

管渠型側溝における掃流力の検討

平成 21年 9月 作成

ア ー ボ 株 式 会 社

本 社 岐阜県揖斐郡揖斐川町谷汲名礼 459
TEL 0585-55-2216 (代)
FAX 0585-55-2218

堆積物を流す力

近年、道路用排水路には卵形や円形といった管渠型側溝が多く使用されています。管渠内形状の違いから、卵形の方が円形よりも低水位時の流速が早く、堆積する土砂等を速やかに流し、メンテナンスフリーであると言われています。しかし、実際には卵形も円形も土砂が堆積している路線（区間）が多くあります。

本当に卵形はメンテナンスフリーなのでしょうか？



確かに管底部分が絞られている卵形の方が流速は早くなりそうなのは、どなたにも理解できると思います。が、実際堆積物がある路線が多いことから、『卵形も円形も堆積物を流す能力は変わらないのではないか？』という疑問が生じました。そこで、卵形と円形の両方を同条件で実験を行い、『堆積物を流す力（掃流力）』について検証してみました。

また、今回の実験は(独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校環境都市工学科・専攻科(建設工学専攻)の和田清先生との共同実験として行いました。

1. 実験方法



日 時 平成21年 8月6日～9月29日

実験場所 アーボ株式会社 谷汲本社工場 管渠試験施設

実験概要

- ・円形水路（内径 300 mm）、卵形水路（内径 300 mm相当）それぞれ 2 本を半分の高さで切断し、切断しないもの 1 本と接続して実験水路を作成しました。
- ・道路縦断勾配 0.1%・0.5%・1.0%・1.5%における、排水流量 $0.001\text{m}^3/\text{sec}$ （1ℓ/sec）において、標準砂（豊浦標準砂、粒径 0.02cm）200g を 30 cm・50 cm・1m 移動させるのに必要な時間を計測し評価しました。

2. 掃流力実験

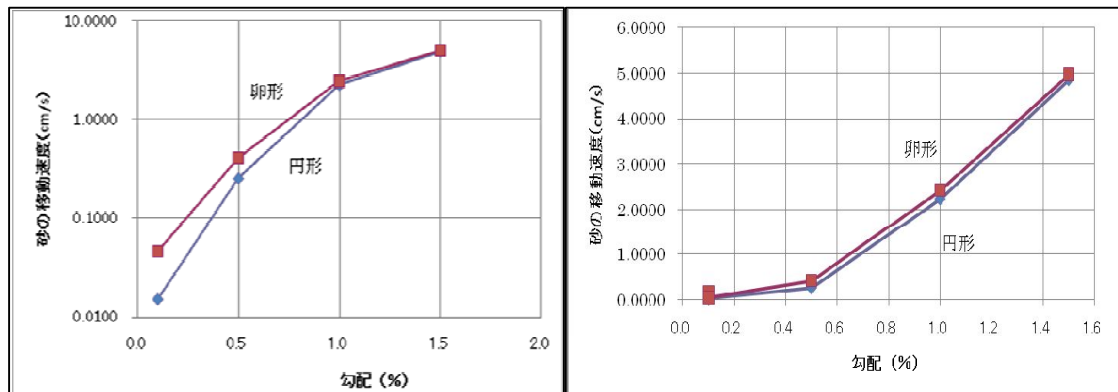
今回の実験では、管底に溜まった砂がどのように動かされるかに着目しました。一般的には管底近くの流れが砂に当たって動いていくように考えられますが、土砂水理学では水全体が動く時に、管底は水のように動かないので、**水が管底を擦るような力が発生します。この力を『掃流力』**と呼んでいます。掃流力は単に水が砂を流す力の事ですが、管底砂は何もなければ動かずにとどまっているだけなので、砂の移動を考える場合には砂が動くかどうかの判断が必要になります。**砂が動き出す時の掃流力を『限界掃流力』**といいます。限界掃流力を算出する時には、河川・港湾等で一般的に使用されている『岩垣の式』を用います。

実験では、『管体内を流れる水が堆積している土砂砂を流すのに必要な掃流力を持っているか』を確認しました。

3. 実験結果

- 今回の実験結果を「表－1 砂の移動速度」にまとめました。
- 流量 $Q=0.001\text{m}^3/\text{sec}$ の場合、水路勾配 1 % 以上であれば、円形でも卵形でも標準砂の移動速度はほとんど変わりませんでした。
(卵形／円形＝1.02～1.09 倍程度、移動速度：2～6cm/s)
- 流量 $Q=0.001\text{m}^3/\text{sec}$ の場合、水路勾配 0.5 % 程度とすると、標準砂の移動速度は卵形が円形の 1.62 倍程度となりました。(ただし、移動速度は勾配 1 % の場合に比べて 1 桁小さくなり、0.2～0.5cm/sec 程度でした。)

表－1 砂の移動速度



管形状	円形	卵形	円形	卵形	円形	卵形	円形	卵形
標準砂の重量	200g		200g		200g		200g	
縦断勾配(%)	0.1		0.5		1.0		1.5	
平均流速(cm/s)	19.867	21.622	34.910	38.798	44.363	49.714	51.202	57.454
移動速度 (cm/s) 30cm地点	0.0207	0.0635	0.3461	0.5664	2.8626	3.0769	6.4516	6.6667
移動速度 (cm/s) 50cm地点	0.0107	0.0351	0.1926	0.2975	1.7274	2.0833	3.8961	3.8462
移動速度 (cm/s) 100cm地点	0.0140	0.0399	0.2219	0.3718	2.1097	2.1277	4.2373	4.3860
移動速度 (cm/s) 平均値	0.0151	0.0462	0.2535	0.4119	2.2332	2.4293	4.8617	4.9663

4.『岩垣の式』による判定

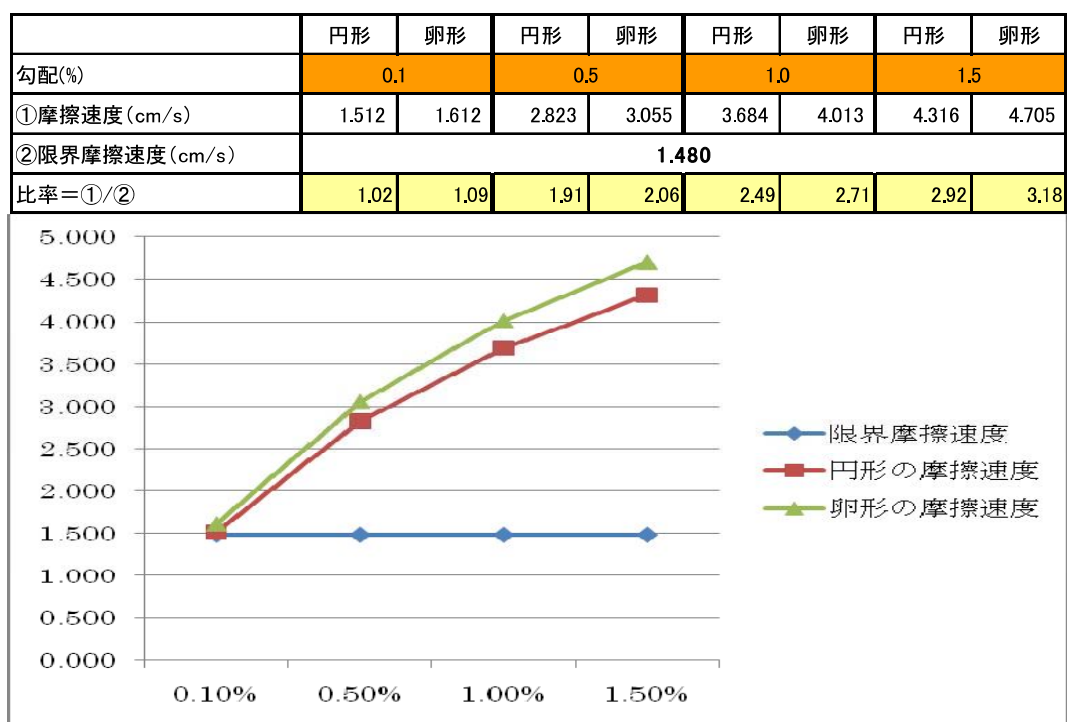
掃流力は『岩垣の式』により判定することが一般的になっています。『岩垣の式』では、流れによる力「摩擦速度」が、砂の流れに耐えうる力「限界摩擦速度」を超えたときに砂が動き出すと考えられています。 限界摩擦速度は砂の粒径により決り、5つに分けられます。(別途資料「岩垣の式」参照願います。)

実験から摩擦速度を、『岩垣の式』から限界摩擦速度をそれぞれ導き出し、

掃流力（摩擦速度） > 限界掃流力（限界摩擦速度）

の検証を行い、低水位・低勾配で流れる水における掃流力の判定を行いました。

表－2 摩擦速度と限界摩擦速度表



〈 考 察 〉

- ・今回の実験で得られた結果では、限界摩擦速度付近での砂の移動速度は非常に小さく、掃流力と呼べるほどの効果はないものと思われます。

限界摩擦速度以上の流れの摩擦速度が作用すれば、標準砂は掃流される(動き出す)ことが確認できました。 また、勾配1%以上であれば卵形と円形の差はありませんでした。

なお、0.5%以下の緩い勾配については摩擦速度の差異により、卵形の掃流力が若干増加する傾向がありますが、掃流力と呼べるような砂を流す力はないものと思われます。

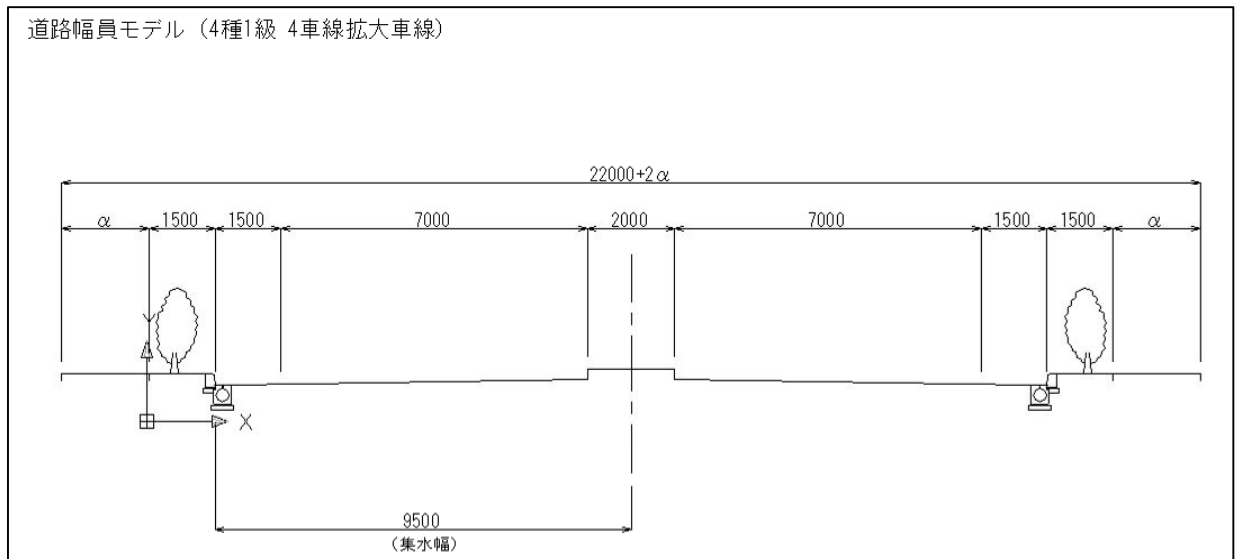
5. 実験結果と計算値との検証

『岩垣の式』から算出した計算値と実験値とはほぼ同じでした。実験では卵形は円形よりも低水位時(1.0%以下)は、摩擦速度は速いものの、卵形・円形共に限界摩擦速度付近であることは変わらず、掃流力に大きな違いはありませんでした。また、1.0%以上の勾配であれば、摩擦速度は同等でどちらも掃流力を持っています。

では、実道路での管体内の堆積はどのようにして起こるのでしょうか？
箱形管渠が多く設置されているモデル路線を設定し検証してみました。

6. 路線モデルの検討

4種1級路線（縦断勾配 0.5%）を道路幅員モデルとして、 $0.001\text{m}^3/\text{sec}_{※1}$ の雨水が管体内に流れ込むと考え、砂の粒径別に限界摩擦速度を超える地点を算出して表記しました。『管体内概念図』により、粒径別に堆積しやすい区間が分かります。

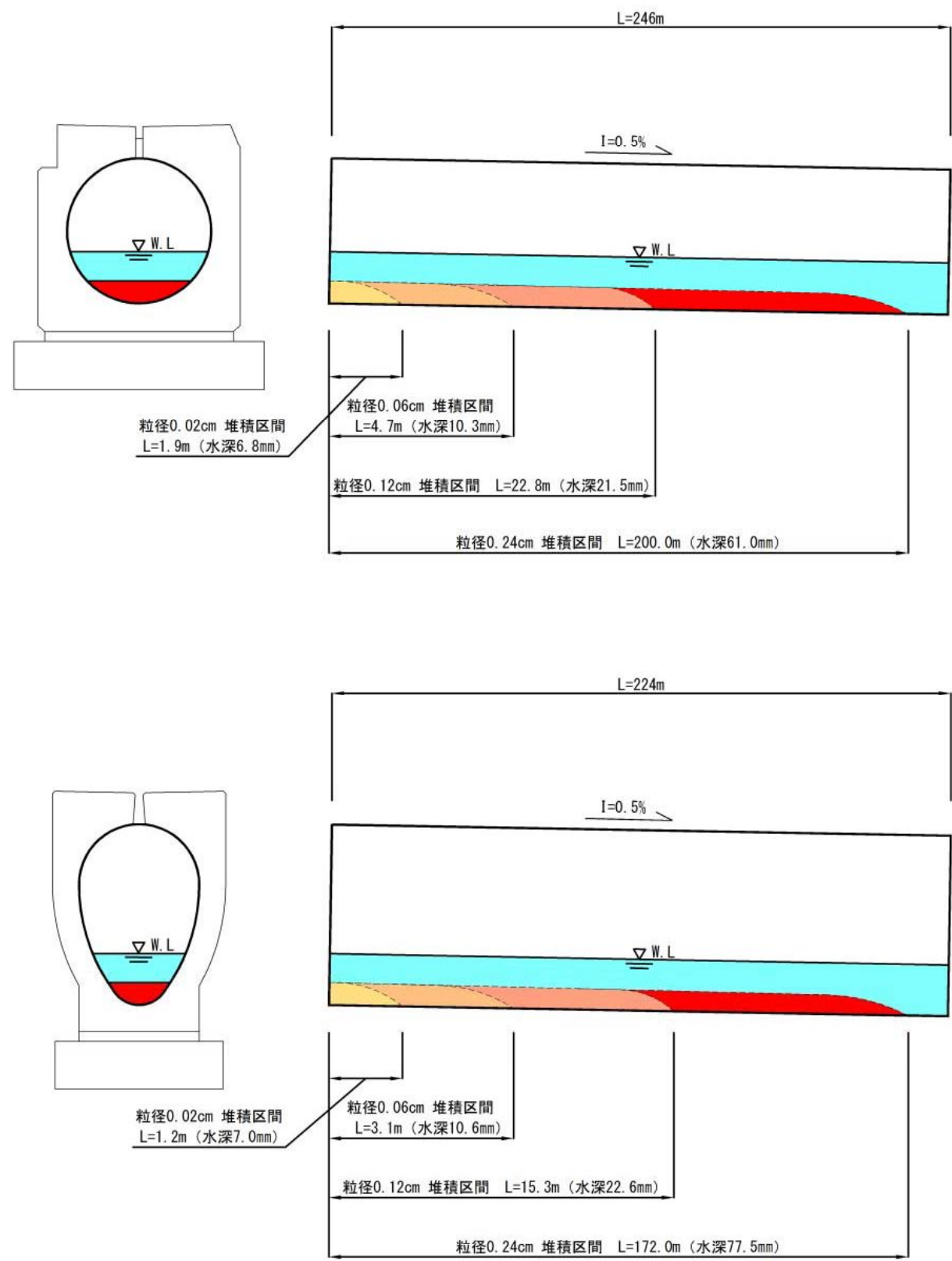


※₁ $0.001\text{m}^3/\text{sec}$ は、幅員 9.5m・延長 50m の区間に時間雨量 8 mm/h 相当の降雨があった時の雨量（流量）に相当します。

※ 今回の時間雨量 8 mm/h は、名古屋地区の年間降雨の内、約 90%は 10 mm/h 以下(名古屋気象台調べ)というデータから採用しています。

※ 管延長は卵形・円形共に管内が満水になる地点までとしています。

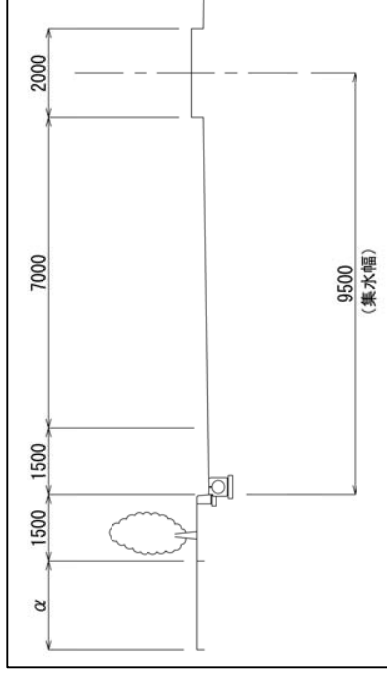
管体内概念図（縦断勾配 0.5%）



(参考)4種1級の路線モデルを用いた土砂堆積区間長の算出

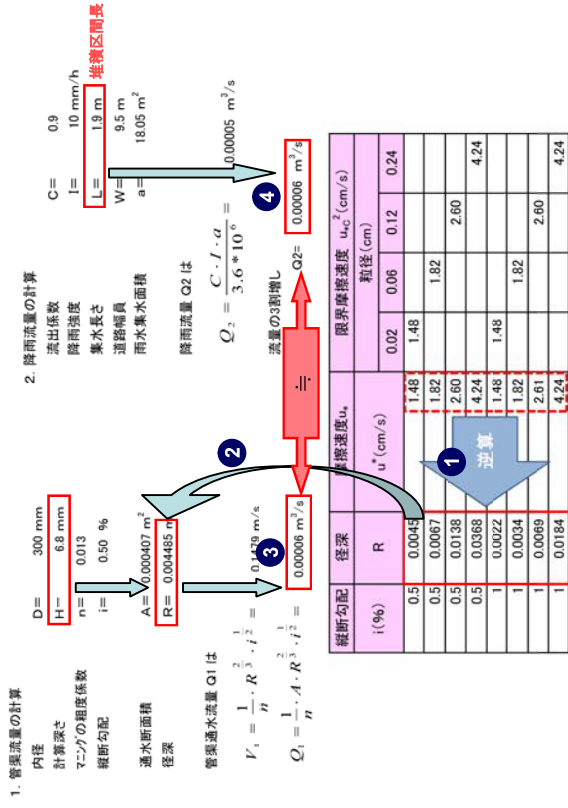
路線モデル設定条件

- ・縦断勾配は、 $i = 0.1\%$ 、 0.5% 、 1.0%
- ・降雨強度（ I ）は、 10mm/h （名古屋地区の年間降雨の内、約90%は 10mm/h 以下(名古屋気象台調べ)というデータから採用）
- ・流出係数（ C ）は、 0.9
- ・道路幅員は、 9.5m （下図参照）

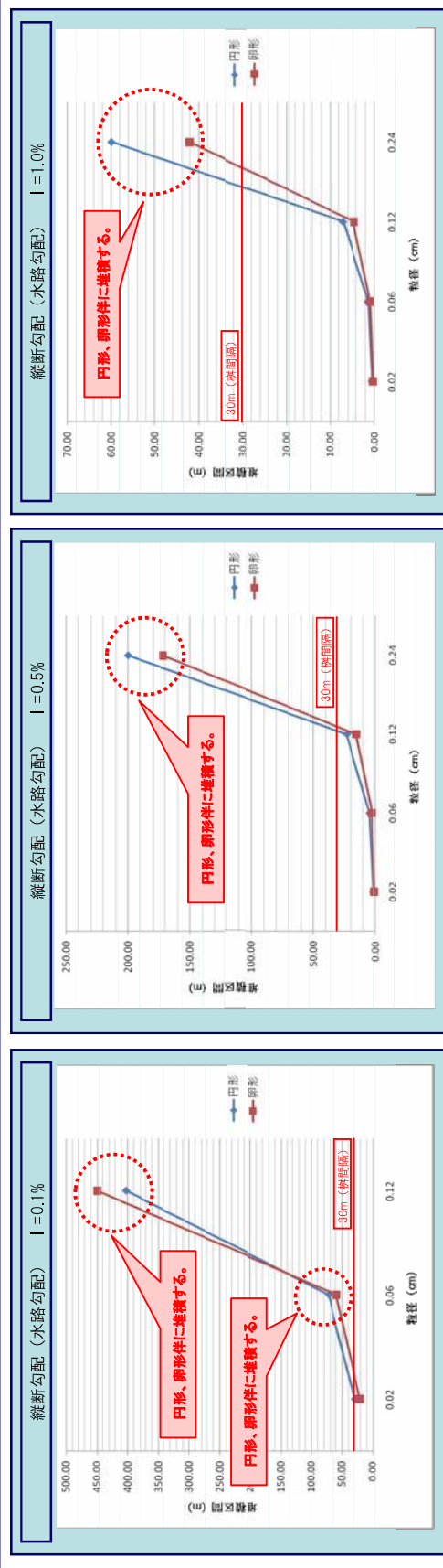


道路幅員モデル（4種1級 4車線拡大事線）

算出方法（ $i = 0.5\%$ 、円形断面、粒径 0.02cm ）



路線モデルの設定条件を基に、縦断勾配別に土砂の堆積区間長を算出



頻繁に降る雨（降雨強度 10mm/h 程度）で緩勾配の条件下では、土砂等の堆積は断面面伴に、同じように起こると思われる。

7. まとめ

今回の実験により、卵形・円形ともに実際の降雨により、すべての堆積物を流しメンテナンスフリーとすることが、難しいと考えられます。特に縦断勾配1%未満の連続集水を必要とする路線では、概念図からもわかるように大変長い堆積区間があることがわかります。実際の路線では、30～50mごとに柵を設置して、本管へ落としている場合が多いので、全線が堆積区間になる可能性があります。

従って、実験の結果として分かったことをまとめますと、

- ① 低水位（ $0.001\text{m}^3/\text{sec}$ 以下）・低勾配（1%勾配以下）の時、卵形は円形よりも摩擦速度は若干速いが、砂を流すほどの掃流力はありませんでした。
- ② 実際の降雨量では、どちらの管も土砂等の堆積は同じように起こると考えられます。

今回の実験が実際の道路で起こる事象をすべて捉えているとは言えませんが、低水位で低勾配区間における、土砂の堆積メカニズムは分かってきたと思います。

今後、箱形管渠が設置されている個所を点検し、実際に管渠の堆積状況を調べ、今回の実験結果と比較検証して行くことが必要であると考えています。

〔 謝 辞 〕

今回の実験では、(独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校環境都市工学科・専攻科(建設工学専攻)の和田清先生を始め学校関係者の方々に大変お世話になりました。また、実験装置設置に際しては、ヨシテク工業(株)様、松井工業様、造形社様に多大な協力を頂きましたことをここに記して、感謝の意を表します。

岩垣の式

これは次のような式で表されます。

$$d \geq 0.303 \text{ cm} : u_{*c}^2 = 80.9 d$$

$$0.118 \leq d \leq 0.303 \text{ cm} : u_{*c}^2 = 134.6 d^{\frac{31}{22}}$$

$$0.0565 \leq d \leq 0.118 \text{ cm} : u_{*c}^2 = 55.0 d$$

$$0.0065 \leq d \leq 0.0565 \text{ cm} : u_{*c}^2 = 8.41 d^{\frac{11}{32}}$$

$$d \leq 0.0065 \text{ cm} : u_{*c}^2 = 226 d$$

これら岩垣の式のなかで長さの単位は全て cm であることに注意です。

岩垣の式は元々、 s （砂粒の水中比重）、 ν （水の動粘性係数）、 g （重力加速度）が入った式ですが、通常の河川では水温が 20℃の水が流れると想定して、かつ砂粒の密度を 2.65 とみなして、

$$s = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} = \frac{2.65 - 1.0}{1.0} = 1.65$$

ただし ρ_s : 砂粒の密度

$$\nu \cong 0.01 \text{ cm}^2 / \text{s}$$

$$g = 980 \text{ cm} / \text{s}^2$$

とすることによって簡略化された結果です。

u_{*c} (ユースターシー)は限界摩擦速度で、この下付き c は限界を表す critical から来ています。

主な参考文献

土砂水理学 1 河村三郎著 1982 森北出版

現場のための水理学 北海道開発局 開発土木研究所

限界掃流力に関する基礎的研究 岩垣雄一 土木学会論文集 第 41 号 1956 (昭和 31 年)

掃流力とは？

川底の土砂は何によって動かされるのでしょうか？

「流速によって動かされる」というイメージがあるかもしれませんが。
図にするとこんな感じでしょうか。



速い流れがぶつかって石や砂が動かされる？

それも間違いではないのですが、土砂水理学ではちょっと違う考え方をします。
水全体が動くときに、川底は水のように動かないですから、下のイラストのように水が川底をこするような力が発生します。



この力を掃流力(そうりゅうりょく)と呼んでいます。

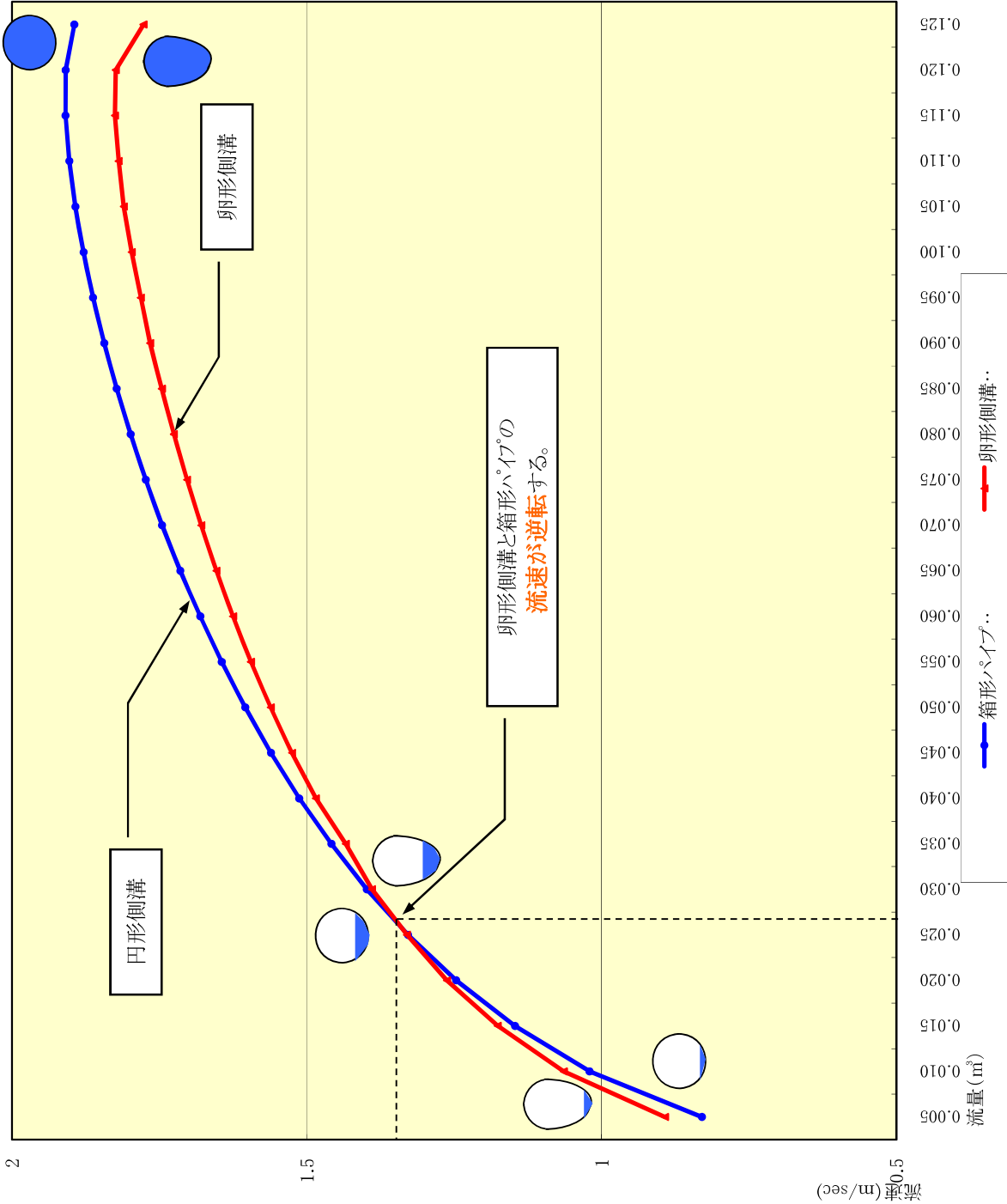
かつては流速によるのか、掃流力によるのかどちらの考え方もあったようですが、現在は河床の土砂は掃流力によって動くという考え方が一般的になっています。
ちなみに流速は「力」ではないので、流速の考え方のほうを厳密に言い換えると「速い流れが土砂にぶつかって発生する力(抗力)によって土砂が移動する」となるのでしょうか。

箱形パイプ(φ300)と卵形側溝(D250×H375)の流量-流速比較 (排水勾配 1.5%の時)

流量-流速表 (排水勾配 1.5%の時)

流量 (m^3)	流速(m/sec)	
	箱形パイプ ($\phi 300$)	卵形側溝 ($\text{D}250 \times \text{H}375$)
0.005	0.8298	0.8924
0.010	1.0203	1.064
0.015	1.1468	1.176
0.020	1.2467	1.2624
0.025	1.3285	1.3302
0.030	1.3982	1.3894
0.035	1.4582	1.4339
0.040	1.5128	1.4847
0.045	1.5608	1.5251
0.050	1.6045	1.5613
0.055	1.6442	1.5948
0.060	1.6807	1.6251
0.065	1.7145	1.6533
0.070	1.7454	1.6791
0.075	1.773	1.7031
0.080	1.7988	1.7255
0.085	1.8225	1.7459
0.090	1.8435	1.7657
0.095	1.8624	1.7815
0.100	1.8786	1.797
0.105	1.8924	1.8104
0.110	1.9028	1.8192
0.115	1.9092	1.8255
0.120	1.909	1.8241
0.125	1.8943	1.7771

箱形パイプ(φ300)と卵形側溝(D250×H375)の流量-流速-流速比較グラフ

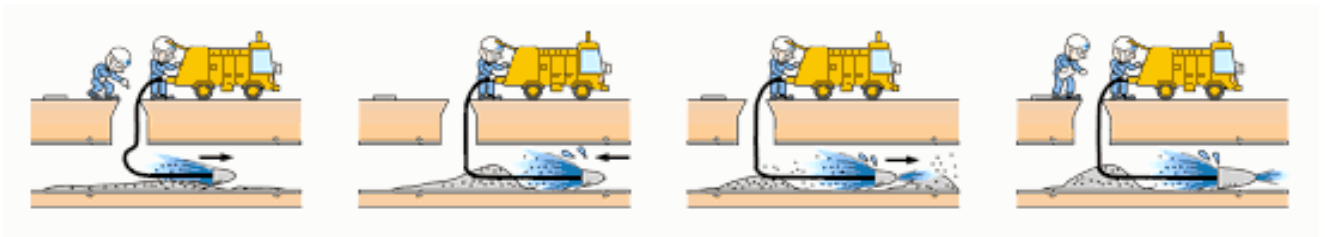


【高圧洗浄車による清掃】

概 要：

高圧洗浄車による清掃は、高圧ポンプと水タンクを搭載した特殊車両で実施します。清掃作業は、高圧ポンプでタンク内の水を加圧し、ホース先端の特殊ノズルから高圧水を噴射させることにより、管きょ内の堆積土砂などをマンホールまで押し出し、吸引車で管きょ外へ吸い上げます。

ノズルの種類が豊富なため、様々な現場（特に小・中口径管）で高作業効率を発揮します。



- ①高圧ゴムホースの先端に取り付けられた、斜め後方への噴射ノズルの水の噴出により、下水管の汚泥を攪拌しながら前進します。
- ②下水管の中を前進した噴射ノズルを汚泥のつまり具合や堆積物の種類に応じゆっくり巻き戻すことにより、人孔付近に汚泥を集めて下水管の中を洗浄します。
- ③完全閉塞の下水管の場合、前方噴射ノズルを使用することにより、前方を切崩しながら前進し、洗浄します。
- ④管径が500mm以下の下水管の洗浄には重さ10kgの特殊なノズルを使用します。