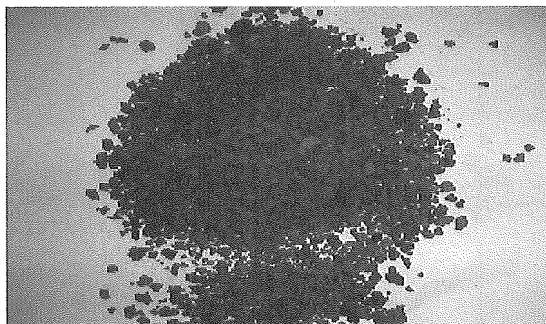


写真 5.1.6 鉄錆(試料)

- ③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

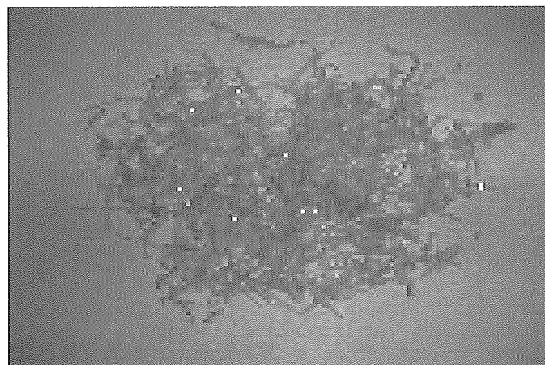


写真 5.1.7 塗膜片(試料)

5.1.3 実験内容

水資源の有効利用の観点から見た最適管網の形成に資する基礎的データ、評価指標等の収集・整理を目的に、前述の 5.1.1、5.1.2 に示した実験管路および濁質試料を用いた実験を行い、管路・管網内における濁質の基礎的な挙動を把握し、管網内における流速分布と濁質が堆積しやすい箇所などを調査した。

以下に、基礎実験として実施した実験項目と、その概略を示す。

1) 管路基礎実験

①濁質移動の観測実験

濁質の種類、管路口径、管内流速による濁質挙動の違いや、濁質の移動し始める流速など基本的な挙動の観測を行った。

②濁質沈降実験

浮遊しない濁質（砂、鉄錆）を対象に、移動している濁質が沈降し、滞留する流速を確認した。

③分岐部における濁質分配実験

管網内で濁質がどのように移動するかを確認するために、T 字管や十字管を用いて分岐部における濁質分配実験を行った。

④給水栓からの濁質流出実験

濁質が給水栓から流出する状況を確認するため、本管流速による給水栓からの濁質流出状況を確認する実験を行った。

2) 管網基礎実験

①枝状管網における濁質拡散実験

分岐が繰り返す枝状管路において、濁質が基礎実験結果と同様に分配されるかを確認し、基礎実験の管網への適合性を確認した。

②田型管網における濁質拡散実験

実ネットワークでの濁質拡散状況を想定する前段として、シンプルな田型の管網により濁質拡散実験を行い、基礎実験の適合性、水理解析による濁質拡散想定の基本データ収集を行った。

5.2 管路基礎実験

5.2.1 濁質移動の観察実験

1) 実験の目的

管内流速、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物質として、前述の 5.1.2 に示した試料（砂、鉄錆、塗膜片）を使用した。

3) 実験方法

①流量調整

ポンプを起動し、実験初期流速（砂及び鉄錆は 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記録する。

4) 実験結果のまとめ

濁質挙動の観測実験を表 5.2.1 に、砂および鉄錆の管路流速に対する移動速度を、表 5.2.2 に示す。

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、 $\phi 75$ で 42～72%、 $\phi 100$ で 26～47%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、 $\phi 75$ で 30～65%、 $\phi 100$ で 42～72%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。上越し・下越し等の管路形状による顕著な影響は見られない。

表5.2.1 濁質挙動観測実験のまとめ

実験NO.	2-4	2-3	2-9	2-1	2-2	2-5	2-6	2-7	2-8	3-3	3-2	3-1	3-4	3-5	3-6	3-7	4-7	4-8	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6
濁質	砂																							
投入量(ml)	各600																							
粒径	(中)																							
管路	直管																							
新旧	(新管)																							
管径(mm)	75	100	100	150	100	100	100	100	100	75	100	100	100	100	100	100	75	100	100	100	100	100	100	
流速(m/s)	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.30	1.50	2.00										
(備考)	濁質 ○濁質 ・砂 ・鉄 ・塗膜片:厚さ25umシート(メタルメタクリレート)をエンレッチ加工したものを使用。 ・鉄 ・塗膜片:厚さ25umシート(メタルメタクリレート)をエンレッチ加工したものを使用。 ・鉄 ・塗膜片:厚さ25umシート(メタルメタクリレート)をエンレッチ加工したものを使用。 ・鉄 ・塗膜片:厚さ25umシート(メタルメタクリレート)をエンレッチ加工したものを使用。																							
観測結果	<p>管の洗浄は管内流速1.0m/s以上とする(水通維持管理指針)</p> <p>濁質挙動観察状況(伏せ越し部)</p> <p>①:濁質が流れ始める ②:注)上越、下越は凹凸部を越えて流れる始める流速 ③:濁質が停滞なく安定して流れる流速 ④:濁質が勢よく流れる流速</p> <p>下越し透明管 上越し透明管 水平透明管</p>																							

表5.2.2 中砂および鉄錆の管路流速に対する移動速度

投入濁質	管路流速① (m/s)	本管口径 φ75				本管口径 φ100					
		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		
砂	0.05										
	0.10										
	0.20										7.5%
	0.30	0.158	0.055	52.7%	18.3%	0.025	0.015	12.5%	12.5%		
	0.40					0.050		12.5%			
	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%			

投入濁質	管路流速① (m/s)	本管口径 φ75				本管口径 φ100					
		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		
鉄錆	0.05										
	0.10										
	0.20										
	0.30	0.170	0.125	56.7%	41.7%	0.265	0.113	88.3%	37.7%		
	0.40	0.272	0.004	68.0%	1.0%	0.265	0.103	66.3%	25.8%		
	0.50	0.375	0.129	75.0%	25.8%	0.375	0.250	75.0%	50.0%		
	0.60										
	0.70	0.500		71.4%		0.500	0.273	71.4%	39.0%		
	0.80	0.670	0.300	83.8%	37.5%	0.500	0.429	62.5%	53.6%		
	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%							
1.50											
2.00											
平均			64.7%	30.2%			72.2%	42.4%			

5.2.2 濁質沈降実験

1) 目的

直線管路の途中で、給水栓より水を抜き、流速を 0.1m/s 程度ずつ変化させ、流速と濁質の移動及び沈降状況を把握する。

2) 実験条件

- ①管路口径 : $\phi 100$ 、 $\phi 150$
- ②濁質種類 : 砂（中砂）
- ③濁質投入量 : 1500g（乾燥状態）

3) 実験方法

①流量調整

本管流量が所定の流速となるようバルブ開度を調整する。本管流量は、流量計により確認した。また給水栓定流量弁の流量は、事前に確認作業を行った。

②濁質の投入

濁質を消火栓から投入する。

③実験時間

管内観察カメラを実験管路内に挿入し、濁質沈降状況を確認した。濁質が沈降し停止することが確認されるまで実験を継続するものとした。

管内観察カメラによる確認の結果、本実験管路においては、約 3 時間の通水で濁質の停止が確認された。

④濁質堆積状況の観察

管内観察カメラにより、濁質の堆積状況を確認する。（ビデオにより記録）

⑤濁質の回収

洗管作業を行い、濁質をストレーナにて回収する。

⑥濁質の計測

乾燥後、質量と粒度分布を確認する。

4) 実験結果

$\phi 100$ 、 $\phi 150$ の実験結果を図 5.2.2～3 及び表 5.2.3 に示す。

また、管内観察カメラによる濁質堆積状況を写真 5.2.1～4 に示す。

・濁質沈降実験による濁質の堆積状況

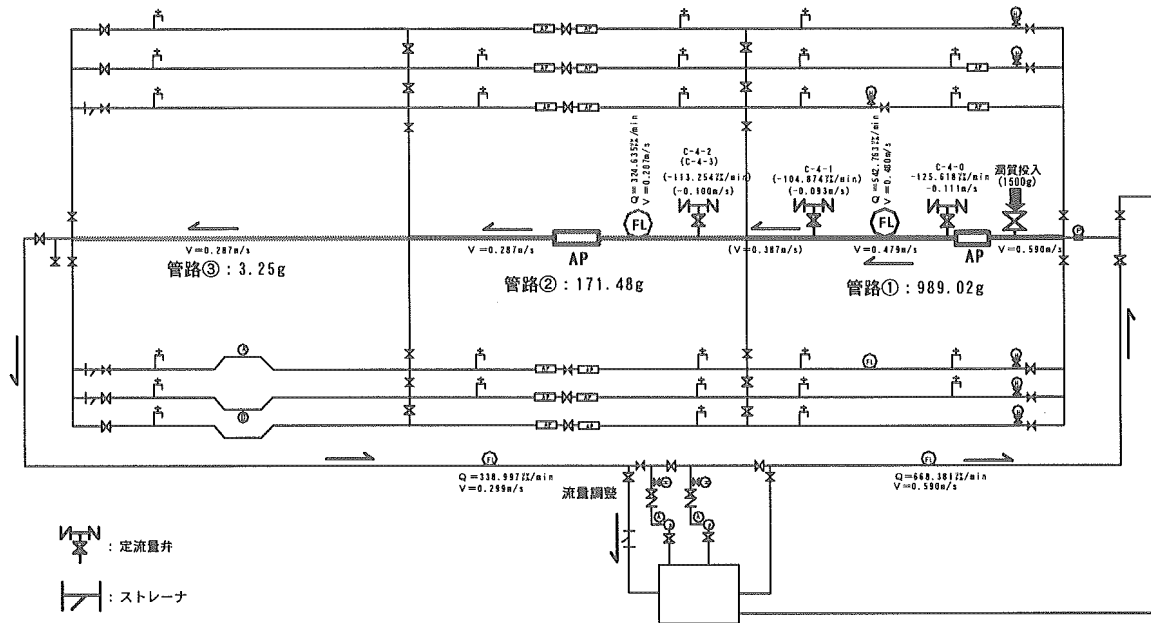


図5.2.2 濁質沈降実験 (φ150)

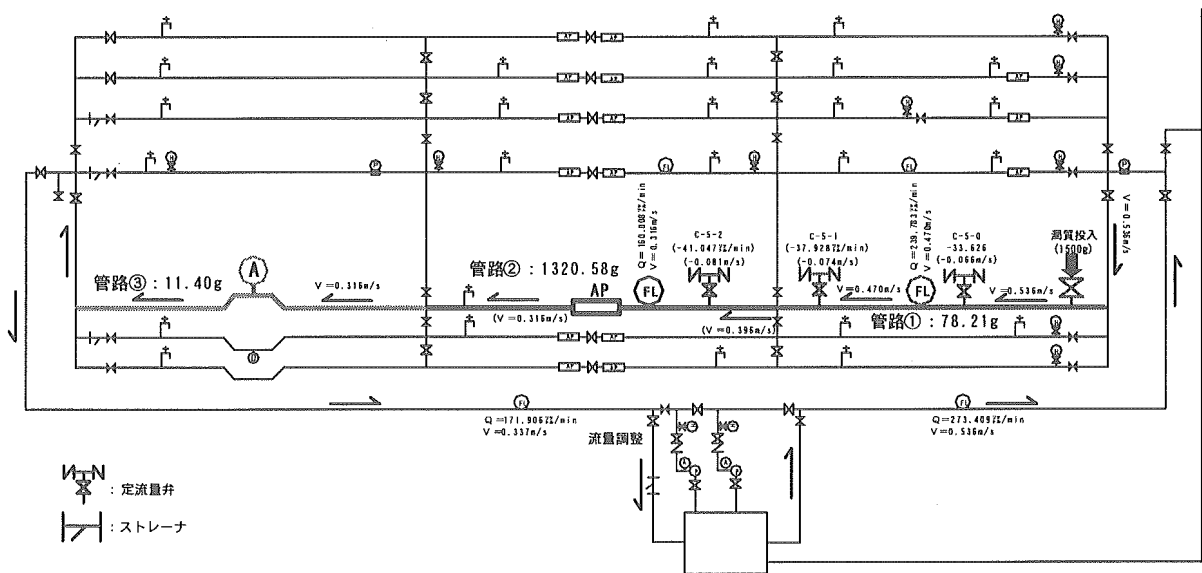


図5.2.3 濁質沈降実験 (φ100)

表 5.2.3 濁質沈降実験結果

口径		管路①		管路②	管路③	
		流速(m/s)	0.590	0.479	0.387	0.287
φ 150	堆積状況	なし	なし	砂の大きな塊 写真 5.2.1	細かい砂 写真 5.2.2	---
	濁質回収量(g)	989.02		171.48	3.25	
φ 100	流速(m/s)	0.536	0.470	0.396	0.316	
	堆積状況	なし	なし	砂の塊 写真 5.2.3	大きな塊 写真 5.2.4	---
	濁質回収量(g)	78.21		1320.58	11.40	

φ 150 では、流速が 0.479m/s から 0.387m/s に低下する箇所に砂の大きな塊が堆積していた（写真 5.2.1 参照）。また流速が 0.287m/s では細かい砂が管底に堆積していた（写真 5.2.2 参照）。なお、管底方向を赤矢印で示した。

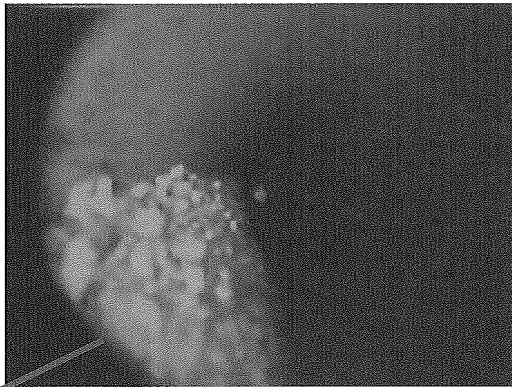


写真 5.2.1 濁質堆積状況
(φ 150、0.387m/s)



写真 5.2.2 濁質堆積状況
(φ 150、0.287m/s)

φ 100 では、流速が 0.470m/s から 0.396m/s に低下する箇所には、砂の塊が堆積しているものの φ 150 と比べて堆積量は少なかった（写真 5.2.3 参照）。また流速が 0.396m/s から 0.316m/s に低下する箇所に砂の大きな塊が堆積していた（写真 5.2.4 参照）。

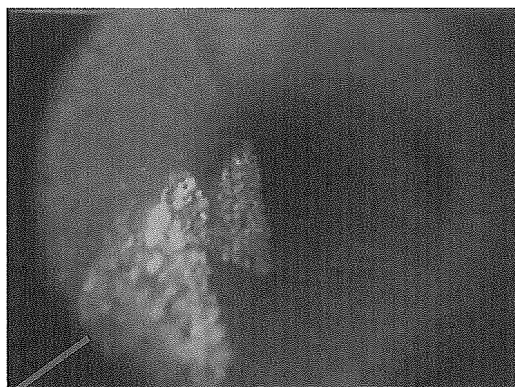


写真 5.2.3 濁質堆積状況
(φ 100、0.396m/s)



写真 5.2.4 濁質堆積状況
(φ 100、0.316m/s)

回収した濁質の粒度分布を表 5.2.4~5 及び図 5.2.5~6 に示す。また、回収した濁質の乾燥後の写真を写真 5.2.5~6 に示す。なお、粒度分布図には、試料として用いた中砂の粒度分布を「中砂」として示した。

注) 表 5.2.4 の粒度分布の回収率について

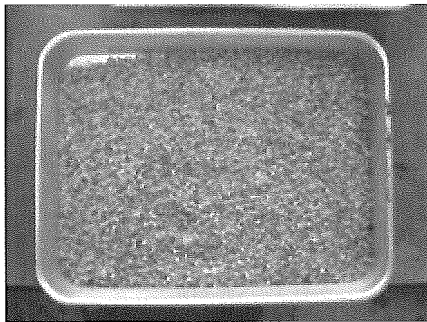
管路③に堆積した濁質(試料 No.150-3)に関しては、試料の量が少ないため、測定誤差が大きくなったと思われる。

φ 150 では、管路①で回収された試料 No.150-1(流速 0.387m/s で沈降)は粒径が大きく、それより下流側の管路②で回収された試料 No.150-2(流速 0.387m/s では移動、流速 0.287m/s では沈降)は粒径が小さいという傾向が見られた。試料 No.150-3(流速 0.287m/s で移動)はさらに粒径が小さいが、回収量が少ないためデータの信頼性は乏しい。

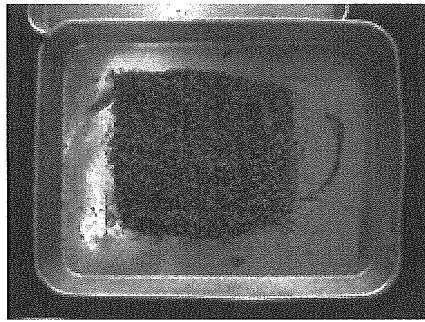
φ 100 では、管路①で回収された試料 No.100-1(流速 0.396m/s で沈降)に比べて、それより下流側の管路②で回収された試料 No.100-2(流速 0.396m/s では移動、流速 0.316m/s では沈降)の方が粒径が若干大きいという結果が得られた。しかし、大半が管路②で回収されていることを考えると、0.396m/s では多くの砂は移動するが、多少沈降する砂もあり、それらの粒度分布は、双方の平均的なものと見ることが妥当であると考えられる。試料 No.100-3(流速 0.316m/s で移動)の方が粒径が小さいという傾向は、φ 150 と一致している。

表 5.2.4 濁質の粒度分布 (φ 150)

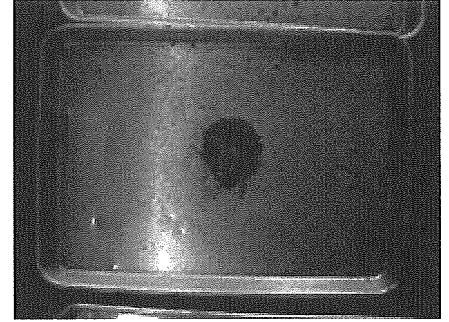
全質量	989.02			171.48			3.25		
粒度分布 (mm)	残留 (g)	(%)	通過累積 (%)	残留 (g)	(%)	通過累積 (%)	残留 (g)	(%)	通過累積 (%)
5.66	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
4.75	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
3.36	12.68	1.28	98.72	0.69	0.40	99.60	0.00	0.00	100.00
2.36	219.23	22.13	76.59	13.12	7.70	91.90	0.04	1.72	98.28
1.70	238.66	24.09	52.50	35.82	21.02	70.87	0.11	4.72	93.56
1.18	167.30	16.89	35.61	33.55	19.69	51.19	0.18	7.73	85.84
0.60	213.02	21.50	14.10	54.30	31.87	19.32	0.47	20.17	65.67
0.30	104.85	10.58	3.52	29.25	17.17	2.15	0.73	31.33	34.33
0.00	34.85	3.52	0.00	3.67	2.15	0.00	0.80	34.33	0.00
合計	990.59			170.40			2.33		
粒度分布の回収率(%)	100.16			99.37			71.69		



試料 No.150-1(管路①)



試料 No.150-2(管路②)



試料 No.150-3(管路③)

写真 5.2.5 回収濁質 (φ 150)

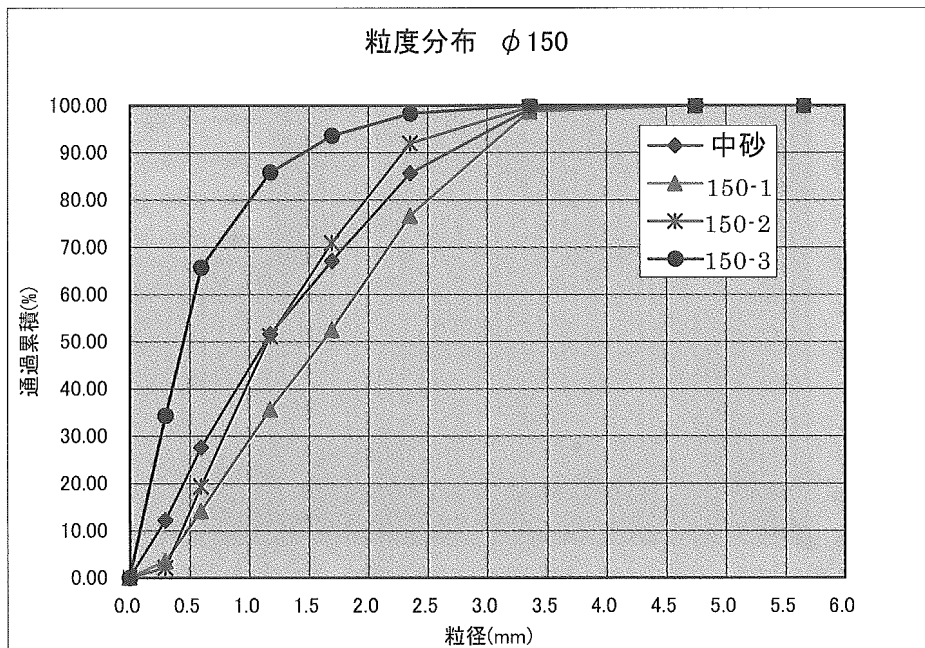
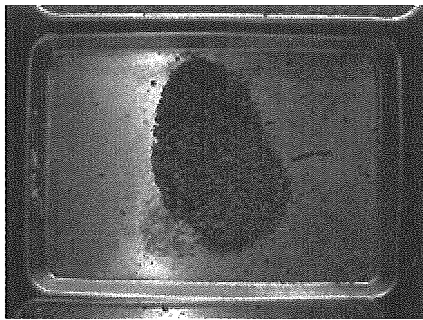


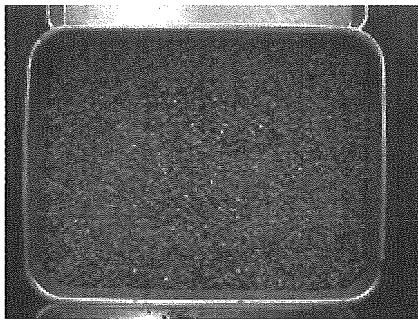
図 5.2.5 濁質の粒度分布図 (φ 150)

表 5.2.5 濁質の粒度分布 (φ 100)

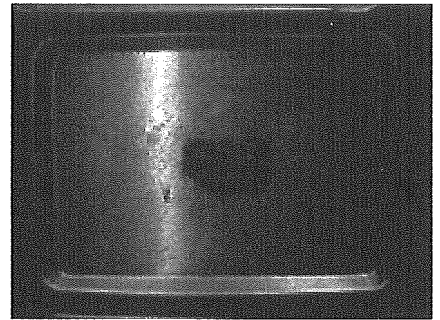
全質量	78.21			1320.58			11.40		
粒度分布 (mm)	残留 (g)	(%)	通過累積 (%)	残留 (g)	(%)	通過累積 (%)	残留 (g)	(%)	通過累積 (%)
5.66	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
4.75	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
3.36	0.40	0.52	99.48	12.16	0.92	99.08	0.00	0.00	100.00
2.36	7.40	9.59	89.90	255.54	19.37	79.71	0.23	2.19	97.81
1.70	18.00	23.32	66.58	302.68	22.94	56.77	1.05	10.01	87.80
1.18	16.44	21.30	45.28	220.76	16.73	40.04	1.83	17.45	70.35
0.60	23.77	30.79	14.48	290.55	22.02	18.02	4.93	47.00	23.36
0.30	8.74	11.32	3.16	154.93	11.74	6.28	2.11	20.11	3.24
0.00	2.44	3.16	0.00	82.83	6.28	0.00	0.34	3.24	0.00
合計	77.19			1319.45			10.49		
粒度分布の回収率(%)	98.70			99.91			92.02		



試料 No.100-1(管路①)



試料 No.100-2(管路②)



試料 No.100-3(管路③)

写真 5.2.6 回収濁質 (φ 100)

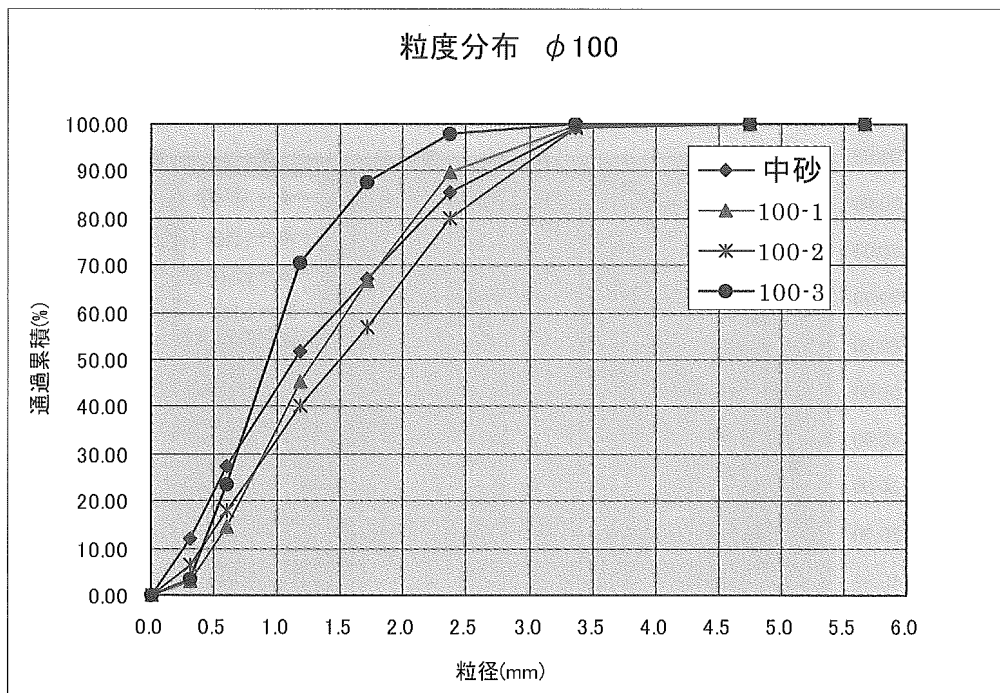


図 5.2.6 濁質の粒度分布図 (φ 100)

5.2.3 分岐部における濁質分配実験

1) 実験の目的

分岐口径及び分岐管路流速による濁質分配量を確認し、管網での濁質拡散・分布状況推定の基礎データを収集する。

2) 実験条件

①使用濁質 : 砂、塗膜片 (濁質挙動観察実験から、鉄錆びは砂と同様な挙動をすると判断されるため、鉄錆びは使用しない。)

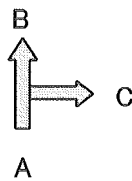
②分岐形状

- ・ T字分岐 1 (直進+直角分岐) : $\phi 100 \times \phi 100$ 、 $\phi 150 \times \phi 150$
 $\phi 150 \times \phi 100$ 、 $\phi 150 \times \phi 75$
- ・ T字分岐 2 (2方向直角分岐) : $\phi 100 \times \phi 100$
- ・ 十字分岐 : $\phi 150 \times \phi 100$ 、 $\phi 100 \times \phi 100$

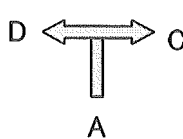
分岐管はダクタイル異形管を使用した。分岐部の濁質挙動を観察する為にアクリルパイプで製作した $\phi 150 \times \phi 100$ のT字管および十字管も使用した。

分岐の方向は以下の呼び方とする。

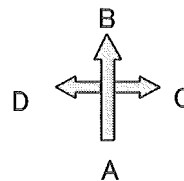
T字分岐 1



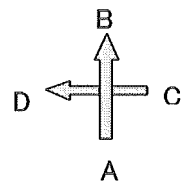
T字分岐 2



十字分岐



十字分岐(2流入)



③濁質投入量 : 600ml

3) 実験ケース

①T字分岐 1

- ・ $\phi 100 \times \phi 100$ 、 $\phi 150 \times \phi 150$ (濁質 砂)

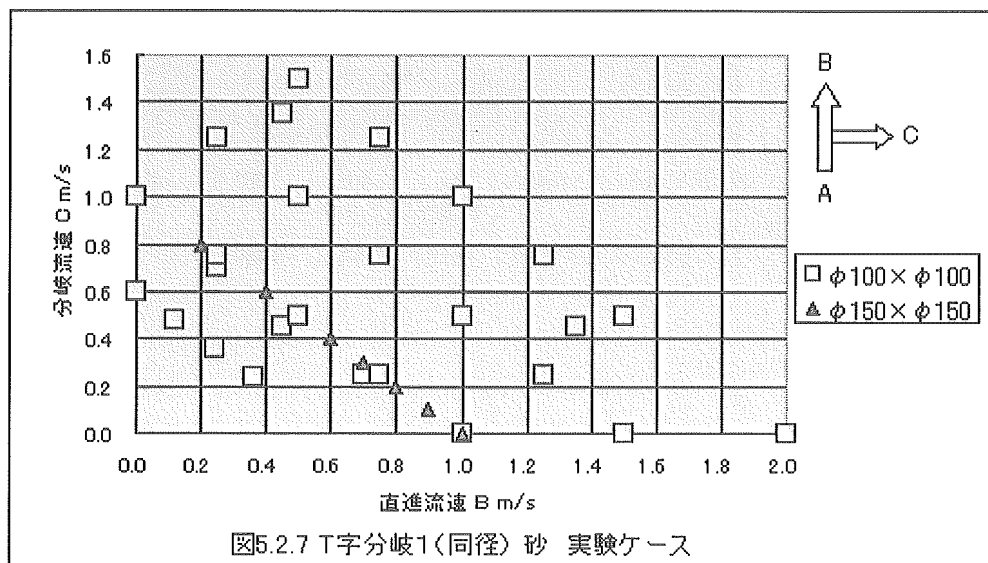
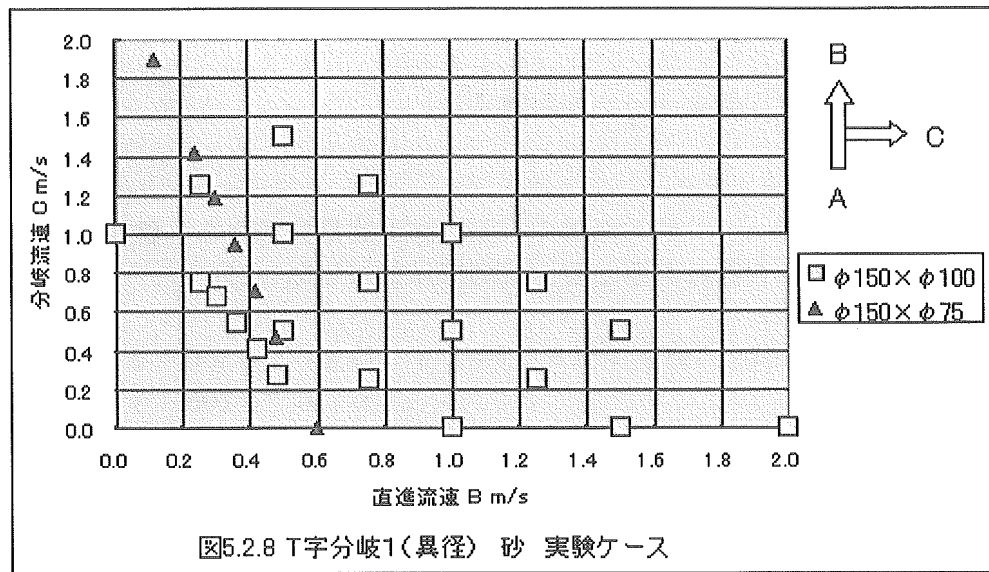
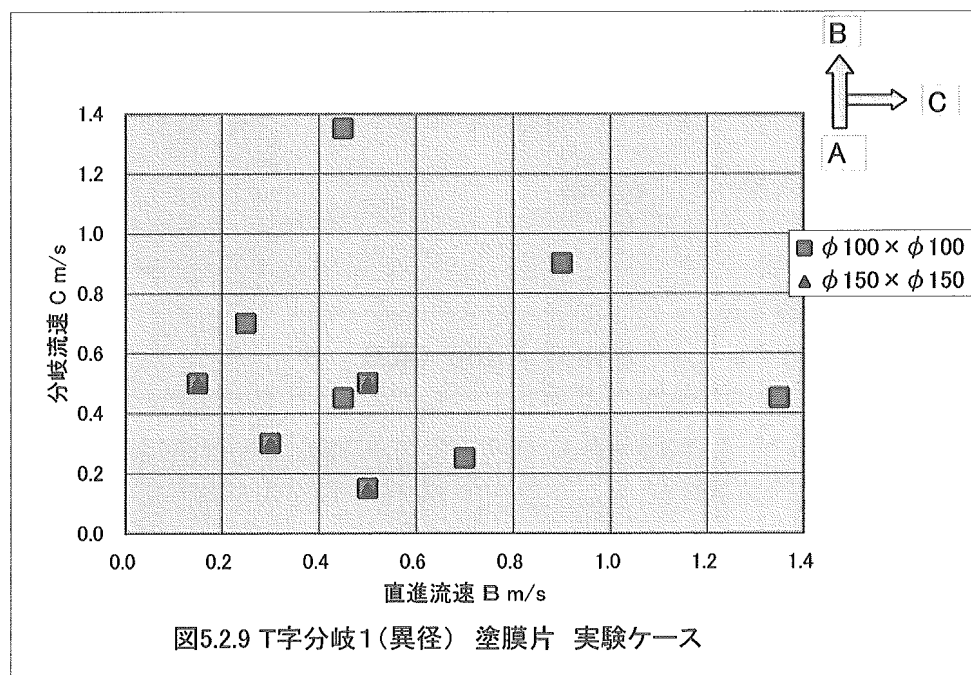


図5.2.7 T字分岐1(同径)砂 実験ケース

・ $\phi 150 \times \phi 100$ 、 $\phi 150 \times \phi 75$ (濁質 砂)



・ $\phi 100 \times \phi 100$ 、 $\phi 150 \times \phi 100$ (濁質 塗膜片)



②T字分岐 2

表 5.2.6 T字分岐 2 実験ケース(φ100×φ100)

D ← → C ↑ A		D分岐側流速 m/s				
		0.45	0.50	0.90	1.00	1.35
C分岐側流速 m/s	0.45					○□
	0.50		○		○	
	0.90			○□		
	1.00				○	
	1.35					

※○：砂、□：塗膜片

③十字分岐

・ φ150×φ100

表 5.2.7 十字分岐 実験ケース(φ150×φ100)

流速				濁質	
A	B直進	C分岐	D分岐	砂	塗膜片
0.38m/s	0.20m/s	0.20m/s	0.20m/s		○
0.44m/s	0.21m/s	0.31m/s	0.21m/s		○
0.57m/s	0.21m/s	0.42m/s	0.42m/s		○
0.61m/s	0.30m/s	0.00m/s	0.70m/s	○	
0.69m/s	0.41m/s	0.42m/s	0.21m/s		○
0.70m/s	0.25m/s	0.50m/s	0.50m/s	○	
0.72m/s	0.50m/s	0.00m/s	0.50m/s	○	
0.83m/s	0.70m/s	0.00m/s	0.30m/s	○	
0.95m/s	0.50m/s	0.50m/s	0.50m/s	○	○
0.99m/s	0.61m/s	0.42m/s	0.42m/s		○
1.03m/s	0.52m/s	0.57m/s	0.57m/s		
	0.52m/s	0.23m/s	0.91m/s	○	
	0.34m/s	0.76m/s	0.76m/s		
1.45m/s	1.00m/s	0.50m/s	0.50m/s	○	
1.55m/s	0.77m/s	0.85m/s	0.85m/s		
	0.77m/s	0.34m/s	1.36m/s	○	
	0.52m/s	1.13m/s	1.13m/s		
1.95m/s	1.50m/s	0.50m/s	0.50m/s	○	
2.07m/s	1.03m/s	1.13m/s	1.13m/s		
	1.03m/s	0.45m/s	1.81m/s	○	
	0.69m/s	1.51m/s	1.51m/s		

・ $\phi 100 \times \phi 100$ (濁質 砂)

表 5.2.8 十字分岐 実験ケース($\phi 100 \times \phi 100$)

流速 m/s				濁質
A	B直進	C分岐	D分岐	
1.00	0.30	バルブ止め	1.53	砂
	0.50		1.09	
	0.70		0.65	

4) 実験方法

①バルブの設定

実験を行う管路へ通水するための開閉操作を行う。

②流量の調整

本管及び分岐管が所要の流速となるバルブ開度を設定する。

③試料の投入

消火栓の補修弁から試料を投入する。

④濁質の移動

ポンプを起動し濁質を移動させ、分岐部を通過させる。

アクリル管による実験では、濁質の挙動を観察する。

⑤濁質の回収

分岐部後のY型ストレーナで濁質を回収し、実験を終了する。

⑥試料の計測

乾燥後、質量を確認する。

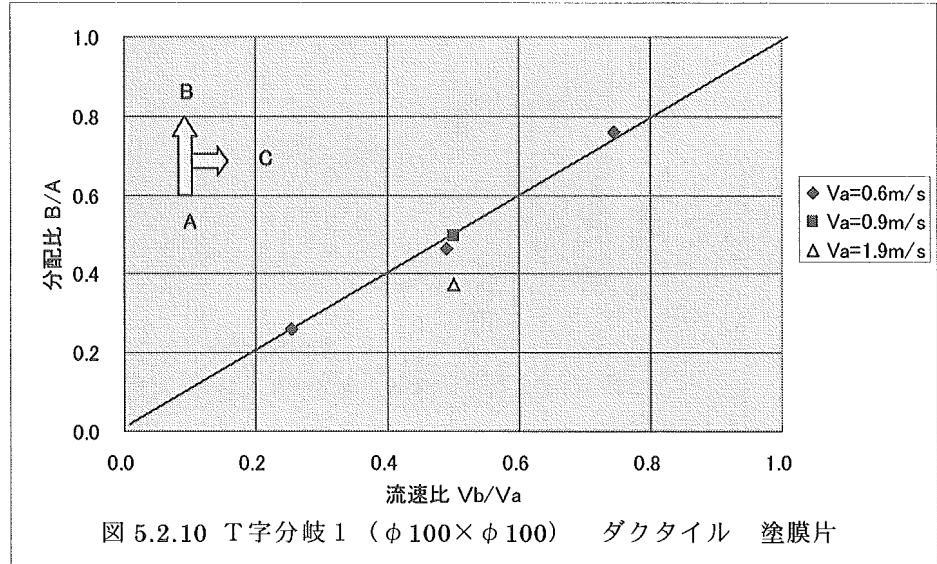
5) 実験結果

(1) 塗膜片

① T字分岐 1

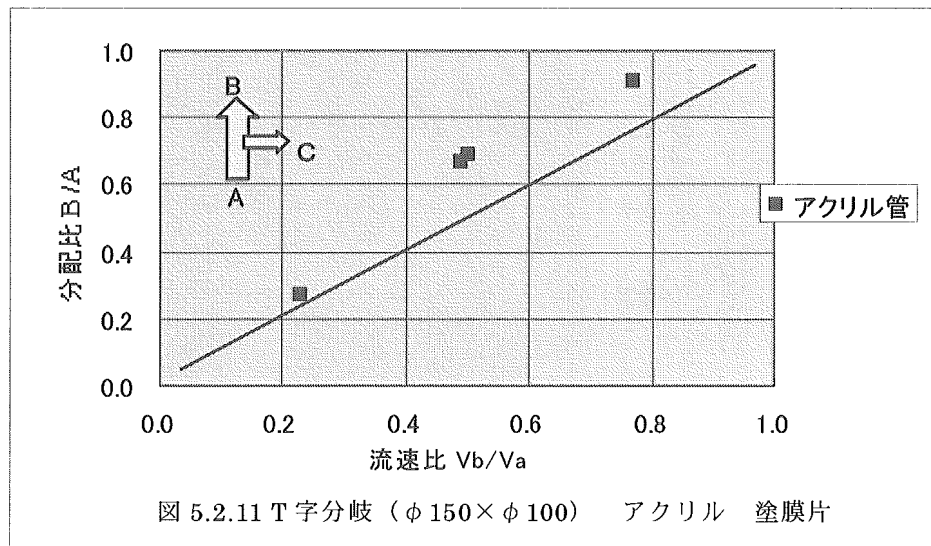
- ・ $\phi 100 \times \phi 100$

塗膜片は水の流れに乗った挙動を示すことから、基本的には流量比により濁質が分配される傾向が見られる。



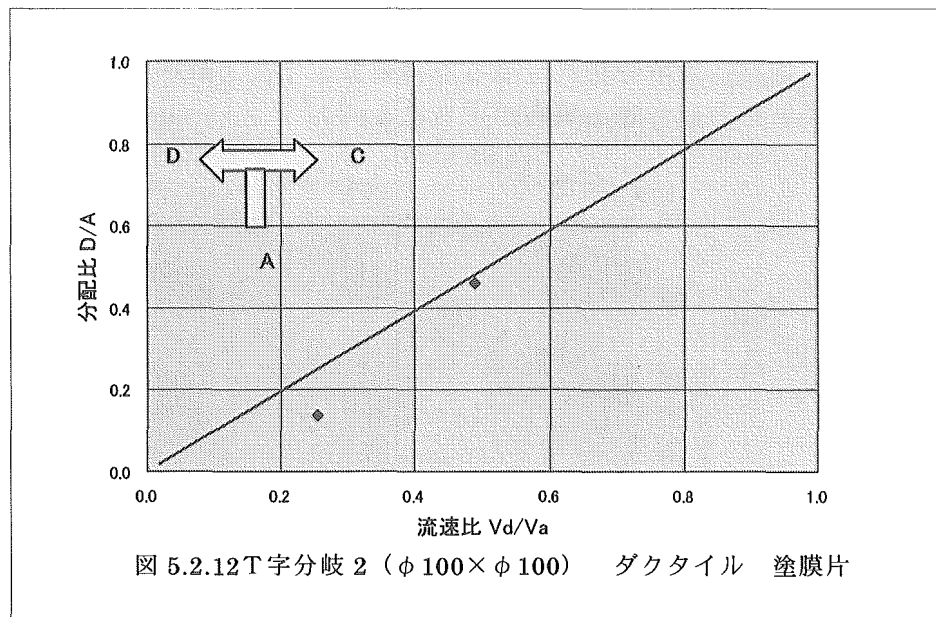
- ・ $\phi 150 \times \phi 100$

塗膜片は水の流れに乗った挙動を示し、流量比により分配される。



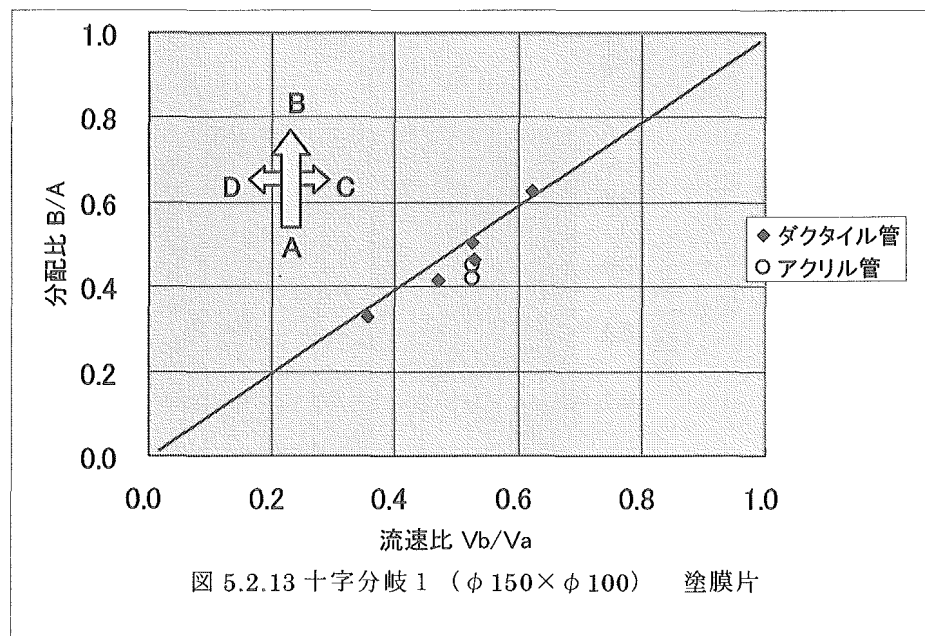
②T字分岐 2

濁質はほぼ流量比により分配された。

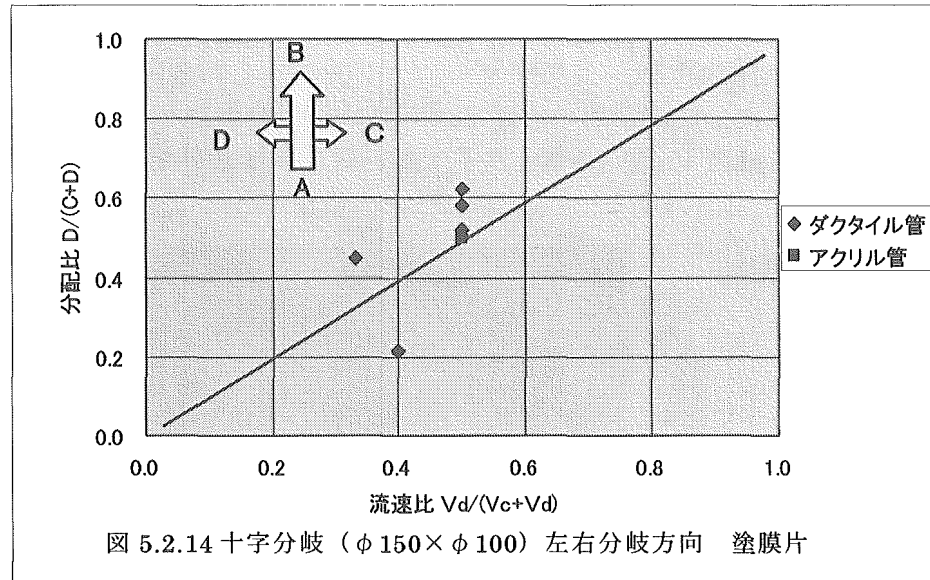


③十字分岐

ダクタイト管とアクリル管による実験は、共に濁質が水の流れたに乗った挙動を示し濁質は流量比により分配された。



また、左右分岐方向への分配はバラツキは有るものの、流量比で分配されると考えられる。



④まとめ

塗膜片は水の流れに乗った挙動を示し、分岐形状や口径によらず濁質はほぼ流量比により分配される。

(2)砂

①T字分岐 1

A) 同口径分岐

・ $\phi 100 \times \phi 100$

同口径 T 字分岐 ($\phi 100 \times \phi 100$) の場合、濁質は分岐側へ多く分配される傾向が見られる。

また分岐部手前の流速 V_a が遅いほど、分岐側へ濁質が多く分配されるが、流入速度 V_a が 1.5m/s 以下では、ほぼ同様な分配比を示した。

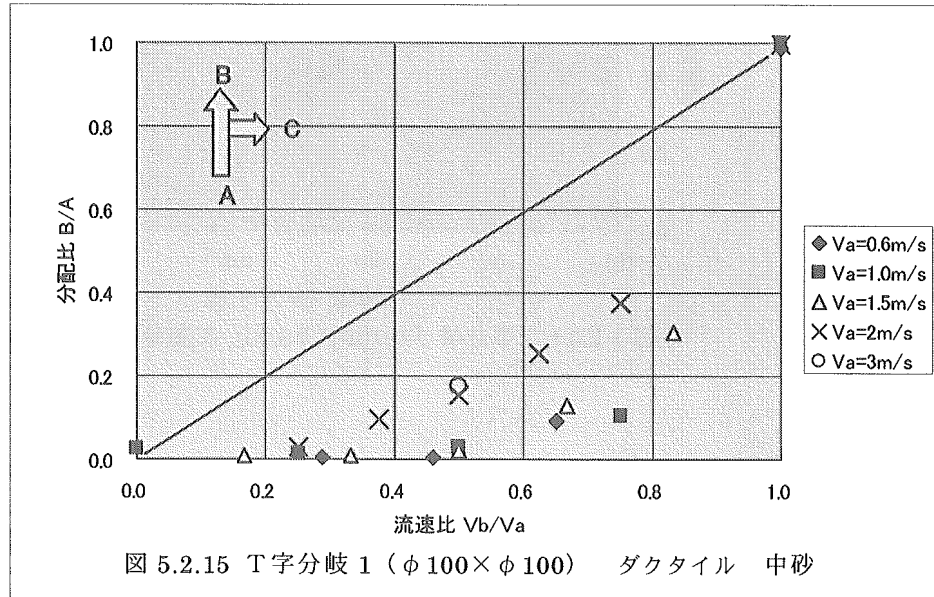


図 5.2.15 T 字分岐 1 ($\phi 100 \times \phi 100$) ダクタイル 中砂

・ $\phi 150 \times \phi 150$

口径が $\phi 150$ の同口径 T 字分岐 ($\phi 150 \times \phi 150$) も、 $\phi 100 \times \phi 100$ の流入速度 V_a が 1.5m/s 以下のケースと同様な結果となった。

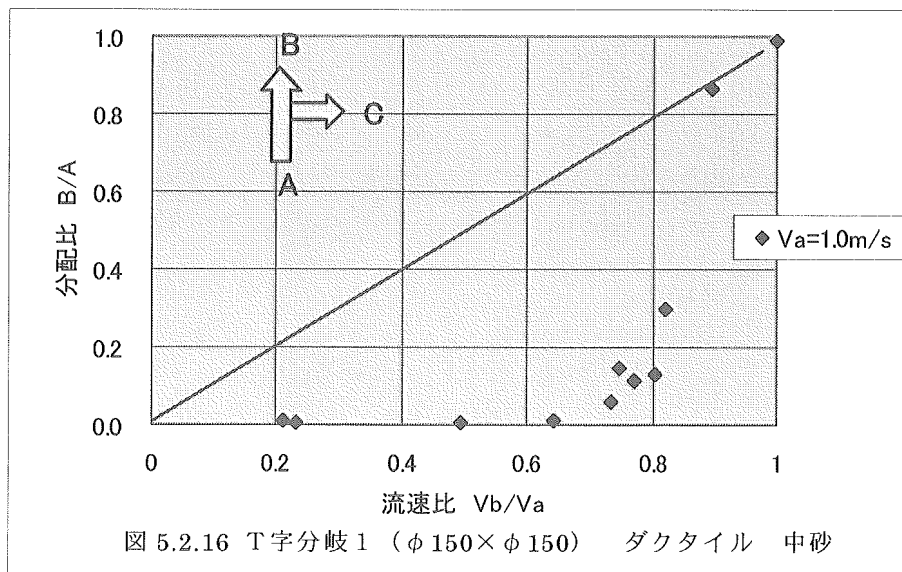


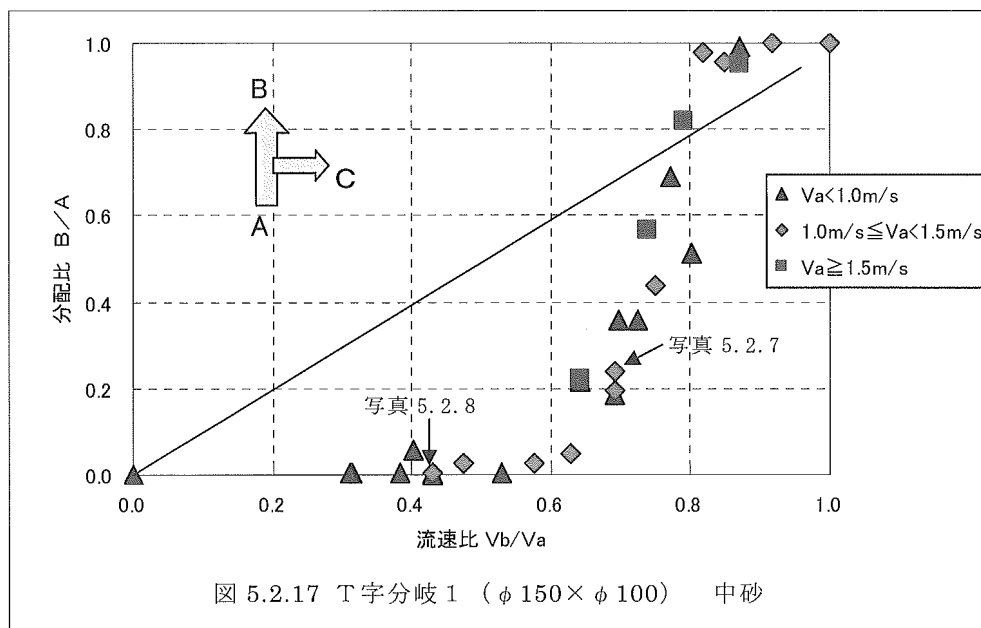
図 5.2.16 T 字分岐 1 ($\phi 150 \times \phi 150$) ダクタイル 中砂

B) 異口径分岐

・ $\phi 150 \times \phi 100$

異口径分岐($\phi 150 \times \phi 100$)の場合、本管の分岐部への流入速度と直進速度の比 V_b/V_a が 0.6 程度までは同口径分岐と同様に、濁質は分岐側へ多く分配される傾向が見られるものの、 V_b/V_a が 0.6 を超えたあたりから急激に直進側への濁質分配量が増え、0.8 程度で直進側により多く分配される結果となった。

また流入速度 V_a による分配比に違いは無かった。



○T字分岐 1 ($\phi 150 \times \phi 100$)での砂の挙動

アクリル管により分岐部を流れる砂の挙動を観察した。

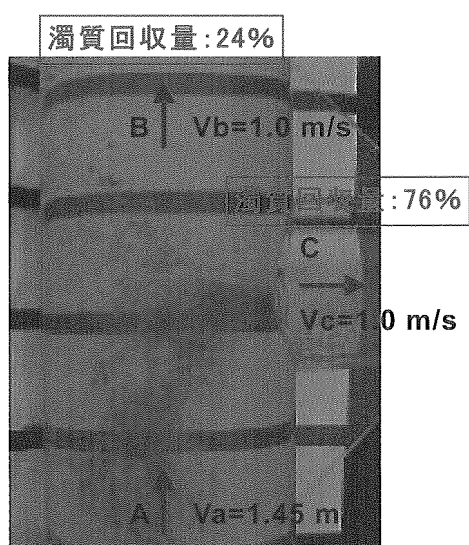


写真 5.2.7 T字分岐 1 の実験①

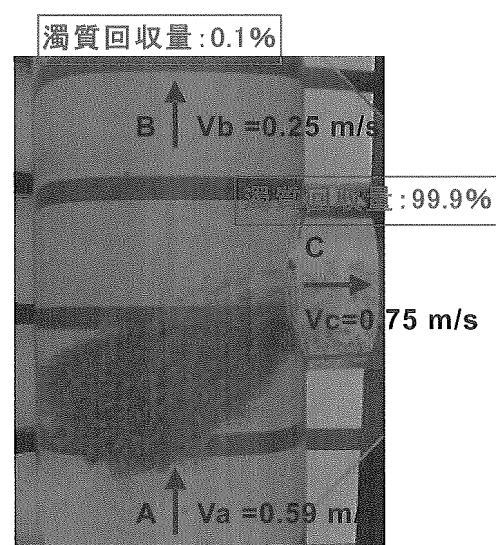


写真 5.2.8 T字分岐 1 の実験②