

土木学会第1回年次学術講演會講演

(發電水力, 河川及港灣之部 No. 8)

河床洗掘上から見た橋脚形状の實驗的研究 (第1報)

會員 工学博士 平野正雄*

會員 石原藤次郎**

1. 緒言

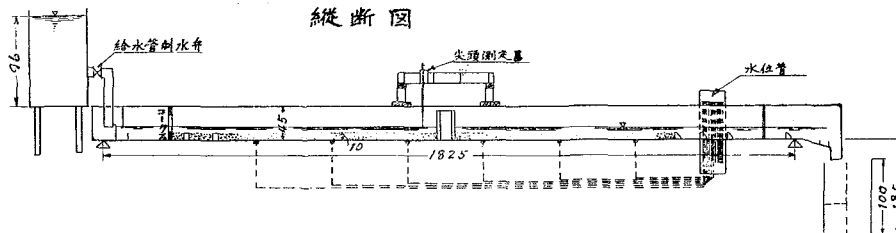
橋脚に於て、その流水抵抗を少しく前面の水位上昇並に周囲の洗掘を最小ならしめる如き形状を採用する事は、橋脚の安定を期する上に最も有効にして經濟的な対策の1つである。之等に関しては、既に Engels, Rehbock 及 Keutner 等の相當な研究が發表されてゐるが、河床構成材料に就ての充分な考察を缺くもの多く、實驗結果を實地に應用する際適切な判断を下し難い場合が少くない。

著者等は先づ實驗河床に就て豫備實驗を行ひ、橋脚のない場合河床の安定を保持する限界等速定流の水深及勾配を測定して限界掃流力を求め、一定河床は一定の限界掃流力を有すると云ふ、Keutner, Kramer 等の主張を検討した。然る後種々の形状の橋脚模型を作製し之を實驗河床中央に据付け、先に定めた限界流況にて20分間通水し、以て橋脚形状の差異のみに基く洗掘状態の変化を調べ、橋脚形状の選擇に對する實用的指針を與へようと努めたのである。

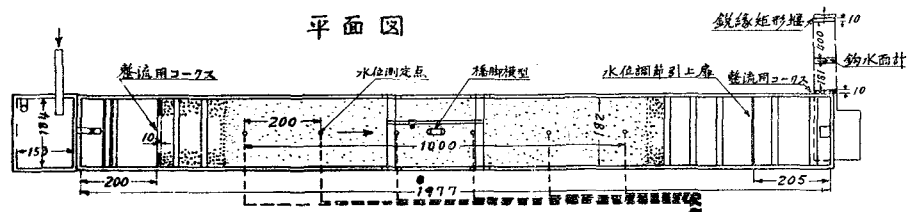
尙各實驗にては、橋脚周囲の水位変化を詳しく測つて洗掘機構に對する考察の資料とし、更に模型相似律に就ても若干の考究をなして上述の定性的な實驗結果から定量的關係を導かうとしたが、之等は他日の發表に俟つ事にする。

2. 實驗設備及實驗方法

圖-1. 實驗設備
縦断面圖



平面圖



* 京都帝國大学教授

** 京都帝國大学助教授 工学士 (昭和12年4月10日講演)

(1) 實驗設備 本實驗は京大工学部中央實驗所内設置の鋼製可動水路で行つたもので、設備の概要は圖-1の通りである。

(2) 橋脚の模型 實地に適用出来る有效な資料を得る爲、現在築造されてゐる多數の橋脚形状を参照し、鈷仕上げした次の如き木製模型を用ひた。即ち長さ

$l_1=30\text{cm}$, 幅 $b=15\text{cm}$, 高さ 45cm の中空函に銑鉄塊を入れ、之に圖-2, 表-1 に示す如きものを前頭部又は後頭部として取付けたのである。

圖-2. 前, 後頭部の形状

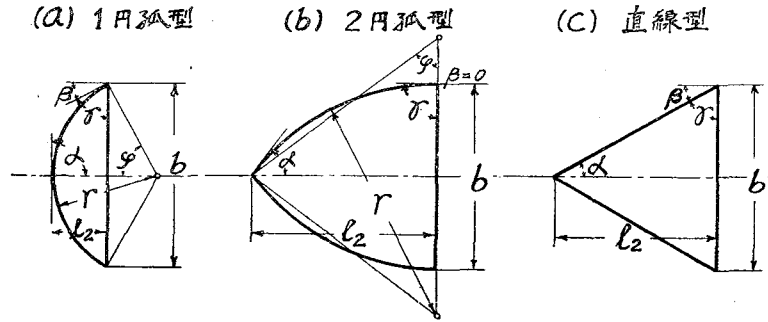


表-1. 前, 後頭部形状の諸寸法

模型々式及番號	断面積 cm ²	l_2 cm	$b/2$ cm	$2l_2/b$	r cm	α	β	γ	φ
1円弧型 (圖-2 (a))	0	0.00	0.00	7.50	∞	90°00'	90°00'	00°00'	—
	1	25.55	2.50	,,	12.50	,,	53 08	36 52	36°52'
	2	55.20	5.00	,,	8.18	,,	22 37	67 23	67 23
	3	88.36	7.50	,,	1.00	7.50	,,	00 00	90 00
2円弧型 (圖-2 (b))	4	110.43	10.00	,,	1.33	10.42	73 40	,,	73 40
	5	133.59	12.50	,,	1.67	14.17	61 56	,,	61 56
	6	157.25	15.00	,,	2.00	18.75	53 08	,,	53 08
	7	181.27	17.50	,,	2.33	24.17	46 24	,,	46 24
	8	205.51	20.00	,,	2.67	30.41	41 07	,,	41 07
	9	229.93	22.50	,,	3.00	37.50	33 52	,,	36 52
	10	254.45	25.00	,,	3.33	45.42	33 24	,,	33 24
直線型 (圖-2 (c))	0'	0.0	0.00	,,	0.00	90 00	90 00	00 00	
	1'	18.75	2.50	,,	0.33	71 34	71 34	18 26	
	2'	37.50	5.00	,,	0.67	56 19	56 19	33 41	
	3'	56.25	7.50	,,	1.00	45 00	45 00	45 00	
	4'	75.00	10.00	,,	1.33	36 50	36 50	53 10	
	5'	93.75	12.50	,,	1.67	30 58	30 58	59 02	
	6'	112.50	15.00	,,	2.00	26 34	26 34	63 26	
	7'	131.25	17.50	,,	2.33	23 12	23 12	66 48	
	8'	150.00	20.00	,,	2.67	20 33	20 33	69 27	
	9'	168.75	22.50	,,	3.00	18 26	18 26	71 34	
10'	187.50	25.00	,,	3.33	16 42	16 42	73 18		

(3) 實驗に使用せる砂 滋賀縣野洲川産の水洗ひした砂より、No. 8 の篩を通らない砂粒を除去し、橋脚中心の前後 5m 宛を厚さ 10cm に敷き均らし實驗河床を作つた。此の砂の篩分試驗の結果は表-2 の通りである。

(4) 豫備實驗 (限界流況の決定) 河床は掃流力 $F=10^6 HI \text{ gr/m}^2$ (茲に H : 水深 (m), I : 水面勾配=河床勾配) により其の安定を支配され、一定河床の安定限界に於ける F の値は一定である。此の値を其の河床の限界掃流力と云ひ、Kramer によれば、

$$F_0 = \frac{100}{6} \frac{d_m(w-w_0)}{M} \dots \dots \dots (1)$$

茲に F_0 : 限界掃流力 (gr/m^2), w : 砂の比重, w_0 : 水の比重

表-2. 砂の篩分試驗 (3 試料の平均)

篩通過	mm以下	重量百分率 %
No. 8	2.38	100.00
No. 16	1.19	84.18
No. 30	0.59	60.58
No. 50	0.297	21.16
No. 100	0.149	3.24

砂の比重: 2.680

$$d_m = \frac{\sum_{p=0}^{100} d \Delta p}{\sum_{p=0}^{100} \Delta p} : \text{砂の平均径 (mm)}, \quad M = \frac{\sum_{p=0}^{50} d \Delta p}{\sum_{p=50}^{100} d \Delta p} : \text{砂の均等係数},$$

但し大きさ d mm 以下の砂粒の重量百分率を $p\%$ として、篩分試験の結果を表すものとする。

尙最近 Indri は (1) 式と同型の式を發表して居り、何れも實用的見地から在來の諸公式に比し頗る信頼するに足るものと考へられる。本實驗の砂(表-2 参照)は、(1) 式によると、平均 $F_0 = 64.15 \text{ gr/m}^2$ を有することになるが、之を實驗的に検討する爲、次の豫備實驗を行つた。

表-3. 限界流況

	(a)	(b)
限界掃流力 F_0 (gr/m ²)	65.00	65.00
水面勾配=河床勾配 I	1/800	1/600
水深 H (m)	0.052	0.039
流水幅 B (m)	1.820	1.820
流水面積 $A=B.H$ (m ²)	0.09464	0.07098
流量 Q (m ³ sec ⁻¹)	0.0359	0.0265
平均流速 $v_m = Q/A$ (m sec ⁻¹)	0.379	0.373
流速係数 $C = v_m / \sqrt{HI}$ (m ^{0.5} sec ⁻¹)	47.05	46.30

即ち橋脚を設けず河床勾配を 1/800 とし、絶えず等速定流を得る様に乍ら流量を増大し、河床砂粒が總体的な動きを始め僅かの砂漣の發生を認めるに至つたときを以て、河床安定の限界としてその際の流量及水深等を測つた。次に勾配を 1/600 として同様の實驗をしたが、以上 2 つの勾配に對して F_0 は略

ぼ等しく平均 65 gr/m² なる事がわかつた。従つて (1) 式は實驗誤差の範圍内で充分正しい事が認められ、實用上適用して差支ないものと思ふ。

本實驗に於ては、以上の結果に基き、限界流況として表-3 に示す 2 つの場合を採用する事にした。

(5) 實驗の方法及目的 前述の橋脚模型を河床中央に流心に平行に正しく設置し 20 分間通水したが、各部の調節を豫備實驗で定めた限界流況 (a) 又は (b) の場合と同様にし、以て橋脚影響のない部分では丁度限界等速定流を保つ様に努めた。通水終了後河床の高低を尖頭測定器で測定し、橋脚形状の差異のみによる洗掘の変化を比較した。尙掃流時間の影響に於ても實驗したが、主要實驗項目を示すと表-4 の通りである。

表-4. 主要實驗項目

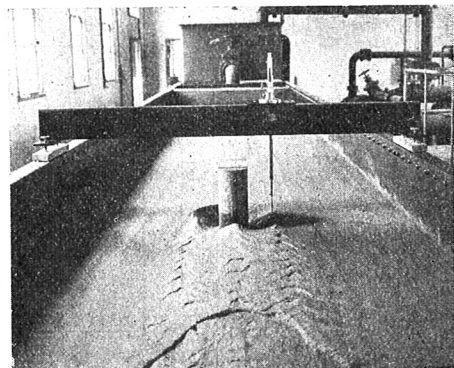
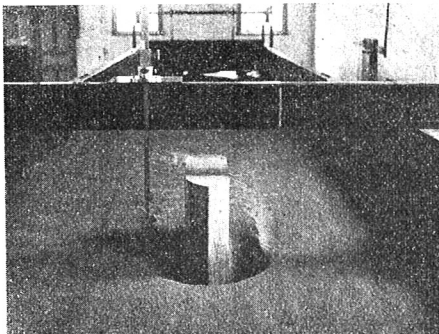
實驗の目的及記號	前頭部形状	後頭部形状	限界流況
前頭部形状の影響	A ₁ 円弧型: 0, 1, 2, ..., 10	円弧型: 3	(a)
	A ₂ 直線型: 0', 1', 2', ..., 10'	円弧型: 3	(a)
	B 円弧型: 0, 1, 2, ..., 10	円弧型: 3	(b)
後頭部形状の影響	C ₁ 円弧型: 3	円弧型: 1, 3, 5, 7, 10	(b)
	C ₂ 直線型: 3'	円弧型: 3, 直線型: 3'	(a), (b)
掃流時間の影響	D 円弧型: 3	円弧型: 3	(a)

圖-3. 橋脚周圍の洗掘狀況の 1 例

(前頭部: 円弧型 6, 後頭部: 円弧型 3, 水深 5.2 cm, 勾配 1/800, 流量 35.9 l/sec)

(a) 前頭部側

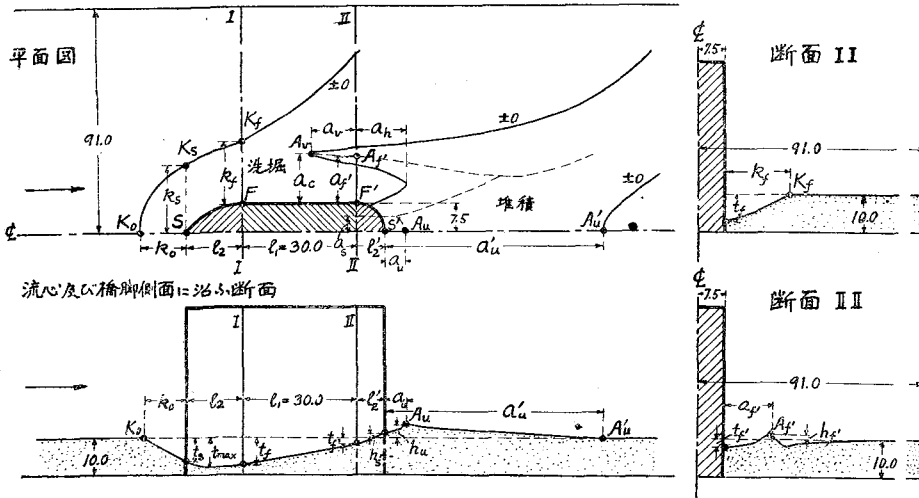
(b) 後頭部側



3. 實驗の結果

1. 前頭部形状の影響 一般に橋脚前頭部附近に於て最大の洗掘深を生じ、橋脚の安定を甚だしく害するが、之等が前頭部形状に支配される事頗る多きは既に Keutner 等の明かにした所である。著者等の實驗 A₁, A₂ 及 B に於ても之と同様の事實が認められた。即ち橋脚は總べて正しく流水方向に置いたから、河床洗掘模様は圖-3 の如く左右對稱であり、且つ最深の洗掘箇所は前頭部の面に沿うて起る事がわかつた。今圖-4 の如き記號を用ひて、之等の關係を略述すれば次の様である。

圖-4. 橋脚周圍の洗掘の記號的表示



(1) 實驗 A₁ 及 A₂ 前頭部

に於ける洗掘幅 k_0, k_s, k_f 並に洗掘深 t_s, t_f, t_{max} と之等に最大の影響を及ぼす前頭部尖端の接角値の半分 α との關係を图示すると圖-5, 6 の様である。茲に實線及點線は夫々實驗 A₁ (円弧型), A₂ (直線型) に對するものである。

(1) 前頭部尖端 S に於ける洗掘幅 k_0 (流水方向) 及 k_s (流水に直角な方向) は、 α の減少と共に次第に減少するが、特に円弧型では $\alpha = 40^\circ$ 以下、直線型では $\alpha = 30^\circ$ 以下では減少の割合が急激である。尙直線型では

圖-5. 洗掘幅 k_0, k_s, k_f と接角値の半分 α との關係

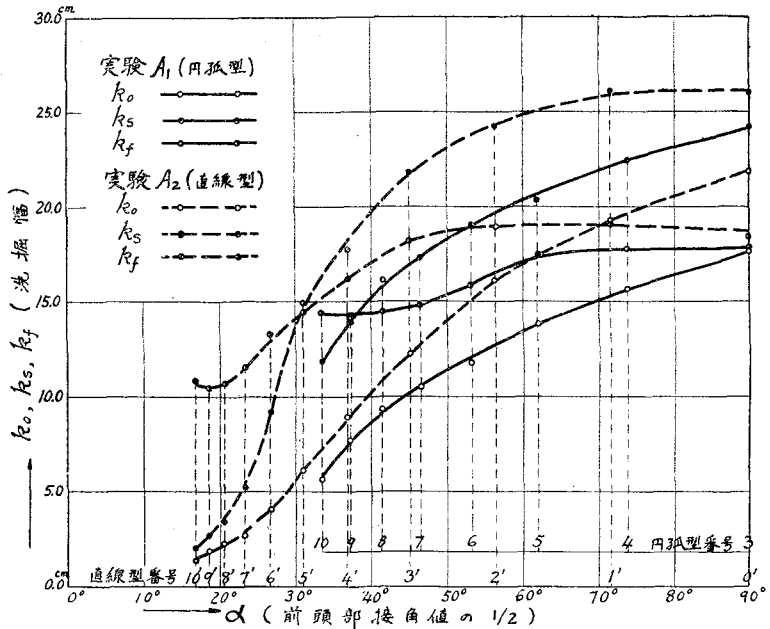
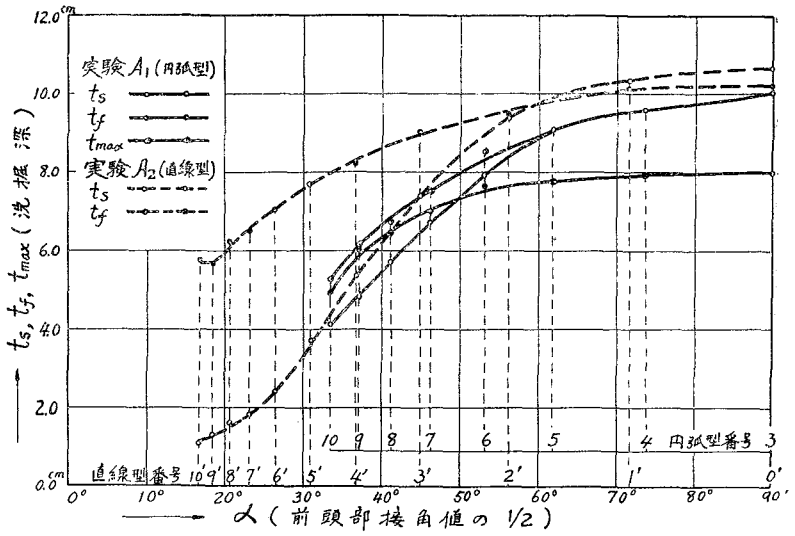


図-6. 洗掘深 t_s, t_f, t_{max} と接角値の半分 α との関係



$\alpha=20^\circ$ 以下となると急に減少の割合が緩慢となる。一般に前頭部の長さとの比 $2l_0/b$ が同一ならば(表-1 参照), k_0, k_s は直線型の方が円弧型より相当小である。

次に前頭部と橋脚側壁との接合点 F に於ける洗掘幅 k_f は α の影響を受ける事比較的少く、円弧型では $\alpha=60^\circ$ 以上、直線型では $\alpha=50^\circ$ 以上となると略ぼ一定である。尙 $2l_0/b$ が 2.33 以上となると、 k_f の値に大差なく、3.00 以上

では寧ろ増加の傾向が見られる。一般に k_f は円弧型の方が直線型より小であるが、之は前頭部より橋脚側壁への移行が円滑に行はれる爲と考へられる。

(2) 円弧型前頭部では、尖端 S の洗掘深 t_s は $\alpha=60^\circ$ 以下、F 點の洗掘深 t_f は $\alpha=40^\circ$ 以下となると急に減少し、而も $\alpha=50^\circ$ 以下では t_f の方が大きく、 $\alpha=50^\circ$ 以上ではその逆である。而して最大洗掘深 t_{max} は前頭部側面 \widehat{SF} に沿うて起るが、 α の小なる間は F 點近く、 α の増加と共に次第に S 點に近づき、遂に $\alpha=62^\circ$ に至つて t_s と一致する。

次に直線型でも上と同様の傾向が見られるが、 $\alpha=60^\circ$ を境として t_s, t_f の大小が逆となり、而も t_{max} は $\alpha=60^\circ$ 迄は t_f と殆ど同一であり、それ以上になると t_s と一致する。尙円弧型に比し t_s, t_f が一般に大きく、殊に α を小とするもさして t_f が減少する様子が見えない事は、直線型の大きい缺點である。

(3) 後頭部附近に生ずる堆積は、橋脚の安定に影響する事殆どなく、大体次の程度である(図-4 参照)。

$$h_s' = 1.0 \sim 2.5 \text{ cm}, h_u = 2.0 \sim 3.5 \text{ cm}, a_f' = 15 \sim 20 \text{ cm}, a'u = 85 \sim 110 \text{ cm}$$

尙之等の値は前頭部形状に支配される事少く、殊に 2 円弧型では殆ど同一である。唯 1 円弧型及直線型では、角 β (図-2 及 表-1 参照) の増大と共に $A_v A_f'$ 線に沿ふ堆積模様が次第に不明瞭となり、 $\beta=90^\circ$ 近くでは A_v 點が下流側に移り $a_v = -a_h$ となる様である。尙 β の増大と共に $a'u$ が少し減少する傾向を呈する。

(2) 實驗 B 前頭部の洗掘深及洗掘幅は實驗 A₁ の場合に比して僅かの差異を呈するが、之等が前頭部の接角値に応じて変化する有様は實驗 A₁ と極めて酷似してゐる。この限界流況にては洗掘の模様は略ぼ一定であると云ふ事實は、今後更に流況を種々に變へて詳細な實驗を行はないと俄かに断定を下し難いが、此の種實驗の相似律並に實地への適用に對して特に注目すべきものと思ふ。

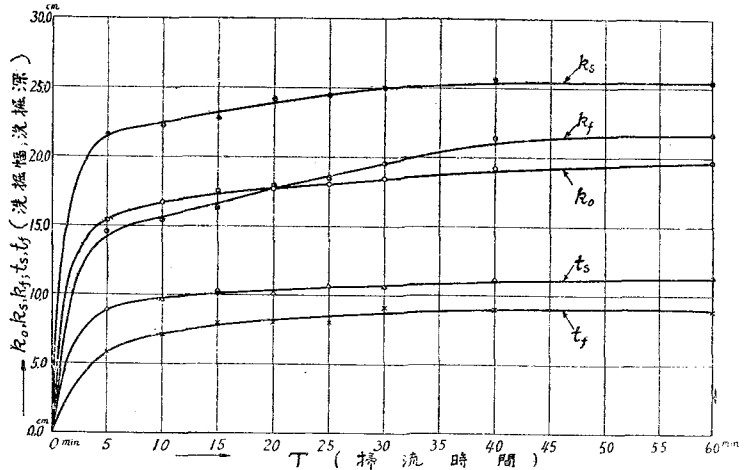
2. 後頭部形状の影響: 實驗 C₁ 及 C₂: 後頭部形状は橋脚の安定を最も支配する前頭部附近の洗掘に影響を與へる事なく、後頭部附近に生ずる堆積並に尾端に接する箇所のみを生ずる微少な洗掘に影響するに過ぎないと云はれてゐる。著者等の實驗 C₁ 及 C₂ に於ても之と同様な結果を得たが、詳細な説明は略して置く。要するに後頭部形状は橋脚の安定上さしたる重要性を有しないのであつて、今尙我國にて後頭部形状並にその附近の河床防護

を前頭部のそれ等より却て重要視する傾向の見えるのは甚だ遺憾とする所である。

3. 掃流時間の影響： 実験 D 掃流時間を増すと次第に洗掘が甚だしくなるが、ある程度洗掘が進むと河床の不規則による流水抵抗の増加等に

基いて殆ど平衡状態に達する。従つてこの種実験にては掃流時間を如何にするかは特に慎重な考慮を要するわけであるが著者等が前、後頭部を共に半円型とした橋脚模型に就て行つた 実験結果は 図-7 の様である。之によれば、洗掘は最初の 5 分間に著しく進捗し、20 分以後の増加は極めて緩慢である。而も前頭部の接角値 2α の大なる程掃流時間の延長による洗掘の増加が著しいものとされてゐる

図-7. 掃流時間と洗掘状況との関係



から、一般には掃流時間の影響は $2\alpha = 180^\circ$ である所の図-7 の場合に比べて更に小なるものと考へてよい。従て橋脚形状の影響を比較する爲に行つた上述の実験 A₁, A₂, B 及 C に於て、掃流時間を 20 分とした事は相當な妥當性をもつものと推定される。尙實驗の相似律並に實地への適用に對して、図-7 の關係は相當有力な資料となるものと思ふ。

4. 結 語

(1) 橋脚の安定を支配する前頭部附近の洗掘は、前頭部形状によつて変化し後頭部の影響を殆ど受けない。而して前頭部を尖らす程洗掘を少くするが、その状況は尖端の接角値によつて著しく異なるものである。

(2) 一定の河床は一定の限界掃流力 F_0 を有するが、Kramer 公式によると相當正しくその値が求められる。而して水深 H 及勾配 I を変へても掃流力が F_0 なる限界流況にては、洗掘状況殊に夫に對する橋脚形状の影響には大差が認められない。一般に橋脚周囲の河床安定は H 又は I のみでなく、常に $H \times I$ の大小によつて判定すべきものである。

(3) 洗掘は相當短時間に行はれるもので、掃流時間の増大による洗掘の増加は比較的少い。

附言 本文は京大工学部中央實驗所に對する大阪府の委託研究の報告の 1 部である。