

## 講演

土木學會誌 第十三卷第六號 昭和二年十二月

水道大鑄鐵管の摩擦に依る損失  
水頭の實驗報告

(昭和二年十一月四日工學會大會土木部會講演會に於て)

會員 工學士 小野基樹

Friction Head in Large Cast Iron Pipes.

By Motoki Ono, C. E., Member.

## 内容梗概

水道用大鑄鐵管が通水年齢を重ねるに従ひ漸次摩擦に依り損失水頭を増加するの傾向を28年間實驗上の各種の基礎より導き出し、尙其の傾向を以て更に遠き將來に於ける損失水頭を推定し、併せて其れ等の實驗の結果と著名なる實驗公式より算出せる結果とを比較對照し最後に實驗公式適用に關する新たなる意見を述べたるものなり。

## Synopsis

This paper records observations made for 28 years on the increasing loss of head taking place in water pipes of great diameters. Certain deductions are made therefrom as to its future amount. The latter is compared with those obtained by applying well known formulas, and concluded with remarks pertinent to their use.

## 第一 緒 言

凡て流水は鐵管内を流ると天然水路を流るとを問はず其の速度に應じて之を包容する接觸面との摩擦に依り水頭を損失するは自然の理にして而も其の速度を増すに従ひ漸次損失水頭を増加するの傾向を示すものなることは既に明かなる處なり。

而して之と反對に右の損失水頭を漸次に増加する如き裝置を施せば其れに應じて流速は大となり従つて流量を多からしむるを得るは當然の事なりとす。

抑も流速と摩擦に依る損失水頭との關係は一般に水を利用する各種計畫の根柢を爲す最も重要な事項なるものなれば從來世界各國の専門大家に依り理論上將又實驗上慎重細心の研究を遂げられたる問題にして實驗公式の如きも枚擧に遑無き程多數の研究發表せられたるもの存するなり、然るに本題目の大鑄鐵管に對する損失水頭に關する研究に就て多くの實例に徴するに之が實驗に適するが如き現存せる施設を選定すること容易ならず、さりとて實驗の爲め新たに適當なる試験設備を設くることは經費の關係上容易の業にあらざるを以て止むを得ず比較的の小口径の各管種に就き實驗を爲し其の成績を漸次敷衍して大口徑管に及ぼすの方法に依れるもの多きが如し、従つて動もすれば大口徑管の損失水頭に關する實驗公式は實際の試験に依らずして推定に依りて導き出せるの例尠なからざるなり。

惟ふに大鑄鐵管は一般に計畫の樞軸となる箇所に使用せられ其の工費も亦最も多額を要するものなれば損失水頭の見込違ひ換言すれば送水能力の計算上の誤差は全計畫に對し重大なる影響を及ぼすことゝなるを以て之が計算は殊に出來得る限りの精密を期せざる可からざるなり、實際問題としてある送水計畫を樹つるに當り實驗公式の多數の中より何れか適切なる一つを撰擇して右送水能力を計算に適用するものなるが何れの實驗公式が主として小口径若くは中口径の實驗に立脚して案出せられたるものなるや將又大口徑の實驗に立脚して案出せられたるものなるや其の根據を先づ研究の上に非ざれば頗る不安を免れざる處にして特に大口徑管の場合に於て然りとす。

而も各種實驗公式の根據等を探索するは甚だ困難にして假令小口径管乃至中口径管を根據となせる實驗公式なりと雖表面的には大口徑管にも好く適應するが如く大小各種口径に對する流量表などを添附しあるを以て益々判斷を困難ならしむるなり。しかのみならず摩擦に依る損失水頭は通水後の經過年數に依り管の内壁面に於て自ら粗密の差を生じ粗度係數と關聯して複雑なる關係を生ずることゝなるを以て其れ等の點に就ても充分なる考慮を用ひざる可からず。

著者は嘗て大正 6 年 12 月通水後 18 箇年を経過せる口径 1100 耗鑄鐵管に就きて實驗を試み其の成績を土木學會誌第四卷第三號に於て「鑄鐵管の流量に就きて」の表題の下に之を發表せるが其の後尙繼續して各種管の實驗を試みんことを希望せしも適當なる施設を得ら

れざりしを遺憾と考へ居りし處今回東京市水道擴張計畫に屬する和田堀澁橋線及和田堀青山線口徑 1500 耗鑄鐵管に就て通水直後通水後 3.5 年の實驗を遂げ尚前回實驗に供したる澁橋線口徑 1100 耗鑄鐵管の通水後 28 箇年の實驗をも遂げたるを以て前回實驗等をも一括して茲に之を報告せんとするものなり。

## 第二 實驗の方法

實驗の方法に關し述ぶるに先ち斯くの如き實驗に適應する施設の選擇に就て一應の説明をなさんとす。實驗の施設としては市内縦横に錯綜せる各種口徑及新古各種の水道鑄鐵管を以て之に充て得可きが故に實驗施設の取捨選擇は一見して自由自在なるが如く考へらるれども實は然らず、即ち摩擦に依る損失水頭は管内流速に起因して生ずる故に先づ管内流速を可及的精密に測定する機械の設置を第一必要條件と爲すなり、右の管内流速の測定機械には種々ありと雖此の目的の爲めにはベンチュリメーター若くはピトメーターを適當とす、就中前者は大小流速何れに對しても最も精密を所期し得可しと雖大口徑の送水管の中間に假りに之を裝置すること其の工事甚だ容易ならず又後者は之を裝置すること比較的簡易なるも流速測定の精密を期するを得ず殊に小流速に於て然りとす、故に最も精密なる成績を期待する爲めには假令裝置困難なりと雖もベンチュリメーターを採用するを要するなり、次に損失水頭の測定に要する精密なる裝置を取り付け得ることを第二の必要條件と爲すなり、右の裝置は實驗を爲さんとする送水管の始點と終點とに精密なる水壓計を取り付け以て其の目的を達し得ざるに非ざれども元來水壓計は最も精密なるものと雖每平方吋に付き 1 封度(水頭約 2.3 尺)を辛ふじて讀み得るの程度なる故本實驗の要求する精度なる 0.01 尺などは到底之を望むことを得ざるなり、故に水頭を直接尺度にて讀み得る如くする爲め最高水頭に相當する高さの櫓を建つるを要することとなり従つて交通頻繁なる道路上に裝置することは實行上甚だ困難なる問題なり。尙次に實驗を爲さんとする送水管の始點と終點との間に成る可く直線にして相當長距離の延長を有することを第三の必要條件と爲すなり、之れ摩擦に依る損失水頭を動水勾配の形に換算するときは大凡數千分の一と云ふ如き極めて微細なる數となり、而も此の動水勾配が流速と直接に緊要なる關係を保持することとなる故送水管の延長が短少なる程大なる誤差を生ずるを免れず、尙屈曲甚だ多き時は之に伴ふ損失水頭の計算上の誤差をも亦免かれざる結果となるを以てなり、右の如き 3 條件を凡て満足せしむるには既存施設中に於て容易に之を選擇することを得ざるの實情にして尙實驗の爲め新規に施設を講ずるには其の經費數百萬圓を要し經濟上到底之を望み得ざる處なり、之れ即ち信賴するに足る精密なる實驗を容易に爲す能はざる所以なりとす。

以下に述ぶる實驗方法は凡て右 3 條件を満足せしめ而も既存施設を利用して實驗を爲し得たるものなり。

## 實驗方法の具體的敘述

### 第一實驗

本實驗は東京市水道擴張計畫に屬する配水本管の中和田掘淀橋線の一部を利用して之を爲せるものなり。

施行年月日	昭和 2 年 6 月 28 日
施行箇所	始點和田堀淨水池より終點豊多摩郡代々木新町 163 に至る間
實驗の回数	2 回
鑄鐵管（低壓管）の内徑	1 500 耗（低壓管實内徑 60.36 吋 此の斷面積 19.87 平方尺）
同延長	13 614 呎
流速測定方法	ベンチュリメーターに依り先づ流量を測定したる後流速を算出す
流速の調節方法	終點に設置しある制水弁の閉閉に依る
始點の水頭觀測方法	始點和田堀淨水池水位の直接觀測に依る
終點の水頭觀測方法	終點に於て地盤上高約 80 尺の杉丸太造橋を建て、標高を示す目盛板を之に取付け、本管よりの水頭を此の目盛板上に讀み得る様本管に接續する徑 1/2' 認談ホースを導き其の先端に長 3 尺のゲージガラスを嵌め込み、水頭の高低に依り此のゲージガラスを上下に動かし水頭の所在を探索する方法に依る。（寫眞第一参照）
鐵管線路中異形管の種類及數	曲管 90° 1 個, 45° 1 個, 22 1/2° 10 個, 11 1/4° 9 個, 5°/8° 17 個.
通水後の経過年數	昭和 2 年 5 月末通水開始より同 6 月 28 日に至る約 1 箇月

而して實驗の順序は始點和田堀淨水池水頭を觀測するものを第一班としベンチュリメーターを觀測するものを第二班とし終點に於ける水頭を觀測するものを第三班とし尙別に制水弁閉閉班を置き各班の時計を豫め精密に合致せしめ制水弁を閉鎖の状態より一定時刻に開扉を爲し夫より漸次開扉を進行し各開扉毎に時間 3 分を置き毎 3 分の終りに於て各班の觀測の結果を記帳することゝ爲したり。

### 第二實驗

本實驗は東京市水道擴張計畫に屬する配水本管の中和田堀青山線の一部を利用して之を爲せるものなり。

施行年月日	昭和 2 年 7 月 28 日及同 29 日
施行箇所	始點和田堀淨水池より終點代々木練兵場岡部ヶ谷附近に至る間
實驗の回数	1 回
鑄鐵管（低壓管）の内徑	1 500 耗（低壓管實内徑 60.36 吋 此の斷面積 19.87 平方尺）
同延長	12 303 呎
流速測定方法	第一實驗に同じ（寫眞第二参照）
流速の調節方法	水道給水量の自然増減の儘に放置し調節を爲さず
始點水頭觀測方法	第一實驗に同じ
終點水頭觀測方法	第一實驗に同じ
鐵管の線路中異形管の種類及數	曲管 90° 1 個, 22 1/2° 3 個, 丁字管 2 個, 片落管 2 個

通水後の經過年數 大正 13 年 3 月通水開始より昭和 2 年 7 月末に至る約 3 年 6 箇月  
而して實驗の順序は各班の配置等第一實驗と同様と爲せるも本實驗に於て水道給水量の自然増減に放置し制水弁に依り調節を爲さずして一定時刻に觀測を開始し夫れより正 3 分經過する毎に各班の觀測の結果を記帳することゝ爲したり。

### 第三實驗及第四實驗

本實驗は東京市創設水道に屬する送水管の中淀橋芝線を利用して之を爲せるものなり。

施行年月日	大正 6 年 12 月 3 日及同 6 日(第三實驗)並同 8 年 6 月 9 日(第四實驗)
施行箇所	始點淀橋淨水場内甲井より終點芝區榮町芝淨水池に至る間
實驗の回数	3 回(第三實驗)並 1 回(第四實驗)
鑄鐵管の内徑	1100 耗(内徑 43.31 吋 此の斷面積 10.23 平方呎)
同延長	21 032 呎(3 505.33 間)
流速測定方法	第一實驗に同じ
流速調節方法	始點甲井引入管の制水弁を閉鎖し甲井の水位を昇降せしめ之を行ふ
始點の水頭觀測方法	始點淀橋淨水場内甲井水頭の直接觀測に依る
終點の水頭觀測方法	終點芝淨水池の引入管は常に一定の水頭(標高 90 尺)を保持せる故觀測の要無し
鐵管線路中の異形管の種類及數	曲管 90° 1 個, 11 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> ° 19 個, 5 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> ° 6 個
通水後の經過年數	明治 32 年 12 月通水開始より大正 6 年 12 月第三實驗に至る迄滿 18 箇年 並同 8 年 12 月第四實驗に至る迄滿 19 箇年半

而して實驗の順序は大凡第一實驗に同じ。

### 第五實驗

本實驗は東京市創設水道に屬する送水管の中淀橋芝線を利用して之を爲せるものなり。

施行年月日	昭和 2 年 9 月 17 日
施行箇所	第三及第四實驗に同じ
實驗の回数	1 回
鑄鐵管の内徑	第三實驗に同じ
同延長	第三實驗に同じ
流速調節方法	終點芝淨水池引入管附屬制水弁を閉鎖の状態より漸次に開き同池の水位を漸次に上昇せしめ之を行ふ
始點の水頭觀測方法	始點淀橋淨水場内甲井水頭の直接觀測に依る
終點の水頭觀測方法	終點芝淨水池水頭の直接觀測に依る
鐵管線路中異形管の種類及數	曲管 90° 1 個, 11 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> ° 19 個, 5 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> ° 6 個
通水後の經過年數	明治 32 年 12 月通水開始より昭和 2 年 9 月實驗に至る迄約 28 箇年

而して實驗の順序は大凡第一實驗に同じ。

## 第三 實驗の成績

### イ) 流量及水頭の觀測

前述の如き諸般の準備を整へ各實驗を逐次進行するに従ひ鑄鐵管内の流量及水頭の觀測を爲したる結果を簡單に表を以て示すときは下の如し。下表中第一行目はベンチュリメーター班が觀測せるものにして即ち豫め打ち合せを爲したる時刻毎にベンチュリメーターに依り指示せられたる鑄鐵管内の流量を表す、第二行目は始點に於て水頭觀測班が實測せる結果にして即ち豫め打ち合せを爲したる時刻毎の和田堀淨水池若くは淀橋淨水場甲井に於ける零點上の水頭を現す。第三行目は終點に於て水頭觀測班が實測せる結果にして即ち豫め打ち合せを爲せる時刻毎の終點に於ける鑄鐵管内の零點上の水頭を現す。第四行目は始點と終點とに於ける水頭の差にして第二行目水頭より第三行目水頭を差引せるもの即ち管内流水に依る損失水頭の總計を表はす。

第一表 流量並水頭

第一實驗 (和田堀淀橋線 通水直後)							
甲				乙			
I 流 量 (毎秒立方呎)	II 始點水頭 (呎)	III 終點水頭 (呎)	IV 損失水頭 (呎)	I 流 量 (毎秒立方呎)	II 始點水頭 (呎)	III 終點水頭 (呎)	IV 損失水頭 (呎)
33.29	186.520	183.740	2.780	38.73	183.825	180.910	2.915
57.90	186.410	180.630	5.780	57.85	183.910	178.180	5.730
75.49	186.210	176.870	9.340	75.49	184.040	174.920	9.120
91.22	186.040	173.270	12.770	88.24	184.210	171.690	12.520
98.13	185.770	170.870	14.900	97.07	184.440	169.815	14.625
103.02	185.540	169.010	16.530	103.02	184.700	167.910	16.790

第二實驗 (和田堀青山線 通水後 3½ 年)

I 流 量 (毎秒立方呎)	II 始 點 水 頭 (呎)	III 終 點 水 頭 (呎)	IV 損 失 水 頭 (呎)
47.11	187.610	183.510	4.100
50.54	186.210	181.550	4.660
53.48	186.100	180.980	5.120
56.42	186.225	180.445	5.780
59.56	186.225	180.015	6.210
62.80	186.820	180.040	6.780
65.55	187.420	180.110	7.310
68.69	187.310	179.480	7.830
71.04	186.960	178.580	8.380
73.99	186.415	177.100	9.315
77.52	186.285	176.140	10.145
79.98	186.150	175.612	10.538
82.42	186.080	174.830	11.250

85.87	185.950	173.860	12.090
83.61	185.910	173.110	12.800
90.67	185.980	172.220	13.760

## 第三實驗 (澁橋芝線 通水後 18 年)

甲				乙				丙			
I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
流量 (毎秒立方呎)	始點水 頭 (呎)	終點水 頭 (呎)	損失水 頭 (呎)	流量 (毎秒立方呎)	始點水 頭 (呎)	終點水 頭 (呎)	損失水 頭 (呎)	流量 (毎秒立方呎)	始點水 頭 (呎)	終點水 頭 (呎)	損失水 頭 (呎)
157.43	122.787	89.481	33.306	158.71	123.881	89.481	34.400	158.71	123.881	89.481	34.400
153.30	121.545	"	33.064	157.72	123.384	"	33.903	158.22	123.483	"	34.002
151.13	120.799	"	31.318	156.74	122.787	"	33.306	157.63	123.086	"	33.605
149.37	120.302	"	30.821	155.27	122.291	"	32.810	157.23	122.887	"	33.406
148.39	119.805	"	30.324	154.78	122.091	"	32.610	156.84	122.588	"	33.107
133.06	118.810	"	29.329	154.28	121.694	"	32.213	156.45	122.489	"	33.008
—	—	—	—	153.52	121.305	"	31.914	155.96	122.291	"	32.810
—	—	—	—	152.12	121.197	"	31.716	155.17	121.992	"	32.511
—	—	—	—	151.63	120.993	"	31.517	154.28	121.793	"	32.312
—	—	—	—	151.34	120.898	"	31.417	154.09	121.594	"	32.113
—	—	—	—	150.550	120.600	"	31.119	153.01	121.197	"	31.716
—	—	—	—	150.06	120.401	"	30.920	152.220	120.998	"	31.517
—	—	—	—	149.67	120.302	"	30.821	—	—	—	—
—	—	—	—	148.88	120.003	"	30.522	—	—	—	—
—	—	—	—	148.39	119.805	"	30.324	—	—	—	—

## 第四實驗 (澁橋芝線 通水後 19½ 年)

I	II	III	IV
流 量 (毎秒立方呎)	始 點 水 頭 (呎)	終 點 水 頭 (呎)	損 失 水 頭 (呎)
49.14	123.797	80.647	43.150
48.51	123.748	81.801	41.947
48.10	123.748	83.004	40.744
46.95	123.748	85.081	38.667
45.89	123.797	87.010	36.787
45.42	123.797	87.925	35.872

## 第五實驗 (澁橋芝線 通水後 28 年)

I	II	III	IV
流 量 (毎秒立方呎)	始 點 水 頭 (呎)	終 點 水 頭 (呎)	損 失 水 頭 (呎)
33.31	122.205	80.753	41.452
34.41	118.567	81.886	36.681
35.22	118.567	82.114	36.453

36.32	118.667	82.830	35.537
37.27	118.816	83.039	35.777
38.50	119.253	83.496	35.757
39.38	123.189	90.573	32.616
40.28	123.130	89.400	33.730
40.55	122.742	87.999	34.743
41.10	122.056	86.309	35.747

ロ) 摩擦に依る損失水頭及動水勾配の計算

前記第一表に於て各流量に相當する管内流水に依る各損失水頭を知り得たり、然るに右損失水頭は左の各種のものより成り即ち(1)速度水頭、(2)異形管に依る損失水頭、(3)ベンチュリメーターに依る損失水頭、(4)始點流入管に依る損失水頭、(5)摩擦に依る損失水頭の合計なり、故に單に摩擦のみに依る損失水頭は第一表の各損失水頭より前述(1)乃至(4)の合計を差引せるものなり、之を換言すれば右差引の結果は本實驗に供したる既設の鐵管線路中に存在する各種の原因による損失水頭を除き去りたるものにして即ち管内流水と管壁との摩擦に依る損失水頭のみを現すこととなるなり、斯くの如くして得たる摩擦に依る損失水頭を以てして始めて各實驗の結果を對等に比較研究し得ることとなるなり、而して右の摩擦に依る損失水頭は實驗に供したる鐵管の延長に比例して變化する故右損失水頭を延長にて除し動水勾配の形式を以て各實驗を比較するを適當と認めたる故最後の行に之を掲げたり。

第二表 損失水頭並動水勾配

		第一實驗甲 (和田畑渡橋線)					摩擦による 損失水頭(呎) (前表總損失 水頭-合計)	動水勾配 1/1000
流 量 (毎秒立方呎)	平均流速 (毎秒呎)	損 失 水 頭 (呎)						
		(1)速 度	(2)異形管	(3)ベンチュリ メーター	(4)引入口	合 計		
38.2	1.927	0.0577	0.0719	0.220	0.0087	0.3583	2.422	0.178
57.90	2.914	0.1320	0.1665	0.480	0.0198	0.7983	4.982	0.367
75.49	3.799	0.2244	0.2828	0.860	0.0337	1.4009	7.939	0.585
91.22	4.591	0.3277	0.4124	1.290	0.0492	2.0793	10.691	0.788
98.13	4.939	0.3791	0.4776	1.440	0.0569	2.3538	12.546	0.927
103.02	5.185	0.4189	0.5230	1.570	0.0627	2.5737	13.956	1.030

		第一實驗乙 (同 上)					摩擦による 損失水頭(呎) (前表總損失 水頭-合計)	動水勾配 1/1000
流 量 (毎秒立方呎)	平均流速 (毎秒呎)	損 失 水 頭 (呎)						
		(1)速 度	(2)異形管	(3)ベンチュリ メーター	(4)引入口	合 計		
38.73	1.949	0.0591	0.0732	0.240	0.0089	0.3812	2.534	0.186
57.85	2.911	0.1318	0.1636	0.480	0.0198	0.7952	4.935	0.362
75.49	3.799	0.2244	0.2828	0.860	0.0337	1.4009	7.719	0.567



88.21	4.441	0.3066	0.3848	1.190	0.0460	1.9274	10.593	0.777
97.07	4.885	0.3800	0.4718	1.440	0.0570	2.3488	12.276	0.900
103.02	5.185	0.4180	0.5230	1.570	0.0627	2.5737	14.216	1.045

## 第二實驗 (和田堀青山線)

流 量 (毎秒立方呎)	平均流速 (毎秒呎)	損 失 水 頭 (呎)					摩擦による 損失水頭(呎) (前表總損失 水頭一合計)	動水勾配 1/1000
		(1)速 度	(2)異形管	(3)バンチユリ メーダニ	(4)引入口	合 計		
47.11	2.371	0.0874	0.2084	0.350	0.0131	0.6589	3.411	0.278
50.54	2.543	0.1005	0.2397	0.400	0.0151	0.7553	3.905	0.320
53.48	2.691	0.1123	0.2684	0.440	0.0169	0.8379	4.282	0.350
56.42	2.839	0.1253	0.2986	0.480	0.0188	0.9220	4.857	0.397
59.56	2.997	0.1398	0.3338	0.520	0.0209	1.0133	5.197	0.424
62.83	3.160	0.1552	0.3698	0.580	0.0233	1.1233	5.658	0.463
65.55	3.299	0.1692	0.4035	0.640	0.0254	1.2381	6.072	0.497
68.69	3.457	0.1857	0.4428	0.700	0.0279	1.3565	6.474	0.529
71.04	3.575	0.1987	0.4740	0.760	0.0298	1.4626	6.917	0.566
73.99	3.724	0.2156	0.5137	0.830	0.0323	1.5916	7.723	0.631
77.52	3.901	0.2366	0.5639	0.900	0.0355	1.7460	8.399	0.687
79.98	4.025	0.2519	0.6006	0.960	0.0377	1.8604	8.678	0.710
82.42	4.148	0.2675	0.6377	1.020	0.0401	1.9753	9.275	0.753
85.87	4.321	0.2903	0.6915	1.120	0.0435	2.1553	9.935	0.812
88.61	4.459	0.3091	0.7371	1.210	0.0464	2.3126	10.487	0.858
90.67	4.563	0.3236	0.7769	1.260	0.0485	2.4210	11.339	0.927

## 第三實驗甲 (淀橋芝線)

流 量 (毎秒立方呎)	平均流速 (毎秒呎)	損 失 水 頭 (呎)					摩擦による 損失水頭(前 表總損失水 頭一合計)	動水勾配 1/1000
		(1)速 度	(2)異形管	(3)バンチユリ メーダニ	(4)引入口	合 計		
157.43	4.275	0.2842	0.175	0.390	0.0430	0.8922	32.414	1.550
153.30	4.163	0.2696	0.166	0.380	0.0420	0.8576	31.206	1.492
151.13	4.104	0.2621	0.161	0.370	0.0410	0.8341	30.431	1.456
149.37	4.056	0.2558	0.157	0.360	0.0410	0.8138	30.007	1.435
148.39	4.030	0.2552	0.157	0.350	0.0400	0.8022	29.522	1.412
133.06	3.603	0.2620	0.124	0.290	0.0360	0.6520	28.677	1.371

## 第三實驗乙 (同 上)

流 量 (毎秒立方呎)	平均流速 (毎秒呎)	損 失 水 頭 (呎)					摩擦による 損失水頭(前 表總損失水 頭一合計)	動水勾配 1/1000
		(1)速 度	(2)異形管	(3)バンチユリ メーダニ	(4)引入口	合 計		
158.71	4.310	0.2888	0.177	0.420	0.0430	0.9288	33.471	1.601
157.72	4.282	0.2850	0.175	0.420	0.0430	0.9230	32.980	1.577

156.74	4.255	0.2778	0.171	0.410	0.0430	0.9018	32.404	1.550
155.27	4.216	0.2760	0.170	0.410	0.0420	0.8980	31.912	1.528
154.78	4.203	0.2750	0.169	0.410	0.0420	0.8960	31.714	1.517
154.28	4.190	0.2730	0.168	0.400	0.0420	0.8830	31.330	1.498
152.52	4.143	0.2668	0.164	0.400	0.0410	0.8718	31.042	1.485
152.12	4.130	0.2653	0.163	0.400	0.0410	0.8693	30.847	1.475
151.63	4.118	0.2635	0.163	0.390	0.0410	0.8565	30.661	1.466
151.34	4.110	0.2623	0.161	0.390	0.0410	0.8543	30.563	1.462
150.50	4.082	0.2593	0.159	0.380	0.0410	0.8393	30.280	1.449
150.06	4.075	0.2581	0.159	0.380	0.0410	0.8381	30.082	1.439
149.67	4.063	0.2562	0.157	0.380	0.0410	0.8312	29.987	1.434
148.88	4.042	0.2540	0.156	0.370	0.0400	0.8200	29.702	1.420
148.39	4.030	0.2522	0.155	0.370	0.0400	0.8172	295.07	1.411

第三實驗丙 (同上)

流量 (毎秒立方呎)	平均流速 (毎秒呎)	損失水頭 (呎)				合計	摩擦による 損失水頭(前 表總損失水 頭一合計)	動水勾配 1/1000
		(1)速度	(2)異形管	(3)ベンチュリ メーター	(4)引入口			
158.71	4.310	0.2888	0.177	0.420	0.043	0.9288	33.471	1.601
158.22	4.296	0.2866	0.176	0.420	0.043	0.9256	33.076	1.582
157.63	4.275	0.2841	0.175	0.420	0.043	0.9221	32.683	1.563
157.23	4.270	0.2835	0.174	0.420	0.043	0.9205	32.486	1.551
156.84	4.268	0.2820	0.173	0.410	0.043	0.9080	32.199	1.540
156.45	4.248	0.2802	0.172	0.410	0.043	0.9052	32.103	1.535
155.96	4.235	0.2788	0.171	0.410	0.042	0.9018	31.908	1.526
155.17	4.213	0.2760	0.170	0.410	0.042	0.8980	31.613	1.512
154.28	4.190	0.2727	0.168	0.400	0.042	0.8828	31.429	1.503
154.09	4.174	0.2708	0.166	0.400	0.042	0.8788	31.234	1.494
153.01	4.155	0.2682	0.165	0.400	0.042	0.8752	30.841	1.475
152.220	4.134	0.2658	0.163	0.400	0.041	0.8698	30.647	1.466

第四實驗 (同上)

流量 (毎秒立方呎)	平均流速 (毎秒呎)	損失水頭 (呎)				合計	摩擦による 損失水頭(前 表總損失水 頭一合計)	動水勾配 1/1000
		(1)速度	(2)異形管	(3)ベンチュリ メーター	(4)引入口			
49.14	4.804	0.3589	0.2204	0.48	0.0538	1.1131	42.037	2.010
48.51	4.742	0.3497	0.2147	0.47	0.0525	1.0809	40.860	1.954
48.10	4.702	0.3438	0.2111	0.47	0.0516	1.0765	39.668	1.896
46.95	4.590	0.3275	0.2111	0.45	0.0490	1.0276	37.639	1.800
45.89	4.486	0.3129	0.1921	0.44	0.0470	0.9921	35.795	1.712
45.42	4.410	0.3065	0.1882	0.44	0.0460	0.9807	34.891	1.668

## 第五實驗 (同上)

流量 (毎秒立方呎)	平均流速 (毎秒呎)	損失水頭 (呎)					摩擦による 損失水頭(前 表總損失水 頭一合計)	動水勾配 f/1000
		(1)速度	(2)異形管	(3)ベンチュリ メーター	(4)引入口	合計		
33.31	3.251	0.1644	0.1010	0.210	0.0247	0.5301	23.315	1.115
34.41	3.359	0.1754	0.1077	0.270	0.0263	0.5794	24.297	1.162
35.32	3.438	0.1837	0.1128	0.230	0.0276	0.6041	25.740	1.231
36.32	3.545	0.1954	0.1200	0.290	0.0293	0.6347	27.085	1.324
37.27	3.638	0.2058	0.1264	0.300	0.0309	0.6631	28.542	1.365
38.50	3.758	0.2196	0.1348	0.310	0.0329	0.6973	30.110	1.440
39.38	3.844	0.2297	0.1411	0.320	0.0345	0.7253	31.891	1.525
40.28	3.932	0.2403	0.1476	0.335	0.0360	0.7589	32.971	1.575
40.55	3.958	0.2436	0.1483	0.340	0.0365	0.7687	33.974	1.625
41.10	4.012	0.2502	0.1537	0.350	0.0375	0.7914	34.966	1.672

第二表に示したる平均流速と動水勾配との關係を一目瞭然たらしむる爲め附圖第一の一口徑1500耗鑄鐵管に對する平均流速と動水勾配との實驗成績及附圖第一の二口「徑1100耗鑄鐵管に對する平均流速と動水勾配との實驗成績」を以て之を示せり。

## 第四 著名なる實驗公式と本實驗との比較

イ 過去數十年來専門諸大家に依り實驗を基礎として案出せられたる管渠の流速公式は其の數頗る多くして枚擧に遑あらずと雖茲には其の形式の異なる著名なる代表的のもの4種を撰び左に簡単に説明を爲す可し。

## 1. シュミアー氏 (Schmeier) 公式

$$V = \left\{ 66 \left( \sqrt[4]{r+m} \right) \sqrt{r \cdot S} \right\}^{\frac{1.8}{1.7}}$$

V: 平均流速 呎/秒,      r: 徑深呎,      S: 動水勾配

m: 粗度係數, 備考, m は 0.95 を新管とし通水後の經過年數に應じ粗度を増すに従ひ 0.83, 0.68, 0.53, 0.45 及 0.30 の6種の價を採用せり

本公式の起源は比較的新しく約20年前の案出に係り未だ博く認識せらるゝに至らざるも多數の實驗を基礎となせるものにして據典的形式に指數的形式を加味し管渠にのみ適用し得るものなり, 粗度係數を適宜に選擇し得るの點に就て運用上の便宜多大なり, 元來粗度係數は通水後の經過年數に依り一率一態に定め得る性質のものに非ずして或は管内を通ずる水質に依り或は防錆塗裝の完全なると否とに依り自ら其の程度に差異あり, 従つて粗度係數は夫等の點を考慮して夫々實況に應じ自由に選擇し得る形式のものを最も適當と認むるものなり, 右見地より本公式は推賞に値する實驗公式の一つなりと思料す。

## 2. クッター氏 (Kutter) 公式

$$V = \frac{a + \frac{l}{n} + \frac{m}{S}}{1 + \left(a + \frac{m}{S}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \sqrt{R \cdot S}$$

$V$ : 平均流速  $\text{m}^3/\text{秒}$ ,  $a$ : 定數 41.6604676,  $l$ : 定數 1.8113250

$m$ : 定數 0.0028075,  $R$ : 徑深 $\text{m}$ ,  $S$ : 動水勾配,

$n$ : 粗度係數,  $n=0.011$  を新管とし通水後の經過年數に應じ粗度を増すに従ひ 0.012, 0.013, 0.014 及 0.015 等の價を採る。

本公式は最も著名の一つに係り取て説明を要せざるものにして獨り管渠に限らず遍く河川及水路に適用せられ尙粗度係數に就てもシユミア氏公式と同様に實況に應じ適宜に之を撰擇し得るの特徴を有する點に於ては敢て同公式に譲らず、只本實驗公式は主として河川及水路等の實驗に基くものとして管渠に適用するは妥當ならずと考慮せらるゝ場合あるも本實驗の結果に照すときは右に關する特別の考慮を要せざることゝなるものにして其の詳細は後述す可し。

## 3. ダーシー氏 (Darcy) 公式

$$V = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \frac{\beta}{d}}} \sqrt{r \cdot S}$$

$V$ : 平均流速  $\text{m}^3/\text{秒}$ ,  $d$ : 管の内徑 $\text{m}$ ,  $S$ : 動水勾配,

$\alpha$ : 定數 新管に對し 0.00007726, 舊管に對し 0.00015452,

$\beta$ : 定數 新管に對し 0.00000647, 舊管に對し 0.00001294,

本公式は管のみに適用せらるゝものとしては古き時代より最も權威あるものとして博く適用せられ我國に於ける水道鐵管に關する設計は多くは本公式に依れるの狀態なり。然るに本公式の粗度係數に相當する定數は相關聯せざる 2 値より成り又新管及舊管に對し 2 種の値を示せること既述の如きも元來舊管は水質及經過年數等に依り種々に變化を來す可き性質のものにして新管及舊管に對する粗度係數の中間値を示されざることゝは運用上甚だ不便を感じる處なり、而も粗度係數は相異なる値より成る故設計者に於て適宜に中間値を撰擇することゝ爲さば終に本公式の原形を失ひ一面に於ては之と殆んど形式を一にするバザン氏開渠に對する公式の如きものと識別し得ざるに至るの不便あり、尙本公式の推賞者の 1 人なる Edmund B. Weston 氏は經過年數に應じてダーシー氏新管に對する流速に數種の乘率を推舉せる點等より考ふるも實際本公式運用上には餘程の考慮を要する問題と思料せらるゝなり、茲に云ふ迄も無く鑄鐵管を送水用に充つる爲めには半永久的生命のものとして考ふる可し。

に依る損失水頭の如きも凡ての場合ある程度の舊管を標準として計算を爲すの實狀なる故新管に對する公式よりも寧ろ舊管に對する公式の方が餘程實用的價值が大なることを附言す。

#### 4. フラマン氏 (Flamant) 公式

$$\text{新管としては } V = 86.38 d^{1/2} S^{1/2}$$

$$\text{舊管としては } V = 76.28 d^{1/2} S^{1/2}$$

$V$ : 平均流速 呎/秒,  $d$ : 管の内徑 呎,  $S$ : 動水勾配

本公式は純指數的形式のものにして管のみに適用せられ之と形式を同じくせる他の數多の實驗公式中最も博く使用せらる。

本公式は其の形最も簡單なるの利あるも粗度係數に相當する定數に就てはダーシー氏公式と同様なる遺憾の點を認めざるを得ざるなり。

以上に於て著名なる 4 公式の簡短なる説明を試みたるが茲に本實驗に供したる口徑 1 500 耗及口徑 1 100 耗の 2 種の管に就き右 4 公式に依り計算したる各流速に對する損失水頭 (1 000 呎につき 0.1 呎より 3 呎迄) の關係を附圖第二「口徑 1 500 耗鑄鐵管に對する平均流速と動水勾配との關係」及附圖第三「口徑 1 100 耗鑄鐵管に對する平均流速と動水勾配との關係」に示す。

#### ハ) 各實驗公式と本實驗との比較對照

各實驗公式と本實驗との比較對照を明瞭ならしむる爲め附圖第二「口徑 1 500 耗鑄鐵管に對する平均流速と動水勾配との關係」及附圖第三「口徑 1 100 耗鑄鐵管に對する平均流速と動水勾配との關係」中に本實驗の結果を記入し更に其の實驗の範圍に就て詳細なる線圖を作り之を附圖第四「口徑 1 500 耗鑄鐵管に對する各實驗公式と本實驗との比較」及附圖第五「口徑 1 100 耗鑄鐵管に對する各實驗公式と本實驗との比較」に示す、附圖第四に就き研究するに實驗第一 (通水直後) の結果に對し近似せるものより順次に列擧するときは、

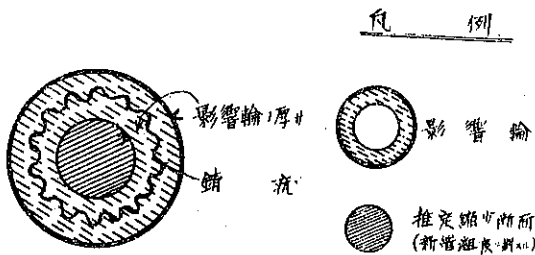
(1) Kutter  $n=0.011$  と最も近似し, (2) Schmeer's  $m=0.95$  と最も殆んど相近似し, (3) Flamant, new より稍低き結果を與へ, (4) Darcy, new より約 3 割高き結果となる。又實驗第二 (通水後 3 1/2 年) の結果は (1) Schmeer  $m=0.88$  と最も近似し, (2) Kutter  $n=0.012$  と殆んど相近似し, (3) Flamant, old より稍高き流速を與へ, (4) Darcy, new より約 2 割高き流速を與ふる結果となる, 次に附圖第五「口徑 1 100 耗鑄鐵管に對する各實驗公式と本實驗との比較」に就て研究するに實驗第三 (通水後 18 箇年) の結果に對し近似せるものより順次に列擧するときは (1) Kutter  $n=0.013$  と最も近似し, (2) Darcy, new より稍高き流速を與へ, (3) Schmeer  $m=0.68$  より低き流速を與へ, (4) Flamant, old より著しく低き流速を與ふる結果となる, 又實驗第五 (通水後 28 箇年) の結果は (1) Kutter  $n=0.014$

と最も近似し、(2) Schmeer  $m=0.53$  と  $m=0.45$  との中間に位し、(3) Flamant, old より著しく低き流速となり、(4) Darcy, old より著しく高き流速を與ふる結果となる。

**第五 鑄鐵管通水後の經過年數と摩擦に依る損失水頭との關係**

鑄鐵管は通水を開始したる後年數を經過するに従ひ即ち通水年齢に伴ひ管の内壁面に錆疣を生じ其の通水斷面積を漸次縮少するの傾向を生ずると共に粗度を増加するに至るは本實驗より見るも明かなる處なり。而して以下に於て通水後の經過年數と摩擦に依る損失水頭との關係を攻究するに當り右の通水斷面積の縮少と粗度の増加とを區別して考ふることは甚だ複雑の結果となるを免かれざる故茲には便宜上右兩者を一括して適當なる計算方法に依り粗度の影響を加味したる推定縮少斷面積を算出することゝなす、而して此の推定縮少斷面積の粗度は常に新管粗度に同じと見做す。

因に鑄鐵管の場合に於ては混凝土管其の場合と異り長期間通水の爲め流水が管の内壁面を不平均に摩滅して粗度を大ならしむるにあらすして殆んど例外無く管の内方に錆疣を突出せしめて斷面積を縮少せしむると同時に粗度を大ならしむる趨勢に在る故縮少斷面積の流速に及ぼす影響は寧ろ粗度の影響より大なる如く考へらるゝなり。



尙右推定縮少斷面の外周より新管斷面に至る間を影響輪と名くることとなす、然るときは影響輪の内徑は縮少斷面の外徑に等しく又影響輪の外徑は新管内徑に等しきことゝなる (左圖参照)

次に既述の實驗の結果を綜合するに5種の通水年齢を有する各實驗の結果を各實驗公式に對比するときは就中 Kutter's Formula が最も近似するの結果となりたるを以て以下計算の便宜上同氏實驗公式を借り來ることゝ爲す、然るときは附圖第四及第五に依り各種通水年齢に相當する Kutter's  $n$  を求むるときは大凡下の如し。

通水年齢	$n$
1 箇月	0.0110
3½ 箇年	0.0120
18 箇年	0.0130
19½ 箇年	0.0132
28 箇年	0.0142

次に右の各種通水年齢に對する平均流速に相當して而も尙新管粗度  $n=0.011$  に對する推定縮少斷面及影響輪の厚さを逆に Kutter's Formula に依りて算出するときは下の如し。

通水年齢	影響輪の厚さ	推定縮少断面			
		1 500 <sup>mm</sup> .		1 100 <sup>mm</sup> .	
		内徑 (呎)	斷面積 (平方呎)	内徑 (呎)	斷面積 (平方呎)
1 箇月	0.0	5.03	19.871	3.608	10.224
3½ 箇年	0.088	4.854	18.505	3.433	9.251
18 箇年	0.168	4.694	17.305	3.272	8.408
19½ 箇年	0.178	4.674	17.158	3.252	8.306
28 箇年	0.252	4.526	16.089	3.104	7.567

而して右の傾向を基礎として附圖第六「各通水年齢に相當する影響輪の厚さの推定」(影響輪の厚さは通水經過期間に對し二次拋物線式に依りて増加するものと見做せり)を作るときは今回迄實驗の爲し得ざりし將來の長期間に對する影響輪の厚さ推定縮少斷面積及流速並に新管斷面に換算せる流速と新管流速との割合等を推定し得可し。

内徑 1500 粘鑄鐵管 (損失水頭 1000 呎に付 1 呎の場合)

通水年齢 (年)	影響輪の厚 (呎)	推定縮少断面		同上を新管斷面に換算せる流速 (呎秒)	同上流速の新管流速に對する割合
		内徑 (呎)	流速 (呎秒)		
0	0	5.03	5.17	5.17	—
10	0.139	4.751	4.98	4.60	0.89
20	0.196	4.638	4.89	4.39	0.85
30	0.240	4.550	4.84	4.24	0.82
40	0.277	4.476	4.78	4.08	0.79
50	0.310	4.410	4.74	3.98	0.77
60	0.339	4.352	4.68	3.88	0.75
70	0.368	4.294	4.66	3.77	0.73
80	0.392	4.246	4.63	3.67	0.71
9	0.416	4.198	4.59	3.62	0.70
100	0.438	4.154	4.50	3.52	0.68

内徑 1100 粘鑄鐵管 (損失水頭 1000 呎に付 1 呎の場合)

通水年齢 (年)	推定縮少断面		同上を新管斷面に換算せる流速 (呎秒)	同上流速の新管流速に對する割合
	内徑 (呎)	流速 (呎秒)		
0	3.608	4.14	4.14	—
10	3.330	3.92	3.48	0.85
20	3.216	3.84	3.27	0.79
30	3.128	3.78	3.11	0.75
40	3.054	3.70	2.98	0.72
50	2.988	3.65	2.86	0.69
60	2.930	3.60	2.73	0.66
70	2.872	3.55	2.61	0.63
80	2.824	3.51	2.53	0.61
90	2.776	3.47	2.44	0.59
100	2.732	3.43	2.36	0.57

右表に依り通水年齢に對する流速を概算し附圖第七「内徑 1 500 耗及 1 100 耗鑄鐵管の損失水頭 1 000 呎に付き 1 呎の場合に於ける各通水年齢に對する流速」を作製せり、右表より各管の通水年齢に相當する流速の新管流速に對する割合を見るに通水年齢 50 年のものは 1 500 耗管に在りては 0.77 又 1 100 耗に在りては 0.69 に該當し又通水年齢 100 年のものは 1 500 耗管に在りては 0.68 又 1 100 耗管に在りては 0.57 に該當することゝなる、即ち同一の通水年齢を有する舊管に在りても管徑が小なる程流速減退の割合が増加するを知るなり。

## 第六 結 論

本實驗の結果並に上述各種の推定を綜合するに大口徑鑄鐵管の摩擦に依る損失水頭は從來各専門家が發表せる實驗公式に依りて算出したる結果と本實驗の結果と對比するとき特に新管の場合に於ては概して豫想以上に合致するの成績を見たり、但獨り Darcy's Formula の結果とは大なる差違を發見するに至り而も Darcy's Formula は從來吾國に於て最も博く使用せられ居る點より考ふるときは之を大口徑管に適用することは大いに考慮を要す可きものと思料せらるゝなり、Darcy's Formula の結果が右の如く大なる差異を生ずる所以を推察するに元來同公式は比較的小口徑の實驗を基礎として大口徑に及ぼしたるの點に起因するものと思はるゝなり。右の見地よりして緒言にも述べたるが如く假令著名の實驗公式なりと雖其の成立の基礎を窺めずして大小口徑の何れの場合に於ても之を適用するが如きは最も警戒を要するなり、而して既述 4 實驗公式に就て大口徑より小口徑に至る流速と損失水頭との關係を計算せる結果を線圖に依りて研究するに小口徑に於ては略 Darcy's Formula の結果は他の 3 公式の結果と相近似することゝなるなり、然るに一般に配水管系統に在りては大小各種口徑の鑄鐵管を混用するを普通と爲す故小口徑に對しては Darcy's Formula を用ひ大口徑に對しては之に適合する他の公式を用ふるが如きは不利不便なる故寧ろ大小口徑の双方共に大凡適合すると認めらるゝ他 3 公式の何れかを撰定するを妥當なりと思料せらるゝなり、附圖第八「動水勾配千分の二に於ける口徑 100 耗(4 吋)~1 500 耗(60 吋)鑄鐵管に對する平均流速」及附圖第九「動水勾配千分の二に於ける口徑 100 耗(4 吋)~1 500 耗(60 吋)鑄鐵管に對する平均流速」參照。次に舊管の場合に就て考ふるに本實驗着手以前には凡て鑄鐵管は通水開始後相當年限を經過する迄は管内壁粗度の影響は比較的高速度に増進するも相當年限を經過し、ある程度の鏽疣を生じたる後は其の増進の割合は比較的低下するものと豫想したるに、即ち通水開始後約 18 年及 19 $\frac{1}{2}$  年を經過せる第三及第四實驗と約 28 年を經過せる第五實驗との間には左程の差違を生ぜざるものと豫想したるに本實驗の結果は右豫想に反し此の期間に於ける粗度の増加(影響輪の擴大)も亦前期間と略同様の進行を見たるなり、附圖第六「各通水年齢に相當する影響輪の厚さの推定」參照。斯くの如き粗度の増加(影響輪の擴大)の傾向は果して將來何年間繼續するやは確かなる見込を付け難きも從來の趨勢を以



て押し進むものと見做すときは附圖第六の如き傾向を辿り影響輪の厚さは通水開始より 50 年後には 0.31 呎を又 100 年後には 0.44 呎を擴大することとなり、即ち之を新管實内徑に就て云へば 50 年後には約 0.62 呎、又 100 年後には約 0.88 呎を減ずると同様の影響を及ぼすの結果となるなり。而して鑄鐵管の壽命に就ては世界各國未だ經驗淺くして確たる定説無きも今假りに 100 年の生命を有するものと考ふれば中間年齢なる 50 年の通水年齢に相當する粗度(影響輪)の程度を以て設計の標準と見做すこと大凡妥當なりと思料す、從來送水用鑄鐵管の設計を樹つるに當り損失水頭に對する平均流速若くは流量の計算を爲すにはある程度の粗度を有する舊管を標準として考へ來りたるも「ある程度の粗度を有する舊管」に就ては何等依る可き根據無く頗る曖昧なりし状態にして、或は Darcy 氏新管若くは舊管に對するものを其の儘採用し、或は Kutter's  $n=0.013$  若くは  $n=0.015$  に對するものを採用し、或は Flamant 舊管に對するものを採用する等頗る區々なりしものなり、若し前述の通水年齢 50 年を標準と見做すを大凡適當と爲せば本實驗を根據として推定をなせる結果と上記の從來の計算方法に依る結果との間に豫想外の懸隔を發見するなり。

因に本實驗を根據として推定せる結果は通水年齢 28 箇年の資料を以て爲せるものなる故 100 年後を豫想するは不確實を免れざるも 50 年後を推定せる結果は略正鵠を得たるものと考へらるゝなり。

即ち左に其の比較對照を試みんとす。

通水後 50 年を経過せる舊管の推定平均流速と從來設計に用ひたる平均流速との比較對照 (損失水頭 1000 呎に付 1 呎に對するもの)

		實驗公式に依れる計算平均流速	本實驗を根據としたる推定平均流速	推定平均流速の計算平均流速に對する割合	
Kutter	1 500 <sup>m.m</sup>	$n=0.013$	4.28	3.06	0.85
		$n=0.015$	3.66	"	1.00
	1 100 <sup>m.m</sup>	$n=0.013$	3.43	2.50	0.73
		$n=0.015$	2.92	"	0.86
Darcy	1 500 <sup>m.m</sup>	old	3.66	3.66	1.30
	1 100 <sup>m.m</sup>	"	2.39	2.50	1.05
Flamant	1 500 <sup>m.m</sup>	old	4.65	3.66	0.79
	1 100 <sup>m.m</sup>	"	3.68	2.50	0.68

次に本實驗より推定せる結果を通水年齢 50 年の中口徑鑄鐵管に及ぼすときは如何なる關係となるやを研究せんとす。

茲に鑄鐵管の通水に起因して發生する鏽垢 (Incrustation) に就て考ふるに先づ管内に鏽垢を生ずる原因に關しては種々の學説あるも電氣化學的に説明せらるゝもの最も妥當なるもの

の如し、即ち鑄鐵管内の流水は先づイオン化して水素原子を遊離し之が鑄鐵管材質の Fe と置き換り水酸化鐵の不溶解性鐵鹽を生じ之が漸次に鏽疣を形成し其の作用は水温の高低に依り多少の速遅の差を免れざるものゝ如し。

而して大口徑管の中小口徑管との間には平均流速に速遅の差はあるも之は鏽疣發生に對し兩者の間に何等の差異を生ぜしむる原因を爲すものとは考へられず寧ろ口徑小なる鑄鐵管程地表より淺く埋設せらるゝ關係上多少温度の高昇に依り鏽疣の發生を促進せらるゝの傾向を有するものと想像せらるゝなり、舊管に就て從來迄の經驗に徴するに小口徑管程鏽疣は稍厚きが如く觀察せらるゝは多少温度に依る促進の影響を蒙りたるには非ざるやと想像せらるゝなり。以下には簡短の爲め影響輪厚さの増加する傾向は通水年齢を同じくするものにては大口徑管と中口徑管たるとを問はず一様なるものと見做し前述の推定に基き設計の標準と考へたる通水年齢 50 年の各種口徑管に對し先づ平均流速を算出し次に之を各相當する實驗公式の粗度係數に比較對照を試みんとす、但し損失水頭は 1000 呎に付 1 呎を採用し尙便宜上推定縮少斷面に對しては Kutter's Formula  $n=0.011$  を借りて計算す。

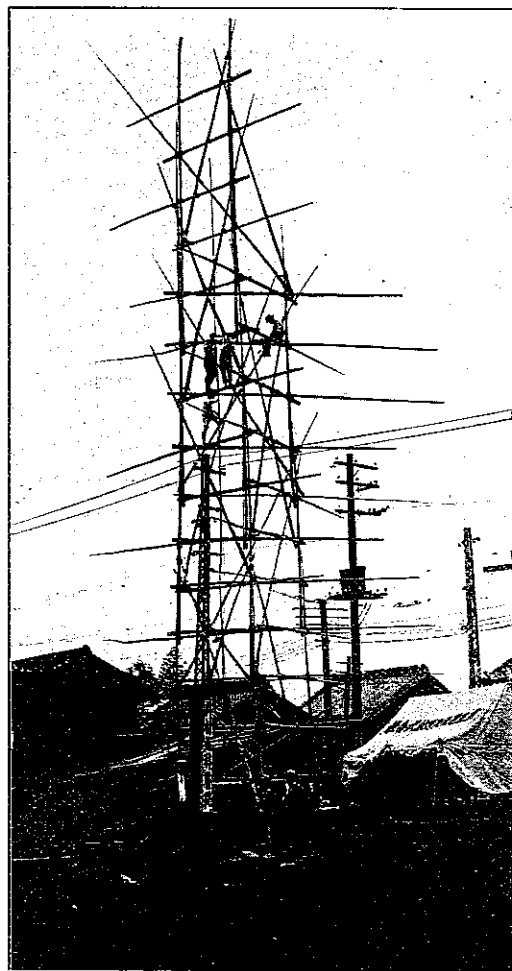
口徑(實内徑)(吋)	影響輪の厚(吋)	推定縮少斷面の内徑(吋)	同上に相當する平均流速(呎秒)	實内徑に相當する平均流速(呎秒)	Kutter's $n$	摘要新管に對し流速減割合
60	0.31	4.38	4.72	3.63	0.015	$3.63/5.15=0.71$
48	0.31	3.38	3.96	2.84	0.016	$2.84/4.44=0.64$
36	0.31	2.38	3.12	1.96	0.018	$1.96/3.66=0.54$
24	0.31	1.38	2.12	1.01	0.0225	$1.01/2.76=0.37$
12	0.31	0.38	0.79	0.114	0.050	$0.114/1.67=0.07$

即ち本表に依りて見るに通水年齢 50 年の舊管は口徑 60" 管に對しては  $n=0.015$  を相當と認めたる場合夫れ以下の口徑 48", 36", 24" 及 12" 管等に對しては  $n$  の値を夫々  $n=0.018, 0.0225, 0.050$  を採用するを相當と爲すなり。茲に於て從來迄諸専門大家の發表せる著名なる實驗公式にありては管徑の奈何に係らず凡て同じ通水年齢の舊管に對し同一の粗度係數を適用するの主義に則れる點は實際に適合するものとは認められず首肯するに苦しむ處なり、之れ畢竟舊管が通水年齢に應じ漸次に流速を減殺せらるゝは恰も混凝土管に於ける如く管内壁が流水に依り不均一なる磨滅の爲めに粗度を増すものと見做し従つて送水鐵管に限り管壁の内方にのみ鏽疣を突出せしめ流水斷面積を縮少せしむると共に粗度も増進せしむるの特徴を無視せるの結果と思料せらるゝなり、即ち著者は鑄鐵管が通水年齢の進むに従ひ漸次摩擦に依る損失水頭を増加し若くは流速を減殺するの現象に就ては從來管の口徑如何に係らず單に粗度係數のみの適用を以て之を解決するの主義は合理的ならずして寧ろ曩に述べたるが如き假想の推定縮少斷面を適用し各管徑毎に別々に本問題を解決するを以て最も合理的なりと主張するものなり、然らば右に主張せる如く考へたる場合實驗公式の適用方法を如

何に爲す可きやと云ふに茲に改めて新規に實驗公式を案出するの要無くして大小口徑の新管に對し實驗の結果と好く適合する Schmeer, Kutter 若くは Flamant 等の新管に對する實驗公式を何れにても自由選擇に任せ附圖第六の如きものに依り影響輪の厚さを推定し各管徑毎の推定縮少斷面を算出し然る後其の斷面に對する新管としての損失水頭若くは流速を算出する方法を以て送水鑄鐵管と設計上の凡ての目的を達成し得るものと思料するものなり。

附圖第十「動水勾配  $\frac{1}{1,000}$  の場合に於ける通水年齡 50 年に對する鑄鐵管口徑 300 耗 (12 吋) ~ 1500 耗 (60 吋) の平均流速」參照。(終)

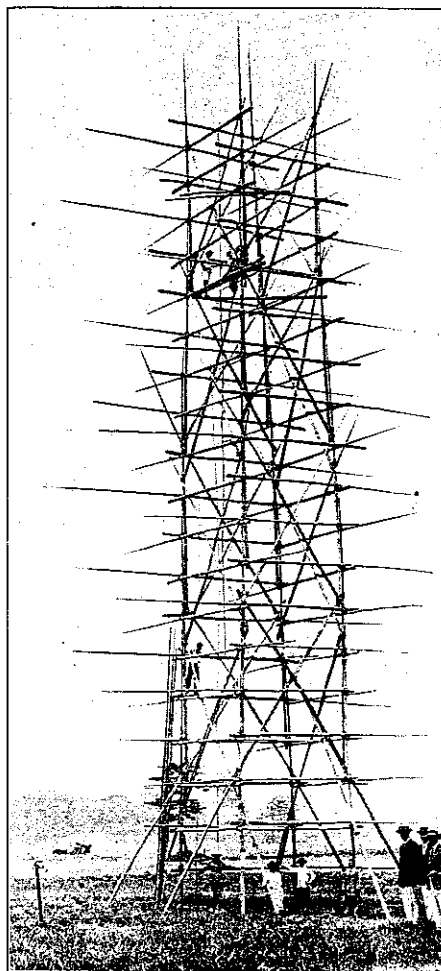
寫眞第一



(土木學會誌第十三卷第六號附圖)

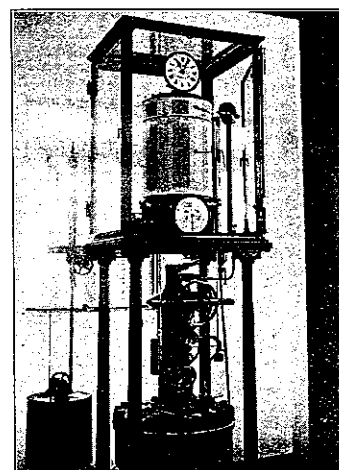
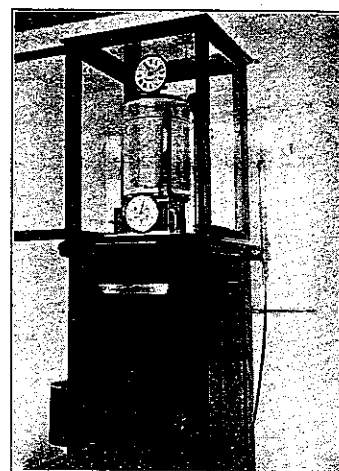
第一實驗施行の爲め和田堀沓橋線 1500 耗鑄鐵管の終點に設けたる水頭測定用機(高さ約 89 尺)

寫眞第二



第二實驗施行の爲め和田堀青山線 1500 耗鑄鐵管の終點に設けたる水頭測定用機(高さ約 80 尺)

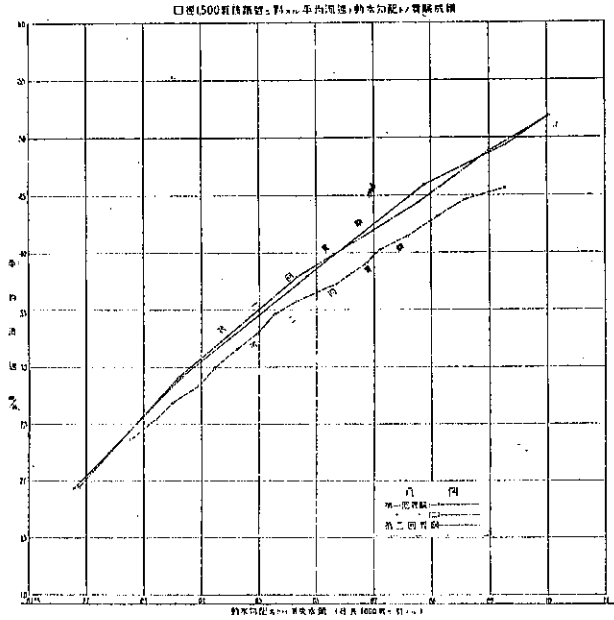
寫眞第三



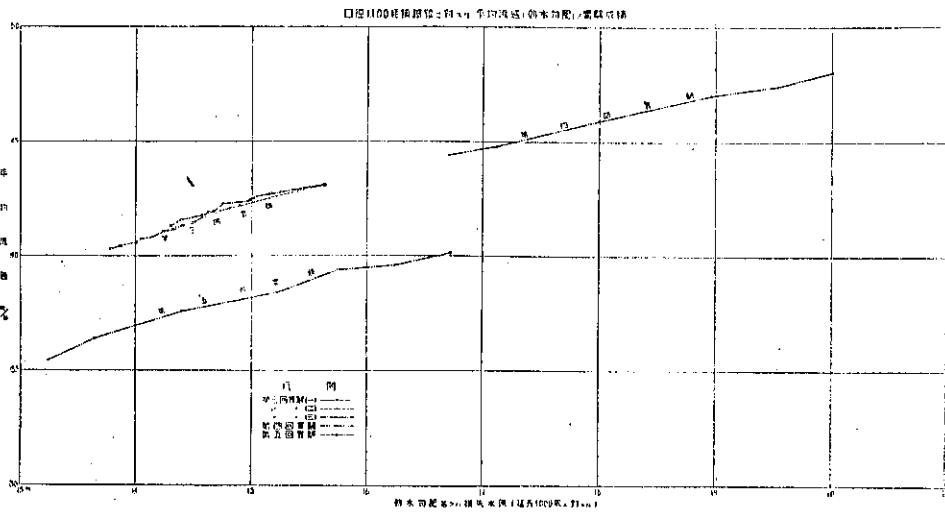
口径 1500 耗鑄鐵管の流量測定に用ひたるベンチュリメーター

- (上) 和田堀沓橋線
- (下) 和田堀青山線

附圖第一の一



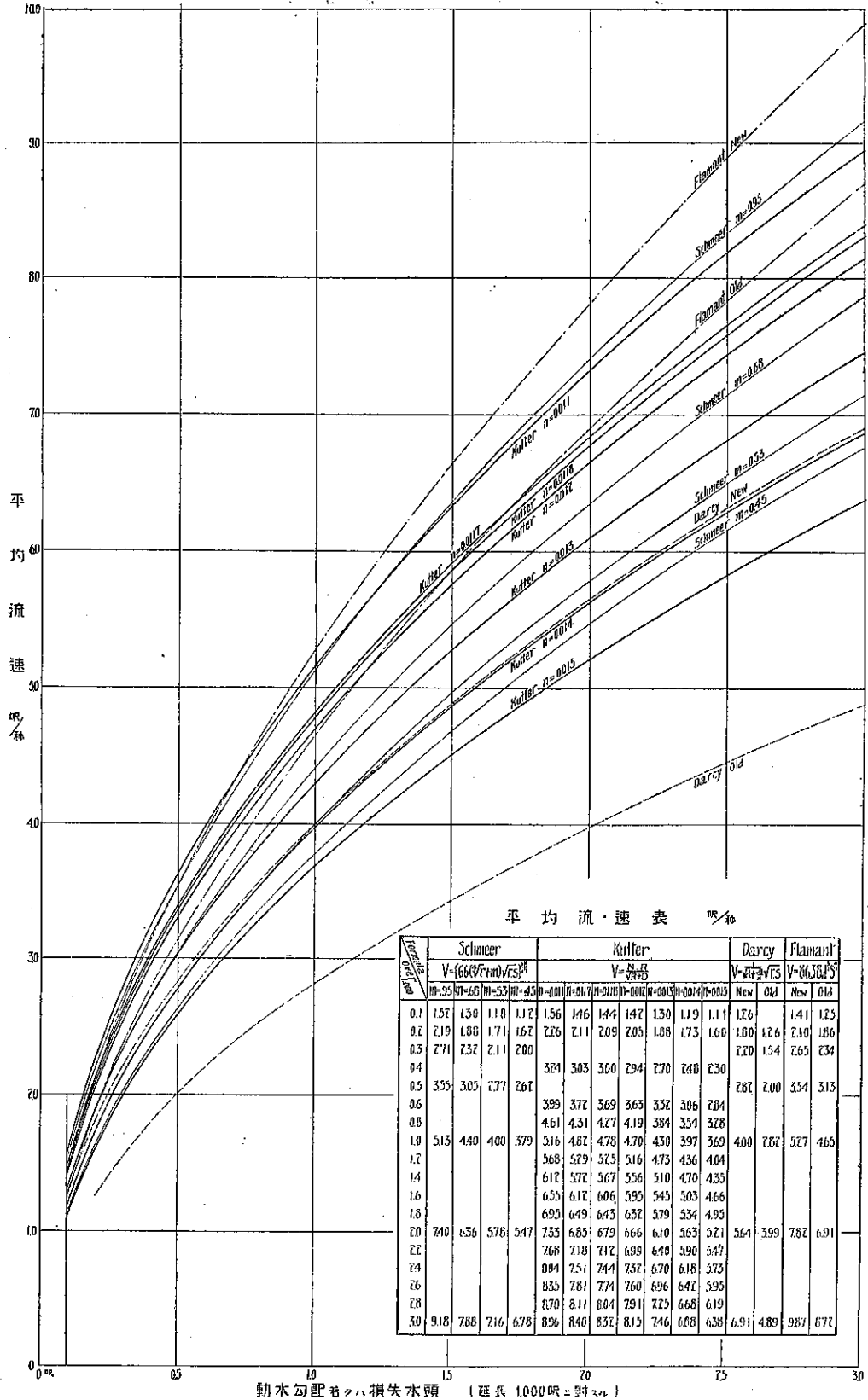
附圖第一の二



(土木學會誌第十三卷第六號附圖)

924-3

口径1500耗鑄鐵管ニ對スル平均流速、動水勾配、ノ關係



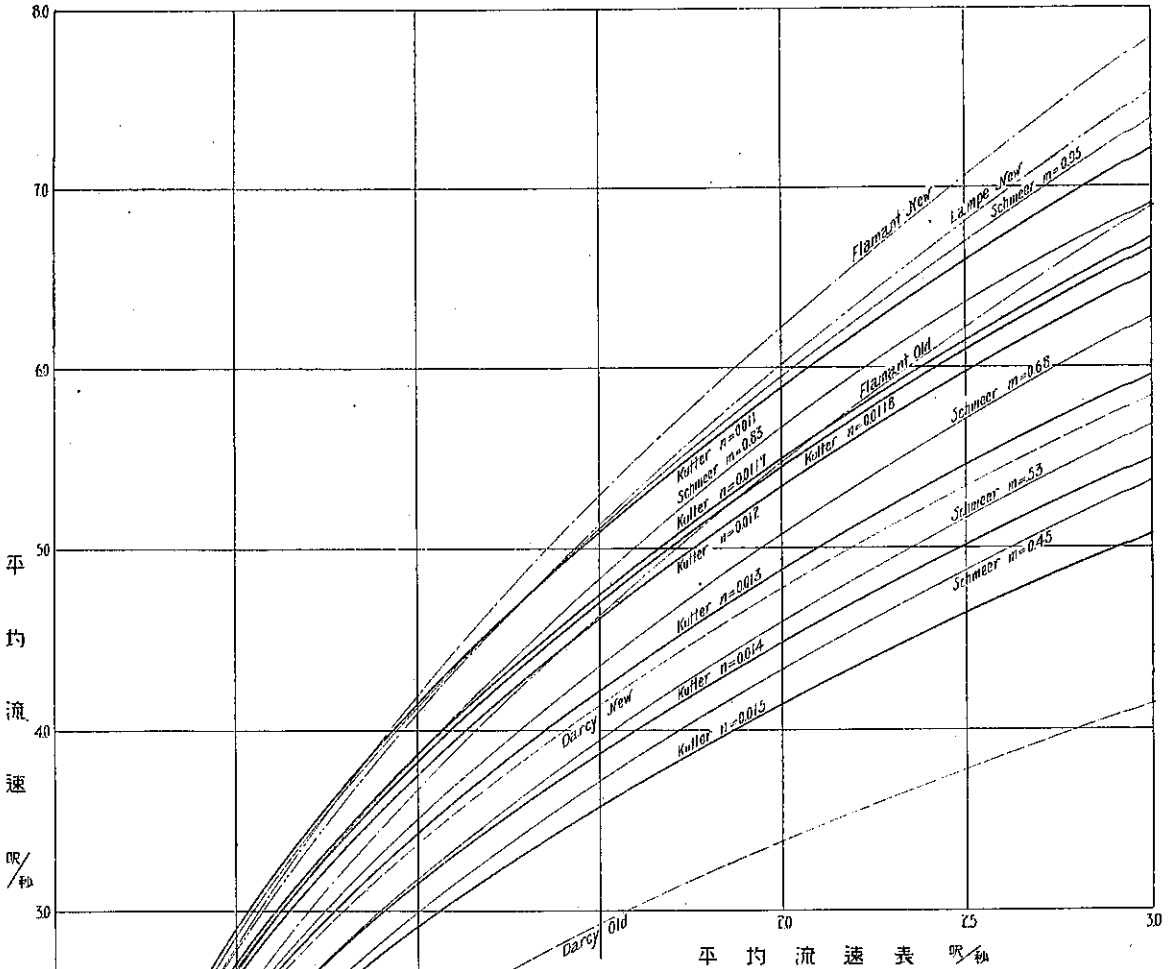
平均流・速表

平均流速 (m/s)	Schmeer										Kutter								Darcy		Flamant	
	$V = 66 \sqrt{R/m} \sqrt{S}$										$V = \frac{C}{n} \sqrt{R}$								$V = \frac{C}{\sqrt{f}} \sqrt{R}$		$V = 86.3 \sqrt{R S}$	
	m=0.95	m=0.68	m=0.53	m=0.45	n=0.011	n=0.010	n=0.009	n=0.008	n=0.007	n=0.006	n=0.005	n=0.004	n=0.003	New	Old	New	Old					
0.1	1.57	1.30	1.10	1.12	1.56	146	144	142	130	119	1.11	1.26			1.41	1.25						
0.2	2.19	1.80	1.71	1.62	2.26	211	209	205	188	173	1.60	1.80			2.10	1.86						
0.3	2.71	2.32	2.11	2.00											2.65	2.34						
0.4					324	303	300	294	270	240	2.30											
0.5	3.35	3.05	2.71	2.67											3.54	3.13						
0.6					399	372	369	363	332	306	2.84											
0.8					4.61	4.31	4.27	4.19	384	354	3.28											
1.0	5.13	4.40	4.00	3.79	5.16	4.82	4.78	4.70	4.30	3.97	3.69	4.00	3.62	5.27	4.65							
1.2					5.68	5.29	5.25	5.16	4.73	4.36	4.04											
1.4					6.12	5.72	5.67	5.56	5.10	4.70	4.35											
1.6					6.55	6.12	6.06	5.95	5.45	5.03	4.66											
1.8					6.95	6.49	6.43	6.32	5.79	5.34	4.95											
2.0	7.10	6.36	5.78	5.47	7.33	6.85	6.79	6.66	6.10	5.63	5.21	5.64	5.99	7.82	6.91							
2.2					7.68	7.18	7.12	6.98	6.40	5.90	5.47											
2.4					8.04	7.51	7.44	7.32	6.70	6.18	5.73											
2.6					8.35	7.81	7.74	7.60	6.96	6.42	5.95											
2.8					8.70	8.11	8.04	7.91	7.25	6.68	6.19											
3.0	9.18	7.68	7.16	6.78	8.96	8.40	8.32	8.15	7.46	6.88	6.38	6.91	4.89	9.87	8.77							

動水勾配若クハ損失水頭 (延長 1000 呎ニ對スル)

附圖第三

口徑1100耗鑄鐵管ニ對スル平均流速ト動水勾配トノ關係



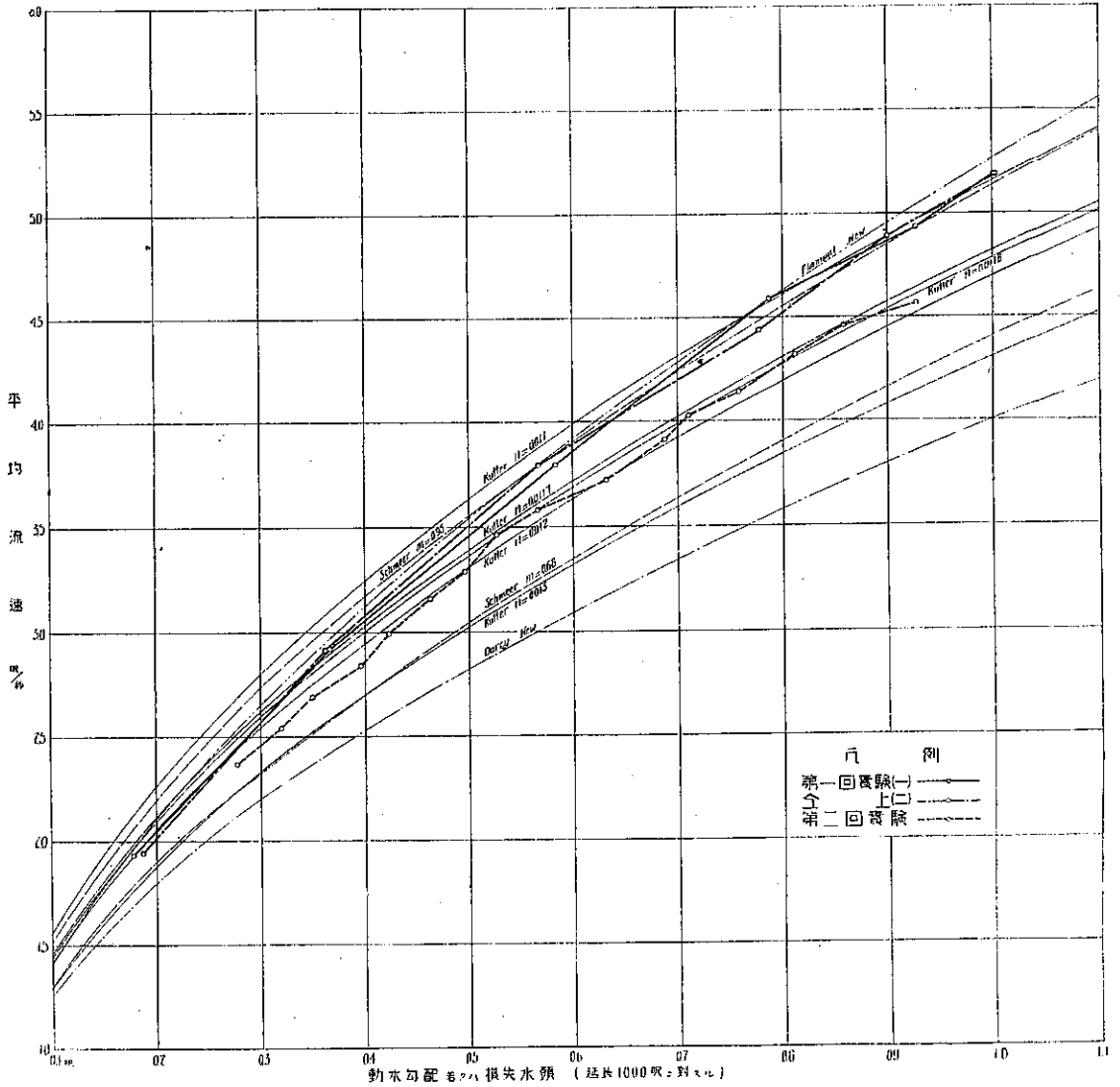
平均流速表

平均流速 (m/s)	Schmeer					Kutter					Darcy		Flamant		Lampe		
	$V = (66\sqrt{m})\sqrt{S}^{1.48}$					$V = \frac{C\sqrt{R}}{n}$					$V = \frac{C\sqrt{R}}{\sqrt{f}}$		$V = 87.3\sqrt{S}$		$V = 77.6\sqrt{S}$		
	m=0.95	m=0.85	m=0.68	m=0.53	m=0.45	n=0.001	n=0.0017	n=0.0018	n=0.002	n=0.003	n=0.004	n=0.005	New	Old	New	Old	New
0.1	1.22	1.14	1.04	0.94	0.89	1.23	1.15	1.14	1.11	1.02	0.95	0.86	1.07	0.76	1.17	0.98	1.14
0.2	1.76	1.65	1.50	1.36	1.28	1.80	1.67	1.66	1.63	1.49	1.37	1.26	1.51	1.07	1.67	1.47	1.68
0.3	2.18	2.04	1.86	1.68	1.59								1.85	1.31	2.10	1.85	2.10
0.4						2.59	2.47	2.39	2.35	2.14	1.97	1.87					
0.5	2.86	2.67	2.44	2.20	2.08								2.59	1.69	2.80	2.48	2.79
0.6						3.10	2.98	2.95	2.90	2.64	2.45	2.35					
0.8						3.70	3.44	3.47	3.35	3.06	2.87	2.60					
1.0	4.15	3.86	3.57	3.18	3.00	4.15	3.87	3.83	3.76	3.44	3.15	2.92	3.38	2.39	4.17	3.68	4.09
1.2						4.56	4.24	4.20	4.13	3.77	3.47	3.21					
1.4						4.97	4.58	4.54	4.46	4.07	3.74	3.46					
1.6						5.26	4.91	4.86	4.77	4.36	4.00	3.70					
1.8						5.59	5.21	5.16	5.06	4.63	4.25	3.93					
2.0	5.95	5.67	5.07	4.60	4.53	5.89	5.49	5.44	5.34	4.88	4.48	4.14	4.78	3.38	6.20	5.47	6.07
2.2						6.17	5.76	5.71	5.60	5.11	4.70	4.34					
2.4						6.47	6.07	5.96	5.86	5.36	4.97	4.55					
2.6						6.77	6.37	6.21	6.09	5.56	5.11	4.73					
2.8						7.00	6.50	6.44	6.34	5.79	5.33	4.92					
3.0	7.50	6.90	6.29	5.69	5.67	7.20	6.73	6.67	6.53	5.96	5.48	5.07	5.85	4.14	7.87	6.90	7.53

動水勾配 差カハ損失水頭 (延長1,000呎ニ對スル)

附圖第四

口徑1500耗銹鐵管ニ對スル各實驗公式ト本實驗ノ比較

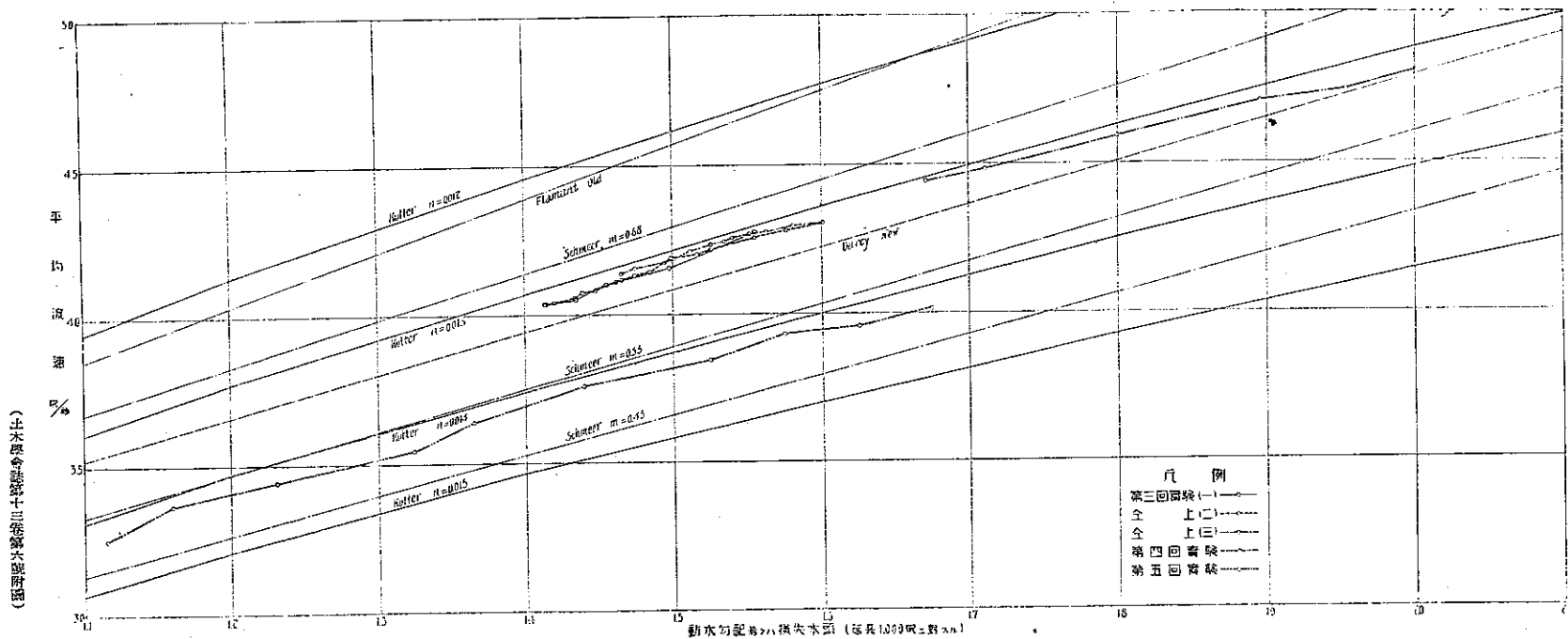


土木學會雜誌第十三卷第六號附圖



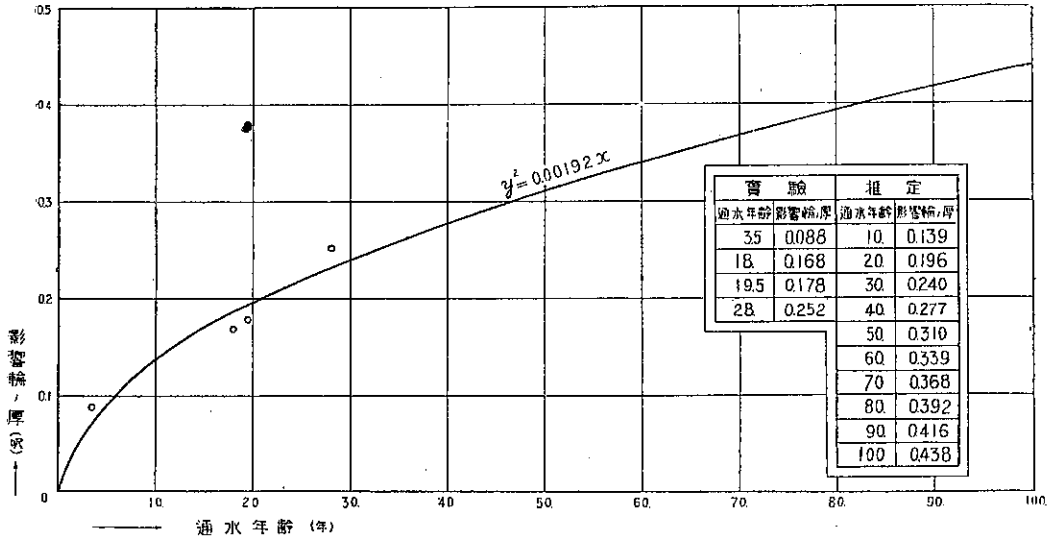
附圖第五

□ 徑 1.100 耗鐵鐵管ニ對スル各實驗公式ト本實驗トノ比較



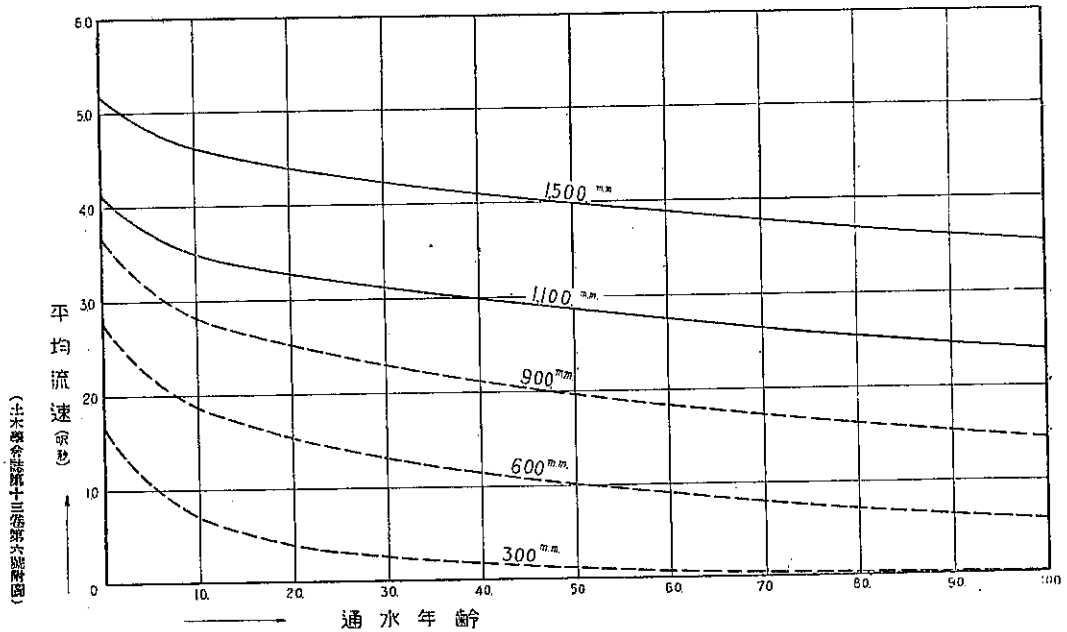
附圖第六

各通水年齡=相當スル影響輪,厚サ,推定



附圖第七

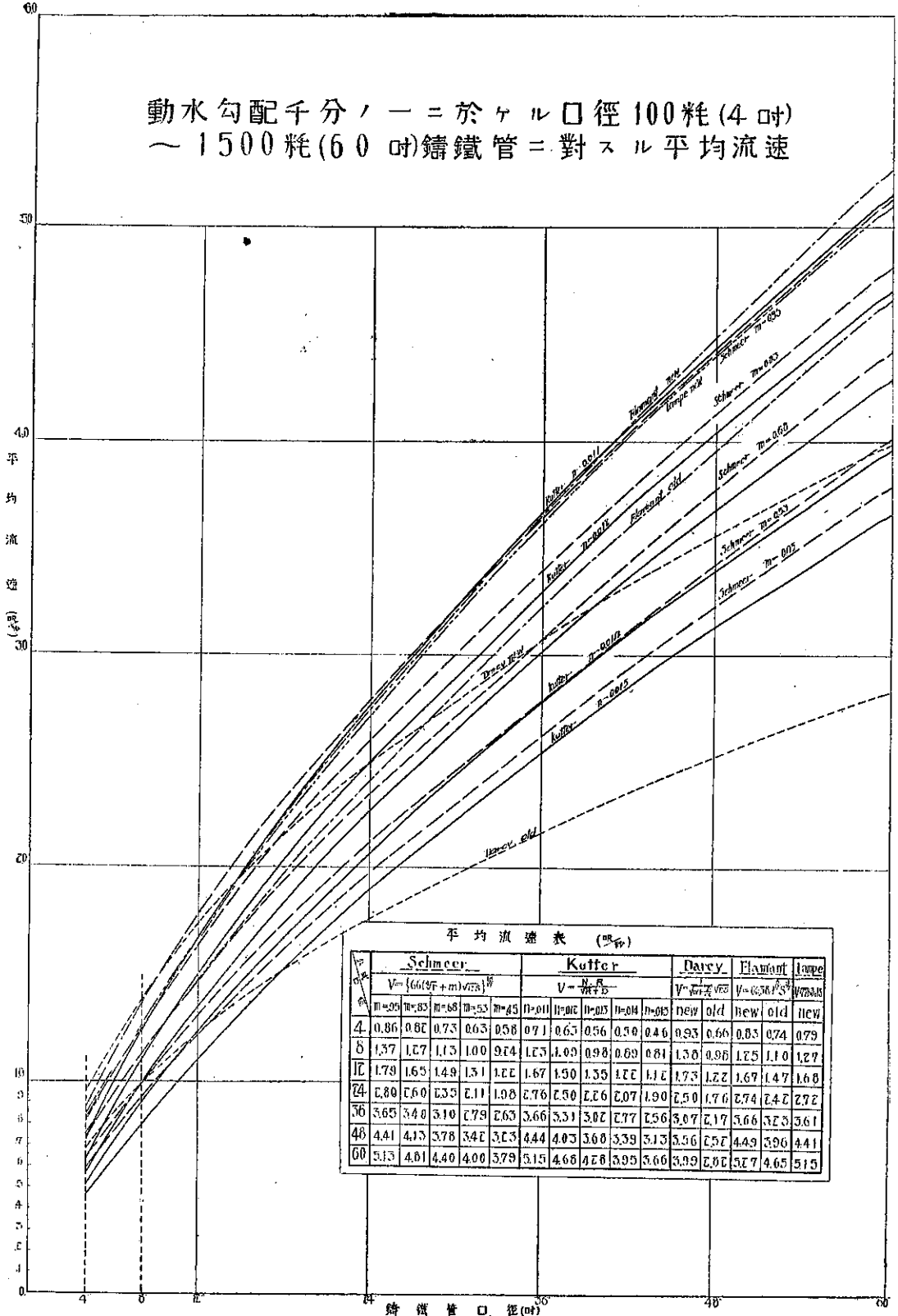
內徑1500耗及1100耗鑄鐵管,損失水頭1000呎=付1呎,場合ニ於ケル各通水年齡ニ對スル平均流速



土木學會誌第十三卷第六號附圖

附圖第八

動水勾配千分ノ一ニ於ケル口徑100粒(4吋)  
 ~1500粒(60吋)鑄鐵管ニ對スル平均流速



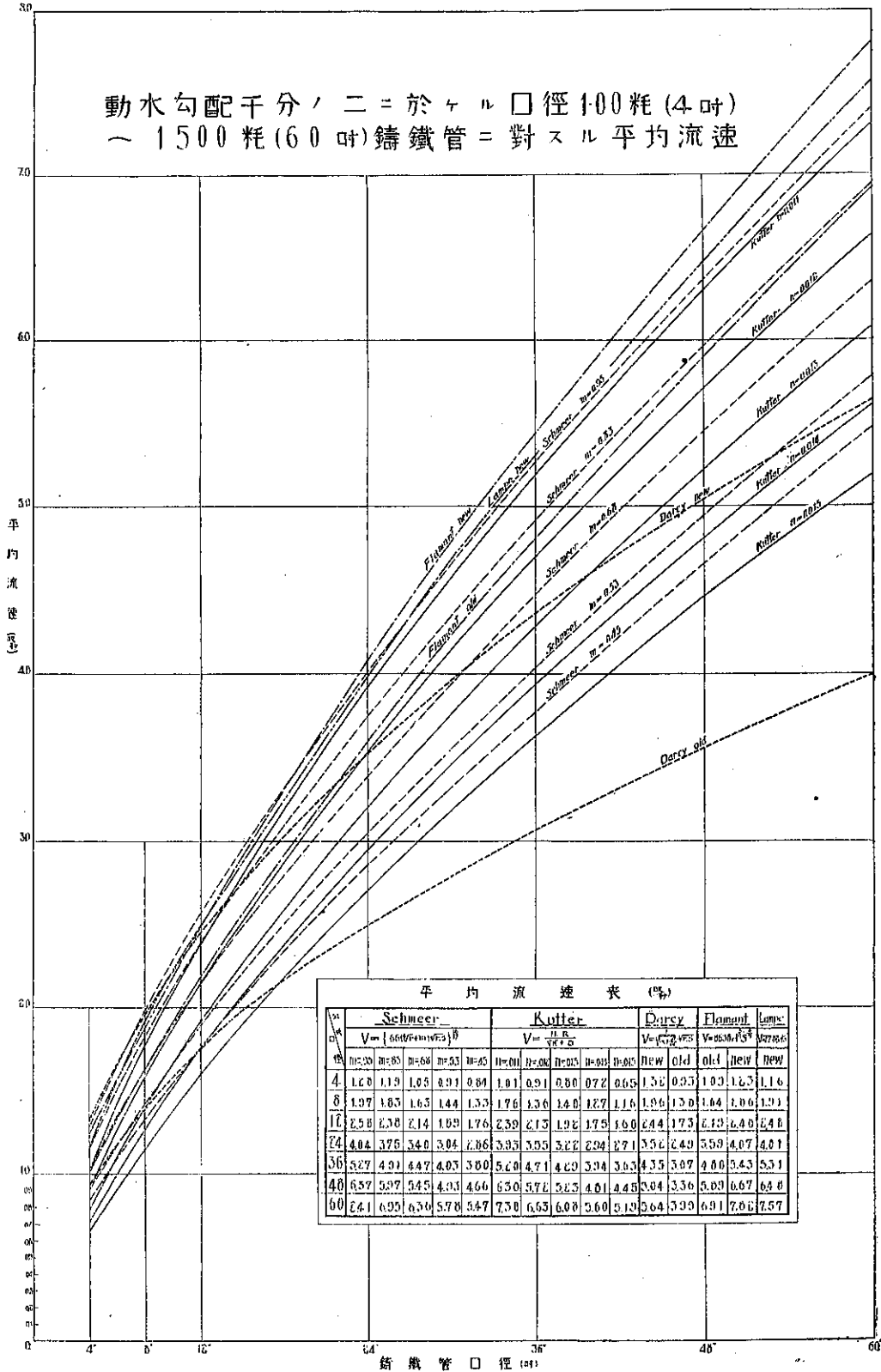
平均流速表 (m/s)

D 吋	Schmeer					Kutter					Darcy		Hazen		Wells
	$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2}$	$m=0.25$	$m=0.35$	$m=0.45$	$m=0.55$	$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2}$	$n=0.01$	$n=0.02$	$n=0.03$	$n=0.04$	$n=0.05$	new	old	new	old
4	0.86	0.67	0.73	0.63	0.58	0.71	0.63	0.56	0.50	0.46	0.93	0.66	0.83	0.74	0.79
8	1.37	1.07	1.13	1.00	0.94	1.13	1.03	0.90	0.80	0.81	1.30	0.96	1.15	1.10	1.17
12	1.78	1.63	1.49	1.31	1.22	1.67	1.50	1.35	1.22	1.12	1.73	1.22	1.67	1.47	1.68
24	2.80	2.60	2.33	2.11	1.98	2.76	2.50	2.26	2.07	1.90	2.50	1.76	2.74	2.42	2.72
36	3.63	3.40	3.10	2.79	2.63	3.66	3.31	3.02	2.77	2.56	3.07	2.17	3.66	3.23	3.61
48	4.41	4.13	3.78	3.42	3.23	4.44	4.03	3.68	3.39	3.13	3.56	2.57	4.49	3.96	4.41
60	5.13	4.81	4.40	4.00	3.79	5.15	4.68	4.26	3.93	3.66	3.99	2.87	5.17	4.65	5.15

(土木學會誌第十三卷第六號附圖)

附圖第九

動水勾配千分ノ二ニ於ケル口徑100耗(4吋)  
 ~ 1500耗(60吋)鑄鐵管ニ對スル平均流速



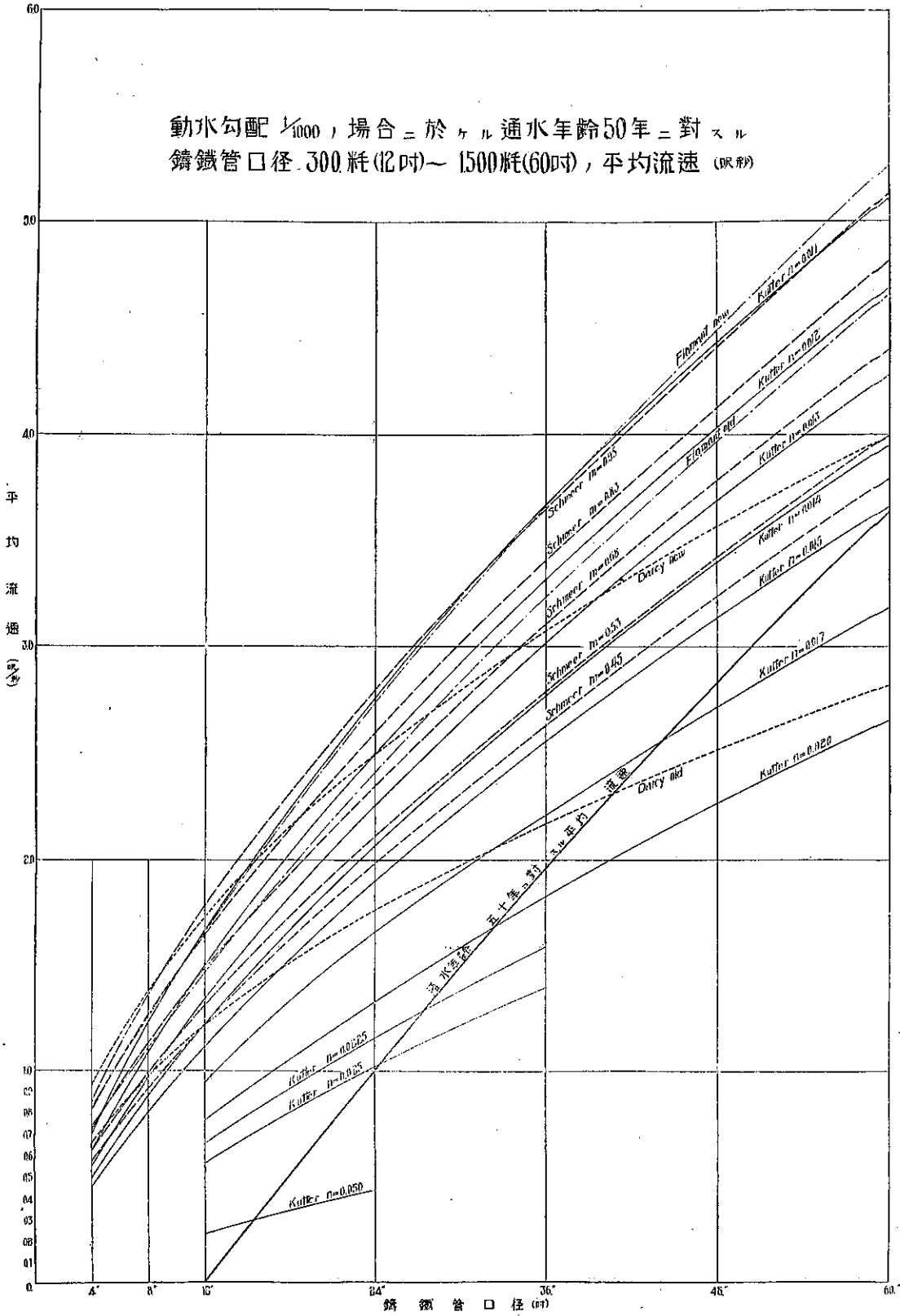
平均流速表 (%)

D	Schmeer					Kutter					Darcy		Flamant		Lemp		
	$V = \frac{1.486 C \sqrt{R S}}{n}$					$V = \frac{4.49 C \sqrt{R S}}{n}$					NEW	OLD	NEW	OLD	NEW	OLD	
4	1.20	1.19	1.65	1.91	0.84	1.01	0.91	0.80	0.72	0.65	1.51	0.93	1.03	1.23	1.16		
8	1.97	1.85	1.63	1.44	1.33	1.76	1.36	1.40	1.27	1.16	1.86	1.30	1.64	1.06	1.31		
16	2.56	2.38	2.14	1.89	1.76	2.39	2.13	1.92	1.75	1.60	2.44	1.73	2.13	1.40	1.41		
24	4.04	3.76	3.40	3.04	2.86	3.93	3.55	3.27	2.94	2.71	3.51	2.43	3.59	2.07	2.01		
36	5.27	4.91	4.47	4.03	3.80	5.10	4.71	4.40	3.94	3.63	4.35	3.07	4.00	3.43	3.31		
48	6.57	6.27	5.75	5.33	5.06	6.50	5.71	5.25	4.81	4.48	5.04	3.56	5.03	4.67	4.46		
60	7.41	6.95	6.30	5.78	5.47	7.50	6.63	6.08	5.60	5.19	5.64	3.99	6.91	7.01	7.57		

(土木學會誌第十三卷第六號附圖)

附圖第十

動水勾配  $\frac{1}{1000}$ ，場合ニ於ケル通水年齡50年ニ對スル  
 鑄鐵管口径 300 耗(12吋) - 1500 耗(60吋)，平均流速 (呎/秒)



(土木學會誌第十三卷第六號附圖)