土木試驗所報告

第五十五號

安東港の改良計畫に關する模型試驗報告……內務技師 青木楠男 內務技師 松尾春雄… 1

土の突固め竝にそれが力學的性質及び透水性に及ぼす影響に就て……內務技師 星埜 和… 37

昭和十五年八月

內務省土木試驗所

建設省沼津支所圖書
分類 II－K 番号 1－47
購入年月日 年 月 日

安東港の改良計畫に關する模型試驗報告

內務技師 青 木 楠 男

內務技師 松 尾 春 雄

この試驗は昭和12年11月以降約1ヶ年半著者等が滿洲國の依囑を受けて行つたものであるが，當時の安東港修築計畫は其後大東港修築計畫に推移した爲に今では此の實驗結果を實際問題として取扱ふ機會を失つた形となつた．併しこの報告中に收められた洪水，潮汐等に關する觀測記錄や，實驗結果は鴨綠江下流部の改修を考ふる場合，必ず役に立つものと信ずる．

模型試驗は昭和13年4月開始，昭和14年2月完了．試驗費約 3000 圓を要した．

實際の試驗に當つては當所內務技手柄澤郡治，囑託坂上種正，所員大門美代三の助力を得た．

目　　次

Ⅰ. 總　說……（1）
［1］ 安東港修築工事概要……（3）
［2］ 安東港現在の狀態……（4）
［3］ 現場に於ける調査……（7）
Ⅱ 試驗設備及試驗事項……（11）
Ⅲ. 試驗結果……（14）
［1］ 洪水時……（15）
［2］ 平水時順流（落潮）—相似律……（17）
［3］ 平水時逆流（漲潮）……（19）
［4］ 流路に就て……（20）
Ⅳ. 要　約……（22）

Ⅰ. 總　　說

安東市前面の水路を十分に利用する目的を以て安東港修築計畫を確立するに際し如何なる工法を採るべきかに就て行つた模型試驗の報告である．

模型試驗は縮尺平面に於て 1/1667，鉛直に於て 1/150 のモルタル製の模型に就て行つた．模型の範圍は上流は安東新義州間鐵橋附近から下流は三橋川合流點より約7 km 下卽ち蚊子溝の稍下流迄であつて延長約 17.5km の間を含む（圖—1 參照）．模型の大きさは大約 4×11 m である．

試驗の種類は

洪 水 時

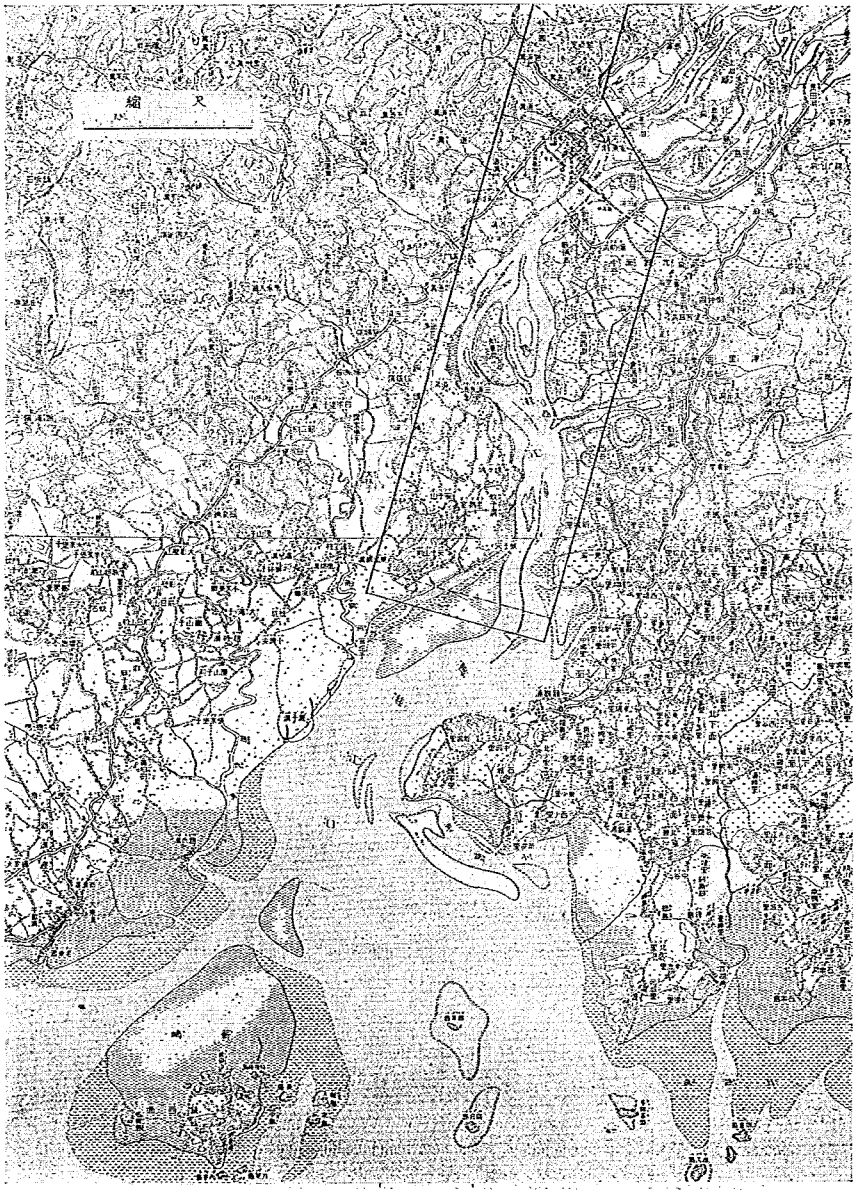
平水時落潮の最も盛なる時　　平水時漲潮の最も盛なる時

の各々に就て

現狀の儘の狀態（以下單に「現狀」とする）　滿洲國交通部航路司案（第 I 案）

第 I 案に稍々變更を加へた案（第 II 案，第 III 案，第 IV 案）

圖—1 鴨綠江下流部平面圖（模型取入範圍をも示す）



の狀態の模型に就き比較研究を行つた.

大部分は固定底を有する模型に就て試驗したが一部は底を砂としてその移動狀況をも觀測した.

以上の試驗により安東港を最も有效に利用し且又洪水が附近に障碍を及ぼさない樣に流下する爲には如何なる改修計畫を樹つべきかに關する槪念を得んとするものである.

康德5年度（1938 年）より開始された同工事は初めに主として五道溝地先の航路の浚渫を行ひ順次その他の工事に及ぶ豫定である. 康德5年度に樹てられた同計畫の內容は大體次の「安東港修築工事槪要」に示す通りである（圖—2 參照).

[1] 安東港修築工事槪要

工事名	康德5年度		6年度		7年度以降	
	數量	金額	數量	金額	數量	金額
		圓		圓		圓
五道溝地先浚渫工事	36,000 m³	38,411	300,000 m³	210,000	1,200,000 m³	840,000
東柳草島新義州間締切工事	1,052 m	216,138				
三道浪頭地先水制工事	715 m	299,840				
五道溝地先水制工事			816 m	18,550		
東柳草島地先水制工事			240	20,300		
柳草島地先背割堤及水制工事			1,860	237,000		
岸壁工事						1,000,000
年度計		554,389		485,850		1,840,000

五道溝浚渫工事　五道溝地先に於ては特に水深少であつて安東港の發展の爲には此の區間の浚渫が最も大切である. 此の附近では低水位は ±0 であつて 1,000 t 級の船舶を入港せしめる爲には −5.0 m 迄浚渫する事が必要である（圖—2 參照). 航路幅員 100 m とし延長 3,500 m, 土量約 1,500,00 m³ である.

浚渫は揚揚式浚渫船を使用し土砂は木造甲板張り土運船に積込み柳草島, 朝鮮本土間の水道に曳航投棄する.

東柳草島新義州間締切工事　東柳草島と新義州間に延長 1,052 m の締切堰を築造し東柳草島と滿洲國間の流量を增大し此の水道の水深維持に資せんとするものである. 構造は根固め單床を沈設しその上に水叩部のコンクリート方塊を敷詰め堤部は +1.0～+3.0 m の高さに天端幅 4 m, 上下流法勾配 2～3 割に捨石をし −0.5 m より上部は流氷による破壞を防ぐ爲に張石均しを施工する.

三道浪頭地先及五道溝地先水制工事　水制により岸の水勢を減じ洪水時の江岸の破壞を防がんとするものであつて水制の方向は江心に直角に江岸護岸法線迄夫々約 200 m（三道浪頭地先）及 240 m（五道溝地先）の間隔に各 6 本を築造する. 構造は根固めとして單床を沈設し +3.0～+5.0 m 迄捨石を施し天端幅を 3 m に上下流共法勾配 2 割とし +1.0 m より上部は流氷により破壞される事を防ぐ爲に張石均しを施工する. 水制と江岸取付部は破壞を防ぐ爲に丸蛇籠（徑 80 cm, 長 5 m）に割石を詰め江岸を保護する.

東柳草島地先水制工事　東柳草島の上流部地先に水制工を施し滿洲國側水道の水勢を增加せしめ土砂の沈澱を防がんとするもので水制の方向は江心に直角に 240 m のもの 1 本を築造し島岸を保護する. 構造は三道浪頭地先のものと同樣である.

柳草島地先背割堤及水制工事　柳草島の下流部突端に背割堤（延長 1,300 m）及水制工（延長 560 m）を, 既記上流部締切及水制工事の影響により水流に著しい變化を及ぼさない爲に施工するものである. 卽ち背割堤は江の

右岸に略々平行に 1,300 m 直線に築造し水制は堤の突端より 200 m の間隔を置き圖の如く右岸の凹凸に添ひ兩端の水制は長く中央に向ひ漸次短く 6 本にて延長 650 m 築造して水流を自然に導くと共に背割堤を保護せんとするものである．背割堤の構造は既記水制と同樣天端高 +3.0 m，天端幅 2.0 m，兩側法勾配 1 割 5 分，水制は天端高 +3.0 m,天端幅を 3 m，上下流の法勾配を 2 割に築造する．

[2] 安東港現在の狀態

同港現在までの利用狀態は安東航政局刊行の「安東港々灣概況」「鴨綠江及安東港の航運」及「安東港船舶統計表」(何れも康德 3 年發行) 等に就て見れば明らかであるが玆には試驗に關聯して必要と思はれる部分を抜萃する．

安東港々灣概況

1. 港灣の形勢

安東港は滿鮮の國境を流るゝ鴨綠江口を溯ること 36 浬の上流右岸に位し元寶，鎭江の諸山を背後に控へ江水を隔てゝ新義州港と相對し江岸には船舶及戎克の來往殷盛を極め物資の一大市場を形成す．然るに港內は水深小にして各所に淺瀨轉在し水路中極めて狹隘なる個所あるを以て大型汽船の航行は困難にして溯江船舶は何れも船體の大小及吃水の大小に應じて下流に於ける三道浪頭，龍岩浦，大東溝又は多獅島等に錨地を求め安東本船間は解舟を以て連絡す．

江口の水路は東及西の二水道ありて一般船舶は西水道を航行す．水路は常に變動甚だしく潮速大にして航路標識も屢々變遷せらるゝを以て初航者は入江に際し一に水先人に頼らざるべからず．

安東港の水域は上界小沙河口より南西方 8 浬下流の三道浪頭の下端に至る間にして江幅 900 餘米に達し小沙河口より 4 浬下流五道溝に至る水域を內港とし五道溝口界線より三道浪頭下端に至る水域を外港とす．

安東港は延々 200 餘里日滿國境を流るる鴨綠江を錨とし延々として厭亞を一貫する大鐵道を經とし鮮滿交通の門戸を扼し水陸交通の便あるを以て南滿三港の一として開港以來東邊道に於ける商業の一大中心地をなし滿洲經濟界の發展と相俟つて水陸兩路による對日本朝鮮支那其他各地との貿易頗に活況を呈し昭和 7 年に於ける總貿易額 5,800 萬海關兩に及ぶ．

2. 水路の狀況

鴨綠江口附近の泊地，航路等の概要は次の如し．

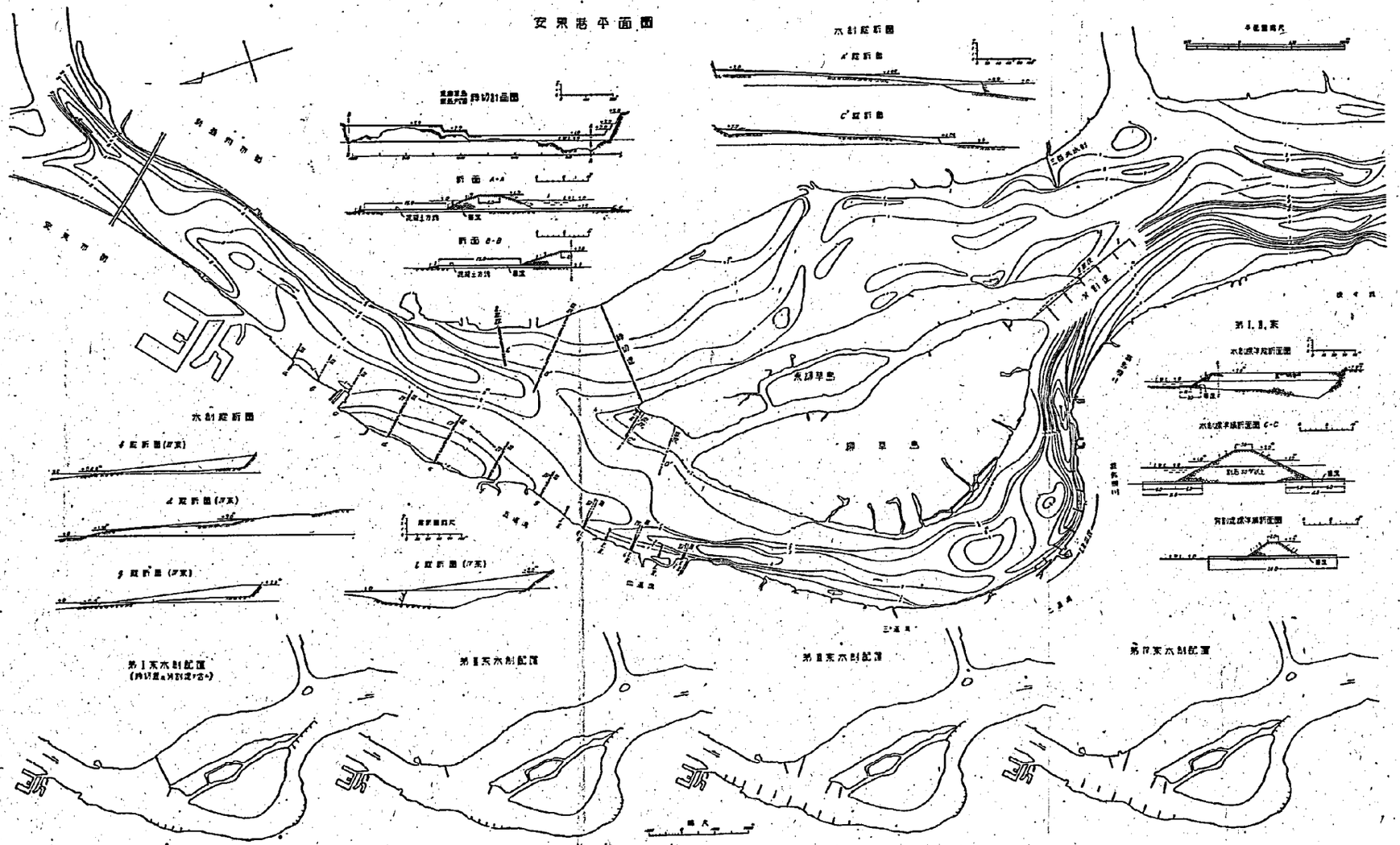
(1) 泊地 次表の通り．

(2) 航路 安東港より江口に至る鴨綠江水路は 36 浬にして江幅 900m を超へ江口の水路には東西の二

泊地名	水深	廣さ			摘要	
		船の噸數	船の長さ	隻數	錨掻の良否	底質
	ft		ft			
多獅島 (外港)	30	6,000	350	3	良	泥砂
多獅島 (內港)	23	3,500	300	1	〃	〃
大東溝	18	3,000	300	1	〃	〃
龍岩浦 (塩々城附近)	17	3,000	300	3	〃	〃
三道浪頭	14	2,000	250	4	〃	〃
鐵橋下流 (督林署前)	10	800	200	3	〃	〃

圖—2　安東港平面圖—1937 年 10 月の地形

平面圖の I, II 等は第 II 章に述べる計畫案の第 I 案, 第 II 案等の水制の配置を示したものである



水道あるも東水道の多獜島錨地以外の錨地に出入する船舶は何れも西水道を航行す.

水路は河床常に變動して淺瀨處々に點在せるを以て大型汽船の溯江は困難なれども潮時を利すれば三道浪頭迄約 2,000t 級の汽船の溯江可能なり.

西水道中には次の如き航行上の難所あり.

イ. 第四番浮標より第六番浮標に至る間最低潮時水深 7 ft

ロ. 第五番浮標附近最低潮時水深 4 ft

ハ. 斗龍浦下流附近最低潮時水深 4~5 ft

ニ. 五道溝淺瀨は最低潮時水深 2 ft, 底質礫にして水深淺く屈曲せる爲水道中最難所なり. 尙鴨綠江上流は其の本流に於て二十四道溝迄舟行可能なるも支流渾江口より安東に至る 120 浬の間往來最も頻繁なり.

3. 埠頭及荷役設備

安東港の繫船設備は日本側附屬地江岸に約 3,000 m を有し滿鐵會社が明治 40 年 70 餘萬圓を投じて同江岸に護岸工事を設置し又木材輸出の取扱に便する爲面積 25,000 坪の貯水池を設備す.

滿洲側は日本側埠頭の上流江岸に總商會の築造せる總延長約 451 m の石造護岸あり. 然れども今日殆ど腐朽し繫船岸として利用し得るもの極めて少數なり. 現在使用し得るものは稅關の繫船岸 25m 及怡隆洋行, 太古洋行の私設繫船岸各 18m なり.

安東港外港三道浪頭江岸は 2,000 t 級汽船 4 隻の繫留岸を有す. 而して一般船舶の繫離に際しては何れも自力なれども同所は水路甚だしく狹隘にして彎曲し水流亦急なるを以て操船は極めて困難にして各船は悉く水先人を使用す.

安東港內港の滿鐵附屬地埠頭及滿洲側埠頭の荷役は岸壁荷役にして三道浪頭, 龍岩浦, 大東溝錨泊船舶は何れも沖荷役なり.

4. 貿　易

安東港の貿易は明治 40 年開港以來漸次交易の範圍を擴大し安奉線の開通と鴨綠江鐵橋の竣工と相俟つて歐米諸國其他との外國貿易額益々增加し歐洲戰爭後は歐米品に代つて日本品の進出旺盛となり全輸入額の大部分を占むるに至れり.

然るに其の後支那全土を風靡せる日貨排斥の思潮と南京政府の國產奬勵產業保護を名目として日本輸出品驅逐を目的とする關稅の不當引上げの影響を受け, 加ふるに銀價の暴落に依り一時慘落の苦境に陷りたるも昭和 7 年滿洲事變を契機として滿洲國成立し, 稅關の接收により再轉して貿易活況を呈するに至れり.

輸出品の主なるものは大豆, 粟, 豆粕, 石炭, 木材, 柞蠶糸等にして輸入品は生金巾, 生細綾木綿, 晒金巾粗布, 綿糸, 綿製品, 砂糖, 木材, 麥粉等なり.

最近 5 ケ年間の貿易額を示せば (單位海關兩) 次の如し. (但昭和 7 年よりは金單位とす)

年次	輸移入	輸移出	總貿易額
昭和 4 年	49,788,605	42,572,205	92,360,810
〃 5 年	43,034,706	50,466,741	93,501,447
〃 6 年	25,748,896	45,135,642	70,884,538
〃 7 年	14,863,784	43,810,630	58,674,414
〃 8 年	61,246,298	45,695,633	106,941,931

5. 氣　　象

（1） 風　信　10 月～ 4 月の冬季は北乃至北西風多く 11 月初旬に至り結氷期の近づくや北風次第に募り荒天多し，6 月～ 8 月は一般に偏南風流行し 7 月及 8 月は雨季にして南東若くは南の暴風と共に强風の襲來することあり而して 5 月及 9 月前後は風向區々にして概ね平穩なる季節なり．8 月末より 10 月上旬迄は最好季節とす．

（2） 潮　信　安東錨地に於ける大潮升 8 ft～ 12 ft にして春秋 2 分點の頃は晝夜に依り潮汐の不等なしと雖夏季は晝潮著しく大にして夜潮少なり冬季は全く之に反す．潮時は大東溝錨地（大潮升 18 ft ～ 22 ft）と龍岩浦及び三道浪頭錨地は各 1 時間の差あり．故に大東溝に於て高潮時なる時は三道浪頭（大潮升 14 ft～15 ft）に於ては高潮時 2 時間前にして漲潮流あり．而して三道浪頭の高潮時は大東溝に於ては落潮開始 2 時間の後なり．

潮流は大潮に於て漲潮 4 時間，落潮 7 時間 30 分流續す．流速は出水時（1 時間 1ft 以上の增水を見ることあり）最强落潮流は 1 時間 8 浬位にして普通の大潮にありては最强 2 ～ 5 浬にして潮汐の影響は普通鐵橋の稍々上流迄なるも大潮時には尙上流に及ぶことあり．但出水時若くは北風烈しきときは三道浪頭迄すら潮汐を感ぜざることあり故に入江後强北風の爲出港不可能なること屢々あり．

（3） 結氷及靈，霧　港灣としての安東港の價値を減殺するは冬期 12 月初旬より 3 月中旬に至る約 4 ケ月間に亘る結氷及流氷にして凝氷層は最厚 3 尺 5 寸餘に達し又結氷及解氷期前後約 1 ケ月間は流氷甚しく其の大なるものに至りては長さ 200 間，幅 100 間に及ぶものありて右期間中は船舶の交通全く杜絕し平均約 100 餘日の間は唯橇によりて安義兩都間の交通あるのみなり．

霧は 3 月～ 8 月の間に於て屢々濃霧發生す．殊に 7 月は頻繁なり．

而して此の季節以外に於ても霧の發生を見ることあるも濃霧と稱すべき程度にあらず．

6. 從來の港灣の改修計畫

安東港は港灣としての缺點頗る多く通商貿易上の支障少なからざるを以て滿鐵及地方有志等に於て早くより江底浚渫の必要を認め明治 43～44 年の頃滿鐵は浚渫船を以て一部淺瀨の浚渫に努めたることあるも忽ち埋沒して效果を擧ぐるに至らず又不凍港多獅島に築港し京義線と連結せしむるに於ては安義兩地の交通四時を通じて可能なるが故に朝鮮總督府は昭和 2 年より 3 ケ年繼續事業として 50 萬圓を投じ基礎的施設をなし工事續行中偶々昭和製鋼所よりの代行請願問題を惹起し一時停頓の狀態となるに至れり．

然れども其後安義兩港の經濟力の伸張に伴ひ出入港船舶の激增及日滿經濟の「ブロック」の現狀に鑑みる時鴨綠江港灣の改修は安義兩市民總意の願望となり昭和 9 年 3 月新京にて開催の全滿水路會議の席上安東航政局より河川港灣の權威者を招聘して根本的調査を斷行することを提議し更に同年 6 月には滿鐵囑託岡崎博士來安し滿鐵市民其他各代表者と共に水陸兩方面に遺憾なき調査の結果

（イ） 江口より安東迄全面的改修をなすこと

（ロ） 江口より三道浪頭迄改修し，三道浪頭より安東迄運河を造ること

（ハ） 江口より三道浪頭迄改修し，三道浪頭より安東迄鐵道を敷設すること

以上の三案を得た．斯くの如く安東港將來の發展の爲に同港々灣の改修は現下必須の狀態にあり．

玆に安東航政局は鴨綠江港灣改修に卒先して五道溝淺瀨の浚渫，大東溝（薪島）下流の挂燈浮標設置を計畫し又上記三案中第三案を最も適當なる理想案として目下着々調査研究中なり．

[3] 現場に於ける調査

模型試驗を行ふにあたり蒐集した技術的資料は次の通りであつて之は既に滿洲國交通部航路司に於て整理してあつたものゝ外，新らしく依頼して集めた資料をも含む.

此處に揭げた資料の中一部は前揭港灣概況の中に述べたものと重複するものがあり，潮汐の記事は兩者に多少の相違が認められるが此處に述べるもの方が新らしく又正しいと思ふ.

平水時に於ける調査　平水時安東に於ては潮汐によつて或は順流或は逆流となる.

鐵橋上流の安東航務局に於ける潮汐は圖—3 に示す通りであつて 4 月及 8 月の出水時期以外は規則正しき昇降をなす. しかしてその潮汐は江を溯るに從ひ漲潮時間は短縮し落潮時間は仲長する. 即ち漲潮時間は斗流浦に於て 4 時間 40 分，三道浪頭に於て 4 時間 20 分，安東に於て 3 時間 25 分である. 潮汐は上流義州迄影響があ

圖—3　鴨綠江下流平水時同時水位表　　1937 年 11 月 19 日及 20 日

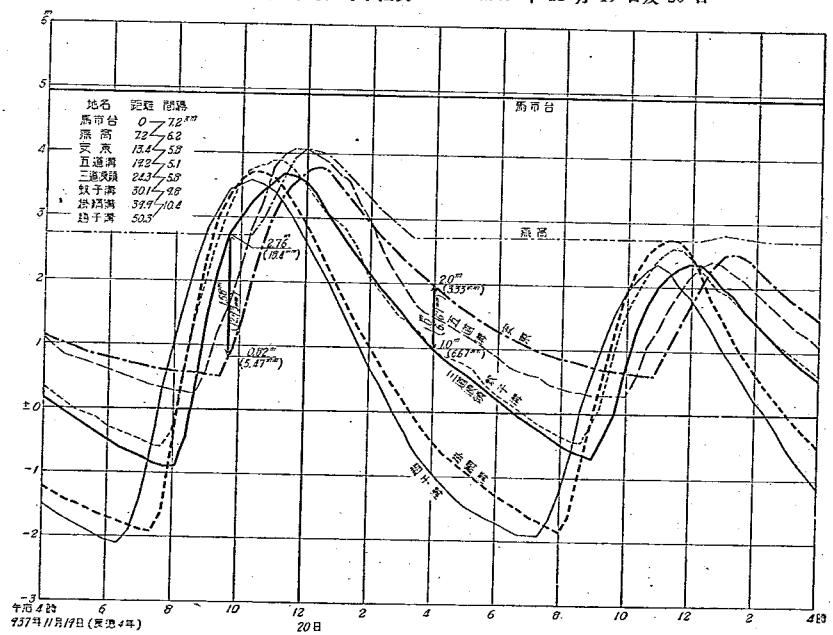


表 — 1

	大潮升	小潮升	平均水面	平均高潮間隔
多獐島	6.4 m	5.0 m	3.5 m	9 時間 3 分
薪島	6.4	4.9	3.5	9 〃 4 〃
斗流浦	4.7	3.9	2.6	9 〃 20 〃

る．河口附近の潮汐常數は海軍の水路部潮汐表によれば表—1 の通りである．

1937 年中の安東航務局の水面は表—2 の如き變化をしてゐる．

表 — 2

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
月平均潮位	1.76	1.43	1.50	2.67	1.94	1.78	2.05	3.62	2.11	1.48	1.32	1.69
〃 高潮位	2.15	1.91	1.58	3.54	3.27	3.25	3.41	—	3.36	3.07	2.83	2.34
〃 低潮位	1.38	1.00	0.92	2.31	1.26	0.87	1.16	—	1.45	0.76	0.61	1.32
月最高潮位	3.00	2.60	3.61	5.77	4.65	4.60	4.58	6.74	4.34	4.19	4.54	3.29
月最低潮位	1.05	0.75	0.74	0.90	0.98	0.72	0.73	0.81	0.87	0.56	0.46	0.50

（上記の潮位の基準面は滿洲國航務局 B. M. 士 0 よりの高さ卽ち略々同地に於ける平均干潮面である．尙此附近では 11 月下旬から翌年 3 月迄は結氷する．）

1937 年（康德 4 年）11 月 8 日（月齡 5）～17 日（月齡 14）の間に於て平水時の漲潮時及落潮時の流速を安東航務局に於て測定した結果及測量當時の潮位の關係を圖—4 に示した．圖—4 の右下に示したものは斷面 No. 1（鐵橋下流）に於ける落潮時の測定流速から流量を計算した結果であつて約 376 m^3/sec (13,498 個) となつてゐる．

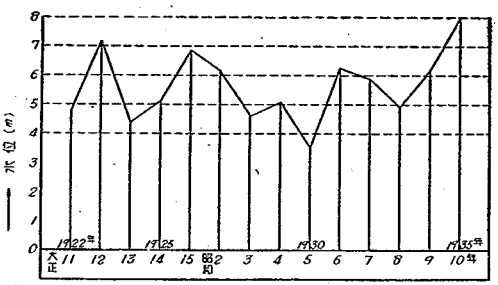
圖—3 に示したものは上記の測量に引つゞき 11 月 19 日及 20 日の兩日各地の同時水位を觀測した結果である．

模型試驗の平水時の試驗では主として三道浪頭及安東の水位を基準とし矢にて示した水位差を換算して夫々落潮時及漲潮時の試驗を行つた．

洪水時に於ける調査

新義州北下洞營林署貯木場に於ける觀測によれば大正 11 年以降昭和 10 年迄の間に於ける年最高水位は圖—5 に示す通りであつて，昭和 10 年の洪水 7.90m に昇り平水の最高潮位に比し約 6 m 高く，最近の中では最も高い．

圖—5　1922年（大正 11 年）以降年最高水位
（新義州營林署貯木場調査；水位基準面明らかならず）



然しその時の觀測資料は不十分であつた．依つて模型試驗の資料としては昭和 12 年（康德 4 年，1937 年）の洪水の結果を用ひる事とした．

この時の安東，五道溝及三道浪頭の各地に於ける水位曲線は圖—6 に示す通りである．

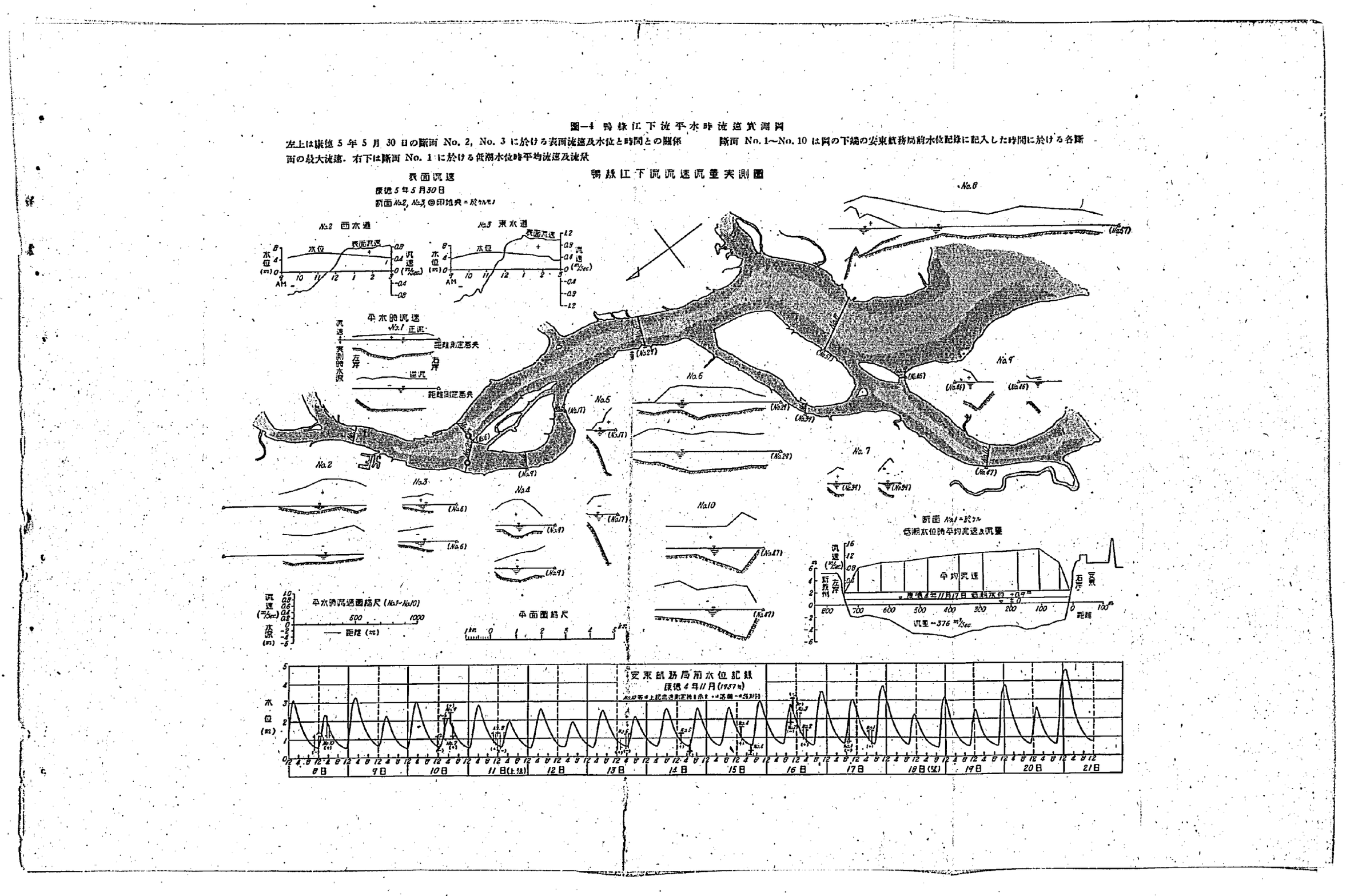
この中の最大の水面勾配を示す場合を採り之を洪水時の狀態として模型試驗を行ふ事とした．之は圖に於て 8 月 5 日午前 5 時 30 分の場合に相當する．

洪水時の狀態としてはこの外に圖の 7 日午前 11 時 30 分の如き水位が最高になる點を選び之に就ても水位と流量との關係を見た．

8 月 4 日の午後 2 時 40 分～ 6 時 20 分の間に現場に於て實測した流速は圖—7 に示す通りであり，此等

圖—4 鴨綠江下流平水時流速實測圖

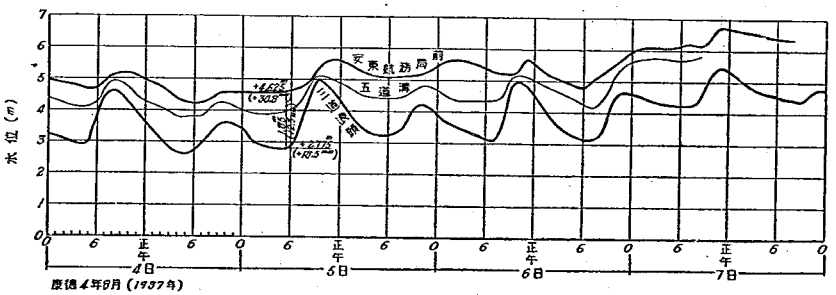
左上は康德 5 年 5 月 30 日の斷面 No. 2, No. 3 に於ける表面流速及水位と時間との關係　　斷面 No. 1～No. 10 は圖の下端の安東航務局前水位記錄に記入した時間に於ける各斷面の最大流速．右下は斷面 No. 1 に於ける低潮水位時平均流速及流量



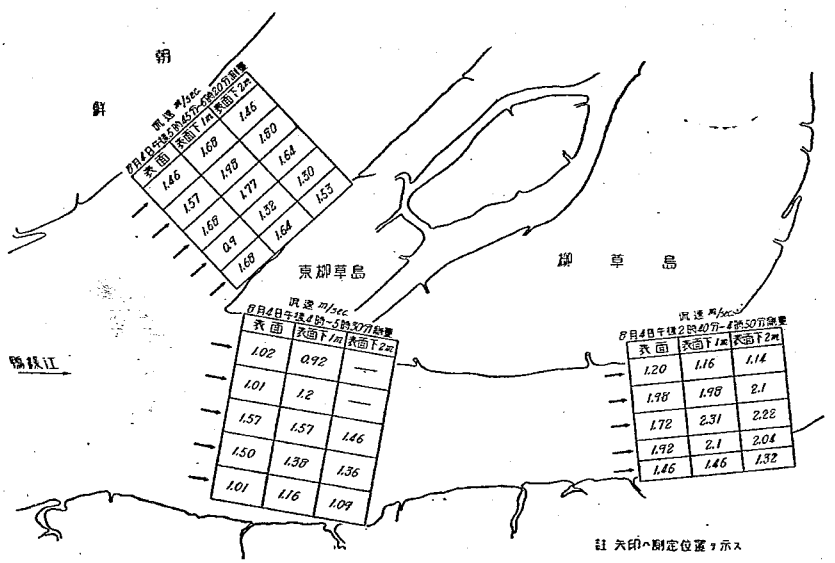
を綜合した結果を表—3 に示した.

之によつて洪水時の兩分流の流量比其他を知る事が出來る.

圖—6 1937 年（康德 4 年）8 月 4～7 日洪水水位



圖—7 1937 年（康德 4 年）8 月洪水時流速實測



表—3 鴨綠江流量

水位（安東航務局前）	1. 六道溝—新義州			2. 五道溝—東柳草島			
	斷面積	平均流速	流量	斷面積	平均流速	流量	1に對する百分率
m	m²	m/sec	m³/sec	m²	m/sec	m³/sec	%
4.85	5,669	2.46	13,963	5,339	1.33	7,106	51
4.00	4,923	2.09	10,286	4,921	1.08	5,335	52
3.77	4,721	1.95	9,400	4,646	1.05	4,888	52
3.30	4,308	1.76	7,586	4,087	.96	3,975	53
3.00	4,045	1.59	6,429	3,729	.91	3,392	53
2.00	3,176	1.01	3,214	2,587	.65	1,695	52
1.00	2,312	.35	803	1,600	.26	421	52
0	1,552	.07	101	737	.12	890	35

3. 東柳草島—新義州				4. 三道溝—柳草島			
斷面積	平均流速	流量	1に對する百分率	斷面積	平均流速	流量	1に對する百分率
m²	m/sec	m³/sec	%	m²	m/sec	m³/sec	%
3,941	1.59	6,250	45	4,012	2.10	8,434	60
3,632	1.31	4,740	46	3,698	1.81	6,680	65
3,399	1.28	4,364	46	3,542	1.73	6,120	65
2,917	1.22	3,552	47	3,227	1.71	5,531	73
2,610	1.16	3,027	44	3,021	1.58	4,777	74
1,652	.93	1,527	48	2,362	.93	2,197	68
868	.43	377	47	1,717	.32	548	68
315	.25	80	32	1,124	.06	69	69

水質，地質其他

平水時に於ては鴨綠江河口より安東に到るに從つて河水中に含まれる鹽分及固形物の量は何れも著しく減少する．卽ち 1937 年 11 月 20 日午後 9 時 50 分～ 21 日午前 0 時 20 分の滿潮時に採水測定した結果によれば次の通りである．

表 — 4

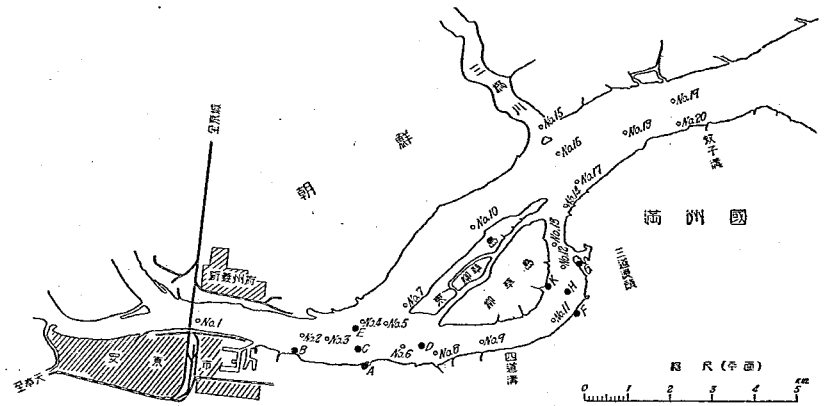
	含鹽分量（1 リットル中の瓦數）	鹽分を除く固形物（1 リットル中の瓦數）
趙子溝	10.15	12.35
龍岩浦	5.72	8.07
蚊子溝	4.19	6.95
三道浪頭	1.69	3.78
五道溝	0.41	1.20
安東鐵橋上流　安東航務局前	0.043	1.21
同　干潮時（22 日午前 11 時）	0.014	0.13

平水時の流速の大なる時及洪水時に於ける浮游物含有量は上記より著しく大であると思ふが從來測定された結果がないから明らかでない．

此の附近の地質は一般に粘土が多く細砂を交へたる處及砂利の場所もある.

分流附近各點にて採取した土砂の篩分試驗結果は表—5 の通りである. 試料採取箇所は圖—8 に○印を以て示した. 尙安東航務局に於て施行した地質調査の結果の主なるものを圖—8 に揭げた. この調査箇所は●を以て示した.

圖—8 地　質　調　査　圖



II. 試驗設備及試驗事項

模型試驗には內務省土木試驗所赤羽分所內屋內 4 m 工法試驗槽を使用した爲, 平面に於ける模型の縮尺は之によつて制限された.

現場に於て作成された平面圖 1/10,000 の 6 倍の大きさが適當であつたから平面縮尺は 1/1,667 とした. 之に對し鉛直の縮尺は 1/150 と定め, 1937 年 10 月の測量圖に依り平面の型板を作り, 又同じ圖面に記入の深淺測量の河底の凹凸に合はせて斷面約 60 個の型板を作り之によつて模型を製作した.

試驗槽底面上 40 cm に床板張りをなし之に圖—9 に示す範圍卽ち安東鐵橋附近より下流, 河川延長約 17.5 km

表—5 合流點附近土砂篩分試驗表

粗粒率

孔及目の大さ (mm) 通過	止り	試料採取箇所 No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
80	60					11.95			7.87	5.44	
60	50					5.79			—	10.25	
50	40					14.87			3.90	15.47	
40	30					26.36			13.47	6.61	
30	25					12.43			13.16	3.89	
25	20					11.15			14.80	7.95	
20	15					12.20			13.14	8.55	
15	10					4.72			5.07	4.47	
10	7					0.48			3.23	4.89	
7	5					0.02			2.13	6.43	
5	2.5					0.02	0.27	0.06	2.79	6.74	0.73
2.5	1.2	1.41		0.23	0.07		0.07	0 29	4.08	7.41	0.22
1.2	0.6	1.32	0.23	6.47	0.43		1.36	0.88	5.13	4.04	3.74
0.6	0.3	5.74	7.38	48.90	13.30		71.18	19.64	9.82	4.51	62.42
0.3	0.15	7.41	21.06	5.33	57.87		16.47	52.60	1.30	1.30	26.89
0.15	0.075	18.98	24.98	11.20	19.55		5.69	20.81	0.09	1.27	4.32
0.075		65.14	46.35	27.87	8.77		4.95	5.73	0.03	0.79	1.68
合	計	100.00	100.00	100.00	99.99	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00

通過	止り	No. 11	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5	2.5		0.10					0.13				
2.5	1.2	0.06	1.29	0.14	0.04		0.06	0.13	0.08	0.05	0.06	0.04
1.2	0.6	0.54	2.19	2.39	0.14	1.33	0.32	1.13	0.76	0.83	0.39	0.07
0.6	0.3	23.74	13.23	24.24	1.21	3.79	33.03	42.41	47.21	61.41	25.66	40.76
0.3	0.15	59.80	7.66	15.75	2.15	4.30	58.34	34.66	10.01	34.29	62.38	54.28
0.15	0.075	11.48	13.98	17.17	18.47	26.53	7.28	17.20	11.00	2.64	9.26	4.22
0.075		4.39	61.59	40.31	77.98	64.04	0,97	4.35	30.94	0.76	2.25	0.63
合	計	100.01	99.99	100.00	99.99	99.99	100.00	100.01	100.00	99.99	100.00	100.00

の範圍即ち三橋川合流點より更に 7.0 km 下流までの部分の地形を收めた.

模型はすべて配合セメント 1, 砂 2, 鋸屑 3 のモルタルを以て作りその上を厚約 2 mm のセメント 1, 荒川砂 3 (平均粒徑約 0.25 mm) 黒色着色顏混入のモルタルにて仕上げをなした.

模型各部の水位關係を測定する爲圖—9 に 1 ～ 12 の番號で示した 12 ケ所の模型の底に內徑 6 mm の銅管を埋込み之にゴム管を接續しゴム管の他端は硝子製水位管に導いた. ベンゾール液にて水位差を約 8 倍に擴大して相互水位を觀測した.

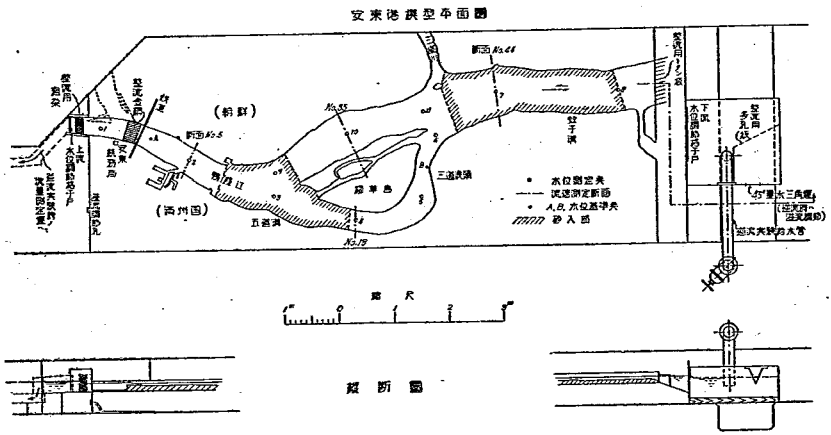
設驗方法及試驗の種類

試驗は第 I 章の初めに述べた通り洪水時及平水時の落潮及漲潮の 3 種に就て行つたのであるがその水位觀測

は圖の A 及 B 點即ち鐵橋下流及三道浪頭の水位を圖—3 及 6 の水位に一致せしめ流れが定まつた後その流量を下流三角堰にて測定した．又圖—9 に示した斷面 No. 5；18；35；44 の 4 ケ所に於て流速をピトー管にて測定した．即ち間隔 10 cm 毎に各箇所毎に 3～5 點宛底より深さ 1 cm 毎に異なる深さに於て測定した．外に

圖—9 模　型　平　面　圖

模型縮尺平面 1/1,667；鉛直 1/150（ハッチを施した部分の河底は後に砂で置換へて試驗を行つた）



表面流速を見る爲に水の表面に浮子を流し ½ 秒或は 1 秒の露出を與へて寫眞を撮影して流向を見た．

順流の場合は上流端格子戸直下流に姬粗朶の整流裝置を設けたが，逆流の場合は圖—9 に示す如き整流裝置を亞鉛引鐵板を間隔 9cm 毎に 10 枚設けた．尙一部（圖のハツチにて示す部）固定底を改造し砂と置き換へて砂の動きを觀測した．

圖—10 模型寫眞下流より上流を望む

試驗の種類は（以下圖—2 參照）

1. 現在の狀態　即ち 1937 年 10 月の地形の儘
2. 設計第 I 案　即ち滿洲國立案の計畫を 1 に加工した場合，即ち朝鮮側分流を締切，滿洲側岸の五道溝及三道浪頭に小水制を設け東柳草島の下端に脊割堤を設けた場合．
3. 設計第 II 案　第 I 案の中朝鮮側分流締切を廢し之に代ゆるに分流點附近左岸新義州側に水制を設け，且つ脊割堤を短くした場合．
4. 設計第 III 案　合流點附近の脊割堤は第 II 案の儘とし分流點左岸の水制を第 II 案よりも多くし右岸の水制を長くすると共に東柳草島側にも水制を設けた場合．
5. 設計第 IV 案　大體は第 III 案の儘としその水制に多少の修正を施した場合．
6. 航路の浚渫を行つた狀態　分流點附近より稍下流即ち五道溝地先右分流を水深 4 m（模型では −2.67

cm) に浚渫を行つた狀態（圖—20 參照）浚渫部分は幅 100 m (模型では 6 cm) その兩脇は模型に於て水平に對し 30° の傾きをなす勾配を以て自然の河底に接續する.

a 現狀の儘で浚渫を行つた狀態； b 第 II 案の水制を設けた狀態； c 第 IV 案の水制を設けた狀態

7. 河底の一部（圖—9 のハツチした部分）を砂にした狀態

a 現狀の儘の狀態； b 第 II 案の水制を設けた狀態； c 第 IV 案の水制を設けた狀態

の 7 種類の模型に於て夫々洪水時，平水時順流及逆流の 3 つの場合に就て試驗を行つた.

上記にて明らかであるが如く大部分の試驗は固定の底を有する模型であるが最後の底の一部を改造し砂を以て作り河底の動きを見る爲の試驗は 2 種に分ちて上流部と下流部とは別々に砂で置換へて試驗した. 卽ち上流部の試驗の場合には下流部は固定の底を有する儘にて下流部の場合には上流部を固めて行つた. この川底を砂にした試驗だけは流速分布の測定は行はず專ら河底の移動を觀測した.

上記各試驗の洪水時及平水時順流及逆流は夫々圖—3 及 6 に示す如く

1. 洪水時は 1937 年 8 月の洪水時の中，安東航務局前と三道浪頭との水位差が大なる 8 月 5 日午前 5 時 30 分の狀態を採つた.

之によれば安東航務局前は基準面上 4.625 m, 三道浪頭は 2.775 m, 水位差は 1.85 m である. 卽ちこの間の距離は約 10.9 km であつて一樣な水面勾配と假定すれば約 1/6,000 となる. 此の狀態が一定時間繼續するものとして試驗を行つた.

模型には安東航務局迄を收める事が出來なかつたから模型の斷面 2 を標準とした爲，之と三道浪頭との水位差は上記より稍々小となり水位差は 1.12 cm となつた. 卽ち實際の 1.68 m に相當する. 上記の外 1937 年 8 月 7 日の水位が最高の狀態卽ち安東航務局 +6.4 m, 三道浪頭 +4.5 m, 水位差 1.9 m の場合及三道浪頭の水位が +6.0 m 水位差 1.9 m の場合に就て水位と流量との關係を見た.

2. 平水時順流は 1937 年 11 月 19 日（月齡 16）及 20, 21 日の潮位記錄により平水時の大潮退潮最盛時を採る事とし圖—3 の矢印で示した時に相當した値を採る. 卽ち安東 +2.0 m, 三道浪頭 +1.0 m, 水位差 1 m（模型では 6.67 mm）である.

3. 平水時逆流 上記と同日の漲潮時の値より三道浪頭 +2.76 m, 安東 +0.82 m, 水位差 1.58 m（模型では 1.052 mm）を標準に採つた.

III. 試 驗 結 果

試驗の結果は

1. 洪水時 2. 平水順流時 3. 平水逆流時の 3 種に區別して表—6 に示した.

又同一狀況に於ける同一流量の水位差が溫度等の影響の爲異る事があつて實驗相互の間に矛盾する結果が多少認められる. 之は模型の縮尺が餘りに小である事も主なる原因の一であると思ふ.

各斷面の平均流量從つて平均流速は流速分布の測點の數が十分に多くなかつた爲に正確な數字が得られず 10 %程度の誤差があり得る樣である.

此の場合の斷面 5, 18, 35 及 44 に於ける流速分布の狀態は本文の終りの圖—21 ～ 32 に示した.

又この代表的な場合の水面の縱斷曲線は圖—11 に示し，更に各場合の表面の流向を本文終りに掲げた寫眞—2～4 に示した．

[1] 洪　水　時

II 章に述べた處に依り水位差 1.85 m，三道浪頭の水位 +2.775 m を換算して之に近似的に現狀の模型に於て流した結果水位差 11.2 mm に於て流量 7.9 l/sec を得た．依つて模型の場合 7.9 l/sec を洪水量とし各種の改造案に就てこの流量を基準として採る事にした．

その結果は表—6 に示す如く

現　狀	第 I 案	第 II 案	第 III 案
11.2mm	9.5	11.7	15.5

即ち第 III 案の狀態で最も流れ難くなり第 II 案，第 I 案の順となる．現狀よりも第 I 案が流れ易い結果が出てゐるのは實驗の不注意から出た結果である．即ち下流部三道浪頭の水位測點が洪水時の特に背割堤を取付けた場合には水面勾配が此の附近で局部的に大になる爲である．即ち第 I 案以下第 IV 案までは更に下流部に水位觀測點を設くれば相當大なる水位差になるべきものでその値を以て現狀と比較すべきであつたのであるが此の試驗では之を行はなかつた爲上記の誤差を生じた．

表—6 安東模型試驗結果一覽表

A. 洪　水　時

試驗番號	狀態	水位差 mm	流量 l/sec	各斷面流量 l/sec				各斷面平均流速 cm/sec				備考
				(5)	(18)	(35)	(44)	(5)	(18)	(35)	(44)	
A— 3	現狀	11.2	7.9	8.67	4.64 (0.55	3.85 0.45)	8.60	42.4	43.06	20.71	26.66	三道浪頭の水位は + 1.85 cm である ( ) 內の數字は分流の割合
A— 8	第 I 案 (滿洲國案)	9.5 ※8.2	(終7.9) ※7.55	8.21	※4.94 ※(0.60	※3.34 ※0.40)	8.52	37.73	※38.91	※18.53	26.18	同　上 ※印は試驗をやり直した時の値
A—11	第 II 案 (滿洲國案の中東分流の締切を撤去し背割堤を改めた案)	11.7	7.9	8.40	4.69 (0.58	3.35 0.42)	7.67	39.05	35.73	18.54	25.17	同　上
A—16	第 III 案 (西分流の低水路を水制によつて著しく狹くした案)	15.5	7.9	8.76	4.80 (0.55	3.93 0.45)	8.46	37.8	46.6	19.97	31.2	同　上
A—18	第 IV 案 (第III案に稍々修正を施した案)	13.3	7.9									同　上

A. 洪 水 時 (つゞき)

試驗番號	狀態	水位差 mm	流量 1/sec	備考
A—34	第 II 案 航路浚渫	13.3	7.9	分流點附近河底を砂にする爲一時改造後に更に固定底を作つた爲流量と水位との關係が上のものと十分一致しない結果が出た
A—32	第 IV 案 航路浚渫	15.5	7.9	同 上
A—36	現 狀	11.5	12.0	三道浪頭の水位を +3.0 cm に合はせた場合
A—37	現 狀	11.5	19.4	三道浪頭の水位を +4.0 cm に合はせた場合
A—18′	現 狀		7.9	
A—20	第 I 案		7.9	上流分流點附近河底に砂を用ひた場合
A—19	第 IV 案		7.9	同 上
A—27	現 狀	11.2	7.9	下流合流點附近河底に砂を用ひた場合上流分流點附近河底は固定
A—28	第 I 案		7.9	同 上
A—29	第 IV 案		7.9	同 上
A—30	第 IV 案		7.9	同 上 三橋川合流點上流左岸に水制を設けたもの

B. 平 水 時 順 流

試驗番號	狀態	水位差 mm	流量 1/sec	各斷面流量 1/sec (5)	(18)	(35)	(44)	各斷面平均流速 cm/sec (5)	(18)	(35)	(44)	備考
A— 5	現 狀	6.1 [6.1	1.78 1.66]	2.07	1.36 (0.67	0.68 0.33)	1.96	17.11	21.9	12.6	10.5	三道浪頭水位 +0.66 cm
A— 9	第 I 案	[9.5	1.93 1.66]	2.11	1.75 (0.94	0.11 0.06)	2.35	15.34	28.23	4.20	11.72	[ ]内の數字は別に水位差と流量との關係のみを觀測したもの
A—10	第 II 案	[7.0	2.07 1.66]	2.26	1.34 (0.68	0.62 0.32)	2.08	17.1	22.5	18.4	11.6	
A—17	第 III 案	10.3 [8.0	2.07 1.66]	2.31	1.48 (0.63	0.87 0.37)	2.15	16.3	26.0	15.0	12.1	
A—35	現 狀	6.5	1.66		1.32 (0.69	0.60 0.31)			23.4	10.8		
A—33	第 II 案	6.6	1.66		1.31 (0.73	0.49 0.27)			23.9	10.1		
A—31	第 IV 案	7.4	1.66		1.17 (0.68	0.54 0.32)			21.0	10.3		
A—21	現 狀		2.07									上流分流點附近河底に砂を用ひた場合
A—23	第 I 案		2.07									同 上
A—22	第 IV 案		2.07									同 上

C. 平　水　時　逆　流

試驗番號	狀態	水位差 mm	流量 1/sec	各斷面流量 1/sec (5)	(18)	(35)	(44)	各斷面平均流速 cm/sec (5)	(18)	(35)	(44)	備考
A—7	現狀	11.7	3.12	2.71	2.12 (0.62	1.32 0.38)	3.27	30.0	22.9	12.3	10.8	三道浪頭水位 +1.84 cm
A—6	第 I 案	11.7 [14.0	2.65 3.12]	2.54	2.20 (0.74	0.76 0.26)	2.62	26.1	24.7	6.2	8.5	同上
A—14	第 II 案	12.6	3.12	3.21	2.05 (0.58	1.51 0.42)	3.22	35.9	20.6	11.4	10.5	同上
A—15	第 III 案	16.0	3.12	3.35	1.69 (0.48	1.83 0.52)	3.32	39.0	15.5	12.7	9.9	同上
A—38	現狀	11.7	3.12		1.70 (0.56	1.33 0.44)			18.0	9.9		五道溝地先淺澪の狀態
A—39	第 II 案	12.6	3.12		2.00 (0.56	1.58 0.44)			21.0	12.2		同上
A—40	第 IV 案	13.8	3.12		1.70 (0.53	1.50 0.47)			17.5	11.1		同上
A—25	現狀	17.9	3.12									上流分流點附近河底に砂を用ひた場合
A—24	第 I 案	20.1	3.12									同上
A—26	第 IV 案	20.6	3.12									同上

依つて洪水時の現狀のみは他と比較する場合この見方でしなければならぬと思ふ.

西分流の流量の割合は第 I 案及第 II 案が最大である.

1937 年 8 月の洪水曲線によれば前記よりも更に高い水位になる場合がある事が明らかであるから水位差は略々同一にして全體の水位が高い場合に就て流量が如何に變化するかを見た結果 A—36 及 37 であつて之によつて水位と流量との關係を求めた結果は圖—12 に示す通りであり尙之を實際に概略換算したものを同時に圖に示した. 實際と模型との相似律關係は次の平水時順流の項に述べる.

[2] 平水時順流の場合

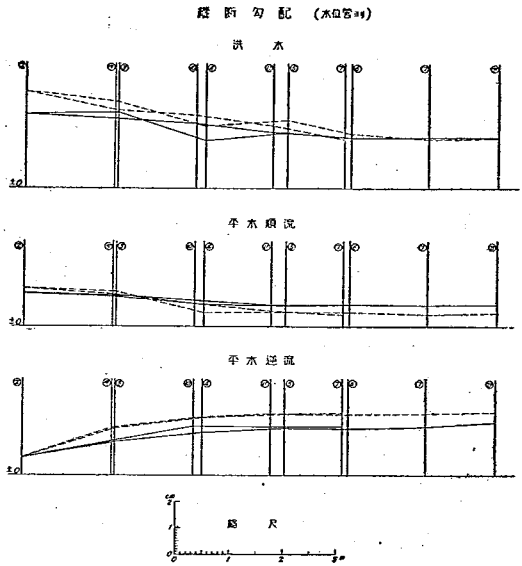
圖—3 に於て水位差 1.0 m は模型に換算して近似的に 6.1 mm とした場合現狀の模型に於て流量は 1.66 1/sec となつた.

依つて他の模型の場合にもこの流量を一定にし, しかも三道浪頭地先の水面の高さを一定にして水位差が如何に變化するかを見た結果は表—6 B に示す通りであつて

現狀	第 I 案	第 II 案	第 III 案
6.1 mm	9.5	7.0	8.0

となつた. この場合は三道浪頭附近に於ける局部的に急な水面勾配はなく洪水の時に述べた如き現狀と第 I 案以下との水位差の比較に關する不合理の現象は認められなかつた. 上の結果により第 I 案に於ては最も流れ難い狀態となつてゐる.

圖—11　模型內水面の縱斷勾配
②等は同番號の水位管の位置を示す



現狀と第 I 案とを比較するに流量を同一にした場合に水位差は $h=6.1$ mm が 9.5 mm となつてゐる．逆に水位差を同一にした場合の流量は水深が略々一定ならば近似的に水位差の平方根に比例すると考へてよいと思ふ．

之によつて第 I 案に就いて算定すると $h=6.1$ mmの場合近似的に

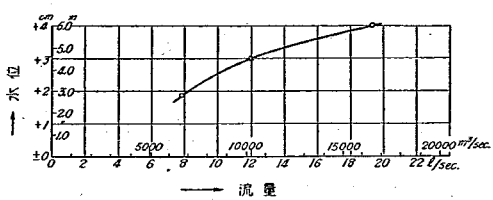
$$Q=1.66\sqrt{\frac{6.1}{9.5}}=1.33 \text{ l/sec}$$

西分流への流量 $Q'=1.33\times 0.94=1.25$ l/sec となる．

第 I 案では入潮量が現狀よりも少なくなり平水順流の水位差 h も從つて小となり實際の流量は上記算定値よりも尙小となる．

結局東分流の締切によつて西分流の流量を平水時に大にしやうといふ目的は十分には達成されない．同樣の計算を第 II 及 III 案に試みた結果は

圖—12　模型に於ける洪水水位と流量との關係
水位は三道浪頭に於けるもの（水位基準高は航務局前の水準點による）
外側の目盛は模型に於ける値
內側は實物に換算した値



圖—13　平水順流時の汀線

第 II 案　$Q=1.66\sqrt{\frac{6.1}{7.0}}=1.55$ l/sec, $Q'=1.55\times 0.7=1.09$ l/sec

第 III 案　$Q=1.66\sqrt{\frac{6.1}{8.1}}=1.45$ l/sec, $Q'=1.45\times 0.61=0.89$ l/sec

現狀では　$Q=1.78$ l/sec　　$Q'=1.78\times 0.67=1.19$ l/sec

上記を綜合するに順流平水の場合には各案共に西分流の流量は著しく大ならしめる事は出來ないが第 I 案と

第Ⅱ案が西分流量が割合に大である.

順流平水の場合には水位は上記試驗の如く一定ではなく大潮時に於て三道浪頭では +3.7～−0.5 m の範圍に變化するに拘らず上記では之を +1.0 m として行つたのである. 一般に水位が大になれば東分流に入る量の割合が多くなり, 水位が小になれば少くなる. 從つて第 II 及 III 案の水制の影響は水位が小になれば有效に働き西分流への量の割合が多くなる.

平水退潮の最大の流速は水位が割合に低い時に生じ圖−4 により約 0.9 m/sec であるから河底の堆積した土砂を掃流し此の場合第 II 及 III 案の水制は有效に働き水深維持にはよい影響を與へる.

流速の實際と模型との相似關係は Manning 式によれば[1]

$$\frac{V}{v}=\frac{\frac{1}{N}R^{\frac{2}{3}}I^{\frac{1}{2}}}{\frac{1}{n}r^{\frac{2}{3}}i^{\frac{1}{2}}}=3.48$$

$$\frac{Q}{q}=\frac{AV}{av}=866{,}000$$

上式に於いて

Q 及 q	實際及模型の流量	
V 及 v	〃	流速
R 及 r	〃	徑深
I 及 i	〃	水面勾配
N 及 n	〃	Kutter の粗度係數

玆には $N=0.030$ $n=0.012$ にとる

模型の流速を實際に換算する場合略々上記によつて差支ない事は圖−4 の實測結果をこの試驗結果と比較する事に依つて確められる.

卽ち現狀では斷面 18 の平均流速が 21.9 cm/sec であり上記の相似律に依り實際に換算すれば $21.9\times3.48=76.1$ cm/sec となる. 實測の値は圖−4 の斷面 No. 4 の最大が約 90 cm/sec であり平均は 60 cm/sec 程度と考へられる. しかし之は小潮の時の實測であるから大潮の場合には之より尙大であると思ふ.

[3] 平水時逆流の場合

圖−3 に於て水位差 1.58 m は換算して 12.93 mm となる. 近似的に現狀では之を 11.7 mm とした場合に流量 3.12 l/sec を得た. 依つて之と同じ流量を出す爲の各案の水位差を見た. 卽ち

現 狀	第 I 案	第 II 案	第 III 案
11.7	14.0	12.6	16.0 mm

で順流の場合と略々同じ關係が得られた.

特に著しい事は東分流 (斷面 No. 35) の流量の割合が大になつてゐる事であり特に第 II 及 III 案に於て之が著しい. その原因は西分流に設けた水制及背割堤が同分流への流れを妨げる爲と思ふ.

第 I 案で東分流の締切堤があるに拘らず流量が相當にあるのは逆流の時の水位が順流に比し稍々高く堤を溢流するものがある爲である.

---

1) この相似律を採用した事に就ては土木試驗所報告 43 號 "神崎川分流に關する模型試驗" 39 頁參照

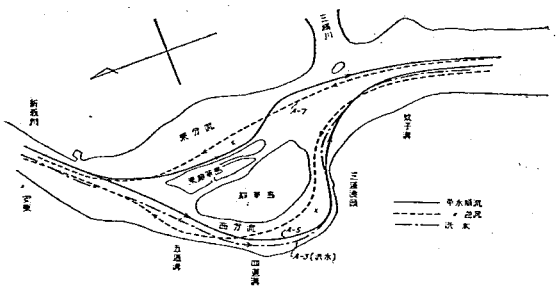
第Ⅰ案は第Ⅱ案に比し同一流量に對する水位差は大となつて漲潮が入り難くなる事を明に示してゐる．

西分流斷面の流量は水位差が同じ場合に換算すれば第Ⅰ案が最大となり現狀，第Ⅱ案，第Ⅲ案と順次小となる．即ち水位差 11.7 mm の場合に西分流の流量は第Ⅰ案 1.96 l/sec，現狀 1.94 l/sec，第Ⅱ案 1.74 l/sec，第Ⅲ案 1.30 l/sec となる．

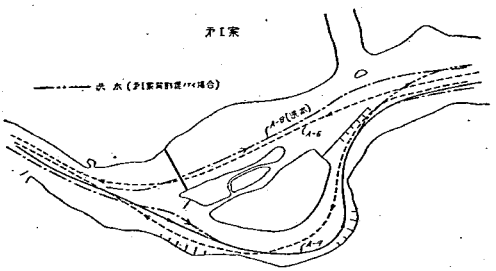
[4] 流路に就て

本報告の終りに揭げた流向寫眞に出てゐるのは表面の流向であつて必ずしも水面以下の流向とは同一ではないが特別の場合以外は略々水面以下のものを代表すると考へて差支ないと思ふ．

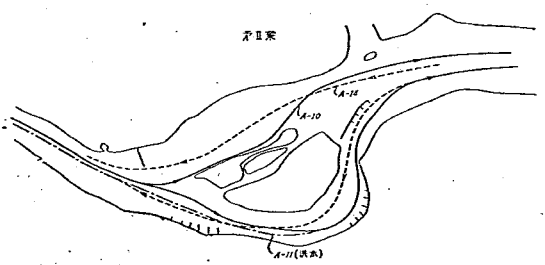
圖—14　模型に於ける現狀流向圖
流向寫眞より流れの中心を求めたもの



圖—15　模型に於ける第Ⅰ案流向圖



圖—16　模型に於ける第Ⅱ案流向圖



a. 現狀　圖—14に示す如く順流の場合は平水と洪水と左程著しい流路の差はないが逆流とは著しく異る．特に西分流の三道浪頭地先に於ては明に流路が異り，この兩流路に挾まれる × を附した附近には相當土砂が沈澱する事が考へられる．同樣の事が五道溝地先及東分流に於ても認められ × の地點に沈澱が生ずる處が十分にある．

b. 第Ⅰ案　三道浪頭地先に於て順流と逆流と分れる事は「現狀」と變りないが五道溝地先の狀態は水制の爲に多少改良されて漲潮と落潮とは此の地點では接近した路を通る．

背割堤のみの影響を見る爲洪水時に之を取除いて試驗した結果は圖—15 に示した通りであつて相當に著しく異つた．三橋川合流點下流の左岸を保護する爲にはこの案では背割堤は極めて必要である．第 I 案の背割堤と第 II 案の夫と比較した處（寫眞 2b 及 2c 參照）第 II 案の如く短くしても十分有效である事が認められた．

c. 第 II 案　第 I 案と略々同じ效果がある事が圖—16 によつて明に知られる．

d. 第 III 案　漲潮と落潮との水路を一定にする目的のみからはこの案が最も有效である．

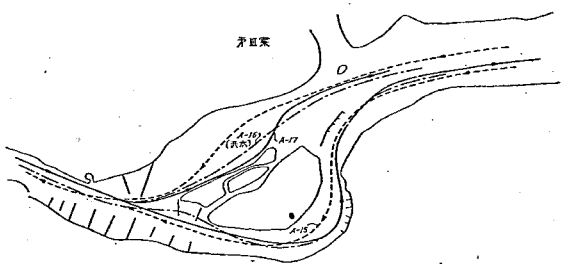
三道浪頭地先の兩水路は上記各案より接近して五道薄地先の落漲潮の兩水路も水深維持には好ましい狀態となる．

東分流に於ける兩水路は一致しないがこの分流を航行する船は殆んどないから之の水深維持は餘り問題にならぬ．

e. 第 IV 案　第 III 案の水制の一部を撤去したのであるが流路には殆んど影響を與へてゐない．第 IV 案は III 案よりも同一流量に對する水位差が少であるから水制の總延長が小であつてしかも III 案より效果的である．

f. 航路浚渫　五道薄地先の水路を浚渫した結果此の附近の流れは良くなるが他の場所に及ぼす影響は殆んどない．

圖—17　模型に於ける第 III 案流向圖



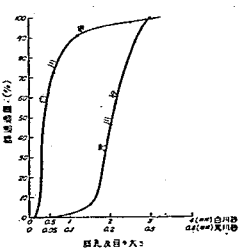
g. 水路に砂を用ひた場合

i　上流部河底を砂にした場合

模型の平面圖に示した部分の中先づ上流の東西の兩分流の分流點附近を砂に置換へて試驗した結果は表—6 及寫眞—5 ～ 7 に示した通りである．

模型に於て −5.0 cm 以上を砂に置換へて河底の地形を現狀に合はせた．この狀態にて上記の各試驗と同樣に平水の順及逆流，洪水に就て試驗する．流し初めてから 1 時間及 2 時間目に流向寫眞及河底の等深線を採つた處著しくは變らない．卽ち 1 時間の間に殆んど一定の狀態に達する．依つて後には 1 時間だけにした．

圖—18　河底使用砂粒度曲線



砂は各試驗の流速に依つて異つたものを使用した．卽ち平水順流に相當したものでは約 20 cm/sec の流速で動く砂を標準として豫備試驗によつて之には荒川砂の 0.3 mm 以下のものを選び洪水時には熊本縣白川の砂を選んだ．此等の粒度は圖—18 に示した通りである．

砂は次第に下流に流し出されるから實驗中は常に 10 分間おきに砂を河底の上流端に 700 cc 宛供給した．

現狀，平水順流　河底及流向何れも著しい變化はない．

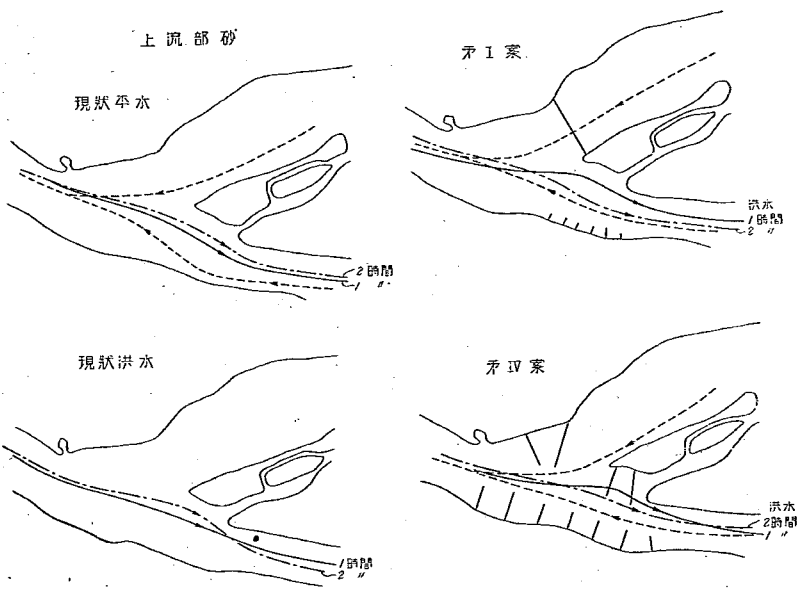
現狀，洪水　表面の停止波の影響が大であつて寫眞—7 a に示す通り極めて不規則な等深線を示し良好なる結

果を得られなかつた．唯長い時間の間に圖に示す如く流向が變化する傾向が認められた．

第 I 案　現狀に比し流向及河底何れも著しい差はない．

第 IV 案　平水順流に於て流心附近の水深が現狀に比し著しく改善された．洪水時には時間的に砂洲のある場所が相違しその爲流心が時々異る現象が認められた（圖—19）．

圖—19　分流點附近河底を砂で置換へた場合の流向圖



ii　下流部河底を砂にした場合

背割堤附近の流路の變化を見る爲に河底を砂に置換へた場合には上流部の河底は初めの狀態と同樣に固定しモルタルにて「現狀」に作つた．初めの試驗に於て斷面 44 附近に於ける流速は洪水時に於て平均 25～30 cm/sec であつて之に相當する砂は徑 0.3 mm 以下の荒川砂が適當である事が豫備試驗に於て明かにされてゐるから之を使用した．

第 I 案の背割堤を設くれば「現狀」よりも西分流の流れの向きをよくし左岸が削り取られる處れを著しく減くする．

第 IV 案の背割堤は I 案の夫よりも短いけれども I 案に比し河底の狀態はよくなる事が寫眞から明かに認められる．

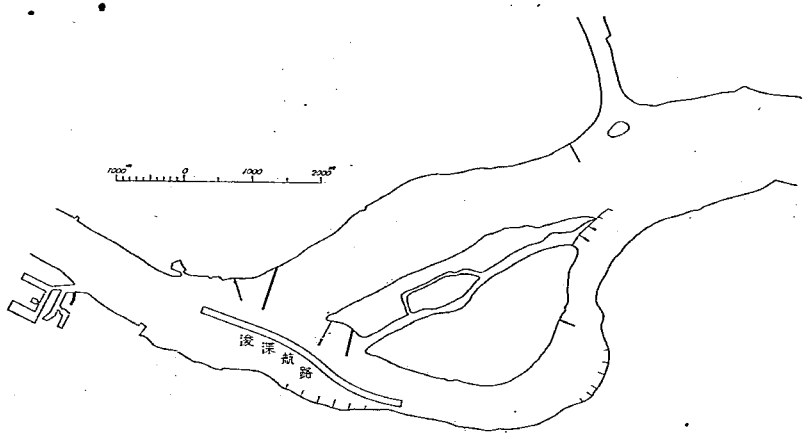
IV. 要　　約

試驗の眼目は航路の水深維持の爲には如何なる設計を選ぶべきかにあるが夫には平水時出入の潮汐を最も有效に働かせる事が大切である．即ち

1. 入潮量が最も多くなる樣にする事
2. 落潮及漲潮時の流路を一定にする事
3. 航路に相當する部分の潮による流速を大にする事
4. 洪水時に上流の水位を成可く高くしない事

が主なる要素と思ふ．この爲には上記試驗の中各種要素を考へに入れて第 II 案が最も良い樣に思ふ．但し此の場合三道浪頭附近に於て出入の潮による水路が著しく異るからこの中間部に出來るであらう洲の生成を防ぐ爲に柳草島側の狹搾部稍上流に水制を設けて漲潮流を模型の第 II 案の落潮流に接近せしめるか或は三道浪頭側の第 II 案水制のある稍上流に更に大なる水制を設けるか或は背割堤から出てゐる 5 本の枝の水制の中根本に近い 2 本位を長くして漲潮流を右岸寄りに振る樣にするか或は上記兩案を折衷した設計を樹てるかする事が必要と思ふ．次に五道溝地先の分流點に於ても落漲兩流による水路の相違をなくする爲には圖—20 に示す如き浚渫をする事

圖—20　試驗結果を綜合して得た最も良いと思はれる水制の配置圖
（大體は第 II 案と同樣であるが圖中の太線は第 II 案に追加したもの）

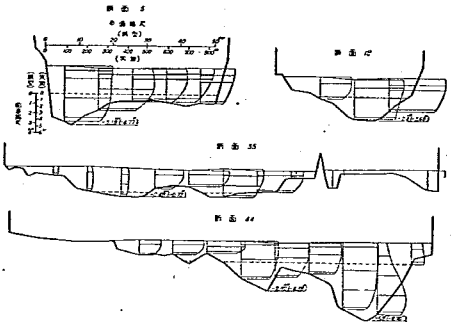


が必要であるが更に分流點上流左岸の水制を第 III 案の樣にして 2 本を長く出す事が良いと思ふ．

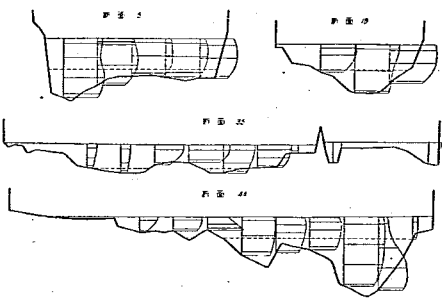
洪水時に三道浪頭下流の合流點に背割堤を置く事は合流後の左岸新城里附近の埋立地を侵蝕する危險を防ぐ爲に必要と思ふ．しかし之は原案（第 I 案）の如く長くする必要はなく第 II 案程度で良いと思ふ．又同じ目的の爲に三橋川合流點より稍上流の本川左岸に在來設けてある長さ約 300 m の水制は極めて有效の樣に思ふ．結局第 II 案に修正を施して圖--20 の如き水制及背割堤を設ける事が最も良い樣に思ふ．

以上は模型から得られた結論の主なるものであるが個々の場合に就ては列擧した試驗結果に依つて檢討されん事を望む．　（本文終）

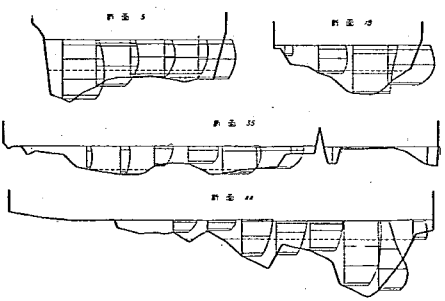
圖—21 洪水時流速分布圖
現狀（實驗番號 A—3）



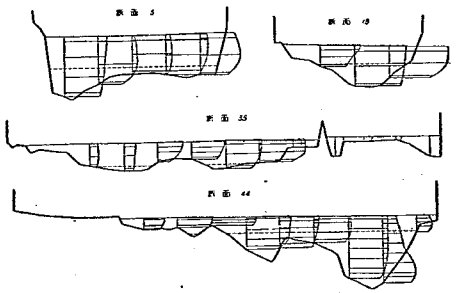
圖—22 洪水時流速分布圖
第 I 案（A—8）



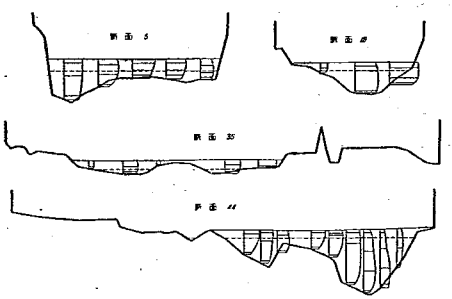
圖—23 洪水時流速分布圖
第 II 案（A—11）



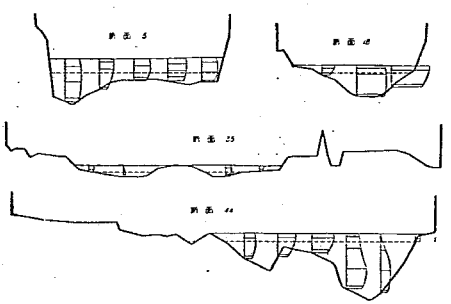
圖—24 洪水時流速分布圖
第 III 案 (A—16)



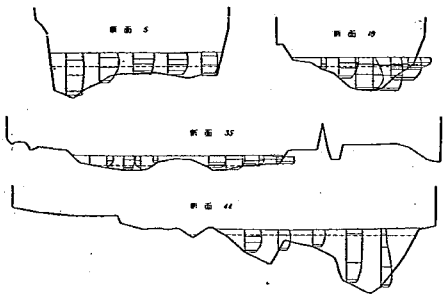
圖—25 平水時順流流速分布圖
現 狀 (A—5)



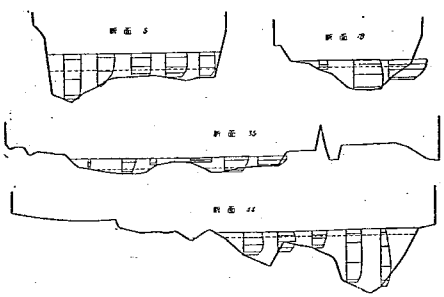
圖—26 平水時順流流速分布圖
第 I 案 (A—9)



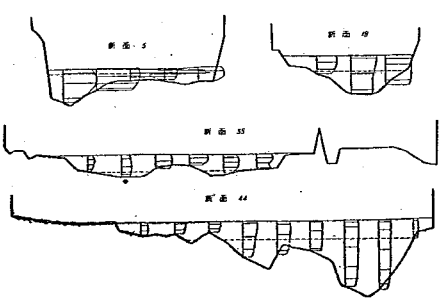
圖—27 平水時順流流速分布圖
第 II 案 (A—10)



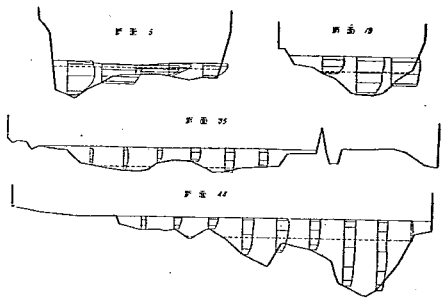
圖—28 平水時順流流速分布圖
第 III 案 (A—17)



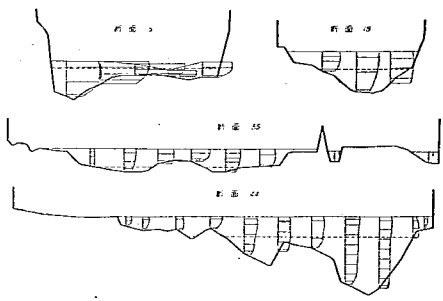
圖—29 平水時逆流流速分布圖
現 狀 (A—7)



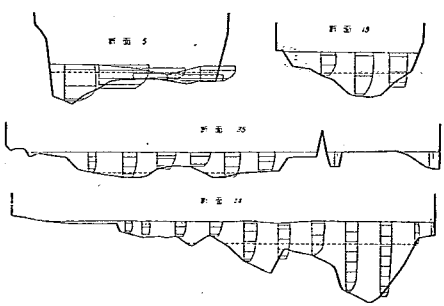
圖—30 平水時逆流流速分布圖
第 I 案 (A—6)



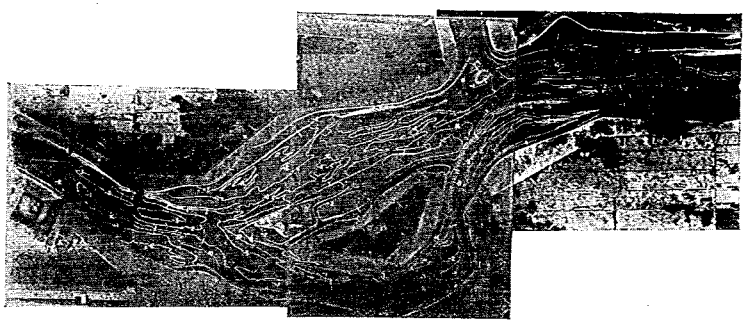
圖—31 平水時逆流流速分布圖
第 II 案 (A—14)



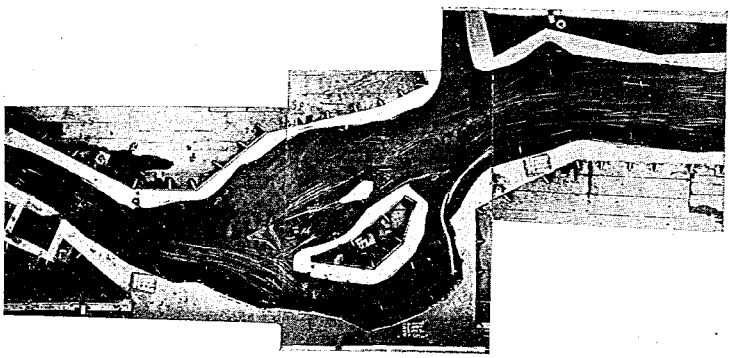
圖—32 平水時逆流流速分布圖
第 III 案 (A—15)



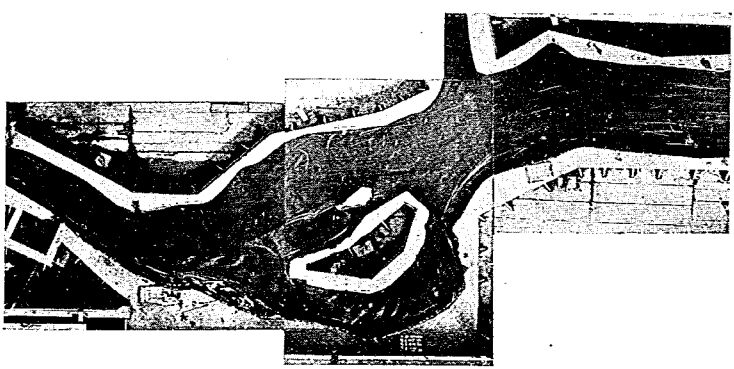
寫眞—1 模型等高線現狀



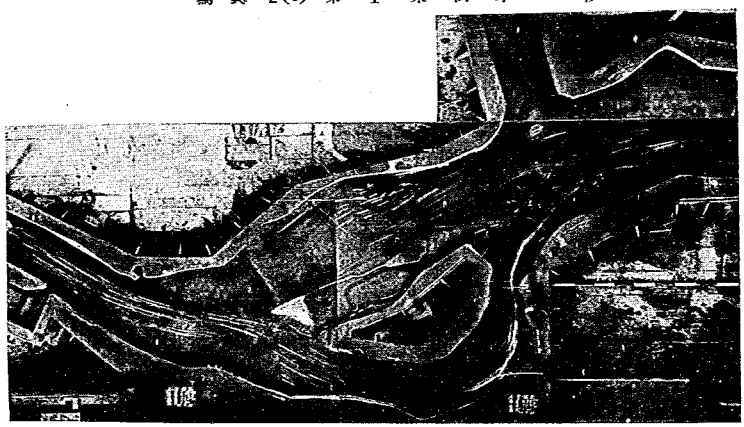
寫眞—2(a) 現狀大洪水 寫眞露出時間 t=1秒 實驗番號 A—36



寫眞—2(b) 現狀大洪水 t=1秒 A—37

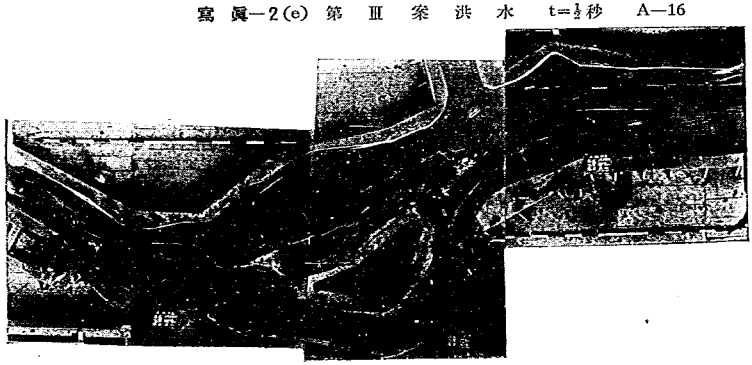


寫眞—2(c) 第 Ⅰ 案 洪 水 t=1秒 A—8

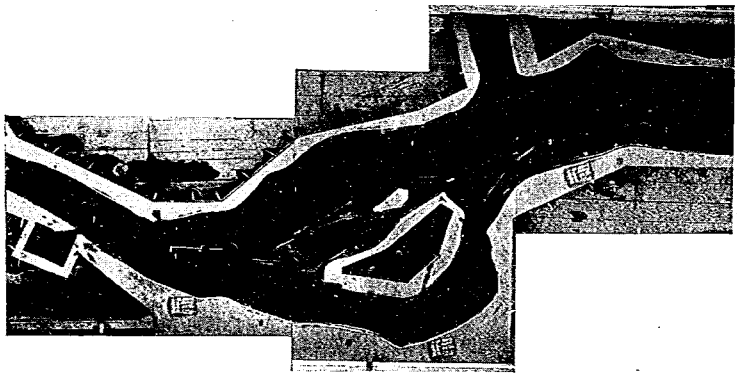


寫眞—2(d) 第 Ⅱ 案 洪 水 t=½秒 A—11

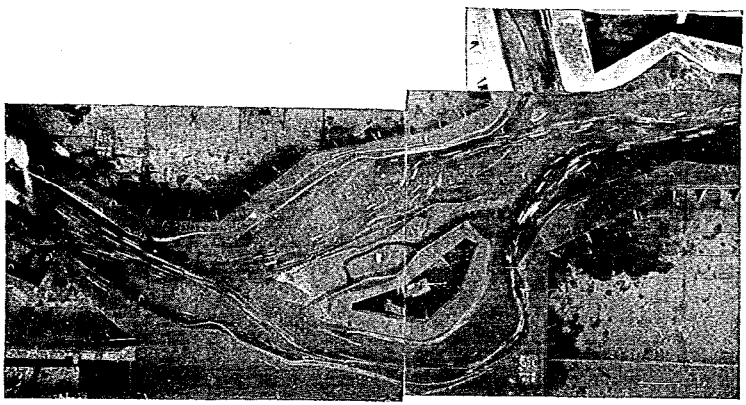
寫眞—2(e) 第 Ⅲ 案 洪 水 t=½秒 A—16



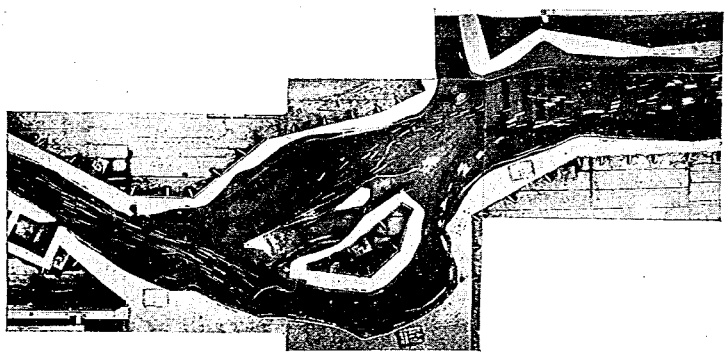
寫眞—2(f) 第 Ⅳ 案 洪 水 t=1秒 A—32



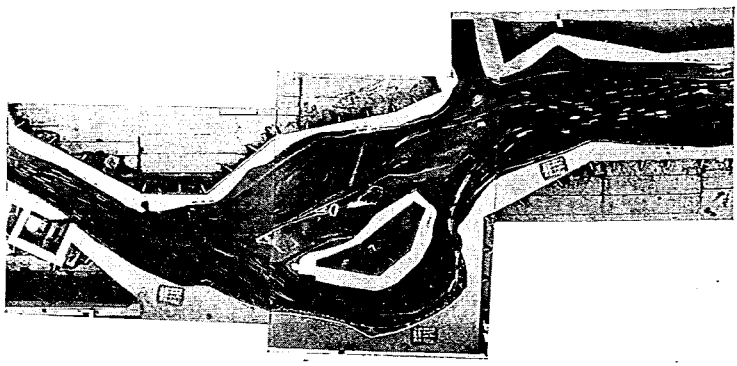
寫眞—3(a) 現 狀 平 水 順 流 t=1秒 以下全部同樣 A—5



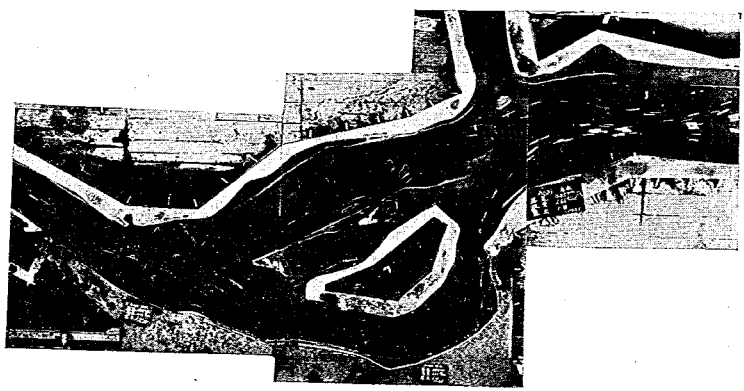
寫眞—3(b) 現 狀 但し一部浚渫, 平水順流 A—35



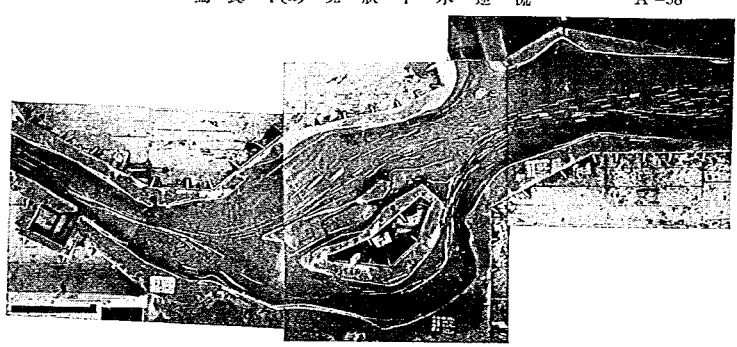
寫眞—3(c) 第 Ⅱ 案 平 水 順 流 A—33



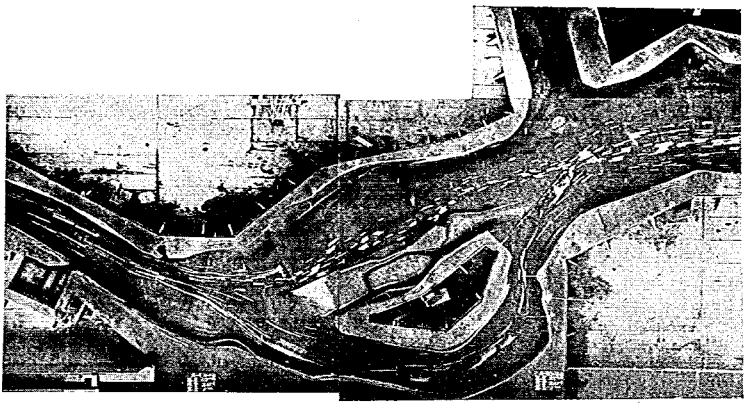
寫眞—3(d) 第 Ⅳ 案 平 水 順 流 A—31



寫眞—4(a) 現 狀 平 水 逆 流 A—38

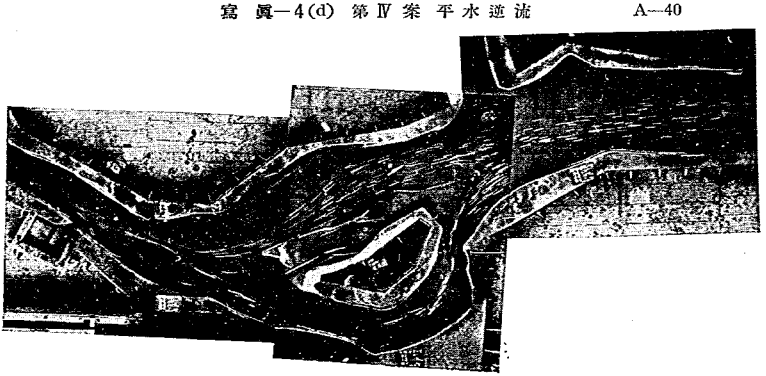


寫眞—4(b) 第Ⅰ案 平水逆流 A—6



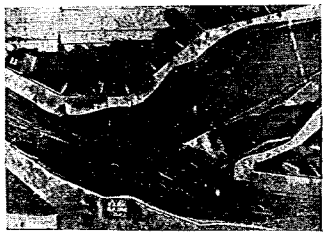
寫眞—4(c) 第Ⅱ案 平水逆流 A—39

寫眞—4(d) 第Ⅳ案 平水逆流 A—40

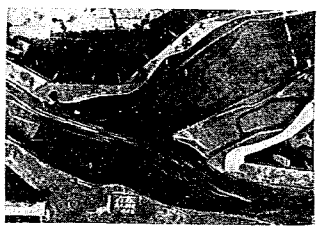


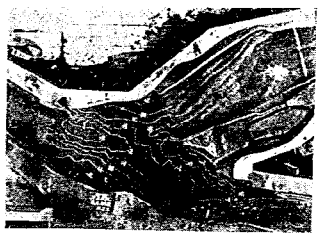
寫眞— 5~7 分流附近流向及河底移動狀態試驗

5 (a) 現狀平水 (通水 1 時間後) A—21

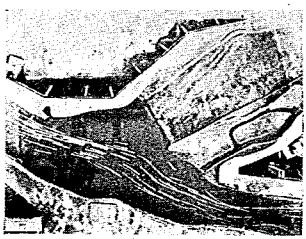


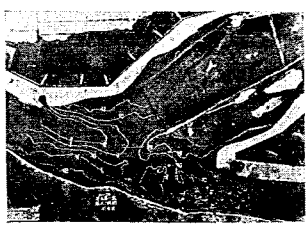
5 (b) 現狀平水 (通水 2 時間後) A—21



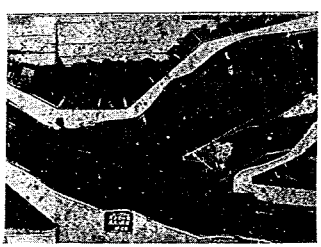


5 (c) 第 I 案平水 (通水 1 時間後) A—23

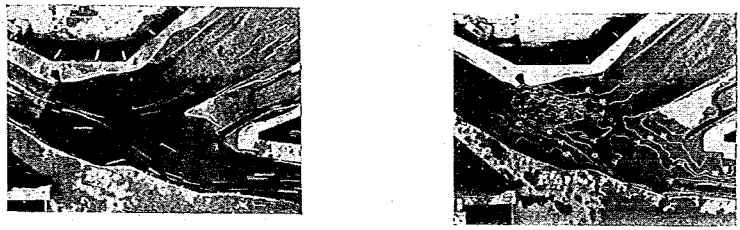




5 (d) 第 IV 案平水 (通水 1 時間後) A—22



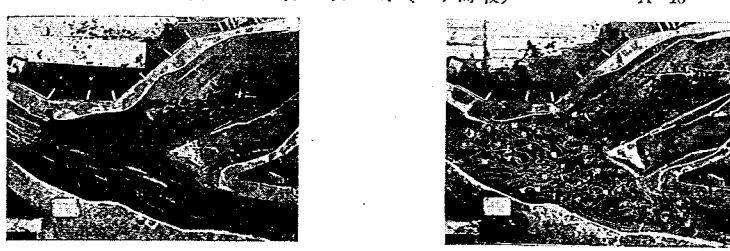
6 (a) 現狀平水逆流 (通水1時間後) A—25



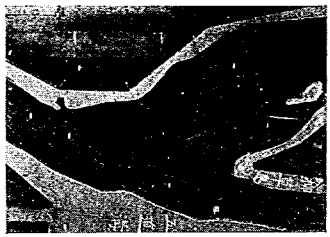
6 (b) 第Ⅰ案平水逆流 (1時間後) A—24

6 (c) 第Ⅳ案平水逆流 (1時間後) A—26

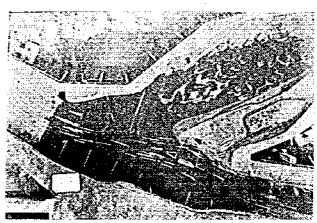
7 (a) 現狀洪水 (1時間後) A—18



7 (b) 第 Ⅳ 案 洪　水 (1 時 間 後)　A—19

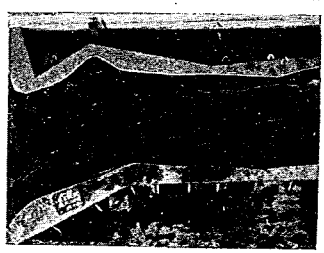
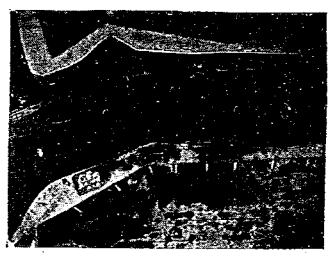


7 (c) 第 Ⅳ 案 洪　水 (通 水 2 時 間 後)　A—19

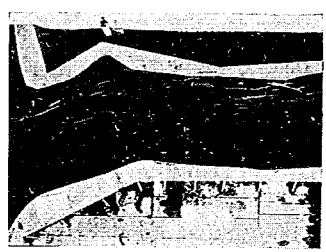


寫 眞—8　合流點附近流向又河底移動狀態
左は本流より浮子を流した時，右は分流より浮子を流した時

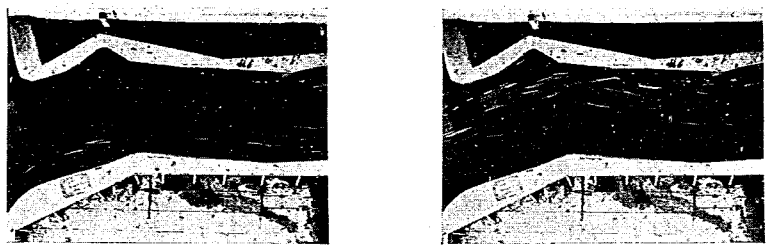
(a) 現　狀 洪　水 (1 時 間 後)　A—27

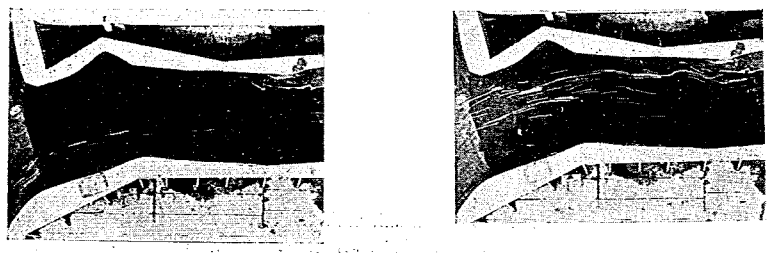
(b) 第 Ⅰ 案 洪　水 (1 時 間 後)　A—28



(c) 第Ⅳ案洪水(1時間後) A—29



(d) 第Ⅳ案洪水 但し分流左岸(1時間後) A—30



土の突固め竝にそれが力學的性質及び透水性に及ぼす影響に就て

內務技師　星　埜　和

要　旨

土工々事に際し，構築材料としての土の適性（强度或ひは防水性等）は突固め操作によつて之を大らしむる事を得．然るに突固めによる適性增大の程度は土質及びその含水率等により著しく相違すべきを以て，先づ突固め實驗を行つて土の間隙率減少に及ぼす突固め回數竝びに含水率の影響を明かにし以て突固め效果を最大ならしむる方法を示し，次で數種の土を同一回數突固めたる時，その力學的性質及び透水的性質の變化を研究し之より突固めによる土の適性增大の效果に基く土質判定の基本を與へんとするものである．

目　次

Ⅰ. 緒　言 …… (2)
Ⅱ. 實驗方法 …… (2)
Ⅲ. 突固め實驗 …… (4)
［1］ 實驗結果 …… (4)
［2］ 突固め回數の影響 …… (6)
［3］ 含水率の影響 …… (6)
［4］ 飽和の影響 …… (7)
［5］ 突固め回數が小なる時の間隙率 …… (8)
［6］ 實驗結果に對する考察 …… (12)
a) 突固め係數と突固め率 …… (12)
b) 土の含水狀態 …… (12)
c) 突固め係數 q の變化 …… (13)
d) 最小間隙率 …… (13)
Ⅳ. 貫入抵抗測定實驗 …… (13)
［1］ 實驗結果 …… (13)
［2］ 貫入抵抗の表示 …… (13)
Ⅴ. 力學的性質試驗－突固め效果の判定(其一) …… (15)
［1］ 實驗結果 …… (15)
［2］ 一定突固めに於ける間隙率と含水率との關係 …… (16)
［3］ 壓縮强さの變化 …… (17)
［4］ 剪斷强さの變化 …… (19)
［5］ 試驗結果に對する考察 …… (19)
a) 壓縮强さに對する考察 …… (19)
b) 剪斷强さに對する考察 …… (20)
c) 壓縮强さと剪斷强さとの關係 …… (20)
d) 剪斷强さと突固め係數との關係 …… (20)

Ⅴ. 透水的性質試驗—突固め效果の判定(其二)……(21)
［1］ 實驗結果……(21)
［2］ 一定突固めに於ける含水率と間隙率との關係……(21)
［3］ 透水中に於ける試驗體の變化……(22)
［4］ 透水度と間隙率との關係……(22)
［5］ 透水常數の決定……(24)
［6］ 實驗結果に對する考察……(25)
a) 透水度と間隙率との關係……(25)
b) 限界間隙率……(25)
c) 透水係數……(25)
Ⅵ. 突固めに對する土の特性と物理的性質との關係……(26)
［1］ 土の突固め特性……(26)
［2］ 土の突固め特性と物理的性質との關係……(26)
a) 機械分析……(26)
b) 眞比重……(26)
c) 遠心力含水當量……(26)
d) アッターベルグ緊硬度限界……(27)
Ⅶ 突固めに對する土の特性と突固め效果との關係……(27)
（1） 壓縮强さ……(27)
（2） 剪斷强さ……(27)
（3） 透水的性質……(27)
Ⅸ. 結 言……(28)

I. 緒 言

基礎地盤，堤防，土堰堤等の土工々事の施工に際し，構築材料たる土を突固むる操作が屢々實施せられる．その目的は土の支持力の强化，安定度の增大或は防水能力の向上等を圖るため，その密度を大ならしめ，その間隙量を出來得る限り小ならしむるに在る．

然るに土の密度の增加即ち間隙量の減少の程度は使用せらるゝ器具の性能，突固め回數によつて相違するは勿論であるが，土の性質及びその含水量によつても又著しく變化する．

構築材料としての土の性質は一般に密度の增大と共に向上するものと考へられるから，同一種の土に就ては最も容易にその密度を大ならしむる方法に就て研究しなければならぬが，なほ進んで數種の土の適性を比較し又は適當なる配合を決定せんがためには，突固めに要したる仕事を等しくして支持力，安定度或ひは防水能力等の大小を比較しなければならぬ．

從來土質の判定に參考せられて居た土の物理的基本性質の如きは，上述の目的に對し直接的な資料とは認められず，判定に當りても深い經驗と充分なる熟練とを必要とする．

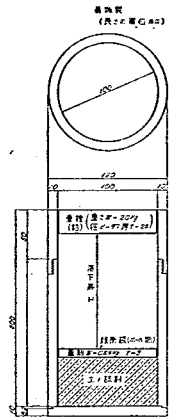
故に突固めによる土の特性を實驗的に研究して，土質竝びにその含水率の影響等を明かにし，突固め效果の判定に基準を與へんとする事は極めて肝要と信ずる．

本實驗に於て容器中に盛られたる土を突固め，土質及びその含水量竝びに突固め回數等の影響を明かにし，なほ突固め效果の判定に必要と認めらるゝ 2，3 の實驗結果に就き報告せんとするものである．

II. 實 驗 方 法

實驗に使用したる突固め裝置は內徑 10cm，高さ 20cm の眞鍮製圓筒に土の試料を塡充し，約 10cm の高さより重さ 2kg の重錘を繰返し落下せしめて突固め得る如くしたもので，その概略の構造は 圖—1 に示す．又その實物は 寫眞—1 の如し．本裝置は重錘落下高が試料の厚さによつて變化すること試料の厚さを均一に製作し得ざること，突固め回數に應じ直ちに試料の厚を讀取り得ざること，個人的偏差があること等の缺點があるから逐次改良さるべきものと考へる．

圖—1



圓筒容器內に一定の含水率を與へたる土 400～600gr 程度を均等に塡充し，蓋鈑にて覆ひ，緩衝用ボール紙を挾み，その上より重錘を落下せしめつゝ，突固め回數と試料の厚を測定し，突固めを終りたる後容器より試料を取出しその重量を秤量す．次いで爐中にて乾燥し，乾燥後の重量より含水率 w を計算し，又その間隙率 p を次式より算出す．

$$p=100-\frac{G}{G_s}(100-w) \quad \cdots\cdots(1)$$

こゝに G：試料の見掛け比重

G_s：土粒子の眞比重

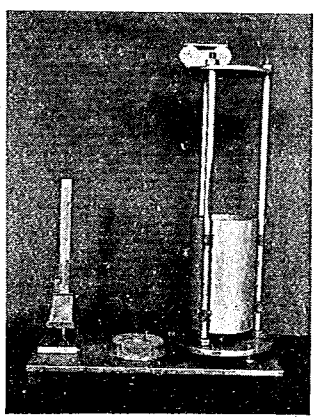
又試料の密度 d_s は間隙率 p が分れば次式より計算せらる．

$$d_s=G_s\left(1-\frac{p}{100}\right) \quad \cdots\cdots(2)$$

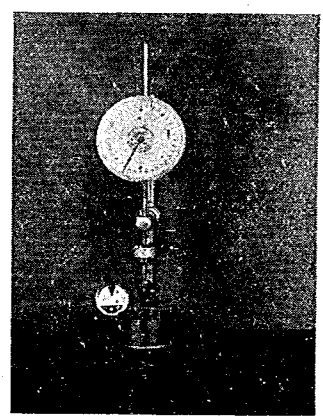
含水率を漸次變へつゝ實驗を繰返し，突固め回數と間隙率との關係を求む．

次に突固め效果を判定するため，種々の含水率に於て突固めに要したる仕事，卽ち突固め回數を一定としたる時得らるゝ試驗體に就て壓縮强さ，剪斷强さ及び透水度を測定し，それ等が含水率により如何なる變化を示すかを研究し，且數種の土に就ての比較を行つた．

寫　眞—1



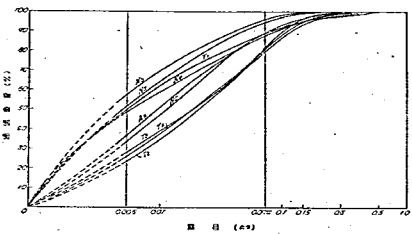
寫　眞—2



尙塑性檢針の貫入深さを支持力或ひは安定度の判定基準とする試驗方法は實用的價値に富み，現場に於て利用せられるが，種々の缺點を有する樣であるから，一應參考として寫眞—2に示すやうな貫入測定機を用ひて試驗した結果を揭げて置いた．

實驗に供した土は9種で，その物理的性質は表—1の通りである．又その機械的分析結果を表示すれば圖—2の粒度曲線を得．

圖—2



表—1　試 料 の 物 理 的 性 質

項目 ＼ 試料記號	A_k	T_1	T_2	T_3	T_4	N_a	N_b	N_c	N_d
機械分析									
砂 mm未滿 mm以上 1.17～0.59	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0
0.59～0.30	1.0	1.9	0.7	1.7	0.7	0.1	0.1	0.4	0.8
0.30～0.15	2.8	2.9	3.0	4.7	4.4	0.9	0.7	2.8	4.8
0.15～0.074	8.1	6.8	14.4	14.2	14.3	4.4	3.1	6.9	6.6
計	12.0	11.6	18.1	20.6	19.4	5.4	3.9	10.2	12.2
沈泥 0.074～0.005	51.1	37.8	58.1	51.0	53.5	43.3	38.5	55.9	39.0
粘土 0.005～0	36.9	50.6	23.8	28.4	27.1	51.3	57.6	33.9	48.8
眞比重	2.54	2.58	2.61	2.63	2.57	2.53	2.61	2.56	2.67
遠心力含水當量	27.9	31.4	36.1	35.9	37.1	38.6	38.3	30.5	18.8
收縮限界	30.3	19.4	36.2	32.3	37.6	32.8	15.7	31.5	13.6
收縮比	1.47	1.67	1.33	1.44	1.32	1.41	1.83	1.47	1.85
液性限界	42.9	66.3	76.7	71.3	80.4	75.8	83.9	60.2	49.7
塑性限界	28.5	30.3	33.3	31.6	32.8	28.2	29.3	24.8	13.7
塑性指數	14.4	36.0	43.4	39.7	47.6	47.6	54.6	35.4	36.0
産地	栃木縣	千葉縣	同左	同左	同左	横須賀	同左	同左	佐世保

III. 突固め實驗

[1] 實驗結果

試料 A_k を用ひ含水率を略絶對乾燥に近き値より35%程度の範圍に變化せしめ，突固め回數 5, 10, 20, 30, 50, 70 及び 100 回に於て試料の厚を測定し，夫々の間隙率を算出す．試驗箇數は 52 箇にして結果は 表—2 の如し．

表—2

		間隙率																
試験番號		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
含水率		0.4	0.4	6.8	7.2	7.3	7.7	9.8	9.9	12.4	12.8	17.8	18.1	18.4	18.4	18.6	18.8	20.1
突固め回數	5	57.7	55.3	58.7	56.4	58.7	57.1	57.9	58.5	59.3	59.6	61.2	60.7	61.4	61.4	62.0	60.9	61.9
	10	56.0	53.9	57.6	54.9	57.4	55.7	56.4	57.1	57.5	57.7	59.1	59.0	56.5	5.77	60.0	59.0	60.1
	20	54.9	52.9	56.5	53.4	56.2	54.6	55.3	56.0	56.2	56.3	57.7	57.6	58.3	58.1	58.3	57.6	58.5
	30	54.0	52.2	55.8	52.8	55.8	54.0	54.8	55.3	55.7	55.6	56.8	57 4	57.0	57.2	57.7	56.8	57.9
	50	53.0	51.6	55.0	52.1	54.9	53.5	54.5	54.6	54.9	54.9	56.3	57.0	56.9	56.5	57.0	56.4	56.8
	70	52.3	51.2	54.6	52.0	54.7	53.0	53.7	54.2	54.4	54.8	56.2	56.6	56.4	55.9	56.7	56.2	56.3
	100	51.7	50.6	54.1	51.6	54.1	52.6	53.4	54.0	53.7	54.5	55.8	56.1	55.9	55.5	55.9	55.8	55.7

		間隙率																
試験番號		18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
含水率		20.2	21.1	21.2	22.0	22.1	22.3	22.6	23.3	23.5	23.7	23.8	24.2	24.3	24.5	24.8	25.4	25.7
突固め回數	5	63.0	61.7	63.3	63.0	63.5	62.6	62.7	63.9	63.0	63.7	63.3	64.4	63.8	63.2	64.1	63.6	64.4
	10	60.8	60.0	61.1	60.8	61.3	60.7	60.8	61.2	60.8	61.1	60.9	61.2	60.7	61.0	61.6	60.1	60.7
	20	58.9	58.4	59.4	59.0	59.5	58.9	59.2	58.7	58.6	58.4	58.9	58.2	57.9	58.6	58.8	57.0	57.1
	30	58.1	57.9	58.7	58.2	58.6	58.1	58.3	57.1	57.3	57.3	57.7	56.5	56.1	57.2	57.3	54.9	55.3
	50	57.8	56.5	57.4	56.6	56.9	56.9	57.5	55.3	55.7	54.5	56.4	55.0	53.6	54.9	55.4	51.5	51.5
	70	57.1	56.1	56.7	56.4	56.1	56.2	56.7	54.3	54.6	53.5	55.0	54.5	53.2	54.1	54.2	50.2	50.3
	100	56.4	55.3	56.3	55.5	55.7	55.7	56.2	53.4	53.5	52.2	54.5	53.1	52.5	53.0	53.0	48.9	48.9

		間隙率																	
試験番號		35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
含水率		26.2	26.3	26.6	26.7	27.7	27.8	29.2	29.4	29.7	29.9	31.4	31.7	31.8	32.4	32.8	33.1	33.1	33.5
突固め回數	5	64.5	64.1	64.3	64.4	63.9	61.8	62.0	61.9	62.1	61.8	59.3	60.7	56.7	56.8	57.2	57.5	57.9	59.1
	10	61.5	61.0	60.9	61.2	60.2	57.8	57.4	57.8	58.3	57.0	55.7	56.8	56.1	56.3	57.0	57.1	57.9	59.1
	20	58.8	58.1	57.7	57.8	56.3	53.2	53.7	53.9	54.2	53.1	55.1	55.4	55.9	56.3	57.0	57.1		
	30	57.2	56.6	56.0	55.8	54.0	51.1	52.7	53.3	53.0	52.9	55.1	55.4	55.9					
	50	52.9	53.3	51.4	53.1	51.6	51.0	52.7	53.3	53.0	52.9								
	70	51.4	52.1	50.5	51.7	51.0	51.0	52.7	53.3	52.9	52.9								
	100	49.9	50.6	49.1	5.00	51.0	50.1	52.7	53.3	52.8	52.9								

［2］ 突固め回數の影響

表—2 の結果より突固め回數 n と間隙率 p_n との關係を半對數目盛方眼紙上に畫けば，凡ての含水率の範圍に亘り略直線的な關係が成立することが分る（圖—3）．從つて之を式に示せば

$$p_n = p_0 - q \log n \quad \cdots\cdots (3)$$

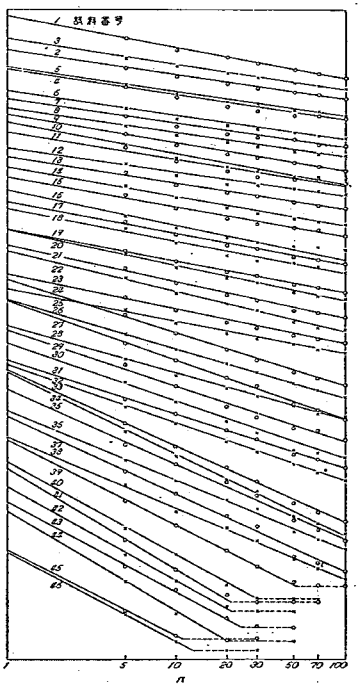
となり，p_0 及び q は含水率により決まる常數である．

［3］ 含水率の影響

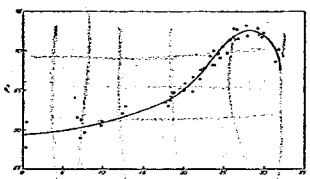
圖—3 上に引いた直線と $n=1$ に於ける縱坐標との交點より p_0 を，直線の傾斜角の正切より q を求めれば，表—3 の値を得．

含水率を橫軸に p_0 及び q の値を縱軸に取り圖示すれば圖—4 (a) 及び (b) 上の諸點が得られて，略滑かな曲線的變化を示して居る．この曲線から夫々の含水率に對應する p_0 及び q の値を求め，

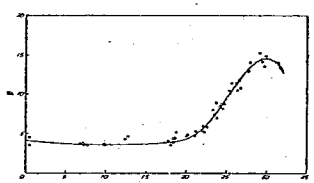
圖—3



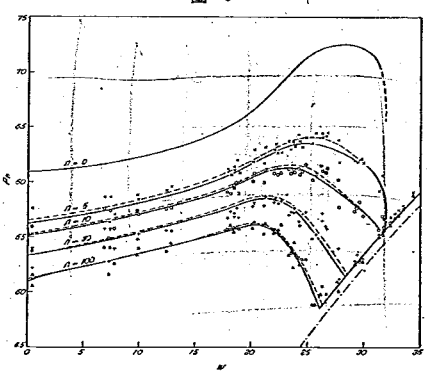
圖—4 (a)



圖—4 (b)



圖—5



式 (3) に代入して，突固め回數が 5, 10, 30 及び 100 回の時の間隙率を計算すれば表—4 を得．圖—5 に破線を以て示した曲線はこの計算値を示し，圖中實測結果を示す諸點とよく近似した經過を示して居る．

[4] 飽和の影響

試料の含水量が漸次增加し來ると突固め途上に於て，試料中に含まれて居た空氣泡は殆んど排出され，間隙の大部分は水を以て充滿され突固めは停止し，間隙率は一定となる (第 39 番以下の試驗體に就き參照)．

土粒子の間隙を水が完全に充滿し氣泡を含まぬ狀態に在るとき，間隙率 p_s と含水率 w の間に次の關係が成立せねばならぬ．

表—3

試驗番號	w	p_0	$p_{n=100}$	q	試驗番號	w	p_0	$p_{n=100}$	q
1	0.4	61.0	51.7	4.65	26	23.5	58.2	13.4	7.40
2	0.4	57 8	50.5	3.65	27	23.7	70.0	52.1	8.95
3	6.8	61.6	54.0	3.80	28	23.8	68.2	54.1	7.05
4	7.2	59.0	51.4	3.80	29	24.2	69.6	52.8	8.40
5	7.3	51.3	54.0	5.65	30	24.3	69.7	52.3	8.70
6	7.7	59.7	52.4	3.65	31	24.5	69.1	52.8	8.15
7	9.8	60.6	53.2	3.70	32	24.8	70.5	53.0	8.75
8	9.9	61.1	53.8	3.65	33	25.4	69.7	48.7	10.50
9	12.4	62.1	53.4	4.35	34	25.7	71.3	48.5	11.40
10	12.8	63.0	53.6	4.70	35	26.2	72.8	50.1	11.35
11	17.8	63.5	55.3	4.10	36	26.3	71.5	16.0*	10.50
12	18.1	63.0	55.8	3.60	37	26.6	72.7	60.9*	11.80
13	18.4	63.7	55.8	3.95	38	26.7	71.5	60.7*	10.80
14	18.4	64.1	55.4	4.35	39	27.7	73.2	60.2*	13.00
15	18.6	64.7	55.8	4.45	40	27.9	71.9	57.8*	14.10
16	18.8	64.7	54.3	5.26	41	29.2	72.9	57.6*	15.30
17	20.1	65.0	55.6	4.70	42	29.4	72.1	57.9*	14.20
18	20.2	65.9	56.2	4.85	43	29.7	71.8	58.2*	13.60
19	21.1	64.8	55.3	4.75	44	29.9	72.3	57.4*	14.90
20	21.2	66.7	56.1	5.30	45	31.4	68.6	55.6*	14.00
21	22.0	66.4	55.5	5.45	46	31.7	70.2	56.8*	13.40
22	22.1	67.5	55.5	6.00					
23	22.3	66.0	55.6	5.20					
24	22.6	67.8	56.1	5.85					
25	23.3	69.3	53.2	8.05					

* $p_{n=10}$ の時の値を示す．

表—4

含水率 w	p_0	q	$n=5$ (log5=.699)		$n=10$ (log 10=1.0)		$n=30$(log30=1.477)		$n=100$(log100=2.0)	
			$q \log n$	p_n	$q \log n$	p_n	$q \log n$	p_n	$q \log n$	p_n
0	59.40	4.14	2.89	56.51	4.14	55.26	6.12	53.28	8.28	51.12
2	59.60	3.96	2.77	56.83	3.96	55.64	5.85	53.75	7.92	51.68
4	59.80	3.84	2.68	57.12	3.84	55.96	5.69	54.11	7.68	52.12
6	60.10	3.76	2.63	57.47	3.76	56.34	5.56	54.54	7.52	52.58
8	60.48	3.68	2.57	57.91	3.68	56.80	5.44	55.04	7.36	53.12
10	60.90	3.64	2.54	58.36	3.64	57.27	5.39	55.51	7.28	53.62
12	61.44	3.64	2.54	58.90	3.64	57.80	5.36	56.05	7.28	54.16
14	62.08	3.70	2.59	59.49	3.70	58.38	5.48	56.60	7.40	54.68
16	62.82	3.80	2.66	60.16	3.80	59.02	5.62	57.20	7.60	55.22
18	63.74	3.96	2.77	60.97	3.96	59.78	5.86	57.88	7.92	55.82
20	65.00	4.38	3.06	61.94	4.38	60.62	6.48	58.52	8.76	56.24
22	66.96	5.64	3.95	63.01	5.64	61.32	8.36	58.60	11.28	55.68
24	69.54	8.02	5.62	36.92	8.02	61.52	11.84	57.70	16.04	53.50
26	71.68	11.00	7.70	63.98	11.00	60.68	16.26	55.42	22.00	49.68
28	72.60	13.60	9.52	63.08	13.60	59.00	20.13	52.47	(27.20)	(55.40)
30	71.96	14.60	10.20	61.76	14.60	57.36	(21.88)	(50.08)	29.20)	(42.76)
32	67.00	12.80	8.96	58.04	(12.80)	(54.20)	18.95)	(48.05)	(25.60)	(41.40)

$$p_n = \frac{100 \cdot G_s \cdot w}{100 + (G_s - 1)w} \qquad \cdots\cdots (4)$$

こゝに G_s：土の眞比重

式(4)の關係を示す曲線を假に飽和曲線（又は無氣泡曲線）と名付けると，圖—5に鎖線を以て示す如くなる．含水量大なる時突固めはこの曲線に近付くと急に停止し，試料中にはなほ僅か乍ら略一定量の氣泡を殘留して居ることが分る．

突固め作用は瞬間的な極めて短い時間に於ける衝撃的な加壓の繰返しであるから，土粒子の間隙に存在する水分は排出される迄に至らない．從つて含水量が大なる時，間隙が含水飽和の狀態に達した後は突固めを續行するも全然效果がない．

[5] 突固め回數が小なる時の間隙率

上述の實驗は突固め回數が5より大なる場合の間隙率の變化が，式（3）の關係式により良く表示せられる事を示したが，n が5より小なる時即ち突固めの初期に於ても適合するか否かは疑問の存する所である．殊に式(3)は $n=0$ 即ち突固めを始める前に於て

$$\log n = -\infty \qquad \text{從つて } p_n = \infty$$

となる．然し乍ら實際に於ては試料を容器に填充した時，土自身の重さ及び蓋板の重さ等のため或る定まつた容

積を取つて居るから，$n=0$ に於ける p_n の値が與へられなければならぬ．この値を求めるため別に實驗を行ひ n が 0～5 に於ける間隙率をも測定した所，表—5 の如くなり，半對數目盛方眼紙に畫くとやゝ上方に凸な曲線をなして居る（圖—6 の黑點）．

表—5

番號		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
含水率 (w)		21.4	21.6	23.6	24.0	24.3	24.6	24.7	24.7	24.7	25.5	25.6	25.8	25.9	26.1	26.2	26.4	26.4	26.5	26.9
突固め回數 (n)	0	70.0	69.6	70.8	71.4	71.1	72.6	71.2	71.5	72.7	70.2	72.8	71.1	69.5	73.1	72.4	70.5	72.6	72.1	72.9
	1	67.1	67.2	68.0	68.8	68.0	69.4	68.8	68.9	98.9	68.6	69.6	68.0	67.6	69.1	69.3	67.4	69.1	69.0	69.3
	2	65.9	65.8	65.8	67.0	66.2	67.5	67.2	67.0	67.2	66.3	66.9	66.5	66.1	66.6	67.6	6.53	67.0	66.7	67.2
	3	64.9	64.8	64.8	65.2	65.2	66.0	65.3	65.8	65.9	65.9	66.0	64.4	64.9	64.3	66.1	63.8	65.5	65.2	65.7
	4	6.41	63 9	63.7	64.6	64.6	64.9	64.8	64.8	64.8	65.1	65.1	63.3	64.5	63.6	65.2	62.5	64.2	63.2	64.4
	5	6.37	63.5	63.2	63.9	63.6	64.1	63.8	64.0	64.0	64.7	63.8	62.5	64.0	62.6	64.2	61.6	63.1	62.2	63.3
	10	61.5	61.7	61.2	61.0	60.7	61.1	61.7	60.8	61.1	61.8	61.3	60.6	61.4	58.7	61.3	57.9	59.4	58.5	59.3
	20	59.8	59.9	57.6	57.8	57.9	58.1	58.2	58.0	57.9	58.7	58.5	57.0	58.2	55.0	58.6	54.1	54.4	54.7	55.8
	30	5.88	58.9	55.7	55.8	56.3	56.2	56.3	56.2	56.0	57.0	56.9	55.4	56.6	52.9	56.5	52.3	53.5	52.3	53.6
	50	57.7	57.6	53.3	54.2	54.1	54.0	54.0	54.2	53.8	54.7	54.9	53.1	54.4	51.8	54.4	51.3	51.3	50.4	51.8
	70	56.5	56.8	51.8	51.9	52.8	52.2	52.5	52.6	52.2	53.1	53.6	51.5	53.1	5.15	53.0	51.3	51.2	50.3	51.5
	100	55.5	55.7	50.4	50.4	51.1	50.9	51.1	51.1	50.7	51.6	52.0	49.9	51.4	51.5	52.1	51.3	51.2	50.3	51.5

式（3）に少しく修正を加へ

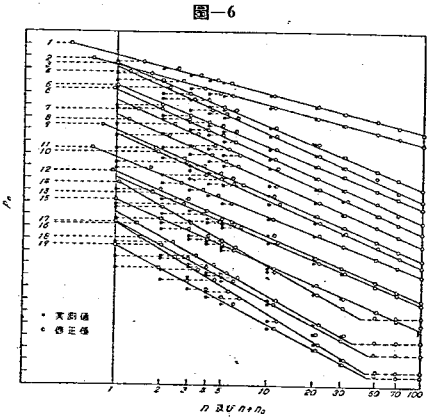
$$p_n=p_o-q\cdot\log(n+n_o) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

と假定し，n_o を適當に實驗結果から決定すると表—6 に揭げた樣に餘り一樣な變化を示して居らない．これは試料の取扱ひ塡充の際の僅かな差異が著しく影響するためと考へられる．然し乍ら n_o は含水率の增加と共に大となり，q の變化と略傾向を等しくして居る樣に認められるから，n_o/q の比を作り平均して 0.102 なる値を得た（表—6）．よつて近似的に

$$n_o=0.1q \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

と假定して差支へないものと考へる．

圖—6



式（5）は突固め回數と間隙率との關係を表示する一般式であつて，式中 n_o の値は 1 前後の小さい値を取り，n が小なる時は大きな影響を與へるが，n が大きくなると省略しても結果に大差がない．從つて式（3）は n が大きい時に適用すべき近似式となる．

初めの實驗結果に（5）式を適用して修正した結果は 表—7 の如し．但し n_o は式（6）の假定に從ふものとした．

表—6

番號	w	p_o	q	n_o	n_o/q	番號	w	p_o	q	n_o	n_o/q
1	21.4	68.1	6.3	0.5	0.079	11	25.6	72.8	9.7	0.7	0.072
2	21.6	68.6	6.7	0.7	0.104	12	25.8	71.1	10.5	0.96	0.092
3	23.6	70.8	10.3	1.0	0.097	13	25.9	72.1	10.5	1.8	0.171
4	24.0	72.4	11.1	1.2	0.108	14	26.1	73.4	13.7	1.05	0.177
5	24.3	71.1	10.0	1.0	0.100	15	26.2	7.24	10.4	1.0	0.096
6	24.6	72.6	10.8	0.96	0.089	16	26.4	72.3	12.5	1.4	0.112
7	24.7	72.8	11.0	1.4	0.127	17	26.4	72.6	13.0	1.0	0.077
8	24.7	72.4	10.8	1.2	0.111	18	26.5	74.5	14.7	1.5	0.102
9	24.7	72.8	10.8	0.8	0.074	19	26.9	72.9	13.0	1.0	0.077
10	25.5	73.2	10.9	1.9	0.174						

平均値 0.102

p_o 及び q の變化は 圖—7 に，計算値は 表—8 及び 圖—5 に實線を以て示す．なほ突固め以前即ち $n=0$ に於ける間隙率を推算した結果を揭げて置いた．

表—7

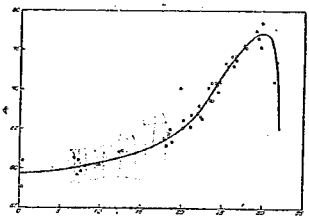
番號	w	n_o(假)	p_o	$p_{n=100}$	q	番號	w	n_o(假)	p_o	$p_{n=100}$	q
1	0.4	0.40	60.9	51.7	4.60	24	22.6	0.61	66.3	56.0	5.15
2	0.4	0.40	57.6	50.6	3.50	25	23.3	0.72	70.2	53.0	8.60
3	6.8	0.34	61.3	54.1	3.60	26	23.5	0.76	68.7	53.4	7.65
4	7.2	0.34	59.1	51.7	3.70	27	23.7	0.79	70.8	52.2	9.30
5	7.3	0.34	61.0	54.2	3.90	28	23.8	0.81	68.6	54.2	7.20
6	7.7	0.34	59.6	52.5	3.55	29	24.2	0.87	70.9	53.0	8.95
7	9.8	0.33	60.5	53.2	3.65	30	24.3	0.88	70.6	52.1	9.25
8	9.9	0.33	60.5	53.8	3.35	31	24.5	0.92	69.7	52.8	8.45
9	12.4	0.33	62.1	53.7	4.20	32	24.8	0.97	71.0	52.9	9.05
10	12.8	0.33	62.2	5.41	4.05	33	25.4	1.07	73.3	48.8	12.25
11	17.8	0.34	63.8	55.7	4.05	34	25.7	1.13	73.0	48.7	12.15
12	1.81	0.34	62.9	56.1	3.40	35	26.2	1.22	74.2	49.7	12.25
13	18.4	0.34	64.2	55.9	4.15	36	26.3	1.24	73.0	50.5	11.25
14	18.4	0.34	64.4	55.4	4.50	37	26.6	1.30	74.2	48.9	12.65
15	18.6	0.35	64.9	55.9	4.50	38	26.7	1.31	73.7	50.0	11.85
16	18.8	0.35	63.4	55.6	3.90	39	27.7	1.50	75.6	61.2*	14.40
17	20.1	0.39	65.2	55.6	4.80	40	2.79	1.55	75.3	58.7*	16.60
18	20.2	0.39	66.1	56.3	4.90	41	29.2	1.75	77.5	58.8*	18.70
19	21.1	0.45	65.3	55.3	5.00	42	29.4	1.77	76.5	58.9*	17.60
20	21.2	0.46	66.8	56.2	5.30	43	29.7	1.78	75.4	59.4*	16.00
21	22.0	0.53	67.0	55.4	5.80	44	29.9	1.78	78.5	58.4*	20.10
22	22.1	0.54	68.0	55.3	6.35	45	31.4	1.67	71.0	56.7*	14.30
23	22.3	0.56	66.6	55.6	5.50	46	31.7	1.61	73.5	57.9*	15.60

* $p_{n=10}$ を示す．

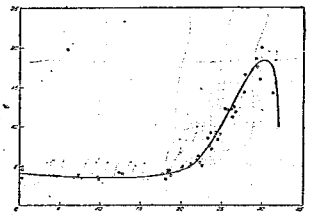
表—8

w	p_0	q	n_0	$n=0$			$n=5$			$n=10$			$n=30$			$n=100$		
				$\log n_0$	$q\log n_0$	p_n	$\log(n+n_0)$	$q\log(n+n_0)$	p_n	$\log(n+n_0)$	$q\log(n+n_0)$	p_n	$\log(n+n_0)$	$q\log(n+n_0)$	p_n	$\log(n+n_0)$	$q\log(n+n_0)$	p_n
0	59.30	4.10	0.41	−0.387	−1.58	60.88	0.733	3.01	56.29	1.017	4.17	55.13	1.483	6.08	53.27	2.002	8.40	50.90
2	59.47	3.92	0.39	−0.409	−1.60	61.07	0.732	2.87	56.60	1.017	3.98	55.49	1.483	5.80	53.67	2.002	7.84	51.63
4	59.65	3.80	0.38	−0.420	−1.59	61.24	0.731	2.78	56.87	1.016	3.87	55.80	1.483	5.63	24.02	2.002	76.0	52.05
6	59.94	3.68	0.37	−0.432	−1.59	61.53	0.730	2.69	57.25	1.016	3.75	56.19	1.482	5.47	54.47	2.002	7.36	52.58
8	60.26	3.62	0.36	−0.444	−1.60	61.86	0.729	2.64	57.62	1.015	3.67	56.59	1.482	5.38	54.88	2.002	7.24	53.02
10	60.72	3.60	0.36	−0.444	−1.60	62.32	0.729	2.62	58.10	1.015	3.65	57.07	1.482	5.34	55.40	2.002	7.20	53.52
12	61.20	3.60	0.36	−0.444	−1.60	62.80	0.729	2.62	58.58	1.015	3.65	57.55	1.482	5.34	55.86	2.002	7.20	54.00
14	61.82	3.60	0.36	−0.444	−1.60	63.42	0.729	2.62	59.20	1.015	3.65	85.17	1.482	5.34	56.48	2.002	7.20	54.62
16	62.56	3.72	0.37	−0.432	−1.60	64.16	0.730	2.71	59.86	1.016	3.78	58.78	1.482	5.51	57.05	2.002	7.44	55.12
18	63.60	4.00	0.40	−0.398	−1.59	65.19	0.732	2.93	60.67	1.017	4.07	59.53	1.483	5.93	57.67	2.002	8.00	55.60
20	65.06	4.44	0.44	−0.357	−1.58	46.64	0.736	3.27	61.79	1.019	4.53	60.53	1.483	6.60	58.46	2.002	8.88	56.18
22.	67.04	5.72	0.57	−0.244	−1.40	68.44	0.746	4.27	62.77	1.024	5.88	61.16	1.485	8.50	58.54	2.002	11.46	55.58
24	70.12	8.50	0.85	−0.071	−0.60	70.72	0.767	6.51	63.61	1.053	8.80	61.32	1.489	12.66	57.46	2.004	17.03	53.09
26	73.20	12.24	1.22	0.086	1.05	72.15	0.794	9.73	63.74	1.050	12.85	60.35	1.494	18.32	54.88	2.005	24.54	48.66
28	75.80	15.90	1.59	0.201	3.20	72.60	0.819	13.04	62.76	10.64	16.95	58.85	1.500	23.83	51.93	2.007	31.91	(43.89)
30	77.12	18.40	1.84	0.265	4.87	72.25	0.835	15.37	61.75	1.037	19.75	57.37	1.503	27.68	(49.44)	2.008	36.95	(40.17)
32	65.00	10.00	1.00	0.00	0	65.00	0.778	7.78	57.22	1.041	10.41	(54.59)	1.491	14.91	(50.09)	2.004	20.04	(44.96)

圖—7 (a)



圖—7 (b)



[6] 實驗結果に對する考察

a) 突固め係數と突固め率　突固めの間隙率と回數との關係を表はす (5) 式の係數 q は同種の土を一定方法により突固むる時，夫々の含水率に於ける土の間隙率減少の程度を示すものであつて，突固め係數と名付ける．

式 (5) を n で微分し，符號を變へたものを Q とすれば

$$Q=-\frac{dp_n}{dn}=\frac{q}{2.3(n+n_0)} \qquad \cdots\cdots(7)$$

表—9

含水率 w	土粒子の容積を 100 としたる時の		
	含水容積比 V_w	間隙容積比 $V_p(n=0)$	間隙容積比 $V_p(n=100)$
0	0	155.8	103.4
2	5.2	157.1	106.4
4	10.6	158.1	108.5
6	16.2	159.8	110.6
8	22.1	162.1	112.7
10	28.2	165.0	114.9
12	34.6	168.8	117.3
14	41.3	173.3	120.0
16	48.3	178.9	122.3
18	55.7	187.3	124.8
20	63.5	199.6	128.2
22	71.6	216.8	125.0
24	80.2	241.5	113.3
26	89.2	258.9	94.9
28	98.8	264.8	103.4*
30	108.8	260.3	114.7*
32	11.95	185.8	125.5*

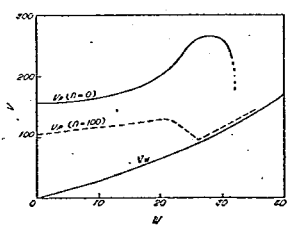
備考　* は飽和曲線に沿ふ値とす

Q は夫々の突固め回數に對應した間隙率減少の割合を示し，突固め率と名付ける．Q は q が一定ならば $n+n_0$ に逆比例し，n が大となれば n_0 を省略出來るから結局 n に逆比例する．卽ち土の突固めが進むにつれて間隙の減少は少なくなり，突固め難くなることを示して居る．

b) 土の含水膨脹　突固めを開始する前の試料の間隙率 ($p_n=0$ とす) は圖—5 より明かなる如く，含水率が增加するにつれ始めは極めて徐々に，漸次急激に增大し $w=30\%$ 附近に於て一旦最大に達し以後急激に低下して居る．

變化の模樣を土粒子の容積を 100 とし，間隙及び含水の量を容積比で表して見ると 表—9 及び 圖—8 の如くなり，間隙容積は $w=0$ に於て 156%，$w=28$ に於て最大に達し 265% となつて居る．

圖—8



これは砂に於て認められて居る含水膨脹の現象が土に於ても起ることを示して居る．この現象は土粒子の大さ，形狀，粒度及び表面の狀態等により支配されるものと考へられる．

c) 突固め係數 q の變化　突固め係數 q の含水率による變化は 圖—7 に示されたやうに，乾燥狀態より $w=20\%$ 附近迄は略一定して居るが，20% を過ぎる頃から急に增加し略直線的に上昇して，30% 附近に於て最大に達し以後は急激に低下して居る．

この q の變化は土の含む水分が2つの異なる狀態に在つて，土粒子相互の結合に別種の作用を及ぼして居るものと推定出來る．即ち含水量小なる時水分は土粒子の表面を覆つて薄い被膜となり，その見掛けの容積を增大せしめるが，土粒子相互の移動に對する抵抗は殆んど變化を受けない狀態に在る．然るに水量が或る限界を越えると水分の一部は土粒子から遊離した狀態となり，土粒子相互の接觸點を潤し移動に對する抵抗を弱め，恰も潤滑油の如き作用をなすものと考へられる．

q の變化は土粒子の性狀に支配され從つて土の物理的性質とも相關聯するであらうが，就中 q が一定の値より急增し始める點に對應する含水率 W_t は，土粒子の全表面積と密接な關係に在るものと類推されやう．

一般に突固めが進むと含水率が W_t より小なる時は，q が略一定で p_0 は含水率が減少すると共に減少するため，間隙率は含水率が W_t に近付く程大きくなり，又含水率が W_t より大なる時は q が急增するため，間隙率は減少するから，W_t に於て間隙率 p_n は最大となる（圖—5 參照）．

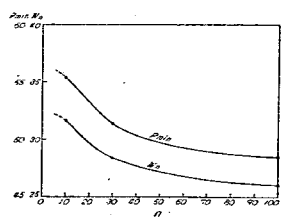
d) 最小間隙率　突固め回數を一定としたる時，含水率と間隙率との關係は，一般に含水率が 0 から增すと間隙率は一旦增加して最大に達して後再び低下して居る（圖—5）．故に最小間隙率は絕對乾燥か或ひは飽和點の何れかに於て得られる．今含水量相當大なる場合に就てのみ考へれば，夫々の突固め回數に對し最小間隙率を得るため，土に與ふべき含水量 W_n と得らるゝ最小間隙率 p_{min} とを求めることが出來る．圖—5 より之を求むれば 表—10 の値を得．

之を圖示すれば 圖—9 の如くなる．

表—10

突固め回數 (n)	土に與ふべき最適含水率 (W_n)	得らるゝ最小間隙率 (p_{min})
10	31.7	55.4
30	28.4	51.4
100	26.1	48.5

圖—9



IV. 貫入抵抗測定實驗

[1] 實驗結果

使用せる貫入測定機は貫入針の尖端角度 45 度，針に加はる重量は 550 gr であつて，針の尖端を試驗體の表面に接せしめたる位置より落下せしめ貫入深さを測定す．表—11 に示す結果は既述の突固め實驗より得たる試驗體の一部に就き3回づゝ測定せる値の平均を示す．

[2] 貫入抵抗の表示

土の貫入抵抗は貫入針の表面に一様に働らく反應力によつて生ずるものと簡單に假定して終ふと，針の尖端角度を θ 貫入深さを d とすれば，土と接觸してゐる貫入針の表面積 A は

$$A=\pi\frac{\sin\frac{\theta}{2}}{\cos^2\frac{\theta}{2}}d^2 \quad \cdots\cdots(a)$$

反應力 σ_r が垂直線となす角を α とすれば，針に加はる重量 W との釣合の條件から

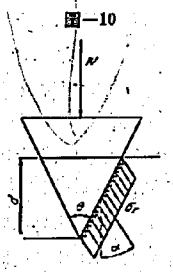
$$W=\sigma_r\cos\alpha\cdot A \quad \cdots\cdots(6)$$

之に式 (a) の A を代入し，σ_r を求むれば

$$\sigma_r=\frac{W}{\cos\alpha\frac{\sin\frac{\theta}{2}}{\cos^2\frac{\theta}{2}}\pi\frac{1}{d^2}} \quad \cdots\cdots(8)$$

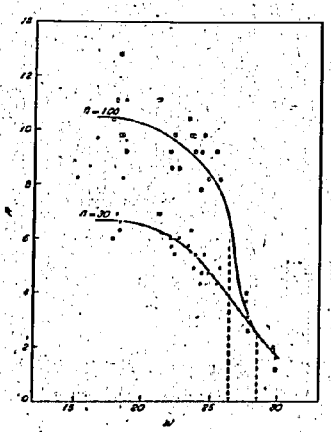
W, θ は一定，α は土の狀態により變化する値と考へられるが，假に略一定とすれば反應力 σ_r は貫入深さ d の2乘に逆比例することになる．よつて d を cm 單位で表はし $\frac{1}{d^2}$ を以て貫入抵抗 R を指示することとした（表—11）．

圖—10



圖—11 に示した通り 貫入抵抗は突固め 回數が增すと增大するが，含水率が增すと漸次急激に減少して行く．

圖—11



表—11

試驗番號	含水率 w	突固め回數 $n=30$ 貫入深さ cm	貫入抵抗 R	突固め回數 $n=100$ 貫入深さ cm	貫入抵抗 R
11	17.8	0.41	6.0	0.31	10.4
12	18.1	0.38	6.9	0.30	11.1
13	18.4	0.40	6.3	0.28	12.8
14	18.4	0.39	6.6	0.32	9.8
15	18.6	0.35	8.2	0.32	9.8
16	18.8	0.30	11.1	0.33	9.2
19	21.1	0.38	6.9	0.30	11.1
20	21.2	0.38	6.9	0.30	11.1
21	22.0	0.41	6.0	0.33	9.2
22	22.1	0.42	5.7	0.34	8.6
23	22.3	0.43	5.4	0.32	9.8
24	22.6	0.41	6.0	0.34	8.6
25	23.3	0.42	5.7	0.31	10.4
26	23.5	0.40	6.3	0.32	9.8
27	23.7	0.45	4.9	0.32	9.8
28	23.8	0.43	5.4	0.33	9.2
29	24.2	0.48	4.3	0.36	7.8
30	24.3	0.46	4.7	0.33	9.2
31	24.5	0.43	5.4	0.32	9.8
32	2.48	0.46	4.7	0.35	8.2
33	2.54	0.48	4.3	0.33	9.2
34	25.7	0.45	4.9	0.35	8.2
39	27.7	0.52	3.7	0.50	4.0
40	27.8	0.57	3.1	0.62	2.6
42	29.7	0.71	2.0	0.74	1.9
44	29.9	08.0	1.6	0.90	1.2

V. 力學的性質試驗—突固め效果の判定（其一）

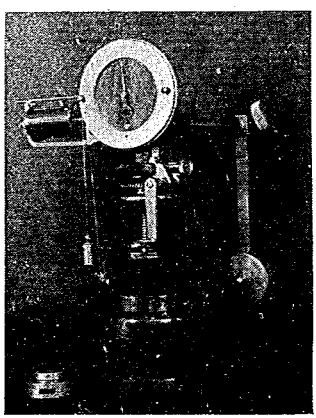
[1] 實驗結果

突固め效果の判定に對する一方法として，突固め仕事を一定としたる時土の壓縮强さ及び剪斷强さが含水率により如何に變化するかを研究した．

突固め回數 n を 100 とし，得らるゝ徑 10cm，厚約 4cm の圓壔體より邊長各 4cm の立方體を切取り，壓縮强さ及び上下壓 20 kg，50kg，80kg（加壓面積 4cm×4cm）に於ける剪斷强さを測定した．試驗機は最大荷重 100kg 土質用壓縮試驗機（寫眞—3）及び最大剪斷力 100kg 豆型剪斷抵抗測定機を使用し，試料は A_k，T_1，T_2，T_3，T_4 を用ひた．

壓縮試驗結果は 表—12 に，剪斷試驗結果は 表—13 に示す．

寫眞—3



表—12

試料記號	試料番號	試驗體 高さ(cm)	含水率(w)	間隙率(p)	壓縮强さ σ_c(kg/cm²)
A_k	1	4.00	17.8	53.6	1.24
	2	3·99	20.0	55.6	1.31
	3	3.89	20.0	54.9	1.28
	4	3.98	21.3	56.2	1.25
	5	4.01	22.2	54.1	1.06
	6	3.84	22.3	53.6	1.23
	7	3.84	22.6	54.5	1.25
	8	4.00	23.0	54.4	1.34
	9	4.05	23.6	50.4	1.28
	10	4.03	25.5	51.6	1.31
	11	4.05	25.6	52.0	1.28
	12	4.00	25.6	49.5	1.25
	13	4.00	25.9	49.7	1.13
	14	4.00	26.1	49.8	1.31
	15	4.00	26.9	51.5	0.78
T_1	1	4.01	17.4	54.7	1.59
	2	3.99	18.5	54.3	1.63
	3	4.00	20.5	53.8	17.2
	4	4.10	21.7	52.6	1.63
	5	4.01	23.1	50.6	1.69
	9	3.98	24.5	48.6	1.69
	7	4.09	25.3	49.8	1.22
	8	4.05	26.3	51.1	0.86
T_2	1	3.94	19.9	59.4	1.53
	2	3.98	20.9	59.7	1.33
	3	4.00	22.2	59.3	1.22
	4	4.04	23.7	58.7	1.62
	5	4.01	25.3	58.0	1.44
	6	3.98	26.1	57.0	1.38
	7	3.94	27.0	55.2	1.53
	8	3.99	28.6	54.4	1.34
	9	4.05	29.5	55.2	1.05
	10	4.00	30.8	56.9	0.75
T_3	1	3.97	19.8	58.3	1.39
	2	3.90	22.5	57.3	1.36
	3	3.99	24.2	55.5	1.55
	4	3.90	25.8	53.6	1.56
	5	3.90	27.1	53.1	1.63
	6	3.98	27.5	53.3	1.18
	7	3.83	27.5	52.5	1.47
	8	4.03	2·86	54.4	0.94
	9	4.05	2.90	55.0	0.97
	10	4.12	29.2	55.1	0.69
T_4	1	4.03	20.8	59.6	1.18
	2	4.10	21.7	59.9	1.03
	3	3.93	22.5	59.1	1.59
	4	4.09	22.6	59.5	1.20
	5	4.11	23.1	60.2	1.34
	6	4.12	24.4	58.4	1.20
	7	4.12	24.5	58.7	1.14
	8	4.12	24.9	58.4	1.23
	9	3.98	26.0	27.1	1.31
	10	3.92	27.0	55.2	1.47
	11	4.11	27.3	55.2	1.58
	12	3.90	28.3	53.8	1.46
	13	4.01	29.1	54.6	1.20
	14	3.99	29.3	54.7	1.09
	15	4.09	31.0	57.0	0.72

表—13

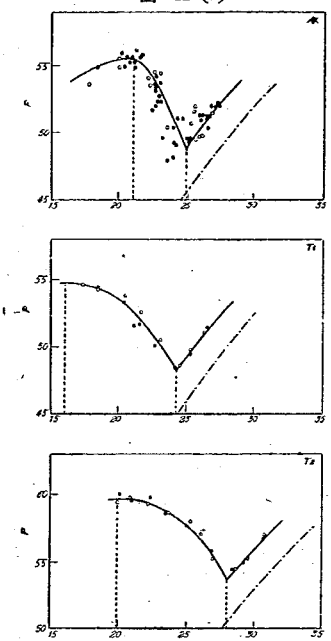
試料記號	上下壓 ν=1,250 (kg/cm²) 試驗番號	試驗體 含水率	試驗體 間隙率	剪斷强さ τ(kg/cm²)	ν=3,125 (kg/cm²) 試驗番號	試驗體 含水率	試驗體 間隙率	剪斷强さ τ(kg/cm²)	ν=5,000 (kg/cm²) 試驗番號	試驗體 含水率	試驗體 間隙率	剪斷强さ τ(kg/cm²)
A_k	1	20.0	55.7	1.66	16	20.2	55.6	2.22	33	18.4	54.9	2.84
	2	20.8	55.3	1.78	17	21.1	55.3	2.38	34	21.4	55.5	2.60
	3	21.0	55.7	1.75	18	21.2	55.5	2.34	35	21.6	55.7	2.81
	4	22.6	53.6	1.63	19	22.6	52.0	2.10	36	21.7	55.8	2.84
	5	22.7	54.3	1.43	20	22.7	53.3	2.06	37	22.9	52.8	2.55
	6	22.7	53.5	1.58	21	22.8	52.2	1.88	38	22.9	52.4	2.56
	7	24.0	53.7	1.33	22	23.2	49.6	2.23	39	23.0	52.4	2.57
	8	24.3	51.1	1.17	23	23.5	48.0	1.94	40	23.6	50.4	1.88
	9	24.3	51.1	1.16	24	24.0	53.2	1.80	41	24.1	54.2	2.19
	10	25.3	50.7	1.31	25	24.0	50.4	1.57	42	24.7	51.1	1.88
	11	25.3	49.6	1.19	26	24.2	49.1	1.72	43	25.0	49.6	1.86
	12	26.0	51.3	1.06	27	24.7	51.1	1.58	44	25.2	49.5	1.94
	13	26.1	51.3	0.75	28	26.4	51.2	1.52	45	26.1	51,0	2.33
	14	26.4	51.2	0.75	29	26.4	51.3	1.31	46	26.4	51.3	2.06
	15	27.2	52.0	0.86	30	26.5	50.3	1.44	47	26.5	51.3	1.97
					31	26.9	52.0	1.75	48	26.9	52.0	2.27
					32	27.4	52.0	1.41	49	27.3	52.1	2.28
T_1	1	18.5	54.4	2.29	8	18.5	54.4	2.82	15	20.5	53.8	3.10
	2	20.4	53.3	2.16	9	20.4	53.3	2.60	16	21.2	51.6	2.46
	3	21.6	51.7	1.88	10	21.6	51.7	2.18	17	23.1	50.5	2.24
	4	22.7	50.1	1.50	11	22.7	50.1	1.83	18	24.5	48.6	1.66
	5	24.2	48.5	1.16	12	24.2	48.5	1.42	19	25.3	49.8	1.34
	6	25.3	49.5	0.84	13	25.3	49.5	1.08	20	26.3	51.1	0·99
	7	26.5	51.4	0.59	14	26.5	51.4	0.75				
T_2	1	20.1	60.0	1.69	11	20.1	60.0	1.93	21	19.9	59.4	2.34
	2	21.0	59.6	1.73	12	21.0	59.6	2.03	22	20.9	59.7	2.30
	3	22.4	59.8	1.59	13	22.4	59.8	2.00	23	22.2	59.3	2.54
	4	23.5	58.6	1.42	14	23.5	58.6	1.89	24	23.7	58.7	2.53
	5	25.1	57.7	1.45	15	25.1	57.7	1.63	25	25.3	58.0	2.24
	6	26.1	57.0	1.22	16	26.1	57.0	1.48	26	26.1	57.0	1.95
	7	26.9	55.8	1.28	17	26.9	55.8	1.60	27	27.0	55.2	2.02
	8	28.4	54.4	1.06	18	28.4	54.4	1.31	28	28.6	54.4	1.52
	9	29.2	54.9	0.78	19	29.2	54.9	1.00	29	29.5	55.2	1.28
	10	30.7	56.7	0.55	20	30.7	56.7	0.78	30	30.8	56.9	1.09
T_3	1	22.2	57.2	1.68	7	22.3	57.4	2.32	15	22.3	57.5	2.88
	2	22.8	58.5	1.66	8	23.9	56.3	2.00	16	22.8	58.5	2.97
	3	23.9	56.3	1.68	9	26.4	54.7	1.66	17	23.9	56.7	2.38
	4	27.7	53.5	1.14	10	27.5	53.5	1.42	18	26.4	54.4	2.21
	5	28.2	54.2	0.82	11	27.7	53.5	1.49	19	27.5	53.5	2.02
	6	29.0	55.0	0.71	12	28.2	54.2	1.09	20	28.7	54.5	1.54
					13	28.7	54.5	1.03	21	29.0	55.1	1.25
					14	29.0	55.1	1.01				
T_4	1	22.3	58.7	1.94	8	22.4	59.1	2.44	17	22.4	59.2	3.12
	2	25.2	57.9	1.50	9	25.2	57.9	1.88	18	25.3	58.2	2.91
	3	27.7	55.6	1.28	10	25.4	59.0	1.81	19	25.4	59.0	2.53
	4	27.7	55.6	1.25	11	28.0	55.4	1.72	20	28.0	55.4	2.22
	5	28.8	54.5	1.00	12	28.4	54.1	1.50	21	28.4	54.1	1.84
	6	28.6	54.9	0.84	13	28.8	54.5	1.44	22	29.2	54.6	1.34
	7	30.9	56.5	0.59	14	29.2	54.6	1.22	23	29.3	54.8	1.25
					15	29.6	54.9	1.00	24	31.1	57.1	0.94
					15	30.9	56.5	0.80				

[2] 一定突固めに於ける間隙率と含水率との關係

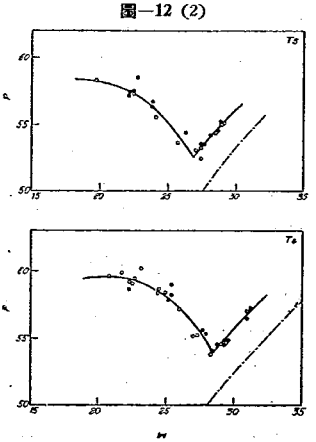
各の土に就き間隙率と含水率との關係を 表—12 及び 表—13 の結果より求むれば，圖—12 の如くなる．之よ

り最大間隙率 $p$max とそれに對應する含水率 W_t 及び 最小間隙率 $p$min とそれに對應する含水率 W_n を推定すれば，表—14 の値を得.

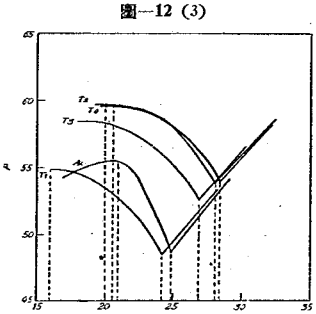
圖—12 (1)



圖—12 (2)



圖—12 (3)



表—14

試料記號	$p$max	W_t	$p$min	W_n
A_k	55.5	21.0	48.8	24.9
T_1	54.8	16.0	48.4	24.2
T_2	59.7	20.0	53.9	28.1
T_3	58.4	19.0	52.6	26.9
T_4	59.6	20.6	53.8	28.4

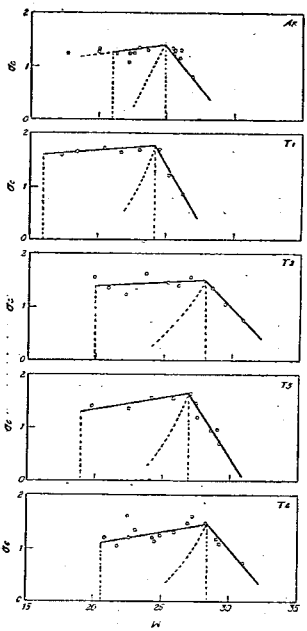
W_t の値は突固め係數 q が急激に增大し始める點の含水率に略一致することは前述せる通りである.

[3] 壓縮强さの變化

表—12 より壓縮强さの含水率による變化を圖示すれば圖—13 の如くなり，之を一括すれば 圖—14 を得. 何れの土に於ても最小間隙率に對應する含水率 W_n を境として，含水率 w が W_n より小なる場合（不飽和狀態）と w が W_n より大なる場合（飽和狀態）とに於て全く異なる變化を示し，W_n に於ける最大値を折點として，2本の直線的關係を認めることが出來る. 即ち壓縮强さ σ_c を

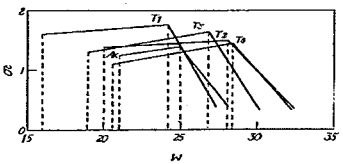
$$\left.\begin{aligned} w<W_n \text{（不飽和狀態）}\ \sigma_{c1}&=a_1+b_1w \\ w>W_n \text{（飽和狀態）}\ \sigma_{c2}&=a_2-b_2w \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (9)$$

圖—13



と置いて a_1, b_1 及び a_2, b_2 の値竝びに $w=W_n$ に於ける σ_c の値(σ_{cn})を求むれば表—15の如くなる、

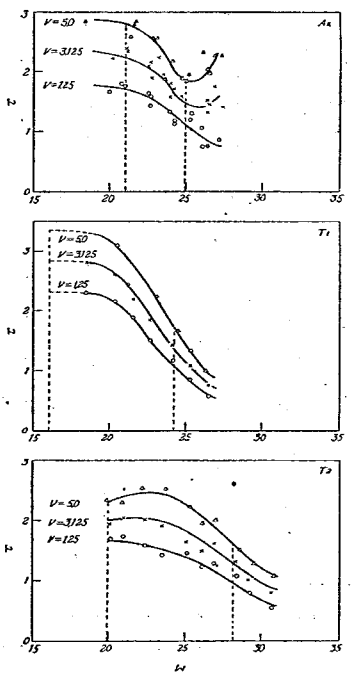
圖—14



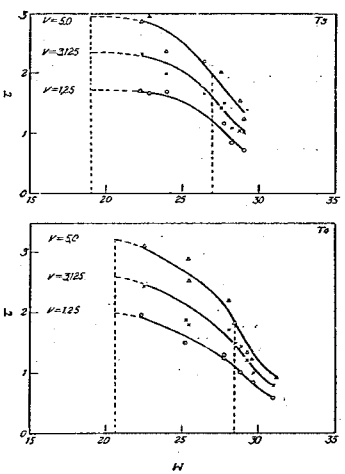
表—15

試料記號	$w<W_1$		$w>W_1$		$w=W_1$ に於ける $\sigma_c(\sigma_{cn})$
	a_1	b_1	a_2	b_2	
A_k	0.40	0.040	9.37	0.32	1.40
T_1	1.28	0.020	12.17	0.43	1.76
T_2	1.08	0.015	8.77	0.26	1.50
T_3	0.47	0.044	12.94	0.42	1.65
T_4	0.15	0.046	9.69	0.29	1.46

圖—15 (1)



圖—15 (2)



[4] 剪斷强さの變化

表—13 の結果を圖上に畫くと 圖—15 が得られる．一般に剪斷强さ τ は凝集力 C と上下壓應力 ν による摩擦力との 2 要素より成り，內部摩擦係數を tanφ とすると

$$\tau = C + \nu \cdot \tan\varphi \quad \cdots\cdots (10)$$

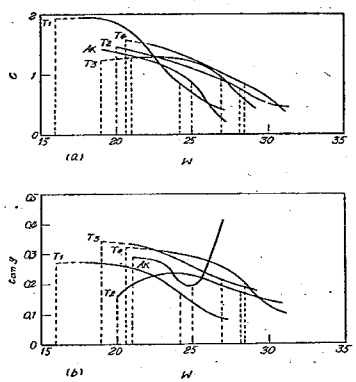
なる關係がある．

表—16

試料記號	含水率 w	C	tanφ	剪斷强さ τ (kg/cm²)		
				ν=1.25	ν=3.125	ν=5.0
A_k	20	1.40	0.291	1.76	2.31	2.85
	21	1.34	0.291	1.70	2.25	2.80
	22	1.27	0.286	1.63	2.16	2.70
	23	1.17	0.270	1.51	2.01	2.52
	24	1.05	0.214	1.32	1.72	2.12
	25	0.86	0.196	1.11	1.47	1.84
	26	0.57	0.265	0.90	1.40	1.90
	27	0.28	0.410	0.79	1.56	2.33
T_1	18	1.94	0.276	2.29	2.80	3.32
	19	1.94	0.272	2.28	2.79	3.30
	20	1.88	0.266	2.21	2.71	3.21
	21	1.70	0.252	2.02	2.49	2.96
	22	1.44	0.236	1.74	2.18	2.62
	23	1.13	0.211	1.39	1.79	2.19
	24	0.92	0.183	1.15	1.49	1.84
	25	0.72	0.147	0.90	1.18	1.46
	26	0.55	0.110	0.69	0.89	1.10
	27	0.41	0.091	0.52	0.70	0.87
T_2	20	1.47	0.165	1.68	1.99	2.30
	21	1.40	0.197	1.65	2.02	2.39
	22	1.34	0.221	1.62	2.03	2.45
	23	1.27	0.236	1.57	2.01	2.45
	24	1.20	0.240	1.50	1.95	2.40
	25	1.13	0.230	1.42	1.85	2.28
	26	1.04	0.213	1.31	1.71	2.11
	27	0.91	0.198	1.16	1.53	1.90
	28	0.77	0.181	1.00	1.34	1.68
	29	0.60	0.165	0.81	1.12	1.43
	30	0.50	0.148	0.69	0.96	1.24
	31	0.42	0.131	0.58	0.83	1.08
T_3	22	1.28	0.322	1.68	2.29	2.89
	23	1.29	0.306	1.67	2.25	2.82
	24	1.27	0.285	1.63	2.16	2.70
	25	1.23	0.260	1.56	2.04	2.53
	26	1.12	0.233	1.41	1.85	2.26
	27	0.94	0.210	1.20	1.60	1.99
	28	0.69	0.191	0.93	1.29	1.65
	29	0.48	0.175	0.70	1.03	1.36
T_4	22	1.52	0.322	1.92	2.53	3.13
	23	1.46	0.312	1.85	2.43	3.02
	24	1.35	0.304	1.73	2.30	2.89
	25	1.26	0.293	1.63	2.18	2.70
	26	1.15	0.275	1.49	2.01	2.53
	27	1.04	0.251	1.35	1.82	2.30
	28	0.93	0.221	1.21	1.62	2.04
	29	0.77	0.170	0.98	1.30	1.62
	30	0.60	0.127	0.76	1.00	1.24
	31	0.41	0.108	0.55	0.75	0.95

實驗結果より C 及び tanφ を求め 表—16 に揭げた．之を圖示すれば 圖—16 を得．

圖—16



$w = W_n$ に於ける C 及び tanφ の値を表示すれば 表—17 を得．

表—17

試料記號	$w = W_n$ に於ける	
	C_n	$\tan\varphi_n$
A_k	0.88	0.194
T_1	0.87	0.173
T_2	0.75	0.179
T_3	0.98	0.212
T_4	0.87	0.202

[5] 試驗結果に對する考察

a) 壓縮强さに對する考察　突固め仕事を一定としたる時，土の壓縮强さはその種類により少しく異なり，又含水率の影響も一樣でない．然し乍ら間隙率を一定と考へれば，壓縮强さは含水率の增加と共に減少し，飽和狀態

に達したる時最小となるべきを以て，壓縮强さの比較は凡て飽和狀態に於て，突固め經過と照合しつゝ行なはれなければならね．

$w<W_t$ に於て突固められたる試料はなほ吸水すれば壓縮强さを減少する．飽和後の壓縮强さを推定すれば圖—13 の破線を得る．

b) 剪斷强さに對する考察 凝集力 C 及び摩擦係數 $\tan\varphi$ は何れも含水率の增加に伴ひ逐次減少し，その減少の割合は $w=W_n$ 附近に於て最大となるやうである．たゞし A_k の $\tan\varphi$ は W_n を過ぎて急に上昇して居り，又 T_2 の $\tan\varphi$ は一旦上昇したる後低下を示しやゝ異なる．

然して飽和狀態と不飽和狀態との境界に於て別に不連續は認められない．これは剪斷强さが主として含水率の影響を多く受け，間隙率の變化は餘り關係がない事を示すことになる．

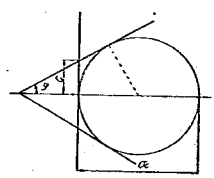
剪斷强さも又飽和狀態に於て最小となるから，壓縮强さと同樣に飽和狀態に於ける變化を突固め經過と照合しつゝ比較すべきである．

c) 壓縮强さと剪斷强さとの關係 土の立方體を壓縮する時は，破壞が一般に剪斷抵抗の最小なる面に沿つて起るものと考へ，理論上壓縮强さ σ_c と剪斷强さ（C 及び $\tan\varphi$）との間には次の如き關係が成立するものと考へられて居る（圖—17 參照）．

$$\sigma_c=\frac{2C\cos\varphi}{1-\sin\varphi} \quad \cdots\cdots(11)$$

然るに本實驗の結果より計算した値は著しく異なり，且その傾向も同じくない．即ち壓縮による破壞が理論の如き簡單な剪斷のみによつて起るものとは考へられない．

圖—17



d) 剪斷强さと突固め係數との關係 突固め實驗に於て求めた係數 q の値は含水率 w が W_t より大となれば漸次大となつて居るが（圖—7），これは恐らく剪斷强さが含水率の增加に伴ひ減少することと密接な關係に在るものと考へられる．

試料 A_k に就き夫々の含水率に於ける突固め係數 q と凝集力 C の値を求むれば，表—18 を得，q と C との關係を畫けば 圖—18 の如く略直線となる．即ち

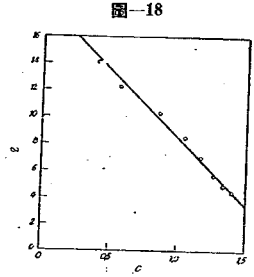
$$q=u-v\cdot C \quad \cdots\cdots(12)$$

とおいて u, v を求むれば，$u=18.5$, $v=10.0$ となる．

表—20

含水率 w	突固め係數 q	凝集力 C
20	4.44	1.40
21	4.94	1.34
22	5.72	1.27
23	7.03	1.17
24	8.50	1.05
25	10.30	0.86
26	12.24	0.57
27	14.12	0.41

圖—18



なほ貫入抵抗も亦剪斷强さの變化とその傾向に於て類似が認められる（圖—11 と圖—15 とを比較參照のこと）.

VI. 透水的性質試驗—突固め效果の判定（其二）

[1] 實驗結果

突固め回數を 100 とし，含水率を種々與へて間隙率の異なる試驗體數個を製作す.

試驗體は直ちに透水試驗機に水平に填充し，上方より下方に向ひて透水せしむ．水頭差を一定に保ち透水量が略一定に落付くを見計らひ，t 時間に於ける透水量 Q を測定する.

透水度 k は Darcy の法則により

$$k=\frac{Q}{iFt}\text{cm/sec} \qquad \cdots\cdots(13)$$

こゝに　Q：t 時間中の透水量 (cm^3)

i：水頭勾配$\left(=\frac{\text{水頭差}}{\text{試料厚}}\right)$

F：透水斷面積 (cm^2)

t：透水時間 (sec)

試料は N_a～N_d 及び T_1～T_4 の 8 種を用ひ，水頭差は N 類では 74 cm，T 類では 100cm に保ち，透水時間は 30 分 (1,800 秒) とした．又 T 類に就ては試驗終了後に試驗體の一部を採りその含水量を測定した.

試驗結果は 表—21 に示す．N_d は透水中試驗體の一部が破壞し，水を放流したものが多く充分な結果が得られなかつた.

表—21　(其一)

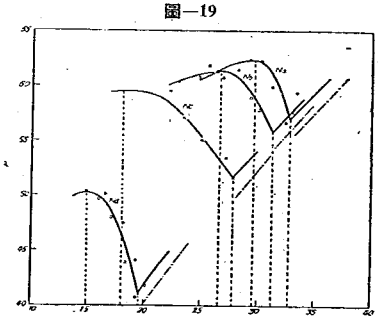
試料記號	試驗番號	試驗體 厚	含水率	間隙率	透水度 k (cm/sec)
N_a	1	5.71	26.3	61.3	62.4×10^{-5}
	2	5.92	29.2	62.4	133× 〃
	3	5.92	30.2	62.3	134× 〃
	4	5.12	32.4	56.7	0
	5	5.31	33.4	59.4	1.70×10^{-5}
N_b	1	6.40	22.9	60.4	59.1×10^{-5}
	2	6.25	24.7	60.8	59.3× 〃
	3	6.55	25.6	61.9	35.0× 〃
	4	6.35	26.8	60.8	40.2× 〃
	5	6.21	28.1	61.5	27.8× 〃
	6	5.84	29.3	59.0	15.4× 〃
	7	5.42	30.0	57.9	28.6× 〃
	8	5.74	31.2	60.0	10.6× 〃
	9	5.13	33.0	57.7	0
N_c	1	6.15	22.2	59.5	97.9×10^{-6}
	2	5.75	23.4	57.1	47.0× 〃
	3	5.38	25.0	55.1	15.6× 〃
	4	5.05	27.1	53.5	46.6× 〃
	5	4.80	27.8	51.6	0
N_d	1	6.44	14.9	50.3	×
	2	6.35	16.0	49.7	×
	3	6.35	16.5	50.1	27.70×10^{-5}
	4	6.09	17.1	48.0	×
	5	5.92	18.2	47.5	×
	6	5.73	18.4	43.9	21.2×10^{-6}
	7	5.49	19.3	44.1	0
	8	5.15	19.3	40.7	0
	9	5.19	20.2	41.8	0

×……透水中破壞放流したるものとす.

[2] 一定突固めに於ける含水率と間隙率との關係

試驗結果より　N 類の含水率と間隙率との關係を圖—19 に書き，之より最大及び最小の間隙率 $p$max, $p$min 及びそれ等に對應する含水率 W_1, W_n を推定

圖—19



表—21 (其二)

試料記號	試驗番號	試驗體 厚 (cm)	含水率 (%)	間隙率 (%)	試驗後含水率(%)	透水度 k (cm/sec)
T_1	1	4.74	17.4	54.6		87.9×10^{-6}
	2	4.69	18.4	54.9		51.4 〃
	3	4.71	18.7	55.8		56.9 〃
	4	4.51	19.2	55.1		52.6 〃
	5	4.50	20.2	55.9	28.9	6.2 〃
	6	4.59	20.6	52.1	30.4	11.2 〃
	7	4.04	22.7	50.1	26.0	3.9 〃
	8	4.11	24.9	48.8	27.4	0
T_2	1	4.48	19.0	59.5	36.5	52.6×10^{-6}
	2	4.51	20.9	59.9	36.7	53.9 〃
	3	5.81	21.5	59.5	34.0	25.2 〃
	4	4.67	22.8	59.2	33.6	18.2 〃
	5	4.53	23.8	57.5	32.8	12.4 〃
	6	4.41	25.7	56.5	31.5	3.5 〃
	7	4.05	27.0	53.5	28.5	0
T_3	1	4.50	18.7	58.8		75.4×10^{-6}
	2	4.59	21.0	58.3	33.6	69.6 〃
	3	4.62	21.9	57.6	34.7	51.4 〃
	4	4.48	23.7	55.3		0
	5	4.11	24.8	54.8	29.1	0
	6	4.41	26.6	53.2	29.3	0
	7	4.10	28.9	55.0	29.6	0
T_4	1	4.44	21.8	58.7	33.7	47.8×10^{-6}
	2	4.50	22.2	59.9	34.3	43.9 〃
	3	4.33	24.5	59.0	35.5	83.1 〃
	4	4.48	25.4	58.1	33.1	65.8 〃
	5	4.51	25.5	57.9	34.3	0
	6	4.53	26.7	56.4	31.7	22.1×10^{-6}
	7	4.10	28.2	54.0	30.3	0

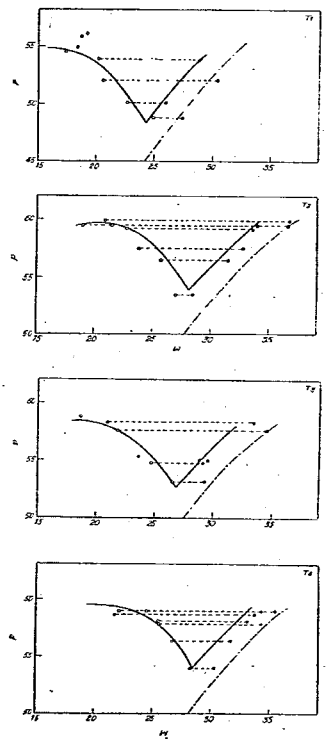
表—22

試料記號	$p$max	W_t	$p$min	W_n
N_a	62.4	29.6	57.0	3.28
N_b	61.4	26.6	55.8	31.3
N_c	59.5	18.0	51.6	27.8
N_d	50.2	15.0	41.2	19.6

すれば，表—21 の値を得.

T 類に就ては表—21 の結果と力學的性質試驗の際得た含水率—間隙率曲線とを竝記して參考とした (圖—20). なほ試驗終了後の含水率を間隙率に變化なきものと假定したまゝ圖—20 中に黑點を以て示した.

圖—20



[3] 透水中に於ける試驗體の變化

試驗體に水頭壓を加へ透水せしむると，透水量は最初の中やや大きく漸次減少して，數時間後には略一定量に落付くやうであるが，その間に試驗體が膨脹或ひは收縮する等の變化を受けはせぬかとの恐れがある. 例へば N_d の如き試料に於ては屢々破壞を來して居るのである. その原因は複雜に違ひないが，容積の變化もその一因となり得ると考へられるから，之を確める目的で T 類に就て透水後の含水率を測定して見た處，圖—20 の黑點の位置が示す樣に，大體含水飽和に近い狀態に在るものの如く，著しき間隙率の增大の如き現象は先づ認められないやうである.

[4] 透水度と間隙率との關係 (土粒子の間隙を流れる水の理論的考察)

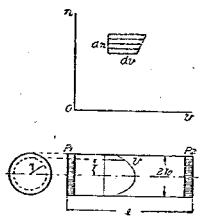
a) **細管中の流れに關する理論*** 徑の極めて小なる細管中を水が流れる場合は，整流をなし單位接面に作用する抵抗は

$$\tau=-\eta\frac{dv}{dn}$$

η：粘性係數

細管の摩擦抵抗 F は

圖—21



$$F=\tau\times(\text{圓壁面の面積})$$

$$=-\eta\frac{dv}{dr}\cdot 2\pi rl$$

等速運動をなすものとすれば

$$\pi r^2(P_1-P_2)-\left(-2\pi rl\eta\frac{dv}{dr}\right)=0$$

$$\therefore\quad \frac{dv}{dr}=-\frac{r}{2\eta}\cdot\frac{P_1-P_2}{l}$$

$$v=-\frac{1}{4\eta}\cdot\frac{P_1-P_2}{l}r^2+C'$$

$r=r_0$ に於て $v_0=0$ なるを以て

$$v_0=-\frac{1}{4\eta}\frac{P_1-P_2}{l}r_0^2+C'=0\quad\therefore\quad C'=\frac{P_1-P_2}{4\eta l}r_0^2$$

$$\therefore\quad v=\frac{1}{4\eta}\frac{P_1-P_2}{l}(r_0^2-r^2)$$

流量 q は

$$q=\int_{r=0}^{r=r_0}dq=\int_0^{r_0}2\pi rd\cdot r\,\frac{1}{4\eta}\frac{P_1-P_2}{l}(r_0^2-r^2)=\frac{\pi}{8\eta}\frac{P_1-P_2}{l}r_0^4$$

$2r_0=D$ とおけば

$$q=\frac{\pi}{128\eta}\frac{P_1-P_2}{l}D^4$$

平均流速 v_m は

$$v_m=\frac{Q}{F}=\frac{Q}{\pi r_0^2}$$

$$=\frac{1}{8\eta}\cdot\frac{P_1-P_2}{l}\cdot r_0^2=\frac{1}{32\eta}\frac{P_1-P_2}{l}\cdot D^2$$

今外壓を水頭にて表はし $P_1=w_0H$，$P_2=w_0H_2$ とすれば

$$P_1-P_2=w_0(H_1-H_2)=w_0h$$

故に水頭勾配 $\frac{h}{l}=i$ とすれば

$$q=\frac{\pi}{128\eta}w_0D^4i\qquad\cdots\cdots(14)$$

$$v_m=\frac{w_0}{32\eta}D^2i\qquad\cdots\cdots(15)$$

---

* 物部長穂著：水理學 60 頁

b) **土粒子の間隙を流れる水** 一般に土粒子の間隙を流れる水流は，流速小さく整流をなすものと考へて良い．今間隙の一部 $p-p_c$ が平均直経 D なる細管 n 箇より成る透水路を形成して居るものと假定すれば，

$$n\frac{\pi}{4}D^2=\frac{p-p_c}{100}$$

$$\therefore\quad D^2=\frac{4}{100\pi n}(p-p_c)$$

$\delta=\frac{1}{5\sqrt{\pi n}}$ とおけば

$$D=\delta\sqrt{p-p_c} \qquad \cdots\cdots(16)$$

然して流量は (14) を利用して

$$Q=n\cdot qft$$

$$=n\times\frac{\pi}{128\eta}w_0D^4ift$$

$$=\frac{w_0}{80000\pi\eta n}(p-p_c)^2ift$$

$a=\frac{w_0}{80000\pi\eta n}$ とおけば

$$Q=a(p-p_c)^2ift \qquad \cdots\cdots(17)$$

然るに Darcy の法則は

$$Q=kift \qquad \cdots\cdots(18)$$

であるから (17) と (18) から

$$k=a(p-p_c)^2 \qquad \cdots\cdots(19)$$

即ち透水度と間隙率との關係を得た．

今 $\eta\fallingdotseq0.0114$ (15°C)，$w_0=981$ dyne (=1gr) とおけば

$$a=\frac{w_0}{80000\pi\eta n}=\frac{981}{800000\times3.14\times0.0114}\cdot\frac{1}{n}$$

$$=0.342\frac{1}{n}$$

$$\therefore\quad n=\frac{0.342}{a} \qquad \cdots\cdots(20)$$

又 $\delta=\frac{1}{5\sqrt{\pi n}}$

$$\therefore\quad \delta=0.193\sqrt{a} \qquad \cdots\cdots(21)$$

[5] 透水常數の決定

[4] の考察により透水度と間隙率 p との間に次の關係式を得た．

$$k=a(p-p_c)^2 \qquad \cdots\cdots(19)$$

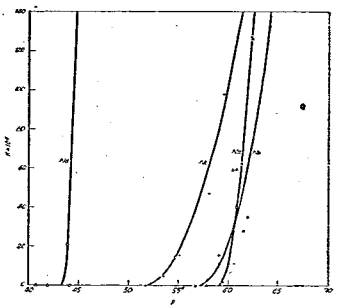
式中の a は間隙率の增加に伴ふ透水度增加の割合を，p_c は透水度を零ならしむる限界間隙率を示すものであつて，何れも土に與へられた常數と考へられる．a は透水係數と名付ける．

表—21 から間隙率と透水度との關係を畫けば 圖—22 の如くなり，余り規則正しくないが上式 (19) の關係を適用して，常數 a 及び p_c を求むれば大凡 表—22 の値を得る．

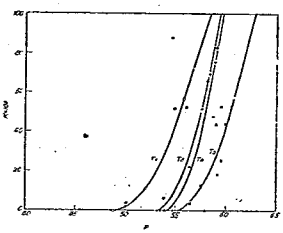
表—22

試料記號	a	p_c
N_a	12.3×10^{-6}	59.0
N_b	$2.60\times$ 〃	57.0
N_c	$1.48\times$ 〃	51.6
N_d	$5.95\times$ 〃	43.3
T_1	$1.2\times$ 〃	49.0
T_2	$1.7\times$ 〃	55.0
T_3	$2.5\times$ 〃	53.0
T_4	$3.2\times$ 〃	54.0

圖—22 (1)



圖—22 (2)



[6] 實驗結果に對する考察

a) **透水度と間隙率との關係**　土の透水はその間隙率が或る値を超へると始まり，以後間隙率の增加に伴ひ漸次增大することが認められるが，その間に存する關係に就ては未だ明かでない點が多く，恐らくは土質によつて夫々異なるのではないかと考へられる．

獨斷に近いやうな種々の假定の下に透水度と間隙率との關係式を導き實驗結果を整理したが，その一致は案外良好のやうであつて近似的には充分役立つものの如くである．

b) **限界間隙率**　式 (14) に於て $p=p_c$ の時 $k=0$ となる．卽ち p_c は透水度を零ならしむる限界に於ける間隙率であつて間隙率 p_c を以下に下げる時完全防水層が得られることを示す．

p_c を突固め回數 $n=100$ に於ける最少間隙率 $p$min と比較すれば表—23 の如く，兩者の値は極めて良く近似し，差 (p_c-pmin) を求むれば何れも正となり，防水層の得らるゝ事を示す．從つて限界間隙率 p_c の代りに $p$min を用ふるも，その差は極めて僅かにして且安全側に在る．卽ち

$$p_c \fallingdotseq p\text{min}\ (n=100) \quad \cdots\cdots\cdots(22)$$

とおくことを得よう．

表—23

試料記號	限界間隙率 (p_c)	最小間隙率 ($p$min)	(p_c-pmin)
N_a	59.0	57.0	2.0
N_b	57.0	55.8	0.2
N_c	51.6	51.6	0
N_d	43.3	41.2	2.1
T_1	49.0	48.4	0.6
T_2	55.0	53.8	1.2
T_3	53.0	52.6	0.4
T_4	54.0	52.8	0.2

c) **透水係數**　透水係數 a は土の間隙率が限界の値を越えた時透水度の增加割合を示す値であるが，土の間隙率を限界以內に下げ完全な不透水層を作ることが出來ない場合に於ても，透水量が出來得る限り小さい方が望ましいから，aの値は小なるものを有利とする．N_a は極めて大きく N_a之に次ぎやゝ大きいが，其他の土では大約 1×10^{-6}〜3×10^{-6} の範圍に在つて大差がない．

VII. 突固めに對する土の特性と物理的性質との關係

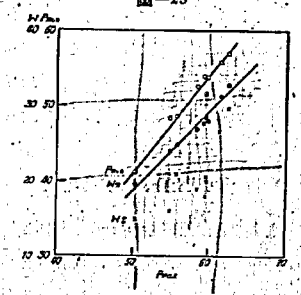
[1] 土の突固め特性

土を同一回數突固むる時得らるゝ間隙率は土の種類によつて著しく異なるのみならず，又同一種類の土に於ても含水率によつて異なる．これを土の突固め特性と考へ，$n=100$ に於ける最大及び最小の間隙率並びにそれ等に對應する含水率を以て之を表示すれば表—24 の如し．表中括弧内の數字は數値の小なるものよりの順位を示す．

表—24

試料記號	$p$max	W_1	$p$min	W_n
N_b	55.6 (3)	21.0 (7)	48.6 (3)	24.9 (3)
T_1	54.8 (2)	16.0 (2)	48.4 (2)	24.2 (2)
T_2	59.7 (7)	20.0 (5)	53.8 (6)	28.1 (6)
T_3	58.4 (4)	19.0 (4)	52.6 (5)	26.9 (4)
T_4	59.6 (6)	20.6 (6)	53.8 (7)	28.4 (7)
N_a	62.4 (9)	29.6 (9)	57.0 (9)	32.8 (9)
N_0	61.4 (8)	26.6 (8)	55.8 (8)	31.3 (8)
N_c	59.5 (5)	18.0 (3)	51.6 (4)	27.8 (5)
N_d	50.2 (1)	15.0 (1)	41.2 (1)	19.6 (1)

圖—23



表の値を $p$max を横軸に取つて圖示した圖—23から分る樣に，p_n と W_n は $p$max と略比例的關係に在つて，W_1 のみが異なるから，土の突固め特性を $p$max 及び W_1 によつて代表せしめ得．

[2] 土の突固め特性と物理性質との關係

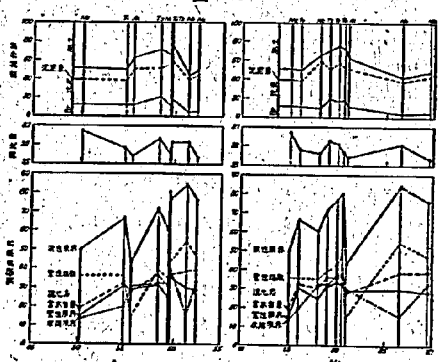
土の突固め特性を指示する數値として $p$max 若くは W_1 を採り，物理的性質との關係を比較のため圖示すれば，圖—24 (a) 及び (b) の如くなる．これだけの僅かな資料から，兩者の關係を論ずるわけに行かないから結果に就ての說明だけをする．

a) **機械分析**　$p$max 又は W_1 が大となるに伴ひ，砂及び沈泥の含有量は一旦增加し再び減少する傾向を示して居る．恐らく土の突固め特性は土粒子の配合狀態のみでは決まらないであらう．

b) **眞比重**　眞比重は土粒子の化學的成分及び風化の程度などにより支配され，突固め作用に及ぼす影響はやゝ間接的と考へられるが，結果も亦著しい傾向は示して居ない．

c) **遠心力含水當量**　土の遠心力含水方量は透水性と密接な關係が在ることは豫想せられる處であるが，土の突固め特性も又透水性とは明かな關聯を示す．即ち，$n=100$ に於ける $p$min と限界間隙率 p_c とは略等しく，$p$max と $p$min はその變化の傾向を等しくするから，$p$max と遠心力含

圖—24



(a)　(b)

水當量との間にも又或程度の關係がなければならぬ．結果から見ると $p$max が增すと遠心力含水當量も又大となる傾向が明かに認められる．W_l と遠心力含水當量との關係は整然として居らない．

d) アツターベルグ軟硬度限界

1) 收縮限界　$p$max とも W_l とも一樣な傾向は認め難い．たゝ機械分析の變化と對照する時著しい類似を見出すことは興味深い．

2) 液性限界　明かな傾向は認め難い．たゝ $p$max が大となれば液性限界も一般に大きくなるやうでもある．こゝで遠心力含水當量の變化と比較するとその增減の傾向が同じく，程度に於て著しく擴大されて居るやうに見へる．

3) 塑性限界　餘り顯著な變化が認められぬ．液性限界の變化と僅かながら類似が認められぬこともない．

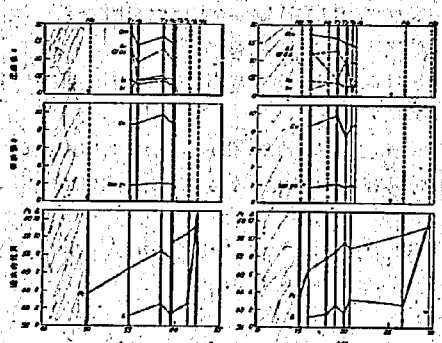
4) 塑性指數　液性限界と塑性限界との差で與へられるこの指數は，塑性限界の變化が著しくないため，主に液性限界の變化によつて左右され，大約その變化と傾向を同じくする．

上述せる如く土の突固め特性と物理的諸性質との間には，相當顯著な關係が存在する如く認めらるゝものもあつて，物理的性質から或程度迄突固め特性を豫想することも可能性が無いとは云へないが，尙今後の研究に俟つて明かにさるべき點が多い．

VIII. 突固めに對する土の特性と突固め效果との關係

土の突固め特性を指示する數値 $p$max 及び W_l に對する突固め效果，即ち突固めにより得らるゝ壓縮强さ，剪斷强さ及び透水的性質の諸數値の變化を一括して圖示すれば，圖—25 (a) 及び (b) の如し．これより直ちに結論を下すことは出來ない故，結果に就きやゝ著しき傾向を示す點に就てのみ述べる．

圖—25



(a)　(b)

(1) 壓縮强さ　最小間隙率 $p$min 及び含水率 W_n に對應する壓縮强さ σ_{cn} は W_l の增加に伴ひ減少の傾向を示す．飽和狀態に於ける σ_c の値を與へる a_2, b_2 にもやゝその傾向が認められるが，不飽和狀態に對する a_1, b_1 は著しく變動する．

(2) 剪斷强さ　$p$min に於ける剪斷强さを表示する C_n 及び $\tan\varphi_n$ の値は何れも明かな傾向を示して居らぬ．たゝ兩者を比較するとその增減の傾向に類似が認められるやうである．

(3) 透水的性質　k_c は $p$min と略一致するから，$p$max とも大凡一定の關係を保つて居る．又 W_l ともや整然たる關係を示し W_l の增加に伴ひ增加して居る．

a は N_d (a=59.5 にして圖中に示さず) を除外して考へると，$p$max 又は W_l が大となるに從つて大となるもの、如くであるが確かな事は云へない．

以上を要するに，土の突固め特性と突固め效果を表示する工學的諸性質とは充分明瞭な相關々係に立つものと認めらるゝまでに至らぬから，夫々の性質を支配する因子に就きなほ進んで研究を重ね，その結果を綜合するこ

とに依つて，始めて兩者の關係を明かにし得るものと信ずる．

IX. 結　　言

上述せる所を要約して述ぶれば次の如し．

(1) 突固めによる土の間隙率の減少は突固め回數の對數に比例す．又或る含水率以下では略一定の突固め係數が與へらるゝも，其以上では急に增大する．然し乍ら含水量の增加に伴ひ間隙の飽和點が高まり，最小間隙率は大となる．突固め開始前の土は含水量の增加に伴ひ容積を增大す．

(2) 夫々の突固め回數に於ける含水率による間隙率の變化は最大と最小の値を經過し，其等に對應する含水率が與へられる．卽ち土の間隙率を最小ならしむるには突固め回數に應じて異なる最適の含水率が與へられなければならぬ．

(3) 同一回數突固むる時得らるゝ間隙率は土の種類によつて相違す．之を土の突固め特性と稱し，最大の間隙率及び之に對應する含水率により表示することを得．

(4) 同一突固め回數に於ける壓縮强さは飽和狀態と不飽和狀態に於てその變化の傾向を異にし，最小間隙率に於て最大値を採り，含水率の變化に應じ直線的に增減す．

(5) 同一突固め回數に於ける剪斷强さは飽和，不飽和の兩狀態を通じ含水率の增加に伴ひ低下の傾向を示し，兩狀態の境界に於ける不連續は認められぬ．

(6) 從つて壓縮强さと剪斷强さとはその變化の傾向を全然異にし，兩者の間に理論上考へられるやうな關係は成立しない．

(7) 突固め係數は剪斷强さと密接な關係に在るものと推定される．

(8) 土の透水性は間隙率により著しく影響せられ，間隙率が一定の限界値を越せば，略その增加の六乘に比例して增大す．然して透水を零ならしむる限界間隙率と，突固め回數を 100 としたる時の最小間隙率とは何れの土に於ても略一致する結果を得た．

(9) 土の突固め特性と物理的性質との關係は相當顯著な傾向を示すものも在るが，なほ今後の研究に俟たねばならぬ．

(10) 土の突固め特性と突固め效果を表示する力學的性質及び透水的性質との關係は，透水的性質が (8) に述べたやうな極めて顯著な關係を與へる以外はなほ明かでない．

附記　本實驗に就ては主に元雇技手澤桑次郎君並びに雇山內正吾君の手を煩した．