

第1回 更生管の曲管シワ部における 水理実験（前編）

官民連携新技術研究開発事業の概要

本協会では、農林水産省が実施する「官民連携新技術研究開発事業」の認定を受け、平成22年度から24年度にかけて、研究開発課題「管路更生工法の性能規定化における照査技術の開発」として、農業分野特有の要求性能や施工条件などを考慮した適切な管路更生工法の選択と対策工事等の品質向上を図るべく、管路更生工法によってパイプラインの性能を確保するために保有すべき材料・工法の性能と照査可能な性能項目を規定し、評価試験の標準化や工法横断的な評価などを通じて照査技術の開発を行うとともに、施工環境に応じた施工管理方法を確立することとした。

研究開発の内容

(1) 管路更生工法の要求性能の検討 (2) 管路更生工法の照査技術の開発 (3) 管路更生工法の設計手法の検討 (4) 管路更生工法の施工管理・品質管理基準の検討

実施の枠組み

1. 事業実施主体と試験研究機関

官民連携事業の実施にあたっては、本協会を代表幹事とした新技術研究開発組合を5つの企業とともに設立し、三重大学、島根大学、神戸大学の各試験研究機関との共同研究により行った。また、本研究開発では、工法横断的な性能評価試験を実施し、体系的な技術情報の整備を図る目的から、本協会の特別会員（工法協会）、および正会員とも研究協力の連携をした。

2. 構造設計上の分類と対象工法

管路更生工法は、既設管路と更生管路の構造の一体性から、「単独管構造」、「複合管構造」に構造分類され、また既設管路の構造的な耐荷力評価と更生管路の要求する性能項目の関係性から「自立管」、「二層構造管」、「複合管」に機能分類される。まず最初のステップとして更生管の材料特性に対して品質のバラツキや長期特性等に関する体系的な整備が必要である。このため、本研究開発では、構造設計上の分類として、現時点では単独管構造、複合管構造ごとに現行設計基準「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計『パイプライン』平成21年3月」に準じた性能規定化を図ることとした。

本研究開発で用いる工法は、上記を踏まえ、単独管構造7工法（13材料）、複合管構造5工法を対象とし、工法横断的な評価試験を実施することとした。

分会

官民連携事業ではいくつかの実験を行うため、テーマ毎に下記の分会を設置し活動した。

単独管：水理分会 内外圧分会 材料長期分会 施工分会

複合管：内外圧分会 材料長期分会 施工分会

本号より、連載企画として、本研究開発事業における実験等の概要を分会ごとに報告する。本号と次号で、単独管・水理分会で実施した「更生管の曲管シワ部における水理実験」の概要を報告する。なお、官民連携事業の詳細については、本誌18号 Close Up「官民連携事業による農業用パイプラインにおける管路更生工法の適用への取り組み」を参照願いたい。

更生管の曲管シワ部における水理実験（前編）

1. 実験目的

単独管構造の更生工法を曲管部に施工すると、シワが発生する場合がある。管路内にシワが発生すると、流水阻害となるため流下能力に影響を与える事が予想される。

本実験では、曲管部に発生したシワが、流下能力にどのような影響を与えるかを確認するため、シワを模した管路による水理実験を行い、シワ曲管部における損失係数等を明らかにすることを目的とする。

また、シワ曲管部での流況及び流下物への影響も目視により観察を行う。

2. 実験概要

(1) 模擬管路

【管路諸元】

管径：300mm = 0.3m

曲管部形状：90°、45°、22.5°

直管部管種：塩ビ管（VU）、透明アクリル管

曲管部管種：透明アクリル管

(2) 測定方法

模擬管路において、曲管部の上下流のピエゾメーターにより動水位を測定し、動水位差に基づき損失係数を算定する。（ピエゾメーター設置位置は図3参照）

流況観察では、染料等を投入し、シワがない場合とシワがある場合の流況の違いを写真及びビデオで記録する。

(3) 実験条件

実験流速は、「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計パイプライン」での設計流速範囲と精度検証を考慮し、下記の5流速とする。

実験流速：0.3m/s、0.8m/s、1.2m/s、1.6m/s、2.0m/s

表1 流速とレイノルズ数の関係（φ300mm）

流速 V(m/s)	管径 D(m)	動粘性係数 ν (m ² /s) at15°C	レイノルズ数 Re	水理領域
0.3	0.3	1.15×10^{-6}	0.79×10^5	$\approx 10^5$ 十分に発達した乱流領域
0.8	0.3	1.15×10^{-6}	2.09×10^5	$\geq 10^5$ 同上
1.2	0.3	1.15×10^{-6}	3.14×10^5	$\geq 10^5$ 同上
1.6	0.3	1.15×10^{-6}	4.19×10^5	$\geq 10^5$ 同上
2.0	0.3	1.15×10^{-6}	5.24×10^5	$\geq 10^5$ 同上

3. シワのパターン及びシワ高さ

シワの実験条件は、「老朽管の更生方法に関する模擬管路実験報告書」*結果でのシワ高とシワ間隔の分布状況（図2）を踏まえ、分布範囲全体を包括するように表2のとおり設定する。

表2 シワ形状の実験ケース

シワ高さ	全周シワ			半周シワ		
	分散 (100mm)	集中 (50mm)	密集 (25mm)	分散 (100mm)	集中 (50mm)	密集 (25mm)
30mm	○	○	/	○	○	/
15mm	/	○	○	/	○	○

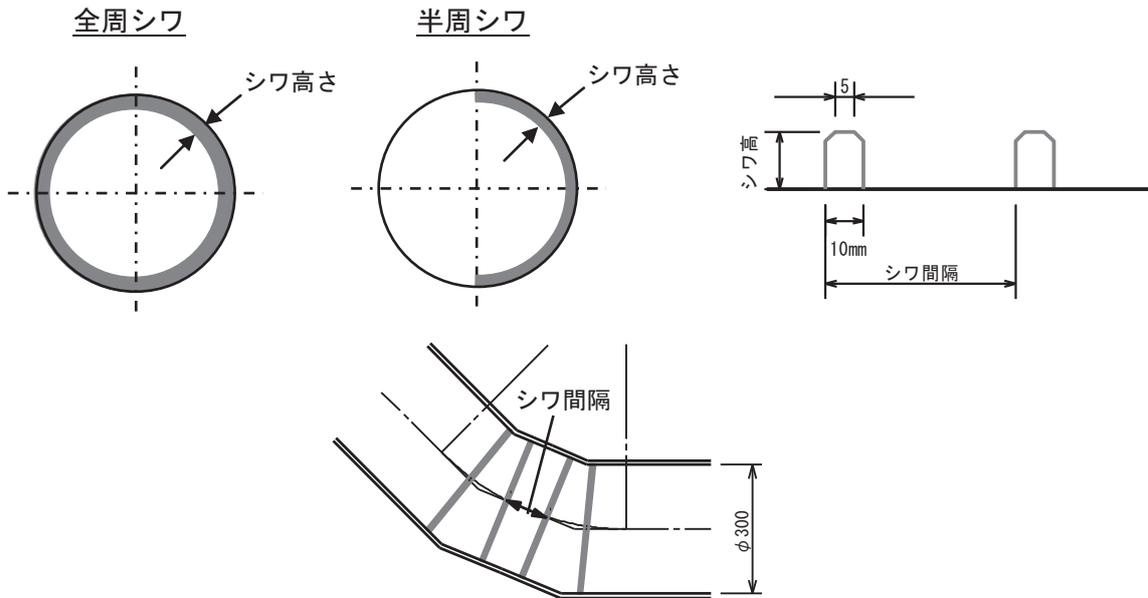
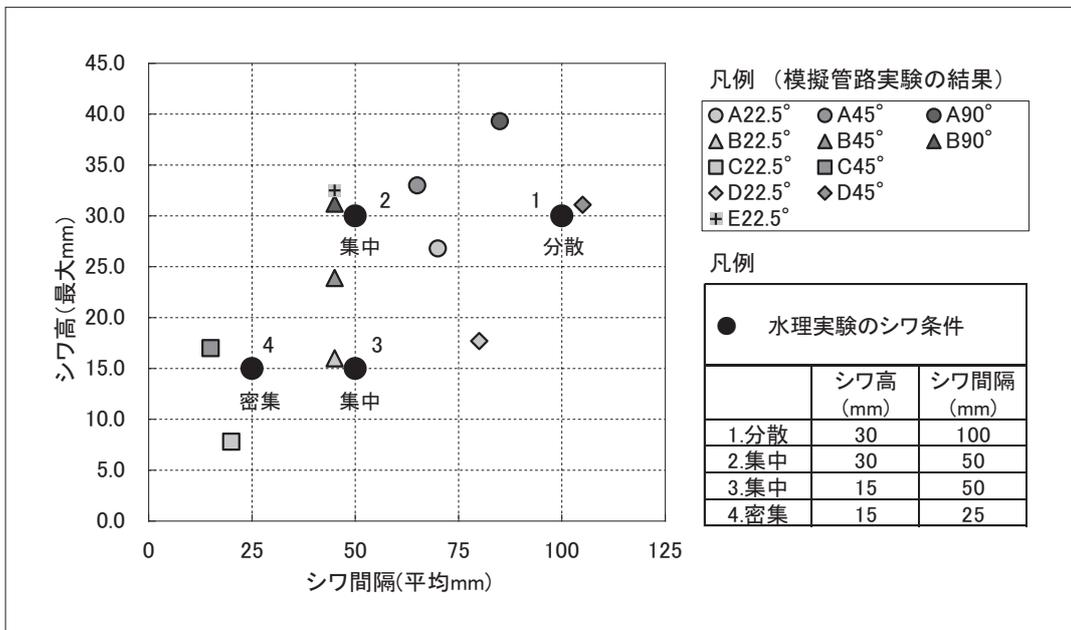
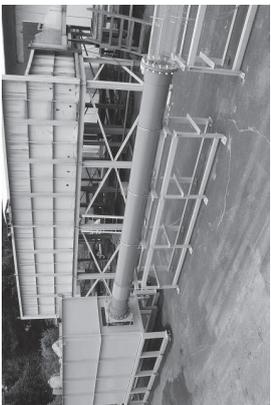


図1 シワのパターン

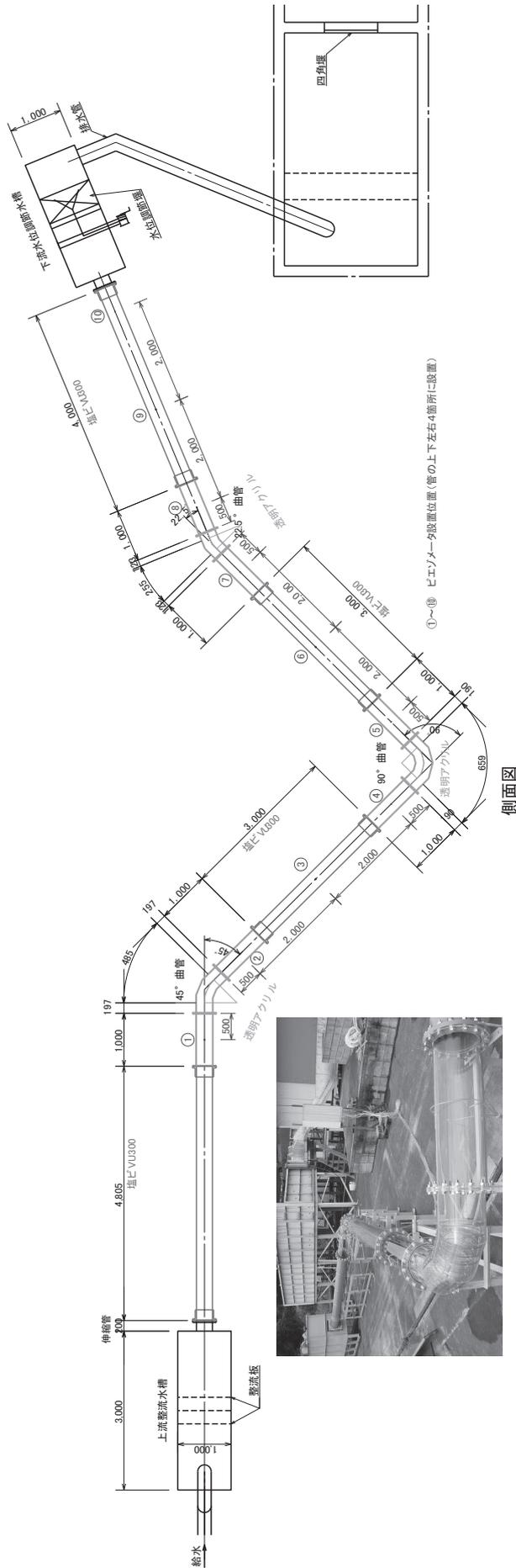


図は、「老朽管の更生方法に関する模擬管路実験報告書」のシワ発生状況写真から読み取り、整理した。

図2 シワ高とシワ間隔の分布状況と実験諸元



平面図



側面図

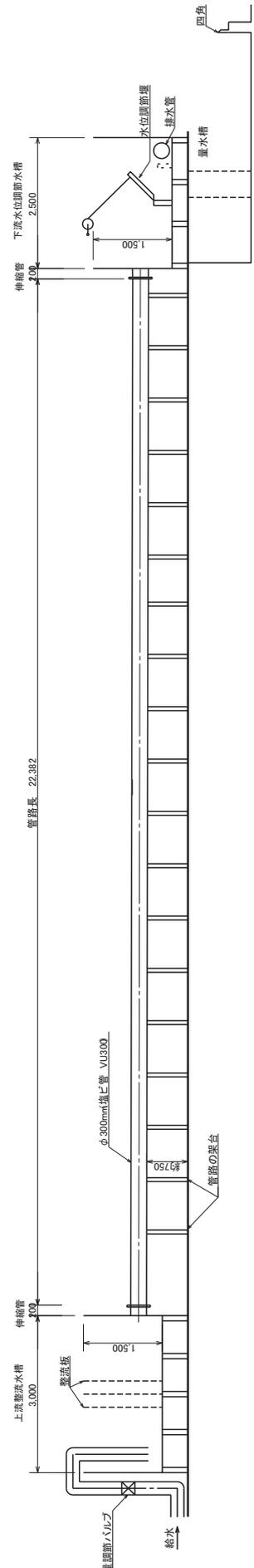


図3 更生管の曲管シワ部における水理実験 施設概要図

4. 曲管におけるシワによる損失係数の解析

4. 1 損失係数の定義

$$h_{\ell} = h_f + h_r + h_w$$
$$= f' \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} + f_r \frac{v^2}{2g} + f_w \frac{v^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (式1)$$

ここに、 h_{ℓ} ：曲管を含む任意区間の管路の損失水頭、 h_f ：管の摩擦損失水頭、 h_r ：多節屈折（曲管）による損失水頭、 h_w ：シワによる損失水頭、 f' ：管の摩擦損失係数、 L ：曲管を含む任意区間の管路長、 D ：管の内径、 v ：管内流速、 f_r ：多節屈折による損失係数、 f_w ：シワによる損失係数

4. 2 シワによる損失水頭及び損失係数の算定方法

曲管を含む任意区間の管路の損失水頭から、摩擦による損失水頭と多節屈折による損失水頭を除外してシワのみによる損失水頭及び損失係数を以下のとおり算定する。

式1より、

シワによる損失水頭は、

$$h_w = h_{\ell} - (h_f + h_r) \quad \dots\dots\dots (式2)$$

シワによる損失係数は

$$f_w = \frac{h_w}{V^2/2g} \quad \dots\dots\dots (式3)$$

式2の右辺の各項は以下のとおり算定する。

① h_{ℓ} は、本検討の動水位測定結果に基づき算定

$$h_{\ell} = (P_1 + \frac{V_1^2}{2g}) - (P_2 + f_w \frac{V_2^2}{2g}) \quad \dots\dots\dots (式4)$$

ここに、 P_1 ：曲管上流側の動水位実験値、 P_2 ：曲管下流側の動水位実験値、 v_1 ：曲管上流側の管内流速、 v_2 ：曲管下流側の管内流速

② h_f は、樹脂管の粗度係数の既往値に基づき算定

$$f' = \frac{8gn^2}{(D/4)^{1/3}} \quad \dots\dots\dots (式5)$$

$$h_f = f' \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (式6)$$

ここに、 n ：マンニングの粗度係数（塩ビ管 $n = 0.009$ 、アクリル管 $n = 0.008$ を適用）

③ h_r は、本検討のシワなしでの動水位測定結果に基づき算定

$$h_r = (P_1' + \frac{v_1^2}{2g}) - (P_2' + \frac{v_2^2}{2g}) \quad \dots\dots\dots (式7)$$

ここに、 P_1' ：シワなしでの曲管上流側の動水位実験値、 P_2' ：シワなしでの曲管下流側の動水位実験値

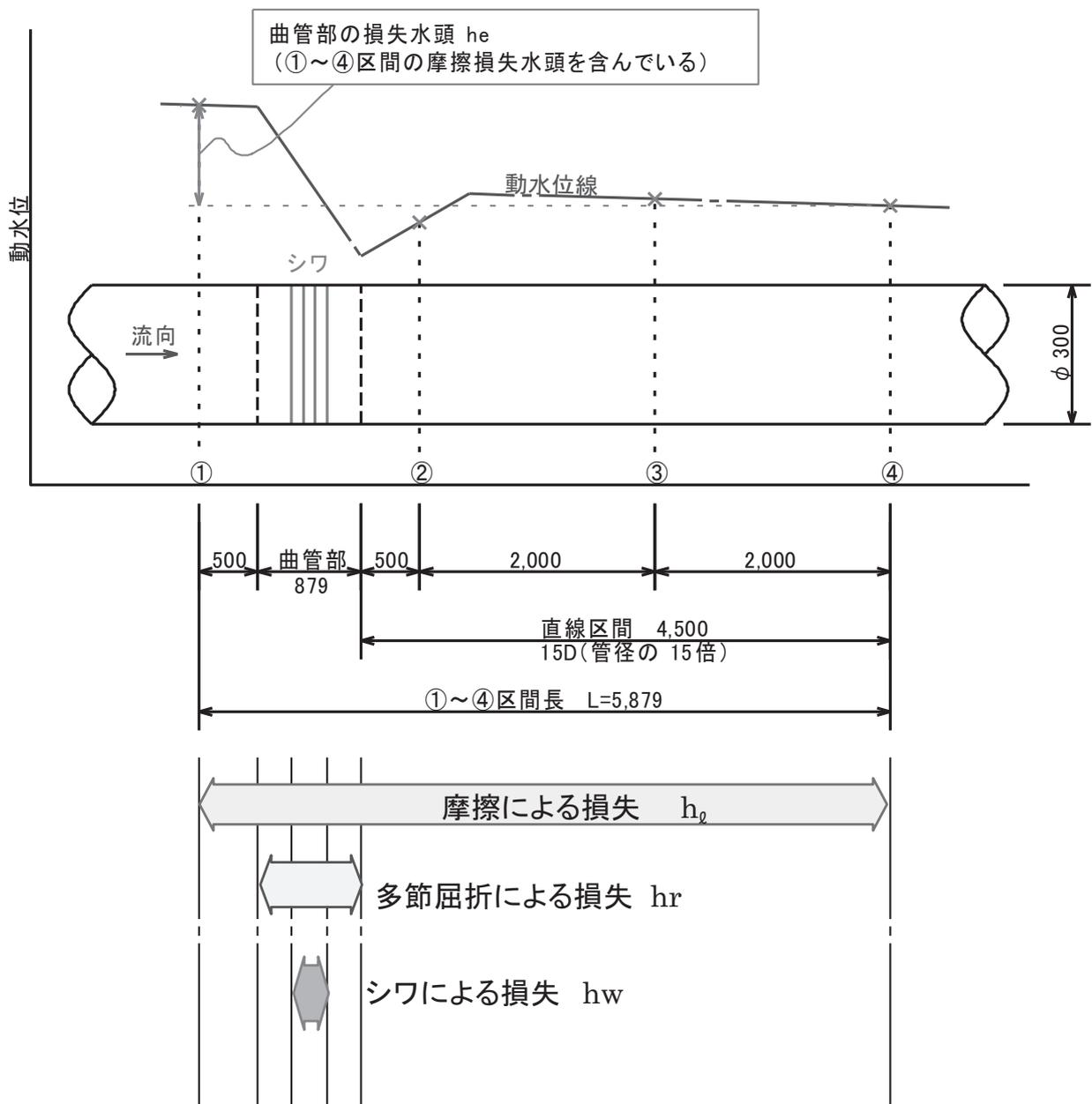
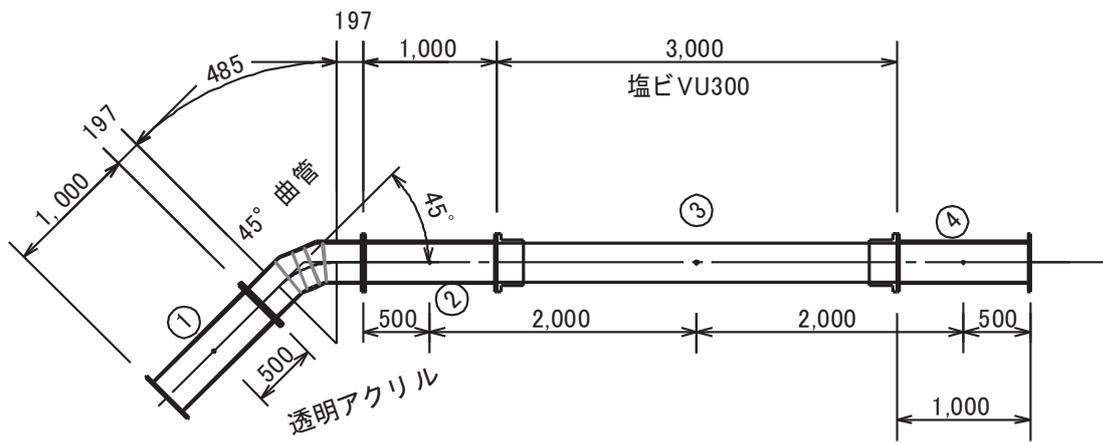


図4 曲管部の損失水頭

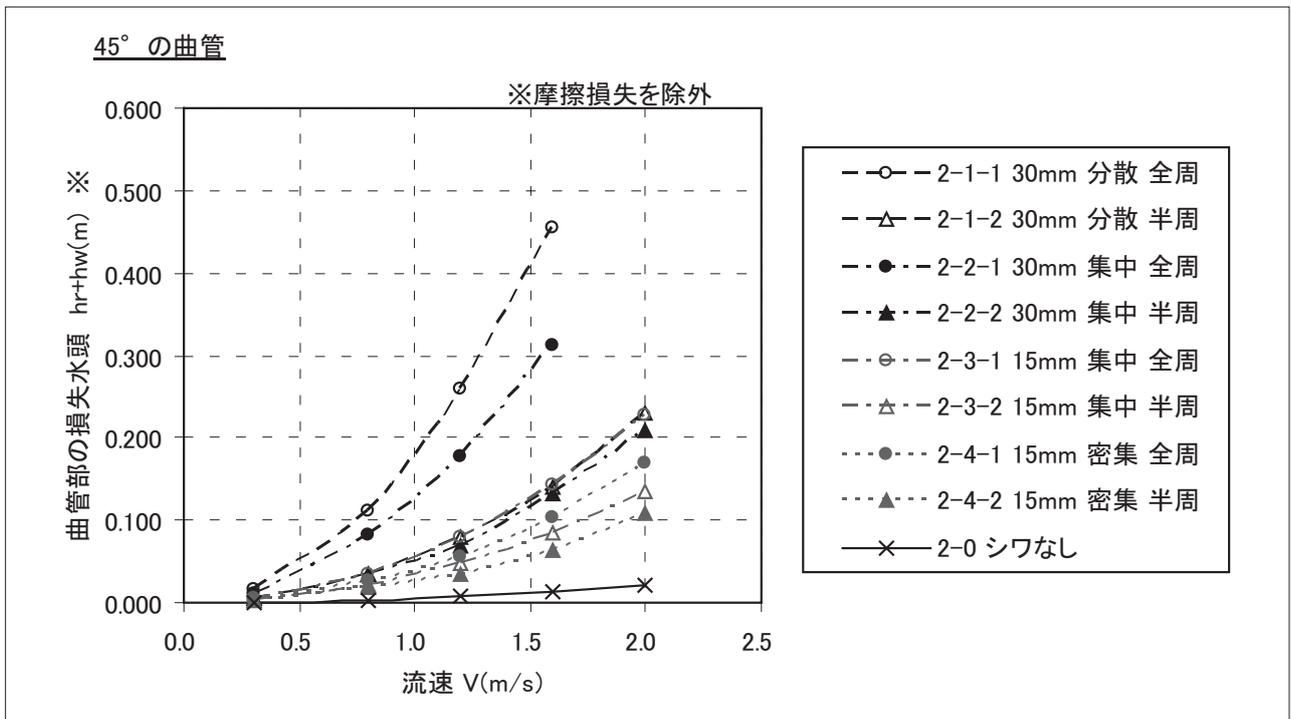


図5 曲管部の損失水頭 h_r+h_w ※摩擦損失を除外

流速の増加に伴い二次曲線的に損失水頭が増加
↓
損失水頭は、速度水頭 $v^2/2g$ に比例

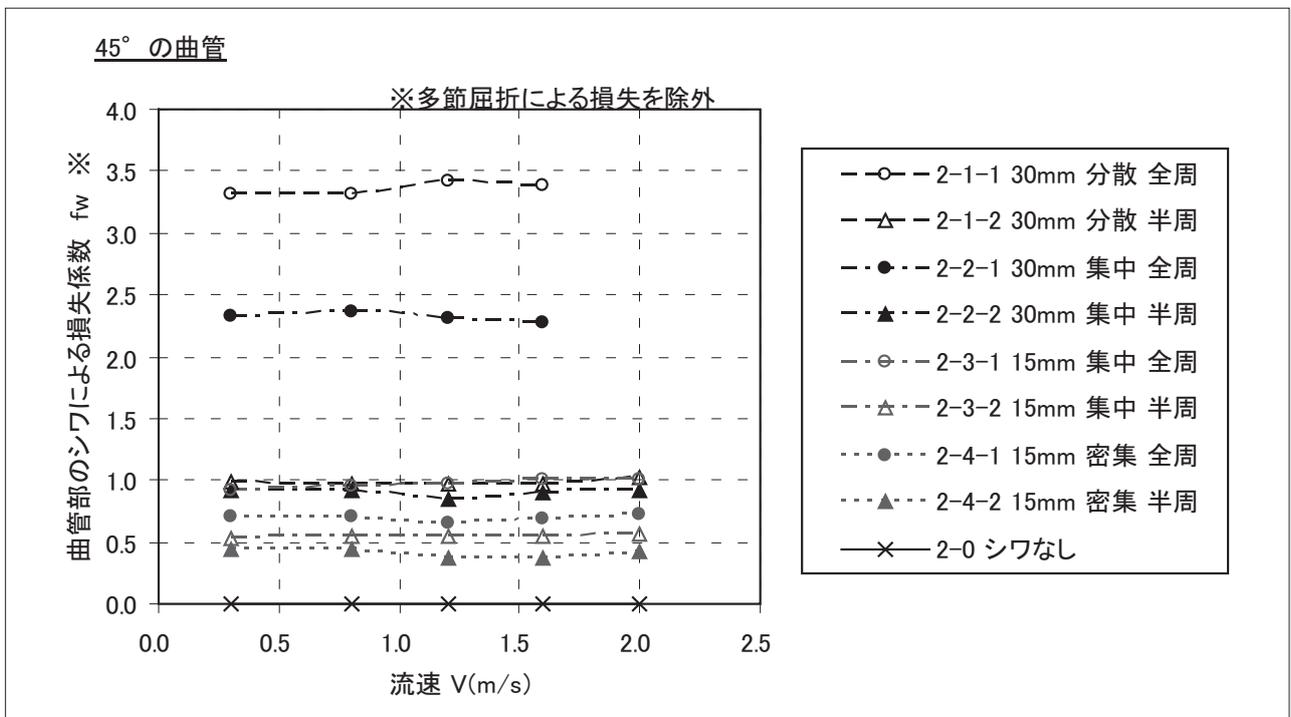


図6 曲管部のシワによる損失係数 f_w ※多節屈折による損失を除外

損失係数は流速に関わらずほぼ一定

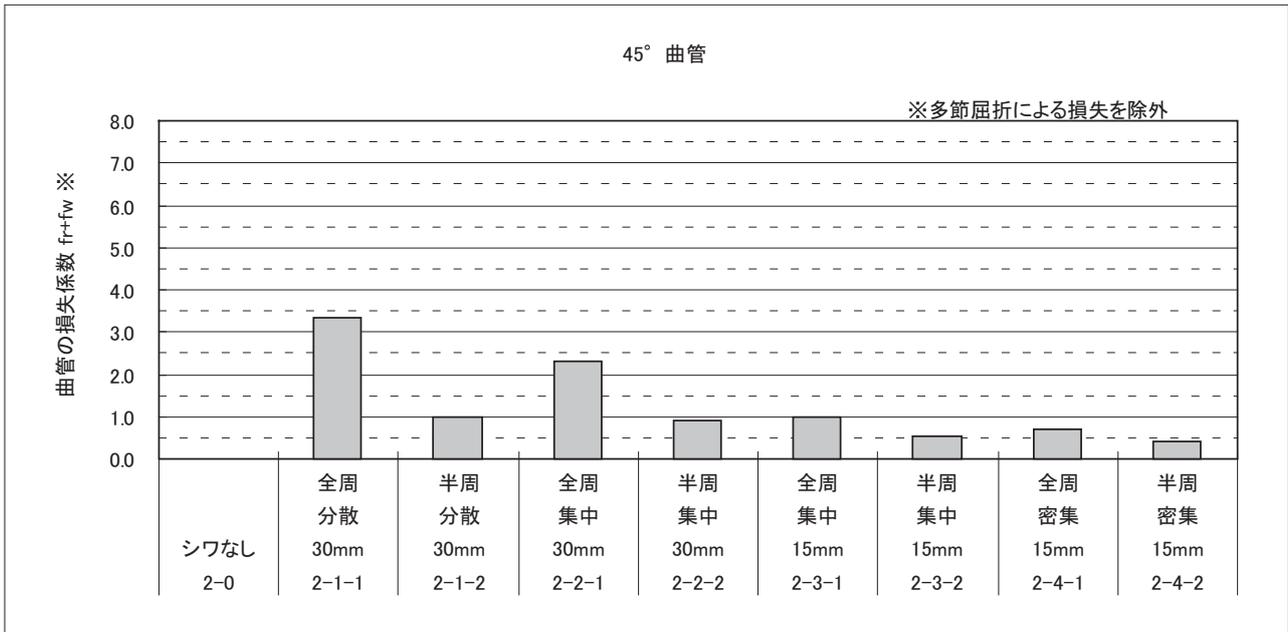


図7 曲管のシワによる損失係数fw

曲管のみの損失係数（シワなし）に比べてシワ発生時の損失係数は顕著に大きい
 全周シワでの損失係数が特に大きい、半周シワでは、全周シワの1/2から1/3に低下する
 シワ高が大きい方が損失係数が大きい
 シワ間隔が狭まると損失係数が低下する傾向

4. 2 解析結果の考察

(1) シワなしの多節屈折管の損失係数

本実験によるシワなしの多節屈折管の損失係数は、90°曲管で $f_r=0.263$ 、45°で0.109、22.5°で0.075であり、ほぼ既往の実験で検証されている値の範囲内となっている。

本実験では、施設の制約から、整流区間長を下流15D程度としており、理想的な整流区間長（30D）まで確保しておらず、既往実験に対して精度的に劣ると思われるが、概ね妥当な値が得られている。

表 既往の損失係数の値との比較

	90° (3屈折)	45° (2屈折)	22.5° (単屈折)
W.Schubartの(粗い管の)実験 $f=0.0241, k/D=0.002$	0.347 ($a/D=1.23$)	0.284 ($a/D=1.17$)	
W.Schubartの(滑らかな管の)実験 $f=0.0172, k/D=0.0002$	0.195 ($a/D=1.23$)	0.112 ($a/D=1.17$)	
旧標準設計による計算値 ※単屈折の局所損失係数×屈折数	0.372	0.148	0.074
農工研実験(H13年度) $f=0.0194 \sim 0.0171, k/D=0.0004$	0.238 (±0.032) ($a/D=0.81$)	0.148 (±0.035) ($a/D=0.95$)	
本実験(D=0.3m、アクリル管) $f=0.012$	0.263 ($a/D=0.73$)	0.109 ($a/D=0.81$)	0.075

(2) シワによる損失係数

- 全周シワのケースは、傾向を把握するため、極端な実験条件として設定したものであるが、90°曲管で、シワ高30mm、シワ間隔100mmでのシワによる損失係数は $f_w=6$ となり、非常に大きな損失が生じる。(既往の施工実験結果としては、内周側に半周程度のシワのパターンが多い)
- シワ間隔100mm、50mm、25mmのケースの比較では、シワ間隔が大きいほど損失係数が大きくなる。
- シワが内周側に半周生じた場合の損失係数は、全周シワの場合の1/2から1/3に低下する。
- シワ高が管径の1割で半周シワの場合、シワによる損失係数は、90°曲管で $f_w=1.5$ 程度、45°で $f_w=1.0$ 程度、22.5°で $f_w=0.5$ 程度となる。

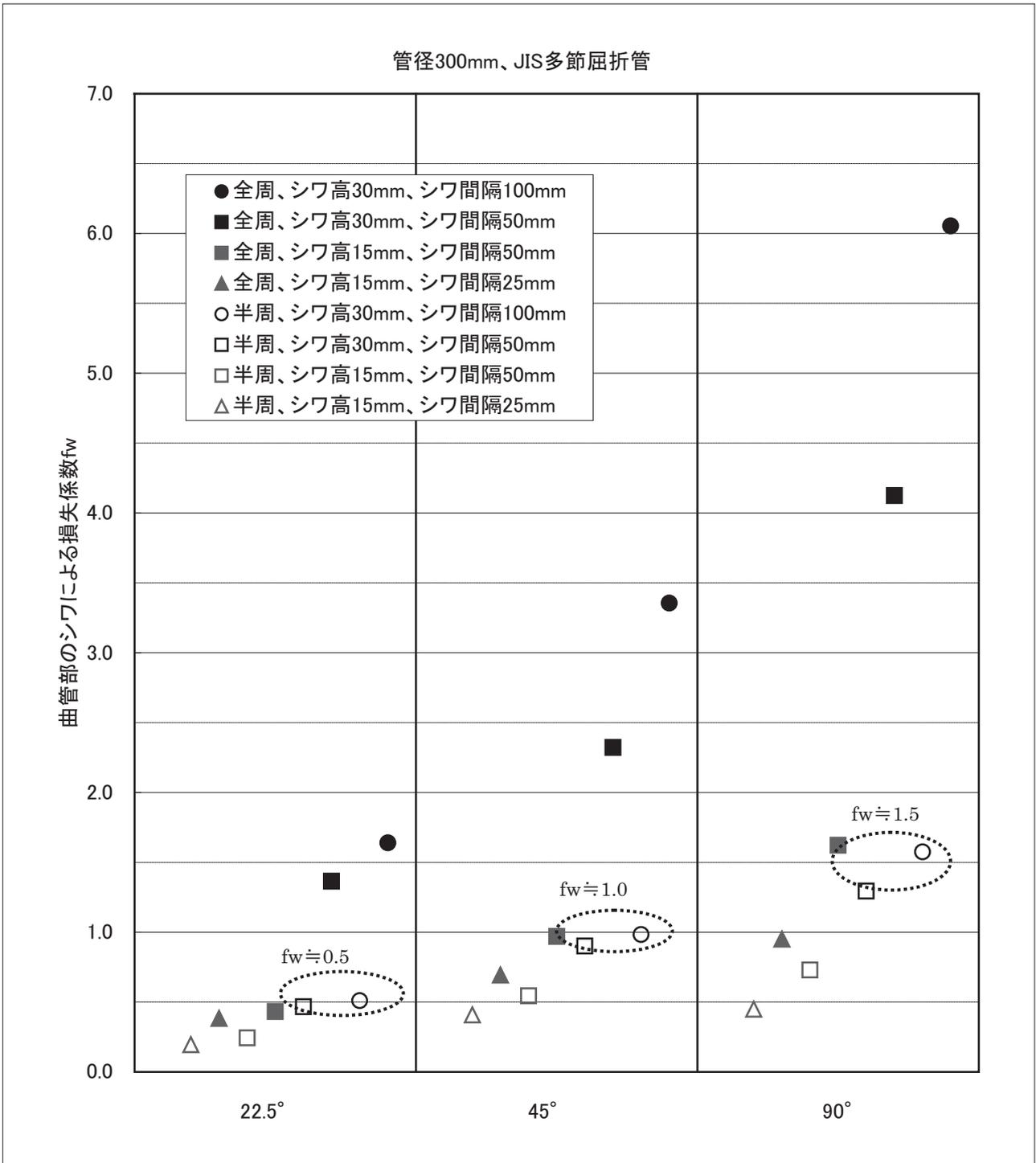


図8 曲管部のシワによる損失係数 f_w

4. 3 シワによる損失係数の一般化

(1) シワ条件とシワによる損失係数の関係

「シワによる損失係数 f_w 」を支配する主なパラメータは、今回の実験で設定したパラメータのとおり、①シワ高 d (シワ高管径比 d/D)、②曲管角度 θ 、③シワの間隔 s 、④シワの周長 ℓ の4つと考えられ、以下のとおり表記できる。

$$f_w = F (d/D, \theta, s, \ell) \quad \dots\dots\dots (式 8)$$

ここに、 d/D ：シワ高管径比、 θ ：曲管角度、 s ：シワの間隔、 ℓ ：シワの周長

シワ条件とシワによる損失係数の関係を図9～図12に示す。

(2) シワによる損失係数の概略推定式

既往の施工実験の状況から、シワの周長は、半周程度の場合が多いことから、ここでは、シワの周長が半周の場合での、シワによる損失係数の概略推定式を作成した。

図9及び図11、12のシワ条件とシワによる損失係数の関係に基づき、曲管角度ごとに推定式を示す。

$$f_w = K \{ \alpha (d/D)^2 + \beta (d/D) \} \quad \dots\dots\dots (式 9)$$

$$s/D \geq 50/300 \text{ のとき } K = \frac{\gamma (s/D) + \delta}{\gamma (50/300) + \delta}$$

$$s/D < 50/300 \text{ のとき } K = \frac{\gamma' (s/D) + \delta'}{\gamma' (50/300) + \delta'}$$

ここに、 K ：シワ間隔補正係数、 $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \gamma', \delta'$ ：定数、 d/D ：シワ高管径比、 s/D ：シワ間隔管径比

※推定式の適用シワ条件 (シワ高径比 $d/D \leq 0.1$ 、シワ間隔管径比 $0.083 < s/D \leq 0.333$)

表 シワによる損失係数推定式の定数 (半周シワに適用)

	α	β	γ	δ	γ'	δ'
90° 曲管	-33.165	16.257	1.6835	1.0135	3.373	0.1678
45° 曲管	-37.45	12.752	0.4950	0.8182	1.6272	0.2728
22.5° 曲管	-3.9644	5.0667	0.2560	0.4239	0.5794	0.1469

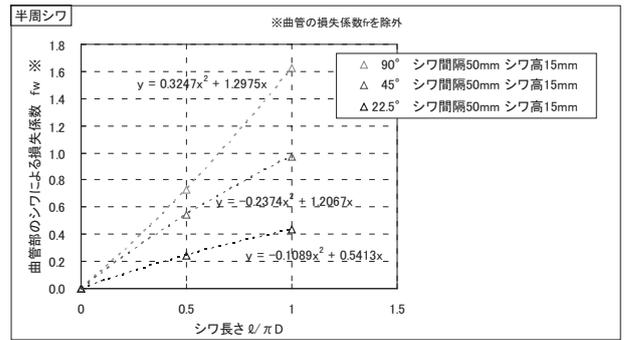
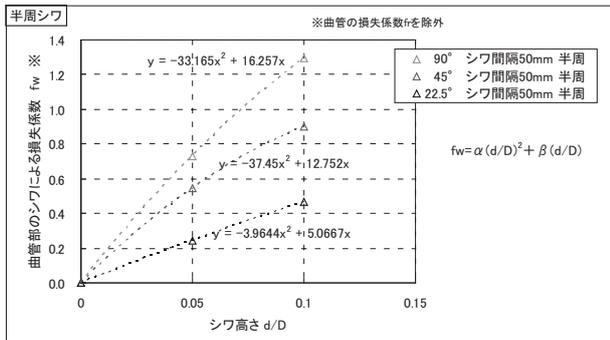
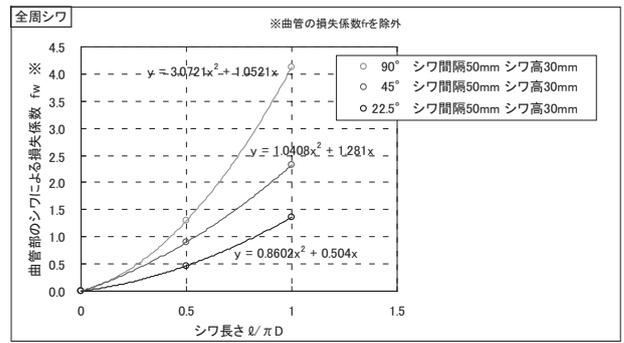
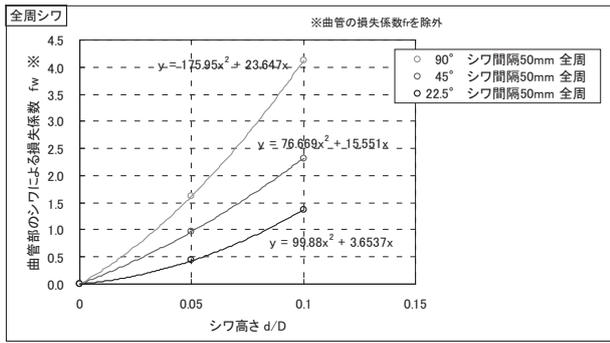


図9 シワ高さ と損失係数の関係

図10 シワ長さ (周長) と損失係数の関係

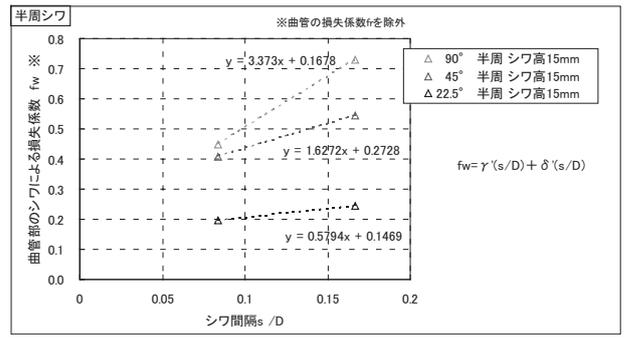
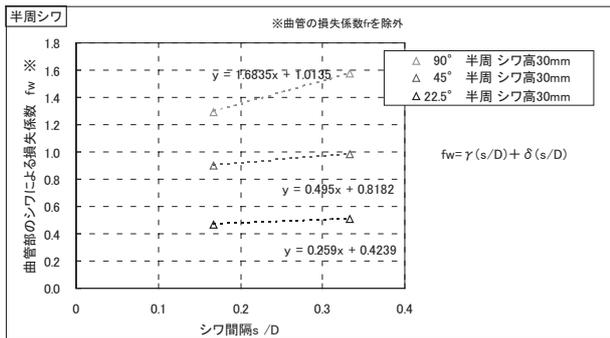
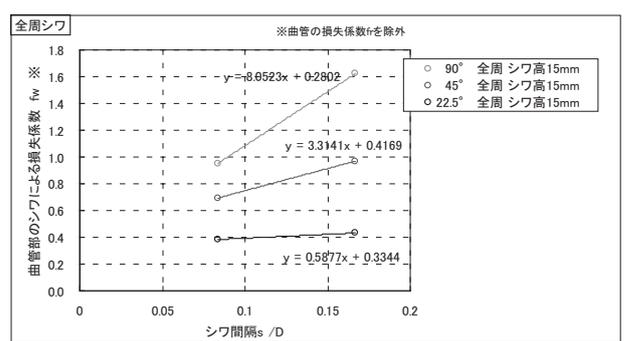
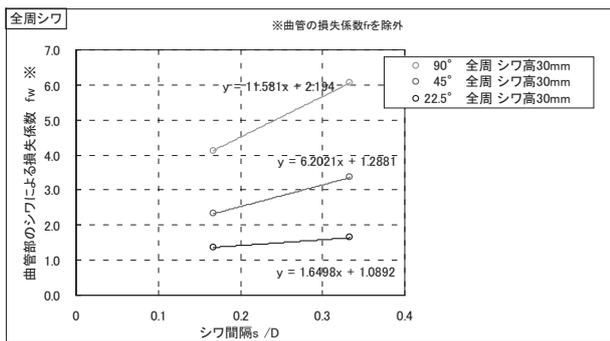


図11 シワ間隔と損失係数の関係 (シワ高30mm)

図12 シワ間隔と損失係数の関係 (シワ高15mm)

4. 3 流況観察

曲管部では、シワがない場合でも二次流が卓越し、曲管通過時に流れが拡散し、エネルギー損失の要因となっている。

曲管部にシワがある場合では、シワとシワの間で局所的な渦が卓越し、流れの乱れがさらに顕著になり、エネルギーの損失が生じる。

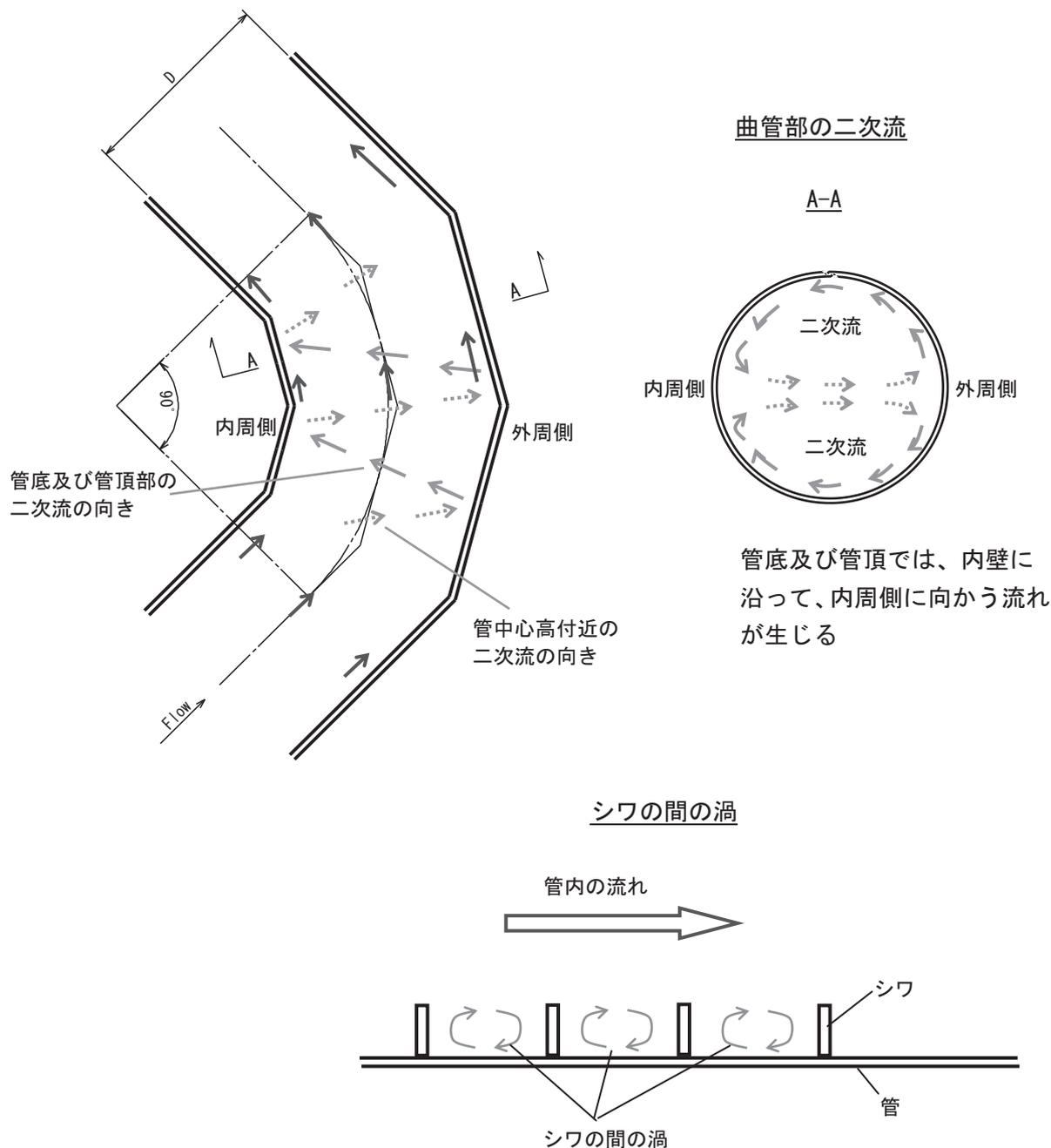


図13 曲管部の二次流とシワの間の渦

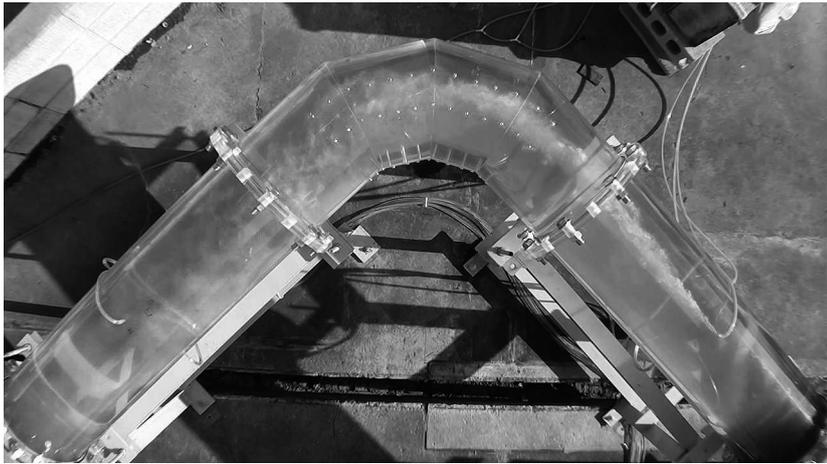
	シワなし Case1-0 (流速1.2m/s)	
管頂に注入		管頂の染料は、曲管下流でやや拡散

写真1 曲管部の流況 (シワなし90°)

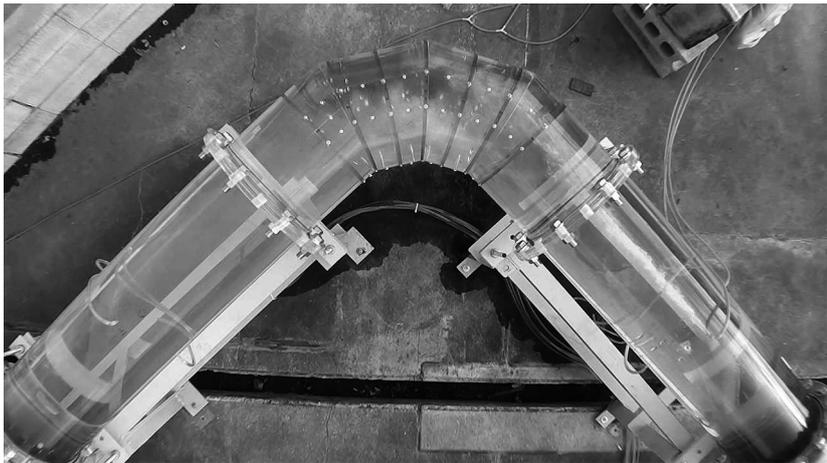
	シワ高30mm、シワ間隔100mm、全周 Case 1-1 (流速1.2m/s)	
管頂に注入		管頂の染料が曲管内周に拡散し、曲管下流では管全体に拡散

写真2 曲管部の流況 (シワ高30mm、90°)

※「老朽管の更生方法に関する模擬管路実験報告書」(独農業・食品産業技術総合研究機構、農村工学研究所施設資源部土質研究室、神戸大学農学部土地環境学研究室 平成18年9月)

【次号予定】

次回は、更生管の曲管シワ部における水理実験(後編)として、土砂掃流実験とまとめを掲載する予定。