

# 中央水工試驗所報告一覽

## 甲 水工模型試驗報告

- (一) 導淮入海水道楊莊活動壩模型試驗
- (二) 改良揚子江馬當水道模型試驗
- (三) 導淮入江水道三河活動壩模型試驗
- (四) 揚子江華陽河滾水壩模型試驗
- (五) 揚子江華陽河洩洪堰模型試驗
- (六) 改良揚子江鎮江段水道模型試驗
- (七) 四川長壽龍溪河水力發電廠攔河壩模型試驗
- (八) 廣東北江蘆苞活動閘模型試驗
- (九) 四川綦江船閘模型試驗
- (十) 陝西黑惠渠模型試驗
- (十一) 陝西漢惠渠模型試驗
- (十二) 甘肅湟惠渠模型試驗
- (十三) 四川洪雅花溪渠幹渠跌水模型試驗
- (十四) 四川綦江羊蹄峒蓋石峒滾水壩模型試驗
- (十五) 雲南彌勒甸溪河攔河壩模型試驗
- (十六) 陝西褒惠渠模型試驗

## 乙 水工研究報告

- (一) 水槽兩壁對於臨界拖引力之影響
- (二) 砂土壩基滲水之探討

## 丙 水文報告

- (一) 水文測驗規範
- (二) 民國二十八年分金沙江烏江嘉陵江沅江水文報告

# 水槽兩壁對於臨界拖引力之影響

水工研究報告之一



經濟部中央水工試驗所編

民國二十九年十二月印

1017477

# 目 錄

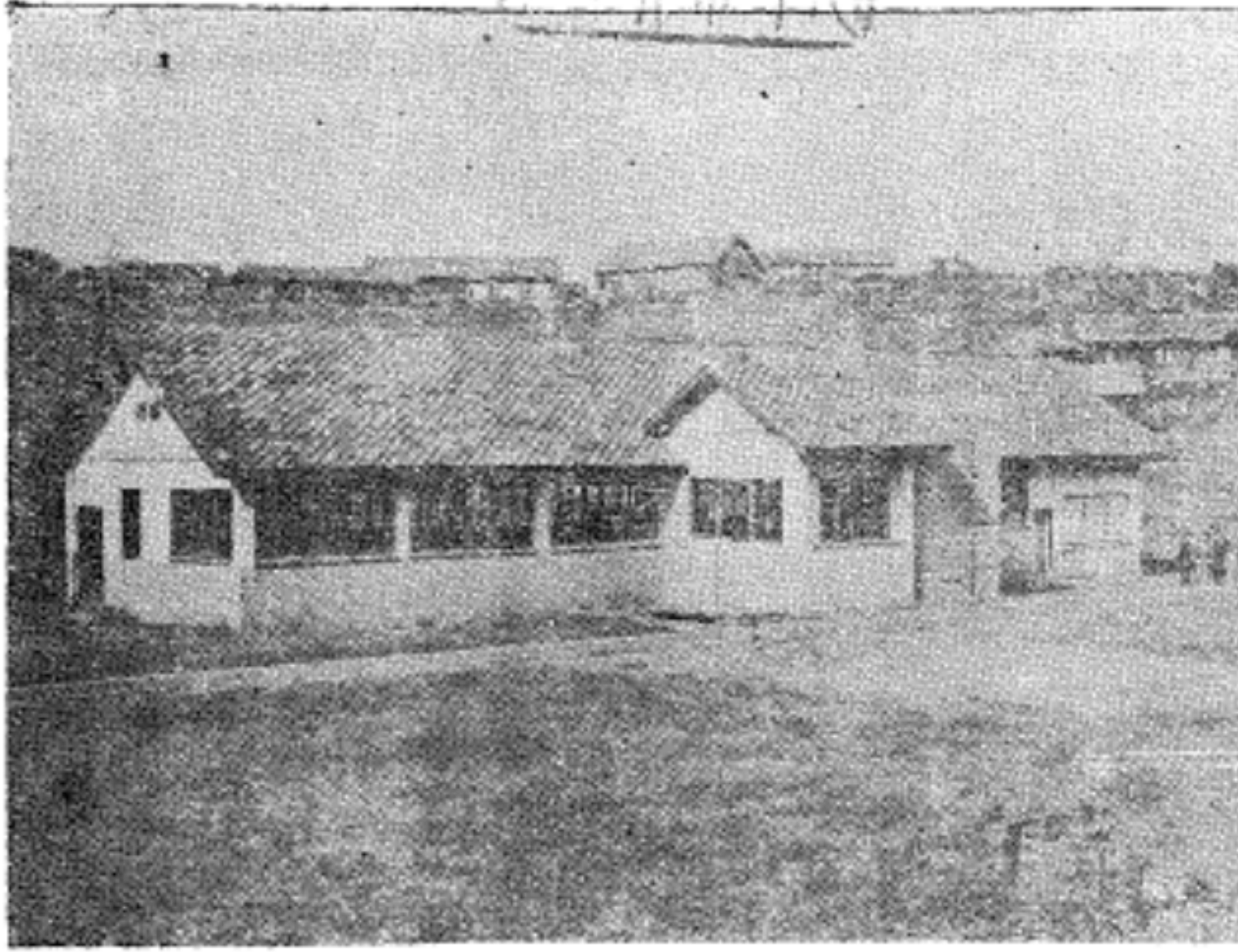
- 一 導 言
- 二 試 驗 之 設 備
- 三 沙粒粗糙率之試驗
- 四 臨界拖引力之試驗
- 五 結 論
- 六 附 圖

## 弁 言

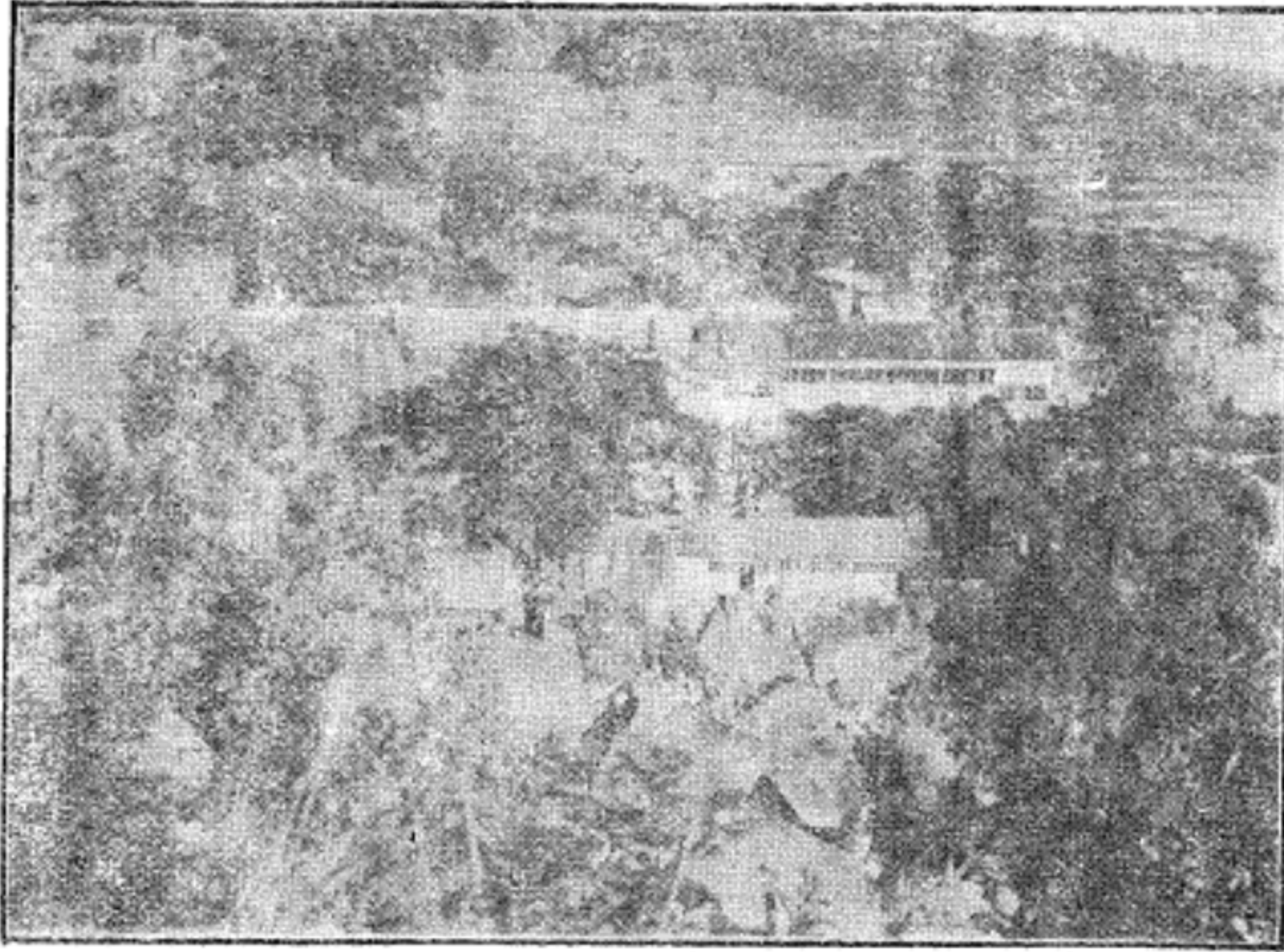
比年本所舉行水工模型試驗，循其所成，對各項施工計畫，不無裨助，近更注重水工學理之探討，並從事有關我國水利問題之研究，將以同人分工并力之所及，供全國專家學者之參考。二十七年秋，技士姜君國幹選定「水槽兩壁對於臨界拖引力之影響」及「沙土壩基滲水之探討」為研究專題，先後由技正譚葆泰張有齡及研究專員周同慶三君予以技術上之指導，潛心鑽索，兩易寒暑，始卒所業，草成研究報告，茲篇其一也。余以其於水工學理，頗有剏獲，足資采擇者，特為刊布，以諗當世，水學深曠，綱領萬端，然而泰山不遺寸壤，大輅始於椎輪，倘藉是獲海內同志之見許，匡繩而增益之，則所為企禱以求者矣。姜君初由管理中英庚款董事會伙助來所工作，茲篇並得庚款會同意，由本所發表，謹於此附誌謝忱。

民國二十九年十二月鄭肇經識

水利部  
經濟委員會  
水利研究所



本所石門水工試驗室



本所磐溪水工試驗室

# 水槽兩壁對於臨界拖引力之影響

## 一 導 言

吾人知河床沙粒移動，乃受水流之拖引力而使然，當某種沙粒開始移動時所需之拖引力，稱為臨界拖引力(critical tractive force)設水流之拖引力過此限度，河床沙粒即被冲刷，不及此限度則沙停積，又若河流之水深及比降為已知數，則根據P. du-Boys 拖引力基本公式 $\tau_m = \gamma ds$ ，( $\tau_m$  單位平均拖引力， $\gamma$  單位水重， $d$  水深， $s$  水面比降) 可試驗某種沙粒移動時所需之拖引力，其結果每可供研究實際河床變化之參考。晚近學者對於臨界拖引力之研究，已具有相當之歷史，如 "P du-Boys, Gilbert, Engels, Schoklitsh, Krey, Eisner, Schaffernak, Kramer, U.S. Waterways Experiment Station 及張有齡氏等之探討，皆其著者。惟各家所作試驗，大都在寬度較小之矩形水槽中舉行，而水槽兩壁對於拖引力之影響往往未能計及，著者認為本問題之精確結論，當採用較寬之水槽，而觀其試驗之結果，庶可免受槽壁之影響。就各家已得之結果，加以研討，頗多異同之處，推原其故，固極複雜，而因試驗所用之水槽，寬度較小，以致影響其試驗結果者，實為一大原因，本試驗之主要目的在觀察寬度各異之水槽，其沙粒普遍移動開始時所發生臨界拖引力之大小，與其所受槽壁之影響為何如，並研究有無相互之關係。

## 二 試驗之設備

本試驗舉行於經濟部中央水工試驗所之礮溪試驗室，其設備概況，簡述如下：蓄水庫內之水，流入水槽後，經過尾端之15公分鐵管，導入量水槽，水槽之前部設有溢水段，使過剩之水量，經溢水堰流去，藉保水頭之穩定，量水槽內設一量水堰，為平頂

\* P.du-Boys: "Le Rhone et les rivieres a lit affaillable" Anndles des ponts et Chauss'ees, Vol. 2. 1879.

G. K. Gilbert: "The transportation of debris by running water," Professional paper 85 U.S. Geological Survey 1914.

H. Engels: "Versuche über den reibungswiderstand zwischen Strömungen Wasser und Bettsohle," Zeitschrift für Bauwesen 19.2.

A. Schoklitch "über schleppkraft und Geschiebebewegung" S14.

H. Krey: "Die Bewegung der Schwemmstoffe in unseren Flüssen." Zentral blatt der Bauverwaltung. S. 212. 1919.

F. Eisner: "Handbuch der Experimental Physik" Bd. 4, Offene Gerinne, Berlin.

F. Schaffernak: "Neue Grundlagen für die Berechnung der Geschiebeführung in Flussläufen" 1922.

Hans Kramer: "Sand Mixtures and Sand Movement in Fluvial Models" Transactions, Am. Soc. C. E. Vol. 100. (1935) P. 789.

U. S. Waterways Experiment Station: "Studies of River Bed materials and their Movement with special Reference to the Lower Mississippi River," Paper 17. 1935.

張有齡: "Laboratory Investigation of Flume Traction and Transportation" Transactions, Am. Soc. C.E. Vol. 104. (1939) P. 1246.

銳角兩邊不收束式之方口堰，寬約36公分，堰後設一測針，用以測讀水位，其前有散水板，攔水板等設置，以之消殺水勢，和緩水流，務使其均勻而平穩，進水槽與矩形試驗槽連接之處，使成爲和緩之彎度，俾其寬度不致驟變，第一組試驗所用之水槽，兩壁之糙率與沙粒不同，其左壁用磚砌高60公分，表面以1：2洋灰漿粉平，在其中部裝有厚玻璃兩塊，以便觀察，右壁係用 $2\frac{1}{2}$ 公分厚松板製成，面加白漆三度，於其上端用角鐵夾緊，以防撓曲，槽底用磚灰砌平，並備有 $2\frac{1}{2}$ 公分寬之空槽三路，可使板壁移動，成爲20,30,40,公分三種不同寬度之水槽，尾端爲活動堰，可以自由昇降，藉以控制槽內水位，其內設有沉沙池，便於積集流沙，其外爲洩水溝，除進水段長4公尺，尾端3公尺不計外，有效淨長爲4公尺，每間距2公尺由槽底接管達壁外之水壓計，用測針量其高度，可免槽內水面之蕩漾，待第一組試驗完畢，仍將原槽，兩壁加敷洋灰，並黏以同類之沙粒，使其糙率與槽底完全相同，以備舉行第二組試驗之用。

### 三 沙粒粗糙率之試驗

(甲)沙土之顆粒分佈——先將本試驗所用之沙粒洗淨後，在 $110^{\circ}$  C電爐內烘乾，然後用比重瓶求得其比重爲2.678。其平均直徑之求法，Krey氏與Kramer氏均嘗用之，須先根據Tyler標準篩分析之結果，以顆粒徑爲橫距，以過篩百分率爲縱距，繪



成組合曲線，並於過篩百分數等於50處，繪一平線，使與曲線相交，交點之相當沙粒直徑，即為平均沙粒直徑，而平線所分兩面積之比，則為均勻係數。本試驗所用砂粒分析之結果，其平均直徑為0.21公厘，均勻係數為0.544。

(乙)求粗糙率之公式——(見第一圖)

$$S = S_0 - \frac{dy}{dx} = S_e + \frac{d}{dx} \left( \frac{v^2}{2g} \right) = \frac{v^2}{C^2 R} - \frac{Q^2}{gb^2 y^3} \frac{dy}{dx}$$

$$Q = vby$$

$$S = \frac{v^2}{C^2 R} - \frac{v^2}{gy} \frac{dy}{dx}$$

$$\text{或 } \frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - \frac{v^2}{C^2 R}}{1 - \frac{v^2}{gy}} \quad ; \quad C = \frac{R^{1/6}}{n} \quad \left( \text{此式係米用制量度} \right)$$

(, n 為滿寧氏糙率)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - \frac{v^2 n^2}{R^{4/3}}}{1 - \frac{v^2}{gy}}$$

$$S = S_0 - \frac{dy}{dx} = S_0 - \frac{S_0 - \frac{v^2 n^2}{R^{4/3}} - \frac{v^2}{gy} S_0 + \frac{v^2 n^2}{R^{4/3}}}{1 - \frac{v^2}{gy}} \quad (1)$$

$$\text{設槽底為水平，則 } S_0 = 0, \text{ 故 } S = \frac{v^2 n^2}{R^{4/3} \left( 1 - \frac{v^2}{gy} \right)} \quad (2)$$

$$\text{或 } n = \frac{S^{1/2} R^{2/3} \left( 1 - \frac{v^2}{gy} \right)^{1/2}}{v} \quad (3)$$

由上式得知粗糙率之計算可用滿寧氏公式加以不等均勻水流之改正係數即可求得。

(丙)粗糙率之試驗公式——粗糙率除由試驗求得外，並可利用下列各式求得之。

$$\text{Strickler : } n = 0.01500 D^{1/6} \quad (4)$$

$$\text{O' Brien : } n = 0.01885 D^{1/6} \quad (5)$$

$$\text{張有齡 : } n = 0.01630 D^{1/6} \quad (D \text{ 爲砂粒平均直徑以公厘計}) \quad (6)$$

(丁)平均粗糙率公式之演算——如兩壁糙率與沙粒不同，則其平均糙率  $n_m$  自必因兩壁糙率  $n_d$ ，槽底沙粒糙率  $n_b$  及水槽之形式而變，根據斷面速度分佈情形，及前人對於矩形水槽拖引力之實際測量結果，可假定兩壁上各點之單位拖引力與槽底所具有者相等，而平均拖引力又爲兩壁拖引力  $\tau_d$  及槽底沙粒拖引力  $\tau_b$  之總平均值，其演算方式如次：

$$\begin{aligned}
 p n_m &= 2d n_d + b n_b \\
 p \left( \tau \frac{n_m^2 v^2}{R^{1/3}} \right) &= 2d \left( \tau \frac{n_d^2 v^2}{R^{1/3}} \right) + b \left( \tau \frac{n_b^2 v^2}{R^{1/3}} \right) \\
 p n_m &= 2d n_d + b n_b \\
 n_m &= \sqrt{\frac{2d n_d^2 + b n_b^2}{p}} \quad (7)
 \end{aligned}$$

R. E. Horton 及張有齡氏則引導爲  $p n_m^{3/2} = 2d n_d^{3/2} + b n_b^{3/2}$

$$n_m = \sqrt[3]{\frac{2d n_d^{3/2} + b n_b^{3/2}}{p}} \quad (8)$$

(戊)試驗之進行及其結果——此次試驗係在 20,30 公分寬之水槽內，分別舉行(兩壁黏沙)鋪沙入槽，厚約20公分，用木鏟括平，放水入槽，使適與沙面齊平，讀水壓計，取其平均值作為真高，緩開水門，待其到達某預定流量時，(先用 Rehbock氏式 $Q = (1.782 + 0.24 \frac{he}{p}) Lhe^{5/2}$  求得水頭與流量之關係曲線，檢得相當之水頭，再加量水堰頂之測針讀數，即為安置之測針高)放落活動堰，降低水位至沙粒開始發生普遍移動為度，讀水壓計高，減去沙面真高，即得水深，首尾兩深度之差，除以間距，即得水坡 $S_0$ ，水罨半徑  $R$ ，平均流速  $v$  亦可計算得之，然後應用上列第(3)式，得  $n$  之值。

第一表 糙率試驗之結果

b(公分)	d(公分)	d/b	v(公分/秒)	R(公分)	S	$\frac{1}{S^2} \frac{1}{R^3} \frac{1}{v}$	$(1 - \frac{v^2}{gy})^2$	$n_m$
20	4.64	0.231	21.55	3.17	0.000800	0.0131	0.952	0.0124
	6.69	0.335	22.42	2.01	0.000650	0.0132	0.962	0.0127
	10.87	0.544	23.00	5.21	0.000500	0.0136	0.972	0.0132
	12.86	0.643	23.33	5.63	0.000425	0.0129	0.976	0.0125
	16.59	0.830	24.11	6.24	0.000450	0.0137	0.930	0.0134
	20.40	1.020	24.50	6.71	0.000470	0.0146	0.984	0.0144
	23.83	1.194	25.13	7.05	0.000500	0.0152	0.985	0.0150
30	3.49	0.116	19.10	2.83	0.000650	0.0124	0.943	0.0117

	5.10	0.170	19.60	3.81	0.000475	0.0125	0.961	0.0123
	6.61	0.210	20.17	4.58	0.000425	0.0130	0.963	0.0126
	9.05	0.301	22.10	5.65	0.000375	0.0129	0.972	0.0125
	13.29	0.443	22.57	7.05	0.000325	0.0137	0.980	0.0134
	17.13	0.572	23.35	7.93	0.000300	0.0138	0.981	0.0135

(己)結果之比較——滿寧氏  $n$  由試驗得其平均值為 0.0129

$$\text{由 (4) 式 } n = 0.01500D^{1/6} = 0.01500 \times .21^{1/6} = 0.0116$$

$$\text{由 (5) 式 } n = 0.01885D^{1/6} = 0.01885 \times .21^{1/6} = 0.0143$$

$$\text{由 (6) 式 } n = 0.01660D^{1/6} = 0.01660 \times .21^{1/6} = 0.0128$$

故知試驗所得之平均值與(6)式，頗稱相近。

綜觀上表，在同水槽中糙率與水深有相當之關係，槽壁為固定之沙粒，槽底為流動之沙粒，因其受有水流之潤滑作用，則流動沙粒之糙粒自較靜床為小，水深則兩壁靜止沙粒所佔之成分大，迨其趨於無窮大時，則槽底糙率所佔之成分，幾近於零，其平均糙率得視為兩壁之糙率，水淺則流動沙粒所佔之成分大，求得之糙率得視為流動沙粒之糙率，根據上述之理論，可以  $n_m$  之值為縱距， $\frac{d}{b}$  之值為橫距，連成  $n_m - \frac{d}{b}$  曲線，當  $\frac{d}{b}$  趨近於零時（ $b$  為常數， $d$  必趨近於零）該曲線與縱軸相交點  $n=0.0110$ ，即為流動沙粒之糙率。（見第二圖）

如兩壁為極光滑之洋灰或漆面， $n_d=0.0103$  流動沙粒之糙

率既由上法求得為0.0110，則在不同深度可依(7)式組合之。

$$n_{40} = \frac{\sqrt{.000212d + .00484}}{p},$$

$$n_{30} = \frac{\sqrt{.000212d + .00363}}{p},$$

$$n_{20} = \frac{\sqrt{.000212d + .00242}}{p}。$$

設於兩壁黏以同類之沙粒，其平均值  $n_m$  可直接由第二圖檢得之。

(庚)討論——式(7)雖係根據斷面流速分佈情形引導而成，尙有待於精確之試驗結果以證實之。式(4),(5),(6)中糙率  $n \propto D^{-\frac{1}{6}}$  除由試驗求得外，亦可由較精確之管流試驗理論中得一近似之結果，茲述如下：

$$S = f \frac{v^2}{2gd} \quad (f \text{ 爲阻力係數, } d \text{ 爲管之直徑})$$

$$V = \sqrt{\frac{2gds}{f}} = \sqrt{\frac{2g}{f}} \sqrt{4RS} = \sqrt{\frac{8g}{f}} \sqrt{RS}$$

據 Hopt 與 Fromm<sup>\*</sup> 試驗結果  $f = c \left(\frac{D}{R}\right)^x = 4 \times 10^{-2} \left(\frac{R}{D}\right)^{0.314}$

(此式在雷諾數值大於  $6 \times 10^3$  時均可應用) (9)

$$\begin{aligned} V &= \sqrt{\frac{8g}{C}} \left(\frac{R}{D}\right)^{\frac{x}{2}} \sqrt{RS} = \sqrt{\frac{8g}{C}} R^{\frac{x}{2} + \frac{1}{2}} D^{-\frac{x}{2}} S^{\frac{1}{2}} \\ &= \sqrt{\frac{8g}{C}} D^{-\frac{x}{2}} R^{\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{6}\right)} S^{\left(\frac{x}{2} - \frac{1}{6}\right)} \end{aligned}$$

<sup>\*</sup> W. Kaffmann: Angewandte Hydromechanik BdII, S. 97.

$$= \frac{\sqrt{8g}}{C} D^{-\frac{x}{2}} R^{\frac{1}{3}} R^{\frac{x}{2}} = \frac{1}{6} S^{\frac{1}{2}}$$

而滿寧氏公式為  $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$

故  $\frac{1}{n} = \sqrt{\frac{8g}{c}} D^{-\frac{x}{2}} R^{\frac{x}{2}} = \frac{1}{6}$

或  $n = \frac{c}{8g} D^{\frac{x}{2}} R^{\frac{1}{6} - \frac{x}{2}}$

由式(9)得  $C = 4 \times 10^{-2}$  與  $x = 0.314$ , 則

$$n = \frac{4 \times 10^{-2}}{8g} D^{0.157} R^{0.166 - 0.157} = k D^{0.157} R^{0.009} \quad (10)$$

由上式知  $R$  對於  $n$  之影響極微，即視為  $n = K D^{\frac{1}{6}}$  亦無多大錯誤，故由管流試驗結果亦可證實渠內試驗所得  $n \propto D^{\frac{1}{6}}$  尚屬相當準確。

#### 四 臨界拖引力之試驗

(甲) 拖引力及各家之研究——拖引力係由水內阻力所產生之剪力而形成 P. du-Boys 以  $\tau_m = \gamma ds$  式表之。河床沙粒開始發生普遍運動時之拖引力曰臨界拖引力 ( $\tau_c$ ) 吾人更可想像位於梯形水渠坡度之沙粒因深度不同之故，未必與槽底沙粒同時開始作普遍運動時，又或受水深槽窄及糙率之影響，往往槽底沙粒發生普遍運動時所生之臨界拖引力大於或小於其絕對值。換言之，臨界拖引力不受任何環境影響者，曰絕對臨界拖引力 ( $\tau_0$ )。

已往各家對於臨界拖引力加以研究者有以下諸結論，茲簡述

如下：Krey 以沙粒之直徑表臨界拖引力  $\tau_c = (0.045 - 0.070) (\delta_1 - \delta) D$ ，僅可作為約估之用；Kramer 氏曾用三種不同之沙粒，作為試料，故其導成  $\tau_c = \frac{100}{6} \frac{D}{M} (\delta_1 - \delta)$ ，較諸 Krey 氏假設以沙粒徑表示者，自覺周密，後 U.S. Waterways Experiment Station 亦有若干組試驗並得有改正曲線式

$$\tau_c = 29 \sqrt{\frac{D}{M} (\delta_1 - \delta)}; \text{張有齡氏之引導式爲 } \tau_c = c \left( \frac{\delta_1 - \delta}{\delta} D \Omega^{1/3} \right)$$

$$\delta \left( \Omega \text{ 爲最大沙粒直徑與其最小者之比} \left( \frac{\delta_1 - \delta}{\delta} \frac{D}{M} \right) \right) \begin{cases} > 2.0 \quad \beta = 1, \\ < 2.0 \quad \beta = \frac{1}{2} \end{cases}$$

按諸氏導引之公式皆假定其所用之水槽寬度，對於臨界拖引力不致發生若何影響。

(乙) 不等速水流對於拖引力之影響——（見第三圖）

$$\left( m v - m_1 v_1 \right) + \frac{\delta b}{2} \left( y^2 - y_1^2 \right) \Delta t + \delta b \left( \frac{y + y_1}{2} \right) \sin \alpha_0 dx \Delta t = \tau \left( b + (y + y_1) \right) dx \Delta t$$

$$\frac{\delta}{g} \left( b y v^2 - b_1 y_1 v_1^2 \right) \Delta t + \frac{\delta b}{2} \left( y^2 - y_1^2 \right) \Delta t + \delta b \left( \frac{y + y_1}{2} \right) \sin \alpha_0 dx \Delta t = \tau \left( b + (y + y_1) \right) dx \Delta t$$

$$\because Q byv = by_1 v_1 \quad v_1 = dv + v \quad y_1 = y + dy$$

$$-\frac{\delta Q}{g} dv - \frac{\delta b}{2} (2y + dy) dy + \delta b \frac{2y + dy}{2} \sin \alpha_0 dx = \tau (b + 2y + dy) dx$$

$$-\frac{\delta Q}{g} \frac{dv}{dx} - \delta b y \frac{dy}{dx} + \delta by \sin \alpha_0 = \tau (b + 2y)$$

$$V = \frac{Q}{by} \quad \frac{dv}{dy} = -\frac{Q}{by^2} = -\frac{v}{y}$$

$$\frac{dy}{dx} = \sin \alpha_0 - \sin \alpha$$

$$\frac{dv}{dx} = \frac{dv}{dy} \frac{dy}{dx} = -\frac{v}{y} (\sin \alpha_0 - \sin \alpha)$$

$$\frac{\gamma Q}{g} \frac{v}{y} (\sin \alpha_0 - \sin \alpha) - \gamma by (\sin \alpha_0 - \sin \alpha) + \gamma by \sin \alpha_0 = \tau (b + 2y)$$

$$\frac{\gamma v^2 b}{g} (\sin \alpha_0 - \sin \alpha) - \gamma by (\sin \alpha_0 - \sin \alpha) + \gamma by \sin \alpha_0 = \tau (b + 2y)$$

設  $\alpha = \alpha_0$  即  $S = \sin \alpha = \sin \alpha_0$  則  $\gamma by \sin \alpha_0 = \tau (b + 2y)$

或  $T = \gamma RS$  (11)

設  $\alpha_0 = 0$ , 即  $S = \sin \alpha$ , 則  $-\frac{\gamma b v^2}{g} \sin \alpha + \gamma by \sin \alpha = \tau (b + 2y)$

$$\tau = S \left( y - \frac{v^2}{g} \right) \frac{\gamma b}{b + 2y}$$

$$= \gamma RS \left( 1 - \frac{v^2}{gy} \right)^*$$
 (12)

(丙) 試驗進行及其結果 —— 本試驗係採用平底試槽，欲使水面坡與槽底坡完全一致，事實上頗多困難，但用平底則又形成不均勻水流 (Nonuniform flow) 故應用拖引力公式時，須加以改正係數。在試驗未開始以前，先將沙粒用清水洗淨，鋪入水槽，同時放水入內，使之潤溼，俟厚達20公分，用木鏟鋪平，使其同達某標高，然後昇高活動堰，緩開木門，由小而大，務使其不發生水紋，俟達到某水量時，再用尾端之活動

\*註 設  $S_0 = 0$ ,  $V = \sqrt{gy} \left( 1 - \frac{v^2}{gy} \right) = 0$ , 可能之水流情形為水躍，是即

$$S \rightarrow \infty \quad T = \infty \times 0,$$



堰，節制槽內水深，使其逐漸低落，同時從玻璃壁觀察槽底沙粒之移動情形，因沙內含有質量較輕之雜質，往往未達沙粒之真正臨界流速，即行移動，經相當時間，始復歸於靜止，繼續降低水位，以試槽中部之沙粒開始作普遍移動為度，是即發生臨界拖引力時之情形也。待水面穩定計量需要之尺度，先用40公分兩壁加漆之試槽依次將右壁搬移至30，20公分處之預留空槽中，以拉撐等支持穩定，進水槽與試槽連接之弧度，亦需每次改動，務使兩邊對稱，藉保水流之平穩，全組試畢兩壁敷以洋灰水，同時黏以同類之沙粒，惟玻璃壁須保留相當之空隙，以便觀察，試驗方法同前。

第二表 第一組試驗結果（兩壁加漆）

1	2	3	4	5	6	7	8
b(公分)	Q(公升/秒)	d(公分)	R(公分)	V(公分/秒)	Re	n	$\tau_c$ (克/平方公尺)
40	4	5.89	4.55	17.00	608)	0.0109	9.8
	6	8.20	5.81	18.30	8470	0.0108	10.1
	8	10.72	6.70	18.66	9840	0.0108	9.9
	10	12.79	7.79	19.54	11100	0.0107	10.2
	12	14.93	8.54	20.09	13500	0.0107	10.4
	15	17.80	9.62	21.06	15600	0.0106	11.0
	20	22.15	10.51	22.56	1783)	0.0106	12.9
30	2	3.93	3.12	16.96	4170	0.0108	10.7

	3	5.73	4.15	17.22	5630	0.0108	10.0
	4	7.34	4.93	18.16	7050	0.0107	10.2
	5	8.51	5.43	19.60	8480	0.0107	10.9
	6	10.07	6.02	19.86	9420	0.0107	11.4
	9	14.12	7.27	21.25	12150	0.0106	12.1
	12	17.77	8.13	22.51	14400	0.0106	13.1
	15	20.63	8.69	24.18	16540	0.0106	14.8
20	1	3.24	2.07	15.40	2500	0.0108	10.0
	2	5.65	3.61	17.70	5030	0.0107	10.3
	3	7.82	4.39	19.60	6770	0.0107	12.5
	4	9.72	4.93	20.50	7950	0.0107	13.2
	5	11.87	5.43	21.05	9000	0.0106	13.1
	6	13.65	5.77	21.98	9980	0.0106	14.1
	7.86	17.35	6.34	22.70	11340	0.0106	14.4
	8.34	17.93	6.44	23.20	11750	0.0105	14.7
	10	20.95	6.73	24.30	12830	0.0105	15.9
	12	22.90	6.95	25.30	14400	0.0105	18.8

第三表 第二組試驗結果(兩壁黏沙)

1	2	3	4	5	6	7	8
b(公分)	Q(公升/秒)	d(公分)	R(公分)	V(公分/秒)	Re	n	$\tau_c$ (克/平方公尺)
40	4	5.72	4.45	17.48	593	0.01185	12.0

	6	7.80	5.61	19.20	8220	0.01210	14.2
	8	9.84	6.50	20.33	10080	0.01235	15.6
	10	11.84	7.44	21.11	12000	0.01255	15.3
	12	13.95	8.22	21.50	13500	0.01275	17.3
	15	17.20	9.25	21.80	15400	0.01295	17.5
	18	20.12	10.03	22.36	17100	0.01310	18.6
	21.17	23.35	10.80	22.60	18630	0.01330	20.9
30	1	2.02	1.38	16.50	2240	0.01150	13.5
	2	3.49	2.83	19.10	4120	0.01170	16.5
	3	5.10	3.81	19.61	5700	0.01200	16.5
	4	6.61	4.58	20.17	9060	0.01220	17.2
	6	9.05	5.65	22.10	9540	0.01255	20.1
	9	13.29	7.05	22.57	12250	0.01300	20.7
	12	17.13	7.98	23.35	14250	0.01325	22.1
	15	20.84	8.70	24.00	15950	0.01340	23.4
20	1	2.50	2.00	20.00	3500	0.01180	20.4
	2	4.64	3.13	21.55	5210	0.01230	22.3
	3	6.69	4.01	22.52	6870	0.01270	23.8
	5	10.87	5.21	23.00	9150	0.01320	24.5
	6	12.86	5.63	23.33	10040	0.01340	25.6
	8	16.59	6.24	24.11	11500	0.01355	27.0

	10	20.40	6.71	24.50	1235	.01360	27.4
	12	23.88	7.05	25.15	13500	.01375	28.8

說明： 4.  $R = \frac{bd}{zd+b}$

6.  $Re = \frac{Rd}{v}$

7. 第二表內  $n_m = \sqrt{\frac{2d n_d^2 + b n_b^2}{p}}$  第三表內  $n_m$  之值  
由第二圖檢得。

8.  $\tau_c = \phi RS \left( 1 - \frac{V^2}{gy} \right)$

(丁) 臨界流速及臨界拖引力——槽底沙粒經流速能力之作用，發生拖引力，待其作普遍移動時所具有之平均流速，稱曰臨界流速。根據試驗結果，設槽壁與槽底均為同類之沙粒，可用對數作圖法求得下列之關係式(見第四圖)

$$V_c = 24.8 \left( \frac{d}{b} \right)^{\frac{1}{8}} \text{ 公分/秒 } \left( \frac{1}{9} < \frac{d}{b} < \frac{12}{10} \right) \quad (13)$$

按滿甯氏式  $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$

$$S = \frac{n^2 V^2}{R^{\frac{4}{3}}}$$

$$\tau = \phi RS = \phi \frac{n^2 V^2}{R^{\frac{1}{3}}} \quad (n_m = 0.0129)$$

但  $V_c = 4.8 \left( \frac{d}{b} \right)^{\frac{1}{8}} \text{ 公尺/秒}$

$$\text{故 } \tau_c = 10.215 \frac{(2d+b)^{\frac{1}{3}}}{b^{\frac{1}{12}} d^{\frac{1}{12}}} = 15.67 \frac{D}{M} (\sigma_1 - \sigma) \frac{(2d+b)^{\frac{1}{3}}}{b^{\frac{1}{12}} d^{\frac{1}{12}}} \quad (14)$$

根據上式任何渠道中已知  $b, d$ ，可約估臨界拖引力之大小，惟沙粒之性質當與用於試驗者大略相同，且在  $\frac{1}{9} < \frac{b}{d} < \frac{12}{10}$  之範圍內。

(戊) 臨界拖引力絕對值之求法及其互相之關係——某種沙粒必有某定量之臨界拖引力，惟據試驗所得之臨界拖引力並非一常數，顯係受牆壁之影響。設某定寬之水槽，其深度趨近於零時，可認為不受牆壁之影響，其平均值當趨近於其絕對值。某定深之水槽，其寬度趨近於無窮大時，則亦必趨近於其絕對值。茲以  $\frac{d}{b}$  之值為橫距， $\tau_c$  之值為縱距，連成  $\frac{d}{b} - \tau_c$  曲線。當  $\frac{d}{b}$  等於零，（ $b$  為常數，而  $d$  趨近於零）時，其縱軸所示  $\tau_m$  之值與前所示者相同，則知  $8 \text{克/平方公尺}$ ，即為此種沙粒之絕對臨界拖引力。（見第五圖）

由第三表，並可推知絕對臨界拖引力  $\tau_c$  必為臨界拖引力  $\tau_c$  雷諾次數  $Re$  及  $\frac{d}{b}$  等之函數，茲用作圖法（見第六圖）求得下列之關係式

$$\log \frac{\tau_c - \tau_0}{\tau_0} = 0.525 - 0.000011 \frac{Re}{\left(\frac{d}{b}\right)^{11}} \quad (15)$$

按  $b$  趨於無大窮時，或  $d$  趨於零時，上式右項之值必趨於  $-\infty$ ，則

$$\frac{\tau_c - \tau_0}{\tau_0} = 0, \text{ 即 } \tau_c = \tau_0.$$

(己)討論——由第五圖之解法，既可求得其絕對臨界拖引力為8克/平方公尺，為普遍應用計，可就Kramer式 $\tau_0 = K \frac{D}{M} (\phi_1 - \phi)$ 略加引申：

$$\begin{aligned} \tau_0 &= K \frac{D}{M} (\phi_1 - \phi) \\ &= K \frac{0.21}{0.544} (2.679 - 1) = 8 \end{aligned}$$

$$(D=0.21\text{mm}, M=0.544, \phi_1=2.679, \phi=1.000)$$

$$K = \frac{8}{0.648} = 12.34$$

$$\tau_0 = 12.34 \frac{D}{M} (\phi_1 - \phi) \quad (16)$$

上列引申式乃根據於一種沙粒試驗結之果，不得作為普遍之通式。

## 五 結 論

[某種沙粒之絕對臨界拖引力為一常數]在極寬或極淺之水槽中自屬正確，惟普通所遭遇之情形並非如是，必須加以校正係數。茲將此次試驗結果總結於下：

(甲)滿甯氏糙率 $n$ 之平均值以張有齡氏 $n = .0166D^{1/6}$ 式較接近於本試驗結果。倘槽壁與底部沙粒之糙率不同者，可用下式求得之。

$$P n_m^2 = 2d n_d^2 + b n_b^2 \dots\dots\dots(7)$$

(乙)臨界拖引力與其絕對值相互之關係略可大致以下式表示之

$$\log \frac{\tau_c - \tau_0}{\tau_0} = 0.523 - 0.00011 \frac{Re}{\left(\frac{d}{b}\right)^{1.1}} \dots\dots\dots(15)$$

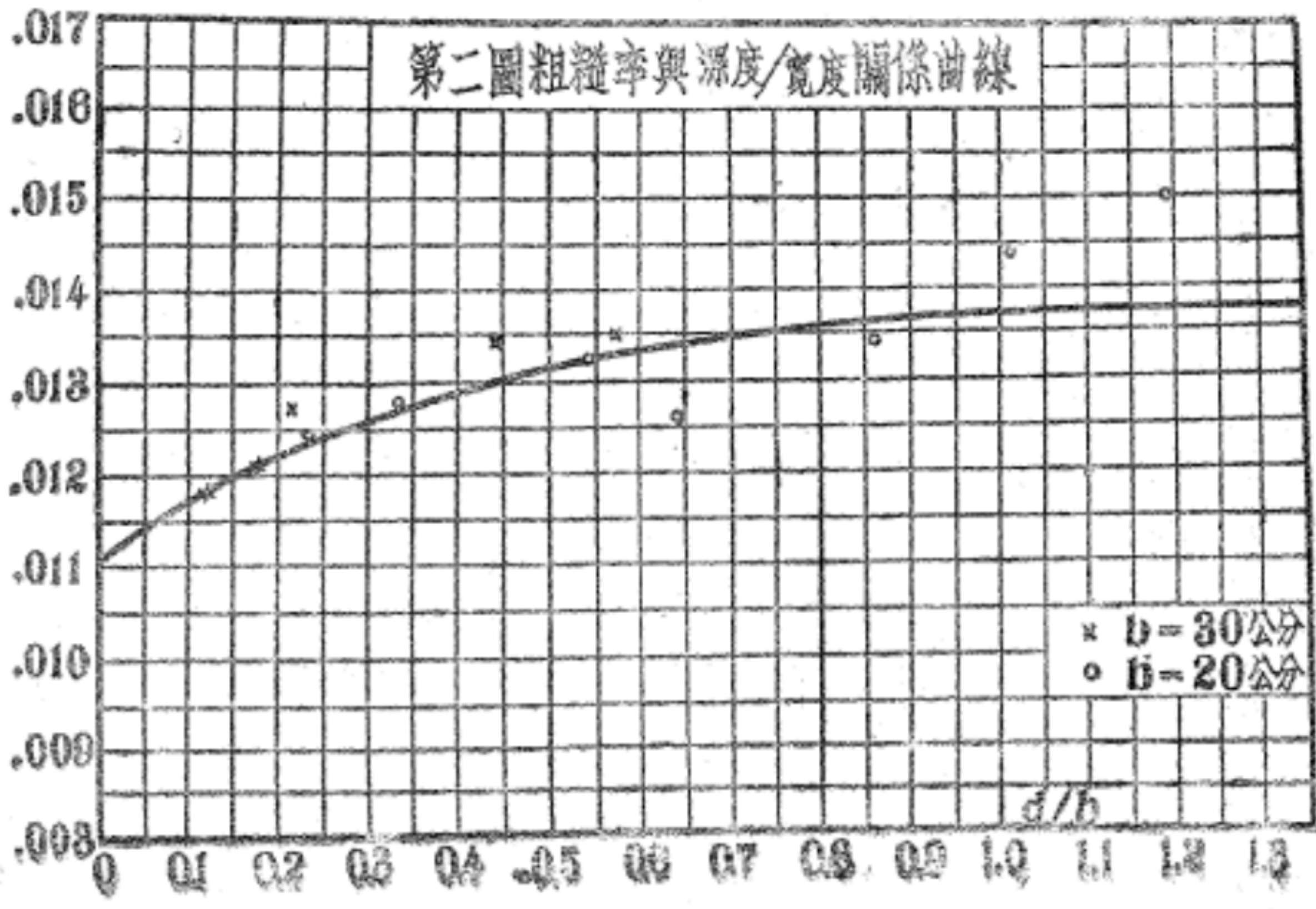
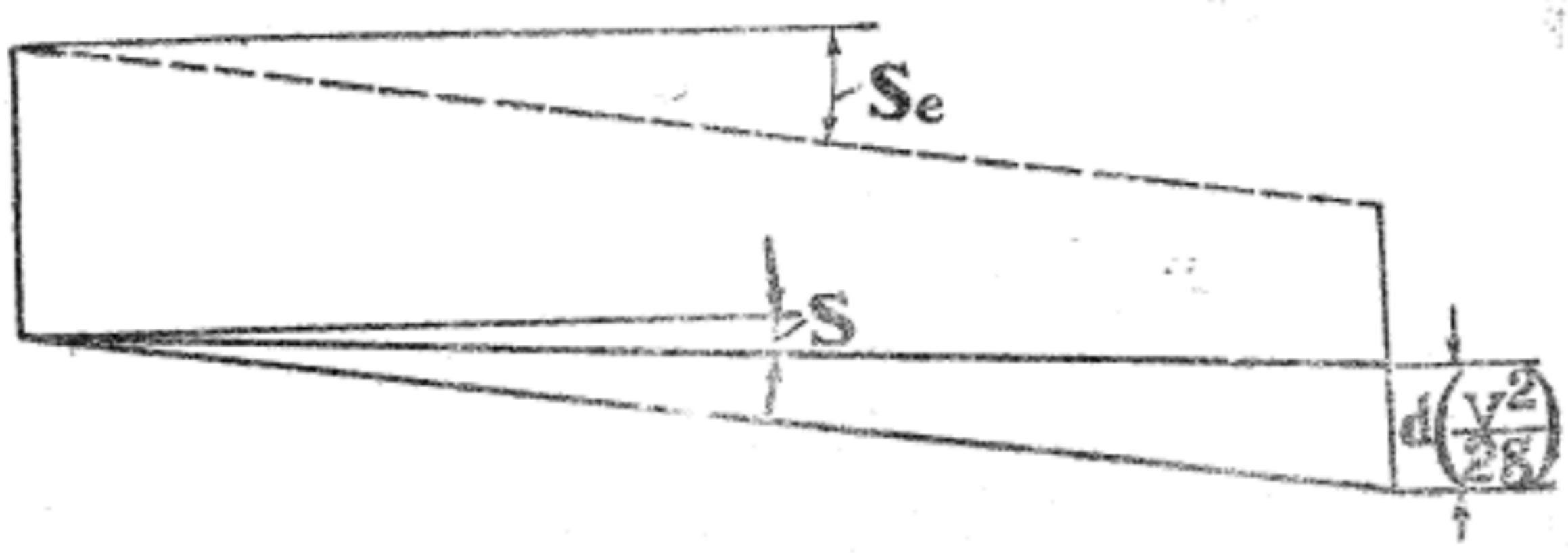
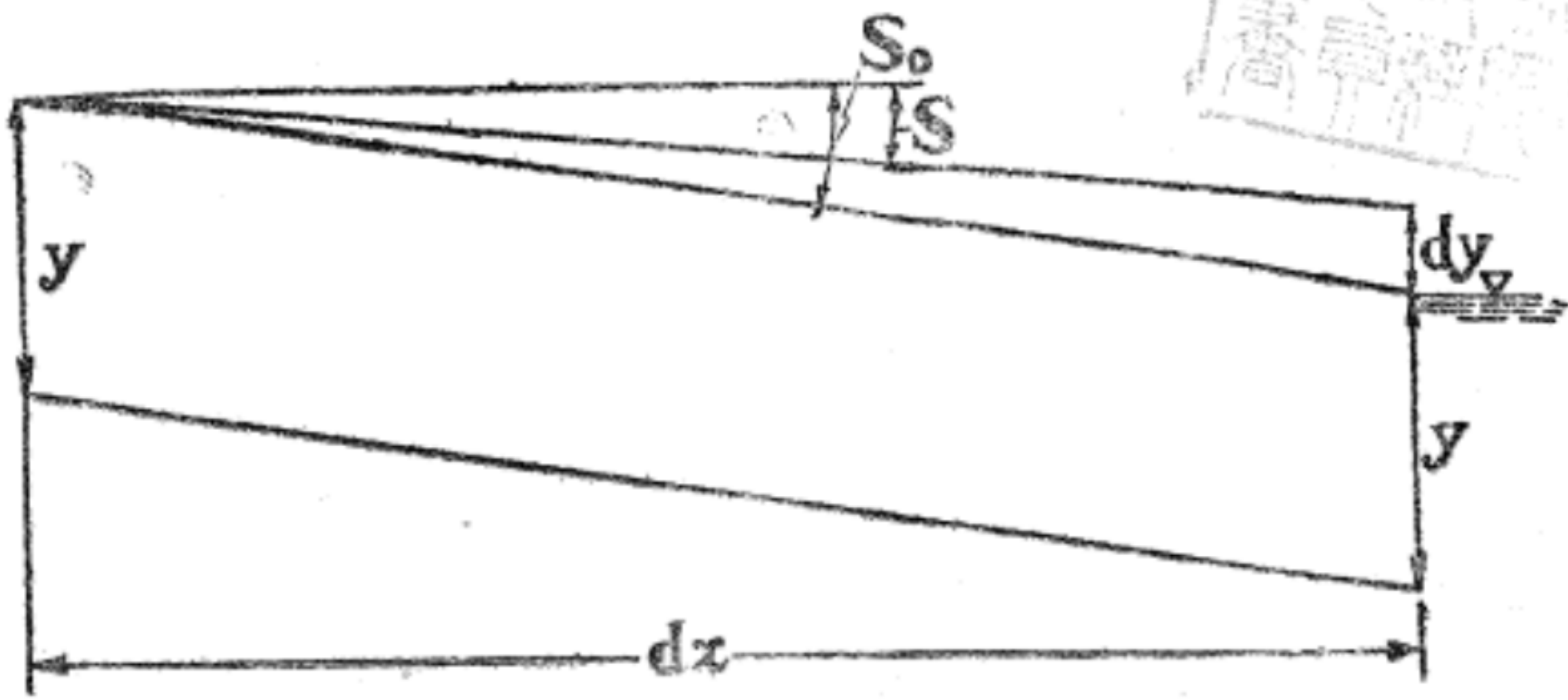
(丙)本試驗所得沙粒之絕對臨界拖引力可用下式表示之

$$\tau_0 = 12.34 \frac{D}{M} (\delta_1 - \delta) \dots\dots\dots(16)$$

## 參 考 用 書 一 覽

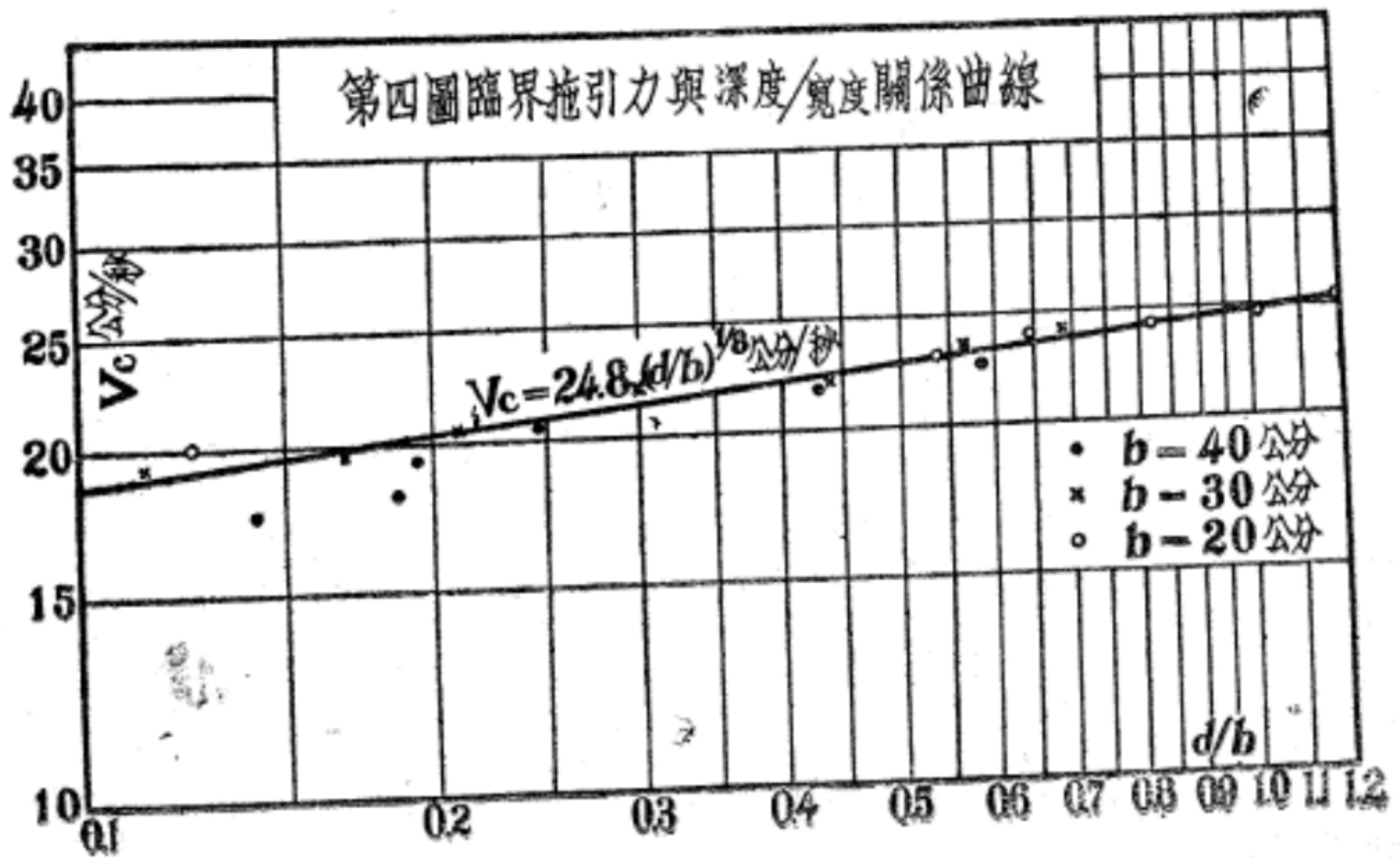
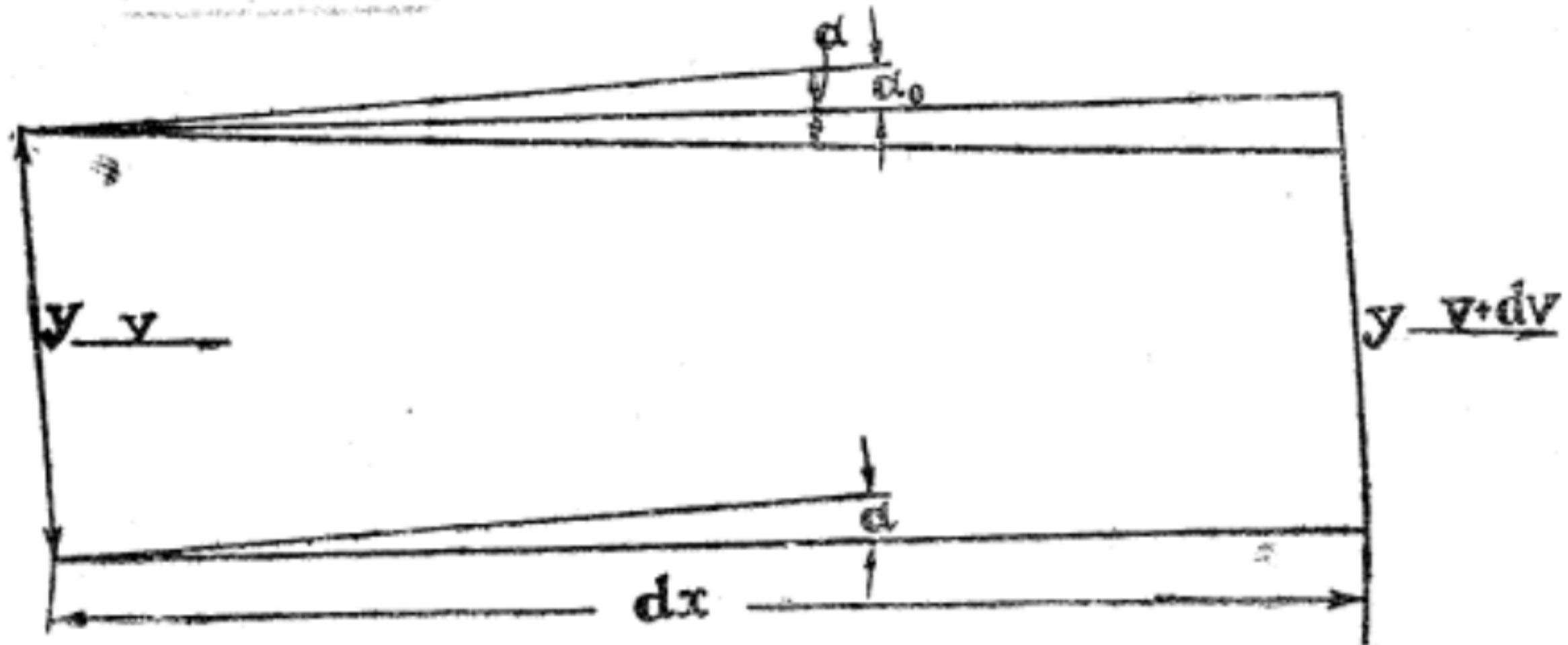
- ”Sand mixtures and sand movement in fluvial models”——Hans Kramer  
Trans.A.S.C.E.vol.100(1935)P.789
- ”Studies of river bed material and their movement”——Waterways  
Experiment Station Paper 17. 1935.
- ”Laboratory investigation of flume traction and transportation”——張有  
齡 Trans.A.S.C.E.vol.104(1939)P.1246
- ”Hydraulics of open channels”——B.A.Bakemeteff N.y. 1932.
- ”Stable channels in erodible materials”——E.W.Lane proc.A.S.C.E.Dec.  
1936.
- ”Modern conceptions of mechanics of fluid turbulence”——Hunter Rouse  
Trans.A.S.C.E Jun.1936.
- ”Fundamentals of hydro—and aeromechanics”——Prandtl and Tietiens  
N.y. 1934
- ”The mechanical Properties of fluids”——A Collective Work by C.V.  
Drysdale Allen Ferguson A.H.Gibson等 1934
- ”Hydraulic laboratory Practice”——Freeman
- ”Applied fluid mechanics”——O'Brien and Hickok
- ”Angewandte Hydromechanik”——Kaufman

第一圖

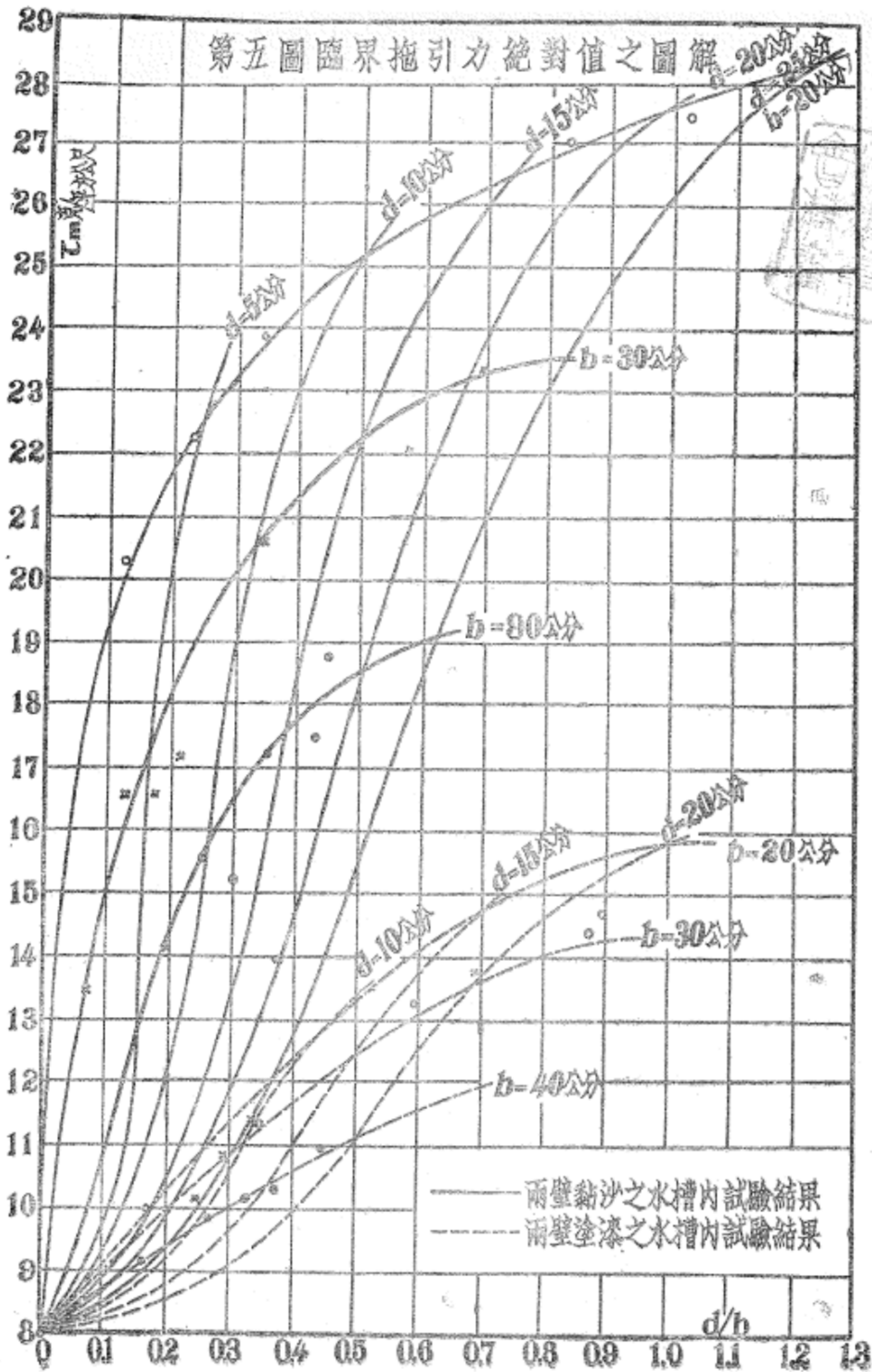




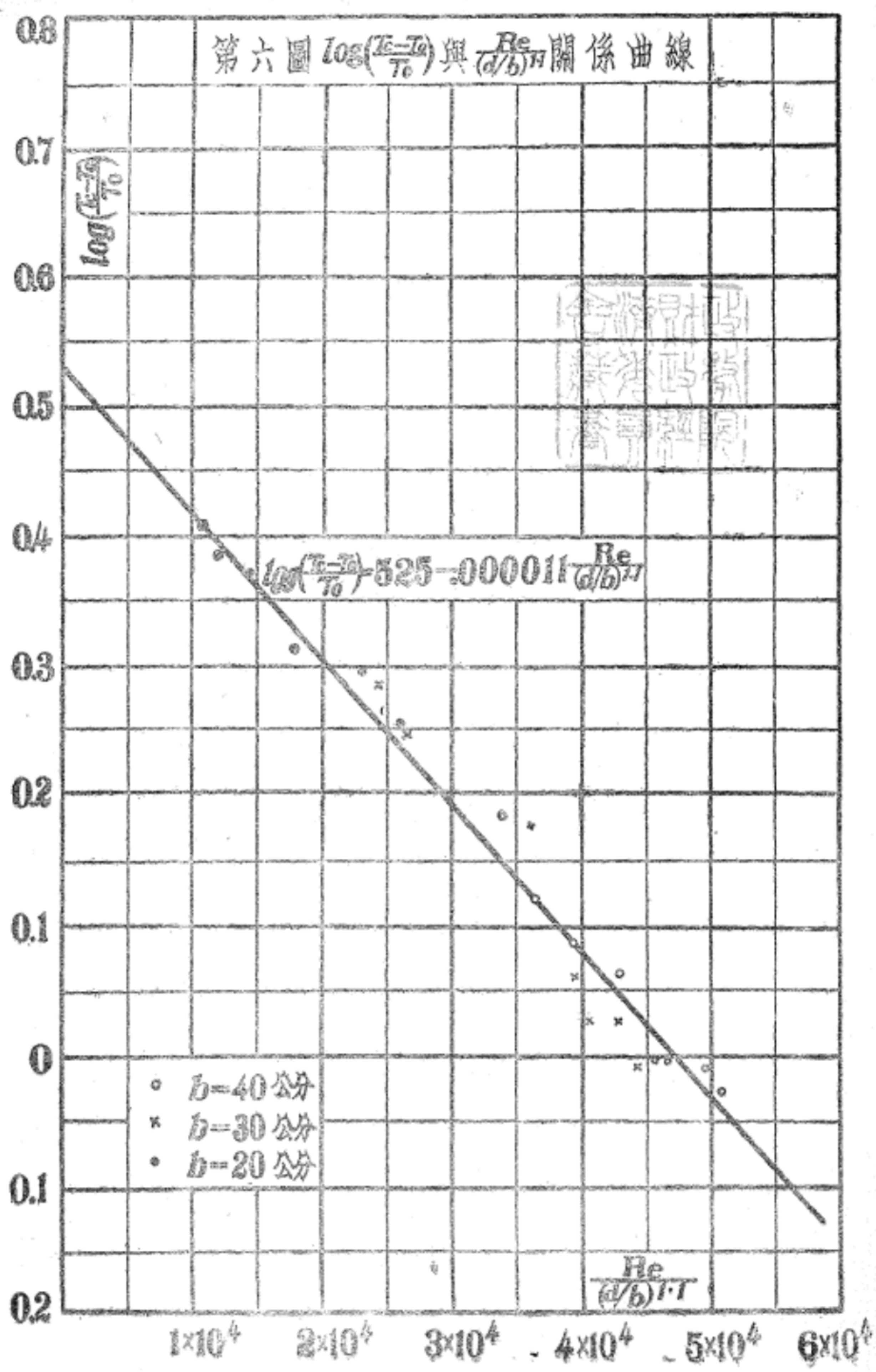
第三圖



第五圖臨界拖引力絕對值之圖解



第六圖  $\log\left(\frac{T_c - T_0}{T_0}\right)$  與  $\frac{Re}{(d/b)^{1.7}}$  關係曲線



## 徵求水利圖籍

本所茲擬籌設水利圖書館亟待蒐集與水利有關之圖籍刊物藉以充實內容各公私藏書家倘有下列各書肯割愛價讓或惠借錄副者務希賜函接洽無任企幸

- (一)中西古今水利專著及圖冊
- (二)全國方志
- (三)奏議文集筆記之涉及水利者
- (四)水利勘查報告工作計劃施工紀載以及一切與水工有關之照片等
- (五)其他有關水利之書報雜誌

經濟部中央水工試驗所啓

通訊處：重慶上清寺聚興村十二號

經濟部中央水工試驗所

# 水工儀器製造工廠

## 壹. 出品要目

水 水 蒸 雨 直 流 平

樣 準 發 量 角 速 板

器 尺 皿 器 鏡 儀 儀

★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★

## 貳. 修理校正

本廠承修經緯儀水準儀及其他各項測量儀器並配製零件校正精度

## 參. 承造模型

本廠承製水工模型如閘, 壩, 堤, 岸, 碼頭, 橋樑, 涵洞等,

接洽處：上清寺聚興村十二號

# 水槽兩壁對於臨界拖引力之影響

中華民國二十九年十二月出版

定價國幣叁圓

編輯兼發行者

經濟部中央水工試驗所

重慶上清寺聚興村十二號