

# TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

## 水平二相流ヘッダー管水分配挙動

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2016-06-23 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 范, 亮 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/1276">https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/1276</a>

修士学位論文

水平二相流ヘッダー管水分配挙動

平成 27 年度  
(2016 年 3 月)

東京海洋大学大学院  
海洋科学技術研究科  
海洋システム工学専攻

范 亮



修士学位論文

水平二相流ヘッダー管水分配挙動

平成 27 年度  
(2016 年 3 月)

東京海洋大学大学院  
海洋科学技術研究科  
海洋システム工学専攻

范 亮

# 修士学位論文要旨

## 水平二相流ヘッダー管水分配挙動

范 亮

ボイラや熱交換器において、ヘッダー管はしばしば用いられる流体分配機構となっている。また、冷凍・空調の分野では、ヘッダーにより複数の枝管に分けた蒸発器を用いることが行われるようになってきた。そのほか、室内の温度を一定にコントロールする温水式床暖房と、燃料をエンジンの各シリンダーへ均一分配のために、ヘッダー管を利用されている。今まで液単相流の場合均一に分配が可能だったが、気相が混入すると液相の分配が均一ではなくなることが知られている。本研究室で、気相の混入が少ない場合、液相の分配の偏りが抑制できる突出し型のヘッダー管を提案し、効果を確認している。そして、気相の混入が多い場合、液相分配の偏りを抑制する分配機構を見出すように検討している。

従来の 40mm×40mm ヘッダー管において入口空気の見かけ速度が比較的大きな範囲で発生する界面の偏りや不安定であることが問題の一つになっている。また、突出し長さを 30mm に設置した条件で安定した気相層を保つ事が可能であったが、気相流量が増加すると液相の実速度が高くなり、液相が気相に飛ばされ、上流側枝管への流入が困難となったことも問題になっている。提案Ⅰの水溜まり部を持つヘッダー管は空気流量が大きい範囲でも、第一、第二枝管側の界面の高さが低くならないようにし、且つ水の流れと空気のせん断力によって発生する波の影響を小さくすることを期待している。提案Ⅱのダムボード付き枝管は空気の見かけ速度が速い範囲でも、液相が流入しやすくなる形状をしたものである。

結論として従来の 40mm×40mm ヘッダー管において突出し長さにより、気液界面の高さが調整でき、波立ちを抑える効果があり、均等分配が可能となる領域が広がることが確認された。提案Ⅰ水溜まり部を持つヘッダー管においてその役割は水の流れを常流に変化し、流速を遅くすることが考えられる。空気見かけ速度が速い範囲でドロリックジャンプ現象の発生する場所により、上流側の枝管への水分配量が減少する傾向にあった。提案Ⅱダムボード付き枝管において、空気見かけ速度 1.0m/s 以下の場合、常流により気液界面が上昇し、枝管内液単層流になり、水頭圧はヘッダー管内圧力より大きいため、逆流現象が行う。また、ダムボード形は液相が入りやすい効果を持っている特徴を確認し、空気見かけ速度が速い段階で、突出し長さにより、射流になった液相を均等分配することが可能であった。

## 目次

1. 序論	1
2. 記号	3
3. 実験装置	4
3.1 従来の実験装置 40mm×40mm ヘッダー管	4
3.2 提案Ⅰ：水溜り部を持つヘッダー管	6
3.3 提案Ⅱ：10 mm ダムボード付き枝管	7
4. 実験方法及び実験条件	8
4.1 実験方法	8
4.2 見かけ速度	10
5. 実験結果及び考察	11
5.1 従来型の 40mm×40mm ヘッダー管において突き出しによる分配挙動	11
5.1.1 突出し長さ $L_p = 0\text{mm}$ の水分配挙動	11
5.1.2 突出し長さ $L_p = 10\text{mm}$ の水分配挙動	13
5.1.3 突出し長さ $L_p = 20\text{mm}$ の水分配挙動	15
5.1.4 突出し長さ $L_p = 30\text{mm}$ の水分配挙動	17
5.1.5 突出し長さ $L_p = 35\text{mm}$ の水分配挙動	19
5.1.6 フルード数を利用し、ヘッダー管内流れの状態を分析する	21
5.1.7 従来型の 40mm×40mmヘッダー管の水分配挙動についてまとめ	23
5.2 提案Ⅰ：水溜り部を持つヘッダー管において分配挙動	24
5.2.1 水溜り部を持つヘッダー管 40mm×80mm ( $L_p=40\text{mm}$ )	25

5.2.2	水溜まり部を持つヘッダー管 40mm×80mm ( $L_p=50\text{mm}$ 、 $L_p=60\text{mm}$ 、 $L_p=70\text{mm}$ )	27
5.2.3	水溜まり部を持つヘッダー管の分配挙動についてまとめ	31
5.3	提案Ⅱ：10 mm ダムボード付き枝管において分配挙動	31
5.3.1	ダムボード付き枝管 ( $L_p=10\text{mm}$ 、 $L_p=20\text{mm}$ 、 $L_p=25\text{mm}$ 、 $L_p=26\text{mm}$ )	32
5.3.2	ダムボード付き枝管 ( $L_p=27\text{mm}$ 、 $L_p=28\text{mm}$ 、 $L_p=29\text{mm}$ 、 $L_p=30\text{mm}$ )	36
5.3.3	ダムボード付き枝管において突き出し長さ $L_p$ と水分配量の関係	44
5.3.4	均等分配範囲指数で比較する	46
6.	結論	47
	参考文献	48
	謝辞	49
	付録	50

## 1 序 論

ボイラや熱交換器において、水平ヘッダー管はしばしば用いられ流体分配機構となっている。また、冷凍・空調の分野では、ヘッダー管により複数の枝管に分けた蒸発器を用いることが行われるようになってきた。こうした多分岐配管内の流れが不均等になり、ボイラや熱交換器の熱交換率が悪くなり、冷凍・空調システムの性能低下をもたらすおそれがある。今まで、これに関する研究は、水平に置いたヘッダーに上向き枝管を取り付けた分配機構において、液相を枝管に均一に分配可能であっても、ヘッダー管に気相が混入すると液相の分配が均一ではなくなることが知られている。ヘッダーの気相混入量が多い場合に液分配量は下流側の枝管への分配量が多くなり、気相の分配は上流側の枝管において多くなることが従来の研究により指摘されている<sup>(1,2)</sup>。これらの研究ではヘッダー内での流動様式が成層流、波状流の場合に気液界面は時間に対して変動する不安定性を見せること及び液相の慣性により上流側枝管位置での気液界面の低下により枝管下端において気液界面と定常的に接することができない状況にあることが指摘されており<sup>(1)</sup>、また、界面が時間変動する間欠流のような状態であるほうがより均一な分配を得られることを示唆している<sup>(2)</sup>。これは均一な分配を得るためには気相流量が少ない際に均一な分配を得ることを目的とした枝管突出し型ヘッダー<sup>(3)</sup>で目指した流動と同様に各枝管入口では気相および液相に触れる必要があることを述べた考察と同じ見解を示したものであると考えられる。本研究室では、比較的気相の混入が少量の場合に、液相の分配の偏りを抑制する枝管突出し型のヘッダーを提案し効果を確認している。また、冷凍・空調システムの蒸発器において、冷媒が気相に多量変化した時、或いは、ボイラや熱交換器においてアクシデント発生時に起こりうるヘッダーへの



多量の気相混入時のヘッダー内の液相分配挙動に着目して、液相流量の偏りを抑制するヘッダー・枝管による分配機構を見出すことを目標に実験的検討を行うことである。本研究では、枝管突出し型ヘッダー管を気相の多い領域に適用して液相分配に対する効果を確認して均一な液相分配量を得るために必要な対策を検討し、得られた知見から液相分配の偏りを抑制するヘッダー・枝管分配機構の試作および検討を行うものである。

## 2 記号

$A$  : ヘッダ流路面積

$u$  : 速度

$A_s$  : 枝管流路面積

$L_p$  : 突出し長さ

$d$  : 枝管内径

$\alpha$  : ボイド率

$g$  : 重力の加速度

$\eta$  : 圧力回復係数

$h$  : 枝管長さ

$\lambda$  : 摩擦損失係数

$j$  : 見かけ速度

$\xi$  : 分岐損失係数

$m$  : ヘッダと枝管流路面積比  $= A / A_s$

$\rho$  : 密度

$p$  : 圧力

$q$  : 枝管への分配水流量

$Q$  : ヘッダへの総合給水流量

### 添え字

$R$  : 圧力降下係数

$G$  : 気相

$Re$  : ヘッダ入口レイノルズ数

$L$  : 液相

$Re_s$  : 枝管内レイノルズ数

$i$  : 枝管番号

$Fr$  : フルード数

$S$  : 枝管

### 3 実験装置

#### 3.1 従来型の 40mm×40mmヘッダー管実験装置

Fig. 1 は気液二相流実験装置配管図である。枝管突出し型ヘッダー管での気相流量が多い場合の液相分配挙動を確認する為にこの装置を使用した。地下の水タンクから高さ 9.8m の屋上にあるルーフタンクに水を送り、一定の静水頭をもつために、実験中オーバーフローさせている。そして、ルーフタンクから分配装置に水を供給し、同時、エアコンプレッサーから圧縮空気を供給される。空気と水はヘッダー管の直前に混合し、ヘッダー管に流入する。そして、4本の枝管に分配される。

Fig. 2 は突出し型ヘッダー管を持つ分配セクションである。40mm×40mmの矩形断面を持つヘッダー管及び外形 20mm内径 10mm、高さ 1000mmの標準枝管を 130mm間隔で 4本垂直に取り付けた。この枝管はヘッダー内に 0~40mm突き出ししてフランジで固定することが可能である。枝管上部に外形 100mm内径 80mmのプレナムを設置している。プレナムの上部が大気開放し、それぞれの枝管の分配された空気が大気に流入し、分配された水がプレナムの下側に溜まる。各枝管の水分配量をプレナムに溜まった水の深さで計算する。

計測機器について、水と空気が混合する前に水の配管側に水の流量計を設置し、圧縮空気の配管側に空気流量計・圧力計・温度計を設置する。これらの機器が水に壊されないように逆止弁を付けてある。

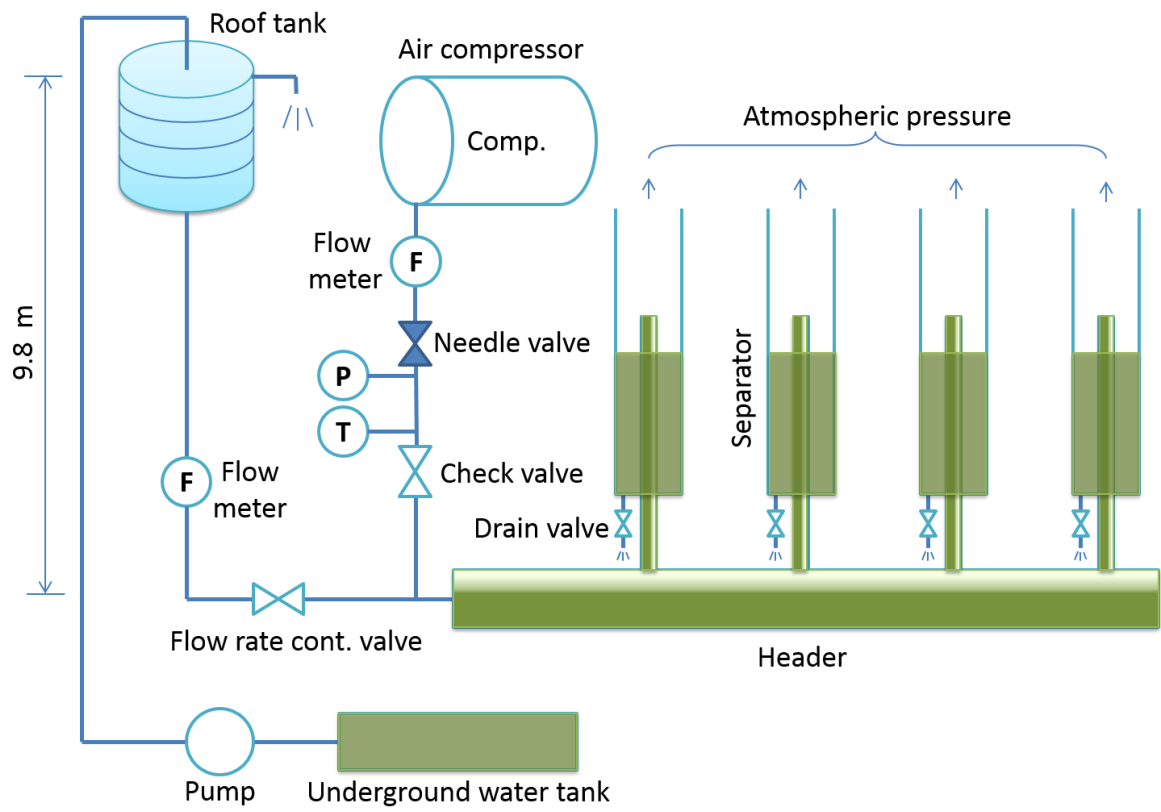


Fig.1 Experimental setting

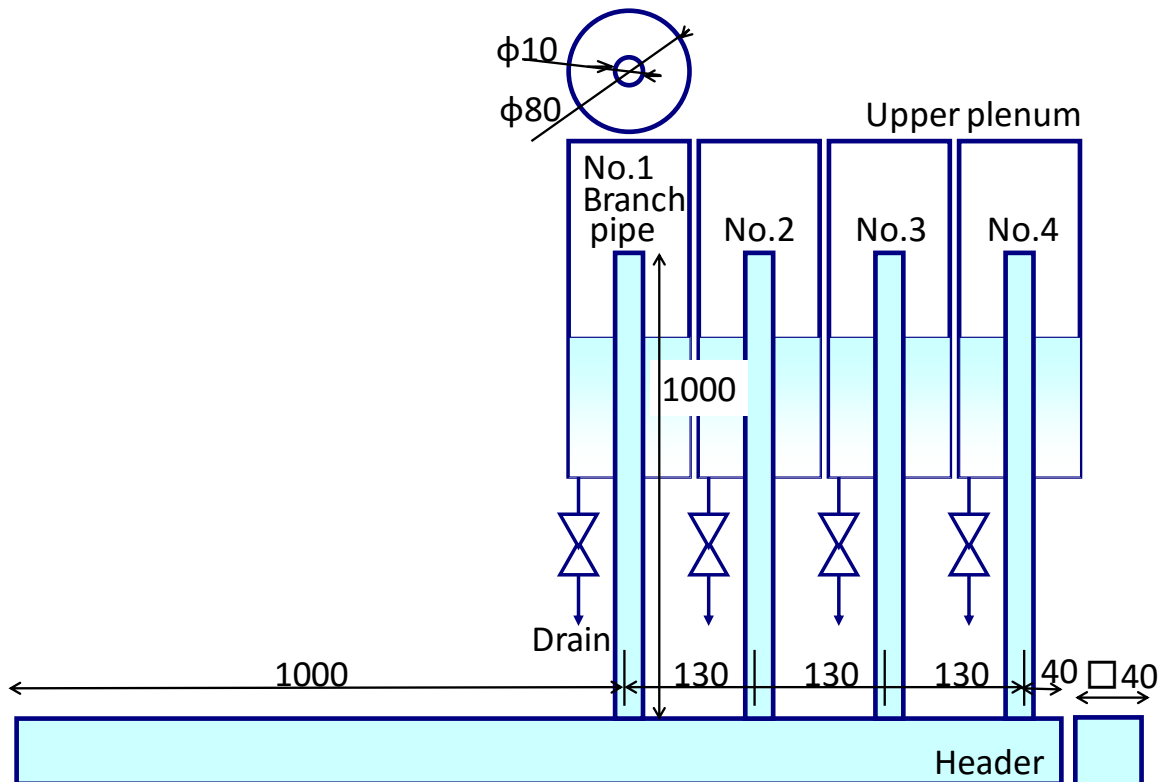


Fig.2 Conventional branch pipe protruding type header

### 3.2 提案 I : ヘッダー管に注目し、水溜り部を持つヘッダー管

Fig. 3\_1 は 2 種類の水溜り部を持つヘッダー管の概略図である。従来の枝管突出し型のヘッダー管とテストセクション以外は Fig. 1 と同じである。枝管突出し型ヘッダー管での液相分配挙動の検討から、ヘッダー管形状を次のような形に変更して効果の確認を行った。検討過程は後述するが、新型ヘッダーの変更点はヘッダー入口の助走区間途中から、ヘッダー下面を下げて拡大したことである。最上流側の枝管から 130mm 上流からは断面形状を一定とし、40mm×80mm および 40mm×120mm の矩形の断面のヘッダーを 2 種準備した。

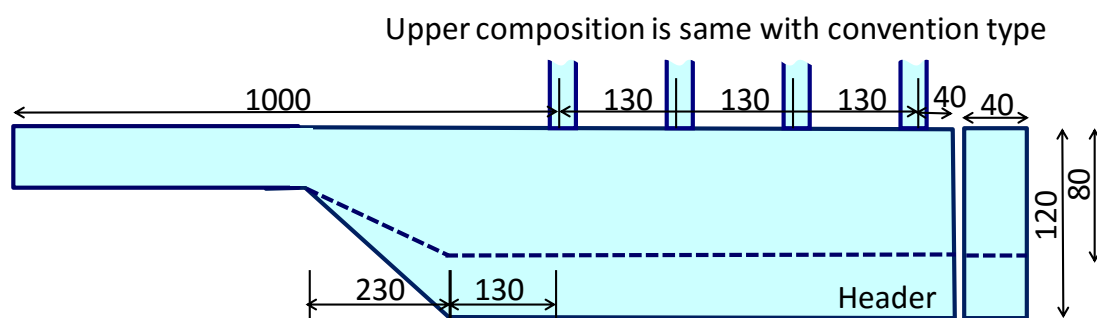


Fig.3\_1 New type header

### 3.3 提案Ⅱ：枝管に注目し、10mmダムボード付き枝管

Fig. 3\_2 は10mmダムボード付き枝管の概略図である。従来の標準枝管の入口に注目し、液相が入りやすい形を設計した。Fig. 3\_2 ダムボード枝管の三面図から見ると、赤い所を「ダムボード」と呼ぶ。川のダムのように、水のまっすぐ行く道を遮る効果がある。内径円の接線に従って機械加工で低コストの特徴を持っている。サイズは17.32mm×10mmである。ヘッダー管内の液相が射流の状態で、液相が飛ばされる現象を防ぎ、実験中  $jG$  が速い段階でも、均等分配できる効果に期待される。今後、コンパクトされたヘッダー管に応用されることも考えている。

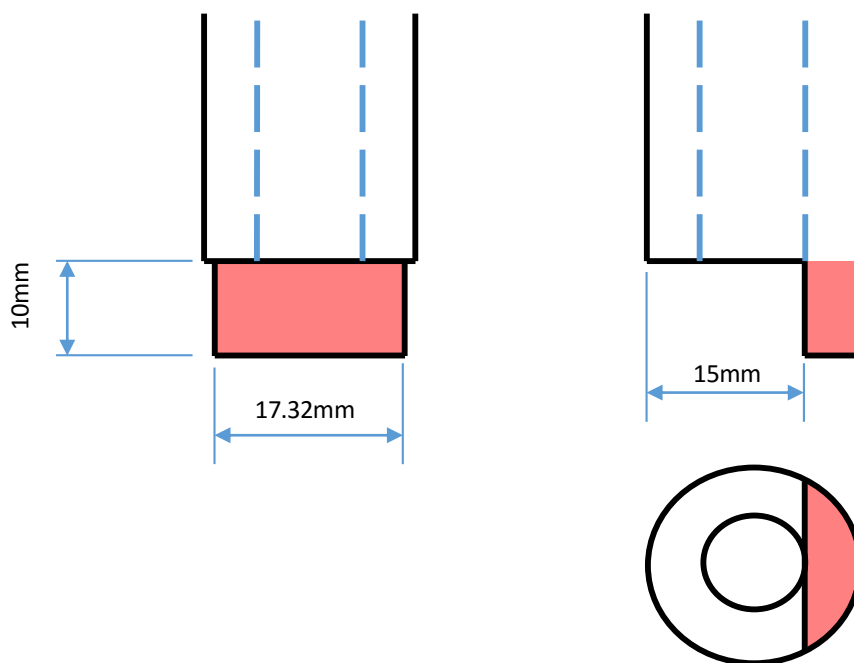


Fig.3\_2 Branch pipe with dam-board

## 4 実験方法及び実験条件

### 4.1 実験方法

供試流体は水道水および圧縮空気として水道水は 9.8m 上方に設置したルーフタンクから定水頭を与えて供給し、空気は空気圧縮機を運転して、圧縮空気タンク、減圧弁を介して供給した。水・空気の混合はヘッダーの助走区間よりも上流にて空気を主流とした配管に水配管を鋭角に接続し、連続して水を供給できるように留意した。各枝管上端は大気開放として分配水流量の計測のために円筒形の上部プレナムを設置して一定時間内に流入する流量を計測した。何れか 1 本でもあらかじめ決めておいた高さに水位が達したら計測をやめ、高さ及び水が溜まるのにかかった時間を記録しする。同時、パソコンの計測ソフトを利用し、時間内に水流量・空気流量・圧力・温度の変化を記録する。その平均値を取って計算する。

本実験中、4 本の枝管に分配される水の量の差が出来る限り小さければ小さい方を求めている。しかし、実験条件により、各枝管に分配される水の量  $q$  が全体の水流量  $Q_L$  の 25% になることが、厳密に言えば不可能である。そして、15%～35% の範囲を均等分配できていることを決めてある。

水流量は比較的空気流量が少ない範囲で検討を行った従来の検討と同じように、ヘッダー入口水見かけ速度  $j_L=0.07\text{m/s}$  として、空気流量は従来の実験範囲<sup>(3)</sup>であるヘッダー入口見かけ空気速度  $j_c=0.7\text{m/s}$  までからズラズマンらの研究<sup>(1)</sup>を参考に  $j_c=5\text{m/s}$  までとした。また、提案Ⅱの実験結果は予想通りに  $j_c=5\text{m/s}$  の時に均等分配の結果を得られたので、更に性能を探究するために、実験装置の空気流量の限界  $j_c=8\text{m/s}$  まで、実験を実施した。詳し実験条件は Table. 1 で示したようである。

テストセクションの材質について、ヘッダー管と枝管は透明アクリル樹脂製として流動挙動の可視観察を可能とした。

	空気流量 $Q_G$ (L/min)	水流量 $Q_L$ (L/min)	空気 見かけ速度 $j_G$ (m/s)	水 見かけ速度 $j_L$ (m/s)
40mm×40mm 従来型 ヘッダー管	0~480	6.72	0~5	0.07
40mm×80mm 水溜まり部 ヘッダー管	0~960	13.44	0~5	0.07
40mm×120mm 水溜まり部 ヘッダー管	0~960	20.16	0~3.33	0.07
ダムボード枝管 40mm×40mm ヘッダー管	0~768	6.72	0~8	0.07

Table.1 Experimental condition



#### 4.2 見かけ速度 $j$ <sup>(5)</sup>

二相流における各相の実速度を特定することは困難な場合が多い。このため、見かけ速度 (superficial velocity) を用いることが多い。比容積を  $v$  ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )、質量流量を  $w$  ( $\text{kg}/\text{s}$ ) とすると

$$j_G = \frac{w_G v_G}{A} = \frac{Q_G}{A}$$

$$j_L = \frac{w_L v_L}{A} = \frac{Q_L}{A} \quad \text{式1}$$

になる。式1中の  $Q$  は水と空気の体積流量で、単位は ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) である。

本研究室に用いるヘッダー管において、Fig. 4 の中青い区間は見かけ速度  $j$  を示す区域である。

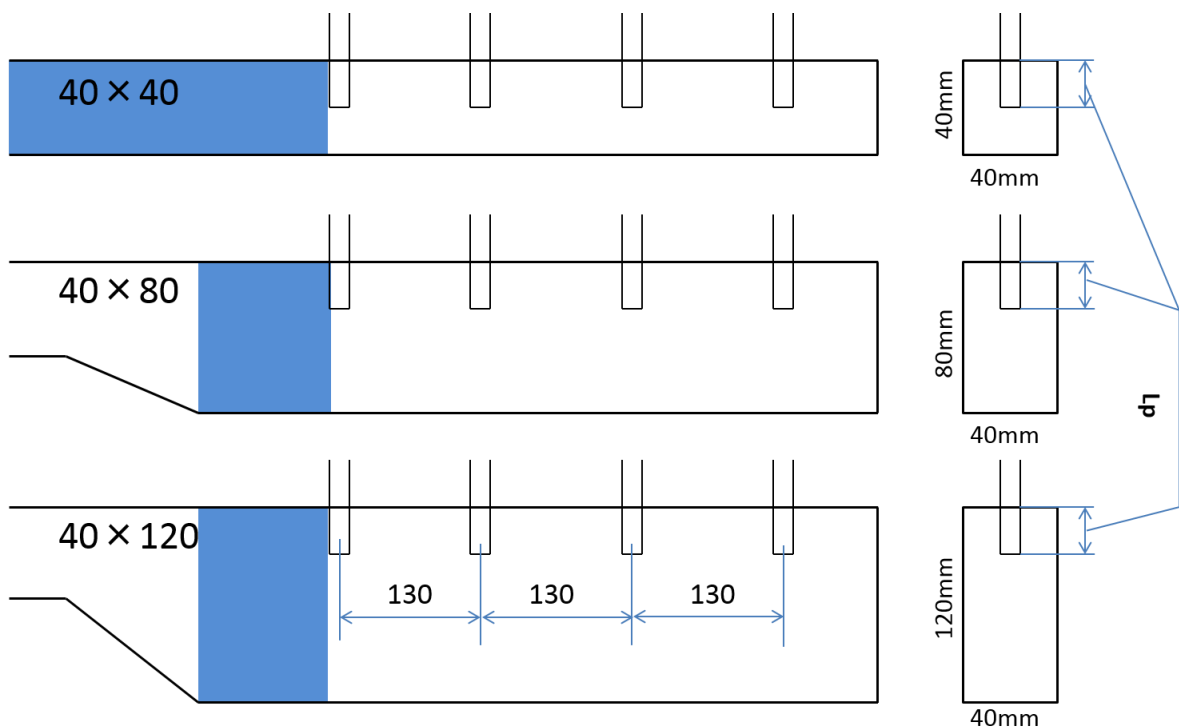


Fig.4 The area of superficial velocity

## 5 実験結果及び考察

### 5.1 従来型の 40mm×40mmヘッダー管において突き出し長さによる分配挙動

#### 5.1.1 突出し長さ $L_p = 0\text{mm}$ の水分配挙動

突出し型ヘッダーの実験を通して、突出し 0mmつまり一般的な分配機構の形状において、ヘッダー内に従来の検討よりも多くの空気が混入すると界面の偏り及びヘッダー管内に大きな波が発生することにより液相分配の偏りが発生した。Fig. 5\_1 実験中の写真を見ると、ヘッダー管内に大きな波立ちが見える。すごく不安定な状態になっている。Fig. 5\_2 の分配結果から見ると、空気の見かけ速度  $j_G$  が 1.5m/s より速い段階になると、第1枝管に水が入らなくなる。 $j_G$  が 4 m/s より速い段階になると、第2枝管に水も入らなくなる。第4枝管へ水分配量が空気見かけ速度の増加につれて、増えていく傾向が見られる。

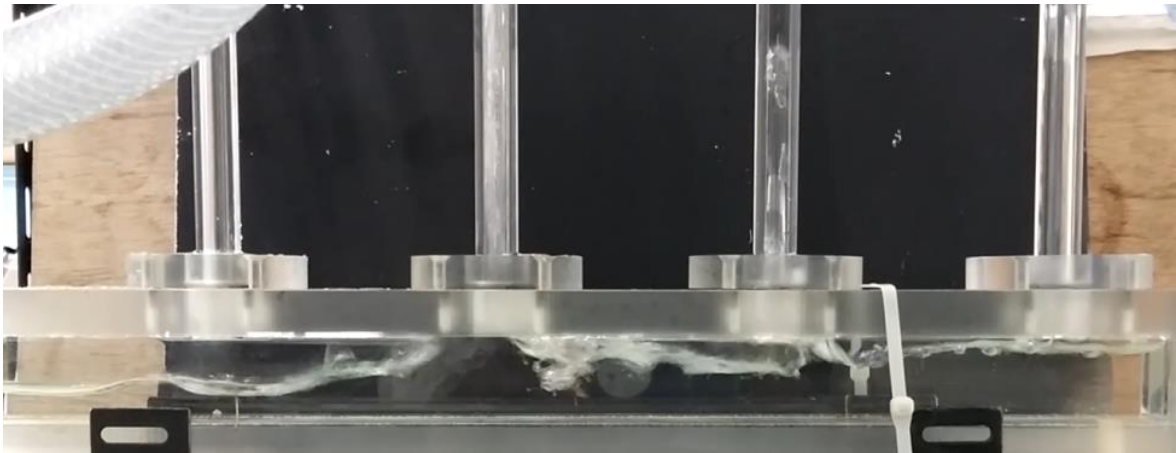


Fig.5\_1 Big wave in the header ( $L_p=0\text{mm}$ )

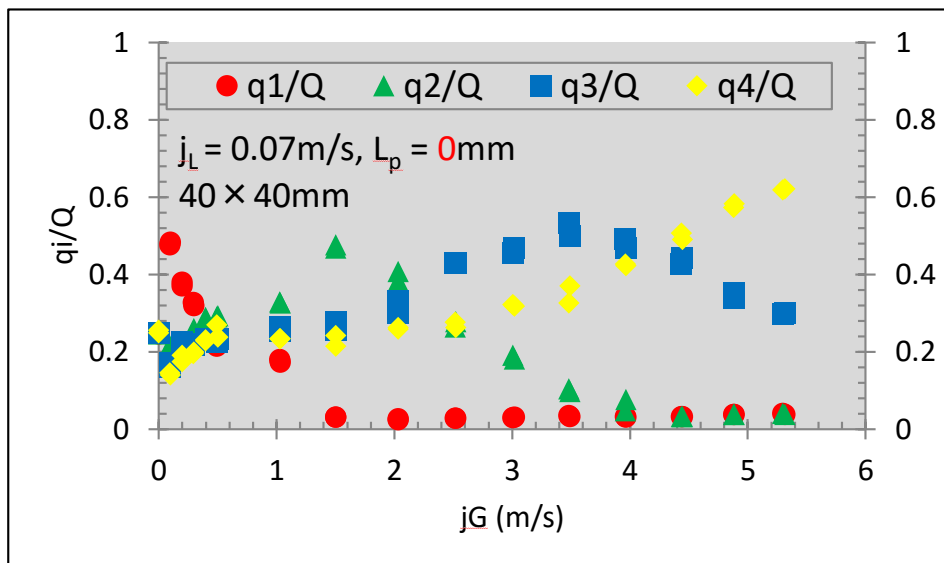


Fig.5\_2 The results of conventional branch pipe ( $L_p=0\text{mm}$ )

### 5.1.2 突出し長さ $L_p = 10\text{mm}$ の水分配挙動

枝管をヘッダー管内に 10mm 突出しにして観察すると、突出しの長さによって分配結果が変わる。突出し 10mm では 0mm に比べて多少均等分配が可能である空気流量の範囲が大きくなったが、ヘッダー管内に大きな波が発生するのは変わらなかった。Fig. 5\_3 の実験写真を見ると、空気の見かけ速度  $j_G$  が 1.5m/s より増えると、ヘッダー管内に突出し 0mm 時と同じように、大きな波立ちが発生してしまう。Fig. 5\_4 の分配結果から見ると、空気の見かけ速度  $j_G$  が増加につれて、第 2 枝管へ水分配量が減少していき、第 4 枝管へ水分配量が増えていく傾向である。 $j_G$  が 3m/s 以後になると、第 1 枝管に水が入らなくなる。

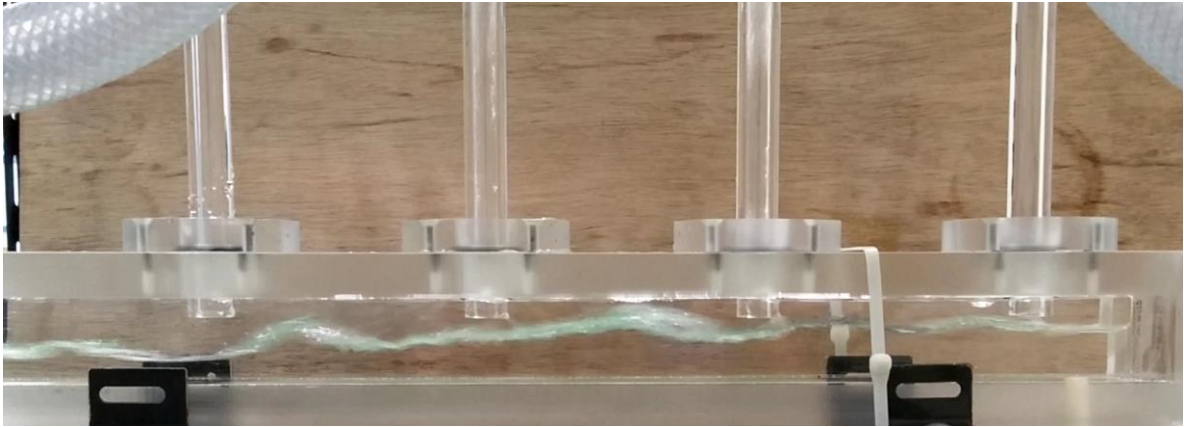


Fig.5\_3 Big wave in the header ( $L_p=10\text{mm}$ )

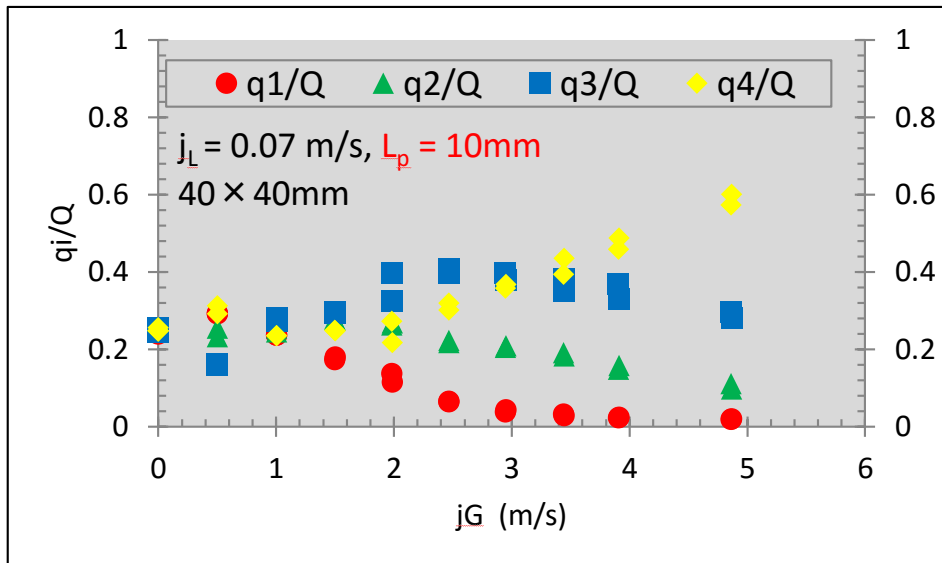


Fig.5\_4 The results of conventional branch pipe ( $L_p=10\text{mm}$ )

### 5.1.3 突出し長さ $L_p = 20\text{mm}$ の水分配挙動

突出し 20mm では、気液界面に大きな波立ちが発生する現象見られなくなり、さらに均等分配が可能な範囲が大幅に大きくなった。しかし、空気のヘッダー入口見かけ速度が大きな範囲では第一枝管への水分配割合が小さくなる傾向にあった。これは上流側の気液界面が下がることにより枝管入口に液相が触れにくくなったことによる。Fig. 5\_5 の実験写真を観察すると、ヘッダー管上流側、液相の深さが 8mm ぐらいある、第 1 枝管入口まで 12mm の距離が離れている。水が枝管に入りにくい状態になっている。下流側の液相の深さが 15mm～18mm になって、枝管入口まで、5mm～2mm の距離で、水分配量が均等に増加している。

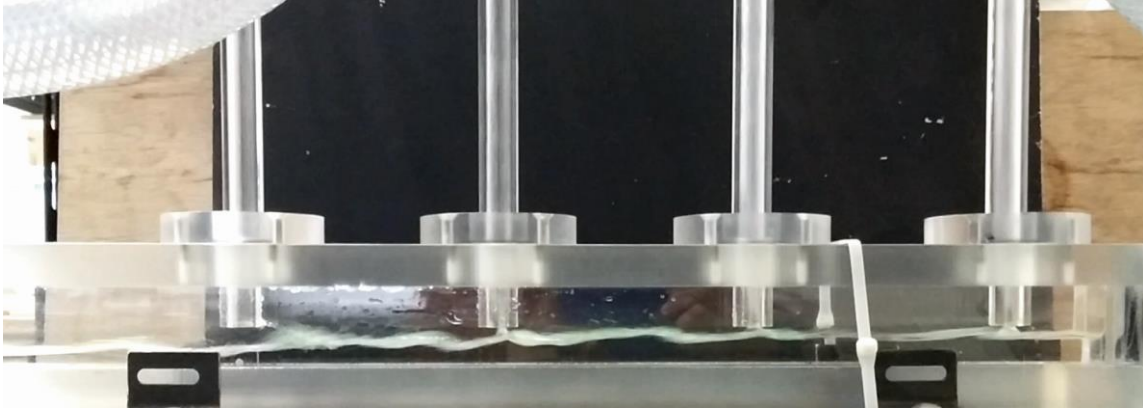


Fig.5\_5 The entrance of branch pipe #1 can not contact the water ( $L_p=20\text{mm}$ )

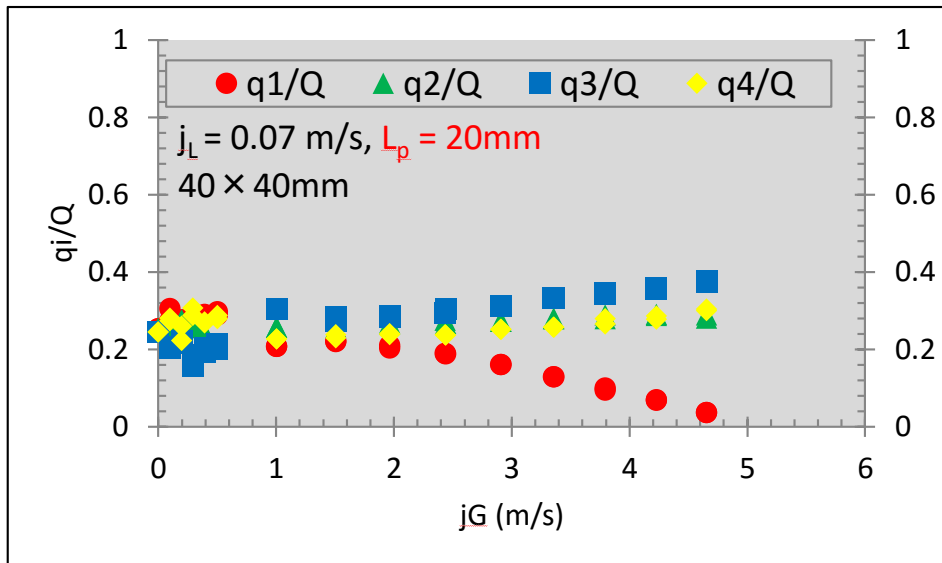


Fig.5\_6 The results of conventional branch pipe ( $L_p=20\text{mm}$ )

#### 5.1.4 突出し長さ $L_p = 30\text{mm}$ の水分配挙動

突出し 30mm では、20mm よりもさらに空気のヘッダー入口見かけ速度が大きな範囲  $jG = 4\text{m/s}$  まで均等分配が可能となった。ただし、突出し 30mm の場合にも空気のヘッダー入口見かけ速度がもっと速くすると、第一、第二枝管への水分配割合が小さくなる傾向が見られた。この原因は、枝管に入ろうとする水が空気によって飛ばされることで、第一、第二枝管への水の分配量が減少することが 1 つの原因として挙げられるのではないかと考えられる。Fig. 5\_7 の実験写真で、赤い丸に囲まれたところに注目すると、第 1、第 2 枝管に入ろうとする水が空気に飛ばされる様子が見える、この分の水は減少した量ではないかと判断する。Fig. 5\_8 の実験結果を見ると、 $jG = 5\text{m/s}$  の時、第 1、第 2、第 3 枝管へ水分配量が減少していき、第 4 枝管への水分配量が上昇する傾向が見える。



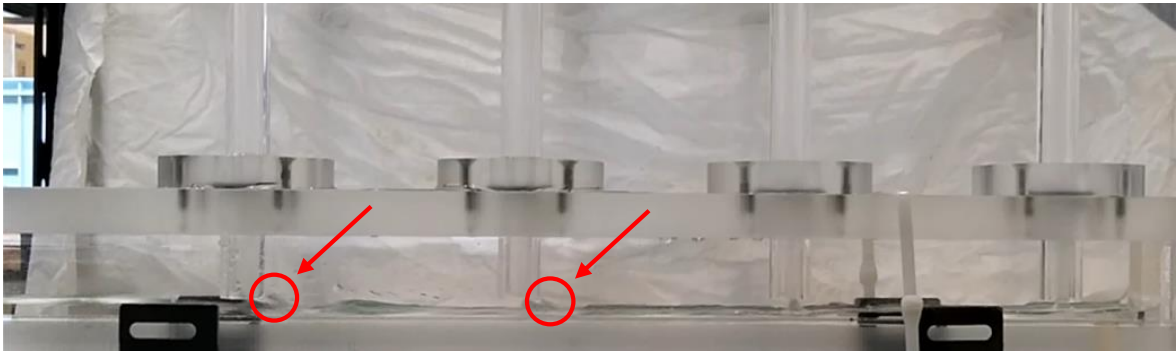


Fig.5\_7 The water was being blown away ( $L_p=30\text{mm}$   $j_G=5\text{m/s}$ )

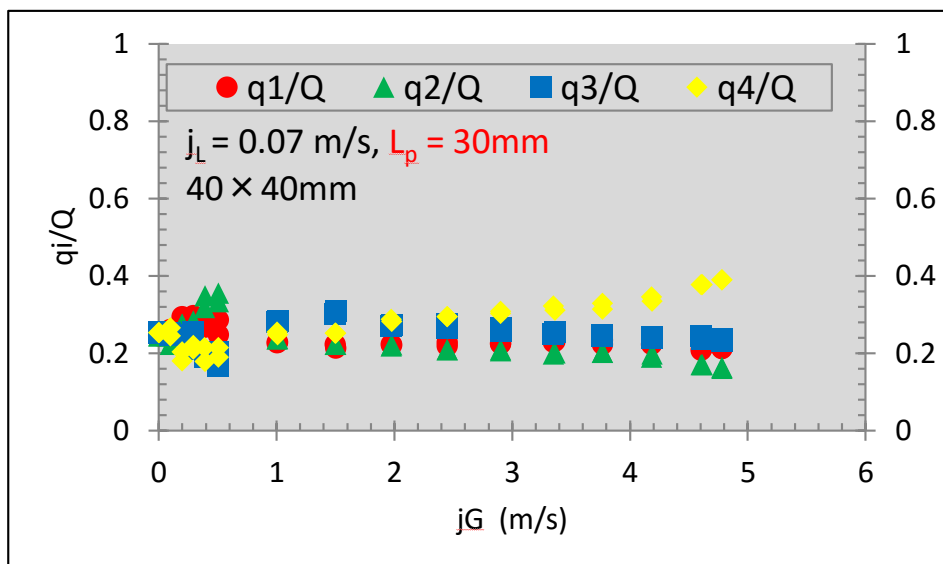


Fig.5\_8 The results of conventional branch pipe ( $L_p=30\text{mm}$ )

### 5.1.5 突出し長さ $L_p = 35\text{mm}$ の水分配挙動

突出し 35mm の実験は、本研究で突出し長さが最も大きいものである。突出し 0、10、20、30mm の結果から、水のヘッダー入口見かけ速度に関わらず同様な結果及び傾向が得られると予想でき、明らかに均等分配が不可能であると判断できるために実験は  $j_L = 0.1\text{m/s}$  以外は行っていない。また、低流量域についても実験は行っていない。

Fig. 5\_9 に示すように、突出し 35mm において、第一枝管側で水位が高く、第四枝管に向かって低くなる傾向が見られた。これはその他の突出しの場合には第一枝管側で水位が低く、第四枝管に向かって高くなることから逆の挙動を示した。このため、空気のヘッダー入口見かけ速度が比較的小さい範囲  $j_e = 1\text{m/s}$  以下の場合では、第一枝管入口は水に浸かっており、第一枝管にはほとんど空気は入っていなかった。この各枝管入口の水深さの違いが均等分配できない原因ではないかと考えられる。

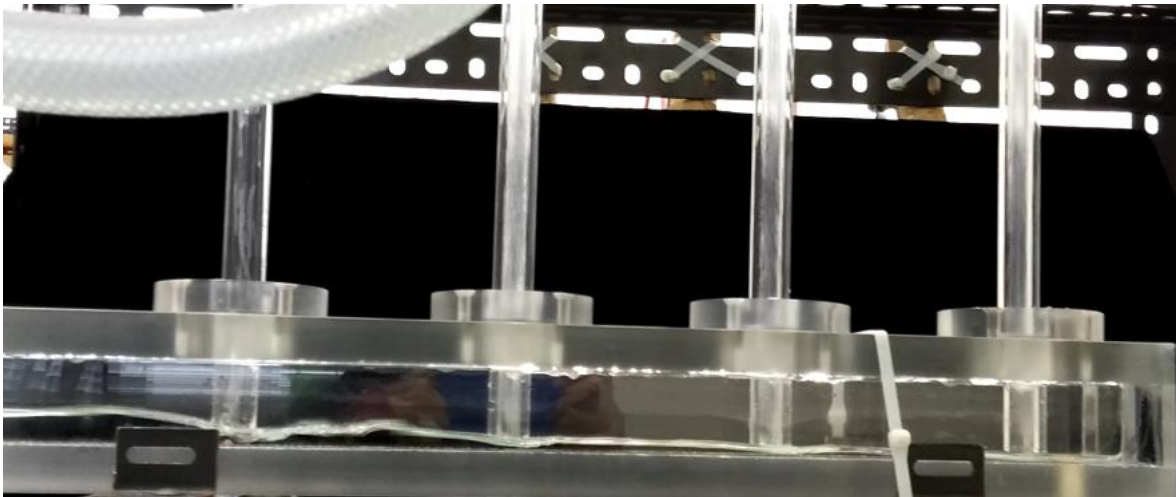


Fig.5\_9 Water level of upper reaches of the header was higher than others ( $L_p=35\text{mm}$ )

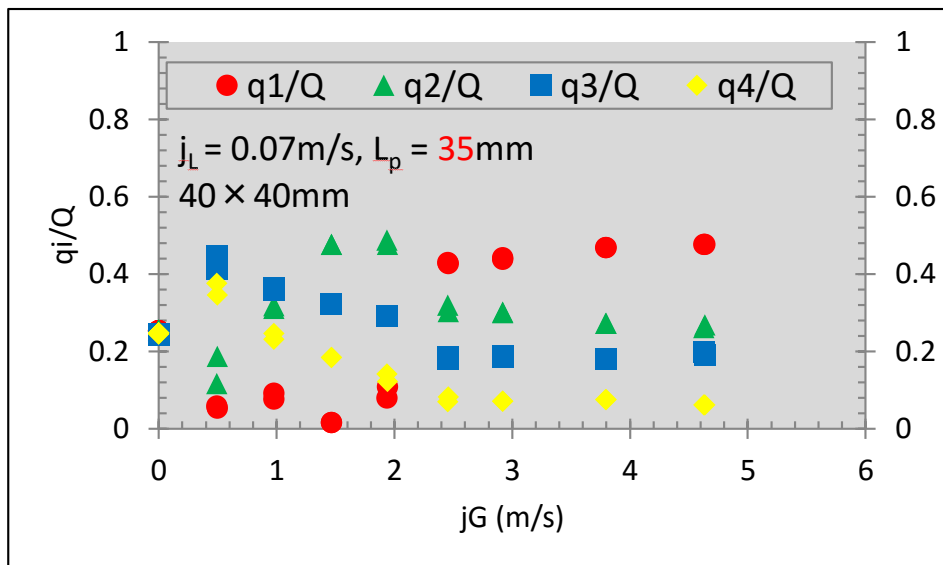


Fig.5\_10 The results of conventional branch pipe ( $L_p=35\text{mm}$ )

### 5.1.6 フルード数を利用し、ヘッダー管内流れの状態を分析する

まず、ヘッダー管内枝管に分配される直前の水の深さ  $h$  を測る。2 秒間ずつ 6 ヶ所測って、その平均値  $h_i$  を利用する。そして、ヘッダー管入口の総流量  $Q_L$  及び各枝管に分配される水の割合  $q_i/Q_L$  を利用し、式 2 のように実速度  $v_i$  を計算する。

$$\begin{aligned}
 v_1 &= \frac{Q_L}{0.04 \times h_1 \times 0.001} \\
 v_2 &= \frac{Q_L \times (1 - \frac{q_1}{Q_L})}{0.04 \times h_2 \times 0.001} \\
 v_3 &= \frac{Q_L \times (1 - \frac{q_1}{Q_L} - \frac{q_2}{Q_L})}{0.04 \times h_3 \times 0.001} \\
 v_4 &= \frac{Q_L \times (1 - \frac{q_1}{Q_L} - \frac{q_2}{Q_L} - \frac{q_3}{Q_L})}{0.04 \times h_4 \times 0.001}
 \end{aligned}
 \tag{式 2}$$

次は、ヘッダー管内各枝管入口の所の波速度  $v_{wi}$  を式 3 のように計算する。

$$v_{wi} = \sqrt{gh_i \times 0.001}
 \tag{式 3}$$

フルード数[Froude number]とは、開水路の流れの断面平均流速と水面を伝播(でんぱ)する微小振幅長波の波速の比。フルード数は開水路の流れを常流 ( $Fr < 1$ )、限界流 ( $Fr = 1$ )、射流 ( $Fr > 1$ ) に分類するのに用いられる。記号は  $Fr$  で示し、式 4 で計算する。式 2 と式 3 の値を代入すると、

$$Fr_i = \frac{v_i}{v_{wi}} = \frac{v_i}{\sqrt{gh_i \times 0.001}}
 \tag{式 4}$$

$v$  : 速度 (m/s)

$h$  : 水の深さ (mm)

$g$  : 加速度 9.8 (m/s<sup>2</sup>)

$i$  : 枝管の番号

となる。

以上の計算方法により、40mm×40mmヘッダー管において、突き出し長さ  $L_p$  が 30mm、 $j_G=5\text{m/s}$  の場合、ヘッダー管内流れの状態を判別した。Fig. 5\_11 のフルード数に関するグラフを見ると、Fr0 から Fr3 までの値は 1 より大きくなって、Fr4 が急激に下がって、1 より小さくなっている。つまり、第 1、第 2、第 3 枝管入口のところに、流れの状態が射流になり、第 4 番枝管入口のところに、流れの状態が常流になっていることを確認した。従来型の分配装置において、液相の状態が射流になった場合、水が入りにくくなり、4 本目の枝管に水分配が多くなることは均等分配できない理由ではないかと考えられる。

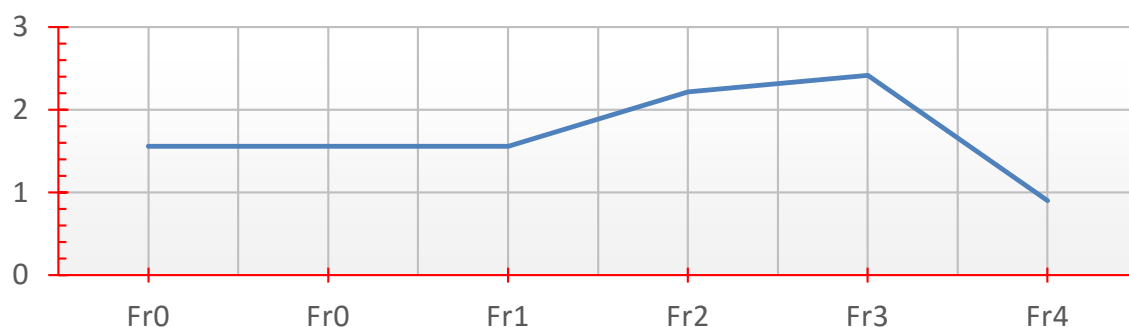


Fig.5\_11 Froude number (40mm×40mm,  $j_G=5\text{m/s}$ ,  $L_p=30\text{mm}$ )

### 5.1.7 従来型の 40mm×40mmヘッダー管の水分配挙動についてまとめ

以上の実験結果を踏まえて、40mm×40mmのヘッダー管において、確認できたことは、突出し長さ  $L_p$  により、均等分配範囲が変わる。突き出し長さ  $L_p$  が 30mm 以内は長ければ長いほど、気液界面のが下がりつつ、均等分配の範囲が広くなることが分かった。

問題の一つとして考えられるのは空気のヘッダー入口見かけ速度が比較的大きな範囲において発生する界面の偏りや不安定さであるということであった。そこで、空気流量が大きい範囲でも、第一、第二枝管側の界面の高さが低くならないようにし、かつ水の流れと空気のせん断力によって発生する波の影響を小さくすることが可能なヘッダー管の形状の一つを考案した。Fig. 3\_1 で示した提案Ⅰの水溜まり部を持つヘッダー管である。

また、最も広い均等分配になった空気の見かけ速度範囲は突出し長さ  $L_p$  を 30mm に設置した条件であった。安定した気相層を保つ事が可能であったが、気相流量が増加すると液相の実速度が高くなり、液相が気相に飛ばされ、上流側枝管への流入が困難となった。この現象により、液相が入りやすい枝管入口の形状を考案した。Fig. 3\_2 で示した提案Ⅱのダムボード付き枝管である。

## 5.2 提案 I : 水溜まり部を持つヘッダー管において分配挙動

前の Fig. 3\_1 で示した概略図は水溜まり部を持つヘッダー管である。水溜まり部を持つヘッダー管はヘッダー管に着目して改善したものである。気相から受ける界面のせん断力を抑制すること及び液相の流動速度を遅くすることを目的として、ヘッダー管の断面積を増加した水溜まり部を持つヘッダー管の分配効果に期待する。本研究室には 40mm×80mm型と 40mm×120mm型二種類の水溜まり部を持つヘッダー管を用意したが、実験装置空気流量の制限があり、40mm×120mmヘッダー管の断面積は 40mm×40mm型の 3 倍で、空気の見かけ速度  $j_g$  の速度 2.5m/s までしか行けないので、大きな波立ちとドロリックジャンプ現象（後で説明する）が発生し、均等分配ができずに本論文で説明を略する。

今回の実験条件について、従来型の 40mm×40mmヘッダー管と比較するために、水と空気の流量を 2 倍に設定して同じの見かけ速度  $j$  を予測し、実験を行った。突出し長さ  $L_p$  を 0mm、20mm、40mm、50mm、60mm、70mmを調整し、実験をした。この中、突き出し長さ  $L_p$  が 0mmと 20mmの場合、Fig. 6\_1 の実験写真のように、ヘッダー管内大きな波立ちが発生し、液相が不安定な状態で分配結果がまちまちだった。

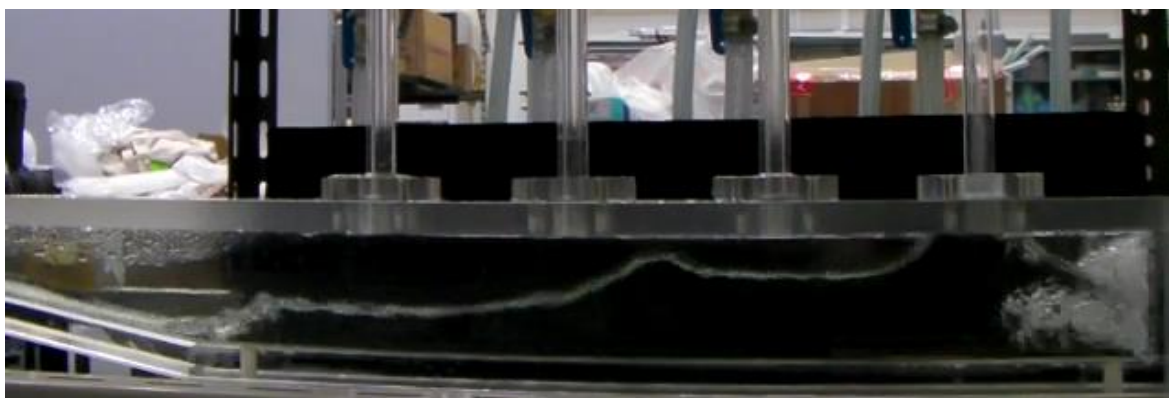


Fig.6\_1 Big wave in the header (40mm×80mm,  $L_p=0$ mm)

### 5.2.1 水溜まり部を持つヘッダー管 40mm×80mm ( $L_p=40\text{mm}$ )

Fig. 6\_2 は 40mm×80mmヘッダー管において、一番分配結果が良かった結果である。空気の見かけ速度  $j_g$  が 0.25 ~4.2m/s の範囲で水が均等分配になっている。この均等分配範囲は従来型の 40mm×40mmヘッダー管の突き出し長さ  $L_p$  が 30mm の場合と同じになっている。但し、空気の見かけ速度が 2.5m/s の時、水の界面がある程度安定し、均等分配になっている。40mm×80mmのヘッダー管と従来型の 40mm×40mmのヘッダー管を空気の見かけ速度  $j_g$  で比べると、均等分配範囲はほぼ変わらなかった。水と空気の流量で比べると、40mm×80mmのヘッダー管のほうが断面積が大きいため、流量が 2 倍になっている。

空気の見かけ速度  $j_g$  を 5m/s まで増やした実験の写真 Fig. 6\_3 を見ると、ヘッダー管入口から第 1 枝管入口の直前まで、水の深さが 8mm ぐらいで、ちょうど第 1 枝管のところから、気液界面が急激に上がり、35mm 以上になった。また、第 1 枝管入口から気液界面までの距離が 15mm があって、第 2、第 3、第 4 枝管入口から気液までの距離が 3~4mm しかない。これは第 1 枝管へ水分配量が減少する原因ではないかと考えられる。

ここで、ヘッダー管内の液相の深さを測って、流れの状態を分析した。Fig. 6\_4 のフルード数の変化から見ると、Fr 1 まで値は 1 より大きくなっており、Fr2~Fr4 の値は 1 より小さくなっている。つまり、第 1 枝管前に流れの状態が射流で、その後急激に常流になった。ちょうど第 1 枝管に水位が上がる場所は限界流である。このような現象はドロリックジャンプ (hydraulic jump) あるいは跳水現象と呼ばれている。



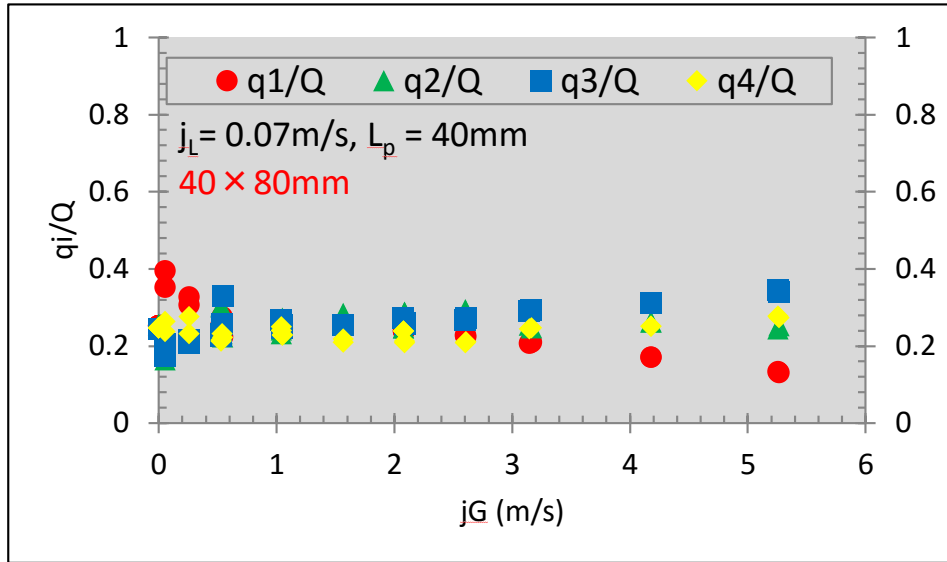


Fig.6\_2 The best results of new type header ( $L_p=40$ mm)

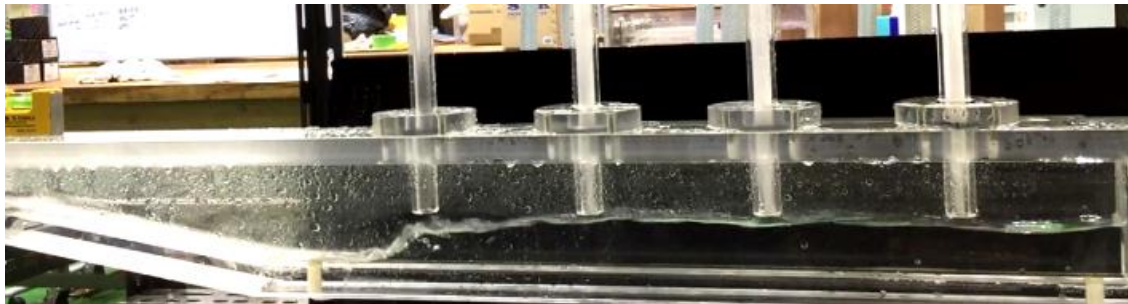


Fig.6\_3 Hydraulic Jump ( $40\text{mm} \times 80\text{mm}$ ,  $L_p=40\text{mm}$ ,  $j_G=5\text{m/s}$ )

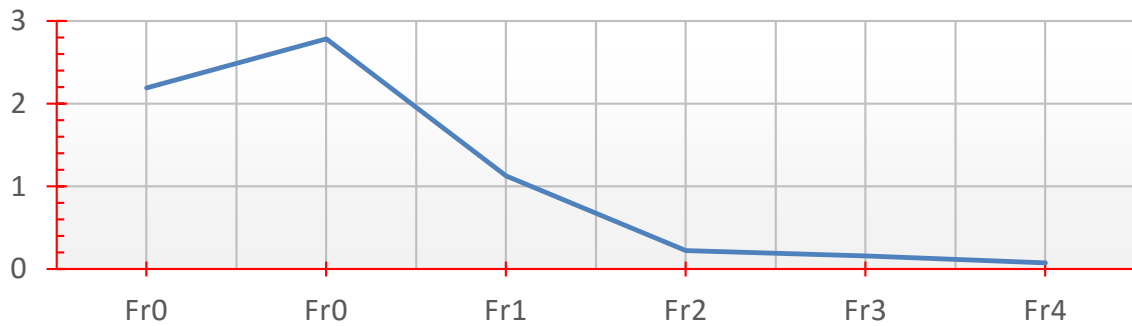


Fig.6\_4 Froude number ( $40\text{mm} \times 80\text{mm}$ ,  $j_G=5\text{m/s}$ ,  $L_p=40\text{mm}$ )

5.2.2 水溜まり部を持つヘッダー管 40mm×80mm (Lp=50mm、Lp=60mm、Lp=70mm)

それでは、突き出し長さ Lp を 50mm を設置した実験結果 Fig. 6\_6 のグラフから見ると、均等分配範囲は空気の見かけ速度 0.2~3.1m/s の範囲で、突き出し長さ Lp が 40mm の時より狭くなってしまった。Fig. 6\_5 の実験写真から見ると、第 1 枝管以後の液相の深さが 27mm ぐらいにさがり、限界流が発生する場所が 50mm ほど後ろにずれるようになった。そして、第 1 枝管の真下に、液相の深さが 7mm ぐらいしかなく、枝管入口まで 23mm の距離がある。これは第 1 枝管に水分配できなくなる理由と考えられる。

また、突き出し長さ Lp が 60mm・70mm の実験写真 Fig. 6\_7 と Fig. 6\_9 を見ると、液相の深さが更に 18mm ぐらいに下がり、限界流が発生する場所が第 2 枝管の入口までに近づいてきた。Lp が 70mm の場合、流路がかなり狭くなり、ヘッダー管内に波立ち現象及び枝管内に逆流現象が発生してしまう。

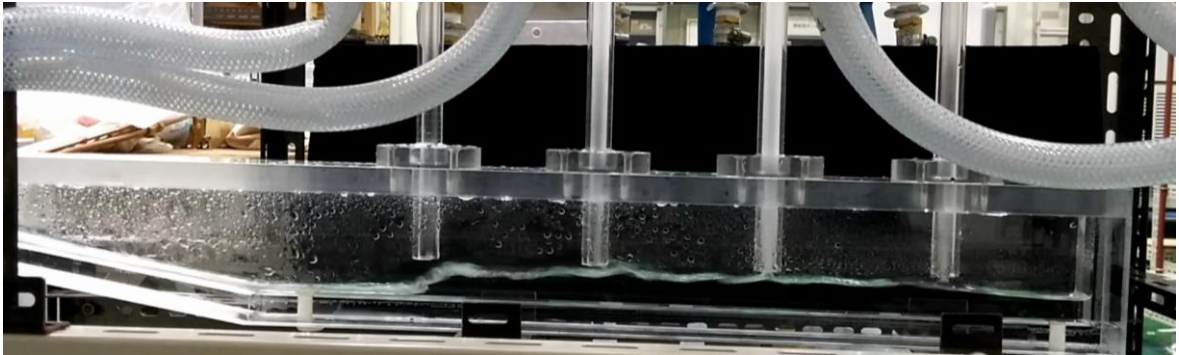


Fig.6\_5 Hydraulic Jump (40mm × 80mm,  $L_p=50\text{mm}$ ,  $j_G=5\text{m/s}$ )

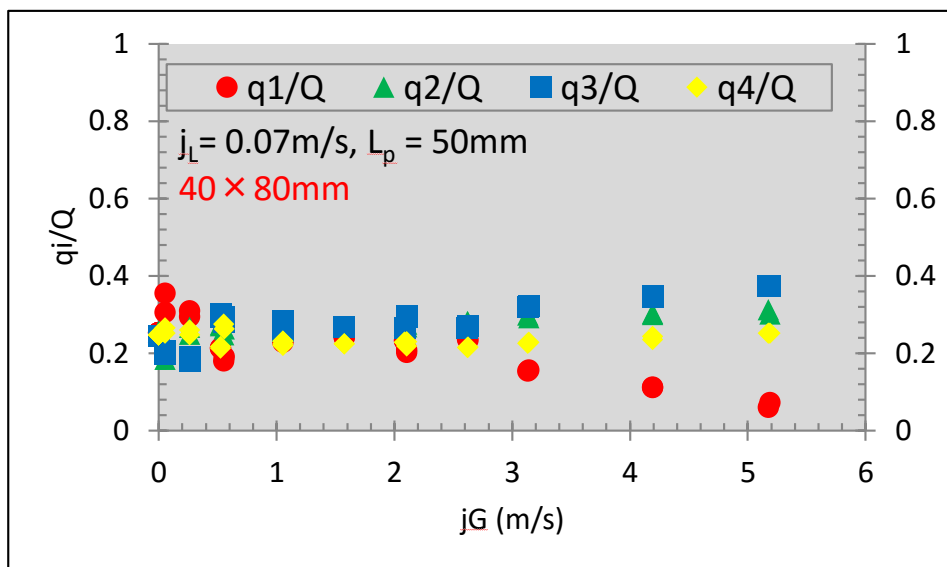


Fig.6\_6 The results of new type header ( $L_p=50\text{mm}$ )

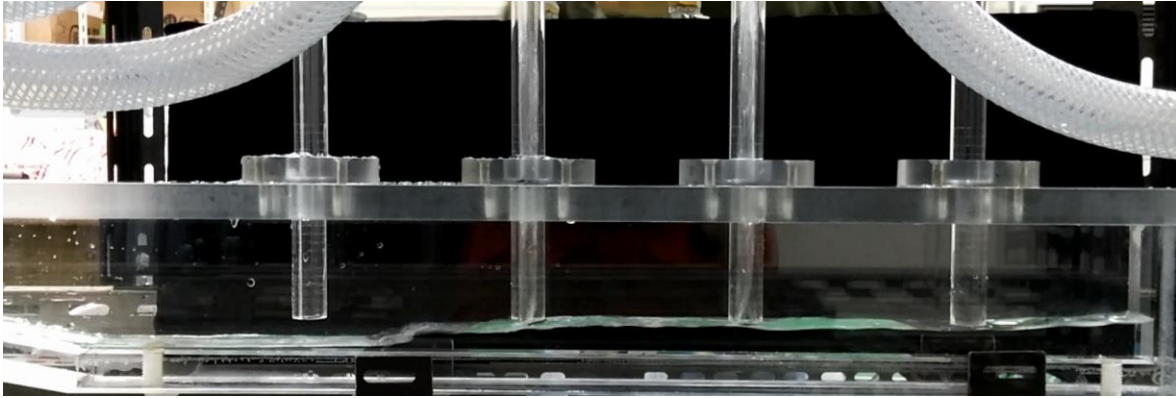


Fig.6\_7 Hydraulic Jump (40mm × 80mm,  $L_p=60\text{mm}$ ,  $j_G=3\text{m/s}$ )

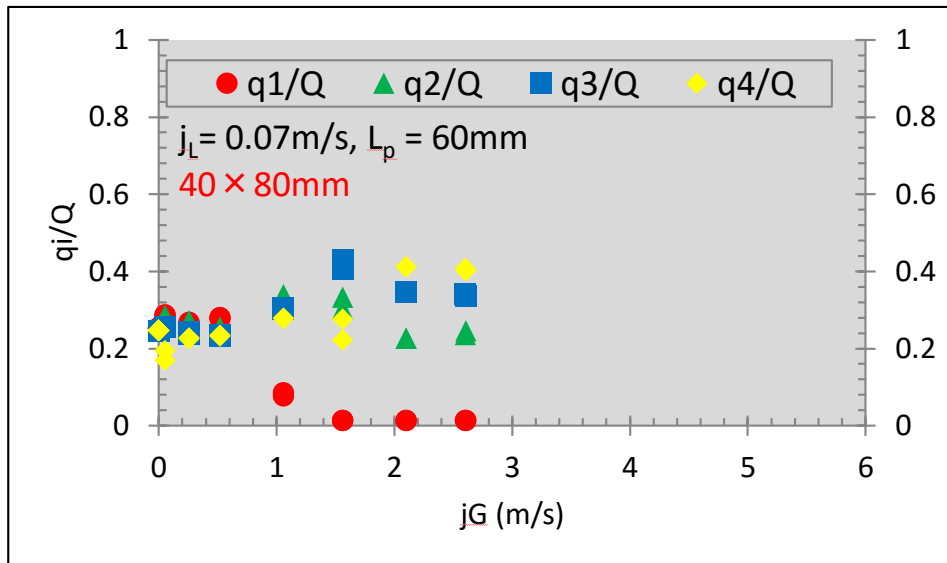


Fig.6\_8 The results of new type header ( $L_p=60\text{mm}$ )

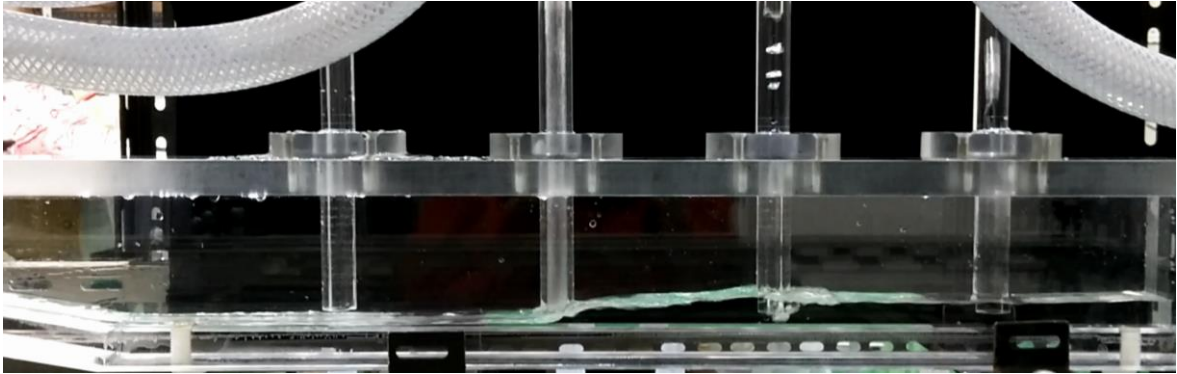


Fig.6\_9 Hydraulic Jump (40mm × 80mm,  $L_p=70\text{mm}$ ,  $j_G=2\text{m/s}$ )

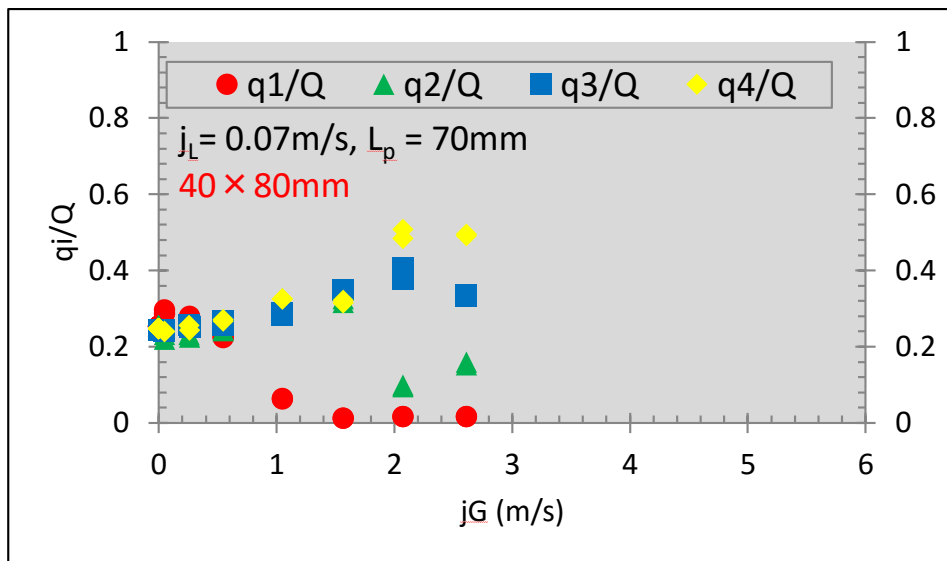


Fig.6\_10 The results of new type header ( $L_p=70\text{mm}$ )

### 5.2.3 水溜まり部を持つヘッダー管の分配挙動についてまとめ

以上の実験結果から見ると、突出ししない時、ヘッダー管内に従来型 40mm×40mmヘッダー管と同じように、大きな波立ちが発生し、液相が不安定な状態になる。突き出し長さ  $L_p$  を 40mm 超えていくと、気液界面が下がり、ハイドロリックジャンプ現象の発生する場所が後ろに変わることが分かった。

水溜まり部を持つヘッダー管において、ヘッダー管の水溜まり部の役割は水の流れを常流に変化し、水の速度を遅くすることと考えられます。ヘッダー入口の空気見かけ速度が速い範囲では、ハイドロリックジャンプ現象の発生する場所によって、上流側の枝管への水分配量が減少する傾向が見られる。改善対策として、Fig. 6\_11 の概略図のように、ヘッダー管の入口を急拡大し、流路拡大位置をより上流側に移動することで、流路拡大位置から第1枝管までの距離は波の長さ  $L_w$  より長くすれば、枝管へハイドロリックジャンプ現象に影響されることが改善できると考えられる。

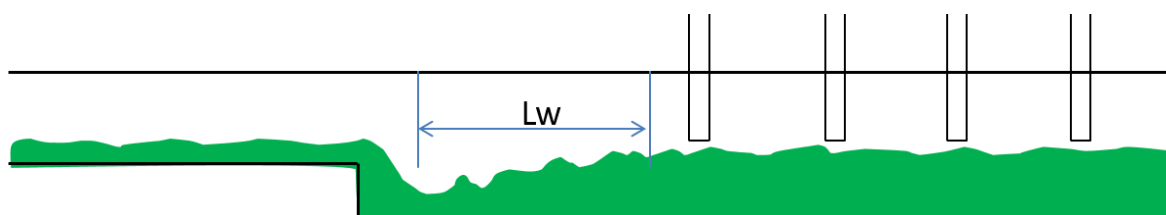


Fig.6\_11 Lengthen the distance before distribution

### 5.3 提案Ⅱ：10mmダムボード付き枝管において分配挙動

Fig. 3\_2 の概略図のように、ダムボード付き枝管は従来型枝管の入口に着目し、改善したものである。気相の見かけ速度を増やして液相が高速流れる状態でも、枝管に流入しやすくなるために、10mm×17.32mmダムボードの形に加工し、飛ばした液相が枝管に入れるように期待している。

この発想が従来型 40mm×40mmヘッダー管の分配結果から得られたため、ダムボード付き枝管に関する実験は 40mm×40mmヘッダー管と組み合わせ、突き出し長さ  $L_p$  を少しずつ長く調整し行った。水の見かけ速度  $j_L$  を 0.07m/s に、空気の見かけ速度  $j_g$  を増やして行って分配挙動を観察した。

#### 5.3.1 ダムボード付き枝管 ( $L_p=10\text{mm}$ 、 $L_p=20\text{mm}$ 、 $L_p=25\text{mm}$ 、 $L_p=26\text{mm}$ )

Fig. 7\_1・Fig. 7\_2 のグラフは突き出し長さ  $L_p$  が 10mm・20mmの分配結果である。まず、グラフから見ると、結果的に従来型の枝管の分配効果と同じで、第1枝管へ水分配量が空気の見かけ速度  $j_g$  の増加につれて減少していく傾向が明らかに見える。Fig. 7\_3 の実験写真を見ると、第1枝管のダムボードが水の中に沈めていなく、通過している水を取れない状態になっている。第2・第3・第4枝管のダムボードが少なくとも 5mm沈めて、通過する水の方向を上に変えて、枝管に分配される。

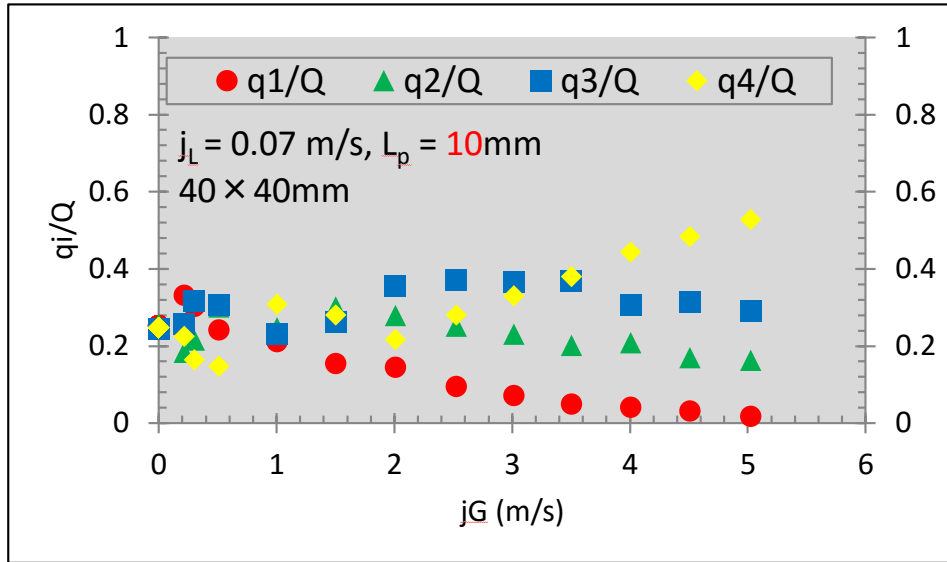


Fig.7\_1 The results of dam-board branch pipe ( $L_p=10\text{mm}$ )

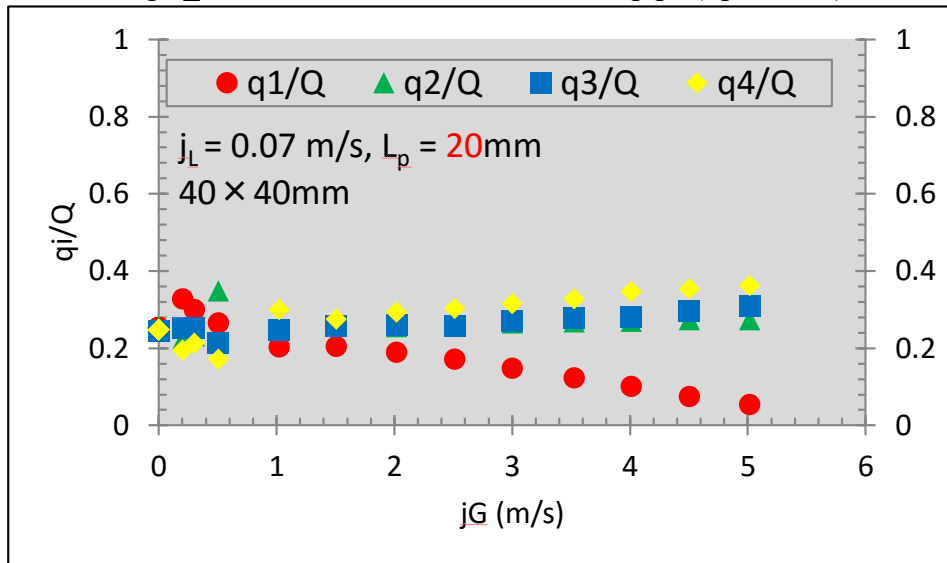


Fig.7\_2 The results of dam-board branch pipe ( $L_p=20\text{mm}$ )

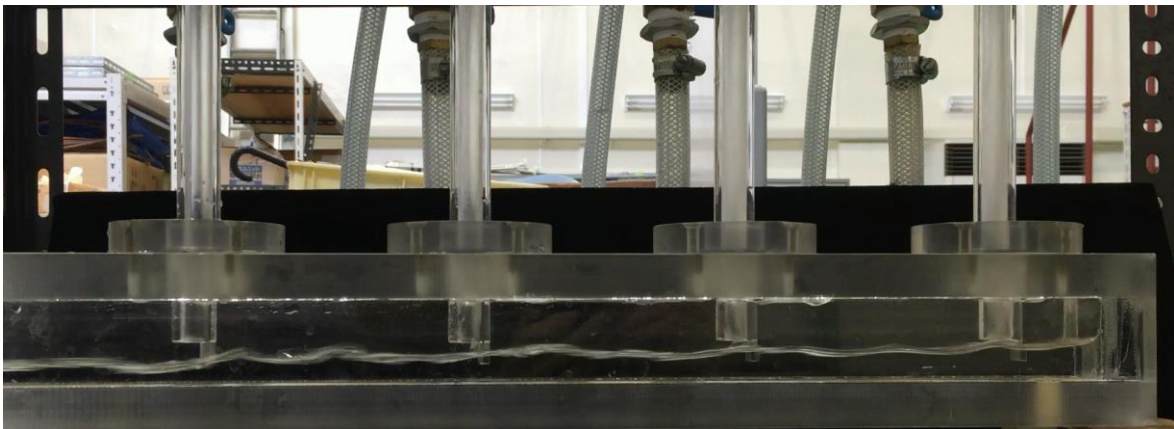


Fig.7\_3 The dam-board #1 was not immersed in to water ( $L_p=20\text{mm}$ ,  $j_G=5\text{m/s}$ )



Fig. 7\_4・Fig. 7\_5の実験結果はダムボード付き枝管において突出し長さ  $L_p$  が 25 mm・26mmの場合に、水分配結果を示している。変わらないことは空気の見かけ速度  $j_G$  が速くなると、各枝管水分配量の差が大きくなることである。しかし、突出し長さによって、その差が縮小している。 $q_4$  を  $q_1$  で引くと、 $L_p$  が 25mmの時に、水分配量の差が 26.2%で、 $L_p$  が 26mmの時に、水分配量の差が 14.6%になっている。この差の変化から判断すると、 $L_p$  が 26mmの時に、水の見かけ速度  $j_G$  が 5m/s まで均等分配範囲内になっていたが、突出し長  $L_p$  をもっと長くすると、更に良い結果が得られると考えられる。

Fig. 7\_6の実験写真を見ると、 $L_p$  が 25mm、水の見かけ速度  $j_G$  が 5m/s の時に、第3枝管前後の液相の深さが異なる。第1・第2枝管のダムボードが水の中に沈めていなく、水を取れなくなる状態になっている。第3・第4枝管のダムボードが水の中に8mmぐらい沈めている。この沈めた長さの違いは、第1・第2枝管に水分配量が減少していき、第3・第4枝管へ水分配量が増加していく原因だと考えられる。

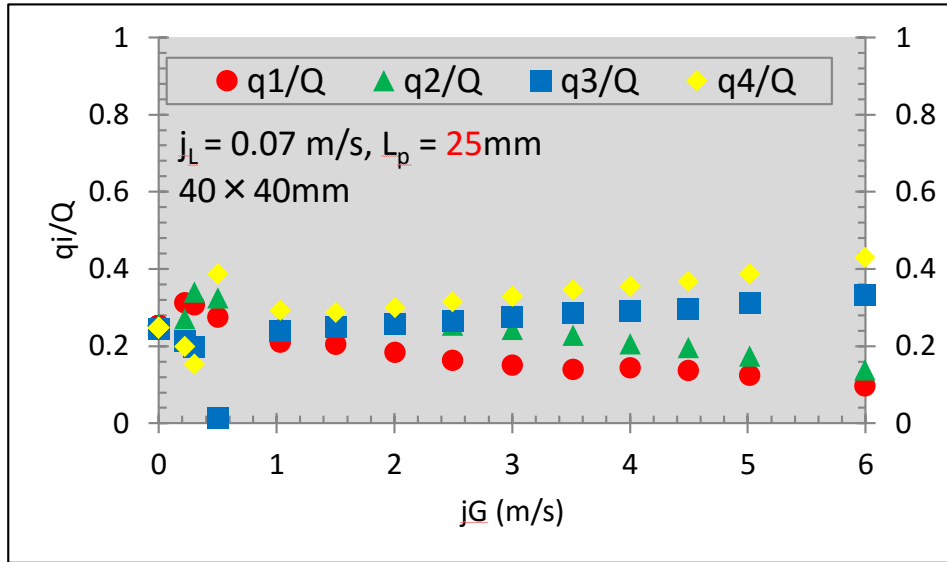


Fig.7\_4 The results of dam-board branch pipe ( $L_p=25\text{mm}$ )

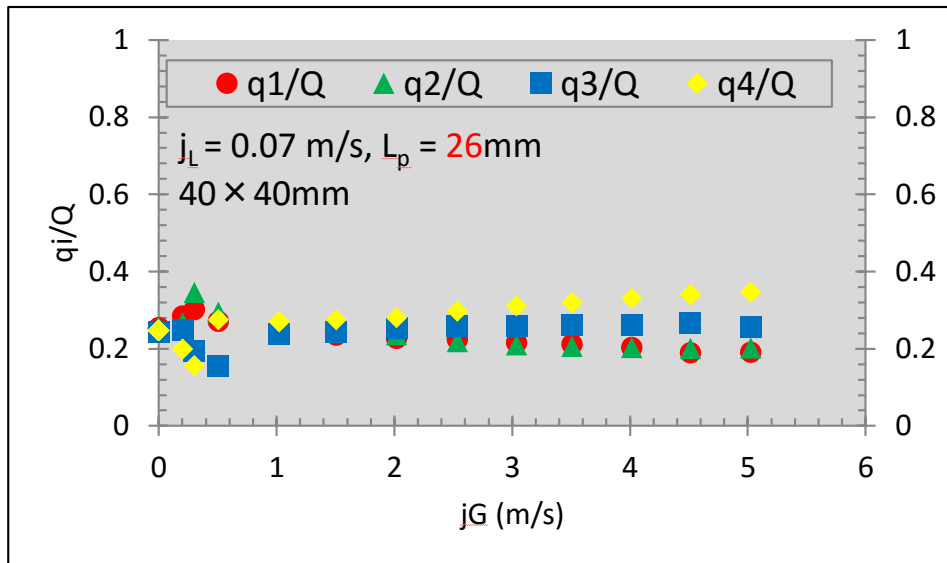


Fig.7\_5 The results of dam-board branch pipe ( $L_p=26\text{mm}$ )

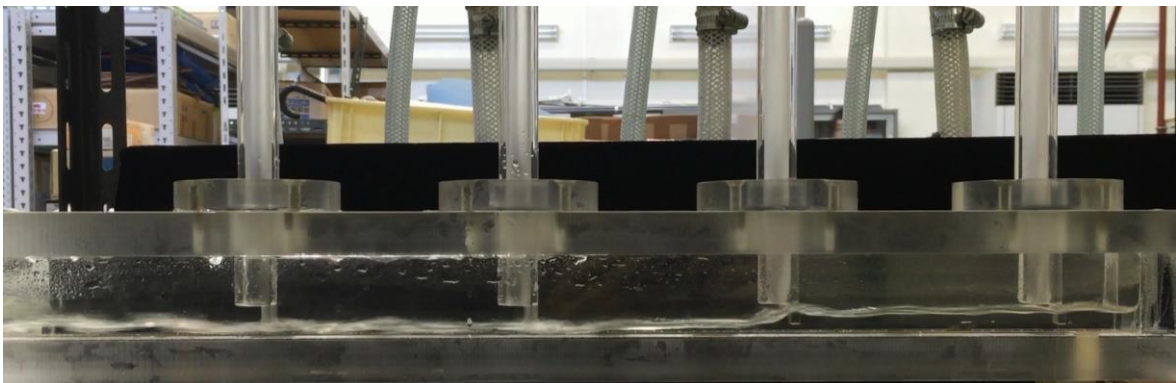


Fig.7\_6 The dam-board #1 and #2 were not immersed in to water ( $L_p=25\text{mm}$ ,  $j_G=5\text{m/s}$ )

### 5.3.2 ダムボード付き枝管 ( $L_p=27\text{mm}$ 、 $L_p=28\text{mm}$ 、 $L_p=29\text{mm}$ 、 $L_p=30\text{mm}$ )

Fig. 7\_7 のグラフは引き続き、突出し長さ  $L_p$  を長くして  $27\text{mm}$  に設置した実験結果である。空気の見かけ速度  $j_g$  が  $5\text{m/s}$  の時の結果から見ると、 $q_4$  を  $q_2$  で引くと、水分配量の差は  $9.9\%$  になっている。これは空気の見かけ速度  $j_g$  が  $0.5\sim 5\text{m/s}$  の範囲で、各枝管への分配量の差が従来の結果より一番小さかった。今まで、最も良い結果が得られた。

Fig. 7\_7 の  $j_g$  が  $5\text{m/s}$  までの実験結果をしっかりと見ると、第4番へ水分配量が上昇する傾向が見られる。この現象を確認するため、実験装置の流量限界まで、少し  $j_g$  が  $8\text{m/s}$  まで実験をした。結果を見ると、突出し長さ  $L_p=27\text{mm}$ 、 $j_g=0.5\sim 6\text{m/s}$  の時、均等分配範囲内になっており、空気流量をもっと上げると、第4番枝管への水分配量が急激にしてしまう。

Fig. 7\_8 の実験写真を見ると、第4番枝管のところに水の深さが前より深くなっている。ここで、ヘッダー管内に流れている水の深さを測って、フルード数で流れの状態を分析した。Fig. 7\_9 と Fig7\_10 のフルード数のグラフを比較する。空気の見かけ速度  $j_g$  が  $5\text{m/s}$  の時に、フルード数の最大値  $Fr_2$  が  $1.77$  であり、最小値  $Fr_4$  が  $0.39$  である。空気の見かけ速度  $j_g$  が  $8\text{m/s}$  の時に、フルード数の最大値  $Fr_1$  が  $3.0$  であり、最小値  $Fr_4$  が  $0.34$  である。2つのパターンを比べると、下流側の最小値があまり変わってなく、上流側の最大値が2倍ぐらいになっている。つまり、下流側の流れ状態は同じ常流になっているが、上流側の射流の激しさにより、分配結果に影響を与えられる。流れ状態が異なる場合、フルード数が大きければ大きいほど、枝管に水分配量の差が大きくなると考えられる。

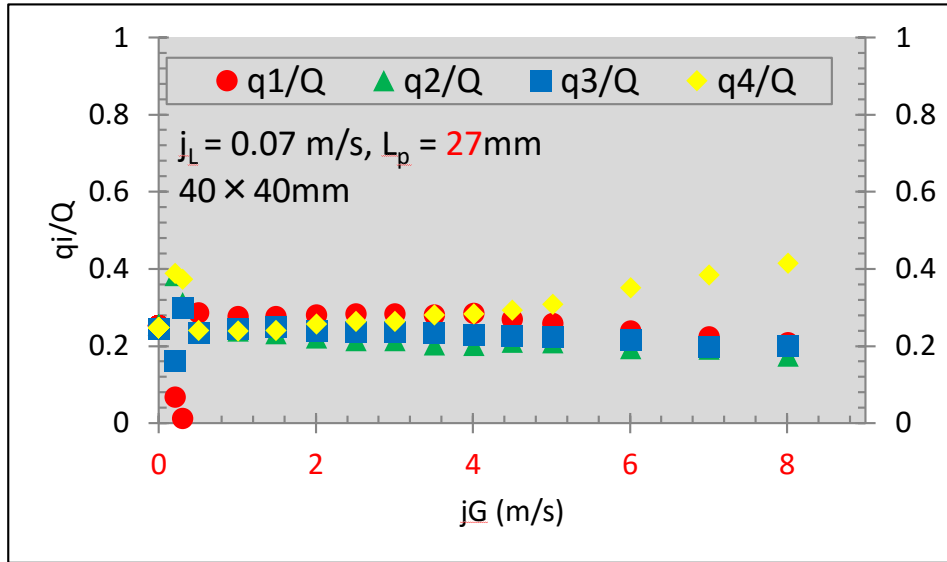


Fig.7\_7 The results of dam-board branch pipe ( $L_p=27\text{mm}$ )

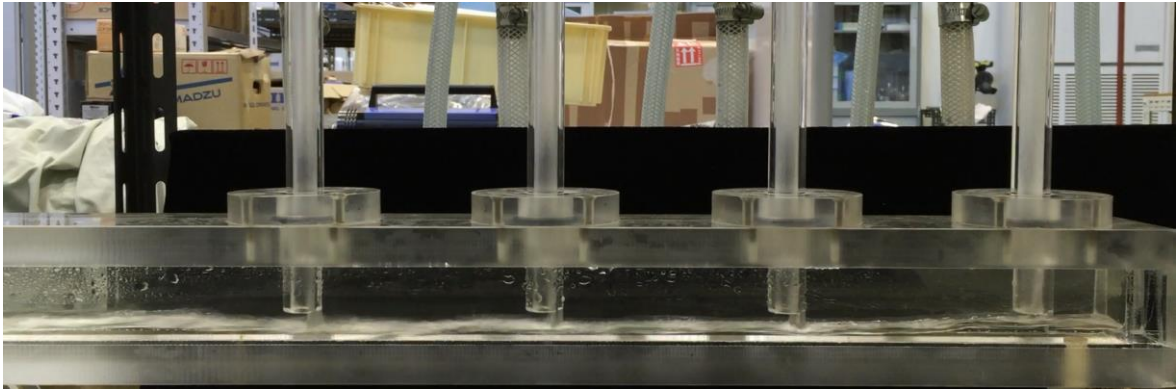


Fig.7\_8 High water level in the last place #4 ( $L_p=27\text{mm}$ ,  $j_G=8.0\text{m/s}$ )

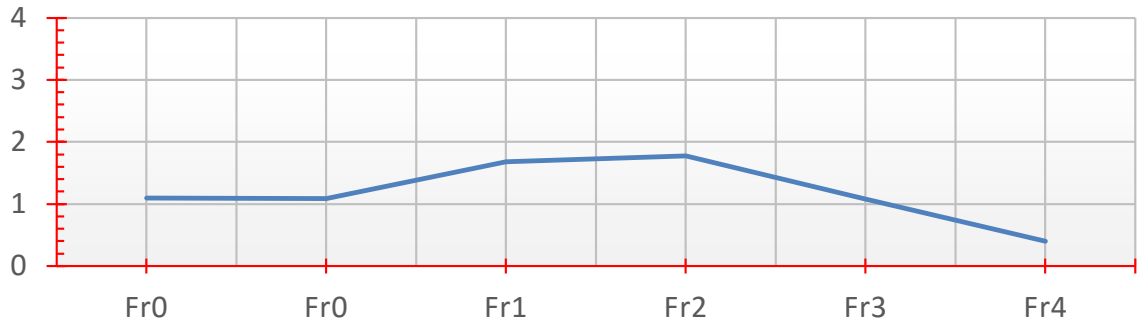


Fig.7\_9 Froude number (40mm×40mm,  $j_G=5\text{m/s}$ ,  $L_p=27\text{mm}$ )

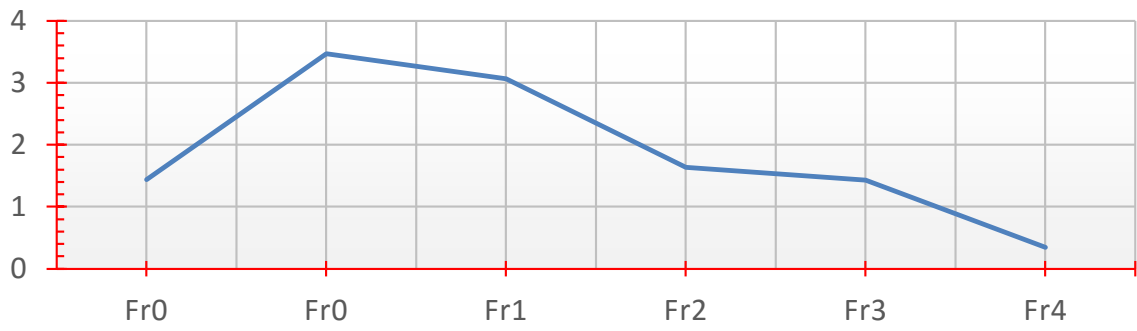


Fig.7\_10 Froude number (40mm×40mm,  $j_G=8\text{m/s}$ ,  $L_p=27\text{mm}$ )

また、突出し長さ  $L_p$  が 28mm、空気の見かけ速度  $j_g$  が 8m/s までの分配結果 Fig. 7\_11 を見ると、均等分配範囲で評価すると、 $j_g$  が 0.5~8m/s の範囲では全て許容範囲（15%~35%）以内になっている。今まで、最も広い均等分配範囲が得られた。しかし、空気の見かけ速度  $j_g$  が 0.5m/s 以下の条件で、均等分配ができなかった。Fig7\_12 の実験写真を見ると、ヘッダー管入口の所に水位が最も高く、一番目枝管に空気が入れない状態になっている。ヘッダー管内の圧力は枝管の水頭圧より小さくなって、分配が出来なかった。

Fig. 7\_13 のフルード数からヘッダー管の流れ状態を分析すると、空気の見かけ速度  $j_g$  が 0.5m/s の時、すべてのフルード数が 1 以下になっている。つまり、ヘッダー管内の流れ状態は全部常流になっている。常流の定義により、入口側が下流側の波の影響を受けて、水位が上昇してしまっていて、空気が入れなく、分配できなくなる原因になっていると考えられる。

Fig. 7\_14・Fig. 7\_15・Fig. 7\_16 のフルード数は突き出し長さ  $L_p$  が 28mm、空気の見かけ速度  $j_g$  が 6m/s・7m/s・8m/s の比較的に高速な流れ状態で解析できた値である。すべてのフルード数  $Fr$  の値は 1 以上になっている。つまり、各枝管入口のところに流れの状態がすべて射流の状態になっている。均等な分配結果により、ダムボード枝管において、液相の流れ状態が同じ射流になると、均等分配の結果が得られると考えられる。

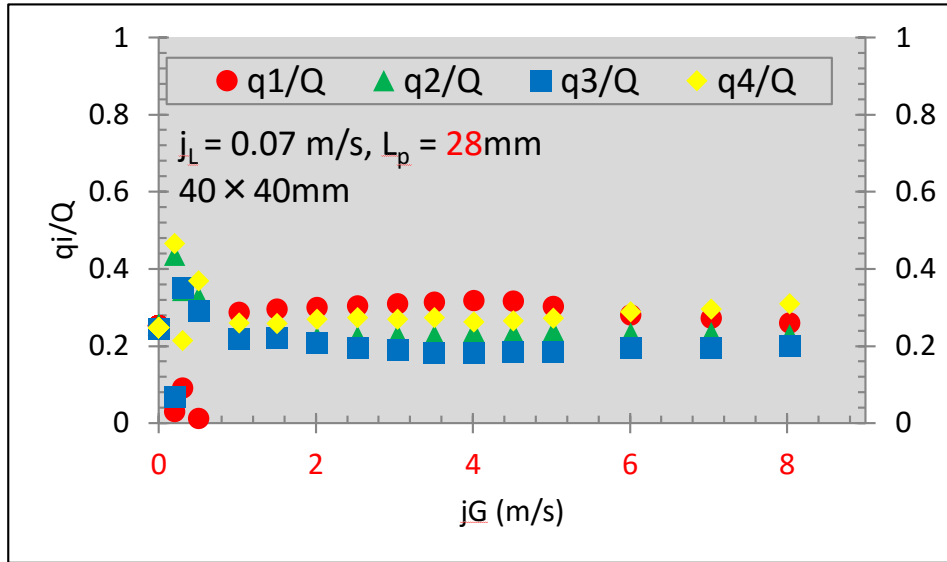


Fig.7\_11 The results of dam-board branch pipe ( $L_p=28\text{mm}$ )

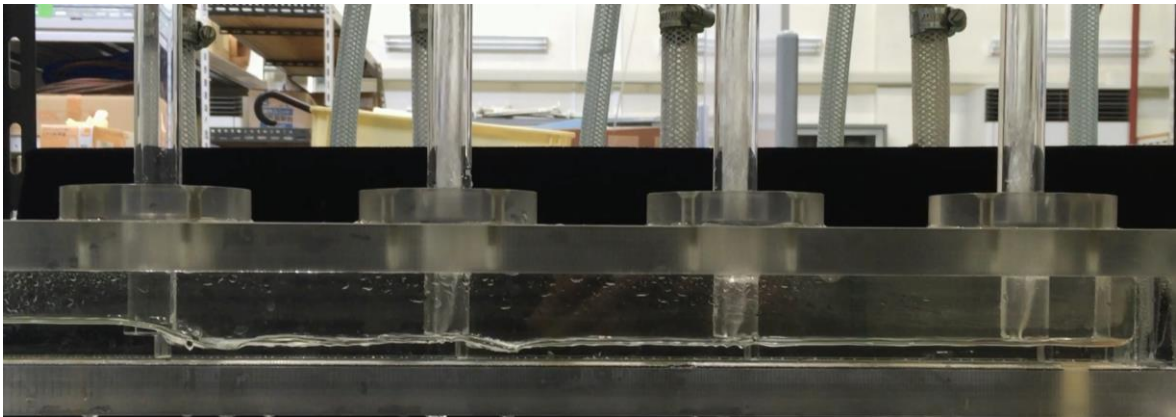


Fig.7\_12 High water level at the entrance #1 ( $L_p=28\text{mm}$ ,  $j_G=0.5\text{m/s}$ )

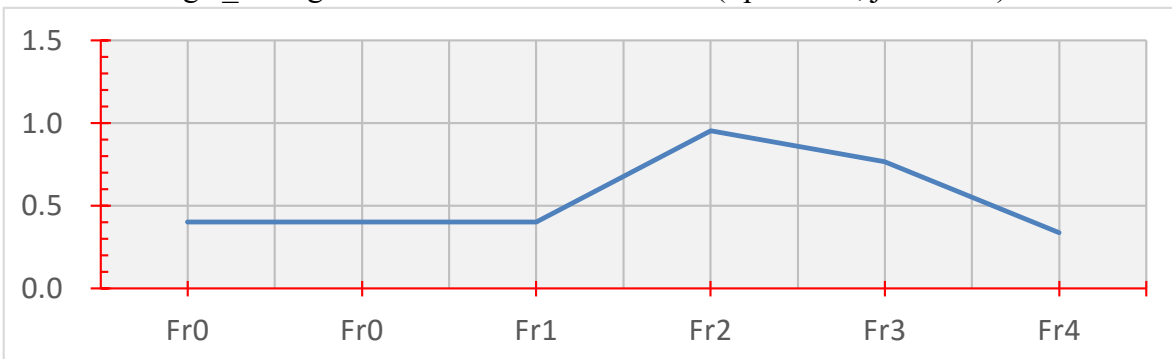


Fig.7\_13 Froude number ( $40\text{mm} \times 40\text{mm}$ ,  $j_G=0.5\text{m/s}$ ,  $L_p=28\text{mm}$ )

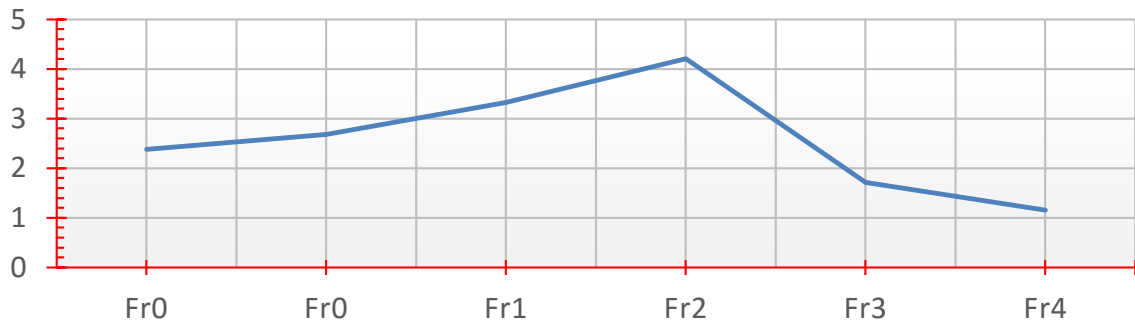


Fig.7\_14 Froude number (40mm×40mm,  $j_G=6\text{m/s}$ ,  $L_p=28\text{mm}$ )

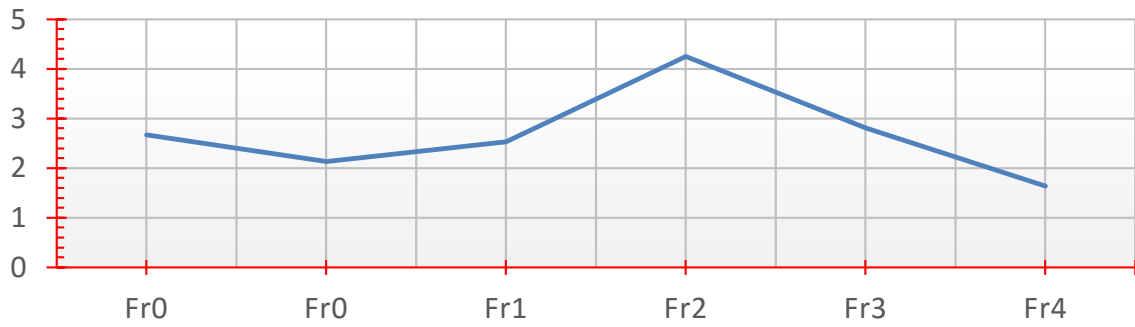


Fig.7\_15 Froude number (40mm×40mm,  $j_G=7\text{m/s}$ ,  $L_p=28\text{mm}$ )

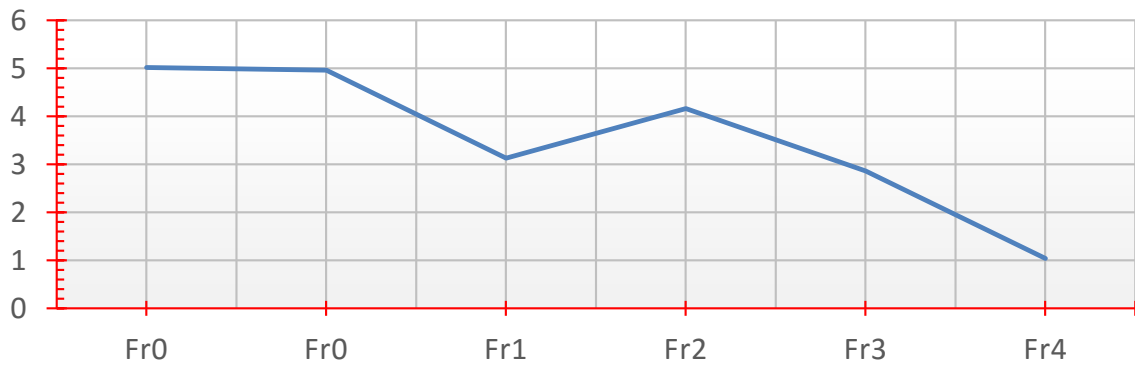


Fig.7\_16 Froude number (40mm×40mm,  $j_G=8\text{m/s}$ ,  $L_p=28\text{mm}$ )



最後に、突き出し長さ  $L_p$  が 29mm・30mmの分配結果 Fig. 7\_17・Fig. 7\_18 を見ると、空気の見かけ速度  $j_g$  が 1.0m/s 以下の場合、突き出し長さ  $L_p$  が 27mm・28mmと同じ原因で、分配ができなかった。空気流量を増やしていくと、第1枝管へ水分配量が明らかに多くなっている。他の3本枝管へ水分配量がほとんど均一になっている。Fig. 7\_19の実験写真を見ると、ヘッダー管入口に液相の深さが8mmぐらいあり、第1枝管以後下がるようになり、第2・第3・第4枝管入口の所に水の深さが4mmぐらいしかない。分配結果から見ると、ダムボードを液相に沈めた長さにより、水分配量が異なるようになる。ヘッダー管内の圧力が枝管内の水頭圧を超えた場合、ダムボードを沈めた長さが長くなると、枝管に分配される水の量が多くなる。逆に、沈めた長さが短くなると、枝管に分配される水の量が少なくなると考えられる。

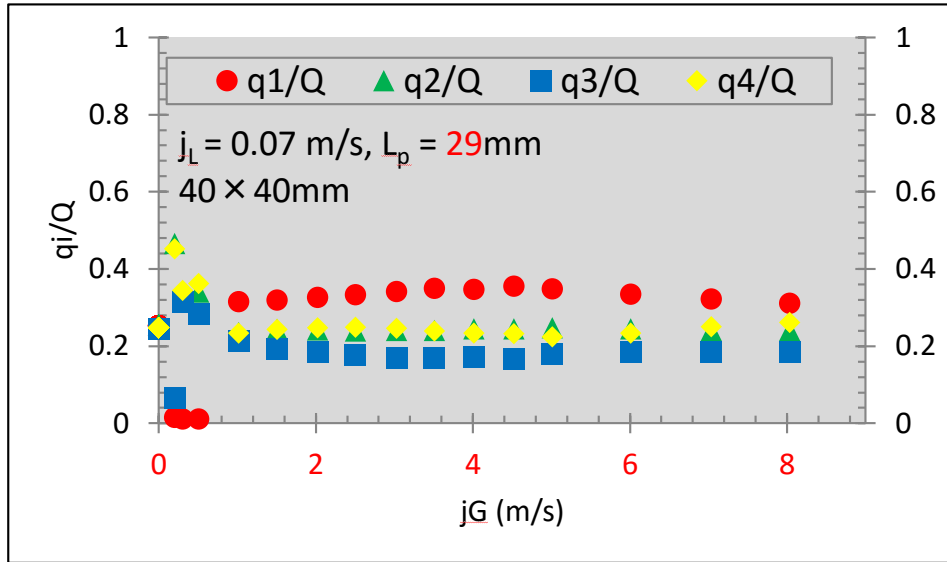


Fig.7\_17 The results of dam-board branch pipe ( $L_p=29$ mm)

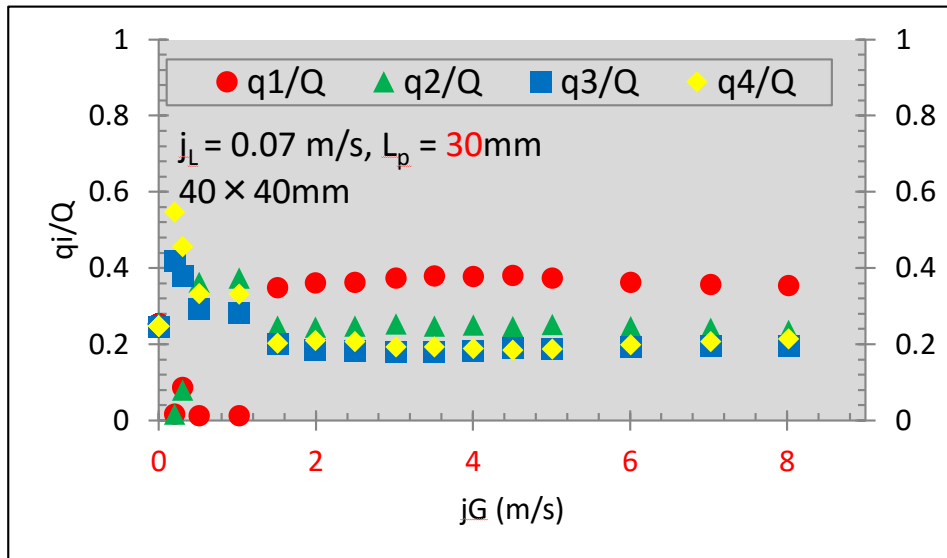


Fig.7\_18 The results of dam-board branch pipe ( $L_p=30$ mm)

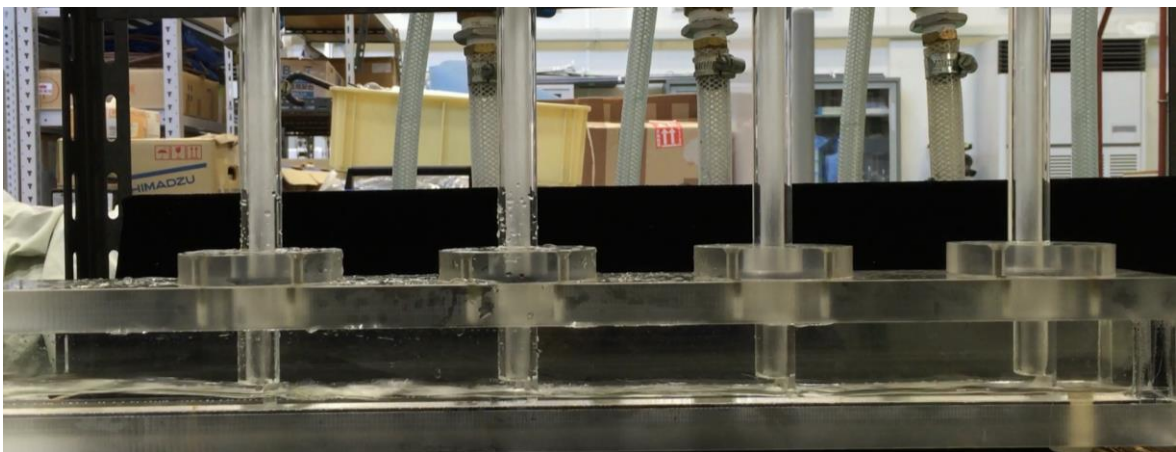


Fig.7\_19 High water level at the entrance #1 ( $L_p=30$ mm,  $j_G=4.5$ m/s)

### 5.3.3 ダムボード付き枝管において突き出し長さ $L_p$ と水分配量の関係

今まで、ダムボード付き枝管の水分配効果を確認し、突き出し長さ  $L_p$  により、均等分配範囲が変わることも知られている。それでは、ダムボード付き枝管において、最適な突き出し長さ  $L_p$  は何ミリか、下のグラフ Fig. 7\_20 を見て検討する。まず、横で比べると、突き出し長さ  $L_p$  が長くすると、第1枝管への水分配量  $q_1$  が多くなる。第4枝管への水分配量  $q_4$  が逆に少なくなることが分かった。縦で比べると、突き出し長さ  $L_p$  が 20mm の場合、 $q_1$  は  $q_4$  よりずっとすくないく、 $L_p$  が 27mm の場合、 $q_1$  は  $q_4$  より近づいたが、まだ小さい。 $L_p$  が 28mm の場合、 $q_1$  は  $q_4$  を超えて多くなり、 $L_p$  が 30mm の場合、 $q_1$  は  $q_4$  より更に多くなった。これらの関係により、最適な突き出し長さ  $L_p$  は 27mm から 28mm までの間と推測できる。つまり、ダムボード枝管において、第1枝管と第4枝管への水分配量から見ると、最適な突き出し長さを見出せることが分かった。

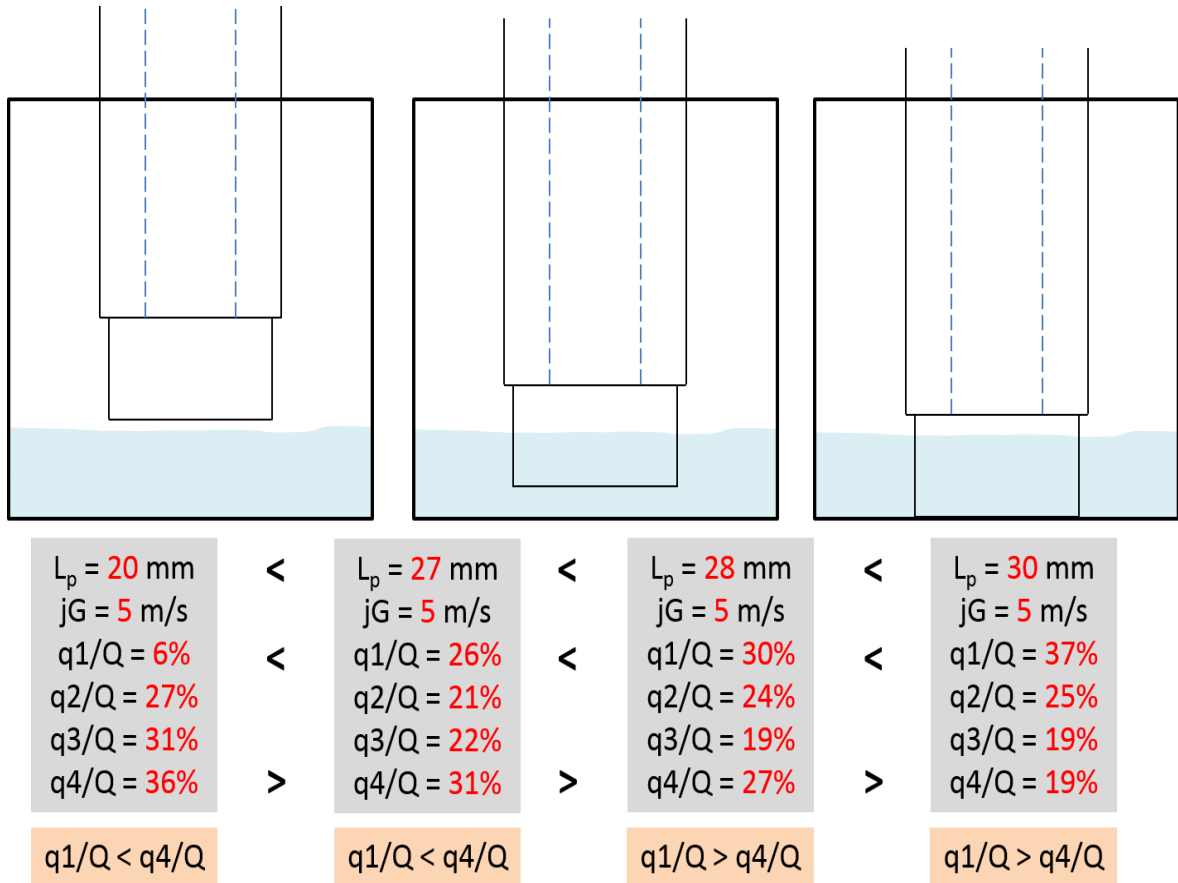


Fig.7\_20 Protruding length and volume of distribution

#### 5.3.4 均等分配範囲指数で比較する

ヘッダー管分配装置の分配性能を比較するために、Fig. 8のように均等分配範囲指数でまとめた。均等分配範囲指数とは、水均等分配結果が得られる空気の見かけ速度の広さである。従来型枝管突き出し長さ  $L_p$  が 30mm の場合は過去一番良かった結果で、ダムボード枝管突き出し長さ  $L_p$  が 28mm の場合は、今まで均等分配範囲が一番広いパターンが見つかった。

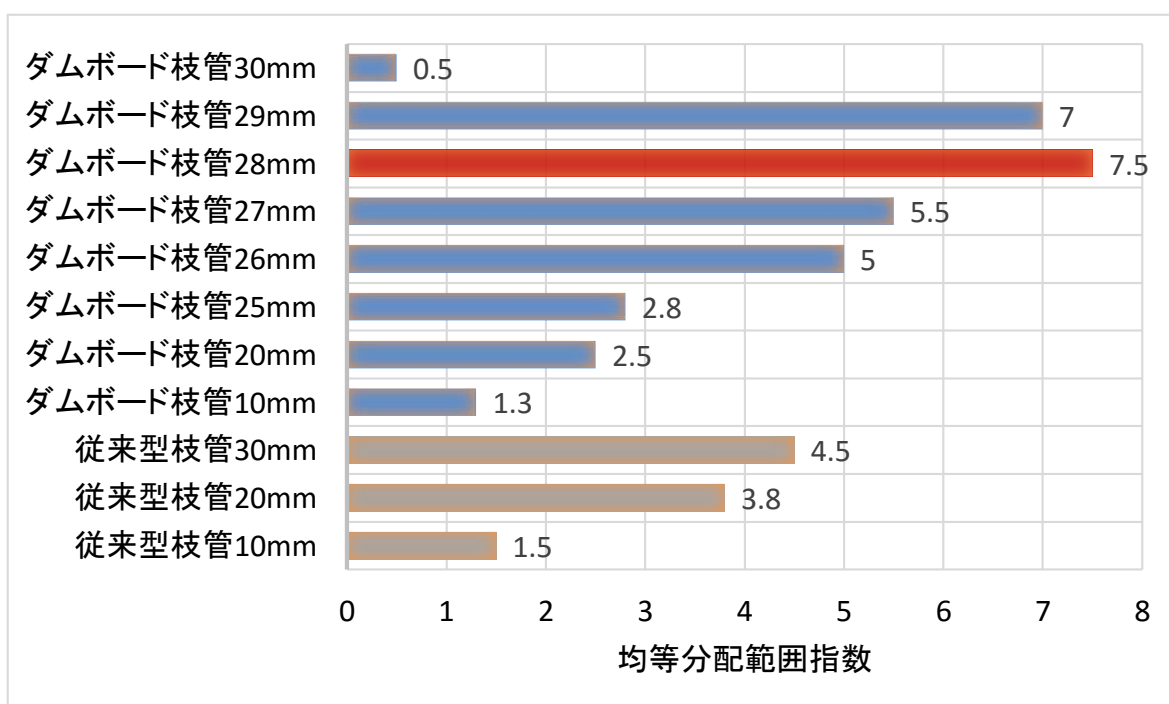


Fig.8 The exponent of even distribution range

## 6 結 論

- 6.1 結論として従来の 40mm×40mm 枝管突き出し型ヘッダー管において突出し長さにより、気液界面の高さが調整でき、波立ちを抑える効果がある。枝管を突き出すことにより均等分配が可能となる領域が広がることが確認された。
- 6.2 提案Ⅰ水溜まり部を持つヘッダー管において水溜まり部の役割は水の流れを常流に変化し、水の速度を遅くすることが考えられる。ヘッダー入口の空気見かけ速度が速い範囲では、ハイドロリックジャンプ現象の発生する場所により、上流側の枝管への水分配量が減少する傾向が見られる。改善対策として、ヘッダー管の入口を急拡大する、もしくは流路拡大位置をより上流側に移動することで枝管への影響が改善されると考えられる。
- 6.3 提案Ⅱダムボード付き枝管において、空気の見かけ速度 1.0m/s 以下の場合、上流側の水位が高くなり、空気が入れないため、分配出来なかった。今後ダムボードのサイズを調整すれば、改善できると思う。また、枝管入口のダムボード形は液相の流動方向を変え、枝管に入りやすい効果を持っている特徴を確認した。ヘッダー管入口空気見かけ速度が速い段階で、液相突出し長さにより、射流になった液相を均等分配することが可能である。最後、第1枝管と第4枝管への水分配量から見ると、最適な突出し長さ  $L_p$  を見出せることが分かった。

## 参考文献

1. ブラズマンら、「垂直上昇多分岐管における気液二相分配」、混相流、24 (5)、(2011)、pp. 577-585
2. S. Vist and J. Pettersen, Two-phase flow distribution in compact heat exchanger manifolds, Experimental Thermal and Fluid Science, 28 (2004), pp. 209-215
3. 堀木、刑部、「水平二相ヘッダー管の水分配挙動」、機論(B)、(69)677、(2003)、pp. 31-3
4. 「ターボ動力工学」・2004年・海文堂出版株式会社・刑部真弘
5. 「エネルギー技術者の熱流体トレーニング」・2004年・海文堂出版株式会社・刑部真弘
6. 「エンジニアの流体力学」・2010年・株式会社朝倉書店・刑部真弘

## 謝辞

本論文を作成するにあたり、数々の助言・解析及び実験まで手伝ってくださった堀木幸代准教授・刑部真弘教授にこの場を借りて厚くお礼申し上げます。また、本研究を行うに当たり実験準備から、実験装置の制作・改良等幅広くご協力を頂いた伊東次衛先生，井上二三男先生、本当にありがとうございました。

また、馬場政宜さんには一年中たくさんのアイデアを出し、卒業発表を終わってからでも実験を手伝って頂きありがとうございました。一昨年の富山春季さん、椎葉萌佳さんがデータ収集してくれて、大変役に立ちました。

修論発表会で研究背景に関するご指摘及びアドバイスを頂いた井上順広教授・波津久達也准教授に付記し感謝の意を表します。



付録

実験データ

時間 (s)	$j_L =$				0.07m/s				ダムボード付き枝管				突き出し長さLp				10mm				体積流速 ( $\times 10^{-5}$ m <sup>3</sup> /s)				流量 (m <sup>3</sup> )				$j_G$ (m/s)				水の流量分配割合			
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		Hose1(m <sup>3</sup> )		Hose2(m <sup>3</sup> )		Hose3(m <sup>3</sup> )		Hose4(m <sup>3</sup> )		Total Q (m <sup>3</sup> )		q1		q2		q3		q4		q1/q		q2/q		q3/q		q4/q			
	高さ (cm)	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	Hose1(m <sup>3</sup> )	Hose2(m <sup>3</sup> )	Hose3(m <sup>3</sup> )	Hose4(m <sup>3</sup> )	Total Q (m <sup>3</sup> )	q1	q2	q3	q4	$j_G$ (m/s)	q1/q	q2/q	q3/q	q4/q																	
1	43	20	23.5	22	29.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00467	0.0010	0.0012	0.0011	0.0014	1.004911	0.212317	0.247664	0.232116	0.307903																	
2	44	15	30	26	28	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00486	0.0008	0.0015	0.0013	0.0014	1.503741	0.155616	0.30107	0.261891	0.281424																	
3	43	13	26	33.5	20	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00455	0.0007	0.0013	0.0016	0.0010	2.007582	0.145389	0.279933	0.357094	0.217584																	
4	37	7	20	30	22.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00394	0.0004	0.0010	0.0015	0.0011	2.525781	0.096263	0.251713	0.370747	0.281277																	
5	38	5	18.5	30	27	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00399	0.0003	0.0009	0.0015	0.0013	3.015287	0.071502	0.231022	0.366367	0.331109																	
6	36	3	15.5	29	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00385	0.0002	0.0008	0.0014	0.0015	3.50369	0.049637	0.202772	0.367581	0.380011																	
7	30	2	14	21	31	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.0034	0.0001	0.0007	0.0010	0.0015	4.008434	0.042313	0.20868	0.305109	0.443898																	
8	28	1	10	19.5	30.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00307	0.0001	0.0005	0.0010	0.0015	4.510687	0.031512	0.16971	0.314866	0.483911																	
9	25	0	8.5	16	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00276	0.0000	0.0005	0.0008	0.0015	5.025208	0.017957	0.162945	0.29009	0.529009																	
10	27	0	9	16	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00279	0.0000	0.0005	0.0008	0.0015	6.0123	0.017805	0.170019	0.287638	0.524538																	
11	29	0	12.5	20.5	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00316	0.0000	0.0006	0.0010	0.0015	7.016307	0.015684	0.201881	0.320379	0.462056																	
12	30	0	12	21.5	29.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00316	0.0000	0.0006	0.0011	0.0014	8.020761	0.015684	0.194436	0.335269	0.454611																	
27	41	30.5	16.5	23.5	20.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00448	0.0015	0.0008	0.0012	0.0010	0.21407	0.331582	0.184514	0.257636	0.228268																	
28	42	28.5	20	30	15	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.0046	0.0014	0.0010	0.0015	0.0008	0.30265	0.302615	0.215629	0.317598	0.164158																	
29	44	23.5	29.5	30	14	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00477	0.0012	0.0014	0.0015	0.0007	0.5105	0.242718	0.302079	0.30661	0.148593																	

時間 (s)	$J_L=$				m/s	ダムボート付き枝管				突き出し長さLp				20mm Total Q (m <sup>3</sup> )	体積流速 (*10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup> /s)	流量(m <sup>3</sup> )				$J_G$ (m/s)	水の流量分配割合			
	0.07		高さ(cm)			No. 3		No. 4		Hose1(m <sup>3</sup> )	Hose2(m <sup>3</sup> )	Hose3(m <sup>3</sup> )	Hose4(m <sup>3</sup> )			q1	q2	q3	q4		q1/Q	q2/Q	q3/Q	q4/Q
	No. 1	No. 2	No. 2	No. 3		No. 3	No. 4	No. 4	Hose1(m <sup>3</sup> )	Hose2(m <sup>3</sup> )	Hose3(m <sup>3</sup> )	Hose4(m <sup>3</sup> )	Total Q (m <sup>3</sup> )			q1	q2	q3	q4		q1/Q	q2/Q	q3/Q	q4/Q
1	44	20	24.5	24.5	24.5	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00486	11.0484	0.0010	0.0012	0.0012	0.0015	1.022965	0.204084	0.247754	0.24735	0.300811			
2	49	22	28.5	28.5	28	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00531	10.8346	0.0011	0.0014	0.0014	0.0015	1.507834	0.204627	0.262368	0.25756	0.275445			
3	46	19	26	26.5	26.5	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00498	10.8242	0.0009	0.0013	0.0013	0.0015	2.017014	0.189791	0.256089	0.260427	0.293694			
4	45	16.5	26	25.5	25.5	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00481	10.6982	0.0008	0.0013	0.0012	0.0015	2.509848	0.171822	0.264862	0.25956	0.303756			
5	44	13.5	25	25.5	25.5	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00463	10.5129	0.0007	0.0012	0.0012	0.0015	3.003343	0.148261	0.265468	0.270137	0.316134			
6	42	10.5	24	25	25	29.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00439	10.4525	0.0005	0.0012	0.0012	0.0014	3.526793	0.124016	0.268982	0.279269	0.327734			
7	40	8	23	24	24	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.0042	10.5039	0.0004	0.0011	0.0012	0.0015	4.009271	0.10154	0.269833	0.280582	0.348045			
8	38	5.5	23	25	25	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00413	10.8707	0.0003	0.0011	0.0012	0.0015	4.506058	0.074759	0.274451	0.296791	0.354			
9	38	3.5	22	25	25	29.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00397	10.4367	0.0002	0.0011	0.0012	0.0014	5.018394	0.054103	0.273982	0.309133	0.362781			
10	38	1	22	25	25	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00387	10.1887	0.0001	0.0011	0.0012	0.0015	6.02119	0.024992	0.280652	0.316659	0.377698			
11	35	0	16	25	25	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00354	10.1195	0.0000	0.0008	0.0012	0.0015	7.0325	0.014015	0.22696	0.34615	0.412875			
12	30	0	7	25	25	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00312	10.3924	0.0000	0.0004	0.0012	0.0015	8.027153	0.015921	0.121801	0.393239	0.46904			
27	43	30	20	23	23	17.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00446	10.3738	0.0015	0.0010	0.0011	0.0009	0.204839	0.328051	0.222463	0.253715	0.195771			
28	44	30	23	25	25	21	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00486	11.0484	0.0015	0.0011	0.0012	0.0010	0.303045	0.301021	0.233214	0.252197	0.213568			
29	38	21.5	28.5	17	17	13.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00399	10.4987	0.0011	0.0014	0.0008	0.0007	0.504409	0.266399	0.349142	0.212812	0.171647			

時間 (s)	$j_L=$				m/s	ダムボード付き枝管				突き出し長さLp				25mm Total Q (m <sup>3</sup> )	体積流速 (*10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup> /s)	流量(m <sup>3</sup> )				$j_G$ (m/s)	水の流量分配割合			
	0.07		高さ(cm)			No. 3	No. 4	Hose1(m <sup>3</sup> )	Hose2(m <sup>3</sup> )	Hose3(m <sup>3</sup> )	Hose4(m <sup>3</sup> )	Total Q (m <sup>3</sup> )	q1			q2	q3	q4	q1/Q		q2/Q	q3/Q	q4/Q	
	No. 1	No. 2	No. 2	No. 3																				
1	46	20.5	25	23.5	29	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00481	10.4656	0.0010	0.0012	0.0014	0.0014	0.210976	0.255074	0.239983	0.293967					
2	48	21	26.5	26	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00507	10.5695	0.0010	0.0013	0.0015	0.0015	0.204842	0.255976	0.250944	0.288238					
3	46	18	25.5	25.5	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00486	10.568	0.0009	0.0013	0.0012	0.0015	0.184697	0.257448	0.257044	0.300811					
4	44	15	24	25	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00463	10.5129	0.0008	0.0012	0.0015	0.0015	0.163543	0.25528	0.265043	0.316134					
5	41	13	21.5	24.5	29.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00437	10.65	0.0007	0.0011	0.0012	0.0014	0.151666	0.243453	0.27538	0.329502					
6	39	11.5	19.5	24.5	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00423	10.8337	0.0006	0.0010	0.0012	0.0015	0.14001	0.229292	0.284594	0.346104					
7	38	11.5	17	24.5	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00411	10.8087	0.0006	0.0009	0.0012	0.0015	0.144026	0.207186	0.292757	0.356031					
8	37	10.5	15.5	24	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00397	10.7188	0.0005	0.0008	0.0012	0.0015	0.137278	0.196748	0.297251	0.368722					
9	36	9	13	24	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00378	10.4929	0.0005	0.0007	0.0012	0.0015	0.125416	0.175378	0.312084	0.387122					
10	33	6	9	23	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.0034	10.3044	0.0003	0.0005	0.0011	0.0015	0.097746	0.139389	0.332825	0.43004					
11	28	4.5	7	18	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.003	10.714	0.0003	0.0004	0.0009	0.0015	0.087234	0.126584	0.298722	0.487459					
12	25	3	5.5	13.5	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00265	10.5859	0.0002	0.0003	0.0007	0.0015	0.072175	0.116779	0.258488	0.552558					
27	43	29.5	25.5	20	18.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.0046	10.7026	0.0014	0.0013	0.0010	0.0009	0.312854	0.271947	0.215202	0.199997					
28	40	27	30	17	13	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.0043	10.7395	0.0013	0.0015	0.0008	0.0007	0.307737	0.340701	0.197638	0.153924					
29	36	21	25	0	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00378	10.4929	0.0010	0.0012	0.0000	0.0015	0.275116	0.325079	0.012683	0.387122					

時間 (s)	$j_L=$		0.07		m/s	ダムボード付き枝管				突き出し長さLp				26mm Total Q (m <sup>3</sup> )	体積流速 (*10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup> /s)	流量(m <sup>3</sup> )				水の流量分配割合			
	高さ(cm)		No. 2			No. 3		No. 4		Hose1(m <sup>3</sup> )	Hose2(m <sup>3</sup> )	Hose3(m <sup>3</sup> )	Hose4(m <sup>3</sup> )			q1	q2	q3	q4	q1/Q	q2/Q	q3/Q	q4/Q
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4		Hose1(m <sup>3</sup> )	Hose2(m <sup>3</sup> )	Hose3(m <sup>3</sup> )	Hose4(m <sup>3</sup> )	Total Q (m <sup>3</sup> )	q1	q2	q3			q4	$j_G$ (m/s)	q1/Q	q2/Q	q3/Q	q4/Q		
1	49	26	26.5	25.5	29	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00524	10.6904	0.0013	0.0012	0.0014	1.022532	0.243373	0.247916	0.238545	0.270166				
2	49	25	26	26	29.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00521	10.6423	0.0012	0.0013	0.0014	1.505602	0.235436	0.244518	0.244141	0.275905				
3	49	24	25	27	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00519	10.5942	0.0012	0.0013	0.0015	2.016667	0.227427	0.23655	0.254327	0.281696				
4	45	21.5	21	25	29	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00474	10.5411	0.0011	0.0012	0.0014	2.534493	0.224055	0.219137	0.258461	0.298348				
5	45	20.5	20	25	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.0047	10.4364	0.0010	0.0012	0.0015	3.039228	0.216269	0.211302	0.261054	0.311375				
6	42	19.5	19	24.5	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00458	10.9013	0.0010	0.0009	0.0015	3.509612	0.211541	0.206446	0.262625	0.319387				
7	42	18	18	23.5	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00441	10.5086	0.0009	0.0012	0.0015	4.014172	0.203431	0.203484	0.261762	0.331323				
8	42	16	17	23	29.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00423	10.0598	0.0008	0.0009	0.0014	4.512884	0.1902	0.201409	0.267864	0.340527				
9	39	16	17	22	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.0042	10.7732	0.0008	0.0009	0.0015	5.023415	0.191267	0.202539	0.25815	0.348045				
10	35	12.5	13.5	18	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00368	10.5234	0.0006	0.0007	0.0015	6.011502	0.173405	0.186263	0.243304	0.397027				
11	30	9.5	11	14	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00324	10.7851	0.0005	0.0006	0.0015	7.03375	0.153704	0.175624	0.218711	0.451961				
12	26	8	9	10	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00288	11.085	0.0004	0.0005	0.0015	8.034162	0.148027	0.164459	0.180129	0.507385				
27	48	29	27	25	20	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00496	10.3241	0.0014	0.0012	0.0010	0.20314	0.285787	0.266816	0.247401	0.199997				
28	39	26	30	16.5	13	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00423	10.8337	0.0013	0.0015	0.0008	0.3026	0.301732	0.346401	0.195368	0.156499				
29	48	27.5	30	15.5	28	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00496	10.3241	0.0013	0.0015	0.0008	0.508115	0.271523	0.295344	0.157062	0.276071				

時間 (s)	0.07		m/s	ダムボード付き枝管				突き出し長さLp				27mm Total Q (m <sup>3</sup> )	体積流速 (*10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup> /s)	流量(m <sup>3</sup> )				水の流量分配割合							
	高さ(cm)			No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	Hose1(m <sup>3</sup> )	Hose2(m <sup>3</sup> )	Hose3(m <sup>3</sup> )	Hose4(m <sup>3</sup> )			Total Q (m <sup>3</sup> )	q1	q2	q3	q4	j <sub>c</sub> (m/s)	q1/Q	q2/Q	q3/Q	q4/Q		
	No. 1	No. 2																						No. 3	No. 4
1	49	29	25	25.5	25	25	25	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	10.45	0.0014	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.276581	0.239815	0.244033	0.23957
2	49	30	25	27	26	26	26	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	10.7866	0.0015	0.0012	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.276866	0.232332	0.249792	0.24101
3	50	30	23.5	25.5	27.5	27.5	27.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	10.4295	0.0015	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.280619	0.221926	0.239623	0.257832
4	48	30	22.5	25	28	28	28	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	10.7658	0.0015	0.0011	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.283178	0.214831	0.237248	0.264743
5	48	30	22.5	25	28	28	28	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	10.7658	0.0015	0.0011	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.283178	0.214831	0.237248	0.264743
6	50	30	21.5	25	30	30	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	10.4295	0.0015	0.0011	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.280619	0.203853	0.235105	0.280424
7	49	30	21	24	30	30	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	10.498	0.0015	0.0010	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.284475	0.202073	0.229174	0.284277
8	47	26.5	20.5	22	29	29	29	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	10.2429	0.0013	0.0010	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.269708	0.211025	0.2253	0.293967
9	45	25	20	21.5	30	30	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	10.5411	0.0012	0.0010	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.258825	0.209203	0.22369	0.308282
10	40	20	16	18	30	30	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	10.3861	0.0010	0.0008	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.238808	0.193493	0.215706	0.351993
11	36	17	14.5	15	30	30	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	10.5584	0.0009	0.0007	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.22382	0.192888	0.19857	0.384722
12	34	14.5	12	14	30	30	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	10.3479	0.0007	0.0006	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.208322	0.174904	0.201134	0.41564
27	37	4.5	30	12	30.5	30.5	30.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	10.3367	0.0003	0.0015	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.068425	0.38268	0.160383	0.388512
28	38	0	25	24	30	30	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	10.3127	0.0000	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.012666	0.313352	0.300826	0.373156
29	49	30	24.5	24.5	25	25	25	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	10.4019	0.0015	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.287168	0.236301	0.235916	0.240677

時間 (s)	$j_L=$		0.07		m/s	ダムボード付き枝管				突き出し長さLp				28mm Total Q (m <sup>3</sup> )	体積流速 (*10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup> /s)	流量(m <sup>3</sup> )				$j_G$ (m/s)	水の流量分配割合				
	No. 1	No. 2	高さ(cm)			No. 3	No. 4	Hose1(m <sup>3</sup> )	Hose2(m <sup>3</sup> )	Hose3(m <sup>3</sup> )	Hose4(m <sup>3</sup> )	Total Q (m <sup>3</sup> )	q1			q2	q3	q4	q1/Q		q2/Q	q3/Q	q4/Q		
			No. 1	No. 2																					
1	47	30	24	22.5	27	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	0.00507	10.7944	0.0015	0.0012	0.0011	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.022532	0.288439	0.232754	0.218435	0.260372
2	46	30	22.5	22	26	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	0.00493	10.7217	0.0015	0.0011	0.0011	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	1.505602	0.296707	0.225094	0.219918	0.258281
3	46	30	22	20.5	27	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	0.00488	10.6193	0.0015	0.0011	0.0010	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	2.016667	0.299569	0.222442	0.20757	0.270419
4	45	30	22	19	27	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	0.00481	10.6982	0.0015	0.0011	0.0009	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	2.534493	0.303968	0.225708	0.195934	0.27439
5	45	30	22	18	26	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	0.00472	10.4887	0.0015	0.0011	0.0009	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	3.039228	0.310037	0.230215	0.189863	0.269885
6	45	30	21.5	17	26	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	0.00465	10.3317	0.0015	0.0011	0.0008	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	3.509612	0.314751	0.228647	0.182614	0.273988
7	44	30.5	22.5	17	25	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	0.00467	10.62	0.0015	0.0011	0.0008	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	4.014172	0.318206	0.237579	0.181693	0.262522
8	45	30	22	17	25	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	0.00463	10.2793	0.0015	0.0011	0.0008	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	4.512884	0.316354	0.234906	0.183544	0.265196
9	47	30	23.5	18	27	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	0.00484	10.2931	0.0015	0.0012	0.0009	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	5.023415	0.302487	0.23922	0.185239	0.273053
10	48	29	24	20	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	0.00505	10.5204	0.0014	0.0012	0.0010	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	6.011502	0.280453	0.23384	0.196124	0.289583
11	45	27.5	23.5	19.5	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	0.00493	10.96	0.0013	0.0012	0.0010	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	7.03375	0.27282	0.234649	0.196032	0.2965
12	45	25	22	19	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	0.00472	10.4887	0.0012	0.0011	0.0009	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	8.034162	0.260117	0.230215	0.199847	0.309821
27	29	1	28	3.5	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	0.00314	10.832	0.0001	0.0014	0.0002	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.20314	0.030803	0.435919	0.067757	0.465522
28	40	7	29.5	30	18	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	0.00418	10.445	0.0004	0.0014	0.0015	0.0009	0.0009	0.0009	0.3026	0.090834	0.344669	0.349838	0.214659	
29	38	0	26	23	29.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	4.9873E-05	0.0039	10.2507	0.0000	0.0013	0.0011	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.508115	0.012743	0.327345	0.290548	0.369364

時間 (s)	$j_L=$		0.07		m/s	ダムボード付き枝管				突き出し長さLp				29mm Total Q (m <sup>3</sup> )	体積流速 (*10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup> /s)	流量(m <sup>3</sup> )				$j_G$ (m/s)	水の流量分配割合			
	No.1	No.2	高さ(cm)			No.3	No.4	Hose1(m <sup>3</sup> )	Hose2(m <sup>3</sup> )	Hose3(m <sup>3</sup> )	Hose4(m <sup>3</sup> )	q1	q2			q3	q4	q1/Q	q2/Q		q3/Q	q4/Q		
			No.1	No.2																				
1	44	30	22	20	20	22	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00463	10.5129	0.0015	0.0011	0.0010	0.0011	0.019089	0.316354	0.234906	0.214106	0.234634			
2	44	30.5	23	18	18	23	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00465	10.5665	0.0015	0.0011	0.0009	0.0011	1.503741	0.319819	0.243851	0.19275	0.243581			
3	43	30	22	16.5	16.5	22.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00448	10.4286	0.0015	0.0011	0.0008	0.0011	2.020518	0.326328	0.242311	0.184076	0.247285			
4	42	31	22	16	16	23	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00453	10.7891	0.0015	0.0011	0.0008	0.0011	2.507192	0.333333	0.239791	0.176962	0.249913			
5	42	31	21.5	15	15	22	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00441	10.5086	0.0015	0.0011	0.0008	0.0011	3.028051	0.342231	0.240853	0.171009	0.245907			
6	40	31	21	14.5	14.5	21	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00432	10.7984	0.0015	0.0010	0.0007	0.0010	3.511538	0.349698	0.240654	0.169285	0.240363			
7	41	31	21.5	15	15	20.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00434	10.5925	0.0015	0.0011	0.0008	0.0010	4.012943	0.347801	0.244774	0.173792	0.233634			
8	39	31	21	14	14	20	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00425	10.8941	0.0015	0.0010	0.0007	0.0010	4.521135	0.355516	0.244658	0.166556	0.23327			
9	39	30	21	15	15	19	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.0042	10.7732	0.0015	0.0010	0.0008	0.0009	5.009223	0.348288	0.247402	0.17964	0.224671			
10	43	30.5	22	16.5	16.5	21	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00444	10.319	0.0015	0.0011	0.0008	0.0010	6.007485	0.335103	0.244885	0.186031	0.233981			
11	43	30.5	22.5	17	17	23.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.0046	10.7026	0.0015	0.0011	0.0008	0.0012	7.035565	0.323094	0.241228	0.184484	0.251195			
12	45	30	23	17.5	17.5	25	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.0047	10.4364	0.0015	0.0011	0.0009	0.0012	8.036759	0.311593	0.241404	0.185798	0.261205			
27	32	0	31	3.5	3.5	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00324	10.111	0.0000	0.0015	0.0002	0.0015	0.201234	0.015341	0.466914	0.065783	0.451961			
28	39	0	28.5	27.5	27.5	30	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00425	10.8941	0.0000	0.0014	0.0013	0.0015	0.305104	0.011683	0.327843	0.31629	0.344184			
29	40	0	29	24	24	31	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.00415	10.3861	0.0000	0.0014	0.0012	0.0015	0.507214	0.011948	0.340952	0.283764	0.363336			

時間 (s)	0.07		m/s	ダムボード付き枝管		突き出し長さLp			30mm			体積流速 (*10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup> /s)	流量(m <sup>3</sup> )			Jc (m/s)	水の流量分配割合			
	高さ(cm)			Hose1(m <sup>3</sup> )	Hose2(m <sup>3</sup> )	Hose3(m <sup>3</sup> )	Hose4(m <sup>3</sup> )	Total Q (m <sup>3</sup> )	q1	q2	q3		q4	q1/Q	q2/Q		q3/Q	q4/Q		
	No. 1	No. 2																	No. 3	No. 4
1	38	0	30	22.5	26.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.003918823	10.3127	0.0000	0.0015	0.0011	0.0013	1.020608	0.012666	0.373477	0.282788	0.331069
2	39	30	21	17	17	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.004201566	10.7732	0.0015	0.0010	0.0008	0.0008	1.514396	0.348288	0.247402	0.202071	0.202239
3	39	30	20	15	17	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.004060194	10.4108	0.0015	0.0010	0.0008	0.0008	1.995285	0.360415	0.24441	0.185894	0.209281
4	39	30.5	20.5	15	17	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.004107318	10.5316	0.0015	0.0010	0.0008	0.0008	2.495203	0.362016	0.247342	0.183762	0.206688
5	38	30	20	14	15	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.003918823	10.3127	0.0015	0.0010	0.0007	0.0008	3.021959	0.373417	0.253227	0.180576	0.192781
6	37	30.5	19.5	14	15	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.003918823	10.5914	0.0015	0.0010	0.0007	0.0008	3.507176	0.379429	0.247214	0.180576	0.192781
7	37	30	19.5	14	14.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.003871699	10.4641	0.0015	0.0010	0.0007	0.0007	4.007264	0.377962	0.250223	0.182773	0.189042
8	36	30	19	14.5	14	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.003848137	10.6893	0.0015	0.0009	0.0007	0.0007	4.507494	0.380276	0.245632	0.190016	0.184076
9	37	31	20.5	15	15	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.004036632	10.9098	0.0015	0.0010	0.0008	0.0008	5.013964	0.374193	0.251673	0.18698	0.187155
10	38	30	20	15.5	16	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.004036632	10.6227	0.0015	0.0010	0.0008	0.0008	6.010088	0.362518	0.245836	0.192817	0.198829
11	38	30	20	16	17	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.004107318	10.8087	0.0015	0.0010	0.0008	0.0008	7.030968	0.35628	0.241605	0.195235	0.206688
12	40	30.5	20	16.5	18	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.004201566	10.5039	0.0015	0.0010	0.0008	0.0009	8.019525	0.353896	0.236186	0.196463	0.213455
27	29	0	0	25	33	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.002929221	10.1008	0.0000	0.0000	0.0012	0.0016	0.203214	0.016946	0.017026	0.418544	0.547485
28	32	5	4.5	25.5	31	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.003306212	10.3319	0.0003	0.0003	0.0012	0.0015	0.30145	0.086279	0.079224	0.377946	0.456552
29	39	0	30	24	27.5	4.96372E-05	4.9873E-05	4.7909E-05	4.86161E-05	0.004036632	10.3503	0.0000	0.0015	0.0012	0.0013	0.516393	0.012297	0.362577	0.292046	0.33308