

円形ピアのまわりの洗掘について

西村 豊*・小川 芳昭**

目次

1. ま え が き
2. 実 験
 - 2.1 実験の目的
 - 2.2 実験装置・方法・種類
 - 2.3 測定値とその補正
3. 次 元 解 析
 - 3.1 次元解析
 - 3.2 橋脚のまわりの局部洗掘に関する因子
 - 3.3 実験に関与した因子とその吟味
 - 3.4 解 析
4. 実験結果とその考察
5. あ と が き
- 参 考 文 献

1. ま え が き

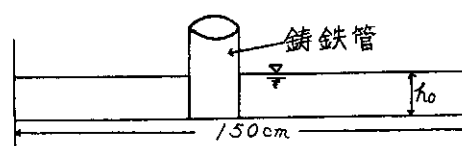
流れの中に障害物を置くと、流れは乱されて障害物のまわりに二次流を作る。もし、流路が移動床であるならこの二次流が河床材料を運んで障害物のまわりに局部洗掘を起こす。ことに、河川の流れの中に設置されている橋脚のまわりは、洪水時にかなり深く洗掘されて、橋脚・橋梁などに被害を与えている。とくに最近では、各河川とも上流に各種のダムが作られたり、工事用砂利・砂採取によって次第に河床が低下してきているので、洪水時の局部洗掘と相まって、橋脚への災害の可能性が高まっている。したがって既設の橋梁については、洗掘に影響されるかどうか、また危険な場合はいかにして防護するかが問題になるし、今後の設計に対しては、最大洗掘深がどの程度になるかを明らかにして、設計の際の基準を与えることが望ましい。

2. 実 験

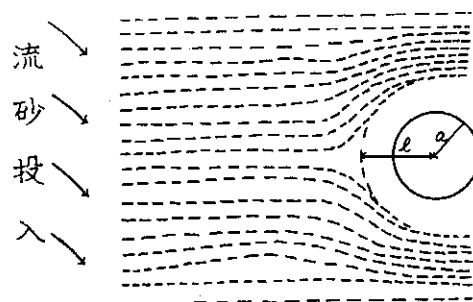
2.1 実験の目的

最大洗掘深に関する研究ではどの例でも流れの水理量、橋脚の形状、流砂、河床材料などが要因としてあげられていて、この種の実験的研究では移動床によるのがよりよいのであるが、今回の考察では、基本的なものの第2段階として、固定床によって、二次流の強さを示すので

あろう“流砂の粒径を変化させた場合に橋脚のまわりに流砂がとまらない範囲”と“水理量”および“円形ピアの大きさ”の関係を明らかにしようとするものである。



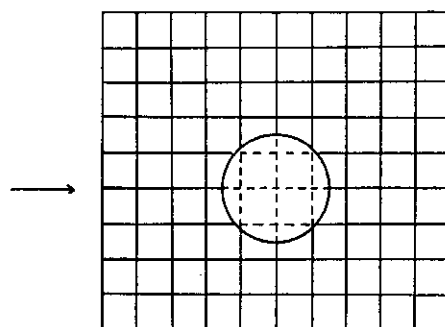
図一1 水路横断面図



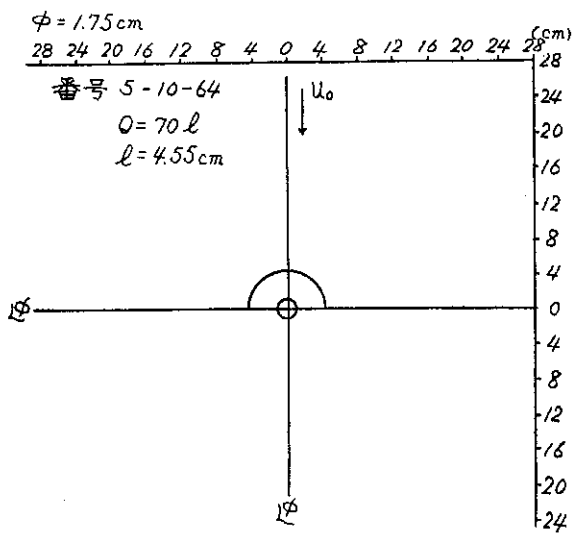
図一2 流砂の投入とその動き

2.2 実験装置・方法・種類

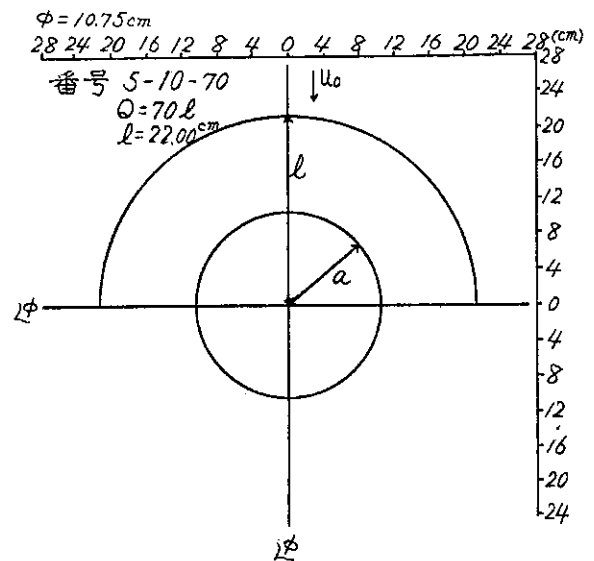
水路には、図一1のような断面をもった長さ20m、底勾配1/1000の表面モルタル仕上げブロック製のものを用いた。最初、橋脚模型を設置しない状態で、流量、水深、水面勾配を測定し、それから種々の直径をもった鑄鉄管を橋脚模型として水路中央に設けた。流砂は、表一3にあるような直径2.0mm以下のものをそれぞれ均一粒径をもつような10種類に分けて一種類ごとに上流から水路床



図一3 1 cm 正 方 の 目 盛 り



图—4



图—5

表—1 测定水理量

番 号	$Q(\text{l/s})$	$d\text{ mm}$	S	$H_0\text{cm}$	I	$(Q/H_0^{\frac{5}{3}})^2$
1-1	20	1.705	2.655	4.56	0.000 588	2.54
1-2		1.205	2.653	4.43	0.000 588	2.80
1-3		0.750	2.621	4.54	0.000 663	2.58
1-4		0.425	2.631	4.42	0.000 594	2.82
1-5		0.3225	2.649	4.50	0.000 706	2.66
1-6		0.2735	2.658	4.47	0.000 650	2.72
1-7		0.230	2.663	4.39	0.000 675	2.89
1-8		0.1795	2.646	4.48	0.000 638	2.70
1-9		0.127	2.641	4.61	0.000 638	2.45
1-10		0.0525	2.646	4.55	0.000 681	2.56
平均值				4.495	0.000 6421	2.672
2-11	30	1.705	2.655	5.82	0.000 713	2.54
2-12		1.205	2.653	5.86	0.000 613	2.48
2-13		0.750	2.621	5.70	0.000 650	2.72
2-14		0.425	2.631	5.86	0.000 600	2.48
2-15		0.3225	2.649	5.72	0.000 600	2.69
2-16		0.2735	2.658	5.82	0.000 713	2.54
2-17		0.230	2.663	5.80	0.000 713	2.57
2-18		0.1795	2.646	5.22	0.000 600	3.65
2-19		0.127	2.641	5.12	0.000 763	3.89
2-20		0.0525	2.646	5.00	0.000 800	4.21
平均值				5.592	0.000 6765	2.977

番 号	Q(l/s)	d mm	S	H ₀ cm	I	$(Q/H_0^{5/3})^2$
3-21	40	1.705	2.655	6.72	0.000 650	2.79
3-22		1.205	2.653	6.69	0.000 650	2.72
3-23		0.750	2.621	5.59	0.000 663	2.98
3-24		0.425	2.631	6.54	0.000 675	3.06
3-25		0.3225	2.649	6.57	0.000 737	3.01
3-26		0.2735	2.658	6.69	0.000 600	2.84
3-27		0.230	2.663	6.71	0.000 488	2.80
3-28		0.1795	2.646	6.71	0.000 700	2.80
3-29		0.127	2.641	6.63	0.000 650	2.92
3-20		0.0525	2.646	6.69	0.000 663	2.84
平均值				6.654	0.000 6476	2.876
4-31	55	1.705	2.655	7.59	0.000 466	3.52
4-32		1.205	2.653	7.62	0.000 588	3.48
4-33		0.750	2.621	7.57	0.000 375	3.55
4-34		0.425	2.631	7.56	0.000 725	3.57
4-35		0.3225	2.649	7.54	0.000 550	3.60
4-36		0.2735	2.658	7.94	0.000 825	3.03
4-37		0.230	2.663	7.95	0.000 738	3.02
4-38		0.1795	2.646	7.83	0.000 800	3.17
4-39		0.127	2.641	7.85	0.000 838	3.15
4-40		0.0525	2.646	7.73	0.000 763	3.31
平均值				7.718	0.000 6665	3.340

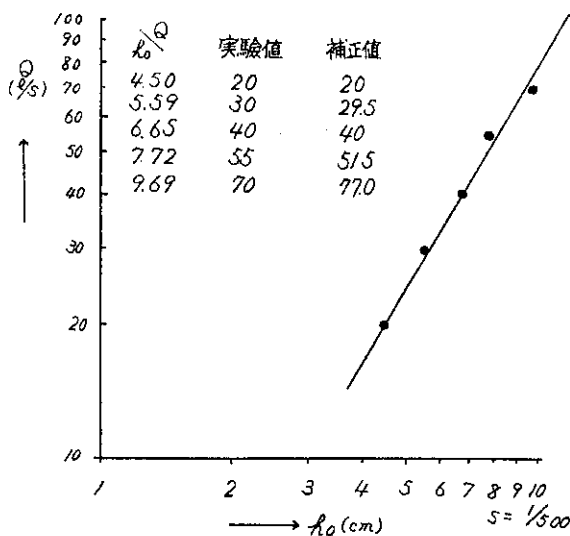
番 号	Q(l/s)	d mm	S	H ₀ cm	I	$(Q/H_0^{5/3})^2$
5-41	70	1.705	2.655	9.71	0.000 600	2.51
5-42		1.205	2.653	9.81	0.000 700	2.42
5-43		0.750	2.621	9.74	0.000 713	2.48
5-44		0.425	2.631	9.76	0.000 725	2.47
5-45		0.3225	2.649	9.74	0.000 700	2.48
5-46		0.2735	2.658	9.65	0.000 663	2.56
5-47		0.230	2.663	9.66	0.000 575	2.55
5-48		0.1795	2.646	9.57	0.000 663	2.63
5-49		0.127	2.641	9.67	0.000 600	2.54
5-50		0.0525	2.646	9.58	0.000 725	2.62
平均值				9.69	0.000 6664	2.53

を薄く一様に覆う程度に人為的に投入した。“流砂のとまらない範囲 (naked area)” の測定はあらかじめ図—3のように1 cm 正方の目盛をペンキ等で水路床上に描いておき測定紙上に流砂の状態をスケッチし同時にそれぞれ写真撮影を行なった。図—4,5はスケッチした一部であるが同一の水理条件でも管径によってかなり naked area が異なることを示すため載せた。測定値としてはそれぞれ2回の実験の平均値をもちいた。実験は表—3にあるように、7種類の模型と5種の流量および10種類の流砂径の組み合わせによって350回行なった。

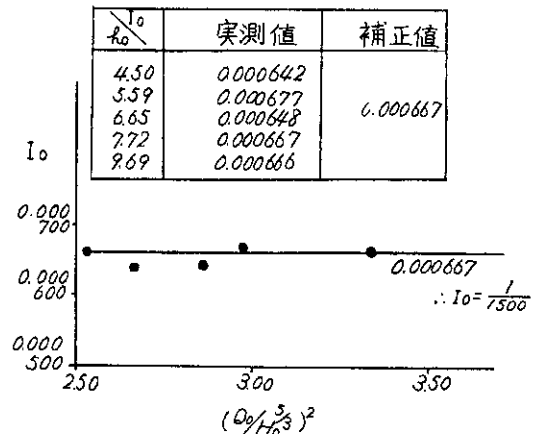
2.3 測定値とその補正

表—1は水理量の測定結果の一覧である。もし測定に不備な点があって、資料として使えないものがあると考察に影響を及ぼすので、測定値を一応検討してみる。このような実験では精度と測定技術に信頼がおけるのは長さの測定である。そこで水深と流量や水面勾配の関係を調べてみて、異常があれば補正することにした。

図—6は水深 h_0 と流量 Q の関係を対数紙にプロットしたものである。これによると $h_0=5.59, 7.72, 9.69\text{cm}$ に対する流量 Q が正しくない様であり、また $\left(\frac{Q}{h_0^{5/3}}\right)^2$ と



図—6 h_0 と Q_0



図—7 $(Q_0/h_0^{5/3})^2$ と I_0

水面勾配 I の関係をとると図—7に示すように $I_0 = 1/1,500$ の値をほぼ最確線とすることができる。

表—2は図—6, 7の最確線によって補正した値を用いて整理した水理量測定結果である。また表—3は各実験のスケッチから読みとった橋脚模型の中心から、橋脚前面の流砂のない点までの距離と橋脚模型の直径および水深の一覧である。

これらの測定値間の関係を調べるには、測定値およびその組み合わせによってできるいろいろの量の間の関係をすべて検討しなければならないことになるが、次節に述べる次元解析によって有効な因子を抜き出し、考察を加えるなら必要かつ十分である。

3. 次元解析

3.1 次元解析

実験値整理の手法として、しばしば次元解析が用いられるが、バッキンガムの π 定理に基づいている。

この実験でも実験結果に関与するいくつかの因子を選び出し、それらの組み合わせでできる無次元積の間の関係を求め考察を加えた。

3.2 円形ピヤのまわりの局部洗掘に関与する因子

すでに行なわれた多くの研究や実験から、橋脚のまわりの洗掘とくに河床からの最大洗掘深 h_{st} には、

表—2 補 正 水 理 量

番 号	$H_0\text{cm}$	$Q_0(\text{l/s})$	$(Q_0/H_0^{5/3})^2$	I_0	$A_0\text{m}^2$	$U_0\text{cm/s}$	$\frac{U_0\text{ cm/s}}{=\sqrt{gH_0I_0}}$	$F_{ro}=U_0/\sqrt{gH_0}$	$\frac{U_0^2}{2g}$
1-1-10	4.50	20	2.66	0.000667	0.068	29.4	1.72	0.443	0.441
2-11-20	5.59	29.5	2.81	0.000667	0.084	35.1	1.92	0.474	0.6290
3-21-30	6.65	40	2.89	0.000667	0.100	40.0	2.08	0.495	0.816
4-31-40	7.72	51.5	2.92	0.000667	0.116	44.4	2.25	0.510	1.006
5-41-50	9.69	77.0	3.06	0.000667	0.145	53.1	2.52	0.545	1.439

- a 流れの水量
- b 橋脚の形状および大きさ
- c 河床材料の諸性質

などが大きく影響することがわかっている。このうち流れの水量と橋脚の形状および大きさは二次流を規制する側になるもので、河床材料の諸性質はこの二次流に抵抗する側になるものである。いま、考えられる橋脚のまわりの洗掘に関する因子を列挙してみると次のようになる。

a 流れの水量から

i 流れの全体として

- | | |
|-------------------|--|
| 1. 流量 | $Q(\text{m}^3/\text{s})$ |
| 2. 川幅 | $B(\text{m})$ |
| 3. 平均水深、(径深) | $H(\text{m})\text{or } R(\text{m})$ |
| 4. 水面勾配 | I |
| 5. 平均流速 | $U(\text{m/s})$ |
| 6. 摩擦速度、(流れのせん断力) | $U_*(\text{m/s})\text{or}$
$\tau(\text{kg}/\text{m}^2)$ |
| 7. フルード数 | Fr |

ii 橋脚の近くで

- | | |
|--------------|-------------------------------------|
| 1. 単位幅当たりの流量 | $q_0(\text{m}^3/\text{s}/\text{m})$ |
| 2. 水深 | $h_0(\text{m})$ |
| 3. 平均流速 | $U_0(\text{m/s})$ |
| 4. 水面勾配 | I_0 |
| 5. 摩擦速度 | $U_{*0}(\text{m/s})$ |
| 6. フルード数 | Fr_0 |

iii 二次流から

- | | |
|---|--------------------|
| 1. 二次流の流速分布型 | $u(\text{m/s})$ |
| 2. 二次流の境界層厚 | $\delta(\text{m})$ |
| 3. 二次流の摩擦速度 | $u_*(\text{m/s})$ |
| 4. 二次流の挙動(ピヤの壁からの距離や角度による δ , u , u_* の変化) | |

iv その他

- | | |
|-----------|--------------------------------|
| 1. 重力の加速度 | $g(\text{m/s}^2)$ |
| 2. 動粘性係数 | $\nu(\text{m}^2/\text{s})$ |
| 3. 水の単位重量 | $w_0(\text{kg}/\text{m}^3)$ |
| 4. 水の密度 | $\rho_w(\text{kg}/\text{m}^3)$ |

b 橋脚の形状から

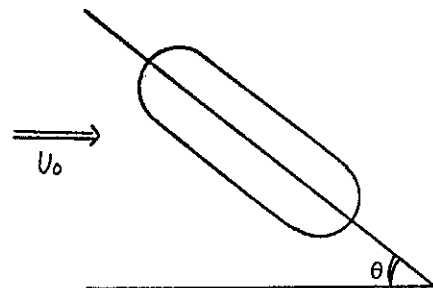
- | | |
|----------------------|----------------------------|
| 1. 橋脚の形(図—8参照) | |
| 2. 橋脚の幅または直径 | $b\text{or } 2a(\text{m})$ |
| 3. 橋脚の流れに対する角(図—9参照) | θ |
| 4. 橋脚の本数 | m |
| 5. 橋脚の表面の状態 | |

c 河床材料の性質から

- | | |
|--------------|-----------------|
| 1. 流路の粗度係数 | n |
| 2. 河床材料の平均粒径 | $d_m(\text{m})$ |



図—8 ピヤの形



図—9 ピヤの方向

- | | |
|----------------|--------------------------------|
| 3. 河床材料の粒度分布 | |
| 4. 河床材料の限界摩擦速度 | $u_{*c}(\text{m/s})$ |
| 5. 河床材料の密度 | $\rho_0(\text{kg}/\text{m}^3)$ |
| 6. 流砂の平均粒径 | $d_{m0}(\text{m})$ |
| 7. 流砂の粒度分布 | λ_0 |
| 8. 流砂の限界摩擦速度 | $u_{*0c}(\text{m/s})$ |
| 9. 流砂の密度 | $\rho_s(\text{kg}/\text{m}^3)$ |
| 10. 流砂の単位重量 | $w_s(\text{kg}/\text{m}^3)$ |

3.3 実験に関与した因子とその吟味

おえがきおよび実験の項で述べたように、この実験では、

- i 橋脚の前面の流砂がとまり得ない範囲を表わす ℓ はいろいろな条件から生じた二次流の諸性質を含めた結果としての値である。
- ii 最大洗掘深 h_{st} は ℓ と密接な関係がある。
- iii 幅の十分広い水路の中に半径 a の円筒橋脚を1本だけおいた。
- iv 水路は固定床で実際には洗掘は生じない。

これらのことから、実験結果に直接関係する因子が、
2) 前回の実験では、 ℓ , a , q_0 , h_0 , U_0 , I_0 , u_{*0} , Fr_0 ,
であったが、今回は流砂の平均粒径 d_{m0} が変化するという
ことでこの他に、 ρ_w , w_0 , d_{m0} , u_{*0c} , ρ_s , w_s , であ

り、これら以外はすべて定数としてあつかうことにする。また、 $I_0 = U_{*0}^2 / gh_0$, $Fr_0 = U_0 / \sqrt{gh_0}$, $q_0 = U_0 h_0$, $w_0 = \rho_w g$, $w_s = \rho_s g$ で表わすことができるので、最終的には l , a , g , h_0 , U_0 , U_{*0} , ρ_w , ρ_s , d_{m0} , u_{*0c} の10個が関係すると考えられる。

3.4 解析

次元解析のπ定理から、 n 個の物理量の次元式は、 $f(l, a, g, U_{*0}, U_0, h_0, \rho_w, \rho_s, d_{m0}, u_{*0c}) = 0$ (1)である。

ここで次元指数マトリクスを作ると

$$\begin{array}{c} \text{次元/因子} \quad l \quad a \quad g \quad U_{*0} \quad h_0 \quad U_0 \quad \rho_w \quad \rho_s \quad d_{m0} \quad u_{*0c} \\ \begin{array}{l} F \\ L \\ T \end{array} \quad \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -4 & -4 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -2 & -1 & 0 & -1 & 2 & 2 & 0 & -1 \end{pmatrix} \end{array} \quad \dots\dots\dots(2)$$

となる。

この中から $h_0 U_0 \rho_w$ をとり出して作った次元指数行列式は

$$M(h_0, U_0, \rho_w) = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & -4 \\ 0 & -1 & 2 \end{vmatrix} = 1 \neq 0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

となるから、(2)のマトリクスのランクは3であり、無次元積の数は $10 - 3 = 7$ 個となるはずである。

無次元積の項を求めるのに一般に、水理学ではくり返し変数として長さ l 、流速 U 、流体の密度 ρ なる3個を用いるのが慣例である。そこで h_0 , U_0 , ρ_w をくり返し変数して用いることにし以下、π定理によって無次元積を求める。

$$\pi_1 = h_0^x U_0^y \rho_w^z l \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$[L]^x [L T^{-1}]^y [F L^{-4} T^2]^z [L]^1 = [F]^0 [L]^0 [T]^0$$

これから

$$L: x + y - 4z + 1 = 0$$

$$T: -y + 2z = 0$$

$$F: z = 0$$

$$x = -1, y = 0$$

$$\pi_1 = h_0^{-1} \times 1 \times 1 \times l = \frac{l}{h_0} \quad \dots\dots\dots(5)$$

を得る。

以下同様に求めれば

$$\pi_2 = h_0^x U_0^y \rho_w^z a \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\pi_2 = \frac{a}{h_0} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\pi_3 = h_0^x U_0^y \rho_w^z g \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$\pi_3 = \frac{h_0 g}{U_0} \quad \dots\dots\dots(9)$$

ここで $Fr_0 = U_0 / \sqrt{gh_0}$ であるから、(9)式は

$$\pi_3 = Fr_0^{-2} \quad \dots\dots\dots(10)$$

ともかける。

$$\pi_4 = h_0^x U_0^y \rho_w^z u_{*0} \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$\pi_4 = U_{*0} / U_0 \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$\pi_5 = h_0^x U_0^y \rho_w^z \rho_s \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$\pi_5 = \rho_s / \rho_w \quad \dots\dots\dots(14)$$

$$\pi_6 = h_0^x U_0^y \rho_w^z d_{m0} \quad \dots\dots\dots(15)$$

$$\pi_6 = d_{m0} / h_0 \quad \dots\dots\dots(16)$$

$$\pi_7 = h_0^x U_0^y \rho_w^z u_{*0c} \quad \dots\dots\dots(17)$$

$$\pi_7 = u_{*0c} / U_0 \quad \dots\dots\dots(18)$$

のそれぞれを得る。

したがって、求める次元式は、

$$f(l/h_0, a/h_0, Fr_0^{-2}, U_{*0}/U_0, \rho_s/\rho_w, d_{m0}/h_0, u_{*0c}/U_0) = 0 \quad \dots\dots\dots(19)$$

となる。

この関係から実験式は次のようにかける。

$$l/h_0 = \varphi(a/h_0, Fr_0^{-2}, U_{*0}/U_0, \rho_s/\rho_w, d_{m0}/h_0, u_{*0c}/U_0) \quad \dots\dots\dots(20)$$

この(20)式を検討して φ の関数形を定めればよいことになる。

4. 実験結果とその考察

表—4は、cm, sec 単位による実験結果と各無次元量の計算値である。前節の次元解析によって、関係式の形がわかっているのので、各無次元積の変化の程度を考えてみる。

$$a/h_0 \quad 0.181 \sim 2.389$$

$$l/h_0 \quad 0.459 \sim 3.856$$

$$U_{*0}/U_0 \quad 0.0475 \sim 0.0585$$

$$Fr_0 \quad 0.443 \sim 0.545 \quad Fr_0^{-2} \quad 3.367 \sim 5.096$$

$$\rho_s/\rho_w \quad 2.621 \sim 2.663$$

$$d_{m0}/h_0 \quad 0.0005 \sim 0.0379$$

$$u_{*0c}/U_0 \quad 0.0205 \sim 0.1133$$

以上の結果から

- 1) a/h_0 と l/h_0 の変化の範囲は近似している。
- 2) U_{*0}/U_0 の変化は小さい。
- 3) Fr_0 の変化の範囲は小さい。
- 4) ρ_s/ρ_w の変化の範囲は小さい。
- 5) d_{m0}/h_0 の変化の範囲は大きいとその絶対値はひじょうに小さい。

これらの事から実験式を次のように表わし

$$l/h_0 = \varphi\{K_1, (a/h_0)^Q, (d_{m0}/h_0)^P, (u_{*0c}/U_0)^q\} \Psi \quad \dots\dots\dots(21)$$

K_1 は無次元常数

$$\Psi = (U_{*0}/U_0)^r (Fr_0^{-2})^s (\rho_s/\rho_w)^t$$

Ψ を一種の補正項と考える。そこで l/h_0 と a/h_0 を両対

数紙にプロットすると図-10のようになり非常によい相関を示している。これは前回の実験とほぼ一致する。

この図から $Q = 4/5$ としてよいことがわかる。

一方、 l/h_0 と d_{m0}/h_0 の関係は図-11でわかるように d_{m0} によって定数は違うが $l/h_0 \propto (d_{m0}/h_0)^{4/5}$ で表わせる。また、 l/h_0 と u_{*0c}/U_0 の場合も図-12で示すように図-11の場合と同様に $l/h_0 \propto (u_{*0c}/U_0)^{4/5}$ の関係にある事がわかる。

したがって(2)式は次のようにかける。

$$l/h_0 = \varphi \{ K, (a/h_0)^{4/5}, (d_{m0}/h_0)^{4/5}, (u_{*0c}/U_0)^{4/5} \} \Psi \quad \dots\dots\dots (2)$$

そこで次に d_{m0}/h_0 と u_{*0c}/U_0 の関係を考えてみる。
 u_{*0c} は d_{m0} によって決まるので d_{m0}/h_0 と u_{*0c}/U_0 の間には (h_0 と U_0) すなわち Q をパラメーターとして一定の関係にあるのではないかと考えられる。

図-13は d_{m0}/h_0 と u_{*0c}/U_0 の関係を示したものでこの図から d_{m0}/h_0 が大きくなると Q には関係なく、一定の傾向

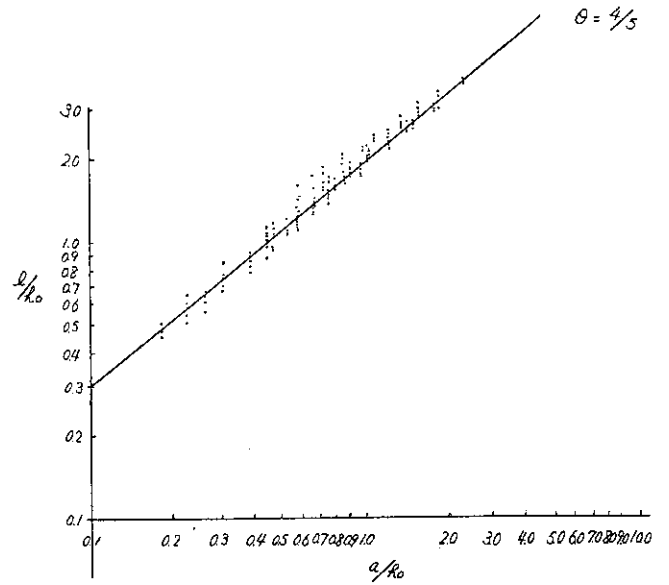


図-10 l/h_0 と a/h_0

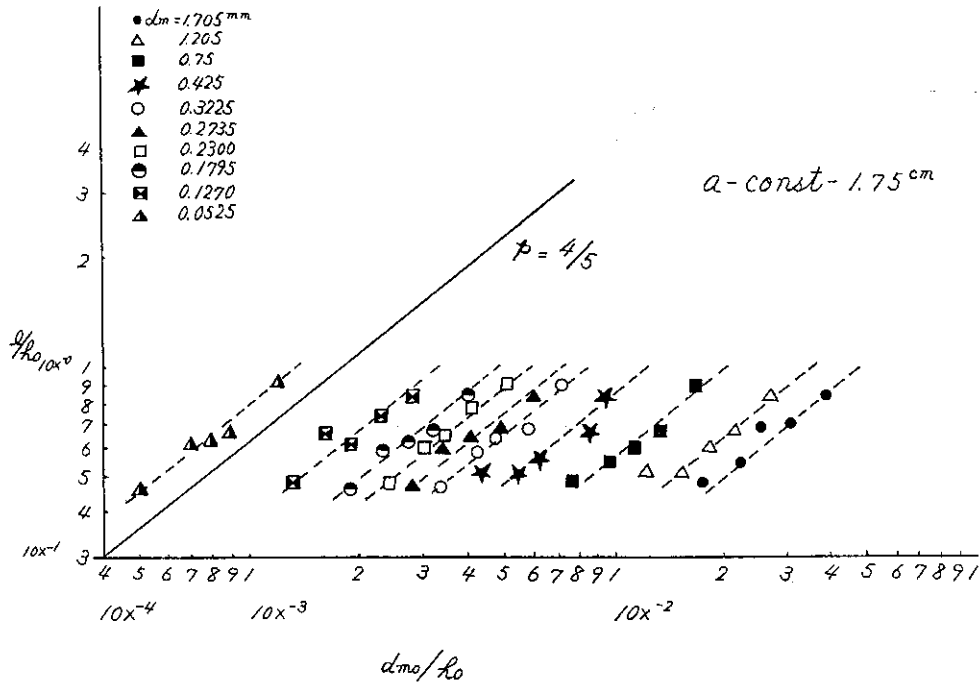


図-11 l/h_0 と d_{m0}/h_0 の関係

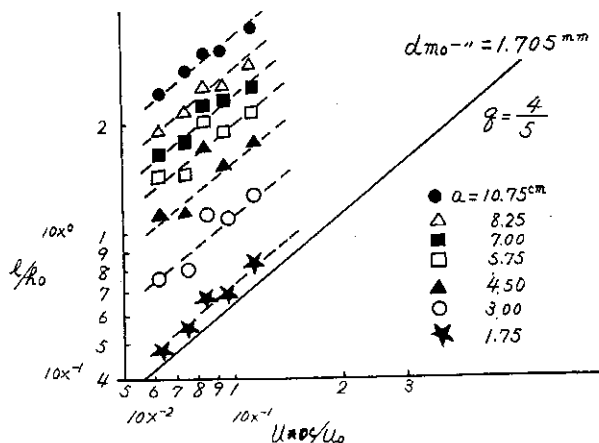
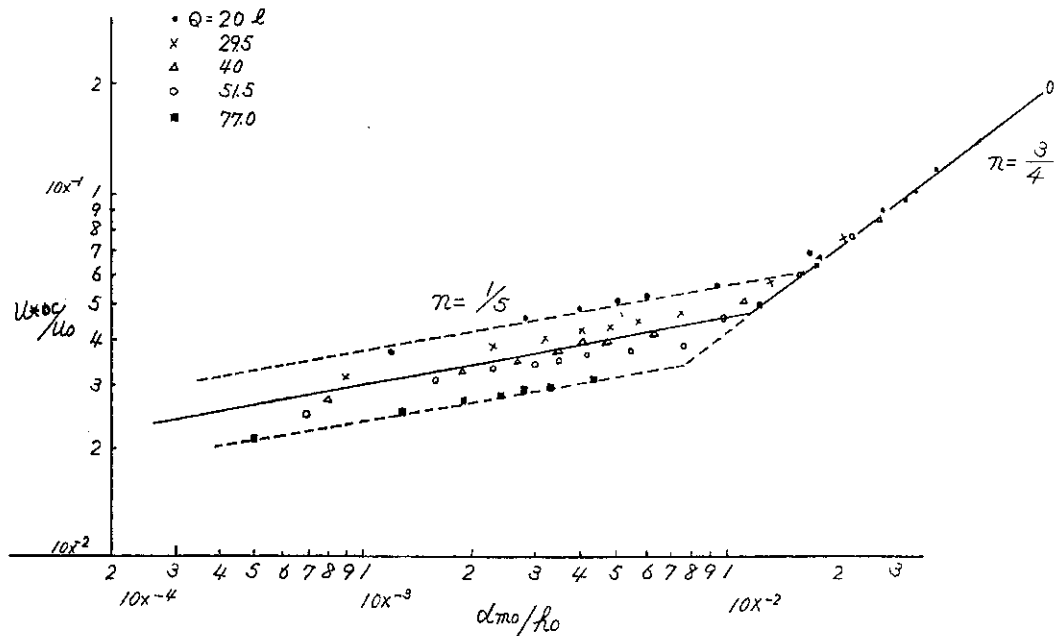


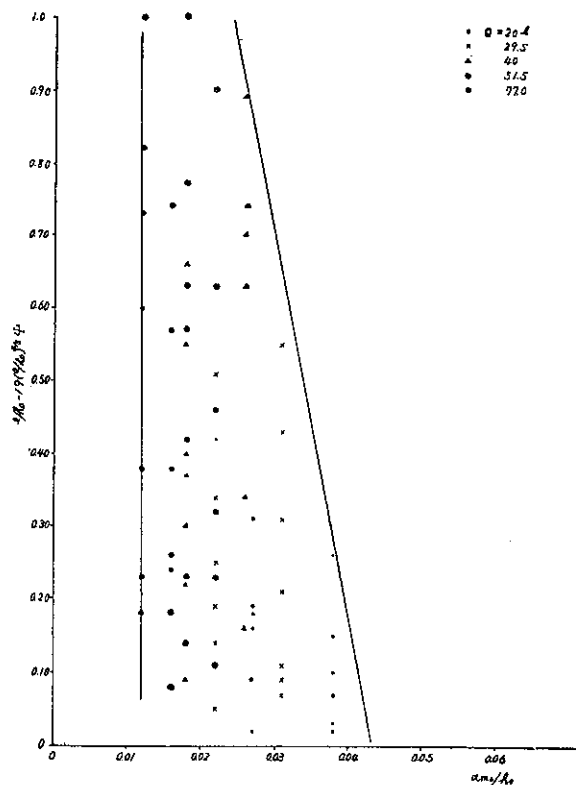
図-12 l/h_0 と u_{*0c}/U_0 の関係

を示すが $d_{m0}/h_0 < 10^{-2}$ の範囲では流量をパラメーターとして u_{*0c}/U_0 が d_{m0}/h_0 と一定の関係があることがわかる。ここで実験流量の範囲は $20 \text{ l/s} \sim 77 \text{ l/s}$ であって、その比率は約 4 であるが、 u_{*0c}/U_0 の比率は 1.5 なので本来なら Q による変化を加味しなければならないであろうが、この考察では d_{m0}/h_0 が小のところでも平均的に一定な関係が成立するものと仮定する。

そこで、(2)式を d_{m0}/h_0 と u_{*0c}/U_0 の関係で整理すると、
 $d_{m0}/h_0 < 1.2 \times 10^{-2}$ のとき図-13から $u_{*0c}/U_0 = K (d_{m0}/h_0)^{1/5}$ を得るから、
 $\{(d_{m0}/h_0) \times (d_{m0}/h_0)^{1/5}\}^{4/5}$
 $= (d_{m0}/h_0)^{24/25} \dots\dots\dots (2)$
 $l/h_0 = \varphi \{ K_0, (a/h_0)^{4/5}, (d_{m0}/h_0)^{24/25} \} \Psi$ ここで、
 $24/25 \approx 1$ とすると、



図—13 u_{*00}/u_0 と d_{m0}/h_0 の関係



図—14 $l/h_0 - (a/h_0)^{4/5} \Psi$ と d_{m0}/h_0 の関係

なく和の項として考える方が妥当と思えるので、次のように表わすことにする。

すなわち、(24)式は $l/h_0 = K(a/h_0)^{4/5} \Psi + \{(d_{m0}/h_0)^P \Psi$ となり、図—10から $K = 1.9$ を得るので、(27)式のようになる。

$$\{l/h_0 - 1.9(a/h_0)^{4/5} \Psi\} = K \left(\frac{d_{m0}}{h_0} \right)^P + C \dots (27)$$

また、(28)式も同様に

$$l/h_0 = K(a/h_0)^{4/5} \Psi + \{(d_{m0}/h_0)^{7/5} \Psi \Psi \text{ となり}$$

$$l/h_0 = 1.9(a/h_0)^{4/5} \Psi + K(d_{m0}/h_0)^{P'} + C'$$

$$\{l/h_0 - 1.9(a/h_0)^{4/5} \Psi\} = K \left(\frac{d_{m0}}{h_0} \right)^{P'} + C' \dots (28)$$

そこで、(27)、(28)式を方眼紙にプロットすれば図—14のようにならぬ傾向を持っていない。このことは図—10でも明らかのように二次流の強さを示していると思われる l 値は水理量とピヤ半径によって、ほぼ傾向が決定され、流砂径の変化による l 値そのものの変化はほとんど無いといつてよいことになる。

5. あとがき

この実験は固定床上で行なっているため、洗掘の初期状況しかわからないこと、また、 l 値そのものが二次流の強さを示しているかは、流砂の留まらない範囲における流れの挙動をすべて調べたわけではないので、まだ疑問が残っていることなどから、次の段階では、移動床水路を用い、洗掘穴内の流速分布なども測定し、この研究の完成を計る予定である。

参考文献

- 1) 橋脚のまわりの流れに関する一実験的考察 昭和43年7月北海道開発局土木試験所河川研究室：小川芳昭
- 2) 次元解析・最小自乗法と実験式：本間仁，春日屋伸昌 コロナ社

$$= \varphi \{K_{01}, (a/h_0)^{4/5}, (d_{m0}/h_0)\} \Psi \dots (24)$$

$d_{m0}/h_0 \geq 1.2 \times 10^{-2}$ のとき図—13から $u_{*00}/u_0 = K(d_{m0}/h_0)^{3/4}$ を得るから、

$$\{(d_{m0}/h_0) \times (d_{m0}/h_0)^{3/4}\}^{4/5} = (d_{m0}/h_0)^{7/5} \dots (25)$$

$$l/h_0 = \varphi \{K_{02}, (a/h_0)^{4/5}, (d_{m0}/h_0)^{7/5}\} \Psi \dots (26)$$

ここで、(24)、(26)式の d_{m0}/h_0 の項はその変化の範囲は大きい絶対値は小さいという条件を考えれば積の項では

表-3 測 定 値

番 号	水 深 H ₀ cm	流 砂 径 d mm	ピヤモデル 半 径 a cm	l cm	水 温 ℃	動 粘 性 係 数 ν cm ² /s	流 比 砂 重	ΔH cm	$\alpha \frac{U_0^2}{2g}$
1-1-1	4.5	1.705	1.75	3.75	22.2	0.00967	2.655	0.53	0.488
1-1-2			3.00	5.75				0.59	
1-1-3			4.50	8.00				0.63	
1-1-4			5.75	9.75				0.64	
1-1-5			7.00	11.50				0.65	
1-1-6			8.25	13.25				0.69	
1-1-7			10.75	16.75				0.72	
1-2-8	4.5	1.205	1.75	3.75	22.8	0.00941	2.653	0.57	0.488
1-2-9			3.00	6.00				0.61	
1-2-10			4.50	8.15				0.67	
1-2-11			5.75	10.15				0.69	
1-2-12			7.00	11.90				0.71	
1-2-13			8.25	13.40				0.74	
1-2-14			10.75	16.90				0.76	
1-3-15	4.5	0.75	1.75	4.00	23.3	0.00941	2.621	0.51	0.488
1-3-16			3.00	6.00				0.54	
1-3-17			4.50	7.75				0.56	
1-3-18			5.75	9.75				0.59	
1-3-19			7.00	11.75				0.63	
1-3-20			8.25	13.25				0.65	
1-3-21			10.75	17.10				0.71	
1-4-22	4.5	0.425	1.75	3.75	23.6	0.00916	2.631	0.64	0.488
1-4-23			3.00	5.75				0.67	
1-4-24			4.50	8.15				0.68	
1-4-25			5.75	9.75				0.70	
1-4-26			7.00	12.00				0.73	
1-4-27			8.25	13.50				0.75	
1-4-28			10.75	16.90				0.83	
1-5-29	4.5	0.3225	1.75	4.00	24.0	0.00916	2.649	0.50	0.488
1-5-30			3.00	5.65				0.54	
1-5-31			4.50	8.10				0.62	
1-5-32			5.75	10.00				0.65	
1-5-33			7.00	11.35				0.70	
1-5-34			8.25	13.50				0.72	
1-5-35			10.75	16.75				0.73	
1-6-36	4.5	0.2735	1.75	3.75	24.4	0.00916	2.658	0.66	0.488
1-6-37			3.00	5.75				0.70	
1-6-38			4.50	8.00				0.74	
1-6-39			5.75	9.85				0.77	
1-6-40			7.00	11.75				0.81	
1-6-41			8.25	14.00				0.84	
1-6-42			10.75	17.10				0.84	

番 号	水 深 H ₀ cm	流 砂 径 d mm	ピヤモデル 半 径 a cm	ℓ cm	水 温 ℃	動 粘 性 係 数 ν _{cm²/s}	流 比 砂 重	ΔH _{cm}	$\alpha \frac{U_0^2}{2g}$
1-7-43	4.5	0.230	1.75	4.00	24.5	0.00893	2.663	0.71	0.488
1-7-44			3.00	6.00				0.73	
1-7-45			4.50	8.15				0.77	
1-7-46			5.75	10.35				0.84	
1-7-47			7.00	12.20				0.86	
1-7-48			8.25	13.85				0.90	
1-7-49			10.75	17.35				0.90	
1-8-50	4.5	0.1795	1.75	3.75	24.5	0.00893	2.646	0.60	0.488
1-8-51			3.00	5.65				0.65	
1-8-52			4.50	7.85				0.74	
1-8-53			5.75	9.90				0.79	
1-8-54			7.00	11.90				0.84	
1-8-55			8.25	13.90				0.86	
1-8-56			10.75	17.05				0.88	
1-9-57	4.5	0.127	1.75	3.75	24.5	0.00893	2.641	0.61	0.488
1-9-58			3.00	6.05				0.64	
1-9-59			4.50	8.25				0.71	
1-9-60			5.75	9.90				0.73	
1-9-61			7.00	11.85				0.75	
1-9-62			8.25	13.85				0.78	
1-6-63			10.75	16.90				0.84	
1-10-64	4.5	0.0525	1.75	4.10	24.5	0.00893	2.646	0.60	0.488
1-10-65			3.00	5.75				0.61	
1-10-66			4.50	8.60				0.67	
1-10-67			5.75	10.00				0.74	
1-10-68			7.00	11.85				0.78	
1-10-69			8.25	13.80				0.79	
1-10-70			10.75	16.85				0.83	
2-1-1	5.59	1.705	1.75	3.90	24.3	0.00916	2.655	0.78	0.692
2-1-2			3.00	6.00				0.89	
2-1-3			4.50	8.60				0.90	
2-1-4			5.75	10.75				1.01	
2-1-5			7.00	13.00				1.01	
2-1-6			8.25	14.25				1.05	
2-1-7			10.75	18.00				1.13	
2-2-8	5.59	1.205	1.75	3.75	24.3	0.00916	2.653	0.72	0.692
2-2-9			3.00	6.15				0.83	
2-2-10			4.50	8.50				0.89	
2-2-11			5.75	10.45				0.92	
2-2-12			7.00	12.50				0.98	
2-2-13			8.25	14.40				1.02	
2-2-14			10.75	17.75				1.05	

番 号	水 深 H ₀ cm	流 砂 径 d mm	ビヤモデル 半 径 a cm	ℓ cm	水 温 ℃	動 粘 性 数 係 ν _{cm²/s}	流 比 砂 重	ΔH _{cm}	$\alpha \frac{U_0^2}{2g}$
2-3-15	5.59	0.75	1.75	3.75	24.3	0.00916	2.621	0.84	0.692
2-3-16			3.00	6.00				0.91	
2-3-17			4.50	8.50				0.93	
2-3-18			5.75	10.55				0.95	
2-3-19			7.00	12.20				1.00	
2-3-20			8.25	13.95				1.00	
2-3-21			10.75	17.60				1.07	
2-4-22	5.59	0.425	1.75	3.75	24.0	0.00916	2.631	0.89	0.692
2-4-23			3.00	6.00				0.96	
2-4-24			4.50	8.50				1.00	
2-4-25			5.75	10.65				1.06	
2-4-26			7.00	12.50				1.09	
2-4-27			8.25	14.25				1.12	
2-4-28			10.75	17.95				1.16	
2-5-29	5.59	0.3225	1.75	3.75	24.2	0.00916	2.649	0.75	0.692
2-5-30			3.00	6.00				0.82	
2-5-31			4.50	8.75				0.88	
2-5-32			5.75	10.75				0.93	
2-5-33			7.00	13.00				0.96	
2-5-34			8.25	14.75				1.00	
2-5-35			10.75	17.95				1.05	
2-6-36	5.59	0.2735	1.75	3.75	24.5	0.00893	2.658	0.80	0.692
2-6-37			3.00	6.15				0.85	
2-6-38			4.50	8.50				0.89	
2-6-39			5.75	10.85				0.93	
2-6-40			7.00	13.00				0.95	
2-6-41			8.25	14.50				0.97	
2-6-42			10.75	18.15				1.01	
2-7-43	5.59	0.230	1.75	4.40	25.0	0.00893	2.663	1.00	0.692
2-7-44			3.00	6.00				1.02	
2-7-45			4.50	8.50				1.05	
2-7-46			5.75	10.55				1.10	
2-7-47			7.00	12.90				1.12	
2-7-48			8.25	15.15				1.15	
2-7-49			10.75	17.75				1.18	
2-8-50	5.59	0.1795	1.75	3.75	24.9	0.00893	2.646	1.01	0.692
2-8-51			3.00	6.00				1.06	
2-8-52			4.50	9.50				1.10	
2-8-53			5.75	10.75				1.18	
2-8-54			7.00	12.25				1.25	
2-8-55			8.25	15.25				1.27	
2-8-56			10.75	17.75				1.33	

番 号	水 深 H ₀ cm	流 砂 径 d mm	ピヤモデル 半 径 a cm	ℓ cm	水 温 ℃	動 粘 性 係 数 ν cm ² /s	流 比 砂 重	ΔH cm	$\alpha \frac{U_0^2}{2g}$
2-9-57	5.59	0.127	1.75	4.15	24.9	0.00893	2.641	0.82	0.692
2-9-58			3.00	6.00				0.85	
2-9-59			4.50	8.75				0.94	
2-9-60			5.75	10.65				1.03	
2-9-61			7.00	12.75				1.10	
2-9-62			8.25	14.25				1.17	
2-9-63			10.75	17.65				1.22	
2-10-64	5.59	0.0525	1.75	3.75	25.1	0.00893	2.646	0.86	0.692
2-10-65			3.00	6.75				0.95	
2-10-66			4.50	9.50				1.04	
2-10-67			5.75	11.25				1.08	
2-10-68			7.00	13.25				1.21	
2-10-69			8.25	15.25				1.28	
2-10-70			10.75	18.50				1.29	
3-1-1	6.65	1.705	1.75	4.50	24.7	0.00893	2.655	0.87	0.898
3-1-2			3.00	7.50				0.90	
3-1-3			4.50	11.50				0.94	
3-1-4			5.75	13.75				0.97	
3-1-5			7.00	15.00				1.02	
3-1-6			8.25	16.75				1.05	
3-1-7			10.75	20.50				1.12	
3-2-8	6.65	1.205	1.75	4.00	24.9	0.00893	2.653	0.68	0.898
3-2-9			3.00	6.75				0.79	
3-2-10			4.50	9.25				0.86	
3-2-11			5.75	11.25				0.93	
3-2-12			7.00	13.00				0.99	
3-2-13			8.25	15.50				1.07	
3-2-14			10.75	19.00				1.11	
3-3-15	6.65	0.75	1.75	4.00	25.4	0.00893	2.621	0.91	0.898
3-3-16			3.00	7.15				0.96	
3-3-17			4.50	9.50				1.00	
3-3-18			5.75	12.15				1.08	
3-3-19			7.00	13.75				1.13	
3-3-20			8.25	15.65				1.14	
3-3-21			10.75	18.75				1.21	
3-4-22	6.65	0.425	1.75	3.75	25.5	0.00870	2.631	0.99	0.898
3-4-23			3.00	6.40				1.06	
3-4-24			4.50	9.35				1.11	
3-4-25			5.75	12.00				1.16	
3-4-26			7.00	13.75				1.20	
3-4-27			8.25	15.25				1.24	
3-4-28			10.75	18.65				1.29	

番 号	水 深 H ₀ cm	流 砂 径 d mm	ピヤモデル 半 径 a cm	ℓ cm	水 温 ℃	動 粘 性 係 数 ν cm ² /s	流 比 砂 重	ΔHcm	$\alpha \frac{U_0^2}{2g}$
3-5-29	6.65	0.3225	1.75	4.25	26.0	0.00870	2.649	0.72	0.898
3-5-30			3.00	7.25				1.08	
3-5-31			4.50	10.25				1.19	
3-5-32			5.75	11.90				1.28	
3-5-33			7.00	14.65				1.34	
3-5-34			8.25	16.10				1.37	
3-5-35			10.75	19.50				1.41	
3-6-36	6.65	0.2735	1.75	4.25	22.4	0.00967	2.658	0.96	0.898
3-6-37			3.00	7.00				1.03	
3-6-38			4.50	9.50				1.14	
3-6-39			5.75	11.50				1.19	
3-6-40			7.00	13.50				1.25	
3-6-41			8.25	15.40				1.31	
3-6-42			10.75	19.40				1.38	
3-7-43	6.65	0.230	1.75	4.30	24.4	0.00916	2.663	1.04	0.898
3-7-44			3.00	5.90				1.07	
3-7-45			4.50	9.00				1.15	
3-7-46			5.75	10.90				1.20	
3-7-47			7.00	13.25				1.24	
3-7-48			8.25	15.65				1.31	
3-7-49			10.75	19.50				1.37	
3-8-50	6.65	0.1795	1.75	4.10	25.0	0.00893	2.646	1.03	0.898
3-8-51			3.00	5.90				1.07	
3-8-52			4.50	9.00				1.10	
3-8-53			5.75	11.00				1.14	
3-8-54			7.00	13.40				1.24	
3-8-55			8.25	15.50				1.27	
3-8-56			10.75	19.40				1.32	
3-9-57	6.65	0.127	1.75	4.05	24.5	0.00893	2.641	0.93	0.898
3-9-58			3.00	6.90				1.00	
3-9-59			4.50	9.15				1.06	
3-9-60			5.75	11.45				1.11	
3-9-61			7.00	13.50				1.19	
3-9-62			8.25	15.50				1.22	
3-9-63			10.75	18.90				1.27	
3-10-64	6.65	0.0525	1.75	4.25	24.8	0.00893	2.646	1.03	0.898
3-10-65			3.00	6.85				1.12	
3-10-66			4.50	9.25				1.21	
3-10-67			5.75	11.65				1.27	
3-10-68			7.00	13.80				1.33	
3-10-69			8.25	15.50				1.38	
3-10-70			10.75	20.00				1.43	

番 号	水 深 H ₀ cm	流 砂 径 d mm	ピヤモデル 半 径 a cm	ℓ cm	水 温 C	動 粘 性 係 数 ν cm ² /s	流 比 砂 重	ΔHcm	$\alpha \frac{U_0^2}{2g}$
4-1-1	7.72	1.705	1.75	4.25	22.6	0.00941	2.655	1.63	1.11
4-1-2			3.00	6.10				1.66	
4-1-3			4.50	9.00				1.68	
4-1-4			5.75	11.25				1.68	
4-1-5			7.00	13.85				1.68	
4-1-6			8.25	16.65				1.71	
4-1-7			10.75	21.65				1.76	
4-2-8	7.72	1.205	1.75	4.00	22.7	0.00941	2.653	1.46	1.11
4-2-9			3.00	6.65				1.51	
4-2-10			4.50	9.25				1.57	
4-2-11			5.75	10.65				1.63	
4-2-12			7.00	13.25				1.70	
4-2-13			8.25	16.15				1.70	
4-2-14			10.75	20.25				1.75	
4-3-15	7.72	0.75	1.75	4.25	23.2	0.00941	2.621	1.44	1.11
4-3-16			3.00	6.50				1.53	
4-3-17			4.50	9.10				1.57	
4-3-18			5.75	11.90				1.64	
4-3-19			7.00	14.15				1.72	
4-3-20			8.25	16.90				1.78	
4-3-21			10.75	20.35				1.86	
4-4-22	7.72	0.425	1.75	3.90	23.0	0.00941	2.631	1.58	1.11
4-4-23			3.00	6.60				1.54	
4-4-24			4.50	9.50				1.74	
4-4-25			5.75	11.35				1.81	
4-4-26			7.00	14.15				1.89	
4-4-27			8.25	16.00				1.92	
4-4-28			10.75	19.90				1.96	
4-5-29	7.72	0.3225	1.75	4.50	23.3	0.00941	2.649	1.58	1.11
4-5-30			3.00	6.35				1.61	
4-5-31			4.50	8.75				1.67	
4-5-32			5.75	11.25				1.63	
4-5-33			7.00	13.75				1.65	
4-5-34			8.25	16.00				1.69	
4-5-35			10.75	20.25				1.72	
4-6-36	7.72	0.2735	1.75	4.65	19.8	0.01004	2.658	1.34	1.11
4-6-37			3.00	6.50				1.41	
4-6-38			4.50	8.50				1.45	
4-6-39			5.75	11.00				1.49	
4-6-40			7.00	13.50				1.64	
4-6-41			8.25	16.00				1.66	
4-6-42			10.75	19.75				1.75	

番 号	水 深 H ₀ cm	流 砂 径 d mm	ピヤモデル 半 径 a cm	ℓ cm	水 温 ℃	動 粘 性 係 数 ν _{cm²/s}	流 比 砂 重	ΔHcm	$\alpha \frac{U_0^2}{2g}$
4-7-43	7.72	0.230	1.75	4.65	20.4	0.01004	2.663	1.35	1.11
4-7-44			3.00	7.00				1.46	
4-7-45			4.50	9.50				1.57	
4-7-46			5.75	12.00				1.61	
4-7-47			7.00	14.25				1.64	
4-7-48			8.25	16.25				1.69	
4-7-49			10.75	20.35				1.73	
4-8-50	7.72	0.1795	1.75	4.55	20.7	0.00997	2.646	1.49	1.11
4-8-51			3.00	6.85				1.53	
4-8-52			4.50	9.25				1.60	
4-8-53			5.75	11.35				1.68	
4-8-54			7.00	13.75				1.73	
4-8-55			8.25	15.40				1.76	
4-8-56			10.75	20.25				1.86	
4-9-57	7.72	0.127	1.75	5.00	21.0	0.00997	2.641	1.30	1.11
4-9-58			3.00	7.00				1.49	
4-9-59			4.50	10.40				1.50	
4-9-60			5.75	12.75				1.53	
4-9-61			7.00	14.90				1.60	
4-9-62			8.25	16.90				1.71	
4-9-63			10.75	20.50				1.74	
4-10-64	7.72	0.0525	1.75	4.75	21.1	0.00997	2.646	1.44	1.11
4-10-65			3.00	7.00				1.54	
4-10-66			4.50	10.50				1.59	
4-10-67			5.75	13.25				1.65	
4-10-68			7.00	15.00				1.73	
4-10-69			8.25	17.00				1.75	
4-10-70			10.75	20.75				1.86	
5-1-1	9.96	1.705	1.75	4.64	23.7	0.00946	2.655	1.56	1.583
5-1-2			3.00	7.25				1.57	
5-1-3			4.50	11.00				1.64	
5-1-4			5.75	14.00				1.67	
5-1-5			7.00	16.00				1.76	
5-1-6			8.25	18.75				1.82	
5-1-7			10.75	23.75				1.87	
5-2-8	9.96	1.205	1.75	5.00	23.7	0.00916	2.653	1.34	1.583
5-2-9			3.00	7.25				1.41	
5-2-10			4.50	10.65				1.45	
5-2-11			5.75	14.25				1.60	
5-2-12			7.00	17.00				1.62	
5-2-13			8.25	19.25				1.72	
5-2-14			10.75	23.65				1.80	

番 号	水 深 H ₀ cm	流 砂 径 d mm	ピヤモデル 半 径 a cm	ℓ cm	水 温 ℃	動 粘 性 係 数 ν cm ² /s	流 比 砂 重	ΔH cm	$\alpha \frac{U_0^2}{2g}$
5-3-15	9.96	0.75	1.75	4.75	23.8	0.00916	2.621	1.42	1.583
5-3-16			3.00	7.65				1.50	
5-3-17			4.50	9.25				1.59	
5-3-18			5.75	12.50				1.62	
5-3-19			7.00	14.40				1.65	
5-3-20			8.25	17.40				1.71	
5-3-21			10.75	22.50				1.91	
5-4-22	9.96	0.425	1.75	4.90	23.6	0.00916	2.631	1.38	1.583
5-4-23			3.00	8.25				1.45	
5-4-24			4.50	11.50				1.54	
5-4-25			5.75	15.50				1.59	
5-4-26			7.00	18.15				1.62	
5-4-27			8.25	20.25				1.69	
5-4-28			10.75	23.65				1.74	
5-5-29	9.69	0.3225	1.75	4.50	24.0	0.00916	2.649	1.45	1.583
5-5-30			3.00	6.575				1.52	
5-5-31			4.50	9.35				1.59	
5-5-32			5.75	11.50				1.65	
5-5-33			7.00	14.40				1.73	
5-5-34			8.25	17.00				1.75	
5-5-35			10.75	22.75				1.85	
5-6-36	9.69	0.2735	1.75	4.55	23.1	0.00941	2.658	1.22	1.583
5-6-37			3.00	7.00				1.30	
5-6-38			4.50	10.50				1.34	
5-6-39			5.75	12.50				1.41	
5-6-40			7.00	14.90				1.58	
5-6-41			8.25	17.40				1.66	
5-6-42			10.75	22.75				1.77	
5-7-43	9.69	0.230	1.75	4.60	23.3	0.00941	2.663	1.24	1.583
5-7-44			3.00	6.90				1.37	
5-7-45			4.50	10.50				1.39	
5-7-46			5.75	12.75				1.48	
5-7-47			7.00	15.40				1.57	
5-7-48			8.25	17.90				1.60	
5-7-49			10.75	23.25				1.69	
5-8-50	9.69	0.1795	1.75	4.45	23.7	0.00916	2.646	1.37	1.583
5-8-51			3.00	7.00				1.47	
5-8-52			4.50	10.30				1.54	
5-8-53			5.75	12.50				1.74	
5-8-54			7.00	14.75				1.74	
5-8-55			8.25	17.00				1.76	
5-8-56			10.75	22.50				1.85	

番 号	水 深 H ₀ cm	流 砂 径 d mm	ピヤモデル 半 径 a cm	l cm	水 温 C	動 粘 性 係 数 ν cm ² /s	流 砂 比 重	ΔH cm	$\alpha \frac{U_0^2}{2g}$
5-9-57	9.69	0.127	1.75	4.65	23.4	0.00941	2.641	1.40	1.583
5-9-58			3.00	7.00				1.45	
5-9-59			4.50	10.25				1.50	
5-9-60			5.75	13.00				1.60	
5-9-61			7.00	15.00				1.63	
5-9-62			8.25	17.75				1.68	
5-9-63			10.75	23.00				1.73	
5-10-64	9.69	0.0525	1.75	4.55	23.8	0.00916	2.646	1.63	1.583
5-10-65			3.00	7.00				1.68	
5-10-66			4.50	10.25				1.76	
5-10-67			5.75	13.00				1.83	
5-10-68			7.00	14.75				1.87	
5-10-69			8.25	17.20				1.90	
5-10-70			10.75	22.00				1.95	

表-4 実験結果と無次元量

cm a	cm ℓ	cm h_0	a/h ₀	ℓ/h_0	U _{*0} /U ₀	Fr ₀ ⁻²	ρ_0/ρ_w	d _{mn} /h ₀	U _{*0c} /U ₀	$(a/h_0)^{\frac{4}{3}}$	$\psi = \left(\frac{U_{*0}/U_0 \times Fr_0^{-2}}{\rho_0/\rho_w} \right)^{\frac{5}{12}}$	$(\ell/h_0) - 1.9(a/h_0)^{\frac{4}{3}}\psi$
1.75	3.75		0.389	0.833						0.470		0.023
3.00	5.75		0.667	1.278						0.723		0.023
4.50	8.00		1.000	1.778						1.000		0.054
5.75	9.75	4.50	1.278	2.167	0.0585	5.096	2.655	0.0379	0.1133	1.217	0.9072	0.069
7.00	11.50		1.556	2.556						1.425		0.100
8.25	13.25		1.833	2.944						1.624		0.145
10.75	16.75		2.389	3.722						2.007		0.263
1.75	3.75		0.389	0.833						0.470		0.023
3.00	6.00		0.667	1.333						0.723		0.087
4.50	8.15		1.000	1.811						1.000		0.088
5.75	10.15	4.50	1.278	2.256	0.0585	5.096	2.653	0.0268	0.0888	1.217	0.9070	0.159
7.00	11.90		1.556	2.644						1.425		0.188
8.25	13.80		1.833	2.978						1.624		0.179
10.75	16.95		2.389	3.767						2.007		0.308
1.75	4.00		0.389	0.889						0.470		0.083
3.00	6.00		0.667	1.333						0.723		0.093
4.50	7.75		1.000	1.722						1.000		0.007
5.75	9.75	4.50	1.278	2.167	2.0585	5.096	2.621	0.0167	0.0684	1.217	0.9025	0.080
7.00	11.75		1.556	2.611						1.425		0.167
8.25	13.25		1.833	2.944						1.624		0.159
10.75	17.10		2.380	3.800						2.007		0.358
1.75	3.75		0.389	0.833						0.470		0.026
3.00	5.75		0.667	1.278						0.723		0.036
4.50	8.15		1.000	1.811						1.000		0.094
5.75	9.75	4.50	1.278	2.167	0.0585	5.096	2.631	0.0094	0.0558	1.217	0.9039	0.077
7.00	12.00		1.556	2.667						1.425		0.220
8.25	13.50		1.833	3.000						1.624		0.211
10.75	16.90		2.389	3.756						2.007		0.309

cm a	cm ℓ	cm $\frac{cm}{h_0}$	a/h_0	ℓ/h_0	U_{*0}/U_0	F_{s0}^{-2}	ρ_s/ρ_w	d_{ms}/h_0	U_{*0c}/U_0	$(a/h_0)^{\frac{4}{5}}$	$\psi = \left(\frac{U_{*0}/U_0 \times F_{s0}^{-2}}{\rho_s/\rho_w} \right)^{\frac{5}{12}}$	$(\ell/h_0) - 1.9(a/h_0)^{\frac{4}{5}}\psi$
1.75	4.00		0.389	0.889						0.470		0.080
3.00	5.65		0.667	1.256						0.723		0.011
4.50	8.10		1.000	1.800						1.000		0.078
5.75	10.00	4.50	1.278	2.222	0.0585	5.096	2.649	0.0072	0.0534	1.217	0.9064	0.126
7.00	11.35		1.556	2.522						1.425		0.068
8.25	13.50		1.833	3.000						1.624		0.203
10.75	16.75		2.389	3.722						2.007		1.266
1.75	3.75		0.389	0.833						0.470		0.023
3.00	5.75		0.667	1.278						0.723		0.031
4.50	8.00		1.000	1.778						1.000		0.053
5.75	9.85	4.50	1.278	2.189	0.0585	5.096	2.658	0.0061	0.0520	1.217	0.9077	0.090
7.00	11.75		1.556	2.611						1.425		0.153
8.25	14.00		1.833	3.111						1.624		0.310
10.75	17.10		2.389	3.800						2.007		0.339
1.75	4.00		0.389	0.889						0.470		0.078
3.00	6.00		0.667	1.333						0.723		0.085
4.50	8.15		1.000	1.811						1.000		0.085
5.75	10.35	4.50	1.278	2.300	0.0585	5.096	2.663	0.0051	0.0503	1.217	0.9084	0.200
7.00	12.20		1.556	2.711						1.425		0.252
8.25	13.85		1.833	3.078						1.624		0.275
10.75	17.35		2.389	3.856						2.007		0.392
1.75	3.75		0.389	0.833						0.470		0.024
3.00	5.65		0.667	1.256						0.723		0.011
4.50	7.85		1.000	1.744						1.000		0.023
5.75	9.90	4.50	1.278	2.200	0.0585	5.096	2.646	0.0040	0.0480	1.217	0.9060	0.105
7.00	11.90		1.556	2.644						1.425		0.191
8.25	13.90		1.833	3.089						1.624		0.293
10.75	17.05		2.389	3.789						2.007		0.334

cm a	cm ℓ	cm h_0	a/h ₀	ℓ/h_0	U_{*0}/U_0	F_{+0}^{-2}	ρ_s/ρ_w	d _{m0} /h ₀	U_{*0c}/U_0	$(a/h_0)^{\frac{4}{5}}$	$\phi = \left(\frac{U_{*0}/U_0 \times F_{+0}^{-2}}{\rho_s/\rho_w} \right)^{\frac{5}{12}}$	$(\ell/h_0) - 1.9(a/h_0)^{\frac{4}{5}}\phi$
1.75	3.75	4.50	0.389	0.833	0.0585	5.096	2.641	0.0028	0.0452	0.470	0.9053	0.025
3.00	6.05		0.667	1.344						0.723		0.100
4.50	8.25		1.000	1.833						1.000		0.113
5.75	9.90		1.278	2.200						1.217		0.107
7.00	11.85		1.556	2.633						1.425		0.162
8.25	13.85		1.833	3.078						1.624		0.285
10.75	16.90		2.389	3.756						2.007		0.304
1.75	4.10	4.50	0.389	0.911	0.0585	5.096	2.646	0.0012	0.0371	0.470	0.9060	0.102
3.00	5.75		0.667	1.278						0.723		0.033
4.50	8.60		1.000	1.911						1.000		0.190
5.75	10.00		1.278	2.222						1.217		0.127
7.00	11.85		1.556	2.633						1.425		0.180
8.25	13.80		1.833	3.067						1.624		0.271
10.75	16.85		2.389	3.744						2.007		0.239
1.75	3.90	5.59	0.313	0.698	0.0544	4.451	2.655	0.0305	0.0954	0.395	0.8321	0.074
3.00	6.00		0.537	1.073						0.608		0.112
4.50	8.60		0.805	1.538						0.841		0.208
5.75	10.75		1.029	1.923						1.023		0.306
7.00	13.00		1.252	2.326						1.197		0.434
8.25	14.25		1.476	2.549						1.365		0.091
10.75	18.00		1.923	3.220						1.687		0.553
1.75	3.75	5.59	0.313	0.671	0.0544	4.451	2.653	0.0216	0.0746	0.395	0.8318	0.047
3.00	6.15		0.537	1.100						0.608		0.139
4.50	8.50		0.805	1.521						0.841		0.192
5.75	10.45		1.029	1.869						1.023		0.252
7.00	12.50		1.252	2.236						1.197		0.344
8.25	14.00		1.476	2.576						1.365		0.419
10.75	17.75		1.923	3.175						1.687		0.511

cm a	cm ℓ	cm $\frac{cm}{h_0}$	a/h ₀	ℓ/h_0	U_{*0}/U_0	F_{r0}^{-2}	ρ_s/ρ_w	d _{mo} /h ₀	U_{*0c}/U_0	$(a/h_0)^{\frac{4}{3}}$	$\phi = \left(\frac{U_{*0}/U_0 \times F_{r0}^{-2}}{\rho_s/\rho_w} \right)^{\frac{5}{12}}$	$(\ell/h_0) - 1.9(a/h_0)^{\frac{4}{3}}\phi$
1.75	3.75	5.59	0.313	0.671	0.0544	4.451	2.621	0.0134	0.0573	0.397	0.8276	0.050
3.00	6.00		0.537	1.073						0.608		0.117
4.50	8.50		0.805	1.521						0.841		0.199
5.75	10.55		1.029	1.887						1.023		0.279
7.00	12.20		1.252	2.182						1.197		0.300
8.25	13.95	5.59	1.476	2.496	0.0544	4.451	2.631	0.0076	0.0467	1.365	0.8290	0.350
10.75	17.60		1.923	3.148						1.687		0.495
1.75	3.75		0.313	0.671						0.397		0.049
3.00	6.00		0.537	1.073						0.608		0.115
4.50	8.50		0.805	1.521						0.841		0.196
5.75	10.65	5.59	1.029	1.905	0.0544	4.451	2.631	0.0076	0.0467	1.023	0.8290	0.294
7.00	12.50		1.252	2.236						1.197		0.351
8.25	14.25		1.476	2.549						1.365		0.399
10.75	17.90		1.923	3.202						1.687		0.545
1.75	3.75		0.313	0.671						0.395	0.8312	0.047
3.00	6.00	5.59	0.537	1.073	0.0544	4.451	2.649	0.0058	0.0447	0.608		0.113
4.50	8.75		0.805	1.565						0.841		0.237
5.75	10.75		1.029	1.923						1.023		0.307
7.00	13.00		1.252	2.326						1.197		0.436
8.25	14.75	5.59	1.476	2.639						1.365	0.8325	0.483
10.75	17.95		1.923	3.211						1.687		0.547
1.75	3.75		0.313	0.671	0.0544	4.451	2.658	0.0049	0.0433	0.395		0.046
3.00	6.15		0.537	1.100						0.608		0.138
4.50	8.50		0.805	1.521						0.841		0.191
5.75	10.85		1.029	1.941						1.023		0.323
7.00	13.00		1.252	2.326						1.197		0.433
8.25	14.50	5.59	1.476	2.594	0.0544	4.451	2.658	0.0049	0.0433	1.365	0.8325	0.435
10.75	18.15		1.923	3.247						1.687		0.579

cm a	cm ℓ	cm h_0	a/h ₀	ℓ/h_0	U_{*0}/U_0	Fr_0^{-2}	ρ_s/ρ_w	d _{m0} /h ₀	U_{*0c}/U_0	$(a/h_0)^{\frac{4}{3}}$	$\psi = \left(U_{*0}/U_0 \times \frac{Fr_0^{-2}}{\rho_s/\rho_w} \right)^{\frac{5}{12}}$	$(\ell/h_0) - 1.9(a/h_0)^{\frac{4}{3}}\psi$
1.75	4.30		0.313	0.769						0.395		0.144
3.00	6.00		0.537	1.073						0.608		0.111
4.50	8.50		0.805	1.521						0.841		0.190
5.75	10.55	5.59	1.029	1.887	0.0544	4.451	2.663	0.0041	0.0422	1.023	0.8331	0.268
7.00	12.90		1.252	2.308						1.197		0.413
8.25	15.15		1.476	2.710						1.365		0.549
10.75	17.75		1.923	3.175						1.687		0.505
1.75	3.75		0.313	0.671						0.395		0.047
3.00	6.00		0.537	1.073						0.608		0.113
4.50	9.50		0.805	1.699						0.841		0.371
5.75	10.75	5.59	1.029	1.923	0.0544	4.451	2.646	0.0032	0.0402	1.023	0.8309	0.308
7.00	12.25		1.252	2.191						1.197		0.301
8.25	15.25		1.476	2.728						1.365		0.573
10.75	17.75		1.923	3.175						1.687		0.512
1.75	4.15		0.313	0.742						0.395		0.119
3.00	6.00		0.537	1.073						0.608		0.114
4.50	8.75		0.805	1.565						0.841		0.238
5.75	10.65	5.59	1.029	1.905	0.0544	4.451	2.641	0.0023	0.0379	1.023	0.8303	0.291
7.00	12.75		1.252	2.281						1.197		0.393
8.25	14.25		1.476	2.549						1.365		0.396
10.75	17.65		1.923	3.157						1.687		0.496
1.75	3.75		0.313	0.671						0.395		0.047
3.00	6.75		0.537	1.208						0.608		0.348
4.50	9.50		0.805	1.699						0.841		0.371
5.75	11.25	5.59	1.029	2.191	0.0544	4.451	2.646	0.0009	0.0311	1.023	0.8309	0.576
7.00	13.25		1.252	2.370						1.197		0.480
8.25	15.25		1.476	2.728						1.365		0.573
10.75	18.50		1.923	3.309						1.687		0.646

cm a	cm ℓ	cm $\frac{cm}{h_0}$	a/h ₀	ℓ/h_0	U_{*0}/U_0	Fr_0^2	ρ_s/ρ_w	d_{m0}/h_0	U_{*0c}/U_0	$\left(\frac{a}{h_0}\right)^{\frac{1}{2}}$	$\psi = \left(\frac{U_{*0}/U_0 \times Fr_0^{-2}}{\rho_s/\rho_w} \right)^{\frac{5}{12}}$	$\left(\frac{\ell}{h_0} \right) - 1.9 \left(\frac{a}{h_0} \right)^{\frac{1}{2}} \psi$
1.75	4.50	6.65	0.263	0.677	0.0520	4.081	2.655	0.0256	0.0840	0.344	0.7876	0.162
3.00	7.50		0.451	1.128						0.529		0.336
4.50	11.50		0.677	1.729						0.732		0.634
5.75	13.73		0.865	2.065						0.883		0.744
7.00	15.00		1.053	2.256						1.042		0.697
8.25	16.75	6.65	1.241	2.519	0.0520	4.081	2.653	0.0181	0.0658	1.189	0.7874	0.740
10.75	20.50		1.617	3.083						1.469		0.885
1.75	4.00		0.263	0.602						0.344		0.087
3.00	6.75		0.451	1.015						0.529		0.224
4.50	9.25		0.677	1.391						0.732		0.296
5.75	11.25	6.65	0.865	1.692	0.0520	4.081	2.621	0.0113	0.0503	0.883	0.7834	0.371
7.00	13.00		1.053	1.955						1.042		0.396
8.25	15.50		1.241	2.331						1.189		0.552
10.75	19.00		1.617	2.857						1.469		0.659
1.75	4.00		0.263	0.602						0.344		0.090
3.00	7.15	6.65	0.451	1.075	0.0520	4.081	2.621	0.0064	0.0405	0.529	0.7846	0.288
4.50	9.50		0.677	1.429						0.732		0.389
5.75	12.15		0.865	1.827						0.883		0.513
7.00	13.75		1.053	2.068						1.042		0.517
8.25	15.65		1.241	2.353						1.189		0.583
10.75	18.75	6.65	1.617	2.820	0.0520	4.081	2.631	0.0064	0.0405	1.469		0.633
1.75	3.75		0.263	0.564						0.344		0.051
3.00	6.40		0.451	0.962						0.529		0.173
4.50	9.35		0.677	1.406						0.732		0.315
5.75	12.00		0.865	1.805						0.883		0.489
7.00	13.75	6.65	1.053	2.068	0.0520	4.081	2.631	0.0064	0.0405	1.042	0.7846	0.515
8.25	15.25		1.241	2.293						1.189		0.521
10.75	18.65		1.617	2.805						1.469		0.615

cm a	cm ℓ	cm $\frac{cm}{h_0}$	a/h_0	ℓ/h_0	U_{*0}/U_0	Fr_0^{-2}	ρ_s/ρ_w	d_{m0}/h_0	U_{*0c}/U_0	$(a/h_0)^{\frac{4}{3}}$	$\phi = \left(\frac{U_{*0}/U_0 \times Fr_0^{-2}}{\rho_s/\rho_w} \right)^{\frac{5}{12}}$	$(\ell/h_0) - 1.9(a/h_0)^{\frac{4}{3}}\phi$
1.75	4.25	6.65	0.263	0.639	0.0520	4.081	2.649	0.0048	0.0388	0.344	0.7869	0.125
3.00	7.25		0.451	1.090						0.529		0.299
4.50	10.25		0.677	1.541						0.732		0.447
5.75	11.90		0.865	1.789						0.883		0.469
7.00	14.65		1.053	2.203						1.042		0.645
8.25	16.10	6.65	1.241	2.421	0.0520	4.081	2.646	0.0027	0.0353	1.189	0.7865	0.643
10.75	19.50		1.617	2.932						1.469		0.736
1.75	4.25		0.263	0.639						0.344		0.124
3.00	7.00		0.451	1.053						0.529		0.261
4.50	9.50		0.677	1.429						0.732		0.332
5.75	11.50	6.65	0.865	1.729	0.0520	4.081	2.658	0.0041	0.0388	0.883	0.7880	0.407
7.00	13.50		1.053	2.030						1.042		0.470
8.25	15.40		1.241	2.316						1.189		0.536
10.75	19.40		1.617	2.917						1.469		0.718
1.75	4.30		0.263	0.647						0.344		0.132
3.00	5.90	6.65	0.451	0.887	0.0520	4.081	2.663	0.0035	0.0373	0.529	0.7886	0.094
4.50	9.00		0.677	1.353						0.732		0.255
5.75	10.90		0.865	1.639						0.883		0.316
7.00	13.25		1.053	1.992						1.042		0.431
8.25	15.65		1.241	2.353						1.189		0.571
10.75	19.50	6.65	1.617	2.932	0.0520	4.081	2.646	0.0027	0.0353	1.469	0.7865	0.731
1.75	4.10		0.263	0.617						0.344		0.103
3.00	5.90		0.451	0.887						0.529		0.096
4.50	9.00		0.677	1.353						0.732		0.259
5.75	11.00		0.865	1.654						0.883		0.334
7.00	13.40	6.65	1.053	2.015	0.0520	4.081	2.646	0.0027	0.0353	1.042	0.7865	0.458
8.25	15.50		1.241	2.331						1.189		0.556
10.75	19.40		1.617	2.917						1.469		0.722

cm a	cm ℓ	cm h_0	a/h ₀	ℓ/h_0	U_{*0}/U_0	Fr_0^{-2}	ρ_s/ρ_w	d _{m0} /h ₀	U_{*0c}/U_0	$(a/h_0)^{\frac{1}{6}}$	$\psi = \left(\frac{U_{*0}/U_0 \times Fr_0^{-2}}{\rho_s/\rho_w} \right)^{\frac{5}{12}}$	$(\ell/h_0) - 1.9(a/h_0)^{\frac{1}{6}}\psi$
1.75	4.05		0.263	0.609						0.344		0.095
3.00	6.90		0.451	1.038						0.529		0.248
4.50	9.15		0.677	1.376						0.732		0.283
5.75	11.45	6.65	0.865	1.722	0.0520	4.081	2.641	0.0019	0.0333	0.883	0.7859	0.403
7.00	13.50		1.053	2.030						1.042		0.474
8.25	15.50		1.241	2.331						1.189		0.556
10.75	18.90		1.617	2.842						1.469		0.648
1.75	4.25		0.263	0.639						0.344		0.125
3.00	6.85		0.451	1.030						0.529		0.239
4.50	9.25		0.677	1.391						0.732		0.297
5.75	11.65	6.65	0.865	1.752	0.0520	4.081	2.646	0.0008	0.0273	0.883	0.7865	0.432
7.00	13.80		1.053	2.075						1.042		0.518
8.25	15.50		1.241	2.331						1.189		0.554
10.75	20.00		1.617	3.008						1.469		0.813
1.75	4.25		0.227	0.551						0.305		0.110
3.00	6.10		0.389	0.790						0.470		0.111
4.50	9.00		0.583	1.166						0.649		0.228
5.75	11.25	7.72	0.745	1.457	0.0507	3.845	2.655	0.0221	0.0752	0.790	0.7603	0.316
7.00	13.85		0.907	1.794						0.925		0.458
8.25	16.65		1.069	2.157						1.055		0.633
10.75	21.65		1.392	2.804						1.303		0.922
1.75	4.00		0.227	0.518						0.305		0.078
3.00	6.65		0.389	0.861						0.470		0.182
4.50	9.25		0.583	1.198						0.649		0.261
5.75	10.65	7.72	0.745	1.380	0.0507	3.845	2.653	0.0156	0.0588	0.790	0.7601	0.239
7.00	13.25		0.907	1.716						0.925		0.380
8.25	16.15		1.069	2.092						1.055		0.568
10.75	20.25		1.392	2.623						1.303		0.741

$\frac{cm}{a}$	$\frac{cm}{\ell}$	$\frac{cm}{h_0}$	a/h_0	ℓ/h_0	U_{*0}/U_0	Fr_0^{-2}	ρ_a/ρ_w	d_{m0}/h_0	U_{*0c}/U_0	$(a/h_0)^{\frac{5}{12}}$	$\psi = \left(\frac{U_{*0}/U_0 \times Fr_0^{-2}}{\rho_a/\rho_w} \right)^{\frac{5}{12}}$	$(\ell/h_0) - 1.9(a/h_0)^{\frac{4}{3}}\psi$
1.75	4.25		0.227	0.551						0.305		0.113
3.00	6.50		0.389	0.842						0.470		0.167
4.50	9.10		0.583	1.179						0.649		0.247
5.75	11.90	7.72	0.745	1.541	0.0507	3.845	2.621	0.0097	0.0453	0.790	0.7562	0.406
7.00	14.15		0.907	1.833						0.925		0.504
8.25	16.90		1.069	2.189						1.055		0.673
10.75	20.65		1.392	2.675						1.303		0.803
1.75	3.90		0.227	0.505						0.305		0.066
3.00	6.60		0.389	0.855						0.470		0.179
4.50	9.50		0.583	1.231						0.649		0.297
5.75	11.35	7.72	0.745	1.470	0.0507	3.845	2.631	0.0055	0.0372	0.790	0.7574	0.333
7.00	14.15		0.907	1.833						0.925		0.502
8.25	16.00		1.069	2.073						1.055		0.555
10.75	19.90		1.392	2.578						1.303		0.703
1.75	4.50		0.227	0.583						0.305		0.143
3.00	6.35		0.389	0.823						0.470		0.144
4.50	8.75		0.583	1.138						0.649		0.196
5.75	11.25	7.72	0.745	1.457	0.0507	3.845	2.649	0.0042	0.0356	0.790	0.7598	0.317
7.00	13.75		0.907	1.781						0.925		0.446
8.25	16.00		1.069	2.073						1.055		0.550
10.75	20.25		1.392	2.623						1.303		0.742
1.75	4.65		0.227	0.602						0.305		0.161
3.00	6.50		0.389	0.842						0.470		0.163
4.50	8.50		0.583	1.101						0.649		0.163
5.75	11.00	7.72	0.745	1.425	0.0507	3.845	2.658	0.0035	0.0351	0.790	0.7607	0.283
7.00	13.50		0.907	1.749						0.925		0.412
8.25	16.00		1.069	2.073						1.055		0.548
10.75	19.75		1.392	2.558						1.303		0.675

cm a	cm ℓ	cm $\frac{cm}{h_0}$	a/h_0	ℓ/h_0	U_{*0}/U_0	Fr_0^{-2}	ρ_s/ρ_w	d_{m0}/h_0	U_{*0c}/U_0	$(a/h_0)^{\frac{4}{3}}$	$\psi = \left(\frac{U_{*0}/U_0 \times Fr_0^{-2}}{\rho_s/\rho_w} \right)^{\frac{5}{12}}$	$\left(\ell/h_0 \right) - 1.9(a/h_0)^{\frac{4}{3}}\psi$
1.75	4.65		0.227	0.602						0.305		0.161
3.00	7.00		0.389	0.907						0.470		0.227
4.50	9.50		0.583	1.231						0.649		0.492
5.75	12.00	7.72	0.745	1.554	0.0507	3.845	2.663	0.0030	0.0342	0.790	0.7612	0.411
7.00	14.25		0.907	1.846						0.925		0.508
8.25	16.25		1.069	2.105						1.055		0.579
10.75	20.35		1.392	2.636						1.303		0.751
1.75	4.55		0.227	0.589						0.305		0.149
3.00	6.85		0.389	0.887						0.470		0.209
4.50	9.25		0.583	1.198						0.649		0.262
5.75	11.35	7.72	0.745	1.470	0.0507	3.845	2.646	0.0023	0.0327	0.790	0.7592	0.330
7.00	13.75		0.907	1.781						0.925		0.447
8.25	15.40		1.069	1.995						1.055		0.473
10.75	20.25		1.392	2.623						1.303		0.743
1.75	5.00		0.227	0.648						0.305		0.208
3.00	7.00		0.389	0.907						0.470		0.230
4.50	10.40		0.583	1.347						0.649		0.412
5.75	12.75	7.72	0.745	1.652	0.0507	3.845	2.641	0.0016	0.0306	0.790	0.7586	0.513
7.00	14.90		0.907	1.930						0.925		0.597
8.25	16.90		1.069	2.189						1.055		0.668
10.75	20.50		1.392	2.655						1.303		0.777
1.75	4.75		0.227	0.615						0.305		0.175
3.00	7.00		0.389	0.907						0.470		0.229
4.50	10.50		0.583	1.360						0.649		0.423
5.75	13.25	7.72	0.745	1.716	0.0507	3.845	2.646	0.0007	0.0245	0.790	0.7592	0.576
7.00	15.00		0.907	1.943						0.925		0.609
8.25	17.00		1.069	2.202						1.055		0.680
10.75	20.75		1.392	2.688						1.303		0.808

cm a	cm l	cm h ₀	a/h ₀	l/h ₀	U _{*0} /U ₀	Fr ⁻²	ρ _s /ρ _w	d _{m0} /h ₀	U _{*0c} /U ₀	$\left(\frac{a}{h_0}\right)^{\frac{4}{3}}$	$\psi = \left(\frac{U_{*0}}{U_0} \times \frac{Fr^{-2}}{\rho_s/\rho_w} \right)^{\frac{5}{12}}$	$\left(\frac{l}{h_0} \right) - 1.9 \left(\frac{a}{h_0} \right)^{\frac{4}{3}}$
1.75	4.65	9.69	0.181	0.480	0.0475	3.367	2.655	0.0176	0.0629	0.255	0.7002	0.141
3.00	7.25		0.310	0.748						0.392		0.226
4.50	11.00		0.464	1.135						0.541		0.415
5.75	14.00		0.593	1.445						0.658		0.570
7.00	16.00		0.722	1.651						0.771		0.625
8.25	18.75	9.69	0.851	1.935	0.0475	3.367	2.653	0.0124	0.0493	0.879	0.7000	0.766
10.75	23.75		1.109	2.451						1.086		1.006
1.75	5.00		0.181	0.516						0.255		0.177
3.00	7.25		0.310	0.748						0.392		0.226
4.50	10.65		0.464	1.099						0.541		0.379
5.75	14.25	9.69	0.593	1.471	0.0475	3.367	2.621	0.0077	0.0379	0.658	0.6965	0.596
7.00	17.00		0.722	1.754						0.771		0.728
8.25	19.25		0.851	1.987						0.879		0.818
10.75	23.65		1.109	2.441						1.086		0.996
1.75	4.75		0.181	0.490						0.255		0.153
3.00	7.65	9.69	0.310	0.789	0.0475	3.367	2.621	0.0077	0.0379	0.392	0.6965	0.270
4.50	9.25		0.464	0.955						0.541		0.239
5.75	12.50		0.593	1.290						0.658		0.419
7.00	14.40		0.722	1.486						0.771		0.466
8.25	17.40		0.851	1.796						0.879		0.633
10.75	22.50	9.69	1.109	2.322	0.0475	3.367	2.631	0.0044	0.0309	1.086	0.6979	0.885
1.75	4.90		0.181	0.506						0.255		0.168
3.00	8.25		0.310	0.851						0.392		0.331
4.50	11.50		0.464	1.189						0.541		0.470
5.75	15.50		0.593	1.600						0.658		0.727
7.00	18.15	9.69	0.722	1.873	0.0475	3.367	2.631	0.0044	0.0309	0.771	0.6979	0.851
8.25	20.25		0.851	2.090						0.879		0.924
10.75	23.65		1.109	2.441						1.086		1.001

cm a	cm ℓ	cm $\frac{cm}{h_0}$	a/h ₀	ℓ/h_0	U_{*0}/U_0	Fr_0^{-2}	ρ_B/ρ_w	d _{m0} /h ₀	U_{*0c}/U_0	$(a/h_0)^{\frac{1}{2}}$	$\psi = \left(\frac{U_{*0}/U_0 \times Fr_0^{-2}}{\rho_B/\rho_w} \right)^{\frac{5}{12}}$	$(\ell/h_0) - 1.9(a/h_0)^{\frac{1}{2}}\psi$
1.75	4.50	9.69	0.181	0.464	0.0475	3.367	2.649	0.0033	0.0296	0.255	0.6995	0.125
3.00	6.75		0.310	0.697						0.392		0.176
4.50	9.35		0.464	0.965						0.541		0.246
5.75	11.50		0.593	1.187						0.658		0.312
7.00	14.40		0.722	1.486						0.771		0.461
8.25	17.00	9.69	0.851	1.754	0.0475	3.367	2.658	0.0028	0.0290	0.879	0.7005	0.586
10.75	22.75		1.109	2.348						1.086		0.905
1.75	4.55		0.181	0.470						0.255		0.131
3.00	7.00		0.310	0.722						0.392		0.200
4.50	10.50		0.464	1.084						0.541		0.364
5.75	12.50	9.69	0.593	1.290	0.0475	3.367	2.663	0.0024	0.0282	0.658	0.7011	0.415
7.00	14.90		0.722	1.538						0.771		0.512
8.25	17.40		0.851	1.796						0.879		0.627
10.75	22.75		1.109	2.348						1.086		0.903
1.75	4.60		0.181	0.475						0.255		0.135
3.00	6.90	9.69	0.310	0.712	0.0475	3.367	2.663	0.0024	0.0282	0.392	0.7011	0.190
4.50	10.50		0.464	1.084						0.541		0.363
5.75	12.75		0.593	1.316						0.658		0.439
7.00	15.40		0.722	1.589						0.771		0.562
8.25	17.90		0.851	1.847						0.879		0.676
10.75	23.25	9.69	1.109	2.399	0.0475	3.367	2.646	0.0019	0.0267	1.086	0.6992	0.952
1.75	4.45		0.181	0.459						0.255		0.120
3.00	7.00		0.310	0.722						0.392		0.201
4.50	10.30		0.464	1.063						0.541		0.274
5.75	12.50		0.593	1.290						0.658		0.416
7.00	14.75	9.69	0.722	1.522	0.0475	3.367	2.646	0.0019	0.0267	0.771	0.6992	0.498
8.25	17.00		0.851	1.754						0.879		0.586
10.75	22.50		1.109	2.322						1.086		0.879

cm a	cm ℓ	cm h_0	a/h ₀	ℓ/h_0	U_{*0}/U_0	Fr_0^{-2}	ρ_s/ρ_w	d _{m0} /h ₀	U_{*0c}/U_0	$(a/h_0)^{\frac{4}{3}}$	$\psi = \left(\frac{U_{*0}/U_0 \times Fr_0^{-2}}{\rho_s/\rho_w} \right)^{\frac{5}{12}}$	$(\ell/h_0) - 1.9(a/h_0)^{\frac{4}{3}}$
1.75	4.65		0.181	0.480						0.255		0.141
3.00	7.00		0.310	0.722						0.392		0.202
4.50	10.25		0.464	1.058						0.541		0.340
5.75	13.00	9.69	0.593	1.342	0.0475	3.367	2.641	0.0013	0.0252	0.658	0.6987	0.468
7.00	15.00		0.722	1.548						0.771		0.524
8.25	17.75		0.851	1.832						0.879		0.665
10.75	23.00		1.109	2.374						1.086		0.932
1.75	4.55		0.181	0.470						0.255		0.131
3.00	7.00		0.310	0.722						0.392		0.201
4.50	10.25		0.464	1.058						0.541		0.269
5.75	13.00	9.69	0.593	1.342	0.0475	3.367	2.646	0.0005	0.0205	0.658	0.6992	0.468
7.00	14.75		0.772	1.522						0.771		0.498
8.25	17.20		0.851	1.775						0.879		0.607
10.75	22.00		1.109	2.270						1.086		0.827