沼津省建築局
第ニミミ號

土木試驗所報告

第四十一號

利根川河口の防波堤，導流堤，航路浚渫及砂洲の消長に關する模型試驗… 內務技師 松尾春雄… 1

普通，早强，中庸熱，珪酸質混合セメント及高爐セメントに關する比較試驗(第1報)…… 內務技手 川畑健雄 齋藤仲男… 83

自動車の速度に及ぼす車線幅の影響に關する實驗，竝に之に基く鋪裝幅員の決定に就いて…… 內務技師 金子柾…115

河川工事用藁繩の强度竝に耐久性に關する試驗…… 內務技師 青木楠男 內務技手 鈴木倫虎…127

昭和十三年五月

內務省土木試驗所

建設省沼津支所図書
分類 II-K 番号 1-33

土木試驗所報告第四十一號正誤表

頁	行	誤	正
13	下カラ　9行目	圖—6	圖—17
15	〃　7行目	干面潮	干潮面
21	〃　6行目	龜岩附近	龜島附近
22	上カラ　6行目	VI 章　1	VI 章 [1]
23	〃　〃	圖—18	圖—29
25, 27	圖—36, 40		圖のみ入換へ
29	下カラ　2行目	圖—47	圖—44
31	〃　10行目	I に掲げた	II に掲げた
〃	〃　2行目	とし波崎地先	と波崎地先
39	上カラ　5行目	本文 I	本文II
40	下カラ　8行目	流水樋	溢水樋
45	圖—67 ネーム	導波堤	導流堤
46	下カラ 7 行, 括弧內	T—26, 12, 27	T—26, 27
49	表—6 **)	流速	流量
56	上カラ　4行目	流されるか	流されるが,
58	〃　9行目	効がないと.	効がないと思ふ.
86	上カラ　9行目	1924年	1824年
90	表—3，苦土ノ下	HgO	MgO
92	表—5	No. 12 b	No. 12 f
92	表—5 下カラ 4 枠目	64.0, 13.0, 10.1, 7.1 2.8	60.9, 16.3, 9.4, 8.4, 2.7
92, 111	表—5, 表—16 早强ポルトランドセメント平均値	60.5, 16.4, 8.8, 7.1	60.0, 16,9, 8.7, 9.3,
93	表—6	No. 6 b	No. 6 d
97, 100	表—7, 10	引　脹	引　張
105	下カラ　5行目	IV 章 (4)	V 章 表—11
107	〃　11行目	水渭溫度	水槽溫度
108	表—15	No. 25 d, No. 26 f	No. 25 f, No. 26 d

利根川河口の防波堤，導流堤，航路浚渫及砂洲の消長に關する模型試驗

內務技師　松　尾　春　雄

目　次

I. 概　要……（1）
II. 現場に於ける調査……（3）
［1］ 利根川下流平水時に於ける狀況……（3）
［2］ 平水時に於ける實測の結果……（5）
［3］ 洪水時に於ける實測結果……（11）
［4］ 氣象狀況及砂洲の消長……（14）
III. 小型模型試驗……（19）
［1］ 模型，試驗方法及試驗の種類……（19）
［2］ 現在の狀態及沖明神撤去の狀態による試驗……（21）
［3］ 導流堤及防波堤の影響……（26）
［4］ 現地測量と比較する爲の試驗……（31）
IV. 大型模型流況試驗……（32）
［1］ 模型，試驗方法及試驗の種類……（33）
［2］ 現在の狀態及沖明神撤去の狀態による試驗結果……（35）
［3］ 導流堤及防波堤の影響……（37）
［4］ 現地測量との比較試驗……（39）
V. 砂洲の消長に關する試驗……（42）
［1］ 模型及試驗方法及試驗の種類……（42）
［2］ 導流堤，防波堤及海堤の影響……（45）
VI. 試驗結果の綜合……（47）
［1］ 相似關係及試驗結果の解釋……（47）
［2］ 導流堤……（52）
［3］ 防波堤……（58）
［4］ 航路浚渫，暗礁撤去並びに河堤及海堤の影響……（59）

本試驗は內務省東京土木出張所及千葉縣銚子港修築事務所の依頼により行つたものであつて，模型試驗の中，小型は昭和 11 年 3 月～11 月の間に行ひ，主として岸田史雄，山內正吾之に從事し，大型の中，砂洲の消長に關するものは 11 年 8 月より12 年 1 月の間，大型の流況に關するものは 12 年 2月より 8 月の間に主として柄澤技手，松岡庄一，大門美代三之に從事した．

試驗の資料は內務省東京土木出張所及千葉縣銚子港修築事務所より提供を受け，現地に於ける流速測定には八木技手外上記諸君が之に從事した．

I. 概　要

この報告は千葉縣銚子漁港修築工事に伴ふ利根川河口の狀態の變化が川の流況及附近の砂の移動に及ぼす影響等に就て試驗を行つた報告である．

卽ち河口附近の暗礁の撤去，防波堤及導流堤の築造等に伴ふ流況の變化，河の水位の變化及河口附近の砂洲の移動狀態の變化等に就て模型試驗を行ひ，その結果及現地に於て種々調査した結果を參考として，之等の影響を考究したものである．

試驗は次の如く2種類のす法の異つた模型に就て行つたのであるが，その順序は初めに小型模型によつて主として河の流況に關する試驗を，次に大型模型によつて同樣の試驗を反覆し，又同じ大型模型によつて砂の移動に關する試驗を行つたのである．卽ち模型は左表の2種類であつて，赤羽分所內の鋼製水路及工法試驗樋に於て行つた．

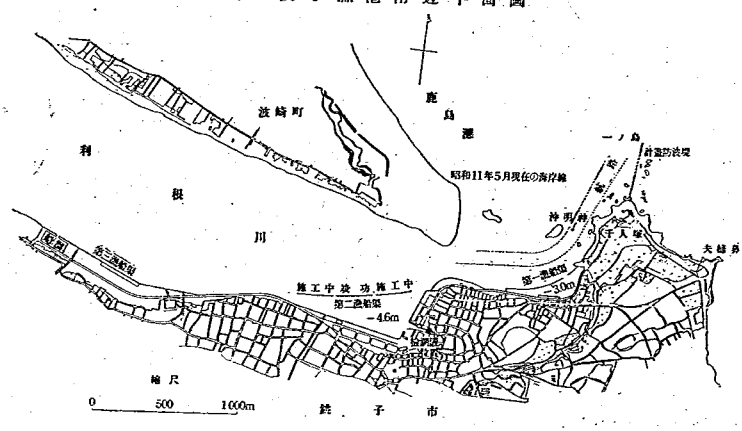
模型の平面の大きさ	縮尺	
	平面	鉛直
小型模型　80×204cm	1/2000	1/100
大型模型　400×750cm	1/600	1/60

地形は主として試驗開始當時の昭和 11 年 5 月の測量によつた．

銚子漁港修築計畫　同港の修築は大正 9～11 年の調査及設計に始まり種々の曲折を經て大正 14 年度より工費 950 萬圓，工期 12箇年の豫定を以て約半額國庫補助の漁港として工事を開始された．是は同港を太平洋漁業の重要なる一中心たらしめる計畫の下に，始めは河口東方に外海に突出した防波堤によつて抱擁面積 13 萬坪 (42.9 ha) の外港を設け，以て漁船出入の安全を圖り外港々奥に接續し，內港に通ずる中港卽運河を設け漁港通航の安穩を期し，その終點に內港卽ち第一，第二漁船渠及河川渠を設け漁船の繫泊，荷役等に資する案であつたが，種々の事情の爲結局圖—1 に示す現在の計畫に落着したのである．

之に依れば利根川右岸の凹部を劃する海堤を築きその中を船溜りとし，その第1，第2漁

圖—1 銚 子 漁 港 附 近 平 面 圖



船渠は夫〻水深 3 及 4.6 m とすべく，第 3 漁船渠は之等よりも小なる船を繫留せしめる樣設備し，之に伴つて航路の浚渫及護岸，陸上設備の築造を行ふ計畫で，總豫算 598 萬圓を以て昭和 13 年度に竣工の豫定を以て目下着々工事進捗中である．現在までの處工事は航路の浚渫の外に第 1 漁船渠の護岸及海堤は竣工して既に利用されつゝあり，第 2 漁船渠の河堤は約 $\frac{1}{2}$ の工程を終へ，第 3 漁船渠の護岸等も略〻同じ程度に進捗してゐる．

試驗の目的　同港修築計畫の中本試驗開始までに未だ全く決定を見るに至らなかつたものは，港の入口附近の航路を掩護する爲の防波堤の位置及構造，航路中にある岩礁撤去に就て殘された問題竝びに對岸波崎側に航路の靜穩，水深維持と砂洲の移動防止の目的を以て築造せんとする導流堤に關する問題等であつて，此等が河の流れ及砂の移動に如何に影響するかに就て行つたものである．

II. 現場に於ける調査

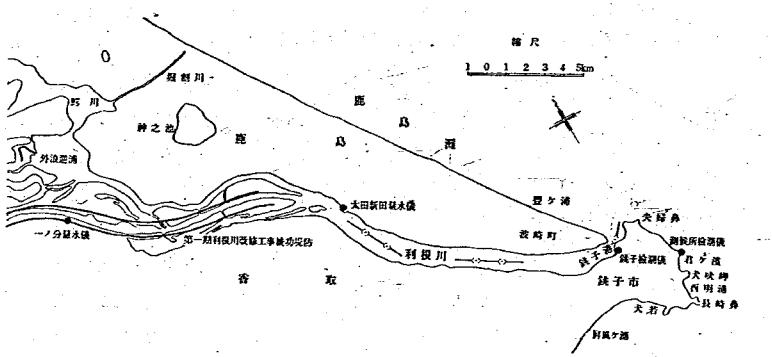
利根川改修工事に伴ふ調査及銚子漁港修築工事の開始に先だち，大正 11 年に可なり詳細に行はれた調査，この試驗を行ふ爲に特に集めた資料竝に試驗を略〻完了した時に實際との相似關係を見る爲に銚子漁港修築事務所と協力して平水時及洪水時の兩回に亙つて實測した結果は次の通りである．

[1] 利根川下流平水時に於ける狀況

河口に於ける流水は平水の場合には殆んど潮汐に支配されるのであるが海軍水路部發行の潮汐表に依れば犬吠崎（長崎）に於ける潮汐常數は次の通りである．

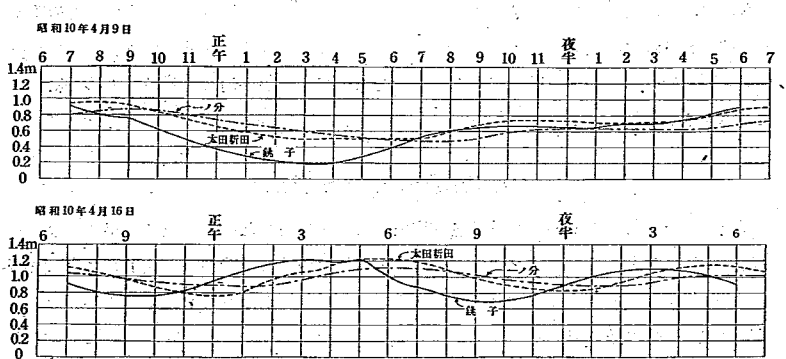
大潮升 1.4 m，小潮升 1.1 m，平均水面 0.9 m，平均高潮間隙 4 時間 24 分

圖—2 利 根 川 下 流 平 面 圖



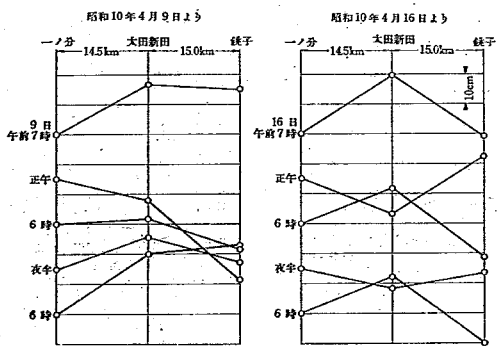
利根川下流に於ける檢潮儀による水位の自記記錄は內務省東京土木出張所の利根川下流一の分（河口より約 29.5 km 上流，檢潮儀零點 Y. P. −0. 170 m），太田新田（河口より約 15 km 上流，檢潮儀零點 Y. P. +0.197 m）及河口（檢潮儀零點 Y. P. +0.131 m，圖—2 參照）のものがあり，海面では千葉縣銚子測候所のものがある．夫等の昭和 10 年 4 月 9 日（月齡 6）及 16 日（月齡 13）前後の記錄を 圖—3 に示した．是より一の分，太田新田，

圖—3　利根川下流同時水位曲線 4 月 9 日は大潮，16 日は小潮に相當する



銚子間の同時水位を拾へば圖—4 の如くなる．卽ち太田新田，銚子間の大潮の時に於ける平均最急勾配は一の分，銚子間に於て上流より下流に向つて 1/87,000，下流より上流に向つて約 1/134,000である．

圖—4　一ノ分，太田新田及銚子の同時水位



平水時に於て河口より約 35 km 上流の津宮附近に於ける大正 7 年 8 月の東京土木出張所の調査に依り朔及上弦に於ける最大流量は略，下記の如く推定されてゐる．

朔　+328立方米/秒
　　−208　〃
上弦　+295立方米/秒
　　−125　〃

尙この値は下流に到るに從ひ潮汐の影響が大となつて異つて來る事は勿論である．

上記の地點に於て各時間毎の流量より平均流出量を概算した結果に依るに$Q=135 m^3/sec$となつてゐる．尙下流霞ケ浦よりの流量を合算して，この合流點下流の平均流出量は平水に於て$Q \fallingdotseq 150 m^3/秒$と推定される．

［2］ 平水時に於ける實測の結果

銚子港附近は通常波浪高く流速の測定は困難であるが 5～6 月の頃には稍平穏であるから，此の時季を期して試驗の略ぼ完了した後比較の爲に河口附近の流速を流速計を用ひて測量を試みた．

1) 實 測 狀 況

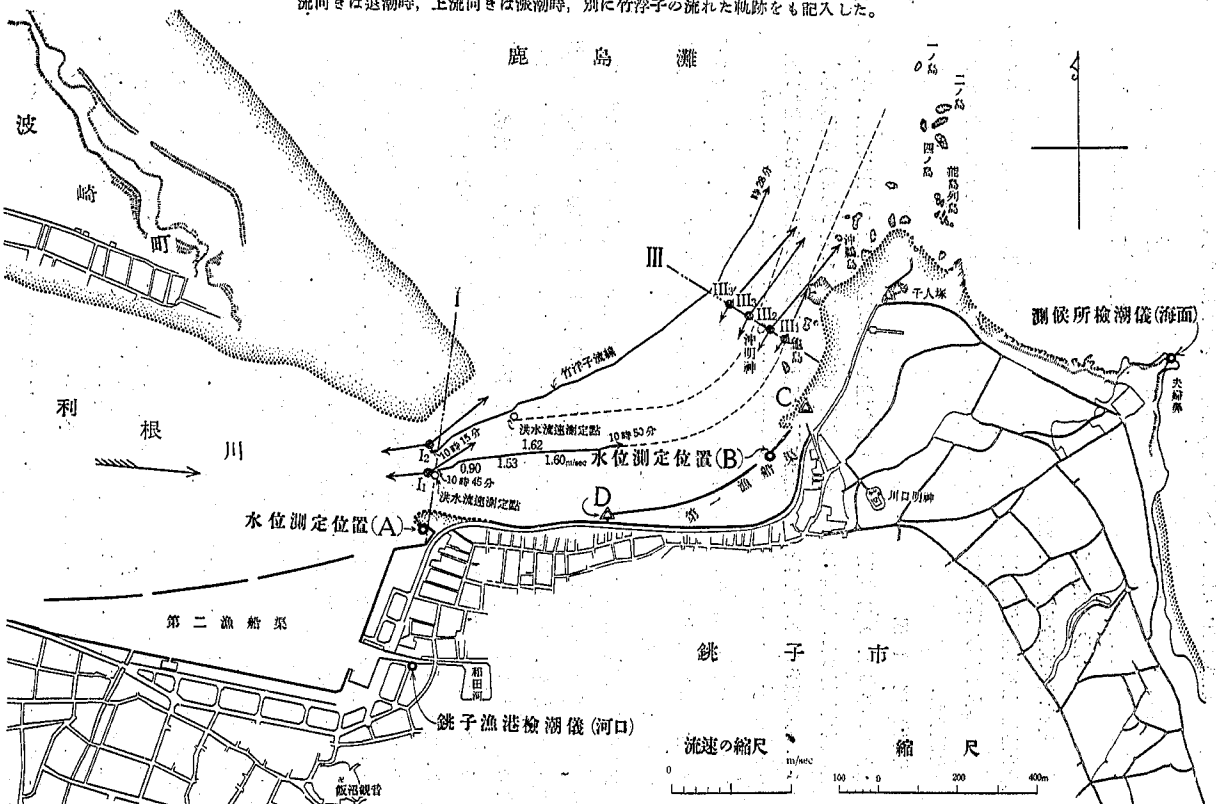
昭和 12 年 6 月 9 日（月齢15）及 10 日を選んでその退潮時及 10 日は漲潮に就ても流速の測量を行つた．流速はプライス型流速計 6 組（5 回轉 1 音のもの）を使用し，普通 1 m 毎の深さの點の流速を約 1 分間に亙つて計り，之が終れば次の深さの測點の流速を測る樣にした．水面より 50 cm の深さの點より始めて次第に下に及ぼし，海底に到れば又之を上げて同一の測點につき流速を測定する．此の一往復はその場所の深さによつて 10 分乃至 30 分を要するのであるが，之を退潮或は漲潮の盛んな 3～4 時間に亙つて連續して行つたものである．

實測場所は實驗と比較する爲 圖—5, I 及 III の斷面を選び，しかも實驗中に模型で測定したのと同一の點になる樣に選定した．しかし船の位置を定めるに種々の困難があり又流速が大なる爲に測量中に錨と共に下流に流される事もあり，正確にその位置をとる事が出來ず圖—5 に記した位置となつた．船の位置は陸上ＣＤ２ケ所に据付けた轉鏡儀によつて 30 分毎に正確に讀みとつた．實測中の水面は 圖—5, A 及 B にある假量水標にて讀みとり，之を B.M. と結んでその時の水面を定めた．

圖—8 は測定前後の河口（銚子漁港檢潮儀，圖—5 參照）及海面（測候所檢潮儀）の記錄である．測點の深さは流速計に附した紐の長さによつて定める事にしてゐたが，流れの爲に紐の傾斜が甚だしい場合には水面附近では紐が鉛直と 50° の角をなし，正確を期する事が出來なかつた．I の斷面の水深の大なる處は之を除く爲に特に潛水夫用の 15 kg の鉛の錘２個を海底に下し，之を鋼線によつて支へて流速計が沿ふて下る樣にした．何れの場合にも各點の水深は別に行つた斷面の測量によつて明らかになつてゐるから，流速測定時の測點の高さは，この水深によつて途中の點は同一の割合にのびてゐるとして換算した．但し I_1 の測點だけは兩者に著しい差があり，その原因を種々調査したが斷面の見通し線と測點とが多少位置がずれたとする外，適當な解釋に到達しないから，この點だけは流速計の時の紐の長さをその儘の水深として記入した．

測定に使用した船は潛水夫用の傳馬船（長さ約 10 m, 幅 3 m, 噸數約 6 噸のもの）で普

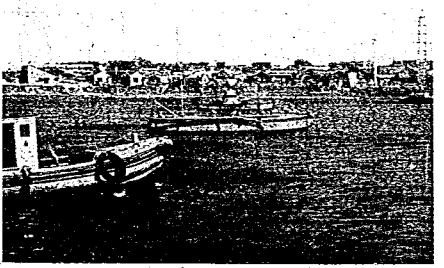
圖—5　昭和12年6月及び7月に於ける河口附近流速實測圖；矢は流速及び流向を表はし下流向きは退潮時，上流向きは漲潮時，別に竹浮子の流れた軌跡をも記入した。



圖—6　6 月 18 日午前實測中の狀況　大潮退潮時

(a) プライス型流速計及聽音裝置

(b) 斷面 III に於ける各船の配置. III_3' より銚子側に向つて撮影



通 2 組の潛水夫を作業せしむるに用ひるものである（圖—6 參照）. 船は錨 3 個を上流及それと略〻直角の兩側とに各 1 個宛配置した. 特に流れの速い場所では上流に 2 個の錨を使用したが尙押流されて困難した場合があつた.

流向を測定する爲に各流速測點にある船から幅 10 cm, 長 30 cm の板に長さ 6～7 m の絲をつけて流し，その方向を六分儀を用ひて定め表面流向とした. 特に風が强く此の方法が不適當と認められた場合には（10 日午後漲潮の時）前記の板に石炭の塊を長さ約 3～4 mの絲によつて錘として附して流し此の方向を觀測した.

特に長い竹に旗を附して流し，流向を觀測したものに就ては次項に述べる事とする.

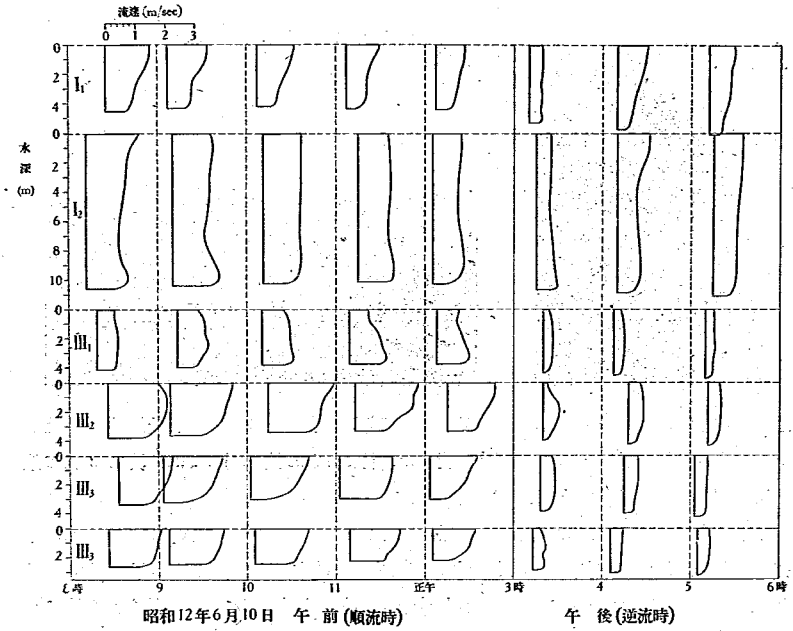
觀測當日たる 9 日は雨が相當に劇しく從つて觀測には種々の困難が伴つたにも拘らず，一同の熱心なる協力によつて相當の結果を收める事が出來た. 10 日は快晴であつて波は稍高かつたが愉快に觀測を行ふ事が出來た. 雨量は利根川流域，前橋，足尾及宇都宮に於て 8 日及 9 日何れも 10 mm 程度であり，栗橋量水標に於て平水に比し約 50 cm 水面が上つた程度である.

2) 實測の結果

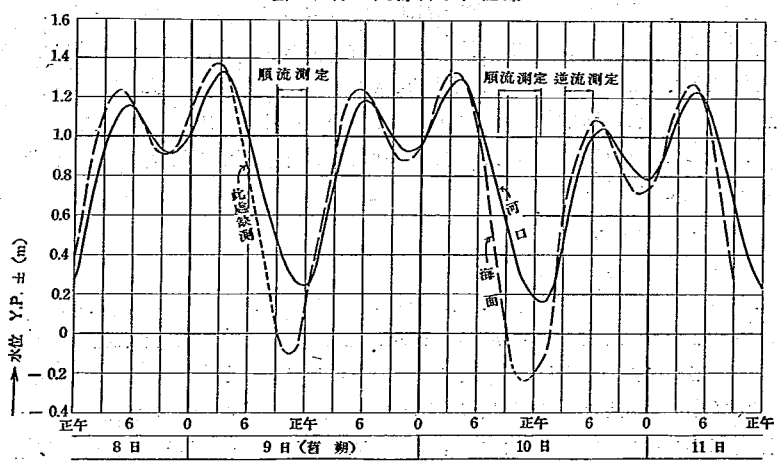
1. 流　速

測點 I_1, I_2, III_1, III_2, III_3, III_3' の位置は圖—5 に記した通りであつて，之等の點に於ける各時間毎の流速を圖—7 に示した. 各曲線が滑らかでないのは測定箇所前後の地形等によつて縱或は橫の渦が出來てゐる事が主なる原因ではないかと思ふ. 尙漁船が測點附近を通る場合には流速計に一時的に著しい影響を及ぼす事が認められたが，實測ではこの影響は除かれてゐる筈である. 9 日，10 日及その前後の河口（銚子漁港）及海面（測候所）雨

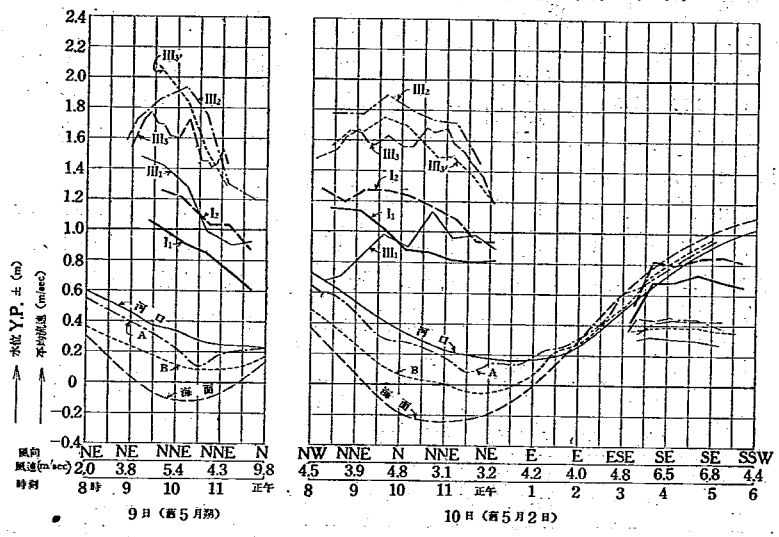
圖—7　各時間毎の流速分布 大潮退潮時



圖—8　河口及海面水位記錄

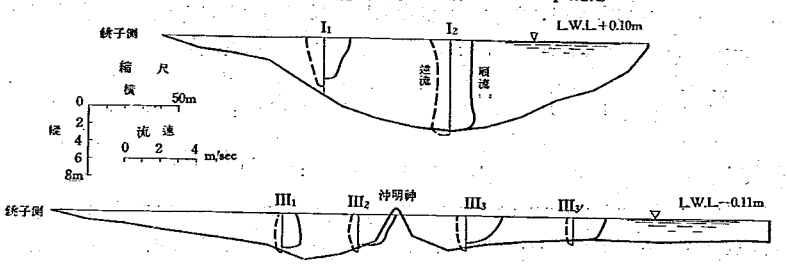


圖—9　各箇所の時刻毎の水位，平均流速，風向，風速等(昭和12年6月)



檢潮儀圖—5 參照) の記錄を圖—8 に，又各時間毎の河口及海面水面高と各點平均流速との關係を此の時の風向及風速と共に圖—9 に示した．平均流速には圖—7 の流速分布曲線の面積を測定して高さで除した値をとつた．之に依れば 10 日午前 10 時には河口と海面との水位差 56 cm の場合に I_2 では流速 1.25 m, III_2 では 1.85 m, 9 日午前 10 時には水位差 45 cm の場合に I_2 が1.20 m, III_2 が 1.90 m となつてゐる．尙各點毎に最大流速を

圖—10　實測した斷面 I 及 III の流速分布圖　實線は昭和12年6月10日午前10時の大潮の退潮最盛時，破線は同日午后4時の漲潮最盛時の値



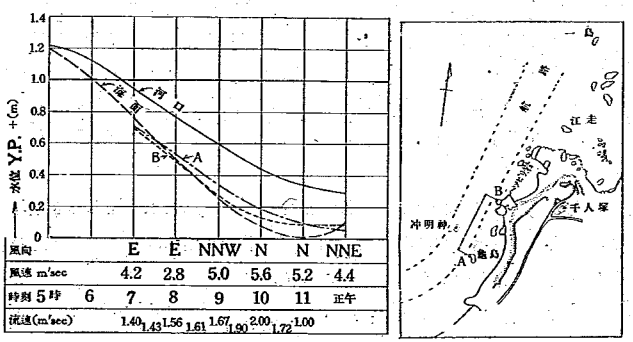
生ずる時間が多少相違してゐる事が認められる．尙 10 日 III_1 の流速が著しく小なるは測點が丁度鹿島の蔭になつた爲である．圖—10 は斷面 I 及 III の退潮時(10 日午前 10 時)

及漲潮時（10日午後4時）の流速分布狀態を示す．

以上によつて10日の午前10時の斷面に直角な流量を算出するに，斷面と流向とは約45°の傾をなすから 1880 m³/sec×cos 45°=1330 m³/sec となり斷面 III の同じ時刻の流量は III_3' より約 100 m 沖合（即ち圖—10 にある範圍）まで III_3' と同樣の流速で流れるとしても（實際は尙廣く流れてゐるらしい）流量は 1525 m³/sec となり，前記 I の斷面の同時刻の流量より大となる．

上記の實測の外に昭和 11 年 6 月 6 日（月齡 16）の午前 7 時乃至 12 時の間に沖明神附近の龜島へツビリ岩間の表面流速を銚子港事務所に依賴して浮子によつて測定した結果は圖—11 に示す通りであつてその結果は昭和 12 年の測定値に比し著しい相違はない．

圖—11　昭和11年6月6日の大潮退潮最盛時に於ける沖明神附近の表面流速，風速，風向等



風向		E	E	NNW	N	N	NNE
風速 m/sec		4.2	2.8	5.0	5.6	5.2	4.4
時刻 5時	6	7	8	9	10	11	正午
流速(m/sec)		1.40	1.43 1.56	1.61	1.67 1.90	2.00	1.72 1.00

2. 流　向

各測點毎の流向は實測狀況の項に述べた方法によつて測り，その結果は圖—5 に示した通りである．その中下流向きは 10 日退潮時，上流向きは漲潮時の方向である．流向測定は同一人が各所に於て測定した爲，その時間は各同一でなく次表の通りである．

退潮時

III_3，午前 9：50；III_3'，11：00；III_2，11：30；III_1，11：40；I_2，午後 12：10；I_1，12：20

漲潮時

III_3'，午後 3：20；III_3，3：40；III_2，3：55；III_1，4：10；I_2，4：35；I_1，4：50

別に I_1 及 I_2 から徑 7 cm，長 2 m の竹の下部に徑 1.5 cm，長さ 30 cm の丸鋼 4 本を附し約 50 cm が水面上に出る樣にして頂部に旗をつけたものを流した場合の結果は圖—5 に示した通りであつて，その中 I_2 は 10 日午前 10 時 15 分に投下し I_1 は 10 時 45 分に投下したのであつて，I_2 は順調に進行し始めから終りまでの平均流速は I_2 より出發した

ものは約 1.34 m, I_1 より出發したものは 1.26 m になつてゐる．但し I_1 は航行船舶の爲に進行を妨げられ圖に示す箇所までしか記錄をとる事が出來なかつた．風の爲にその進行方向が影響されてゐると思ふが，その時の風は風向 N 乃至 NNE, 風速 5～3 m である．

3.　水中に浮游する砂の量

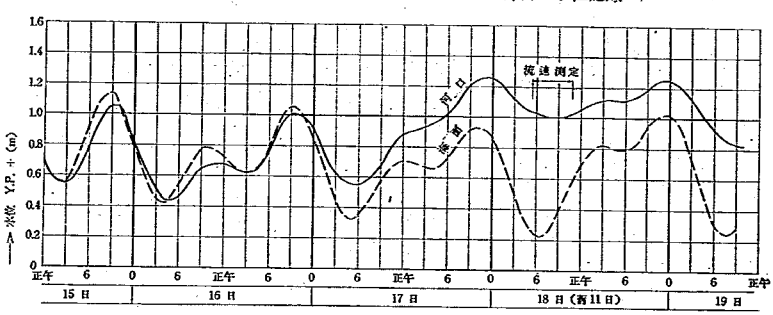
測點 III_3 附近には海水中に著しく砂が浮游するのを認めたからその量を測定した．水採取の裝置を用意しなかつた爲に速成採取器として一升の空壜を使用し之に錨をつけて下し壜の底が海の底面に着いた時（口の位置は之より約 40 cm 上）及壜の底が底面より約 20 cm 上の時にキルク栓を抜く樣にして採取した處，1 升中に含む砂の量及粒度等は夫々次の通りであつた．

		底面より 40 cm 上	同　60 cm 上
		9.15 gr（水に比し重量に於て 1/197）	3.5 gr（水との比 1/515）
種	比　重	2.66	2.68
篩分	2.38～1.19 mm	0.27 %	0.43 %
	1.19～0.59	2.31	1.14
	0.59～0.297	8.23	5.71
	0.297～0.149	71.62	74.85
	0.149～0.074	17.34	17.43
	0.074～	0.22	0.43

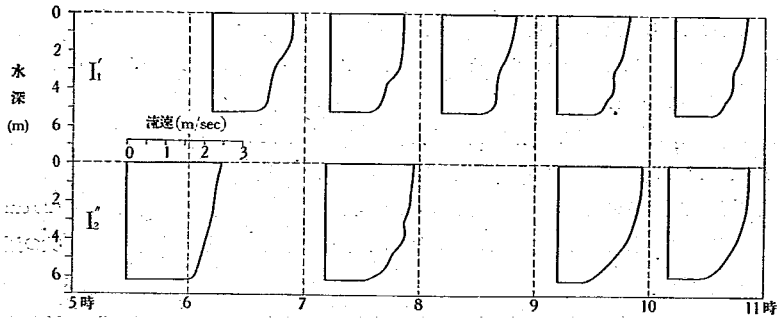
［3］ 洪水時に於ける實測結果

昭和 12 年 7 月 17 日（月齡 10）の利根川の洪水時の河口の流速を前記昭和 12 年 6 月の平水時の時と同樣河口狹窄部に於て，銚子港の協力を得て測つた結果を圖—12，13，14 及 15 に揭げた．

圖—12　昭和12年7月利根川洪水時の河口及海面の水位記錄

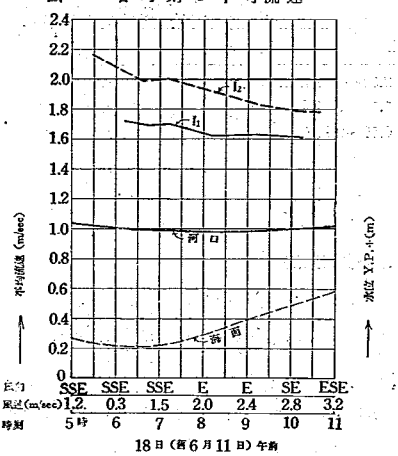


圖—13　昭和12年7月18日洪水時に於ける流速分布



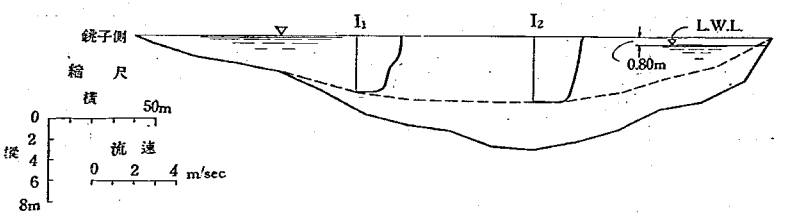
昭和12年7月18日　午前(洪水時)

圖—14　各時刻の平均流速



圖—15　斷面に於けるI₁及I₂の位置及流速,水深の相違は測定箇所が斷面Iの內に正確になかつた爲に生じた,破線は測定個所の推定地形

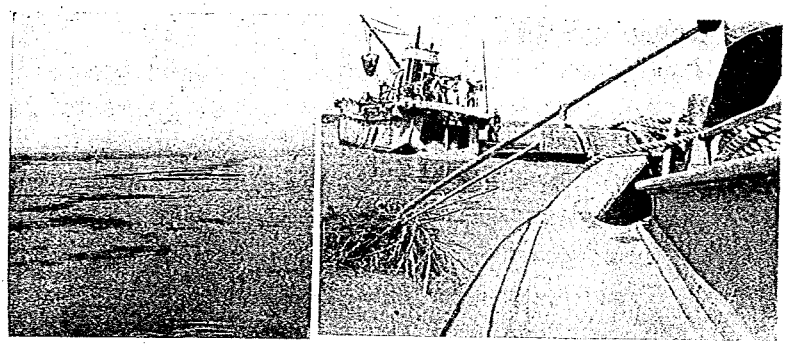
洪水時 (昭 12—7—18　午前 6 時)



この時の流量は圖—5 に示した通り測點が不整となつた爲算定すべき資料とする事が出來ないのは遺憾である．

洪水時には上流よりの浮游物が著しく，水面附近の流速を測る爲に一々之を排除して行つた（圖—16 參照）．I_1 は略〻所定の斷面に入つたが I_2 は錨を多數に用ひたに拘らず押流

圖—16　洪水時に於ける浮游物(流速實測當時)



されて圖—5 に示す如き位置となつた．尙 I_2 の流向は概略であつて充分正確ではない．

尙氣象臺の報告によれば利根川流域前橋，足尾及宇都宮の雨量は次表の通りであつて利根川では布川に於ける量水標讀み高は 6.85 m であつた．

	前　橋	足　尾	宇都宮
7 月 15 日	10 mm	150 mm	0 mm
16	82	171	6
17	72	91	20

尙上記とは別に昭和 5 年 8 月 1～5 日に亙る洪水時に於ける河口の流速等を銚子港事務所にて測定した結果は圖—6 に示す通りである．最大流量は 8 月 3 日（月齡 8）の結果から最大 3859 m^3，狹窄部の流速の最大は 2.35 m/sec である．昭和 12 年の前記の測定値に比し兩檢潮儀間の水位差，流速從つて流量何れも此の方が大である．尙此の洪水は潮汐の影響を殆んど受けない布川に於ける量水標水位によれば Y.P. + 7.19 m であつて，明治 5 年（1872 年）以來年最高として之以上の水位の記錄されてゐる年月日及其の高さを記せば次の通りである．

明治 43 年 8 月 15 日（西曆 1910 年）Y.P.+7.55 m
大正 11 年 8 月 27 日（〃　1922 〃）〃　7.37 m
大正 14 年 8 月 18 日（〃　1925 〃）〃　7.20 m

昭和 5 年 8 月 2 日 (〃 1930 〃) 〃 7.19 m
昭和 10 年 9 月 26 日 (〃 1935 〃) 〃 8.72 m
昭和 12 年 7 月 17 日 (〃 1937 〃) 〃 6.85 m

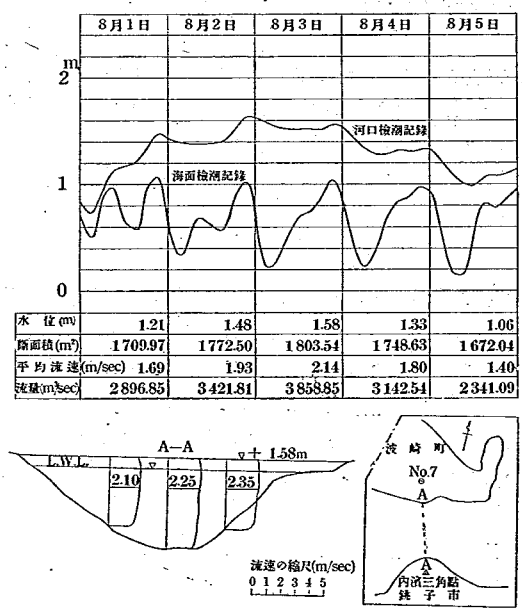
尙ほこの最後の兩度の洪水時に於ける水位は圖—18に掲げた通りであつて，この場合の水面勾配は一ノ分と太田新田間及太田新田と銚子河口間に於て夫々最大 1/11 600, 1/19 300 (昭和 10 年) 及 1/13 800, 1/21 450 (昭和 12 年) である．

[4] 氣象狀況及砂洲の消長

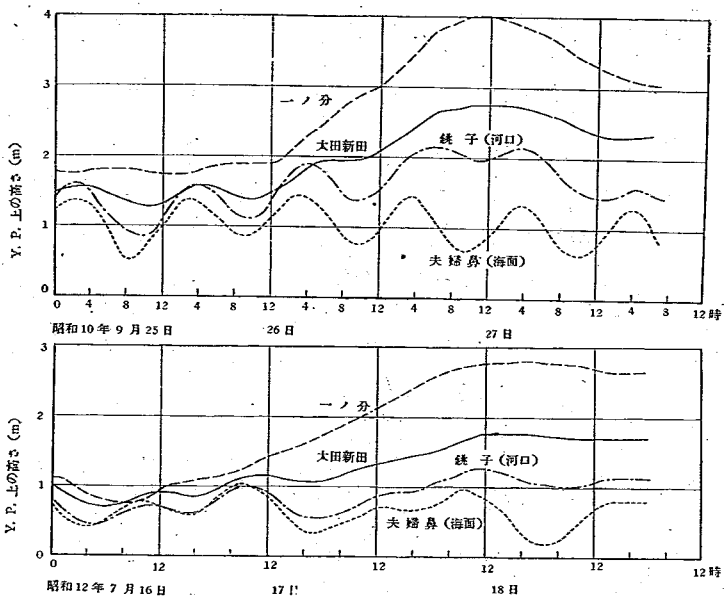
風　銚子市犬吠鼻附近にある千葉縣銚子測候所による觀測の結果の中，昭和 6 年～10 年間に於ける各月の方向別風向回數及平均風速は圖—19 に示す通りであつて，概して冬季に北東風，夏季に南西風が支配してゐる．

波　大正 10 年～11 年の頃銚子漁港修築工事の開始に伴ひ行はれた調査を著者が整理した處に依れば[1]，北乃至南東の方向の風に對しては波高は概略 $h=0.0177\,v^2+0.55$ に依つて表はされる．玆に h は同港一ノ島附近の水深約 10 m の箇所に於ける波高 (m)，v

圖—17　昭和 5 年 8 月の洪水時に於ける河口の流速及水位

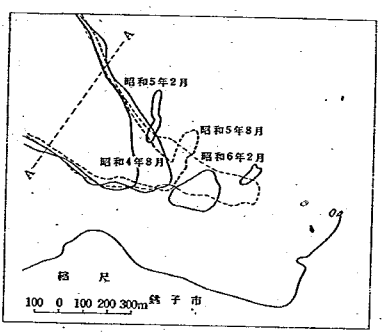


圖—18　昭和10年及12年の洪水時水位曲線　路面流速は８月３日の値



は風速（m/sec）であつて約８ヶ月に亙る觀測期間に於ける波高の最高は約 5 m である．波向は風向と同じく北々東乃至北東が多く，觀測期間中の風向が北乃至南東の間のものは波高の大部分は 0.9～2.4 m である．

圖—20　昭和 4～6 年の砂洲の消長

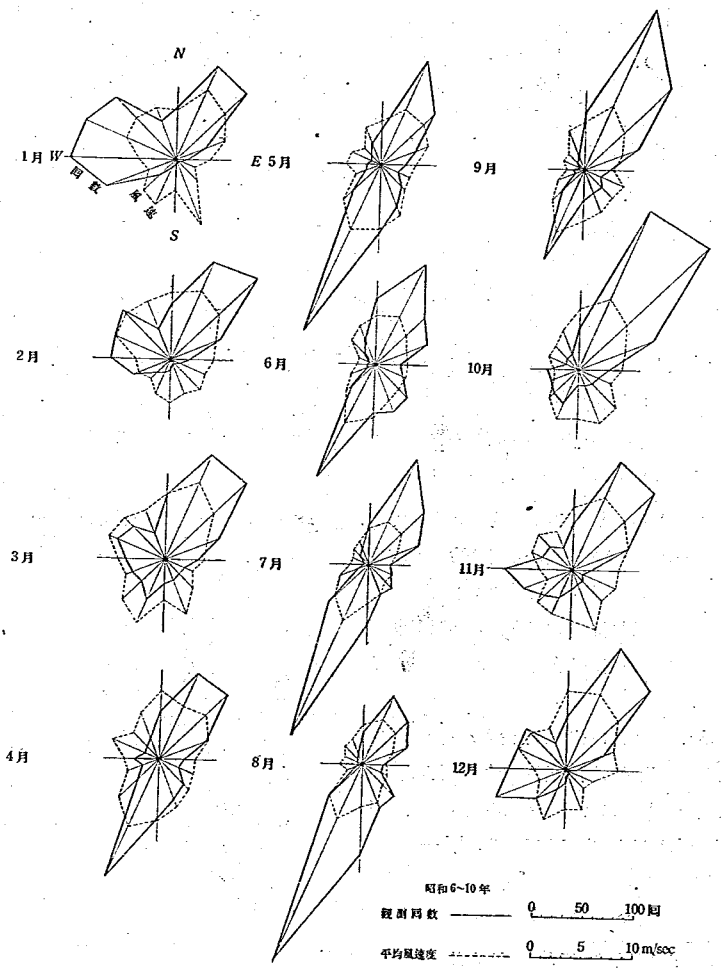


砂洲　河口左岸波崎附近の砂洲は移動甚しく平均干面潮に於ける砂洲の汀線に就て調査した處によれば[2] 之の出入は風の影響を受ける事極めて大である．圖—20 は比較的短期間に於ける砂洲の出入を又圖—21 は長期間の變化を示す．然して之等が風向に如何に關係あるかは圖—22 に就て知る事

1)　土木學會誌　昭和 11 年 7 月號　688—690 頁參照
2)　土木學會誌　昭和 12 年 1 月號　29—36 頁參照

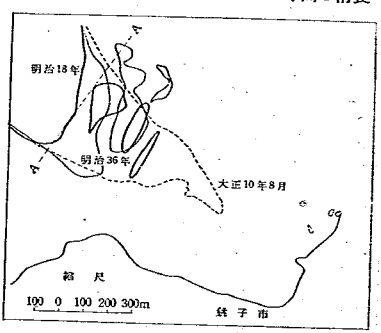
が出来る．之は 圖—20～21 の基線AA より先の部分の面積及洲の先端からAAに下した垂線の長さ（之を假に洲の長さと呼ぶ）の變化と風向との關係を示すものである．風は鹿

圖—19　銚子測候所に於ける風向及風速觀測の結果（昭和 6～10 年）

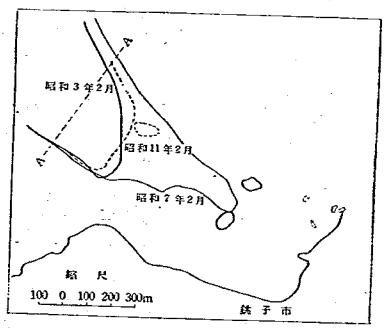


島灘の汀線に對して直角より稍〻北に傾いてゐるものは此の方向の波を生ぜしめ，之が海岸に沿うて砂を運ぶ作用をなすと考へたから，その方向即ち NW～NNE の風向回數の和をとつたものを圖上に示した．風向の外に風力が影響を及ぼす事は勿論であるが，風力と風向回數の積をとつて圖に表はした場合と風向回數だけの場合とは殆んど平行してゐたから，簡單にする爲に玆では回數だけをとる事にした．汀線の出入は大低 3 ヶ月毎に調査されてゐるから風向も 3 月の回數の和をとつて之と對應せしめた．圖—24 は波崎汀線附近

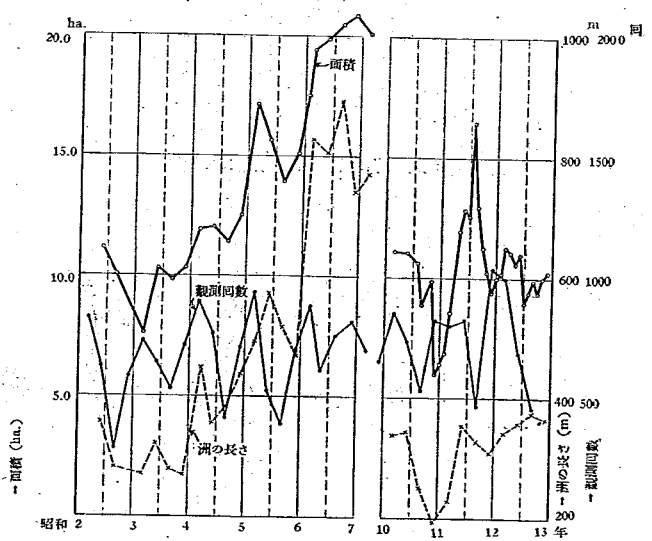
圖—21(a) 明治 18 年乃至大正 10 年間の消長



圖—21(b) 昭和 3 年乃至 11 年間の消長

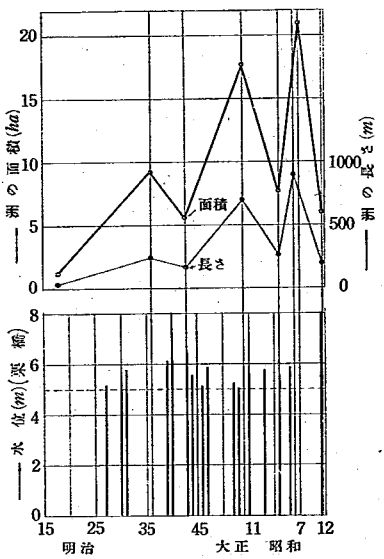


圖—22　洲の消長と風向との關係



の波の狀態であつて海岸線に略〻平行に打寄せる波と傾いた方向より寄せる波とが明かに認められる。この中平行に寄せて來る波は附近の砂を攪拌する以外に海岸線に平行に之を移動せしめる事は勿いが，風によつて起された傾いた方向よりの波は攪拌された砂を海岸線に沿ふて運ぶ作用をする事が明かに認められる．

圖—23　明治 18 年乃至昭和 12 年の洲の消長



圖—24　波崎海岸に於ける波（現場にて撮影）

圖—23 には更に長周期の洲の出入の有様と，之が利根川の洪水と關係ありや否やを慥める資料として利根川の洪水位を栗橋で觀測した値（5m 以上のもの）とを示した．

之に就て見るに利根川の洪水と洲の變化とは直接には影響がないやうに見える．しかし長周期の洲の變化を說明すべき資料を今の處得てゐない．

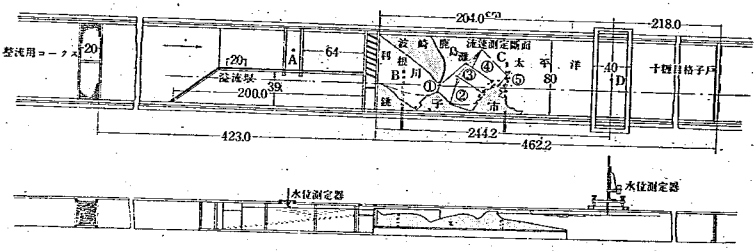
III. 小型模型試驗

河口の漁港工事の中，防波堤，導流堤，航路の浚渫が河の狀況に及ぼす影響に就て初めに小型模型にて試驗を行ひ，更に大型に就て之を反覆し，次に砂洲の出入に及ぼす影響に就ての試驗を行つた．本章では先づ小型の事を述べる．

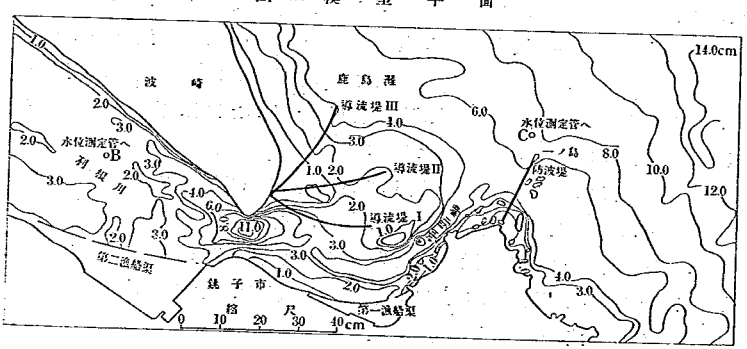
［1］ 模型，試驗方法及試驗の種類

1) 模型　當所赤羽分所内にある幅 80 cm 水路内に圖—25 に示す如き模型を造り，之に依つて主として大潮退潮時及洪水時に相當する狀態の下に試驗を行つた．地形は昭和 11 年 5 月測量の結果に從ひ模型の實際に對する縮尺は平面に於て 1/2000，鉛直方向に於て 1/100 であつて，粘土に容積比 10% のセメントを混じたもので作り，表面は吃水線以

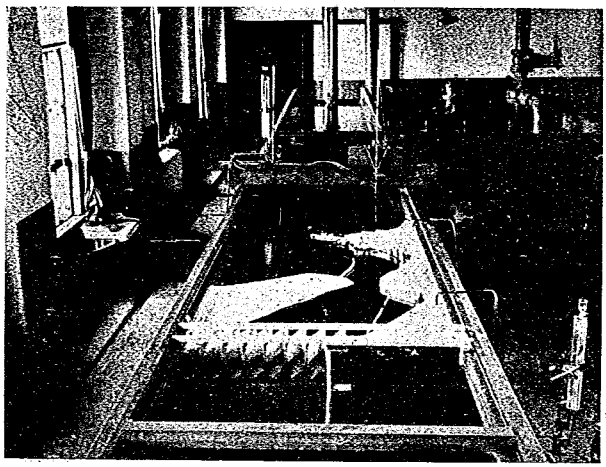
圖—25 試驗裝置平面及縱斷面圖



圖—26 模型平面



圖—27. 小型模型寫眞，利根川上流より望む.



下はアスファルト・エマルジョン，他はペイントを塗布した．この試驗は平水時の退潮時及洪水時に於ける流水の狀況を見る事を目的とした爲，模型の範圍も河の一部を取入れて圖—26 の如く決定した．模型の河の上流端には整流板を取付け尙上下流の水位を調節する爲夫々溢流堰及格子戸を設けた (圖—27 參照).

2) **試驗方法**　一般に平水と洪水との 2 種類に就て試驗する事とし，平水では試驗開始以前の資料としては大潮の退潮時に於ける流速が鹿島附近で最大 2.0 m との觀測があるのみであつたから之を Froude の相似律によつて換算した流速が此の個所に生ずる樣に B,C 間の水位差を調節した．B 及 C には模型の底面に孔を設け之よりゴム管にて水位管に導き，約 8 倍に擴大して水位差を讀み取る事とした．尙上下流部 A 及 D には別に水面測定器にて水位を直接に讀みとる裝置を設け，D はこの場合大潮平均干潮面に相當せしめた.

洪水の場合には利根川の計畫最大流量が 4310 m^3 となつてゐるから，之に近似の流量を模型に換算した値に一致する樣 BC 間の水位を調節して試驗を行つた．圖—25 の 1, 2, 3, 4, 5 の斷面に於て間隔約 4 cm 每，深さは水面より 1 cm 每の流速を徑 1.5 mm のピトー管にて測定した．この場合流向は流向測定器にて豫め定めて此の方向の流速を測定する．別に表面の流向を明かにする爲に流向寫眞を撮つた．之は水の表面に浮した浮子の移動を一定時間の露出によつて撮影したものである.

流量は水路下流端に流れ落ちる水を內徑 35 cm の量水槽に貯水して決定した.

3) **試驗の種類**　前記平水退潮時及洪水時の 2 つの場合に於て

1. 航路浚渫，就中沖明神撤去の影響　　2. 導流堤の影響　　3. 防波堤の影響

を見る爲に浚渫の前後及構造物の有無による變化を試驗した．初めは水位差を各々の場合一定にして流向，流速從つて流量の變化を觀測し，終りに昭和 12 年 6 月の實測に對應す

る試驗を行ひ，次に流量を一定にして水位差の相違をも觀測した．

防波堤及導流堤は孰れも案であつてその中 導流堤は I, II 及 III の 3 種類 (圖—26) に就て行つた．表-1 及 2 (29頁) に試驗の種類を掲げた．

表—1 小型試驗の種類

番號	模型			水位差 (mm)	流量 l/sec	備考
	沖明神	導流堤	防波堤			
No. 1	有	無	無	2.8	0.894	平水 海岸線及深浚は昭和11年5月調査の結果に依る
2	〃	〃	〃	17.9	2.578	洪水
3	無	無	無	2.8	0.919	沖明神の影響試驗
4	〃	〃	〃	17.9	2.648	
5	無	I 有	無	2.8	0.584	導流堤 I の影響試驗
5′	有	〃	〃	2.8	0.510	
6	無	〃	〃	17.9	1.882	
7	無	無	有	2.8	0.894	防波堤の影響
8	〃	〃	〃	17.9	2.568	
9	無	I 有	有	2.8	0.596	防波堤及導流堤の影響
10	〃	〃	〃	17.9	1.869	
11	有	無	無	2.8	—	河堤の影響を見る爲之を除いて試驗した
12	〃	〃	〃	17.9	—	
13	無	I 有*	有	2.8	0.796	* は航路斷面を大にしたもの
14	〃	〃	〃	17.9	2.396	
15	有	無	無	1.07	0.723	平水實測に對應した試驗 地形は昭和 12 年 6 月のものによる
16	〃	〃	〃	4.0	1.312	
17	有	無	無	1.07	0.707	平水實測に對應した試驗であるが模型の面を粗くした場合
18	〃	〃	〃	4.0	1.353	

[2] 現在の狀態及沖明神撤去の狀態による試驗

1) 現在の地形 大潮退潮時の狀態　昭和 11 年 5 月現在の儘の地形で試驗開始以前の調査では圖—11 により龜島附近の流速が大潮退潮時に $v=2.0$ m/sec であつた．

現場の觀測では龜岩附近の流速と狹窄部に於ける流速とは略，同一と推定され且つ一般に狹窄部の流速は

$$v=C\sqrt{2gh}$$

茲に v は流速，h は狹窄部前後の水位差，g は重力の加速度，C は流出係數 (1 より小なる係數)

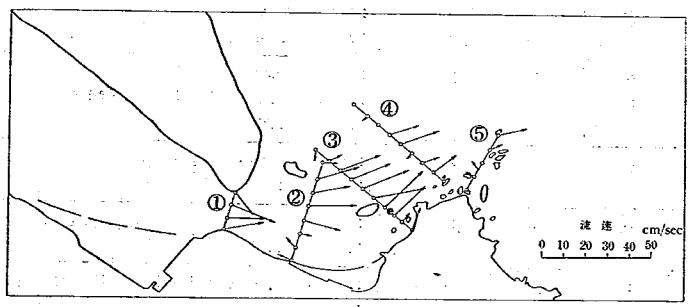
で表はされるから試驗に於て大潮退潮時の觀測値に近似せしむる爲，模型の狹窄部の流速を次の様に定めた．即ち

實際の場合の流速，水位差及流出係數を夫々 v_0, h_0, C_0 とし模型の場合を v_1, h_1 C_1 とし假に $C_0=C_1$ とすれば

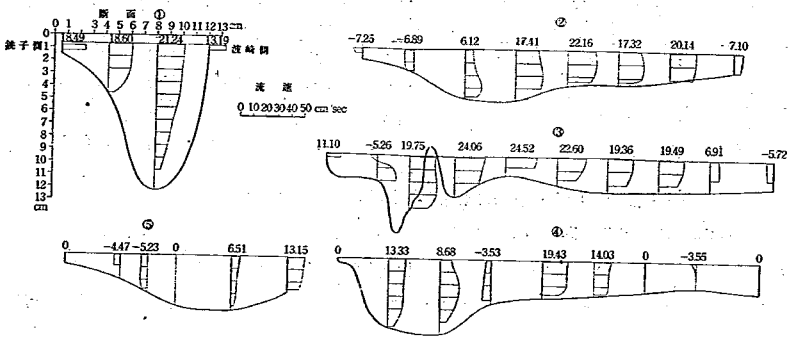
$$\frac{v_0}{v_1}=\frac{C_0\sqrt{2gh_0}}{C_1\sqrt{2gh_1}}\fallingdotseq\sqrt{\frac{h_0}{h_1}}=10$$

卽ち $v_1=\frac{v_0}{10}=20$ cm/sec として此の流速になる様な h_1 を實驗で定めた所 $h_1=2.8$ mm となつた．しかしてこの場合の流量は $Q_1=0.894$ l/sec であつた．此の狀態の試驗結果は圖—28 (a), (b) に示した．尙此の相似關係の成否については VI 章 1 に詳論する．

圖—28 (a) 昭和 11 年 5 月現在の海岸の狀態に於ける大潮退潮時，表面流向及流速，BC 間の水位差 2.8 mm，流量 $Q=0.894$ l/sec



圖—28 (b) 同 上 斷 面 流 速



上記流量を次の相似律が成立つとし且つ $C_0=C_1$ として實際に換算すれば

$$\frac{Q_0}{Q_1}=\frac{A_0v_0}{A_1v_1}=\frac{L_0H_0}{L_1H_1}\,\frac{C_0\sqrt{2gH_0}}{C_1\sqrt{2gH_1}}=2000\times100\times\sqrt{100}=2{,}000{,}000$$

$Q_0=0.894\,l\times2{,}000{,}000=1788$ m³/sec

茲に A_0 及 A_1 は夫々實際及模型の斷面積

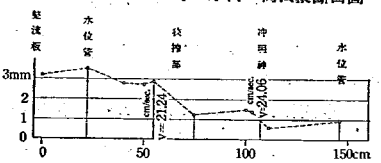
L_0 及 L_1 は夫〻實際及模型の平面に於ける長さ

H_0 及 H_1 は夫〻實際及模型の鉛直方向の長さ

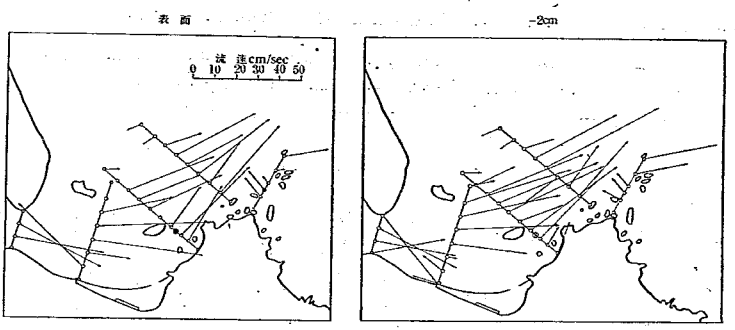
を表はす．

尙上記の試驗に於て中心に沿ふ水面の高低を 1/20 mm 讀みのカセトメーターにて讀み取つた結果は 圖—18 に示す通りである．

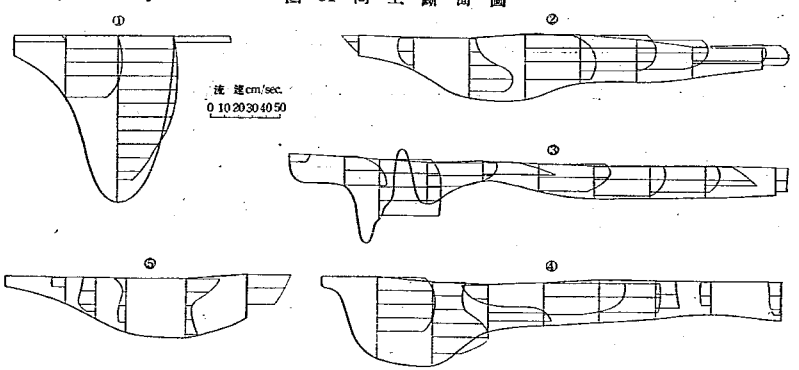
圖—29　同上　流心に沿ふ水面の高低縱斷面圖



圖—30　同上の海岸の狀態に於ける洪水時流向及流速　表面及表面下 2 cm
BC 間の水位差 17.9 mm, 流量 Q=2.578 l/sec



圖—31　同上斷面圖



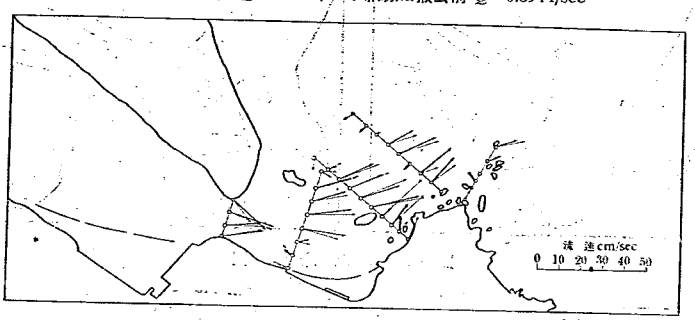
2) **現在の地形　利根川洪水の狀態**　利根川の此の附近の計畫洪水量は Q_0=4310 m³/sec であるがこの計畫洪水量を前記の相似律が成立つとして換算すれば

$$Q_1=\frac{4310}{2,000,000}=2.16\ \text{l/sec}$$

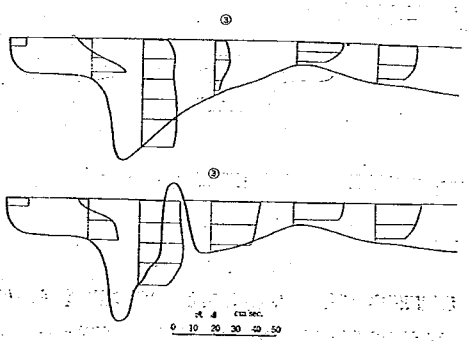
となる．依つて洪水に對する試驗には之に近似の値をとる事とし，$Q_1=2.578$ l/sec として行つた．この場合 BC に於ける水位差は昭和11年5月現在の海岸の狀態では $h_1=17.9$ mm であつた．之に依る試驗結果は圖—30 及 31 に示した．尙此の假定の可否等に就ても VI 章に述べる事とする．

3) **沖明神撤去の地形　大潮退潮時**　航路中にある沖明神岩を撤去した狀態で前項 1) と同樣に D の高さ及 B と C の水位差を 2.8 mm と定めて觀測した．流向の變化は圖—32 に比較した通りであり，特に斷面 3 の流速分布を沖明神岩撤去以前のものに比較して圖—33 に示した．此の場合の流量 $Q=0.919$ l/sec である．尙本文終の寫眞— 1 及 2 を比較する事によつて沖明神岩の撤去前後の狀態の變化を知る事が出來る．

圖—32　大潮退潮時の表面流向及流速 BC 間の水位差 2.8 mm，太線は沖明神撤去後 $Q=0.919$ l/sec，細線は撤去前 $Q=0.894$ l/sec

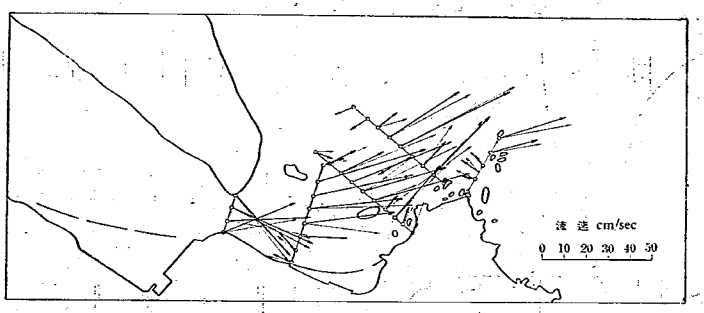


圖—33　同上　斷面 3 の比較　上は撤去後下は撤去前

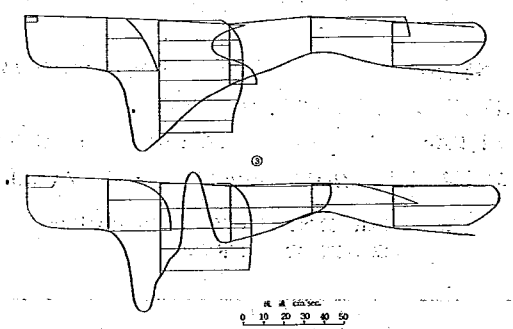


4) **沖明神撤去　洪水時**　前項 2) と同様に水位差を定めた場合流量 $Q=2.648$ l/sec，流速分布は圖—34 及 35 に示した通りである (寫眞—3 及 4 參照).

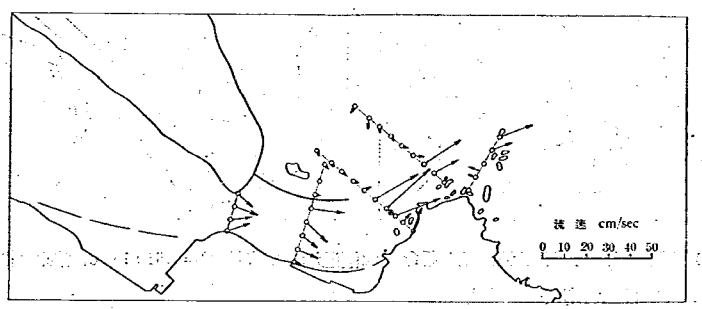
圖—34　洪水時　BC 間の水位差 $h=17.9$ mm，太線は沖明神撤去後 $Q=2.648$ l/sec，細線は沖明神撤去前 $Q=2.578$ l/sec



圖—35　同上路面比較　上は撤去後　下は撤去前



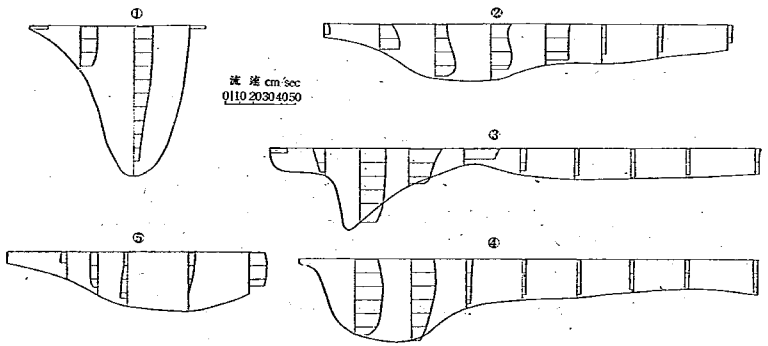
圖—36　導流堤 I を設置した場合(沖明神無)，大潮退潮時 $h=2.8$ mm，$Q=0.584$ l/sec



[3] 導流堤及防波堤の影響

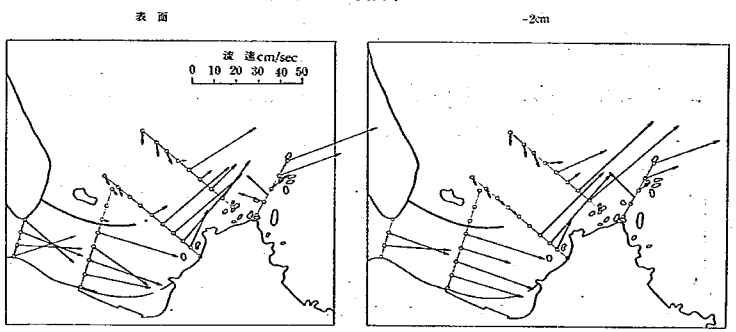
1) 導流堤Ⅰ設置　大潮退潮時　航路を浚渫した狀態で圖—26 に示した導流堤 I を設置し BC の水位差を前項 1) と同樣 2.8 mm にした場合の流速分布は圖—36 及 37 に示した．この場合の流量 Q=0.584 l/sec である．寫眞— 5 及 6 では導流堤のある場合に就て上記の狀態と沖明神のある狀態とを比較する事が出來る．

圖—37　同　上　斷　面



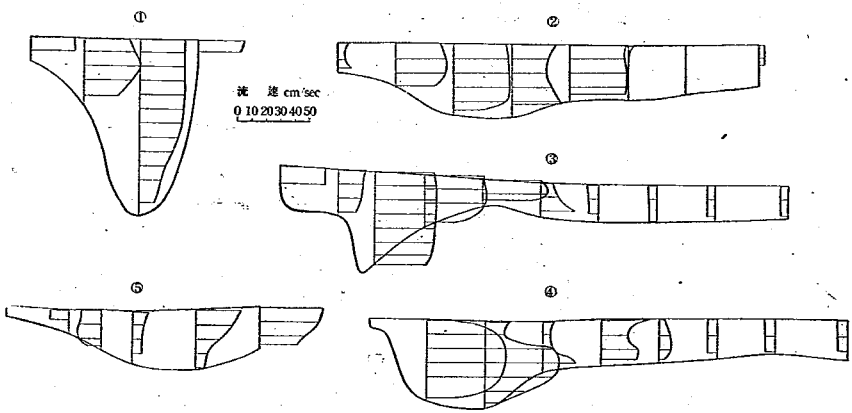
2) 導流堤Ⅰ設置　洪水時　BC の水位差を 17.9 mm として測定した結果を圖—38 及 39 に示した．この場合の流量は Q=1.882 l/sec である (寫眞—7 參照)．

圖—38　同上　洪水時　h=17.9 mm　Q=1.882 l/sec
左は表面　右は表面下 2 cm

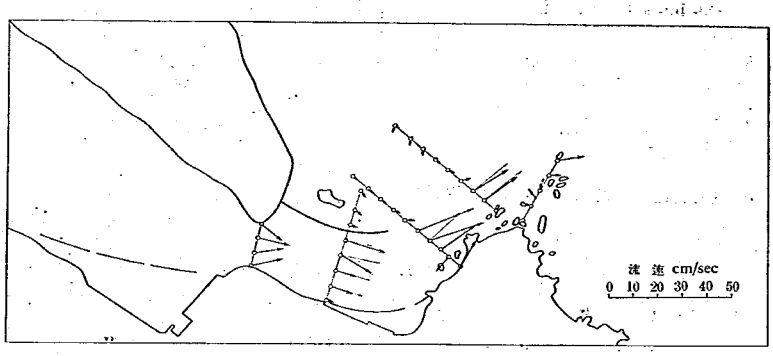


3) 導流堤Ⅰ設置　沖明神岩の有る場合　大潮退潮時の流量 Q=0.510 l/sec, 結果は圖—40 及 41 に示した (寫眞—6 參照)．

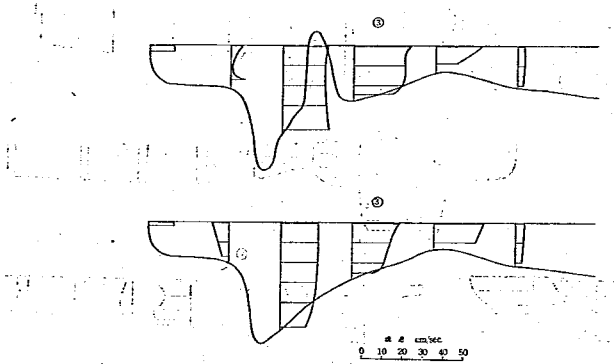
圖—39 同　上　斷　面



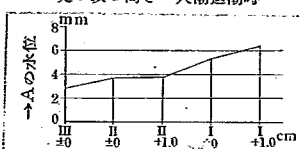
圖—40 同上　大潮退潮時沖明神あり $h=2.8$ mm $Q=0.510.1$/sec
細線は沖明神なしの場合



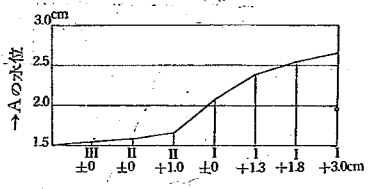
圖—41　同上　斷面 3　上は沖明神あり　下はなし



圖—42　導流堤 I 及防波堤のある狀態に於て $Q \fallingdotseq 0.98$ l/sec とした場合の上流 A の水位の上り高 +1.0 cm 等は導流堤の頂の高さ　大潮退潮時



圖—43　同上　洪水時 $Q \fallingdotseq 2.5$ l/sec
◦印は導流堤内側を浚渫した狀態の値



4)　各種導流堤設置が河の水位に及ぼす影響

導流堤の爲に河の水位が如何に影響を受けるかを見る爲に，流量を略ゝ同一にして導流堤の高さ及形を種々に變化せしめて，大潮退潮時及洪水時の狀態に於て行つた試驗は表—2 に示す通りである．主として BC 間の水位差を觀測したのであつて主なる結果は圖—42 及 43 に示す通りである．但し導流堤の形狀は圖—26 に示す通りである．但しこの導流堤 I の堤頂の高さが +1.3，+ 1.8 及 + 3.0 cm の場合の外は孰れも波崎地先の砂洲の島を除いた狀態であつて，前に述べた場合と比較するには之を考慮しなければならぬ．

表—2　河川部の水位の變化を見る爲の試驗

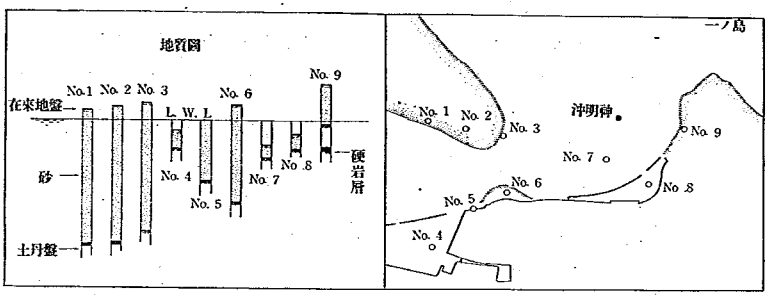
導流堤の有無及高さによる河川部水位の影響を見る爲に流量を略同一にして水位の變化を見たもの．

模型はすべて沖明神無，防波堤有 の場合である．地形は昭和 11 年 5 月による．

番　號	導　流　堤	水位差 (mm)	流　量 (l/sec)	備　考
No. 17	無	15	2.45	
18	I 頂高 +3 cm	25.8	2.43	
19	〃	29.1	2.76	
20	I 頂高 +1.8 cm	24.8	2.43	
21	I +1.3 cm	23.1	2.42	
22	〃	25.6	2.69	
23	I ±0	21.5	2.53	
24	〃	5.3	0.92	
25	II +1.0	17.8	2.48	
26	〃	21.5	2.53	
27	II ±0	16.1	2.45	
28	〃	16.6	2.48	
29	〃	3.7	0.98	
30	III ±0	16.4*	2.57	
31	〃	2.81	0.98	
(12)	I 有 *	17.9	2.40	* 導流堤內側を深くした場合
32	〃	21.5	2.60	
(11)	〃	2.8	0.796	
33	〃	3.3	0.846	
34	〃	3.61	0.904	

表—2 中の No. (12) 以下は導流堤の內側の水路の斷面を大にした場合である．之は洪水の場合には導流堤間はその表面の砂が押流されて一時的に斷面が大になる事が考へられたので，導流堤と右岸との間の水路の斷面積を狹窄部と同一になる如くし，略〻5 m の一樣な水深を有するとして試驗したものであつて，圖—43 の○點で示したのが夫である．但し圖の値は夫〻 Q=0.98 及 2.5 l/sec の値に近似計算によつて換算したものである．尙此の附近の表面砂の層は圖—47 に示す如き厚さを持つてゐるから掃流力が相當にあれば前記の如き斷面になり得る事は一應考へられる．

圖—44　河口附近の地質調査圖



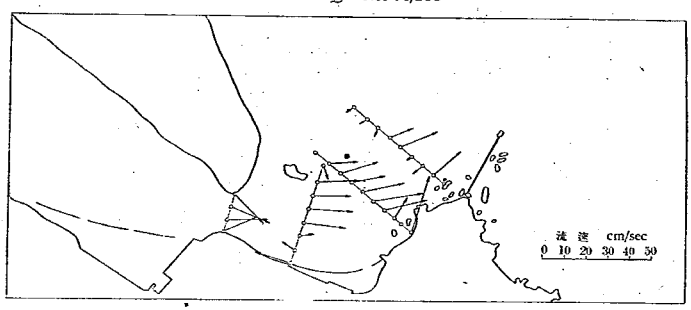
5) 防波堤を設置した場合

a. 導流堤のない場合

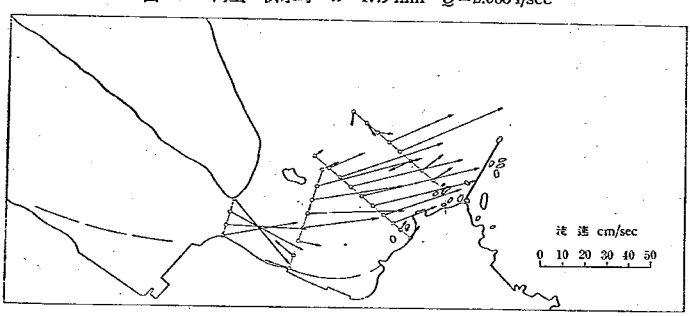
1) 大潮退潮時　　水位差 2.8 mm, 流量 $Q=0.894$ l/sec　(圖—45. 參照)

2) 洪水時　　水位差 17.9 mm, 流量 $Q=2.568$ l/sec　(圖—46 參照)

圖—45　防波堤のある場合　表面流向及流速　大潮退潮時
$h=2.8$ mm　$Q=0.894$ l/sec



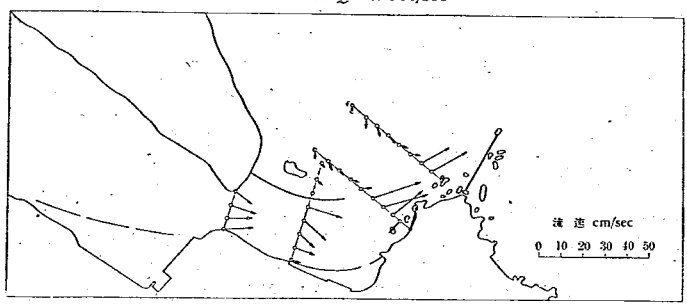
圖—46　同上　洪水時　$h=17.9$ mm　$Q=2.568$ l/sec



b. 導流堤のある場合

1) 大潮退潮時　流量 $Q=0.596$ l/sec　(圖—47 及寫眞—8參照)

圖—47　防波堤及導流堤1のある場合　表面　大潮退潮時
$h=2.8$ mm $Q=0.596$ l/sec



2) 洪水時　流量 $Q=1.869$ l/sec　(寫眞—9參照)

[4] 現地測量と比較する爲の試驗

本文Iに述べた現地に於ける實測の平水時の狀態と比較する試驗を行つた結果は次の通りである．卽ち昭和 12 年 6 月 10 日の大潮退潮最盛時の狀態と一致せしめる爲

1. 流速を模型と一致せしめた狀態
2. 河口と海面との水位差を一致せしめた狀態

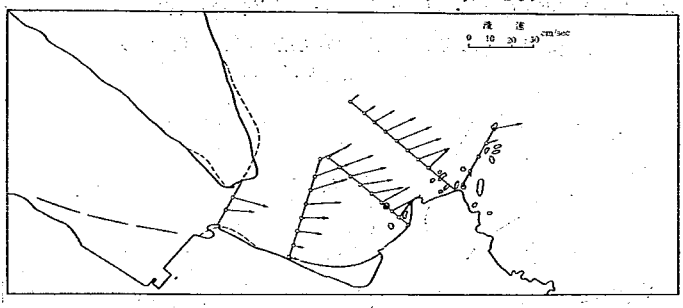
の 2 種に就て行つたのであるが，この中前者は Froude の相似律が成立つものとして，狹窄部の流速を一致せしめたのであり，後者は高さの縮尺によつて換算したものである．但し河口附近の檢潮儀零點の高さはこの試驗の後の測量によつて以前に定められた値と相違して來てゐる事が發見された爲，結果に於ては實測と一致しない事となつた．尙本文の主としてIに揭げた資料はこの測量の結果によつて訂正した値である．

表—1，No. 15～18 はこの實測と比較したものであるが，玆に特記を要する事は，これ迄のものは何れも昭和 11 年 5 月の地形を標準とし之に導流堤其他の構造物を設けた場合であるが，之は模型を實測當時の測量結果によつて改造した狀態に就て行つたのである．No. 15 及 16 は夫であつて 17 及 18 は模型表面の粗度の影響を見る爲に底面にアスファルト・エマルジョンを塗付した直後にモルタル試驗用の標準砂—平均粒徑約 0.7 mm—を篩より落して附着せしめ，乾燥した後試驗したものである．

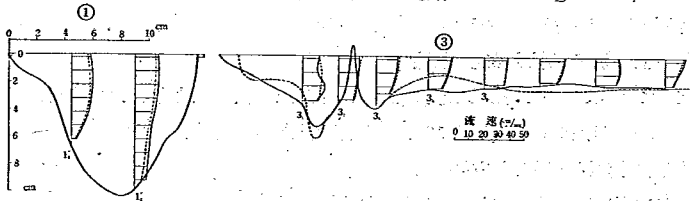
1) 流速を一致せしめた場合

在來の模型と著しく異る點は河口の狹窄部が多少狹くなつてゐる事 (圖—48 a) とし波崎地先の水深が稍大になつて斷面 III が變化してゐる事である．此の模型によつて狹窄部

圖—48 (a) 昭和 12 年 6 月現在の地形による流向
(圖の破線にて示すものは昭和 11 年 5 月の地形)



圖—48 (b) 同上 流速分布 斷面 1 は實測の場合の場所を選んだ爲從來とは稍異る斷面 3 に太い破線で示したものは昭和 11 年 5 月の地形. 流速の實線は $h=1.07$mm $Q=0.723$ l/sec ; 破線は模型表面を粗くした場合 $h=1.07$mm $Q=0.707$ l/sec



の流速を實測の 10 日午前 10 時より換算し約 12 cm/sec と定めて BC 間の水位差を定めた處水位差は 1.07 mm となり，之に對應する流量は 0.723 l/sec であつた．その流向及流速分布は圖—48 (a), (b)に示す通りである．

表面の粗度を大にしたものでは水位差を同樣 1.07 mm として流速從つて流量の變化を見た．この場合の流量は 0.707 l/sec であり前に比し稍減少して流速分布は 圖—48 (b) の通りであつた．

2) **水位差を一致せしめた場合**

實測の午前 10 時の水位差は 56 cm であつて高さの縮尺から換算して 5.6 mm となる筈であるが，實測當時の誤れる量水標零位から計算して 40 cm であつたので之を換算した値に就て試驗した．結果は流量 $Q=1.312$ l/sec，粗度を變化せしめた場合 $h=4.0$ mm として $Q=1.353$ l/sec であつた．

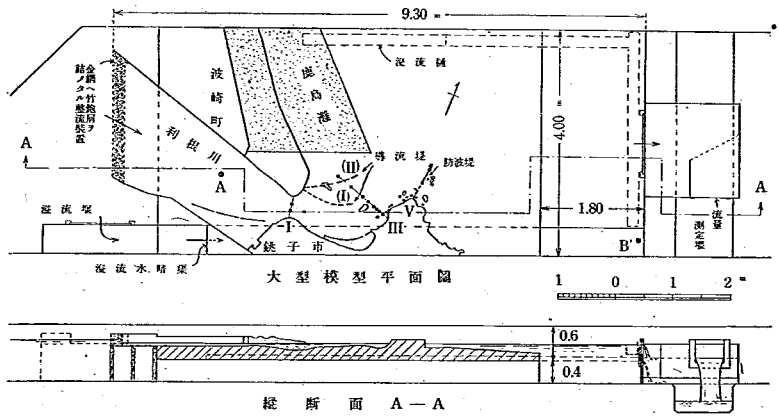
IV. 大型模型流況試驗

成可く縮尺の異つた 2 種類以上の模型によつて試驗を行ふ事は實際との相似關係を知る上に大切な事だと思つたので，更に大型の模型によつて小型と略、同樣の試驗を行つた．

［1］ 模型，試験方法及試験の種類

模型は寸法，平面に於て幅 4m，長 9.30m，であつて實物に對する縮尺は平面に於て1/600 鉛直方向に於て 1/60 のものを赤羽分所工法試驗樋内に設けた（圖—49）．之は小型試驗の

圖—49 大型模型平面及斷面圖

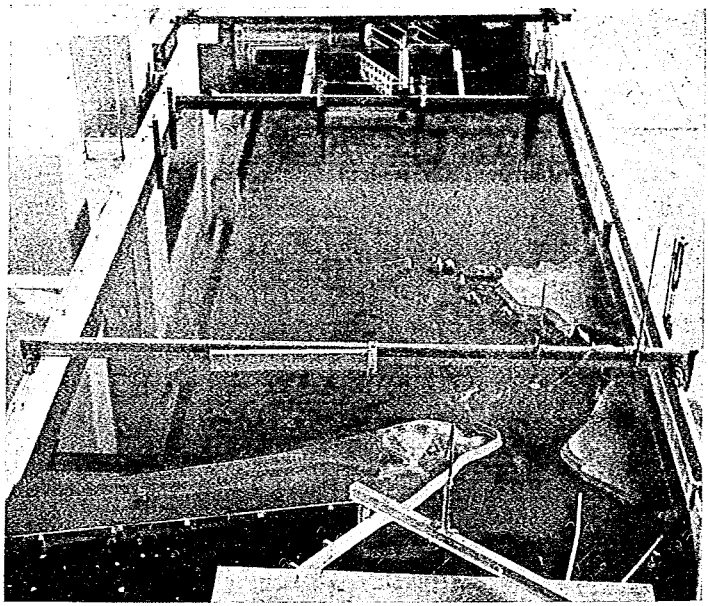


結果と比較して實際に對する相似關係を攷める爲であつて小型に於けると略ゝ同樣の狀態に就て試驗を行つた．模型の範圍は小型に於けるよりも稍大であり，水の落口は圖—49 の如くした爲その影響が流れに及んでゐないとは限らない．この落口の影響を見る爲に別に圖—49 に破線にて示した如き溢水樋を設けたものに就ても試驗し兩者を比較した．その結果は本章の終に述べる．大部分の試驗では 圖—49 の水路中央部より水を落し測定堰にて流量を測定した．

模型は木の床張り上に土地の高低に應じて砂交り砂利を適當に敷きならした上にモルタル配合 (1:4) を塗つて仕上げたものである．圖の鹿島灘に相當する部分は一部（圖に點々でハツチした部分）砂で地形を作つた．之は後に述べる砂洲の移動に關する試驗の爲であつて，流れに關係のあると考へられる部分はすべてモルタル仕上げペイント塗とした．

地形は小型の場合と同樣昭和 11 年 5 月の測量圖に依つた．河口附近の重要部分は 20 cm 毎に斷面をとり，鹿島灘附近等は 35 cm 間隔，海の底の部分 50 cm 間隔に斷面をとつた．小型模型と同樣に出來上る筈であるが，詳細部分での多少の相異は免れ得なかつた．かくして出來た模型にて試驗中の狀況は圖—50 に示す通りである（尙水を空にした狀況に就ては圖—60 參照）．寫眞にて河口狹窄部附近左岸波崎側に河に沿つて堤を築いたのは地形とは無關係に特殊の試驗の都合上作つたものであつて一般には之なしで試驗した．

圖—50 大型模型寫眞



試驗の方法は小型と同樣利根川平水時に於ける大潮干潮最盛時及利根川洪水時の2種に就て，水位差は小型試驗の値を縱の縮尺の比例に換算して之をその儘適用して定めた．卽ち大潮干潮時及洪水時の水位差は小型の 2.8 mm 及 17.9 mm を換算して夫、4.7 mm 及 29.8 mm となる．昭和11年5月の地形に於て上記水位差により得た流量 7.1 及 19.9 l/sec を各場合に常に一定として試驗を進めた．水位測點は大型では圖—49 A 及 B′ と定め測量用レベルにて直接に讀み取つた．B′ の高さを大潮平均干潮面と定めた事は小型の場合と同樣である．

流速は I，III 及 V の斷面中にて小型測點に相當する點にて徑 1.5 mm のピトー管にて水面以下 2 cm 毎に測定した．流向は頭部に目盛のある圓形の方向指示盤を有する細い鋼線の下端に白絲を附した裝置によつて定めた．流向寫眞は小型に於けると同樣にして撮影した．

表—3 大型流況試驗の種類

番號	模型			水位差 (mm)	流量 (l/sec)	備考
	沖明神	導流堤	防波堤			
No. 6—M	有	無	無	4.7	7.1	平水（海岸線及深淺は昭和 11 年 5 月
8—H	〃	〃	〃	29.8	19.9	洪水（調査のものによる
22—M	無	〃	無	4.0	7.1	沖明神撤去の影響試驗 地形同上
23—H	〃	〃	〃	28.3	19.9	
11—M	無	I 有	無	10.0	7.1	導流堤 I の影響　〃
10—H	〃	〃	〃	47.5	19.9	
17—M	無	II 有	無	4.5	7.1	導流堤 II の影響　〃
20—H	〃	〃	〃	28.4	19.9	
28—M	無	無	有	4.0	7.1	防波堤の影響　〃
29—H	〃	〃	〃	28.2	19.9	
35—M	無	無	無	4.3	7.1	溢水路の影響　〃
(22—M	〃	〃	〃	4.0	7.1)	(溢水路なく矩形堰による場合)
37—H	〃	〃	〃	30.0	19.9	溢水樋を取付けた狀態
(23—H	〃	〃	〃	28.3	19.9)	(溢水路なく矩形堰による場合)
42	有	無	無	1.8	5.3	地形は昭和 12年 6 月調査のものによる
43	〃	〃	〃	6.7	8.9	實測との關係を見る爲の試驗　平水
46	有	無	無	3.9	6.9	同上　洪水
45	〃	〃	〃	13.3	12.3	
53—M	無	I 有	有	5.0	7.1	導流堤のある場合に斷面の大きさの影
51	〃	〃	〃	37.0	19.9	響を見る

流量は下流端の巾 50 cm の短形堰にて測定した.

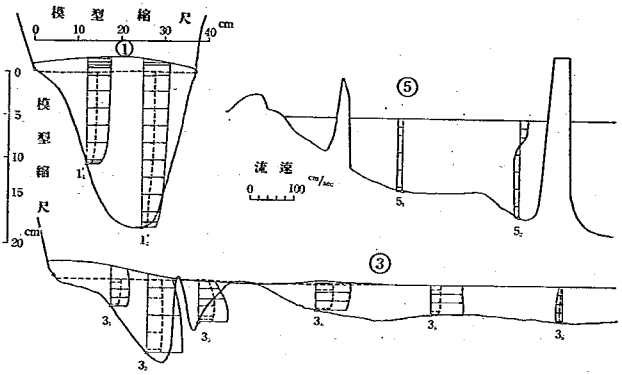
試驗は航路浚渫の影響，導流堤の影響及防波堤の影響を平水及洪水時に表—3 に示す種類に就て行つた.

表中 No. 42, 43, 45, 46 は II 章の實測結果と比較する爲の試驗である爲流量は上記と異り，又 51 及 53 は洪水時に於て導流堤の內側底部の砂が押流された狀況の下に行つたものである.

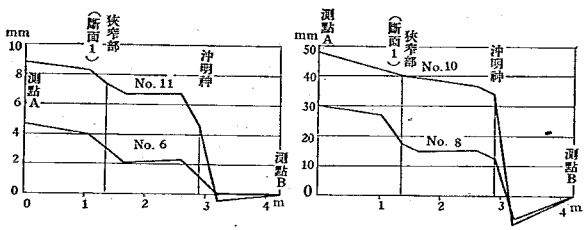
[2] 現在の狀態及沖明神撤去の狀態による試驗結果

1) 現在の地形　大潮退潮時　表—3, 6—M の試驗は水位差を，小型の同樣の場合 $h=2.8$ mm から縱の縮尺の比100/60 に依つて換算して $h=4.7$ mm とし，之によつて流量を觀測した處 $q=7.1$ l/sec となつた. この場合の I 及 III の斷面流速分布及流心に沿ふ水面の高低は 圖—51 及 52 の通りである. Froude の相似律 $\frac{V^2}{v^2}=\frac{H}{h}$ が成立つと

圖—51　昭和 11 年 5 月現在の海岸の狀態に於ける流速分布，破線は大潮退潮時（AB′ 間の水位差 h=4.7 mm; Q=7.1 l/sec），實線は洪水時（水位差 29.8 mm; Q=19.9 l/sec）



圖—52　同上　流心に沿ふ水面の高低縱斷圖
(1) 大潮退潮時
(2) 洪水時



すれば

實際とこの模型での流速の比は $\frac{V}{v_2} = \sqrt{\frac{H}{h_2}} = 7.75$

又小模型と之との比は $\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{100}{60}} = 1.29$

流量は $\frac{Q}{q_2} = \frac{AV}{a_2 v_2} = 600 \times 60 \times \sqrt{60} = 279000$

q_2 = 7.1 l/sec は換算して Q = 1981 m³/sec

又 $\frac{q_2}{q_1} = \frac{2000}{600} \times \frac{100}{60} \times \sqrt{\frac{100}{60}} = 7.17$

現地に於て測定した流出量との比は之とは異つてゐるが之に就ては VI 章に論ずる．

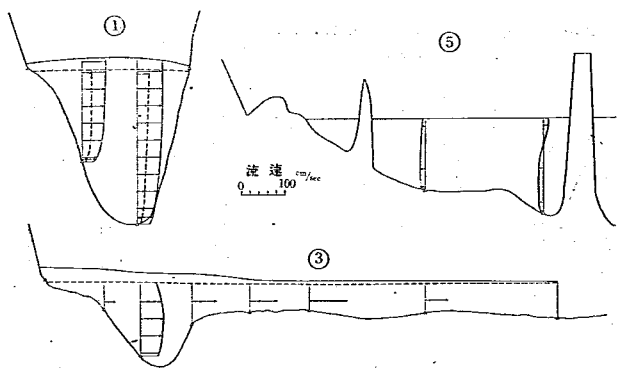
大型と小型との流出係數の比は實驗 No. 6—M と No. 1 及 No. 8—H と No .2 に於いて見るに夫々 $\frac{q_2}{q_1}$=7.94及7.73となり，流出係數を夫々 C_2 及 C_1 とすれば $\frac{C_2}{C_1}$ = 1.11

及 1.08 平均 1.1 となる.寸法によつて此の程度の相違を出したものと考へられるものであつて，此の 2 種類の模型の狹窄部の流出狀態に關する限りは共に Froude の相似律が成立つてゐると考へて差支ないやうである．此の事は圖—52の如き流れに沿ふ縱斷圖に於て狹窄部前後の水位差から流速を算定して見ても略〻誤りでない事が認められる．

2) **現在の地形　洪水時の狀態**　表—3, No. 8—H の試驗であつて之は水位差を小型によつて定めた値を換算して $h=29.8$mm と定めた．斷面流速分布は圖—51 に示す通りである．

3) **沖明神撤去の影響**　平水時及洪水時に夫〻流量を 7.1 及 19.9 l/sec として水位差を求めた處夫〻 $h=4.0$ mm 及 28.3 mm であつた．(表—3, No. 22 及 No. 23) 流速分布は圖—53に示した通り，尙本文終り寫眞 —19 及 20 を參照する事によつて撤去前後の表面流向の變化を見る事が出來る．

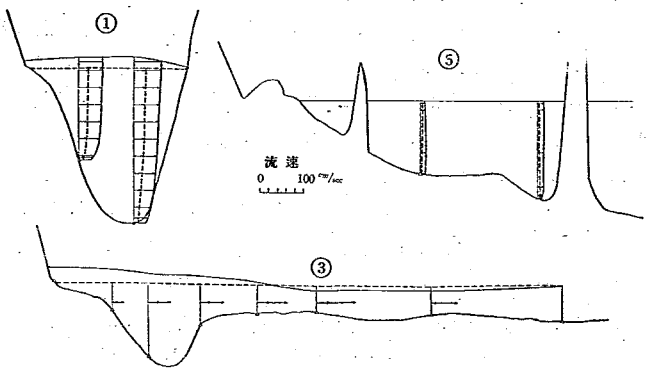
圖—53　沖明神撤去の狀態に於ける流速分布（破線は平水 $h=4.0$ mm $Q=7.1$ l/sec；實線は洪水 $h=28.3$ mm $Q=19.9$ l/sec）



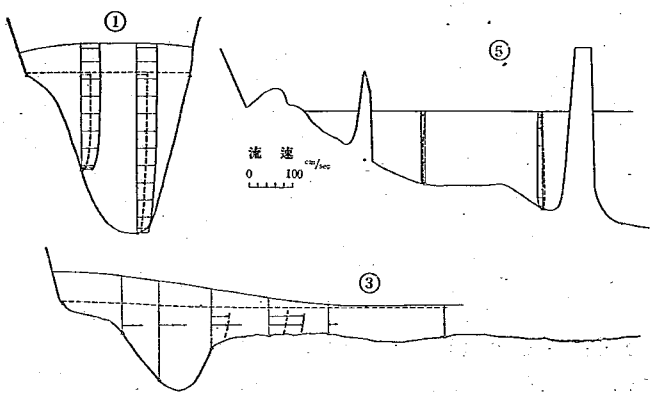
[3] 導流堤及防波堤の影響

1) **導流堤**　圖—49, I 及 II の導流堤を設けた場合の平水及洪水時の流量を夫〻 7.1 及 19.9 l/sec として水位差を求めた處，水位差は I の場合に夫〻 $h=10.0$ 及 47.5 mm (寫眞—21 參照), II の場合 $h=4.5$ 及 28.4 mm であつた．(表—3, 實驗No. 11—M, 10—H, 17—M, 20— H, 寫眞第 22 參照)．何れも導流堤は水面上溢流しない充分の高さを有するものである．斷面に於ける流速分布の狀態を圖—54 及 55 に示した．導流堤 I のある場合の平水及洪水時の狹窄部附近水面の縱斷勾配を圖—52 に示した．圖の No. 11 は實驗 No. 11—M を翌日反覆して行つたものである．兩圖の水位差の違ひが實驗誤差よりも大きく出てゐる樣に見えるが原因が明らかでないのでその儘記した．

圖—54　導流堤 I を設けた場合　平水　h=10.0 mm　Q=7.1 l/sec;
洪水　h=47.5 mm　Q=19.9 l/sec



圖—55　導流堤 II を設けた場合　平水　h=4.5 mm　Q=7.1 l/sec;
洪水　h=28.4 mm　Q=19.9 l/sec



尙導流堤 I がある場合に洪水を受けた導流堤と右岸との間の水路の砂が押し流され此の斷面が狹窄部と略、同一になつた時に水位差に如何に影響するかを小型と同樣一部模型を改造して試驗した處（表—3, 實驗 No. 53 及 51, 寫眞—28, 29, 30), 同一の洪水流量 19.9 l/sec を流す時に h=37.0 mm であつて No. 10—H の 47.5 mm に比し相當に低くなつてゐる. 平水大潮退潮時に就ては h=5.0 mm を得て, 以前の 10.0 mm に比し著しく小である.

2) **防波堤**　圖—49 に示した防波堤を設置した影響を導流堤のない狀態で比較した

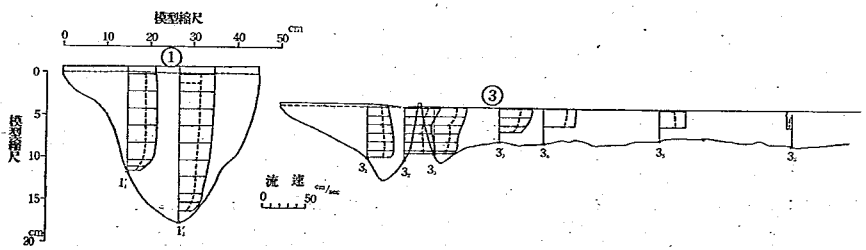
處，平水及洪水の 7.1 及 19.9 l/sec を流しても著しい差は認められない．(表—3，實驗 No.28—M 及 29—H) 同一流量に對する水位差は却つて稍小に出てゐる．之は河口附近の流れが之に依つて整流される事に依ると思ふ．

［4］ 現地測量との比較試驗

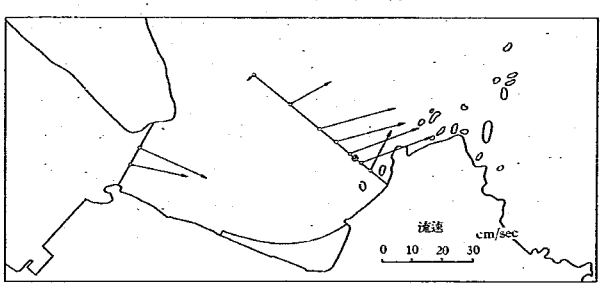
本文 I に述べた現地に於ける平水及洪水等に於ける實測値と比較する爲に，模型を夫々一部改造して前記の狀態に合はせ，又沖明神岩の存在する狀態にて試驗した結果は次の通りである．實驗 No. 42, 43, 45, 46 何れも流速を Froude 相似律によつて換算した値に模型の流速を一致せしめた場合と，水位差を一致せしめた場合の 2 つに就て實驗を行つた．

先づ平水の場合に模型は現地測量の昭和 12 年 6 月のものに一致せしめた．狹窄部附近の流速は現地測量では 1.20 m/sec であるが，之を Froude 相似則により換算すれば $v=15$ cm/sec となる．大略之に近い流速にした處 $h=1.8$ mm, $Q=5.3$ l/sec となつた．又水位差 h は現地測量の場合に 56 cm であつて鉛直の縮尺はその 1/60 卽ち 9.3 mm となる．然るに實測當時の誤れる量水標零位によれば $h=40$ cm であつた爲，$h=400/60=6.7$ mm として試驗した處 $Q=8.9$ l/sec を得た．尙此場合の流向及流速分布は圖—56 及 57 に示す通り

圖—56　現地測量結果との比較試驗　平水　$h=1.8$ mm, $Q=5.3$ l/sec; $h=6.7$ mm, $Q=8.9$ l/sec



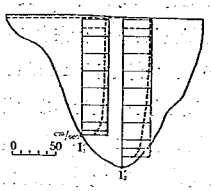
圖—57　同　上　流　向



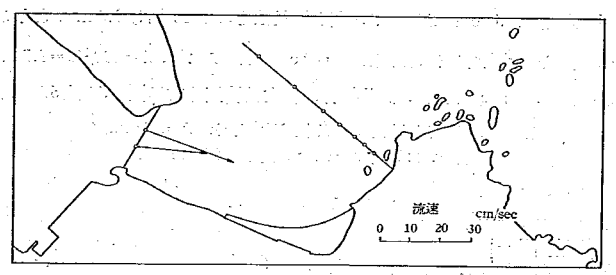
である．尙此の場合の斷面 1 は從來の斷面 1 とは方向が稍異る．之は現地測量の値を一致せしめる爲に之と同樣の箇所を撰んだのである．

洪水時に於ても同樣にして $h=3.9$ mm 及 $h=13.3$ mm に於て試驗した結果を圖—58

圖—58　洪水時實測との比較試驗　斷面 1 の流速分布　$h=3.9$ mm, $Q=6.9$ l/sec; $h=1.33$mm, $Q=12.3$ l/sec



圖—59　同　上　　流　向

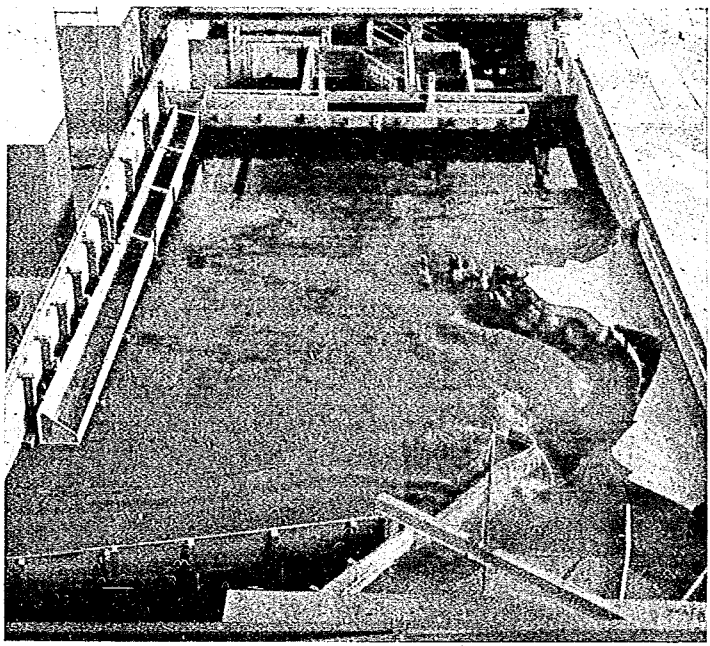


及 59 に示した．此の場合の流向及流速は斷面 1 だけに就て調べた (寫眞— 26及 27 參照).

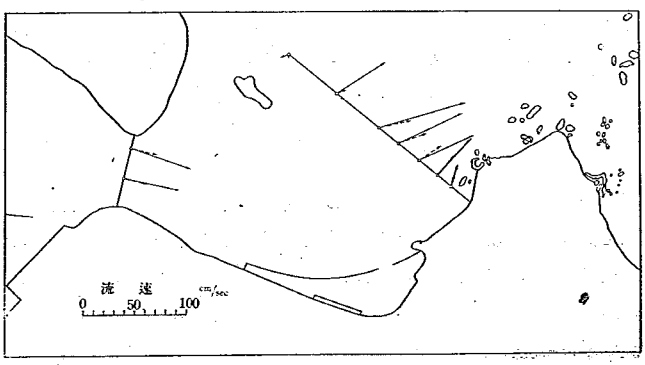
水の落口の影響

大型模型のこれ迄の試驗は何れも圖—50 の如く下流の落口は中央部の短形堰であつたが，之が流向に多少の影響を與へてゐる心配があつたので，之を憐める爲 圖—49 に破線で示す通りの流水樋を設計 圖—60 の寫眞に示す通りの狀態にて試驗を行つてその影響を見た．(表—3 No. 35-M, 22-M, 37-H, 23-H). 尙この試驗は前項實測との比較試驗の前に行つたものであつて，從つて地形は 11 年 5 月のものである．流向の變化は本文終の寫眞—24 を落口を變へる以前の 19 と比較する事に依つて知る事が出來る．實測した結果は水面以下 2 cm に於て 圖—61 に示す通りである．寫眞だけでの比較では餘り明らかでないが鹿島灘沖の渦の狀態に多少影響がある樣に見られる．同一流量に對する水位差が 35-Mと 22-M 又 37-H と 23-H との間に認められるが，流速を測定してゐる附近に對する影響は認められなかつた．

圖—60　大型模型に溢水樋を取付けた狀態　寫眞の左上方の矩形水路が夫れ



圖—61　溢水樋を設けた狀態での水面以下 2 cm に於ける流向
實線は h=30.1mm　破線は　h=4.3mm



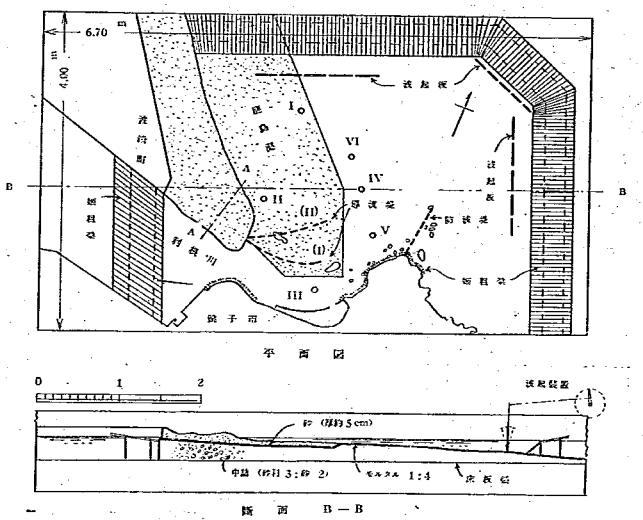
V. 砂洲の消長に關する試験

今迄述べたものは水の流れに就て諸種の影響を見たのであるが，河口の左岸の砂洲の移動には波の影響が顯著である事は II に述べた調査結果に依るも明らかである．依つて流れとは全然別に波の爲の洲の影響を見たのが茲に述べんとする試験である．實地では流れと波とが同時に作用するけれども，試験では之を別々に取扱つたのは兩者を支配する相似律が異るからである．兩者を同時に行つた場合，その結果に對する解釋は非常に困難であると思ふ．

[1] 模型及試験方法及び試験の種類

1) 模型　この試験に使用した模型は IV に述べたと同一のものを一部改造したものである．卽ち 圖—62 に示す如く鹿島灘附近の海岸（圖に點々を打つた部分）は模型の

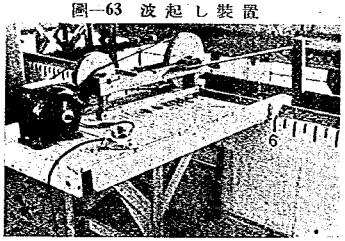
圖—62 砂洲の消長に關する試験裝置



表面厚さ約 5 cm を砂で作つた．この砂の表面の凹凸は實驗一回毎に豫め用意した木枠により各回とも同一になる樣にした．又砂の締め方及濕り方も常に同樣になる樣に心掛けた．全く同一の狀態にて 2 回別々に實驗した結果によればこの目的は達成されてゐる樣である．模型の縮尺は IV に述べたと同樣平面に於て1/600，鉛直方向1/60であつて，海岸勾配等は實際よりも急になつてゐる．卽ちモルタルで作つた部分の海岸では實地では割合

に緩勾配の所が模型で急になつてゐる爲實際には波の反射が起らないが模型では波を反射する場所がある．之は實際と一致せしめる爲に姫粗朶の傾斜したものを海岸に取付けた．(圖—62參照)．海堤の斷面勾配も實際と異るが之は實地の觀測によれば波を反射してゐるから模型でもその儘とし，又護岸が混凝土の略鉛直壁で出來てゐる場所も模型ではその儘とした．

圖—63　波起し裝置

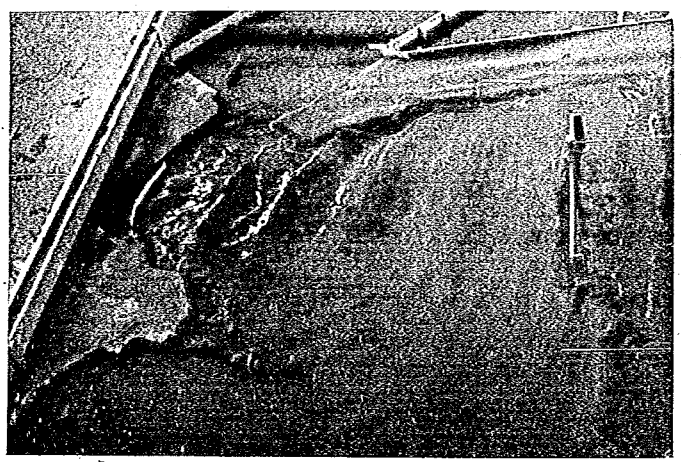


模型を作つた場所の周圍には鉛直の混凝土壁があり，之も波を反射しない樣に上記よりも一層緩やかな，勾配の長い姫粗朶を取付けた (圖—62參照)．

水面は常に一定にして平均海水面卽ち平均干潮面上 0.90 m をとつた．卽ち模型範圍内で鹿島灘沖の深い場所では，實際に 8.5 m あるから模型では約 14 cm となり，汀線に近づくに從ひ勾配は稍緩となる．

2) 波　上記模型内に貯水して鹿島灘沖に相當する場所から波を送つて海岸の砂が如何に動くかを見たのである．波は下部に蝶番を有する板の上部に振動を與へて起す．(圖—63 及 64) 板の幅は 30 cm，長さは 1.0 m 及 1.50 m のものを用ひた．上記の板を蝶

圖—64　試驗中の寫眞



番中心より高さ 60 cm の所に單弦運動を與へて波を起した．振動の週期は $T=0.7$ 秒と

し，振幅は偏心距離 $r=2\sim13$ cm の間に變化せしめ得る様にした．波起し板の位置は圖—62 に示した3箇所であつて之を假りに「北」「北東」及「東」と名づくれば（板と直角の方向の正確な値は夫〻北 21°30′ 西，北23°30′ 東，北 68°30′ 東）「北」及「東」は幅 1.50 m，「北東」は 1.0 m の板で波を起し各場所に於て板の水中にある概略の高さは夫〻「北」12 cm，「北東」20 cm，「東」15cmである．

各方向の波を汀に於て略同一の高さにする爲に前記「北」の場合に $r=13$ cm，「北東」$r=4$ cm，「東」$r=7$ cm を標準とした．波の形は直接に活動寫眞にとつて觀測した．その一例は 圖—65 の通りである．之は各場合に圖—62 の I, II, III, IV, V, VI の位置に於て目盛桿を立て〻活動寫眞によつて觀測したものであつて，圖— 65 は「北」$r=13$ cm の波の場合に I, II 及 III に於て觀測した波の形である．I から II に水深が淺くなると共に波高は大となり III は海堤の爲に反射波が起きて一層大となつてゐる．I と II との間は略滑らかな海底で靜水時，水深は I 及 IIに於て夫〻11.5 cm 及 3.5 cm である．

3) **砂**　模型の一部を形成してその移動を調査するに用ひた砂は銚子港修築事務所より送附を受けた現場の砂であつて，波崎砂州に於て採取したものである．之を篩分した結果は下表に示す通りである．砂の比重 3.09，單位重量（密裝）1.829，空隙率 40.8 % である．

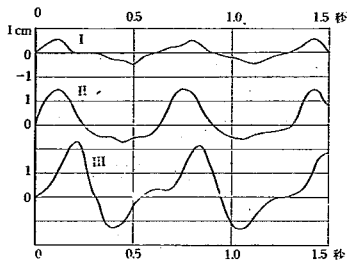
篩通過	篩止り	mm 以下	mm 以上	試驗成績
No. 30	No. 50	0.50	0.29	3.39%
50	100	0.29	0.14	39.91
100	200	0.14	0.074	54.03
200		0.074		2.67
計				100.00

尙顯微鏡試驗によればこの砂は石英，磁鐵鑛，長石より成り少量の硅岩，粘板岩等を雜へ大體稜角に富むものが多く長石中に稍分解せるものが認められた．

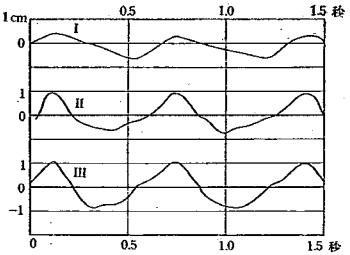
4) **試驗の種類**　表—4 に示す種類に於て試驗を行つたのであるが，すべて試驗後に等高線をとつて之を比較した．等高線は模型內に貯水して之を次第に變化せしめつ〻白絲を水際に張り次に水位を變へて同一操作を反覆して作り，最後に上方約 4.5 m より寫眞をとつた．

5) **豫備試驗**　全く同一の條件で試驗した場合にも砂の詰め方の多少の相異等の爲異つた結果が出る事も豫想されるので，之がどの程度に異つて出るかを見る爲に比較試驗を行つた．本文終の寫眞—31 及 32 は全く同一の狀態で行つた2回の結果である．圖—62 AA′ 線より先きの部分の汀線上の面積が試驗後に於て 31 と 32 の場合に於て夫〻 3280 及 3149 cm² となり，試驗前の面積は寫眞 — 33 から 2600 cm² であるから面積の增加は夫〻 680 cm² 及 549 cm² であつて試驗回毎の差は割合に大であるが，他の狀態のものとは明らかに區別出來るので以後は同一狀態では1回宛の試驗を行ふ事とした．

圖－65　波形「北」の波　$r=13$ cm　I, II, III に於て觀測したもの(圖－62 參照)
導流堤及防波堤のある場合



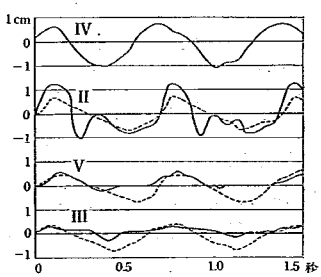
圖－66　波形；「北」の波，$r=7$cm



波の高さに依つて砂の動く狀態が變る事は勿論であつて「北」$r=13$ cmなる振幅で週期 $T=0.7$ 秒なる振動によつて起した波は圖—65 に示した通り (但し之は防波堤のある場合) であり，之に對し $r=7$ cm なる振幅のものは圖—66 に示した通りである．この兩者により砂の動きを見た結果は寫眞—31と34 とに示した．

兩者を比較するに $r=13$ cm に比し $r=7$ cm では砂の動きは著しく少ない．その何れが適當であるかは實際の波高との關係，砂粒の大きさ又砂が波のどの狀態の下に運搬されるか等の關係から決定しなければならない．しかしこの試驗では波の方向により砂の動きが如何に變るかを知るのが目的であつたから，結果が割合に顯著に出る $r=13$ cm のものを選び以下の試驗はすべて之に依つた．

圖—67
波形「東」の波 r＝7cm 實線は防波堤及び導波堤のある場合破線は導流堤のみある場合



［2］導流堤，防波堤及海堤の影響

1) 導流堤設置の影響　導流堤 I を設けた後に「北」及「東」波の爲に砂洲の移動がどうなるかを見た結果は寫眞—35 乃至 39 に掲げた通りである．「北」波の場合に導流堤に沿ふて洲がつく事が著しい現象であつて (寫眞—36)，その他は寫眞—31 と大差がない．導流堤に粗朶を附けない場合には反射波の爲に堤の附近が堀られて餘り洲がつかない (寫眞—37)．之は實際施工の場合に注意すべき事柄であると思ふ．東よりの波で洲の移動は著しくない．又この場合は導流堤の粗朶なしの場合にも堤の根本附近を堀られる事は「北」波の場合に比し尠ない．又堤の有無による洲の動きの差は著しくない．

圖—62，AA 線より外の水面上の洲の面積は試驗前の 35 では 2682 cm², 後の 36 で

表—4　砂洲の消長に關する試驗の種類

試驗番號	模型 導流堤	防波堤	海堤	波 方向	振幅 cm	試驗した時間	備考
T—15	無	無	有	北	13	1	同一試驗を2回行つた結果の比較
16	〃	〃	〃	〃	13	1	
17	〃	〃	〃	—	—	0 (試驗前の狀態)	
18	〃	〃	〃	北	7	1	Iの影響(T—16と比較の事)
28	I 有(粗朶無)	有	有	北	13	1	導流堤Iの影響(北風) T—28は特に導流堤に粗朶のない狀態
29	〃	〃	〃	—	—	0	
30	〃	〃	〃	北	13	1	
22	無	有	有	東	7	1	導流堤Iの影響(東風)
25	I 有	〃	〃	〃	〃	1	
34	II 有	有	有	北	13	0	導流堤 II の影響
35	〃	〃	〃	〃	〃	1	
36	〃	〃	〃	北東	4	1	
21	無	有	有	北	13	1	防波堤の影響 (T—16とも比較の事)
23	〃	無	〃	東	7	1	
26	I 有(粗朶無)	有	〃	北東	4	1	
27	〃(〃)	無	〃	〃	〃	1	
33	無	無	無	北	13	1	海堤の影響
20	〃	〃	有	〃	〃	+1	

は3414 cm となり增加面積 732 cm² であつて，之と全く同樣の狀態の下に試驗した 寫眞—43は3373 cm² 卽ち增加量は 691 cm² であるから兩者の差は數字的には顯著でないが導流堤に沿つて洲が出來る事は注意すべき事と思ふ．

寫眞—40 乃至 42 (卽ち試驗番號 T—34 乃至 36) では導流堤 II の影響を見た．堤の根本の屈曲部に特に著しい堆砂を見る事がIの導流堤に比し異る點である．

2) **防波堤設置の影響**　寫眞—43 (卽 T—21) の結果を寫眞—32 及 31 (卽 T—15 及 T—16) の結果と比較するに面積は夫々 3373 cm² と 3280 cm² (3149 cm²) であつて防波堤のある場合に稍多くなる傾が認められる．北東風による寫眞—45 及 46 (卽 T—26, 12, 27) の結果を比較するに防波堤のある場合に稍砂洲が大となる傾向が認められる．

3) **海堤の影響**　寫眞—47 (卽 T—33) は海堤のない狀態であつて之を海堤のある狀態の寫眞—31 (卽 T—16) と比較するに，汀線上の洲の面積には殆んど差がないが洲の進行方向に相異が認められる．特に狹窄部の深い部分に落ち込む砂の量が兩者で著しく異り，海堤のある場合に利根川本流に直角の方向に洲が進行する事が顯著である．海堤築造以前に沖明神岩に向つて進行しつゝあつた洲が，築造後には次第に短くなつた現場の洲の實際

の消長とこの試驗にあらはれてゐる結果では割合によく一致すると思ふ．

尙以上の結果に對する考究は次の章に述べる事とする．

VI. 試驗結果の綜合

［1］ 相似關係及試驗結果の解釋

以上 III, IV, V 章に述べた處は試驗結果の羅列であるが，之等が實際とどの程度の相似關係を有するかは模型試驗の死命を制する重大な問題であつて，その爲に II に述べた現場に於ける測量を行ひ之と比較せんとしたのである．實測の結果を模型の結果と比較する爲には實測當時の狀況と同じ狀態にして試驗をしなければならぬのである．卽ち河の流れの外に同時に外洋より打寄せる波及び風の影響があるが，之は模型では同時に行ふ事が極めて困難な爲に實際と全く條件は合はせる事が出來なかつた．今の處此種模型試驗は尙揣籃時代の域を脫せず現在ではこの主要素たる現象に就て試驗し，推理を以て之を組合はせる外ないと思ふ．種々の要素を同時に作用せしめて試驗する事は，出來ない事はないが，之を現場の狀況と各要素とも合はせる事は遂に不可能に屬する．しかし定量的の結論を生ずる事がなくも定性的にでも，ある種構造物を作つた後の現象を實驗的に窺ふ事が出來るだけでも——現在の程度では之以上を望めない狀態ではあるが——模型試驗はその存在を主張する充分の價値があると思ふ．英國に於ける此種模型試驗の開祖ともいふべき Osborn Reynold が河口改修工事等の如き大工費を要する事柄に對し模型試驗を行はないで施工する事は氣狂じみた冒險といふべきだと喝破した事を想起したいと思ふ．

1) **流況試驗**　初めに流れに就て，Chezy の流速公式を適用し得べき狀態に近いか否かを考へる．模型に於ける流れに沿ふ水面勾配は圖—29 及 52 に示す如く狹窄部の水位差が顯著であつて模型に關する限り狹窄部に於ては海峽の流出量 $v=C\sqrt{2gh}$ が適用される狀態に近いと思ふ．小型と大型の結果を比較するに，縱の縮尺に比例して水面の水位差を定めた場合狹窄部に於ける流速の比は略 $\sqrt{h}$ に比例してゐる事は，この事を明に示してゐると思ふ．しかし實地測量の結果と比較するにこの外に橫の縮尺の影響が相當に入つてゐる樣である．

卽ち實測と試驗との結果の比較は表—5 及 6 に示す通りである．表では Froude の相似律卽ち $v^2\propto h$ が成立つものとして流速の換算を行つてある．

Froude の相似律の成立つ場合には實際の流速 V と大型模型流速 v_2 と小型模型流速 v_1 との間には次の關係がある筈である．

$$\frac{V}{10}=\frac{v_2}{1.29}=\frac{v_1}{1}$$

之が成立つとすれば，流速を同一にした場合の水位差は略一致すべきである．然るに，表—5によれば相當水位差を實測に近くとれば相當流速は實測の2倍に近く，又相當流速を合はせれば相當水位差は大型及小型何れも之が約1/5になつてゐる．表—6では前者が流量からは1.8倍後者が1/3.4となつてゐる．又一方 Manning の流速公式によつて取扱ふ場合を考へれば

$$v=C\sqrt{ri}=\frac{1}{n}r^{\frac{2}{3}}i^{\frac{1}{2}}$$ 茲に r は徑線，i は勾配，n は Kutter の粗度係數

定流では Bernoulli 式の

$$z+h+\frac{v^2}{2g}+h_f=c$$

の h_f が勾配による損失水頭に相當すべきであるから　$h_f=li$　l は水平距離

模型と實際との比が各項毎に

$$\frac{z}{Z}=\frac{h}{H}=\frac{v^2}{V^2}=\frac{h_f}{H_f}=\frac{c}{E}$$

なる關係が成立すれば兩者は全く相似現象をあらはす筈である．茲に小文字は模型，大文字は實際の値とする．之に上の $h_f=li$ なる關係を入れゝば

$$\frac{h_f}{H_f}=\frac{h}{H}=\frac{li}{LI}=\frac{ln^2v^2R^{\frac{4}{3}}}{LN^2V^2r^{\frac{4}{3}}}=\frac{n_0^{\frac{4}{3}}}{m_0}\cdot\frac{n^2}{N^2}$$ 即ち $\frac{N}{n}=\frac{n_0^{\frac{2}{3}}}{m_0^{\frac{1}{2}}}$

茲に $1/m_0$ は模型の平面の縮尺，$1/n_0$ は縦の方向の縮尺である．

表—5　實測と實驗との比較

（平水　大潮退潮時）

			流速 cm/sec						水位差 (cm)	流量
			I_1'	I_2''	III_1	III_2	III_3	III_3'		
實測　6月10日午前10時			90	125	90	183	156	173	55	1330 m³/sec
流速で合はせた場合	大型模型	測定値	18.49	20.83	17.67	22.47	19.59	20.97	0.18	5.3 l/sec
		換算	143	162	137	174	152	162	10.8	1480 m³/sec
	小型模型	測定値	11.81	13.22	11.85	13.45	13.90	13.0	0.107	0.723 l/sec
		換算	118	132	119	135	139	130	10.7	1446 m³/sec
水位差で合はせた場合	大型模型	測定値	29.92	33.39	27.09	34.76	31.43	32.30	0.67	8.9 l/sec
		換算	232	258	210	269	244	250	40.1	2480 m³/sec
	小型模型	測定値	19.92	22.91	21.72	23.27	21.97	19.17	0.4	1.312 l/sce
		換算	199	229	217	233	220	192	40.0	2624 m³/sec

模型及實際の面の粗さと模型の縮尺との間に上記の關係が成立すればよいが實際には此の如くならない．今大型實驗に就て考ふるに $\frac{N}{n}=\frac{60^{\frac{2}{3}}}{600^{\frac{2}{3}}}=0.626$

即ち實際の N が模型の n より小でなければならぬ結果になつてゐる．然るに模型の $n\fallingdotseq 0.012$ [1]，實際の $N\fallingdotseq 0.045$ であつて此の條件を滿足してゐない．即ち Froude の相似律が

表—6 實測と實驗との比較

（洪水時）

	流速 cm/sec		水位差 (cm)	流量
	I_1'	I_2''		
實測 7月18日午前6時	172	204	80	—**
大型模型 測定値	23.72	29.82	0.39	6.9 l/sec
換算	183.7	231.5	23.4	1923 m^3/sec
測定値	29.48*	31.87*	1.23	12.3 l/sec
換算	228.5	247.0	79.8	3440 m^3/sec

*) この流速は稍小にすぎる様であるが實驗に明らかに誤差があつた事も認められないのでその儘記した．流速分布(圖—58)にもその儘にした．但しこの場合は沖明神下流に射流が生じて，流況が水位差の小なるものに比し著しく異つてゐた．

**) I_2'' の位置が著しくづれてゐた爲流速を算出する事が出來なかつた．

成立つやうにはなつてゐない．依つて逆に上記の N 及 n をとつて流速比を算定すれば

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

$$=1.29 \qquad \text{大型}$$

$$=1.28 \qquad \text{小型}$$

となる．茲に $\frac{R}{r}=\frac{H}{h}$ にとる．

	r	i	n	v
實物	1	1	1	1
大型模型	$\frac{1}{60}$	10	$\frac{1}{3.75}$	$\frac{1}{1.29}=0.775$
小型模型	$\frac{1}{100}$	20	$\frac{1}{3.75}$	$\frac{1}{1.28}=0.785$

水位差を模型の縦の縮尺の割合で定めた場合には模型では縮尺の關係上，實際よりも水面勾配が急になり流速は實際とは著しくは異らない結果となる．即ち

Froude からは $\frac{V}{10}=\frac{v_2}{1.29}=\frac{v_1}{1}$

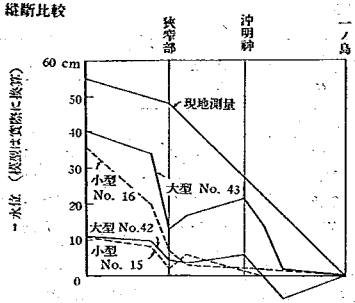
Manning からは $\frac{V}{10}=\frac{v_2}{7.75}=\frac{v_1}{7.85}$

表—5, 6 及上記の結果から考へるに模型は Froude の相似關係と Manning の相似關係との間にあつて割合に Froude の相似關係に近いと見られる．

圖—68 は現地に於ける實測と試驗に於ける場合との水面の縦斷勾配を比較したもので

1) 模型水路の流出係數に就ては目下試驗施行中で，近く土木試驗所報告に發表の豫定である．

圖—68　實測の試験との水面の縦斷勾配比較



ある．現地に於ける測定は流心に就て行ふ事が出來なかつた爲に岸に於て測つた値である．しかも試験に於ける測定位置ではなく上流では第2漁船溜に接した和田河の檢潮儀の水位をとり，試験の一の島に相當する値としては夫婦鼻に於ける檢潮儀の水位をとつた．實測の點の數が少ない爲之等を直線で結んだものが，近似的に水面をあらわしてゐるとは限らないが假りにさう結んだ．

模型での水面の差は狹窄部の前後で著しく，之に依つて $v=C\sqrt{2gh}$ により C を算出した處 $C\fallingdotseq 1$ である．然るに實地で測定した結果によると——尤も此の場合狹窄部前後の水位差を定める資料が足らないが，全體の水位差の約 1/2 が夫と推定されたので之に依つて v を算出した—— $C\fallingdotseq 0.5$ となり兩者の流れの狀態は相似でないと考へられる．

2)　**流況模型試験の解釋**　實地測量と試験室のものとは上の如く相違し而かもその相違は風や波のみによると考へるには餘りに大である．從つて玆に掲げた試験に得た流速分布や流向の結果が實際にもその通りになる事は豫期出來ないと思ふ．之は河口の流況が Froude の法則と Chezy の流れの法則と兩方の制約を受け，しかも兩方の相似關係が成立する樣縮尺又は粗度を選定し得ない事が最も大きな原因であると思ふ．將來此の如き實驗が同じやうな條件の下に行はれる事もあると思ふが，上記の各要素を滿足せしめる事は極めて稀であつて，結局玆に得た結果の樣に構造物を作つた場合の比較試験を行ふ程度に滿足しなければならない．

各斷面の同一箇所の縦の方向の流速分布も實測のものは極めて不規則である．之は流れの外に週期的に流れの變化を起す他の原因が存在する事にもよると思ふ．卽ち靜振，渦流等により流況が週期的に變化する事は現場で明らかに感ぜられた．之等の爲に流速の實測値が必ずしも規則的でなく出た事と思ふ．之が其試験値と一致しない事は寧ろ當然であるが，若し上記の如き2次的の原因を除いた狀態で實測し得たとしても，試験と實際との流速分布の相似を望む事は出來ないと思ふ．特別に狹窄部等のない河川で Chezy の流速公式のみによつて扱へる樣な場合には多少簡單になるが，之も例へば橋脚が存在してその上下流に水位差を生ずる樣になれば河口の場合と同樣の問題が起きて來る．構造物の有無による比較試験でも，支配する主なる法則が異なれば，實際とは異なる結果が得られる事は勿論である．之等は實地の觀測と並行して行ひ，實驗結果を參考して實際を判斷する樣に

すれば著しく誤る事はないと思ふ．試驗を行はず，空に考へてゐて解決つかない場合に模型を睨んでゐれば貴重なる資料を得る事が多々ある様に思ふ．

試みに II に述べた結果と III 及 IV の結果の一，二を比較する．表—5 に於て I の斷面の流速と III の斷面の夫とでは，實測では III が I に比し著しく大である．大小 2 種の模型ではこの兩者の關係がよく似てゐるのに拘らず實測では異つて來てゐる．又流向も實測と試驗では著しく異つてゐる．勿論風や波の影響もあり又實測の場合のその他の誤差も入つてゐるかもしれないが，矢張此の外に流れを支配する法則が模型と實際と必ずしも同一でない事が大きな要素であると思ふ．

從つて既述の流向及流速分布等は其處に示された條件の下に かく なるといふのであつて，今の處試驗結果は現地を充分に知る者が問題を解決する場合の有力な資料となるに止まる．

3) **砂洲消長試驗相似律**　砂洲の消長に就ての相似律は波の大きさ，週期從つて波長，砂粒の大きさ，粒の大小の混合狀態及比重等に依つて異るのは勿論であつて，之等に對應した砂及力によつて試驗を行ふ事は非常に困難である．最も簡單な場合に就て，今砂を動かす力が粒の水平方向に働く力にのみ關係するとし，且粒が皆同一の徑の球よりなるとして，水中に浮游してゐる砂粒を動かす力に就て考へるに

$$\frac{(m-1)\pi d^3}{f\cdot\pi d^2}=\frac{(M-1)\pi D^3}{F\cdot\pi D^2}$$

なる場合に模型と實際との相似が成立つ筈である．茲に m は砂粒の比重，d は徑，f は砂粒の單位面積に作用する波の水平力　とし大文字は實物，小文字は模型での値を表はす．

$$f\propto v^2\propto\frac{h}{t}$$

であるから次の式が滿足されなければならぬ．茲に v は波による水分子の動きの最大水平速度，h は波の高さ，t は波の週期である．

$$\frac{(M-1)D}{(m-1)d}\cdot\frac{h}{H}=\frac{t}{T}$$　　茲に大文字は實際の物の夫々の値

今比重が同一なる砂を模型に用ひたとすれば

$$\frac{D}{d}=\frac{H}{h}\frac{t}{T}$$

大型模型では $\frac{H}{h}=60$　　$\frac{t}{T}\fallingdotseq\frac{0.7}{3.5}=\frac{1}{5}$ であるから粒徑が 1/12 の砂を用ひなければならぬ事となる．銚子海岸の砂は平均粒徑 0.2 mm 位であるからその 1/12 の粒を得る事は困難であるが假りに之が出來ても粒の表面，水の表面張力等の影響が大となるから目的を達し得ない．

次に徑が同一のものを用ふれば

$$\frac{M-1}{m-1}=\frac{H}{h}\frac{t}{T}$$

砂の比重を 2.6 とすれば $m = \frac{1.6}{12} + 1 = 1.133$

比重が此の如きものを選べは良い事となる．之に適するものとしては石炭は比重が 1.2～1.5，琥珀が 1.06～1.11，樹脂 1.1，ピッチ 1.1，洋紙特に充分に濕つた吸取紙 1.1 等が考へられる．今試みに適當に碎いた琥珀を水中に浮游せしめんとした處，その中に含まれる空氣と又水の表面張力の爲に容易に水中に沈まなかつた．石炭の粉は比重が上記の様に大であるに拘らず同様の現象があり煮沸するか充分に攪拌しなければ目的を達し得ない．

此の外，又比重と粒經とを同時に變化せしめて適當なものを選ぶ事も試みてみたが，結局上記の如き極めて簡單な場合にすら相似關係の成立する様にする事は極めて困難である．然るに砂が動かされる原因は上記の如き單純なものでは勿論ない爲事柄が一層困難となる．然るに A. H. Gibson 氏 [1] に依れば砂粒の大きさは相似律に影響する處尠なく $\frac{D}{d} = \left(\frac{H}{h}\right)^{0.045}$ 位の粒のものを選ぶのが適當と結論されてゐる．卽ち $\frac{H}{h}=100$ なれば $\frac{D}{d}=1.23$, $\frac{H}{h}=200$ なれば $\frac{D}{d}=1.27$ となる．之は河口に於ける底の砂が動く場合に就て言はれてゐる事であつて，波の場合に適用して良いかは更に攻究しなければならぬ．

更に波の大きさ，海岸の橫斷勾配等を考へに入れると，玆に述べた試驗との相似關係は一層複雜となる．

利根川河口波崎海岸に於ける砂の運搬される狀況を見るに，旣に II 章に述べた通り海岸線に直角の方向に進行して來た波が，汀で碎けて砂を水中に捲き上げる．汀附近には上記の波の外に海岸にある角度傾いた波が認められる．之はその時の風によつて起る波であつて略ゝ風の方向と平行に寄せて來る波である．この波は蠹の波が捲き上げた砂を海岸に平行の方向に運ぶ作用をする．現地の砂の移動の主なる原因が上記の如くである事が認められたので，模型に於てはこの後の波だけによつて如何なる程度に砂の移動が行はれるかを見る目的で試驗を行つた．從つて動く砂の量とか又時間とかは全然問題とせず定性的に構造物の存否による影響を見たのである．この場合主として波が碎けた場合に砂を運ぶのであるから碎ける前の高さが相似である事が最も必要であると思ふ．

[2] 導 流 堤

河口附近では直接外洋から寄せる波と第1船渠の海堤に反射した波とが航路に重なつて小型漁船の出入を困難ならしめてゐる．河口右岸の兩船渠間の護岸は外海からの直接の波

1) "Etude sur un modèle de lestuaire de la Severn." Ann. d. Travaux Pub. d. Belgique, Feb., 1935.

の爲に常に害を受け現在の海岸線を維持する爲に相當の苦心が拂はれてゐる．

又河口左岸波崎の洲は II に述べた通り常に出入が甚だしく地元町の人達にとつては之も相當の問題となつてゐる．以上諸種の問題を解決する爲と河口の航路の水深を維持する上から言つて導流堤の必要が生じて來るのである．

模型ではこれを設けた場合に河の流況及洲の消長が如何に影響されるかを試驗したのである．上記の目的の爲には既記第 I 案として示してゐる配置が最も望ましいのであつて次善として第 II 案，更に河の水位に何等影響しない配置を考へ之を第 III 案としたのであるが，この最後の案は河口改良としては餘り意義がない樣に思ふ．洲の長さを一定する程度の効果以上餘り多くを期待し得ないと思ふ．

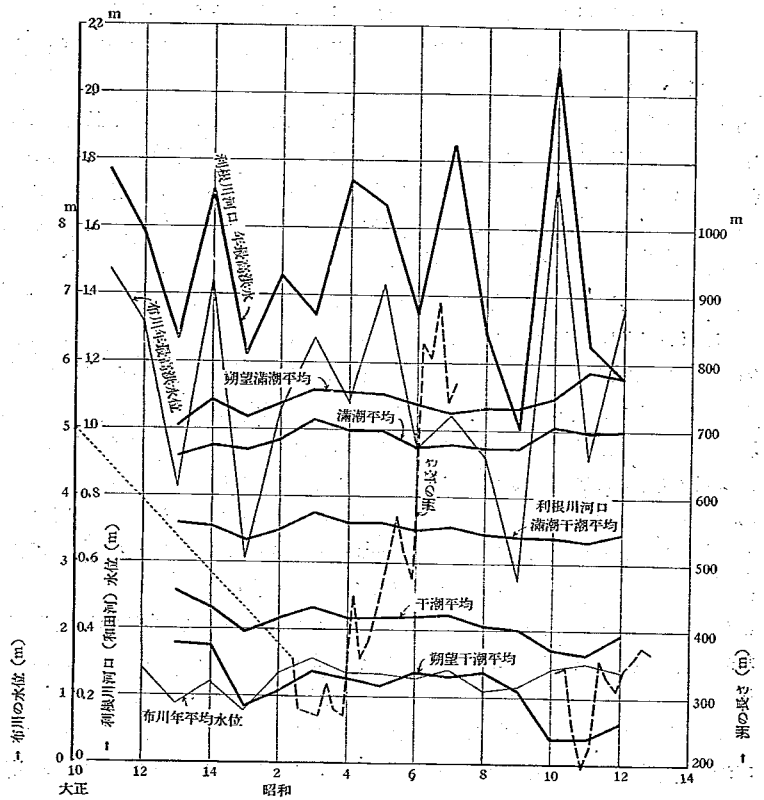
以下記す處は主として第 I 案を目標としてである．

1) 河の水位に及ぼす影響　實驗結果だけでは導流堤 II 及 III は河の水位に殆んど影響を及ぼさない事は III 及 IV 章に述べた通りである．導流堤 I はその有無により河の水位は著しく變化する結果が出てゐる．然し之が量的にも又質的にも實際とどの程度に關聯してゐるかを見る爲に次の事柄を調査した．卽ち以前に洲が長く出てゐた大正 11 年或は昭和 7 年頃洲は丁度導流堤 I と略〻同じ位置にあり長さも稍〻似てゐる．依つて之等の年の水位が他の年に比しどんな關係にあるかを見る事は將來の導流堤による水位を論ずる場合の貴重な資料になると思ふ．內務省東京土木出張所には，現在大正 12 年の震災で失はれた以後の河口水位の詳細な資料が整理されてあるので，之によつて此の問題に關係のある部分を觀察する．圖—69 は大正 13 年以來の河口狹窄部上流の朔望平均滿潮及干潮，平均滿潮及干潮，滿潮干潮平均を和田河內の檢潮儀（圖—5 參照）の記錄からとつたものである．

河口に於ける水位は河の出水量の大小により著しく影響を受ける事は勿論であつて，年平均水位を論ずる場合年平均流出量を知る必要がある．しかし之は分つてゐないが年流量に比例して上流部の水位が上下する筈であるから潮の干滿の影響のない布川（河口より約 80km）の年平均水位を圖に記入した．之に更に布川に於ける年最高洪水位と，同じ洪水が河口の同檢潮儀に示す高さとを記した．表—7 は更にその中の主なる洪水に就て栗橋以下銚子迄の各量水標の讀み高を記した．先づ圖—69に就て見るに特に著しい事は河口內側の平均水面が次第に下つてゐる事と平均滿潮位が上り干潮位が下つてゐる事である．前者に就ては基準 B.M. の沈下といふ樣な事も考へられるので充分確信を以て論ずる事を差控へたいが後者の滿干潮位の開きが大となつてゐる事は動かす事の出來ない事實である．

河口の洲の長さは昭和 7 年以降次第に短くなり昭和 10 年以後は非常に著しい變化はない．之は洲の長さが短い時に潮の出入が容易となる事を示してゐると思ふ．平均水面の上

圖—69　利根川河口狹窄部上流及布川に於ける年平均水位と洲の消長との關係



下は既記の如く年平均流出量に關係してゐるから，圖の布川の年平均水面位の上下と連絡して考へなければならぬ．大正 14 年，昭和 3 年，昭和 7 年等の布川の高い時には河口でも高くなつてゐるが，昭和8年以後はこの現象がない．卽ち最近數年間は年流出量が多いに拘らず河口の平均水位は逆に下つてゐるのであつて，檢潮儀の沈下がないものとすれば明らかに河口の水はけがよくなつてゐる事を示してゐると思ふ．次に洪水の場合を考へるに，昭和10年のものは例のない程大きな洪水であつて比較すべきものがないから暫く除外して，例へば大正11年と昭和12年との洪水は栗橋に於ける流量は略ゝ似てゐる．然るに河口に於ける水位は 11 年のものは 1.77 m,12 年のは 1.15 m となつてゐる．布川に於ける

表—7　利根川洪水量水表讀高（單位m）

栗橋及布川の欄内の(　　m^3)の數字は實測の最大流量を示す

量水標位置 / 年月日	栗橋	布川	一ノ分	太田新田	銚子	月齡	洲の長さ(m)	備考
量水標零點高Y.P.上	+12.294	+1.566	−0.157 (−0.170)	0.00 (+0.197)	0.00 (+0.131)			昭和12年7月改測の結果量水標の高さは(　)の中に記入した通りであるが前後の關係を統一する爲この表はすべて夫以前の値によつた
大正 11年8月26/27日	5.21 (5279m^3)	7.37	3.17	2.06	1.77	27日正午 4.3	～700	
〃 12年9月16/17日	4.47	6.58	2.73	1.78	1.58	17日 〃 6.3	—	
昭和 3. 8. 2/3日	5.35 (4209m^3)	6.38	2.70	1.82	1.60	3日 〃 16.9	280	
〃 5. 8. 1/2日	5.72 (4429m^3)	7.19 (3788m^3)	3.27	2.09	1.67	2日 〃 7.3	570	
〃 6. 10. 15/16日	3.84	4.74	2.04	1.30	1.35	16日 〃 4.6	800	
〃 7. 9. 17/18日	4.03	5.23	2.57	1.82	1.85	18日 〃 18	～700	
〃 10. 9. 26/27日	7.68 (9433m^3)	8.72 (6354m^3)	4.08	2.55	2.02	27日 〃 30	250	
〃 12. 7. 17/18日	6.32 (5569m^3)	6.85 (4320m^3)	2.98	1.57	1.15	18日 〃 11	370	

洪水位に於て，上の兩者に比較するものとしては大正14年（之は圖—69參照）及昭和5年のものがある．之は河口では夫々1.71 m 及 1.67 m となつてゐる．洲は昭和 12 年に最も短くその他の上記の3度には何れも相當に長いと考へられるのであつて，河口航路の淡深の影響も勿論あるが洲の長さが河口の水位に相當影響してゐるらしくある．大正 15 年と昭和9年，昭和2年と7年，昭和6年と11年との洪水の比較でも此の點は明らかに認められる．

月齡の相異が河口の水位に及ぼす影響は實際に詳細に調べた處餘り影響はなかつた．之は大潮でも小潮でも一日中の最高にはさしたる差がなく（最大 20 cm 程度），且つ洪水の繼續時間が相當に長く河口の最高は大低この一日中の最高の潮位の時に現はれるからである．

尚上記の外，霞浦の水位その他の原因を考慮に入れて考へるに多少の例外はあつても上記の洲の長い時に河口の内側での水位が高いとの傾向は否定し得ない樣に思ふ．

之を要するに昭和 10 年頃から割合に急に洲が短くなつて——その原因は試驗によれば第1漁船渠の海堤竣工[1]が多分に影響を與へてゐるらしくあるが之に就ては次に述べる—

最近 3 年位は河口での潮の出入が多くなり又洪水の場合の水位も低くなつてゐる．此の事は導流堤を設ければ洪水時の水位を高くする事の證明になるが，又一方逆に大正11年或は昭和7年頃の洲の狀態で洪水を受けたと同じやうになると考へて差支へないのであるまいか．洪水の場合に砂なれば水で押し流されるか導流堤では左樣ならないといふ事も言へる．しかし昭和 10 年の洪水の後の樣子で見るに流の中心を外れた洲は殆んど流されない．卽ち頂の高さが同一なれば堤でも洲でも河の水位に及ぼす影響には殆んど變りはないやうに思ふ．

洲が短くなつてゐる爲に，昭和7年頃の長い時に比して河口の水位がどの程度低くなつてゐるかを 圖—69 によつて考へるに，昭和 12 年程度の洪水の場合に（布川に於ける流量約4320 m^3）約 50 cm 或は夫より稍多い樣に思ふ．布川に於ける此の流量は利根川の計畫洪水量 4310 m^3 と殆んど同樣であるから之は卽ち計畫洪水量による水位の上り高の變化と見て差支へないやうに思ふ．

次に模型試驗では此の關係がどうなつてゐるかを見る．先づ計畫洪水量 4310 m^3 に對する導流堤 I による水位の上り高を算定する．模型狹窄部では $v=C\sqrt{2gh}$ が支配してゐる事は既に述べた通りである．試驗は計畫洪水量よりも大なる流量（小型では 5000 m^3，大型では 5550 m^3 に相當するもの）で流してゐるから，計畫洪水量による水位の上り高を上記によつて推定すると次の通りである．

小型　$1.0 \times \frac{4310^2}{5000^2} \fallingdotseq 0.75$ cm 換算して 75 cm

大型　$1.92 \times \frac{4310^2}{5550^2} = 1.16$ cm 〃 70 cm

之は導流堤上を水が溢流しない狀態のものであつて，小型の堤頂 ±0 のものに就て同樣にして算出すると約 35 cm となる．卽ち此の結果は實際に就て推定したものと大體近い値が得られてゐる．以上を綜合するに導流堤 I を造れば大體利根川の水位は昭和 7 年頃の河口の狀態で洪水を受けた狀態に還ると言つて著しく誤る事はないと思ふ．

導流堤を築造した後，堤と右岸との間を浚渫し且つその部分の斷面積が斷面 I と略ゝ同樣になつた場合に——洪水時に流心に沿ふ土砂が押し流された場合に此の狀態に近くなる事は考へ得る處である——水位の上り高は

小型　$0.3 \times \frac{4310^2}{5000^2} = 0.222$ cm 換算して 22.2 cm 堤上を水が溢流しない狀態

大型　$0.87 \times \frac{4310^2}{5550^2} = 0.525$ cm 換算して 32.1 cm 〃

となり初めの値より著しく小となる．

1) 同漁船渠は昭和 8 年 7 月起工，昭和 10 年 9 月竣工となつてゐる．

2) **導流堤が砂洲の移動に及ぼす影響**　在來の儘の狀態の場合には洲の出入が相當顯著である事は II に述べた通りである．導流堤の構造を適當に選んで例へばIの形に施工した場合，洲は之に沿つて付く事は一應考へられる處であり第 V 章の結果も之を裏書してゐる．東風の場合にも堤の北側に付いた砂が削り取られる事は，在來よりも河の右岸よりの反射波を直接受けない爲割合に尠く，洲は次第に堤の北側に成長する樣に考へられる．堤の頂の高さが小なる場合に；砂が航路側に落ちる虞があるから之を防ぐ爲には堤の高さを充分に高くするか，更にある距離を置いた北側に砂止め堤を作るかしなければならぬと思ふ．しかして堤を高くする事は之に作用する波の力が大になる結果となるから，寧ろ後者の工法の方が適當の樣に思ふ．堤を超へて來る外には砂が航路に入る虞は尠なく，現在よりもその水深維持は容易になると思ふ．但し導流堤竣功後に河に入る潮水の量は 1) に述べた通り，在來よりも減少する．しかし現在狹窄部に入り又之から出る水は海側では著しく廣く流れてゐるものが，堤が出來れば流心に集中される結果となり，之の掃流力は結局に於て堤の竣工後に於て必ずしも惡くなる事はない樣に思はれる．

導流堤が波を反射する構造の場合には，その根元が波によつて洗はれ堤に接した部分が深く掘られる虞がある事は，試驗の結果からも考へ得られる事であつてこの場合には洲が堤に付く事も尠いと思はれるから，之は構造上特に注意すべき事であると思ふ．

3) **各種導流堤の比較**　前項に述べた處は主としてIの堤に就てであるが，本文 III 章及IV章 に述べた II 及 III の堤は河の水位がIに比し低くなる事に特長があるが，水位が本文 1) に述べた所により左程問題とするを要しないとすれば，之等は別に檢討する迄もないと思ふ．I との水位の差は I の場合に實際との關係が略ゝ明らかとなつてゐるから，圖—43及表—3 の實驗結果から大體を推す事が出來ると思ふ．「北」波によつて洲が堤に沿ふて付く狀態は II は I に比しより多いやうに考へられるが試驗の結果も之を裏書してゐる（寫眞—36 と 41 とを比較參照).「北東」波に就ても略同樣の結果が得られてゐる（寫眞—42と 46 とを比較).「東」波に關しても洲を固定する上からは II の方が勝れてゐるから，洲に關する限りは I に勝ると考へるのが至當ではあるまいか．但し堤の主要目的たる航路と港の保護の點から見て I とは同日に論ずべきではないと思ふ．

4) **導流堤の構造及工法に就ての考察**　堤の海側は波を反射しないやうな工法を選ぶ事が最も大切な事であつてその爲には矢板等の堅固な形にせず三角枠程度のものを施工し，しかも之は一時に完成する事なく徐々に岸側から施工し砂洲が付くのを待つて次第に延ばせば，工費の點からも施工の點からも良好のやうに思ふ．此の工法によれば堤が所定の長さに完成した時には洲が全體の長さに亘つて付いてゐる筈であるから，第2段としてこの堤に略ゝ平行に一定の間隔（例へば 500 m 位）の所に第2の堤を作る事が必要と思ふ．之

は北方からの砂を之によつて防ぎ止める爲であつて，初めの堤だけの場合に之を超へて航路側に砂が入る事を防ぐ爲である．かくして航路を良好に維持すると同時に漁業の作業場としての土地をも得る事が出來ると思ふ．しかも之に要する工費は前記の如き方法によれば僅少で足りる筈である．

導流堤の取付部卽ち河口狹窄部左岸の導流堤Ⅰと河との間にある部分の洲を取除く事は，この導流堤の施工に附隨して行はなければならない大切な事であると思ふ．之によつて洪水時の河の水位は著しく低下せしめる事が出來，又常時の漲潮時又は退潮時の流れを緩和し船の出入を容易ならしめる事が出來ると思ふ．但しこの部分の除却は導流堤の一部完成を俟つて行はなければ效がないと．蓋し現在の儘で之を除去しても鹿島灘に沿ふて北から運ばれる砂は絕へず堆積されるであらうから．

［3］防波堤

試驗を行つた防波堤の位置は銚子港修築事務所で計劃した位置であつて，之が港內を靜かにするに何程の効果があるかは明らかでないが，現場當局の考へでは之があれば外洋から一應この蔭に逃げ込む事が出來，之に接した內側の部分には相當靜かな水面が得られる筈との事である．卽ち港內全體の靜穩よりも岩礁の多い港口附近の航海を安全にするとの意味が多いやうである．玆ではこの効果は當局の調査に信賴する事とし，之が竣工の曉に於て河及洲に及ぼす影響に就て考へる．

1) **河に及ぼす影響**　防波堤の有無が直接流れに及ぼす影響は餘り考へられない．試驗の結果にも之は殆んど顯はれてゐない．ある場合には却つて整流の作用をして流れよくしてゐるやうに見える．現在の狀態では一ノ島附近の流れがどんなになつてゐるかは實地での測量がなく明らかでないが，從來河口に於ける難波船の漂流の方向等から推すに，陸に近い場所では，河の外側から內側への相當に著しい流れがあり，試驗の流向（特に小型模型）に似てゐるやうに思へる．防波堤が出來上がれば之を妨げる事となりこの附近の渦流をなくする爲に河水の流出は良くなると思ふ．

現在河口附近の水位が平水時に最も高くなるのは，北西風によつて吹き寄せられて高潮が發生する場合であるが，防波堤が竣工の曉にはこの現象が更に著しくなる虞がある．卽ち河の右岸の弧の長さが現在よりも長くなり之に對應する弦の長さは現在の約 1/3 程度大となる．この爲に在來の高潮が大となる事はあり得ると思ふが，量的に之を知る資料がない事を遺憾に思ふ．但し導流堤Ⅰが更に竣工した場合に就て考へれば，形の上から考へて現在より惡くなる事はない樣に推定される．

2) **砂洲の移動に及ぼす影響**　波の力に依つて運ばれてゐた砂が防波堤の爲に狀態の變化を生じ，河口附近の堆砂を增大する事はあり得ると思ふ．大潮退潮時の流速が大であつ

てその爲航路にあたる部分の砂は割合に多く海に運び去られる．しかし河の左岸沖明神岩の左側にある洲が更に大きく成長する可能性はあり，その堆砂が次第に航路を塞ぐ場合には大潮の掃流では足りないで次第に淺くなる虞がある，砂洲消長の模型試驗では防波堤の有無による前記堆砂の影響は割合に尠く，僅にその現象が認められる程度であつた．相似關係が明瞭でない爲，之を以て直ちに實際を判斷する事は出來ないが，防波堤が砂の動きに及ぼす影響は餘り大でないのであるまいか．

現在砂を動かす主なる力は波であると思ふが，此の外沿岸の潮流も之に力を與へる事が考へられる．試驗では模型の海の廣さが不足の爲に之の流れが可なり顯著に出てゐる．實際には之程ではあるまいが，此の如き現象が起り得る事は一應考へられる．

防波堤が出來た場合には之の北方よりの流れが妨げられ，爲に堤の內側に砂が堆積する虞がある．しかしこの流速は退潮時のその附近の流速に比すれば小であるから，この場合堤の內側に砂を堆積する事は尠ないやうに思ふ．漲潮の時には，河口附近の漲潮がこの潮流と衝突する場所が防波堤のある場合にはない場合と異つて來る爲，砂を沈澱する場所も以前とは異つて來るであらう．しかし之に對し判斷を下す有力な資料が實際にも試驗にもない．何れにしても潮流は此の附近では餘り重大なる影響を與へないやうに考へられる．

3) **防波堤の構造に對する考察**　この事は本試驗の範圍外であるが，別に施行中の波壓測定試驗その外によつて考ふるに，在來の直立防波堤は波を防ぐには必ずしも經濟な形ではないと思ふ．地盤關係等の爲，特別に斷面の幅を小にする必要がある場合の外材料の供給が餘り不自由でない場所では，直立防波堤よりも捨方塊式の形を選ぶか，若しくは直立部分の幅を小にして外側に捨方塊を施した方が經濟的であると思ふ．波の力は此の形では直立の場合に比し著しく小であつて，又多少塊の移動があつても堤に致命傷を與へない．之が直立堤に比し大いに勝る點であつて，銚子港の如きも成可く此の形に近いものを選んだ方が良い樣に思ふ．

［4］航路浚渫，暗礁撤去竝びに河堤及海堤築造の影響

港の工事に伴ふ航路浚渫，暗礁撤去が河に及ぼす將來の影響に就き，又海堤及河堤はこの試驗を始める頃既に略ゝ竣工してゐたのであるが，之等が河口の流況及砂洲の消長に如何に影響を與へてゐるかに就き一應の考察を加へる．

1) **暗礁撤去に伴ふ河口の流況の變化**　之に就ては暗礁就中航路の中心にある沖明神を撤去すれば，流れは河口附近での著しい障害物を除かれる結果となり，河の洪水時の水位を低下せしめ得ると同時に，平水時の漲潮及落潮最盛時に於ける最大流速を少ならしめ，船舶の出入を容易ならしめ得る事は試驗を俟つ迄もなく推定される處であるが，撤去後の流速，水位及び流況の變化を判斷する際に III，IV の結果は有力な資料となり得ると思

ふ．試驗の流速分布は必ずしも實際とは相似とは言へないが，撤去後に於て斷面3の沖明神岩に近接した左右の流速が試驗に於て著しく小となる事は，實際の場合にも之に近い狀態になると思ふ．

2) **暗礁撤去に伴ふ砂洲の移動の變化**　從來は波崎地先から來る砂が沖明神岩の爲に同岩より右岸寄りの航路側に落ち込む事が妨げられてゐたものが，同岩撤去の爲に狀態が惡くなりはしないかとの虞がある．砂洲の消長に關する模型試驗で觀測した處によれば，この岩の有無が砂の移動に影響する事は殆んど認められない．此の事が實際にも言へるか否かは明らかでないが，模型を見て直ちに感ずる事はこの岩の大きさが砂の動く規模に對しては極めて小さい事であつて，この岩が上記のやうな働きをしてゐるとしても，之は全體に對しては僅に影響を與へ得る程度ではあるまいか．

3) **海堤及河堤築造の影響**　河堤の築造後に於ては，夫以前に比し河口狹窄部に於ける流況に相當の變化がある事は一應考へられる處であつて，模型試驗にも之は明らかに認められる（寫眞—16と1參照），昭和11年末河堤の一部竣工後（同堤工事着手は昭和10年12月）狹窄部右岸が次第に削り取られる事の原因の一として，此の影響を考へる事は出來ると思ふ．自分の見る處ではこの右岸削取りの主なる原因は波崎洲が短かくなつた爲，波が直接此の場所に當る樣になつた事であると思ふが，河堤築造の影響も多少はあるであらう．

海堤竣功後（同堤は昭和8年6月起工，10年9月竣工）に波崎洲の消長に著しい變化を生じてゐる事は，圖—22によつても知られる通りである．之は模型試驗でも可なり明らかに認められる處である（寫眞—31及47參照）．卽ち同地附近に最も多い偏北西風の場合に，この堤に波が反射して之が洲の前面に於て洲の成長を妨げる作用をしてゐる事が認められる．之は本試驗初期に於て模型で確かめて洲の成長が冬期に於ても，將來は著しくない事を豫期し現場當局にも之を通じておいたが，現在までの處この豫期は外れてゐないやうである．導流堤の助けなくして洲を昭和7年當時の如き狀態に還す爲には，海堤の外側に波が反射しないやうな工作を施す事が必要であると思ふ．卽ち同堤の海面の高さに捨方塊其他の方法によつて適當な傾斜面を與へて，波が之で碎けて消耗する樣にするのはその一つの方法である．この反射を防ぐ事は，又航路を改良し現在の如き兩方からの波が航路に生じて，船の出入を困難ならしめてゐる狀況から救ふ事が出來ると思ふ．但し導流堤がIの形で施工される場合には之は餘り問題にならぬ．

小型流況試驗

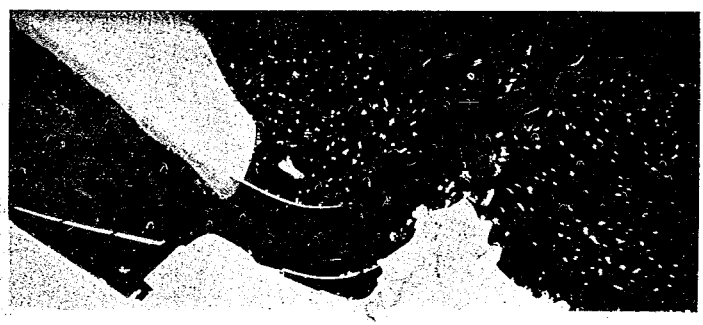
寫眞—1　昭和 11 年 5 月現在の海岸の狀態，大潮退潮時，BC 間の水位差 h=2.8 mm 流量 Q=0.894 l/sec 寫眞露出 1/2 秒 (表—1 の實驗番號 No. 1)

寫眞—2　沖明神撤去，大潮退潮時　h=2.8 mm　Q=0.919 l/sec 露出 1 秒 (No. 3)

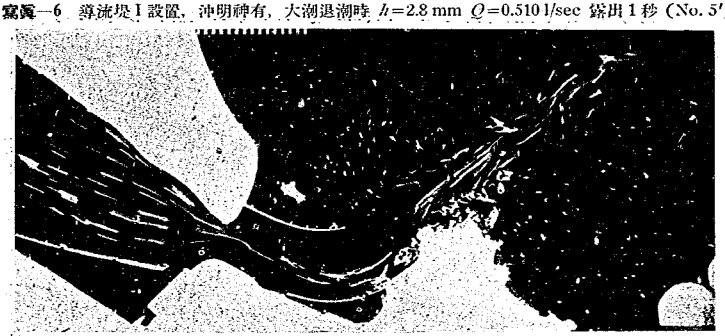
寫眞—3　沖明神有，洪水時　h=17.9 mm　Q=2.578 l/sec　露出 1 秒 (No. 3)

寫眞—4 沖明神撤去，洪水時 $h=17.9$ mm $Q=2.648$ l/sec 露出1秒 (No. 4)

寫眞—5 導流堤I設置，沖明神無，大潮退潮時 $h=2.8$ mm $Q=0.584$ l/sec 露出1秒 (No. 5)

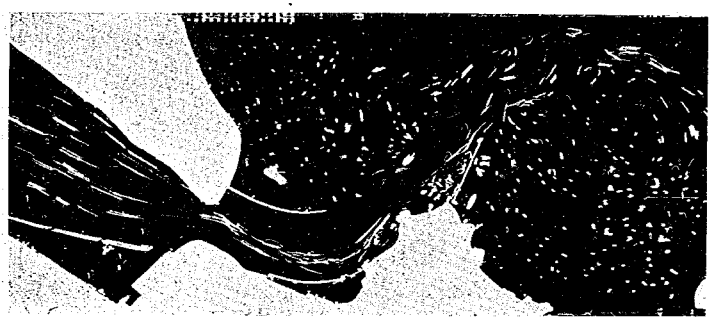


寫眞—6 導流堤I設置，沖明神有，大潮退潮時 $h=2.8$ mm $Q=0.510$ l/sec 露出1秒 (No. 5′)



寫眞—7　導流堤 I 設置(以下すべて沖明神なし)，洪水時 $h=17.9$ mm $Q=1.882$ l/sec 露出 1 秒 (No. 6)

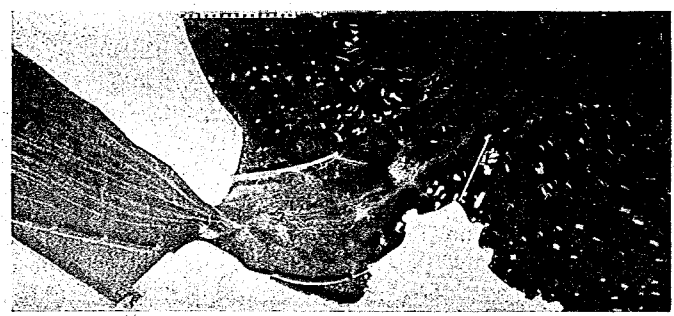
寫眞—8　導流堤 I 及防波堤設置，大潮退潮時 $h=2.8$ mm $Q=0.596$ l/sec 露出 1 秒 (No. 9)



寫眞—9　導流堤 I 及防波堤設置，洪水時 $h=17.9$ mm $Q=1.869$ l/sec 露出 1 秒 (No. 10)

寫眞—10 導流堤 I 設置，洪水時 h=25.8 mm Q=2.43 l/sec 露出 1 秒（表—2 No. 18）

寫眞—11 導流堤 II 設置，洪水時 h=17.8 mm Q=2.48 l/sec 露出 1 秒（No. 25）



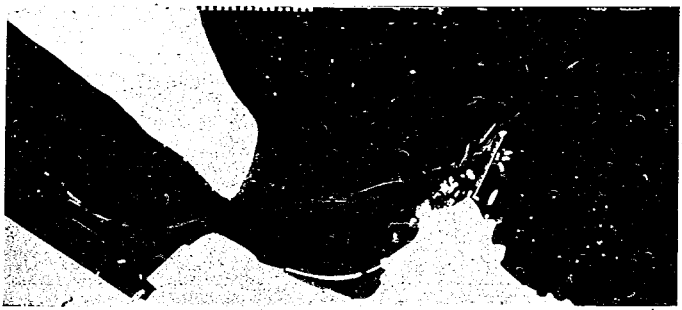
寫眞—12 導流堤 III 設置，洪水時 h=16.4 mm Q=2.57 l/sec 露出 1 秒（No. 30）

寫眞—13　導流堤 I 設置，大潮退潮時 h=5.30 mm Q=0.92 l/sec 露出 1 秒 (No. 24)

寫眞—14　導流堤 II 設置，大潮退潮時 h=3.70 mm Q=0.98 l/sec 露出 1 秒 (No. 29)

寫眞—15　導流堤 III 設置，大潮退潮時 h=2.8 mm Q=0.98 l/sec 露出 1 秒 (No. 31)

寫眞—16 昭和 11 年 5 月現在の狀態から洲を撤去し且つ河堤を取除く．沖明神なし．平水時 h=2.8 mm (表—1 No. 11)

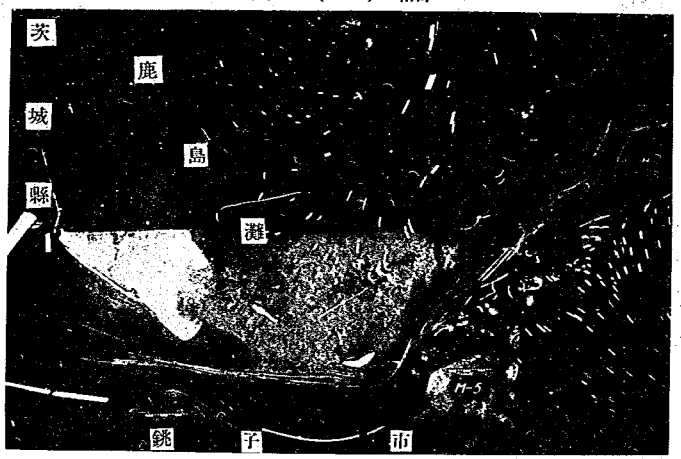


寫眞—17 同上 洪水時 h=17.9 mm (No. 12)

寫眞—18 昭和 12 年 6 月の平水時の實測と比較する爲の試驗．地形はその當時のものによつて改造．h=1.07 mm Q=0.723 l/sec (No. 15)

大型流況試驗

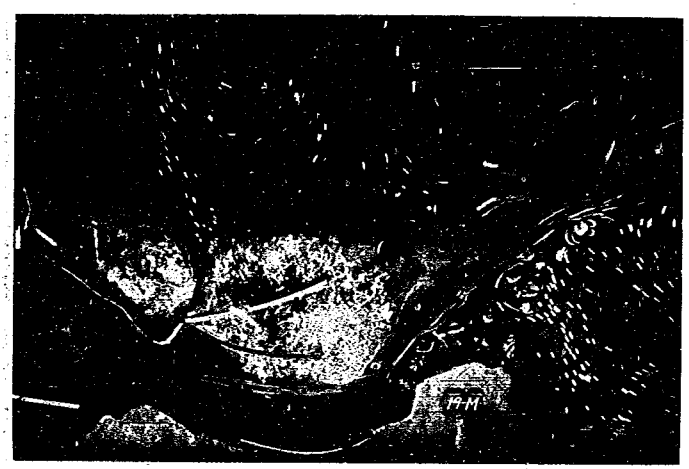
寫眞—19　昭和 11 年 5 月現在の海岸の狀態，大潮退潮時，BC 間の水位差 $h=4.3$ mm，流量 $Q=6.85$ l/sec，寫眞露出時間 t＝2.5 秒
實驗番號 5—M；表—3 (6—M) に相當



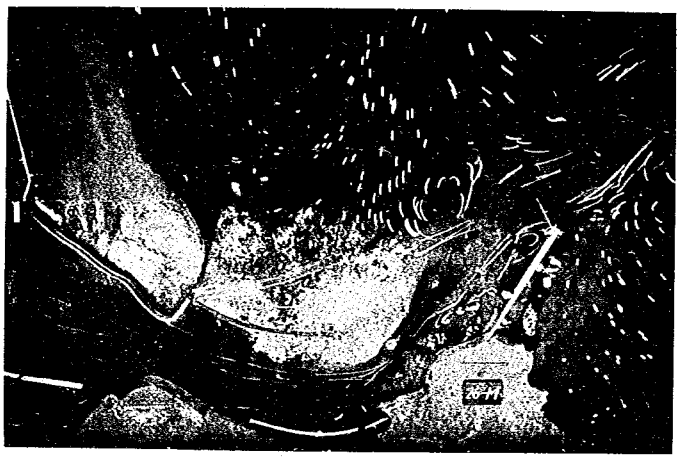
寫眞—20　沖明神岩及洲撤去，$h=4.0$ mm，$Q=7.11$ l/sec，t＝2 秒
實驗番號 No. 25—M (＝22—M)

寫眞—21 導流堤 I 設置，沖明神岩及沖明神洲撤去，h=10.0 mm Q=7.1 l/sec t=1 秒，No. 12—M (=11—M)

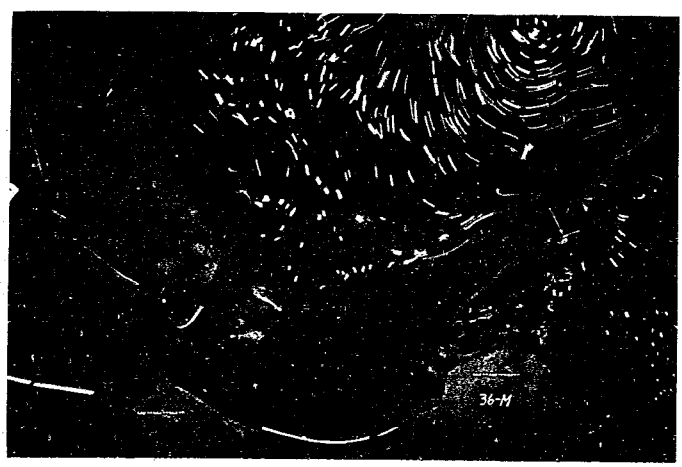
寫眞—22 導流堤 II 設置，沖明神岩及洲なし．h=4.5 mm，Q=7.1 l/sec t=2 秒，No. 19—M (=17—M)



寫眞—23　防波堤設置，導流堤及沖明神なし．h=4.0 mm，Q=7.1 l/sec
t=2 秒，No. 26—M（=28—M）



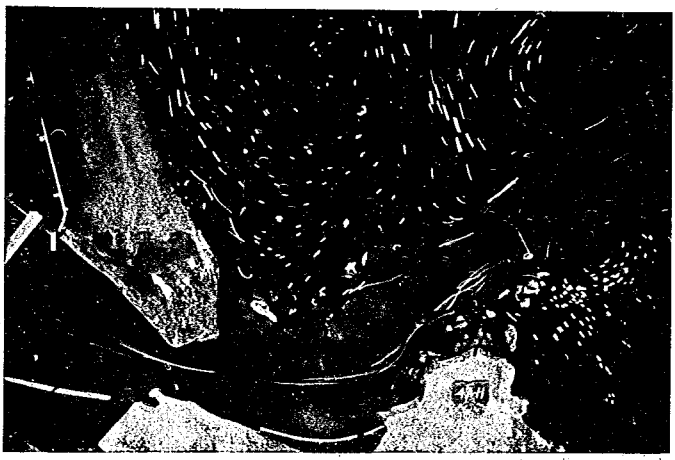
寫眞—24　昭和 11 年 5 月現在より沖明神及洲を撤去した狀態，溢水路取付，
大潮退潮時　h=4.3 mm，Q=7.1 l/sec，t=2 秒，No. 36—M（=35—M）



寫眞—25 同上，洪水時，h=30.0 mm, Q=19.91/sec, t=1 秒, No. 34—H (=37—H)

寫眞—26 昭和 12 年 6 月現在の狀態，大潮退潮時，h=1.8 mm, Q=5.5 l/sec t=2 秒, No. 41 (=42)

寫眞—27　同上，洪水時，h=3.9 mm，Q=6.9 l/see，t=2 秒，No. 47 (=46)



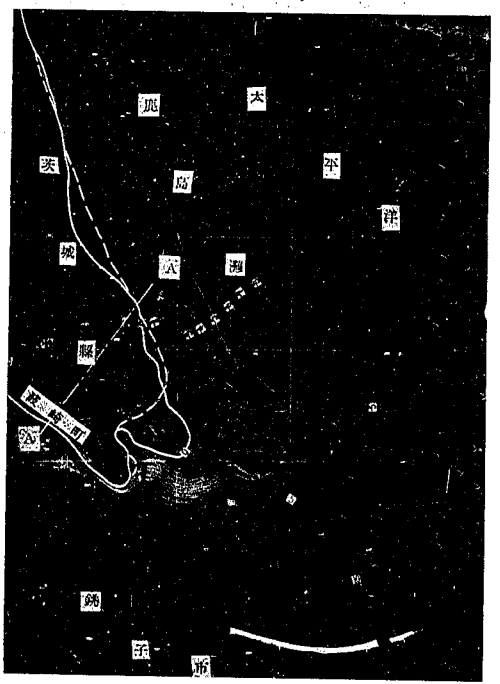
寫眞—28　同上，導流堤 I 設置，水路浚渫の狀態，大潮退潮時
h=4.8 mm，Q=7.1 l/sec，t=2 秒，No. 52—M (=53)

寫眞—29 同上，洪水時 h=37.7mm Q=9.91/sec, t=1 秒, No. 54—H (=51)

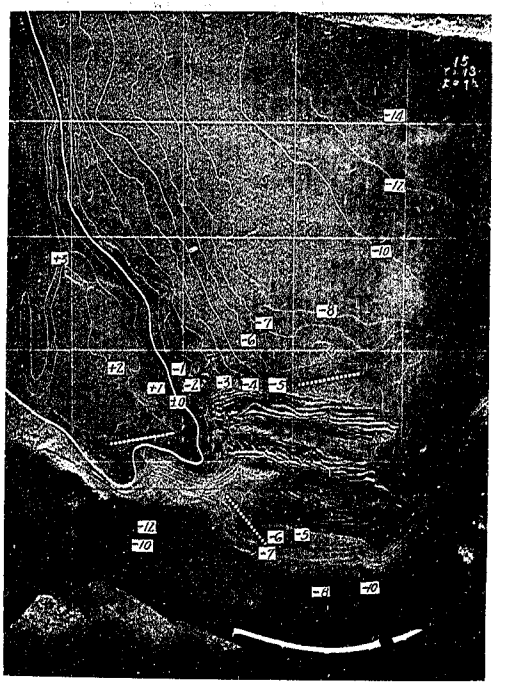
寫眞—30 同上，t=2 秒, No. 58—H (=51)

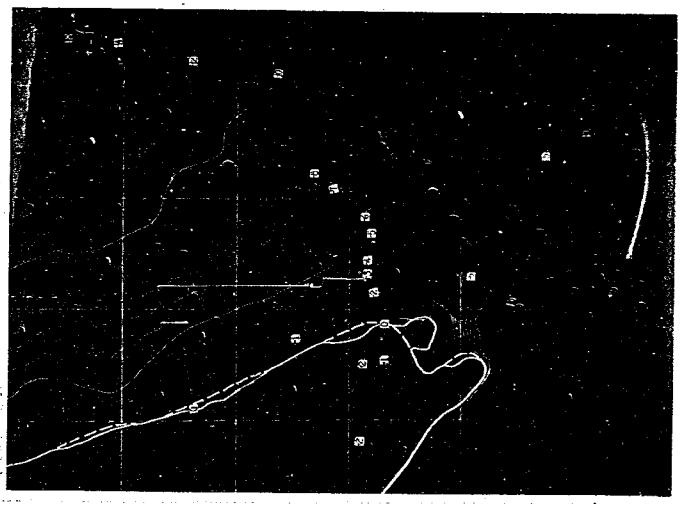
砂洲消長試驗

寫眞—31　昭和 11 年 5 月の地形に「北」波 1 時間送つた後、
太い白線は汀線，同破線は試驗前の汀線
（表—4 試驗番號 T—16）

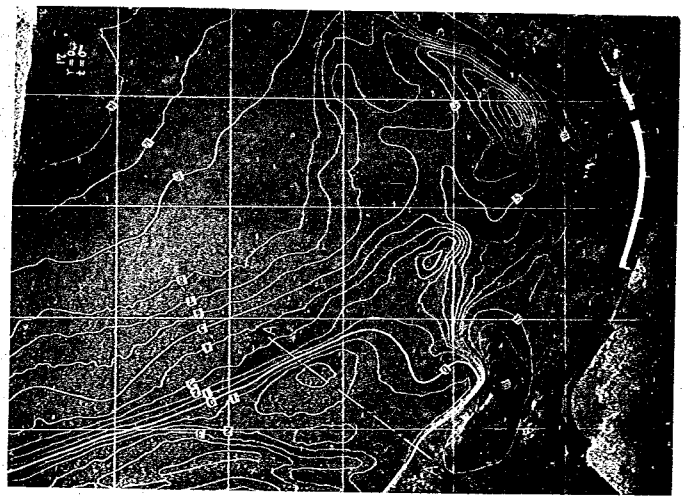


寫眞—32　同左，同一試驗の相異比較の圖　（T—15）

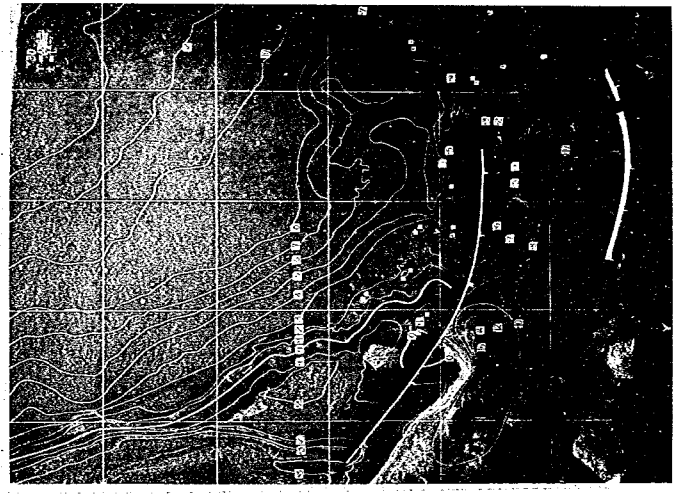




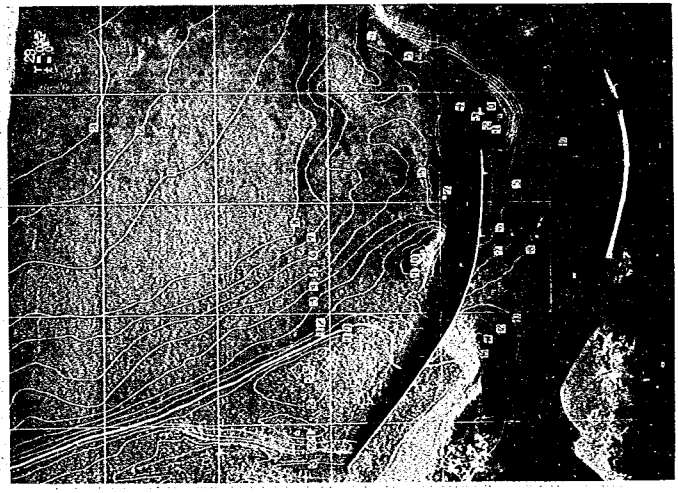
写真—34 「東」波1時間（T—18）



写真—33 試験前の状態（T—17）

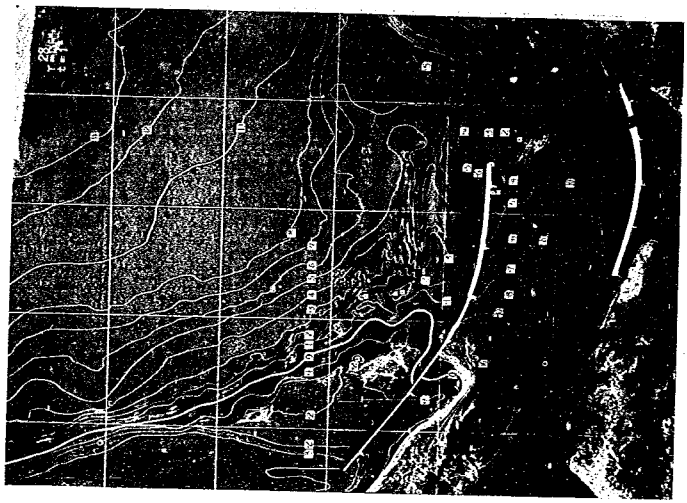


寫眞—36　同左、「北」波（T—30）

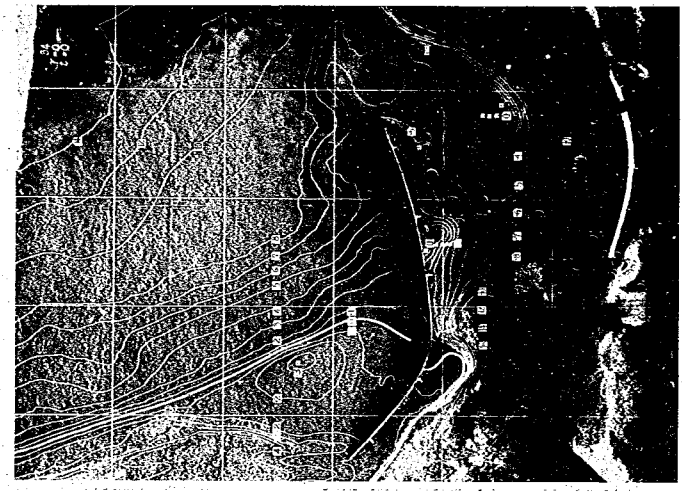


寫眞—35　導流堤Ⅰを設けた場合、試驗前（T—29）

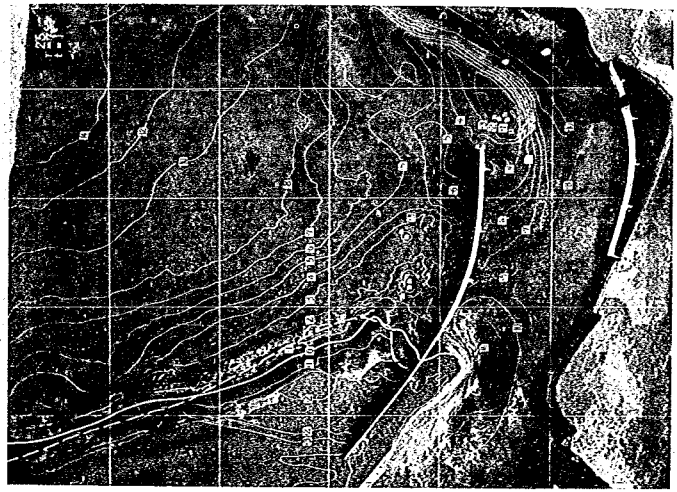
寫眞—38 導流堤なし，「光」波 (T—22)



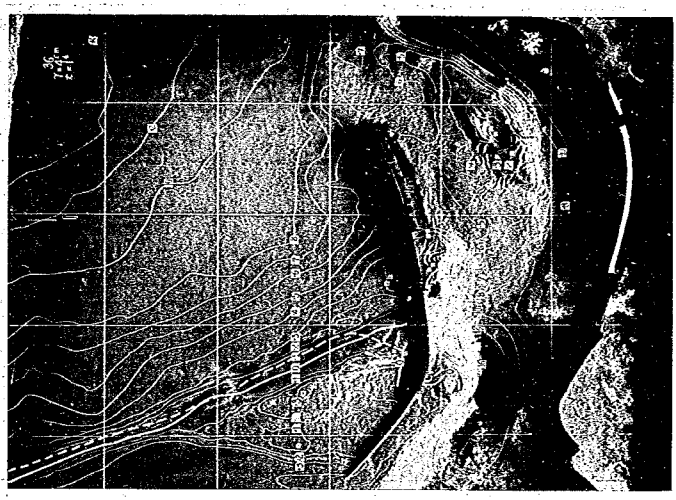
寫眞—37 同上，導流堤に粗朶をつけない場合 (T—28)



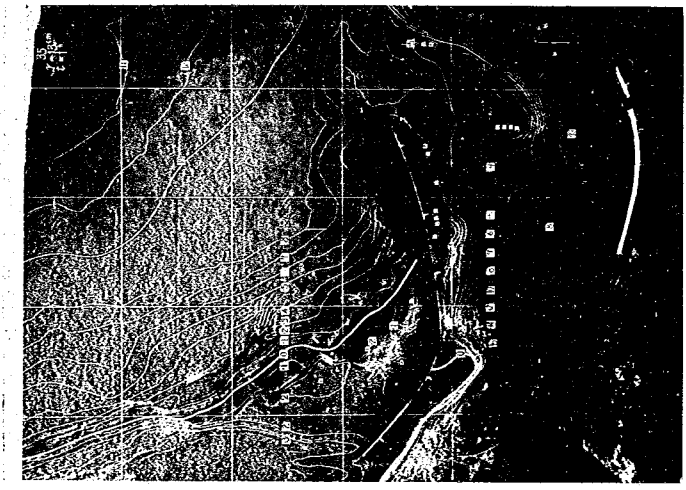
寫眞—40　導流堤 II 試驗前（IT—34）



寫眞—39　導流堤 I あり（相浪なし），「東」波（IT—25）



寫眞—42 同左,「北氷」波 (T—36)



寫眞—41 同前,「北」波 (T—35)

写眞—43　導流堤なし，防波堤あり，「北」波　(T—21)

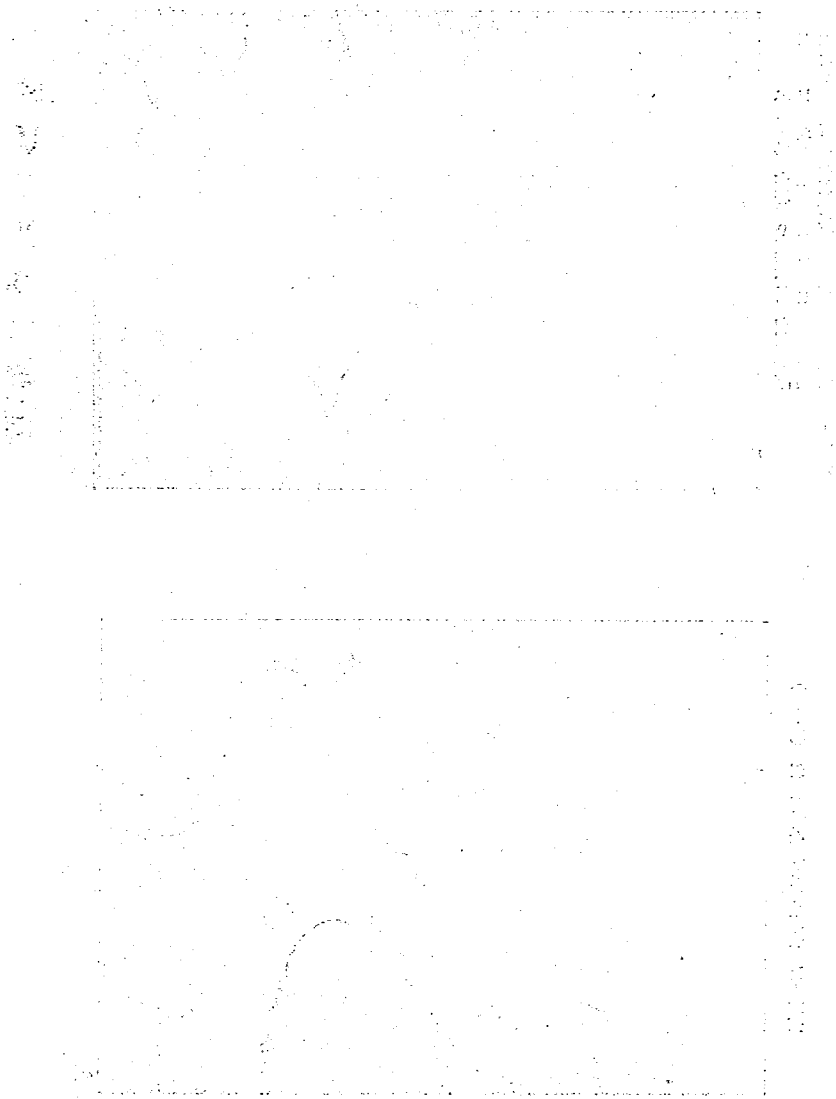
写眞—44　同左，防波堤なし，「東」波　(T—23)

寫眞—45 導流堤Ⅰあり（粗朶なし），防波堤あり，「北東」波（T—26）

寫眞—46 導流堤Ⅰあり（粗朶なし），防波堤なし，「北東」波（T—27）

寫眞—48　海堤のない狀態で,「北」波を 1 時間送つた狀態をその儘にして之に海堤を取付けて,更に「北」波を 1 時間送つた場合 (T−20).

寫眞—47　海堤のない場合,「北」波 (T—33)



建築局芝浦作業場

普通, 早强, 中庸熱, 珪酸質混合セメント及高爐セメントに關する比較試驗 (第1報)

內務技手 川畑健雄
齋藤仲男

目次

I. 試驗の目的……(1)
II. 試料及試驗方法……(2)
III. 各種セメントの化學組成と其の中に含まるゝ主要水硬性化合物竝にその比較……(5)
IV. 各種セメントの物理的諸性質竝にその比較……(12)
V. 各種セメントのモルタル强度竝にその比較……(13)
VI. 各種セメントのコンクリート强度竝にその比較……(24)
VII. 要約……(28)

I. 試驗の目的

我國のポルトランドセメント業は, 明治4年政府に依つて東京深川に始めて創設せられ, 爾來 60 有餘年, 種々の變遷を經て今日の隆盛を見るに至り, 昭和 12 年4月末(1)現在に於て會社數 27, 工場數 47, 其の年産額 6,000,000 t を超え, 世界有數のセメント生産國となつた. 其の間製造者の不斷の努力に依り, 燒成方法の進步, 原料均等性の保持, 各成分配合割合の改良, 粉碎等に於ける製造技術の發達に依り, 其の品質は著しく改良せられ, 例へば現在製品の3日に於ける壓縮强さは大正初年製品の 28 日强度を凌駕する程度の進步をなした.

一方近代土木建築工事の發達に伴ひセメントの需要が增加し, 且つ其の利用範圍も多方面に亘り, 又水硬性理論, コンクリート構造物の計算及び施工方法の非常な進步に依つて工事に使用せらるゝセメントも各用途に適合する性質を有する特種セメント (早期高强度セメント, 大塊コンクリート用低熱性セメント, 道路用セメント, 耐水, 耐鹹性の大なるセメント等) が要求せらるゝに至つた.

昨年米國に於ては早くも此の間の事情を具體化し 2～3 の特種セメントの規格を發表して居り (表—1 參照), 我國に於ても此の氣運に應じ數年來特種用途に對する特種セメント或はポルトランドセメントの缺點を補ふ意味に於て, 種々の珪酸質混合材を混和せる混合

註 (1) 日本ポルトランドセメント同業會

セメントの研究が盛に行はれ，又其の製造が試みられ，次第に之等の特種セメントが重要視されつゝある趨勢にある．現在市場に販賣せらるゝ各種のセメント卽ち普通，早强，中庸熱セメント竝に珪酸質混合セメント，高爐セメント等の混合セメントの製造狀態は，日本ポルトランド同業會の統計に依れば，昭和 11 年度に於けるポルトランドセメント工業統計は會社數 26，工場數 46，年産能力 12,902,502 t，生産量 6,101,866 t，又高爐セメントは會社數 2，工場數 2，年産能力約 468,100 t，生産量 159,299 t，混合セメントに於ては會社數 6，工場數 7，生産量 172,909 t の如くであるが，之等の各種のセメントは，化學成分，物理的諸性質，諸强度を異にするを以て，適所適材の用途及使用工法を講ずるは施工上極めて緊要であり，合理的施工の段階として缺くべからざる事なるを以て，玆に之等の比較試驗を行ひ，其の性質を檢討し，本邦土木工事施工上の資料たらしめんが爲に此の試驗を行つた．

本文に於ては先づ 9 會社，14 工場の製品 28 に就て上記の試驗を行つた結果を記述せるものである．更にセメントの耐鹹性，發熱量，膨脹收縮等に關しては現在試驗中であつて終了の上報告する豫定である．

II. 試料及試驗方法

セメントの試料は各セメント工場に依賴し鉄力罐に密封して送付を受けたる新鮮セメントにして，先づ早く送付を受けたる試料につき試驗を行つた．試料は昭和 11 年 10 月より昭和 12 年 1 月中の製品にして，其の種類は 5 種卽ち普通セメント 12，早强セメント 8，中庸熱セメント 3，珪酸質混合セメント 3，高爐セメント 2，總數 28 である．而して之等試料竝にその製造工場は次に示す通りである．

淺野セメント（川崎工場，西多摩工場，北海道工場，大阪工場，香春工場），小野田セメント（小野田工場，藤原工場），磐城セメント（四倉工場），秩父セメント（秩父工場），大阪窯業セメント（大阪工場），七尾セメント（七尾工場），日星セメント（鏡工場），電化セメント（大牟田工場），八幡高爐セメント（八幡工場）

之等の各種セメントに於て概說すれば次の如くである．

A. 中庸熱ポルトランドセメント

中庸熱ポルトランドセメント（以後中庸熱セメントと略稱す）は等しくポルトランドセメントであるが 表—3，5 に示す如く，含有成分割合卽ち水硬性化合物の割合を加減する事に依つてセメントの硬化期間に於ける熱の發生を一定の限度に制限せるものである．最近大堰堤工事に於てセメントの發熱量は特に重要な問題として取扱はれ，例へば米國の Pine Canyon Dam, Boulder Dam 等に於ては之に使用するセメントの發熱性に關し多

表—1　米國のポルトランドセメント規格の比較(1)

			1904 A.S.T.M. ポルトランドセメント	1912 U.S.Gov't ポルトランドセメント	1930 Federal and A.S.T.M. ポルトランドセメント	1935 Federal* ポルトランドセメント	1936 A.S.T.M. 早强ポルトランドセメント	1936 Federal* 早强ポルトランドセメント	1935 Federal* 中庸熱セメント	1936 Federal* 硫酸鹽水抵抗性セメント(2)
化學成分限界	灼熱減量(最大)%		—	4.00	4.00	3.00	4.00	3.00	3.00	3.00
	不溶解殘渣(最大)%		—	1.00	0.85	0.75	0.85	0.75	0.75	0.75
	無水硫酸(最大)%		1.75	1.75	2.00	2.00	2.50	2.50	2.00	1.75
	苦土(最大)%		4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.00
	礬土(最大)%		—	—	—	7.50	—	7.50	6.00	4.00
	酸化鐵(最大)%		—	—	—	6.00	—	6.00	6.00	4.00
	礬土酸三石灰(最大)%		—	—	—	15.00	—	15.00	8.00	5.00
	珪酸(最小)%		—	—	—	—	—	—	21.00	24.00
	比 礬土/酸化鐵		—	—	—	—	—	—	R≦2.0 R≧0.7	R≦2.0 R≧0.7
比重(最大)			3.10	3.10	—	—	—	—	—	—
粉末程度(最小)			92%通過 100番篩 75%通過 200番篩	92%通過 100番篩 75%通過 200番篩	78%通過 200番篩	比表面積 ≧1500 cm²/gr	≧1900 cm²/gr	≧1900 cm²/gr	≧1800 cm²/gr	≧1800 cm²/gr
凝結	始發時(分)		≧30 (Vicat)	≧45 (Gillmore)	≧45 (Vicat) ≧60 (Gillmore)	≧60 (Gillmore)	≧45 (Vicat) ≧60 (Gillmore)	〃	〃	〃
	終結時(時)		≧1 ≦10	≦10	≦10	≦10	≦10	≦10	≦10	≦10
引張強さ (lb/in²)	ニート セメント	1日	150～200	—	—	—	—	—	—	—
		7日	450～550	500	—	—	—	—	—	—
		28日	550～650	600	—	—	—	—	—	—
	1:3 モルタル	1日	—	—	—	—	275	275	—	—
		3日	—	—	—	175	375	375	125	—
		7日	150～200	200	275	275	—	425	250	175
		28日	200～300	275	350	350	3日の強度より大	—	325	300
壓縮強さ (lb/in²)	1:2.75 モルタル	1日	—	—	—	—	1300	1250	—	—
		3日	—	—	—	900	3000	2500	750	—
		7日	—	—	—	1800	—	3500	1500	1000
		28日	—	—	—	3000	3日の強度より大	—	2500	2200
水和熱 (cal/gr)		7日	—	—	—	—	—	—	70	—
		28日	—	—	—	—	—	—	80	—

備考　(1)　Journal of the American Concrete Institute, 1937 (March～April).

(2)　は Sulphate resisting cement 即ち硫酸鹽含有水に對する抵抗性强きセメントにして，海水或は同種の地下水等の侵蝕作用を受くるコンクリート構造物の築造に使用せらるゝを目的とする．

*1936年 Federal Specifications.

方面の研究が重ねられ其の結果此の種の低發熱性セメントが使用されるに至つた．爾來此種の低熱セメントは著しく此方面の土木技術界の注目を惹きつゝある．我國に於ては僅に淺野社よりマスコンセメントとして製造供給されて居るに過ぎない．而して低熱セメントの發熱量の限界は工事の規模の大小，其の國の氣候，事情等によつて規定さるべきであるが，一例を示せば 1936 年米國改訂セメント規格に於て中庸熱セメントの發熱量は 7 日，70 cal/gr，28 日 80 cal/gr と規定されて居る (表—1 參照)．

B. 普通ポルトランドセメント

普通ポルトランドセメント (以後普通セメントと略稱す) は一般に單にセメントと稱せられ，1824 年發明せられて以來，所謂萬能なるセメントと見做されて發達し，今日に至るも依然土木建築界の重要なる工事材料として最も普通に且つ多量に使用されて居るものである．

C. 早强ポルトランドセメント

早强ポルトランドセメント (以後早强セメントと略稱す) は早强性に富むものであつて，原料は普通セメントと略〻同樣なるも，原料の調合，粉碎，燒成及び燒塊の粉碎等の工程に嚴密な注意を以て製造を行ひ，化學的成分を幾分變へ早期に高强度を發揮せしむる樣製せるものである．

D. 珪酸質混合セメント

混合セメントはポルトランドセメント燒塊に，火山灰，高珪酸質白土の如き天然產又は煆燒粘土，鎔滓の如き人工珪酸質副產物を或割合に混合して，幾分の石膏を加へ粉碎せるものである．從來海水工事等の場合，屢〻現場に於て火山灰其の他の混和材の混合使用が行はれ，此の際混合狀態の不均一を來す虞れが多かつたが，工場に於ける混合及び粉碎の方法によれば均等なセメントが得らるゝのである．セメント中の混和材の作用は，一般に物理的作用と化學的作用との綜合作用により，ポルトランドセメントの强度の增大，化學的抵抗性，耐水性等の增進を來すものと考へられて居る．卽ち物理的作用としては，モルタル，コンクリートの空隙充塡作用が考へられ，又化學的作用としてはセメントの加水分解によりて生ずる約 25～30% (重量) の水酸化石灰が水に可溶性である爲に常に水に接する構造物に於ては外部より侵入する水に次第に溶出され，コンクリートの變質を來すものである．此の場合，可溶性珪酸質等が存在する時は徐〻に水酸化石灰と結合し水に難溶性の珪酸石灰水和物 ($xCaO \cdot ySiO_2 \cdot nH_2O$) を生じて之れを固定し，構造物の耐久性を增大する作用を爲すものと考へられて居る．

本試驗に供せるセメントは高珪酸質混合セメントにして (以後混合セメントと略稱す)，現在 6 會社によりシリカセメント又は珪酸セメントとして製造せられて居る．其の內シ

リカセメントは珪酸セメントに比して，比較的多量の可溶性珪酸を含める珪酸質物を混和材として使用して居ると稱せられる．

E. 高爐セメント

高爐セメントは日本標準規格 (J. E. S. No. 29) に規定せられて居る如く，熔鑛爐の良質の水滓鑛滓 100 に對し，ポルトランドセメント燒塊 45 以上を混合微粉碎せる混合セメントの一種である．猶 5% 以下の石膏，3% 以下の石灰を加へる事が許されて居る．日本の市販品は一般に鑛滓 50%，セメント 50% 程度の混合品である．

鑛滓の混和材としての作用は一般混合セメントの場合と同樣であるが，唯鑛滓自身自硬性を有する點他の混和材と異る．

試驗は次の項目に就て行つた．

(1) 日本標準規格 (J. E. S. No. 28, No. 29) 中の各項目
(2) 化學分析
(3) 日本工學會制定の軟練モルタル試驗方法に依る强度
(4) コンクリート强度

而して之等の項目に就て次の順序により行つた．

(1) 化學組成とセメント中に含まるゝ主要水硬性化合物
(2) 物理的諸性質
　(i) 比重，(ii) 4900 孔殘査，(iii) 標準稠度水量及凝結時間，
　(iv) 膨脹性龜製
(3) 强　　度
　(i) 1:3 硬練モルタル强度，(ii) 1:1，1:2 軟練モルタル强度
　(iii) 1:2:4 コンクリート强度

III. 各種セメントの化學組成と其の中に含まるゝ主要水硬性化合物並にその比較

モルタル或はコンクリートの諸性質は使用骨材の性質，粒度，配合，水セメント比，混捏及び打込方法，養生等がすべて一定なる場合はセメントの性質によつて支配される．而してセメントの性質はセメント中の含有成分の割合即ち水硬性化合物の種類，含有量によつて支配されるものである．普通にセメント中に含まるゝ成分は珪酸 (SiO_2) 20～42%；礬土 (Al_2O_3) 5～7%；酸化鐵 (Fe_2O_3) 2～4%；石灰 (CaO) 63～66%；其の他苦土 (MgO)，硫酸 (SO_3)，アルカリ等であるが，水硬性を支配する最も重要な成分は珪酸；礬土；酸化鐵；石灰の 4 成分であつて，其の他の成分は含有量僅に 1～2% に過ぎず，苦土

は遊離狀態に存在すると云はれ，又無水硫酸はセメントの凝結作用を緩和する爲に加へたる石膏($CaSO_4$)と燃料粉炭より來たれるものである．而して上記の各種の酸化物は燒塊に於ては何れも夫々次に述ぶる諸種の水硬性化合物を構成し，之等が今日セメントの主體をなすものと認められて居るものである．之等水硬性化合物の本體に關して從來各國の學者によつて合成による相律的研究，顯微鏡による鑛物學的研究，或はX線的研究によつて，幾多の研究成果が得られて居る．之等の研究成果より見て一般にポルトランドセメントの主要成分たる珪酸，礬土，酸化鐵，石灰の4成分間に主として次の4種の主要なる水硬性化合物が形成されて居ると考へられて居る．卽ち (1) 珪酸三石灰 ($3CaO \cdot SiO_2$)，(2) 珪酸二石灰 ($2CaO \cdot SiO_2$)，(3) 礬土酸三石灰 ($3CaO \cdot Al_2O_3$) 及 (4) セリット部分 ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$) 之である．表—2 は之等の化合物の性質を比較せるものである．

表—2　ポルトランドセメント主要水硬性化合物の性質の比較(1)

4種水硬性化合物			成分%				熔融點°C	比重	發熱係數と順位				凝結硬化の早さ强度順位
									Leach & Bogue		Woods, Steinour & Starke		
名稱	示性式	略號	珪酸 SiO_2	礬土 Al_2O_3	酸化鐵 Fe_2O_3	石灰 CaO			係數	順位	係數	順位	
礬土酸三石灰	$3CaO \cdot Al_2O_3$	C_3A	—	37.8	—	62.2	1535	2.97	2.02	1	2.54	1	1
珪酸三石灰	$3CaO \cdot SiO_2$	C_3S	26.3	—	—	73.7	1900	3.24	1.14	2	1.32	2	2
珪酸二石灰	$2CaO \cdot SiO_2$	C_2S	34.9	—	—	65.1	2100	3.28	0.44	4	0.43	3	3 又は 4
セリット部分	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	C_4AF	—	20.6	32.8	46.6	1320	3.61	0.48	3	0.23	4	4 又は 3

(1)　土木工事用セメントに關する最近の傾向に就て(Ⅲ)　永井彰一郎　昭和 12 年 11 月　頁 22

之等の水硬性化合物は各種ポルトランドセメント中には種々の割合に於て存在して居る．此の中珪酸化合物は，70％以上を占め，最も重要な化合物にして，珪酸三石灰は水硬性最も强く，モルタル或はコンクリート特に短期は勿論長期に於てもセメントの强度に寄與する主體にして，又發熱量も礬土酸三石灰に次いで大である．珪酸二石灰は，28 日までの短期强度の發生に大した役割を爲さないが，其の後の長期に於て大なる役割を爲すものであり，發熱量は前者に比し其の量も少なく且つ緩慢である．之等の珪酸化合物に水を混ずる場合は，加水分解を起して，珪酸石灰鹽の水和物 ($xCaO \cdot ySiO_2 \cdot nH_2O$) と多量の水酸化石灰 $\{Ca(OH)_2\}$ を生じ，セメントの硬化作用に寄與する．

礬土酸石灰鹽中，ポルトランドセメントに含まるゝ主なる化合物は，礬土酸三石灰にして，我國のポルトランドセメントには普通 7％～12％ 含有せられ，又 5:3 礬土酸石灰 ($5CaO \cdot 3Al_2O_3$ 略號 C_5A_3) も少量ながら含まれて居る．之等の化合物は諸種の水硬性化合物中最も

加水分解速にして，セメントの凝結作用促進に大なる影響を及ぼし，28 日頃までの短期强度の發生に大なる役割を爲す．特に 3 日，7 日の短期强度に寄與する所大である．又發熱量も甚大である．礬土酸三石灰は加水分解を起して，礬土酸水和物 ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot nH_2O$) を生ずる．

セリット部分は，各材齡に於て强度發熱共大した寄與をなさないと云はれる．

次に之等セメント水硬性化合物の量的關係を見るに圖—2 に示す如く，主要水硬性化合物たる珪酸三石灰と，珪酸二石灰含有量との間には，前者が增大すれば後者が減少する相互關係が見られ，又礬土酸三石灰とセリット部分の含有量間にも僅かながら同樣な關係がある事が知り得らる．

斯の如くポルトランドセメントは異る性質を有する之等の化合物を種々の割合に含むを以て，各化合物相互の含有割合を異にすれば其の性質は當然異つて來る．

而してポルトランドセメントの分析結果より前記 4 種の主要水硬性化合物の含有量を Bogue 氏 (1) の方法に依つて算出する事が出來る．

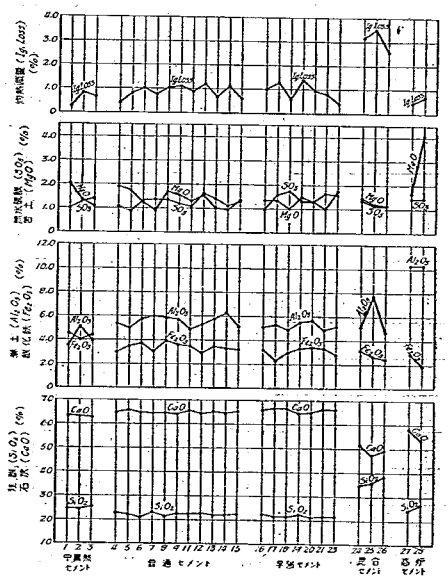
表—3，表—5 は各個セメントの化學分析結果と，Bogue 氏の方法に依つて算出せるセメントクリンカー化合物の百分率を示せるもので，これを圖示すれば圖—1，圖—2 の如くである．之等の結果を總括すれば次の如くである．

(1) 化學組成 (表—3，圖—1 參照)

灼熱減量は，混合セメントを除く各試料に就て見るに，何れも 1 %內外で，各試料の新鮮な事を示して居る．混合セメントの灼熱減量は，平均約 3% を示して居るが，これは混和材の灼熱減量多きに起因する．

其の他の主要組成分に就て見

圖—1　各セメントの化學組成の比較(2)



註 (1) "Calculation of the Compounds in Portland Cement". R. H. Bogue. Ind. & Eng. Chem., Analyt. Ed. I (4) (1929) 192.

(2) 各圖於ける(圖—2 を除く)セメントの配列は 1：2 軟練モルタル壓縮强さの順である．

表−3 最近本邦製各種セメントの化學組成竝に比率係數

セメント種類	試料番號	灼熱減量 %	不溶解殘査 %	珪酸 SiO_2 %	礬土 Al_2O_3 %	酸化鐵 Fe_2O_3 %	石灰 CaO %	苦土 MgO %	無水硫酸 SO_3 %	水硬率	珪酸率	活動係數	鐵率
中庸熱ポルトランドセメント	No. 1 a	0.24	0.20	24.88	3.57	4.57	63.18	2.02	1.01	1.90	3.03	6.91	0.78
	No. 2 b	0.81	0.36	24.44	5.14	3.96	63.05	1.33	1.27	1.91	2.64	4.67	1.30
	No. 3 c	0.65	0.16	25.20	3.97	4.40	62.80	1.08	1.42	1.85	2.99	6.31	0.90
普通ポルトランドセメント	No. 4 a	0.39	0.22	23.02	5.35	2.97	64.81	1.89	1.08	2.06	2.74	4.26	1.80
	No. 5	0.80	0.10	22.16	5.01	3.45	65.62	1.76	0.90	2.14	2.61	4.42	1.44
	No. 6 d	1.02	0.35	21.08	5.76	3.66	64.75	1.24	1.31	2.11	2.20	3.60	1.57
	No. 7	0.78	0.15	23.03	6.00	3.04	64.81	0.90	1.37	2.02	2.53	3.81	1.97
	No. 8	1.04	—	21.28	5.84	3.86	64.74	1.70	1.33	2.09	2.19	3.64	1.51
	No. 9 i	1.10	0.40	22.32	5.66	3.56	64.14	1.55	1.18	2.03	2.42	3.94	1.59
	No.11 e	0.90	0.10	22.43	4.88	3.50	65.49	1.33	1.08	2.13	2.68	4.60	1.39
	No.12 f	1.22	—	22.57	5.28	2.87	64.28	1.52	1.57	2.06	2.77	4.27	1.84
	No.13 g	0.65	0.25	22.10	5.79	3.45	65.38	1.00	1.42	2.07	2.36	3.77	1.68
	No.14 c	1.08	0.26	22.00	6.33	3.24	64.65	0.98	1.12	2.04	2.27	3.43	1.95
	No.15 h	0.58	0.21	22.21	5.16	3.20	65.78	1.37	1.33	2.12	2.66	4.30	1.61
早強ポルトランドセメント	No.16 e	1.00	0.12	22.13	5.05	3.24	66.01	1.35	1.00	2.17	2.67	4.38	1.56
	No.17 f	1.27	—	21.37	5.31	2.34	66.53	1.34	1.66	2.25	2.79	4.02	2.27
	No.18 g	0.56	0.20	21.72	4.93	3.02	66.57	1.02	1.74	2.22	2.71	4.36	1.63
	No.19 i	1.42	0.38	22.16	5.53	3.26	64.72	1.50	1.32	2.09	2.52	4.01	1.70
	No.20 d	0.94	0.62	21.10	5.69	3.40	65.13	1.30	1.29	2.17	2.25	3.60	1.67
	No.21 c	0.80	0.30	21.44	4.84	3.28	66.25	1.01	1.65	2.21	2.64	4.43	1.48
	No.23 a	0.41	0.33	21.72	5.21	2.75	66.17	1.76	1.58	2.22	2.19	4.11	1.89
混合セメント	No.24 i	3.18	14.28	34.56	5.20	3.20	51.49	1.44	1.34	—	—	—	—
	No.25 f	3.52	19.67	35.86	7.76	2.74	47.40	1.22	1.17	—	—	—	—
	No.26 d	2.58	18.44	38.30	4.66	2.44	49.13	1.18	1.18	—	—	—	—
高爐セメント	No.27	0.46	—	24.01	10.34	2.87	58.34	1.66	1.43	—	—	—	—
	No.28 h	0.71	0.55	26.93	10.33	1.93	53.70	4.09	1.44	—	—	—	—
中庸熱ポルトランドセメント	平均値	0.57	0.24	24.84	4.23	4.31	63.01	1.48	1.23	1.89	2.89	5.97	0.72
普通 〃	〃	0.41	0.22	22.20	5.55	3.35	64.90	1.39	1.24	2.08	2.49	4.00	1.67
早強 〃	〃	0.91	0.31	21.66	5.12	3.04	65.91	1.33	1.46	2.19	2.54	4.13	1.74
混合セメント	〃	3.09	17.46	36.24	5.87	2.79	49.34	1.28	1.23	—	—	—	—
高爐セメント	〃	0.59	0.55	25.47	10.34	2.40	56.02	2.88	1.44	—	—	—	—

備考 1. No. 2 以外の各種セメントの分析結果は，總て各セメント會社の分析結果に依りたるものである．

2. 試料番號中符號 a, b, c,……は夫々同一工場の製品たるを示す．

3. 表中 水硬率 $H \cdot M = \dfrac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}$，珪酸率 $= \dfrac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$，

活動係數 $= \dfrac{SiO_2}{Al_2O_3}$，鐵率 $= \dfrac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$

るに，中庸熱セメント平均値は普通セメント平均値に比較して，珪酸約 2.6％多く，石灰約 2％少く，酸化鐵約 1％多く，礬土約 0.9％少く，從て水硬率，鐵率低く，高珪酸低礬土型セメントである點が，著しく普通セメントの場合と異る事は注目すべき點である．

普通セメントは珪酸平均 22.20％，石灰 64.90％にして，表—4 に示す如く我國の普通セメントが低石灰型より次第に高石灰型に推移せる傾向を知り得る．

表－4　本邦ポルトランドセメント略年化學組成の變遷(1)
（珪酸，石灰に就て）

年　次	珪　酸 SiO_2 ％	石　灰 CaO ％
大正 2 年	22.54	60.81
大正 8 年	22.94	61.42
大正14年	22.39	62.53
昭和 5 年	22.12	64.42
昭和 8 年	22.16	64.70

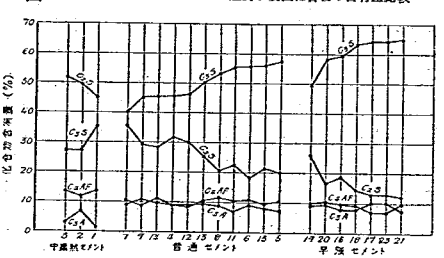
早强セメントは普通セメントに比較し，珪酸幾分少く，石灰約 1％ 多く，從つて水硬率高く，高石灰型セメントである事が其の特徵である．混合セメント，高爐セメントに於ける珪酸は甚だ多くして，特に混合セメントに於ては平均 36％に及んで居るが，これは何れも混和材たる珪酸質物質，或は鑛滓等より來れるものである．高爐セメントの礬土は，鑛滓の成分の關係上，普通セメントの平均値に比較し約 5％ 多くなつて居る．

(2)　ポルトランドセメントに含まるゝ主要水硬性化合物（表—5，圖—2 參照）

中庸熱セメントは化學組成上普通セメントと可成の相違がある故に，其の中に含まるゝ各種の水硬性化合物の量に於ても著しい相違があり，之を普通セメントに比較するに，發熱量の大なる礬土酸三石灰及び珪酸三石灰は夫〻約 5％，20％少なく，反對に珪酸二石灰，セリット部分は夫〻約 23％，3％多くなつて居る．此の化合物割合より見てこの種のセメントは發熱量少なく，凝結遲く，早期强度弱きも長期强度は普通セメントに近き値を示す事が豫想せらる．

普通セメントは珪酸三石灰，珪酸二石灰夫〻平均 50，26％を示し，中には圖—2 に見る如く其の化合物含有割合上早强セメントに近似するものある事は最近の普通セメントの或るものが早期强度にのみ重點を置き，高石灰型に傾きつゝあるを示して居る．從つて之を使用すれば加水分解による水酸化石灰の生成量多く，耐久性，化學的抵抗性に於て不充分の虞なきに非ず．早强セメント中の主要化合物の量は短期强度を支配する珪酸三石灰

圖－2　ポルトランドセメントの主要水硬性化合物の含有量比較



註　(1)　我國に於けるポルトランドセメント業の發達．セメント界彙報　昭和9年 12 月，P. 35.

表-5 最近本邦製ポルトランドセメント中に含まるゝ主要水硬性化合物(1)

セメントの種類	(2) 試料番號	珪酸三石灰 $3CaO\cdot SiO_2$ (C_3S)	珪酸二石灰 $2CaO\cdot SiO_2$ (C_2S)	礬土酸三石灰 $3CaO\cdot Al_2O_3$ (C_3A)	セリット部分 $4CaO\cdot Al_2O_3 Fe_2O_3$ (C_4AF)	硫酸石灰 $CaSO_4$
		%	%	%	%	%
中庸熱ポルトランドセメント	No. 1 a	35.2	45.1	1.7	13.9	1.7
	No. 2 b	27.2	49.6	6.9	12.0	2.2
	No. 3 c	27.2	51.7	3.1	13.4	2.4
普通ポルトランドセメント	No. 4 a	45.6	31.6	9.1	9.0	1.8
	No. 5	57.6	20.1	7.4	10.5	1.5
	No. 6 d	55.8	18.4	9.1	11.1	2.2
	No. 7	40.3	35.6	10.7	9.2	2.3
	No. 8	53.4	20.8	8.9	11.7	2.3
	No. 9 i	45.2	29.2	9.1	10.8	2.0
	No. 11 e	55.3	22.6	7.0	10.6	1.8
	No. 12 f	46.1	30.0	9.1	8.7	2.7
	No. 13 g	50.4	25.4	9.5	10.5	2.4
	No. 14 c	45.5	28.8	11.3	9.9	1.9
	No. 15 h	56.0	21.4	8.2	9.7	2.3
早强ポルトランドセメント	No. 16 e	59.1	18.9	7.9	9.9	1.7
	No. 17 b	64.0	13.0	10.1	7.1	2.8
	No. 18 g	63.5	14.4	8.0	9.2	3.0
	No. 19 i	49.6	26.2	9.1	9.9	2.2
	No. 20 d	58.2	16.6	9.3	10.3	2.2
	No. 21 c	64.9	12.6	7.3	10.0	2.8
	No. 23 a	64.0	13.0	10.1	7.1	2.8
中庸熱ポルトランドセメント	平均値	29.9	48.8	3.9	13.1	2.1
普通 〃	平均値	50.1	25.8	9.0	10.2	2.1
早强 〃	平均値	60.5	16.7	8.8	7.1	2.5

備考 (1) R. H. Bogue の方法にて計算

(2) 試料番號は各種セメントの 1:2 軟練モルタル壓縮强さの順である。

表－6　本邦最近の各種セメントの物理的諸性質

セメントの種類	試料番號	凝結時間 室温°C	凝結時間 水量 w/c %	凝結時間 始發時 時 分	凝結時間 終結時 時 分	比重 其他	4900孔 殘査%	膨脹性 眼鏡煮沸法
中庸熱ポルトランドセメント	No. 1 a	20.5	26.3	5—35	7—15	3.27	3.41	完全
	No. 2 b	22.0	25.5	2—01	3—40	3.21	5.33	〃
	No. 3 c	18.5	26.8	3—40	5—05	3.24	3.92	〃
普通ポルトランドセメント	No. 4 a	17.5	26.1	2—50	4—10	3.19	2.64	完全
	No. 5	17.0	26.9	3—28	5—25	3.17	3.28	〃
	No. 6 h	19.0	27.5	2—03	3—35	3.16	2.25	〃
	No. 7	21.0	27.5	3—25	4—50	3.16	1.31	〃
	No. 8	18.5	26.8	2—40	4—03	3.14	3.28	〃
	No. 9 i	18.5	27.3	2—05	4—20	3.17	2.99	〃
	No. 10 b	19.0	26.8	2—12	4—01	3.17	3.48	〃
	No. 11 e	17.0	26.5	3—28	5—15	3.16	2.37	〃
	No. 12 f	19.5	26.7	2—39	4—35	3.14	4.57	〃
	No. 13 g	17.5	26.5	2—50	4—29	3.17	3.51	〃
	No. 14 c	17.5	28.0	2—23	4—03	3.18	1.36	〃
	No. 15 h	17.5	26.3	1—33	3—05	3.16	2.16	〃
早强ポルトランドセメント	No. 16 e	19.0	26.8	2—39	4—19	3.16	1.01	完全
	No. 17 f	19.0	27.5	1—43	3—03	3.12	1.71	〃
	No. 18 g	17.5	27.5	2—31	4—14	3.14	2.65	〃
	No. 19 i	18.5	27.5	1—30	3—05	3.15	2.01	〃
	No. 20 d	18.0	28.3	1—47	3—37	3.13	0.75	〃
	No. 21 c	17.5	27.9	1—40	3—03	3.11	1.89	〃
	No. 22 b	19.0	27.3	1—40	2—25	3.13	2.43	〃
	No. 23 a	20.0	27.4	2—00	5—00	3.17	1.92	〃
混合セメント	No. 24 i	18.5	30.0	1—50	4—10	3.03	1.49	完全
	No. 25 f	18.5	36.8	2—10	5—00	2.89	0.94	〃
	No. 26 d	18.5	32.3	2—40	5—05	2.92	1.13	〃
高爐セメント	No. 27	19.5	28.9	2—25	4—19	3.07	2.38	完全
	No. 28 h	17.5	29.0	3—10	4—40	3.03	1.03	〃
中庸熱ポルトランドセメント	平均値	—	26.2	3—45	5—20	3.24	4.33	完全
普通 〃	〃	—	26.9	2—38	4—19	3.16	2.77	〃
早强 〃	〃	—	27.8	1—56	3—36	3.14	1.80	〃
混合セメント	〃	—	33.0	2—13	4—45	2.95	1.19	〃
高爐セメント	〃	—	29.0	2—47	4—30	3.05	1.71	〃

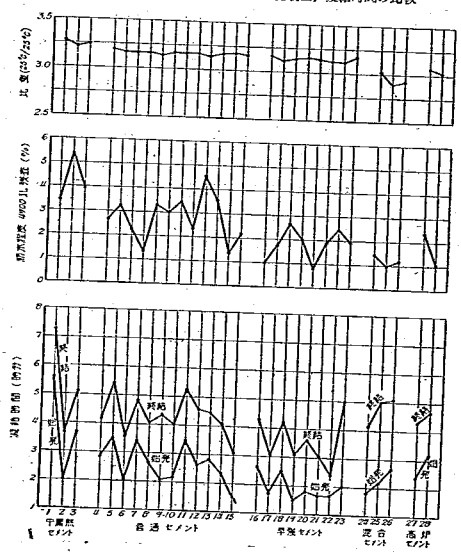
が，普通セメントに比較して約 10％多く，反對に珪酸二石灰約 10％少く，礬土酸三石灰，セリット部分は大差ない．故に早强セメントは短期强度大なると共に發熱量も大なるものと豫想し得らる．

かくして一般にセメントの諸性質は，其の中の水硬性化合物の含有割合により，大凡豫想し得るものであるが，之等に就ては，尙後述の强度其の他の試驗結果を參照すれば，一層明瞭に知り得らる．

IV. 各種セメントの物理的諸性質竝に其の比較

表—6 に現行規格試驗法 (J. E. S. No. 28, No. 29) による各種セメントの比重，4900 孔篩上殘査，凝結時間，膨脹性龜裂等の試驗結果を示した．又この結果を個々のセメントに於て圖示すれば圖—3 の如くである．之等の結果を總括すれば次の如くである．

圖－3 各セメントの比重，4900孔殘査，凝結時間の比較



(1) 比重 (表—6, 圖—3 參照)

比重は，試料を灼熱せず，其の儘の狀態に於て 25 °C で之を測定した．この結果に依れば，ポルトランド系セメントに於ては珪酸及び酸化鐵の多き程，卽ち珪酸二石灰，セリット部分含有量多き程高い値を示して居る．之は上記 2 種の化合物の比重大なる事に起因する (表—2 參照)．卽ち珪酸，酸化鐵の多き中庸熱セメントは，比重平均 3.24 で最も高く，次に普通セメント比重は平均 3.16，珪酸，酸化鐵の比較的少き早强セメントの平均比重は 3.14 となつて居る．混合セメントの比重は混和の種類，混和量によつて異るも本試驗の結果によれば，何れも 3.00 前後である．

(2) 粉末程度 (表—6, 圖—3 參照)

セメントは極めて微細なる粒子よりなつて居る故に，嚴密なる意味に於ては風篩器或は沈降裝置等に依つて，粒子の大さ及び量を測定するか，又は渾濁計に依つて比表面積(cm^2/g)

を計算し，以て粉末程度を表はすべきであるが，暫く規格試驗として 4900 孔篩によりて之を行つた．中庸熱セメントは殘査平均 4.33％ で粉末程度最も粗であり，普通セメントは平均 2.77％ で之に次ぎ，早强セメントは平均 1.80％ にして充分細く粉碎されて居る事を示して居る．混合セメント及び高爐セメントは夫〻平均 1.19％，1.71％ であつて，混和材混合に依る强度の遲發生緩和の爲，充分細く粉碎されて居ることを示して居る．

(3) 凝結時間 (表—6，圖—3 參照)

凝結時間測定の場合の標準稠度水量は，低熱セメント 26.2％，普通セメント 26.9％，早强セメント 26.9％ で，3者間に大なる相違はなく，混合セメントは混合材及び微粉碎の影響により普通セメントに比較して水量やゝ多く，混合セメントは 33％，高爐セメントは 29％ を示して居る．

平均凝結時間を見るに中庸熱セメントは始發3時 45 分，終結5時20 分で最も遲く，普通セメントは始發2時38分，終結4時19分で之に次ぎ，早强セメントは始發1時56分，終結3時 36 分で始發，終結共に普通セメントより稍早い．混合セメントは本試驗に於ては平均始發2時 13 分で稍早い結果を示して居るが，終結は4時 45 分で普通セメントより少しく遲い．高爐セメントは始發2時 47 分，終結4時 30 分で普通セメントより始發終結共稍遲いが，之を J. E. S. No. 28, No. 29 に比較すれば充分之に適合するものである．

(4) 膨脹性龜裂 (表—6 參照)

膨脹性龜裂試驗は煮沸法によつて檢したが何れも異狀なく，何等不安定を示すものが無い．

V. 各種セメントのモルタル强度竝に其の比較

モルタル强度試驗は (i) J. E. S. 規格による硬練モルタル試驗 (配合 1：3)，(ii) 軟練モルタル試驗 (配合 1：1 及 1：2) の2種につき行つた．

規格モルタル試驗に於ける水セメント比はポルトランド系セメントに於ては28～29％，混合セメントに於ては 28～31％ であつた．而して斯くの如く現行規格强度試驗の如き少量の水を以てしては，セメントの加水分解に基く硬化作用が充分でなく，且又鐵槌器により多大の外力を加へ甚しき强制成形をなさしめて居り，セメントをコンクリートに實際使用する場合に於ては，水セメント比 40～90％ の如き多量の水を用ふるを普通とし，其の結果硬練モルタル試驗の成績によりてコンクリートの强度を適確に豫測し得ざる爲，硬練モルタル試驗法はコンクリートとしてのセメントの品質判定の方法としては適當でない．故に此點に關しては昭和4年以來各方面に於て此の重大缺點を有する現行規格試驗方法を

改良する爲に多量の水を用ひ且つ外力を加へずして成形し得る軟練モルタル試驗方法の研究が行はれて來た．その結果日本工學會に於ては，現行硬練モルタル强度試驗法を改正して，標準軟練モルタル强度試驗法案を作成した．

本試驗に於ても之によりて軟練モルタル强度試驗を行ひ，骨材として朝鮮九味浦砂を用ひ，配合夫〻 1：1 及 1：2，水セメント比夫〻 45% 及 65% のモルタルに就て，水中養生 3 日，7 日，28 日等の各材齡に於て壓縮及曲げ强さの比較試驗を行つた．

之等硬練及軟練モルタル强度試驗結果は表—7，8，9 及，圖—4，7，10 に示した．圖—5 6，8，9，11，12 は各種セメントの各種平均强度を圖示せるものである．又 3 日の强度を 100% とせる各種セメントの平均强度增進指數を表—10 に示した．表—11 は普通セメントの平均强度 100 に對する各種セメントの平均强度比率を示し，又普通セメント 28 日强度を 100 とせる場合の各種セメント平均强度比率を表—12 に示した．

表—13 は普通及早强セメントの最高强度と最低强度，竝に其の平均强度に對する强度比率を示せるものである．

之等の結果を見るに硬練モルタル試驗に於ける水量は中庸熱，普通，早强，高爐の各セメントは何れも大差なく，水セメント比 28% 前後であるが，混合セメントのみは 30.8% で約 3% 多くなつて居る．

各セメントの軟練モルタルに於ける軟度は小型フローテーブルを用ひて測定した．その結果は表—8，9 に示す如くフローはセメントの種類に依つて 幾分異つて居り，之はセメントの成分，粉末程度，風化の程度の相違によつて異る事は勿論である．

中庸熱，普通及び早强セメントは，何れもフロー約 200～240 であつて各試料間に大差なく，高爐セメントはやゝ少く，フロー 195～209 を示し，混合セメントは混和材を含有せる爲フロー約 150～190 であつて著しく小である．

配合比 1：1 モルタル (水量 45%) と配合比 1：2 モルタル (水量 65%) のフローを比較するに，ポルトランド系セメントに於ては前者は後者より大であるが，混合セメントに於ては此の反對の結果を示して居る．

强度試驗結果に就て考察すれば次の如くである (表—7～13，圖—4～12 參照)．

(A) 中庸熱セメント

硬練モルタル，軟練モルタル共に 3 日，7 日の短期强度は低く，表—11 に示す如く，普通セメントに比較するに中庸熱セメントは，硬練モルタルに就て見るに 3 日の引張强さに於ては 70%，壓縮强さに於ては 54% に過ぎないが，材齡の進むと共に强度の增加著しく 28 日に於ける引張强さは 90%，壓縮强さは 85% と普通セメントに接近して來る．同樣に軟練モルタルに於ても，配合 1：2，1：1 の 3 日の曲げ强さは夫〻 51%，55%，

表-7　本邦各種セメントの硬練 1：3 モルタル强度

セメントの種類	試番料號	引張强さ kg/cm² 水量 w/c %	3日	7日	28日	壓縮强さ kg/cm² 水量 w/c %	3日	7日	28日
中庸熱ポルトランドセメント	No. 1a	26.7	22.7	29.3	37.0	27.6	180	253	429
	No. 2b	26.7	26.8	29.1	36.1	27.6	199	287	428
	No. 3c	26.7	22.5	29.8	35.9	27.6	152	261	442
普通ポルトランドセメント	No. 4a	27.1	33.4	34.7	40.8	28.0	332	386	500
	No. 5	26.7	35.7	37.5	40.0	27.6	333	442	523
	No. 6d	27.1	32.4	34.1	38.8	28.0	323	394	500
	No. 7	26.7	32.0	33.9	42.4	27.6	316	395	524
	No. 8	26.7	33.7	34.9	37.3	27.6	328	413	460
	No. 9i	27.1	33.7	35.8	42.0	28.0	332	401	507
	No. 10b	27.1	32.0	36.7	44.5	28.0	355	414	519
	No. 11e	27.1	31.1	37.1	39.1	28.0	249	395	499
	No. 12f	27.1	31.2	36.9	38.7	28.0	339	373	451
	No. 13g	27.1	36.1	37.6	38.6	28.0	301	399	521
	No. 14c	27.6	39.7	42.8	44.0	28.4	347	417	548
	No. 15h	27.1	37.7	41.5	43.2	28.0	426	523	564
早强ポルトランドセメント	No. 16e	28.0	39.2	42.9	45.2	28.8	460	494	629
	No. 17f	28.0	40.6	41.7	44.2	28.8	424	520	631
	No. 18g	28.0	41.3	43.0	45.1	28.8	425	500	619
	No. 19i	27.6	39.0	39.7	41.8	28.4	423	517	594
	No. 20d	28.0	38.1	39.8	43.1	28.8	402	512	607
	No. 21c	28.0	43.0	45.7	46.8	28.8	476	537	621
	No. 22b	28.0	38.3	40.7	46.3	28.8	491	517	638
	No. 23a	28.0	38.7	41.2	46.8	28.8	484	513	641
混合セメント	No. 24i	30.0	33.0	36.0	41.5	30.8	390	467	540
	No. 25f	30.0	31.5	33.6	41.1	30.8	283	431	532
	No. 26d	30.0	30.3	34.1	43.4	30.8	351	443	514
高爐セメント	No. 27	28.0	33.0	35.9	40.7	28.8	337	456	556
	No. 28h	28.0	33.8	38.6	43.5	28.8	343	478	501
中庸熱ポルトランドセメント	平均値	26.7	24.0	29.4	36.3	27.6	177	267	433
普通 〃	〃	27.0	34.1	37.0	40.8	27.9	331	413	510
早强 〃	〃	28.0	39.8	41.8	44.9	28.8	448	514	623
混合セメント	〃	30.0	31.6	34.6	42.0	30.8	341	447	529
高爐セメント	〃	28.0	33.4	37.3	42.1	28.8	340	467	529

備考　實驗室温度　17 °C～22 °C

　　水槽温度　20 °C± 2 °C

表－8　本邦最近の各種セメントの軟練モルタル強度
配合 1：2 (セメント：九味浦砂) モルタル
水セメント比 65％

セメントの種類	試料番號	フロー	曲げ強さ kg/cm²			壓縮強さ kg/cm²		
		%	3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日
中庸熱ポルトランドセメント	No. 1 a	213	14.7	26.1	49.7	41.9	79.4	191
	No. 2 b	196	15.2	23.3	61.1	44.6	78.1	227
	No. 3 c	204	14.6	23.7	55.5	40.0	74.5	227
普通ポルトランドセメント	No. 4 a	201	25.3	39.1	58.3	104	173	273
	No. 5	212	25.7	39.8	64.9	91.6	146	288
	No. 6 d	191	29.1	45.7	63.2	118	195	291
	No. 7	225	27.6	36.8	60.7	106	146	322
	No. 8	190	23.9	40.4	70.5	95.7	185	328
	No. 9 i	223	24.5	42.3	72.5	89.5	192	328
	No. 10 b	217	24.5	36.7	68.8	94.2	141	342
	No. 11 e	210	24.2	41.4	67.9	88.0	183	344
	No. 12 f	198	31.8	44.6	58.6	132	207	363
	No. 13 g	217	31.1	46.2	69.1	131	203	375
	No. 14 c	202	38.5	52.2	70.4	132	237	382
	No. 15 h	214	41.3	58.2	76.6	181	324	393
早强ポルトランドセメント	No. 16 e	205	36.0	52.5	64.8	139	226	348
	No. 17 f	216	39.4	60.0	69.2	168	289	375
	No. 18 g	202	40.6	59.3	80.4	174	273	377
	No. 19 i	223	33.3	43.7	73.5	131	221	380
	No. 20 d	241	40.9	55.7	76.6	157	228	398
	No. 21 c	212	53.2	65.0	75.0	245	323	406
	No. 22 b	218	44.4	60.2	77.2	188	285	413
	No. 23 a	204	48.0	67.9	73.0	214	328	418
混合セメント	No. 24 i	194	30.8	45.9	68.6	107	182	296
	No. 25 f	175	25.4	40.8	69.7	87.8	143	330
	No. 26 d	183	31.9	48.4	74.3	116	194	374
高爐セメント	No. 27	209	29.0	46.8	65.3	111	189	325
	No. 28 h	204	30.6	42.7	74.6	117	179	356
中庸熱ポルトランドセメント	平均値	204	14.8	24.4	55.4	42.2	77.3	215
普通　〃	〃	208	29.0	43.5	66.8	114	194	336
早强　〃	〃	215	42.0	58.0	73.7	177	272	389
混合セメント	〃	184	29.4	45.0	69.9	104	173	333
高爐セメント	〃	207	29.8	44.8	70.0	114	184	341

備考　實驗室温度　20 °C～27 °C　　水槽温度　20 °C～25.5 °C

表-9　本邦最近の各種セメントの軟練モルタル强度
配合 1：1（セメント；九味浦砂）モルタル
水セメント比 45%

セメントの種類	試料番號	フロー	曲げ强さ kg/cm²			壓縮强さ kg/cm²		
		%	3日	7日	28日	3日	7日	28日
中庸熱ポルトランドセメント	No. 1a	233	26.6	40.4	96.2	84.7	168	478
	No. 2b	216	31.1	53.1	97.3	114	219	486
	No. 3c	211	28.7	49.2	83.7	94.4	183	466
普通ポルトランドセメント	No. 4a	206	55.4	71.9	97.2	265	368	541
	No. 5	229	50.6	79.0	90.8	204	331	579
	No. 6d	213	46.5	79.2	90.0	239	394	551
	No. 7	232	38.1	64.3	88.5	186	347	563
	No. 8	207	43.2	73.8	96.9	240	377	534
	No. 9i	230	45.6	77.4	108	227	330	586
	No. 10b	242	48.5	66.5	95.0	218	318	614
	No. 11e	231	49.1	83.5	97.6	216	428	584
	No. 12f	205	68.3	79.3	89.7	317	382	513
	No. 13g	221	57.6	78.0	98.0	290	437	580
	No. 14c	214	54.8	80.7	101	278	450	593
	No. 15h	223	66.0	92.2	108	363	536	606
早强ポルトランドセメント	No. 16e	225	65.1	85.3	115	294	431	600
	No. 17f	221	64.7	94.3	106	349	520	605
	No. 18g	212	71.5	95.6	99.2	351	470	613
	No. 19i	244	58.2	90.8	98.3	274	432	652
	No. 20d	244	73.0	99.8	107	347	465	616
	No. 21c	217	79.4	103	107	469	573	658
	No. 22b	234	76.6	92.6	113	383	521	660
	No. 23a	212	80.7	97.6	109	395	523	706
混合セメント	No. 24i	184	55.7	74.4	78.0	236	367	485
	No. 25f	154	38.5	72.7	89.8	201	345	490
	No. 26d	165	60.2	76.6	88.3	278	408	578
高爐セメント	No. 27	195	39.8	70.6	82.0	224	348	560
	No. 28h	201	41.6	66.3	96.8	230	363	554
中庸熱ポルトランドセメント	平均値	220	28.8	47.6	92.4	97.7	190	477
普通　〃	〃	221	52.0	77.2	96.7	254	392	570
早强　〃	〃	226	71.2	94.9	10.7	358	492	639
混合セメント	〃	168	51.5	74.6	85.4	238	373	518
高爐セメント	〃	198	40.7	68.5	89.4	227	356	557

備考　實驗室温度 20 °C—27 °C　水槽温度 20 °C—25.5 °C

表-10 本邦最近の各種セメントの平均強度増進指數

(3 日の強度 100 に對する)

指數 ＼ 種類			中庸熱ポルトランドセメント	普通ポルトランドセメント	早强ポルトランドセメント	混合セメント	高爐セメント
3 日の強度			100	100	100	100	100
1:3 モルタル	張引張强さ	7 日	123	109	105	109	112
		28 日	151	120	113	133	126
	壓縮强さ	7 日	151	125	115	131	137
		28 日	244	154	139	155	156
1:2 モルタル	曲げ强さ	7 日	165	150	138	153	150
		28 日	374	230	175	238	234
	壓縮强さ	7 日	183	171	154	166	151
		28 日	509	295	220	304	299
1:1 モルタル	曲げ强さ	7 日	165	148	133	145	168
		28 日	321	186	150	166	220
	壓縮强さ	7 日	194	154	138	157	157
		28 日	488	224	178	218	245
1:2:4 コンクリート	壓縮强さ	7 日	200	203	185	221	204
		28 日	781	432	295	504	469
		91 日	1199	490	303	638	539

壓縮强さは 37 %，39 % であるが，28 日に於ける强度は曲げ强さ 84 %，96 %，壓縮强さ 64 %，94 % にして，早期强度は劣るも長期强度は普通セメントに近きものたる事を窺知し得られる．特に曲げ强さの比較的大なる事は注目に値する．以上の事實より知られる如く，强度の增進は著しく大であつて，例へば 28 日に於ける普通セメントの配合比 1：2 軟練モルタルの平均壓縮强度增進指數 295 % に對して，中庸熱セメントは 509 % を示してゐる (表—10 參照)．

(B) 普通セメント

硬練モルタル引張及び壓縮兩强さは各試料共日本標準規格 (J. E. S. No. 28) に合格し，且つ其の最低値より遙に大である．材齡に對する强度增進は比較的順調であり，硬練 1:3 モルタル平均壓縮强さに於ては 3 日を 100 とせる場合，7 日，28 日に於て夫〻 125 %，154 % の强度增進指數を示して居る (表—10)．軟練モルタル强度に於ては配合比 1:2 及び 1:1 共に，各試料何れも日本工學會軟練モルタル規格案强度に合格し，其の强度增進は順調であるが，其の增進率は硬練モルタルの場合より大である (表—10)．各試料間の强度の相違

表—11　普通ポルトランドセメントの平均强度 100 に對する
各種セメントの平均强度比率

		引張，曲げ强さ			壓縮强さ			
		3日	7日	28日	3日	7日	28日	91日
硬練モルタル (1：3)	中庸熱セメント	70.4	79.5	89.0	53.5	64.6	84.9	—
	普通セメント	100	100	100	100	100	100	—
	早强セメント	117	113	110	135	124	122	—
	混合セメント	92.7	93.5	103	103	108	104	—
	高爐セメント	97.9	101	103	103	113	104	—
軟練モルタル (1：2)	中庸熱セメント	51.0	56.0	83.9	37.0	39.8	64.0	—
	普通セメント	100	100	100	100	100	100	—
	早强セメント	145	133	110	155	140	116	—
	混合セメント	100	103	105	91.2	89.0	99.0	—
	高爐セメント	102	103	105	100	94.8	101	—
軟練モルタル (1：1)	中庸熱セメント	55.4	61.7	95.6	38.5	48.5	83.7	—
	普通セメント	100	100	100	100	100	100	—
	早强セメント	137	123	111	141	126	112	—
	混合セメント	99.0	96.6	88.3	93.7	95.2	90.9	—
	高爐セメント	78.3	88.7	92.5	89.4	90.8	97.7	—
コンクリート (1：2：4)	中庸熱セメント	—	—	—	37.2	46.6	67.4	91.2
	普通セメント	—	—	—	100	100	100	100
	早强セメント	—	—	—	174	158	119	107
	混合セメント	—	—	—	71.8	78.1	83.8	93.6
	高爐セメント	—	—	—	93.0	93.4	101	102

圖-4　各セメントの硬練 1:3 モルタル引張強さ竝に壓縮強さの比較

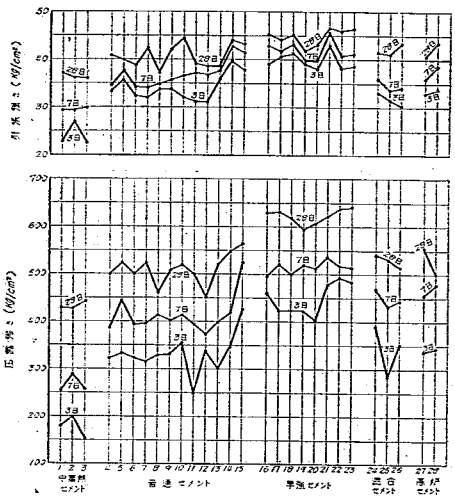


圖-5　各種セメントの硬練 1:3 モルタル平均引張強さ

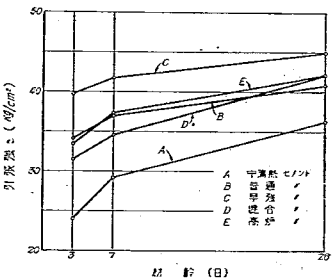
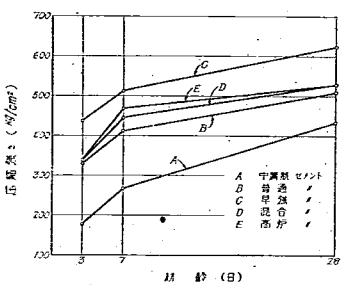


圖-6　各種セメントの硬練 1:3 モルタル平均壓縮強さ



は可成の範圍に及んで居り，例へば表—13 に示す如く，配合 1:2 の軟練モルタルに就て見るに，各材齡に於ける平均壓縮強さに對して，其の最高，最低値は夫〻 3 日のもの 159 %，77 %，7 日のもの 167 %，73 %，28 日のもの 117 %，81 % を示し，高材齡となるに從ひ各試料とも近似するを示して居る．普通セメント中にも軟練モルタル短期強度大にして早強セメントに類するもの數種ありて，最近普通セメント強度の向上傾向を現示するものと見られる．

(C)　早強セメント

早強セメントは前章の化學組成及び主要水硬性化合物の項に於て，其の成分上より豫想したる如く，短期強度は大にして，材齡 3 日に於て普通セメント材齡 7 日に接近せる强度を示して居る．卽ち之を普通セメントの强度と比較するに表—11 に示す如く，早强セメントは 3 日硬練壓縮强さは 135 %，3 日軟練壓縮强さは 1 : 1，1 : 2 に於て夫〻 141 %，155 % を示して居る．强度の增進は早期强度大なる爲に普通セメントに劣り，材齡 28 日に於ける 1 : 2 軟練モルタル平均强度增進指數は，普通セメント 295 % に對し早强セメントは 220 % である (表—10參照)．早强セメントは 8 工場の製品に就て試驗を行つたが，普通セメントの場合と同樣各試料間の强度には可成の相違がある．表—13 に示す如く，配合 1:2 の軟練モルタルに於ては，各材齡に於

表—12　普通セメント 28 日强度を 100 とせる場合の
各種セメントの平均强度比率

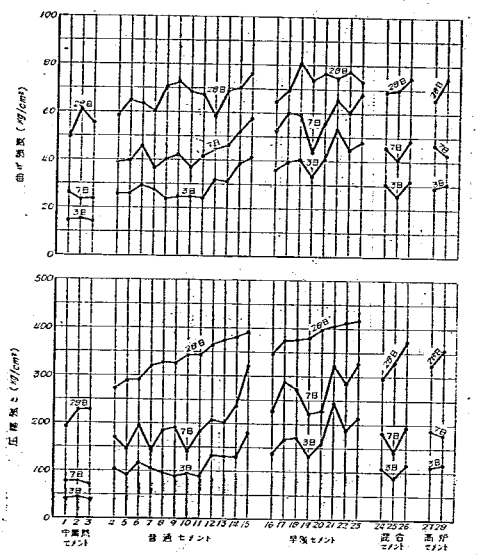
		引張，曲げ强さ			壓縮强さ			
		3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日	91 日
硬練モルタル (1：3)	中庸熱セメント	58.8	72.1	89.0	34.7	52.4	84.9	—
	普通セメント	83.6	90.7	100	64.9	81.0	200	—
	早强セメント	97.5	102	110	87.8	101	122	—
	混合セメント	77.5	84.8	103	66.9	87.6	104	—
	高爐セメント	81.9	91.4	103	66.7	91.6	104	—
軟練モルタル (1：2)	中庸熱セメント	22.2	36.5	82.9	12.6	23.0	64.0	—
	普通セメント	43.4	65.1	100	33.9	57.7	100	—
	早强セメント	62.9	86.8	110	52.7	81.0	116	—
	混合セメント	44.0	67.4	105	31.0	51.5	99.0	—
	高爐セメント	44.6	67.1	105	33.9	54.8	101	—
軟練モルタル (1：1)	中庸熱セメント	29.8	49.2	95.6	17.1	33.3	83.7	—
	普通セメント	53.8	79.8	100	44.6	68.8	100	—
	早强セメント	73.6	98.1	111	62.8	86.3	112	—
	混合セメント	53.3	77.1	88.3	41.8	65.4	90.9	—
	高爐セメント	42.1	70.8	92.5	39.8	62.5	97.7	—
コンクリート (1：2：4)	中庸熱セメント	—	—	—	8.6	17.3	67.4	103
	普通セメント	—	—	—	23.2	47.1	100	113
	早强セメント	—	—	—	40.2	74.6	119	122
	混合セメント	—	—	—	16.6	36.8	83.8	106
	高爐セメント	—	—	—	21.5	44.0	101	116

表—13 普通，早強セメントの最高強度と最低強度
並に平均強度に對する強度比率

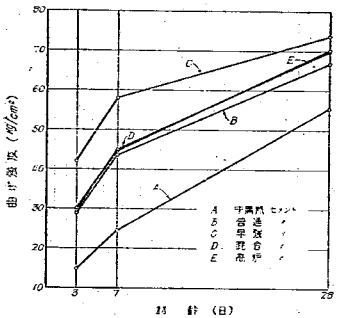
			壓縮強さ kg/cm²				強度比率			
			3日	7日	28日	91日	3日	7日	28日	91日
普通セメント	硬練 1:3モルタル	最高	426	523	564	—	129	127	111	—
		最低	249	373	451	—	75	90	88	—
		平均	331	413	510	—	100	100	100	—
	軟練 1:2モルタル	最高	181	324	393	—	159	167	117	—
		最低	88	141	273	—	77	73	81	—
		平均	114	194	336	—	100	100	100	—
	軟練 1:1モルタル	最高	363	536	614	—	143	137	108	—
		最低	186	318	513	—	63	81	90	—
		平均	254	392	570	—	100	100	100	—
	1:2:4 コンクリート	最高	119	200	350	380	176	146	120	115
		最低	38	99	243	285	56	72	84	86
		平均	67	137	291	330	100	100	100	100
早強セメント	硬練 1:3モルタル	最高	491	537	641	—	110	104	103	—
		最低	402	494	594	—	90	96	95	—
		平均	448	514	623	—	100	100	100	—
	軟練 1:2モルタル	最高	245	328	418	—	138	121	107	—
		最低	131	221	348	—	74	81	89	—
		平均	177	272	389	—	100	100	100	—
	軟練 1:1モルタル	最高	469	573	706	—	131	116	110	—
		最低	274	431	600	—	77	88	94	—
		平均	358	492	639	—	100	100	100	—
	1:2:4 コンクリート	最高	143	236	373	374	122	109	108	106
		最低	90	189	314	324	77	87	91	92
		平均	117	217	345	354	100	100	100	100

			引張及曲げ強さ kg/cm²				強度比率			
			3日	7日	28日	91日	3日	7日	28日	91日
普通セメント	硬練 1:3モルタル	最高	39.7	42.8	44.5	—	116	116	109	—
		最低	31.1	33.9	37.3	—	91	92	91	—
		平均	34.1	37.0	40.8	—	100	100	100	—
	軟練 1:2モルタル	最高	41.3	58.2	76.6	—	142	134	115	—
		最低	23.9	36.7	58.3	—	82	87	87	—
		平均	29.0	43.5	66.8	—	100	100	100	—
	軟練 1:1モルタル	最高	68.3	92.2	108	—	131	119	112	—
		最低	38.1	64.3	88.5	—	73	83	92	—
		平均	52.0	77.2	96.7	—	100	100	100	—
早強セメント	硬練 1:3モルタル	最高	43.0	45.7	46.8	—	108	109	104	—
		最低	38.1	39.7	41.8	—	96	95	93	—
		平均	39.8	41.8	44.9	—	100	100	100	—
	軟練 1:2モルタル	最高	53.2	67.9	80.4	—	127	117	109	—
		最低	33.3	52.5	64.8	—	79	91	88	—
		平均	42.0	58.0	73.7	—	100	100	100	—
	軟練 1:1モルタル	最高	80.7	103	115	—	113	109	107	—
		最低	64.7	85.3	98.3	—	91	90	92	—
		平均	71.2	94.9	107	—	100	100	100	—

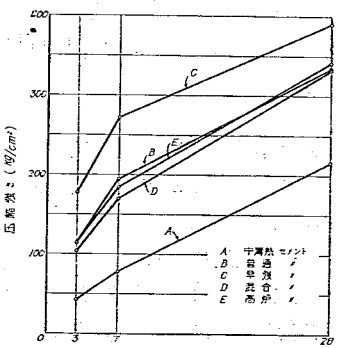
圖－7　各セメントの軟練1:2モルタル曲げ强さ竝に壓縮强さの比較



圖－8　各種セメントの軟練1:2モルタル平均曲げ强さ



圖－9　各種セメントの軟練1:2モルタル平均壓縮强さ

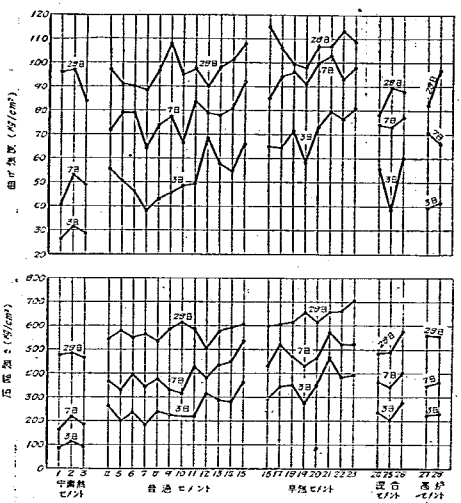


ける壓縮强さの最大値と最小値は平均强度に比し，夫々3日のもの 138％，74％，7日のもの 121％，81％，28日のもの 107％，89％に及んで居る (表—13 參照).

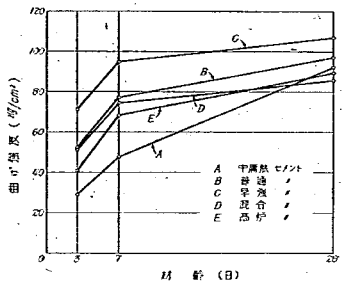
(D)　混合セメント

硬練 1：3 モルタル壓縮强さの平均は，普通セメントの平均値に比較し，各材齢共やゝ大なる强度を示して居る．然るに軟練モルタルに於ては各種セメント中同一水量に對するに甚しく小さき爲，3 日の壓縮强さは普通セメントに比し大差がないが，7 日，28 日の材齢に於ては混合材の影響により，普通セメントに劣る．この點に於ては硬練モルタル壓縮强さと反對の結果を示して居る．IV 章(4) に於て混合セメントのコンクリート壓縮强さが 3 日，7 日，28 日に於て夫々普通セメントの 71％，78％，84％であるに比較し，硬練モルタル强度は反對の傾向を示し，硬練モルタル供試體に於ける水量の不足，敲打等の製作條件が混合セメント壓縮强さに有利に作用せる事が知られる．混合セメントは混合材の種類とその量，クリンカーの性質等によつ

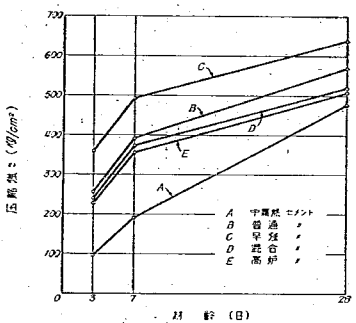
圖－10　各セメントの軟練 1:1 モルタル曲げ强さ竝に壓縮强さの比較



圖－11　各種セメントの軟練 1:1 モルタル平均曲げ强さ



圖－12　各種セメントの軟練 1:1 モルタル平均壓縮强さ



て，その性質を異にするが供試セメントは僅に3種類に過ぎざりし爲本試驗の結果により直ちに混合セメントの全般の性質を推論する事は出來ない．

(E)　高爐セメント

高爐セメントは2工場の製品に就いて試驗を行つたが，この平均結果を普通セメントに比較するに 表—11 に示す如く軟練 1：1 モルタル曲げ强さは3日，7日，28 日 に於て，夫々 78％，89％，92％ 壓縮强さに於ては 89％，91％，98％ を示し普通セメントに僅かに劣るが硬練モルタル，軟練1:2 モルタルに於ては普通セメントに匹敵する各種强度を示して居る．

又强度の增進は普通セメントに比較し僅かに勝れて居る程度である．

VI.　各種セメントのコンクリート强度竝に其の比較

コンクリート壓縮强さ試驗は徑 15 cm，高 30 cm の標準型圓壔供試體を用ひ，配合は容積比 1:2:4 とし，秤量は豫め骨材の單位容量の重量を測定し重量配合 (1：2. 28：4.59) に換算して行つた．此の際セメントのみは 1500 kg/m³ として計算した．軟度はスランプ12

表-14　多摩川産砂，砂利の性質

		砂	砂　利
比　重		2.65	2.60
單位重量 (kg/cm³)	標準	1765	1732
	中裝	1701	1660
	輕裝	1644	1614
空隙率 (%)	標準	33.4	33.4
	中裝	35.8	36.2
	輕裝	38.0	37.9
篩分析 各篩上殘留物の百分率%	20	0	16.82
	15	0	31.48
	10	0	53.38
	7	0	79.74
	5	0	100
	2.5	7.41	100
	1.2	31.20	100
	0.6	55.66	100
	0.3	83.00	100
	0.15	96.25	100
粗粒率		2.74	7.81
淤　泥		1.62	—

cm を標準として各セメントごとにこれを必要なる水量を用ひたるを以て水セメント比は多少の變化があつた．この場合フローは約 210%を示した．

試驗用骨材は多摩川産洗砂，洗砂利にして砂は 5 mm 以上を篩分け除去して使用し，又砂利は粒度を一定にする爲に 10～5 mm，20～10 mm，25～20 mmの 3 部分に豫め大約篩分けたるものを更に次の如く混合して使用した．

10～5 mm，45%，20～10 mm 35%，25～20 mm 20%

砂，砂利の物理的性質は表—14 の如くである．

混合にはアイリッヒ (Eilich) 式混合器 (3 本練) を用ひ，セメント及び砂を送入して 2 分間，これに砂利を加へて更に 2 分間，終りに水を加へて 3 分間合計 7 分間練り，其のスランプ，フローを測定したる後標準方法に從つて製形した．約 24 時間後表面仕上を行ひ更に約 20 時間を經て脫型し水中養生し，3 日，7 日，28 日，91 日の各材齡に於て壓縮試驗を行つた．試料多數なりし爲，設備の關係上供試體の製作は可成の期間に亙つた．從つて試驗結果に關係ある氣溫も 17 °C～25 °C の範圍に及び又水槽溫度は 20 °C～25 °C であつたが，各セメントの同一材齡の供試體製作及び試驗はほゞ同一時期に行つた．

表—15 は各試料のコンクリート壓縮强さを示し之を圖示すれば圖—13 の如くである．又 3 日の平均壓縮强度 100 に對する强度增進指數は表—10 の如くである．

之等の結果を總括すれば次の如くである (表—10，11，12，13，15，圖—13，14 參照)．

(A)　中庸熱セメント

同一軟度 (スランプ 12 cm) に要する水量は，普通セメントと殆んど同樣で約 63%であつた．壓縮强さはモルタル强度の場合と同樣，普通セメントに比較して，3 日，7 日の早期に於ては著しく低く，之を平均値に就て見るに普通セメントに比して表—11 に示す如く 3 日に於て 37%に過ぎないが，7 日に於いては 47%，28 日に於ては 67%，91 日に於ては 91%にして材齡の進むに從ひ普通セメントの强度に近づいて居る．又普通セメン

表—15 本邦最近の各種セメントのコンクリート壓縮強さ

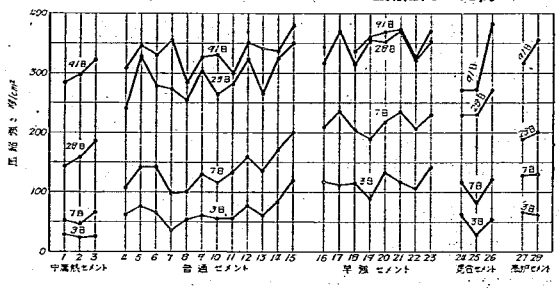
配合 1：2：4 スランプ 12 cm 標準

セメントの種類	試料番號	w/c (%)	軟度 フロー %	軟度 スランプ cm	壓縮強さ kg/cm² 3日	7日	28日	91日
中庸熱ポルトランドセメント	No. 1a	62	220	12.6	25.8	51.0	144	285
	No. 2b	63	206	10.9	24.4	47.8	208	298
	No. 3c	63	208	11.2	25.1	51.7	237	321
普通ポルトランドセメント	No. 4a	63	220	13.1	58.7	108	243	309
	No. 5	63	210	12.3	76.5	143	329	346
	No. 6d	63	215	11.3	67.7	143	279	332
	No. 7	63	208	11.4	37.9	99.0	273	355
	No. 8	63	216	10.6	55.0	101	255	285
	No. 9i	63	217	11.8	61.7	131	303	327
	No. 10b	63	210	12.4	56.0	117	265	331
	No. 11e	63	203	13.6	55.3	133	281	298
	No. 12f	63	213	10.9	76.8	162	325	350
	No. 13g	63	218	12.5	61.0	135	265	342
	No. 14c	63	205	10.2	83.6	171	325	335
	No. 15h	63	224	14.2	119	200	350	380
早強ポルトランドセメント	No. 16e	63	217	13.2	117	209	317	348
	No. 17f	63	211	11.6	113	236	373	—
	No. 18g	65	200	10.7	115	203	314	335
	No. 19i	63	214	11.5	90	189	355	359
	No. 20d	63	206	11.6	134	218	353	370
	No. 21c	65	208	11.9	117	235	372	374
	No. 22b	63	215	10.5	106	206	320	324
	No. 23a	65	207	11.3	143	230	353	371
混合セメント	No. 24i	66	216	13.7	62.7	118	229	272
	No. 25d	71	203	10.8	28.7	82.6	229	274
	No. 26f	66	212	11.5	53.8	121	273	383
高爐セメント	No. 27	63	205	11.2	65.3	127	288	321
	No. 28h	63	208	10.6	60.1	129	300	355
中庸熱ポルトランドセメント	平均値	63	211	11.6	25.1	50.2	196	301
普通 〃	〃	63	213	12.0	67.4	137	291	330
早強 〃	〃	64	210	11.5	117	217	345	354
混合セメント	〃	68	210	12.0	48.4	107	244	309
高爐セメント	〃	63	207	10.9	62.7	128	294	338

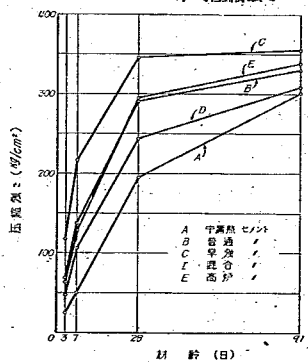
備考 實驗室溫度 17°C～25°C 水槽溫度 20°C～25°C

ト 28 日强度に比して 3 日，7 日に於て夫々 8.6%，17.3 %，にて普通セメントが同様に夫々 23 %，47 % なるに比し强度の發生が著しく遲い(表—12 參照)．從つて强度の增進は著しく大であつて，28 日に於ける强度增進指數は普通セメントの 432 % に對して，中庸熱セメントは 781 % を示して居る (表—10 參照)．

圖-13　各セメントの 1:2:4 コンクリート壓縮强さの比較



圖－14　各種セメントの 1:2:4 コンクリート平均壓縮强さ



(B)　普通セメント

各試料何れも，同一軟度 (スランプ 12 cm) に要する水セメント比は何れも 63% であつた．試料 15 の平均壓縮强さは，材齢 3 日，7 日，28 日，91 日に於て夫々 67.4 kg/cm²，137 kg/cm²，291 kg/cm²，330 kg/cm² であつて，3 日の强度に對する强度增進指數は 7 日，28 日，91 日に於て夫々 203%，432 %，490 % を示して居る (表—10，圖—14 參照)．尙材齢 28 日までの强度は早强セメントに劣るが，材齢 91 日に於ては，早强セメント平均强度の 93 % を示し甚しき遜色が無い．普通セメントの各試料の强度の相違は可成の範圍に及んで居る事は，曩にモルタル强度に就て指摘したが，コンクリート强度に於ても，其の各材齢に於ける最大値及び最小値の間には表—13 に示す如く，平均壓縮强さに對してその最高，最低値は，夫々 3 日のもの 176%，56%，7 日のもの 146%，72%，28 日のもの 120%，84 %，91 日のもの 115 %，86 % を示し高材齢となるに從ひ各試料共近似するを示して居る．

(C)　早强セメント

同一軟度 (スランプ 12 cm) に要する水量は No. 18，No. 21，No. 23 の各試料に於ては普通セメントより 2 % 多いが，其の他の試料は普通セメントと同様 63 % であつた．平均壓縮强さは材齢 3 日に於て 117 kg/cm² にして普通セメント 7 日の平均强度の 85% に達し，試料 No. 23 の如きは之を超過して居る．又普通セメント 28 日の平均强度に比

するも，7 日に於てその 75％ の強度を示し (表—12 參照)．他種セメントに比較し著しく強度の發生が早い．各材齡に於ける平均強度を，普通セメントに比較すれば表—11 に示す如く 3 日に於て 174％，7 日に於て 158％を示して居るが，強度の增進は普通セメントに劣り，28 日に於ける平均強度增進指數は，普通セメントの 432％に對して早强セメントは 295％ である (表—10 參照)．

早强セメントは 8 個の試料に就て試驗を行つたが，普通セメント同樣各試料の壓縮强さ間には可成の相違がある (表—13 參照)．

(D) 混合セメント

之は混合材を含む爲に同一軟度 (スランプ 12 cm) に要する水量は水セメント比平均 68％を示し，普通セメントに比較して約 5％ 多い．從つて同一軟度のコンクリートに於ては，水セメント比の大なる事混和材の影響等により，强度の發生遲く，普通セメント平均强度と比較して表—11 に示す如く，3 日，7 日に於て夫〻 72％，78％ である．而して材齡の進むに從つて混和材の物理的竝に化學的作用により，兩者の强度は徐〻に近似し，普通セメントに比し 28 日に於ては 84％，91 日に於ては 93％ に達し，長期强度は著しき遜色が無い．從つて强度の增進は當然普通セメントより大である (表—10 參照)．

かく長期强度が普通セメントに著しき遜色無き事と化學的抵抗性の大なる事と相俟つて，混合セメントは益〻發達し注目せらるゝに至つたが，混和材の種類，混合量，燒塊等の異る場合には其の性質も當然異るべく，卽ち一樣に混合セメントと稱せらるゝものも中にも，其の製造工場を異にする製品の性質は相當の相違を示すものと考へられる．

(E) 高爐セメント

同一軟度に (スランプ 12 cm) に要する水量は普通セメントと大差なく，水セメント比 63％ であつた．平均壓縮强さを普通セメントに比して，表—11 に示す如く，3 日，7 日に於ては夫〻其の 93, 93.4％ を示し僅に劣るも 28 日，91 日に於ては普通セメントの平均を凌駕する强度を示して居る．從つて强度增進は普通セメントにやゝ勝り，表—10 に示す如く 28 日に於ける平均强度增進指數は，普通セメント 432％ に對して 469％ を示して居る．

VII. 要　　約

中庸熱セメント 3，普通セメント 15，早强セメント 8，混合セメント 3，高爐セメント 2，總數 28 個のセメントにつき試驗を行つた結果を要約すれば次の如くである (表—16參照)．

(1) 中庸熱セメントはセメントの主要成分，卽ち珪酸，礬土，酸化鐵，石灰の間に成生する主要水硬性化合物の生成量を適當に調節し，以て硬化過程に於ける水和發熱量を或る

表—16　本邦各種セメントの物理的竝に化學的性質（次頁へ續く）

種類 / 項目	中庸熱セメント (3種平均)	普通セメント (12種平均)	早强セメント (8種平均)	混合セメント (3種平均)	高爐セメント (2種平均)
比重	3.24	3.16	3.14	2.95	3.05
粉末ノ程度	%	%	%	%	%
4900孔殘査	4.33	2.77	1.80	1.19	1.71
凝結	時分	時分	時分	時分	時分
標準調度水量 (%)	26.2	26.9	27.8	33.0	29.0
始發	3—45	2—38	1—56	2—13	2—47
終結	5—20	4—19	3—36	4—45	4—30
化學成分	%	%	%	%	%
灼熱減量	0.57	0.41	0.91	3.09	0.59
不溶解殘査	0.24	0.22	0.31	17.46	0.55
珪酸(SiO_2)	24.84	22.20	21.66	36.24	25.47
礬土(Al_2O_3)	4.23	5.55	5.12	5.87	10.34
酸化鐵(Fe_2O_3)	4.31	3.35	3.04	2.79	2.40
石灰(CaO)	63.01	64.95	65.91	49.34	56.02
苦土(MgO)	1.48	1.39	1.33	1.28	2.88
無水硫酸(SO_3)	1.23	1.24	1.46	1.23	1.44
水硬率	1.89	2.08	2.19	—	—
珪酸率	2.89	2.49	2.54	—	—
活動係數	5.97	4.00	4.13	—	—
鐵率	0.72	1.67	1.74	—	—
クリンカー化合物	%	%	%	%	%
珪酸三石灰($3CaO\cdot SiO_2$)	29.9	50.1	60.5	—	—
珪酸二石灰($2CaO\cdot SiO_2$)	48.8	25.8	16.4	—	—
礬土酸三石灰($3CaO\cdot Al_2O_3$)	3.9	9.0	8.8	—	—
セリット部分($4CaO\cdot Al_2O_3\cdot Fe_2O_3$)	13.1	10.2	9.1	—	—
硫酸石灰($CaSO_4$)	2.1	2.1	2.5	—	—

表—16 本邦各種セメントの物理的竝に化學的性質（前頁より續く）

項目＼種類	中庸熱セメント (3種平均)	普通セメント (12種平均)	早強セメント (8種平均)	混合セメント (3種平均)	高爐セメント (2種平均)
1：3 硬練モルタル强度	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
引張强さ 3日	24.0	34.1	39.8	31.6	33.4
引張强さ 7日	29.0	37.0	41.8	34.6	37.3
引張强さ 28日	36.3	40.8	44.9	42.0	42.1
引張强さ 水量(%)	26.7	27.0	28.0	30.0	28.0
壓縮强さ 3日	177	331	448	34.1	340
壓縮强さ 7日	267	413	514	447	467
壓縮强さ 28日	433	510	623	529	529
壓縮强さ 水量(%)	27.6	27.9	28.8	30.8	28.8
1：2 軟練モルタル强度	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
曲げ强さ 3日	14.8	29.0	42.0	29.4	29.8
曲げ强さ 7日	24.4	43.5	58.0	45.0	44.8
曲げ强さ 28日	55.4	66.8	73.7	69.9	70.0
曲げ强さ 水量(%)	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
壓縮强さ 3日	42.4	114	177	104	114
壓縮强さ 7日	77.3	194	272	173	184
壓縮强さ 28日	215	336	389	333	341
壓縮强さ 水量(%)	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
フロー (%)	204	208	215	184	207
1：1 軟練モルタル强度	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
曲げ强さ 3日	28.8	52.0	71.2	51.5	40.7
曲げ强さ 7日	47.6	77.2	94.9	74.6	68.5
曲げ强さ 28日	92.4	96.7	107	85.4	89.4
曲げ强さ 水量(%)	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
壓縮强さ 3日	97.7	254	358	238	227
壓縮强さ 7日	190	392	492	373	356
壓縮强さ 28日	477	570	639	518	557
壓縮强さ 水量(%)	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
フロー (%)	220	221	226	168	198
1：2：4 コンクリート强さ	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
壓縮强さ 3日	25.1	67.4	117	48.4	62.7
壓縮强さ 7日	50.2	137	217	107	128
壓縮强さ 28日	196	291	345	244	294
壓縮强さ 91日	301	330	354	309	338
壓縮强さ 水量(%)	63.0	63.0	64.0	68.0	63.0
フロー (%)	211	213	210	210	207
スランプ (cm)	11.6	12.0	11.5	12.0	10.9

限度に制限した特徴を有し，ポルトランドセメント系に屬するセメントである．其の平均組成を普通セメントに比するに，珪酸約 2.6％ 多く，酸化鐵約1％多く，他方，礬土約 0.9％，石灰約2％ 少ない．從つて一方水硬性化合物中特に發熱著しく大，且急硬性なる礬土酸三石灰は約 5％少く，珪酸三石灰も約20％ 少なく，他方發熱少なく，緩硬性の珪酸二石灰セリット部分が夫々約 20％，3％ 多きを以て，其の結果比較的に發熱量も少く，硬化も緩慢である特性を有するものである．又此のセメントの物理性は上記の如き成分を有する當然の結果として比重は平均 3,24 にして他種セメントより大である．又早期强度は普通セメントに比し劣り，コンクリート壓縮强さについて見るに 3 日 37％，7 日47％ を示して居るが，然し强度の增進は大にして 13 週に於ては 91％ に達し，長期强度に就いては普通セメントに比し餘り遜色を認め得ない．

(2) 普通セメントは各試料共日本標準規格に合格し，强度の增進も順調であり，優秀な成績を示し，中には化學成分，物理的性質及諸强度等が早强セメントに類するもの數種見られる．此の事實は最近本邦セメントが短期强度に重點を置き高石灰型セメントとして製造されて居るものゝある事を表示するものである．

普通セメント中には其の諸性質竝に强度に於て相當の差違ある事を示して居るが，之は各工場に於て使用する粘土質原料及設備の相違に因るものと考へられるが，一方セメントの夫々の特質を示す原因である．

(3) 早强セメントは短期に高强度を發揮せしむる爲に，各製造工程に嚴密なる注意を拂ひ，主として珪酸三石灰の含有量を增加せしめ且つ粉末を微細ならしめたものである．

其の平均組成を普通セメントに比較するに珪酸やゝ少なく，石灰約1％多く，從つて水硬率高く高石灰型セメントである．更に水硬性化合物を見るに珪酸三石灰約 10％ 多く，反對に珪酸二石灰約10％少なく，礬土酸三石灰セリット部分は大差がない．此の結果當然短期强度大にして，3 日，7 日のコンクリート强度を普通セメントに比すれば夫々 174％，158％ を示し早期强度の目的に適ふものなる事が窺れるが，91 日に於ては僅に 107％ に止まり從つて强度の增進は差程著しくない．

(4) 混合セメントは，燒塊に天然産又は人口的に製せる珪酸質物を混合微粉碎せるものにして，其の性質は混和材の種類，混合量及燒塊の性質等の相互の相違により其の性質も異るもので，要するに一樣に混合セメントと稱しても，製造工場を異にすれば，其の性質も相當の相違を示すものである．從つて本試驗の結果より直ちに混合セメントの全般を推論する事は當を得た事ではないが，普通セメントに比較するに，珪酸約 14％ 多く，石灰約 15％ 少なく，比重 2.95 で少なく，凝結時間やゝ遲く，4900 孔殘査 1.19％ にして他種セメントに比し著しく微粉細されて居る事實は認められる．又コンクリート强度に就て

見るに普通セメントに比し，同一軟度を得るに要する水量は多く，又混和材の影響等により，その種混合セメントの共通の缺點として短期强度は低く，普通セメントを用ひたコンクリート强度と同等となるには溫度の影響により一定せぬが，本試驗の結果によれば3月以上の時日を要する事になる．

猶，珪酸，シリカ，高爐セメントの如き混合セメントの本來の特質を明らかにするには耐水，耐鹹性試驗，發熱試驗等の結果より其の一般性狀を檢討すべきであるが，之に關しては目下試驗中に付近くその報告をする豫定である．

(5) 高爐セメントは何れも日本標準規格に合格する化學組成上より見るに普通セメントに比較して，珪酸約3.5％ 多く，石灰約9％ 少なく，混和材たる鑛滓の成分上礬土は約5％ 多くなつて居る．又比重は 3.05 にして低く，凝結時間は僅かに遲く，4900 孔殘査 1.71％ を示し，普通セメントより微粉碎されて居る事實が認められる．

コンクリート强度に於て見るに，3 日，7 日は普通セメントに比較して 93％を示し僅かに劣るも，强度の增進やゝ大にして，28 日以後に於ては普通セメントと同程度の成績を來し，本試驗の結果に依れば一般に高爐セメントは普通セメントに比肩せる成績を示して居る．

自動車の速度に及ぼす車線幅の影響に關する實驗、竝に之に基く鋪裝幅員の決定に就いて

內務技師　金　子　　柾

目　次

I. 總　說……（1）
II. 實驗の方法……（2）
III. 實驗の結果……（4）
［1］ 貨物自動車の場合……（4）
［2］ 乘用自動車の場合……（5）
IV. 速度と車線幅……（7）
［1］ b と V との關係……（8）
［2］ b_0 と V との關係……（8）
［3］ 速度と車線幅……（9）
V. 結　言……（11）

I. 總　說

鋪裝幅員の決定に當つては，自動車に對する1車線の幅を，道路の重要性に應じて 2.75 m～3 m とし，2車線の場合には鋪裝幅員を 5.5 m～6 m とするが，4車線以上の場合には1車線幅を 2.75 m に採り，4車線に對しては 11 m と定めるのが普通である．

この規定は英，米，獨，佛をはじめ各國共に同樣であるが，近年，自動車の速度の昂上に伴つて車線幅は增大の傾向を示し，獨逸國營自動車道に於ては速度を 120 km/hr～180 km/hr とし，往復2交通線を中央綠帶によつて全く分離せしめ，各交通線には各 2 車線として 7.5 m の幅員を與へてゐる．

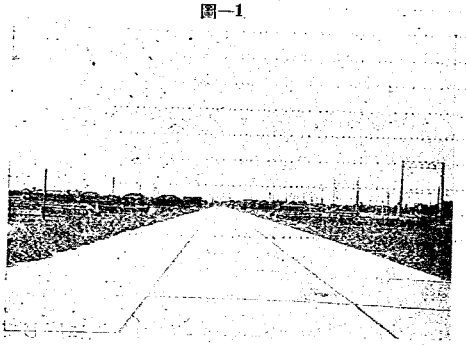
道路はその延長が長いから，僅かな幅の差も全體としては大きな面積となり，道路の築造費に影響するところが多く，又特に我國の如く國土の面積の小さい國に於ては有効で且無駄のない幅を與へることが極めて緊要である．

然るに路面幅員を定める基礎たるべき車線幅に就いては，未だ充分な試驗結果に基く研究が無いので，玆に鋪裝道路に就いて乘用車及び貨物自動車を用ひて之に關する試驗を行つた．

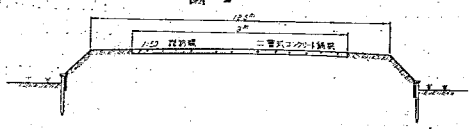
車線幅は交通車輛の幅と共に，その速度によつても支配されるから，交通車輛の幅は一定であつてもその速度が變れば車線幅は變化しなければならない．一般の道路に於ては混

合交通が行はれてゐるために，自動車はその全能力を發揮することが出來ず，速度を制限されてゐるが，自動車專用道路に於ては高速度が得られるから，その速度に對する車線幅が考へられねばならない．而して一般の道路に於ても，地方の交通量の少い所では安全に速度を增すことが出來るから，鋪裝幅を定める場合には自動車の速度と車線幅との關係を知る必要が生じて來る．この關係に就いては1，2の公式があるが，現在の我國の交通車輛に應用して適切であるか否かの疑問があり，又近時行はれる自動車專用の跨線橋の幅に對する解決を得ることが出來ないので，この問題に就いて實驗を試みることゝし，昭和12年10月7日，船橋市五日市花輪地先の新國道で之を行つたのである．

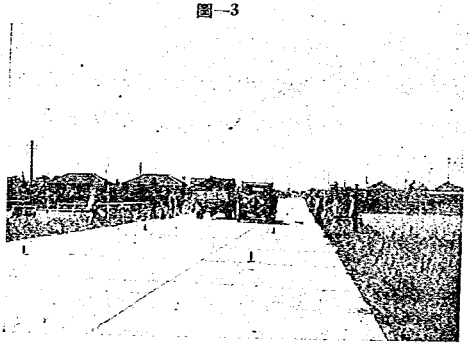
圖—1



圖—2



圖—3



II. 實驗の方法

實驗は圖—1に示されるコンクリート鋪裝道路で行つた．圖—2はその横斷面圖である．この道路は幅9m のコンクリート鋪裝を有し，未開通で交通は全然無く，實驗に際して他の交通による障碍を避けることが出來た．

實驗は2車線の場合に就いて行つたもので，其方法は圖—3及び圖—4 に示す樣な長短2種の境界標柱を 12m 間隔に並べて境界線を造り，幅9m の鋪裝の中央に4m，4.5m，5m，5.5m，6m，7m の各種の車線幅を區劃し，乘用自動車，貨物自動車各2臺づつを用ひ，自動車を安全感を損ふことのない範圍で出來るだけ高速度で走らせ，その行き交ふ際の速度を測定し，更に圖—5の樣に鋪裝面に濕砂を置き，通過の際に車輪の跡を記錄させて，境界線から外輪までの距離 δ を測定した．

長い標柱を用ひる場合には，橋梁の高欄の狀態に近からしめる爲に標柱の間を繩で連絡した．

自動車は始發から最高速度に達する迄に相當の距離を必要とするが，この距離 l は初速 を v_0，終速を v，加速度を α とすれば次の式で表はされる．

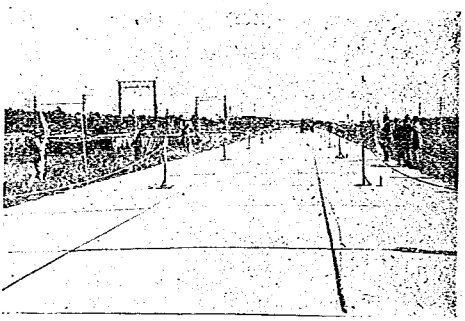
$$l=\frac{v^2-v_0^2}{2\alpha}$$

實驗に於ては初速 v_0 は零であるから，

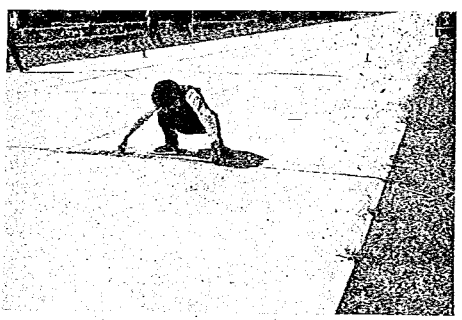
$$l=\frac{v^2}{2\alpha}$$

而して，運轉に無理のない加速度は 1 m/sec² とみてよいから，實驗ではこの値を用ひ，最高速度 v に對しては，車線幅の狹い場合には之を 40 km/hr，幅の廣い場合には 70 km/hr と假定し，l に對して 60 m，190 m の値を得たが，實驗に於て 2 臺の自動車の始發點間の間隔は $L_0=2l$ で，計算によつて得た値に多少の餘裕を與へて，L_0 を 140 m 及び 440 m とした．

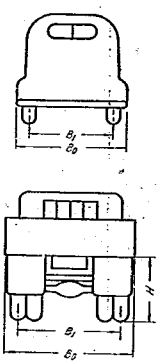
圖—4



圖—5



圖—6



自動車の速度の測定に對しては，測定の誤差を比較的少くするために，測定時間を 2 秒前後に制限し，之に對して速度の測定のための標點間の距離を定め，車線幅の狹い場合には之を 20 m，廣い場合には 40 m と定めた．

實驗に用ひた自動車は，乘用車はテラプレーン 1936 年型，シボレー 1932 年型の 2 臺，貨物自動車は共にシボレーで，1 臺は 1935 年型，他の 1 臺は 1934 年型であつた．

今，是等の自動車の主要寸法を掲ぐれば下の如くである．

自動車の寸法 (m)

車の別	B_1	B_0	H
乘用テラプレーン(1936)	1.47	1.75	—

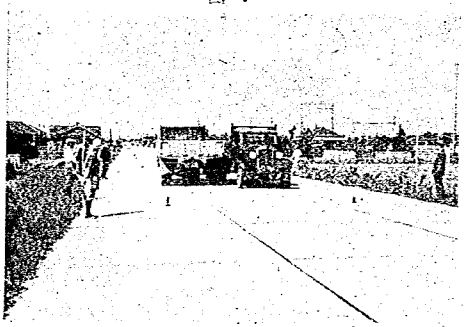
乘用シボレー(1932)	1.47	1.78	—
貨物シボレー(1935)	1.80	2.10	1.07
同　上　(1934)	1.80	2.05	1.08

自動車の運轉に影響するものは運轉手の年齡，經驗の多少等の要素であるが，實驗に當つた運轉手は次の如くである．

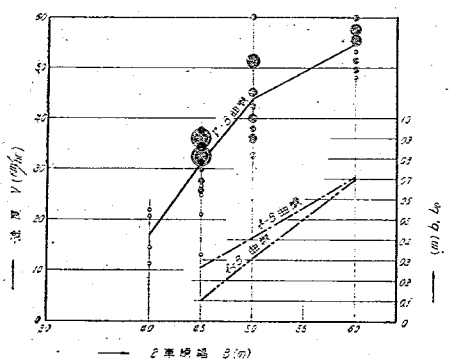
運轉手の年齡，經驗

車の別	年齡(年)	運轉免狀下附以來の年月
乘用テラプレーン(1936)	29	5—9
同　シボレー(1932)	41	16—3
貨物シボレー(1935)	38	8—9
同　上　(1934)	35	7—8

圖—7



圖—8



III. 實驗の結果

[1] 貨物自動車の場合

(a) 短標柱の場合

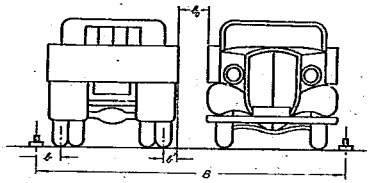
圖—7は貨物自動車，短標柱の場合の實驗の場面で，實驗によつて得た幅と速度との關係を圖示すれば圖—8となる．圖中○印は觀測値を示すもので，2車線幅 B が4 m の際には1方の自動車が速度を高めて進行して來ると，他方は危險を感じて速度を低下するため，觀測値に大差を生じ，且，幅が狹いために危險を伴ふので，4 m の場合の觀測は2回で止めた．4.5 m以上の幅になると自動車の速度は變化が少くなり，觀測値は互に接近して來る．圖の V—B 曲線は觀測値の平均値によつて描いたものである．

b—B 曲線は，幅 B の增すと共

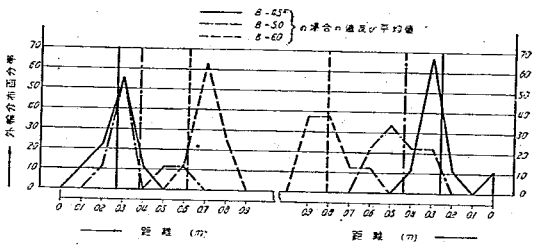
に外輪が境界線から離れてゆくことを示し，之と共に自動車の行き交ふ際の車臺の間隔 b_0 も亦同樣に增すことは b_0—B 曲線によつて示される．

圖—10 は此際の自動車の外輪の分布を示したもので，車線幅が增し，速度が增すと共に自動車は中央に近づいてゆくことを示してゐる．

圖—9



圖—10 ［貨］［短］

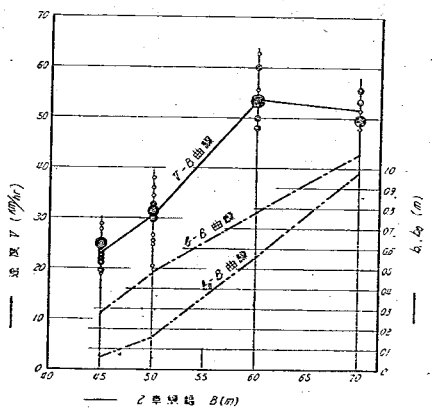


（b） 長標柱の場合

貨物自動車は車臺幅が 2m を超え，長標柱の場合には車臺が標柱に觸れて行き交ふことが出來ないので，實驗の最小幅を 4.5 m とした．

實驗の結果は 圖—11 に示す通りで前の場合と同じく幅の增すに從つて速度も增してゆくが，幅 6 m を限度として，幅 7 m では却つて速度の減少を示してゐる．之は乘用自動車の場合にも現はれた現象で，幅 7 m の場合には幅に餘裕があるために，運轉手が緊張感を缺くに至り，速度の減少を來したものと思はれる．而して，此實驗に於ける幅 6 m の場合の最高速度は 62.7 km/hr で，平均値は 53.6 km/hr となつてゐる．

圖—11 ［貨］［長］



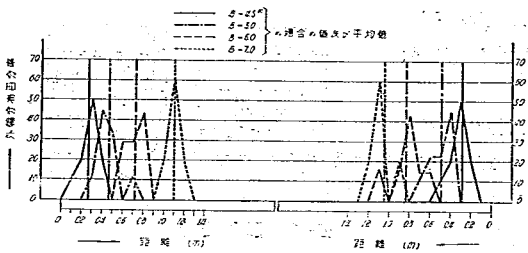
圖—12 は此場合の外輪の分布を示す．

［2］ 乘用自動車の場合

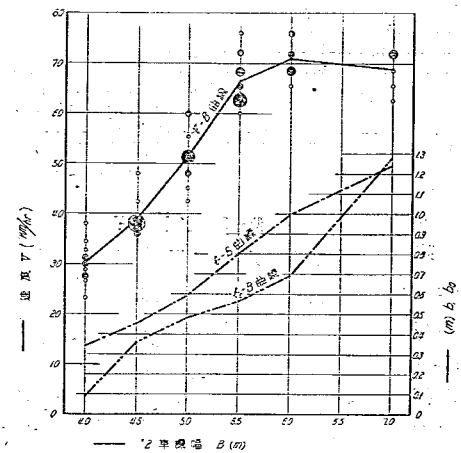
（a） 短標柱の場合

乘用自動車は貨物自動車に比べて幅が狹いために，2 車線幅が 4 m の場合に於ても行き

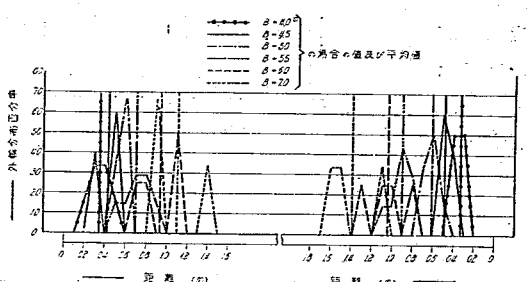
圖—12 ［貨］［短］



圖—13 ［乘］［短］



圖—14 ［乘］［長］



交ふ際に危險を感ずること少く，從つて速度も比較的大きくなり，最小 23.2 km/hr，最大 38.0 km/hr を示した．

平均速度に於ては幅 6 m の場合が最大を示し，幅 7m の場合には却つて減少を示してゐる．

而して此場合の最大速度は 76.0 km/hr を示す．

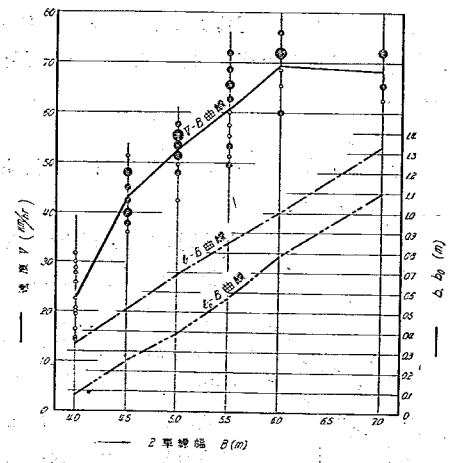
圖—14 は外輪の分布を示す．

(b)　長標柱の場合

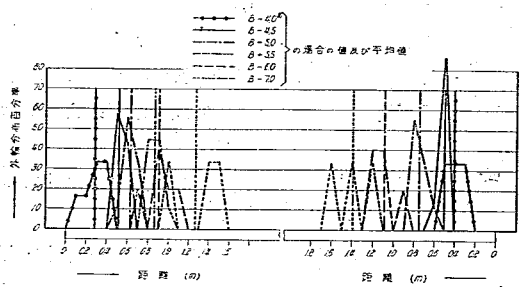
幅の狹い場合には，短標柱の場合に比べて速度が低下してゐる．之は貨物自動車の場合も同樣であつて，自動車が長標柱に近付く危險を避けることを示してゐる．幅が大きくなればこの危險は感じなくなり，長標柱の影響が消える．

圖—16は此場合に於ける外輪の分布圖である．

圖—15　[乘]　[長]



圖—16　[乘]　[長]

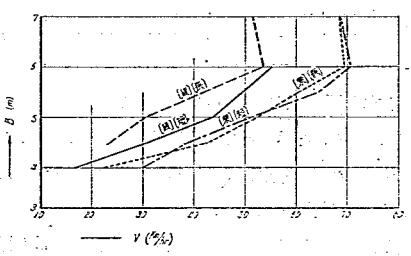


IV. 速度と車線幅

今，實驗の結果から自動車の速度と車線幅との關係を求めてみると圖—17の如き曲線が得られる．

之によつて，速度と幅との關係の大體の傾向を知ることは出來るが，之を鋪裝道路の設計に際して其儘應用することは無理で，之を設計に用ひるには實驗の結果を整理して，速度と車線幅

圖—17　*V—B* 曲線



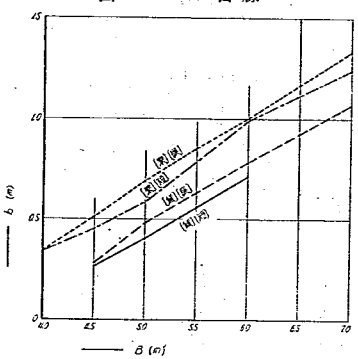
との關係を公式化する必要がある．

今，自動車の車臺の幅を B_3，外側車輪と鋪裝緣端との距離を b，外側車輪と車臺緣端との水平距離を b'，自動車の行き交ふ際の車臺の間隔を b_0 とすれば，鋪裝幅 B は2車線の場合に次の式で表はされる．

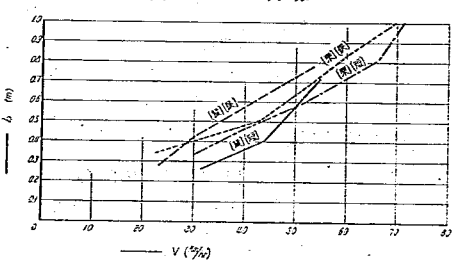
$$B=2(B_3+b)+b_0-2b'$$

故に b，b_0 と自動車の速度との關係を求めることが出來れば，鋪裝幅は自動車の車臺幅と速度とによつて示されることゝなる．

圖—18　b—V 曲線



圖—19　b—V 曲線



[1]　b と V との關係

圖—18 は實驗の結果求められた b と B との關係であるが，實驗によつて得られた B と V との關係によつて b—V 曲線を描けば圖—19 となる．

圖によつて，b と V との關係は原點を通る直線と見て大した誤はないと考へられるから，

$$b=k_1V$$

とおき，實驗によつて得られた數値を用ひて k_1 の値を求めた結果次の式を得た．

卽ち，

貨物　短標柱の場合

$$b=0.01025V$$

同　　長標柱の場合

$$b=0.01411V$$

乘用　短標柱の場合

$$b=0.01208V$$

同　　長標柱の場合

$$b=0.01369V$$

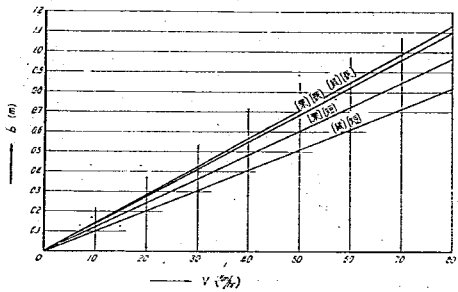
上式を圖で示せば 圖—20 となる．

[2]　b_0 と V との關係

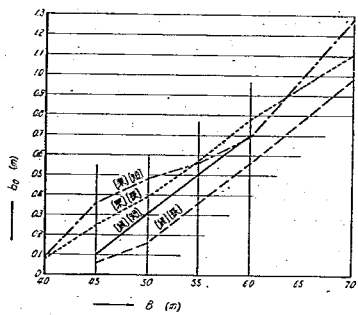
b_0 と B との關係は 圖—21 に示されるが，實驗によつて得た B と V との關係から b_0 と V との關係を求めるときは 圖—22 となる．

圖によつて，b_0 と V との關係は原點を通る拋物線によつて表はすのが最も適當と認め

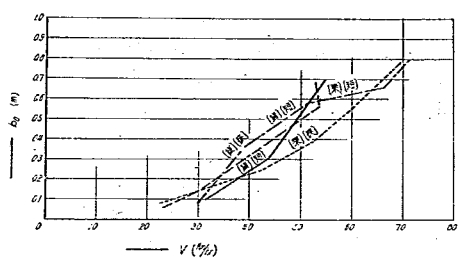
圖—20 $b-V$ 曲 線



圖—21 b_0-B 曲 線



圖—22 b_0-V 曲 線



め，V に對する B を求めるときは 圖—24 となる．

乘用車の場合　$B_0=1.80$ m　　$b'=0.15$ m

貨物車の場合　$B_0=2.10$ m　　$b'=0.15$ m

られるから，

$$b_0=k_2V^2$$

とおき，前同樣に k_2 を求めた結果次の式を得た．

貨物　短標柱の場合

$$b_0=0.000165V^2$$

同　　長標柱の場合

$$b_0=0.000160V^2$$

乘用　短標柱の場合

$$b_0=0.000198V^2$$

同　　長標柱の場合

$$b_0=0.000150V^2$$

上式を圖で表はせば 圖—23 となる．

［3］ 速度と車線幅

2 車線の場合，鋪裝幅は，

$$B=2(B_0+b)+b_0-2b'$$

となるが，上記の通り，

$$b=k_1V$$

$$b_0=k_2V^2$$

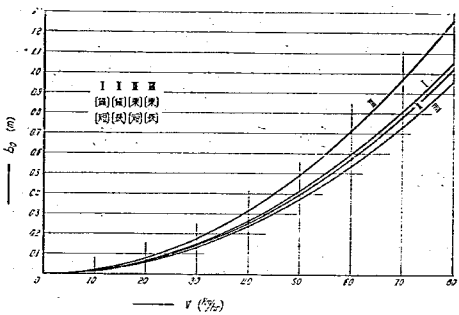
と言ふ關係が求められたから，之を B 式に代入すれば，

$$B=2B_0+2k_1V+k_2V^2-2b'$$

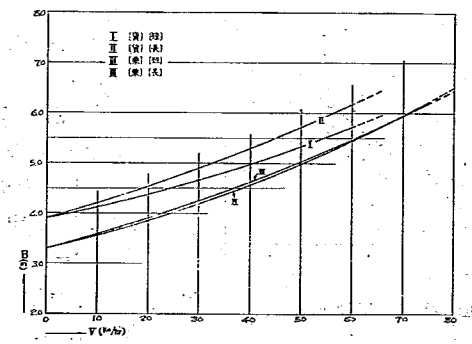
となり，B_0, b' は自動車の形から定まる故，B は V によつて求めることが出來る．

今，上に求めた k_1, k_2 の値を用ひ，B_0, b' に對して次の値を定

圖—23 b_0—V 曲線



圖—24 V—B 曲線



今，實驗の結果から，各種の幅員の場合に於ける自動車の速度を示せば次の如くである．

鋪裝幅員	乘用車		貨物車	
	平均速度(km/hr)	最高速度(km/hr)	平均速度(km/hr)	最高速度(km/hr)
4	30.1	38.0	17.1	21.8
4.5	39.0	48.0	31.5	37.9
5	51.3	60.0	43.9	60.0
5.5	66.4	76.0	—	—
6	71.0	76.0	54.7	60.0
7	68.9	72.0	—	—

之に對して，實驗の結果から導き出された式によつて計算した値は，次表の通りである．

鋪裝幅員(m)	乘用自動車の速度(km/hr)	貨物自動車の速度(km/hr)
4.5	38	25
5.5	61	55
6	71	66

然るに現在の道路構造令細則案に於て安全視距其他を定めるに當つて考へられた自動車の速度は，

	平坦部	丘陵部	山岳部
國道	60以上	60以上	40以上
指定府縣道	60 〃	55 〃	35 〃
其他の府縣道	60 〃	50 〃	30 〃

と言はれるが，平坦部に於ける速度 60 km/hr 以上を得るには幅員は 6 m を必要とすることゝなり，幅員 5.5 m の場合は貨物自動車にあつては速度が不足するが，乘用自動車に對しては漸く所要の速度を出し得ることゝなる．從つて，幅員 5.5 m の鋪裝は幹線道路に於ては改良の過程として交通量の比較的少い場合にのみ許さるべきである．

而して，幅員 7 m に於ては，實驗の結果から見るときは幅員 6 m の場合に比べて却つて速度は低下を示して居り，從つて，現在の我國の中級以下の自動車に對しては不經濟な幅員であると言ふことが出來る．

V. 結　　言

實驗の結果から車線幅と速度との關係を求めたのであるが，實驗の回數が少く，用ひた自動車も限られて居り，且，運轉手は實驗を認識しつゝ運轉をしたのであるから，其結果を其儘實用に當てることは勿論不當と言はねばならない．從つて，圖—24 の如きも單に 1 實驗の記錄に止まるもので，之を一般化するには將來多數の實驗を經て，修正がなされねばならない．

圖—24 は，圖—17 と略〻相似しなければならないのであるが，兩者を比較するときは，乘用自動車の場合は酷似したものとなつて居るが，貨物自動車の場合，圖—24 で高速度に於ても尙長標柱の影響が取れて居ないのは，實驗の資料の不足から來たものと言はねばならない．然しながら，之によつて車線幅と速度との關係に就いて大體の傾向を見ることが出來る．

今，實驗によつて得た所を要約すれば，

（1） 2 臺の自動車が行き交ふ場合には，鋪裝の幅員と自動車の速度との間に比較的規則正しい關係が存在し，$B=2B_0+2k_1V+k_2V^2-2b'$ なる式で之を表はすことが出來る．

（2） 圖—11，13，15 によつて明かな通り，乘用車も貨物車も共に幅 6 m を限度として，幅が增しても速度は增してゐない．この限界速度は乘用自動車の場合平均 71 km/hr であつたが，我國の地勢上，現在の計畫に於て 70 km/hr 以上の速度を自動車に要求することは無理と言はねばならないから，特別の場合を除いては 2 車線幅に對して 6m の幅を

採用すれば充分であつて，7 m の幅は不經濟といふことになる．

（3） 短標柱と長標柱と兩者の場合を比較してみると，圖—17 に見る通り，貨物自動車の場合にはその差が著しく現はれてゐるが，乘用自動車の場合にはその影響が比較的少いことが分る．而して貨物自動車の場合に於ても幅員が 6 m に達すればその影響は極めて少く，跨線橋に於て幅員 6 m をとれば高欄の影響は比較的少いものと考へられる．

河川工事用藁繩の强度竝に耐久性に關する試驗*

內務技師　青　木　楠　男
內務技手　鈴　木　倫　虎

目　次

I. 緒　言……(1)
II. 試料及び材質試驗……(2)
III. 引張試驗成績……(4)
[1] 含水量と引張强さ……(5)
[2] 耐久試驗……(13)
IV. 要　約……(15)
V. 附　記……(16)

I. 緒　言

本報告は，內務省東京土木出張所よりの依頼をうけて行つた表記工事用藁繩の强度及び耐久性に關する試驗の成績を纏めたものである.

從來藁繩は土木工事用材料として古くより盛んに使用せられた材料であるが，これが材質及び生產方法に關する研究は，他の一般土木材料に比しあまりにも閑却され，殊にその强度及び耐久性に就ては，數値的に分明するところなく，纔に經驗によりてその强度を推斷し，漫然これを使用するの狀態であつた.

按ずるにこれは本材料が製品として古い歷史を持ちながら，あまりにもありふれたる材料であるがため特に世人の學術的興味を引くに至らず新らしい研究の對象とならなかつたものか，又はその利用範圍に於て，その材質の均一性に於て數段の優位にあり，且つその製造又は販賣過程に於て更に組織的にして統制ある鋼索條製品類の市場進出に壓倒されて，この種研究が等閑視されるに至つたものか，その何んたるを問はず，元來が農を本とする我が國，然も米作を主體とせる我が農業に於ては稻藁の生產は豐富であり，これを原料とする藁製品の總生產額は，昭和9年度の統計に於て3千3百餘萬圓に達し，この中藁繩の生產額は1千餘萬圓の巨額を占めるといふ事實を考ふる時，本材料に對する研究が前述の如き狀態にあることは誠に遺憾に堪えないところである.

而して藁繩の價値を左右する條件としては他の材料と同樣に (1)價格の低廉なること，(2)入手の容易なること，(3)强度竝に耐久性に富むべきこと等が擧げられるがこの中 (1) と

* この試驗には所員佐藤正雄君の手を煩したところ頗る大である.

(2) に關しては問題なく, (3) に關しては，これに使用する原料藁の良否卽ち稻の品種により，或はその生育狀態の如何，又は刈取後の處理の如何等によりて相違し，又製作方法の適否としては，打藁の程度如何により，又は上撚，下撚の關係，製繩機の良否，製繩技倆の巧拙，使用箇所の環境條件等，各種の因子の影響が考へられ，複雜多岐に亙る問題である.

曩に我が農林省經濟更生部に於ては，その指導的立場よりこれ等の點に着眼せられ，昭和 11 年 3 月〝藁製品製作に關する調査試驗成績〟なる表題を以て (1)原料藁に關する調査，(2)藁打に關する試驗，(3)繩に關する試驗 なる項目の下に貴重なる調査資料を發表せられた．この種研究の皆無ともいふべき折柄寔に時宜に適せる研究と稱すべきであるが，これが內容は製造業者に對する技術的指導を主眼とせるものであつて，我々消費者側の待望する一般市販品の强度に就ては言及するところ少く，又藁繩の强度を論ずる場合に當り，殊に河川工事用の繩の强度を論ずる場合に當り不可分の關係にありと考へられる含水率と强度との關係に對しては，何等論及するところがなかつた.

一方藁製品に對しては，縣營にてこれが檢査を施行するものあり，又は重要物產同業組合法によつて設立せられたる組合に於てこれが檢査を施行するものあれど，これが檢査項目たる製作規格は主に繩の太さ，撚數，長さ又は重量，包裝の體裁或は各等級に對する原料藁の抽象的指定等にして孰れも强度に對しては何等規定するところがない.

以上の事實に鑑み，本試驗に於ては，市場にある藁繩强度の程度を知らんがため，始めに東京土木出張所提出の藁繩に就て，製繩法竝に藁の種類が强度に及ぼす影響及び含水率を異にする場合の强度の影響に就て試驗を行ひ，次いで本試料が何等製作規格檢査の適用をうけざるものゝみで，製品として決して上位のものとは思はれず試驗成績も亦これを裏書するものありたるがため，上記試料の他に製作規格檢査の適用を受け，東京市場に於て入手し易き 3, 4 の市販品に就て同樣の試驗を行ひ，更に試料を一定期間大氣中に曝露し，風化による强度の減少及び風化促進の目的の下に一定時間試料を煮沸し，これが强度に及ぼす影響竝に一定期間水中に浸漬せし場合に於ける强度の影響等に就て試驗を行つたものである.

II. 試料及び材質試驗

本試驗に使用せし試料及びこれが材質試驗の結果を表示すれば表—1 の如くである.

同表中，A 種に屬する試料 6 種は，東京土木出張所より送附をうけたるものにして，各河川現場に於て使用中の規格檢査をうけざるもの，B 種 7 種の中，試料番號 (10), (11) を除く他の試料は，東京藁工品組合岡本氏の好意により寄贈をうけたものであり，規格品中

表—1　試　料　表

	試料名(二子繩)	試料番號	太さ(mm) 平均周	太さ(mm) 平均徑	撚數 (30cm間)	單位長重量 (gr/30cm)	含水率 %	摘要
A種	千葉野田產 (1)	1	27.1	8.6	21	6.0	12.3	鬼怒川(單價18錢)
	甲府市近在產	2	24.8	7.9	15	4.0	12.1	富士川(〃 19〃)
	群馬新町產	3	23.6	7.5	21	4.5	11.2	烏神流川(〃 24〃)
	埼玉宗岡產	4	28.2	9.0	22	7.1	10.5	荒川上流(〃 22〃)
	千葉安食產	5	25.9	8.2	19	5.1	12.1	利根渡良瀨川(〃 17〃)
	千葉野田產 (2)	6	28.0	8.9	17	5.5	11.7	小貝川(〃 19〃)
B種	秋田產細繩	7	20.4	6.5	15	2.8	8.3	
	千葉產結束繩	8	21.3	6.8	15	2.8	9.3	手撚
	新潟產二分五厘玉繩	9	24.3	7.7	20	5.9	11.1	
	靜岡產小口丸繩 (1)	10	24.6	7.8	23	5.7	11.4	
	〃 (2)	11	24.8	7.9	23	6.0	10.0	
	埼玉產五百米丸繩	12	28.2	9.0	17	6.6	10.7	
	埼玉產丸繩	13	36.0	11.5	18	11.2	12.3	

備考　上記試料中 No. 8 を除く他の試料は全部機械撚である.
摘要欄中の河川名は試料使用の箇所を,( )内の單價は試料1房(30m)の購入價格を示す.

の1等品級のものである. 又 (8) は特殊結束用繩として從來使用せられつゝあつた手撚のもので比較的高價である. (7)はこれが代用品として製作された機械撚のもので兩者の强度比較を行はんとするものである. 他は概して一般土木工事用結束繩として類似の品を選んだものである. 尙次に表中の項目に就て說明を加へる.

名稱　藁繩の名稱は地方によりて異り, 或は用途別の名稱を冠するものあり, 或はその直徑を基礎として何分繩と稱するものもあり, 種々雜多にしてこれが統制なきもの>如く, その數, 百餘を算する狀態, 從つて單に名稱のみにては製品に對し正確なる識別をなすに苦しむ有樣である. B種に屬するものはこの一例で, A種には特定の名稱がなかつたため, 便宜產地名をつけ尙, 取扱ひの便宜上試料番號をつけこれによつて整理した.

太さ　太さを表はすにはその周長を以てするもの, その直徑を以てするもの及びこれをメートル單位にて表はすもの又は在來の分厘單位によるもの等あり, 本試驗に於ては繩の斷面を圓と見做し, 試片長約 50 cm 間 3 箇所に於てその圓周長を測定し平均値を求めこれより直徑を算出したものである.

撚數　撚數とは單位長に對する撚山數をいひ, この單位長として1尺をとるを普通とする. 本試驗に於ては 30 cm 間の撚數を測定した.

重量　重量の測定は, 引張試驗用の試片長約 50 cm に就き, 試驗に先だつて氣乾狀態のまゝ其都度重量を秤量したものより單位長を 30 cm と定め算出したものである. 而して

これが測定は各試料共同一條件下に於て行はれるを理想とするが，實際は資料入手の關係上6月の濕潤期より 12 月の乾燥期に亘つて行はれたもので，各試料の含水率は大氣中の濕氣の影響をうけて數%の差を示してをる．從つて各試料の重量は幾分これが影響をうけてをる等で嚴密なる意味の比較資料とはなり得ないが，大勢に變化を及ぼす程の差異は認められない．

含水率　含水率は絶對乾燥重量の百分率を以て表はした．卽ち

$$\text{含水率}=\frac{W-W_0}{W_0}\times 100$$

茲に　W：試片の空氣中に於ける重さ(gr)

W_0：試片の絶對乾燥時の空氣中の重さ(gr)

以上の他，材質試驗として比重に就て測定の意圖があつたが，これはその操作が煩瑣困難なるに拘らず重要性必ずしも大ならざるを思ひ省略した．

試片の比較　表—1 中A種及び B 種の兩試片に就て概略の比較をすれば，A種は B 種に比し藁打程度低く藁質にも遜色が認められた．又試料の全長を通じ B 種に於ては太さ比較的均齊であるが，A種は細太の差甚だしく，强度試驗に際して試片の採取に比較的均齊の箇所を選定したるに拘らず，B種の $\frac{1}{2}$ 程度の低値を示した．尙撚數は太さに於けるが如く試料の全長を通じ不整は見られなかつたが，A 種は B 種に比し概して撚數が多い．而して適當な撚數には太さに應じ自ら一定の限度があるものゝ如く，その一例を示せば 3 分繩に對する撚數を 17～18 に規定するものが多い．

III. 引張試驗成績

藁繩の强度は緒言に於ても述べたるが如く，本質的には繩を構成する纖維卽ち藁條の良否により支配され，これが良否はまた稻の品種，生育狀態の如何，刈取後の處理の如何等材質の適否に支配され，また製作方法の適否卽ち打藁の程度，撚數の適否，製繩機の良否，製繩技術の優劣等によつて支配されるものであるが，この他，出來上り材料が使用狀態の如何卽ち環境條件に支配されること大なるを思ひ本試驗に於ては，この環境條件として [1] 含水量を異にする場合卽ち (1)絶對乾燥狀態，(2)氣乾狀態，(3) 飽水狀態，(4) 50%吸水狀態，(5) 100%吸水狀態の 5 狀態に於ける强度試驗及び [2] 耐久試驗として，(1)曝露風化せし場合，(2) 風化促進の一便法として煮沸せし湯合，(3) 一定期間水中に浸漬せし場合の 3 項目を選び，これ等が强度に及ぼす影響如何の試驗を行つたものである．

尙本材料の試驗に對しては特定の規格がないため，J.E.S. 第 105 號麻索に關するものを參考とし，試片の有効長を直徑の 30 倍にとりこれに試片把握部として各 5 cm 程度の餘長を見込み試片長とした．

試驗機は本所備付 5 ton 松村式多能試驗機を使用し，荷重と伸長の關係圖を記錄せしめた．

試驗に際し懸念したのは試片の把握部を如何にするかにあつたが，これは準備試驗の際種々考究した結果，把握部を包裝用麻紐を以て緊縛する方法が最も簡單にして然も充分その目的を達し得ることを發見してこれによつた．尙1房の試料中より所定の試片長を切斷するに當り，兩端の切斷により固有の上撚，下撚に變化を與へる虞あるを思ひ切斷と同時に直ちに細い銅線を以つて端部を緊束し置き後前記の麻紐による方法を採つた．

［1］ 含水量と引張强さ

（1） 絕對乾燥狀態に於ける强度試驗

玆に絕對乾燥狀態といふのは，試片を恒溫爐中に入れ適當な溫度を與へて乾燥し，其の重量に變化を認め得られなくなつた狀態をいふもので，本試驗に於ては 100°C の溫度にて累計 24 時間乾燥して充分この目的を達し得た．

各試料に就ての試驗成績の平均値を示せば表—2 の如くである．

表—2　絕對乾燥狀態に於ける藁繩の平均引張强さ

試料番號		太さ(mm) 平均周	太さ(mm) 平均徑	斷面積 (mm²)	撚數 (30cm間)	單位長重量(gr/30cm) 絕乾	單位長重量(gr/30cm) 氣乾	含水率 (%)	最大荷重 (kg)	引張强さ (kg/mm²)	伸率 (%)	試片數	摘要
A種	1	26.5	8.5	(56.75)	21	5.5	6.2	0	29	(0.511)	3	9	千葉縣野田產
	2	24.3	7.7	(46.57)	15	3.7	4.2	0	26	(0.558)	3	9	甲府市近在產
	3	22.6	7.2	(40.72)	22	4.0	4.5	0	21	(0.516)	3	9	群馬縣新町產
	4	27.1	8.6	(58.09)	22	6.4	7.1	0	52	(0.895)	4	9	埼玉縣宗岡產
	5	25.0	8.0	(50.27)	20	4.7	5.3	0	32	(0.636)	3	8	千葉縣安食產
	6	28.4	9.0	(63.62)	17	5.1	6.0	0	23	(0.362)	2	9	千葉縣野田產
B種	7	20.8	6.6	(34.21)	13	2.7	2.9	0	17	(0.497)	1	10	秋田產細繩
	8	21.0	6.7	(35.26)	15	2.6	2.8	0	17	(0.481)	1	10	千葉產結束繩(手撚)
	9	24.5	7.8	(47.78)	20	5.1	5.6	0	70	(1.465)	4	12	新潟產玉繩
	10	24.9	7.9	(49.02)	22	5.1	5.7	0	53	(1.080)	3	13	靜岡產小口丸繩
	11	25.5	8.1	(51.53)	22	5.8	6.3	0	54	(1.048)	3	4	〃
	12	28.5	9.1	(65.04)	18	6.1	6.7	0	55	(0.846)	3	13	埼玉產丸繩
	13	36.0	11.5	(103.87)	18	10.1	11.2	0	96	(0.924)	5	10	〃

（A種：改修工事用）

尙試料の夫々に就て見れば同一試料に於ても太さ，撚數，重量等一樣ならず，試驗結果にも相當の差異が認められた．こゝに各試料の不均齊さの程度を知らんがために，繩の細太即ち徑の不同，撚數及び荷重の 3 項目に就て之等の關係を各別に摘錄し表示すれば表—3 の如くなる．

表—3 徑，撚數，荷重に就ての最大，最小値

試料番號		徑 (mm) 最大	最小	差	撚數 最大	最小	差	荷重 (kg) 最大	最小	差	最小/最大	摘要
A種	1	9.1	7.7	1.4	23	19	4	38	24	14	0.632	產地つきては表-1參照
	2	8.5	6.8	1.7	17	13	4	34	20	14	0.588	
	3	7.8	6.7	1.1	22	21	1	30	16	14	0.583	
	4	9.5	8.0	1.5	23	21	2	71	36	35	0.507	
	5	8.6	7.3	1.3	24	18	6	41	24	17	0.585	
	6	9.4	8.3	1.1	19	17	2	29	17	17	0.586	
B種	7	7.2	6.5	0.7	15	10	5	22	12	10	0.546	
	8	7.2	6.4	0.8	16	14	2	22	12	10	0.546	
	9	8.3	7.2	1.1	22	17	5	85	57	28	0.671	
	10	9.3	6.6	2.7	27	17	10	78	31	47	0.397	
	11	8.6	7.7	0.9	23	20	3	58	50	8	0.862	
	12	9.3	8.9	0.4	19	16	3	85	36	49	0.427	
	13	11.8	11.0	0.8	19	16	3	114	71	43	0.623	

上表中各項目に於て最大，最小の差の小なる程試料は均齊なりと云ひ得る．而してIIに於て述べたるが如く，試料1房に對し撚數に就ては A 種，B種 共均齊さに於てさしたる差異はないが，徑に就て見る時は A 種は B 種に比し細太の差が甚だしかつた．只本表に於ける數値のみに就て見れば此の差の著しくないのは試片の採取に當り試料中より比較的均齊の箇所を選んだ事に基因するものであらう．又荷重に於ける最大最小比に就て見れば，A種，B 種 共大差はない．卽ち兩者共强度の均齊さに於ては大差ないといひ得る．然るに表—2 に示すが如く，兩者平均强度の比較に於ては，A種は甚だしく B 種に劣る．これ畢竟するところ，A 種の繩を構成する藁條が B 種のそれに比し質的に遜色あることが最大の因をなすものであると信ずる．

尙表—3 中試料 No. 10 は徑，撚數，荷重共に著しき不均等性を示してをるが，これが原因として特別の理由は認められない．又本試料全體として見て外觀的にも左程不均齊なものではなかつた．

表—3 に示せるが如く各試料の太さは區々にして，單に切斷荷重の數値のみにては各試料の强度の比較に困難である．依つて表—2 に於ては便宜上繩の斷面を圓と見做し，平均徑よりこれが斷面積を求め，これを以て最大荷重を除し單位强度を算出して比較を行つた．勿論繩の斷面は正確な圓ではなく，かくして算出せる斷面積の幾割減かゝ實斷面たるべきであらうが，これが實斷面積の算出は勞多くして効必ずしも多からざるを思ひ，この簡便法を採つた．以下に述べるこの種斷面積及び單位强度の算出には何れも同斷の方法が用ひられてをる．

引張強度と單位長重量，又は撚數との關係は全く不規則であつて兩者の間に定まつた連絡がありとは考へられない．從つて引張強度を支配するものは主として繩本來の材質竝に其處理方法であると云ふことになり，これを數字的に表はすことが困難であるが故に，強度を推定すべき關係式等の誘導は容易でない．

(2) 氣乾狀態に於ける強度試験

茲に氣乾狀態といふのは，試料を實驗室内に相當日數放置しその含水量が空氣中の濕度と平衡するに至れるものと認めらるゝ狀態をいふもので，本狀態に於ける藁繩は表—4 に示すが如く平均 11.5% の含水率を有して居る．引張試驗の結果は表—4 の如くである．

表—4　氣乾狀態に於ける藁繩の平均引張強さ

試料番號		太さ(mm) 平均周	太さ(mm) 平均徑	斷面積 (mm²)	撚數 (30cm間)	單位長重量(gr/30cm) 絕乾	單位長重量(gr/30cm) 氣乾	含水率 (%)	最大荷重 (kg)	引張強さ (kg/mm²)	伸率 (%)	試片數	摘要
A種	1	27.1	8.6	(58.09)	21	5.3	5.8	12.6	43	(0.740)	4	14	產地につきては表—1 參照
	2	25.3	8.1	(51.53)	15	3.7	4.2	13.9	41	(0.796)	3	9	
	3	23.5	7.5	(44.18)	21	4.2	4.6	10.5	29	(0.657)	3	13	
	4	27.0	8.6	(58.09)	22	7.1	7.6	10.1	44	(0.757)	4	8	
	5	25.6	8.2	(52.81)	19	4.5	5.0	10.5	32	(0.606)	2	14	
	6	26.7	8.5	(56.75)	17	4.5	5.1	12.4	36	(0.634)	3	13	
B種	7	19.7	6.3	(31.17)	15	2.5	2.8	9.2	33	(1.060)	3	9	
	8	21.6	6.9	(37.39)	15	2.6	2.9	12.2	32	(0.856)	3	10	
	9	24.2	7.7	(46.57)	20	5.5	6.1	12.3	99	(2.125)	5	13	
	10	24.6	7.8	(47.78)	22	5.0	5.5	11.5	74	(1.548)	4	12	
	11	24.0	7.6	(45.36)	24	—	5.8	—	71	(1.565)	5	5	
	12	29.3	9.3	(67.93)	17	6.0	6.6	10.3	75	(1.104)	4	12	
	13	36.8	11.7	(107.5)	17	10.2	11.5	12.9	118	(1.097)	7	10	
							平均	11.5					

備考　本表記載の數値は何れもその含水率の知られたる試片についての平均値を示す．

絕對乾燥狀態に於ける場合と同樣，徑，撚數，最大荷重の 3 者に就てその均齊さを表示すれば表—5 の如くである．

(3) 飽水狀態に於ける強度試験

水中に在る藁繩の強度を調べる前提として飽水狀態に於ける強度試驗を試みた．

茲に飽水狀態といふのは試片を水中に浸し，その空中重量が增加を示さゞるに至れる狀態をいふもので，本試驗に於ては試片を約 1 晝夜水中(水道用水使用)に浸漬した．

飽水狀態に於ける重量の測定，從つて含水率の正確なる測定は案外に困難を伴ふものである．卽ち本材料の如きは，これを水中に浸漬せる場合繩自身が水分を吸收する外に各藁條間にも水氣が保持されるもので，測定に際しては成るべくこれが排除につとめたが，水

表—5　徑，撚數，荷重に就ての最大，最小値

試料番號	徑 (mm) 最大	最小	差	撚數 最大	最小	差	荷重 (kg) 最大	最小	差	最小/最大	摘要
A種 1	9.6	8.1	1.5	23	19	4	52	31	21	0.596	產地につきては表—1参照
A種 2	9.1	7.3	1.8	16	14	2	46	26	20	0.565	
A種 3	9.7	7.0	2.7	24	19	5	53	21	32	0.396	
A種 4	10.4	8.3	2.1	23	21	2	63	39	24	0.619	
A種 5	10.0	7.6	2.4	20	18	2	48	23	25	0.479	
A種 6	10.7	7.6	3.1	19	15	4	59	28	31	0.475	
B種 7	7.0	5.8	1.2	17	11	6	43	28	15	0.651	
B種 8	7.4	6.3	1.1	16	13	3	14	23	18	0.561	
B種 9	8.3	7.2	1.1	22	17	5	130	50	80	0.385	
B種 10	9.1	6.6	2.5	27	17	10	102	46	56	0.451	
B種 11	8.1	7.2	0.9	26	22	4	80	60	20	0.750	
B種 12	9.6	9.0	0.6	19	15	4	102	63	39	0.618	
B種 13	12.4	11.1	1.3	18	15	3	140	92	48	0.657	

切の方法としてこれを“振り落す”ことゝしたゝめ，この手加減が問題であり，材質の不均等さと相俟つて測定結果は表—6 に示すが如く甚だしく不揃となつた．而してこれは本狀態に於ける強度に影響を及ぼすものではない．

引張試驗成績の平均は表—6 に示す如くである．

表—6　飽水狀態に於ける藁繩の平均引張强さ

試料番號	太さ (mm) 平均周	平均徑	斷面積 (mm²)	撚數 (30cm間)	單位長重量 (kg/30cm) 絶乾	氣乾	飽水	含水率 (%)	最大荷重 (kg)	引張强さ (kg/mm²)	伸率 (%)	試片數	摘要
A種 1	26.8	8.5	(56.75)	21	4.9	5.9	14.1	192	35	(0.617)	7	9	產地につきては表—1参照
A種 2	24.0	7.6	(45.36)	15	3.3	4.0	11.2	247	37	(0.816)	6	9	
A種 3	22.6	7.2	(40.72)	20	3.7	4.3	10.3	177	25	(0.614)	6	9	
A種 4	27.6	8.8	(60.82)	22	6.1	6.9	13.6	125	44	(0.723)	10	9	
A種 5	25.5	8.1	(51.53)	18	4.1	4.8	12.3	201	23	(0.446)	6	9	
A種 6	27.8	8.8	(60.82)	16	4.5	5.7	15.5	244	43	(0.707)	6	6	
B種 7	20.6	6.6	(34.21)	12	2.1	2.7	7.5	249	25	(0.731)	2	10	
B種 8	21.5	6.8	(36.32)	15	2.5	3.0	7.6	203	27	(0.744)	4	8	
B種 9	24.3	7.7	(46.57)	20	5.4	6.2	14.9	177	76	(1.632)	7	18	
B種 10	23.8	7.6	(45.36)	24	4.2	5.3	15.0	251	44	(0.970)	5	22	
B種 11	24.9	7.9	(49.02)	23	—	6.0	12.7	—	44	(0.898)	4	10	
B種 12	27.9	8.9	(62.21)	17	5.0	6.3	17.6	253	55	(0.884)	5	18	
B種 13	35.1	11.2	(98.52)	18	9.3	10.8	37.6	301	91	(0.924)	6	9	

前項 (1)，(2) と同樣各試料間の差異を表示すれば表—7 の如くである．

表—7　徑，撚數，荷重に就ての最大，最小値

試料番號		徑 (mm) 最大	最小	差	撚數 最大	最小	差	荷重 (kg) 最大	最小	差	最小/最大	摘要
A種	1	9.2	7.8	1.4	22	20	2	49	28	21	0.571	産地につきては表—1參照
	2	8.3	6.9	1.4	16	14	2	54	24	20	0.444	
	3	7.5	6.7	0.8	22	19	3	41	22	19	0.524	
	4	9.2	8.0	1.2	24	21	3	54	38	16	0.704	
	5	8.6	7.3	1.3	20	16	4	35	17	18	0.486	
	6	9.2	8.3	0.9	17	15	2	56	37	19	0.661	
B種	7	7.0	6.0	1.0	14	10	4	38	16	22	0.421	
	8	7.5	6.3	1.2	15	13	2	34	19	15	0.559	
	9	8.3	7.3	1.0	20	17	3	108	44	64	0.407	
	10	8.5	7.2	1.3	28	17	11	67	39	28	0.582	
	11	8.7	7.3	1.4	27	20	7	60	30	30	0.500	
	12	9.7	7.9	1.8	20	13	7	82	39	43	0.476	
	13	11.8	10.6	1.2	19	17	2	110	66	44	0.600	

(4)　50%吸水狀態に於ける强度試験

50%程度の含水率を有する繩の强度を試験するの目的にて，試片全長に亙り撒水して一

表—8　50%吸水狀態に於ける藁繩の平均引張强さ

試料番號		太さ (mm) 平均周	平均徑	斷面積 (mm²)	撚數 (30cm間)	單位長重量 (kg/30cm) 絕乾	氣乾	吸水	含水率 (%)	最大荷重 (kg)	引張强さ (kg/mm²)	伸率 (%)	試片數	摘要
A種	2	24.1	7.2	(40.72)	15	3.3	3.9	5.3	43	36	(0.884)	5	5	産地につきては表—1參照
	3	21.6	6.9	(37.39)	20	3.8	4.2	5.2	38	25	(0.670)	9	4	
	4	27.6	8.8	(60.82)	21	6.6	7.4	9.4	44	51	(0.838)	9	8	
	5	25.5	8.1	(51.53)	19	—	4.8	6.8	—	32	(0.622)	6	5	
	6	26.6	8.5	(56.75)	17	4.6	5.2	7.4	60	30	(0.529)	5	8	
B種	12	25.3	8.1	(51.53)	19	5.4	6.0	7.7	46	90	(1.746)	6	5	

表—9　徑，撚數，荷重に就ての最大，最小値

試料番號		徑 (mm) 最大	最小	差	撚數 最大	最小	差	荷重 (kg) 最大	最小	差	最小/最大	摘要
A種	2	8.5	6.8	1.7	17	14	3	46	24	22	0.522	産地につきては表—1參照
	3	7.6	6.4	1.2	21	19	2	27	22	5	0.815	
	4	9.8	8.2	1.6	24	20	4	58	42	16	0.724	
	5	8.6	7.8	0.8	21	18	3	43	24	19	0.558	
	6	10.3	8.0	2.3	19	16	3	63	18	45	0.286	
B種	12	8.5	7.6	0.9	20	18	2	100	80	20	0.800	

様なる濕り氣を與へんとしたものであるが，これまた含水率を一定に保つこと困難にして，測定の結果は 表—8 に示すが如く 38～60% となつた．

尙試料の關係より試料番號 (1) 及び (7)～(11) の試驗を缺く．

引張試驗の結果竝に各試料間の差異を表示すれば 表—8 及び 表—9 の如し．

(5)　100% 吸水狀態に於ける强度試驗

試料の關係より試料番號 (7) 及び (11) の試驗を缺く，引張試驗の結果及び試料間の差異は 表—10 及び 表—11 の如くである．

表—10　100% の吸水狀態に於ける藁繩の平均引張强さ

試料番號		太さ (mm²) 平均周	太さ (mm²) 平均徑	斷面積 (mm²)	撚數 (30cm間)	單位長重量 (kg/30cm 間) 絕乾	氣乾	吸水	含水率 (%)	最大荷重 (kg)	引張强さ (kg/mm²)	伸率 (%)	試片數	摘要
A種	1	27.4	8.7	(59.45)	20	5.6	6.2	10.1	81	45	(0.757)	6	14	產地につきては表—1參照
	2	24.9	7.9	(49.02)	15	—	4.1	7.2	(97)	32	(0.653)	6	3	
	3	24.6	7.8	(47.78)	21	—	4.4	8.5	(115)	25	(0.523)	6	8	
	4	28.4	9.0	(63.62)	22	—	7.3	13.6	(106)	46	(0.723)	8	6	
	5	25.0	8.0	(50.27)	19	4.3	5.0	8.0	88	29	(0.577)	5	9	
	6	26.2	8.3	(54.11)	18	—	4.5	9.3	(130)	38	(0.702)	6	5	
B種	8	21.3	6.8	(36.32)	15	2.5	2.8	4.9	94	27	(0.744)	4	9	
	9	24.2	7.7	(46.57)	19	—	6.1	10.1	(84)	59	(1.267)	6	5	
	10	24.1	7.7	(46.57)	23	4.7	5.5	10.5	125	51	(1.095)	5	3	
	12	26.9	8.6	(58.09)	17	5.4	6.4	13.6	147	58	(0.999)	4	7	

備考　含水率欄中( )付のものは該試料に對する絕乾狀態の重量の測定を缺きしため，既知の氣乾狀態重量と，表—1 資料表中の當該平均含水率を基礎として算出せる推定値である．

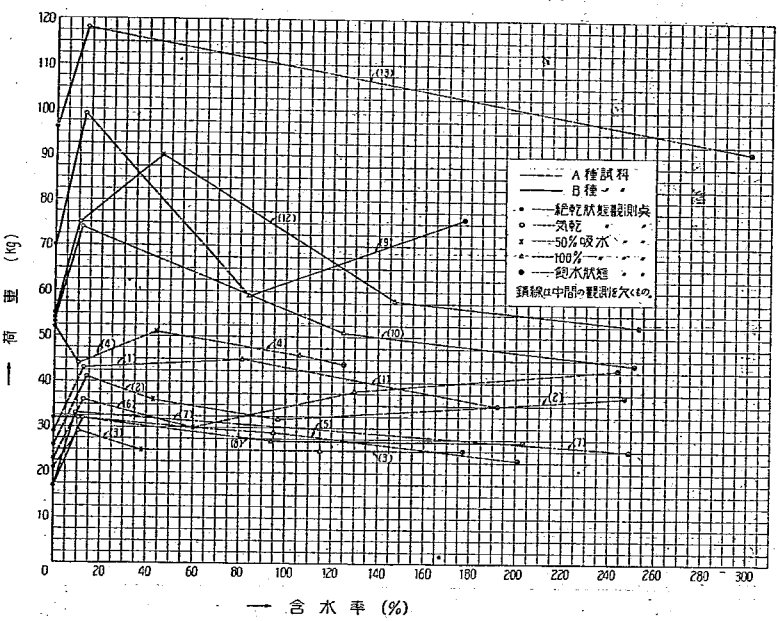
表—11　徑，撚數，荷重に就ての最大，最小値

試料番號		徑 (mm) 最大	徑 (mm) 最小	徑 (mm) 差	撚數 最大	撚數 最小	撚數 差	荷重 (kg) 最大	荷重 (kg) 最小	荷重 (kg) 差	最小/最大	摘要
A種	1	9.3	8.1	1.2	22	19	3	50	30	20	0.600	產地につきては表—1參照
	2	8.2	7.8	0.4	16	14	2	41	26	15	0.634	
	3	8.4	7.6	0.8	22	20	2	39	18	21	0.462	
	4	9.6	8.7	0.9	23	21	2	57	37	20	0.650	
	5	9.3	7.7	1.6	19	17	2	35	20	15	0.571	
	6	8.7	7.7	1.0	19	16	3	50	28	22	0.580	
B種	8	7.6	6.0	1.6	16	14	2	36	18	18	0.500	
	9	8.2	7.3	0.9	20	18	2	73	45	28	0.617	
	10	7.7	7.5	0.2	24	21	3	64	32	32	0.500	
	12	9.6	8.6	1.0	18	16	2	75	48	27	0.540	

(6)　含水率と強度との關係

前5項目に亙りて試驗せし結果より含水率と強度との關係を整理すれば圖—1及び表—12の如くなる.

圖—1　藁繩の含水率と荷重との關係圖



今圖—1について藁繩引張强さの含水率による變化を見るに殆んどすべての種類に於て絶對乾燥狀態にて最低强度を示し，これより含水率の增加につれて强度は漸次增大し一旦最高値に達して再び低下の傾向を示し，含水率の一定値以上に至つて强度は遂に變化を示さざるに至るもゝ如くである.

引張强度の最高値を示すべき含水率は著者の實驗成績にては圖—1に示す如く氣乾狀態となるが，圖表に示さるゝ傾向より見るとき氣乾狀態を越へて20％前後の含水率の點に存するかと想像される．强度が一定値に達すべき含水率の限界は種類毎に著しい變化を示してをり其大體を把握することも困難であるが，A種のものにありては含水率40～100％の範圍にこの限界を有してをる.

藁繩强度の變化が上記の如き傾向を示す理由として先づ考へらるゝ事は藁繩を形成する

表－12 藁繩の含水率と強度との關係表

試料番號		絶乾 荷重 (kg)	絶乾 強さ (kg/mm²)	絶乾 含水率 (%)	氣乾 荷重 (kg)	氣乾 強さ (kg/mm²)	氣乾 含水率 (%)	50％吸水 荷重 (kg)	50％吸水 強さ (kg/mm²)	50％吸水 含水率 (%)	100％吸水 荷重 (kg)	100％吸水 強さ (kg/mm²)	100％吸水 含水率 (%)	他水 荷重 (kg)	他水 強さ (kg/mm²)	他水 含水率 (%)
A種	1	29 (67)	0.51 (69)	0	43 (100)	0.74 (100)	12.6				45 (105)	0.76 (102)	81	35 (81)	0.62 (83)	192
	2	26 (63)	0.56 (74)	0	41 (100)	0.80 (100)	13.9	36 (88)	0.88 (111)	43	32 (78)	0.65 (82)	(97)	37 (90)	0.82 (103)	247
	3	21 (72)	0.52 (77)	0	29 (100)	0.66 (100)	10.5	25 (86)	0.67 (99)	38	25 (86)	0.52 (78)	(115)	25 (86)	0.61 (91)	177
	4	52 (118)	0.90 (118)	0	44 (100)	0.76 (100)	10.1	51 (116)	0.84 (111)	44	46 (105)	0.72 (96)	(106)	44 (100)	0.72 (96)	125
	5	32 (100)	0.64 (105)	0	32 (100)	0.61 (100)	10.5	32 (100)	0.62 (103)	—	29 (91)	0.58 (95)	88	23 (72)	0.45 (74)	201
	6	23 (64)	0.36 (57)	0	36 (100)	0.63 (100)	12.4	30 (83)	0.53 (83)	60	38 (106)	0.70 (111)	(130)	43 (120)	0.71 (112)	244
平均		**(80.7)**	**(83)**		**(100)**	**(100)**	**(11.7)**	**(94.6)**	**(101.4)**	**(46.3)**	**(95)**	**(94)**	**102.8**	**(91.5)**	**(93)**	**197.7**
B種	7	17 (52)	0.50 (46)	0	33 (100)	1.06 (100)	9.2							25 (76)	0.73 (69)	249
	8	17 (53)	0.48 (56)	0	32 (100)	0.86 (100)	12.2				27 (84)	0.74 (87)	94	27 (84)	0.74 (87)	203
	9	70 (71)	1.47 (69)	0	99 (100)	2.13 (100)	12.3				59 (60)	1.27 (60)	(84)	76 (77)	1.63 (72)	177
	10	53 (72)	1.08 (70)	0	74 (100)	1.55 (100)	11.5				51 (69)	1.10 (71)	125	44 (60)	0.97 (63)	251
	11	54 (76)	1.05 (67)	0	71 (100)	1.57 (100)	—							44 (62)	0.90 (57)	—
	12	55 (73)	0.85 (77)	0	75 (100)	1.10 (100)	10.3	90 (120)	1.75 (159)	46	58 (77)	1.00 (91)	147	55 (73)	0.88 (80)	253
	13	96 (81)	0.92 (84)	0	118(100)	1.10 (100)	12.9							91 (77)	0.92 (84)	301
平均		**(68.3)**	**(67)**		**(100)**	**(100)**	**11.4**	**(120)**	**(159)**	**(46)**	**(72.5)**	**(71.3)**	**112.5**	**(68)**	**(75)**	**239.0**

備考 荷重及び強度欄中（）付の數値は，氣乾狀態に於ける夫等の値を 100 とせる場合の比較値を示すものである．

藁條間の摩擦である．最高強度を示す含水率にてこの摩擦が最大となつて藁繩の強度を增し，これ以上の含水率に於ては漸次飽水狀態に近づき摩擦を減ずるに至り，完全に飽和してこゝに藁條夫れ自身の強度も摩擦も一定値に達すべしと想像される．併し藁繩の強度を支配するものにはこのほかに稻の種類による藁の性質の差，撚數，打數の差等の重大要素を有するが故に，上記の試驗結果よりの推斷をもつて充分なりと稱し難く，更に進んだ調査の必要を認める．

表—12 には各狀態に於ける荷重，强度及び含水率を掲げし他，氣乾狀態の荷重及び强度を 100 とせる場合他の狀態に於ける夫〻の割合を示し比較に便した．

[2] 耐 久 試 驗

藁繩の耐久性を試驗するため，試料としては市販の 3 分繩及び 2 分 5 厘三子繩 (表—1中 No, 10, 11 類似品) の 2 種を選び，試驗項目として (1) 曝露風化せし場合，(2) 煮沸せし場合，(3) 一定期間水中に浸漬せし場合，の 3 狀態を選んで試驗を行つたものであるが成績の比較上一應，絶對乾燥，氣乾及び飽水の 3 狀態に就ても [1] に於て述べたると同樣の方法に依り試驗を行つた．これ等の試驗成績は 表—13～表—15 の如くである．

表—13 絶對乾燥狀態に於ける平均引張强さ

試料名	太さ(mm)		斷面積	撚數	單位長重量(gr/30cm)		含水率	最大荷重	引張强さ	伸率	摘要
	平均周	平均徑	(mm²)	(30cm 間)	絶乾	氣乾	(%)	(kg)	(kg/mm²)	(%)	
3 分 繩	36.0	11.5	(103.9)	20	8.5	9.3	0	33	(0.318)	3	
2分5厘繩	26.1	8.8	(60.8)	19	5.5	5.9	0	27	(0.444)	2	

表—14 氣乾狀態に於ける平均引張强さ

試料名	太さ(mm)		斷面積	撚數	單位長重量(gr/30cm)		含水率	最大荷重	引張强さ	伸率	摘要
	平均周	平均徑	(mm²)	(30cm 間)	絶乾	氣乾	(%)	(kg)	(kg/mm²)	(%)	
3 分 繩	38.4	12.2	(116.9)	18	8.9	9.7	9	90	(0.770)	6	
2分5厘繩	26.6	8.5	(56.7)	19	5.7	6.1	8	49	(0.864)	3	

表—15 飽水狀態に於ける平均引張强さ

試料名	太さ(mm)		斷面積	撚數	單位長重量(gr/30cm)			含水率	最大荷重	引張强さ	伸率	摘要
	平均周	平均徑	(mm²)	(30cm 間)	絶乾	氣乾	飽水	(%)	(kg)	(kg/mm²)	(%)	
3 分 繩	37.4	11.9	(111.2)	20	7.9	9.6	30.0	280	79	(0.630)	5	
2分5厘繩	25.6	8.2	(52.8)	19	4.7	5.7	17.0	269	48	(0.910)	4	

上表の數値は孰れも試片 10 本の平均値を以て示したものである．

(1) 曝露風化せし場合の強度試驗

本材料が戸外に於て使用され久しきに亙りて風雨大氣に曝されるとき，これが風化の強度に及ぼす影響如何を調べるの目的を以て，12 月下旬より 1 月下旬に至る 1 ヶ月間，試料を戸外の樹間に懸垂放置したるものに付て試驗を行つた．因に本期間中の天候は晴 19 日，曇 9 日，雨 1 日，雪 1 日であつた．

試片 10 本の平均試驗成績は 表—16 の如くである．

表—16 1 ヶ月間曝露風化せし場合の平均引張强さ

試料名	太さ(mm) 平均周	太さ(mm) 平均徑	斷面積 (mm²)	撚數 (30cm 間)	單位長重量 (gr/30cm) 絕乾	氣乾	風化	含水率 (%)	最大荷重 (kg)	引張强さ (kg/mm²)	伸率 (%)	摘要
3 分 繩	36.6	11.6	(105.7)	20	8.4	9.8	9.3	11	97	(0.918)	5	
2分5厘繩	25.9	8.2	(52.8)	20	4.8	5.7	5.4	14	53	(1.040)	3	

(2) 風化促進の一方法として煮沸せし場合の强度試驗

前項に於て述べたる風化の影響を更に短期間に於て效果的ならしむる一便法として試料を煮沸したるものに付て試驗を行つた．卽ち試片を沸騰水に入れ 6 時間これを煮沸し後18 時間水中に浸漬し，更に 6 時間煮沸したる後 1 日間大氣中に取出し氣乾狀態となして試驗したものである．煮沸の時間及び方法等は何等の根據もなく單に作業上の便宜よりかくしたものである．試片 10 本の平均試驗成績は 表—17 に示せる如くである．

表—17 煮沸せる場合の平均引張强さ

試料名	太さ(mm) 平均周	太さ(mm) 平均徑	斷面積 (mm²)	撚數 (30cm 間)	單位長重量 (gr/30cm) 絕乾	氣乾	含水率 (%)	最大荷重 (kg)	引張强さ (kg/mm²)	伸率 (%)	摘要
3 分 繩	38.2	12.2	(116.9)	20	8.9	10.0	16	57	(0.487)	—	
2分5厘繩	27.5	8.8	(60.8)	19	5.0	5.7	12	41	(0.674)	—	

(3) 一定期間水中に浸漬せし場合の强度試驗

飽水狀態に於ける强度の關係は旣述の如くであるが，更に長期に亙りて水中に浸漬せし場合の影響を調べるの目的を以て，この期間を前項の曝露風化と同樣 12 月下旬より 1 ヶ

表—18 1 ヶ月水中に浸漬せし場合の平均引張强さ

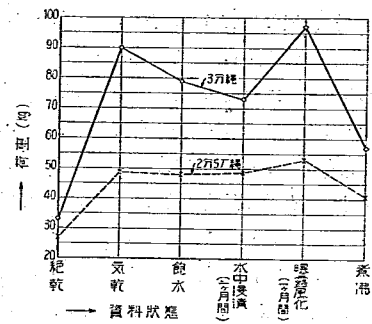
試料名	太さ(mm) 平均周	太さ(mm) 平均徑	斷面積 (mm²)	撚數 (30cm 間)	單位長重量 (gr/30cm) 絕乾	氣乾	飽水	含水率 (%)	最大荷重 (kg)	引張强さ (kg/mm²)	伸率 (%)	摘要
3 分 繩	36.8	11.7	(107.5)	19	7.7	9.8	38.1	294	73	(0.680)	7	
2分5厘繩	25.7	8.2	(52.8)	19	4.7	6.1	16.1	255	49	(0.928)	4	

月間水中に浸漬せるものに付て試驗を行つた．これが試驗成績は表—18 の如くであり成績は試片 10 本の平均値を以て示した．

(4)　耐久試驗に於ける各狀態の比較

前記 3 項目に亙りて試驗せる結果を圖示すれば圖—2 の如くなる．

圖—2 藁縄の資料狀態と荷重との關係圖



圖—2 によるに絶對乾燥狀態，氣乾狀態及び飽水狀態のものゝ強度の變化は［1］に於て述べたる試驗結果と合致してをる．又材料の損傷を目的として行つた 1 ケ月間程度の水中浸漬並に空中曝露は藁縄の強度を低下せしむるに至らざることを明かにした．1 ケ月空中曝露の試料の強度が氣乾狀態の試料に勝れることは其含水率の差によるものであつて，この試驗に於て前者が 11～14% に對し，後者が 8～9% であり，前者の方が最大強度を示すべき含水率に近いことを示してをる．

［1］同樣氣乾狀態の荷重及び強度を 100 とせる場合の他の狀態の夫ゝの割合及氣乾狀態に對する減少率を表示すれば 表—19 の如くなる．

表—19　耐久試驗に於ける各狀態の強度比較表

試料名	絶乾			氣乾			飽水			1ケ月水中浸漬			1ケ月曝露風乾			煮沸		
	荷重 (kg)	強さ kg/mm²	含水率 (%)	荷重 (kg)	強さ kg/mm²	含水率 (%)	荷重 (kg)	強さ kg/mm²	含水率 (%)	荷重 (kg)	強さ kg/mm²	含水率 (%)	荷重 (kg)	強さ kg/mm²	含水率 (%)	荷重 (kg)	強さ kg/mm²	含水率 (%)
3分縄	33 (37)	0.32 (41)	0	90 (100)	0.77 (100)	9	79 (88)	0.63 (82)	280	73 (81)	0.68 (88)	294	97 (108)	0.92 (119)	11	57 (63)	0.49 (63)	16
2分5厘縄	22 (45)	0.36 (42)	0	49 (100)	0.86 (100)	8	48 (98)	0.91 (105)	269	49 (100)	0.93 (108)	255	53 (108)	1.04 (120)	14	41 (84)	0.67 (78)	12

備考　荷重及び強度欄中（.）付の數値は，氣乾狀態に於ける夫等の値を 100 とせる場合の比較値を示すものである．

IV: 要　　約

以上各章に於て述べたるところを綜合要約すれば次の如くである．

(1) 本試驗は從來藁縄の強度に關する研究が殆ど皆無とも稱すべき狀態なるに鑑み，主として土木工事に使用さるゝ市場品の數種に對しこれが強度の目安を得るために行つたもので，特に河川工事用材料として含水率と強度との關係を主眼としたものである．

(2) 試驗の結果より看れば，本材料の如くこれが強度を支配する要素の複雜多岐に亙り加ふるに同一條件下の試料を得難きため，試驗結果また整齊ならず，明確にこれ等の關係を結論し得ざるを遺憾とする．而して規格外の品は強度の懸隔特に甚だしきものあるため，

購入竝に使用に際してはこの點に充分注意を要するものと考へられる.

(3) 强度と含水率との關係に就ていへば, 藁繩の引張强度は本試驗の範圍內に於ては氣乾狀態を幾分超したる含水率にて最高値を示し, これより含水率の增加と共に强度は低下し含水率が或限度に達すれば强度は不變となる, この場合の强度は氣乾狀態に比し 1～2 割方減少するもの丶如く, 絕對乾燥狀態にて强度は最下位にあり, 氣乾狀態に比し 3 割前後遜色あるもの丶如くである.

(4) 耐久性の試驗に於ては, 1ヶ月程度の空中曝露, 水中浸漬は藁繩の强度に變化を與ふものにあらざることを明らかにした. これらの期間を更に延長して曝露又は浸漬の時間的影響を確め, 又使用河川の水質例へば感潮部に於ける鹽分の影響等を明らかにする必要あるも, 本報告にては資料その他の關係にて試驗を一先づ打切り他日の研究に讓ることにした.

(5) 上記試驗の他, 重量と强度との關係に就て調べた. 卽ち密度が大であれば强度もこれに比例して增大するものとの考への下に調査を進めて見たが, 取扱つた資料の範圍內ではこの點を明確にすることが出來なかつた. 材質が均齊で而も良質のものであれば或はかかる傾向あるものとも考へられるが, 一般市場品に對して斯く論斷することは困難である.

(6) 伸長率はまちまちであるが大體 3～10% 程度の如くである.

V. 附　　記

緖言に於ても言及せる如く, 農林省經濟更生部に於て發表せる報告書「藁製品製作に關する調査試驗成績」中には, 著者の實驗に直接又は間接の關係を有する多くの資料が登載されてをる. 下記はこれらの中の主なるもの丶拔萃である.

藁製品製作に關する調査試驗成績拔萃

上記報告書に於て, 第3の "繩に關する試驗" 中に藁繩の製繩功程竝に强度に及ぼす要素について下記要項の試驗が行はれてをる.

(1) 藁打程度が製繩に及ぼす影響試驗
(2) 繩の細太不同と强さとの關係試驗
(3) 下撚と上撚の如何が製繩功程竝に强さに及ぼす關係試驗
(4) 繩の太さ及撚數の如何が製繩功程竝に强さに及ぼす關係試驗
(5) 繩の種類別, 稻の品種重量と長さとの關係試驗

これら各項の試驗に於て (1)は藁打程度が繩の性質竝に製繩の經濟に及ぼす影響を, (2)は原料藁の細太不同竝に製繩機藁受板に於ける藁條の供給不同が齎したる細太不同繩及び下撚不同繩の强さが各丶の場合に於ける正常繩に比し如何なる差異ありや, 併せて藁攪方法を異にしたる場合の繩の强さその他を, (3)は製繩に於ける上撚, 下撚の强弱程度如何が製繩功程竝に繩の强さに對する關係を, (4)は同一の打藁原料を用ひて製繩する場合に於て, 單位長さに對し撚數を異にする時の製繩功程及び强さに及ぼす關係を, (5)は同一の性狀を有する原料藁を供用して作製したる繩の種類別竝に異る

稻品種の原料藁を用ひて作製したる同一型の各繩に付單位重量の長さ及び單位長さに對する重量等を調べたものである.

此の中繩の引張强さ及び伸率に關する事項を摘記すれば次の如くである.

(1)　藁打程度と强さとの關係

藁打程度高き程各藁條柔軟にして，下撚圓滑なるのみならず上撚亦整正なる繩を得られ，これはまた繩の引張强さを大ならしむる事ともなり，又藁打程度を高める事により一定時間内の製繩重量大となり製繩經濟を滿足す，他方製繩歩合を減少すと雖も，柔軟なる打藁にて作製したる繩は製品の等級を上げ從つて單價の向上を來し經濟的となる.

伸長度に關しては大體引張强さと竝行の傾向あれど判明せず．圖—3 は稻藁の種類別による打數と强度との關係を示す.

(2)　繩の細太不同と强さとの關係

イ　藁條の細太如何の影響は，太き方引張强さ大，伸率亦少しく大である.

ロ　藁條の供給不同如何の影響は，供給藁條本數の多きに從ひ，引張强さ竝に伸率大.

ハ　下撚の不同の影響は，下撚强く整正なる程引張强さ竝に伸率大.

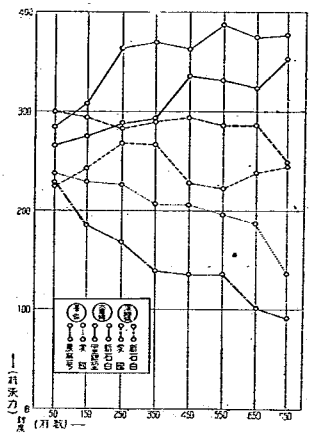
ニ　藁繼方法を異にしたる場合の影響は，その斷面の含む藁條本數同數なる時は藁繼段數多きに隨ひ大となる．伸率には大差なし.

(3)　下撚上撚と强さとの關係

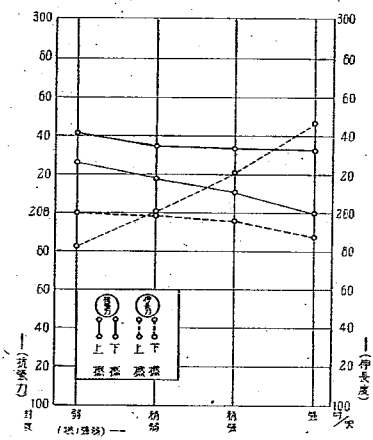
イ　上撚强きもの即ち撚數多きものは否らざるものより弱し．伸率は上撚數多きもの程大.

ロ　上撚數同一にて下撚のみ變へる時は，强きものより弱きものに至るに隨ひ强さ大となる．而して下撚强弱の差よりも上撚强弱の差の方强度に及ぼす影響大である.

圖—3　藁打程度と抗張力との關係



圖—4　撚の强弱と引張强さ竝に伸長度との關係



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	急硬セメントに關する試驗報告	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	瓦斯燈及骸炭爐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) 橋梁用敷板强度試驗(青木,鈴木) 舊庭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	瀝青乳劑及ビチユ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竝に實驗(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) 遲青乳劑試驗成績(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) 大和川筋龜ノ瀨地辷に關する調査(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, 山田耕) 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) 遲青鋪裝切取試驗體の性質(西川, 松本) 道路鋪裝用遲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) 遲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) 國產遲青乳劑試驗成績(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竝に耐震的設計(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) 遲青繼目材試驗成績(西川, 松本) 南洋村カボール竝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) 道路鋪裝用遲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査報告(松尾)		9.12
30	道路鋪裝用遲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) 國道鉄筋鈑桁橋標準設計案(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) 王浦堰堤の湯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) 鋼橋鎔接査壓縮試驗(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
	性に就て(其の1)(島田) 停止波に就て(横田)	
34	瓦斯切斷による削殘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竝に耐震的設計(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) 熔接鈑桁突緣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(第5報)(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,山田耕) 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竝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竝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) 本邦鋼道路橋衝撃係數に關する一考察(小澤) 路面の光反射に關する試驗竝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內部歪分布試驗(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
*40	江戸川河水統制水門下流洗掘に關する水理實驗(青木,横田) 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) 路面の縱及横滑り摩擦抗抵に及ぼす路面種別と其の性狀との影響に就て(島田)	12.12

彙報

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頼試驗 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
4	黃河に關する H. Engels の模型實驗に就て	13. 3

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)

昭和十三年五月二十七日　印　刷
昭和十三年五月三十一日　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