

第2回 更生管の曲管シワ部における 水理実験（後編）

官民連携新技術研究開発事業実施報告の第2回として、更生管の曲管シワ部における水理実験（後編）を掲載する。前号で、1. 実験目的、2. 実験概要、3. シワのパターンおよびシワ高さ、4. 曲管におけるシワによる損失係数の解析、を掲載したのにつき、本号では、5. 土砂掃流実験、6. まとめを掲載する。なお、官民連携新技術研究開発事業の概要、内容、枠組み等については、前号21ページを参照願いたい。

更生管の曲管シワ部における水理実験（後編）

5. 土砂掃流実験

5.1 実験方法

流速を段階的に上げながら、シワ区間に敷設した砂の掃流状況を観察した。

透明アクリルの流況観察区間（曲管及び上下流1m直管）に粒径2mmの砂を15mm厚で敷設した。

流速は、0.1m/s、0.2m/s、0.3m/s、0.4m/s、0.5m/s、0.6m/sの6流量を段階的に設定した。

通水は、条件調整2分、安定通水5分を目安として、図14に示すとおり設定した。

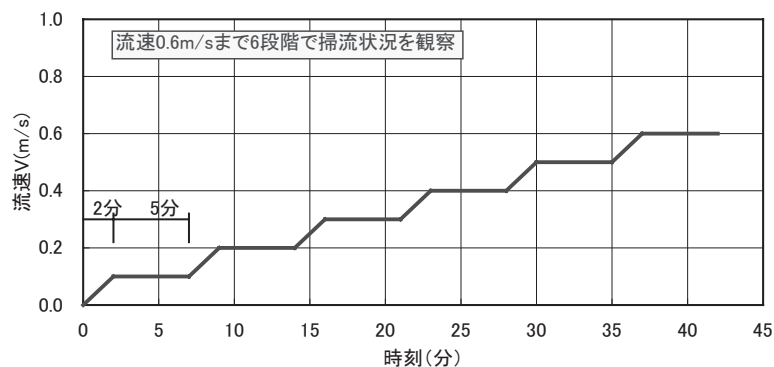


図14 土砂掃流実験の実験方法

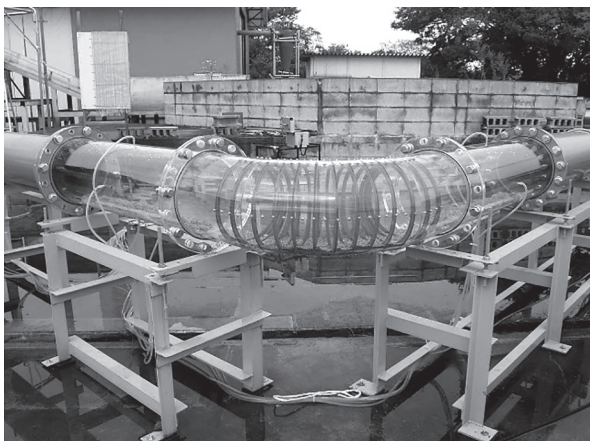
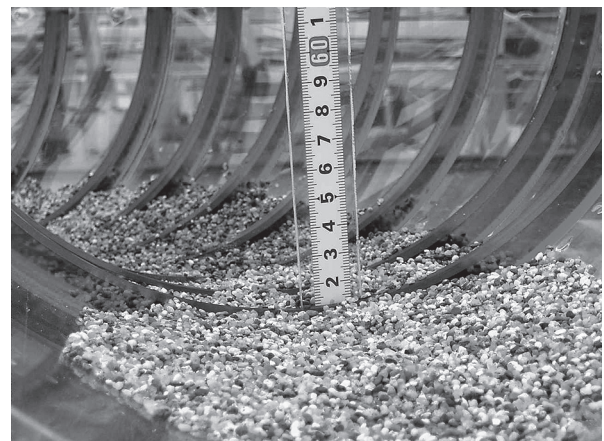


写真3



砂の敷設状況

5. 2 実験結果

掃流力実験結果を表5に示す。

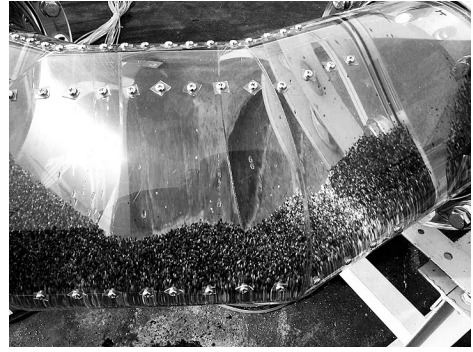
- 実験結果から、敷設した粒径2mmの砂の掃流限界流速（砂の移動が始まる流速）は約0.5m/sである。
- シワなしの曲管部では、流速0.4m/sで活発に砂が移動しており、曲管部では直管部よりも掃流力が大きく、砂が堆積しにくい。
- 曲管部にシワがある場合では、シワの間で砂を巻き上げる渦が生じ、シワなしよりも、さらに掃流力が高まり、砂が堆積しにくい。

表5 90°曲管での掃流実験結果

ケース	シワの条件			流速 (m/s)	砂の状況		
	シワの 高さ	シワの 間隔	全周 半周		上流（直管）	曲管部	下流（直管）
1-0	シワ なし	シワ なし	シワ なし	0.1	移動なし	移動なし	移動なし
				0.2	移動なし	移動なし	移動なし
				0.3	移動なし	下流側で微動	曲管側で微動
				0.4	移動なし	内周に向かって移動	曲管部からの供給が多く、堆積傾向
				0.5	移動開始。まばらに移動	下流側から管底が露出	活発に移動
				0.6	活発に移動し、流れ去る	管底は完全に露出し、上流からの砂は速やかに通過	活発に移動し、流れ去る
1-3-1	15mm	集中 50mm	全周	0.1	移動なし	移動なし	移動なし
				0.2	移動なし	曲管の下流側で微動	移動なし
				0.3	移動なし	シワの間で浮遊が活発化	曲管部からの砂が表層をゆっくり移動
				0.4	移動なし	外周側は管底が露出上流側内周に僅かに砂が残留	曲管部からの砂が表層を活発に移動
				0.5	移動開始。まばらに移動	残留なし 砂が浮遊状態で通過	活発に移動
				0.6	活発に移動し、流れ去る	砂が浮遊状態で通過	活発に移動し、流れ去る
1-3-2	15mm	集中 50mm	半周	0.1	移動なし	移動なし	移動なし
				0.2	移動なし	曲管の下流側で微動	移動なし
				0.3	移動なし	シワの間で浮遊が活発化	曲管部からの砂が表層をゆっくり移動
				0.4	移動なし	上流端のシワの背後に僅かに残る程度で、大部分が流れ去る	曲管部からの砂が表層を活発に移動
				0.5	移動開始。まばらに移動	残留なし 砂が浮遊状態で通過	活発に移動
				0.6	活発に移動し、流れ去る	砂が浮遊状態で通過	活発に移動し、流れ去る

網かけは、砂が移動

V=0.4m/s



V=0.5m/s

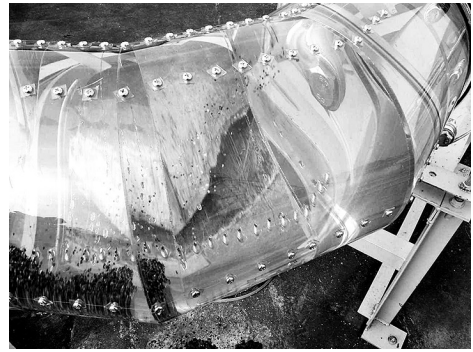
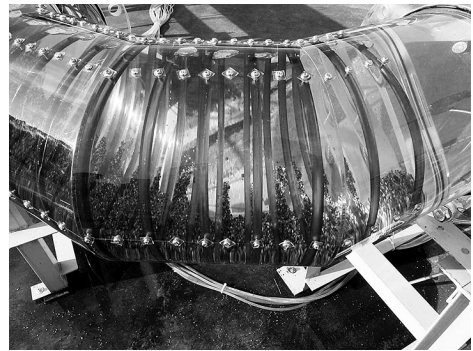


写真4 掃流実験 (case1-0、90°、シワなし)

シワがない場合でも、上流直管区間よりも曲管部及び下流区間で砂の移動が活発で、管底の露出が早い

V=0.3m/s



V=0.4m/s

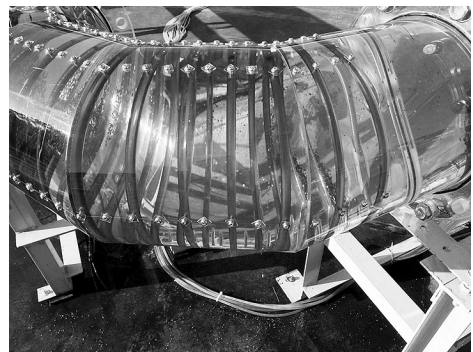
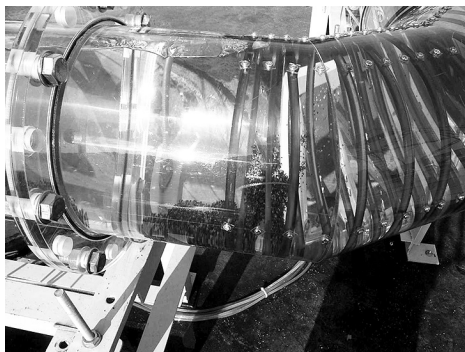


写真5 掃流実験 (case1-3-1、90°、シワ高15mm、集中、全周)

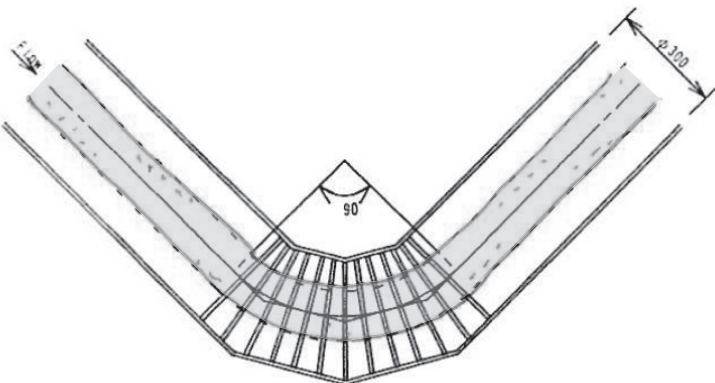
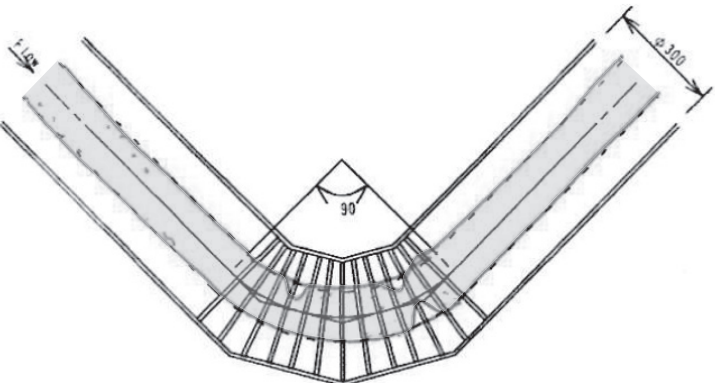
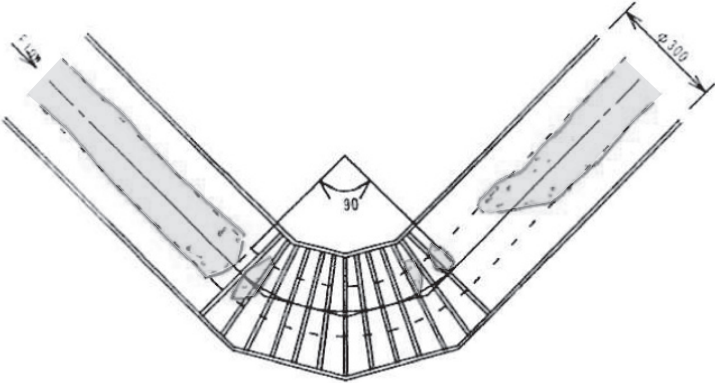
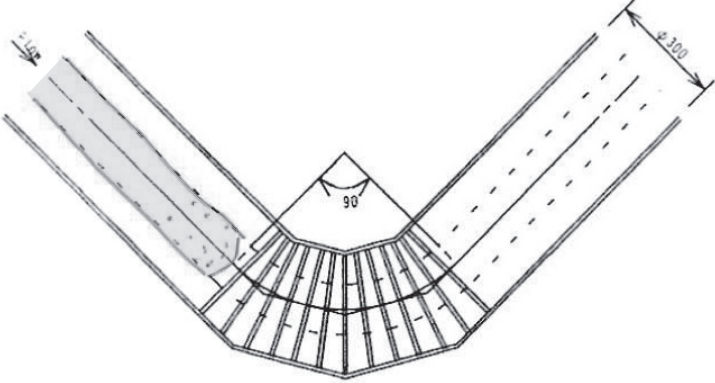
シワがある場合には、砂の移動がさらに活発になり、曲管部には砂が堆積しにくい傾向

表6 90°曲管での掃流実験結果 (case1-0、90°、シワなし)

流速 (m/s)	スケッチ	砂の状況		
		上流(直管)	曲管部	下流(直管)
0.2		移動なし	移動なし	移動なし
0.3		移動なし	下流側で微動	曲管側で微動
0.4		移動なし	内周に向 かって移動	曲管部から の供給が多 く、堆積傾 向
0.5		移動開始。 まばらに移 動	下流側から 管底が露出	活発に移動

網かけは、砂が移動

表7 90°曲管での掃流実験結果 (case1-3-1、90°、シワ高15mm、集中、全周)

流速 (m/s)	スケッチ	砂の状況		
		上流(直管)	曲管部	下流(直管)
0.2		移動なし	曲管の下流側で微動	移動なし
0.3		移動なし	シワの間で浮遊が活発化	曲管部からの砂が表層をゆっくり移動
0.4		移動なし	外周側は管底が露出 上流側内周に僅かに砂が残留	曲管部からの砂が表層を活発に移動
0.5		移動開始。 まばらに移動	残留なし 砂が浮遊状態で通過	活発に移動

網かけは、砂が移動

6. まとめ

6. 1 結論

(1) シワ発生時の損失水頭

- シワなしでの損失係数の検証結果は、既往の実験で報告されている値に近似していることから、本実験の妥当性を確認した。
- 管径の10%に相当する30mmのシワ高での損失係数としては、全周・分散パターンのシワによる損失係数が $f_w=6$ と本実験で最大となり、非常に大きな損失が生じることが判った。
- シワが曲管の内周側に半周生じた場合の損失係数は、全周の場合の1/2から1/3に減少することが判った。
- 本実験では、シワ間隔100mm、50mm、25mmのケースを検討したが、これらのケースでは、シワ間隔が大きいほど損失係数が大きくなる傾向となった。
- シワ高が管径の1割以下で半周シワ程度が一般的なシワパターンと考えた場合、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 $f_w=0.5$ 程度を目安とすることができる。

(2) シワ発生時の曲管部の流況

- 染料や土砂の掃流状況によりシワ発生時の曲管部の流況を把握した。
- 染料による流況観察では、シワ発生時では、染料の拡散が顕著になり、流れの乱れが大きくなっていることが判った。
- 土砂の掃流実験では、シワ発生時では、曲管部の流れの乱れが大きくなり、管路の直線部よりも曲管部の方が、土砂が堆積しにくいことが判った。

6. 2 今後の課題

(1) 様々なシワパターンへの適用

- 管径によりシワパターンが異なると考えられるため、管径が異なる場合のシワパターンを検証し、様々なシワパターンに対応できるように損失特性の整理、解析を進める必要がある。

(2) 実施工の更生管の損失水頭検証

- 本実験のシワモデルは、シワの主要なパラメータを抽出し、モデル化したものであり、実施工で生じるシワによる損失係数を検証し、モデルの妥当性を検証する必要がある。

【参考】 曲管を含む管路の損失水頭の計算例

90°曲管を1箇所含む管路長25m、50m、100mのそれぞれの鋼製管路に更生管を施工し、曲管部にシワが生じたときの施工前後の損失水頭を比較する。

計算条件

施工前

管径 $D=0.3\text{m}$

材質 鋼管（塗装なし） 流量係数 $C=100$

曲管 角度 90° 曲管の損失係数 $f_r=0.283$ （多節屈折管）

流速 $v=1.6\text{m/s}$ （流量 $0.113\text{m}^3/\text{s}$ ）

更生管施工後

管径 $D=0.3\text{m}$ → ライナー厚 8 mm → $D'=0.284\text{m}$

更生管 流量係数 $C=150$ （ポリエチレン管相当）

曲管 角度 90° 曲管の損失係数 $f_r=0.283$ （多節屈折管）

シワによる損失係数 $f_w=1.5$ （半周シワ相当）

流速 $v=1.785\text{m/s}$ （流量 $0.113\text{m}^3/\text{s}$ ）

損失水頭の計算式

$$h_{\ell} = h_f + h_r + h_w$$

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

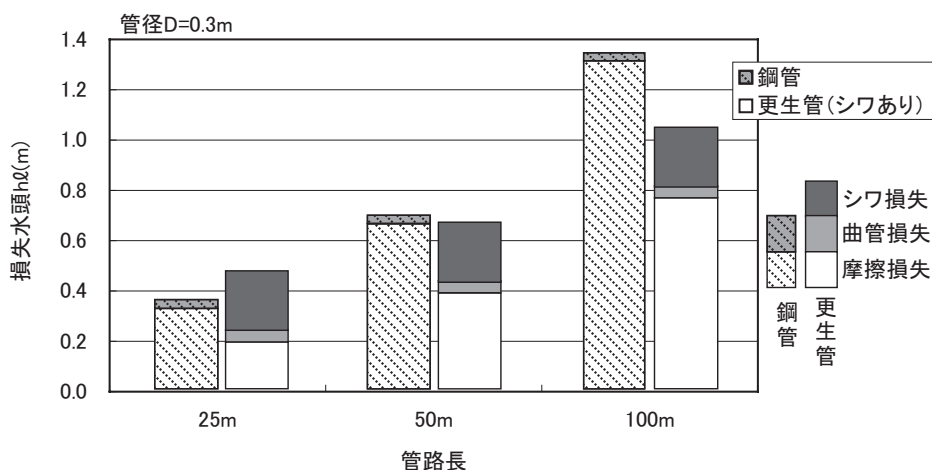
ここに、 h_{ℓ} ：曲管を含む任意区間の管路の損失水頭、 h_f ：管の摩擦損失水頭、 h_r ：多節屈折による損失水頭、 h_w ：シワによる損失水頭、 f' ：管の摩擦損失係数、 L ：曲管を含む任意区間の管路長、 D ：管の内径、 v ：管内流速、 f_r ：多節屈折による損失係数、 f_w ：シワによる損失係数

計算結果

- ・管路長25mでは、管路の摩擦損失の低減よりもシワによる損失が大きくなり、全体の損失水頭は施工後の方が増加する。
- ・管路長50mでは、管路の摩擦損失の低減量とシワによる損失がほぼ同値となり、全体の損失水頭は変化しない。
- ・管路長100mでは、管路の摩擦損失の低減量がシワによる損失を上回り、全体の損失水頭は施工後の方が減少する。

	管路長 L(m)	管径 D(m)	ライニング厚 t(m)	管径 (ライニング) D'(m)	管流速 v(m/s)	流量 Q(m ³ /s)	流速係数 C	摩擦損失係数
								f'
施工前 (鋼管) (C=100)	25	0.300	0.000	0.300	1.600	0.113	100	0.0304
	50	0.300	0.000	0.300	1.600	0.113	100	0.0304
	100	0.300	0.000	0.300	1.600	0.113	100	0.0304
更生管施工後 (C=150) (シワあり)	25	0.300	0.008	0.284	1.785	0.113	150	0.0141
	50	0.300	0.008	0.284	1.785	0.113	150	0.0141
	100	0.300	0.008	0.284	1.785	0.113	150	0.0141

	摩擦損失係数	曲管損失係数	シワ損失係数	速度水頭	摩擦損失水頭	曲管損失水頭	シワ損失水頭	損失水頭
	f'・L/D	f _r	f _w	v ² /2g(m)	f'・L/D・v ² /2g	f _r ・v ² /2g	f _w ・v ² /2g	合計 h _ℓ (m)
施工前 (鋼管) (C=100)	2.54	0.283	0.0	0.131	0.331	0.037	0.000	0.368
	5.07	0.283	0.0	0.131	0.662	0.037	0.000	0.699
	10.14	0.283	0.0	0.131	1.325	0.037	0.000	1.362
更生管施工後 (C=150) (シワあり)	1.18	0.283	1.5	0.163	0.192	0.046	0.244	0.482
	2.36	0.283	1.5	0.163	0.383	0.046	0.244	0.673
	4.71	0.283	1.5	0.163	0.766	0.046	0.244	1.056



※管径により、施工前後で全体の損失水頭が釣り合う管路長は異なる