土木試驗所報告

第四十號

江戸川河水統制水門下流洗掘に關する水理實驗……內務技師 青木楠男… 1
横田周平

江戸川河水統制水門に於る鹹水の侵入に關する實驗……横田周平…75

路面の縱及横滑り摩擦抵抗に及ぼす路面種別と其の性狀との影響に就て……內務技師 島田八郎…83

昭和十二年十二月

內務省土木試驗所

土木試驗所報告第四十號正誤表

頁	行	誤	正
27	下ヨリ1行目	$=ML^{-1}T^{-1}]$	$[\eta]=[ML^{-1}T^{-1}]$
〃	〃 2行目	$V:Z:$	$v:z:$
28	上ヨリ6行目	…の響を影…	…の影響を…
〃	〃 11行目	$[H]=[HT^{-2}]$	$[H]=[MT^{-2}]$
86	下ヨリ5行目	f	f_b
92	寫眞-1 (a)		上下顚倒
129	圖—44 及 45 標題	f_b~f_b.40/f_b.10	f_b~$f_{b\cdot40}$/$f_{b\cdot10}$

江戸川河水統制水門下流洗掘に關する水理實驗

内務技師　青木楠男
横田周平

目　次

I. 緒　言 …… (1)
II. 岩淵水門，關宿水門及び江戸川水門 …… (3)
［1］ 岩淵水門 …… (3)
［2］ 關宿水門 …… (13)
［3］ 江戸川水門 …… (19)
III. 水理實驗の相似性に關する考察 …… (26)
［1］ 序 …… (26)
［2］ 相似率 …… (26)
［3］ 水平及び鉛直方向の縮尺を異にせる場合の相似率 …… (28)
［4］ 相似率を適用し得ざる量 …… (29)
［5］ 相似性 …… (31)
［6］ 本實驗に於る前提 …… (34)
IV. 實驗裝置 …… (35)
［1］ 模型の製作 …… (35)
［2］ 給水及び量水設備 …… (37)
［3］ 實驗用砂及びその供給裝置 …… (37)
［4］ 實驗及び記錄方法 …… (39)
V. 實　驗 …… (40)
［1］ 上下流の水位竝に扉の開高の洗掘狀態に及ぼす影響 …… (40)
［2］ 下游河幅の增大の洗掘狀態に及ぼす影響 …… (47)
［3］ 縱斷及び橫斷勾配の洗掘狀態に及ぼす影響 …… (55)
［4］ 導流堤の長さの洗掘狀態に及ぼす影響 …… (59)
［5］ 導流杭の洗掘狀態に及ぼす影響 …… (61)
［6］ 床固の洗掘狀態に及ぼす影響 …… (64)
［7］ 阻柱の洗掘狀態に及ぼす影響 …… (64)
［8］ 流砂量の洗掘狀態に及ぼす影響 …… (66)
［9］ 通水時間の洗掘狀態に及ぼす影響 …… (70)
［10］ 水門上流に於る流速分布 …… (72)
VI. 實驗結果の要約 …… (72)

I. 緒　言

本報告は内務省東京土木出張所の依頼により昭和 12 年 2 月より同 10 月迄の間に當所

赤羽分所に於て行つた表記の實驗の結果を纏めたものである．抑も河川工作物に對して洗掘の問題が如何に重要性をもつかはこゝに喋々を要せざるところであるが，これが致命的の影響を及ぼした例も決して少くないのである．從つて直轄河川に於ける諸水門工事に於てこれが對策に拂はれてきた努力には並々ならぬものがあると信ずる．今回江戸川河水統制水門工事の實施にあたつて，下流洗掘に關する模型試驗を行ひ，水門下游の形狀決定に資せられんとするの意も亦こゝにありと推察するものである．

然るに元來河川工作物に關する模型實驗に於ては其縮尺の小なる關係上，實物との間に內部摩擦力，表面張力等の影響の相違あること，縱橫方向の縮尺に異同あるものに於ては各種力學量の方向による相似率の相違，使用材料其他に所定の縮尺に應じ得ざるものあること等の理由により，實驗結果の適用には極めて周到なる檢討を要することが一般である．就中洗掘の問題に至つては流砂力，流砂量等に相似率の適用困難なる點ありて，今日では相對的の比較試驗を行ひうるの程度であつて，洗掘を量的に取扱ふことは頗る至難と考へられる．從つて，本報告に於る實驗結果も大體定性的の範圍を脫しないものであつて，依賴の主旨に充分副ひ得たかは頗る疑問とせざるを得ないところであるが，これらの結果が水門下流の工法決定に幾分にても役立つ所あらば實驗者一同の幸とするところである．

實驗は昭和 12 年 2 月先づ其準備に着手し，4 月下旬模型完成，1 ヶ月に亘つて豫備實驗を行ひ 6 月より本實驗を行なつた．8 月末に依賴されたる事項に關する實驗を終了し，以後條件を極端に變化せる場合に關する實驗を行ひ，10 月末を以て水平 1/100, 鉛直 1/40 の模型に於る實驗は之を終了する事とした．

本文第 II 章に於ては江戸川水門下流洗掘に關し最も參考たるべき現存諸水門の洗掘狀態に就ての調査資料を掲げた．卽ち江戸川水門と同種の構造を有する岩淵，關宿兩水門に就てその構造の概要及び洗掘狀態を述べ，更に之等兩水門と江戸川水門との構造上の差異を明らかにした．

第 III 章に於ては水理模型試驗に於る實驗結果の實工事への適用性につきて論じ，併せて著者等の求めたる試驗結果に對しこの點に關する實驗者としての態度を明かにした．

第 IV 章に於ては實驗裝置を詳說し，將來は各現場に於てる此種の實驗の行はれるに到るべき事を豫想しその際の參考に資する事とした．

第 V 章に於ては上下流の水位及び扉の開高，下游の增幅，水叩部の縱斷及び橫斷勾配，導流堤，導流杭，床固，阻柱，流砂量及び洪水經續時間等の各項目に關し，下流洗掘に對する影響を實驗的に明らかにした．最初の 2 項目に關しては更らに大型模型に依り研究を進める豫定である．

この實驗の施行にあたつては工學士山內一郎君，內務技手八木龜助君，山本仁雄君外數

氏の手を煩すこと頗る大であつた．こゝに此等諸氏の勞に對して深謝の意を表するものである．

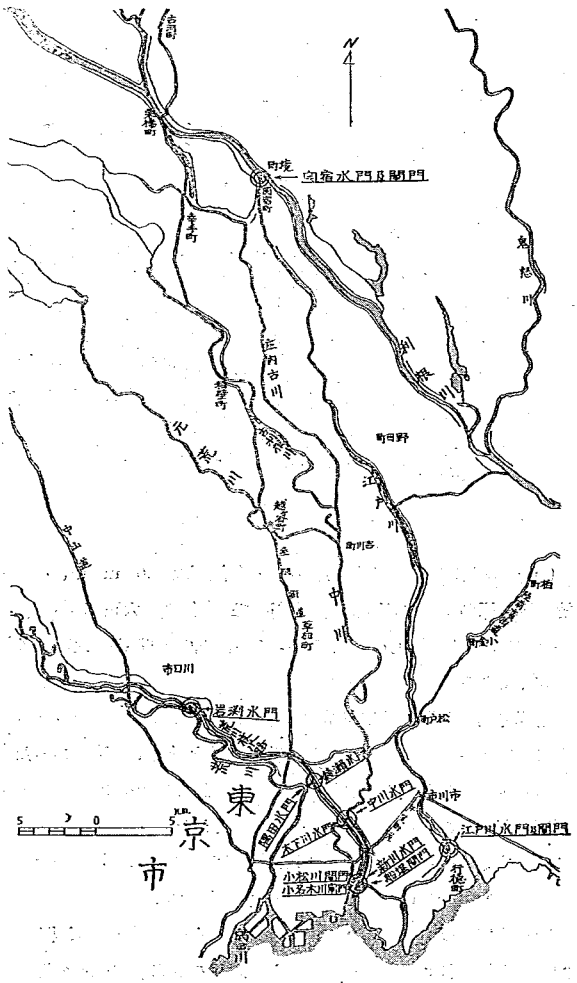
II. 岩淵水門，關宿水門及び江戸川水門

江戸川河水統制水門及び閘門はその規模，構造に於て岩淵水門，關宿水門及び閘門に類似してゐるものであつて，その下流洗掘堆積狀態に就いても之等の現狀が最も有益なる資料となるものであるから茲に之等3水門の構造概要及び岩淵，關宿兩水門の下流洗掘堆積狀態に就て調査を行つた．

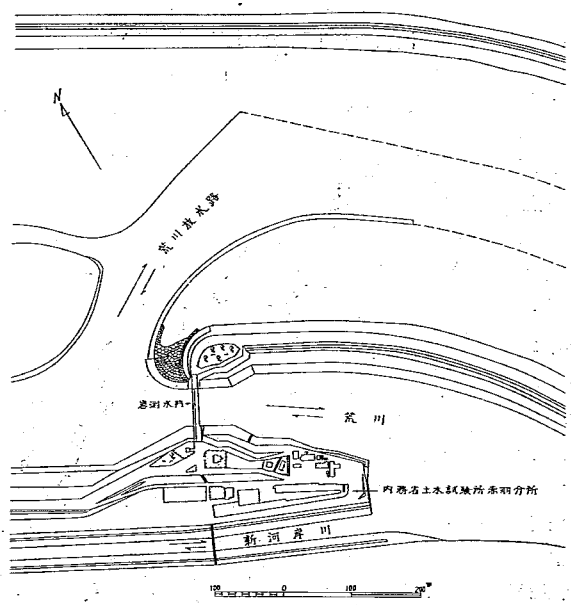
[1] 岩淵水門

岩淵水門は荒川放水路と舊荒川の分流點に築造せられ河口より約 22 km の上流に在つて（圖—1, 2），出水時舊荒川に流下する高水量を 835 m^3/sec 以下に調節する事をその主目的とする．

圖 — 1



圖－2 岩淵水門附近平面圖



（i） 構造概要　5 徑間より成り各徑間は 9.09 m で最右岸側のものを通船路とし，總て鋼門扉の上下に依り流量を調節する（圖—3）．大正 5 年 5 月 16 日に起工し大正 13 年 3 月 31 日に竣工し，その工費は 1,198,000 圓であつた．各部の構造を略記すれば次の如くである．

基礎井筒　各堰柱及び翼壁の基礎工には外法 4.10 m，厚さ 0.91 m～0.76 m の方形井筒を 16.40 m～18.20 m 沈下せしめ砂混り粘土層まで到達せしめた（圖—4）．

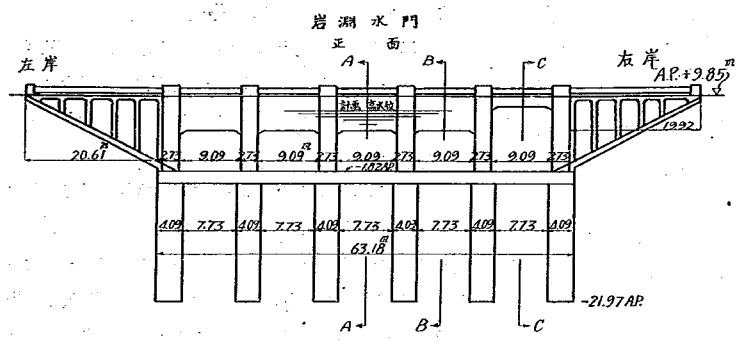
基礎版　基礎井筒の上に幅 18.20 m，厚さ 1.82 m，長さ 61.80 m の鋼桁コンクリート基礎版を載せその圖高を A. P.－1.82 m とした．

上流床固　長さ 7.27 m で上流端は厚さ 9.1 cm，長さ 3.64 m の矢板を以て限り厚さ 0.91 m の場所打コンクリート張とした（圖—3）．

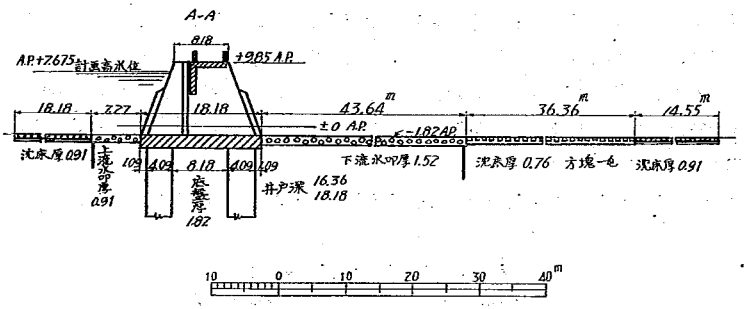
下流床固　長さ 43.64 m で其の下流端は長さ 4.55 m の矢板を以て限り，厚さ 1.51 m の割石混入場所打コンクリート張とし，尚其の下流 36.36 m の間は沈床を敷き約 1 t のコン

クリート方塊を竝べ其の間に割石を充塡した（圖—3).

圖 — 3 岩淵水門正面及側面圖



縱斷面

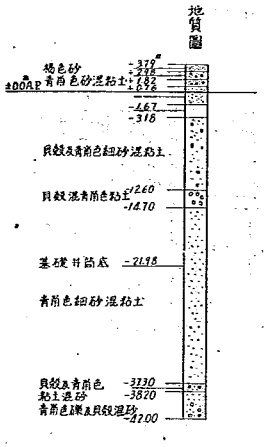


上下流沈床　上下流左右護岸法先及び床固に接續して沈床工を施した．その幅は護岸根固として 7.27 m, 上流床固に接續して 18.20 m, 下流床固に接續して 14.50 m であつて，沈石としては雜割石を使用した．以上底部の防護を施せる區間は上下流合計約 138 m である（圖—3).

堰柱　圖— 5 參照

鋼門扉　ストーニー式引揚扉で 6 個あり，幅 9.40 m, 高さ 4.55 m, 水壓鈑の厚さ 9.5 mm, 全重量 1 箇に付約 30 t である．扉の開閉は各徑間上に据付けた電力捲揚機に依り行ひ對重はない．電力は右岸堤上に設置せる輕油發動機に依り 50 H.P. 發電機を運轉し

圖－4　岩淵水門地質圖



自家發電をする．又通船路たる最右岸徑間の扉は 2 箇より成り，平時は全部開放して置く爲に走行起重機に依り右岸袖壁內の戸袋に運搬留置してある．

護岸　法先に矢板工を施し 2 割法面は全部場所打コンクリートを以てし，厚さ床固兩脇に於て平均 0.46 m，之れに接續する部分に於て上下流共平均 0.38 m の厚さとした．

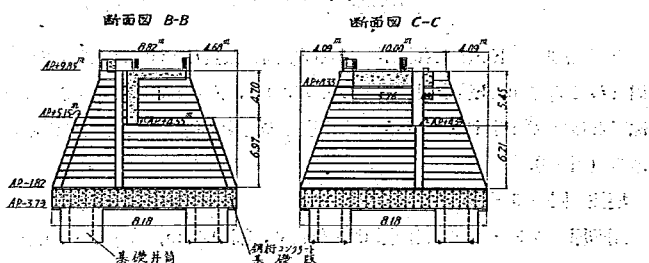
(ii) 岩淵水門下流洗掘狀態　岩淵水門竣工後に於ける最大の洪水は昭和 3 年 8 月 1 日～7 日に亘れるものであつて，その最高水位附近に於ける上下流水位及び流出量を圖—6 に示す．但し流出量は流出係數を 0.8 に採り計算せるものであつて，圖に於る木下川水門は岩淵水門より約 14 km の下流に在る水門である（圖—1 參照）．

水門の開扉狀態及び最高水位に於ける上下流水位を圖示すれば圖—7 の如くである．

此の洪水後の深淺測量圖としては翌年 8 月實測せるもの（圖—10）が最初である．此の洗掘狀態は洪水直後の洗掘狀態より徐々に埋戻されたものであるが，洗掘箇所が左岸寄りであつた事は以後の深淺圖よりも容易に推定し得る．これは岩淵水門に關する實驗* に於ても明瞭なる如く，右岸寄り通船路に於る開高が他の 4 門の開高の半分である爲に流心が左岸に偏する事に起因する．

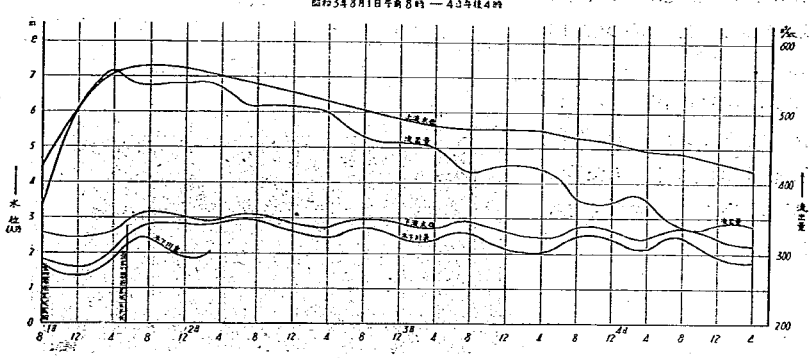
昭和 9 年より年 2 回定期的に精密な深淺測量を行つて居るが，昭和 9 年 1 月

圖－5　岩淵水門堰柱



* 岩淵水門に關する水理試驗　內務省土木試驗所報告第 20 號

圖 — 6　昭和 3 年 8 月洪水に於ける上下流水位及流出量



(圖—15) 及び 3 月 (圖—16) の實測に依れば昭和 6 年末 (圖—14) の左岸寄りの洗掘箇所が 2 箇所となつてゐる．昭和 3 年以後顯著な洪水は無かつたのであるから沈床の沈下してゐる事より判斷して昭和 3 年の洪水の際沈床の下を拔かれて居たものが沈床の崩壞に伴なつて昭和 7，8 年の間に新らしく窪みが出來たのではないかと思はれる．昭和 10 年に入つて多少埋戻され 7 月末には圖—18 の如くなつたが 9 月 25 日より 28 日に亘る洪水 (圖—21) の爲に再び圖—19 の如く洗掘された．斯く 2 箇所洗掘される事は流水の振動的現象に依るものか，或は兩洗掘箇所の中央に

圖 — 7　開高及最高水位

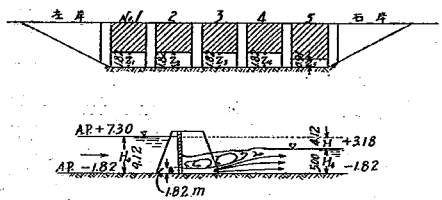
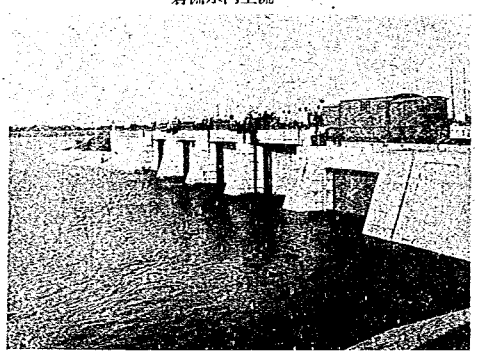


圖 — 8　昭和 3 年 8 月の洪水に於る岩淵水門上流



洗堀され難い地層が出てゐる爲であるか，或は此の他の原因に依るものであるか現在の處不明である．

昭和10年11月末より翌11年6月末までの間に 100 m² 程度の沈床 22 枚を沈設した爲に現在の河底は圖—20の如くである．

圖 — 9　昭和3年8月の洪水に於る岩淵水門下流

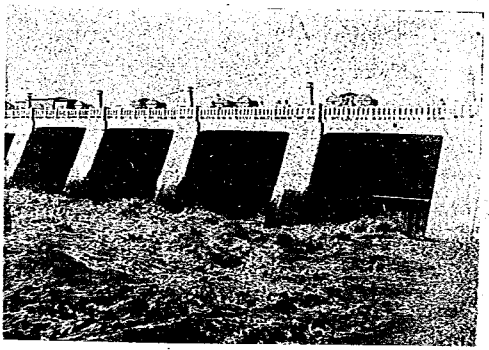


圖 — 10

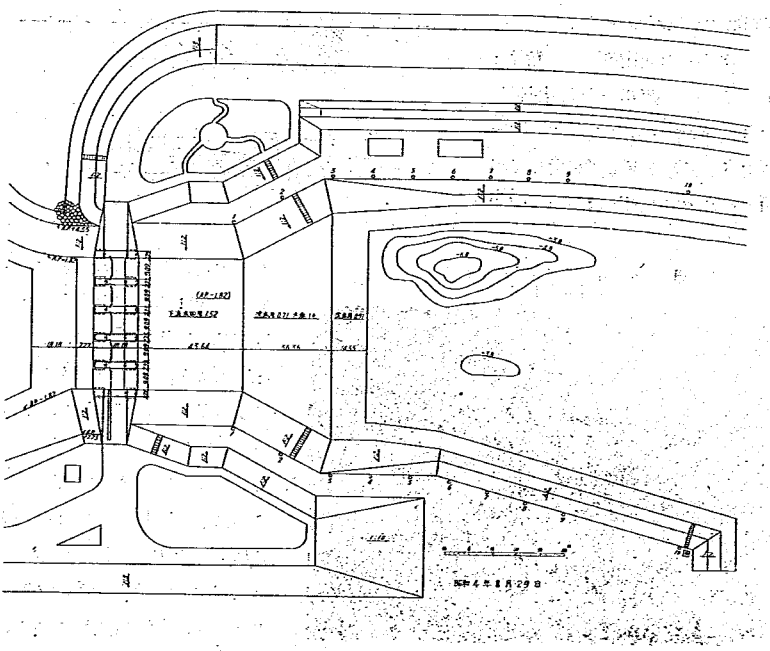


圖 — 11

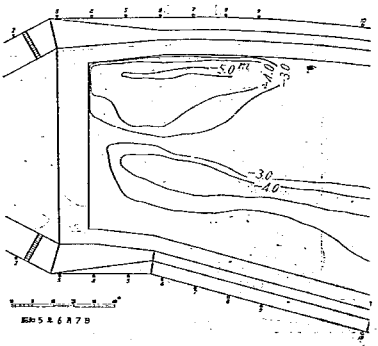


圖 — 12

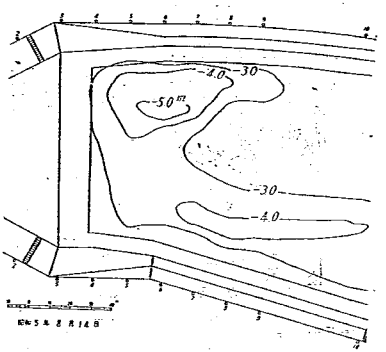


圖 — 13

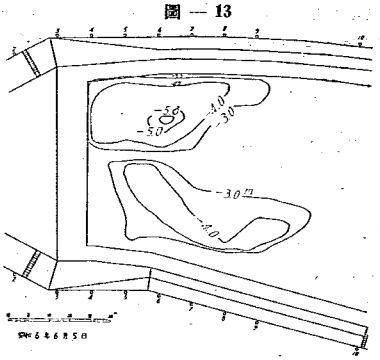


圖 — 14

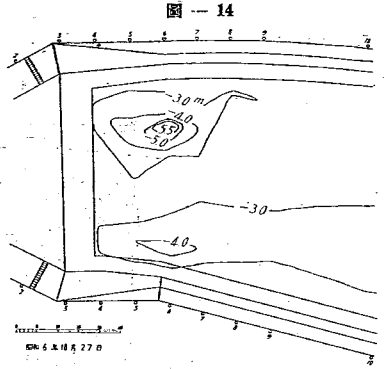
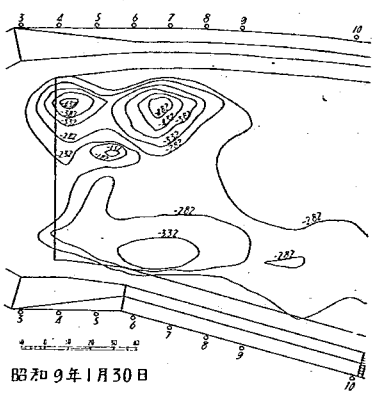
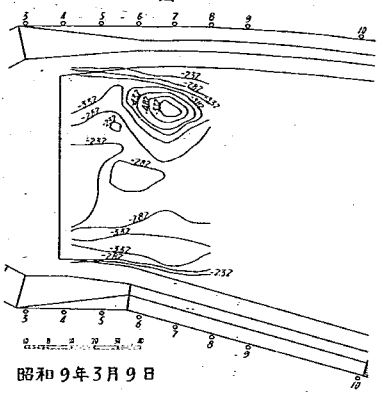


圖 — 15



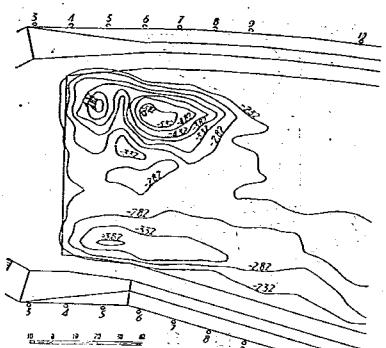
昭和9年1月30日

圖 — 16



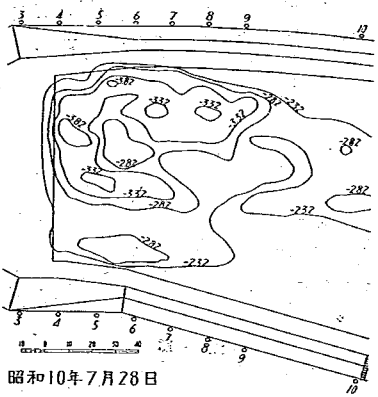
昭和9年3月9日

圖 — 17



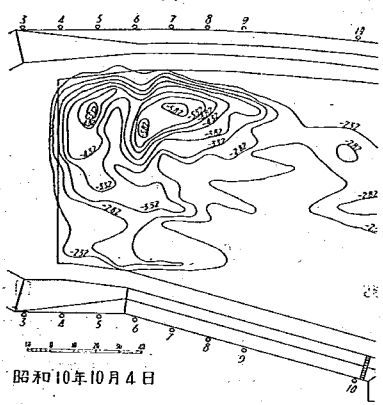
昭和10年2月13日

圖 — 18



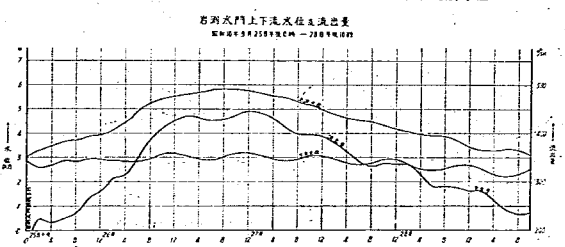
昭和10年7月28日

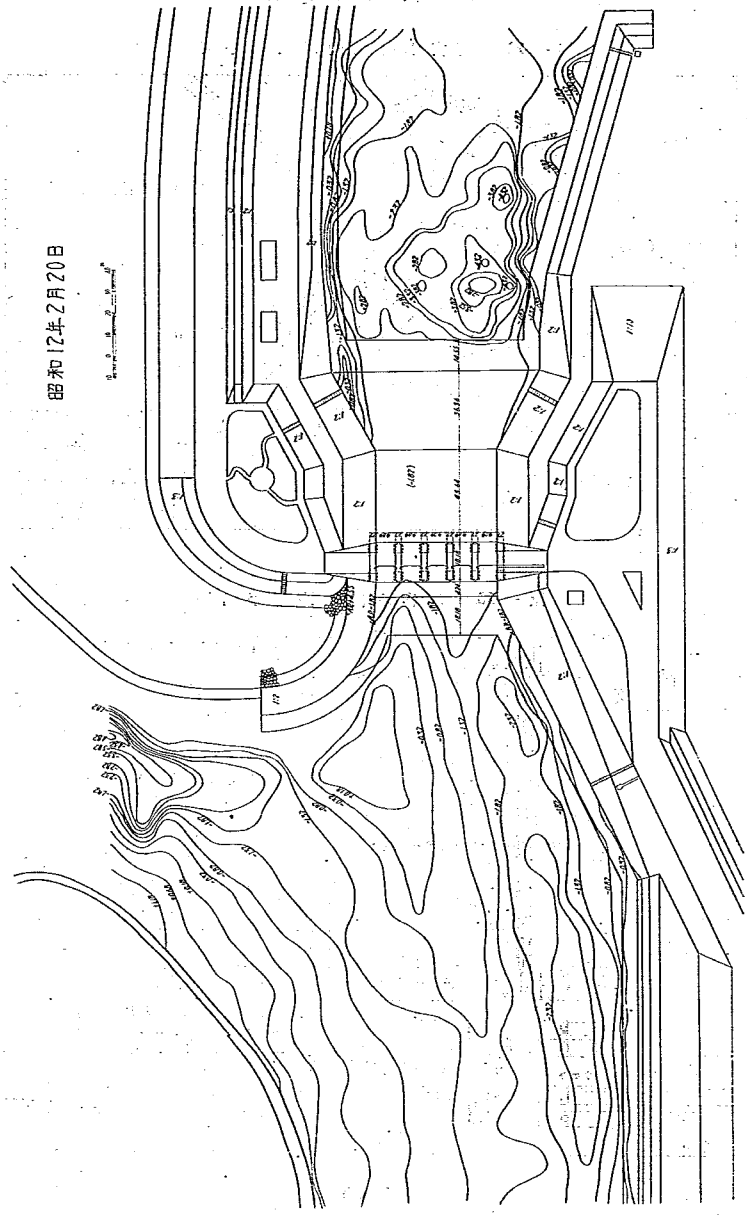
圖 — 19



昭和10年10月4日

圖—21　昭和10年9月洪水に於る上下流水位及流出量





圖－20　岩淵水門上下流河底現狀

圖 — 22 關宿水門及閘門附近平面圖

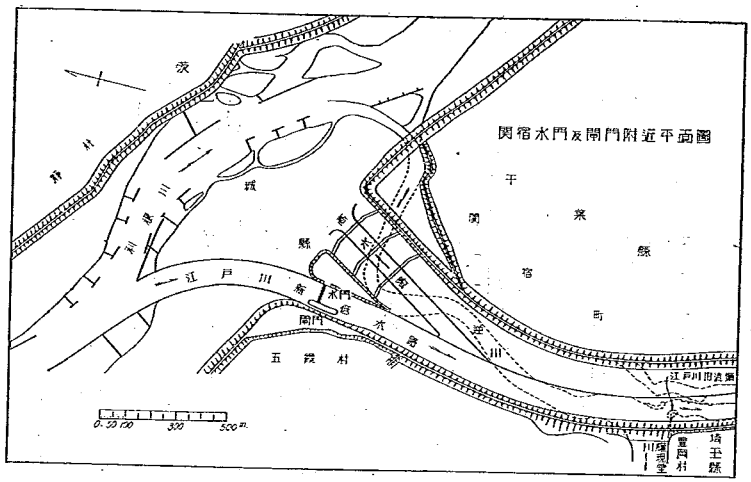
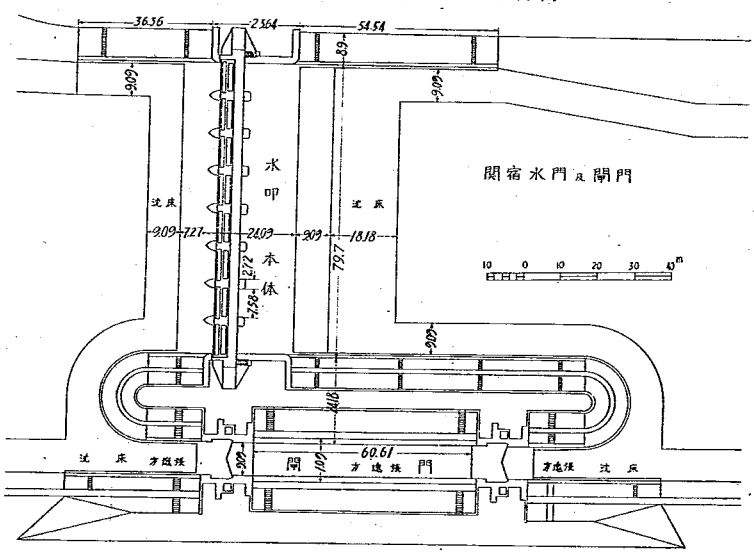


圖 — 23 關宿水門及閘門平面圖



[2] 關宿水門*

關宿水門は江戸川が利根川より分派される箇所に設けられたもので銚子より 132 km, 東京灣より 60 km 上流に在つて (圖—1 及び 22), 舊來の棒出しを除去し利根川, 江戸川の流量を適當に分配する事を其の主目的とする.

(i) 構造概要　8 徑間より成り各徑間は 7.58m である. 兩翼壁間の總幅員は約 80m であつて下游は增幅されてゐない (圖—23). 大正 7 年 11 月 1 日に起工し, 大正 15 年 9 月 1 日より使用を開始し昭和 2 年 3 月 31 日全工事が竣工した. 所要工費は水門 842,800 圓, 閘門 512,200 圓であつた. 各部の構造を略記すれば次の如くである.

基礎井筒　堰柱及び翼壁の基礎工には凡て外法 5.45 m～3.64 m, 厚さ 0.76～0.61 m の方形又は矩形の井筒を平均 10.00 m 沈下せしめ, 粘土混りで荒砂の固く凝結してゐる硬盤に達せしめた. 尙各堰柱間には厚さ 0.45 m, 長さ 5.45 m の地下水遮斷用井筒を設けた. 荷重支持用井筒 26 個, 地下水遮斷用井筒 8 個であつて總計 34 個である (圖—24, 25).

基礎版, 床固及び沈床　水門底部構造は戸溝中心より上流 10.90 m, 下流 20.40 m 計 31.30 m の區間を水叩本體として割栗工基礎の上に厚さ 0.91 m～1.51 m のコンクリート

圖 — 24　關 宿 水 門 側 面 圖

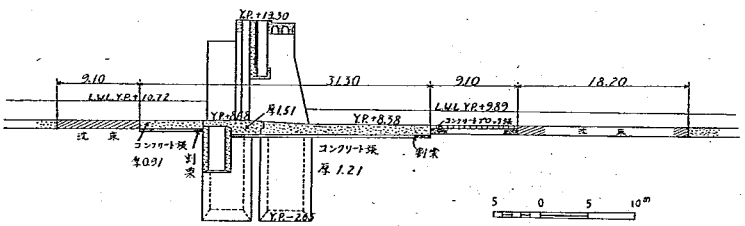
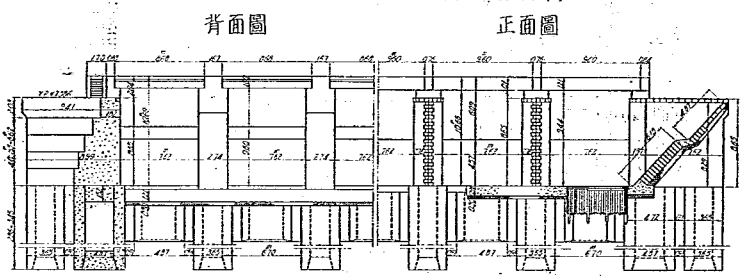


圖 — 25　關 宿 水 門 正 面 圖 及 背 面 圖



* 江戸川流頭施設工事　春木節郎　水利と土木　第 1 卷第 1 號, 第 2 號參照.

施行し其の上下流兩端には矢板工を施した．戸當の附近幅 3 m の區間は鐵筋を挿入した．閾高は Y.P.+8.68 m である．

尚下流部には水叩部の延長として幅 9.10 m の區間に割石基礎の上にコンクリート方塊を敷き竝べ其の下流幅 18.20 m の區間に沈床工を施した．上流部も同樣幅 9.10 m の沈床工を施工した．從つて底部の防護を施せる區間は合計約 68 m である．(圖—24)．

圖 — 26　堰　　柱

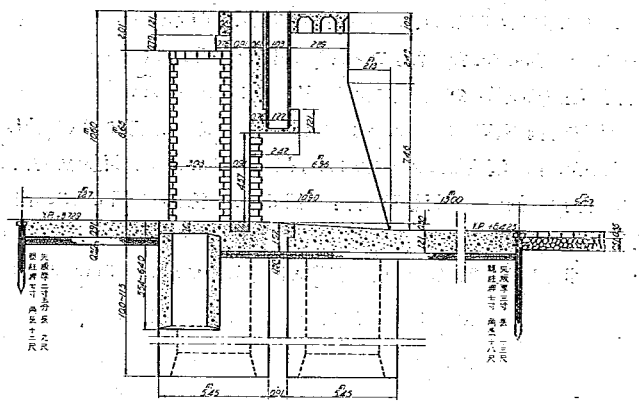
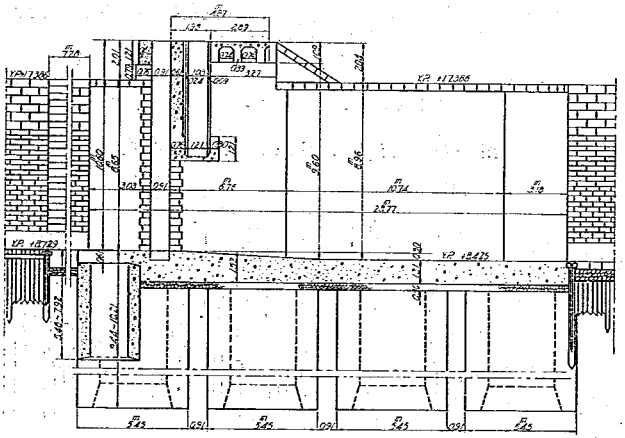


圖 — 27　翼　　壁



堰柱及び翼壁（圖—26，27 參照）　岩淵水門に於ては幕壁は「 形であるが關宿水門に

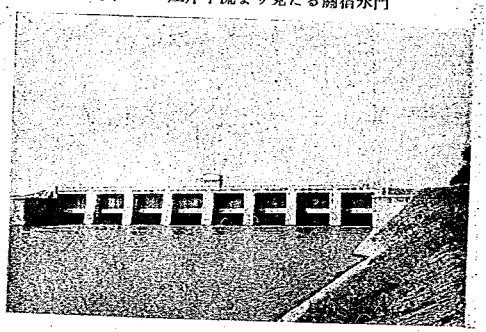
於ては L 形である.

鋼門扉　ストーニー式引揚扉で 8 個あり, 幅 8.50 m, 高さ4.55 m, 厚さ中央部に於て約 0.60 m, 水壓板の厚さ 9.5 mm, 全重量 1 個に付き 20 t, 對重は箱形鐵筋コンクリート桁を使用しその重量は約 14 t である. 扉の開閉は人力又は蒸氣力に依つて行ふ. 人力捲揚機は各扉に 1 個宛設備され蒸氣力捲揚は 25 H.P. 蒸氣機關が 1 臺中央堰柱上に備へられて, 水門全體を貫通する主軸に動力を傳へ扉 1 個宛或は又同時に 4 個の扉を開閉し得る.

護岸　水門左岸上流部約 36 m, 同下流約 55 m 及び水門右岸卽ち閘門, 水門瀦割堤, 兩端迄の區間に護岸工事を施した. 護岸工事は瀦割堤, 兩端法面はコンクリート工を施したが他の部分は全部コンクリート塊張工とした. 凡て護岸法先には矢板工を施し割栗を充塡し場所詰コンクリートを其の底部に施した.

圖—28 は下流より見たる關宿水門である. 中央堰柱上の建物は蒸氣機關室である.

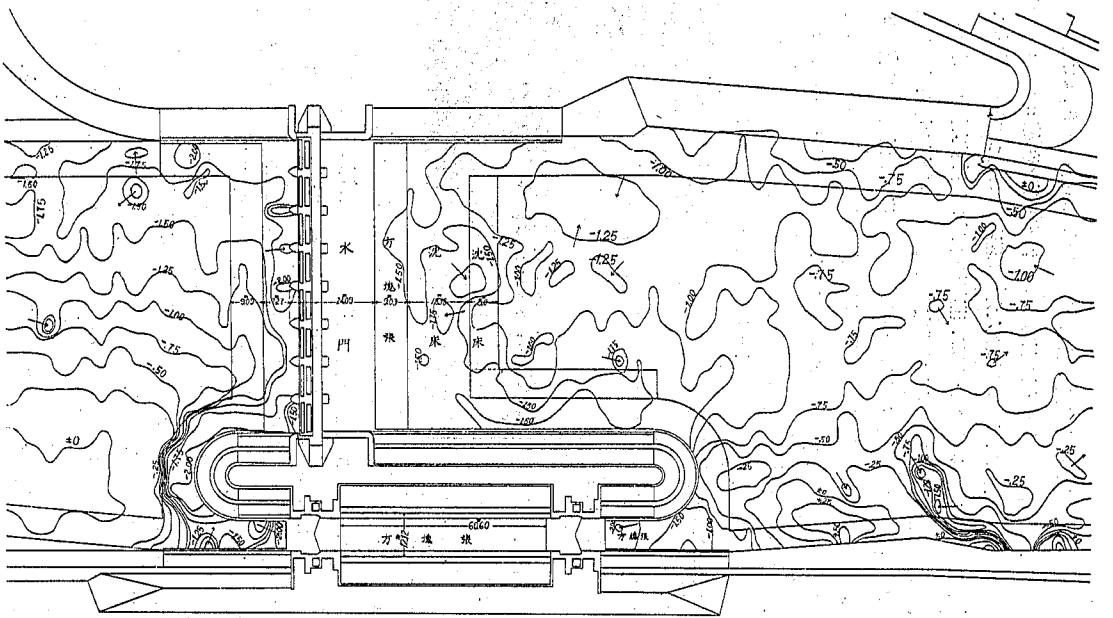
圖—28　左岸下流より見たる關宿水門



(ii) 關宿水門上下流洗掘堆積狀態　洪水時に於ては江戸川洪水量の大部分は高水路より流し, 關宿水門の上下流の水位差は僅少である. 從つて扉を開放するもその流量は 250 m^3/sec 程度であつて然も下流水深大なる爲その洗掘力は岩淵水門に比較して著しく微弱である. 又平水時に於ては平均 120m^3/sec の流量を流出せしめてゐるが, 水位差 1.30m の時此の流量を流出せしむるには扉の開高は 0.50 m 程度であり, 下流水深の 1/3 未滿である. 從つて流出狀態は完全に潛流となり, 下游の平均流速は1.00 m/sec 以下と推定され, 洗掘力は微弱で上流よりの流砂量を運搬し切れない爲に反對に河底は築造當時より一般に上昇してゐる. 圖—29 は水門を使用し始めてより 1 箇年を經過せる昭和 2 年 7 月の實測に依る深淺圖であるが, 旣に利根川の砂が水門上流まで押寄せて來てゐる事が明瞭に見受けられる. 下流水叩は平均低水位以下 1.50 m であるから下流も矢張り堆積してゐる事が解る. 圖—30 は昭和 11 年 7 月の實測に依るものであるが圖—29 に比較して上下流共河床は著しく上昇してゐる. 圖—31 は昭和 12 年 8 月の實測に依るものであるが, 圖—30 に比較して上下流共多少低下してゐるのは同年 7 月の洪水の爲であると思はれる. 從つて一般の河床の隆起は平水時に生ずるものと推定される.

下流の堆積狀態で最も顯著なものは閘門下流右岸寄りに着いた砂洲である. 圖—32 の

圖 — 29　昭和２４年７月に於る關宿水門上下流洗掘堆積狀態



關宿水門及閘門上下流深淺圖
昭和2年7月22日～23日

圖－30　昭和 11 年 7 月に於ける關宿水門上下流洗掘堆積狀態

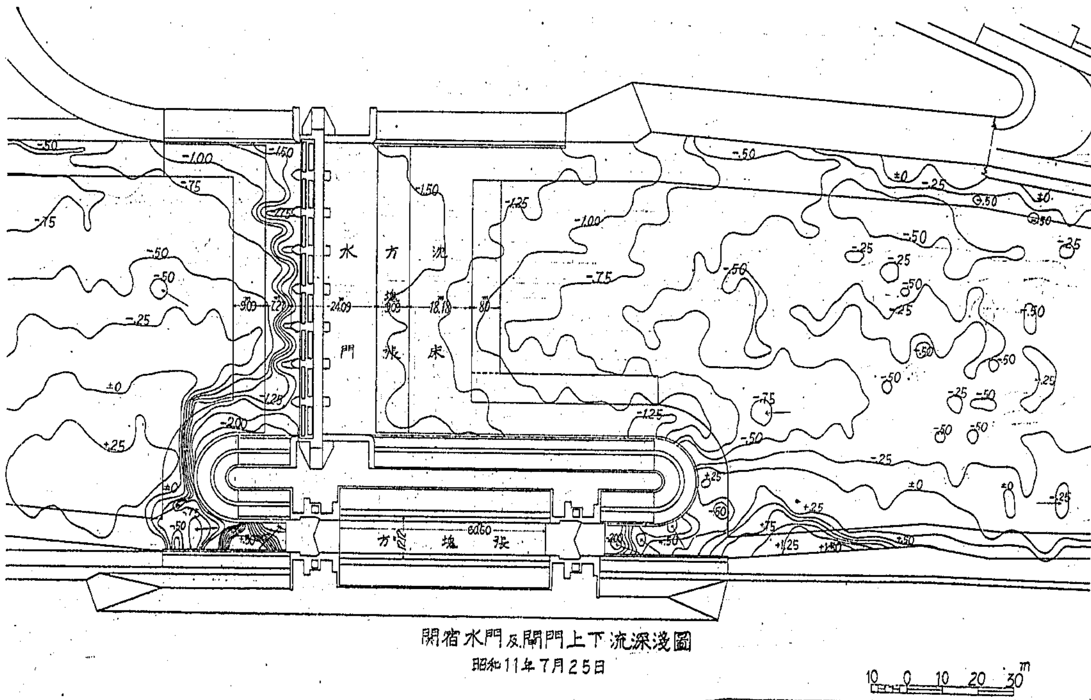
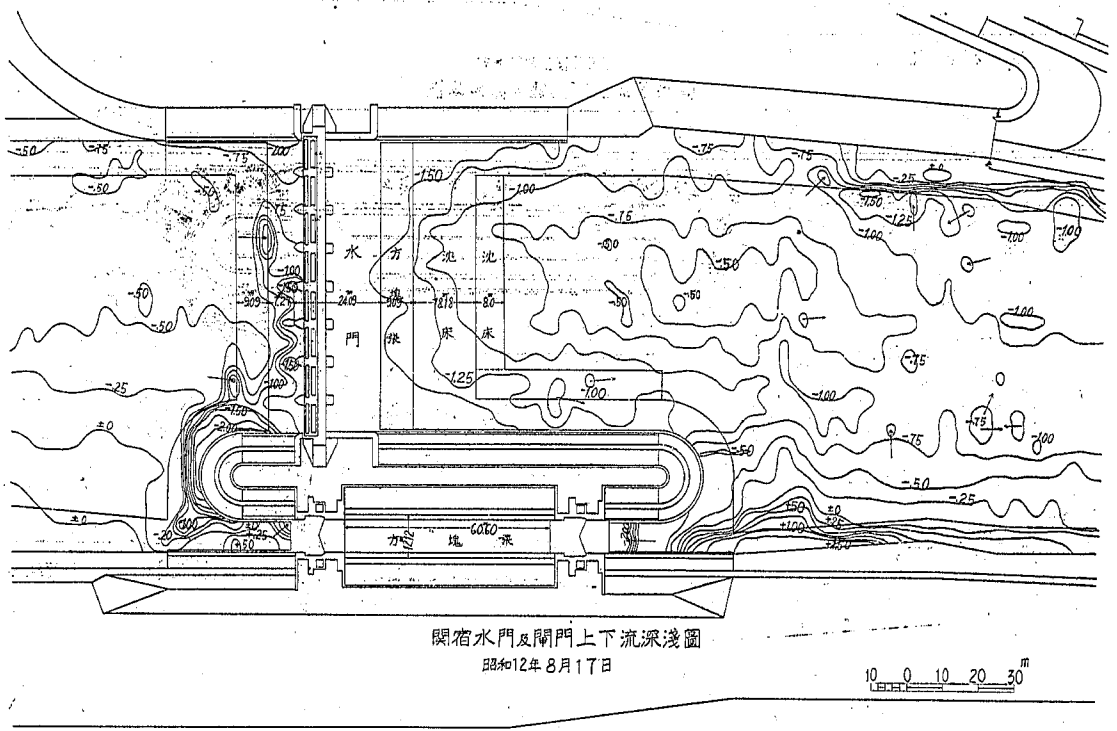


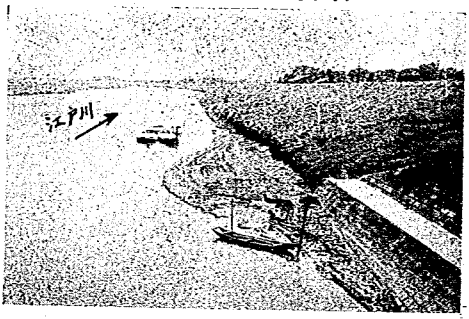
圖 — 31　昭和 12 年 8 月に於る關宿水門上下流洗掘堆積狀態



関宿水門及閘門上下流深淺圖
昭和12年8月17日

寫眞に見る如く低水位以上に出てゐるものであるから此れは明らかに洪水時に生じたものである．圖—29, 30, 31 と次第に此の洲が增大してゐるのは洪水毎に成長して來たものと見做される．

圖—32　關宿閘門下流砂洲



［3］ 江戸川河水統制水門

江戸川水門は江戸川放水路と江戸川の分流點に昨年より建設中のものであつて（圖—1 及圖—33），河床の低下に加ふるに近年渇水の頻出に伴ふ潮害を除去し，且非常渇水量 40 m³/sec の際に於ても現在の取水量約 21.0 m³/sec 以上の水量を利用せしむる事をその主目的とし* 洪水時は最高 835m³/sec を江戸川に流下する計畫である．

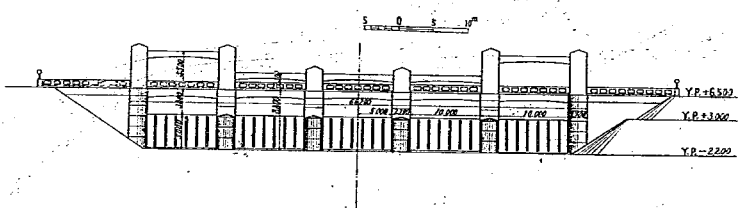
圖—33 に於て 2 本の平行鎖線内の部分を模型に取り入れた．

構造概要　5 徑間よりなり各徑間は 10.00 m であつて，左右兩岸寄りを通船路とし扉を高く揚げ得る様に設計した（圖—34）．昭和 11 年 7 月 1 日に起工し昭和 12 年 8 月末に水門竝に閘門の基礎版コンクリートを打ち終つた．工費は水門 800,000 圓，閘門 870,000 圓の豫定である．

基礎杭　長さ 11.00～12.00 m 末口 23 cm の松丸太を *Y.P.*－15.00～16.00 m 迄打込み砂層に達せしめた．地質は岩淵水門に比較して良好であつて，その詳細は圖—35 地質圖の如くである．

圖 — 34　江戸川水門正面圖

正　面　圖



基礎版　基礎杭 880 本の上に幅 20.00 m 長さ 66.20 m 厚さ 2.00 m の鐵筋コンクリート

* 內務省東京土木出張所江戸川水利統制（昭和 10 年 11 月）參照

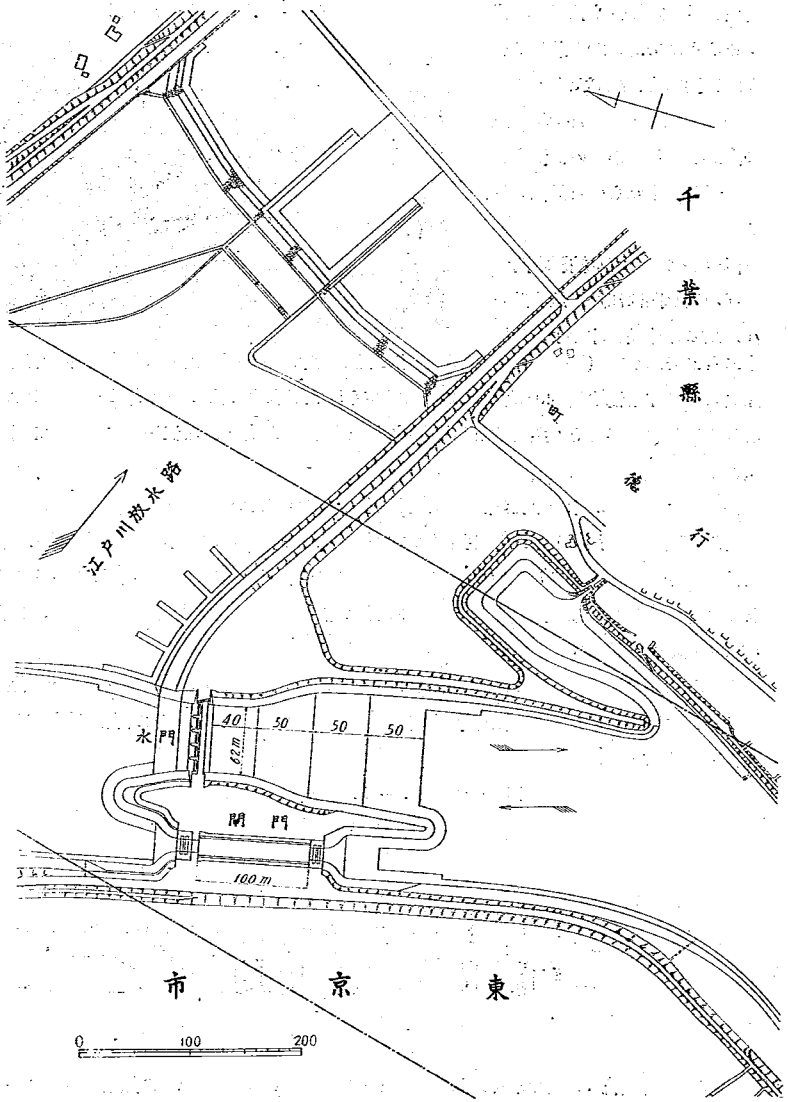
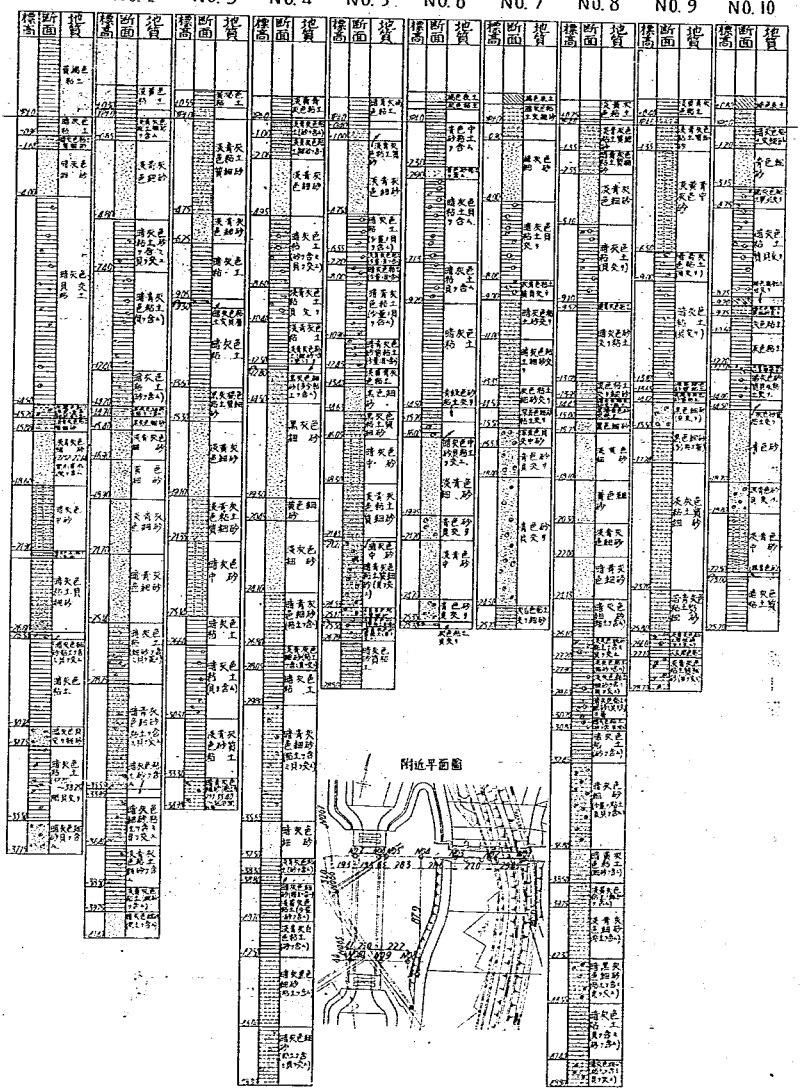


圖 — 33 江戸川水門及閘門附近平面圖（兩鐵線內の部分を模型に取り入れた）

圖 — 35　江 戸 川 水 門 及 閘 門 地 質 圖



圖一36 江戸川水門床固及沈床

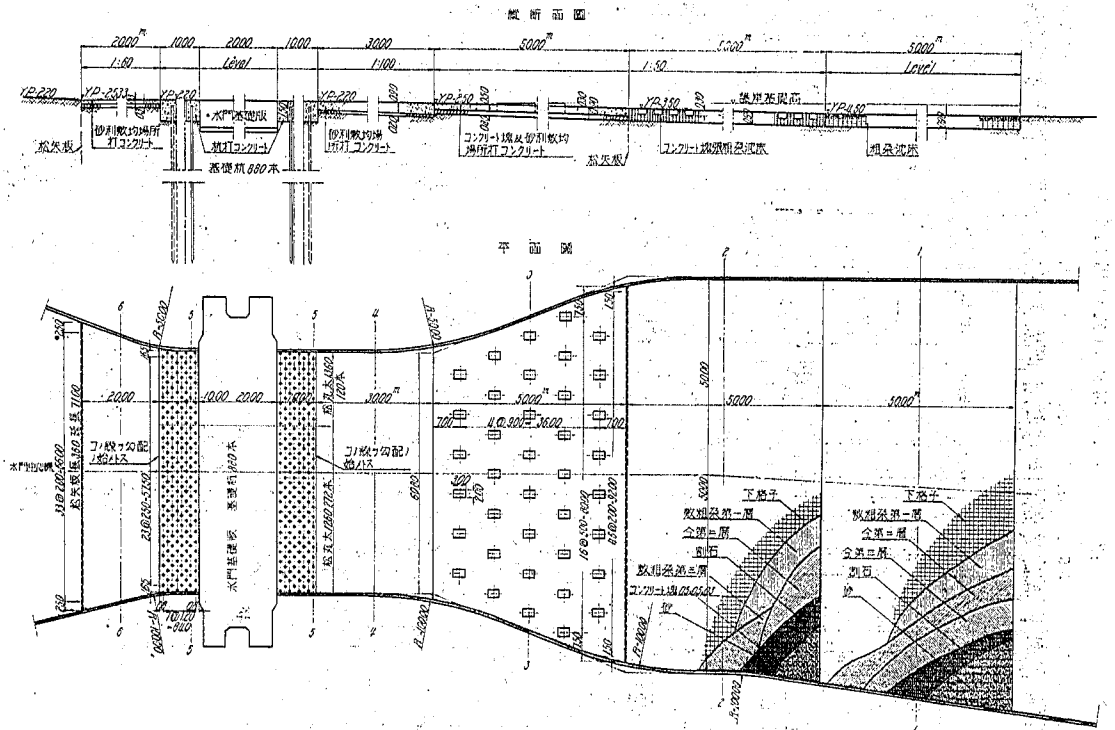
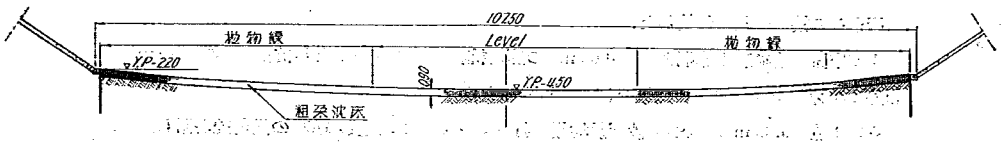
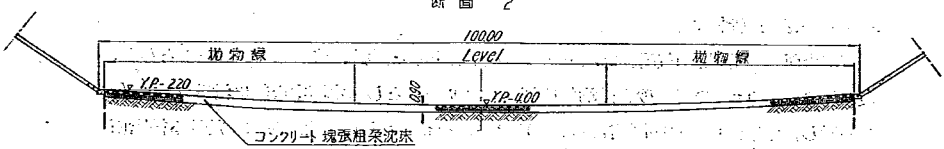


圖 — 37　水 門 上 下 流 横 斷 面 圖

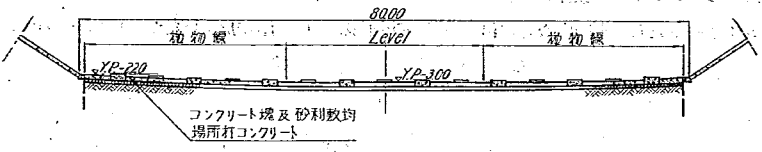
断 面 1



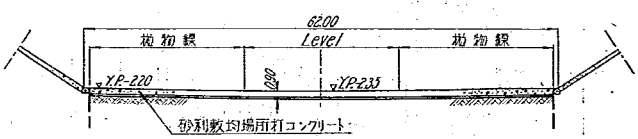
断 面 2



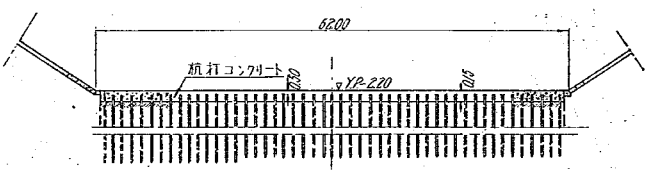
断 面 3



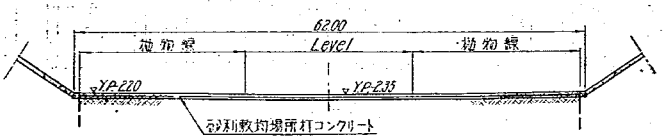
断 面 4



断 面 5



断 面 6



基礎版を載せその閘高を Y.P.−2.20 m とした．鉄筋は徑 32 mm のものを 15 cm 間隔に置きその接手は凡て熔接した．

上流床固　基礎版上流端より 10.00 m の間を杭打コンクリートとし杭は 8 列 1.20 m 間隔 200本，コンクリートの厚さは 1.50 m である．

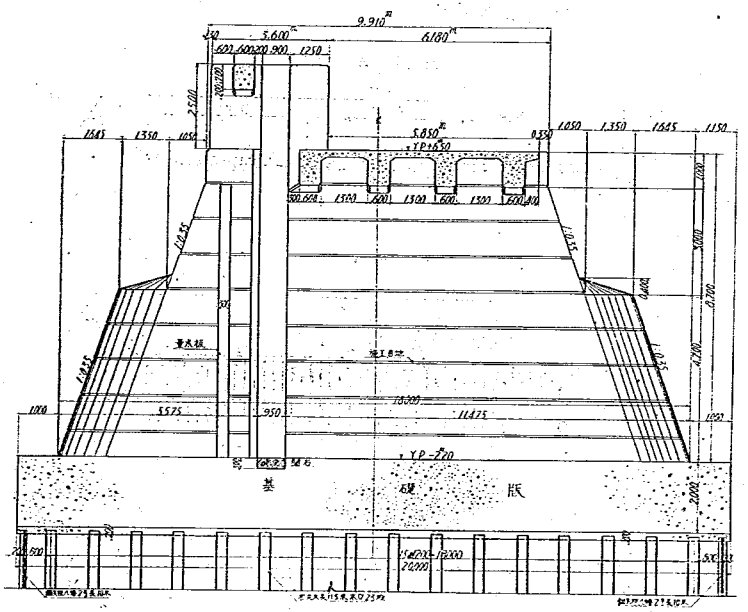
更に上流 20.00 m に亘つて砂利敷均場所打コンクリートを施し 1/60 の逆勾配を附し上流端は長さ 3.60 m の松矢板を以て止めた．砂利層の厚さ 0.30 m，コンクリートの厚さ .030 m である (圖—36)．

下流床固　基礎版下流端より 10.00 m の間を上流と同様に杭打コンクリートとした．更に下流 30.00 m の間は砂利敷均場所打コンクリートとし，水門中心線に沿ひ1/100の勾配を附し，兩岸法尻は水門閘高と同高 (Y.P.−2.20 m) とした．斷面 4−4に於ける横斷面は圖—37 に示す如くである．砂利層の厚さ 0.20 m，コンクリートの厚さ 0.90 m である．

以上のコンクリート張床固に続く 50.00 m の區間は砂利敷均コンクリート塊及び場所打コンクリートとし，水門中心線に沿ひ 1/50 の勾配を附し兩岸法尻は同様に Y.P.−2.20 m

圖 — 38　堰　　柱

側 面 圖



に保つた．斷面 3－3 に於ける横斷面は圖—37 に示す如くである．敷均砂利層の厚さは 0.40 m，コンクリートの厚さは 0.50 m，コンクリート塊の大きさは 3.00×2.00×0.80 m³ であつてコンクリート張表面以上 0.30 m 突出せしめた．床固下流端は長さ 5.40 m の松矢板を以て止めた（圖—36, 37）．

下流沈床　床固に續く 50.00 m の區間をコンクリート塊張粗朶沈床とし水門中心線に沿ひ同樣に 1/50 の勾配を附した．斷面 2－2 に於ける横斷面は圖—37 に示す如くである．コンクリート塊の大きさは 0.50×0.50×0.30 m³ であつて層の厚さ合計 0.90 m となる．

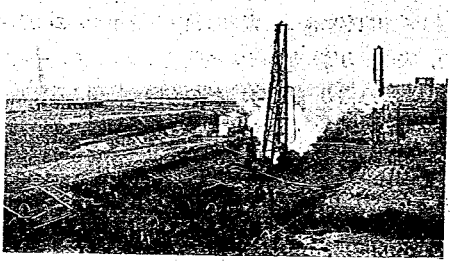
コンクリート塊張粗朶沈床に續く 50.00 m の區間は厚さ 0.90 m の粗朶沈床を施した．此の部分は既に Y. P. －4.50 m であつて江戸川の河床と略ゝ同高となつてゐる爲に縱斷勾配は附してゐない．兩岸法尻は前と同樣に Y. P.－2.20 m であつて，從つて此の區間は圓壔面をなし斷面 1－1を採れば 圖—37 に示す如くである．

以上底部の防護を施せる區間は上下流合計 240 m に達し岩淵水門の 138 m，關宿水門の 68 mに比較して非常に長大である．

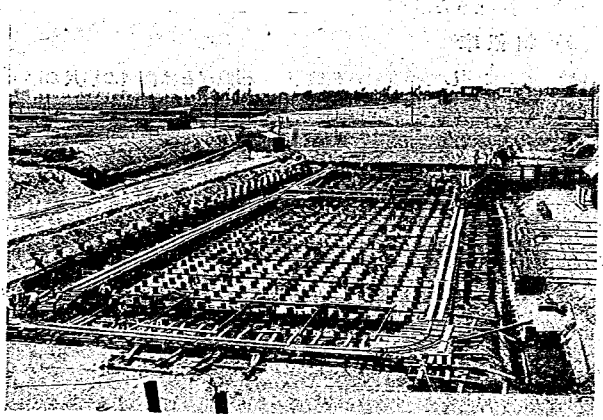
堰柱　圖—38の如くであつて幕壁の無い點が岩淵，關宿兩水門と異なつてゐる．

鋼門扉　ストーニー式式揚扉で 5 個あり，各扉は幅 10.40 m，高

圖—39 基礎版杭打



圖—40 同 上 終 了



さ 5.00 m, 水壓鈑の厚さ 10 mm であつて全重量は約 19 t である. 岩淵水門に於ける 30 t, 關宿水門に於ける 20 t に比較して扉の大きいに拘らず重量は小である.

扉の開閉は各徑間上に据付けた電力捲揚機に依り行ふ.

III. 水理實驗の相似性に關する考察

[1] 序

水を取扱ふに當つて各種の力が考へられる. 地球上に存在する水は凡て重力の作用を受けて居る事は謂ふ迄も無いが, 使用する水量が少くなるに從つて重力の影響は小となり內部摩擦力, 表面張力等の影響が大となる. 之等の諸種の力系は同一に縮尺し得ないと謂ふ事は槪念的にも明らかな事であるが, 又各〻の力に就いて求めた相似率 (縮尺) の相異に依つても明瞭である.

河川港灣關係の水理實驗は殆ど凡て重力に關するものであつて, その實驗結果は重力に關する相似率に依つて實物に換算し適用するのであるが, 模型が小さくなるに從つて摩擦力, 表面張力等に起因する誤差が入つて來る. 一般に水理實驗に於ては水深の渦小になる事を防ぎ摩擦力, 表面張力等の影響を避ける爲に鉛直方向の縮尺を水平方向の縮尺より小さく採つてゐる. 卽ち鉛直方向を水平方向に比較して引き延してゐる.

又本實驗に於て使用する砂は實物を縮尺せるものより遙かに大きく, 水路の粗度等も縮尺されてゐない爲に, 洗掘堆積狀態に關しては相似率に依つて實物に換算する事は不適當である. 從つて此の種の實驗の實物との相似性を相似率のみに依つて假定する事は危險である. 本章に於ては相似率の立場及び相似率を全然離れた槪念的立場の 2 方向より相似性に就き檢討しようと思ふ.

[2] 相似率*

(i) 重力に關して導きたる相似率　相似率とは模型の縮尺の事であるが, 此の縮尺の中には長さの縮尺のみならず一般の力學量 (質量, 時間速度, 加速度, 力, 壓力, 仕事等) の縮尺をも包含するものである.

實驗室の大きさより先づ模型の長さの縮尺 $\left(\frac{1}{n}\right)$ が (III-1) 式の如く決定される. 但し大文字は全て實物に於ける量を示し, 小文字は模型に於ける量を示す. 共に同一單位を以て測つたものである.

更に模型に於ては實物と同じ密度の水, 砂を使用してゐるから密度は不變であると謂ふ條件 (III-2), と重力の加速度は矢張り實物と模型に於て不變であると謂ふ條件 (III-3) とより力學上の凡ての量の縮尺は一義的に決定される. 卽ち

* 北大　大坪助敎授　水路模型實驗の相似率 第 3 回工學大會講演集 (土木關係) 27 頁～36頁參照

$$\frac{l}{L}=\frac{1}{n} \quad \cdots\cdots(\text{III}-1)$$

$$\frac{M}{L^3}=\frac{m}{l^3} \quad \cdots\cdots(\text{III}-2)$$

$$\frac{L}{T^2}=\frac{l}{t^2} \quad \cdots\cdots(\text{III}-3)$$

(2)より　$\frac{m}{M}=\frac{l^3}{L^3}=\frac{1}{n^3}$

(3)より　$\frac{t}{T}=\frac{l^{\frac{1}{2}}}{L^{\frac{1}{2}}}=\frac{1}{n^{\frac{1}{2}}}$

面　積	$\frac{s}{S}=\frac{l^2}{L^2}=\frac{1}{n^2}$
體　積	$\frac{c}{C}=\frac{l^3}{L^3}=\frac{1}{n^3}$
流　速	$\frac{v}{V}=\frac{lt^{-1}}{LT^{-1}}=\frac{1}{n^{\frac{1}{2}}}$
加速度	$\frac{a}{A}=\frac{lt^{-2}}{LT^{-2}}=1$
流　量	$\frac{q}{Q}=\frac{l^3t^{-1}}{L^3T^{-1}}=\frac{1}{n^{\frac{5}{2}}}$
力	$\frac{p}{P}=\frac{mlt^{-2}}{MLT^{-2}}=\frac{1}{n^3}$
壓　力	$\frac{p_i}{P_i}=\frac{ml^{-1}t^{-2}}{ML^{-1}T^{-2}}=\frac{1}{n}$
仕　事	$\frac{w}{W}=\frac{ml^2t^{-2}}{ML^2T^{-2}}=\frac{1}{n^4}$

模型に於て密度の異なる流體，砂等を使用する時は (III－2) 式は成立しない．以上導いた相似率は內部摩擦力等の影響を無視し得る時に適用し得るものであるが，摩擦力の影響を受けてゐる Chégy の流速公式 $V=C\sqrt{RI}$ は C を不變とすれば此の相似率に抵觸しない．

(ii) 內部摩擦力に關して導きたる相似率　內部摩擦力が最も優勢であつて重力，表面張力の影響を無視出來る場合は，實物と模型と同じ流體であるとすれば內部摩擦係數 η は實物及び模型で全一でなければならない．η は次式に依り表はされる．

$$f=-\eta S\frac{dv}{dz}$$

但し　f：內部摩擦力，S：面積，V：流速，Z：流線に垂直に測りたる距離

$=ML^{-1}T^{-1}$] なるを以て η が不變であると謂ふ條件より次式を得る．

$$\frac{M}{LT}=\frac{m}{\eta} \quad \cdots\cdots(\text{III}-4)$$

(III－1), (III－2) 式は此の場合も同様に適用せられるを以て (i) に於けると同様に諸力學量に關して相似率を求むる事が出來る (表—1).

Poiseuille の式 $Q=\frac{\pi p a^4}{8l\eta}$ は此の相似率を適用し得る實例である.

(iii) 表面張力に關して導きたる相似率　表面張力の影響が最も優勢であつて重力, 內部摩擦力等の影響を影無視し得る場合の相似率を求める. 表面張力は次式に依り表はされる.

$$p=H\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R'}\right)$$

p ： 液面に於ける水壓强度

H ： 或る流體の表面張力

R, R' ： 主曲率半徑

從つて $[H]=[HT^{-2}]$ であつて實物と模型と同一流體であるとすれば表面張力は不變なるべきを以て次式を得る.

$$\frac{M}{T^2}=\frac{m}{l^2} \quad \cdots\cdots(\text{III}-5)$$

表—1　各力系に於る相似率

	重力	內部摩擦力	表面張力
質量	$1:n^3$	$1:n^2$	$1:n^2$
時間	$1:n^{\frac{1}{2}}$	$1:n^{\frac{3}{2}}$	$1:n^{\frac{3}{2}}$
流速(速度)	$1:n^{\frac{1}{2}}$	$1:n^{-1}$	$1:n^{-\frac{1}{2}}$
加速度	$1:1$	$1:n^{-3}$	$1:n^{-2}$
流量	$1:n^{\frac{5}{2}}$	$1:n$	$1:n^{\frac{3}{2}}$
力	$1:n^3$	$1:1$	$1:n$
壓力	$1:n$	$1:n^{-2}$	$1:n^{-1}$
仕事	$1:n^4$	$1:n$	$1:n^2$

(III－1), (III－2), (III－5) 式より此の場合の相似率を求むれば表—1 の如くである.

[3] 水平及び鉛直方向の縮尺を異にせる場合の相似率

河川又は港灣工事に關係する模型實驗は殆ど全て重力の影響に着目して實施するものであるが, 水力發電關係を除けば實物に於ける水平方向の尺度は鉛直方向の尺度, 卽ち水深に比して非常に大であるのが通常であつて, 前節 (i) に於るが如く水平及び鉛直方向を同一に縮尺する時は水深が非常に小となり摩擦力及び表面張力の影響を無視する事が出來ず, 水の流動は實物に相似しなくなる. 之は表—1 に表示した各力系に關して導ける相似率の相異より見ても明瞭である.

之等の摩擦力及び表面張力の影響を避ける爲には鉛直方向の縮尺を水平方向の縮尺に比して小さく取る必要を生ずる. 本實驗に於ては水平方向の 1/100 に對して鉛直方向は 1/40 に縮尺してゐる. 卽ち模型に於ては鉛直方向の長さは水平方向の長さに比較して 2.5 倍に引き延されて居る. 此の如く歪められた模型に對して重力に關する相似率を導けば基礎方程式として次の 4 式を得る.

$$\left.\begin{aligned}\frac{l_h}{L_h}&=\frac{1}{n_h}\\ \frac{l_v}{L_v}&=\frac{1}{n_v}\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(\text{III}-6)$$

$$\frac{M}{L_h^2 L_v}=\frac{m}{l_h^2 l_v} \quad \cdots\cdots(\text{III}-7)$$

$$\frac{L_v}{T_v^2}=\frac{l_v}{t_v^2} \quad \cdots\cdots(\text{III}-8)$$

$$\frac{\dfrac{m l_h l_h^{-2}}{l_h l_v}}{\dfrac{M L_h T_h^{-2}}{L_h L_v}}=\frac{\dfrac{m l_h l_v^{-2}}{l_h^2}}{\dfrac{M L_v T_v^{-2}}{L_h^2}} \quad \cdots\cdots(\text{III}-9)$$

式中 $_h$, $_v$ は夫々水平方向，鉛直方向に測れる量である事を示してゐる．(III－6) 式は水平，鉛直方向の長さの縮尺であり，(III－7) 式は密度の不變を表はしてゐる．又 (III－8) 式は重力の加速度 (鉛直方向) が實物及模型に於て不變である事を表はしてゐる．(III－9) 式は模型に於ては鉛直方向が水平方向に對して引き延されてゐるにも拘らず，靜水壓は各方向に對して同一であると謂ふ條件，換言すれば靜水壓が各方向に對して同一に縮尺される爲の條件である．(III－6) 乃至 (III－9) 式より力學上の各量の縮尺は表—2 の如く一義的に決定される．

表 — 2

	水平方向		鉛直方向	
質量	$1:n_h^2 n_v$	1 : 400,000	$1:n_h^2 n_v$	1 : 400,000
時間	$1:n_n n^{-\frac{1}{2}}{}_v$	1 : 15.8	$1:n_v^{\frac{1}{2}}$	1 : 6.3
流速 (速度)	$1:n_v^{\frac{1}{2}}$	1 : 6.3	$1:n_v^{\frac{1}{2}}$	1 : 6.3
加速度	$1:n^{-1}{}_h n_v$	1 : 0.4	$1:n^{-1}{}_h n_v$	1 : 0.4
流量	$1:n_h n_v^{\frac{3}{2}}$	1 : 25,200	$1:n_h^2 n_v^{\frac{1}{2}}$	1 : 63,000
力	$1:n_h n_v^2$	1 : 160,000	$1:n_h^2 n_v$	1 : 400,000
壓力	$1:n_v$	1 : 40	$1:n_v$	1 : 40

表—2 に於て水平方向と鉛直方向とで縮尺の異なつて來る量の生ずる事は，模型を歪めた事に依る當然の歸結であるが，かく模型を歪めなければ實驗を實施出來ない樣な場合は凡て水平方向だけの運動が問題となるのであつて，鉛直方向の量は問題にならず，水平方向のみに着目すれば此の相似率で何等不合理はない．例へば水門の流出狀態を律する Torricelli の法則 $V=C\sqrt{2gH}$，或は長波の傳播速度 $w=\sqrt{gH}$ 等は凡て此の相似率に適合する．但し Chégy の流速公式 $V=C\sqrt{RI}$ は此の相似率と合致しない．卽ち $\frac{i}{I}=\frac{n_h}{n_v}$ であるから C を定數とすれば

$$\frac{v_h}{V_h}=\sqrt{\frac{l_v}{L_v}\frac{i}{I}}=\sqrt{\frac{1}{n_v}\cdot\frac{n_h}{n_v}}=\frac{\sqrt{n_h}}{n_v}\neq\frac{1}{\sqrt{n_v}}$$

流速公式を相似率と合致せしむる爲には更に模型を歪めて勾配を變化せしめ又 C は實際は R の函數であるから C を模型材料に適合する如く鉛直方向の縮尺を定める等の手段が一般に行はれてゐる．

[4] 相似率を適用し得ざる量

(i) 氣壓　本章 [2] (i) に依れば重力の場に於て $\frac{1}{n}$ の模型に於ては壓力は $\frac{1}{n}$

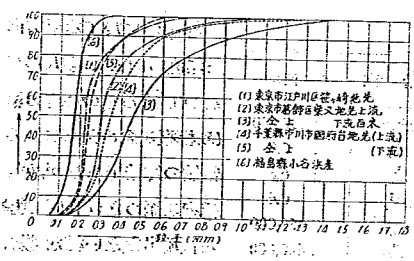
に縮尺されなければならない．從つて氣壓も $\frac{1}{n}$ に縮尺されなければならないが，之れは一般に不可能である．大氣の壓力を A，靜水壓を Z（水面より鉛直下方に測る），動水壓を P を以て表はせば實物に於ける全水壓 $A+Z+P$ は模型に於ては $A+\frac{Z+P}{n}$ となり Z を負ならしむれば $A+\frac{Z+P}{n}>0$ にして $A+Z+P<0$ なる場合を生ずる．即ち Siphon に就て考へれば模型に於ては作用するも，實物に於ては頂上附近は眞空となつて作用し得ない場合に相當する．此の様な場合には相似率は適合し得ない．然しながら水門の流出狀態等水位差のみに關係する場合には氣壓の影響は問題とならない．

(ii) 流砂力　流砂力に關しては次式が一般に用ひられてゐる．

$$d=KHI=K'v^2$$

d：砂の平均粒徑，H：水深，I：勾配，v：流速，K,K'：係數

圖—41　江戸川砂及實驗用小名濱砂篩分曲線



故に K' が常數であるとすれば模型に於ては d は 1/40～1/100 に縮尺しなければならない．江戸川河水統制水門附近に於ける砂の篩分曲線は圖—41 (1)～(5) に示す通りであつて，その平均粒徑は 0.3 mm 程度である．之を縮尺する時は粒徑は 0.01 mm 以下となり，此の如き微粒を多量求める事は非常に困難であり，又求め得たとするも內部摩擦力等に依りその流動性は實物とは遙かに異なつて來る事は容易に想像し得る．從つて本實驗に於ては砂の粒徑に關しては相似率を無視し現場に於ける砂よりは小なるもの乍然も大量に得られるものとして福島縣小名濱に産する砂を使用する事とした．その篩分曲線は圖—41 (6) の如くである．

(iii) 流砂量　流砂量に關しては A. Schoklitsch 等の實測に基づく公式があるが，之は一樣な勾配及び斷面を有する河川に就き適用されるものであつて，分流點附近に存在する水門等に就ては到底適用し得ない．又關宿水門上下流深淺測量圖（圖—29, 30, 31）より見るも，江戸川には相等の流砂量があるものと推定されるが，その量は短時日には到底實測し得ず尙砂の採取量に就ても不明である爲本實驗に於ては流砂量に關する相似率は之を考究せず，水門の上流に給砂裝置を設けて流砂量を任意に變化せしめ得る如くし，流砂量の增減に依る洗掘狀態の變化を知るに止めた．近年砂の採取に伴ひ河底の低下せる事實より考へ，江戸川水門を通過する洪水時の流砂量は小量であると推定される．

(iv)　粗度　實際の水門に於る流出狀態に對して粗度が如何なる影響を及ぼしてゐるかに關しては，量的には何等求め得ないので粗度の縮尺は導き得ない．從つて模型に於てはなるべく表面を滑らかにし，實際の水門に於ける流出係數に接近せしむる樣に努めた．

(v)　水中に於ける息角　實際の水門下流に於ては河底を構成する物質の息角に應ずる傾斜面を成すに到る迄洗掘され得る筈であるが，模型に於ては鉛直方向が引き延されてゐる爲に此の傾斜面は息角以上の傾斜に相應し實現し得ない．此の點より見るも洗掘量の換算は不可能なる事が解る．

(vi)　砂漣　實驗記錄寫眞に見る如く模型に於ては砂漣を生じてゐる．實際の水門下流に於ては水深數米に達し河底に砂漣を生じて居るや否やに就ては通常の深淺測量を以てしては之を明らかにし得ないが，流砂力に關して相似率が破棄されてゐる事よりしても模型と實物に於て相似してゐないものと推定される．

凡て砂を使用して行ふ水理實驗に於ては，此の不愉快な砂漣の發生に惱まされてゐるが，本實驗に於ては此の大きさ及び方向より洗掘力及び其の作用する方向を看取する事が出來る．

[5] 相似性

流速或は流量の如き量に對してのみ實驗を行ふ際は，相似率に賴つて實驗の結果を實際のものに擴張する事が出來るが，洗掘推積の如き問題となると流砂力，流砂量等に關する式は理論的根據薄弱で，前節に於て述べた如く本實驗に於てはその相似率を無視してゐる．從つて實驗結果を實際のものに關係づける爲には，相似率以外の他の手段を必要とするその手段としては，(i) 實際の狀態が模型に於て如何なる程度に再現せしめられるか，(ii) 縮尺の異なる 2 種以上の模型實驗を實施して共通せる傾向性質を抽出することの 2 つが考へられる．

(i)　實際の狀態が模型に於て如何なる程度に再現せしめられるか　實物に於ける最も顯著な現象であつて然も工事に大なる影響を及ぼすもの，例へば渦の位置，大きさ；波の方向，周期，大きさ；洗掘，推積の位置，大きさ；等が模型に於て正しく再現せしめ得たならば實物を支配する自然の力を完全に把握し得た事になり，その實驗の結果は實際の場合に適用し得る事が解る．此の事は然しながら一般に容易な事ではなく，實際と模型とでは狀態に多少の誤差を生ずる．此の誤差から，その模型實驗の精度，卽ち實驗結果の適用性を判斷する事が出來る．

此の一例として Osborne Reynolds が Liverpool 附近の Mersey 河の河口に就き行つた實驗を擧げる．$n_h=\frac{1}{31,800}$, $n_v=\frac{1}{960}$; $n_h=\frac{1}{10,600}$, $n_v=\frac{1}{396}$; の 2 種の模型を造

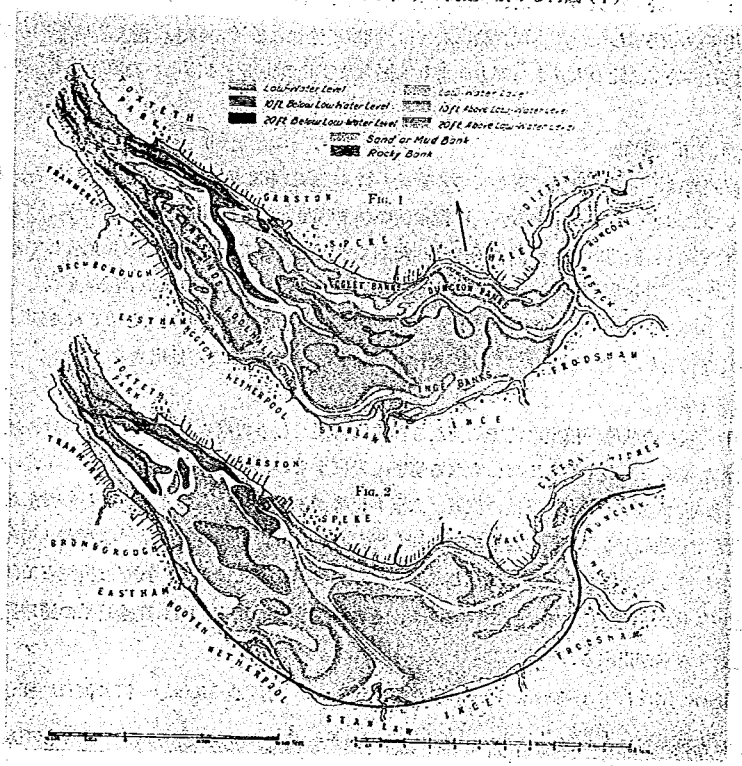
り潮汐の影響に就き實驗を行つたもので，時間の縮尺は水平方向のものを採り表—2 より小型 $\frac{\sqrt{\eta_v}}{\eta_h}=\frac{1}{1026}$；大型 $\frac{1}{533}$，となる．從つて模型に於ける潮汐の周期は

11 時間 18 分 20 秒 (40700 秒)$\times\frac{1}{1026}\fallingdotseq 40$ 秒

〃　　$\times\frac{1}{533}\fallingdotseq 80$ 秒　　となる．

最初河口の輪廓を作り砂を平らに置き 2,000 回 及至 6,000 回潮を送ると實際の河口と似たものが得られた．色々の周期のものを實施して相似率より得られた 40 秒，80 秒と云ふ周期の時最も實際に近い狀態を得たと報告されてゐる．圖—42 は小型の模型に於て得られた河口 (下) と實際の河口 (上) とを比較したものである．細部は相等異なつてゐる

圖 — 42　Mersey 河口河底 (上) と模型に於ける河底 (下)

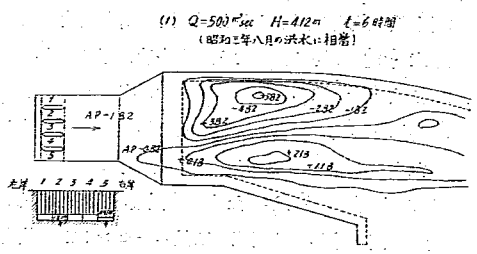


が大體に於て，實際の狀態が良く模型に於て再現されてゐるものと見做される．此の如く模型と實物の關係を求めて置くならば導流堤等の工事を施せる後の河床の變化等は模型實驗に依り信賴し得る結論を求め得る．

本試驗所松尾技師の擔當された利根川河口の實驗に於ては砂洲の移動に就て實際と模型と大體良く一致すると謂ふ結果を得られた.*此れも模型と實際とを連絡せしむる手懸りの一つと見る事が出來る．

江戸川河水統制水門の實驗に關しては曾て本試驗所に於て實施せる岩淵水門に關する水理實驗* に於る精度よりその精度を推定し得る．同實驗は縮尺水平方向，鉛直方向夫々 $\frac{1}{80}$, $\frac{1}{40}$ であつて江戸川水門實驗に於る $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{40}$ と略〻同樣であるから實驗の精度も略〻同樣であると認められる．岩淵水門實驗は昭和 3 年 8 月初旬の洪水 (圖—6) に就き行つたもので其の模型に於る下流洗掘狀態は圖—43 に示す如くである．此れを昭和 4 年 8 月に於る深淺測量圖 (圖—10) と比較すれば左岸寄りの最も著しく洗掘を受けたる箇所は略〻類似せる狀態を示し深さも大體一致してゐる．模型に於て右岸寄りに非常に多量の沈澱を生じたのは理論上必要なる程度の細砂を得ることが出來ず此の箇所に於る流速が實驗に使用せる砂を動かし得る限界速度以下である事に起因するものと考へられる．洗掘箇所が左岸寄りにあると謂ふ事は，扉を降ろした場合右岸寄りの通船路の開扉量が，他の 4 門の開扉量の半量である爲に流心が左岸に偏せる結果であつて，右岸寄りに生ずる大きな渦と共に實際の水門に良く類似せる點である．

圖 —43　岩淵水門模型實驗に於る下流洗掘狀態



關宿水門及び閘門は江戸川水門及び閘門と同樣の構造であるが洪水時には高水路より大部分の流量が流入する爲水門の上下流に於て水位差僅少であり洗掘に關する參考とはならない．

閘門下流に於る顯著な砂洲 (圖—32) が模型に於て再現し得るかに關しては本模型を多少改造し關宿水門に模して實驗を行つたのであるが砂の浮游性が實際と模型に於て甚だしく異なる爲に滿足な實驗結果は得られなかつた．

(ii)　縮尺の異なる 2 種以上の模型實驗を實施して，其の共通せる傾向，性質を抽出する

* 松尾春雄　利根川河口砂洲の消長に就て　土木學會誌第 23 卷第 1 號

* 岩淵水門に關する水理試驗　內務省土木試驗報告第 20 號

こと　縮尺を異にする2種以上の模型實驗に於て共通せる傾向，性質は實際の場合に於ても存在してゐる筈であると謂ふ考へより出發する事が出來る．現場に於る資料が不足であつて模型と實物とを關係づける手段の無い場合は此の方法に賴らなければならない．

本試驗所に於て實施せる浦戸港に關する實驗*(1) 及び大阪灣に關する實驗*(2) に於ては夫〻縮尺を異にせる2種及び3種の模型に就き實驗を行つた．又利根川河口の模型實驗*(3) に於ても2種の模型を作製し猶現地に於て大潮干潮時及び洪水時に流速の實測を行つた．

本實驗に於ては水平方向 $\frac{1}{50}$ 鉛直方向 $\frac{1}{50}$〜$\frac{1}{25}$ の大型模型に依り實驗を行ひ縮尺の變化に依る影響，及び水平方向に對し鉛直方向を引き伸した事に依る影響を研究する豫定である．

［6］ **本實驗に於る前提**

(i) 比較實驗　本實驗は各種の條件を變化せしむる時洗掘狀態が如何に變化して來るかに就て研究せるものであつて，洗掘が如何なる程度に進行すれば沈床，床固が崩壞し遂に水門本體が危險に瀕するかと謂ふ問題は本實驗の範圍外である．

又本章［4］に於て說明せる如く流砂力等に關しては相似率を全然破棄せる爲洗掘量に就ては此れを換算して實物に適用する事は出來ない．卽ち實驗結果は總て洗掘狀態をY.P. 基準とし實物に於るが如く換算して表はして居るが此れは洗掘狀態を比較する便宜上行つたものであつて，835 m³/sec (模型に於る 33 l/sec) 程度の流量を 32 時間 (模型に於る 2 時間) 流出せしめた時の洗掘量を意味するものではない．

流量，流速に關しては相似率は數パーセントの誤差內で適合するものであつて，流速分布に就ても略〻同樣に適合するものと思はれる．岩淵水門の下流右岸寄りに生ずる渦の位置及び大きさは岩淵水門の實驗に於る場合（圖—43）と良く相似してゐる．

洗掘狀態は主として流速の分布狀態に依るものであるが流量が一定なる時洗掘力の大小は流速分布の强弱の度合に比例する．從つて流速分布が實物と模型に於て相似であるならば條件を異にする場合の模型に於ける洗掘狀態の比較は實際の場合の比較にも適用し得る筈である．

本實驗に於ては此の意味に於て比較實驗を行つた．鉛直方向が水平方向に對して引き伸されて居る爲に流速分布狀態が如何なる程度に影響を受けてゐるかに就て更に實驗を續行する豫定である．

---

*(1) 浦戸港々口の潮流に關する試驗（第1報） 內務省土木試驗所報告第 31 號
浦戸港々口の潮流に關する試驗（第2報） 內務省土木試驗所報告第 35 號

*(2) 大阪港附近の津波の災害輕減に關する模型試驗　內務省土木試驗所報告第 36 號

*(3) 內務省土木試驗所報告第 41 號發表豫定

(ii) 洪水波及び河底の形狀　實際の洪水に於ては洪水波の波形及び下流の水位に依り流出量は時々刻々變化してゐる事は岩淵水門に於る實例 圖—6, 圖—21 より明らかである．模型に於ては上下流の水位を常に一定に保ち從つて流出量も變化せしめず然も 2 時間を以て急に通水を停止したのであるが，總て此の様な流出狀態で比較實驗を行ひ洗掘され易き場合は實際の水門に於ても如何なる波形の洪水波が襲來し亦下流の水位が如何に變化するも矢張り洗掘され易いものと見做して差支へ無いと思ふ．

模型に於る河底は竣工直後の形狀とした．平水時に於ては河底は大なる變化を來さないから竣工後最初の洪水に於ては此の狀態より洗掘されるものと見做して良い．洪水の回數を重ねる毎に實際の河底の形狀は次第に變化して來るが，模型に於ては洪水の波形に對すると同様の考へより通水前の河床の形狀は一定として比較實驗を行つた．

(iii) 水叩　岩淵水門に於て沈床は多少沈下したがコンクリート塊張以上の箇所は全然損傷してゐない．從つて模型に於てはコンクリート塊張粗朶沈床迄をモルタルを以て固め，粗朶沈床 50 m に相等する部分のみが沈下し得る如く莢篦張りとし裏に鉛を附した．

IV. 實 驗 裝 置

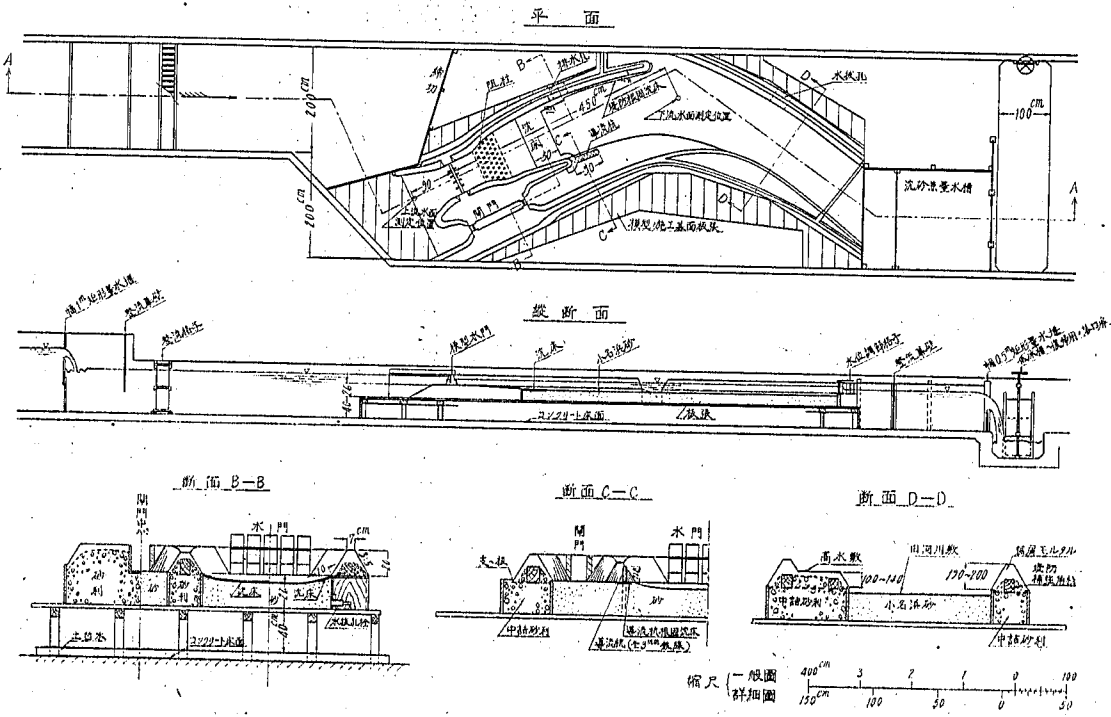
[1] 模型の製作

本實驗の模型は當所赤羽分所屋内 4 m 工法試驗樋* 内に設け縮尺は場所の關係より水平 1/100 とし，砂を動かし得る流速を得る爲に鉛直 1/40 とした．現地の形狀に從ひ成るべく廣範圍を試驗樋中に取入れる様に努め圖—33 鎖線に示せる範圍を樋中に收めた．水門上流は現地とは異なるが此れに對しては次章に述べる如く流速分布を實測して此の裝置で差支へなき事を實證した．

模型は圖—44 に示す如く下流部に沈砂池兼量水槽を設ける事其の他の關係で試驗樋のコンクリート床面上約 40 cm に模型の全範圍に亘る水平板張りを行ひマキハダ及びパテにて水止めし之を施工基面として製作した．水門閘高並に堤防法尻線の $Y.P.-2.2$ m を前記基面上 26 cm に取り此の間に洗掘實驗用小名濱砂を充たした．現地の兩堤防は表法 2 割で護岸部は 1.5 割であるが，模型に於ては便宜上之を全部 2 割法と見做し從つて縮尺の關係で模型では法勾配は 0.6 割となる．水門模型は鉋仕上木造で圖—45 の如き形狀寸法とし堤防はセメント 1，砂 2，鋸屑 3 の割合で混合せる特殊モルタルを以て製作した．此のモルタルは最初種々の配合で試作せる供試體に付き比較の上選定せるものであつて上記の配合に依れば硬化後釘或は木螺子等の打込み自在で模型に阻柱其の他の附屬物を取付けるに容易であるばかりでなく模型各部の型狀を改造する際削り取り簡單であつて而も圖—44

* 土木試驗所彙報第 2 號，III 同附圖第 3

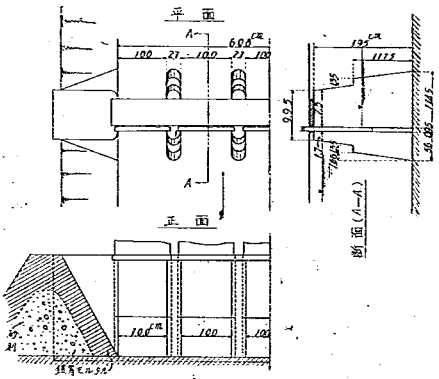
圖－44　模型平面，縱斷面及び橫斷面圖



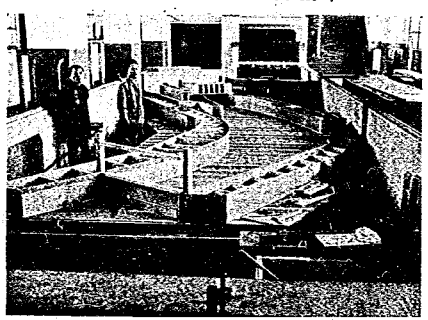
中の横斷に示す如き寸法で模型堤防の天端上を實驗者が踏み歩く事にも充分耐える强度を有してゐる．只表面が甚だ粗であつて又水密性充分ならざる爲，川表法及び天端はセメント1，砂 1 のモルタルを約 2 mm の厚さに塗り，更に寫眞撮影の關係より眞色に着色したセメントペーストを堤防全體に刷毛を以て塗布して仕上けた．

其他阻柱は幅 2 cm 長さ 3 cm 高さ 0.75 cm 木製のものを木螺子で底面に取付け導流杭は徑約 3 mm の鐵線を以て作成した．

圖—45　模型水門平面及び斷面圖



圖—46　製作中の模型



[2]　給水及び量水設備

本模型を裝置せる工法試驗樋は 30 馬力電動機に直結された渦卷ポンプを動力とする實驗用水巡環路中にあり 圖—44 に示す模型末端の水は低水槽，ポンプ，高水槽及び樋頭水槽を徑て再び模型の上流に巡環する．

流量の測定は樋頭水槽に設備してある幅 1 m の矩形鋭緣量水堰及び模型末端の沈砂槽に設けた幅 50 cm の同様量水堰に依つて行つた．量水堰の溢流深と流量との關係は豫め實測して關係曲線を作成してある．流量の調節は高水槽と樋頭水槽間のバルブに依りポンプの能力の範圍内で任意の流量を流下する事が出來る．水面測定器は上下流量水堰の溢流深を測定する爲に 2 個水門上下流の水位を測定する爲に 2 個合計 4 個を使用した．

[3]　實驗用砂及びその供給裝置

模型河床を形成する砂，及び洪水時上流より水の運搬する土砂に相當する様模型水門上流より落下せしむる砂は，福島縣小名濱海岸のものを用ひ，其の篩分成績は表—3 に示す如くであつて，粒子は略ゝ均一であり，殆ど 99 %迄が 0.3 mm 以下である．

實際使用に際しては多少の夾雜物を混ぜる爲 28 番篩で之を除き使用した．河床に敷均

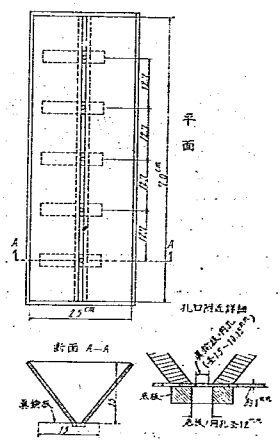
表－3　小名浜砂試験成績表

一般性状

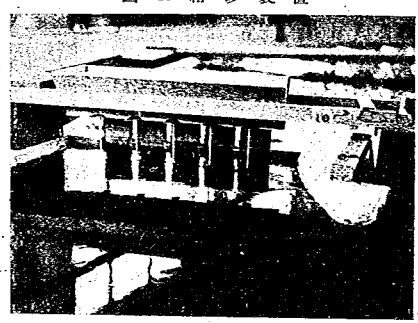
灰白色を帯びたる細粒砂にして主として石英より成り，長石，硅岩，雲母等を混ず．一般に稜角に富み堅硬質なり．

試験項目		條件		試験成績	摘要
比重				2.70	輕裝單位重量 (kg/m³) 1330
單位重量 (kg/m³)				1504	輕裝空隙率 (%) 50.7
空隙率 (%)				44.3	
粘土及泥 (%)				0.4	
	篩通過　篩止	mm以下	mm以上	%	
篩分	4番　8番	4.699	2.362	0.03	
	8番　14番	2.362	1.168	0.01	
	14番　28番	1.168	0.589	0.04	
	28番　48番	0.589	0.295	0.87	
	48番　100番	0.295	0.147	93.30	
	100番　200番	0.147	0.074	5.68	
	200番	0.074		0.06	
	合計			99.99	

圖—47　給砂裝置



圖—48　給砂裝置



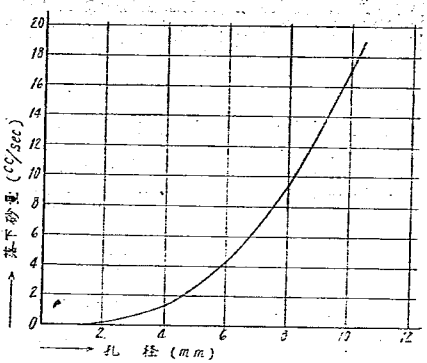
す砂は含水狀態で所期の形狀を作成し，上流より落下せしむる砂は完全に乾燥せしめ圖—47 及び圖—48 に示す如き裝置にて孔口より流下せしめた．同圖に於て底の5組の眞鍮板には各々種々なる徑の孔を穿ち，板を揺動して孔の位置を替え流下砂量を調節する事が

出來る．又 5 組の孔口位置は模型水門の各徑間中央に對應せしめた．

孔口より落下する砂の量は液體の場合と異なり水頭の影響なく孔口上の砂深が孔徑の約 1.5 乃至 2.0 倍以上であれば一定である．從つて函内の砂の補給が不規則であつても良く均一に砂を落下せしむる事が出來る．孔徑と落下砂量との關係は實測の結果圖—49 に示す如くであるが實驗に際しては塵芥等が孔口につかへ落下砂量に影響する事がある爲圖—5 の曲線で落下砂量を豫定し孔徑を定むると共に一定の實驗時間内の合計供給量を測りこを平均したものを實際の流砂量とした．

［4］ 實驗及び記錄方法

圖 — 49



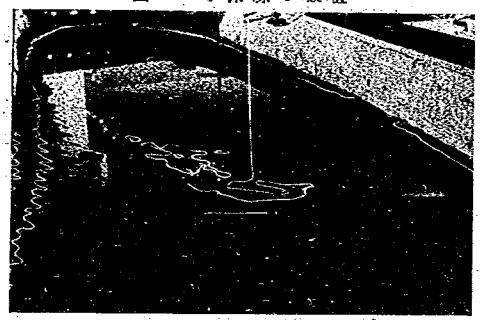
計畫洪水時に於て實際の水門の流出量は 835 m³/sec と豫定され，之れを前章表—2 の縮尺に從ひ模型に於る流量に換算すれば水平方向の縮尺を採り，$835\ \mathrm{m^3/sec} \times \frac{1}{25{,}260} \fallingdotseq 33\ \mathrm{l/sec}$ を得る．然しながら實物と模型に於ては流出係數を異にし，又計畫に於ては流出係數を常に一定と見做すが，流出狀態の變化に從つて實際は變化するものである爲，水門上下流の水位及び扉の開高を模型に於て其の縮尺に應ずる樣に保つ時，其の場合の流量は縮尺通りとならない場合を生ずる．

本實驗に於ては上下流の水位及び扉の開高を縮尺に應ずる樣に保ち，此の狀態で流れ得る流量を實驗的に探し求むる事とし，之が爲に圖—44 A 及び B の位置に 0.1 mm 讀みの水面測定器を，A は上流水面，B は下流水面に對し前記關係を指示する樣に据付け通水し，水位調節格子に依り下流水面を B の指示する高さに合せつゝ上流水面が A の指示する高さに一致せしむる樣供給量を調節した．一度此の流量を探し求めて置けば次回からは常に此の流量を先づ流し，下流水位を既定水位に保てば上流水位は自然既定水位に一致し操作簡單である．

模型に通水を開始する時は初めに水深の淺い流れの爲に原型の崩されるのを防ぐ爲，先づ河底を所望の形に均した後模型末端に假締切を施しポンプ或は水道にて除々に水を湛へ，然る後上流より既定流量を與へると共に締切を撤去し調節格子を以て水位を調節した．

通水時間は大體 2 時間とし特に時間の影響を實驗する場合は 4，6，8，10 時間等とした．通水を停止する場合は給水を停止すると同時に模型下流及び水門扉を締切りバテを以

圖—50 等深線の設置

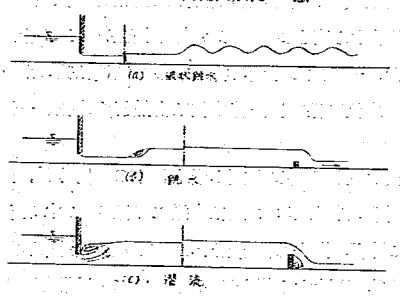


て水止めを行ひ，模型全部に湛水せしめ後除々に排水しつゝ水面測定器にて水位を測定し，一定水位置（*Y.P.* 基準 0.50 m 即ち模型に於ては 1.25 cm）を減ずる毎に排水を中斷して水面上に露出せる川底の水際線に柔軟なる白絲を置き（圖—50）等高線となし，之に其の高さを表示すべき數字板を配して上方より寫眞に撮り記錄した．寫眞器据付高は實驗室の構造に依り限定され，模型河底より約 4.30 m であつて廣角レンズを使用するも其の視野は尙模型全部に亘らず，止むを得ず同高の 2 ケ所にて撮影し繼ぎ合はす事とした．又流向寫眞は約 1 cm 角の紙片を水面に撒布し前記同樣の位置にて撮影し，此の露出は何れも 1/2 秒に一定した．

V. 實　　驗

引揚式扉に依る水門に於て下流河底の洗掘に影響する要素は種々考へられるが，最も大なる影響を及ぼすものは，上下流の水位と扉の開高，即ち流出量に基くものである．次に考へられる要素は一般の水門，洗堰等に普通行はれてゐる如く，下游の河幅及び水深の增大に基く影響である．更に床固の長短，導流堤，導流杭の長短，阻柱流砂量等，何れも洗掘に相當の影響を與へる．本章に於ては之等の各要素に就き實驗の結果を報告し，之に對する解釋を附記する．

圖—51 水門流出狀況 3 態



[1] 上下流の水位並に扉の開高の洗掘狀態に及ぼす影響

(i) 水門流出狀況 3 態　堰上げられた水が扉を潛つて流出される場合下流に背水現象を起すべき何等の障碍の無い場合は圖—51 (a) の如く一般に波狀跳水或は停止波を生じ*，下流が海面或は障碍の爲に適當な水深に保たれる場合は (b) の如く射流部を生じ，跳水現象を惹起し

* 停止波に就て　內務省土木試驗所報告第 33 號參照

更に下流水深を增加すれば (c) の如く潛流し，表面渦の後端は扉に接し流出される．水分子の經路は支離滅裂となり水褥の完全に作用してゐる狀態となる．

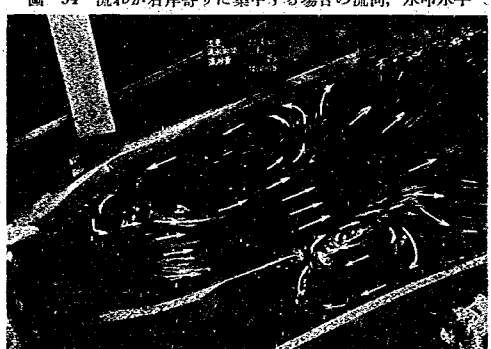
下流河底洗掘上より見れば，波狀跳水の場合が最も洗掘力强大であつて，實例としては水門とは型式を異にするが毛馬洗堰がある．圖—52 に見る如く下游に於て明瞭な波狀跳水を行つてゐるが，僅か 111 m³/sec 程度の流量であるが常時流出されてゐる爲に洗掘作用は相當强烈である．

射流部を生じ跳水する場合は，縱斷面圖に就て見れば跳水後は平均流速を激減し潛流する場合と大差なき如く見えるが，平面的に之を見れば圖—53, 54 の如く下游の一側に大なる渦を生じ，流れは反對側に集中し洗掘も又圖—55, 56 に見る如く甚だしい．流心が左岸に寄るか右岸に寄るかは最初の些細な條件に依るものであつて，一度何れかの側に寄れば安定な流れとなり，その安定度は略，同等なるものと認められた．

圖—52　毛馬洗堰下游波狀跳水狀況

圖—53　流れが左岸寄りに集中する場合の流向，水叩水平

圖—54　流れが右岸寄りに集中する場合の流向，水叩水平



潛流の場合は圖—57 に見る如く，流心は一方に偏する事なく渦も弱く又不安定である．

從つて洗掘作用は跳水する場合に比較して遙かに弱く洗掘狀態は圖—58 の如くである．但し 圖—53～56 は圖—59 (a) の如き狀態に於て，又圖—57，58 は圖—59 (b) の如き狀態に於て通水せるものである．通水時間は兩者同一で，流量は後者が多く流砂量は後者には無い．

江戸川水門はその閘高は *T.P.*－2.20 m，東京灣中等潮位より下る事 3.04 m である爲，扉を極端に開放しない限り下流に波狀跳水を來す恐れはない．然し岩淵水門（閘高 *A.P.*－1.82；東京灣中等潮位－2.95 m）に比較して水位差小であつて而も同量の水を流出せしむる爲に開高を增大しなければならない關係上，上下流の水位並に扉の開高に依つては射流部を生じ跳水する場合の起る可能性がある．前述の如く射流と潛流に於ては洗掘上非常な差異がある爲に，縮尺を異にせる模型に就て其の限界點を求めた．

(ii) 跳水理論　流體は壓縮し得ざるものとし水平なる摩擦無き矩型水路に於て圖—60 の如く跳水したものとする．但し $d_1 < \frac{v_1^2}{g}$ 即ち d_1 は限界水深より小で射流水深でなければならない．

圖—55　流れが左岸寄りに集中する場合の洗掘狀態，流出狀態　圖—59 (a)，水叩水平

圖—56　流れが右岸寄りに集中する場合の洗掘狀態，流出狀態　圖—59 (a)，水叩水平

圖—60 斷面②，③に於ける平均流速，單位幅當りの水壓を夫々 v, P; $v+\Delta v$, $P+\Delta P$ とし水分子が斷面②より斷面③に達するに要する時間を Δt とすれば Newton の第 2 法則より

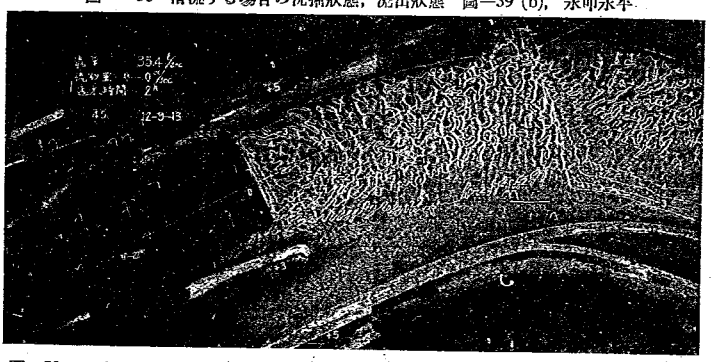
$$wq\,\Delta t\frac{\Delta v}{\Delta t}=-\Delta P \quad \cdots(\text{V}-1)$$

w, q は夫々流體の密度及び單位幅當りの流量であつて上式に於て質量としては Δt 時間に斷面を通過する水量を考ふべきである．

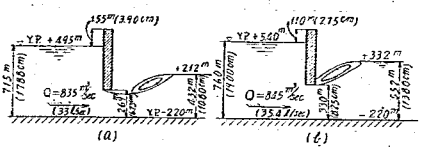
圖—57 潜流する場合の流向 水叩水平

從つて (V−1) 式を斷面①より斷面④まで積分すれば

圖 — 58 潜流する場合の洗掘狀態，流出狀態 圖—59 (b)，水叩水平



圖—59 江戸川水門上下流水位及び扉の開高 ( )內は模型に於ける量を示す



$$\frac{wq}{g}(v_2-v_1)=P_1-P_2 \quad \cdots\cdots(\text{V}-2)$$

然るに　$q=v_1H_1=v_2H_2$,

$$P_1=\frac{wH_1^2}{2},$$

$$P_2=\frac{wH_2^2}{2}.$$

なるを以て之等の値を (V−2) 式に代入して次式を得る．

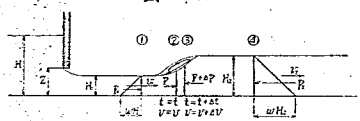
$$\frac{2q^2}{g}=(H_1+H_2)H_1H_2 \quad \cdots\cdots(\text{V}-3)$$

或は $$\frac{H_2}{H_1}=\frac{1}{2}(\sqrt{1+8\lambda}-1) \quad \cdots\cdots(\text{V}-4)$$

但し　$\lambda=\dfrac{q^2}{gH_1}$

卽ち q 及び H_1 を與へらるれば跳水後の水深を算出する事が出來る．此の關係式は完全跳水の場合に適合するものであつて波狀跳水の場合には適合しない．

圖 — 60



(iii)　跳水理論の適用　　實際の水門に於ては上下流水深 H_1 H_2 及び扉の開高 Z を以て (V−3), (V−4) 式を表はした方が便利である．q, H_1 を夫々 H, H_2, Z で表はせば

$$q=C_1Z\sqrt{2g(H-H_2)} \quad \cdots\cdots(V-5)$$

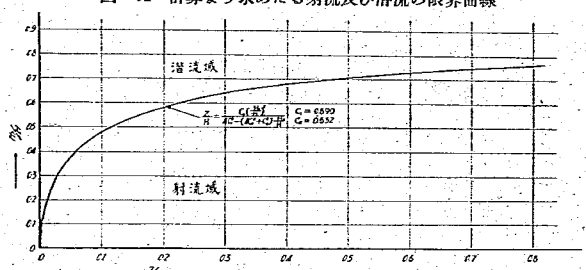
$$H_1=C_2Z \quad \cdots\cdots(V-6)$$

實驗に於ては潛流に近き射流狀態に於て $\dfrac{Z}{H}$ が 0.2～0.4 の範圍の時 $C_1=0.82$～0.96；$C_2=0.624$～0.640 の程度である．

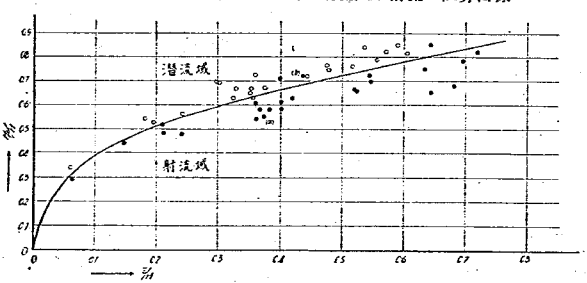
(V−5), (V−6) の兩式を (V−3) 式に代入すれば

$$\frac{Z}{H}=\frac{C_2\left(\dfrac{H_2}{H}\right)^2}{4C_1^2-(4C_1^2+C_2^2)\dfrac{H_2}{H}} \quad \cdots\cdots(V-7)$$

圖—61　計算より求めたる射流及び潛流の限界曲線



圖—62　江戸川水門模型に於る射流及び潛流の限界曲線

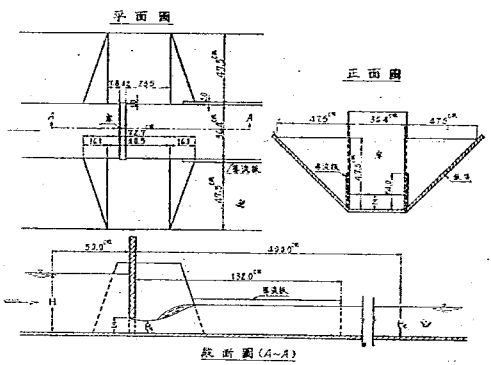


$C=0.890$, $C_2=0.632$ として $\frac{Z}{H}$, $\frac{H_2}{H}$ に關する圖表を作製すれば圖—61 の如くである. 從つて理論上此の曲線より上部に存在する點に對する流出狀態は潛流であり, 此の曲線上の點及び此の曲線より下に存在する點は射流を生ずる場合に相應すると見做す事が出來る.

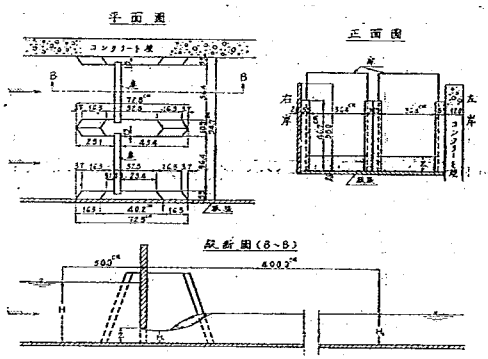
(iv) 射流と潛流との限界點に關する實驗　江戸川水門の模型 (水平 1/100, 鉛直 1/40) に於て扉の開高を適當に採り, 或流量を流し下流の水位を人工的に變化せしむれば, 射流及び潛流の狀態を任意に作り出す事が出來る. 完全に平衡狀態に達せる後 H_1 H_2, Z を實測し圖—61 に於けるが如く, 點 $\left(\frac{Z}{H}, \frac{H_2}{H}\right)$ を落し潛流の場合は○を以て, 射流の場合は●を以て區別すれば圖—62 の如くである. ○及び●が 1 個の滑らかな曲線の兩側に判然と區分されてゐる事より, 此の曲線を射流及び潛流の狀態の限界と見做す事が出來る. 又○及び●が入り亂れないと謂ふ事は, 鉛直方向を引き延しても流出狀態に變化を來さない事の一證明ともなつてゐる. 圖—59(a), (b) の狀態は◎を以て示してゐる.

嘗て行つた岩淵水門に關する水理實驗に於ても, 圖—63 及び 圖—64 に示す如き 徑間 36.4 cm, 1 徑間乃至 2 徑間の水門模型に依つて流出狀態を研究したのであるが, 其の際の資料より 圖—62 と同樣に點を落し, 滑らかな曲線を以て○及び●を分離すれば圖—65～67の如くなる. 之等の 3 曲線は同一曲線である事より水門の流出狀態は徑間數, 下游の狀態には餘り影響されてゐない事が解る. 圖—61, 圖—62 及び圖—65～67 に於ける曲線を比較すれば 圖—68 となる.

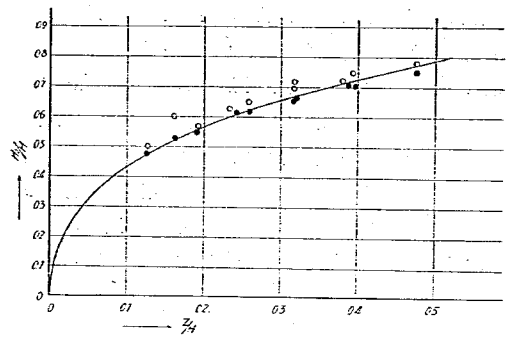
圖—63　岩淵水門 1 徑間模型



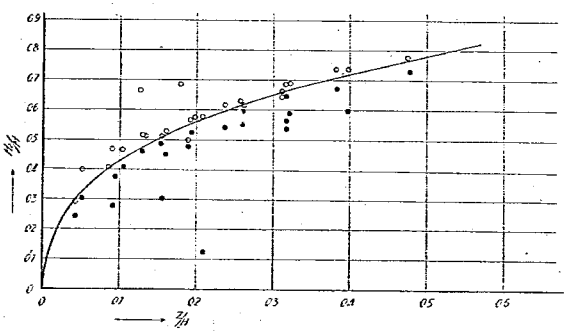
圖—64　岩淵水門 2 徑間模型



圖—65　岩淵水門1徑間模型に於る射流及び潜流の限界曲線（導流板あり）



圖—66　岩淵水門1徑間模型に於る射流及び潜流の限界曲線（導流板なし）



圖—68 に於て江戸川水門實驗に於ける曲線は，岩淵水門實驗に於ける曲線より下位にある．卽ち小模型に於て，完全に潜流となる如き上下流水深及び開高も大模型に於ては射流となる場合を生ずる．1 例を擧げるならば圖—59 (b) の如き場合は圖—68 に於て◎で示される點であつて，徑間 10 cm の本實驗に於ては潜流となるも徑間 36.4 cm の模型に於ては射流となる．此の兩曲線の差異は模型を少ならしむるに從つて摩擦力の影響が大となる爲に生ずるものと思はれる．

曲線 $\frac{Z}{H}=C_2\left(\frac{H_2}{H}\right)^2$ / $\left\{4C_1^2-(4C_1^2+C_2^2)\frac{H_2}{H}\right\}$ は $\frac{Z}{H}=0.2\sim0.4$ の範圍で實驗値と略〻一致してゐる．C_1 は實際に於ては相等廣範圍に亘つて變化する係數である爲に完全に一致しないのは止むを得ない．

(v)　射流部を生ぜしめざる扉の開高　　前述の如く射流部を生ずる事は，下流洗掘防止上出來得る限り避けなければならない．卽ち流出狀態を圖—68 の曲線より上方の潜流の範圍に採らなければならない．實際の水門に於る限界曲線は決定し得ないが，岩淵水門模型に於る曲線より幾分上方に在るものと推定される．大型模型（徑間 1 m 程度）に依り，より精確に實際の水門の限界曲線を推定する豫定であるが，本報告に於ては岩淵水門模型に於る限界曲線を，實際の水門に於る限界曲線と假定し，此の曲線に依つて上下流の水位に應じ射流部を生ぜしめざる扉の開高を求むれば，圖—69 に示す如くである．此の曲線に依つて，上下流の水位に應じて射流を生ぜしめざる開高を直ちに求むる事が出來る．

圖—67　岩淵水門2徑間模型に於る射流及び潜流の限界曲線

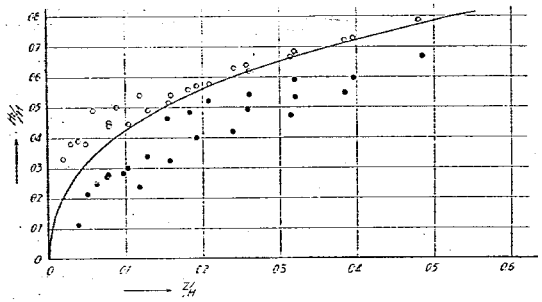
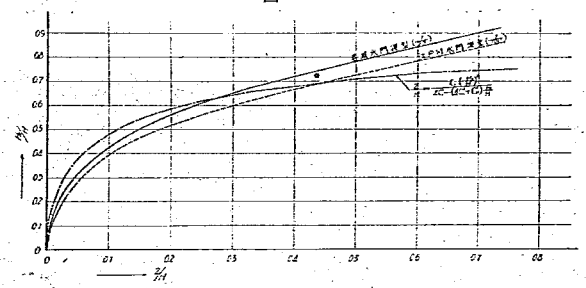
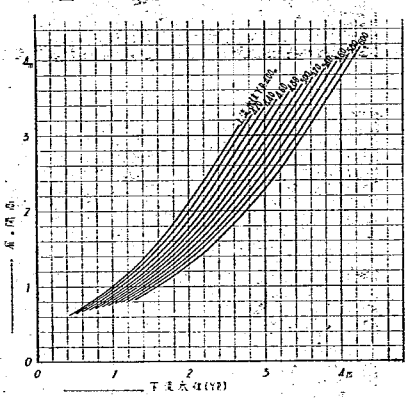


圖 — 68



計畫洪水に達せざる洪水に對しては，此の圖表に依り扉の操作を行ひ尚流出狀態に對しては，常に注意される事を希望する．

圖—69　射流を生ぜしめざる扉の開高

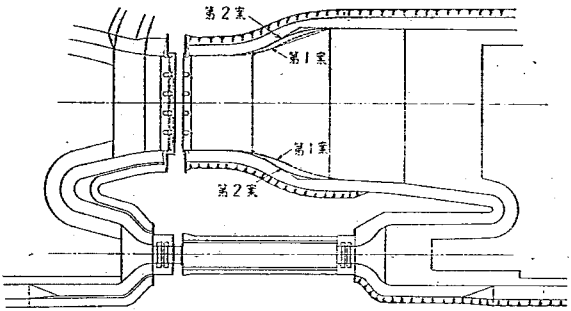


[2]　下游河幅の增大の洗掘狀態に及ぼす影響

水門に於ては上下流に於ける水位差大なる爲，有効幅 50.0 m を以て計畫流量を流出せしめ得るが，水門より下流に於る江戸川は河幅約 150 m 程度なるを以て，水門下游に於て少くとも約 2 倍に增幅されなければならない．

下游の增幅狀態は圖—36 の如く計畫されたが (之を第 1 案とす)，之に對し更らに早く

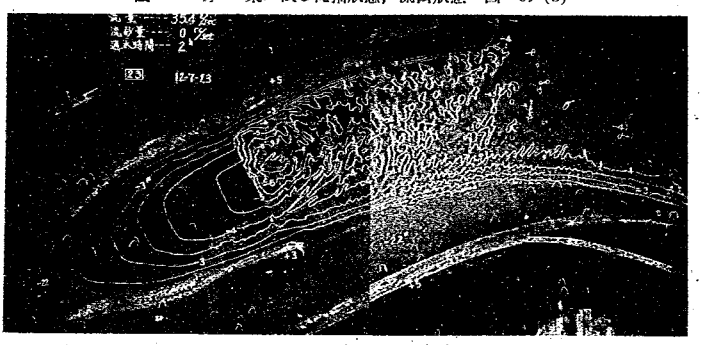
圖—70 下游增幅に關する第 1 案及び第 2 案



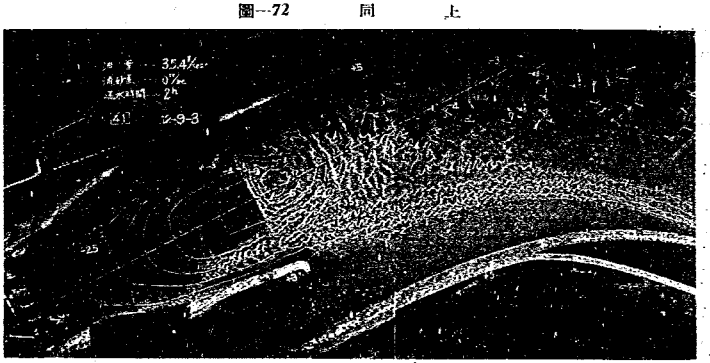
増幅すれば水勢を暦減殺し洗掘を輕減し得るのではないかとも考へられ（第 2 案とす），圖—70 に於て點線（第 1 案）で示せる増幅狀態及び實線で示せる増幅狀態（第 2 案）の比較實驗を行つた．

第 1 案に依る下流洗掘狀態は圖—71，72 の如くである．但し流出狀態は圖—59 (b) の

圖—71 第 1 案に依る洗掘狀態，流出狀態 圖—59 (b)



圖—72 同 上



圖—73　第 2 案に依る洗掘狀態，流出狀態　圖—59 (b)

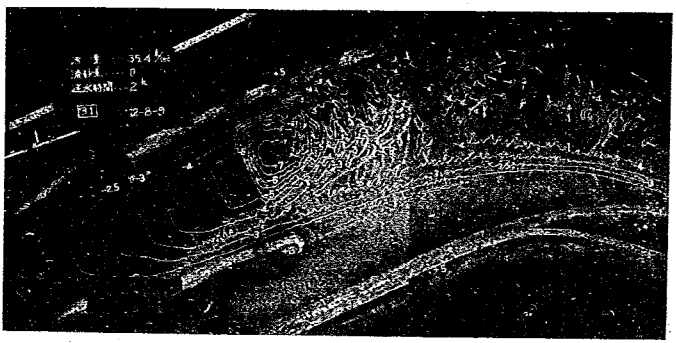


圖 — 74　　同　　上

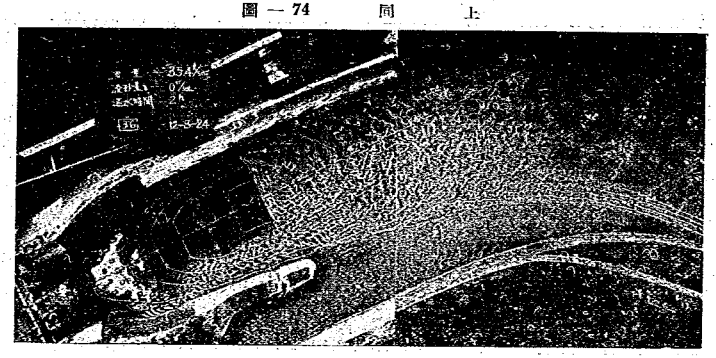
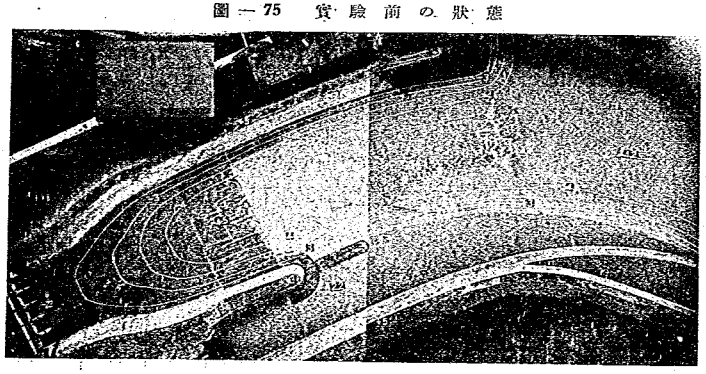


圖 — 75　實 驗 前 の 狀 態



場合である．之に對して同一流出狀態で第 2 案に依る洗掘狀態は圖—73, 74 である．實驗前の狀態は圖—75 に示す如くである．

之等を比較して，第 1 案に於ては最も深掘された箇所は −6.5 m 程度であるに對し，第 2 案に於ては −7.0 m を越えてゐる．

沈床を 25 m 延長せる場合に就ても第 1 案及び第 2 案を比較實驗した．卽ち此の場合に於ける第 1 案に依る洗掘狀態は圖—76, 77 の如くであつて，第 2 案に依る洗掘狀態は圖—78, 79 の如くである．此の場合に於ても第 1 案に於ては −6.0 m であるに對し，第 2 案に於ては −6.0 m を遙かに超過してゐる．

圖—71, 72; 圖—73, 74; 圖—76, 77; 圖—78, 79 は共に完全に同一の條件の下に行つた實驗であつて，之に依つて見れば同一條件の下では常に殆ど同一の洗掘狀態が得られる事

圖—76　沈床を 25 m 延長せる場合に於る第 1 案に依る洗掘狀態，流出狀態　圖—59 (b)

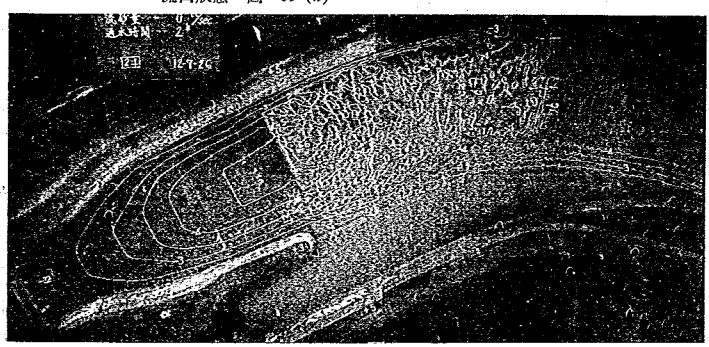
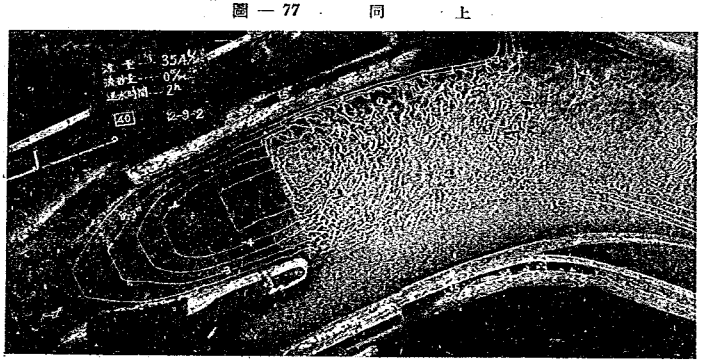


圖 — 77　　同　　上



圖—78　沈床を 25 m 延長せる場合に於る第 2 案に依る洗掘狀態，流出狀態　圖—59 (b)

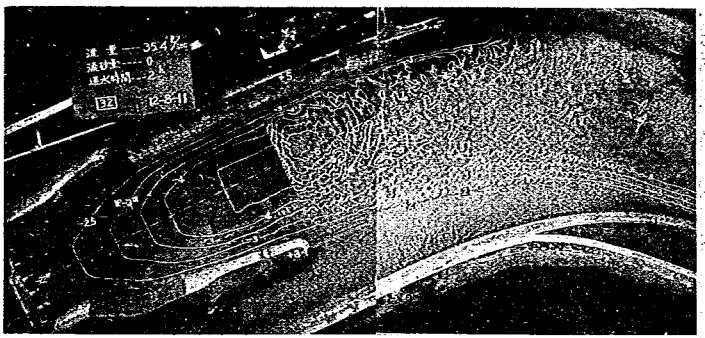
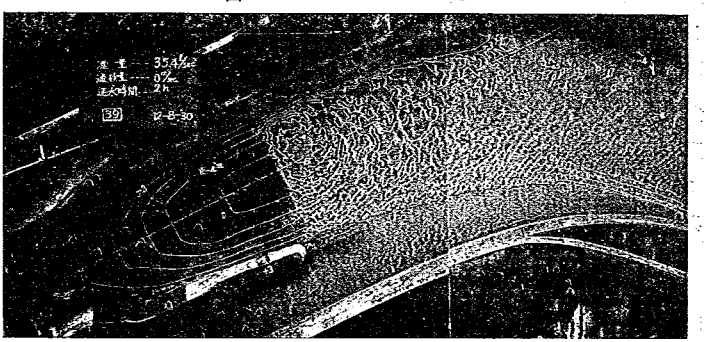


圖 — 79　　同　　上

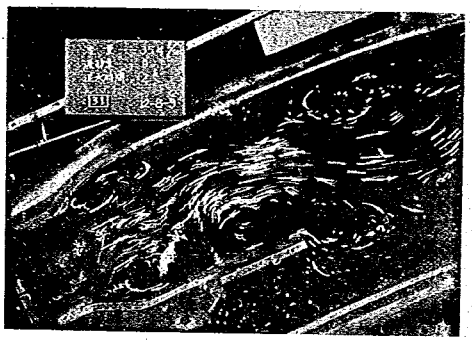


が解る．從つて，第1案と第2案に依る洗掘狀態の變化は，全く下游增幅狀態の差異に起因するものと斷定する事が出來る．

第 1 案及び第 2 案に於ける流向を比較すれば圖—80 及び圖—81 の如くである．流向は時々刻々變化し，或瞬間に於る流向寫眞を以て全般を論ずる事は危險であるが，兩寫眞を

圖—80　第 1 案に依る流向　露出 $\frac{1}{2}$ 秒

圖—81 第2案に依る流向



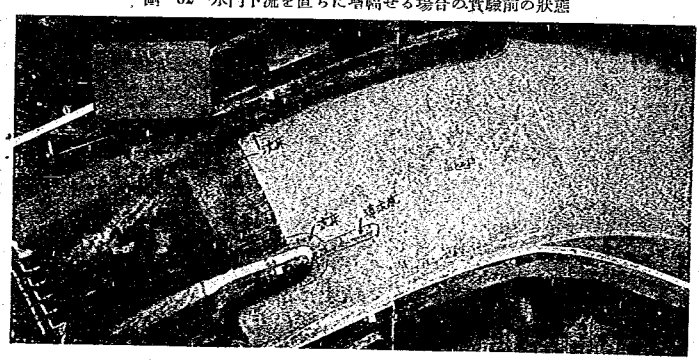
比較して直ちに感ぜられる事は，第2案に依る時は流心が甚だしく屈曲しその位置が不安定なる事である．此の原因は下游を急激に取擴けた爲に强き渦の消長を生ずる事に在るのではないかと考へられる．

寫眞に於る白條の長さは表面に於る流速に比例してゐるものであるが，第1案に於る方が第2案に於るものより一般に短い．流出量は同一なるに依り，第2案に於る有效斷面は第1案に於る有效斷面に比較して小なるものと推定される．之等の原因に依つて第2案に依る場合が第1案に依る場合に比して餘計に洗掘されるものと認められた．

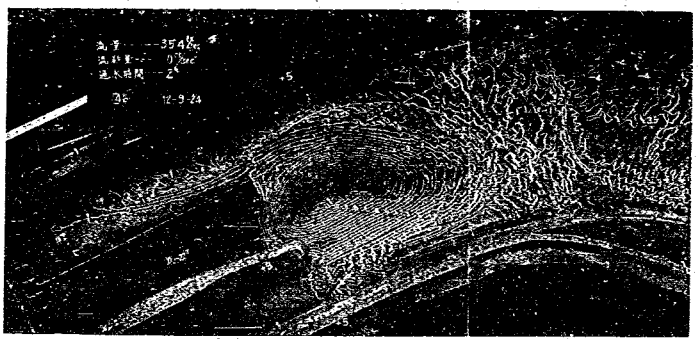
尙參考の爲に水門下流を圖—82の如く直ちに擴大せる場合に就き實驗を行つた．扉の開高と下流水位を圖—59 (b) に保ち，流量を同樣に 35.4 l/sec とすれば，上流水位は 1.1 cm; 實際の場合に換算して 44 cm の上昇を來す．此の場合の流出狀態は射流を生ずる場合の流出狀態（圖—53～56）と同樣であつて，流心は左岸或は右岸寄りに强く集中し洗掘も亦大である．流れが右岸寄りに集中する場合の洗掘狀態及び流向を示せば圖—83, 84 の如くである．

圖—84 に於て水門下流兩側に直ちに强き渦を生じ有效斷面が著しく狹窄されてゐる

圖—82 水門下流を直ちに增幅せる場合の實驗前の狀態

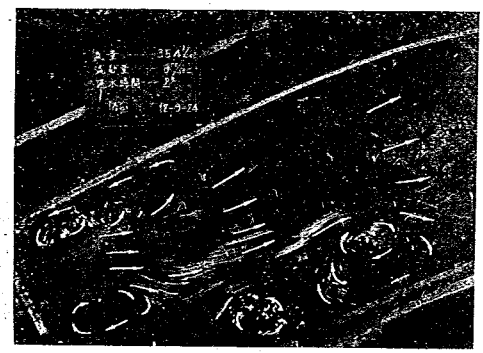


圖－83　流れが右岸寄りに集中する場合の洗掘狀態



事が解る．此の爲に同一の流量を流出せしむる爲には，第1案或は第2案に於けるより遙かに大なる水頭を要し，流勢は著しく强くなつてゐる．導流堤先端附近に生ずる渦も圖—54 に於けるよりも更に强く閘門下流に第2次的の渦を生じてゐる．

圖—84　流れが右岸寄りに集中する場合の流向
露出 1/2 秒



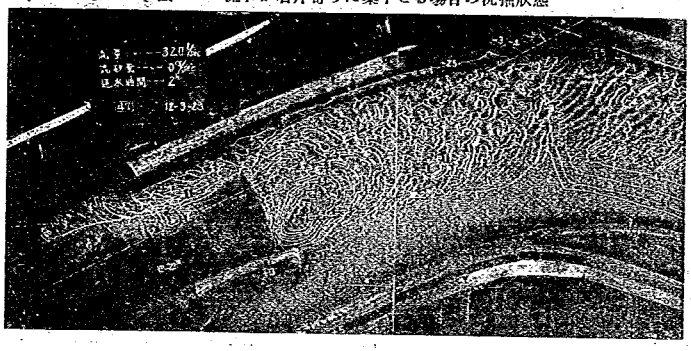
上下流の水位及び扉の開高を，圖—59 (b) に於けるが如く保つ時は，その流量は 32 l/sec に減少する．卽ち流出係數は第 1 案或は第 2 案に於ける場合より約 10%低落する．此の場合の流出狀態は，完全に潛流 (圖—51 (c) であるが水門の直ぐ下流に生ずる渦が强烈なる爲に流心は左右何れかの側に偏倚せしめられてゐる．流れが右岸及び左岸寄りに集中する場合の洗掘狀態は夫々圖—85，86 の如くである．尙之等の場合の流向寫眞は圖—87，88 の如くである．

圖—87 を圖—84 に比較して流量の減少せるだけ流勢が緩和されてゐる事が解る．卽ち閘門下流に生ぜる第 2 次的の渦は圖—87 に於ては殆ど見受けられない．

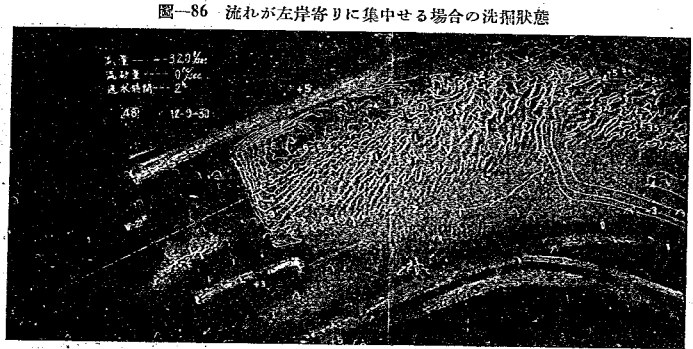
圖—82～88 は水叩の水平なる場合である爲，之等を圖—58 (第 1 案に於て水叩を水平にせる場合) と比較すれば圖—85，86 は圖—58 に比して流量に於て 1 割減少してゐるにも拘らず，洗掘狀態は最も深い箇所で約 1.50 m深掘されてゐる．

以上の實驗より下游を早く增幅する事は渦の生成を助長し，爲に下游の有效斷面を減少

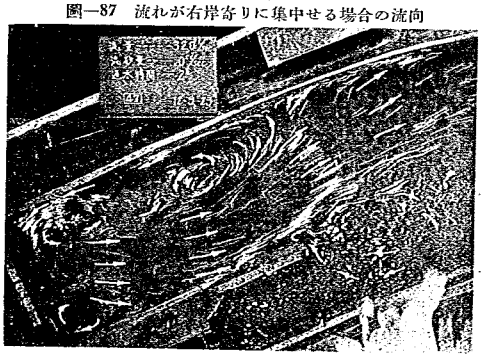
圖—85 流れが右岸寄りに集中せる場合の洗掘狀態



圖—86 流れが左岸寄りに集中せる場合の洗掘狀態



圖—87 流れが右岸寄りに集中せる場合の流向



せしめ，流向を不安定ならしむるのみならず，洗掘も亦大である事が明瞭となつた．從つて第1案と第2案を比較して，第1案を實際に使用する事となつた．

第1案に依る場合の流向寫眞圖—57，圖—80等に於ても，急激に增幅される箇所に於ては，尙明瞭に渦を生じてゐる．從う

て增幅方法を渦を生ぜしめざる如く第1案より更に緩とする時は洗掘狀態は，更に良好となるのではないかと豫想されるに到つたが，本實驗としては第1案及び第2案の比較實驗に止め，渦を生ぜしめざる增幅方法としては，別個の題目として研究する事とした．

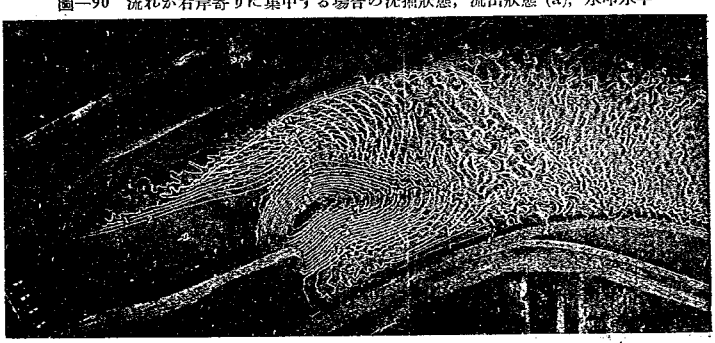
圖—88　流れが左岸寄りに集中せる場合の流向

[3] 縱斷及び橫斷勾配の洗掘狀態に及ぼす影響

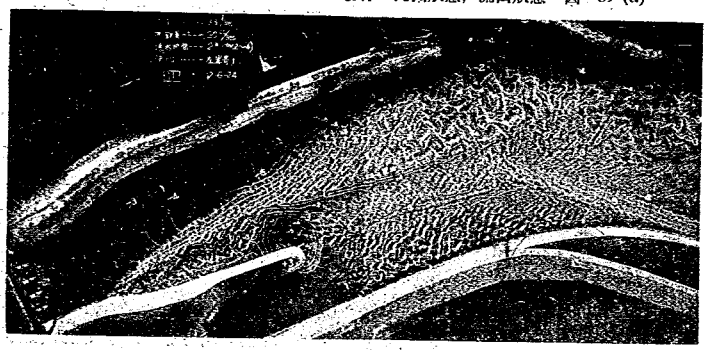
水門閘高は Y.P.−2.20m であつて，江戸川の現在の河底は之より約 2.00m 低き狀

圖—89　流れが左岸寄りに集中する場合の洗掘狀態，流出狀態　圖—59 (a)，水叩水平

圖—90　流れが右岸寄りに集中する場合の洗掘狀態，流出狀態 (a)，水叩水平



圖—91 流れが左岸寄りに集中する場合の洗掘狀態，流出狀態 圖—59 (a)



圖—92 流れが右岸寄りに集中する場合の洗掘狀態，流出狀態 圖—59 (a)

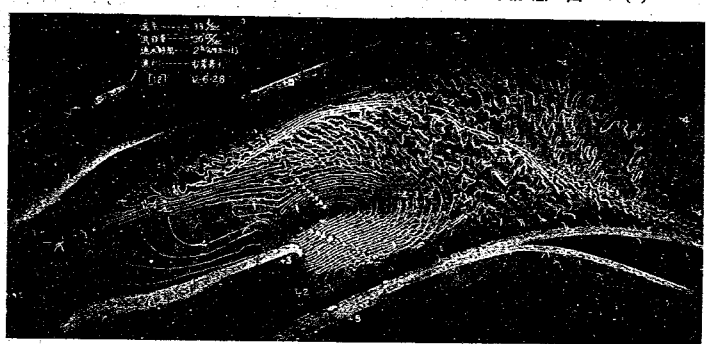
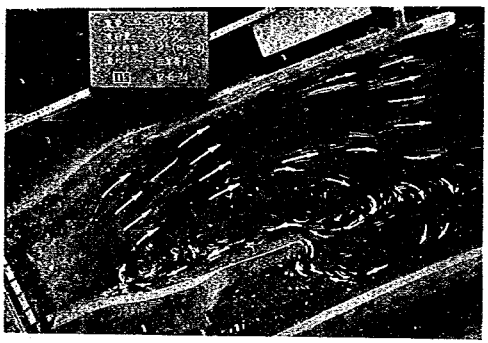


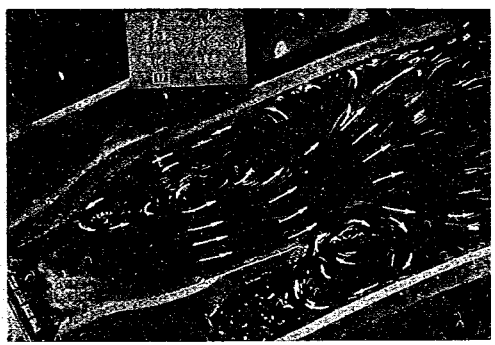
圖 — 93 水叩水平なる場合の實驗前の形狀

態である爲，水叩部を水平とする時は將來水叩下流に2m程度の段を生ずる事は容易に想像し得る．其故に圖—36に於けるが如く，水門中心線に沿ひ縱斷勾配を附し粗粒沈床中央部に於ては $Y.P.-4.50\,m$ とし，兩岸法尻は閘高と同じく $Y.P.-2.20m$ に保ち圖—37に於けるが如く橫斷勾配を附する事とした．從つて，水叩部及び水叩部より現在の江戸川に到る間の河底の形狀は圖—75に示す如くなる．

圖—94　流れが左岸寄りに集中する場合の流向



圖—95　流れが右岸寄りに集中する場合の流向



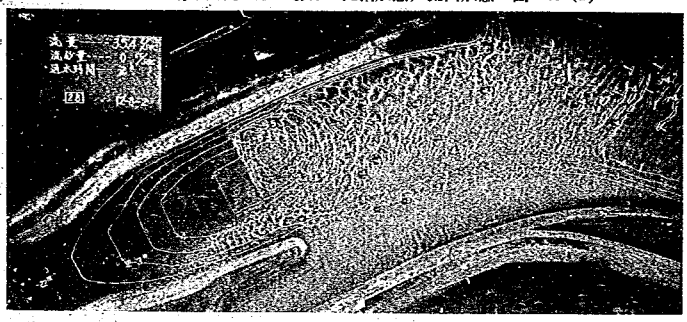
水叩部に縱斷勾配を附す事は現場の狀況より必要となるのであるが，洗掘上より見るも水叩水平なる場合より幾分優れてゐる事が認められる．卽ち圖—58(第1案，水叩水平)及び圖—71，72を比較し前者に於ては2時間に $4.50\,m-2.20\,m=2.30\,m$ 洗掘されてゐるに對し，後者に於ては同時間に $6.50\,m-4.50\,m=2.00\,m$ である．之は水深の增大に基く流速の減少に依るものと見做して差支へ無いと思はれる．

水叩部には橫斷勾配を附し水門中心線に沿ひ深くなつてゐるが流出狀態圖—59(b)の場合，圖—57(水叩水平)及び圖—80を比較して此の爲に特に流れが中央に集中されると謂ふ事は見受けられない．

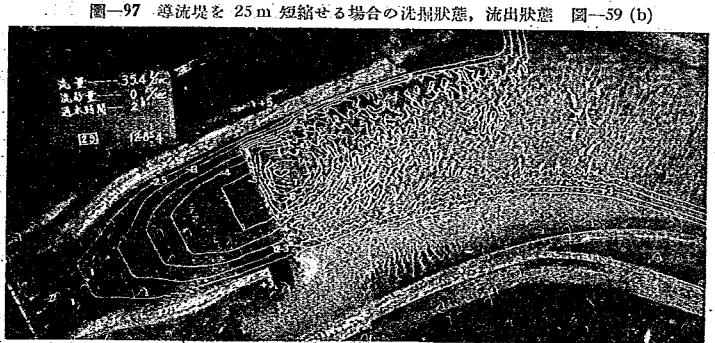
又圖—59(a)の狀態で流出せしむる場合に於ても，流れは左岸或は右岸寄りに集中する狀況は水叩水平の場合と同樣であり，從つて洗掘狀態も同樣である．卽ち圖—89，90は水叩水平の場合，圖—91，92は水叩に縱斷及び橫斷勾配を附したる場合の洗掘狀態であるが，之等を比較して殆ど同一の洗掘狀態が得られる事が解る．最初の狀態は後者が低いのであるから，時間割の洗掘量より見れば後者の方が幾分優れてゐる．

圖—55，56は圖—89，90と流砂量のみを異にし他は總て同一條件の下に行つた實驗で

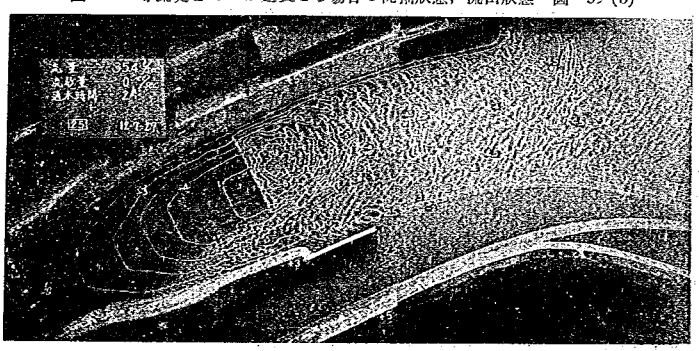
圖—96 導流堤原形の場合の洗掘狀態，流出狀態 圖—59 (b)



圖—97 導流堤を 25 m 短縮せる場合の洗掘狀態，流出狀態 圖—59 (b)



圖—98 導流堤を 50 m 延長せる場合の洗掘狀態，流出狀態 圖—59 (b)



ある．實驗前の形狀は圖—93 の如くである．

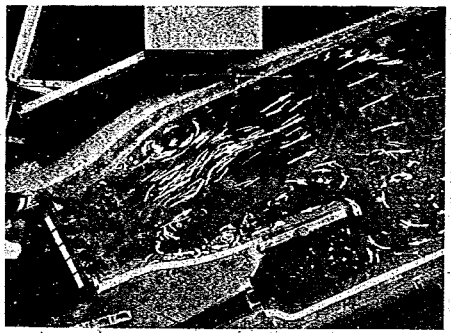
水叩に縱斷及び橫斷勾配を附したる場合の流向寫眞は圖—94，95 の如くである．之を水叩水平なる場合の流向寫眞圖—53，54 と比較すればその間に大差なき事が解る．

［4］導流堤の長さの洗掘狀態に及ぼす影響

圖—71，72 及び圖—76，77 或は圖—73，74 及び圖—78，79 を比較して沈床を 25 m 延長してその下流端と導流堤尖端とを揃へる時は，明瞭に洗掘を輕減し得る事より，逆に導流堤を 25 m 短縮して，その尖端を沈床下流端と揃へる事に依つても同樣の效果を收め得るのではないかと考へられ此の場合に就て比較實驗を行つた．

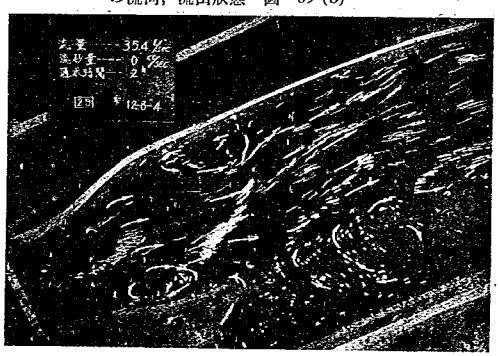
卽ち圖—96 及び圖—97 を比較すれば導流堤を短縮せる場合が著しく洗掘されてゐる．

圖—99　導流堤原形の場合の流向，流出狀態　圖—59 (b)



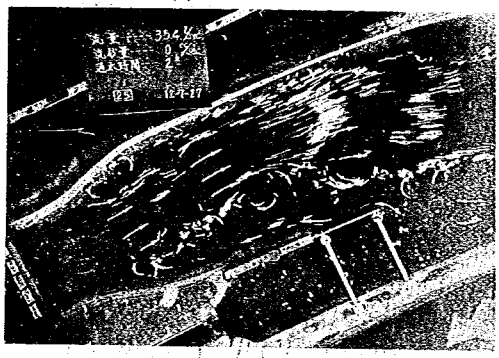
圖—100　導流堤を25m短縮堤上を越流せしめざる場合の流向，流出狀態　圖—59 (b)

圖—101　導流堤を 25 m 短縮し堤上を越流せしむる場合の流向，流出狀態　圖—59 (b)



又板を以て導流堤を 50 m 延長せる場合に相當する實驗を行つたが，その洗掘狀態は圖—98 に示す如くである．圖—96 と比較してその洗掘狀態は幾分良好であるが大差ない．以上 3 箇の場合に於ける流向は圖—99～102 に示せる如くである．導流堤原形の場合と短縮せる場合

圖—102 導流堤を 50 m 延長せる場合の流向，流出狀態 圖—59 (b)

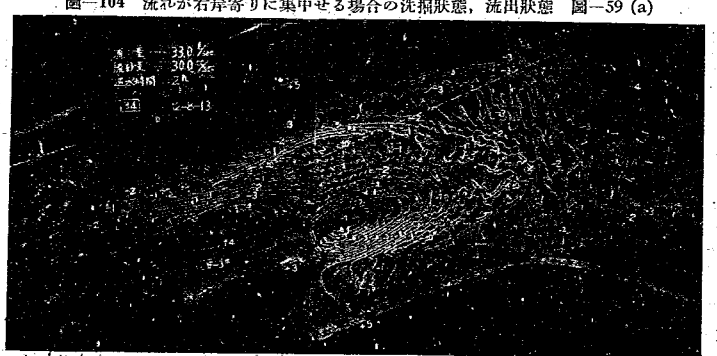


とを比較して前者に於ては，導流堤尖端下流に生ずる渦が小であるに反し (圖—99) 後者に於ては大である (圖—100, 101). 後者の餘計に洗掘される原因は此處にあると推定される.

導流堤を 50 m 延長せる場合に於ては，問題となる渦は遙か下流に移動せしめられるが，水門下游の增幅せられた

圖—103 導流堤 25 m 短縮，導流杭 50 m 設置の場合に於ける洗掘狀態，流出狀態 圖—59 (b)

圖—104 流れが右岸寄りに集中せる場合の洗掘狀態，流出狀態 圖—59 (a)



部分に生ずる小なる渦の存在は原形の場合と大差ない爲，有效斷面も亦大差なく從つて洗掘狀態も同樣となるものと思はれる．

以上の實驗より導流堤の長さは原設計が最も適當であると認められた．

［5］導流杭の洗掘狀態に及ぼす影響

導流堤先端下流 50 m に亘つて導流杭を設ける場合及び設けない場合の洗掘狀態を比較すれば圖—71, 72 及び圖—96 の如くである．圖—71, 72 に於ける −6.50 m の等深線が圖—96 のそれに比して幾分小である事より導流杭を設ける場合は，洗掘狀態は幾分良好である事が解る．又圖—71, 72 を圖—98 と比較して導流堤を 50 m 延長する場合と略，同樣の效果を收め得るものと思はれる．

導流杭を設けない場合，50 m に亘つて設ける場合及び導流堤を 50 m 延長する場合の流向は夫々圖—99，圖—80，圖—102 に示す如くである．之等に依つて見れば，導流堤先端下流に生ずる渦の位置は導流杭の無い場合，及び有る場合，及び導流堤を延長する場合の順に下流に移動して行く事が解る．

圖—105　前圖の場合に於ける流向（導流杭を飛ばされない前）

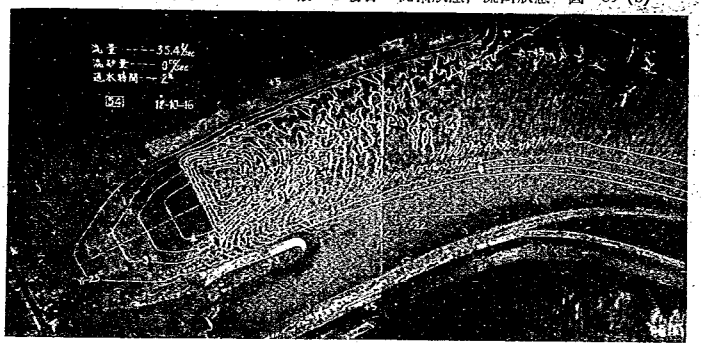
同樣に導流堤を短縮せる場合に就て導流杭の有る場合及び無い場合の洗掘狀態を比較すれば圖—103 及び圖—97 の如くで，矢張り導流杭の無い場合が大きく洗掘されてゐる．尙圖—103 は之を圖—71, 72 と比較すれば，導流杭を設けた場合に於ても導流堤を短縮すれば洗掘が大である事を示してゐる．

圖—59 (a) の如き流出狀態に於て同樣の比較を行へば圖—104 及び圖—92 の如くである．圖—104 に於ては導流杭及び導流堤先端に設けた沈床の爲に洗掘箇所は圖—92 に比較して下流に移動し，然も洗掘も非常に輕減されてゐる．導流杭の半數は實驗中に飛ばされた．

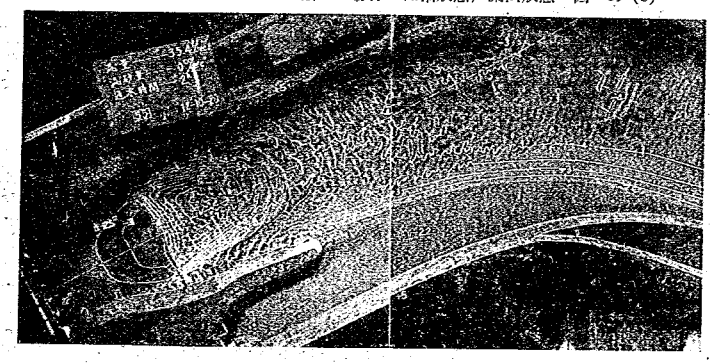
此の場合に於る流向の比較は，圖—105 及び圖—95 に示す如くであつて，圖—95 に於ては導流堤先端附近に流れが著しく集中する事が明瞭に看取出來る．

以上の實驗より導流杭を設置する事は，洗掘に對して導流堤を延長すると略，同樣の效

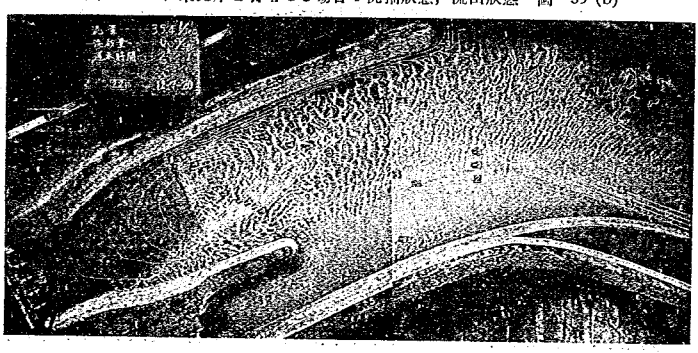
圖—106 水叩部を 100 m 短縮せる場合の洗掘狀態，流出狀態 圖—59 (b)



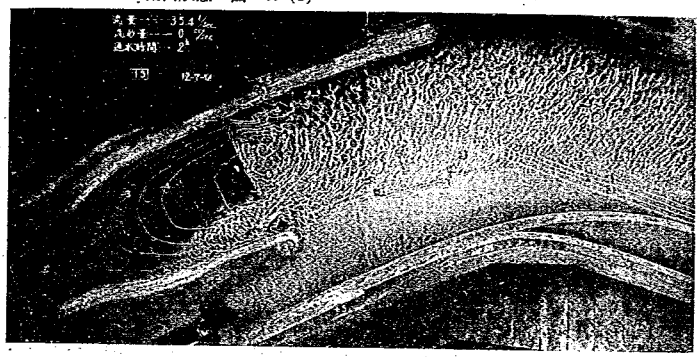
圖—107 水叩部を 50 m 短縮せる場合の洗掘狀態，流出狀態 圖—59 (b)



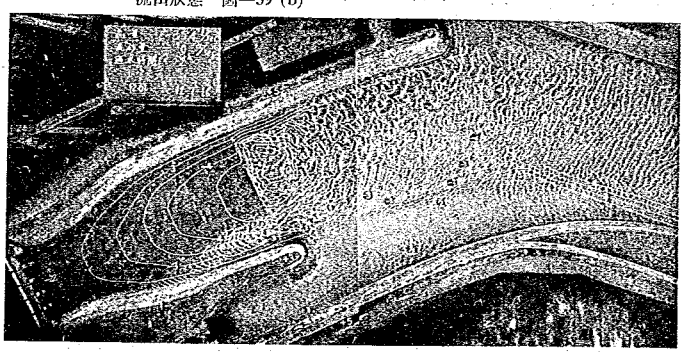
圖—108 粗朶沈床を省略せる場合の洗掘狀態，流出狀態 圖—59 (b)



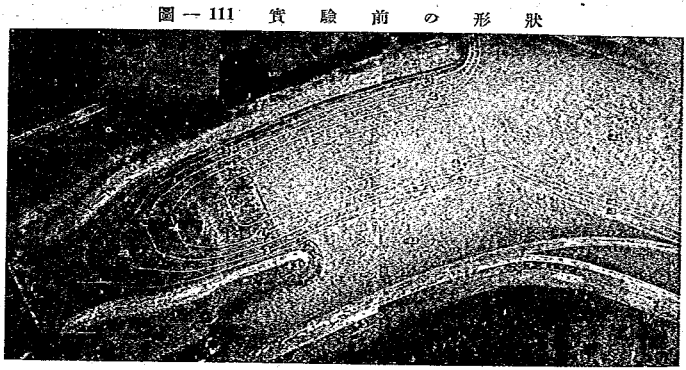
圖—169　左岸法先及び導流堤先端法先に沈床を設置せざる場合の洗掘狀態，流出狀態　圖—59 (b)



圖—110　左岸法先及び導流堤先端法先に沈床を設置せる場合の洗掘狀態，流出狀態　圖—59 (b)



圖—111　實　驗　前　の　形　狀



果があり，然も工費低廉にして修理亦容易であり，有效な手段であると認められた．

［6］ 床固の洗掘狀態に及ぼす影響

水叩部を 100 m 及び 50 m 短縮せる場合の洗掘狀態は，夫々圖—106，107 の如くである．之等を圖—71，72 及び圖—76，77 と比較對照する時は床固を施せる部分の長い程洗掘を輕減し得る事が解る．又圖—107 及び圖—108 を比較すれば床固の最後は，柔軟なる粗朶沈床を以てする方が固き水叩を以て終るより遙かに良好である事を示してゐる．

江戸川河水統制水門に於ては他の水門，洗堰に比して床固を施せる部分の非常に長い事がその特徴の一つであるが，洗掘が直接水門本體に危險を及ぼさざる爲にも，又洗掘を輕減する上にも有効なるものと認められた．實際の設計は 圖—75，卽ち圖—36，37 の如く決定した．

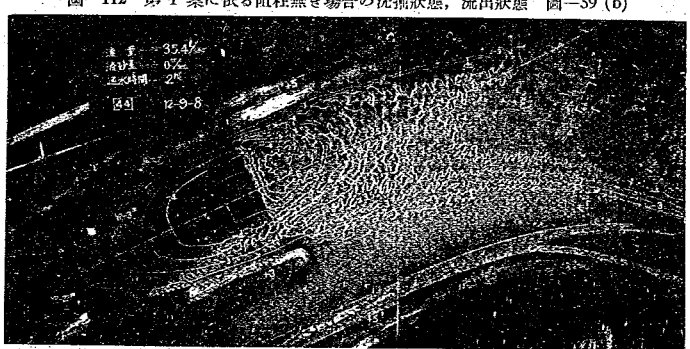
左岸法先及び導流堤先端法先に沈床を設置せざる場合及び設置せる場合に就て洗掘狀態を比較すれば圖—109 及び圖—110 の如くである．卽ち沈床を設置せる場合の方が洗掘が大であるが，實際の場合に於ては法先を重要視し沈床を施す事となつた．

圖—108～110 は圖—111 の狀態より通水せる實驗結果であるが，之を圖—75 の狀態より通水せる實驗結果と比較すれば後者の場合に於ける堀鑿形狀の崩壞は前者に於けるより幾分小である樣に見受けられる．

［7］ 阻柱の洗掘狀態に及ぼす影響

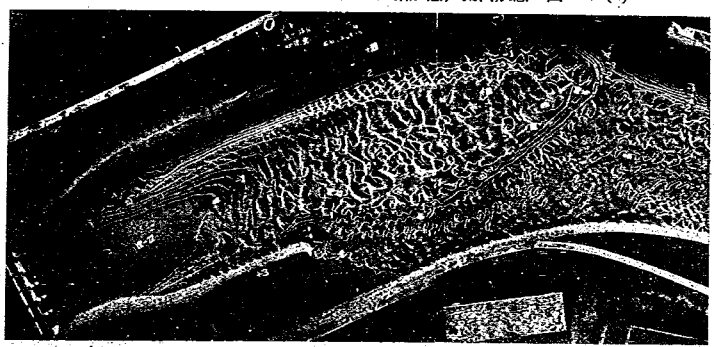
阻柱なき場合の洗掘狀態は圖—112 に於けるが如くであつて，之を阻柱を設置せる圖—

圖—112　第 1 案に依る阻柱無き場合の洗掘狀態，流出狀態　圖—59 (b)

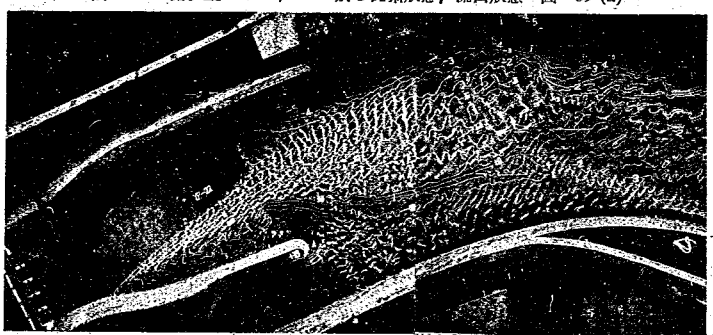


71，72 の場合と比較すればその洗掘狀態には殆ど差異を認められない．阻柱は水叩下流の洗掘に對しては，本章［1］乃至［6］に擧げたる各素因程大なる影響を及ぼしてゐないものと思はれる．

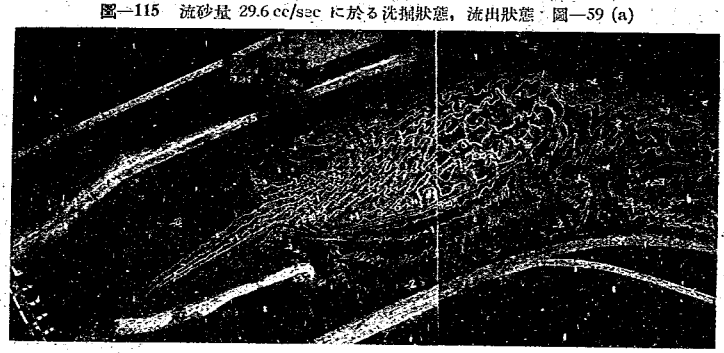
圖—113 流砂量 57.8 cc/sec に於る洗掘狀態，流出狀態 圖—59 (a)



圖—114 流砂量 34.0 cc/sec に於る洗掘狀態，流出狀態 圖—59 (a)



圖—115 流砂量 29.6 cc/sec に於る洗掘狀態，流出狀態 圖—59 (a)



阻柱の存在は底部の流速を減少せしめ水叩安定上効果のあるものと想像されるが，本實驗に於てはコンクリート塊張粗朶沈床以上の部分をモルタルを以て固めたる爲此の點に關しては結論を求め得なかつた．

［8］ 流砂量の洗掘狀態に及ぼす影響

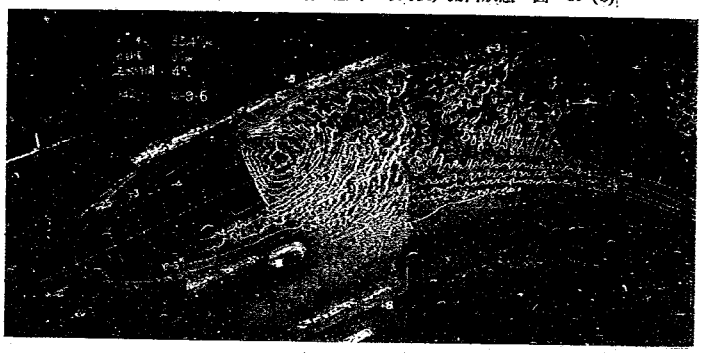
水叩水平流出狀態 圖—59 (a) に於て流砂量を異にする場合の洗掘狀態の比較を行つた．流砂量大なる場合より順次に配列すれば圖—113，114，115 及び圖—55 の如くである．

圖—116　流砂量 17 cc/sec に於る洗掘狀態，流出狀態　圖—59 (b)

圖—117　前圖に於る流向

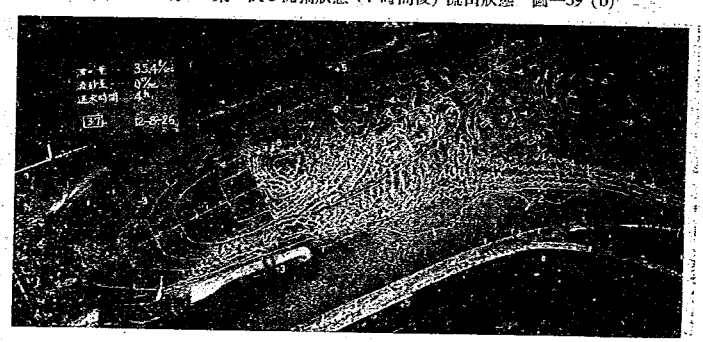
圖—113 に於ては流砂量過大なる爲，此の流量，流速に於ては全量を運搬し得ず堆積が著しく，從つて流向は堆積狀態に從つて變化する．導流堤先端，水叩下流左岸，彎曲部左岸に生ずる洗掘狀態が流砂量の減少に伴つて如何に變化するかを見れば，導流堤先端の洗掘狀態は常に略同樣であり，水叩下流左岸に於けるものは流砂量の減少に伴つて大となり，彎曲部左岸に於ては次第に小となる．最後の場合は流砂力が模型と實際とで相似せざる結果，彎曲部に到達せざる前に全量を沈澱する爲にかゝる結果を生ずるに到つたものと考へられる．從つて本實驗に於ては下流彎曲部の洗掘に關して何等結論を導かない事とした．

圖—118 第 1 案に依る洗掘狀態 (4 時間後) 流出狀態 圖—59 (b)



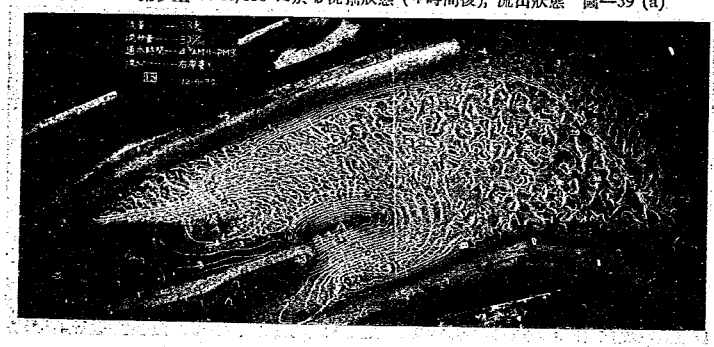
圖—119 第 1 案に依る洗掘狀態 (6 時間後) 流出狀態 圖—59 (b)

圖—120 第 2 案に依る洗掘狀態 (4 時間後) 流出狀態 圖—59 (b)

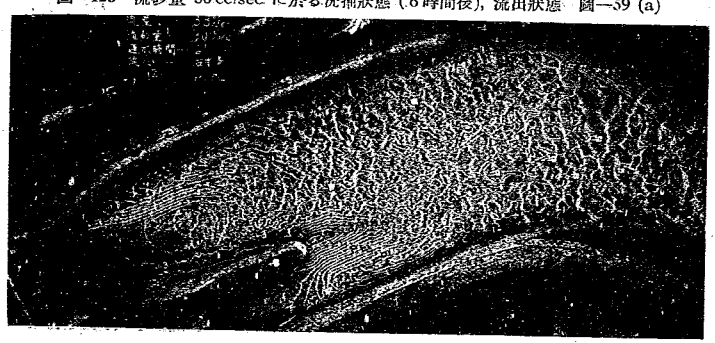


圖—121 第 2 案に依る洗掘狀態（6時間後），流出狀態 圖—59 (b)

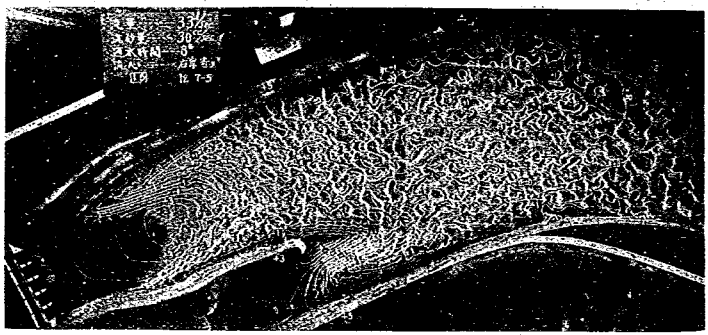
圖—122 流砂量 30 cc/sec に於る洗掘狀態（4時間後），流出狀態 圖—59 (a)



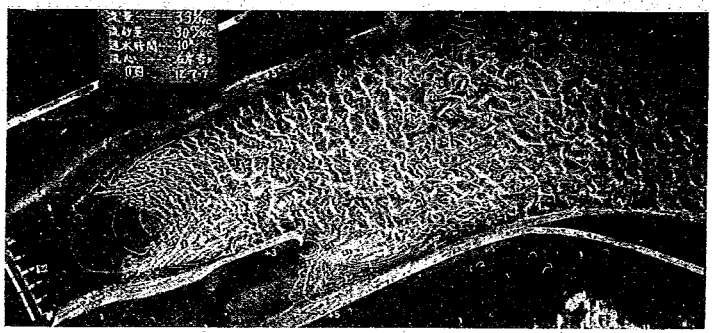
圖—123 流砂量 30 cc/sec に於る洗掘狀態（6時間後），流出狀態 圖—59 (a)



圖—124　流砂量 30 cc/sec に於る洗掘狀態 (8 時間後) 流出狀態　圖—59 (a)

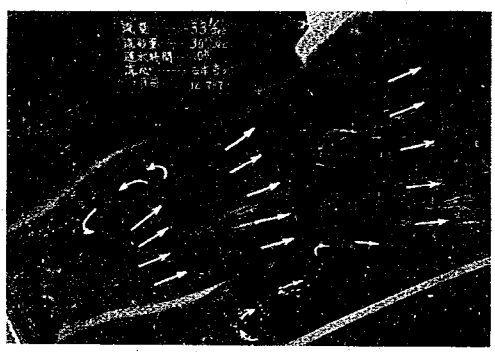


圖—125　流砂量 30 cc/sec に於る洗掘狀態 (10 時間後) 流出狀態　圖—59 (a)

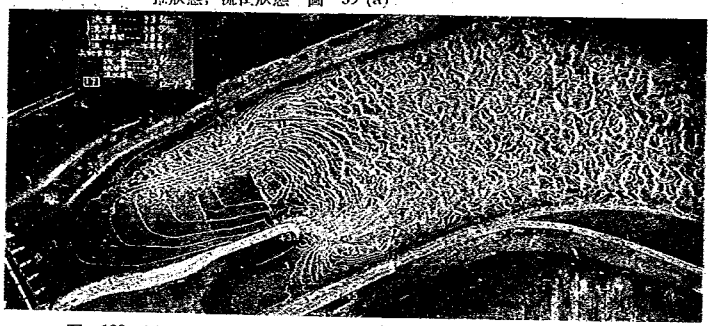


水叩下流の洗掘狀態は第 III 章に於て說明せる如く之を實際に適用し得るものであるが，流砂量の變化に依つて本質的の變化の無い事は明瞭である．又圖—115 を圖—87 と比較してかゝる流出狀態に於ても同一條件の本に通水する時は常に略ゝ同樣な洗掘狀態を得られる事が解る．流れが右岸に集中する場合は

圖—126　前圖に於る流向



圖—127 圖—125の狀態より砂を供給する事なく4時間通水せる場合の洗掘狀態，流出狀態 圖—59 (a)



圖—128 圖—55の狀態より更に2時間通水せる場合の洗掘狀態，流出狀態 圖—59 (a)

圖—88 (流砂量 30.2 cc/sec) 及び圖—56 (流砂量 17.6 cc/sec) の如く同樣に流砂量の小なる程洗掘は大である。

流出狀態を圖—59 (b) に保ち砂を供給せざる時は圖—71, 72 の如く洗掘されるが 17 cc/sec の砂を供給すれば圖—116 の如く洗掘される事なく堆積するのみである。流出狀態を圖—59 (a) に保つ時は約 2 倍の砂を供給するも尙圖—92, 115 に於けるが如く著しく洗掘されてゐる。之に依つても圖—59 (a), (b)の 2 種の流出狀態の間には非常な懸隔の存在する事を認め得る。

下流に堆積を生ずれば流向は之に應じて徐々に變化する。圖—116 の場合に於て最初は圖—99 の如き流向を示すが水叫下流に堆積を生ぜる爲に次第に 圖—117 に於けるが如く變化する。

［9］ 通水時間の洗掘狀態に及ぼす影響

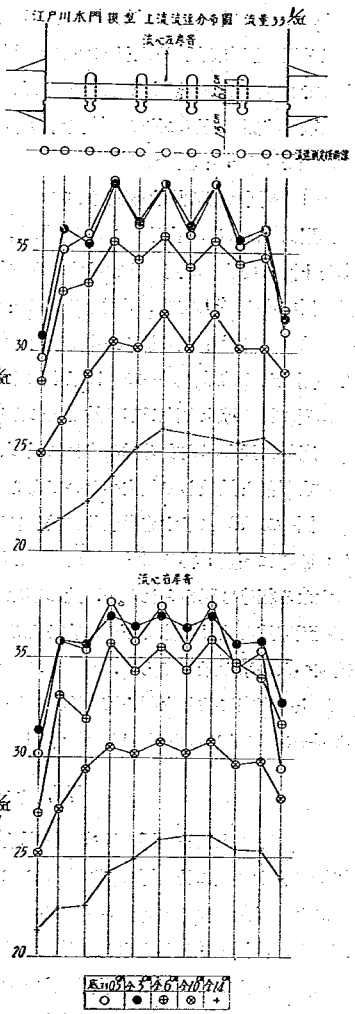
洗掘狀態の時間的變化を求むる爲に通水時間を 2, 4, 6……時間等に區切りその洗掘狀態を記錄した. 圖—72 (第1案に依る洗掘狀態) の狀態より更に2時間宛通水せる場合の洗掘狀態は圖—118, 119 の如くである. 卽ち通水時間の增大に伴つて洗掘狀態も又增大する. 圖—74 (第2案に依る洗掘狀態) の狀態より更に2時間宛通水せる場合の洗掘狀態は圖—120, 121 の如くである. 同樣に時間と共に洗掘も增大してゐる. 第2案に於ては流れの狀態が不安定となる事は此の洗掘狀態に依つても明瞭であつて圖—118, 119 及び圖—120, 121 を比較して第1案の優れてゐる事は明瞭であつて本章 [2] に於て導ける結論を裏書するものと見做される.

圖—59 (a) の流出狀態に於て 30 cc/sec の砂を供給せる場合に於る 4, 6, 8, 10 時間後の洗掘狀態は圖—122～125 の如くである. 圖—115 (流砂量 30 cc/sec, 通水時間 2 時間) を參照し最初の2時間に於ては導流堤尖端は非常に洗掘されてゐるが, 下流に於ては斷面の增大に從つて流速減少し供給せられた量を運搬し切れない爲徐々に推積し河床の隆起を來し下流水位は增大する. 下流水位の上昇に伴ひ洗掘箇所に於ける流速も減少し洗掘箇所は次第に埋戻され結局圖—125 の如くなる. 流出狀態を異にしてゐるが關宿閘門下流に生ずる推積と同樣な狀態が得られてゐる. 此の場合の流向は圖—126 の如くである.

圖—125 の狀態より更に砂を供給する事なく 4 時間通水せる場合の洗掘狀態は圖—127 の如くである.

圖—55 の狀態より更に 2 時間通水せる場合の洗掘狀態は圖—128 の如くである. 流砂

圖—129　水門上流流速分布



量 30 cc/sec に於ては 4 時間後に於ては多少埋戻されるが (圖—115 及び圖—122 參照) 16.7 cc/sec に於ては 4 時間後に於ても尙洗掘されてゐる.

江戸川の河床は近年低下しつゝある狀態であつて洪水時に於て水門より流下する砂量は少量であり, 從つて洪水の繼續時間の長い程多く洗掘されるものと推定される. 模型に於ては繼續時間の長短に依つて洗掘箇所等に本質的な變化は認められなかつたが實際に於ても同樣であらうと思はれる.

[10] 水門上流に於ける流速分布

模型は 圖—44 の平面圖に示せる如く, 水門附近は極めて不自然なる位置に設置せる爲水門上流に於ける流速の分布狀態は左右相異し, 實際の水門上流に於ける流速分布狀態 (水門中心線に對して略〻對稱なるものと推定される) に相似しないのではないかとの討議を受け, 之に對して模型に於ける流速分布狀態を實測した. 流出狀態を圖—59 (a) の狀態とし測定せる結果は圖—129 に示す如くである.

模型に於る導水方法が不自然であつた爲に, 上層に於ける水流は右岸寄りとなつてゐるが, 底部に近き程左右對稱な流れに近づいてゐる事が解る. 從つて門扉を潛る場合の流速は左右對稱と見做して差支へないであらう.

又圖—59 (a) に示す流出狀態に於ては下流に射流部を生じ, 流心は左岸寄り或は右岸寄りの明瞭に區別し得る 2 つの場合を生ずるが, 水門上流に於る流速分布狀態には その間に大なる相違は認められない. 此の事は下流の流速分布狀態を支配する原因は上流水位及び接近流速を除けば總て下流に在るものであつて, 水門を境として上下流は別々に考へて差支へない事を示してゐる.

以上の考察に依り水門上流の形狀は下流洗掘狀態には大なる影響を及ぼさないものと認め圖—44 に示せる模型を以て實驗を行つた.

VI. 實驗結果の要約

(i) 上下流水位竝に扉の開高の洗掘狀態に及ぼす影響　洗掘を大ならしめざる爲には事情の許す限度に於て扉の開高をなるべく小とし流出量を小ならしめる事が肝要である. 潛流より射流に移る限界點附近に於ては, 扉の開高を僅か大ならしめる爲に流勢を著しく激化し, 洗掘を甚だしく大ならしめる結果となるを以て注意を要する.

(ii) 下遊河幅の增大の洗掘狀態に及ぼす影響　下流河幅を急激に增大せしむれば增幅箇所に渦を誘發し, 有效斷面を減少せしめると共に流速を大ならしめ, 結局洗掘を大ならしめる. 從つて成る可く緩かな渦を生ぜしめざるが如き增幅方法を採らなければならない.

(iii) 縱斷及び橫斷勾配の洗掘狀態に及ぼす影響　床固部分に縱斷勾配を附する事は現

地の狀況より見て最も適切なる措置であるが洗掘防止上にも此の程度の縱斷勾配であれば僅かではあるが效果あるものと認められた．橫斷勾配の影響は本實驗に於ては判別し得なかつたが設計された程度の輕微な勾配に於ては之が爲に流れが中央に集中する事は期待し得ないと思はれる．

(iv) 導流堤の長さの洗掘狀態に及ぼす影響　設計された導流堤を基準とし，其の長さを 25 m 短縮すれば洗掘狀態は著しく增大されるが，50 m 延長するも洗掘狀態は殆ど輕減されない．從つて導流堤の長さは原設計が最も適當であると認められた．

(v) 導流抗の洗掘狀態に及ぼす影響　導流堤延長の代用として導流杭を設ける事は洗掘上には導流堤を延長すると略ゝ同樣の效果があり又導流堤先端より河幅の急激に增大される影響を緩和せるものとして有效である．

(vi) 床固の洗掘狀態に及ぼす影響　床固を施せる部分は長い程洗掘を輕減する．床固の下流部は成る可く柔軟なる構造とし砂地に接續せしむる事が必要である．

(vii) 阻柱の洗掘狀態に及ぼす影響　本實驗に於てその影響を判別し得なかつた．

(viii) 流砂量及び通水時間の洗掘狀態に及ぼす影響　江戸川に於る流砂量は小量と推定されるから洪水繼續時間の長い程洗掘は大となり又洪水の頻發するに從つて洗掘は累加されると考へられる．下流の洗掘狀態に就ては定期的に之を實測し常に變化の狀態を明らかにして置く必要がある．

江戸川河水統制水門に於ける鹹水の侵入に關する實驗

横田周平

目次

I. 緒言……(1)
II. 鹽分の侵入……(1)
[1] 擴散作用……(1)
[2] 鹹水の侵入……(2)
III. 實驗裝置……(2)
IV. 實驗方法……(4)
V. 實驗結果……(7)
VI. 要約……(7)

I. 緒言

江戸川下流の行德町地先に新に河水統制用水門及び閘門を施設して，之に依り洪水時及び平水時に於ける流出量を統制し同時に東京市水道の取水量を增加する計畫であるが，先年多摩川に於て玉川水道取入口より多量の鹽分を含有せる鹹水が侵入して，水道用水として問題を惹起した事實あるに鑑み水門及び閘門に於ける鹽水の侵入狀態を明らかにせんが爲に赤羽分所に於て之に關する簡單な模型實驗を行つた．

II. 鹽分の侵入

鹽分の侵入に關して2通りの方法が考へられる．卽ち擴散作用 (Diffusion) に依る侵入と水と混合せず水よりも大なる比重を有する鹹水として侵入する場合とである．

[1] 擴散作用

*擴散作用は一般に非常に緩慢である．1例を擧げるならば Stefan の計算に依れば厚さ 10 cm の層をなす食鹽 10% 溶液からその上の清水の層に 1mg の食鹽が 1m 上昇するのに 319 日を要する．

或る溶液の層に純粹な溶媒の層を重ね充分長い時間の後に各層毎に流体を取り出し分析して見ると，一定の溶液に對して擴散現象は常に一定である事が解る．分析の結果より Stefan の作製した表に依り擴散係數を計算する事が出來る．

* "Enzyklopädie der technischen Chemie" Diffusion.

實驗中に於ける機械的振動或は溫度の變化等に依る攪亂を完全に避けなければならないので測定は仲々困難である．然しながら電解質に對しては電氣化學的方法に依り容易に測定される．

擴散係數の大きさと，その溫度，濃度に對する關係の概念を與へるために，次の資料を記載する．

	溫度(c)	濃度(normal)	擴散係數
KCl	6	0.1	0.997
〃	6	3.6	0.961
〃	18	0.1	1.389
〃	18	3.6	1.338
KOH	18	0.1	1.854

以上の說明より擴散に依る鹽分の浸入は實際問題には殆ど考慮の必要の無い事が解る．

[2] 鹹水の侵入

實際に問題となるのは水と混合せざる鹹水として侵入する場合であつて，以下鹹水として侵入する場合に就き實驗を行つた．

實際の水門に於ては江戸川の平均流量が充分であるならば漲潮時逆流する場合でも閉鎖する必要は無く，從つて如何なる程度の渦水の際に水門を閉鎖すべきかを實驗的に決定し得れば最も效果的である．然しながら，此の實驗を遂行する爲には非常に大きな模型を要し且又實驗も複雜となるので，次の如き場合を假想して實驗を行つた．

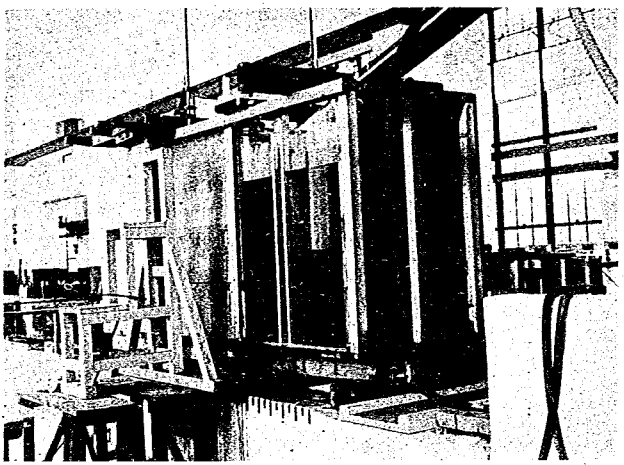
水門扉は閉鎖してあり上流側は淡水，下流側は或濃度の鹹水であるとして，水頭差がどれだけ存在すれば扉を開けても鹽水が侵入しないかと謂ふ限界點を實驗的に求めて見た．

III. 實 驗 裝 置

實驗は 圖-1 及び 圖-2 に示す如き實驗水槽を製作して實施した．水槽の大きさは長さ 2.50m，幅 0.70m，高さ 1.15m で底より下流鹹水側の測水堰上緣までの高さは 80.3cm である．上流部は片側約 85 cm の間を格子張りとし鹹水と淡水との隔壁及び隔壁に取り付けた門扉を見得る樣にした．淡水側の豫定せる水面の附近に溢流枡を設け餘水吐とし，同時に開扉せる場合に水面の下降を容易にし鹹水の濃度の急激な減少を防止した．淡水は高水槽より給水管に依り導き，水量調節バルブに依り流量を調節した．

淡水側，鹹水側に各〻水面測定器を設置し鹽を入れない前に門扉を開放し靜止せる水平面を測定して置き，次に門扉を閉鎖し鹽を加へ良く攪拌し，過マンガン酸加里を以て着色した．前に述べた如く擴散作用は非常に緩慢であるから，過マンガン酸加里溶液の浸入を

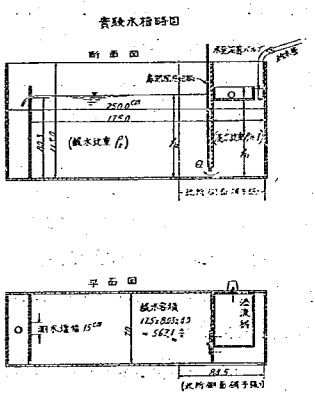
圖－1



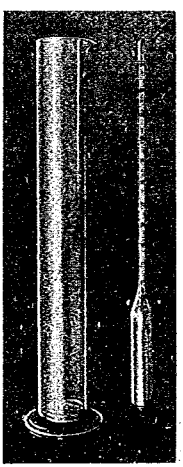
以て鹹水の侵入と見做す事が出來る.

淡水及び鹹水の密度は圖-3 に示す如き比重計を以て測定した. 實驗中の水溫は 8.5°～9.0°C であつて, 其の時の淡水の比重は約 0.9998 であるべきであるが, 比重計の讀みは 0.996 であつた. 從つて密度は比重計の讀みに 0.004 を加へた數を取る事にした.

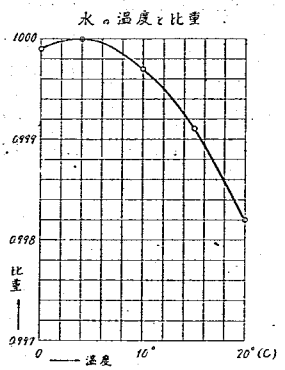
圖－2



圖－3

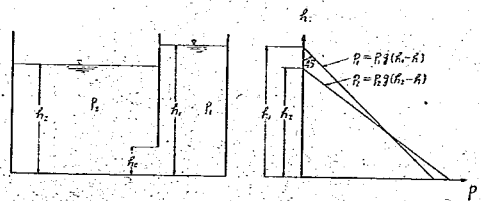


圖－4



IV. 實驗方法

圖－5　　圖－6



p_1 : 淡水の靜壓力　　h_1 淡水の水深

p_2 : 鹹水の靜壓力　　h_2 鹹水の水深

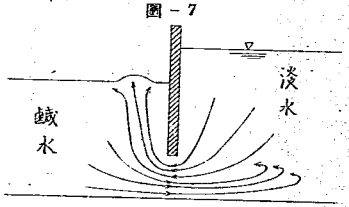
ρ_1 : 淡水の密度　　h_e 扉の開高

ρ_2 : 鹹水の密度　　h 底より上方に測りたる距離

實驗裝置を略圖的に示せば圖-5の通りであつて，隔壁の兩側に作用する靜水壓は圖-6の如くなる．鹹水の比重が大となる程その靜水壓の勾配は大となる．

實驗に於ては水門を開扉した場合，着色せる鹽水が將に侵入せんとする限界點に於ける鹹水と淡水との水深の比 $(h_1/h_2 \geqq 1)$ と密度の比 $(\rho_2/\rho_1 \geqq 1)$ との關係を求めた．即ち，豫め門扉を閉鎖して鹹水側を良く攪拌し ρ_2 を比重計で測定して置き，淡水側は鹹水を逆流せしめざる程度の流量を補給し溢流拱より流出せしむる狀態に保つて置く．次に門扉を所定の量だけ開ければ h_1 は減少し，h_2 は補給量を測定堰より溢流せしむる迄上昇して平衡を保つ．水量調節バルブを締めて，徐々に流量を減少すれば h_1 の減少は h_2 の減少より大であつて，遂に着色せる鹹水が底を匍ふ樣にして侵入して來る (圖-7)．此の狀態に於ける淡水及び鹹水の水位を水面測定器を以て測定し，次で門扉を閉鎖して鹹水側は再び攪拌して比重を測定し，同樣の實驗を繰り返した．

圖－7



扉の幅は 1 cm, 5 cm, 15 cm, 30 cm の 4 種，開高は 1 cm, 3 cm, 6 cm の 3 種の各組合せに就き實驗を行つた．開高を大ならしむると實驗の前後に於ける濃度の差が大となるので 6 cm 迄實驗を行つた．

海水の比重は約 1.02 前後であるが，江戸川水門は河口より約 9 km 上流に位置する爲，鹹水が此處まで侵入して來る時は比重は幾分減少するものと思はれる．實驗に於ては 1.00～1.11 の範圍を變化せしめた．

圖 — 8

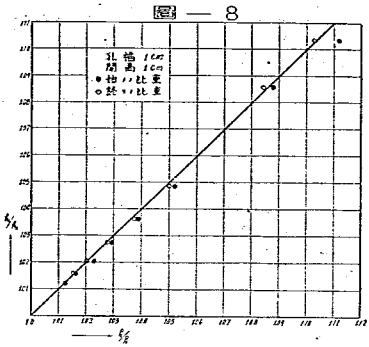


圖 — 9

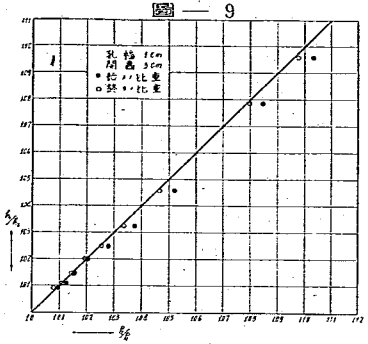


圖 — 10

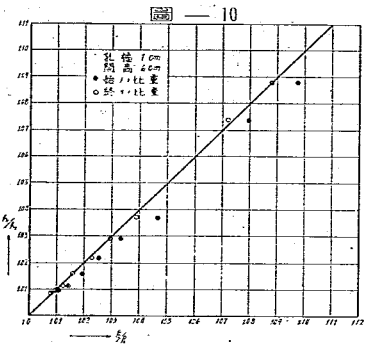


圖 — 11

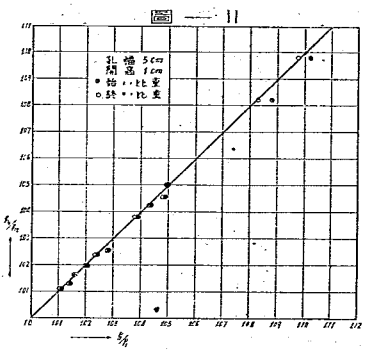


圖 — 12

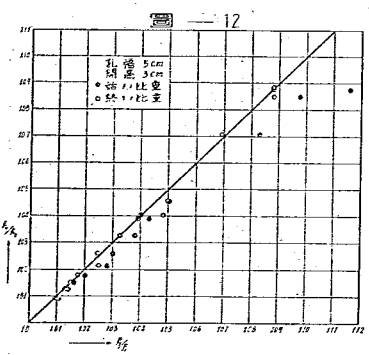


圖 — 13

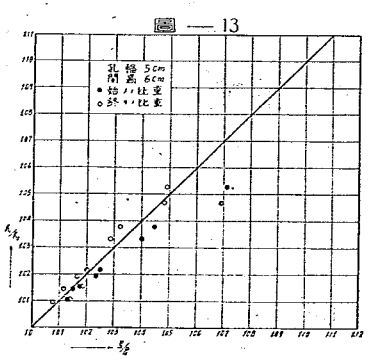


圖 — 14

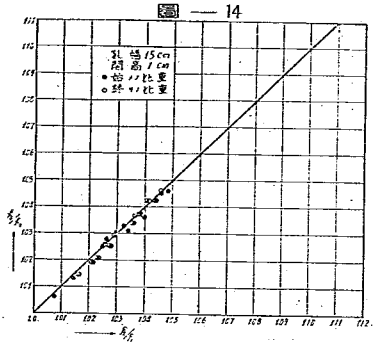


圖 — 15

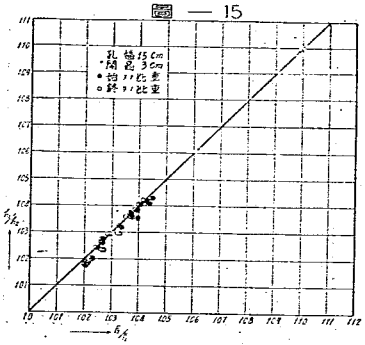


圖 — 16

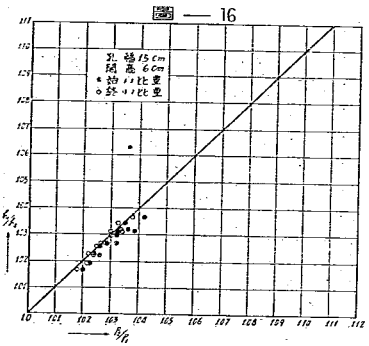


圖 — 17

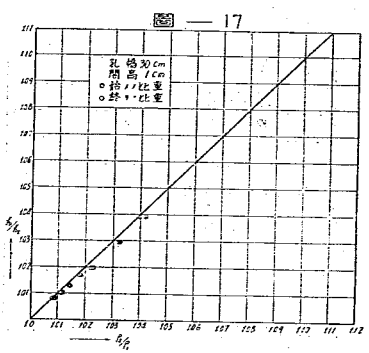


圖 — 18

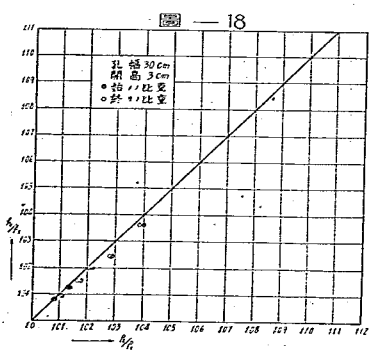
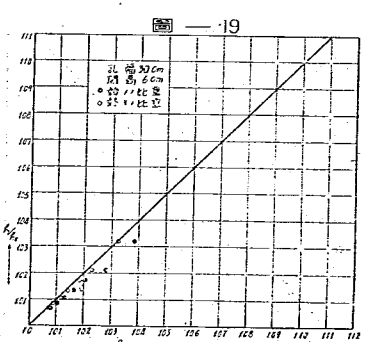


圖 — 19



V. 實驗結果

實驗結果は前述の如く鹹水が將に侵入せんとする限界點に於ける水深の比と密度の比との關係として表はした(圖-8～圖-19). 之等の量は元の無い數値であるから其の儘實際の水門にも適用し得る筈である. 卽ち實際の水門に於ける下流の鹹水, 上流の淡水の密度の比より鹹水を侵入せしめざる最小水頭差 $h_1 \sim h_2$ を求むる事が出來る. 鹹水の侵入狀態を圖示すれば 圖-7 の如くである. 侵入せる鹹水は底に一樣な厚さの層をなしてゐるが, 鹹水側に流入した淡水は門扉を潛ると同時に略, 鉛直上方に湧き上り表面に淡水の層を作る. 實驗中かくの如く比重の異なれる層を生ずる爲に, ρ_2 として如何なる値を取るべきかは非常に困難な問題であるが, 本實驗に於ては簡單に 1 實驗に於て初めと終りの値を記錄して, その變化の兩端を押へるに止めた. 卽ち 圖-8～圖-19 に於て實驗前の比重及び實驗後の比重を區別した.

圖-8 ～ 圖-19 に於て軸と 45 度をなせる實線は $\frac{h_1}{h_2}=\frac{\rho_2}{\rho_1}$ であつて, 底に於ける鹹水及び淡水の靜水壓の等しき場合の水深と密度の關係を示せるものである. 實驗より求めたる點が此の線より幾分下方に散在すると謂ふ事は, 底に於ける鹹水の靜水壓が淡水の靜水壓より多少大であつても猶鹹水が侵入し得ざる事を示してゐる. 之は門扉を潛つた淡水は浮力の爲略, 鉛直上方に吸ひ上げられ, 圖-7 の如き流線を描く爲にその遠心力に起因する動水壓が作用する爲であると考へられる.

VI. 要　　約

上記の實驗結果より多少の餘裕を考慮して次の如く云ふ事が出來る. 門扉に依り淡水と鹹水と隔てられてゐる場合, 底に於ける淡水側の靜水壓が鹹水側の靜水壓より大であるならば開扉してゐても鹹水は侵入しない.

江戸川水門は, 前述の如く河口より約 9km の上流に位置する爲に平水の際は漲潮時逆流する場合でも閉鎖する必要はなく, 從つて, 渴水量が何程になつた時閉鎖すべきかが問題となるのであるが此の點を明らかにする爲に, 現場に於て取水しその鹽分を實測し渴水量と鹹水の侵入との關係を求むべく實驗中である.

路面の縦及横滑り摩擦抵抗に及ぼす路面種別と其の性狀との影響に就て(第1報)

內務技師　島　田　八　郎

目　次

I. 總　說……(2)
[1] 緒　言……(2)
[2] 路面抵抗係數の特性……(3)
[3] 滑り摩擦抵抗特性と試驗條件……(5)
II. 歐米諸國に於ける既往の試驗……(7)
[1] 序……(7)
[2] 英國に於ける試驗……(8)
[3] 米國に於ける試驗……(8)
[4] 獨國に於ける試驗……(9)
[5] 佛國に於ける試驗……(9)
III. 滑り抵抗測定方法……(10)
[1] 測定試驗裝置……(10)
[2] 摩擦抵抗係數の算定……(12)
[3] 試驗タイヤーの種類竝に性質……(13)
[4] ダイナモメーター竝に同記錄……(14)
IV. 試驗路面……(20)
[1] 路面種類……(20)
[2] 路面狀態……(20)
V. 明瞭なる踏面(トレッド)を有する空氣タイヤーによる試驗……(25)
[1] 序……(25)
[2] コンクリート系路面……(25)
[3] アスファルト系路面……(27)
[4] コンクリード系，アスファルト系路面横滑り摩擦係數(f_s)と操向角(θ)との關係(其の1)……(30)
[5] 小舖石路面……(31)
[6] 砂利道……(33)
VI. 路面平滑なる空氣タイヤによる試驗……(34)
[1] 序……(34)
[2] コンクリート系路面……(34)
[3] アスファルト系路面……(36)
[4] コンクリート系，アスファルト系路面横滑り摩擦係數(f_s)と操向角(θ)との關係(其の2)……(39)
[5] 小舖石路面……(41)
[6] 砂利道……(43)

VII. 各種路面の縦及び横滑り摩擦係数 (f_b, f_s) の特性……(44)
[1] 縦滑り摩擦係数 (f_b) と速度との關係……(44)
[2] f_b 係数に及ぼす路面の濕潤，乾燥兩狀態の影響……(48)
[3] f_b 係数とタイヤー平滑度との關係……(49)
[4] 横滑り摩擦係数 (f_s) と速度との關係……(50)
[5] f_s 係数に及ぼす路面の濕潤，乾燥兩狀態の影響……(51)
[6] f_s 係数とタイヤー平滑度との關係……(52)
[7] f_b 係数と f_s 係数との關係……(53)
VIII. 結　論……(54)

I. 總　說

[1] 緒　言

近世に於ける高速度交通車輛，特に自動車の異常なる進歩普及に伴ひ，之が最も經濟的且つ安全なる運用を期する爲に，路面の構造竝びに狀態を常に適切に建設維持しをく必要のある事は多言を要せず．本邦內務省により定められてゐる道路構造令も同趣旨により定められたものである．其の中，本試驗に關聯せる事項は路面に於ける自動車車輪の縦，横滑り摩擦係數である．卽ち其の基準とすべき滑り摩擦係數が指示され，其の數字に準據して路線曲線部の半徑，片勾配と自動車速度との關係が定められてゐる．勿論其の値は滑り摩擦係數の一つの最低値を假定せるもので實用上安全率を考慮に入れる時，更に大なる値を保つ樣路面の建設保守を行ふ必要がある．

通常，滑り摩擦抵抗とは制動時に於ける自動車車輪を含む平面內の滑りにて縦滑りと稱する (Straight Way 又は Longitudinal Skidding) ものと，疾走中に於ける車輪平面に直角方向の滑り卽ち横滑り (Sideway 又は Transversal Skidding) との2種のものを意味す．兩摩擦係數は鋪裝種別，氣候，使用タイヤー空氣壓力，表面の平滑度，タイヤー荷重等により異るは勿論，特に路面の乾燥，濕潤による影響が著しい．後節記述す所あらんも，英米佛獨の諸外國に於て夙に此種の試驗研究を行ひつゝあるも，同じコンクリート，アスファルト・コンクリート路面に於ける摩擦係數の値の速度に對する傾向も異なる結果を發表してゐる．各國情に應じ特種工法を考案實施せる土木工作物に於ては，當然の歸着點である．我國に於ては，未だ系統的に試驗せしもの無く是非，本邦路面に就き滑り摩擦係數を實測する必要がある．然るに第8回國際道路會議第5部委員會の議題の一つにも

・ A ; 滑り度又は路面波狀竝に滑りに對する抵抗 (5th Section……Examination and Standardization of Carriageway Surfaces from the point of their : A……Slipperiness or Rugosity and Resistance to Skidding.)

……の如く滑り抵抗に關するものがある．縦滑り摩擦係數は所謂制動距離算定に採用され

るものであるが，勿論其の可否に就ては論究の餘地がある．蓋し，將來益〻普及せんとするコンクリート系，アスファルト系，アスファルト・コンクリート系，瀝青乳劑鋪裝に就き其の滑り抵抗を明かにしをく事が最も肝要である．本試驗は斯かる見地より，上記數種の路面に於る乾燥，濕潤撒水雨狀態に就き縱，横兩滑り摩擦抵抗を測定せるものである．同時に車輛疾走速度竝に，タイヤー面の平滑度の滑りに對する影響をも明かにしたものである．

横滑り試驗の場合は，操向角に相當する車輪進行方向と車輪平面との角度の滑り，摩擦係數に及ぼす影響をも各鋪裝路面に就き試驗した．元來，此種試驗の結果は，使用試驗裝置特に牽引力測定機 (Dynamometer) の構造により，其の得たる結果の判斷に細心の注意を要するものである．例へば，積算ダイナモメーター，油壓ダイナモメーター，發條ダイナモメーター竝に取付け機構により抵抗値の算定に修正が必要となる．使用ダイナモメーター記錄の直接の値は，試驗の結果判定に重要なものであるから，可成り詳しく記載する．低速度の場合，乾燥，濕潤兩狀態に於ける滑り抵抗の差異は，從來の試驗結果の示す如く常に濕潤の場合小として認定する事は，一應再吟味を必要とする程複雜なもので一般に豫期し得ない現像の起り得るものである．

以上の見地により，後に詳論する如く各種の試驗を行ひ，滑りに對する抵抗 (Resistance to Skidding) の値を明かにし，滑り度 (Slipperiness) の判定に資し，路面の構造，保守の指針卽ち Standardization of Carriageway を得んとす．

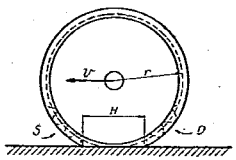
本試驗は又引續き行はるべき試驗の一部分である．

［2］ 路面抵抗係數の特性

路面の自動車タイヤーに對する相互關係の中，力の傳達に關するものは頗る複雜にして未だ解決せざるものが多い．最も簡單と想像されてゐる剛體圓壔の剛體平面に於ける廻轉滑り運動に於ても，常にレプロデュスブルの値を得る樣試驗を行ふ事は困難とされてゐる．殊にタイヤーの如き可變體にて且つ環狀體の路面上に於ける運動に至つては，實驗的に各種運動狀態に於ける抵抗力を定める以外に全く方法がない．實驗的に考察するも唯だ或種の平均値を求め得るのみである．今簡單に大別すれば

回轉摩擦抵抗係數，滑り摩擦抵抗係數に2別し得るも，實際上純粹な回轉滑り運動は存在し得ない．今，路面の接觸點を過ぐる車輪の有効半徑を r，とし回轉角速度を ω，車輪中心の道線進行速度を v とすれば，路面とタイヤーの相互關係により v, ω の間には $v \gtreqless r\omega$ の場合がある．$v<r\omega$ は滑りを含む場合，(前滑り) $v>r\omega$ は後滑りの場合である．今，タイヤーの路面に對する接觸部分の前後を考察するも，圖—1 の如く S 部 D 部に於て $v \lesseqgtr r\omega$ の如き運動が起つてゐる．

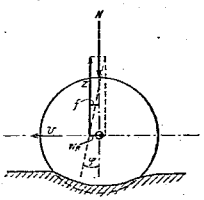
圖 — 1



H 部は密着部分にて，密着部に於ける誘導される固着抵抗を R_0 とすれば，R_0 が一定の値 f_0N，(N 垂直荷重)より小なる間は，タイヤー面と路面とは平均として相互に直線的運動を示さず，所謂廻轉運動をなす．f_0 の値は，固着係數と稱し，路面に關しては重要な數値である．殊に主動車輪にて主動回轉モーメント M_d より得る前進力 $P=M_d/r$ は f_0N より小なる事を必要とする．一般に可變路面上にて可變性タイヤーが回轉せる時は，圖—2 の如く反回轉モーメント $M_R=Z\cdot f$，抵抗力 $W_R=Z\,tg\,\varphi$ が車輪の運動に加はる．W_R は縱滑り抵抗と類似の性質のものである．

M_R は回轉摩擦抵抗である．

圖 — 2



路面とタイヤーの相互可變性により M_R の値は著しく異るもので，例へば空氣壓力小となれば M_R は著しく增大するものである．斯かる回轉抵抗の場合は，別に運輸交通經濟の部門に於て論究されるものであるから本報告では省略す．

固着係數 f_0 を超過せし場合は，路面とタイヤー面との間に滑り現象を生ず．本試驗は斯かる場合の摩擦抵抗係數を試驗せんとするものである．今 1 車輪と路面との總滑り抵抗力を R とすれば

$$R=\Sigma\,(N_i\cdot\Delta F_i)f_i$$　　で示される．

但し　$N_i=\Delta F_i$ 接觸面の垂直壓力 kg/cm²，　ΔF_i=接觸面の一部分，

$f_i=\Delta F_i$ 部の平均摩擦係數を示すとすれば

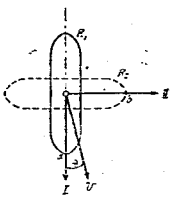
$$N=\Sigma N_i\Delta F_i \text{ とし } R=fN,\ f_0=\Sigma(N_i\cdot\Delta F_i)f_i/\Sigma N_i\Delta F_i \quad\cdots\cdots(1)$$

の式にて縱滑り摩擦抵抗係數 f_0 を表してゐる．最近の研究によれば，f_i の値は接觸面の部分により異るものである事が論ぜられてゐる．然れども，制動靜止距離其の他，自動車の運動學に關する特性を簡單に取扱ふ間は，斯かる接觸面內の摩擦抵抗係數 (f_i) の分布を論ずる必要は今の所ない．路面に於ける剪斷應力の大小等，路面の破損に關する事項を論究する場合には是非必要となる．卽ち道路工學上には是非 f_i の分布を知る必要がある．

本報告では，總て平均摩擦滑り抵抗係數 f の意味に問題を取扱ふ事とする．最も簡單に滑り摩擦抵抗を上記の如く考察すれば，接觸面の全大さ F_0，總垂直荷重 N を與ふれば運動方向の抗力 R は一定となる．圖—3 の如く，進行方向 v が車輪平面と θ 角を爲す場合も v 方向の R を一定と假定すれば，制動縱滑り抵抗の I, II 方向の分力は $R\cos\theta$，$R\sin\theta$ で示される筈なれども事實は然らず，寧ろ疾走中は路面車輪間に作用する抗力は

R_2—曲線の如く II 方向に著しく大で，且つ制動を車輪に加ふれば，R_1—曲線の如く抗力の分布を變動するものである．路面に對する自動車の交通上の安全の立場より考察し，R_1，R_2 曲線の最大徑の値 oa，ob に對する速度の影響，タイヤー面の平滑度の影響，路面の乾燥，濕潤等の及ぼす傾向を明かにし，鋪裝種別の差異をも明かにせんとするものである．滑り抵抗試驗を試みんに試驗條件を定める必要がある．[3] に滑り摩擦抵抗に關する特性を考察し試驗條件を定めんとす．

圖 — 3



[3] 滑り摩擦抵抗特性と試驗條件

タイヤーを有する試驗車の縦，横滑り實驗を行はんとするに，2，3 其の條件を定める必要がある．例へば

1) 試驗用車輪タイヤーの平滑度の撰定，2) タイヤーの空氣壓力竝に荷重，3) 縦滑り，即ち制動時に於ける回轉成分を絶無とすべきか，4) 横滑り試驗に於ける操向角 (θ) の撰定，5) 濕潤撒水狀態を作る方法……の如きは其の主要なものである．總ての事項は各〻詳細に研究を要するもので，路面の種別によつても傾向を異にするものである．實用を主眼とする場合は最も一般に行れてゐる自動車の條件を，其の儘適用する事も有效な一法である．又單に路面の比較のみを試みんとする場合は，特に製作した平滑ソリッド・タイヤー等を使用するも一法である．何れによるも一半の目的を達成し得るものである．本試驗は路面の比較は勿論の事，自動車の運動時に於ける縦，横滑り抵抗値をも得んとするものであるから，其の條件には實際の自動車に可及的近いといふ事を滿足せしめねばならない．

1) 先づタイヤー平滑度の撰定の事項より考察せん．通常，平滑面のタイヤー，トレッド明瞭なるもの何れが滑り抵抗力大なるやは路面の種別，狀態によるもので，一概に總ての場合平滑なるものが摩擦抵抗力小なると斷言する事は不可能である．G. Bird, W.J.O. Scott 竝に R. A. Moyer(1) の試驗結果を見るも明かである．但し，平滑面なる爲路面の種別の差異は明瞭に表れ，路面の滑り度を判別するには便である．路面滑り度試驗用平滑タイヤーを特に製作し使用するも，全く上記の理由による．本試驗は新しき，トレッドの明瞭なるものと，磨損平滑なるものに相當すべくトレッドの溝部をタイヤーゴムにて埋合せしものとの2種を使用し兩者の差異を明かにした．

2) タイヤー空氣壓力の影響も，直接にはタイヤーと路面との接觸面の大小，竝に變形率に關係し，從つて滑り摩擦係數にも影響する所頗る多し．而も，路面の乾燥，濕潤狀態により影響を異にするは勿論，縦，横滑りに於ても全く影響が異るものである．例へば縦滑りの場合，空氣壓力減少に伴ひ滑り摩擦係數も減少す．横滑りの場合，乾燥路にては同

様の傾向なれども，濕潤の場合は壓力減少に伴ひ摩擦係數增加する事回轉摩擦抵抗の場合と類似してゐる．其の變化傾向も路面種別により異るものなる故，嚴密な試驗を行はん爲には可成り廣汎な資料を蒐める必要がある．其れ故本試驗に於ては，使用タイヤーの標準空氣壓力を採用し，參考の爲タイヤー性能試驗に於て接觸面積竝に變形率を測定した．

荷重による影響も空氣壓力の場合と同樣，接觸面積によるものと推測し得．荷重の增加に伴ひ縱滑り摩擦係數は減少し，橫滑りの場合は，一旦增加し更に最大點を經て減少するものである．斯の如き傾向なれば荷重もタイヤーに對する實際自動車の荷重を考慮して定むべきである．斯かる點より考察するに，車輪に關する限り單車，複車何れの方法によるも，實際のものと類似せるものを使用すべきである．

舊くより固體間の滑りに關し Coulomb[2] の法則なるものあり．滑り摩擦抵抗力 $R=fN$ は總荷重 N に比例し，荷重密度 (N/接觸面積)竝に速度 (v) に無關係とされてゐるが，タイヤー路面の間には斯かる法則は成立たず，殊に水層が路面に存在せる場合には f の常數ならざる事は (N の函數) 勿論，速度に縱滑り摩擦係數が比例する等 Coulomb 法則よりの偏倚が著しい．Osborne Reynold[3] (1886)の古典的粘性係數による研究を始め，Sommerfeld，Michell[4] の研究，R.N.J. Seal (1936)[5] 最近の研究によるも液體粘性論によれば，正規範圍 (Normal Domain) では速度の增加に伴ひ抵抗力が增加するが，速度の比較的小なる範圍では速度の增加に伴ひ抗力は減少するものである．實際斯かる傾向あるも，水層の作用は更に複雜にて，相互に滑る固體の種別によつては濕潤狀態の方抵抗力の大なる場合がある．卽ち滑劑として存在する液體と固體との相互化學親和力の大小により，全く正反對の影響を現すものである．殊に面間に塵埃，泥土の存在せる場合必ず滑り摩擦係數が著しく減少するものである．泥水の滑劑としての作用は解決されてゐない問題であるが此點に關し深く觸れる事は省略す．記述の順序を變へるも，5) の濕潤狀態を實現する方法を述べる．

5) 上述の如く水被卽ち濕潤狀態に於ては,滑り摩擦抵抗は複雜なものであるが，實際路面上に於ても濕潤の度を加ふると共に，滑り摩擦係數は減少し强降雨狀態の程度に至り最低に達すと Moyer[6],Stinston[7] 及び佛國[8] に於ける研究も斯く發表してゐるが，Bird, Scott[9] によれば降雨の最初期に於て摩擦係數は一旦著しく減ずるも後降雨と共に增加し，强雨に至つて或る一定値を示すものである．勿論此値は，乾燥時のものよりは甚だ小さいものである．此の Bird, Scott の結果は最も合理的で從つて，撒水による試驗結果と降雨中の場合との差異をも推測し得．實際の試驗結果によるも，明かに其の記述の正しき事が立證されてゐる．以上は撒水によるも路面は完全に水被狀態を示す場合で，乾燥，濕潤(水被)兩狀態の中間の如き場合は又自ら異るものである．

從つて交通の安全側より判斷すれば，撒水による試驗結果をとる方が望ましい．本試驗は濕潤狀態として撒水法による事とする．

3) に掲げた制動時の縦滑り試驗は，車輪の回轉を完全に束縛し行ふべきか，小量の回轉を許すべきかの判定にも，從來の試驗結果を參照する必要がある．舊くは縦滑り試驗にては，純滑り度 % の增加に伴ひ滑り摩擦係數は增し，純滑り度 40 % 程度にて摩擦係數は一定の値に達すと信ぜられてゐたが，最近Moyer[10], Stinston[11] の實驗によるも，縦滑り狀態に於て車輪の回轉を含む場合の方が抵抗係數が大である．獨國 Stuttgart[12] に於ける實驗にても，純滑り 30 %～70 % 程度で最大の抵抗力を現してゐる．W. Kamm, C. Schmidt[13] も制動縦摩擦係數は，固着力と回轉摩擦抵抗力との和で示されるべきで，從つて純滑りの場合より回轉を含む方が抵抗力大であるべきと主張してゐる．[1] に述べし如く路面，タイヤーの狀況により回轉による抗力が縦滑りと同方向に抗力 (W_R) を生ずるものである．然るに斯くして得たる回轉運動を混入せる場合の見掛上の縦滑り摩擦抵抗力は，路面上に於ける實際の場合不確實である．試驗としては車輪の回轉を完全に束縛して行ふべきである．

縦滑り制動試驗より得たる摩擦係數より計算上算定せし自動車停止距離と，自動車自體に制動をかけつゝ實際に得る停止距離とは，一般に一致せざるは速度による滑り摩擦係數の異る事と，上述せし回轉運動を含む影響にもよるものである．

4) の横滑り試驗に於ける操向角 (θ) の撰定は，5° 毎に 3 種の角度を各路面に就き變じ試驗した．大體從來の試驗結果により角度 15° 又は 18° に於て横滑りは最大一定に達し，更に角度增加するも抗力に變化なき事が，2, 3 の鋪裝に就き發表されてゐる．

以上述べし事項により，滑り摩擦抵抗試驗を行はんとするに當り，1) ～ 5) の如き主要條件を如何に撰定すれば所期の目的を達成し得るか，從來各國に行はれし試驗結果を考察する事により撰定し得．從つて其の目的に適應すべき試驗裝置を製作し，後章述べる如く路上に於けるタイヤーの滑り摩擦抵抗係數を測定す．

II. 歐米諸國に於ける既往の試驗

[1] 序

本試驗は總說に記述せし如く，道路工學上重要なる資料を提供するものなれば各國に行はれつゝある此種の問題に關する概要を記述する事は，本試驗と比較對照する上にも頗る有意義であり，元來我國に於ては各國の試驗結果を基準とし所謂工學常識を涵養せるものなれば，其の數値の批評上よりするも是非其の記述を必要と思惟す．唯各〻に就き詳細に論究する事不可能なれば，其の概略を列擧する程度とす．

［2］ 英國に於ける試驗[14]

主なる試驗は最近 (1936) Road Research Office の技術報告書 No. 1 及び Bulletin No. 1 に於て G. Bird, W.J.O. Scott が發表せしもので, Kingston-By-Pass (London) の試驗路面にて特別に製作した平滑タイヤーを使用し試みたもので, 横滑り摩擦抵抗のみを測定したものである. 取付け角度とし進行方向と車輪を含む平面との角度は 18° を標準とし, 特に サイドカー を使用し隨時輕便に試驗し得る樣記錄裝置はダイナモメーターによる抵抗力, 走行距離, 時間等を記錄し得る樣にした. 勿論路面は乾燥, 濕潤兩狀態に就き行へるもので, 特に撒水による場合と自然降雨の影響とを區別し其の差異を 1, 2 試驗した. 試驗速度は, 3 哩/時～30.35 哩/時 とした. 第 1 報は主にアスファルト系鋪裝によるものである. 氣象作用の影響が特に 4 年間に亘り試驗してある. 冬期 12 月頃が摩擦抵抗値の最大値を示し, 夏期が最小値を示してゐる. 英國に於ては此種サイドカー型の試驗裝置により一般路面の滑り試驗を統計的に行はんとしてゐる.

後節問題とする濕潤時の影響を少し附言してをく. 英國道路試驗局の結果によれば, 路面が最初極少濕潤狀態になるや, 滑り摩擦抵抗係數は急激に一旦減少し, 撒水の增加に伴ひ (特に强雨に至りて) 增加するものである. 其の他平滑タイヤー, トレッド明瞭なるタイヤー等による滑り摩擦係數の差異は, 米國, 佛國等にて認められてゐるものと同じ傾向を實測してゐる. 横滑り摩擦係數とし, 疾走速度 30 哩/時 の場合 0.5 は安全なるも 0.2 より小なるものは危險であるとしてゐる.

［3］ 米國に於ける試驗

米國に於ては 1919 年頃より Iowa 州立大學の Dean T. R. Agg[15] が路面に於ける滑り摩擦抵抗試驗の必要を提言し, 最初に行はれた路面試驗は 1923～1927 年代である. 1931 年頃より Iowa 州立大學 Moyer 教授[16] により系統的に路面の狀態, タイヤー種別の影響の關係が試驗されてゐる. 其の他 Ohio 州大學の K.W. Stinson 及び G.F. Schlesinger[17] の試驗等は其代表的のものである. 鋪裝種別, タイヤーの狀態等によつても可成り著しい差異を示すもので, 或る種の路面に於ては, 寧ろ摩損せる平滑タイヤーの場合が摩擦抵抗係數の大なる場合がある. 但し, 制動狀態の囘轉を含む滑り抵抗係數は, トレッド明瞭なるものの方が大である. Moyer 試驗は縱滑りの外, 横滑りの場合も詳細に論究せるものである. 使用試驗車として Moyer は 2 輪車を水槽付き貨物自動車により牽引し, 乾燥, 濕潤兩狀態の試驗を行ひ, 又 Stinson, F. Schlesinger の試驗車は 2 輪車, 單輪車にて共に乘用車に取附く. 前者は縱滑り, 後者は縱横滑りを實驗したものである. Moyer 等の試驗では横滑りの場合には, 取付け角度にて摩擦係數異るもので, 摩擦係數の 0.2 程度のものは 8°, 1.05 程度のものは 15° に於て一定値を示してゐる. ダイナモメーターは彈性式積算型で

ある．路面の積雪，水覆狀態に就きても試驗せしもので，可成り多くの資料として發表せるものである．平滑タイヤー，トレッド明瞭なるものとの差異も路面種別により異るもので，結果は可成り複雜せるものである．滑り摩擦抵抗係數は縱滑りの場合，速度の增加に伴ひ減少するもので，横滑りの場合には減少度が少い．但し鋪路の材齡及び試驗期の氣象作用影響の系統的研究は發表されてゐない．

［4］ 獨逸に於ける試驗

獨逸に於ては主として，自動車工學の發達の見地より其の性能試驗が各方面より行はれてゐる．室內試驗並に自動車の走行抵抗（回轉摩擦抵抗）の研究は以前より數多發表されてゐる．今本試驗の如き制動縱滑り抵抗試驗のもの、1例として，Darmstadt の工科大學[18] の道路科にて研究用として使用されてゐる路面滑り抵抗係數試驗用裝置を說明す．乘用車に單車トレイラーを牽引せしめたもので，疾走中に制動を車輪に加へ，縱滑り摩擦係數を測定するものである．セメント系，アスファルト・コンクリート，タール・マカダム路面に於ける實測値として乾燥，濕潤(降雨中？)兩路面の場合の結果が揭げてある．詳細なる報告に接する機會なく深く論究し得ざるも，濕潤の場合の縱滑り摩擦抵抗は，乾燥狀態のもの、60％（セメント系），38％（タール・マカダム），28％（アスファルト・コンクリート）である．

使用タイヤー，試驗期日も不明なれば，之以上結果に就き記述する事は不可能である．其の他 Stuttgart 工科大學[19] に於ても環狀路線を有する所謂テデングトン路面試驗機械と稱する如きもので，乾燥，濕潤，表面汚染濕潤せる場合の3狀態に就き 1930 年より 1933年に亘り縱滑り摩擦抵抗を測定し，同係數とタイヤーと路面との間の壓力との關係をも 2，3 明かにしてゐる．大體に，アスファルト系鋪裝，アスファルト・コンクリート系，コンクリート鋪裝は，滑り摩擦係數が減少し，花崗小鋪石，玄武小鋪石鋪裝に於ては特に著しく係數が減少してゐる事は注目に値す．其他自動車性態を主としたもの、研究は枚擧に遑なし．

［5］ 佛國に於ける試驗[20]

1923 年に Debès，Hupner が路面上滑り試驗の必要性を提言し，1926 年に Debès，Naud，Hupner が簡單な牽引車を使用して實驗したのが嚆矢であるが，速度が考慮に入れられてゐない．其の後，G. Mathiew (1931)，M. Boutteville，Lehanner，Bouly (1933) が各獨特の試驗車を考案し路面との各種滑り摩擦抵抗を試驗した．更に 1935 年に瀝靑乳劑製造組合 (Le Syndicate des Fabricants d' Emulsions routières de Bitume; S. F. E. R. B.) が Stradograph と稱する路面滑り摩擦係數測定裝置を製作し，同年より各種路面の横滑り摩擦係數を測定してゐる．試驗車も單車，複車，横滑り摩擦抵抗測定專用

のもの等種々異つた形式をもつてゐる．試験は乾燥，濕潤狀態に於ける縱橫滑り摩擦係數と，タイヤー壓力，載荷等との關係を實驗したものである．濕潤の影響等も必ずしも冀に述べた英國に於ける試驗結果とは一致せず，濕潤程度の增加に伴ひ摩擦係數は順次減少する傾向を示してゐる．タイヤー壓力の滑り摩擦係數に及ぼす影響も路面の狀態により著しく異るものである．詳細なる報告書に接せざるも，滑り抵抗係數は各種多樣の條件により支配される事を明瞭に示せるものである．

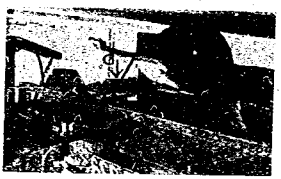
以上各國に於ける結果を通覽するに地方的影響によるか全部一括し適用される如き結論には至つてゐない．卽ち國際的にも各國，更に地方的にも小部分に區劃し試驗研究する事の必要性が如實に示されてゐる．

III. 滑り抵抗測定方法

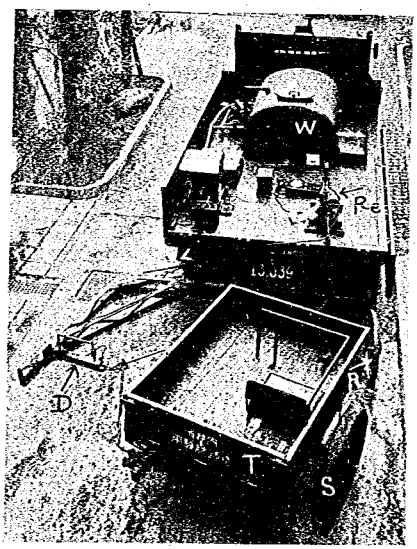
[1] 測定試驗裝置

試驗裝置の主要部分は，自動車タイヤーを裝備せる2輪車（トレイラー）と牽引用トラックより成り，同トラックは容量 1.8 噸車にて撒水用水槽（容量約 0.5 噸）及び撒水用ポンプを備へ，自動車エンヂンに聯結し運轉す．寫眞—1 (a), (b) は其の設備全般を示すものである．(a) は縱滑り試驗に於けるダイナモメーター取付け狀態を示す．(b) は橫滑り試驗に於ける試驗車並にダイナモメーターの取付け關係を示すもので，記號を說明せん．

寫眞—1 (a)
縱滑り試驗に於けるダイナモメーター (D) 取付けを示す



寫眞—1 (b)
橫滑り試驗に於ける試驗裝置の裝備

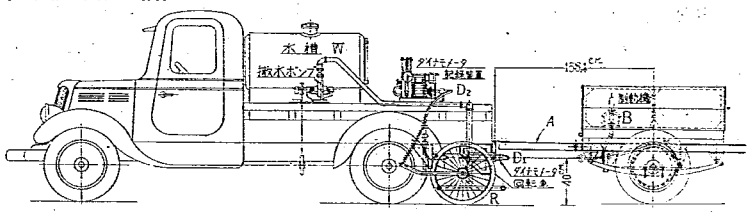


D＝抵抗力測定用ダイナモメーター，　*T*＝試驗車，　*S*＝タイヤー，　*W*＝撒水用水槽
Re＝記錄裝置，　*R*＝進行距離測定用車輪

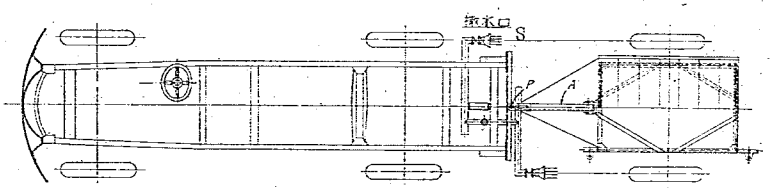
を示すものである．圖—4 は同裝置の構造圖面にて，(a) は垂直圖，(b)，(c) は平面圖である．圖面により明かなるも (a)，(b) 圖は縱滑り，(c) 圖は横滑りの場合の裝備を示す．(c) 圖に示す角 θ は操向角度に相當するもので，進行方向 V と車輪を含む平面との角度にて，ダイナモメーター D と車輪平面とは常に垂直なるを要するものである．A は試驗車の腕にて尖部に溝あり，牽引車部のピン (P) が嵌まる．

圖 — 4　試驗裝置（路面抵抗測定車）構造圖

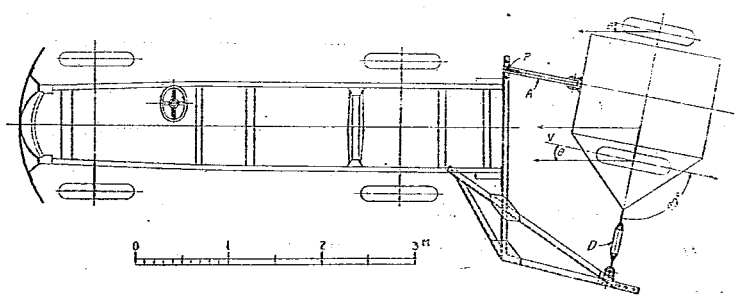
(a)　縱滑り試驗の場合



(b)　同上平面圖



(c)　横滑り試驗の場合（平面圖）



[2] 摩擦抵抗係数の算定

圖—4 (a), (b), (c) により試驗に於ける各裝備の相互的關係は明かなれども，斯かる裝置により測定せしダイナモメーター (D) の記錄の牽引力 P より I. [2] に述べた滑り摩擦係數を算定するに必要な數式を述べん. 圖—5 (a), (b) は其の說明圖である. (a) は縱滑り，(b) は横滑りの場合を示す.

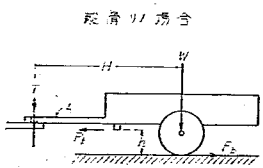
W=車輪にかゝる荷重 (試驗車の兩輪)，　h=ダイナモメーター取付け高さ

P_b, P_{s1}, P_{s2}=縱，横滑り狀態に於けるダイナモメーター (D) の指示牽引力 (試驗車全體に對するもの). 但し P_{s1}, P_{s2} は横滑りの裝備に於ける疾走時の車輪平面の垂直方向の摩擦抗力に對するものと，同平面內に於ける牽引力とを示す.

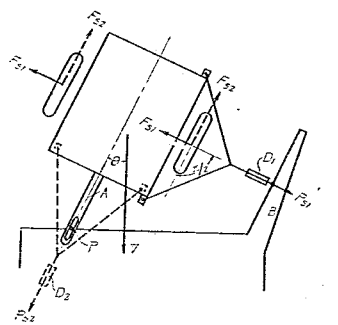
F_b, F_{s1}, F_{s2}; P_b, P_{s1}, P_{s2} に對應する車輪と路面間の滑り摩擦力 (2 車輪當り).

圖—5　摩擦抵抗力算定用圖

(a)



(b)



ダイナモメーター指示力 P_b, P_{s1}, P_{s2} より滑り摩擦係數は容易に求め得.

縱滑り摩擦係數；
$$f_b=\frac{P_b}{W-\alpha P_b} \qquad \cdots\cdots(2)$$

横滑り摩擦係數；
$$\left.\begin{aligned} f_{s1}&=\frac{P_{s1}}{W} \\ f_{s2}&=\frac{P_{s2}}{W-\alpha P_{s2}} \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(3)$$

但し　$\alpha=h/H$　を示すもので，本試驗車の場合は，

H=158.4 cm　　h=40 cm　　α=0.252

である.

荷重Wはトレイラー運轉手の重量を加算し $W=535$ kg とす(使用ダイナモメーター容量により制限さる). 横滑りの場合の車輪平面内の摩擦係數 f_{s2} は II, [2] に記述せし如く車輛の運動學を論ずる場合に重要なものであるが, 本試驗に於ては直接には必要なく省けり. 爾後 f_{s1} の代りに f_s を以て記述す.

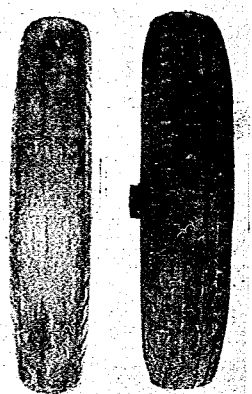
[3] 試驗タイヤーの種類竝に性質

本試驗に使用せしタイヤーはダンロップ(フオート)„90″低壓バルーンタイヤーである. I, [2] の論旨により下記2種のものに就き實驗す.

No. 1 : 平滑タイヤー Dunlop „90″ 5.25″～18″ 空氣壓力 29 lb/□″
No. 2 : 新品にてトレッド形狀明瞭なるもの. 同上

最初 No. 2 タイヤーにて各種路面に於ける滑り試驗を行ひ, 其の後 IV に述べる如く, トレッド形狀の溝部をタイヤー・ゴムにて塡充し平滑車輪を作る. 從つて No. 1 タイヤーは後期試驗に使用したものである. 荷重は常に兩車輪均等に加はる樣試驗車を吊し, 平衡を求め又ロード・メーターを使用し兩車輪の荷重を調節した. 寫眞—2 は兩タイヤーの外觀を示すものである.

寫眞—2　使用タイヤー
No. 1　No. 2



荷重は1車輪當りは [2] に述べし如く; $W=268$ kg とした. 普通の 4, 5 人程度の乘用車の後輪の荷重に比して小なるも, ダイナモメーターの容量により制限をうけ斯かる程度で試驗を行ふ.

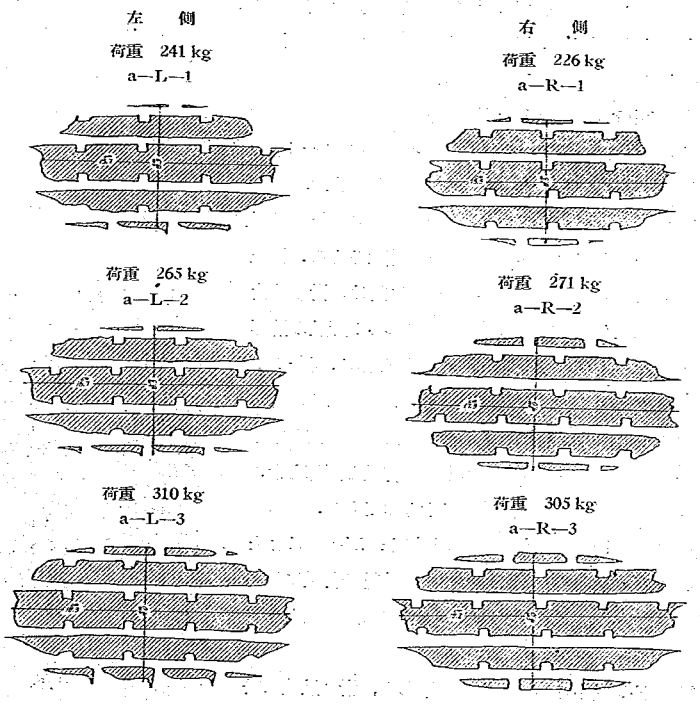
滑り摩擦試驗中は荷重を變えざりしも, 滑り狀態に於ける路面とタイヤー接觸面間の剪斷應力を推定せん爲, 接觸面積, 形狀竝に變形率を測定した. 壓力の分布竝に剪斷力の分布に關する試驗は別の機會に行ふことゝす. 以下簡單に其の結果を述べん.

圖—6 (a), (b) は No. 2, No. 1 タイヤーの接觸面圖形を示すものである. 左側とは試驗車前方より之を定む. (b) 圖は試驗機により測定せしもので空氣壓力も 24, 29, 34 lb/□″ と變へた.

圖—6 (a), (b) より接觸面積を計算し得. (a) の場合は圖形外廓より求め得る見掛面積 A_a と接觸部より測定される有效面積 A_e との2種のものをとり得. (b) の場合は平滑タイヤーなるを以て有效面積 A_e のみである. 圖—7 (a), (b) は圖—6 (a), (b) より夫々求めた接觸面積荷重の關係である. A_e/A_a の比率を求め (a) 圖に記入した.

更にタイヤーの特性として變形度を示さん. 圖—8 (a), (b) は No. 2, No. 1 タイヤーの

圖—6 (a)　タイヤー No. 2 接觸圖形
空氣壓力 29 lbs/□″



荷重による變形量 (mm) と荷重との關係であるが，(a) の場合は路上にて變形量を簡單に測りしもので，圖—8 は Olsen 材料試驗機械にて試驗せし變形記錄量より求めたものである．(a) 圖の場合にはトレッド溝の爲變形量が大きい．以上の如きタイヤー性能を有するものなれば，本試驗條件なる

空氣壓力 29 lb/□″，荷重 268 kg……

の場合の接觸面積變形量等は直ちに求め得．從つて平均垂直壓力 (N_m) を算定し得．

[4] ダイナモメーター竝に同記錄

本試驗に使用せしダイナモメーターは油壓式にて，カストール油を使用す．外觀は寫眞—3 D 記號にて示す如く，構造の詳細は圖—9 に示す如く C_1, C_2 の同心圓筒より成り C_1 部分に油を滿す．外部 A, B 環は牽引力を測定せんとする部分に懸ける．A 環同が圖にて明かなる樣左方に牽引された場合 P 部を經て C_2 を左方に壓ずる事となり結局 C_2

部の油を壓縮する事となり，壓縮された壓力油は S 管を經て記錄裝置 (R_e) の記錄ペン G を力に應じ直線的に移動させる．寫眞—3 の"E" は試驗車の速度車輪より，フレキシブル・シャフトにて回轉を受ける軸で，記錄紙を送る役目をなす．寫眞—3 はダイナモメーターの檢定を行へる實況を示すもので，圖—10 は記錄紙上のペンの移動せし長さとダイナモメーターに加はる牽引力との關係を示すもので"•" は荷重の增加する場合で，"△" は減少する場合を示すも，兩者共に記錄長變化と牽引力とは直線的に變化するを明に示す爲兩者を外した．

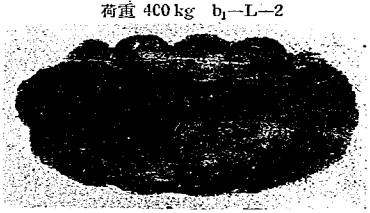
[2] の牽引力 P_b, P_s は記錄長さ (s) として測定されるもので，長さ (s) と滑り摩擦係數 f_b, f_s との關係を圖示し置けば便宜である．圖—11 は與へられたる $a=h/H=0.252$ に於ける f_b, f_s～記錄紙上長さ (s) の關係

圖—6 (b)　タイヤー No. 1　接觸圖形

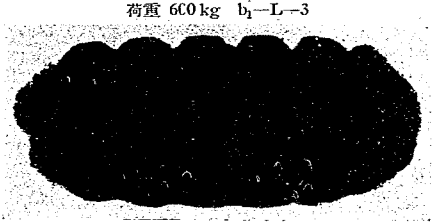
左側　空氣壓力 24 lbs/□″

荷重 200 kg　b_1—L—1

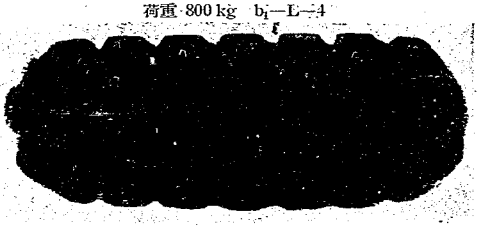
荷重 400 kg　b_1—L—2



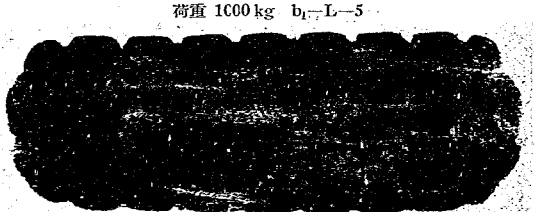
荷重 600 kg　b_1—L—3



荷重 800 kg　b_1—L—4



荷重 1000 kg　b_1—L—5

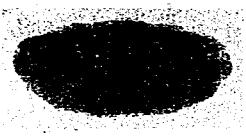


圖—6 (b)　タイヤー No. 1 接觸圖形

空氣壓力 29 lbs/□″

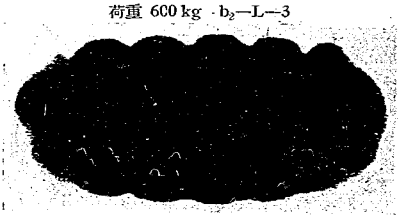
左側

荷重 200 kg　b_2—L—1



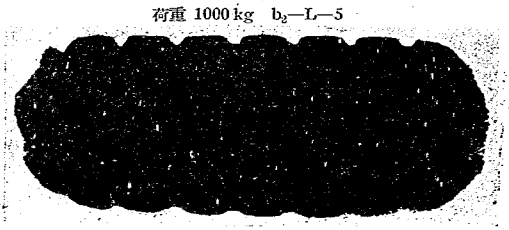
荷重 400 kg　b_2—L—2

荷重 600 kg　b_2—L—3



荷重 800 kg　b_2—L—4

荷重 1000 kg　b_2—L—5



圖である．記錄紙送り速度は，圖—4 (a) の R なる回轉輪による運動がフレキシブルチーブにて傳へられ，寫眞—3 の E 軸を經て與へられるもので，距離の定まれる直線路を疾走し，記錄紙送りと實走距離との關係より兩者の關係を求めた．後章試驗區域に就き詳細記述するも其の一つなる第9號國道浦和市近郊大辻村内 500 m の路，水平直線路に於て電柱間の距離を測定しをき，實驗範圍に速度を變じつゝ記錄紙の進みと疾走距離との關係を求む．圖—12 は送り (d) と疾走距離 (D) との關係を圖示せるもので平均として

記錄送り (d) 5 cm

=47.15 m

の疾走距離に相當する事を確めた．同圖中 • 39.90 の如き數字は2點間區間の平均速度の 39.90 (km/h) なるを示すものである．

ダイナモメーター記錄は縱滑り，橫滑り試驗の場合，各，異るもので，滑りに於ける抗力は常に振動形狀を示す如く記錄されてゐる．

圖—13 (a), (b) は縦滑りの場合の1例である．下部の齒狀は時間を刻めるもので1週期1秒に相當する．送り 5 cm は路上 47.15 m に相當するから同圖より直ちに速度を求め得．乾燥狀態，撒水狀態に於ける抵抗力は圖—13 (a), (b) の場合の如く全く同じ傾向なるも後者の場合其の値が稍〻小である．

抗力による牽引力 P_b, P_s はダイナモメーター記錄の平均値をとる．

圖—14 (a), (b) は横滑りの抵抗試驗の場合にて，(b) なる撒水狀態に於ては大なる週期を有する變動が表れてゐる．更に著しき Sine 曲線形狀の變動の表れる場合あるも，試驗結果を論ずる時必要に應じて詳しく記述せん．

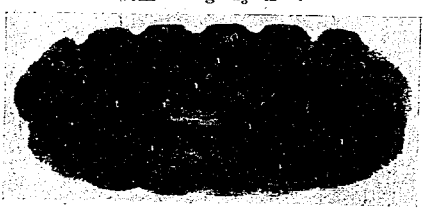
圖—6 (b) タイヤー No. 1 接觸圖形
空氣壓力 34 lbs/□″
左側

荷重 200 kg b_3—L—1

荷重 400 kg b_3—L—2

荷重 600 kg b_3—L—3

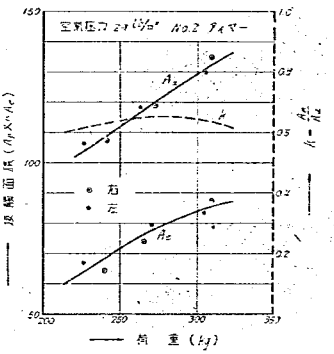
荷重 800 kg b_3—L—4



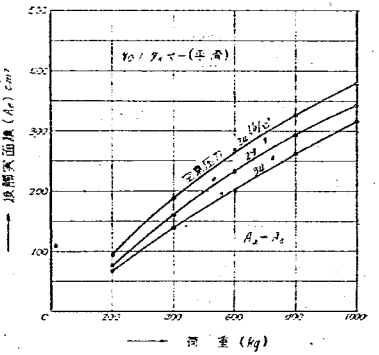
荷重 1000 kg b_3—L—5

圖—7 タイヤー接觸面積と荷重との關係

(a) トレッド形狀明瞭なるもの

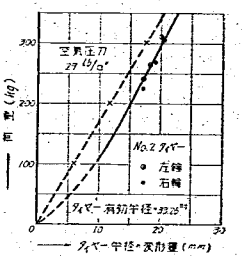


(b) 平滑タイヤー

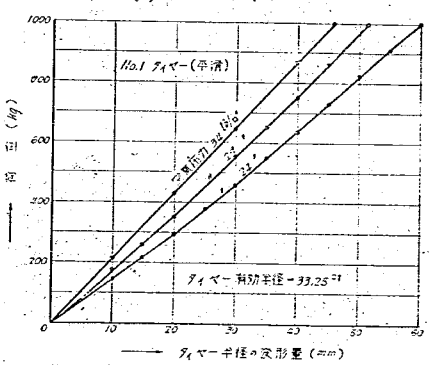


圖—8 荷重とタイヤー半徑の變形量との關係

(a) No. 2 タイヤー



(b) No. 1 タイヤー



寫眞—3 使用ダイナモメーター

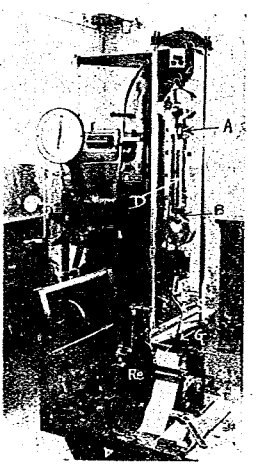


圖 — 9

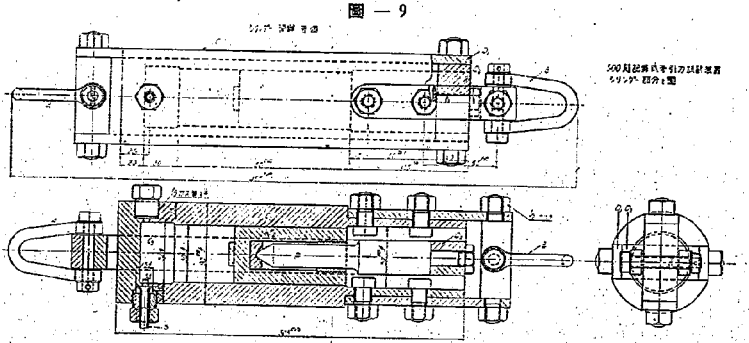


圖 — 10

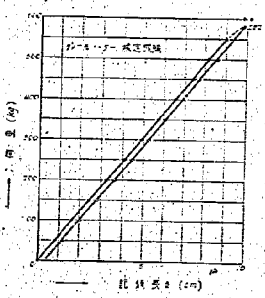


圖 — 11　f_0 又は f_s と記錄長S(s) との關係

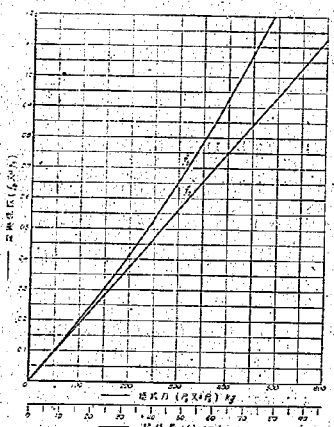


圖 — 12　記錄紙送りと疾走距離との關係

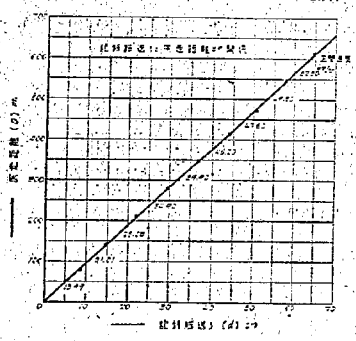


圖 — 13　(a)

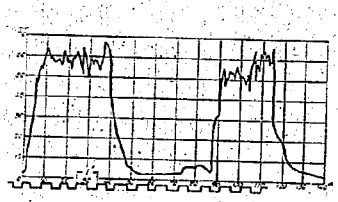


圖 — 13 (b)

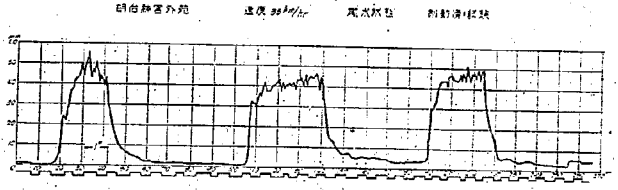
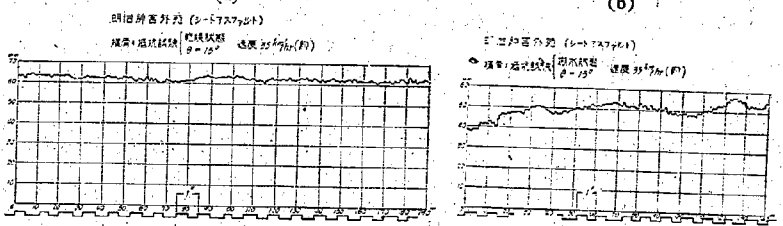


圖 — 14

(a)　　(b)



IV. 試 驗 路 面

[1] 路面種類

路面の如く直接交通車輛の摩損影響を著しく蒙るものにては同じ配合による鋪裝の面の狀況も交通狀態により著しく異るものである．從つて路面鋪裝種別の差異と云ふも可成り地方的特定の條件に支配される．試驗の目的によつては，道路建設後の交通量，竝に交通平均速度を明かにしてをく必要がある．本試驗にては斯かる充分なる資料を蒐め得ざりしも，下記の如き8種の道路に就き試驗を行ふ．主として第9號國道に就き各種鋪裝を擇擇した．小鉢石，砂利道，シート・アスファルト道のみ第9號國道以外に之を求めた．

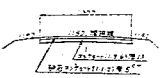
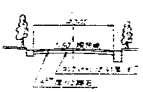
試驗道路は表—1 の如きものである．

圖—15 は滑り抵抗試驗を行つた第 9 號國道路線地圖を示す．同圖中，路線にハッチせる部 $*_1$, $*_2$, ……$*_8$ の如きが試驗せし區域である．

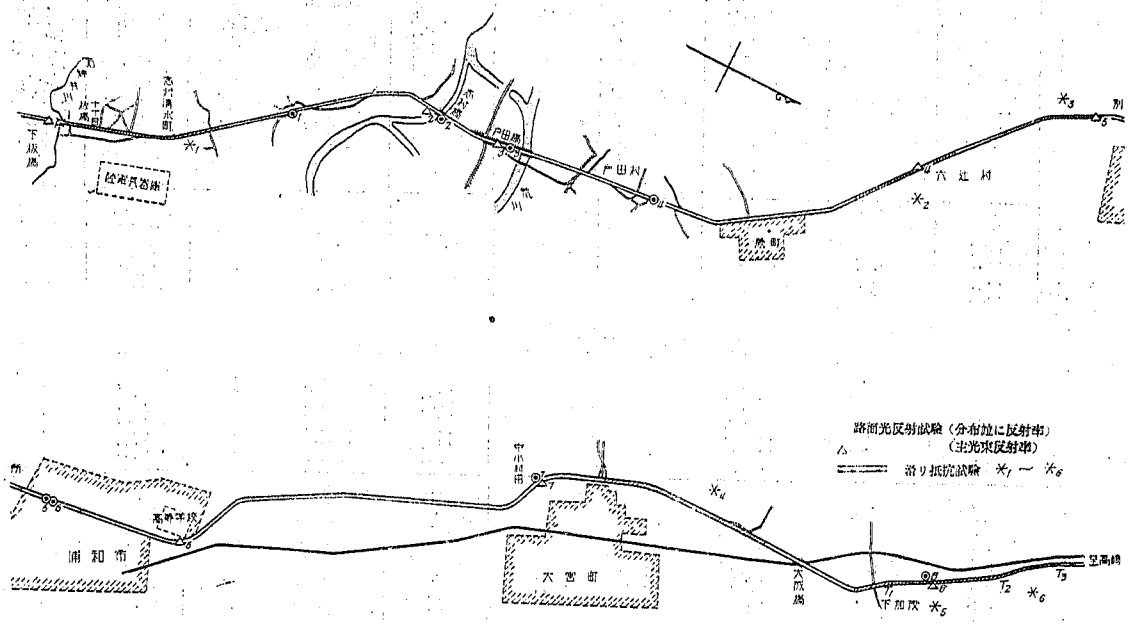
[2] 路面狀態

滑り摩擦係數は要するに路面の條件によるも如何なる表現法を以て此の路面條件を指示すべきやは研究を要すべきもので，I に記述せし樣に滑り抵抗と路面疾走摩擦抵抗とは全く異るもので單にプロヒロメーターにて測りし凹凸度のみより判別する事は困難である．可成りの大さの幾何學的形狀以外，表面材質によるものである．疾走摩擦抵抗の場合はヴイヤローグによる凹凸度が一つの基準に使用されてゐる．實際には本試驗の如き滑り摩擦試驗と適當に擇擇された凹凸度試驗の結果とを比較し，材質に主として基因する表面の特

表 一 1
(但し*1……*6は圖一15地圖上記號を示す)

記號	鋪裝名	所在地	建設年月	路面構造竝配合
A_I	シート・アスファルト(ワーレナイト・ビチューリシック)	明治神宮外苑	大正15年(1926年)	
A_{II}	アスファルト・コンクリート *1	東京市板橋區志村	昭和8～9年(1933～1934年)	路面上塵埃稍多く，凹凸少し.
A_{III}	瀝青乳劑塗裝道(T_1～T_2) *5	埼玉縣北足立郡宮原村大字加茂宮	昭和11年(1936年)	改築倘新しきを以て碎石充分轉壓されず居らず.
A_{III}'	瀝青乳劑塗裝道(T_2～T_3) *6	同上	末詳	相當古き築設と見え路面凹凸甚し.
C_I	砂利コンクリート *4	埼玉縣北足立郡日進村	昭和10年(1935年)	築設倘新しきを以て路面平坦.
C_{II}	碎石コンクリート *2	埼玉縣北足立郡六辻村	昭和7年(1932年)	 路面稍ゝ凹凸あり，交通量比較的多し.
C_{III}	膠石コンクリート *3	埼玉縣北足立郡六辻村別所及埼玉縣浦和市內	昭和7年(1932年)	 交通量多く路面磨かれ刻目亦多し縱斷勾配1/60～1/80.
K_{II}	小鋪石(舊)	東京市芝區芝浦	大正14年(1925年)	幅員約10m石塊鋪裝大さ約10cm表面磨損し，倘セメント粉を以て石塊の目地塡充されてある.
K_I	小鋪石(新)	東京市大森區大森驛前	昭和10年8月～11年5月(1935～1936)	縱斷勾配約1/35，輕交通.
G	砂利道	東京市芝區芝浦	末詳	幅員約9.00m，從來の土砂道に砂利を撒布せるもの，未だよく轉壓されず，路面に砂利粒の分散せる狀態なり.

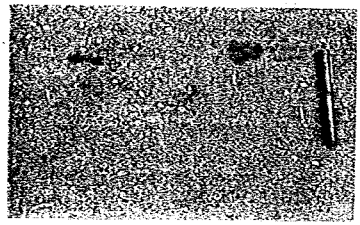
圖－15　試験施行道路所在地図
（紙面の都合上 圖を折半す）



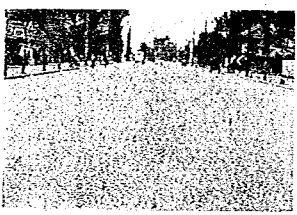
寫眞－4　試　驗　道　路　寫　眞

A_I（シート・アスファルト）全景

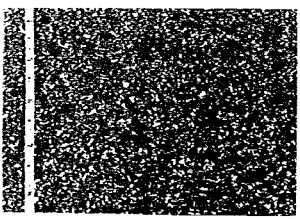
同　左　路　面



A_{II}（アスファルト・コンクリート）全景

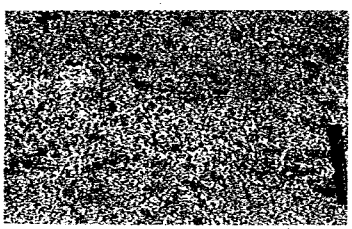


同　左　路　面

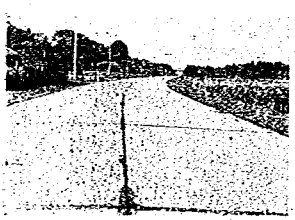


A_{III}（瀝青乳剤塗装道）全景

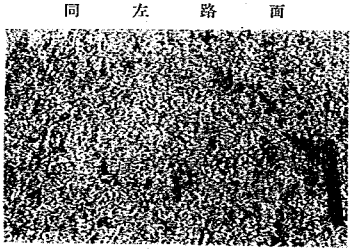
同　左　路　面



C_I（砂利コンクリート）全景

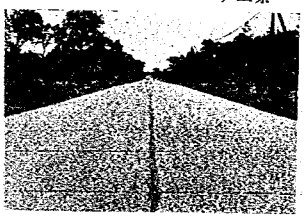


同　左　路　面

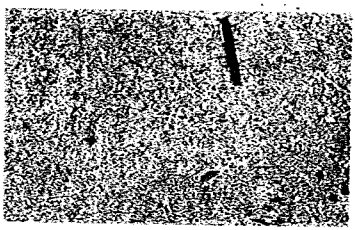


寫眞 — 4 試驗道路寫眞

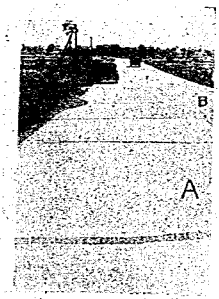
C_{II} (碎石コンクリート) 全景



同 左 路 面



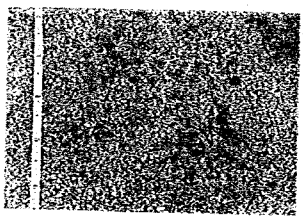
C_{III} (膠石コンクリート)全景



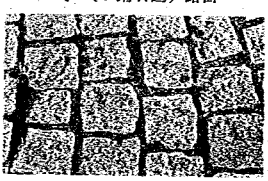
B : 碎石コンクリート

A : 膠石コンクリート

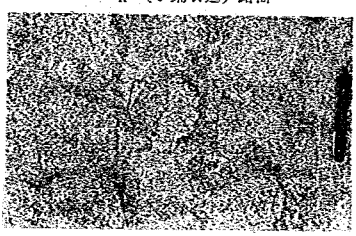
同 左 路 面



K_I (小鋪石道) 路面

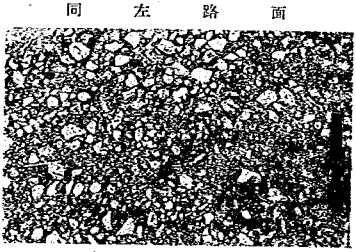


K_{II} (小鋪石道) 路面



G (砂利道) 全景

同 左 路 面



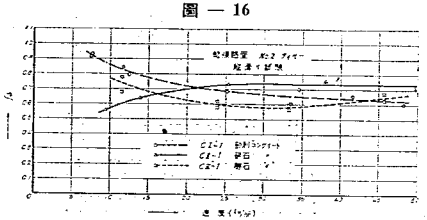
性を論究する事も出來る. Bunpometer にて凹凸曲線を求めしも，別の機會に此等相互關係を述べん. 唯，路面の比較資料として各路面の寫眞を掲ぐるに止む. 寫眞—4の如し.

V. 明瞭なる踏面（トレッド）を有する空氣タイヤーによる試驗

[1] 序　說

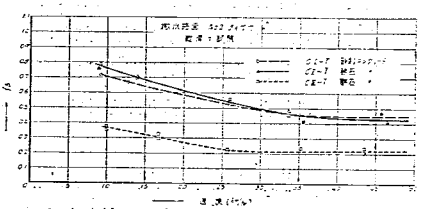
III, [3] に述べた No. 2 タイヤーを使用し昭和 12 年4月中旬より6月上旬の期間に於て乾燥及び撒水狀態に就き試驗す.

圖 — 16



路面種別	f_b と速度との關係 f_b: 10km/h	f_b: 40km/h	傾向 速度增加に伴ひて	試驗日 氣溫
C_I	0.85	0.7	f_b 減少→一定	5月31日晴 26°C
C_{II}	0.57	0.74	f_b 增加→一定	5月25日曇 29°C 25°C
C_{III}	0.77	0.6	f_b 減少→增加	6月2日快晴 30°C

圖 — 17



路面種別	f_b と速度の關係 f_b: 10km/h	f_b: 40km/h	傾向 速度增加に伴ひて	試驗日 氣溫
C_I	0.70	0.45	f_b 減少→一定	5月31日晴 26°C
C_{II}	0.76	0.44	同　上	5月25日快晴後曇 29°C 25°C
C_{III}	0.36	0.22	同　上	6月2日快晴 30°C

試驗速度は約 10, 15, 20, 25, 35, 45 km/h を標準とした.

橫滑り抵抗試驗に於て屢、記述せし如く，車輪平面と疾走進行方向との角度を $\theta=5°, 10°, 15°$ の3種とした.

以下各種路面に於ける縱，橫滑り兩抵抗試驗の結果を順次簡單に記述し後總括的に其の特性を考察せん.

[2] コンクリート系路面

III, [1] の如き裝置により縱，橫滑り摩擦係數試驗を行ひ，常に III, [4], 圖—13 (a), (b)の如き牽引力記錄を得. 平均牽引力 P_b, P_s より縱，橫滑り摩擦係數 f_b, f_s を (2), (3) 式により算定した.

縱滑り乾燥路面　圖—16 は以上の如くして得た縱滑り摩擦係數 f_b～速度 (km/h) の關係を示す.

砂利コンクリート (C_I), 膠石コンクリート (C_{III}) 共に速度の增加に伴ひ摩擦係數減少 (f_b) するも，碎石のみは增加する傾向を示してゐるが，絶對値に就ては3者共大差なし.

特性を表示すれば上表 (圖-16下) の如し.

C_{II} の碎石路面が速度に對する傾向

より判別するに最も有効であるが，低速に於て抵抗の減少せるその理由明かでない．

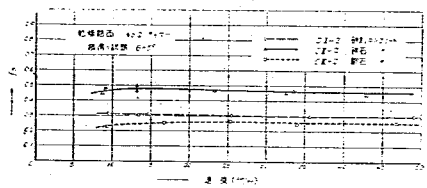
次に撒水狀態に於ける試驗結果を述べん．

縱滑り撒水路面　　圖—17 は路面 C_I, C_{II}, C_{III} の縱滑り摩擦係數 f_b と速度との關係で圖—16 乾燥路面の場合と比較するに其の差異頗る大で路面の平滑度の影響が著しく顯れてゐる．

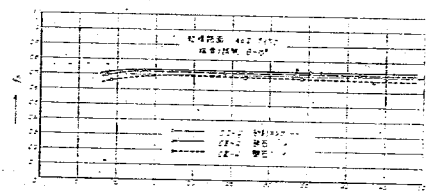
特性を表示すれば別表(25頁下部)の如し．

圖 — 18

(a)



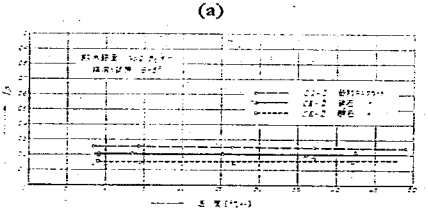
(b)



路面種別	f_s; $\theta=5°$ 速度 10km/h	f_s; $\theta=5°$ 速度 40km/h	f_s; $\theta=15°$ 速度 10km/h	f_s; $\theta=15°$ 速度 40km/h
C_I	0.31	0.30	0.71	0.72
C_{II}	0.47	0.46	0.73	0.74
C_{III}	0.24	0.26	0.66	0.68

圖 — 19

(a)



撒水狀態に於ては砂利，碎石コンクリートは實用的には滑り摩擦係數上差異無きも本膠石コンクリートは頗る小なる f_b を示し，著しく滑り易い狀態に成つてゐる．

横滑り～乾燥路面　　抵抗力 P_s より算定せし横滑り摩擦係數 f_s と速度との關係圖を示し其特性を考察せん．

圖—18 (a), (b) は車輪平面と進行方向との角度 $\theta=5°$, $15°$ に於ける f_s～速度の關係を示す．實用上速度に無關係であり，f_s の大小順位は

$$C_{II} > C_I > C_{III}$$

特性を表示すれば（試驗日は縱滑り試驗日と同日）左表の如し．$\theta=15°$ に對する f_s 係數の値は横滑りの場合の最大一定値を示すものである．

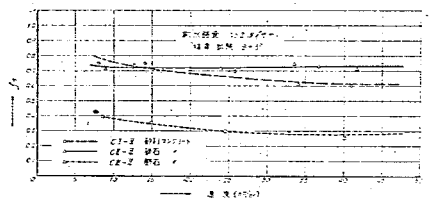
横滑り～撒水狀態　　撒水狀態に於ては，滑り摩擦係數著しく減少し牽引自動車と試驗車とは互に横振れをなし，牽引力記錄紙には規則正しい振動が表れる．殊に操向角度 $\theta=15°$ の場合最も著しい．砂利，碎石コンクリートは同程度の振動であ

るが，膠石コンクリートに於いては略ぼ平均値の 40 %程度の振幅を示してゐる．

乾燥路面の場合と全く同様で圖—19 (a), (b) は角度 $\theta=5°$, 15° に於ける f_s～速度の關係を示すものである．

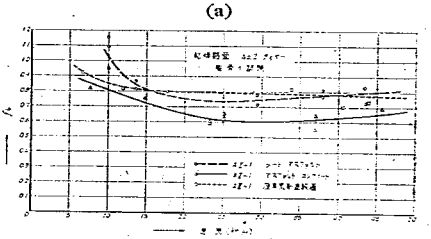
横滑りの場合に於ても，特に撒水狀態に於て膠石コンクリート鋪裝が滑り摩擦係數上著しく劣れる事が分る．碎石，砂利コンクリートは大差なきも一般に碎石コンクリートの方が稍優れてゐる．試驗日は縱試驗の日と同日である．後特に記述せざる場合は凡て同一とす．

圖 — 19
(b)



路面種別	f_s; $\theta=5°$		f_s; $\theta=15°$	
	速度 10km/h	速度 40km/h	速度 10km/h	速度 40km/h
C_I	0.25	0.25	0.75	0.62
C_{II}	0.20	0.20	0.72	0.74
C_{III}	0.15	0.16	0.38	0.28

圖 — 20
(a)



路面種別	f_b 係數 速度 10km/h	f_b 係數 速度 40km/h	傾向 速度增加に伴ひて	試驗日 氣溫
A_I	1.40	0.78	f_b 減少 →一定	6月9日夜間 溫度 15°C
A_{II}	0.81	0.64	f_b 減少 →稍々增加	6 月 3 日
A_{III}	0.85	0.78	同　上	5 月 25 日

特性を表示すれば下表 (圖-19(b)下) の如し．

$\theta=15°$ に對する f_s の値は横滑りの場合の最大一定値を示すものである．

[3] アスファルト系路面

IV, [1] に述べた如く，シート・アスファルト (A_I)，アスファルト・コンクリート (A_{II})，瀝青乳劑塗裝道 (A_{III}) に就き縱，横滑り摩擦係數試驗を行つたものである．

縱滑り乾燥面　圖—20 は斯くして得た f_b 係數～速度の關係でシート・アスファルト，瀝青乳劑塗裝道は同じ程度に f_b 係數が大であり．アスファルト・コンクリートの f_b 係數が小さい．特性を表示すれば下表 (圖-20(a)下) の如し．

瀝青乳劑塗裝道は路面の粗度大にて，シート・アスファルトは表面の軟柔性により摩擦係數が大となりしものと推測される．

縱滑り撒水面　圖—21 は路面 A_I, A_{II}, A_{III} の撒水狀態に於ける f_b～速度の關係を示すもので，乾燥狀態と比較するに可成り興味ある結果を示し

てゐる.

圖 — 21

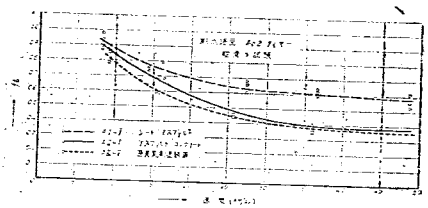
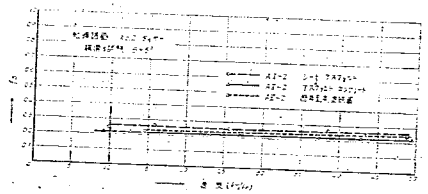
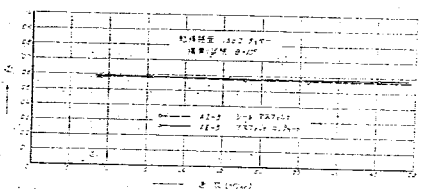


圖 — 22

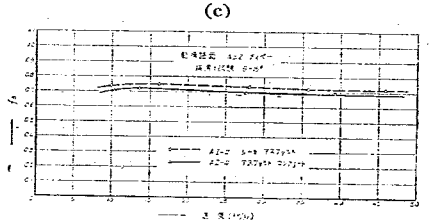
(a)



(b)



(c)



特性を表示すれば下表の如し.

路面種別	f_b 係数 速度 10km/h	f_b 係数 速度 40km/h	傾向 速度増加に伴ひて
A_I	0.88	0.6	f_b 減少 →一定
A_{II}	0.84	0.38	同上
A_{III}	0.78	0.37	同上

撒水狀態に於ては，アスファルト・コンクリート，瀝青乳劑塗裝道とは滑り係數上より見れば略。同一程度のものである．シート・アスファルトのみが滑り係數が大である乾燥狀態の場合と異つてゐる．斯かる現象は單に路面の凹凸度のみの關係でなく，表面材質の特性に起因するものであるが，後節更に論ぜん.

横滑り～乾燥路面　横滑り摩擦係數 f_s と速度との關係を求めんに，コンクリート路面の場合と全く同様であるが，今の場合操向角 $\theta=15°$ に至るも乾燥狀態に於ては横振れが著しく現れない．圖—22 (a), (b), (c) は $\theta=5°$, $10°$, $15°$ に對する f_s 係數と速度との關係である.

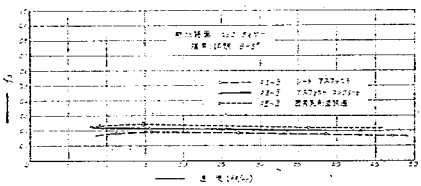
全部速度に 無關係にて 一定の f_s 係數を示してゐる．f_s の大小順位は $A_I > A_{III} > A_{II}$ …… にてアスファルト・コンクリートが最も小なる値を示してゐるが，實用上には大差無きものと見做し得.

特性を表示すれば次表の如し.

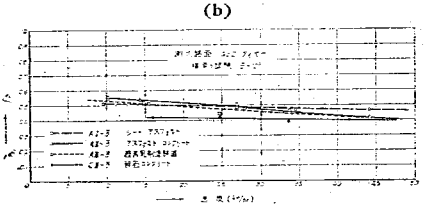
路面種別	f_s; $\theta=5°$		f_s; $\theta=10°$		f_s; $\theta=15°$	
	速度 10km/h	速度 40km/h	速度 10km/h	速度 40km/h	速度 10km/h	速度 40km/h
A_I	0.26	0.26	0.58	0.58	0.74	0.73
A_{II}	0.21	0.21	0.58	0.58	0.70	0.69
A_{III}	0.24	0.24	—	—	—	—

圖 — 23

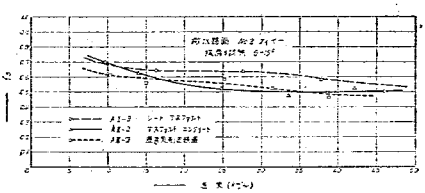
(a)



(b)



(c)



$\theta=15°$ に對する f_s の値は横滑りの場合の最大一定値を示すものである.

横滑り～撒水狀態

$\theta=15°$ に於て, 速度を 30 km/h, 40 km/h 程度とすれば可成り著しい横振れ現像が表れて來る. 其の程度は, シート・アスファルト最小にて, アスファルト・コンクリート, 瀝青乳劑塗裝道に於ては略、同一程度の牽引力振動を示すも, 砂利, 碎石コンクリートの場合と大差なし. 圖—23 (a), (b), (c) は $\theta=5°$, 10°, 15° に對する f_s 係數と速度との關係を示すものである.

傾向は乾燥路面の場合と同樣速度に無關係でなく, 低速度に於て稍、大である. $\theta=15°$ の場合の結果は稍、不規則な變化を示してゐるが, 特に斯る結果の存すべき理由無ければ滑かな曲線で試驗結果を連結した. $\theta=15°$ に於ける f_s 係數より判斷するにシート・アスファルト路面の場合が一番滑りにくい.

特性を表示すれば左表の如し.

路面種別	f_s; $\theta=5°$		f_s; $\theta=10°$		f_s; $\theta=15°$	
	速度 10km/h	速度 40km/h	速度 10km/h	速度 40km/h	速度 10km/h	速度 40km/h
A_I	0.19	0.18	0.52	0.47	0.68	0.58
A_{II}	0.20	0.19	0.55	0.44	0.69	0.50
A_{III}	0.24	0.22	0.53	0.44	0.62	0.48

$\theta=15°$ に對する f_s 係數は最大一定値のもので, シート・アスファルトが横滑りに對して最も有效である. 比較參照の爲 $\theta=10°$ の場合のものには碎石コンクリートの $\theta=10°$ 横滑りの結果を記入した. アスファルト系の場合はコンクリート系のもの

より f_s 係数が大きい.

［4］ コンクリート系，アスファルト系路面横滑り摩擦係数（f_s）と操向角（θ）との關係（其の1）

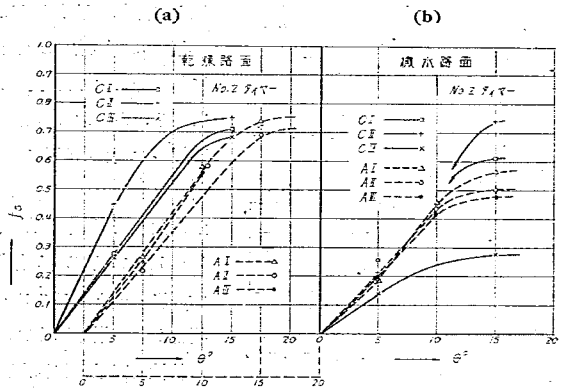
［1］，［2］の中，横滑りに於ける乾燥，撒水兩狀態の横滑り係数 f_s は，操向角（θ）度により著しく變化する事を知る．I，［2］に述べし如き圖—3 の R_2～曲線に於て，車輪の垂直方向の摩擦力の一定値になる事を示すもので，$\theta=10°$ 程度までは通常總ての路面に於て横滑り摩擦抵抗力は θ に比例するものである．圖—18，19，21 及 22 より圖—24 (a)，(b) の如き乾燥，撒水路面に於ける f_s 係数と θ 度との關係を圖示し得．共に全く類似傾向を示すもので，$\theta=15°$ に至りて一定値を示す．

圖—24 (a) によるに乾燥路面に於ては

アスファルト系路面 f_s 係数≒コンクリート系路面 f_s 係数

にて其の差異僅少である．其の値は，アスファルト系 0.73～0.69……の範圍にて，コンクリート系にては 0.74～0.68 の範圍である．

圖 — 24



然るに撒水狀態に於ては各路面の差異が頗る著しく，殊にコンクリート系に於ては其の變化範圍が大きい．今速度 40 km の場合を標準として論ぜんに，コンクリート系横滑り摩擦係数は碎石コンクリート（C_{II}）の 0.74，砂利コンクリートの 0.62，膠石コンクリートの 0.28 の如く路面の摩擦せる現狀の影響が著しく現はれてゐる．然るにアスファルト系の場合は，シート・アスファルトの 0.58 と瀝青乳劑塗裝道の 0.48 と f_s の値は全體として小であるが其の變化範圍は僅少であり路面材料の特性が現れてゐる．

今路面の性能を示す一係數として撒水，乾燥兩者の係數比を求めんに下記の表の如くなる．

路面種別	f_s(撒水狀態)/f_s(乾燥狀態)	路面種別	f_s(撒水狀態)/f_s(乾燥狀態)
C_I	0.86	A_I	0.92
C_{II}	1.00	A_{II}	0.73
C_{III}	0.41	A_{III}	0.69*

*A_{III} のみは乾燥狀態の測定値なく，假りに圖—24 (a) より 0.70 と推定した．f_s 係數減少度は膠石コンクリートの 0.41 最大で，碎石コンクリートの 1 は最小である．其の他のものは 0.90～0.70 の範圍に變化してゐる．

繰返し附言するが，上記の結果は總てトレッド明瞭なるタイヤーにて試驗せしものである．後に述べる平滑タイヤーを使用せしものとの結果は可成り異るものである．

横滑り摩擦係數及び撒水狀態に於ける摩擦係數の減少度より路面の性能を判別し得．

[5] 小鋪石路面

我國都市に於ける急勾配の個所に可成り數多使用されてゐるが，石塊は丸く表面が磨耗される傾向がある．殊に其目地にセメント膠泥を多量使用せるものでは滑り易き傾向を示す．本試驗の路面は花崗岩小鋪石のものである．IV に述べた如く，路面の略〻水平なる芝浦岸壁稅關倉庫前の構內道路の舊きもの (大正 14 年建設) と大森驛前道路の比較的新しきもの (昭和 10—11 年建設) に就き試驗せし結果である．大森の試驗道には可成の勾配あり昇降を示すに結果に(u), (d) の記號を使用した．横滑りの場合の算式は其の儘使用し得るもので，縱滑りの場合も算式に少し修正を加ふればよい．卽ち縱滑りの場合昇り (u), 降り (d) 共に勾配 (δ) に應じ路面に對する垂直壓力は $W\cos\delta$ となる．從つて，III, [2] の (2) 式の W の代りに $W\cos\delta$ を代入すればよい．滑り試驗に於ては，ダイナモメーターは廻轉摩擦係數の如き小なる變化には感じないから，制動時に於て牽引力の變化は主に滑り摩擦抵抗力によるものである．從つて昇り，降りの兩場合の牽引力 P_b は夫〻略〻

$$P_b = f_b\ W\cos\delta \pm W\sin\delta$$

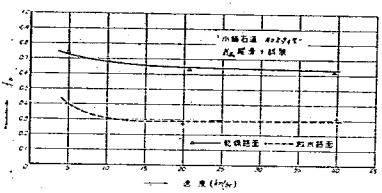
となる．$P_b = f_b W\cos\delta\ (1\pm\tan\delta)$ なるを以て，昇り，降りの場合滑り摩擦係數は見掛上變つて來る．勾配角度 (δ) は昇り，降り兩者の場合に於て大差なき場合は平均値より f_b 係數を推定し得べし．大森驛小鋪石道試驗の結果より f_b 係數を算定する場合斯くの如き取扱ひを行つた．

圖—25 (a), (b) は乾燥，撒水兩狀態に於ける芝浦舊小鋪道の縱，横滑り摩擦係數 f_b, f_s と速度との關係を示すものである．横滑りの場合 $\theta=5°$, $10°$, $15°$ の 3 者をも同圖に記入した．

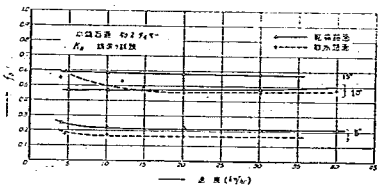
圖—25 (c) は横滑り摩擦係數 f_s と速度との關係を示すもので $\theta=15°$ に至れば f_s 係

圖— 25

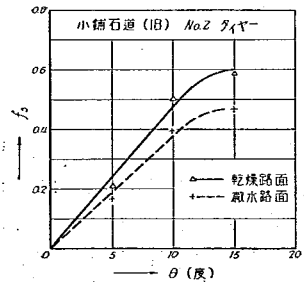
(a)



(b)



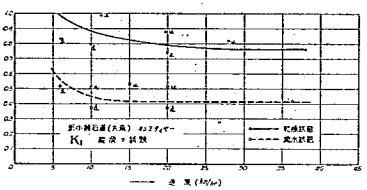
(c)



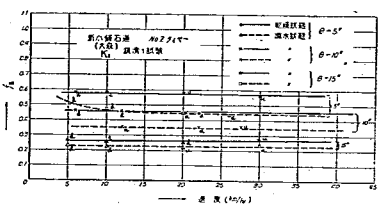
數は略ゝ一定値を示す. 縦, 横滑りの兩者より判斷するも [1], [2] に述べしコンクリート系, アスファルト系のものに比較するに特に滑り係數の小なりし膠石コンクリートを除き總てのものゝ係數より小である. 次に, 小鋪石道の比較的新しき大森驛前道路での試驗結果を述べん. 圖—26(a), (b), (c) は縦, 横滑りの f_b, f_s 係數と速度との關係であり其の中, 圖—(c) は θ 角度と f_s 係數との關係である.

圖 — 26

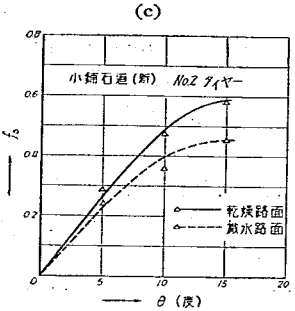
(a)



(b)



(c)



縦滑りの場合のみ新小鋪石の f_b 係數は舊く磨損せるものより稍ゝ大であるが, コンクリート, アスファルト系の優秀なものより劣つてゐる. 但し, 今の場合圖中 (u), (d) の記號は路面の昇り, 降り勾配にて試驗せし結果を示すもので, f_b 係數算定には (u), (d) の f_b 係數の平均をとつた.

横滑り摩擦係數は新舊小鋪石道全く同一の傾向を示した.

今，圖—25，26 より主要な特性を表示すれば下記の如し．速度は 40 km/h とす．

	縦滑り (f_b) 係数			横滑り (f_s) 係数 ($\theta=15°$)		
	乾燥狀態	撒水狀態	比率 k	乾燥狀態	撒水狀態	比率 k
舊 K_{II}	0.64	0.29	0.45	0.59	0.47	0.80
新 K_I	0.77	0.42	0.55	0.58	0.46	0.80

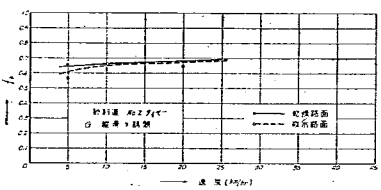
但し，比率 k とは f_b, f_s 係數の撒水狀態に於ける値の減少度を示す爲の兩狀態の場合に於ける係數の比である．但し K_I の場合 $\cos\delta=1$ として計算せし値である．

［6］砂利道

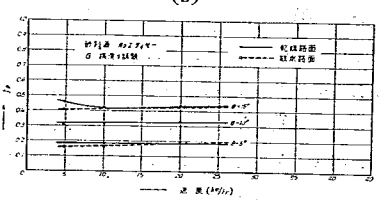
IV にて說明せし如く，本試驗の砂利道は可成り多數の礫，砂利が路面に散布せるもので，車輪の滑りに對し宛もボール・ベヤリングの如き廻轉作用をなし滑りを助長するものである．且路面の凹凸甚しく，速度を 25 km/h 以上に高め得なかつた．圖—27 (a), (b), (c) は縦，横滑り摩擦係數 f_b, f_s と速度との關係竝に f_s 係數と θ 角度との關係を示すものである．同圖より判斷するに特に著しい事は i) 乾燥，撒水兩狀態の差異殆んど無き事と，ii) 縦滑り係數 (f_b) が速度と共に微少なれども增加の傾向を示す事……が他の路面の特性と著しく異なる點である．

圖 — 27

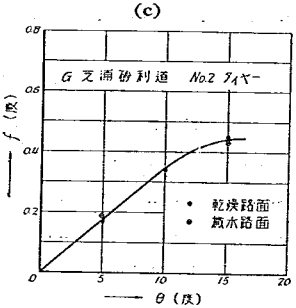
(a)



(b)



(c)



特性を表示すれば下表の如し．

縦滑り係數 (f_b)				横滑り係數 (f_s), $\theta=15°$	
乾燥狀態		撒水狀態		乾燥狀態	撒水狀態
速度 5km/h	速度 25km/h	速度 5km/h	速度 25km/h	速度 25km/h	速度 25km/h
0.66	0.70	0.60	0.69	0.44	0.44

の如くなる．

砂利道にては低速度に於て縦滑り摩擦係數の小となる事は自動車の停止距離算定に特に考慮すべ

き事實である.

以上の如く No. 2 タイヤーによる各種路面に於ける縦，横滑り摩擦係數を推定し，其の一般的傾向を明かにす.

VI. 路面平滑なる空氣タイヤーによる試驗

[1] 序

III, [3] に述べた No. 1 タイヤーを使用し No. 2 タイヤー使用試驗の後引續き昭和12年6月中旬より8月上旬の期間に於て試驗した. 試驗道路も試驗方法も全く V, No. 2 タイヤーの場合と同樣である. 試驗速度竝に横滑りに於ける操向角 (θ) も上記の如く約 10, 15, 20, 25, 35, 45 km/h, θ=5°, 10°, 15° を標準とした.

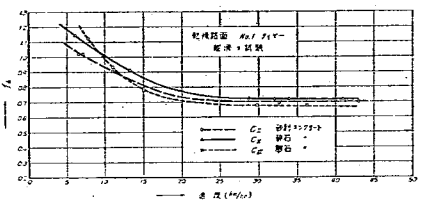
以下各種路面に於ける縦，横滑り抵抗試驗の結果を順次簡單に記述し更に後節に於て V 章の No. 2タイヤーによる結果と比較し其の特性を考察せん.

[2] コンクリート系路面

縦，横滑り試驗結果より滑り狀態に於ける平均牽引力 P_b, P_s を得. 縦，横滑り摩擦係數 f_b, f_s を (2), (3) 式より算定す.

縦滑り～乾燥路面　　圖—28 は以上の如くして得た f_b 係數と速度との關係である.

圖 — 28



速度により摩擦係數の減少する傾向は總て同樣であるが，特に膠石コンクリート (C_{III}) が其の傾向顯著である. 速度 40 km/h に於ける f_b 係數は No. 2 の場合と同程度であるが，低速度の場合に於て著しく大である. 斯かる事實は平滑タイヤーの場合に於ける路面とタイヤーとの密着することを示すもので，眞空作用等と相俟つて滑り摩擦係數を増大するものである.

特性を表示すれば下表の如し.

路面種別	f_b 係數 速度 10km/h	f_b 係數 速度 40km/h	傾向 速度增加に伴ひて	試驗日
C_I	0.94	0.70	f_b 減少→一定	7月20日 晴
C_{II}	1.02	0.73	同　上	7月29日 晴
C_{III}	0.99	0.67	同上減少度大	7月21日 晴

40 km/h の速度の場合を考ふるに碎石路面が滑り摩擦係數最も大である. 撒水狀態に於ては順位が變る.

縦滑り～撒水路面　　圖—29 は路面 C_I, C_{II}, C_{III} 路面の縦滑り摩擦係數 f_b と速度との關係を示すものである. 各路面の差異が顯著に表

れてゐる．No. 1 タイヤー使用の場合は斯くの如く路面の差異を示すに頗る有效である．

圖 — 29

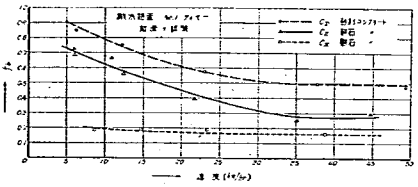
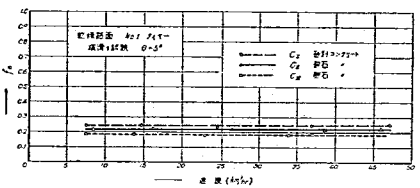
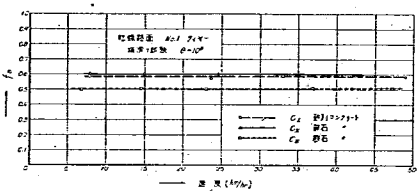


圖 — 30

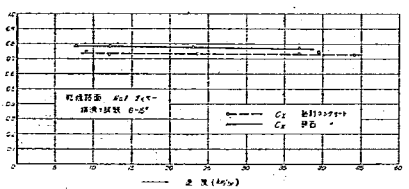
(a)



(b)



(c)



特性を表示すれば下表の如し．

路面種別	f_b 係數 速度10km/hr	f_b 係數 速度40km/hr	傾向 速度增加に伴ひて
C_I	0.79	0.50	f_b 減少→一定
C_{II}	0.64	0.27	f_b 減少→一定
C_{III}	0.19	0.16	略〻一定

滑り摩擦係數の大小順位は $C_I > C_{II} > C_{III}$ にて膠石コンクリートの場合速度 40 km/h では 0.16 程度にて實用上可成り不適當な數字を示してゐる．碎石の場合も速度 40 km/h では $f_b=0.27$ の値を示してゐて滑り係數上餘り良好な路面では無い．

横滑り～乾燥路面　記錄抵抗力 P_s による f_s 係數の算定等は既に述べし方法と同じ．圖—30 (a), (b), (c) は $\theta=5°$, $10°$, $15°$ に對する横滑り摩擦係數 f_s～速度の關係を示すものである．

$\theta=15°$ に於て f_s 係數は最大一定値を示すもので一定値の f_s 係數の大小順位は $C_{II} > C_I > C_{III}$ の如く乾燥縦滑りの場合と同じ傾向である．

特性を表示すれば下表の如し．

路面種別	f_s; $\theta=5°$ 速度10km/h	f_s; $\theta=5°$ 速度40km/h	f_s; $\theta=15°$ 速度10km/h	f_s; $\theta=15°$ 速度40km/h	試驗日
C_I	0.25	0.26	0.74	0.73	7 月 27 日
C_{II}	0.23	0.23	0.78 0.60 (10°)	0.76 0.60 (10°)	7 月 21 日
C_{III}	0.18	0.18	0.50 (10°)	0.50 (10°)	7 月 20 日

$\theta=15°$ に對する f_s 係數値は，略ゝNo. 2 タイヤー使用の場合と同じ程度の値を示してゐる．且3路面の差異も亦大差なきも膠石路面が可成り劣つてゐる．

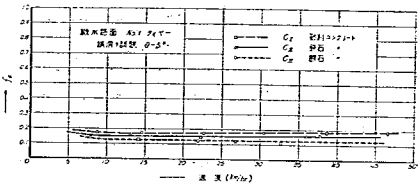
横滑り～撒水狀態　試驗方法は乾燥路面の場合と同樣であるが，結果には著しい差異がある．圖—31 (a), (b), (c) は $\theta=5°$, 10°, 15° に對する f_s～速度關係を示すものである．本試驗の場合も牽引用自動車とトレイラーとは互に横振れ現象を示し，牽引力記錄は正弦的曲線を示した．同圖記號中 $\bigcirc_s$, $\square_s$, $\triangle_s$ の如く s 字を附したるは斯かる現象の特に著しいものを示してゐる．

圖—31 (b) によるも明かなる如く $\theta=10°$ に於ても各路面の差異が頗る顯著に表れてをる．(c) 圖 $\theta=15°$ に至れば更に甚しく差異が明瞭となる．斯る特性は未だ No. 2 タイヤーの實驗では一度も無く，平滑タイヤーによる試驗の一特長である．一定値 f_s 係數の大小順位は $C_I > C_{II} > C_{III}$ で縱滑り撒水狀態の場合と全く同じものである．

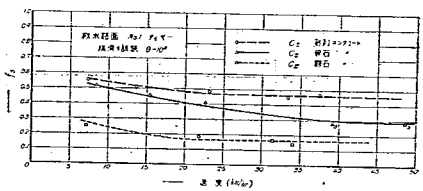
特性を表示すれば右表の如し．

圖 — 31

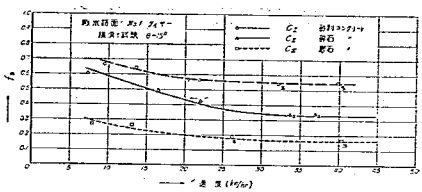
(a)



(b)



(c)



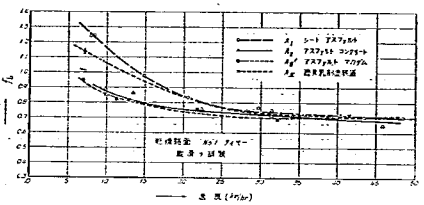
路面種別	f_s; $\theta=5°$ 速度 10km/h	f_s; $\theta=5°$ 速度 40km/h	f_s; $\theta=15°$ 速度 10km/h	f_s; $\theta=15°$ 速度 40km/h
C_I	0.17	0.19	0.67	0.55
C_{II}	0.15	0.16	0.58	0.34
C_{III}	0.13	0.13	0.27	0.16

［3］ アスファルト系路面

コンクリート系路面の場合と全く同樣なれば結果のみを記載する．但し，試驗路面に A_m' アスファルト・マカダム道路を加ふ．No. 2 タイヤーの場合の試驗に於ける瀝青乳劑塗裝道と同じ區域にある一路線である．瀝青乳劑塗裝道は元通り A_m' とす．(表—1 參照)

縱滑り～乾燥面　圖—32 は f_b 係數～速度との關係圖で速度の增加による f_b 係數の減少する傾向は全く他のものと同じであるが，低速度に於て f_b 係數は大で，タイヤー

圖 — 32



面と路面の接觸が可成り密接に行はれてゐる事を示す．40 km/h に至れば各路面の種別の差異は實用上無きものと見做して差支へ無し．低速度に於けるシート・アスファルト A_I，瀝青乳劑塗裝道 A_{III} は大なる f_b 係數を示してゐる．

特性を表示すれば下表の如し．

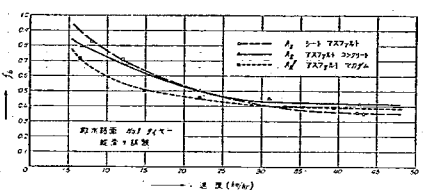
路面種別	f_b 係數 速度 10km/h	f_b 係數 速度 40km/h	傾向 速度增加に伴ひて
A_I	1.16	0.73	f_b 減少→一定
A_{II}	0.88	0.69	同　上
A_{III}'	0.86	0.70	同　上
A_{III}	1.06	0.71	同　上

アスファルト系路面での f_b 係數の傾向は No. 2 タイヤー使用の場合と類似してゐるが，f_b 係數値は低速度に於て總て大きく 40 km/h の速度に至れば小なる一定値になる．

f_b 係數の大小順位は……$A_I > A_{III} > A_{II}$，A_{III}' の如し．

縱滑り～撒水面　圖—33 は路面 A_I A_{II} A_{III}' A_{III} 路面の撒水狀態に於ける f_b 係數～速度の關係である．速度 30 km/h 以上は略ゝ一定の f_b 係數を示してをり，3 種の路面の差異は左程著しくない．速度 40 km/h に於ける f_b の大小順位は $A_{II} > A_{II}' > A_I$ にて乾燥路面の場合とは異るものである．

圖 — 33



特性を表示すれば下表の如し．

路面種別	f_b 係數 速度 10km/h	f_b 係數 速度 40km/h	傾向 速度の增加に伴ひて
A_I	0.77	0.36	f_b 減少→一定
A_{II}	0.74	0.43	同　上
A_{III}'	0.6	0.39	同　上

今撒水狀態に於ける f_b 係數の減少度を求めんに，下表の如く速度により著しい差異がある．

路面種別	f_b 撒水狀態 / f_b 乾燥狀態 = f_b 比率 速度 10km/h	速度 40km/h
A_I	0.66	0.495
A_{II}	0.84	0.62
A_{III}'	0.70	0.56
A_{III}	—	—

撒水狀態により f_b 係數は約 1/2 に減少するものである．

橫滑り～乾燥面　コンクリート系の場合は橫滑り摩擦係數の大小は縱滑りの場合と同じ順位であつたが，アスファルト系の場合にも果して同樣の結果を得るかは興味ある問題である．蓋し表面の硬度，前者と著しく異るを以て滑り狀態の差異に及ぼす影響が必ず

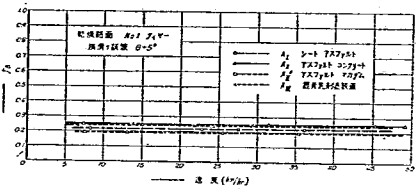
存在するものと推測す．圖—34 (a), (b), (c) は $\theta=5°$, 10°, 15° に對する f_s 係數～速度の關係である．速度には總て無關係である．$\theta=15°$ に於て f_s は略ゝ一定値に達せるものであるが，各種路面に對する f_s の變化範圍は 0.01 以內である．今 $\theta=15°$ に於ける f_s 値より其の大小を列擧すれば $A_I > A_{II} > A_{III} > A_{III}'$ の如きものである．全般として瀝靑乳劑塗裝道の f_s 係數が小なる樣で，他のものは實驗結果稍ゝ不確實で差別を求める事は困難である．

特性を表示すれば下表の如し．

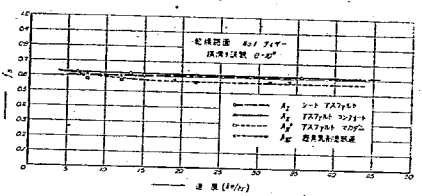
路面種別	f_s 係數(40km/h)	
	$\theta=5°$	$\theta=15°$
A_I	0.22	0.78
A_{II}	0.26	0.76
A_{III}'	0.19	0.72
A_{III}	0.24	0.74

圖 — 34

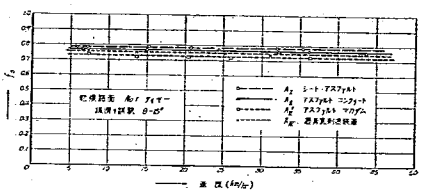
(a)



(b)



(c)

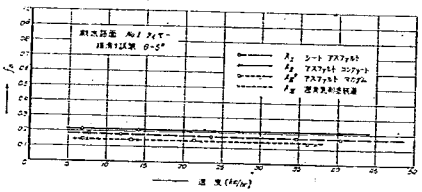


横滑り～撒水面　　コンクリート系の C_I, C_{II}, C_{III} 路面の 3 者の差異ほど著しくはないが乾燥時の場合より差異が著しく表れてゐる．$\theta=5°$ の角度に對しては f_s 係數は速度に無關係に略ゝ一定の値を示してゐるが，$\theta=10°$, 15° に至れば f_s 係數は速度により著しく變るもので，10 km/h 程度の速度にては $f_s \fallingdotseq 0.6$ 程度のものであるが，30～40 km/h に至り略ゝ一定値を示すものである．圖—35 (a), (b), (c) は $\theta=5°$, 10°, 15° に對する f_s 係數～速度との關係を示すものである．

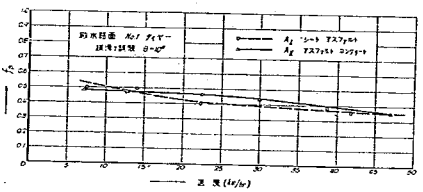
圖—35 より速度 40 km/h に於ける f_s 係數を表示す．

圖 — 35

(a)



(b)



(c)

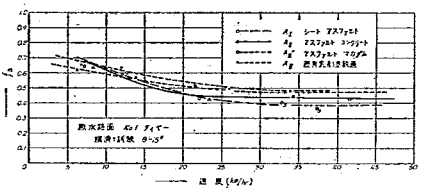
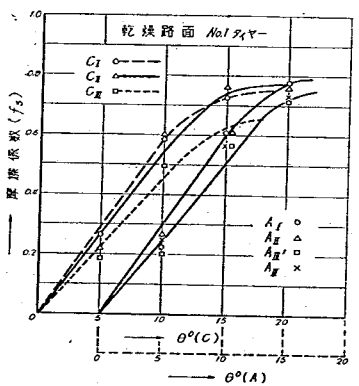


圖 — 36



路面種別	f_s 速度 40 km/h	
	$\theta=5°$	$\theta=15°$
A_I	0.17	0.38
A_{II}	0.22	0.44
A_{III}'	0.15	0.47
A_{III}	0.15	0.47

撒水する事により縦滑りの場合よりも著しく f_s 係數の減少を來すものあるも，略〻 40％～65％ の範圍の値を示す．

[4] コンクリート系，アスファルト系路面横滑り摩擦係數 f_s と操向角 (θ) との關係

(其の 2)

No. 1 平滑タイヤーによる試驗

[1], [2] に横滑りに於ける摩擦係數 f_s の試驗結果を述べた．今本節に操向角 (θ) との關係を一攫めに考察せん．圖—30, 31 並に 圖—34, 35 より乾燥，撒水兩狀態に於ける f_s 係數～θ の關係を求めん．

圖—36 は乾燥面，圖—37 は撒水面に於けるものである．圖—36 により明かなる如く乾燥面に於ては

アスファルト系路面 f_s 係數≒コンクリート系路面 f_s 係數……

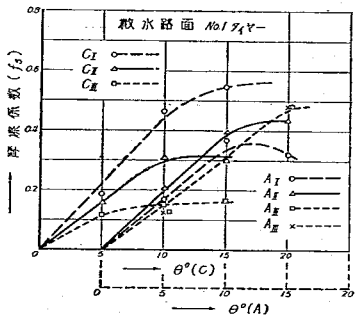
である．各〻に對する値は 各節に詳しく述べた．コンクリート系の膠石コンクリートのみは f_s の最大値が 0.6 前後の値を示してゐる．

コンクリート系路面，f_s (測定値範圍)＝0.73～0.60

アスファルト系路面，f_s (測定値範圍)＝0.78～0.72

である．然るに撒水狀態に至れば各路面の差異は頗る顯著に表れる．圖—37 に示す如く C_I, C_{II}, C_{III} の差異は著しく，アスファルト系に於ては比較的其の差異が著しくない．然れども A_I 路面の θ に對する f_s 係數の變化を見るに一旦增加し更に減少する傾向を示すが $\theta=15°$ の試驗の際路面に泥土等存在せしか，又シート・アスファルトの滑りに對する特異性に起因するかは此後の研究に依らねばならない．

圖 — 37



コンクリート系路面，f_s (一定値範圍)＝0.55～0.16

アスファルト系路面，f_s (一定値範圍)＝0.47～0.38

にて，要するに No. 1 タイヤーによる試驗は路面の差異を判別するに便である．但し常に路面の表面に塵埃，泥土等の存在せざる樣撒水洗淨を行ひ，然る後撒水狀態の試驗を行はば路面の差異を知る上に便且つ確實である．操向角 (θ) の影響に就ても或る一定の角度以上より大となるも，f_s 係數は一定値を超過せずとして取扱はれてゐるが，必ずしも總ての横滑りに於て成立つものなるやは個々の場合に就て吟味を要す．

以上の如く平滑タイヤー No. 1 を使用せし場合の f_s 係數と θ 角度との關係を明にした．No. 2 タイヤーの時に述べた樣に膠石コンクリートは非常に滑り易く本試驗道路の如きは f_s=0.16 にて本邦道路構造令に採用されてゐる f_s=0.2 の値より低下してゐる．現地に見るも路面は磨損され鏡の如き光澤面をなしてゐる．撒水，乾燥兩狀態に於ける f_s 係數の比率 (k) を表示せんに次表に示す如くなる．

路面種別	$k=\frac{f_s(\text{撒水狀態})}{f_s(\text{乾燥狀態})}$, $\theta=15°$	路面種別	k, $\theta=15°$
C_I	0.75	A_I	0.52
C_{II}	0.45	A_{II}	0.58
C_{III}	0.26	A_{III}'	0.65
		A_{III}	0.63

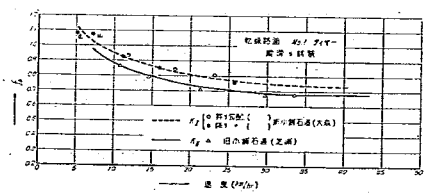
平滑タイヤーの場合 k 比率はコンクリート系路面に於て 75～26％ の範圍，アスファルト系にては k=52～63％ の範圍である．斯くの如く路面の横滑り摩擦係數としては乾燥時の f_s 値と撒水狀態に於ける同係數の減少度を No. 1 の如き平滑タイヤーにて測定すれば明瞭に示し得る事を知る．且つ k 比率を支配する主要なものは路面の如何なる特性によるやを推測し得．

[5] 小鋪石路面

V, [4] に記述せしものと全く同一の路面で，唯タイヤーは平滑面を有する No. 1 を使用せしに過ぎない．大森驛前勾配路の昇り，降りの場合の取扱ひも全く同様に結果を處理した．圖示の形式をも新舊 (K_I, K_{II}) 兩路面の比較を主とし乾燥面，撒水面と區別して記述する事とする．

縱滑り～乾燥面　圖—38 は新小鋪石路 (K_I) と舊路面 (K_{II}) に於ける f_b 係數～速度の關係を示すものである．兩者同一傾向に速度により變化してゐるが K_I の場合特に u, d の記號を附し試驗時の上り勾配，下り勾配なるかを示す．大森小鋪石道は上り勾配の區域2ケ所より圖—26 (a) の ●u, ●d の差異の如く大ならざるも，上りの場合 ○u の値が一般に ●d より大なるは路面の勾配影響によるものである．今 ○u, ●d の平均位置にて f_b 係數～速度關係を求めん．

圖 — 38



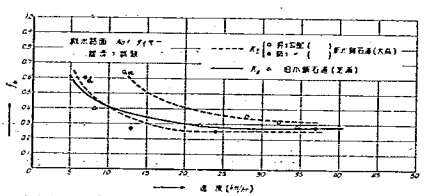
圖—38 より明かなる如く，f_b 係數は常に K の場合 K_{II} のものより大である．平滑タイヤーの場合も f_b 係數は比較的大である．

特性を表示すれば下表の如し．

路面種別	f_b 係數 速度 10km/h	f_b 係數 速度 40km/h	試驗日
K_I	0.98	0.76	7月27～28日夜間
K_{II}	0.88	0.68	7月31日夜間

縱滑り～撒水面　圖—39 は撒水狀態の f_b 係數～速度との關係を示すもので，○u, ●d の差，卽ち上り，下り勾配の差異は頗る顯著である．K_{II} と K_I との差は餘り明瞭でない．平滑タイヤーの場合，撒水狀態に於ては小鋪石道は特に新しく設けられた路面の磨損無き場合以外は通常豫想されてゐる程度以上に制動時に於ても滑り易きものである．

圖 — 39

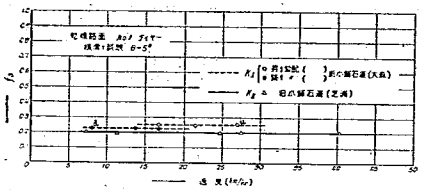


特性を表示すれば下表の如し．

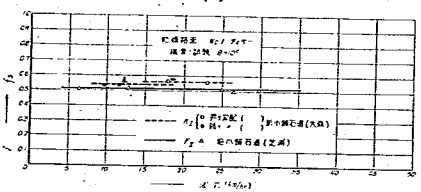
路面種別	f_b 係數 速度 10 km/h	f_b 係數 速度 40 km/h
K_I	0.56	0.30
K_{II}	0.40	0.29

圖 — 40

(a)



(b)



(c)

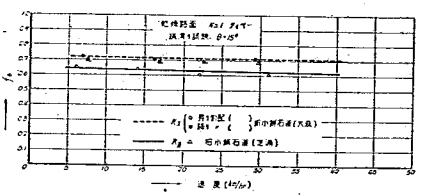
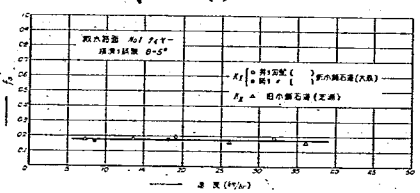
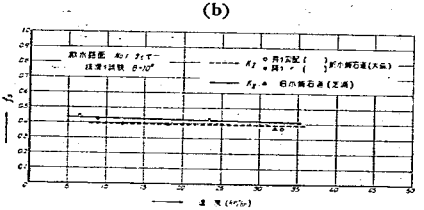


圖 — 41

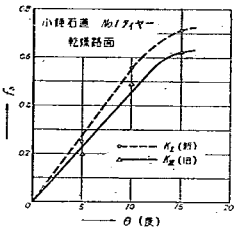
(a)



(b)



(d)

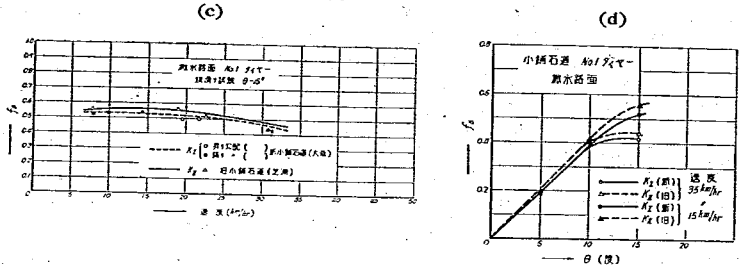


横滑り～乾燥狀態　圖—40(a), (b), (c) は $\theta=5°$, $10°$, $15°$ に對する f_s 係數～速度の關係である. 同圖 (d) は f_s 係數と θ 角との關係である.

$\theta=5°$ の場合 K_I 路面に於ては上下勾配の影響が表れてゐるが, $\theta=10°$, $15°$ にては實用上差異無く且, 速度との關係も他の路面の場合と全く同樣である. (d) 圖によるに $\theta=15°$ に於て f_s 係數は略〻最大一定値に達してゐる事が分る. 乾燥狀態に於ては K_I の方の f_s が大きい.

横滑り～撒水狀態　も全く同樣に試驗せしもので結果を圖—41 (a),(b),(c),(d) に示す. $\theta=5°$, $10°$ までは f_s 値は速度に無關係であるが, (c) 圖 $\theta=15°$ に至れば θ 角により一旦最高を示し, 更に速度の增加に伴ひ減少するもの〻如し. (d) 圖 f_s～θ 角度關係に於て此點を明かにしてをく. 且 f_s の大さも乾燥狀態の場合と逆になり K_{II} の場合が大となる. 卽ち舊く, 路面の平滑と

圖　— 41



なりしものが平滑タイヤー撒水狀態にては滑り難く，f_s 係數が大となる事を示すものである．此の點は更に將來の研究によらねばならない．

以上の如く小鋪石道の滑り摩擦係數は No. 1 タイヤーに於ても可成り小なる値を示した．速度 35～40 km/h 程度の場合の特性を示せば下表の如し．

路面種別	縱滑り (f_b) 係數			横滑り (f_s) 係數 ($\theta=15°$)		
	乾燥狀態	撒水狀態	比　率	乾燥狀態	撒水狀態	比　率
新 (K_I)	0.76	0.30	0.40	0.73	0.42	0.57
舊 (K_{II})	0.68	0.29	0.43	0.63	0.44	0.70

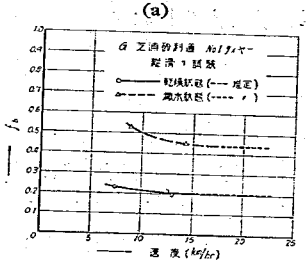
本試驗の小鋪石道 K_I, K_{II} 共に同じ程度の f_s, f_b 係數を示すもので撒水狀態に於ては乾燥時の約 50％ の値となる．

[6] 砂 利 道

V, [6] の砂利道試驗に於て f_b, f_s 係數共に乾燥，撒水狀態の差異なく，他の路面と可成り異る特性を示した．今平滑タイヤーによる試驗結果をみるに路面上に存在せる砂利は，ボール・ベヤリング作用を更に顯著に示しタイヤーの平滑度と相俟つて特異の現象を示す．卽ち乾燥狀態の場合，縱滑り摩擦係數は至つて僅少となり滑り易きも，撒水すれば急遽に f_b 係數を增加す．然れども路面凹凸甚しく，滑り度大なれば速度 25 km/h 以上の試驗は不可能であつた．圖—42 (a) は斯る場合の試驗結果を圖示せるものである．

圖 — 42

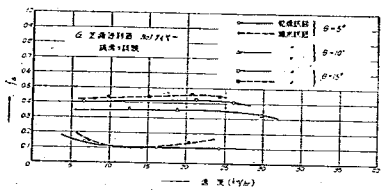
(a)



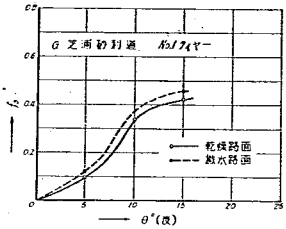
横滑りの場合は時速 25～30 km/h 程度まで試驗す．圖—42 (b) は其の結果として，f_s 係數と θ との關係を示す．f_s 係數は乾燥，撒水狀態にて大差無きも撒水狀態の場合の f_s 係數の方が縱滑りの場合と同

圖 — 42

(b)



(c)



様乾燥時より大きい．斯る特性は路上の泥濘の爲，摩擦抵抗を増加する作用を呈するによると見做し得．

圖—42 (c) は f_s 係數と θ 角度との關係にて，$\theta=15°$ に至れば f_s 値は略〻一定値に達するが，5°～10° 間に於て f_s 値は急遽に増加するものである．

特性を表示すれば下表の如し．

縱滑り (f_b) 係數				横滑り (f_s) 係數 $\theta=15°$				試驗日
乾燥狀態		撒水狀態		乾燥狀態		撒水狀態		
速度 10km/h	速度 25km/h	速度 10km/h	速度 25km/h	速度 10km/h	速度 25km/h	速度 10km/h	速度 25km/h	
0.22	0.20	0.50	0.44	0.42	0.42	0.46	0.46	7月31日

砂利道の平滑タイヤーに對する滑り摩擦抵抵は，横滑り，縱滑りに於て全く異る事が分る．

横滑りの場合は乾燥，撒水雨時に於ても全く掻寄せ作用によるものである．

以上の如く No. 1 タイヤーによる各種路面に於ける滑り摩擦係數を定めた．

No. 2, No. 1 タイヤーによる差異竝に各種滑り摩擦係數の特性に就ては章を更めて論究せん．

VII. 各種路面の縱，横滑り摩擦係數 (f_b), f_s の特性

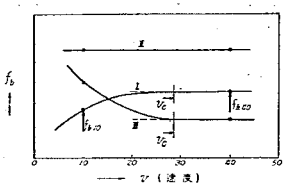
[1] 縱滑り摩擦係數 f_b と速度との關係

I, [2] に滑り摩擦係數の速度との關係を述べ，乾燥路面に於ても Coulomb の法則の如き簡單な動的摩擦係數を示さざる事を指摘した．V 章のトレッド 明瞭なるタイヤー，VI 章の平滑タイヤーでの試驗の各項に於て總て速度との關係を圖示した．本試驗は略〻速度 5～45 km/h のものであるから其の範圍外の値は外挿法により推定する外方法なし．幸に各 f_s, f_b～速度關係は連續にて彎曲點なき曲線にて示されてゐるから可成り確實に推定し

得．今其の一般的傾向を考察せん．

縦滑りの場合は，一般に低速度に於ては f_b 値大なるも，乾燥面の場合は 20～25 km/h 前後にて一定値に減少し，其の後速度増加するも實用上變化なし．特別の場合のみ速度増加するも f_b 減少度少く，實驗範圍の速度にては略一定で，逆に速度増加に伴ひ f_b 係數の増加せし場合もあつた．砂利道は其の1例で平滑タイヤーにては可成り滑り易く，前者の場合に屬し，トレッド明瞭なる場合は後者の場合である．

圖 — 43



一般に f_b 係數は1より小であるが，速度 10km/h の場合平滑タイヤーにて1より大なる値を示すものが 2，3 あつた．

撒水狀態にては常に f_b 係數は乾燥狀態の場合より小なれども，特別の場合即ち砂利道にては逆に大となる．且平滑タイヤーを使用せし場合其の比率著

表 — 2　f_b 係 數

乾燥路面

タイヤー面種別	路面種別	速度 40 km/h	速度 40 km/h	f_b40/f_b10	種別	Vc km/h
トレッド明瞭	C_I	0.85	0.7	0.83	III	30
〃	C_{II}	0.57	0.74	1.30	I	30
〃	C_{III}	0.77	0.6	0.78	III	30
平滑	C_I	0.94	0.70	0.745	III	25
〃	C_{II}	1.02	0.73	0.715	III	25
〃	C_{III}	0.99	0.67	0.675	III	25
トレッド明瞭	A_I	1.04	0.78	0.74	III	22
〃	A_{II}	0.81	0.64	0.79	III	26
〃	A_{III}	0.85	0.78	0.92	≒ II	15
平滑	A_I	1.16	0.73	0.63	III	35→
〃	A_{II}	0.88	0.69	0.785	III	35→
〃	A_{III}'	0.86	0.70	0.81	III	30
〃	A_{III}	1.06	0.71	0.67	III	35
トレッド明瞭	K_I	0.88	0.77	0.88	III	25
〃	K_{II}	0.68	0.64	0.94	II	17
平滑	K_I	0.98	0.76	0.775	III	30
〃	K_{II}	0.88	0.68	0.775	III	30
* トレッド明瞭	G	0.66	0.70	1.06	I	20
* 平滑	G	0.22	0.20	0.92	≒ II	14

* 速度 5 又は 25 km/h とす

しく大となり2倍以上にもなる．一般に速度による減少度も乾燥狀態の場合より著しく大にて，且減少傾向を示し速度範圍も增大し，35 km/h 以上に至るも一定値に達せざるものがある．今 V, VI 各節に得し結果より 2, 3 速度に關する特性を表示す．圖—43 に示す如き記號を使用す．卽ち，速度性能として I, II, III 型の3種に分類す．f_b 係數と速度との關係を表示す．

I, II 型の場合，f_b 値の一定に到達せる速度を Vc とし，今假に速度 40 km/h, 10 km/h の f_b 係數を基準とし f_b40/f_b10 の比率を求め f_b 係數速度遞減度とす．表—2 は乾燥路面に於ける f_b 係數と速度との關係を示す．路面の種別記號は表—1 を參照すべし．

表—3 は撒水狀態に於ける f_b 係數と速度との關係を示す．

表 — 3 f_b 係 數

濕潤路面

タイヤー面種別	路面種別	速度 10 km/h	速度 40 km/h	f_b40/f_b10	種別	Vc km/h
トレッド明瞭	C_I	0.70	0.45	0.64	III	38
〃	C_{II}	0.76	0.44	0.58	III	38
〃	C_{III}	0 38	0.22	0.58	III	26
平滑	C_I	0.79	0.50	0.64	III	33
〃	C_{II}	0 64	0.27	0.42	III	35
〃	C_{III}	0.19	0.16	0.84	III	20
トレッド明瞭	A_I	0.88	0.60	0.68	III	38
〃	A_{II}	0.84	0.38	0.45	III	38
〃	A_{III}	0.78	0.37	0.48	III	38
平滑	A_I	0.77	0.36	0.47	III	40.2
〃	A_{II}	0.74	0 43	0.58	III	35
〃	A_{III}'	0.60	0.39	0.65	III	35
〃	A_{III}	0.60	0.39	0.65	III	35
トレッド明瞭	K_I	0.46	0.42	0.92	III	15
〃	K_{II}	0.41	0.29	0.705	III	14
平滑	K_I	0.56	0.30	0.535	III	26
〃	K_{II}	0.40	0.29	0.725	III	26
* トレッド明瞭	G	0.60	0.69	1.15	I	20→
* 平滑	G	0.50	0.44	0.89	III	15

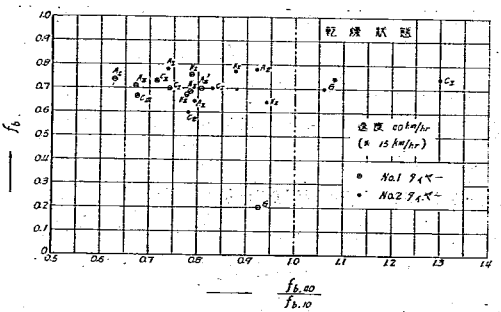
* 速度 5 又は 25 km/h とす

表—2, 表—3 より考察するに，$f_{b\text{-}40}/f_{b\text{-}10}$ 卽ち速度 40 km/h, 10 km/h に對する縱滑り摩擦係數の比の 1 より大なるは，C_{II} 碎石コンクリートの No. 2 タイヤー使用の場合の

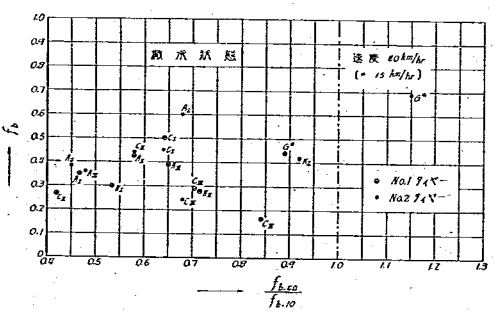
みであるが，一般には 0.90～1.0……程度，0.7～0.8 及び 0.6 以下の 3 種に分類し得るも，本試驗道路にては速度 40 km/h 以上に於て f_b の一定値にならぬものは無い．卽ち，V_c 値は 40 km/h 以下である．道路工學上必要な數字としては $f_{b\cdot40}/f_{b\cdot10}$ と $f_{b\cdot40}$ 又は $f_{b\cdot10}$ の組合せをとればよい．

今，表—2，3 より圖—44，45 の如き f_b 係數と $f_{b\cdot40}/f_{b\cdot10}$ の關係を圖示す．乾燥路面に於ては 40 km/h の f_b 係數の分布は範圍小さく，$f_{b\cdot40}/f_{b\cdot10}$ 比率も 0.60 以上である．濕潤路面に於ては f_b，$f_{b\cdot40}/f_{b\cdot10}$ 比率も比較的廣範圍に分布してゐる．

圖—44　乾燥狀態に於ける f_b～$f_{b\cdot40}/f_{b\cdot10}$ 關係



圖—45　撒水狀態に於ける f_b～$f_{b\cdot40}/f_{b\cdot10}$ 係關



f_b 係數と速度に關する特性を列擧すれば下記の如し．

1)　本試驗路面にては乾燥，濕潤兩狀態，タイヤー種別に係らず圖—43 の III 型にて異るものは 2，3 に過ぎず，卽ち

乾燥路面；

No. 2 タイヤー　　C_{II} 路面　　I 型

乾燥路面；

No. 2 タイヤー　C_{II} 路面　I 型
〃　A_m 〃　II 型に近し
〃　K_{II} 〃　II 型に近し
〃　G 〃　I 型 (II 型に近し)
No. 1 〃　G 〃　II 型に近し

散水路面；

No. 2 タイヤー　G 路面　I 型

の如く，砂利道 (G) は濕潤，乾燥兩路面によりタイヤー面との相互關係により I, II 型を示すもので，且つ，Vc 速度の小なる事をも考慮に入るれば，路上に點在せる砂利の滑りに對する作用も推定し得．A_m, K_{II} に於ても路面粗度の影響として了解し得るも，碎石コンクリート路面 C_{II} の No. 2 タイヤー乾燥狀態に於て I 型なるは特に注目に値するも可成り小なる係數を示すものである．

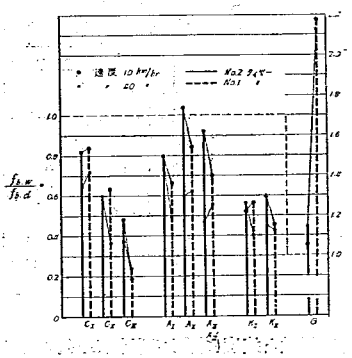
［2］f_b 係數に及ぼす路面の濕潤，乾燥兩狀態の影響

［1］に示した圖—44, 45 を比較すれば，兩者の關係明かなるも，更に圖—46 に濕潤による減少比率 k を路面試驗順位に配置すれば其の關係を一層明瞭となし得．

同圖によるも速度 10 km/h の場合の濕潤による f_b 係數減少率 k は一般に 40 km/h に於けるものより大である．タイヤー No. 1, No. 2 によるも差異大差なし．速度 10 km/h, 40 km/h に於ける k 比率を表示するに下表の如し．

	$\left(\frac{\text{濕潤狀態 } f_b \text{ 係數}}{\text{乾燥狀態 } f_b \text{ 係數}}\right)$	
	速　度 10 km/h	速　度 40 km/h
コンクリート系路面	0.8 ～0.20	0.72～0.24
アスファルト系路面	1.04～0.67	0.77～0.48
小　鋪　石　道	0.60～0.45	0.55～0.40
砂　利　道	2.28～1.06	2.22～1.16

圖 — 46
f_b 係數の濕潤による減少比率 ($f_{b\cdot w}/f_{b\cdot d}$)



コンクリート系路面の k 比率の最低値は膠石コンクリートの値である．小鋪石道，砂利道の k 比率の速度による影響の少き事より，兩者の場合滑り摩擦抵抗の主因の他の場合と全く異なるものなる事を推定し得．本試驗は試驗車裝備の撒水によるもので，降雨及び路上の泥土等の條件により更に係數に大なる變動あるも，清掃された路上の k 比率を略ゝ推

定し得. 特に著しき事は 2, 3 の場合 f_b 比率の 1 より大となりし事にて注目に値す.

[3] f_b 係數とタイヤー平滑度との關係

[1], [2] に掲げし表—2, 3 及び圖—44, 45, 46 に No. 1 タイヤー (平滑のもの), No. 2 (トレッド明瞭のもの) を列擧せるを以て, 特に本節を設くる必要無きも, 前記圖は

圖 — 47　タイヤー種別と f_b 係數との關係 (乾燥狀態)

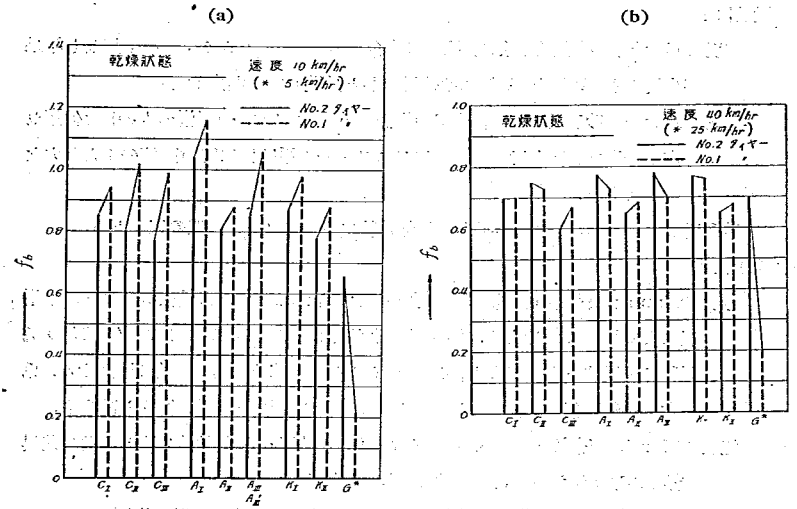
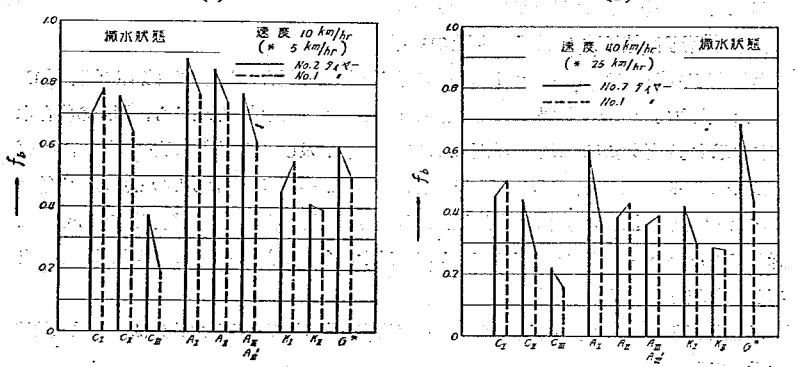


圖 — 48　タイヤー種別と f_b 係數との關係 (撒水狀態)



f_b 値其のものを記載せざるを以て，表—2, 3 より各路面の f_b 係數を順次列べ，No. 2, No. 1 タイヤー の差異を直接比較した．圖—47, 48 は乾燥，撒水兩狀態に於ける速度 40 km/h, 10 km/h に對する f_b 係數を配列したもので，—— は No. 2 タイヤー，－－－ は No. 1 タイヤーを使用せし場合の結果である．

次に主なる特性を列擧す．

乾燥路面

1) 速度 40 km/h; 砂利道を除き，總ての場合 No. 1, No. 2 タイヤーを使用せし結果多少異るも，實用上 f_b 値には差異無しと見做し得る程度である．

2) 速度 10 km/h; 砂利道を除き，總ての場合 No. 1 タイヤー (平滑のもの) を使用せる方が f_b 係數は大である．殊にアスファルト系路面にて f_b 値の 1 より大なる場合もある．

3) 砂利道は No. 1 タイヤーの場合，f_b 係數特に小にて 0.20 附近の値をとる．

撒水路面

1) 速度 40 km/h; 乾燥狀態より f_b 係數減少するものにて，其の量はタイヤーの平滑度により異るものである．例へば，砂利道にては No. 2 タイヤー使用時の f_b 係數は乾燥時と大差無きも，No. 1 タイヤー使用時の f_b 係數は增大する．兎に角，一般の傾向として No. 1 タイヤー使用の場合 f_b 係數は稍減少す．

2) 速度 10 km/h; 上記同樣，No. 1 タイヤー使用の場合 f_b 係數減少するも其の差異僅少にて，路面 C_1, K_1 にては反對に稍增大す．

以上 [1], [2], [3] により縱滑り摩擦係數 f_b に及ぼす速度，路面乾濕の影響，タイヤー平滑度の影響を明かにせしもので，各路面に就て特有な傾向を有するものである．全體を通じて共通な滑りに對する考察は後に述べる．

[4] 橫滑り摩擦係數 (f_s) と速度との關係

本試驗速度範圍 3 km/h 45km/hに於ては殆んど總ての場合，f_b 係數は速度に無關係であつた．操向角 $\theta=15°$ の場合には試驗車，牽引車が共に振動を示せるも，斯かる場合本報告に示す f_b 係數値は平均値の意味である．V, [3], 及び VI, [3] に述べた樣に，f_s 係數は θ 角の函數なるも，θ の或角度以上に對しては一定値に達するものである．本節に於ては一定値に達せる f_s 値に就き考察せん．但し，撒水狀態にては高速度 40 km/h に對して 10 km/h の場合に比し小なる f_s 値を示す．今先づ上記一定値の f_s 係數のみを各項より求め表—4 に取纏め示さん．

但し撒水路面にては $f_{s\cdot40}/f_{s\cdot10}$ は 1～0.6 程度に變化してゐるが大部分は 1 に近き數値を示してゐる．

表—4 f_s 係数，一定極値

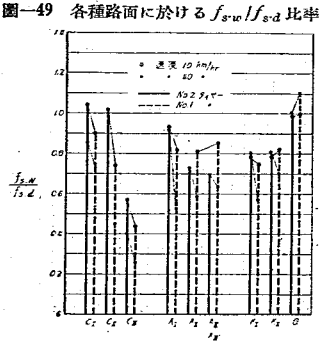
タイヤー種別	路面種別	乾燥路面速度		$f_{s\cdot40}/f_{s\cdot10}$	撒水路面速度		$f_{s\cdot40}/f_{s\cdot10}$
		10 km/h	40 km/h		10 km/h	40 km/h	
トレッド明瞭	C_I	0.71	0.72	≒ 1	0.75	0.62	0.83
〃	C_{II}	0.73	0.74	〃	0.72	0.74	≒ 1
〃	C_{III}	0.66	0.68	〃	0.38	0.28	0.74
平滑	C_I	0.74	0.73	≒ 1	0.67	0.55	0.82
〃	C_{II}	0.78	0.76	〃	0.58	0.34	0.585
〃	C_{III}	0.62	0.62	〃	0.27	0.16	0.59
トレッド明瞭	A_I	0.74	0.73	≒ 1	0.68	0.58	0.92
〃	A_{II}	0.70	0.69	〃	0.69	0.50	0.723
〃	A_{III}	—	—	—	0.62	0.48	0.77
平滑	A_I	0.78	0.78	≒ 1	0.64	0.38	0.59
〃	A_{II}	0.76	0.76	〃	0.62	0.44	0.71
〃	A_{III}'	0.71	0.72	〃	0.62	0.47	0.76
〃	A_{III}	0.73	0.74	〃	0.62	0.47	0.76
トレッド明瞭	K_I	0.58	0.58	≒ 1	0.46	0.46	1.0
〃	K_{II}	0.59	0.59	〃	0.47	0.47	1.0
平滑	K_I	0.73	0.73	≒ 1	0.55	0.42	0.76
〃	K_{II}	0.63	0.63	〃	0.52	0.44	0.845
トレッド明瞭	G	0.44	0.44	≒ 1	0.44	0.44	1.0
*平滑	G	0.42	0.46	〃	0.42	0.46	1.1

* 速度 40 km/h の代り 25 km/h とす.

[5] f_s 係數に及ぼす路面の濕潤，乾燥雨狀態の影響

各路面の試驗結果の項に，$f_{s\cdot40}/f_{s\cdot10}$ (但し $f_{s\cdot w}$, $f_{s\cdot d}$ は撒水，乾燥雨狀態に於ける横滑り摩擦係數) の値を掲げ，其の値が可成りの範圍に變る事を示した．通常の場合，高速度時の斯かる値のみが注目されてゐるが，低速度時の値も重要視される必要がある．今圖—49 に速度 40, 10 km/h, No. 2, No. 1 タイヤー使用時の $f_{s\cdot w}/f_{s\cdot d}$ を掲ぐ．

圖—49 各種路面に於ける $f_{s\cdot w}/f_{s\cdot d}$ 比率



f_s 係數の値其のものは別に圖示するも，速度 40 km/h (●) に於ける結果を見れば各路面の差異が明瞭に現れてゐる．低速 10 km/h (◉) に於ては一般に $f_{s\cdot w}/f_{s\cdot d}$ 比率は 1 に近づく傾向があ

り，1より大となりしものも 1，2ある．小鋪石は K_I, K_{II} と雨者表面狀態可成り異るも，$f_{s\cdot w}/f_{s\cdot d}$ 比率の差異は大差ない．圖—49 より撒水狀態に於て如何なる程度に f_s 係數の減少するものなるやを推定し得べく，圖—47 f_b 係數の結果との比較は後節に記述する．

［6］ f_s 係數とタイヤー平滑度との關係

［3］f_b 係數の場合に述べたと全く同樣に，之等の關係を圖示すればよい．[4]，[5] には總て乾燥，撒水兩狀態の f_s 係數の比率を以て圖示せしも，玆に之等の絶對値をとり比較せん．

圖—50, 51 は乾燥，撒水兩狀態の速度 40 km/h, 10 km/h に於ける f_s 係數値を列擧せるものである．

同圖より特性を列擧すれば下記の如きものを得．

乾燥路面

1) 速度 40 km/h, 10 km/h ； 共に實用上同樣の結果を示すもので，本試驗の範圍にてはタイヤー平滑度の影響無きも，膠石コンクリート，小鋪石道 (K_{II} 舊) の場合は平滑タイヤーの場合 f_s の減少せるを示す．

撒水路面

1) 速度 10 km/h; コンクリート系路面に於ては，平滑度の增加に伴ひ f_s 係數減少し，アスファルト系に於ても亦同樣なるも，凹凸度大なる瀝青乳劑塗裝道に於ては逆に增加す．斯る特性は小鋪石道 (K_I, K_{II} 共に) に於ても顯れてゐる．

2) 速度 40 km/h; 總て No. 1 平滑タイヤー使用による f_s 係數は著しく減少してゐる．且つ，各路面の差異も明瞭に表れてゐる．橫滑りとしては最惡條件の場合

圖 — 50
タイヤー種別と f_s 係數との關係（乾燥狀態）

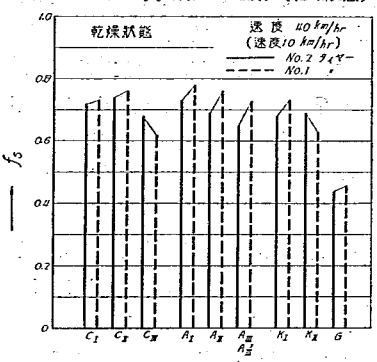
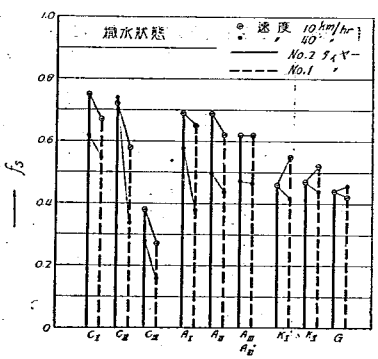


圖 — 51
タイヤー種別と f_s 係數との關係（撒水狀態）



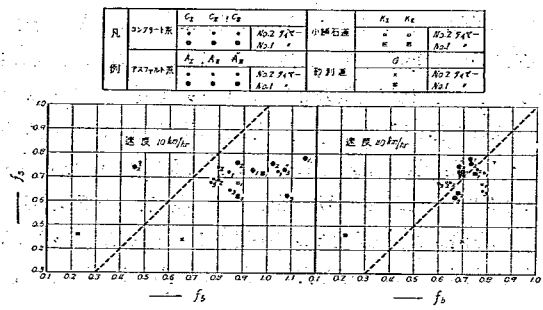
を與ふるもので路面上の滑り度の判別に最も適してゐる.

以上 [4], [5], [6] により横滑り摩擦係數の工學上重要な各種の特性を明かにした. 其の他, 横滑り係數の操向角 (θ) との關係は既に V, [3]. 及び VI, [3] に詳細に記述したタイヤーの縦, 横滑り抵抗は路面とタイヤーとの相互關係によると雖も全く異る意義を有する事は I, [1] の記述により明かなれども, 次節に實驗結果より更に兩者を比較す.

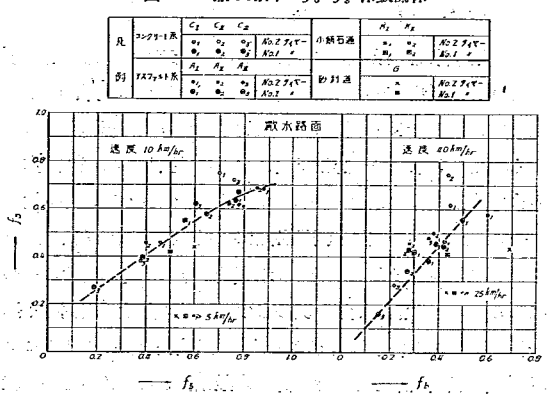
[7] f_b 係數と f_s 係數との關係

路面とタイヤー相互間の摩擦係數は複雜な原因によるも, 路面の幾何學的凹凸度, 凹凸面の彈性可塑特性竝に材質, タイヤーの材質, 粗度竝に可變性等の關係によるものである. 勿論嚴密な意味に於ては, 少なくとも上記の特性は總て其の影響を摩擦係數に及ぼすものであるが, 實用上卽ち道路工學上の資料としては其の何れが主要なる影響を及ぼすものなるやを吟味する事が最も緊急な事柄である.

圖—52　乾燥路面の f_b~f_s 係數關係



圖—53　撒水路面の f_b~f_s 係數關係



今 f_b, f_s なる縦, 横滑り摩擦係數を比較する事も斯る見地より一つの新しき資料を與へるものである. 兩者を比較するにも速度による係數の變化度 f_{40}/f_{10} 又は濕潤による減少比率 (f_w/f_d) 等より考察するも亦一方法なるも, 玆には f_b, f_s 係數其ものを直接比較す. 圖—52, 53 は各種路面の f_b~f_s 係數關係を乾燥, 撒水兩狀態竝に速度に區別し圖示せるものである.

圖—52 (a) 中の碎石コンクリートの結果 ⊙$_2$? の位置は試驗路面上特に泥土, 塵埃存在せし爲か

値が偏倚してゐる．修理推定値をも記入した．◎2 乾燥路面に於ては路面の材質其の他多くの特定條件により f_b, f_s 係數が支配され，特に兩者間の關係を求める事能はず，且砂利道のみは運動滑り作學上機構を異にせる爲め，f_s, f_b 分布を異にす．全般を通じて得し結果は；

f_s 係數範圍は速度に係らず 0.8～0.6 內外であるが，f_b 係數範圍は低速度に於て 40 km/h の場合の 2 倍である．更に此點に關し論究せんには，路面に就き適當に測定せる凹凸度等を求め幾何學的形狀の影響と他の材質に關する特性を分離し考察する必要がある．

然るに圖—53 (a), (b) 撒水狀態に於ける f_s～f_b 係數關係は全く乾燥狀態のものと異り兩者の間に密接なる關係の存在せる事を示す．特に平滑タイヤーを使用せし場合の結果は斯る特性を顯著に示してゐる．此場合に於ても砂利道に就ては別個の取扱をするのが妥當である．圖—53 (a), (b) 內の點線は No. 1 タイヤー (平滑) の結果を連結せしもので，10 km/h に於ては f_s 係數は f_b の增加に伴ひ增加するも，0.4 以上は f_b より減少し一定値に至る如き傾向が現はれてゐるが，40 km/h の場合は實用上 f_s は f_b に等しく，特種の路面構造を有する小鋪石道にては f_s の方が稍〻大である．トレッド明瞭なる No. 2 タイヤー使用せし結果は，路面による影響を受けタイヤー面變形度の複雜性により f_s～f_b 關係も歷然としてゐない．然れども乾燥狀態の場合の結果と比較すれば自ら異り，滑りの機構を推定し得べし．本試驗はタイヤー，指定空氣壓力を有し且つ一特定荷重の下に行びしものであるも，圖—53 (b) により路面滑り度試驗として平滑タイヤーを使用し，撒水狀態によるものをとり橫滑り試驗に於ける極限—定値橫滑り係數 f_s を測定する事が便宜，且つ最も適切なる事を立證した．

VIII. 結　　論

車道の標準化として縱滑り，橫滑り摩擦係數が假定されてゐるが，元來，車輛の滑り摩擦係數は各種の條件により定まり其の性狀を理論的，實驗的に討究せしもの本邦に無く，外國文獻により其の値を推定してゐる．土木構造物は各國は勿論，地方的色彩濃きものなれば其の實測を試みんとせしもので，各章に於て詳細試驗に關する重要なる事項を論究した．卽ち I, II に於て路面抵抗係數に對し簡單なる 2, 3 の考察を行ひ，タイヤーの條件，撒水影響をも考慮し試驗條件を合理的に定め，英米獨佛各國にて從來行はれし試驗の狀況を述べ，未だ研究を要すべき問題の如何に多きやを示し，本實驗が單に本邦に於ける一つの滑り摩擦係數の資料を得るのみならず，縱，橫滑り其のもの〻性狀に關する研究をも進めんとした．路面とタイヤー間の剪斷應力分布の研究は愛割し，試驗裝置特にダイナモメーターに關しては詳しく記述した．試驗道路としては本邦に多數施行されてゐるものに就

き試驗せんとし，コンクリート系3種，アスファルト系3種，小鋪石道2種を撰び參考とし砂利道をも撰んだ．使用タイヤーの撰定特に面の平滑度は重要な事項である．本試驗は購入新しきトレッド明瞭なものと，同溝を塡充せる平滑タイヤーの2種を使用し乾燥，撒水兩狀態で V，VI に詳述せる各種試驗を行ひ，縱，橫滑り摩擦係數 f_0, f_s の範圍竝に各種外界の條件による影響を明かにし，必ずしも平滑タイヤーが摩擦係數小ならざる事，砂利道の特異性等數多の新事實をも得た．且つ兩者の (f_0, f_s) 相互關係に就きても若干の考察を行つた．

本試驗の結果による結論的關係は VII 章に可成り詳細に述べし故玆に再び重複するを避け繰返さざるも，將來路面の保守其の他の目的に滑り摩擦係數を測定する必要ある場合，撒水狀態に於ける橫滑り (θ 角を一定値 f_s を與ふものとす) 摩擦係數を平滑タイヤーを使用し測定する事により滑りに對する基準を定め得る事を實驗的に明かにした．II 章の各國に於ける試驗狀況の項に述べし如く橫滑り試驗が試驗操作上便宜として採用されつゝあるも，乾燥，撒水兩狀態の關係，縱滑りとの關係に就き考慮せしもの無きを以て此點に言及した．

以上の如く，各種主要鋪裝に於るタイヤーの滑り摩擦係數を實驗的に明かにしたものであるが，未だ特定の磨損せる路面に就き試驗せるに過ぎず，此後益〻試驗條件を合理化し高速度自動車の發展に伴ふ路線の標準化に資する所あらんとす．且つ本試驗結果より當然歸納される道路構造に關する事項は別に論究す．

附　記

本試驗を行ふに當り，所長藤井博士の御指導竝に第8回國際道路會議第5部委員長金森博士，委員小澤久太郎技師等の御配慮を得し事多し．深く感謝の意を表す．尙，試驗裝置の設計製作に際しては當所遠藤技手に俟つ所頗る多く，試驗に際しては當所松岡正一君の助力により所期成果を得しもので共に錄して深く感謝する次第である．

引　用　文　献

(1) G. Bird, W. J. O. Scott; Road Surface Resistance to Skidding. Road Research Techn. Paper, No. 1 (Dept. Sci. & Indstr. Research, Ministry of Transp. England,) 1936. Measurement of the Non-skid Properties of Roads Surfaces. Road Research Bulletin, No. 1 (同上) 1936.

R. A. Moyer; Skidding Characteristics of Automobile Tires on Roadway Surfaces and their Relation to Highway Safety. Iowa Engineering Experiment Station, Vol. XXXIII, No. 10, 1934 or Highway Research Board 1934, part I, 123.

(2) Coulomb 摩擦係數, z. B. von Charlotte Jacob; Über gleitende Reibung (gekürzte Königsberger Dissertation), Ann d. Physik, **38**, 1912, 126.

(3) Osborne Reynold; On the Theory of Lubrication and its Application to Mr. Beauchamp Tower's Experiments, including an Experimental Determination of the Viscosity of Olive Oil. Philo. Trans. Royal Soc., 1886, I. 157.

(4) Sommerfeld, Michell; for Example, Discussion on Lubrication. Proc. of Physical Soc., London, Vol. **32**, 1920, 1.

(5) R. N. J. Seal; Laboratory Investigations into Slipperiness of Roads. Journ. of Soc. Chem. Industry, **55**, 1936, 3.

(6) R. A. Moyer; 前揭 (1).

(7) K. W. Stinston, C. P. Roberts; Coefft. of Friction betw. Tires & Road Surfaces, Highway Research Board, 1934, Part 1, 169.

(8) Etat actuel des Recherches effectuées en France, sur la Mésure des Coefficients de Frottement des Routes des Vehicules sur les Revétements routières. Revue générale des Routes, **11**, No. 126. 1936.
Bulletin of Permanent International Association of Road Congress. 25th Year, Sept.-Oct., 1936, No. 107.

(9) G. Bird, W. J. O. Scott; 前揭 (1).

(10) R. A. Moyer, (11) K. W. Stinston; 前揭 (1), (7).

(12) Stuttgart 實驗; Otto Graf, Gustav Weil; Über die Reibung auf Strassendecken. V.D.I. 1934, Bd 78, Nr. 4.

(13) W. Kamm, C. Schmidt; Der Begriff der Reibung bei der Wechselwirkung zwischen Rad und Fahrbahn. die Strasse 1934, **4**, 8, 213.

(14) G. Bird, W. J. O. Scott; 前揭 (1).
R. G. C. Batson; The Effect of Road Surfaces & its Maintenance on Road Safety. Engineering, 1936, Vol. CXLII, No. 36, 91—

(15) Dean, T. R. Agg. (Moyer, Highway Research Board, Vol 13, 1934).

(16) R. A. Moyer; 前揭 (1).

(17) K. W. Stinson, Coefft. of Friction betw. Tires and Road Surfaces. Highway Research Board, Vol. 13, Part 1, 1933, 169.
Further Coefft. of Friction Test. Highway Research Board, Vol. 14, Part 1, 1934, 131.
G. F. Schlesinger: The Design of Brick Surfaces to oboiate Slipperiness. (同上 Vol. 14, 1934, 187–).

(18) Darmstadt 實驗; F. Knipping, K. Goltz; Die Forschungsarbeiten des Strassenbau-Instituts der technischen Hochschule Darmstadt. Bautechnik, 1936, **14**, H. 20, 316.

(19) Stuttgart の實驗; 前揭 (11).

(20) 前揭 (8).

土木試驗所出版圖書

報告

號	件名	發行年月
1	路面及勾配が馬車運送に及ぼす影響に就ての研究中間報告(牧) 瀝青質材料竝瀝青質混合物に關する研究第一報(三木)	14. 3
2	瀝青質材料針度に就て	15. 1
3	「ヴァイアログ」に依る路面凹凸測定 瀝青混合物に關する研究 「アスファルト」合材混合の際に於ける「アスファルト」の粘度に就て	15. 2
*4	急硬セメントに關ずる試驗報告	15. 5
*5	簡易鋪裝に關する試驗報告	2. 3
*6	混凝土及鐵筋混凝土抗扭力試驗報告(宮本)	2. 5
*7	八幡製鐵所副產部製品，瀝青質材料，瀝青質鋪裝，「セメント」類及揮發油に對する「アスファルト」の可溶率等に關する試驗成績(三木,山田耕,小田)	2. 7
*8	瀝青質材料標準試驗方法 石材類標準試驗方法	2.10
*9	急硬性「セメント」に關する試驗(三木，高田，稻生，小田，大和田) 「ソリデチット」の耐壓强度に關する試驗(高田,細山) 「ブロック」に關する試驗(西川,眞崎,船山) 高知縣黑瀧川產砂に關する試驗(高田) 多摩川產砂利及砂に關する調查(高田) 石材類試驗成績(高田,眞崎)	2.11
*10	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て(第一)(藤井,船山) 道路橋振動試驗(青木)	3. 3
*11	瀝青滲透ブロック試驗成績(三木,小田) 鋪裝工事用サーフエス・ヒーターの碎石に及ぼす影響に關する試驗(高田) 常願寺川產砂に關する試驗(高田,眞崎,細山)	3. 7
*12	アスファルト・ブロック試驗成績(三木,松本) 各種アスファルト・ブロック比較試驗成績(三木,松本) 石油アスファルトとコール・タール・ピッチとの混合物に關する試驗(三木,山田耕)	

號	件名	發行年月
*12	瓦斯瓦斯炭瓦タール及ピッチに關する試驗成績(三木,山田耕) コール・タール・ピッチ中の純瀝青に就て(三木,山田耕) 大氣中に於けるアスファルト・セメントの變化(永峯) 石炭瓦斯のアスファルト・セメントに及ぼす影響(永峯) 標準砂モルタルの强度に及ぼす火山灰及石粉の影響(高田)	4. 1
13	ポートランドセメント混凝土鋪裝の磨耗試驗(山田,船山) 橋梁用鋼板强度試驗(青木,鈴木) 舊厩橋鐵材の腐蝕に關する調查(青木) 鋪裝用鑄鐵ブロック磨耗試驗(高田)	4. 5
*14	瀝青乳劑及ピチュマルス鋪裝に關する試驗(藤井,永峯) 瀝青滲透ブロックに關する試驗(三木) 瀝青質材料の滲透性に關する試驗(三木) 瀝青質材料の粘度及膨脹係數に關する試驗(三木,山田耕)	4.12
*15	北上川降開式轉動堰模型試驗(物部,青木,伊藤) 電氣鎔接法による鐵筋の接合(青木) 現場打混凝土の耐壓試驗報告(高田)	5. 2
*16	路面の構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て(第二)(藤井) 瀝青滲透ブロック鋪裝試驗(三木) 工事用石材試驗成績(高田,眞崎)	5. 5
*17	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て(第三)(藤井)	5. 5
*18	混凝土鋪裝の粗骨材別磨耗比較試驗(山田,船山) 鋪裝混凝土工に及ぼす氣象作用の影響竝に之に應ずる設計及工法に就て(一)(藤井) 鬼怒川上流改修工事用角礫凝灰岩砂利及砂に關する試驗(高田) 鐵筋混凝土道路橋設計資料(大野) 各種土木工事用材料試驗成績(三木)	5.10
*19	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響竝に之に基く道路設計の基本に關する研究(第四)(藤井)	5.11
20	東京山手赤土の彈性的性質に關する試驗(一)(高田) 基礎の沈下量算定法(一)(松村) 岩淵水門に關する水理試驗(青木,	6. 6

號	件名	發行年月
20	伊藤) 單鉸拱橋模型試驗(三浦) 國道鐵筋混凝土丁桁橋標準設計案(大野)	
21	背水曲線の一般的解法（物部, 伊藤) 單鉸拱の振動に關する理論並に實驗(三浦) 混凝土鋪裝の繼目に關する試驗(山田, 船山) 河水のポルトランド・セメントに及ぼす影響（西川, 川畑) 標準砂モルタルの强度に及ぼす石粉の影響(高田) 瀝青乳劑試驗成績(西川)	6.12
22	地震時土壓の實驗的研究(松尾) 混凝土鋪裝繼目用エラスタイト試驗(西川, 松本) 高田馬場試驗鋪裝の路床土質に關する試驗(高田) 基礎の沈下量算定法(第二)(松村) 新土壓計算圖表(本間)	7. 5
23	簡易鋪裝に關する實地比較試驗(山田, 船山) 鋼矢板試驗(青木) 大和川筋魚ノ洲地辷に關する調査(第一)(高田)	7. 7
24	道路の背向曲線の設計に就て(藤井) 阻柱に關する試驗(本間) 乳劑の粘度に就て(島田) 府縣道鐵筋コンクリート丁桁橋標準設計案(大野) 碎石の磨損率に關する一試驗(高田) 三陸津浪調査報告(松尾) 本邦產鋪裝用石材(附錄)(高田, 眞崎)	8. 6
*25	本邦鋪裝用タールの性質に就て（西川, 山田錄) 横溢流堤流量試驗（伊藤, 本間) 擁壁の安定增大に關する一提案及之に關する試驗(松尾) 砂利層の支持力に關する試驗(第一報)(山田, 船山) 鋼矢板試驗(續)(青木) エタニツト・パイプ試驗(青木)	8.11
26	地震に因る動水壓を考慮せる重力堰堤の斷面決定法(物部) 田中村調節池溢流堤に關する水理試驗(本間) 瀝青鋪裝切取試驗體の性質(西川, 松本) 道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究(第一報)（島田, 福島) 自動車の路面に及ぼす衝擊に關する研究(其一)(松村)	9. 3
27	道路用骨材の性質に及ぼす粒子形狀の影響に就て(藤井) 津浪の災害輕減に關する模型試驗(松尾) 津浪の變形の理論(本間) 三陸津浪調査報告(追加)(松尾)	9. 6
27	自動車の路面に及ぼす衝擊に關する研究(其の二)(松村) 瀝青透入マカダムに關する試驗（第一報)(山田, 船山)	
28	地震動による土堰堤の變形(松村) 鎔着鋼引張試驗用小型試驗片(青木, 佐藤) 國產瀝青乳劑試驗成績(西川) 骨材及び類似材料の靱性に關する研究(島田) 鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的並に耐震的設計(1)(大野)	9.10
29	矢板擁壁の控板に作用する力に關する試驗(松尾) 瀝青繼目材試驗成績（西川, 松本) 南洋材カポール並にターペンタインの物理的諸性質に關する試驗（青木, 石川) 道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究(第2報)(島田, 福島) 阪神地方沿岸風水害調查報告(松尾)	9.12
30	道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究(第3報)(島田, 本間) 鐘口狀河口に於ける水流に就て（本間) 下關海峽の潮流に關する模型試驗（本間) 基礎版の基本的研究(第1報)(松村) 溢流堤下游洗掘防止に關する一試驗（八木) 國道鉄結鈑桁橋標準設計案（青木, 牧野)	10.4
31	土砂の安定强度試驗（山田, 西川) 本邦鋪裝用タールの性質(其の Ⅱ.)（西川) 道路鋪裝用タール乳劑に關する研究（第1報)(福島, 川畑) 擁壁裏込の土壓輕減の効果に關する試驗(松尾) 浦戸港々口の潮流に關する試驗（第1報)(本間)	10.8
32	本邦道路橋の重量（青木, 佐藤) 道路鋪裝用タール乳劑に關する研究（第2報)(島田) 河川灣曲部に於ける水流に就て（本間) タールとアスファルトとの混合物の鋪裝材としての性質(西川) タール鋪裝と水稻の發育との關係(西川) ポートランドセメントの凝結後に於ける溶解物の *PH* に就て(高田) 王浦堰堤の漏水の溫度及水素イオン濃度(高田)	10.11
33	砂利路面工の配合比に關する試驗(山田, 船山) 鋼橋鎔接沓壓縮試驗（青木, 鈴木) 基礎版の基本的研究(第2報)基礎桁(松村) 道路鋪裝用アスファルトの力學的特	11. 3

號	件名	發行年月
34	性に就て(其の1)(島田) 停止波に就て(横田) 瓦斯切斷による創痍が熔接の强度に及ぼす影響(青木) 防波堤の安定に關する一試驗(松尾) 二,三の土木材料の比熱測定結果に就て(島田) 二,三の外國製鋪裝用瀝青乳劑の性狀に就て(福島) 土砂の安定强度に及ぼす加壓回數の影響(山田) 土木工事用金屬材料分析試驗(西川,福島,川畑) 種々の土木工事用材料に關する試驗(西川,福島,川畑) 施工方法による砂利路面工の耐力の比較試驗(山田,船山) 鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的效に耐震的設計(2)(大野)	11. 6
35	基礎版の基本的研究(第3報)圓形基礎版(松村,中西) 浦戸港々口の潮流に關する試驗(第2報)(松尾,本間) アスファルト混合タールの鋪裝材としての性質(西川) 鋪裝コンクリートの力學的性質に關する試驗(藤井) 道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究(第4報)(島田)	11. 8
36	瀝青透入マカダムに關する試驗(第2報)(山田,船山) 熔接鈑桁突條鈑衝合接手の接合角度に就て(青木) 大阪港附近の津浪の災害輕減に關する模型試驗(松尾) 道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究(島田)	11.11
37	骨材の最大密度の粒度に就て(藤井) 土の乾燥に伴ふ壓縮强さの變化(山田) アスファルト,タールの性質に及ぼす氣象作用の影響,特にその薄層の場合の性質變化(西川,山田稼) 岸壁裏込の特殊工法がその安定度に及ぼす影響に關する試驗(松尾,高橋) コンクリートの熱的性質に關する試驗(第1報)(島田)	12. 5
*38	現場コンクリートの强度並に之に及ぼす施工條件の影響に就て(藤井,大野,佐藤) 現場に於ける瀝青乳劑製造の設備及び製法並にその乳劑の性質に關する試驗(西川,福島) 重力式岸壁の耐震限度(松尾,大門) 彈性地盤上の圓形水槽(松村,中西)	12. 9
39	電氣熔接法による鐵筋の接合(第2報)(青木) 本邦鋼道路橋衝擊係數に關する一考察(小澤) 路面の光反射に關する試驗並に之に基く道路照明基準に就て(島田) X線反射法によるV形衝合電弧熔接部の内部歪分布試驗(豫報)(島田) 滿洲產タール,重油,中油及び重油に依るカット・バックタール等の鋪裝材料としての性質(西川,山下) 鐵線蛇籠の防錆塗料に就て(西川)	12.11

彙報

號	件名	發行年月
1	試驗調査事務分掌 試驗調査事項の處理方法 現在實施中の主なる試驗調査事項 昭和11年に於ける材料その他の依賴試驗 備付雜誌 附 處務細則	12. 3
2	赤羽分所水理試驗設備	12. 3
3	獨逸 Oder 河の流量調節の Ottmachau 貯水池建設に就て	12. 8

其他

*本邦道路橋輯覽	14.12
*本邦道路橋輯覽 第二版	3. 3
本邦道路橋輯覽(增補)	3. 3
*第六回國際道路會議に關する報告書	7. 4
土木工事用材料標準試驗方法	7. 4
本邦道路橋輯覽 第三輯	10.11

(*印は殘部なし)

昭和十二年十二月二十日　印刷
昭和十二年十二月二十五日　發行

內務省土木試驗所
東京市本鄉區駒込上富士前町二十六番地
電話大塚(86){自3101番 至3103番

印刷者　井上源之丞
東京市本所區厩橋一丁目二十七番地ノ二

印刷所　凸版印刷株式會社
東京市本所區厩橋一丁目二十七番地ノ二