

土木試験所報告

第六十四號

開水路に於ける石炭粒の掃流運搬に 關する實驗報告.....	内務技師 佐藤清一 竹内俊雄	1
天然炭結材に關する調査並びに試験 (長崎縣の分).....	内務技手 松本榮	17
港灣の埋立地に於ける地震の加速度 及周期に關する調査 (第2報完)	内務技師 松尾春雄	41
日本海岸の漂砂に就いて.....	囑託 本間仁	59

昭和十七年二月

内務省土木試験所

土木試験所報告第六十四號正誤表

頁	行	誤	正
41	上カラ 8	震動	振動
43	下カラ12	切る點の	切る點の間
ク	下カラ11	主な間	主な
ク	下カラ10	記録の數	記録の
48	上カラ 1	川崎市埋地	川崎市埋立地
65	上カラ13	直線部は	直線部が
ク	下カラ12	河が洗ひ流される	洲が洗ひ流される

開水路に於ける石炭粒の 掃流運搬に関する實驗報告

内務技師 佐藤 清 一
竹 内 俊 雄

要 旨

本實驗は開水路に於ける固形粒子の掃流運搬に於て、水路の流量、幅、粒子の粒徑の流送率に及ぼす影響を明らかにせんとしたものである。

開水路は矩形断面とし（勾配 1/357）幅 b を 25, 47, 80 cm, 流量を 5~35 l/sec, 石炭の粒徑 d を 2.5~5 mm, 7~10 mm の範圍に變へて實驗せる結果、

$$p = \frac{b}{1000} \left[(35.506 b^{-1.49} + 0.087) - \frac{0.003 b + 0.169}{Q} \right]$$

なる實驗式を得た。

目 次

要 指

I 實驗の目的と方針	佐藤 清 一 (1)
II 流送實驗	竹 内 俊 雄 (3)
[1] 實驗裝置	(3)
[2] 實驗方法	(4)
[3] 現象の觀察	(5)
[4] 實驗觀測値	(7)
III 掃流量	佐藤 清 一 (8)
[1] 流量と單位掃流量	(8)
[2] 流送率	(11)
IV 結 語	佐藤 清 一 (12)

I. 實驗の目的と方針

(佐藤 清 一)

本實驗は開水路による石炭粒の流送の可能性を調査し、その流送率を見出し、之に對する水路の水利學的諸量の影響を明らかにするのが目的である。

元來固形粒子の水送機構に就ては2通りの機構が考へられる。その一つは流水と水路床との剪力に因つて運ばれるもので、此の如き運ばれ方は水路床に沿つて滑動又は轉動、又は多少の跳躍を伴つた轉動であり、斯くの如き流送を掃流運搬と呼ぶ。流れが一定なる場合には比較的粒徑の大なる粒子が掃流運搬される。水送機構の他の一つは流水の渦亂變動に因つて運ばれるもので、粒子は全然水中に浮く。此の様な流送を浮游運搬といふ。

水流は普通管水路に於ては Reynolds 數が約 3000 以上、開水路に於ては約 750 以上になれば渦亂現象なる流

速の不規則變動の生ずる事はよく知られてゐる所である。

此の不規則變動には Prandtl の主張する如く相當の實質部分の混交があるので、之が一原因となりて微細なる固形粒子はその比重水より大なるにも拘はらず水中に浮游の状態におかれ、而も水路断面中に分布せる實質部分の混合作用の爲めに他の部分までも粒子は分布するに至る。此の有様は恰も熱導體中に於ける熱の傳導分布の如くであり、唯固形粒子浮游の場合に於ては垂直下方にのみ獨特の沈降速度、又は沈下現象ある所に於てのみ差異あるものと考へられる。之に關しては、更に稿を改めて専ら此の現象のみについて詳細に論ずる積りである。斯くの如くに固形微粒子は流水のもつ渦亂變動の爲めに水中に浮游擴散するに至り流れの方向にも擴散されるものであるが、更に流れのもつ實質移動（流水、流連）の爲めに之による抵抗によつて粒子を流水の方向に運び去るものである。之が浮游運搬である。

斯くの如くに固形粒子の水流運搬は掃流運搬と浮游運搬とに分けて考へられるが、此の分類は元より判然と分類さるべきものではなく、運搬の際の性質が孰れの範疇に多く屬すかに依つて分けるべきであらう。即ち極めて微細なる粒子のみより河床の成立してゐる場合には此の兩者は全く連續的となり全然分類する事出来なくなるものと考へられ、此の様な場合には河床より水中上方に向つて微細粒子の濃度分布によつてのみ表現する事が出来るであらう。

然るに比較的粗なる粒子が相當量混りたる場合には、微粒子は全く水中に浮くに至るも粗粒子はその重量の浮力より大なる爲め浮游するに至らず、此の如きものは河床を這ふ様にして移動するものと考へられる。

更に、粒子が比較的粗なるもののみなる時は、此の場合の流水の渦亂の度合に對し相對的な事ではあるが、浮力が充分に大ならざる時は悉く運動するものと考へられる。又實際に於てその通りである。

本實驗に於ては此の最後の場合に就て行つたものである。即ち掃流運搬の場合の流況並に流送率の變化を研究したものである。

さて、斯くの如くに固形粒子を水送する爲めには、水路として2通りのものが考へられる。その一つは自由水面を有せざる管水路又は閉水路であり、他の一つは自由水面を有する開水路である。

管水路に於ては断面内全體に或る水壓をうけて流水はその断面内に制限されて流れてゐるのであるから、譬へ孰れかで粒子の堆積する事があつても flush して行く性質を持つてゐるものであり、又渦亂の分布の方面から云つても管軸を中心として略々對稱に變動が分布してゐるものと近似的に考へられるから粒子の擴散には極めて有利なる特性があるものと考へられる。

然るに開水路に於ては、變動の分布に於ても大體管断面の半分に相當するものと考へられるし、又ある一斷面に於て粒子の沈没又は堆積するに至る時は水流は之を乗り越えて流下する性質があるから——常流の場合にはこの爲めに背水となつて之より上流水路の水面勾配は幾分なりとも緩となるに至であらうし、射流の場合には堆積の強大となるに従ひ之を飛び越えて流下するのであるから——極端なる場合を考慮すれば、水は限られた水路側壁を沿流するに至り、結局充分なる流送力を持續する事出来なくなるといふ不利な點がある。

併し乍ら、流送水路としては開水路の方が概して製作に簡單にして費用も少いので、先づ此の種の水路について實驗して之を要すと考へ本實驗に於ては開水路を採用した。

而してその斷面形は可及的單純なものとし矩形とした。即ち之は、流送路の水深、幅の影響を確かめる爲めであり、又斷面形の複雑なる影響を除く爲めでもある。

實際の流送用水路は相當長きものなる事を豫想し、本實驗はその一部たらしめる爲めに次の如き實驗方針をとつた。

- (1) 一實驗は或る一定勾配、一定断面、一定流量について行ふこと。
- (2) 粒子供給の際には、此の爲めの特別な初期渦阻を可及的水流に與へぬ様にする事。
- (3) 粒子は時間的に一様に供給すること。
- (4) 供給の仕方としては種々考へられるが水路上部より投入すること。
- (5) 粒子投入の際に水の表面張力の爲めに粒子が氷表面に浮いて流れる様な事のない様にする事。
- (6) 粒子供給は時間的に漸時多量となし、ある流量につき水路に投入された粒子が全部悉く掃流され水路の途中に堆積の生ずるに至らぬ限界を見出すこと。
- (7) その限界を完全流出限界となし、此の限界流送を暫し續けてその場合の流況を見ること。
- (8) その限界流送の際に水路下流端に於て流出粒子を捕へること。

なる方進をとつた。

茲で一番問題となるものは完全流出の限界があるかどうかといふ事である。此の點に就ては始め豫備實驗を行ひ後述の如く確かに此の限界のあることを確かめた。ただ、多少の初期渦阻の影響もなく水流の完全流送し去る限界状態に於ける流送量を捕へるには水路の始端に於て多少の粒子堆積を生じた頃が最も適當してある事が分つた。何となれば、此の様にする時は水流はそれ自身に特有の掃流力を以て水路始端に堆積し始めた堆積より、自己の運べる丈のものを崩し運び去るであらうからである。従つて以下に於ける實驗は總て此の方進の下に行ふ事とした。

II. 流 送 實 驗

(竹 内 俊 雄)

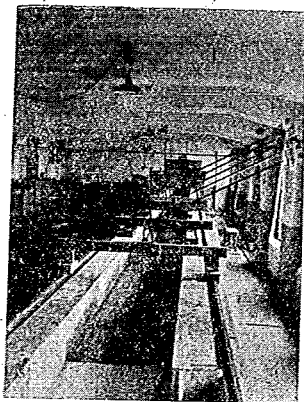
[1] 實 驗 装 置

水路は鋼製試驗槽を用ひた。(彙報第2號)

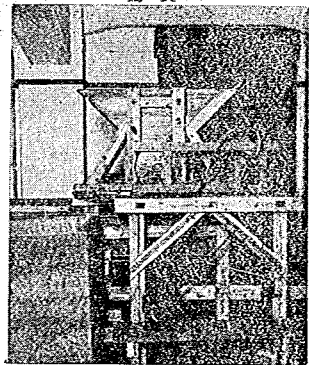
水路・長は21.25 m有るが上流より3 mまでは石炭投入装置を取付けた。水路下流端は低下背水の影響を受けるから上流より17 mまで位を有効と考へた。故に上流3 mより17 mまでの間に於て水深を測定した。尙上流側3 m~6 m位は石炭投入により水面の動揺が著しいから石炭の有る場合には7~15 mに於て水深を測定する事にし水位計は上流より7 m, 9 m, 11 m, 13 m, 15 mの5箇所に取付けた(寫眞-1参照)。

石炭の無い場合には3~17 mまで水深が測定出来るが石炭の有る場合とそろへて同様5箇所で測定した。

水路はジャツキにより勾配を變へ得るも此の場合は一種類の $\frac{1}{357}$ についてのみ



寫 眞-1



寫 眞-2

行つた。

水路の幅は鋼製水路巾80 cmを最大としてそれ以下は水路中にモル

タルブロックを縦に並べて 47 cm, 25 cm の 3 種類を造った。鉛裂水路は底はモルタル敷としたが側面は銅にペンキ塗のままを用いたが幅 47 cm, 25 cm 場合には底、側共にモルタルとなり幅 80 cm の時と條件は多少異なるがその差は Kutter の n にして 0.003 程度であるので計算には同じものとして取扱った。

流量は最大 35 l/sec までしか装置の都合で得られなかつたので 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 l/sec の各場合について測定を行った。

水路の上流 2~3 m の箇所に石炭投入装置を取付けた (写真-2)。

写真に見る倒三角形の箱に石炭を入れ底に在る圓錐形の部分をモーターにより廻轉すると底の石炭が滑つて落下する。其の量は下流側の三角形箱面に取付けた滑戸をハンドルにより上下して粒子落下の斷面積を變へることにより調節した (圖-1)。

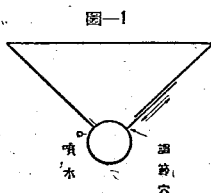


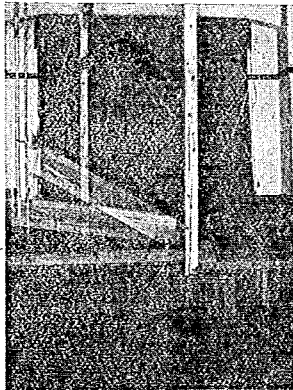
圖-1

石炭は調節穴より落ちるのが大部分であるが落ちきれず圓錐に附着して裏側に廻るものは裏側に有る噴水で落とす様に工夫した。

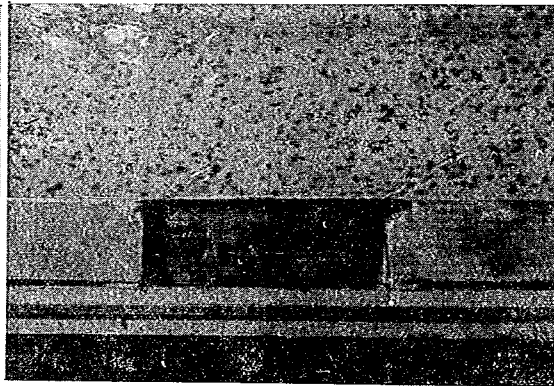
水路の下端に石炭捕取器を置き可動水路を本水路と或る一定時間連絡して流下石炭を捕取した (写真-3)。

捕取器は底及側面に金網を張り石炭のみを捕取して水を直ぐにきれの様な構造として石炭 70 kg を入れる位の容量有り此の範圍の實驗に對して 100 秒間の捕取に對しては充分な大きさである。

寫 眞-3



寫 眞-4



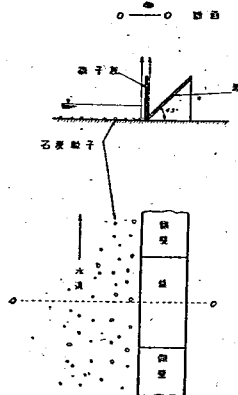
水路に並べたモルタルブロックを一部分削いて其處を硝子張りとして 45° に鏡を當て石炭粒の運動を側方から『も見られる様な装置とした (写真-4, 圖-2)。

〔2〕 實 験 方 法

水路に水を流し各流量に於ける水深を測定した。次に石炭を完全流出の状態になるまで加へ其の状態に於ける水深と石炭流下量を測定した。尚ビーター管を用ひて石炭を流さぬ場合、及、流した場合について流速の分布を測定した。

1) 水 深 測 定

図-2



水位計によつて水位を測定した。水位計の目盛は Vernier によつて $\frac{1}{10}$ まで讀を取る事が出来るので水深は 3 乃至 4 指まで得られる。流量小なる時には水面が穏で水位測定は正確であるが流量大になると不規則な波が立ち或る水位測定地点の水位として波の最大と最小の水位平均をとつた。且又石炭を流す場合には大きい群が水位計の下を通る時にはかなりの動揺が認められた。水位測定點は上流より 2 m 間隔に 7 m, 9 m, 11 m, 13, 15 m の 5 箇所を選んだが此の 5 箇所常に同様な水位傾向を示すとは限らず、之を平均する事により平均水深を求めた。

2) 石炭捕取

流下した石炭は 100 秒間流水と共に石炭捕取器に受け水滴の切れた頃に天秤で秤量した。此の程度で秤量する事は甚だ不確實であるが仕事を連続的に行ふ爲には止むを得ぬものである。石炭を氣乾状態で測定したものと滴がきれる程度のものを測定したものでは約 10 % の水を含む事を知つた。

stop watch で 100 秒測定する際には最初と最後に可動水路を上下する爲めに計約 1 秒位の最大誤差が有るものと考へられる。秤の目盛は 0.2 kg 目盛であるから 50 kg に對しては $\pm \frac{1}{250}$ 程度である。

3) ビト-管による流速分布の測定

ビト-管を用ひて石炭を流す前後に於ける或断面の流速分布を測定した。石炭の有無によつて流速が變化する模様を幅 80 cm にして上流より 9 m の點について測定した。別圖の如くである。

流量 10 l/sec の時には石炭の有無によつて底流速が著しく變化するが流量 25 l/sec の時には大して變化が認められない。

石炭の有る爲に水は上方に逃げてしまふのが目立つてみへる。ビト-管によつて求めたいものは底附近の流速の變化であるが底を流れる石炭が穴を塞ぐ爲に甚だ不正確な値しか得られず目的を満足する事が困難であつた。

[3] 現象の觀察

流量を一定にして石炭を流下する場合の石炭の流送状態を寫眞によつて説明する。

寫眞-5

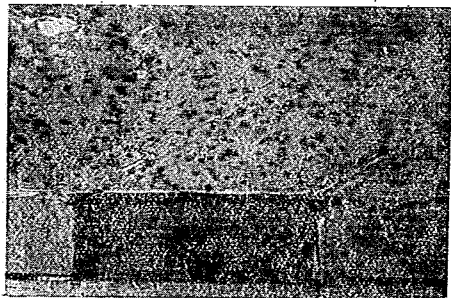


圖-3



(1) 寫眞-5

石炭を僅か加へた場合には石炭粒は寫眞-5 に見る様に離れ離れて流下する。

此の時の石炭の運動を側方の鏡によつて見ると第 3 圖の如く恰も cycloid の如き軌道を畫いて運動して居るのが認められる。即ち跳躍を伴つた轉動である。

(2) 寫眞-6

(1) より更に僅石炭量を増加すると寫眞-6 の様な状態になる。

(1)に於ては、石炭粒は完全に離れ離れであつたものがいくらかづつくつゝいて群り出す。然しながら此の群團は未だ小さく完全に動いて居る。

此の状態は長い時間連続しても遂に動かない沈澱を生じ堆積を生ずるには至らない安定な状態であり、此の邊を完全流出限界の状態と考へた。

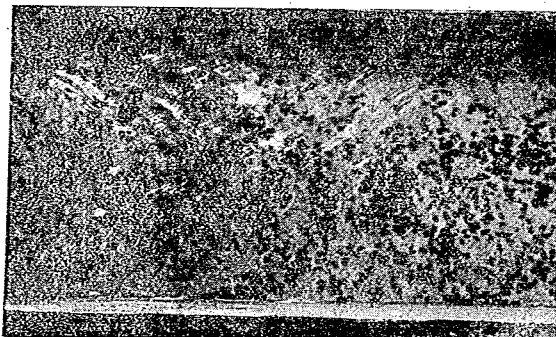
(3) 寫眞-7

更に石炭量を増加すると寫眞-7の様になる。群團は大きくなり逆に

石炭の無い大きい穴みたいな場所が出来るのがみられる。然し流速の大きい時には穴は割合に目立たない。群團は此の大きになると時々停滯するに至り更に大きくなる傾向に在る。此の頃には石炭を加へて居る上流部分では

堆積した沈澱が大きくなりつゝある。

寫 眞-7



(4) 寫眞-8

石炭量を更に増加すると寫眞-8の様になる。群團は底を匍ふ様にして移動するが益々停滯する様になる。此の状態は極めて不安定で形成された堆積沈澱は各々その先部が流速でけづられ後部は益々堆積を増す。堆積沈澱上を流下するものは少いのであるが堆積は押されてくづれる様にして移動する。

此の状態では甚だ不安定であり堆積は愈々大となる傾向がある堆積が一面に水路を覆へば底を流れるものは河川に於ける砂礫の流下と同じ様に石炭上を石炭が流れることとなりコンクリート床上を石炭が流れるよりも減少する事は明である。

(5) 要 約

以上の現象を要約すれば次の様になる。

石炭の増加によつて (1), (2), (3), (4) の経過をたどる。加へた石炭量と流下石炭量との関係は次の様になる。

即ち石炭の供給を増加してゆけば最大完全流出限界が有り、これ以上に供給を増しても一時はこの限界以上に流れる様に見へるが間もなく沈澱がのび

て一面に堆積沈澱するに至り、更に供給量を増す時は堆積の上を粒子が流れることとなり前述の限界流出量の約

寫 眞-6

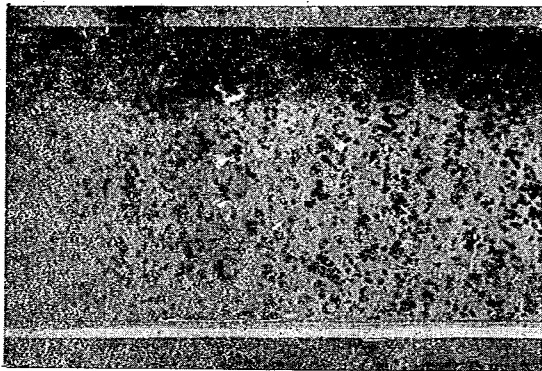
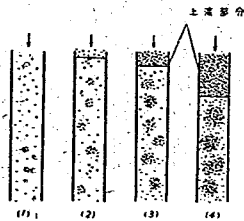
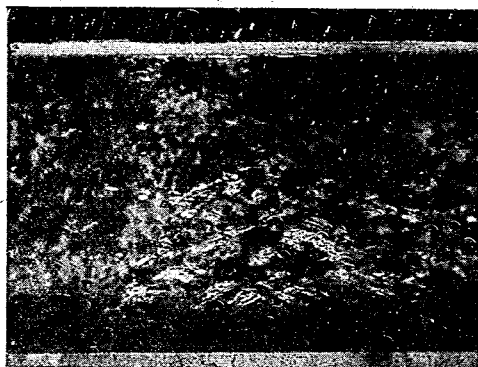


圖-4



寫眞—8



るので水深は一定でも水位は増加し開水路に於ては遂には流水が溢れる恐れが有り最大完全流出限界以上に加へる事は不可といふ事になる。

〔4〕 実験観測値

水深の測定は前述の如く水面測定器で5ヶ所で測定し、幅は3種類、石炭粒径は2種類、及び石炭の有る場合と無い場合に於ける水深を調べて石炭粒子ある場合の水深変化率を求めた。又限界水深を計算により求め参考とした。

石炭流下量については $d=2.5\sim 5\text{ mm}$ の二種類について $b=25$ 及 80 cm の場合の種々なる流量に就て測定した。次に $d=7\sim 10$ 、 $b=47$ の場合に限界掃流量と石炭を底に敷いて流量を變へた時に掃流される量とを比較した。

次表についての記號は

表—1

	Q	石炭なし		$b=2.5\sim 5.0$						$b=7\sim 10$				底敷流送			
		h_c	h'	h	h/h'	w	w_0	h	h/h'	w	w_0	h	h/h'	w	w_0		
$b=25$	5	3.51	4.13	4.69	1.14	41	1.64	4.63	1.12	44	1.74						
	10	5.64	6.18	6.62	1.07	86	3.44	6.82	1.10	95	3.80						
	15	7.39	7.96	8.39	1.05	118	4.72	8.68	1.09	138	5.62						
	20	8.95	9.90	—	—	—	—	10.62	1.07	185	7.40						
	25	10.38	11.64	12.31	1.06	169	6.76	12.34	1.06	238	9.52						
	30	11.73	13.00	13.25	1.02	218	8.72	13.98	1.08	283	11.32						
	35	12.93	14.11	15.04	1.07	318	12.72	—	—	—	—						
$b=47$	10	3.70	3.97					4.61	1.16	83	1.77	5.16	1.30	57	1.21		
	15	4.85	5.15					5.87	1.14	134	2.85	6.65	1.29	102	2.17		
	20	5.88	6.32					6.83	1.08	172	3.06	8.03	1.27	137	2.91		
	25	6.81	7.16					7.71	1.08	221	4.70	9.27	1.29	171	3.64		
	30	7.70	8.24					8.03	1.03	273	5.80	10.31	1.24	199	4.23		
$b=80$	10	2.59	2.99	3.26	1.09	76	0.95	3.23	1.08	79	0.98						
	15	3.40	3.56	4.24	1.09	132	1.65	4.04	1.13	131	1.64						
	20	4.12	4.41	4.86	1.10	183	2.29	5.01	1.14	200	2.50						
	25	4.78	4.86	5.73	1.18	255	3.19	5.71	1.17	256	3.20						
	30	5.39	5.07	6.41	1.26	300	3.75	6.21	1.22	288	3.60						
	35	5.96	5.64	6.87	1.22	350	4.38	6.80	1.21	359	4.49						

Q = 流量 (l/sec)

b = 水路幅 (cm)

h' = 粒子なき場合の水深 (cm)

h'_c = 粒子なき場合の限界水深

h = 最大完全流出の場合の水深 (cm)

d = 石炭粒子の平均粒径 (mm)

w = 石炭の流送量 (gr/sec)

w_0 = 水路単位幅當りの石炭の流送量 (gr/sec/cm)

III. 掃 流 量

(佐藤清一)

[1] 流量と単位掃流量

前掲の表-1 に従つて先づ全流量 Q と、水路幅 b と石炭粒子の水路単位幅に対する最大完全流出量との関係を全く實驗的に求めることとする。

横軸に全流量 Q をとり、縦軸に石炭粒子の流出量 (嚴格には最大完全流出量といはねばなるまいが、以下に於ては簡単のため單に流出量又は掃流量と呼ぶ事とする) w をとつて、粒径 $d=2.5\sim 5$ mm 及び $d=7\sim 10$ mm, $b=25, 47, 80$ cm の場合を區別して圖に plot してみるに圖-6 の如く、之のみを以てしては直ちに Q と w の間に如何なる關係が存在するかを見出すには困難である。然るに之を横軸に Q を縦軸に單位掃流量 w_0 をとつて plot してみると、茲に極めて美麗なる關係が現はれて来る。

(圖-7)

此の圖を見るに直ちに次の事が知られる

- (1) w_0 と Q とは直線的關係を有する
- (2) 各直線に於て粒径に依る差異が全然認められない。

- (3) 之等の直線の傾きは水路幅の大なる程大となる。

此の中、第 (2) の、流出量を重量で測定する時は粒径の大小に依る本質的差異が現はれて來ない事は少くとも掃流運搬に於ては特に注目すべき事と思はれる。依つて以下に於ては粒径の差異を考慮せず整理を進めて行く事とする。

尚ほ以上の關係をみるに當り $b=25$ cm, $d=2.5\sim 5$ mm の場合の $Q=25$ l, $Q=30$ l なる流量に相當する2點は著しく此の直線より外れてをり不適當と認めたので整理上は省く事にした。

そこで、圖-7に従つて

圖-6

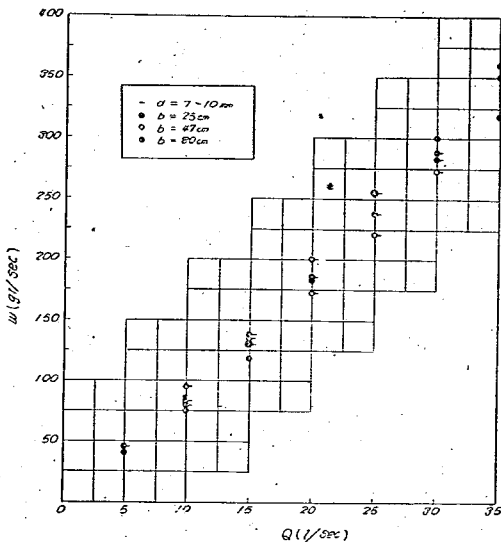
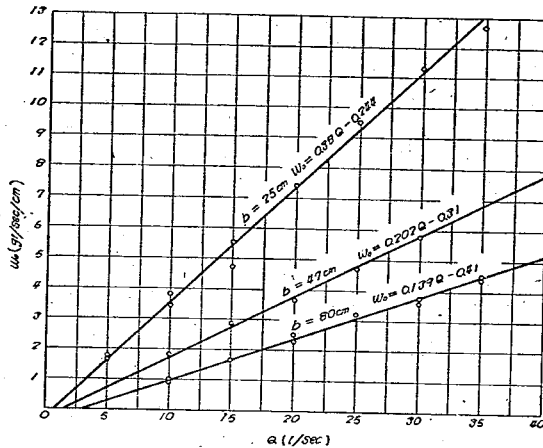


圖-7



$$w_0 = \alpha Q + \beta$$

として各場合の関係を最小自乗法により求むるに

$$\left. \begin{aligned} b=25 \quad w_0 &= 0.378Q - 0.244 \\ b=47 \quad w_0 &= 0.198Q - 0.204 \\ b=80 \quad w_0 &= 0.139Q - 0.410 \end{aligned} \right\} (1)$$

なる関係式を得た。茲に β なる項を考へたのは、夫々の場合（水路幅の異つた水路）に於て水路内の石炭粒子は或る夫々一定の流量となるまで、即ち夫々或る一定の掃流量となるまで移動を開始せぬものである爲めに考へた項である。

斯くの如くして得たる3本の式の α β なる係数は水路幅 b に對して如何

に變化するものであらうか。之を明らかにする爲めに圖-8を作つてみた。之を見るに、 b に對し α は或る規則性を以て變化してゐるにも拘はらず、 β の方は極めて不規則性の如くに見える。即ち $b=47$ に對する點丈特に下つてゐる。併し乍ら此の β の性質を考へてみ

るに、之は前述の如き意味をもつものであるから、 b の漸變と共に一方向に漸變すべきものであるし、又圖-7によつてみて直ちに知れる如く β の値に多少の變化はあつても直線全體の傾きには殆ど關係しない事が分る。又之等3種の實驗の中 $b=25, 80$ の2つの場合は d について夫々2種の實驗を行つたのであるが、 $b=47$ の場合のみは d については一種類 ($d=7-10$) しか實驗を行つてゐない。

そこで $b=25, 80$ の2つの場合に重きをおき、更に上述の如き理由によつて $b=47$ に相當する β の點を多少變更して $b=25, 80$ の場合の β の値を連ねる直線におく様にした。即ち β と b との關係を

$$\beta = -0.003b - 0.169 \dots\dots\dots (2)$$

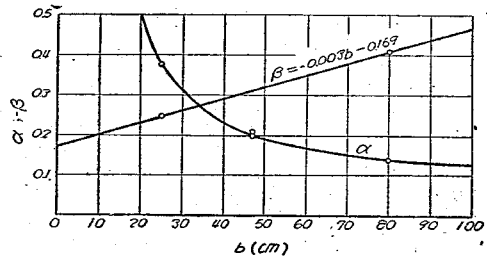
と定める事にした。

此の様に β の一つを變更した場合には果して α に如何なる變化が起るであらうか。之を求める爲めに (2) 式を基として更に $w_0 = \alpha Q + \beta$ に従つて最少自乗法をやり直せば α は次の如くに定つた。

$$\left. \begin{aligned} b=25 \quad w_0 &= 0.378Q - 0.244 \\ b=47 \quad w_0 &= 0.203Q - 0.310 \\ b=80 \quad w_0 &= 0.139Q - 0.410 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

即ち

圖-8



b	α	β
25	0.378	-0.244
47	0.203	-0.310
84	0.139	-0.410

之を圖示すれば圖-11 の如く α には殆ど變化は見られない。即ち直線の傾きは殆ど變化しない。そこで $w_0 = \alpha Q + \beta$ なる法則に當はまるとした場合の3種の場合の夫々の表示式として(3)式を採用する事とした。

之で β と b との関係は定つたのであるが、次に α は b と如何なる関係を有するものであらうか。そこで先づ圖-9 を見るに α と b との間には

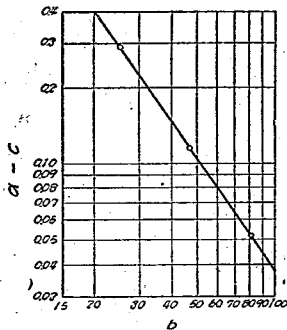
$$\alpha = Ab^H + c \dots\dots\dots (4)$$

なる関係のある事が想像される。そこで c を決定する爲めに $b_1=25$, $b_2=80$ として $b_3 = \sqrt{b_1 b_2} = 44.72$ を求め、之に相當する α_3 を圖により讀取れば $\alpha_3 = 0.210$ となる。

$$\therefore c = \frac{\alpha_1 \alpha_2 - \alpha_3^2}{\alpha_1 + \alpha_2 - 2\alpha_3} = 0.087$$

となる。そこで(4)の関係を對數圖に畫けば圖-12 の如く全く直線的となり(4)式なる関係の成立する事が分

圖-10



れる。(4)に於ける係数 A , B を最少自乗法によつて定むれば $A = 35.506$, $B = -1.49$ とになり、

$$\alpha = 35.506 b^{-1.49} + 0.087$$

なる限界を得る。

従つて結局 w_0 と Q とは

$$w_0 = (35.506 b^{-1.49} + 0.087) Q - (0.003 b + 0.169) \dots\dots\dots (A)$$

なる関係の存在する事が分る。

圖-9

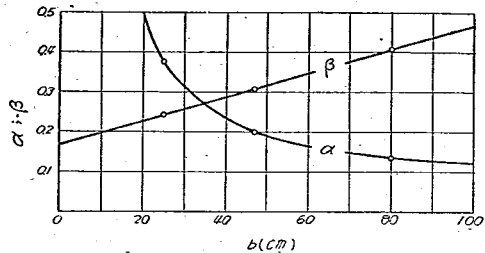
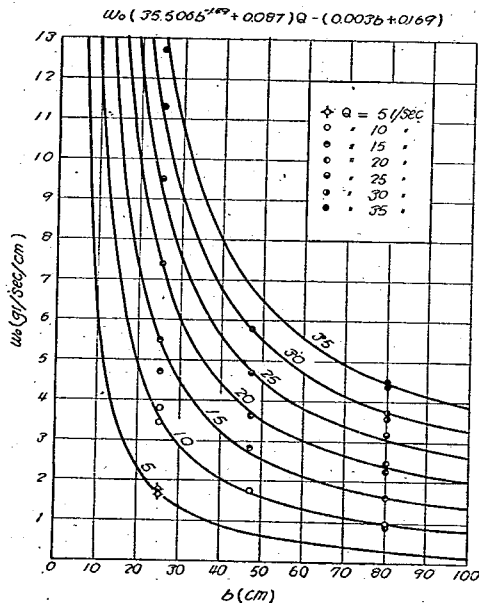


圖-11



此の関係を、横軸に b をとり、縦軸に w_0 をとつて各流量 Q について曲線を畫けば圖-11 の如く観測點とも極めてよく一致し、(A) なる式は本實驗に於て観測せる所の現象を最も忠實に實驗的に表現してゐるものと云ふ事が出来る。

[2] 流 送 率

前掲の観測値によりて流送率を計算すれば次表-2 の如くである。之を見て分る如く流送率は此の實驗の範圍では案外少い。之は次の理由によるものと考へられる。

表-2 流 送 率 p (%)

$b=25$			$b=47$			$b=80$		
Q	w	$10p$	Q	w	$10p$	Q	w	$10p$
5	41	8.2	10	83	8.3	10	76	7.6
10	86	8.6	15	134	8.93	15	132	8.8
15	118	7.87	20	172	8.6	20	183	9.15
35	318	9.09	25	221	8.84	25	255	10.2
5	44	8.8	30	273	9.1	30	300	10.0
10	95	9.5				35	350	10.0
15	138	9.2				10	79	7.9
20	185	9.25				15	131	8.73
25	233	9.52				20	200	10.0
30	283	9.43				25	256	10.24
						30	228	9.6
						35	359	10.26

(1) 水路勾配が緩ること (此の實驗に於ては前述の如く $1/357$ であつた)。

(2) 粒子の比較的大なこと。従つて運動が掃流運動に止り、水流中の渦流變動を充分に利用してゐないこと。

(3) 流量の小さいこと。

等の理由が考へられる。

前節に於ては w_0 と Q との関係を實驗的に求めたが、此の關係式 (A) から流送率 p と流量 Q と水路幅 b との關係が導き出される。即ち

$$p = \frac{w}{Q} \dots\dots\dots (5)$$

であるから (A) 式の兩邊に $\frac{b}{Q}$ を掛ける時は次の關係式を得る。

$$p = b[(35.506 b^{-1.49} + 0.087) - (0.003 b + 0.169) Q^{-1}] \quad \left(p = \frac{gr}{l}\right)$$

或は

$$p = \frac{b}{1000} \left[(35.506 b^{-1.49} + 0.087) - \frac{(0.003 b + 0.169)}{Q} \right] \dots\dots\dots (B)$$

茲に p は %, b は cm, Q は l/sec 單位である。

之を圖示すれば圖-12 の如く、相當大なる流量が與へられ、矩形水路を以て流送せんとする時は水路幅 b の増すに従つて略々直線的に流送率は増加する事が分る。

曲線が全部縦軸に無限大で切線となつてゐるのは次の事の爲めである。

此の圖は或る一定の流量 Q を與へた場合、矩形水路の幅 b を變へた場合に流速率が如何に變化すべきものなるかを表はす圖であるから、極端の場合を考へ、水路幅が零即ち $b=0$ の場合を考へるに、此の場合に於てもある一定流量 Q の流れる場合を考へてゐるので速度は無量大とならざるべからざる事となり、従つて流速率も無量大の傾向をとるものであらう。實際は $b=0$ となれば流量は無くなる筈であるから、 b の範圍としては(1)式 $w_0 = aQ + \beta$ に於て $w_0=0$ とおいた時の b の値を限界として之より小なる b に對しては圖-12の曲線は適用すべきものではないのである。

IV. 結 語 (佐藤)

以上述べ來たりたる所を要約すれば次の如くである。

- (1) 固形粒子の水流による運搬は水流と底面との剪力による掃流運搬と、水流中の渦阻變動に因る浮游運搬とに大別して考へる事が出来る。粒子の重さが水流の流速の力に對して大となるに従ひ前者の傾分が増加する。
- (2) 本實驗に於ては専ら掃流運搬の場合を取扱ひ、水路は開水路となし、斷面形状は形の爲めの複雑なる影響を無くし水深、水路幅の影響を明らかにする爲めに矩形とした。
- (3) 水路の勾配は先づ $\frac{1}{357}$ 一種類とし、水路幅は25 cm, 47 cm, 80 cm の3種類、流量は5 l/sec より35 l/sec の7種類、粒徑は2.5~5 mm, 7~10 mm の2種類について行つた。之に用ひた石炭の比重は約1.4であつた。
- (4) 水路の流量を一定にして之に供給する石炭の量を漸次増加して行けば、水路末端に於ける石炭の流出量は漸次増加するがやがて水路を掃流される石炭粒子に群衆が發達し、之は極めて不安定にして間もなく水路中に停滯する様になり石炭粒子の上を石炭粒子が掃流されるに至り、粒子の流出量は却つて減少するに至る。此の不安定になる前の流速状態を以て最大完全流出限界となし此の状態に於て流速量の測定を行つた。
- (5) 上述の不安定後の流速状態は再び比較的稳定なものとなり、粒子上を粒子の流速される事となる爲め粒子の流出量は減少する。之を明らかにする爲め $b=47$ cm, $d=7\sim 10$ mm の場合について、豫め水路の底は石炭の粒子を敷いておいて各流量に對する石炭粒子の流出量を捕へたが、圖-13に示す如く明らかに投入の場合の流出量に比して少く、前者の流量は後者の流出量に比して約 $\frac{3}{4}$ となつた。之は投入の場合には流速される粒子は一層にして石炭粒子がモルタル面を轉動するに反し、底敷の場合には石炭粒子が石炭粒子の上を轉動する故、摩擦抵抗が増加する爲めみられる。

圖-12

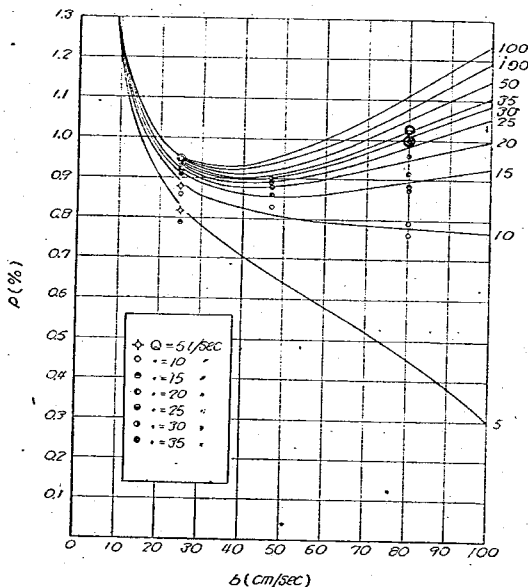


圖-13

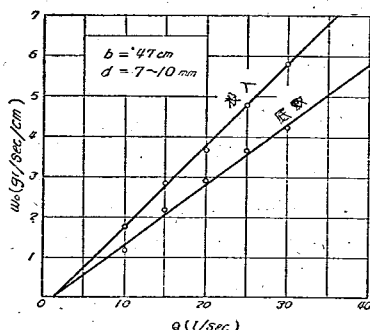
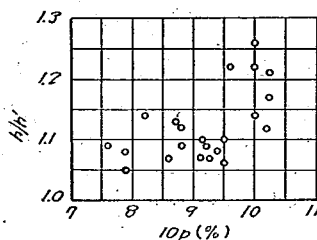


圖-14



(6) 開水路に於ては、水が流れにくい場合には最も流れ易い、礫に障害を逃げて流れる性質が著しいので、水路に粒子を投入すると水深は粒子の無い場合に比較して上昇する傾向があつた。その上昇率 h/k は実験として最も信じらる $b=25$ と $b=80$ の場合をとつて観察するに表-3及び圖-14の如く、本實驗中最小は1.05

表-3

$b=25$			$b=80$		
Q	$10p$	h/k	Q	$10p$	h/k
5	8.2	1.14	10	7.6	1.09
10	8.6	1.07	15	8.8	1.09
15	7.87	1.05	20	9.15	1.10
35	9.09	1.07	25	10.2	1.18
5	8.8	1.12	30	10.0	1.26
10	9.5	1.10	35	10.0	1.22
15	9.2	1.09	10	7.9	1.08
20	9.25	1.07	15	8.73	1.13
25	9.52	1.06	20	10.0	1.14
30	9.43	1.08	25	10.24	1.17
			30	9.6	1.22
			35	10.26	1.21

より最大は1.26まで變化し、流速率増大と共に増大する傾向がある。

(7) 流量と単位流出量とは次の如き關係が認められた。

- (a) w_0 と Q とは直線的關係を有する。
- (b) w_0 と Q との各關係に於ては粒径による差異が認められない。茲に w_0 は gr/sec/cm.
- (c) 之等の直線の傾きは水路幅の大なる程大となる。

(8) 本實驗に於ては w_0 と Q と b との間には次の如き關係式が得られた。

$$w_0 = (35.506 b^{-1.19} + 0.087) Q \\ - (0.003 b + 0.169)$$

之は圖-11に從つて明らかなる如く、上式は本實驗の結果を最も忠實に表現してゐるものである事を知る。

(9) 流速率は豫期したよりも少なかつた。その理由として次の事が考へられる。

- (a) 水路勾配が緩であつたこと (本實驗に於ては前述の如く $1/357$ であつた)。
 - (b) 開水路なる故水は抵抗を逃げて樂な流れ方をしようとする傾向が強く、水位上昇により水は上に逃げること。
 - (c) 粒子の比較的大なること ($d=2.5 \sim 5$ mm, $d=7 \sim 10$ mm)。從つて運搬が掃流運搬に止り、水流中の渦流運動を充分に利用してゐないこと。
 - (d) 流量の比較的小さいこと。
- (10) 流速率は次式で表はす事が出来た。

$$p = \frac{b}{1000} \left[(35.506 b^{-1.19} + 0.037) - \frac{0.003 b + 0.169}{Q} \right]$$

p = 流送率 (%)

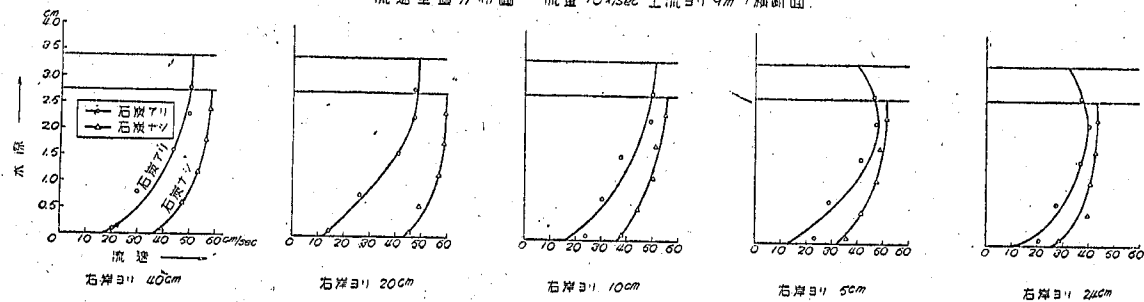
b = 水路幅 (cm)

Q = 流量 (l/sec)

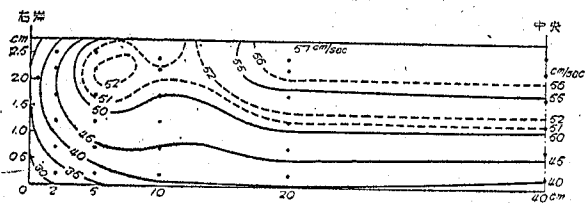
即ち流送用水路を作るに當り、 Q が與へられて居れば、斷面を矩形とする時は之に與へた幅によつて大體の掃流流送量が分る。而して本實驗によれば大體 $Q=15$ l/sec 以上の流量に對しては、水路幅 b の増大に従ひ略々直線的に流送率は増大する傾向のある事が分つた。

併し乍ら、本實驗に於ては最大 $b=80$ cm までの實驗であるが此結果は相當直線的であるから更に幾分大なるものまでにも適用し得べくその範圍は $b=100$ cm 位までと考へる。(16. 8. 30)

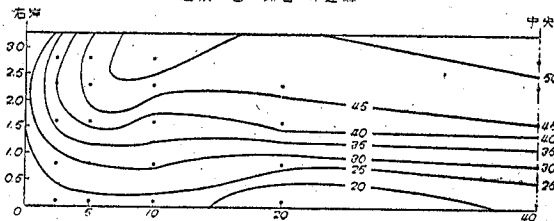
流速垂直分布圖 流量 10 l/sec 上流ヨリ 9m / 横断面

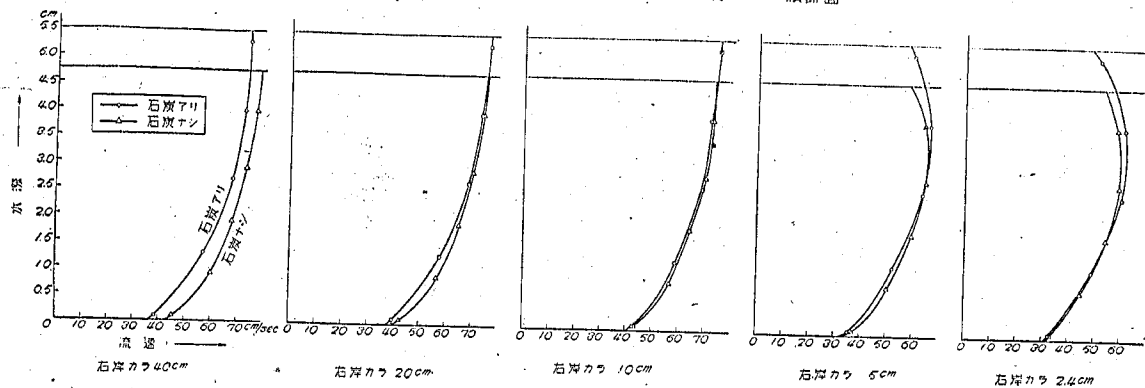


石炭ヲ含マサル場合ノ等速線

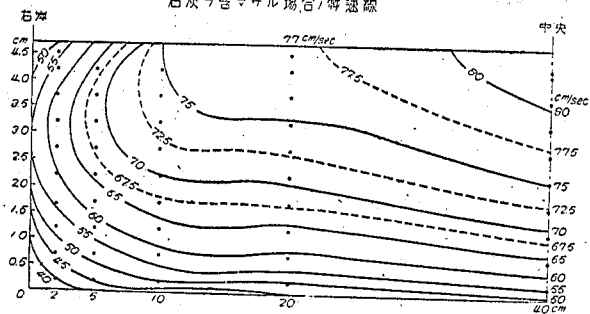


石炭ヲ含ム場合ノ等速線

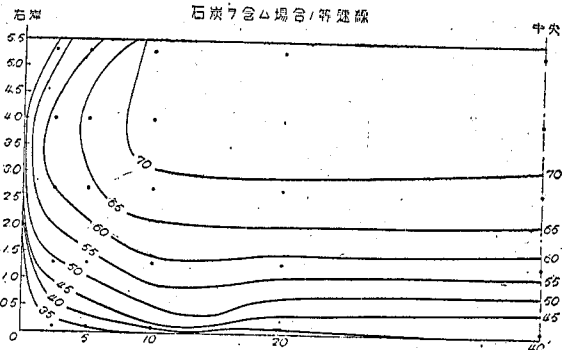


流速分布図 流量 254.3 sec 上流 31.9 m 横断面

石炭7割マザル場合/等速線



石炭7割ム場合/等速線



天然凝結材に関する調査並びに試験

(長崎縣の分)

内務技手 松 本 榮

目 次

I 概 説	(1)
II 産地及び産状	(2)
III 成分及び性質	(7)
IV 利用状況	(12)
V 天川凝結土工法	(18)
VI 石灰混合物の性質	(19)
VII 結 言	(22)

I 概 説

長崎縣下、特に長崎市附近には、古くから天川凝結土、天川凝結土等と呼ばれる一種の敷き工法が行われてゐる。これは、俗に天川粘土といふ或る種の粘土質土壤に石灰を加へて二和土の配合（天川凝結土）となし、或は更に砂、砂利、碎石等を加へて三和土の配合（天川凝結土）となしたるものを、この地方獨特の混捏法により水を以て煉合せてモルタル又はコンクリート混合物となし、木蟬或は木槌の類を用ひて充分突固め、所要の工作物に仕上げる工法である。

現時の土木施工法に較べれば、極めて幼稚で煩瑣な工法であるが、この地方では古くから、家屋の土間、井戸側、水流し、泉水池、石塀、肥料溜その他の築造に必要缺くべからざる工事材料となつてゐたばかりでなく、石橋、石垣をはじめ種々の石積み工事の目地及び裏込め、鋪石道（板石道）の目地及び褥層、木橋々面の鋪装、下水及び側溝等、各種の土木工事にひろく利用されてゐたのである。

天川粘土は、玄武岩或はこれに類似した鹽基性岩石の風化による分解生成物であつて、玄武土の一種に屬するものと考へられる。玄武土の成分、性状は原岩石の性質風化の程度等によつて異り、必ずしも一定でない。風化の進んだものは、造岩礦物の殆んどすべてが完全に分解して雑色の粘土質土壤をなしてゐる。風化の甚だしからざるものにあつては、一見粗鬆な砂質粘土状乃至は砂礫状をなし、造岩礦物の一部は未だ充分分解せずして原形を保持してゐる場合もある。その色は淡紫赤色、赤褐色、淡赤灰色、灰色等にわたつて種々あるが、長崎縣下で最も普通に見られるのは、淡紫赤色又は赤褐色である。

九州地方、特に佐賀、長崎の兩縣下には玄武岩の分布極めて多く、分布地帯にはその分解生成物たる天川粘土即ち玄武土の豊富な賦存が見られる。従つて數百年の古い昔から、これが凝結材として可成り廣範圍に利用されてゐたのも極めて當然で、現に玄武土を使用した往時の土木建築工作物が縣内各地に多數遺されてゐる。

然るに現在では、ポルトランド・セメントの目覺ましい發達普及に壓倒されて全く昔日の面影を失ひ、ただ僅

かに長崎市附近その他で局所的に、古來の習慣に従つて小規模の工事に利用してゐるに過ぎない状態にある。

玄武土は、これを石灰と混合して凝結材として利用する外、セメントの混和材として廣く土木建築工事に使用する。現在では前者の目的に利用するよりも、寧ろ混和材として利用する場合の方が多く、九州火山灰、唐津火山灰等と稱して市場にあるのは何れもこれである。その生産地は主として佐賀縣東松浦郡唐津町、呼子町等の附近であつて、長崎縣内には現在その生産を営むものが見られない。

長崎縣には、玄武土の外に火山活動時の拋出物たる火山灰、火山砂、火山礫等の風化したものを凝結材として利用した例があるやうに傳へられてゐる。五島列島の福江島に産する鬼岳の火山礫、島原半島雲仙岳山麓の火山灰等がそれであるが、これも亦玄武土と同様、現在では捨て、顧られぬ状態にある。

本報告は昭和15年6月18日より同月24日に至る7日間を以て、長崎縣内各地に於ける玄武土、火山拋出物等の産地、産狀、利用狀態等に就き調査した結果及び調査の際に採取した試料に就て行つた試験結果の一部を蒐録したものである。

周知のやうに、長崎縣下には長崎市附近、佐世保市附近、對馬附近の如く軍事上、重要な地域が多い關係で、調査に當つて地形、地質等に關する詳細な資料の蒐集不可能なところもあり、又殊更詳述を避ける必要なども考へられたので、地形、地質等に關する記載事項中には、幾分抽象的に過ぎるやうな箇所を残さねばならなかつた。なほ本調査は、比較的短時日の間に可成り廣い範圍の地域に亘つて行つたため、部分的には調査漏れや調査不充分を免かれなかつたやうに思はれるが、これに對しては後日、補遺訂正の機會あることと考へてゐる。

調査の際に縣内各地で採取した各種の試料に對しては、必要の試験を實施中である。本報告に引用したのは、玄武土及び火山拋出物の成分、性質等に關する試験結果であつて、石灰混合物の強度試験その他は後日發表する豫定である。

本調査に當つては、内務省長崎國道改良事務所、長崎縣經濟部土木課及び長崎、福江、平戸各土木管區事務所等の關係者各位より多大の便宜に與り、又學術振興會第33小委員會より援助を仰ぐことが出来た。記して以て深謝の意を表する次第である。

Ⅱ 産 地 及 び 産 狀

長崎縣は、圖-1に示すやうに、大部分の地域が火山岩地よりなり、これに入り組んで古生層、中生層、第三紀層等よりなる水成岩地が僅かに見られる程度であつて、その大部分は甚だしく高峻ならざる山地を形成してゐる。従つて平地は極めて少く、海岸又は河川に沿つて、ところどころに狭小な沖積層の平地を見るくらゐである。

火山岩地の多くは安山岩、粗面岩、玄武岩等の鹽基性噴出岩よりなり、花崗岩の如き深成岩の分布は、僅少な一部分の地域に限られてゐる。

玄武岩は縣内各地域に亘り廣域を傾してゐるが、その多くは中生層或は第三紀層を被覆して賦存するものゝ如くである。

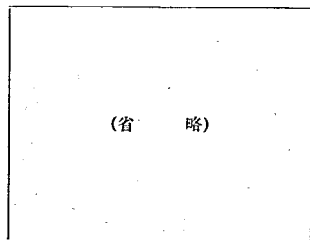
現在活動中の火山は數いかに、白山火山脈又は阿蘇火山脈に屬する休止火山は、本土部及び島嶼部の各地に多數點在する。

玄武土及び火山拋出物に就き、産地の地質、賦存狀態、産出狀態等を地域別に略述すれば以下の如くである。

(1) 長崎市及び西彼杵郡

西彼杵郡は長崎縣本土部の南に位し、西彼杵半島及び長崎半島

圖-1 長崎縣地質概要圖



(野母半島)の全てを管轄する。長崎市は兩半島の相交る基部の西側に位する。

長崎半島は八郎房地壘と二ノ房地壘とよりなる狭長な半島で、地質は大部分が結晶片岩であつて、玄武岩その他噴出岩の分布は極めて少い。

西彼杵半島は、半島の線に斜交する數箇の地壘によつて構成せられる。地壘の多くは結晶片岩よりなるが、半島北端の虚空藏山(323 m)を中心とする地域一帯は玄武岩よりなり、更に半島内には、結晶片岩に相接して地表に露出した玄武岩の山地を隨處に見ることが出来る。

兩半島の交會する基部、即ち長崎市の北方より北東方に亘る山地一帯は、概ね低い火山岩地をなし 300~400 m のトロイダ丘陵が起伏してゐる。地質は稍複雑で、輝石安山岩、石英粗面岩、玄武岩等の分布を隨處に見る外、一部には第三紀層も露はれてゐる。

本地域に於ける玄武土及び火山抛出物の産地に就き説明すれば次の如くである。

(i) 長崎市小島

長崎市附近で、天川粘土と稱して古くから二和土又は三和土の凝結材に使用してゐる粘土質土壌は、市の東部から南東部にかけて起伏してゐる丘陵の中腹乃至頂上附近から採掘するものであるが、中でも東部の小島附近に産出する粘土は特に有名である。

小島附近の丘陵は既に大部分開墾されて、多くは階段狀の畑地をなし、表土は厚さ 30~100 cm の幾分褐色を帯びた暗灰色の土壤で、その性質は概ね農耕に適すといふ。

天川粘土は表土の下位にあり、小豆色又は赤褐色の重粘な粘土状態をなして存在する。天川粘土層の厚さ、埋藏量に就ては、未だ詳細な調査はないやうであるが、小島附近に於ける表土の性質及び外狀、現採掘箇所の地勢的條件等の四圍の狀況から総合すると、本地域一帯には天川粘土の極めて豊富な埋存が推定せられるのである。

小島に於て現在、天川粘土の採掘業を営みつゝあるものゝ談によると、良質の天川粘土は小豆色又はチョコレート色をなし、主として丘陵の頂上附近に産すといふ。中腹以下に産するものは、その色一般に淡く且つ粘着性に乏しきため、良質とは稱し難いといはれる。

小島産天川粘土 1 立坪の長崎市内に於ける價格は、採掘費、運搬費その他を含め、現在凡そ 20 圓であるといふ。

(ii) 長崎市上長崎三丁目

上長崎三丁目は長崎市の東側、日見峠の西側に位する。

この附近の丘陵に産する赤褐色の土も亦、同様に天川粘土といはれ、従來附近の民家に於て採掘、利用したといふ。小島産のものに比し分解稍不充分で粗粒に富むため、品質遙かに劣るといはれる。

なほ長崎市の東郊、西彼杵郡日見村の長崎縣營採石場附近に産する黄褐色の粘土質土壌は、天川粘土とその性質は稍異なるが、同様の目的に利用し得るものであつて、長崎土木管區事務所では、これを同郡矢上村の矢上橋々而舗装工事に利用し好成績を収めたといふ。

(iii) 西彼杵半島

西彼杵郡の中、長崎半島に含まれる地域内には、玄武土又は火山抛出物等の存在は殆んど見られないが、西彼杵半島に含まれる地域内には、長浦村その他の各地に玄武土の賦存することが報告されてゐる。

玄武土産地附近の民家では、古くからこれを採掘して石積みの目地材料、堆肥場の築造等に利用し、又土木工事材料としては木樁々面の舗装材料等に利用した由であるが、何れも地方的材料として局所的に利用したに過ぎず、これを他の地方に移出したやうな例はない。賦存區域、賦存狀態等に就ても未だ詳しい調査はないやうであ

る。

(2) 南高来郡

南高来郡は島原半島の全域を占め、東は有明海、西は千々石灘に面し、南は早崎海峡を距て、熊本縣天草島に相對す。

半島の略中央に雲仙火山群が聳える。主峰は普賢岳 (1360 m) で、妙見岳、國見岳、野岳、高岩山等がこれに屬し、若いトロイデ火山である。

雲仙岳火山群を構成する岩石は、主として輝石安山岩、角閃安山岩、玄武岩及び石英斑岩である。裾野は一部に斷層及び解折をうけてゐるが、大體原形を保持して居り、中腹乃至裾野にかけては火山活動時の拋出物たる火山灰によつて被はれてゐる地域が極めて多い。

雲仙岳の南部、即ち島原半島の南端部一帯は、海拔 100~200 m の第三紀層よりなる高原性丘陵をなし、更にこれを貫いて隨處に輝石安山岩、玄武岩等が噴出して熔岩台地を形成してゐる。

この地方で從來建築材に利用したものは、雲仙岳の裾野に堆積した火山拋出物である。雲仙火山灰と稱したのがそれで、火山灰の性質は産地によつて幾分異なるが、普通は黄褐色乃至赤褐色の砂質又は粘土質の土壤をなしてゐる。

火山灰の分布は、雲仙岳四圍の中腹乃至裾野一帯に及んでゐるが、特に北及び南の斜面に廣域を領するものゝ如くである。主として厚さ 1~3 m の黄褐色の表土の下位に賦存し、時には巨大な安山岩、石英斑岩又は玄武岩の岩塊を混交する。

混交せる岩塊の種類、火山本體を構成する岩石の種類等から推測すると、この火山灰が礫基性岩石の拋出物であることは間違ひないが、それが果して安山岩質か或は玄武岩質であるかに就ては、未だ判然せぬ點が多い。

古くは、これに石灰を混和して二和土又は三和土となしセメントと同一目的に利用したと傳へられ、更に明治年間に至つては、これをセメント混和材に利用して島原町附近の漁港修築工事 (主として防波堤、護岸等の石積み目地) を行ひ、好成績を収めたといふことである。

(3) 北高来郡

北高来郡は、肥前半島の3肢節たる島原、西彼杵及び長崎の3半島が互に相交る附近一帯の地域を管轄する。北は多良岳を挟んで佐賀縣藤津郡に相隣し、南東には有明海を距て、島原半島を望み、東は西彼杵半島に相對してゐる。

多良岳 (983 m) は本郡の北部に聳えるコニーデ火山であつて、主として安山岩により構成せられるが、その東面の山麓即ち有明海に沿つた地域一帯には、玄武岩の廣大なる分布を見ることが出来る。又多良岳の山腹及び山麓には、若いトロイデ丘陵を隨處に見出すが、その多くは安山岩又は玄武岩よりなる小規模の休止火山と推定される。

本地域に於ける玄武土及び火山拋出物の産地に就き概説すれば次の如くである。

(i) 古賀村

古賀村は本郡の西南隅にあり、本郡諫早町より長崎市に至る國道第25號線の略中間に位する小村である。

大正 11~12 年頃、本村の民住者富永文次郎氏等は、村内大字松原字高傳地先の丘陵に賦存する風化岩石の一種を採掘、粉碎して製品となし、これを火山灰と稱して長崎市三菱造船所に納入せりといふ。當時の生産高は明かでないが、60 kg 入り 1 俵の價格は 70~80 錢であつて、同造船所では専らこれをセメント混和材として、船渠その他の水中コンクリート工事に利用せりといふ。

富永文次郎氏の談によると、現在判明せるこの種風化岩石の埋存状態は、厚さに就ては不明であるが、幅員70~150m、延長凡そ500mに達するものゝ如くであり、極めて豊富な埋蔵量を推定することが出来るといふ。現在、丘陵の頂上附近は松林又は雑木林をなし、中腹及び麓部は概ね水田又は畑地をなしてゐる。

丘陵の頂上附近に舊時稼行せる採掘箇所が残されてゐる。この箇所、外部に露はれてゐる本風化岩石の状態を観察すると、分解の程度は略完全で、造岩礦物の殆んどすべては原形を認め難きまでに分解してゐる。なほ新しき破砕面には、長石と推定される大きさ5mm以下の白色長柱状の斑點が見られるが、これとても著しく柔軟で完全な造岩礦物と認められるものではない。

外観の上では、未だ甚だしく崩壊せずして原状態を保持してゐるから、一見新鮮な岩石の如くであるが、これを指頭に取り軽く押し潰すと、不規則の方向に龜裂を生じて容易に小片となる。然し乍ら、土壤の如く微粉になつてゐないから、これを微粉化するには相當の困難を伴ふものゝ如く觀察された。即ち本風化岩石は、採掘には特に大なる勞力及び設備を必要としないが、粉砕加工に對しては比較的多額の経費を要するものゝ如くである。古く本村に於て採掘、粉砕事業を営んだときには、精米用水車を動力となし石臼を用ひて粉砕を行つた由である。

なほ聞くところによれば、最近セメントの供給不足を聞くに及んで、再びこの事業を計畫するもの現れ、近くこれが具體化する運びにあるといふ。

(ii) 有明海沿岸

多良岳の東麓、有明海に面する一帯の地域即ち北高米郡小江村、湯江村、小長井村乃至は、これに隣接する佐賀縣藤津郡大浦村、多良村附近には、隨處に於て極めて豊富な玄武土の賦存を見ることが出来る。

場所によつて、或は褐色又は黄褐色の土砂を雜へ、或は玄武岩、安山岩等の新鮮なる岩塊を含み、時には第三紀層その他と互層する場合もあるが、多くは玄武土獨特の外狀を呈して表土下1~2mの下位に積たはつてゐる。

その厚さは、ところによつて著しく異なる如くであるが、鐵道或は道路の切取部等に露れた状態から推測すると、少くとも厚さ2m以上で、最大20m或はそれ以上に及ぶものゝ如くである。

この地方では古くから、玄武土特有の粘結性を利用し、これをそのまゝ家屋、納屋等の壁材料に供せるよしで藥等の纖維を雜へた赤褐色の荒壁が至るところに見られる。又時には、石灰と混合して石垣、石塀等の石積み目地にも利用したといふ。

(iii) 諫早町附近

諫早町の西方、日岳を中心とする丘陵地帯は、殆んどすべてが玄武岩を以て被はれてゐる。その分解生成物たる玄武土の存在は古くから知られてをり、從來諫早町附近で石積みの目地用、木橋々面の鋪裝用などに供した玄武土は、概ねその附近より採掘せるものであるといふ。

成分及び性質から判斷すると、本地域産の玄武土は、同じ多良岳山系に屬する本郡湯江村、小長井村附近産のもの乃至は東彼杵郡千綿村附近産のものと略同種と見做し得る。

(4) 東彼杵郡

東彼杵郡は、長崎縣本土部の略中央に位置し、西に大村灣を控へ東は佐賀縣に接する狹長な地域を占めてゐる。本郡内で玄武土の賦存を見るのは、郡南部の日岳を中心とする地域、中央部の千綿村及び松原村附近、北部の早岐町附近等である。

これらの各地方では、古くから附近に得られる玄武土を石積みの目地、肥料溜、泉水池等の築造に利用したといふが、その利用範圍は比較的局部的であり且つ使用量も僅少なる如くであつた。

(5) 北松浦郡

北松浦郡は九州本土の西北隅に位し、松浦半島の大部分、平戸島の全部、五島列島の一部等を管轄下におく。松浦半島は第三紀層の上部を廣く玄武岩で被覆した解析地、地盤の殆んどすべては玄武岩よりなる。平戸島も亦、全島が火成岩を以て被はれ、島を南北に兩分して東側の半分は概ね玄武岩よりなり、西側の半分は安山岩よりなる。

北松浦郡に屬する五島列島の字久島、小値賀島等も亦、玄武岩で被はれてゐる。

松浦半島の地域内では、第三紀層の露出する地域を除けば、他の大部分に玄武土の賦存が見られる。

ことに南田平村、江迎村、御厨村を含む三角形の地域一帯では、地表に近い部分の土壤は、すべて玄武土であると思ふ。勿論この附近でも、第三紀層と玄武岩との相接する部分、例へば地盤の外周、丘陵の麓などでは、玄武土と第三紀層の岸石とが互に混在するため、良質の玄武土は得られぬやうである。

平戸島では、島の東側から北側にかけて、海岸沿ひの丘陵に極めて豊富な玄武土の賦存を見ることが出来る。平戸町平戸及び同町田間地内に起伏する丘陵の麓に近い所には、未だ充分風化せざる堅硬な玄武岩の露出するのが認められるが、中腹乃至頂上の附近には、地表近くに新鮮な岩石が殆んど無く、完全に分解して赤褐色の土となつてゐる。

平戸町附近に於て古く玄武土を凝結材として利用した事例は、後に述べるオランダ塀や幸橋に関する説明によつても明白であるが、現在では稀に木橋々面の舗装材料その他に利用する外、これを凝結材或は混和材等を利用することは全くないやうである。

(6) 南松浦郡

南松浦郡は、北松浦郡及び西彼杵郡に屬する北部の數島を除く外、五島列島のすべての島嶼を管轄下におく。五島列島の地質は、古生層白堊紀を基盤とし第三紀古層、花崗岩、玄武岩等よりなる極めて複雑な構造を示し、大體に於て北東及び北西方向に發達する地盤の沈降したものと思はれてゐる。

主島瀬江島は列島の南端に位し、地形頗る不規則で、中央に平地を抱き、北西に京ノ岳、南東に火ノ岳及び鬼岳等の玄武岩臺地を形成してゐる。

五島列島に於て、古く玄武土又は火山拋出物に對する利用策の講じられたのは、瀬江島のみであると聞く。時代の關係から、瀬江島の方に就て調査をなしたが、それのみでも五島列島に對する本調査の目的は充分達し得たやうに思ふ。

瀬江島に於ては明治年間に、島内の瀬江町、三井樂村、岐宿村等に産する風化玄武岩、火山拋出物等を凝結材として利用し、或はこれを採掘、粉碎して製品となし、長崎市その他の諸地方に移出する事業が行はれてゐた。中でも岐宿村が最も盛で、明治40年頃にはこの種の事業を営むもの數工場をあげ得る盛況を呈したといはれる。

然るに、その主要原料たる風化玄武岩は、縣内の他地方に産する所謂玄武土とはその性状著しく異り、玄武土の如く土の状態をなす部分極めて少く、堅硬にして砂乃至礫状をなす部分が著しく多いために、その儘では凝結材として不適當であるばかりでなく、これを粉碎して製品となすには比較的多額の費用を要するやうに思はれる。

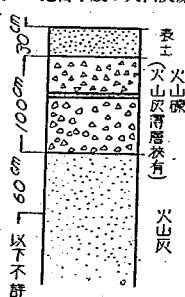
このやうな理由のため、採算たゞずして本事業は間もなく中止を餘儀なくせられるに至つた由で、現在これを営むものは全く見られない。

瀬江町附近では稀にこれを採掘して粗き部分を篩別し、石灰と混和して泉水池、石垣の目地等に使用してゐるのを見受けるが、セメントの普及せる現在では、これを重要な凝結材として顧みるものは殆んどないやうに思はれる。

福江島には、風化玄武岩以外に火山抛物体を凝結材に利用した歴史が残されてゐる。その中でも、火ノ岳及び鬼岳等の中腹から山麓にかけて分布する火山礫、火山灰等は利用の可能性極めて多く、今後の研究に俟つところ甚だ多きやうに考へられる。

火山礫は、大きさ15mm以下の黄褐色有孔粗鬆な抛物体である。図-2に示す如く、厚さ30~60cmの農耕に適する表土の下位に、厚さ75~120cmの均齊な層をなして存在する。特に鬼岳の西面の斜面に沿つて豊富な賦存を見ることが出来る。

図-2 鬼岳中腹の火山灰礫層



火山礫は、これを指頭にとり軽く押し潰すと、中心部に黒黴色の堅硬な玻璃質を幾分残すのみで、大部分を容易に粉砕することが出来る。これは、凝結材としての利用の容易なるを思はしむるものである。

なほ明治初年にプラトン氏が調査したと傳へられるのは、恐らくこの種の火山礫であつたらうと想像される。

火山礫の下位には、火山灰が成層する。層厚は詳かでないが、道路の切取部などに露れたところから見ると、その厚さは1m乃至數mに及ぶやうに推測せられる。

火山灰は、黄褐色の土状をなし、水で潤すと著しく粘稠で塑性に富むものとなるが、これを乾燥すると、固結收縮して極めて堅牢な團塊となり、容易に破砕し

得ぬものとなる。

火山礫、火山灰等の外、この附近には火山礫が多数存在するが、其の質著しく堅硬で且つ風化作用をほとんどうけてゐないから、凝結材に利用し得る可能性は極めて少い。

火ノ岳、鬼岳地區に於ける火山礫及び火山灰の分布状態に就ては未だ調査不充分で、これを詳しく知るよしもないが、福江土木管區員藤原好之助氏の調査せる結果によれば、これらは兩休止火山の頂上附近から山麓にかけての斜面一帯に、極めて廣汎の分布を示す如くで、その埋藏量無盡藏と推定せられる。

Ⅲ 成分及び性質

調査の際に採取した玄武土及び火山抛物体の試料に對しては、以下に記すやうな物理的及び化學的の試験を行ひ凝結材としての品質の優劣並びに使用の可否を調査した。

試験結果から判斷し得る玄武土及び火山抛物体の成分並びに性質に就き概説すれば、次の如くである。

(1) 機械的成分

淘汰分析法と篩分法とを併用して機械的分析を行ひ、各試料の機械的成分を明かならしめた。その試験結果

表-1 玄武土及び火山抛物体の機械的成分

試料名 産地	天川粘土 長崎市小島	諫早玄武土 諫早町	千綿玄武土 千綿村	平戸玄武土 北松浦郡平戸町	日見粘土 西彼杵郡日見村	鬼岳火山灰 南松浦郡福江町	鬼岳火山礫 南松浦郡福江町	福江玄武岩 南松浦郡福江町
礫 (>2.0mm)%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	67.2	41.6
砂 (2.0-0.05mm)%	6.1	2.5	6.0	8.1	14.3	7.0	26.1	52.7
淤泥 (0.05-0.01mm)%	62.1	60.0	54.8	54.6	35.4	54.8	3.6	4.7
粘土 (<0.01mm)%	31.8	37.5	39.2	37.3	50.3	38.2	3.1	1.0
計 %	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

を總括すれば表-1の如くなる。但し、こゝでは土粒子の大きさ0.01 mm以下を粘土、0.05~0.01 mmの範圍を淤泥（又は微砂）、2.0~0.05 mmを砂、2.0 mm以上を礫と定め、土粒子の大きさを區分することとした。

表-1に示す如く、關江玄武岩、鬼岳火山礫、古賀風化岩石等の粗粒試料を除けば、他は何れも土状態をなす試料であつて、その粘土含有量は25~50%の範圍にあり、多くは35%前後にある。

Filgard 氏の土壤分類法に従へば、その大多數は埴土（粘土含有量=25~35%）の類に屬し、その一部が重粘土（粘土含有量=35~45%）に屬するものであることを知る。

凝結材として使用するべきこの種の土壤は、これをその儘で石灰と混合して凝結材となす場合は勿論、乾燥粉碎して製品となす場合でも、出来るだけ微細であることが望ましい。云ふ迄もなく、微細なことは石灰との化學的硬化作用を容易ならしむるための重要條件の一つであると同時に、製品化の難易を支配する一つの要素でもある譯である。

(2) 化學的成分

玄武土及び火山抛出品の化學的成分は、原岩石たる安山岩、玄武岩等と略同様で、大部分が珪酸、礬土、鐵等よりなり、他に少量の鹽基類を含むものである。

これを、採取試料に就て行つた化學分析試験（全分析）の結果によつて例示すれば、表-2の如くである。

表-2に就て見ると、風化の未だ充分ならざる關江玄武岩又は鬼岳火山灰等と、風化完全にして土状態をなす試料との間には、極めて明瞭な成分の相違を見出すことが出来る。前者即ち風化不充分的試料は比較的、灼熱減が

表-2 玄武土及び火山抛出品の化學的成分（全分析）

試料名 産地	天川粘土 長崎市小島	早玄玄武土 北高来郡早町	千綿玄玄武土 東彼杵郡千綿村	平戸玄玄武土 北松浦郡平戸町	日見粘土 西彼杵郡日見村	鬼岳火山灰 南松浦郡南松浦町	鬼岳火山礫 南松浦郡南松浦町	關江玄武岩 南松浦郡關江町	古賀風化岩 石北高来郡古賀村
灼熱減%	19.52	13.34	13.14	13.24	14.81	10.72	19.93	1.92	13.63
珪酸%	35.70	46.26	37.04	39.30	50.47	53.42	31.19	46.55	39.23
礬土%	23.50	22.39	23.21	25.89	18.57	18.68	28.01	19.58	26.54
酸化鐵%	18.33	15.80	19.41	19.37	10.83	9.04	15.42	10.37	20.33
石灰%	0.66	0.27	0.54	0.22	2.21	4.82	2.80	8.32	0.48
苦土%	0.44	0.15	0.29	0.36	0.45	1.19	2.01	4.89	0.21
アルカリ 其の他%	1.85	1.79	1.37	1.62	2.66	2.13	0.64	8.37	2.58

小で、石灰、苦土、加里、曹達等の鹽基類が概して多いにも拘らず、後者即ち天川粘土其の他の土状態をなす試料は、一般に灼熱減が多く鹽基類が少い。これは、風化分解の進んだ岩石ほど、その化學的成分が原岩石のそれから遠ざかるものであることを示す一つの例證と見て差支へないものである。

珪酸の含有量は31~53%の範圍にあり、鬼岳火山灰、日見粘土等は比較的珪酸含有量多き種類に屬し、鬼岳火山礫、天川粘土等は少き種類に屬す。

礬土含有量は18~28%の範圍にあり、日見粘土、鬼岳火山灰等は礬土に稍乏しく、玄武土と稱するものは一般に礬土に富む。

鬼岳火山礫と鬼岳火山灰とは同一箇所が存在するにも拘らず、珪酸及び礬土含有量は互に相反した結果を示してゐるのは興味深いことである。

いま試みに土状態をなす試料に就き、灼熱減を除いた他の成分を以て100%とする各成分の重量百分率を算出し、これを山田節三氏による本邦産噴出岩の平均化學的成分と比較して見ると、表-3の如くなる。こゝで、灼熱減をのぞいて考へたのは、灼熱減は化學的結合水、有機物、炭酸等の含量であつて、これらは新鮮な岩石中に一

表-3 土狀風化物と原岩石との化學的成分の比較

試料名	土 狀 態 を な す 試 料 (換算値)							本邦産噴出岩(平均値)		
	天川粘土	綠玄武土	早武土	平戸土	日見粘土	鬼火山灰	岳古賀風化岩石	安山岩	安山岩質玄武岩	玄武岩
珪酸	44.5	53.4	45.2	59.2	59.8	43.9	59.8	52.1	47.1	
礬土	29.2	25.8	29.8	21.8	20.9	29.7	17.6	18.3	18.6	
第二鐵灰	22.8	18.2	22.3	12.7	10.1	22.7	3.7	3.9	6.6	
第一鐵灰	—	—	—	—	—	—	3.8	7.0	5.5	
苦土	0.8	0.3	0.3	2.6	5.4	0.5	6.9	9.8	12.2	
	0.5	0.2	0.4	0.5	1.3	0.2	2.7	4.5	5.3	

次的に存在することが比較的少く、大部分は岩石が分解した後二次的に結合せるものであるからである。

表-3によつて見ると、土狀風化物と原岩石の間には、化學的成分の上で顯著な相違のあることを知る。即ち土狀風化物は原岩石に較べて珪酸、礬土、鐵等の量が著しく多く、石灰、苦土その他の鹽基類が極めて少い。

これは岩石が風化して土壤となる過程から考へれば極めて當然のことであつて、岩石の分解生成物が脱硝作用即ち自然水によつて次第に鹽基類の溶出せられる作用をうけるに因るのである。

一般に岩石の分解生成物中の鹽基類は、硝酸鹽、硫酸鹽乃至は鹽化物となつて容易に水に溶解する。又石灰類は雨水には溶け難いが、炭酸を含む水に溶解して次第に土壤中から溶出する。然るに珪酸鹽は概して水に溶け難く、又鐵、礬土等の化合物も難溶性であるから、永く土壤中に残留して、その主要成分をなしてゐるのである。

珪酸、礬土、鐵等の諸成分が如何なる形態で、換言すれば如何なる化合物をなして土壤中に存在するかに就ては未だ定説がなく、殊に膠質狀をなしてゐる所謂膠質粘土に就ては一層明確を缺くものが多い。現在、一般に考へられてゐるこれら諸成分の土壤中に於ける存在形態に就き略述すれば次の如くである。

珪酸：——土壤の粗い部分では、珪酸は原岩石又はその造岩礦物がその儘、細片となつた形態で存在する。従つて、珪酸は原岩石又は造岩礦物と同じやうな化學的成分をもつて存在する場合が多いと見て差支へない。

充分に風化分解して微細な土壤となつたものの中では、珪酸はその一部分が非晶質の含水珪酸或は膠質粒子の程度にまで細かく粉砕せられた石英粒子等として單獨に存在することが考へられ、更に他の大部分は鐵、礬土その他と化合して複雑な珪酸鹽を成して存在するものと考へられてゐる。

鐵及び礬土：——風化が不充分で粒の粗い土壤の中では、鐵及び礬土も亦原岩石或はその造岩礦物と同一形態で存在し、極めて安定な狀態を保持する場合が多い。

微細な粒子特に膠質狀をなすやうな土壤の中では、一部分は遊離の水酸化鐵或は水酸化礬土となつて存在し、石灰等と極めて化合し易い不安定な狀態におかれると見られ、他の大部分は珪酸、礬酸等と化合して、その鹽類となつて存在すると考へられてゐる。

以上で明かなやうに、珪酸、鐵、礬土等の一部は比較的安定な造岩礦物の儘で土壤中に残存する。従つて、この部分に對しては、石灰との結合による化學的硬化作用を期待し得ぬのが當然で、一般にこの種の凝結材として充分風化分解した微細なものゝ選ばれるのは、一つにはこの理由に因るのである。

石灰と結合して珪酸—石灰鹽或は鐵酸又は礬土酸—石灰鹽を生成し、石灰モルタルの硬化に密與する土壤成分は、非晶質の含水珪酸或は膠質狀の石英粒子、乃至は石灰と化合し易い狀態例へば水酸化物その他として存在する鐵及び礬土化合物の一部であつて、これらは多くの場合、泥又はそれ以下の細かい土粒子の中に含まれるやうに考へられてゐる。

従つて、玄武土或は火山抛出品の凝結材又は混和材としての品質、價值を化學的に判斷するには、全分析によつて化學的成分を知るのみでは充分でなく、適確な判斷を下すためには、可溶分析を併せ行ふ必要がある。

可溶分析は苛性曹達、鹽酸等に可溶な土壤中の成分を測定する方法であつて、これによれば、石灰と化合し易い水和物その他の形態で土壤中に存在する珪酸、礬土、鐵等の概量を知り、凝結材としての有効成分の量を明かにすることが出来る譯である。

表-4は、表-2と同じ試料に對して行つた可溶分析の試験結果である。

表-4 玄武土及び火山抛出品の化學的成分(可溶分析)

試料名 産 地	天川粘土 長 崎 市 小 島	早玄武土 諫 早 郡 早 町	千綿玄武土 東 彼 杵 郡 千 綿 村	平戸玄武土 北 松 浦 郡 平 戸 町	日 見 粘土 東 彼 杵 郡 日 見 村	鬼岳火山灰 南 松 浦 郡 福 江 町	鬼岳火山灰 南 松 浦 郡 福 江 町	福江玄武土 南 松 浦 郡 福 江 町	古賀風化岩 石 北 高 來 郡 古 賀 村
不溶解 殘 渣	18.28	23.61	14.02	12.92	23.05	37.61	4.83	61.03	17.66
可溶 部 分									
珪 酸	27.43	36.40	30.80	32.63	35.96	23.88	29.90	17.45	31.70
礬 土	18.19	14.53	22.08	20.68	14.82	13.05	25.81	7.27	19.71
酸 化 鐵	14.67	10.25	16.60	15.83	7.46	6.22	13.65	4.22	16.72
石 灰	0.34	0.16	0.37	0.16	1.62	2.07	1.86	2.16	0.38
苦 土	0.15	0.10	0.15	0.09	0.48	0.75	1.30	0.92	0.14

可溶成分の中で、モルタルの硬化に直接役立つと考へられてゐるのは、可溶性珪酸、可溶性礬土及び鐵等の一部である。勿論そのすべてが有効な作用を営むとは考へられないが、可溶成分の多寡が硬化作用の優劣を支配する重要條件であることは否み難い事實である。

表-4に於て、不溶解殘渣は結晶質の石英及び長石類、磁鐵礦等であつて、大部分は造岩礦物の儘で或は僅かに分解した程度で土壤中に存在するものである。不溶解殘渣の成分としては、最も珪酸に富み、礬土これに次ぎ鐵、石灰、苦土等を少量宛含有する。不溶解殘渣が硬化作用に直接與るものでないことは、既に述べたとほりである。

可溶成分即可溶性珪酸、可溶性礬土その他の量は、全分析による珪酸、礬土等の量よりも少いのが普通である。而してその差即可溶分析と全分析とによる試験結果の相違は、珪酸に於て最も多く、礬土に於て僅かに少く、鐵、石灰、苦土に至るに従つて次第にその差が少くなつてゐる。

玄武土及び火山抛出品の凝結材としての品質、價值と可溶成分の含有量との關係に就ては、今後の試験に俟つところ多く未だ結論を與へ得ないのであるが、從來發表されたこの種の試験研究に倣すると、可溶性珪酸 25%以上、可溶性礬土及び鐵の含量 30%以上のものは、一般に硬化作用が充分であり、凝結材として利用し得るものゝ如く認める。

上述の数値をもつて、採取試料9種の品質、價值を判定すると、その大部分は凝結材として使用差支へなきものなるを知る。

(3) 礦物的成分

土状態をなす試料に於て、その礦物的成分を鑑定し得るのは、砂分以上の比較的粗い粒子に對してはあつて、粘土のやうに微細化した粒子に對しては一般にこれを行ひ難い。従つて粘土その他の微粒分を多量に含む試料に於ては、礦物的成分を測定するのみでは、原岩石の何たるかを推知し得ぬ場合が極めて多いのである。

採取試料の礬及び砂の部分(粒子の大きさ0.05 mm以上)を集め、これを顯微鏡下に檢すると、それぞれの試料中には次の如き礦物の存在することが分る。

(i) 小島天川粘土

容易に細粉化し得る多量の有色粘土質物質の外、風化の充分進んだ多量の長石片塊及び輝石の片塊、蛇紋石化した少量の橄欖石、微粒状をなした少量の磁鐵礦等を認め得る。

(ii) 諫早玄武土、千綿玄武土

この2試料は、礦物的に殆んど同質なる如く觀察せられる。ともに風化充分進みたる如くであつて、多量の有色粘土質物質を含み、新鮮な結晶性礦物の存在は極めて少く、僅かに長石の片塊と磁鐵礦粒を認めるのみである。

(iii) 平戸玄武土

前2者と同様に新鮮な礦物の存在は極めて少い。風化せる長石の片塊、磁鐵礦の微粒等を認める外、微量の雲母片が見られる。

(iv) 日見粘土

多量の粘土質物質の外、風化の進みたる長石及び輝石の片塊、少量の磁鐵礦粒等よりなる如く見られる。その他、草木の破片、輝石安山岩の新鮮なる細片、徑3mm以下の稜角磨削せる石英粒等、少量宛存在するが、これらは何れも他より二次的に混入せるものと認められる。

(v) 鬼岳火山灰

多孔質微細な黄褐色の火山灰質物質を多量に含む外、風化分解せる斜長石の片塊、非晶質の輝石、磁鐵礦の微粒等が存在し、更に微量の風化せる橄欖石片塊が認められる。

(vi) 鬼岳火山礫

内部の稍新鮮なる部分は、主として有孔粗鬆なる玻璃質よりなる。斑晶として大きさ2mm以下稀に5mm内外の長柱狀の斜長石及び結晶質の橄欖石が認められる。玻璃質は黒色不透明で、内部に磁鐵礦の微粒を含む。

風化せる部分は、軟弱で細末となり易い。細末となつたものは黄褐色の土状をなし、礦物としては磁鐵礦の微粒が存在する。

(vii) 福江玄武岩

半晶質の熔岩性岩石で、相當に風化して赤褐色の粉末となつた部分もある。多量の玻璃質よりなり、斑晶として5mm内外、稀に30mmに達する長柱狀透明なる斜長石、橄欖石、輝石等の存在を見る外、磁鐵礦の細粒を認める。

(viii) 古賀風化岩石

風化充分にして新鮮な礦物は殆んど見られない。長石と推定される柔軟な白色の斑點、風化せる輝石の片塊、磁鐵礦の微粒等の存在が見られる。

以上で明かなやうに、鬼岳火山礫及び福江玄武岩は風化が未だ不充分で、略完全な岩石組織を保持する部分も多いから、その礦物的成分を知り原岩石の何たるかを推定するのも比較的容易であるが、その他の試料は何れも充分風化分解して完全なる礦物成分を多量に残さないから、原岩石の推定が甚だしく困難である。

僅かに残る礦物の種類及び性質、その化學的成分特に珪酸の含有量等から判斷し、且つそれぞれの試料の賦存状態を併せて考へると、採取試料の殆んど全部が玄武岩乃至は玄武岩質安山岩、安山岩等の鹽基性岩石の分解生成物乃至は同質の火山抛出版物であることを知る。

なほ各試料の原岩石をその成因から區別して見ると、

岩石の分解せるもの：——小島天川粘土、諫早玄武土、千綿玄武土、日見粘土、古賀風化岩石

熔岩に屬するもの：——福江玄武岩

火山抛出品に属するもの：——鬼岳火山灰、鬼岳火山礫
の3種類となる。

(4) 性 質

採取試料9種に就て行つた試験の結果から、その性質を概説すれば次の如くである。

(i) 外 観

既に述べたやうに、外観の上からは、土状態をなすものと、塊状(砂、礫又は岩塊)をなすものとに分けることが出来る。鬼岳火山礫及び福江玄武岩は後者に属し、他は何れも前者に属す。古賀風化岩石は一見塊状をなす如く見られるが、完全に分解して居り容易に細末化し得るから、前者に属するものと認める。

土状態をなすものは、一般に重粘で可塑性に富むが、鬼岳火山礫、福江玄武岩の如く塊状をなすもの、粉砕試料は、概して粘着性に乏しい。

(ii) 色

試料の色は湿潤時と乾燥時とにより著しく異なる。空氣中に放置して自然乾燥せしめた試料の色は、表-5第2欄に簡説したやうに、赤味を帯びたものが多い。

この色は鐵の存在に因るものといはれ、鐵含有量の多いもの程、赤色が濃いと考へられてゐるが、化學分析試験結果から見れば、必ずしもさうでは無いやうに思はれる。一般にアルカリに對し石灰含有量の少いもの程、赤色となる傾向があるともいはれてゐる。

(iii) 比 重

粉砕せざる試料の比重は表-5第3欄に示す如く、2.44~2.78の範圍にあり、新鮮なる岩石のそれに近いものが多い。鬼岳火山礫は比重2.44を示し、他試料に比し幾分小であるが、これは有孔質で空隙多きためと考へられる。

(iv) 含 水 量

空氣中で自然乾燥した儘の試料の含水量は表-5第4欄の如く1.26~20.68%の範圍にあり、試料の性質によつて著しく異つてゐる。福江玄武岩の如く風化の不充分なものは含水量極めて小であり、土状態をなして粘土を多

表-5 玄武土及び火山抛出品の性質

試料名 産 地	天川粘土 長 崎 市 小 島 町	諫早玄武土 諫 早 郡 諫 早 町	千綿玄武土 千 綿 郡 千 綿 村	平戸玄武土 平 戸 郡 平 戸 町	日見粘土 日 見 郡 日 見 村	鬼岳火山灰 鬼 岳 郡 南 松 浦 町	鬼岳火山礫 鬼 岳 郡 南 松 浦 町	福江玄武岩 福 江 郡 福 江 町	古賀風化岩 古 賀 郡 古 賀 村
外 観	土 狀 小 豆 色	土 狀 赤 褐 色	土 狀 赤 褐 色	土 狀 赤 褐 色	土 狀 黄 褐 色	土 狀 黄 褐 色	塊 狀 黄 褐 色	塊 狀 赤 褐 色	土 狀 小 豆 色
比 重	2.65	2.54	2.61	2.70	2.53	2.77	2.44	2.69	2.78
含水量%	20.68	16.08	10.05	12.46	11.75	6.56	15.75	1.26	6.96

量に含むものは、脱水乾燥が比較的困難であるため、常に一定量の水を含有し、一般に含水量が大である。

従つて、この種の材料を凝結材に使用するに當り、混捏に要する水の量を算出するには、外部から混ずる水の他に材料中に含まれる固有の水量を併せて考慮する必要がある。

IV 利 用 状 況

九州地方には、可成り古い時代から玄武土を凝結材に利用してゐた記録がある。最も古い記録は、豊臣秀吉が三韓征伐に際して軍陣を肥前松浦半島の名護屋に進めたとき、これに従つた諸大名が韓營の井戸側、下水溝等をつくるために、附近に産する玄武土に、貝殻を煨焼して造つた石灰と海砂とを混合し、海水で練合はせて使用し

たといふのである。

その後、この種の凝結材を利用する工法は、廣く九州一圓に擴がり、現在に至つてゐる。

(1) 明治以前

明治以前に築造せられた玄武土利用の土木建築工作物の中、長崎縣に於て特に有名なものを摘録し、長崎縣に於ける明治以前の玄武土の利用状況を紹介することとする。

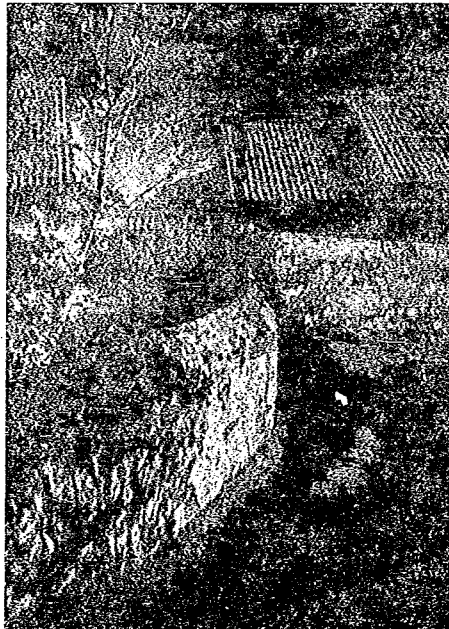
(i) オランダ塀

北松浦郡(平戸島)平戸町の東端、常盤鼻に近い崎戸町にオランダ商館の遺趾があり、こゝにオランダ塀といはれる石灰モルタルを凝結材に用ひた石塀が遺されてゐる。

この石塀は、商館跡西側の坂路に沿ひ商館を繞らすやうに設けてあり、延長36m、高さ約2.5m、厚さ約0.3mで、その外観は圖-3の寫眞に示す如くである。

その構造は、石灰モルタルを目地材料として用ひ、砂岩と思はれる石材を所定形状に積上げ、更に同質の石灰モルタルを以て上塗(厚さ約1cm)を施したものである。

圖-3 オランダ塀



外状を検すと、上塗の一部分が脱落して、内部の石材や石灰モルタル目地の露出した箇所なども見受けられるが、全體から見れば極めて堅牢で、著しく耐久性に富む如く觀察せられる。

平戸町のオランダ商館は、慶長14年(紀元2269年)5月、平戸に入港したオランダ船との交易に端を発し、同年8月15日徳川幕府の通商許可と共に設置されたのであつて、同16年(紀元2271年)に初めて住宅及び倉庫の新築が完成したといひ傳へられる。オランダ塀はそれより約10年おくれ、元和4年(紀元2278年)の館員居室、倉庫、病室等の増築工事と同時に築造せるもので、商館外部の坂路から館内を覗き込まれぬやうに設けたものと見られてゐる。

オランダ塀を傳へる多くの文獻によると、これに用ひた凝結材はセメント様のものであると記されてゐる。然しながら、これがポルトランド・セメントでないことは、オランダ塀の築造がポルトランド・セメントの發明(西曆1824年、紀元2484

年)に比し遙かに古い時代に屬することによつても分る。

現存するオランダ塀の石灰モルタルを肉眼で觀察すると、上塗の石灰モルタルは表面が自然に汚損して僅かに灰色を帯びてゐるが内部は殆んど純白であり、目地に用ひた石灰モルタルも同様純白に近いものであり、灰白色のポルトランド・セメント混合物とはその外觀が著しく異なつてゐる。

更に石灰モルタルの新しい破砕面を検すと、何れの石灰モルタル中にも、煨焼したと見ることの出来る貝殻片、

細かい石英質の砂、玄武土と推定される大きさ5mm以下の赤褐色粘土質の團塊等の存在が明かに認められる。

次に、この石灰モルタルに対して行つた化学分析試験の結果を示すと表-6第1行及び第2行の如くである。勿論化学分析試験によるのみでは、この石灰モルタルの使用材料、配合割合等を正しく判定するのは不可能であるが、これがポルトランド・セメントを使用したものに非ざること、砂及び石灰を主要原料としこれに少量の粘土を混用した石灰モルタルであることに對しては、疑ひを差挟む餘地はないやうである。

表-6 石灰モルタルの化学的成分

試料名	オランダ 上北平	オランダ 堀北平	誓願寺 堀北平	眼鏡橋 堀北平	崇福寺 堀北平	井戸流 堀北平	高城橋 堀北平
灼熱減%	31.94	26.68	25.03	19.59	45.29	19.74	19.55
珪酸%	25.14	38.62	30.33	33.06	1.29	31.74	38.11
礬土%	2.45	4.48	14.20	31.64	1.03	32.82	14.57
酸化鐵%							
石灰%	39.19	26.85	21.86	11.82	29.82	14.66	22.93
苦土%	0.16	1.22	5.28	0.47	16.61	0.09	0.99
アルカリ%	1.12	2.15	3.30	3.42	5.96	0.95	3.85
その他							

而してオランダ商館遺址裏手の丘陵一帯の地表近くが玄武土によつて被はれてある事實から推すと、この石灰モルタルに混用した粘土が、最も手近かに得られる玄武土であつたらうことは容易に想像し得られるのである。

オランダ堀の石灰モルタルに玄武土が使用された事實は、以上の例證からして大體間違ひないと推定出来るのであるが、それが果してオランダ人の創意によるものか、或は古くから佐賀縣唐津町附近で行はれてゐたと傳へられる玄武土利用の三和土工法が偶々オランダ人によつて採り上げられたのであるか、その何れであるかに就ては未だ全く不明である。

何れにせよ、オランダ堀は我國の外交史を語る重要な記念物であるとともに、この種凝結材を利用した建造物の貴重な遺址をなすものであつて、これが調査研究の必要極めて多きものと考へられる。

(ii) 平戸の幸橋

平戸町の中心地から鶴岡公園（日の岳城址）に向ふ街路の中間の入江に架設せられた幸橋は、元禄15年（紀元2362年）に竣功せりと傳へられる石拱橋で、現在では平戸町指定の記念保存物となつてゐる。

幸橋の架設に就ては數説が傳へられる。その一は、時の城主松浦維香棟公が、平戸町の石工で疊にオランダ商館の築造に従事した豊前なるものから、石拱築造技術の傳授をうけた者のあるを聞かれ、この者に幸橋の架設を命じられたといふ説である。石工某は先づ試みに鏡川の法恩寺前に小規模の石拱橋を架し、これが竣功せるに自信を得て幸橋の架設工事に着手したといふ。元禄15年4月16日に起工し、8箇月の日と工費銀16貫餘を費して、同年12月7日に竣功したと傳へられる。

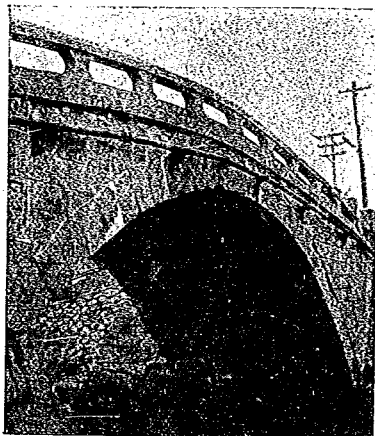
他説としては、これより古くオランダ人が平戸町に來住した頃（慶長14年～寛永18年、約32年の間）に、オランダ人の手によつて架設されたともいはれる。

又別の説として、オランダ人が架設したといひ傳へられる平戸町紺屋町の誓願寺裏口にある小さい石橋に模して、平戸町の石工某が架設したのであるともいはれる。

幸橋の外観は圖-4に示す如くであつて、巧みに巨石を以て築き上げた設計施工の妙は、當時平戸町の一偉觀をなしてゐたことであらうと思はれる。

これに用いた石材は、黒島附近産と見られる黒色緻密な玄武岩で、使用石材の大きさ、形状は使用箇所や使用

図-4 平戸の幸橋



る。

(iii) 誓願寺裏の石橋

平戸町紺屋町の誓願寺の裏口に、オランダ人が架設したといひ傳へられる小さい無名の石橋が遺つてゐる。この橋は総長約4m、幅員約2mの極めて小さい単連の石拱橋である。その外観は圖-5の寫眞に見るやうに、前掲の幸橋とよく似てをり、これが幸橋のモデルであると云はれるのも無理からぬことと思はれる。

これに用ひた石材は、オランダ屏の石材と同質と見られる砂岩である。

この橋にも幸橋と同様、橋面の鋪石を橋體に密着させるため石灰モルタルを使用してゐることが、今回の調査で初めて明になつた。石灰モルタルの色は灰白色で、一見オランダ屏のそれによく類似してゐる。

その化學的成分は、オランダ屏のものと稍異り、表-6第3行に示したやうに礬土及び鐵に富み幾分石灰に乏しき結果を示してゐるが、オランダ屏と同じ理由により、この石灰モルタルにも亦、玄武土を利用してゐるものと推定せられる。

(iv) 長崎の眼鏡橋

36灣24橋と諸はれる長崎市内では、隨處に唐風の石橋が目につく。中でも眼鏡橋は我國に於ける石拱橋の嚆矢であるともいはれ、

目的によつて種々異なるが、最大のものは50×50×100cm程度である。

橋面には、橋體と同質の平板狀の鋪石を張り詰めてある。この鋪石を橋體に密着させるため、玄武土を混じた石灰モルタルを使用してゐる事實が、最近になつて明かにされた。

それは昭和11年頃、鋪石の一部が剝離して交通に支障を來したため、平戸土木管區事務所が町役場の依頼をうけて修理したのであるが、その工事に携つた同管區員渡邊一氏並びに森谷國四郎氏は上記の事實を確認せられたのである。

なほ圖-4の寫眞を見ると、アーチ部分の目地に白色の材料を填充してあるのが見えるが、これは最近補修の際に施工したポルトランド・セメントの目地であつて、架設當時のものではない。當初から目地があつたか否か不明であるが、その構造から見ると、本橋は空積み工法によつてゐるやうに思はれ

圖-5 誓願寺裏の石橋



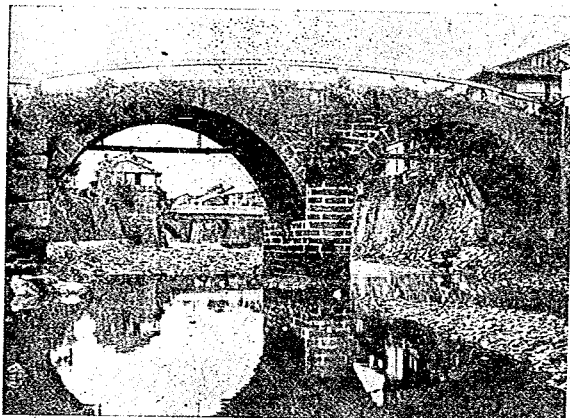
古くから江戸の日本橋、岩國の錦帯橋とともに日本三橋の一に数へられてゐる。

寛永 11 年 (紀元 2294 年) に長崎興福寺の住職唐僧如定が、市内磨屋町と酒屋町を結ぶために中島川に架設したと傳へられ、現在は國寶として保存されてゐる。

平戸の幸橋がオランダ式工法の流れをうけてゐると見られるのに對して、眼鏡橋はじめ長崎市内にある多くの石橋が、唐の影響を多分に受けてゐると見られるのは、實に興味深い對照である。前者が目地幅の狭い空積み工法であるのに對して、後者では一般に目地幅を廣くして煉積み工法を採つてゐるのも、工法上の相違を明示するかのやうに思はれて面白い。

その構造は圖-6 に示すやうな 2 連、略半圓形の石橋で、満潮時の水面に映る映像と實體とを併せて眺めると宛も一箇の眼鏡の如くなので、その名が起つたのである。

圖-6 長崎の眼鏡橋



橋臺、橋脚その他各部分の石積み目地に、萬遍なく赤褐色の石灰モルタルが施されてある。これが長崎でいふ天川漆喰であり、天川粘土と石灰とよりなる二和土である。

右岸橋臺の目地に填充してあつた天川漆喰を肉眼で見ると、赤褐色粗鬆の土塊状をなし、甚だしく風化せる如く觀察せられ、指頭を以ても容易に破砕、細粉化し得るまで脆弱化してゐる。

この天川漆喰に對して行つた化學分析試験の結果を示せば、表-6

第 4 行の如くである。

この表によつて見ると、眼鏡橋の目地と市内小島所在の井戸流し (昭和 13 年施工、表-6 第 6 行) とは、これに用ひた天川漆喰の化學的成分が双方、略同率であることを知る。これは、兩天川漆喰の使用材料即ち天川粘土及び石灰の品質がともに類似したものであつたことを示すとともに、同じやうな方法によつて施工されたことを表すものである。

従つて若し現存する眼鏡橋の天川漆喰が、眼鏡橋架設當時からのものであるとすれば、現在長崎市附近で行はれてゐる天川漆喰は、遠く寛永年間或はそれ以前から行はれてゐた工法をその儘套習してゐるものと見て差支ない譯である。

以上は、明治以前に玄武土又は火山拋出物を利用して施工した土木建築工作中、特に有名なものを 2~3 例示したのであるが、これによつて見ると、長崎縣に於ける玄武土利用の起源は遙く 330 年前の往昔に溯るものゝやうに思はれる。

(2) 明治以後

次に明治以降の利用状況を見ると、以下の如くである。

(i) 五島火山灰

明治初年頃、燈臺局御雇英人技師プラトン氏は南松浦郡福江町（五島列島の福江島）所在の鬼岳中腹に産する火山礫が、石灰と混用することにより凝結材として使用し得ることを知り、利用の途を考究したと傳へられる。

當時これが福江町から長崎方面に送られ、下水、石積みの土木工事に廣く利用されたといはれる。一説には、これが佐賀縣にも傳へられ、唐津町及び呼子町附近に於ける火山灰製造業の端緒となつたともいはれてゐる。

下つて明治40年頃、同じ福江島の岐宿村に、附近産の風化玄武岩を粉砕精製する事業が起つた。一時は附近に數工場が設けられ殷賑を極めてゐたよしであるが、前にも述べたやうに原料岩石が堅硬で粉砕に多大の経費を要したため、間もなく中止の運命に立至つたとのことである。

五島火山灰と稱して市場に現れたことのあるのがそれで、地質調査所の試験による當時の火山灰製品及び原料岩石の化學的成分を示せば表-7の如くである。

表-7 福江島産火山灰及び原料岩石の化學的成分

成 分	火 山 灰 製 品			原 料 岩 石		新 鮮 な る 玄 武 岩
	本工場製品	山里工場製品	瀬戸製粉製品	赤 色 風 化 岩	山 里 工 場 石	
灼 熱 減%	16.24	17.25	17.72	18.48	18.25	1.02
珪 酸%	31.77	33.47	32.31	32.89	32.09	50.10
礬 土%	26.98	28.76	29.42	27.02	29.90	14.81
酸化第二鐵%	18.16	14.35	15.67	16.07	14.44	3.05
酸化第一鐵%	1.98	2.18	1.29	1.79	1.12	6.76
石 灰%	0.88	0.85	1.34	1.07	1.39	8.48
苦 土%	3.70	3.13	2.48	3.04	2.58	5.19
加 里%	0.16	0.37	0.13	0.10	0.12	2.04
曹 達%	0.46	0.52	0.48	0.34	0.57	3.50

(ii) 長崎の天川粘土

長崎縣では玄武土又は火山抛出品を加工精製する事業の企てられた例は比較的少く、僅かに福江島の五島火山灰、北高来郡古賀村の風化岩石等の粉砕事業をあげ得るに過ぎないが、その礫石灰と混合して凝結材に利用する工法は、極めて廣範圍に行はれてゐた。中でも、長崎市附近に於ける天川粘土の利用は特に盛んであつて、その工法は地方的材料の適切な活用といふ意味からして、特に注目の價值多きものである。

天川粘土を利用した工法即ち天川漆喰又は天川混凝土が、長崎市附近で何時の時代から行はれてゐたか、その起源に就ては確定的な記録はないやうであるが、前に述べた眼鏡橋の例や、市内にある古い寺院佛閣等の床下、軒下、石垣、石段等に夥しく利用されてゐる點から見ると、その沿革は遠く明治以前に溯る如く推測せられる。

明治年間に至つて、その利用は益々盛となり用途も廣汎に亘つたのであつたが、現在ではポルトランド・セメントの進出におされて衰微の傾向にあり、舊時の如き盛況を見ることは出来ないやうである。

長崎市附近に於ける天川粘土の用途及び用法に就き概説すれば次の如くである。

石積み工：——石段の都、石垣の基、石臺の町といはれる程、長崎市では多量の石材を各方面の用途に充てゐる。そして石材と石材とを接合せしむるために、必ず天川漆喰を用ひてゐる。

大は市内を流れる河川の護岸や川底張り、海岸の護岸や防波堤等の石積み工事から、小は下水、側溝、石垣、石塀等の雑多な石積み工事に至るまで、その目地及び裏込めには殆んど例外なく天川漆喰が利用されてゐたやうで、赤褐色の目地を施したこの種の工作物は市の内外、至るところで多數見ることが出来るのである。

積み方は、目地幅を稍ひろく3~7cmくらゐにとつた練積みで、裏込を施す場合も可成り多い。石は玉石、割

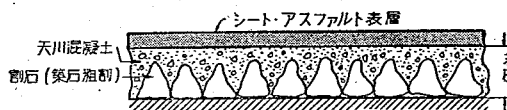
石、野面石などが適宜に用ひられる。

これに用ひる天川漆喰は、天川粘土と石灰との二和土で、時には更に砂を混用する。その割合は、容積比にて天川粘土3：石灰1の程度と定める場合が多い。

道路舗装：——天川粘土を道路舗装工事に利用した例も極めて多く、市内各所の街路で見られる板石舗装（石畳）の褥層及び目地には、すべて天川漆喰又は天川混凝土が使用してあるといふ。

更に特殊工法として研究の価値多いのは、市内江戸町の縣道に施工してある天川混凝土の基礎工である。明治44年、縣土木課の施工せるもので、圖-7に示す如く、粗割の割石を、石面を路盤に向けて互に相接するやう敷並

圖-7 天川混凝土基礎層



べ、次に強め混捏した天川混凝土を控へ一ばいに填充し、充分突固めて仕上げたものである。施工當初はこれを表層として交通に供したものであるが、その後これを基礎層となし上層にシート・アスファルト舗装を施工し現在に至つてゐる。今尚堅牢で現時の重交通に充分耐へてゐる。

天川混凝土を木橋々面舗装に供する工法は、現在でも長崎縣で全般的に應用されてゐるが、上に述べた例を除いては、未だこの工法を道路舗装工事に應用したことはないやうに聞く。

天川混凝土工法の道路舗装工事に對する應用は、玄武土又は火山拋出物等の天然産材料に恵まれた長崎縣に於て特に將來性多きものと考へられ、この方面に對する新しき研究が期待されるのである。

V 天川混凝土工法

長崎縣でひろく木橋々面舗装工事に應用してゐる天川混凝土（粘土混凝土）は、玄武土（天川粘土）その他の粘土質土壤と石灰、砂利又は碎石よりなる三和土であつて、稀には砂を併用するが、普通はこれを用ひない。

(1) 配合割合

玄武土：石灰：砂利又は碎石の配合割合は、重量比にて3：3：7を以て標準となし、時には石灰量をこれより減じた配合割合も採用せられる。

工事現場では、作業上の利便から各材料の處要重量に相當した拵を備へ、容積比によつて配合をなす場合が多い。長崎土木管區事務所の好意による天川混凝土1m³當り材料處要量及び金額調査表を例示すれば、表-8の如くである。なほ本表では、各材料の單價を粘土1m³=5.00圓、消石灰1m³=12.00圓、砂1m³=5.00圓、砂利

表-8 天川混凝土舗装工事の材料及び工費

種 別	天川漆喰 (モルタル)		天川混凝土 (3:3:7)		天川混凝土 (セメント混用)	
	處要量	金 額	處要量	金 額	處要量	金 額
粘 土 (m ³)	1.00	5.00	0.34	1.70	0.34	1.70
消石灰 (m ³)	0.50	6.00	0.43	5.16	0.33	3.96
砂 (m ³)	0.20	1.00	—	—	—	—
砂 利 (m ³)	—	—	1.00	6.00	1.00	6.00
セメント (袋)	—	—	—	—	3.0	5.40
人 夫 (人)	2.5	5.00	3.3	6.60	3.3	6.60
計		17.00		19.91		24.11

1m³=6.00圓、セメント1袋=1.80

圓とし、人夫1人=2.00圓と定めてゐる。

表-8によつて明かなやうに、天川混凝土は粘土（玄武土）が低廉で採掘費と運搬費とを計上するのみで充分である關係から、その材料費は比較的僅少であるが、混合及び突固めに大なる手数を要する

ため、比較的多額の勞力費を要することになる。

これが天川混凝土の缺點であつて、現在長崎市附近に於ける天川混凝土の工費は、配合 1:3:6 のセメント・コンクリートと略同額であるといふ。

(2) 混 合

先づ所要量の粘土(玄武士)及び消石灰を鉄板上にとり双方がよく混合するまで空練りし、更に所要量の砂利又は碎石を加へて再び空練りを行ふ。如露等を用ひ、これに適量の水を少量宛添加し乍ら、スコップにて充分煉合せる。

次にこの混合物を、又はこれと同大の厚布(外米袋が適當である)の四隅に長さ 60 cm 内外の引手紐を附したものの中に、スコップに 2~3 杯宛入れ、足にて踏み練りを行ふ。

踏み練りを行ふには、2 人にて以の相對した邊に立ち兩手にて引手紐を持上げて以の四周を起し混合物の散逸をはかる。他の 1 人は混合物を足で踏み乍ら、以の一方から他方に向つて進む。

混合物が平等に練り上り且つ粘性が充分生ずるまで、踏み練りを繰返すのであるが、その回数は 200 回位を適度とし、水量多く軟練りの場合は、踏み練り 100~150 回を以て充分であるといふ。

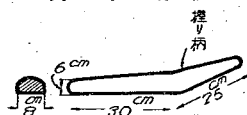
混合に要する水量は、粘土その他の材料の含水量、配合割合等によつて異なるが、如何なる場合でも、出来るだけ硬練りとなす必要がある。練上りの程度は、混合物を厚さ約 15 cm の平面に突固めて仕上げた後、直ちに自動車交通を許すも、甚だしく轍跡を印せざる程度を可とする。

(3) 突 固 め

練上つた混合物を所定の箇所に敷均し、木鋤を用ひて充分突固める。突固めの程度は、粘土・石灰混合物が浸み上つてきて、表面が充分緻密になつた程度を可とする。

木鋤による突固め終了後、消石灰少量を表面に撒布し、均し打鋤を用ひて表面を均し乍ら一層緻密になるやう

圖-8 均し打鋤



打ち固め、最後に鍍を以て平滑に均して仕上げる。均し打鋤とは、圖-8 に示したやうな木製の打固め器具である。

(4) 養 生

仕上面には砂又は小砂利 (3~15mm) を厚さ約 3 cm に敷均して養生をなす。

急激に乾燥せしめると、表面に龜裂を發生する恐れがあるから、施工後約 1 週間は撒水して適度の濕氣を與へて充分に保護を加へ、然る後交通を許す。

なほ硬化を速からしめる爲め、表-8 第 3 欄に示した配合割合の實例のやうに粘土量を減じて、その代りにポルトランド・セメントを混用する場合もある。

VI 石灰混合物の性質

採取試料 9 種に就ては、それぞれの試料と石灰とを以て混合物をつくり、これに對してポルトランド・セメントと同一趣旨の試験を行ひつゝあり、又更にこれに砂を加へた混合物をつくりセメント・モルタルに對すると同様の試験を實施中であるが、その結果は未だ發表するに至つてゐない。

こゝでは、既往に發表された試験結果數例を引用し、玄武士・石灰混合物の一般的性質に就き検討を加へることとする。

(1) 凝 結

玄武士ばかりでなく、この種の天然凝結材はセメントに比較して、凝結及び硬化が一般に緩慢である。

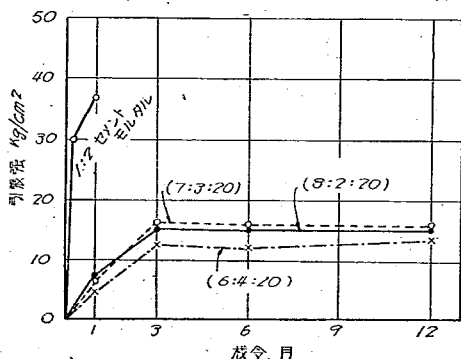
凝結時間は、気温、配合割合、水量、玄武土及び石灰の性質等の相違によつて遅速を生ずるのが常然であるが、一般的に見ると、凝結の始發 10 時以上、終結 30 時以上に及ぶものが多いようである。

(2) 強度

この種凝結材の共通な缺點は、混合物が硬化して一定の強度を發生するの、比較的長い時間を要することである。

圖-9 は、玄武土と石灰との混合物を以て 1 とし、これに砂 2 を混用した 1:2 モルタルの引張強さと材齢との關係を實測した試験例である。これによると、玄武土使用の石灰モルタルは、材齢凡そ 3 箇月で引張強さが最大

圖-9 玄武土・石灰混合物の引張強に及ぼす材齢の影響

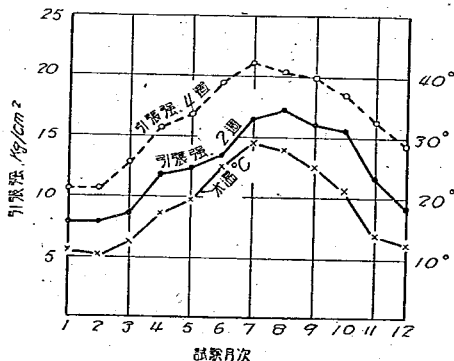


となり、それ以後に於ては強度の低下はないが、増大を期待することも出来ぬやうである。又これによると、ポルトランド・セメントに比較して強度の發生著しく緩慢なることを知り、且つポルトランド・セメントと同様の取扱ひをなすに於てはポルトランド・セメントの如き大なる強さを期待し得ざる如く見られるのである。

(i) 強度に及ぼす気温の影響

天然凝結材の中には、施工季節特に寒暖の相違によつて、その強度に顯著な相違を現すやうな缺點をもつものが多い。極端な場合には、冬季施工のものゝ強度は夏季施工のものゝ乃至 1/2 にも達しないことさへあるといはれる。参考として伊東榮太郎氏によつて行はれた玄武土・石灰モルタルの試験月別による引張強の變化を示す試験例を圖示すれば、圖-10 の如くである。圖によると、この混合物の 2 週及び 4 週の引張強は、その養生水温と略同一傾向の曲線を畫いて變化するを知り、強度に及ぼす温度影響の著大なることが分る。

圖-10 玄武土・石灰混合物の強度と気温との關係



従つて、この種の凝結材を利用する工事に於ては、冬季特に凍結期の施工を禁止する必要ありといはれてゐる。

(ii) 配合割合

玄武土・石灰混合物の硬化は、ポルトランド・セメントに於ける如き純粋な水和作用のみ因るのではなく、混合物中に於ける水分の蒸發・乾燥、添加せる石灰が空氣中の二酸化炭素と化合して炭酸石灰となる作用等も、その硬化に與つて力あるものゝ如く考へられてゐる。

更に玄武土及び石灰は、産地、製造所等の相

違するに従つて成分及び性質を異にすること極めて大であり、これが強度に及ぼす影響も亦大である。

以上のやうな理由で、玄武土・石灰混合物の硬化作用を化學的に明ならしむるには多大の困難の伴ふことが考

へられ、玄武土及び石灰の成分を知るのみでは、その適正なる配合割合を決定するのが不可能に近いことのやうに思はれる。

従つて多くの場合には、種々な配合割合を定めて混合物をつくり、強度乃至工學的の諸性質を實測判斷して、その結果によつて最適配合割合を決定する方法が選ばれるのである。

既往の経験及び從來發表された數多の試験結果に徴すると、玄武土と石灰との配合を重量比にて6:4乃至8:2と定めたときに、最も大なる強さを現す場合が多く、就中7:3を以て最適と見られるものが極めて多い。この傾向は圖-7の引張強曲線にも明瞭に現れて居り、モルタル配合を7:3:20(砂)となした混合物が最も大なる

表-9 玄武土・石灰モルタルの引張強

	配 合 比			引 張 強 kg/cm ²			
	玄武土	石 灰	砂	4 週	3 箇月	6 箇月	12 箇月
1:2 モルタル	8	2	20	11.3	14.9	19.1	21.5
	7	3	20	11.0	20.5	20.7	22.3
	6	4	20	13.5	20.0	18.9	17.9
1:3 モルタル	8	2	30	8.6	15.6	15.1	15.0
	7	3	30	7.5	16.4	15.3	15.7
	6	4	30	4.9	12.2	12.4	13.7

強度を示してゐる。

玄武土と石灰との混合物を以て1とするモルタルの強度は、一般に砂の少きものの方が大である。これを1:2モルタルと1:3モルタルとに就て比較した試験例を以て示すと表-9の如くなり、大體に於て1:2モルタルは1:3モルタルに比較して1.0~1.6倍、平均

1.4倍の強度を有することが分る。

(iii) 他種凝結材との比較

玄武土は、我國及び外國に於て古くから利用されてゐる各種の天然產凝結材に比し、勝るとも劣ることのない優秀な性質があるやうに思はれる。表-10は各種の天然產凝結材に就き、凝結材と石灰とを以て1とする1:2モルタルの引張強を比較對照したものである。

表-10 各種天然產凝結材の引張強の比較

凝 結 材		引 張 強 (水中) kg/cm ²			
種 別	産 地	2 週	4 週	13 週	26 週
玄武土	?	—	11.7	20.5	20.8
玄武土	唐 津	21.1	24.9	31.6	—
火山岩屑	?	—	—	4.6	8.8
凝灰質砂	長 野	—	4.9	—	9.1
凝灰質砂	鹿兒島	—	4.9	—	9.0
プゾラン	伊太利	14.1	19.7	21.6	—
トラ ス	獨 逸	13.6	17.5	23.3	—

これによると、玄武土は我國で利用されてゐる天然產凝結材の中でも特に良質の種類に屬すると同時に、世界的に有名な伊太利のプゾラン、獨逸のトラ ス等に比しても適かに優秀な性質をもつものであることが分る。

(3) 耐 鹼 性

玄武土・石灰混合物を凝結材とするモルタルを護岸、防波堤等の海水工事に使用する上で、特に注意を要するのは、その耐鹼性である。ポルトランド・セメントのやうに石灰が一次的に添加され然も燒成

されて珪酸、礬土等と化學的に強く結合してゐる凝結材にあつては、その耐鹼性を甚だしく考慮する必要は認められないが、玄武土・石灰混合物の如く石灰が單に二次的に添加される凝結材にあつては、多量の石灰が遊離の状態で存在するために、海水に侵蝕される可能性が極めて多いのである。

玄武土・石灰混合物の耐鹼性に関しては、從來數多の研究が行はれてゐる。その結果を綜合すると、大體に於て玄武土・石灰混合物のモルタル供試體を海水中に浸漬すると、早きは4週間内外で、おそくとも3~6箇月經つと、供試體は膨潤變形し或は龜裂を生じ、次第に侵蝕されて終に崩壊し去る如く見られるのである。

然るに玄武土を凝結材として用ひず、セメント混和材として使用する場合には、玄武土中の可溶性珪酸及び礬土の類が、ポルトランド・セメントの水和作用によつて生成した遊離の水酸化石灰と結合して珪酸石灰鹽、礬土酸石灰鹽等を生ぜしめ、水酸化石灰の水による溶出と海水と水酸化石灰との結合を防止するに役立ち、以て工作物に耐蝕性を附與せしむることが考へられる。玄武土が海水工事のセメント混合材として好んで用ひられるのは、上の理由に基くものである。

(4) 可工性

既に述べたやうに、玄武土・石灰混合物を凝結材としたモルタル又はコンクリートは、著しく粘稠でポルトランド・セメントに較べると可工性が甚だしく低いから、ポルトランド・セメントと同一の取扱ひをなすことは出来ない。例へば、通常のコンクリート混合機によつたものでは充分な混合が出来ないから、前述のやうな煩雜な混捏法を採用し、又流込みによつて填充したばかりでは、緻密な工作物が得られないから、獨特の方法によつて突固めをなす等は、何れもポルトランド・セメントの如き優れた加工性のないことを如實に示してゐるのである。

従つて、この種の凝結材を土木工事に利用するに當つては、その粘稠性を充分考慮に入れた混捏法及び突固め法を考案工夫し、ポルトランド・セメントによるのとは全く異つた独自の施工方法を採用する必要があるのではないかと思はれる。

VII 結 言

長崎縣内に於ける玄武土及び火山抛出物の利用狀況に就ては既に闡述したやうに、長崎市附近に於ける天川粘土の如く所謂天川漆喰又は天川混凝土として多年、同地方の人達によつて親しまれ來り、今日に於ても猶廣く利用されつゝあるものも見受けられるが、全般的に觀察すれば、品質良好且つ取扱ひの至便なポルトランド・セメントによつてその位置を奪はれるに至り、現在では往昔の名残りを止めるに過ぎぬものが極めて多いやうに思はれる。

斯く衰微した原因の一に考へられるのは、天川粘土のみならずこの種天然凝結材を利用する工法は一般に古來の慣習を傳統的に固守し來つたのみで、この間に何ら改良進歩がなされぬため、強度、耐久性、加工性等の材料としての品質或は使用價值に於てポルトランド・セメントに比し遜色あり、進歩せる近代の土木建築工事に於ては必ずしもこれが最適なる工事材料とは認め難きによるのである。

然しながら、斯く往時の遺物として取残されんとする材料及び工法に對しても、今日の最も進歩した科學と技術的方面からして新たな再検討が加へられるならば、その再起利用は必ずしも不可能ならざるものゝ如く思考せられる。

又たとへ、これにポルトランド・セメントと同等の使用價值なしとするも、設計及び工法の如何によつては、特定の土木建築工事に對して充分利用し得ることが考へられ、少くともこの種天然凝結材の豊富なる存在を見る地方に於ては、所謂地方的材料として天然資材の適切な開發利用が大いに期待せられるのである。

附 記

現在試験繼續中の長崎縣産玄武土及び火山抛出物9種に就ては、後日その試験結果を發表する豫定であるが、試験中に氣付いた興味ある事實を2~3こゝに附記する。

(i) 赤褐色玄武土

千綿、諫早、平戸産の赤褐色玄武土は、これを石灰と混合することにより凝結材として利用し得るばかりでなく、その固有の色彩はこれをセメント・モルタル又はコンクリートの着色材料に供し得ることが分つた。即ち玄

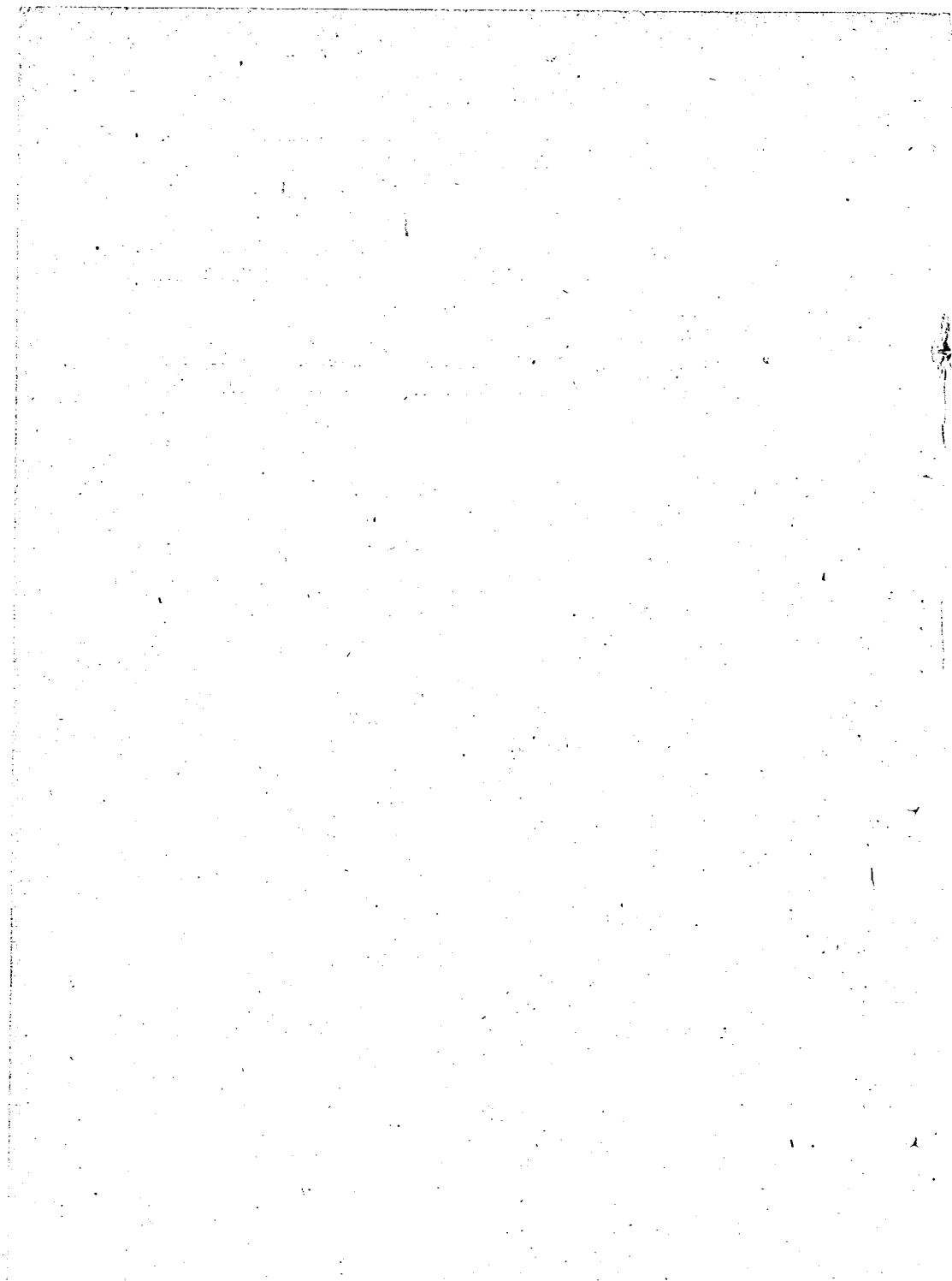
武士10~20%を混入することによりポルトランド・セメントは灰白色を失つて赤褐色を呈するに至る。而してその色は極めて堅牢で褪色せず、又玄武士のこの程度の混入はモルタル又はコンクリートの強度には著しい影響がないやうに思はれる。

(ii) 鬼岳火山礫。

鬼岳火山礫は表-3の試験結果で明かなやうに、可溶成分の量が著しく多い。利用方法の如何によつては、極めて優秀な凝結材となし得る如くである。火山國たる本邦には、各地にこの種火山抛出物の存在が多數豫測せられるので、これに對する調査、探求も亦興味多いことと思はれる。

(iii) 天川粘土

天川粘土を利用する從來の天川混凝土工法では、粘土と石灰との混合割合を略等量と定めた場合が多かつたが、即に行つた豫備的試験の結果によると、上記に比し石灰量の稍少いものの方が却つて大なる強さが求められる如くである。



港灣の埋立地に於ける地震の加速度

及周期に關する調査 (第2報完)

内務技師 松 尾 春 雄

要 約

第1報に引続き更に横濱の岸壁裏込上及横濱市内野毛山に追加新設した加速度地震計の記録によつて埋立地の地震の状態を調査した結果の報告である。第1報と同じ場所で観測を繼續したものに就ては前報告を裏書する事實が得られた。新設した裏込上では周期及加速度何れも岸壁面函上のものと埋立中央のものとの中間の状態であるが、震央距離が比較的近いものでは、埋立中央部に於ける震動状態に近似し、遠いものでは岸壁のものと近似する傾向が認められた。

目 次

I 緒 言	(1)
II 観測の結果	(3)
III 結 言	(9)

I 緒 言

第1報¹⁾によつて横濱港に於て観測場所を増して繼續した結果の報告である。観測の目的は港灣構造物就中岸壁に作用する地震力の資料を得る爲である。即ち新しい埋立地に於ては地盤が如何なる振動状態にあるか又在來埋立地に於て観測される振動の状態と如何に異なるかを知り、岸壁に作用する土壓、埠頭上屋に作用する地震力を明かならしめる爲である。第1報に於ては横濱港神奈川地先外國貿易10m岸壁用埋立地の幅員150mの兩側及中央の3ヶ所と在來観測がつづけられてゐる舊埋立地表高町と4ヶ所に於て行つた結果を報告した。その結果埋立地中央部での加速度が在來埋立地(表高島町)に比し著しく大であり又概して兩側の岸壁及物揚場構造物で観測した加速度よりも大である事が明にされたが、更に岸壁設計に直接影響のある岸壁背後の裏込附近での加速度及振動周期を明かにし又市内の比較的良好な地盤に於ける観測値と比較する事により、將來測候所の観測値を標準として、埋立地に於ける構造物には何倍程の加速度を採れば良いか、等の資料を得る目的で2ヶ所新らしく設置した地震計により観測したのである。

本報告では主としてこの後の問題に關して述べるが、第1報の資料をも含めて圖表等には全部を示した。新らしく設置したものの一は第1報 No. 1 地震計から約12m距つた岸壁裏込上(圖-1)に No. 4 を設けた。之は第1報で No. 3 に設置してあつた地震計を移動した。従つて No. 4 の観測期中は No. 3 の観測はない。他は野毛山公園にある震災記念館内に設けた。之は曾て石本博士が「東京横濱市内10個所における地震加速度観測」²⁾を行はれた際に野毛山として報告された同じ場所の同じ建物内であり、尙第1報及本報告に表高島町としたものは、同博士の高島町として報告されたものと同じ場所の同じ器械に依るものである。

- 1) 土木試験所報告第53號 (昭和15年5月)
- 2) 地震研究所彙報 第12號2冊及第13號3冊 (昭和9, 10年)

は第三紀層の軟質砂岩なる土丹盤が海面下15 m 位にあり、それと海底との間は粘土質砂である。表高島町附近では上記第三紀層は深さ40 m 位にありその上に軟弱な粘土質砂の層がある。野毛山は第三紀層の基盤を覆ふ洪積層の粘土砂互層のローム層であつて表高島町附近の地盤よりは著しく硬い。

II 観 測 の 結 果

昭和14年1月以後15年3月迄約31回の地震の記録が得られた。之に就て各々の主要動の最大加速度及その中の主なる地震の主要動の卓越周期を調べて表-1に記入した。その中地震 No. 1~16は既に第1報に記したが茲に全部を纏めて再録した。發震時は記録からは正確には読み取れないから、震央と共に中央氣象院發行の氣象要覽によつた。震央距離はその位置を地圖に記入して之によつて開べた。横濱測候所は横濱市本牧の高臺にあつて岸壁観測所から南方約3 km の場所にあるが、此處での観測によると弱震が2回(地震 No. 7 及 No. 24)、輕震が3回、他は皆微震と言ふ程度である。No. 7 は昭和14年3月10日3時12分頃茨城県下結城附近に起つたもので關東地方の大部分から東北地方の南東部及中部地方の一部に亘り有感であつた。又 No. 24 は昭和14年12月31日15時53分頃銚子南西約10 km の海中に起つたもので、關東地方大部分から福島、山梨及静岡等の諸縣にかけて有感であつた。この二つの地震について同測候所の變位地震計から求めた振幅及周期は次の通りである。

地 震	日 時	最大 動 振 幅 (μ)			周 期 (秒)		
		N	E	Z	N	E	Z
No. 7	14 3 10 3 12	-1900	+1260	-263	1.2	0.7	0.8
No. 24	14 12 31 15 53	-2400	-1400	-355	0.8	0.6	3.5

観測場所によつて最大加速度が如何に異なるかを見る爲に圖-2に震央距離と各観測點の最大加速度を観測方向別に示した。之によつて No. 2 の震度が常に著しく大であり岸壁線に直交な E'-W' の方向では No. 2, No. 4 震災記念館(以下記念館と稱する) No. 1, No. 3, 高島町の順に小になる傾向が見える。更に之を明にする爲に圖-3に之等の加速度比を示した。埋立地以外の場所では観測の方向が異なるから No. 2 と比較する場合兩方向の平均で比較した。先づ埋立地の岸壁線に直交なものは No. 2 との加速度比は No. 4 が最も大で No. 1, No. 3 の順であつて大部分1より小である。記念館は表高島町より大である。地盤としては前者の方が硬いのであるが加速度が大に出るのは振動周期の關係であつて、之は以前の石本博士の観測でも同じ結果が得られてゐる。

振動の卓越周期は第1報に述べたと同じ方法によつて主要動記録の中心線を記録の波が同じ方向から切る點の時間を讀みとり之を0.025 秒毎に分類してその頻度曲線を作り之から讀みとつた。地震 No. 17 以後の中主なもの頻度曲線を圖-4, 5, 6に示す。その中 圖-5及6は主要動の初めから記録の數20 mm の間(約19秒間)と夫につゞく20 mm の間とをわけて整理した。即ち後の20 mm のものはその地盤の固有周期がより明瞭になる事が期待出来る。表-1に卓越周期として一つの()内に二つの數を記したものの初めのものは最初の20 mm 次のものは次の20 mm の卓越周期である。

卓越周期は震央距離によつて異なる事が観られるから更に之を明にする爲に圖-7を作つた。一般に震央距離が小になれば卓越周期は小となる傾向がある。岸壁線に直交な方向に就て見れば No. 1 では震央距離が80 km 以下では周期が小であるが夫以上では0.4~0.5 秒時に0.6 秒を超えるものがある。No. 2 は全部が0.2~0.25 秒の中にあり、No. 4 では No. 1 よりも周期は一般に稍小であるが80 km を境として夫以上では0.33~0.55 秒の範圍にある。即ち80 km 以下では割合に No. 2 の卓越周期に近く夫以上では No. 1 の卓越周期に似てゐる。No. 3 は表-1から直接分る通り常に0.25 秒である。

表 1 横濱の各観測點に於ける最大加速度及卓越周期

加速度の單位は gal, () 内の數字は卓越周期を秒にて示す。 () 内に 2 個の周期を記したものの第 1 は初めの 10 秒間の第 2 はその次の 10 秒間の卓越周期である。

加速度の方向にて表高島町、野毛山は EW, NS は自然の方向であるが、No. 1~No. 4. では EW は岸壁面に直角、NS は岸壁面に平行の方向を示した。震央、震央距離及震度は氣象要覽による。

地震番号	発 震 日 時					加速度 の方向	表高島町	野 毛 山	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	震 央 及 震 央 距 離				横濱測候 所に於ける 震度
	年	月	日	時	分								位 置	東 經	北 緯	km	
1	14	1	9	10	2	EW NS				1.96 1.61	0.94 1.36					65	
2		1	10	21	0	EW NS				2.21 1.91	0.98 0.94		伊豆神子元 島沖	139.0	34.5	130	
3		1	24	13	2	EW NS	2.16 0.45			3.23 4.00	1.78 1.23		福島縣鹽屋 崎東方沖	141.4	37.0	250	微震, I
4		1	25	3	8	EW NS	1.06			1.70 1.63	1.02 0.51		同 上	141.3	36.7	200	
5		2	1	14	25	EW NS	1.06 0.90		0.17 1.28	5.28 4.60			結城附近	139.9	36.2	90	微震, I
6		2	9	0	16	EW NS			1.28 0.51	0.94 1.10	0.60 0.17		鹿 島 灘	141.6	36.3	160	
7		3	10	3	12	EW NS	7.73(0.40) 3.60(0.25)		16.00(0.50) 6.46(0.50)	20.10(0.25) 16.60(0.25)	13.10(0.25) 7.40(0.37)		下結城附近	139.85	36.15	90	弱震, III
8		3	25	10	40	EW NS	3.29 0.45		3.10 1.70	9.17 7.56	6.63 3.31		八王子附近			32	
9		3	26	9	51	EW NS			2.04	5.52 4.03	2.55 1.53		九十九里濱 南部	140.5	35.2	80	微震, I
10		4	26	10	42	EW NS	1.62 0.45		1.87 0.72	4.69 4.08	2.12 1.45		勝浦南方沖			95	
11		5	1	14	58	EW NS	1.06 0.45		0.26 0.17	0.51 0.43	0.21 0.13		男 鹿 半 島	139.49	39.57	510	
12		5	8	17	4	EW NS	2.70 0.90		3.14 0.85	2.38 3.06	1.53 0.85		大吠岬東南 東沖	141.4	35.6	130	
13		5	18	18	31	EW NS	3.02(0.32) 3.00(0.35)		8.68(0.40)	9.87(0.20) 13.60(0.25)	6.75(0.25) 4.50		東京灣北東 部	140.0	35.6	40	微震, I
14		5	19	21	10	EW NS	2.92(0.35) 4.30(0.35)		3.40(0.40)	6.63(0.22) 5.27(0.32)	4.50(0.25) 2.30(0.21)		野島崎南東 沖	140.5	34.3	135	微震, I

表 - 1

(續)

地震 番號	發 震 日 時					加速 度 の方向	表高島町	野 毛 山 震災記念館	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	震 央 及 震 央 距 離				横濱測候 所に於ける 震度
	年	月	日	時	分								位 置	東 經	北 緯	km	
15		6	14	20	9	{EW NS			0.85	2.55 1.36	1.36		筑波山附近	140.1	34.3	110	
16		7	30	21	55	{EW NS				8.50	5.10		同 上	140.1	36.2	100	
17		8	22	9	6	{EW NS			0.51 2.89(0.62) 1.02(0.50)	3.74 2.04(0.23) 2.55(0.33)	2.21		福島縣東方 沖	141.8	37.7	332	微震, I
18		9	12	14	.5	{EW NS	2.04 3.06	3.57 4.08		6.80 6.88			水海道附近	139.9	36.1	78	輕震, II
19		9	14	15	25	{EW NS		2.21 3.31		5.45(0.20) 3.57(0.23)			千葉縣久留 里附近			45	
20		9	30	23	37	{EW NS	0.94(0.23) 1.45(0.33)	5.52(0.23) 3.57(0.25)	2.64(0.43) 0.43	3.74(0.20) 5.52(0.20)			勝浦南方沖	140.3	35.0	81	微震, I
21		10	2	6	50	{EW NS	0.68 0.34	3.06 1.96	1.87 0.34	3.83 3.86			結城附近	139.9	36.2	88	
22		10	6	6	17	{EW NS	2.87(0.38) 3.40(0.30)	7.65(0.25) 6.97(0.30)	(0.33; 0.50) 3.06	(0.23; 0.23) 18.60			成 東 附 近	140.4	35.6	75	微震, I
23		10	6	15	21	{EW NS	1.02(0.28) 1.19(0.33)	3.83 3.06	2.97 2.12	6.80 10.30			東京灣北東 部			35	
24		12	31	15	53	{EW NS	9.10 8.42	(0.30; 0.23) 26.52	(0.50; 0.43) 2.89		9.86		銚子附近	140.8	35.6	108	弱震, III
25	15	1	15	15	1	{EW NS	1.17 (0.23; 0.20) 0.43	12.15 (0.23; 0.23) 12.41	6.12 (0.23; —) 0.94		14.96		千葉市附近	140.1	35.6	50	微震, I
26		1	18	0	1	{EW NS	2.04(0.15) 0.26(0.30)	5.95 6.29	4.59 0.34				野 島 崎 沖	140.1	34.7	94	輕震, II
27		1	19	23	32	{EW NS		5.78 5.78	6.80(0.35) 0.94				東京灣北部	139.9	35.6	33	輕震, II
28		2	25	3	50	{EW NS		6.88(0.25) 5.10(0.23)	9.18(0.23) 1.53(0.38)	7.31(0.23) 6.97(0.30)			九十九里濱 南部			67	
29		3	9	12	33	{EW NS		1.19(0.30) 1.87(0.23)	1.62 (0.25; 0.43) 0.77	3.74 (0.25; 0.20) 2.97			埼玉縣杉戸 附近			65	
30		3	9	19	48	{EW NS		0.77 0.85	0.85 0.34	0.68 0.68			父島西北西 沖	140.0	28.0	750	
31		3	15	21	34	{EW NS			1.79 0.85				茨城縣南西 部			71	

港灣の埋立地に於ける地震の加速度及周期に関する調査 (第2報完)

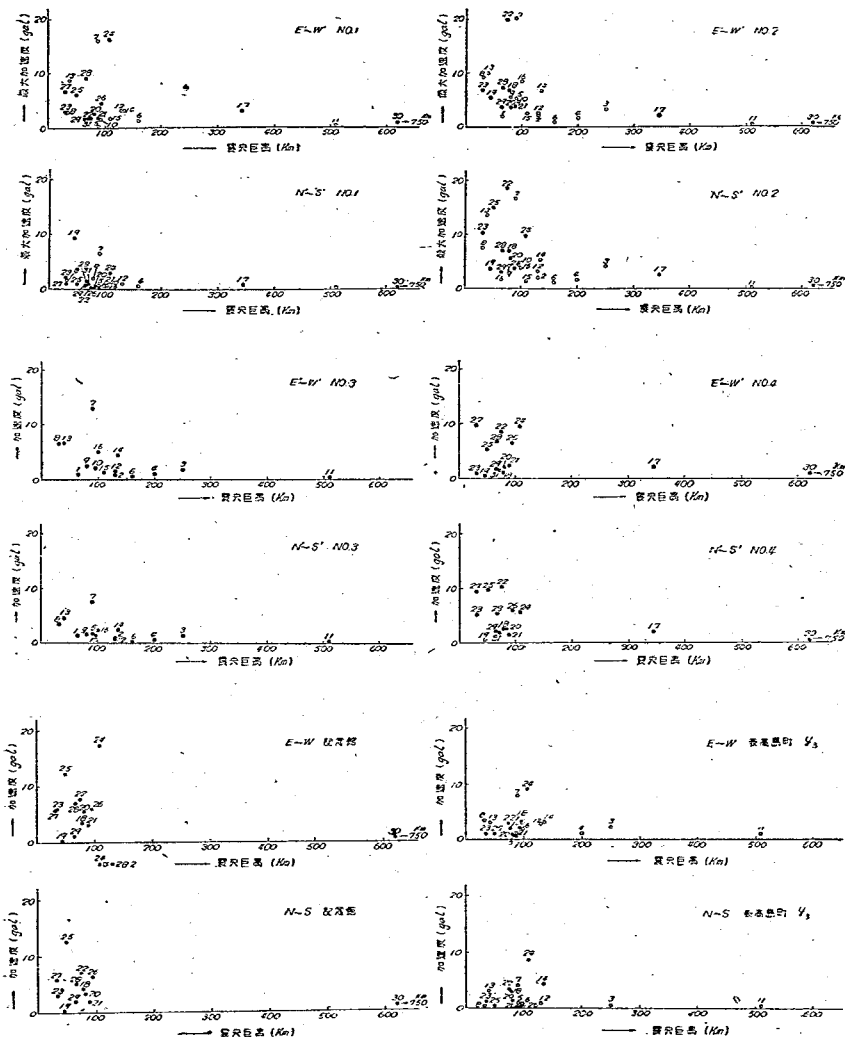
岸壁線に平行な方向では No. 1, No. 4 及 No. 3 何れも直角方向よりも卓越周期が稍々小である。

No. 2, 記念館及表高島町は方向による卓越周期の著しい差は認められない。

別に昭和16年3月以降神奈川縣川崎市海岸埋立地に於て地震の観測を行つて此の地盤の振動周期に關する資

圖-2 震央距離と各地點の最大加速度

(白丸は第1報にのせたもの、黒丸は新しく追加したもの)



料が得られた。観測の場所は圖に示す位置で水深-3.0 mの物揚場(延長方向は N 65°E)の背後物揚場の肩の線から直角に約40 mの場所の建坪約1坪の小屋の中に約1 m角のコンクリート盤上に横傾に於けると同様の加速度地震計を据付けた。この据付場所は据付約1ヶ年前に埋立が完成した處であり、在來埋立地に接し幅約120 mに舊海岸線に平行に帯狀に造成された地域の中にある。地質は-3.5~10.5 mは中砂-10.5~25.0 mは砂質粘土-25.0 m~46.0 mは粘土交り細砂で試錐は夫以上の深さに及んでゐない爲、硬い地盤の深さは明らかでない。観測小屋の附近には之と間隔約2.5 mを置いて 4間×13間のバラック建事務所がある物揚場の構造は水深-3.0 m 天端高+2.80 mの L 型コンクリート擁壁であつて背後の表面は緩な斜面をなして肩から12 mの距離で+4.00 mの高さとなつてゐる。観測し得た地震は表-2 の通りである。

圖-3 各場所の震動比 △印は一方のみの観測値によるもの

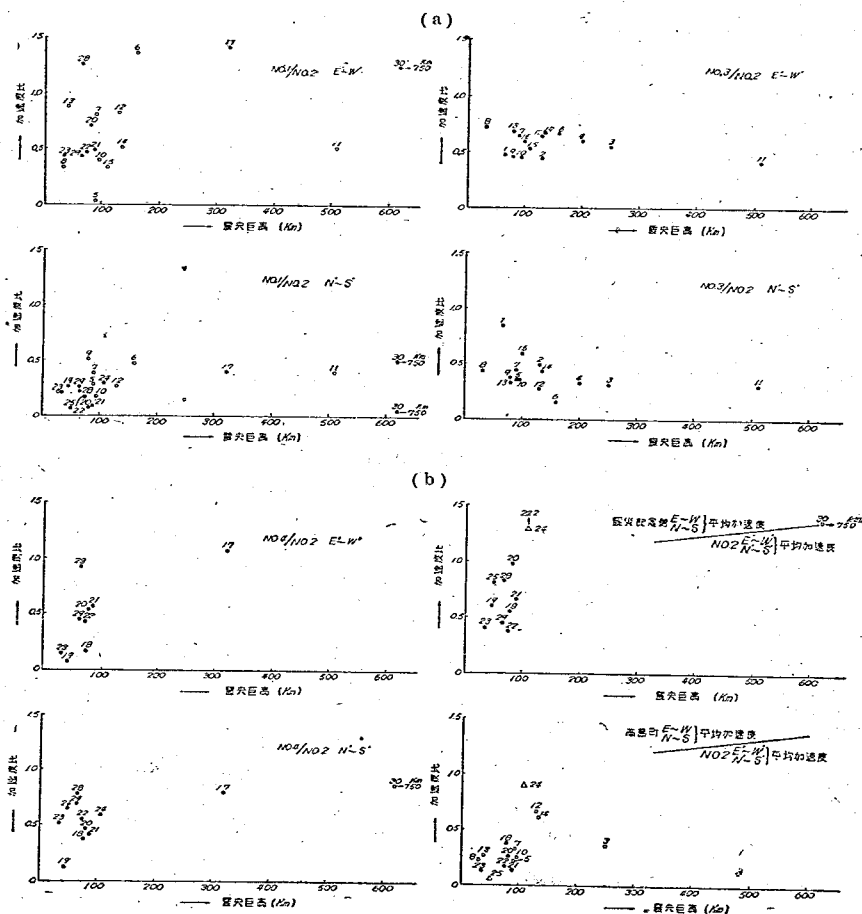


表 2 川崎市埋地の最大加速度及卓越周期

加速度の欄の()内は卓越周期。2 個の周期が同一括弧内に記入されてゐるのは初めの 19 秒間と次の 19 秒間の卓越周期である。

地震番號	地震日時 昭和 16 年	加速度 観測方向	加速度(卓越周期) gal(秒)	震 央 及 震 央 距 離			
				位 置	東 經	北 緯	km
32	月 日 時 分 3 25 10 32	EW NS	3.06(0.18;0.18) 3.32(0.20;0.20)	神 奈 川 縣 足柄上郡三保附近			61
33	3 25 10 36	EW NS	2.55(0.18) 2.72(0.18)	千葉縣久留里附近			75
34	4 25 12 59	EW NS	5.36(0.20;0.23) 2.72(0.18;0.18)	茨城縣下妻附近	140.0	36.1	71
35	4 28 17 1	EW NS	3.66(0.23) 3.91(0.15)	千葉縣手賀沼附近			56.8
36	5 12 7 27	EW NS	0.94(0.20) 1.19(0.18)	茨城縣谷田部附近			85.4
37	6 4 4 12	EW NS	6.47(0.23;0.25) 6.80(0.18;0.23)	千葉縣印旛沼附近	140.2	35.8	48.0
38	7 15 23 47	EW NS	1.02 1.53				163.2
39	7 17 3 17	EW NS	0.51 0.51				149.1
40	8 16 20 33	EW NS	1.10(0.18) 1.96(0.20)				92.4

圖-4 各 場 所 の 周 期 傾 度 (1)

主要動の初めから約 20 mm の間即ち 19 秒間の振動に於て調べたもの No. 19 の地震の観測點 No. 2 * 印のものは之に引續いた 19 秒間の振動に就て調べたもの

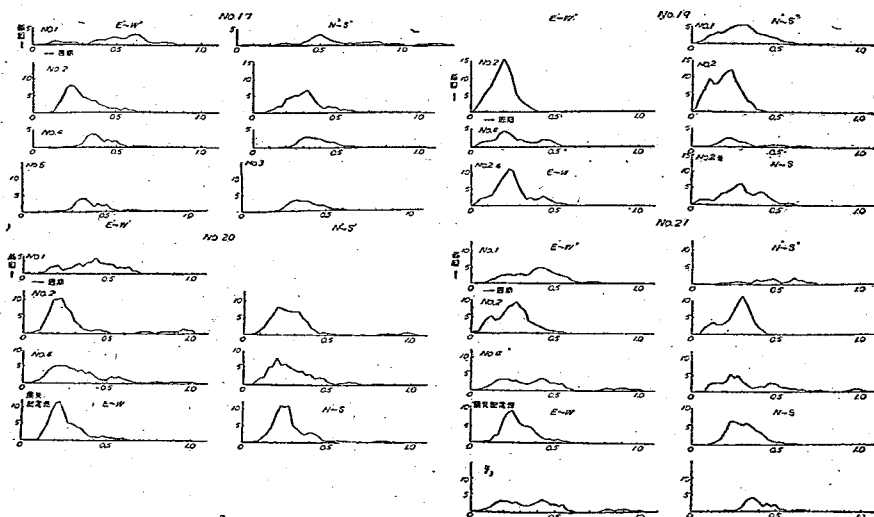
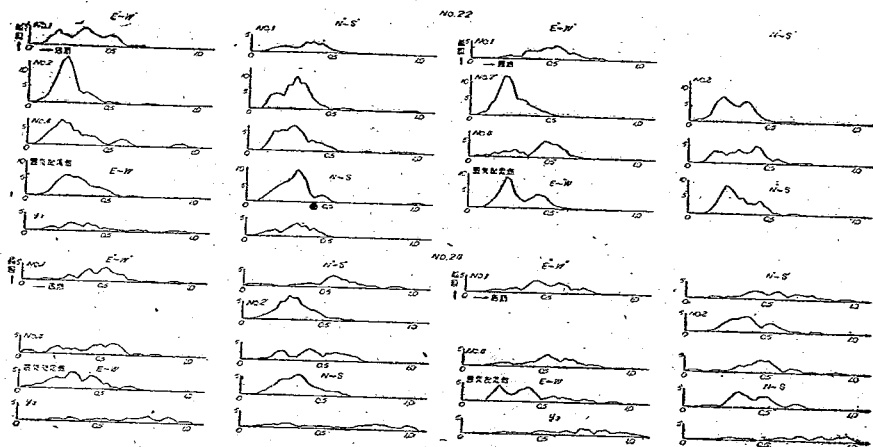


圖-5 各場所の周期傾度(2)

左の2列は主要動の初めから19秒間 No. 22 及 24 右の2列は夫れに続く19秒間の振動に就て調べたもの



卓越周期は圖-9に示す通りであつて何れも0.2秒以下であり横濱のNo. 2よりも更に小である。川崎市附近の地質調査の結果によれば、地震計設置位置は約300m西の橋梁工事箇所では-10.50mまでは砂夫から-25.00mまでは砂質粘土土以下-33.50mまでは粘土交り細砂であつて夫迄には硬い地盤はない。第三紀層の土丹盤はこの箇所より北西約9kmの田園調布丸子の渡の西に於ては-13m、同じく4kmの東海道本線附近に於て-45m、又地震計の西約2kmの東渡田に於て-58.0mであつて土丹層の表面が次第に深くなつてをる。又観測箇所の南西約2kmの扇町埋立地に於ては-110mでも土丹層が出てゐない。之等を綜合して考ふるに土丹層は川崎市の北西部に於て-13mの深さであるものが南西に著しく傾斜し埋立地附近で-60mとなり、京浜運河の箇所では更に急に深くなつてゐるものと推定される。

III 結 言

- (1) 観測した6地點の中最大加速度は殆ど常に埋立地の軟弱地盤上 (No. 2) に於て観測された。
- (2) 軟弱地盤上 (No. 2) の最大加速度は岸壁基面上 (No. 1) 及物揚場構造物上 (No. 3) 岸壁線に直角な方向の最大加速度の普通2倍時に4倍に出る。但し震央距離が大となるに従つて岸壁上 (No. 1) の加速度が埋立中央部 (No. 2) の加速度より大となる傾向がありその比は最大1.4の場合があつた。
- (3) 岸壁線に平行な方向の加速度は直角な方向に比し著しく小で稍著しい地震に於ては物揚場の上 (No. 3) ではその比が1/2、岸壁上 (No. 1) では比較的小なる地震では1/2.5大なる地震では1/6程度である。
- (4) 岸壁裏込上 (No. 4) の岸壁線に直角な方向の加速度は岸壁上 (No. 1) の加速度より一般に稍小であり、之は埋立中央部 (No. 2) の加速度よりも常に小であつた。
- (5) 新らしい埋立地に於ける加速度 (No. 2) は在來埋立地 (表高島町) に比し2~5倍であつた。
- (6) 新らしい埋立地上で直接測定した場合 (No. 2 及川崎) の卓越周期は常に0.2~0.25秒であつた。
- (7) 岸壁構造物上 (No. 1) での卓越周期は岸壁線に平行及直角共に遠い地震 (震央距離80km以上) では

0.4~0.5 秒, 近い地震では夫以下であり, 物揚場上 (No. 3) では殆ど常に 0.25 秒である。

(8) 岸壁裏込上 (No. 4) での卓越周期は遠い地震では No. 1 に似, 近い地震では No. 2 に似て来る傾向がある。

(9) 振動の終り頃の卓越周期は No. 1 及 No. 2 共に初めの周期と殆ど變らないが, No. 4 は終り頃には常に No. 1 の夫と似て来る。

観測結果を綜合して大體以上の事が明にされた。一般に土地の固有振動周期はこの土地の軟い地盤の深さに関

圖-6 各場所の周期傾度 (3)

左の 2 列は主要動の初めから 19 秒間右の 2 列は之れに続く 19 秒間の振動に就て調べたもの

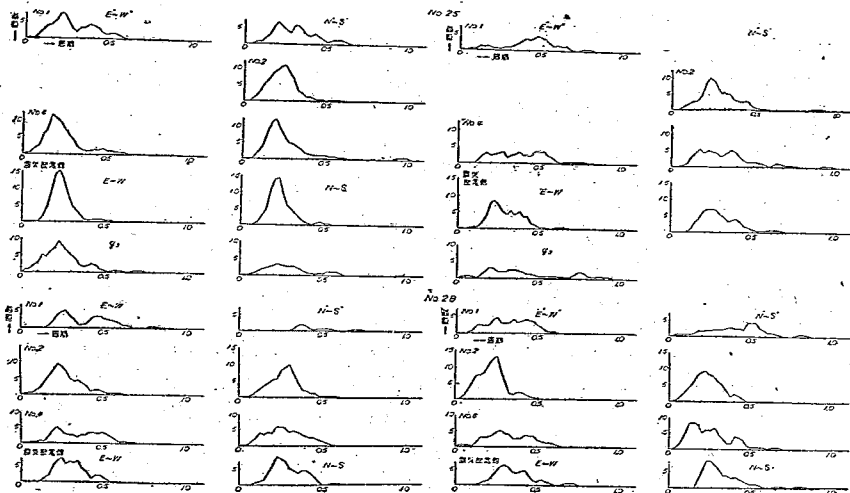
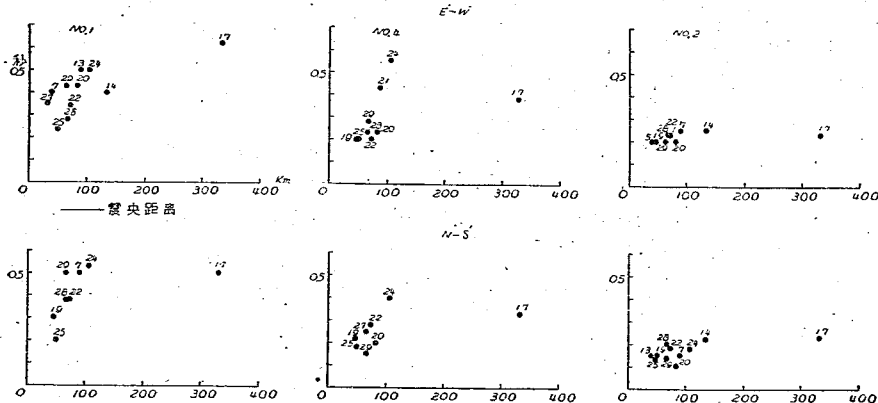


圖-7 震央距離と卓越周期との關係



係があると報告されたり事があるがこの観測では新しい埋立地の場合に常に 0.2~0.25 秒といふ一定値を得て上記報告とは一致しない。之は萩原、佐南氏が報告されてある如く地表面附近の薄い軟弱面の固有振動であると思ふ、横濱の No. 2 の如く比較的強い軟弱層 (厚さ約 14 m) でも川崎の如く厚い層 (厚さ 40 m 以上) でも同一の卓越周期が得られた事は此を裏書する一の実事であると思ふ。

附記 本観測の川崎市の分は神奈川県京浜工業地帯建設事務所の助力の下に行はれたものであり、横濱港の分は第1報に記した通り地震研究所齊田時太郎氏と協力して内務省横濱土木出張所の助力の下に行はれたものである茲に助力された各位に厚く謝意を表する。

図-8 川崎市地震観測地点

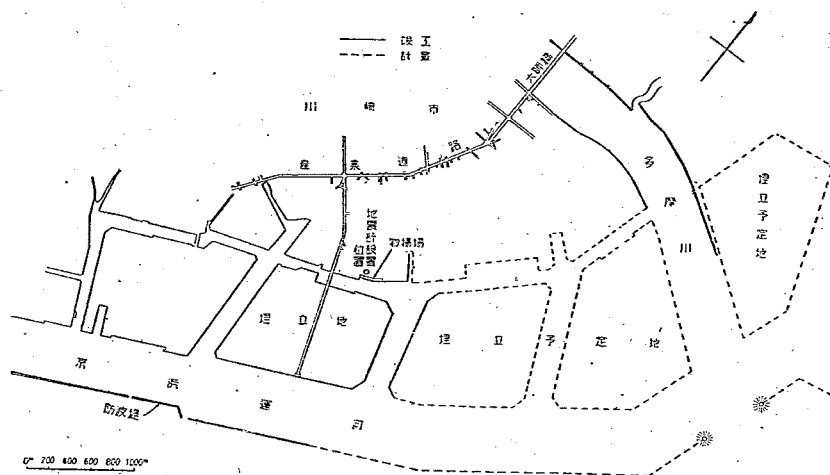
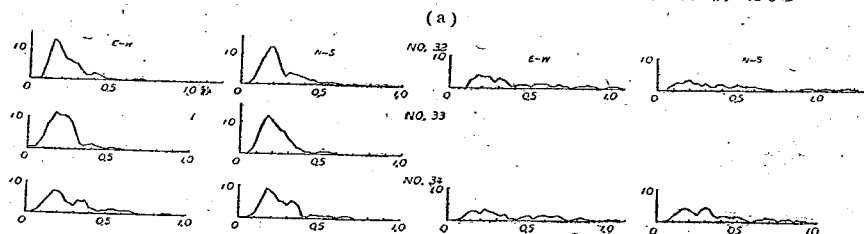


図-9 川崎市埋立地に於ける各周期の頻度

左の2列は主要動の初めから19秒間、右の2列はこれに続く19秒間の振動に就て調べたもの



- 1) 石本巳四雄: 東京市内10ヶ所に於ける地震動加速度観測 (地震研究所彙報 12 號 2 冊 13 號 3 冊及 14 號 2 冊昭和 9, 10 及 11 年)
- 2) 東京帝國大學構内に於ける地震動加速度の比較観測 (地震研究所彙報 16 號 3 冊及 17 號 1 冊昭和 13 及 14 年)

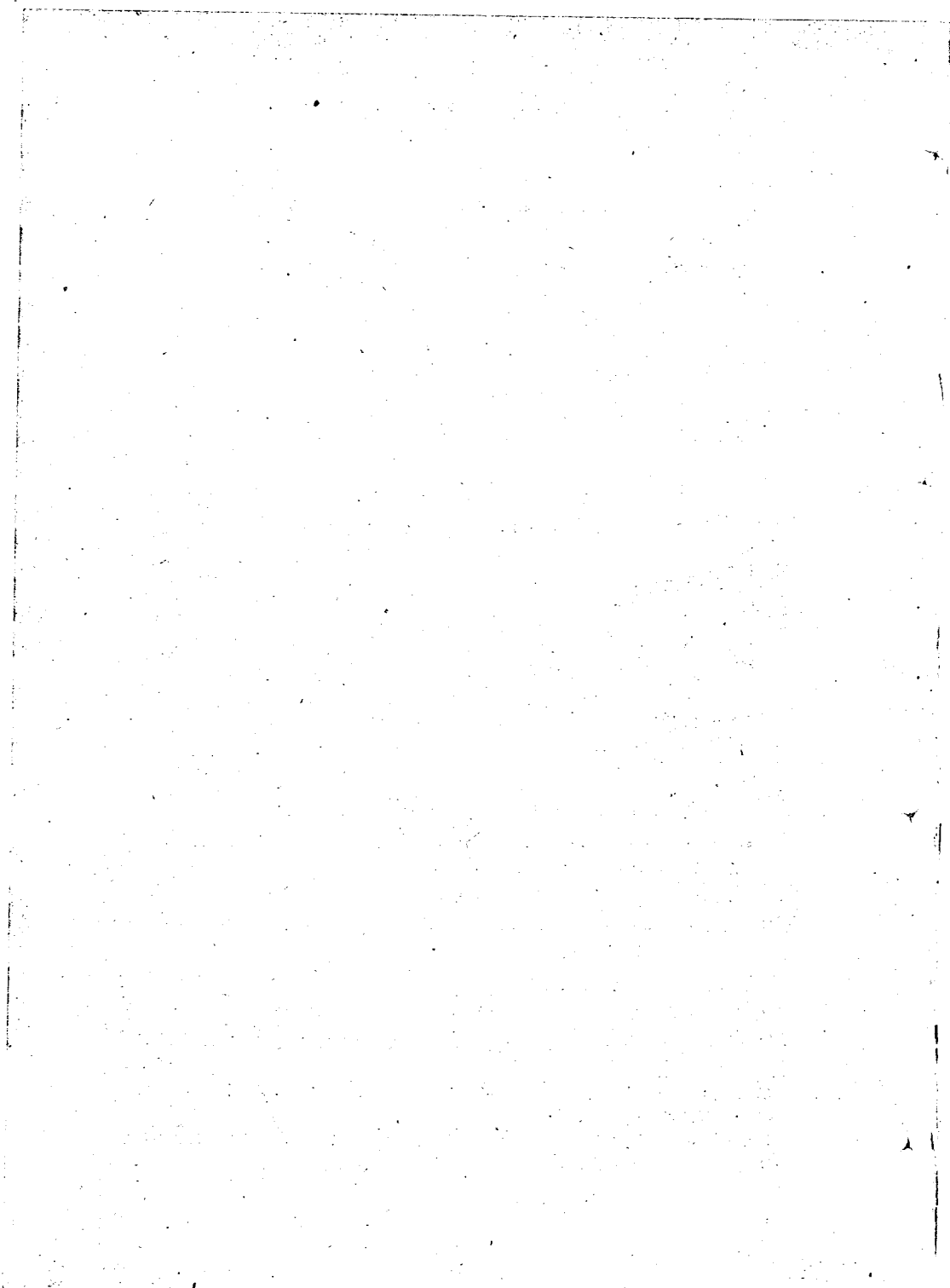
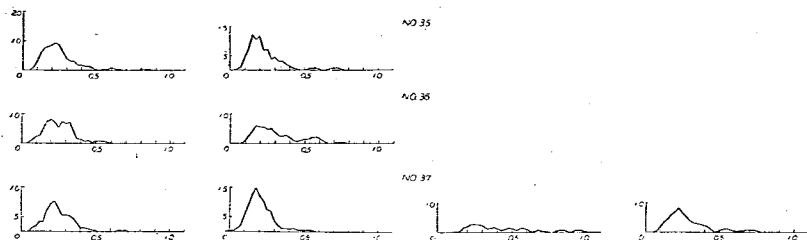


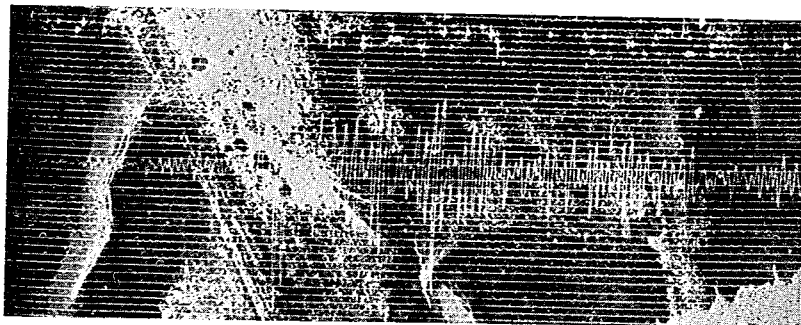
図-9 川崎市埋立地に於ける各周期の頻度

(b)

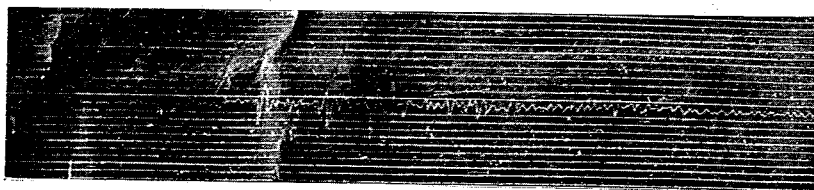


寫 眞-1 地震 No. 24 (昭和 14. 12. 31) の記録

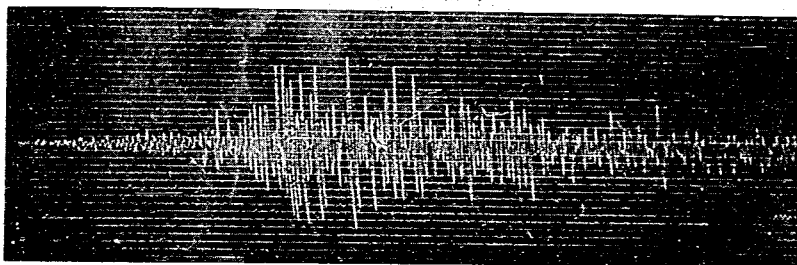
No. 1 E-W



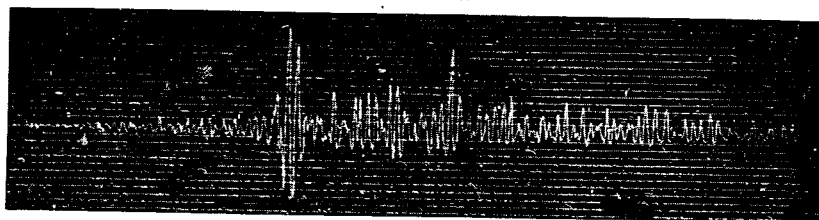
No. 1 N-S



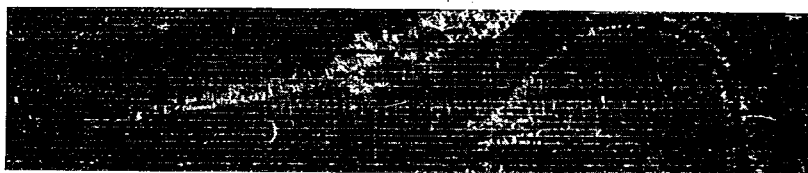
No. 2 S-N



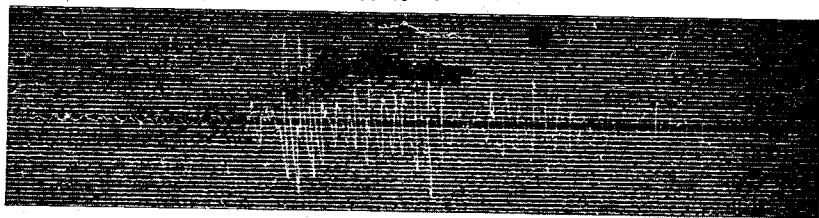
No. 4 E'-W'



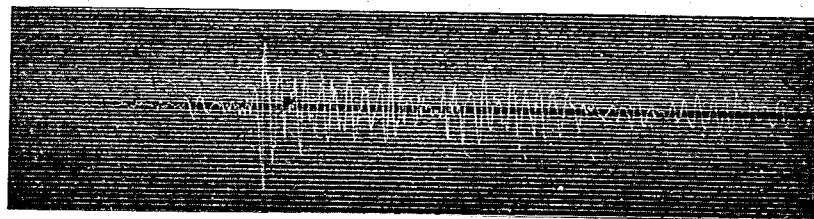
No. 4 N'-S'



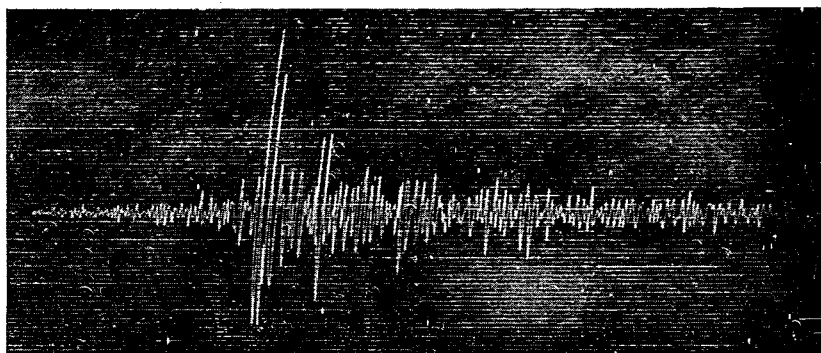
表高島町 E-W



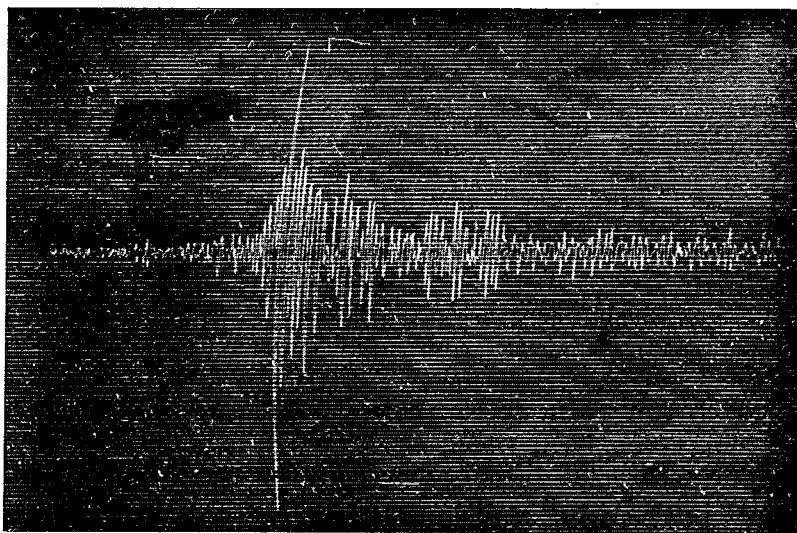
表高島町 N-S



野毛山 E-W

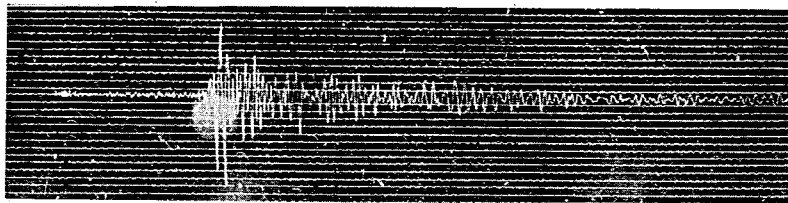


野毛山 N-S

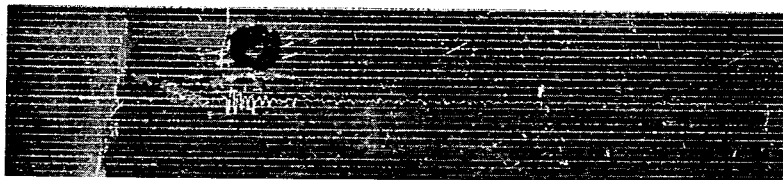


嘉 真-2 地震 No. 28 (昭和 15. 2. 25) の記録

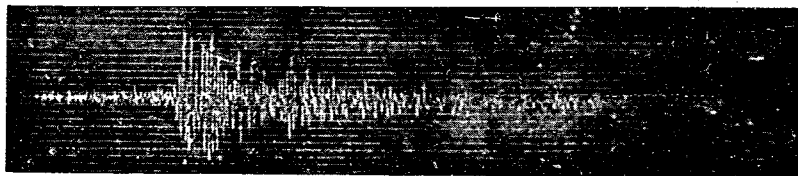
No. 1 E'-W'



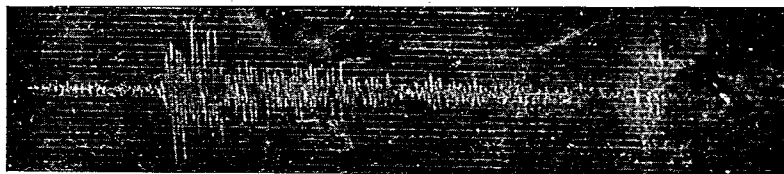
No. 1 N'-S'



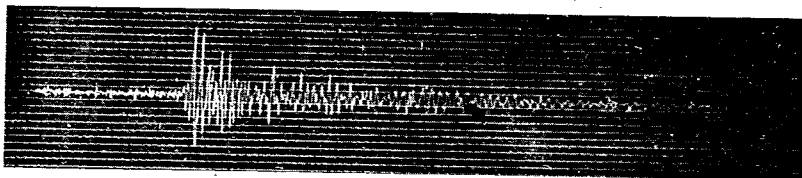
No. 2 E'-W'



No. 2 S'-N'



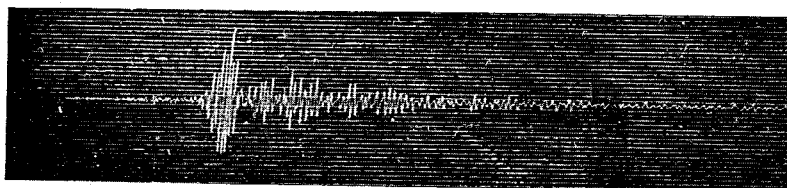
No. 4 E'-W'



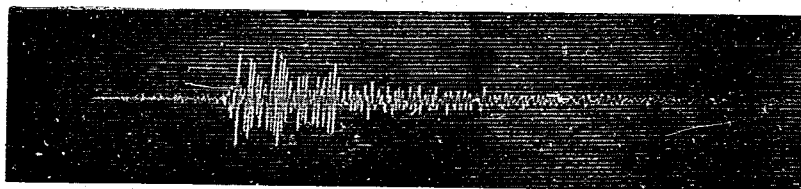
No. 4 N'-S'



野毛山 W-E

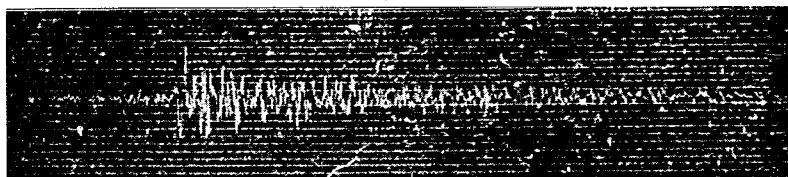


野毛山 N-S

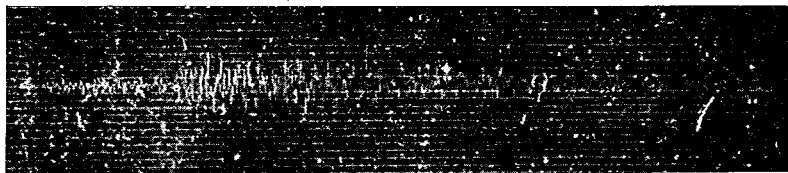


宮 眞-3 地震 No. 34 (昭和16. 4. 25) の記録

川 崎 E-W

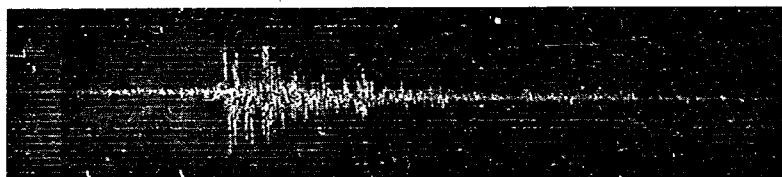


川 崎 N-S

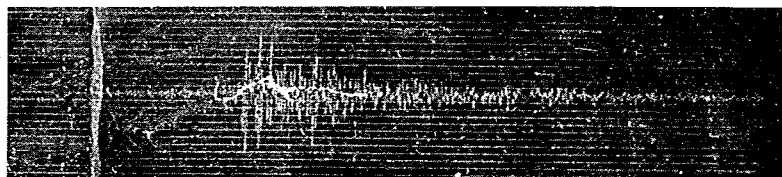


地震 No. 37 (昭和16. 6. 4) の記録

川 崎 E-W



川 崎 N-S



日本海岸の漂砂に就いて

(我國沿岸の漂砂に関する調査報告 第1報)

囑託本間 仁

目次

I. 漂砂の運動	(1)
II 日本海岸地方の風、地勢等	(3)
III 各地の漂砂資料	(4)
IV 結 論	(20)

I 漂砂の運動

1. 海岸線上に起る流れ

漂砂は海岸線附近を動く水の運動によつて運ばれるものである事は明かであるから、先づこの海水の運動に就て考へて見る必要がある。海岸線附近に起る海水の動きをその原因によつて區別すれば

- i. 波による流れ。水分子の軌道運動で、海岸線上ではかなり變形する。
- ii. 潮流。潮汐と地形に起因する流れ。
- iii. 風による流れ。水分子が風によつて吹き寄せられる流れ。
- iv. 河川による流れ。河流の流出により河口附近に起る流れ。
- v. 渦による流れ。外洋の流れに伴つて起る渦の流れ。

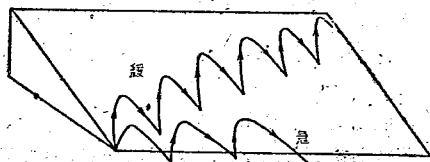
斯の様に海岸線附近の流れは何れも比較的小規模のものであつて、外海の流れや熱対流等が直接にこの運動に影響する事は殆どない。従つて漂砂の運動には局地的な性質が甚だ多く見られるのである。多くの場合、上述の各原因の中の幾つかの組合せによつて海水の運動が起つてゐると考へられるが、一般にはその中で最も大きい原因となつてゐるのは風による運動で、之は海岸線附近で海水が碎波の爲に激しい運動をしてゐる事實から容易に推察される所である。

2. 海岸の漂砂

海岸に打ち寄せる波は風の方角に拘らず海岸線に大體垂直の方向に當る。然しその方向が僅かでも傾いてゐれば砂礫は圖-1 に示す様な経路を取つ移動する。特殊な地形、例へば岬等の突出する場合に

は廻り込み波は海岸線に對してかなり斜に當るので砂礫の移動が著しくなる。尙海岸に當つて碎けた波の水分子は砂礫を上昇する時は速く、退く時は遅いのが普通であるから、海岸勾配が餘り急でなければ砂礫は次第に上に打ち上げられる傾向があり、粒の大きさは大きいもの程、上まで運ばれる。

圖-1



1) I. Hiroi, On the Nature of Drifting Sands as Affecting Harbor Construction on Sandy Coasts. 東京帝國大學工學部紀要 第11冊 第3號

海底に於ける波の力は水深が増せば急激に減少するが、暴風の際は可成り深い處まで砂礫が動かされる。Murray の観測の結果³⁾によれば白堊の礫を海岸から7~10哩の沖合で水深10~20呎の處に投じたものが、嵐の爲に海岸に打ち上げられた。

漂砂の動く方向は大體、卓越風の方角及びうねりの來る方向等によつて定まるが、岬等による廻込波の方向は非常に大きな支配力を持ち、漂砂は常に之等の突出物に向つて動くとしてよい位である。單調な海岸線では卓越風の方向に支配されてある事は圖-2の Michiganに於ける Haupt の観測の結果が示してある⁴⁾。即ち砂は何れの部分でも對岸距離の最大の方角の波によつて動かされてゐる。

圖-2 ミシガン湖漂砂の方向



によつて動かされてゐる。

漂砂の動く速度は風速等によつて異なるが、Shaler の観測によれば煉瓦片を用ひて0.5哩/日以上、Wheeler の観測によれば煉瓦半片を用ひて25~30哩/1.5~2時の記録を得てゐる。

砂浜の海岸線ではこの様にして砂礫自身は波浪の爲に絶えず動かされてゐるが、多くの場合は海岸線としては大體安定してゐる。之は後節に述べる様に海岸線の形状が多くの場合は安定期に達して落付きの状態にあるからである。然しこの様な處でも突堤等を出せばその安定は破れる。港を防波堤で囲つたが爲に内部が埋没した様な例はこの場合に屬すると見てよい。

3. 河 口 漂 砂

河口では河川から流出する水流の爲に海岸線の形が安定する事が困難である。即ち砂の動いて來る側から洲が延びて河口を塞ぎ、従つて次第に河口を反對側の岸の方に移動させて行く。然し一旦河川に大出水があればこの洲は洗ひ流され、その後再び洲の延長が初まるのである。この様な事實から或海岸に於ける漂砂の動きを知るには河口の形状の變化を観察する事が有効な手段と考へられる。

本文に於ても我國沿岸の漂砂運動を調べる爲に總て各地の河口變遷の調査資料を利用してゐる。然し河口では同時に河川上流からの流下土砂の影響があるから、漂砂移動量を観測せんとする場合には特別の注意を要する。尙河口附近の漂砂の問題に關しては著者の實驗がある⁵⁾。

4. 海 岸 の 形 状

漂砂の問題を述べる前に海岸の形状に關して簡単に考察しておく必要がある。海岸を成因から大別すれば次の三種になる。

- i. 沈下性海岸 (Shoreline of submergence)
- ii. 隆起性海岸 (Shoreline of emergence)
- iii. 中立性海岸 (Neutral shoreline)

三角洲、沖積層海岸、火山生成海岸等は隆起性海岸に屬する。漂砂の最も多く見られるのは沈下性の海岸であつて、細長い突出砂洲 (Spits) もこの種の海岸の特徴である。

2) Min. of Proc. of Institute of Civil Engineer. 1853.

3), 4) D.W. Johnson, Shore processes and shoreline development. p. 100~103.

5) 波に依る河口附近の砂の移動に關する實驗、土木試験所報告第46號、那珂川河口の漂砂に就ての實驗、土木試験所報告第59號。

海岸は沈下性でも隆起性でも初期の状態では比較的急な勾配を持つてゐるが、波浪による浸蝕が進むに従ひ勾配は次第に緩慢になつて安定状態の海岸の形になる。その形及び海岸各部の名称は圖-3及び圖-4に示した。砂の移動するのは濱及び前濱の部分であるが、濱及び後濱の部分を通じての勾配に関しては廣井博士によれば⁶⁾一般には

細 砂	$\frac{1}{30} \sim \frac{1}{6}$
粗 砂	$\frac{1}{8} \sim \frac{1}{4}$
砂 利	$\frac{1}{5} \sim \frac{1}{3}$

この様に海岸は縦断勾配の方向に変化すると共に、平面的な形状に於ても次第に変化して行くのである。

II 日本海岸地方の風、地勢等

1. 冬季の気壓配置及び風

日本海岸の漂砂の問題に就て述べるに當つて、先づこの地方の卓越風の方向を調べねばならない。各地の調査資料の中で秋田、酒田、新潟、江津等に就いては風の記録を附記してゐるが、全體として日本海地方で風が強く、漂砂の動きも著しいのは冬季であるから、圖-5の一月に於ける平均氣壓配置圖によつて、この地方の冬季の風の大勢を示す。

即ち概括的に見れば奥羽、北海道の海岸では冬季の風は主として西風であつて、北陸及び山陰方面では主として西北西乃至北西風である。

2. 海岸勾配

日本海岸は大體沈下性の處が多いが、多くは安定状態に達してゐる様である。然し海岸の勾配は甚だ區々であつて、之が漂砂の動く量に著しく影響してゐるから、次にこの勾配の大勢を示す表を掲げる。之は海岸線にほぼ直角に測つた水深0から50mの處までの距離(a)と、水深50mから100mの處までの距離(b)とを、1,000,000分の1の地圖から略値を読み取つたものである。

表-1 海岸平均勾配表

場 所	a (km)	b (km)	場 所	a (km)	b (km)
十 三	5	8	秋 田、土 崎	9	12
釧 作 崎	1	1	子 吉 川 口	4	5
米 代 河 口	8	12	酒 田	5	15
男鹿半島西岸	1	2	新 潟	7	7

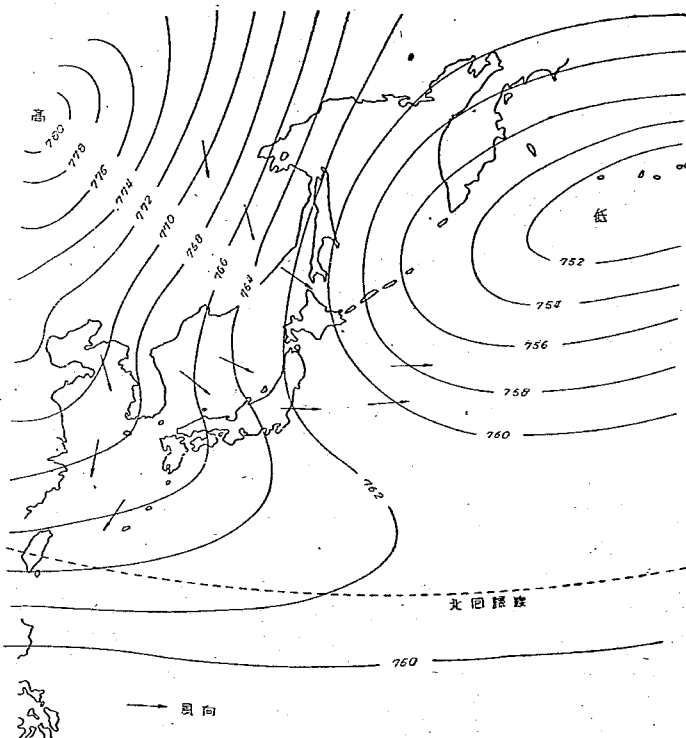
6) 前田 1) の論文

土木試験所報告

寺	泊	6	5	岡山川口	4	4
親	不知	1	1	千代川口	5	14
東	岩瀬	2	0.5	美保ヶ関	4	25
伏	木	2	0.5	江津	2	6
金	石	8	17	青海島	2	25
三	國	2	7	名護屋	6	50

基より水深50~100mと言ふ様な所で漂砂が動く事は殆どないが、この表から得られる海底勾配は矢張り濱の部分の勾配に關聯し、表の示す勾配の小さい場所では漂砂も一般に著しい様である。

圖-5 1月の氣壓配置圖



III 各地の漂砂資料

前に述べた様に日本海岸に於ける漂砂の趨勢を知る爲に、日本海に注ぐ幾つかの河川に就てその河口の洲の變遷狀態に關する資料を集めた。然し極端に小さい川では極く一時的な風浪によつて河口の形が變るから、年數同程度の測量によつて漂砂の趨勢を知る事は出来ない。以下に蒐集した資料を適宜に整理したものを東北から西南

に向つて順次に列記して行く。

1. 十三湖口

十三湖は津輕半島の西側にある海に通じた湖であつて、之には岩木川その他の河川が注いでゐる。湖口に突堤

図-6 十三湖口 (昭和2年6月)

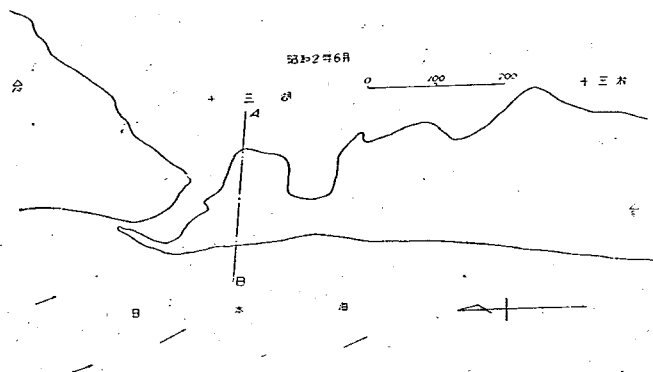
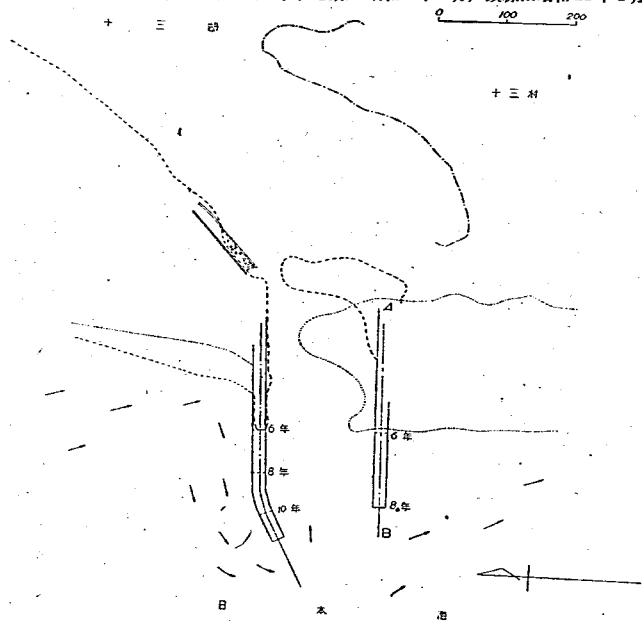


図-7 十三湖口 (點線は昭和4年9月, 破線は昭和8年3月, 鎖線は昭和14年4月)

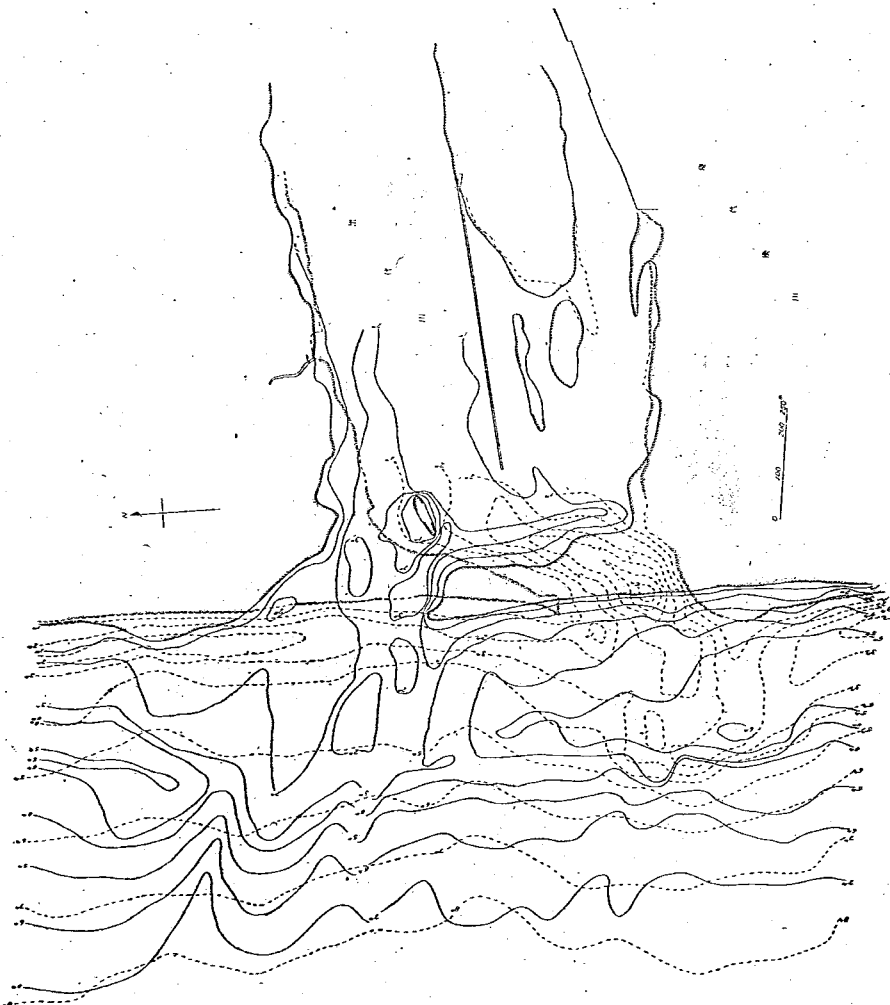


の出来る前は漂砂が南から北に向つてゐた事は圖-6から明かである。突堤が出来て後の湖口北側の海岸線の前進は(圖-7)この様な場合に常に見られる所である。

2. 米代川河口(圖-8)

米代川は男鹿半島北方能代町に於て日本海に注ぎ、附近の海岸線は比較的直線状で、海岸の勾配も緩である。それにも拘らず河口の洲の延び方は餘り一定してゐない様である。之は風向が海岸線の方角と直角に近い事と男

圖-8 米代川河口(點線昭和5年8月、實線昭和14年8月)



鹿半島が河口から比較的近い處にある爲に、時にはその影響が現れて洲が南に向つて延びる様な事も起るのが原因ではないかと思はれる。

3. 雄物川河口 (圖-9, 10 及び 11)

雄物川河口は男鹿半島の南方、土崎港に於て海に注いでゐる。川の形は河口から約 10 km 上流から北方に向ひ典型的な日本海河川の形状を示してゐて、海濱勾配も大きくはないが、現在の處では河口の洲の形は大體安定してゐる様である。尙雄物川には秋田市の西方に分水路があり、高水時の水が河口の洲を流失せしめ、或は流下土砂が沈着する等の事は甚少である。

この河口は土崎港として利用されて居り、防波堤の延長が港内の洲の形に影響してゐる事は圖-11 から見る事が出来る。圖-12 は秋田市に於て観測した風力圖であつて、雄物川及び次の子吉川河口附近では大體之に似たものであると見てよい。

4. 子吉川河口 (圖-13, 14, 及び 15)

子吉川は秋田市の西南約 30 km, 本荘町附近で日本海に注いでゐる。海岸線の形は北方は直線狀に延びて男鹿半島南側に達してゐるが、南方は直線部は餘りなくて著しくない突起形の岬に連つてゐる。又この地方の卓越風の方向は尙海岸線の方に直角に近いので、子吉川河口の洲は圖-13 に於ける様に南に向つて延びる傾向がある。圖-14 は洲の一部が出水の爲に流失した後の状態を示す。

尙秋田縣に於て本川河口に就て調査した結果の概要を述べれば、子吉川は河口より 6 km までは河床勾配 1/3,000 で波浪の高い時は海水が逆流する。最大洪水量は約 1,800 m³/秒 である。在來右岸にシートパイル導流壁延長 50 m, 杭打ち制延長 30 m があつたが流路の維持が困難であつたので、昭和 13 年 10 月に左岸に續延長 54.6 m の導流堤と片岸工延長 45 m の溢流堤を實驗的に施設した所、効果が著しかつたが昭和 13 年 12 月 24 日の増水の爲に溢流堤が破損して河口は左岸に移動した。尙冬中は北風となつて河口は南に移つたが、五月以後は主風が西風になつて河口も順次北に移動した。(圖-13 及び 14)。子吉川の流速は極めて緩であるが、平時は川の流れが真直ぐに約 600 m 海中に流出する。

5. 最上川河口 (圖-16 乃至 30 及び圖-31)

最上川河口は酒田港として利用されて居りその位置は土崎と新潟のほぼ中間に當る。然し現在の酒田港は瀬戸堤によつて最上川本川とは分離して居り、この中央突堤は長さ 700 m が昭和 8 年に完成したが、その後更に 140 m 延長された。河口の南北には各々約 17 km の砂濱が連つてゐるが、冬季の西北風により左岸の洲が發達して右岸に向つて延び、春季上流の融雪の爲に河川の流量が増大して河が洗ひ流される(圖-16~30)。その時河川から流し出される土砂の量は相當大きいが、海岸に沿つて動く漂砂の量もかなり多い。酒田港外に堆積する土砂量の變化の状態に關する内務省新潟土木出張所の調査によれば、次表の如くである。

表-2 酒田港外土砂堆積量

(港外の面積 3,148,700 m² の水域の水量を 2 月及び 8 月の實測圖より計算して、この區域への流入土量の増加を調査したもの)

年 別 (昭和)	春季出水前 (實測水量)	夏季水後 (實測水量)	夏季出水後増土量
11	17,275,000 m ³	16,498,000 m ³	777,000 m ³
12	20,961,000		
13	21,756,000	19,801,000	1,955,000
14	21,320,000	19,854,000	1,466,000

圖-10 雄物川河口

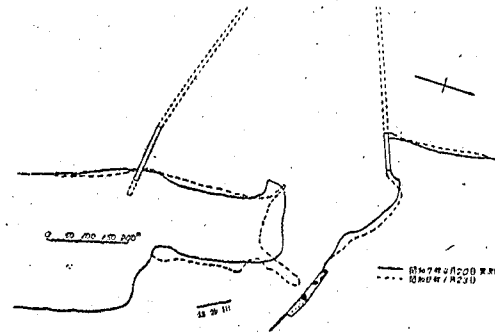


圖-11 雄物川河口

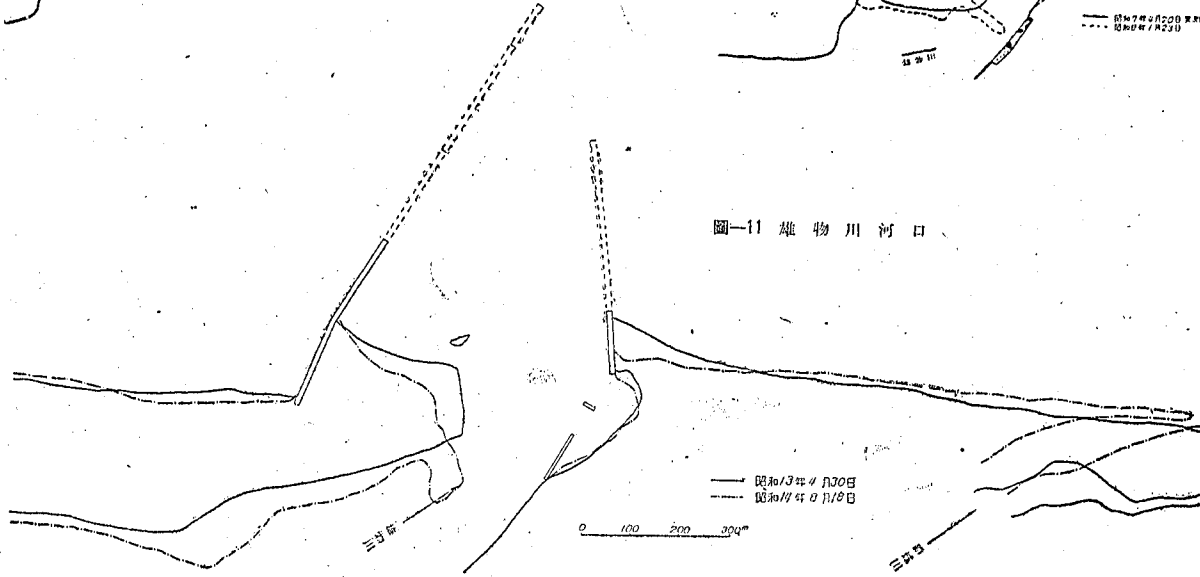


圖-9 雄物川河口

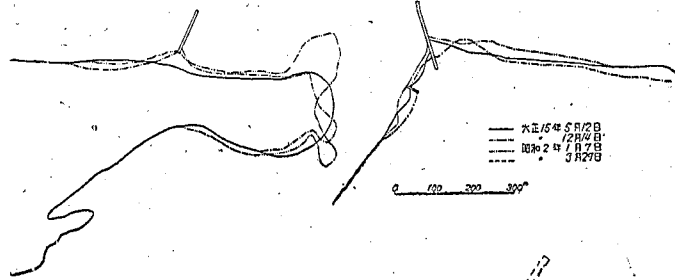


圖-12 秋田市に於ける風力圖

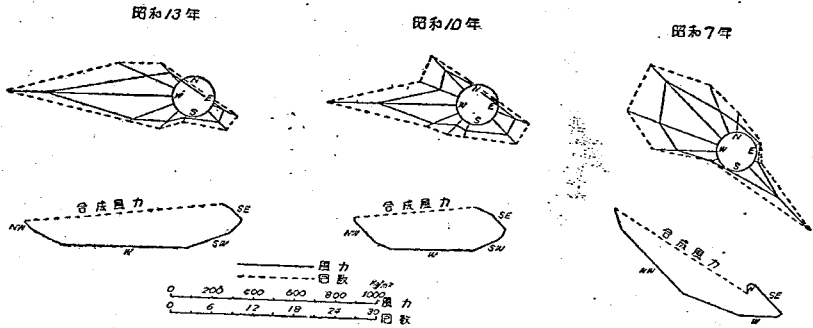


圖-13 子吉川河口

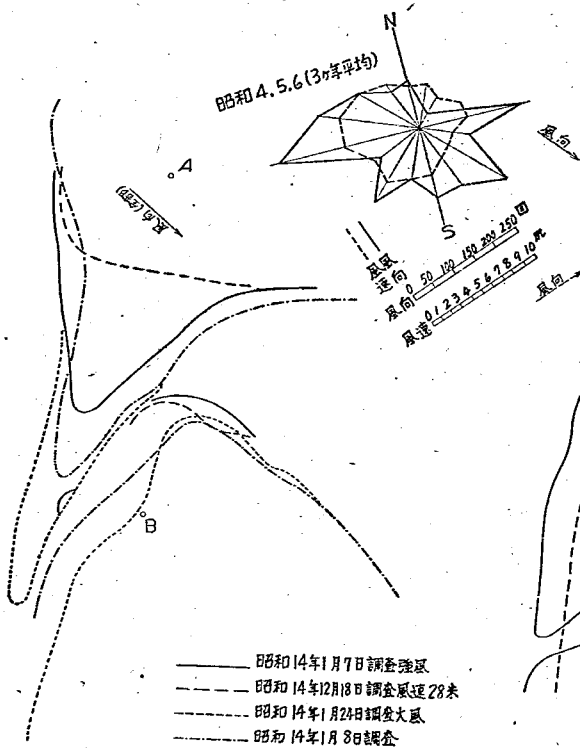
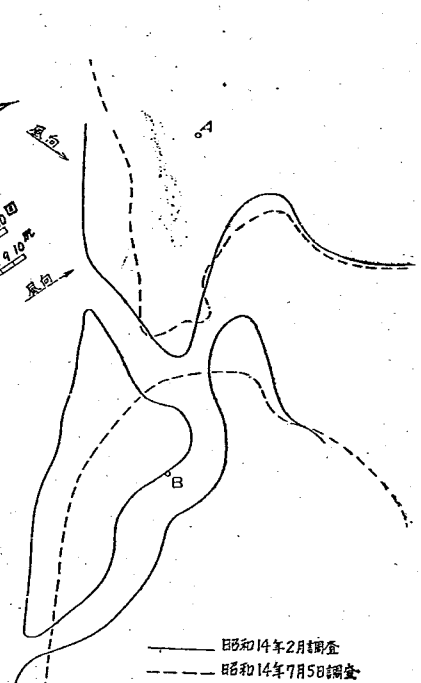
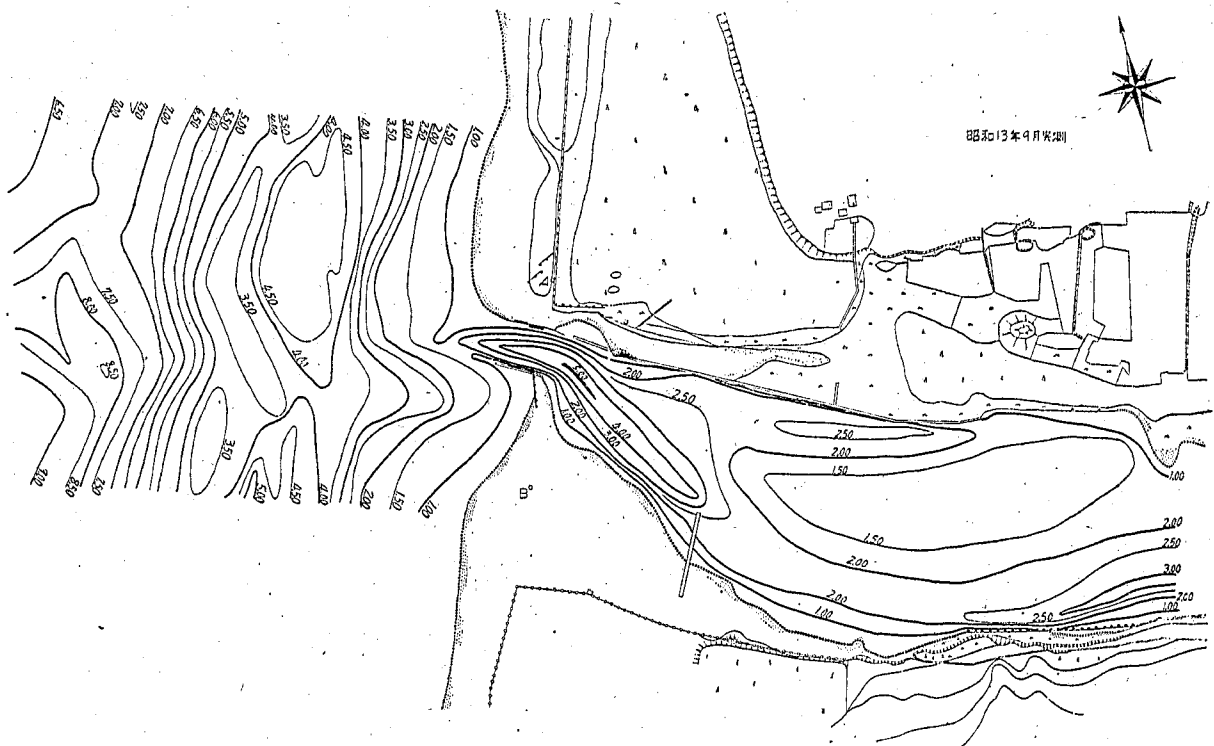


圖-14 子吉川河口



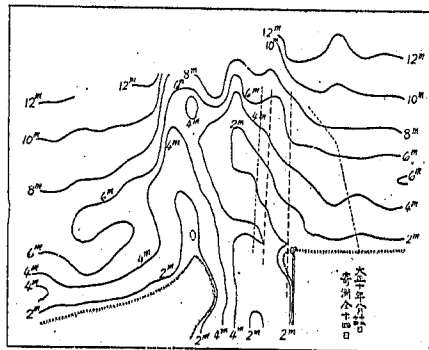
—— 昭和14年1月7日調査強風
 - - - 昭和14年12月18日調査風速28米
 - - - 昭和14年1月24日調査大風
 - - - 昭和14年1月30日調査

河口川吉子圖15

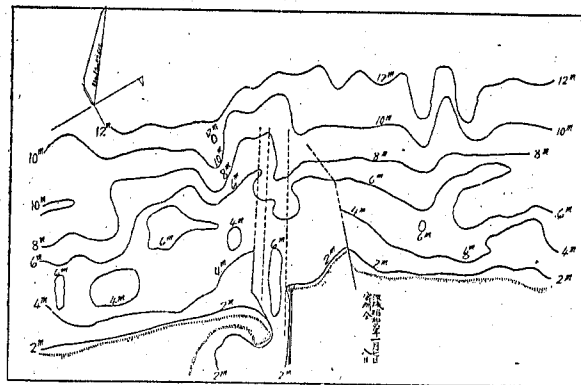


圖一六~一八 最上川河口變遷圖 (縮尺 1/35,000)

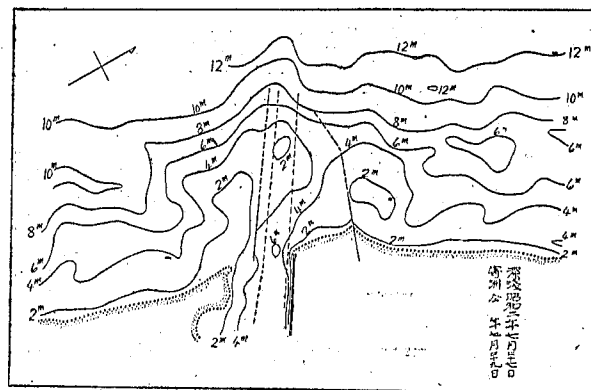
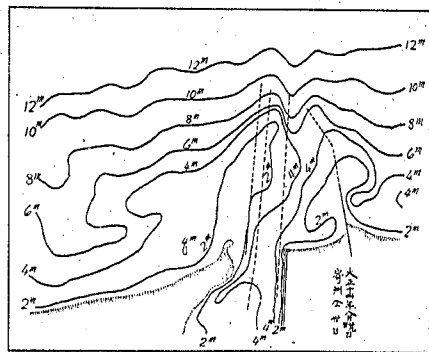
圖一六



圖一八

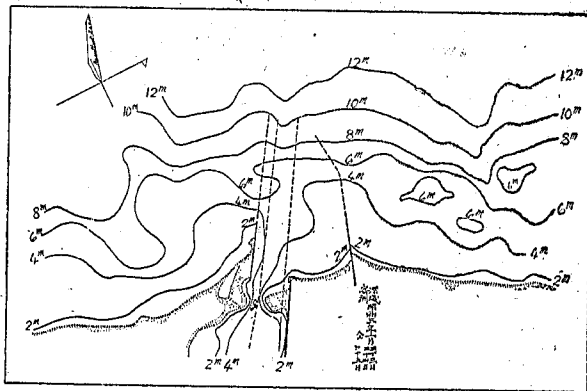


圖一七

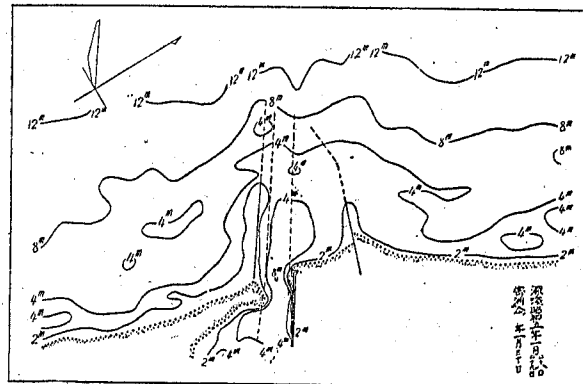


圖—20~23 最上川河口變遷圖 (縮尺 1/35,000)

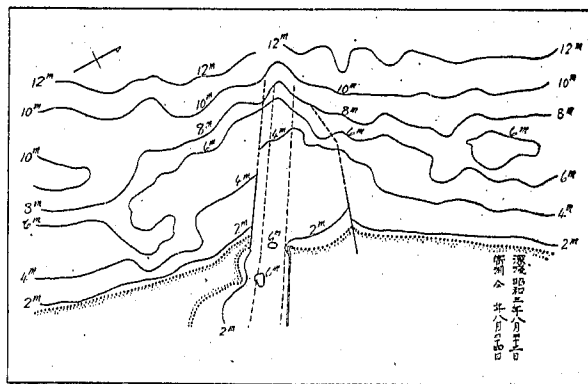
圖—20



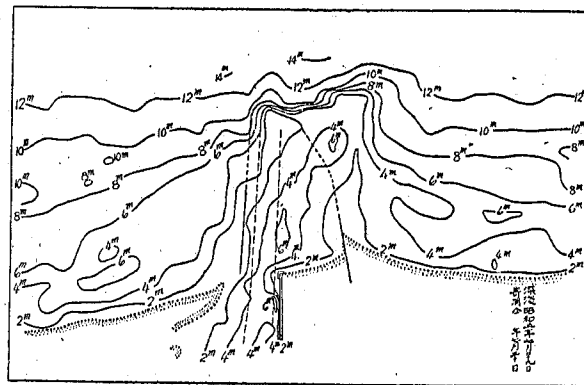
圖—22



圖—21

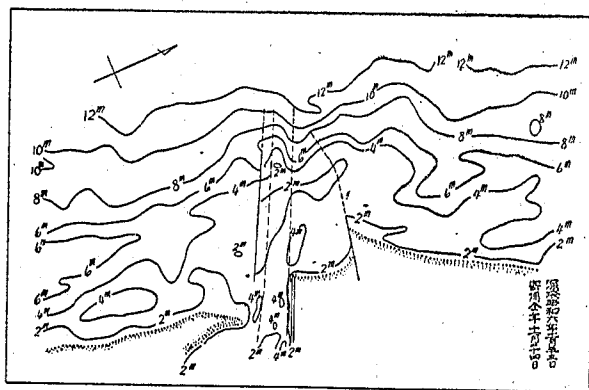


圖—23

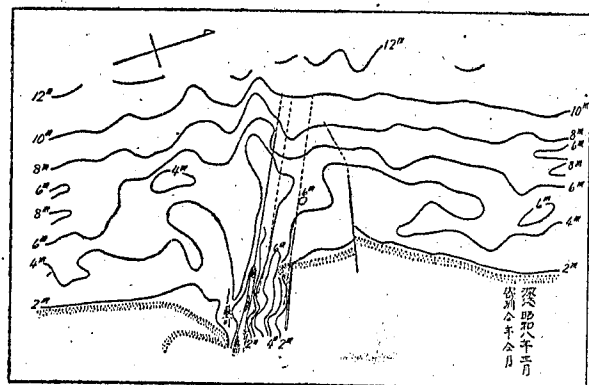


圖—24—27 最上川河口變遷圖 (縮尺 1/35,000)

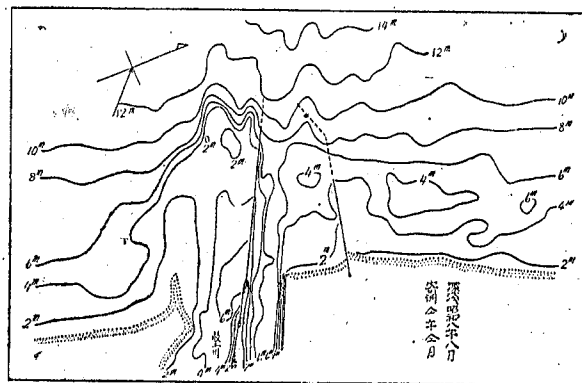
圖—24



圖—25



圖—26



圖—27

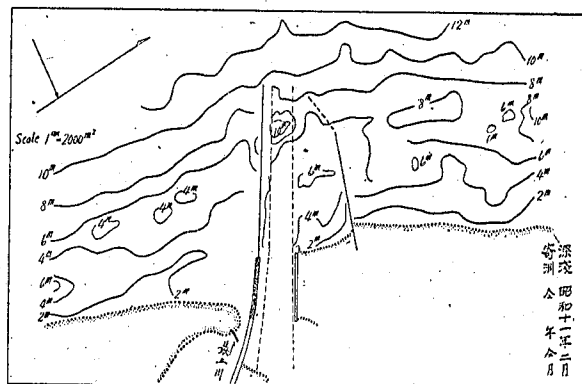


圖-28

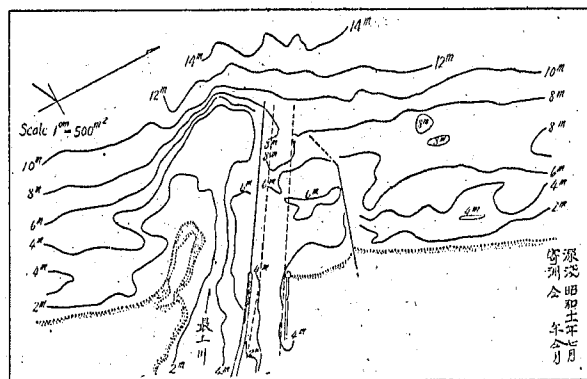


圖-29

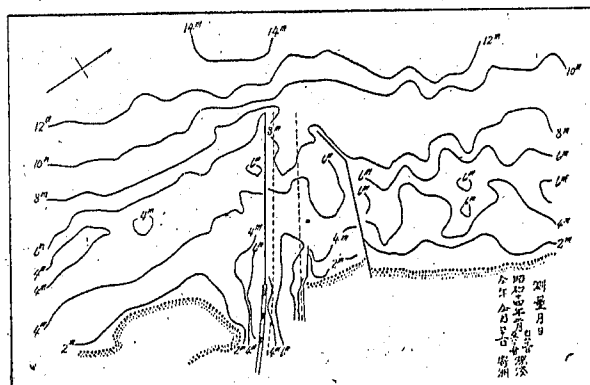


圖-30

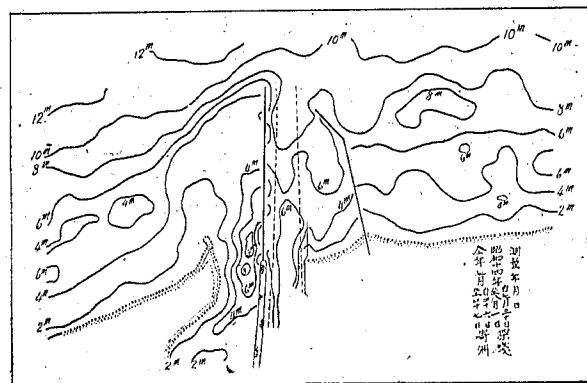


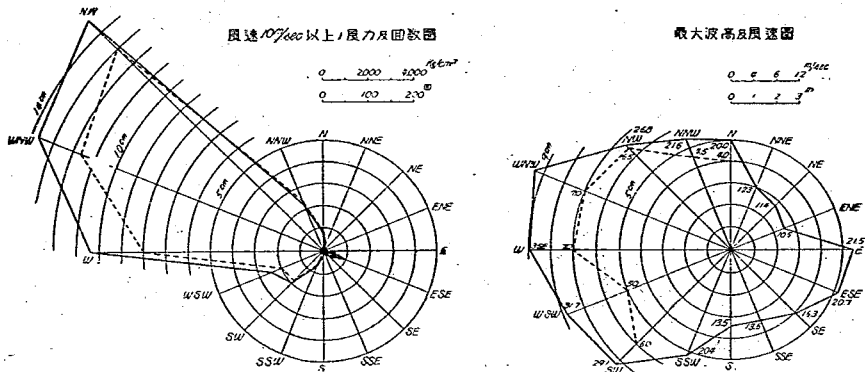
圖-28~30

最上川河口變遷圖

(縮尺 1/35,000)

圖-31 浜田港風圖

自大正14年1月至昭和14年2月/57年間



尙圖-16~30 は冬季及び夏季の河口附近等深線を示したものであるから、冬季の記録から漂砂の移動状況を見る事が出来る

6. 信濃川河口 (圖-32 乃至 40)

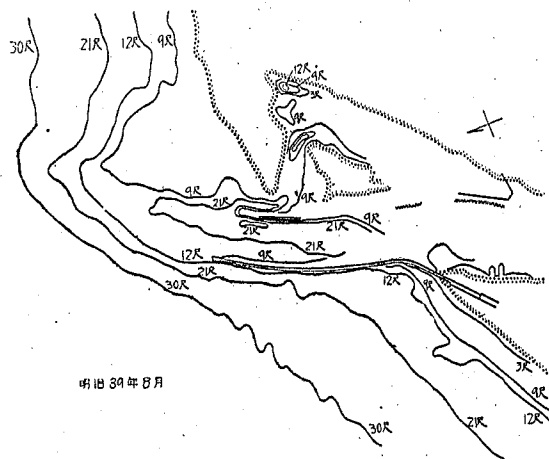
信濃川河口は新潟港になつて居り、又漂砂の動きの著しい地方であるから相當古くからの記録がある。風の記録として次に一月に於ける方向別風速表を掲げる。數字は風速合計、括弧内の數字は回数である。

表-3 一月の方向別風速表 (新潟、日最大風速表より)

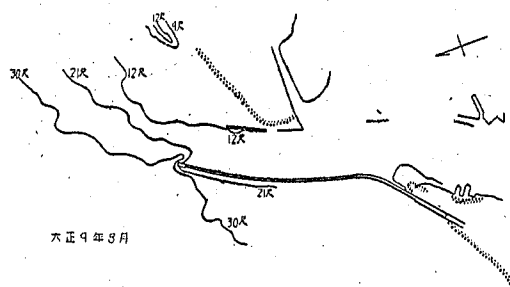
昭和 方向	5 年	6 年	7 年	8 年	9 年	10 年	11 年	12 年	13 年
N	8.6(1)	15.5(1)	29.6(2)	—	36.3(2)	17.9(1)	19.8(1)	—	11.1(1)
NNE	—	37.6(3)	3.0(1)	36.0(4)	11.5(1)	—	—	—	—
NE	15.3(2)	31.9(4)	—	—	—	13.7(2)	—	10.2(2)	—
ENE	—	5.6(1)	—	—	—	10.4(2)	—	—	—
E	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ESE	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SE	—	—	—	—	—	—	6.6(1)	—	—
SSE	5.4(1)	—	6.8(2)	5.5(1)	—	—	—	—	11.2(2)
S	4.7(1)	3.3(1)	—	27.9(4)	15.8(3)	15.7(3)	5.7(1)	11.5(2)	—
SSW	2.4(1)	—	10.5(2)	—	—	4.6(1)	—	—	16.4(3)
SW	—	22.1(4)	57.9(4)	13.9(1)	37.2(2)	—	—	37.5(2)	18.7(1)
WSW	13.4(1)	—	18.4(1)	37.9(2)	49.6(3)	26.4(1)	54.8(2)	5.3(1)	46.0(2)
W	42.3(3)	16.9(1)	70.0(5)	—	101.4(7)	74.4(4)	104.6(6)	—	46.7(3)
WNW	53.7()	116.2(7)	63.1(4)	19.6(1)	11.1(1)	55.5(4)	97.2(6)	150.2(9)	131.2(7)
NW	183.4()	79.9(5)	52.3(3)	195.1(14)	187.2(11)	144.2(10)	229.0(11)	179.6(12)	207.6(12)
NNW	51.7()	55.3(4)	103.4(7)	67.9(4)	13.3(1)	35.6(3)	66.0(3)	25.8(3)	—

圖—32~35 信濃川河口變遷圖 (縮尺 1/36,000)

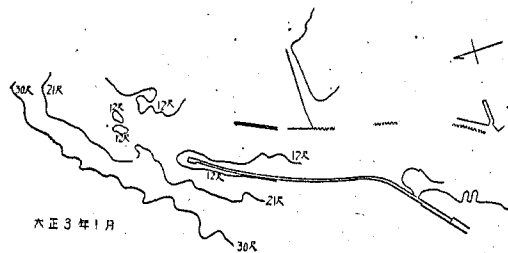
图—32



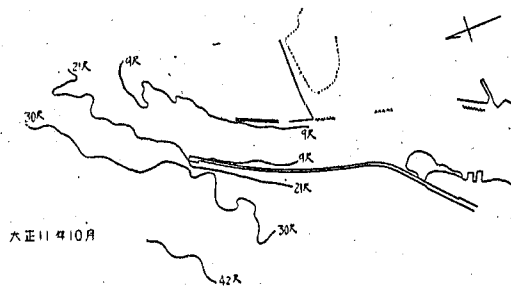
圖—34



—33

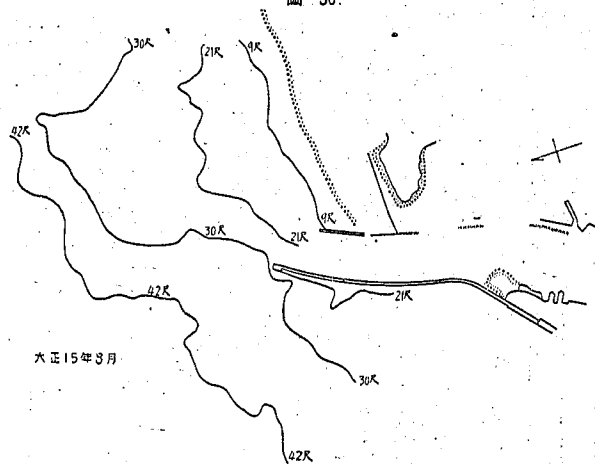


圖—35



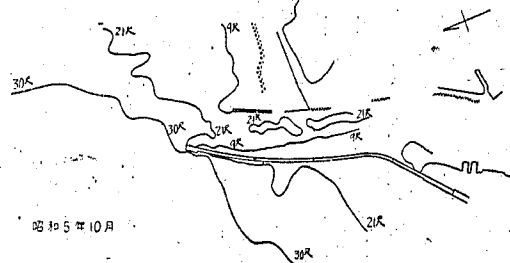
圖—36~39 信濃川河口變遷圖 (縮尺 1/36,000)

圖—36



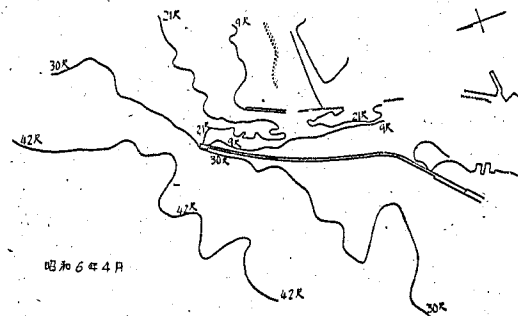
大正15年3月

圖—37



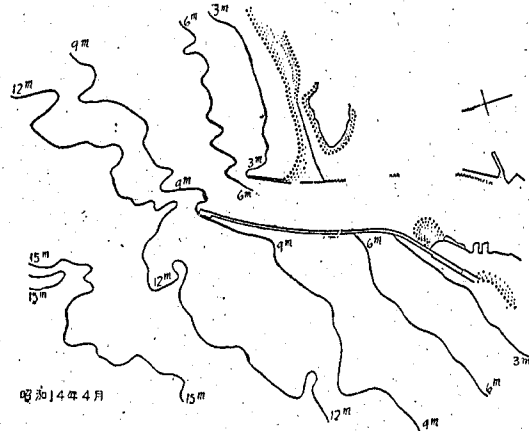
昭和5年10月

圖—38



昭和6年4月

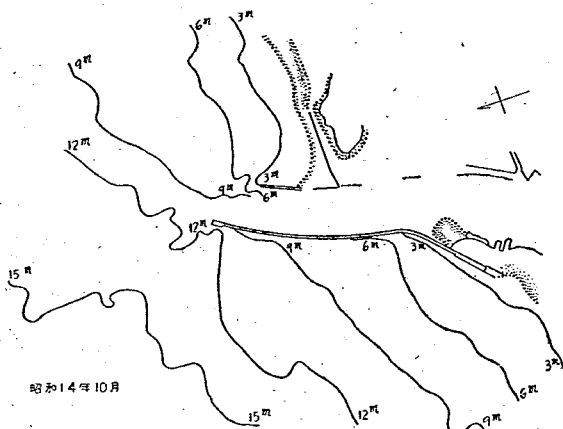
圖—39



昭和14年4月

信濃川河口附近の變遷は 圖-32 ~40 に示す。等深線の形から見て漂砂が西南から東北方に向つて動いてゐる事が推察されるが、左岸導流堤基部附近では海岸線が寧ろ年々後退してゐるのが見られる。之は波浪による海岸の浸蝕が漂砂の堆積に打ち勝つてゐるからである。従つて洲の生成はあまり見られないが漂砂としては相當に動いてゐるものと考へねばならないのである。尚信濃川は分水路を有するから、當河口から流出する土砂量は最近では殆ど言ふに足りない。

圖-40 信濃川河口變遷圖 (縮尺 1/36,000)



7. 神通川河口 (圖-41 及び 42)

神通川は富山市を通つて富山灣に注いで居り、その河口には東岩瀬港がある。現在では酒田港の場合と同じく河川と港を瀬戸堤によつて切り離してゐる。冬季に於ける風の記録は、回数に就ては SSW, SW, WSW 等が多く N の附近の風が之に次いでゐるが、最大風速に於ては SW 方面のものも N 方面のものも大差はない。

河口の變遷状態は圖-41 及び 42 に示す。富山灣は水深が甚だ大きく、海濱の勾配が急であるから、海底の土砂移動はあまり著しくない。圖-42 によれば河口左岸から砂洲が延びてゐるが、之は河川からの流出土砂の堆積したものとも考へられる。要するに之等の圖だけでは漂砂の方向を推定するには不充分であり、唯漂砂の動きは甚だしい事だけは認めてよい。

8. 九頭龍川河口 (圖-43)

九頭龍川は福井市の北方三國町に於て日本海に注いでゐる。河口附近の地形は圖-43 の様な状態であるから漂砂が南西から動いてゐる事は容易に推察し得るが、信濃川の場合と同じく河口附近の海岸線は却つて後退する傾向にある。之は矢張り風浪の浸蝕力の大きい事に歸すべきであらう。尚海岸の勾配も比較的急である。

當地方に於ける昭和4年乃至6年の3ヶ年間の観測から作つた平均風向圖(毎秒3.50 m 以上を取る)によれば、回数に於ては N が多く、NNE, NNW, NW, SSE 等が之に次ぐ。又風速圖によれば SW 及び NW が大きい。即ち漂砂に影響してゐるのは SW 及び NW であるが、漂砂としては前述の様に南西から北東に向つて動いてゐる様である。

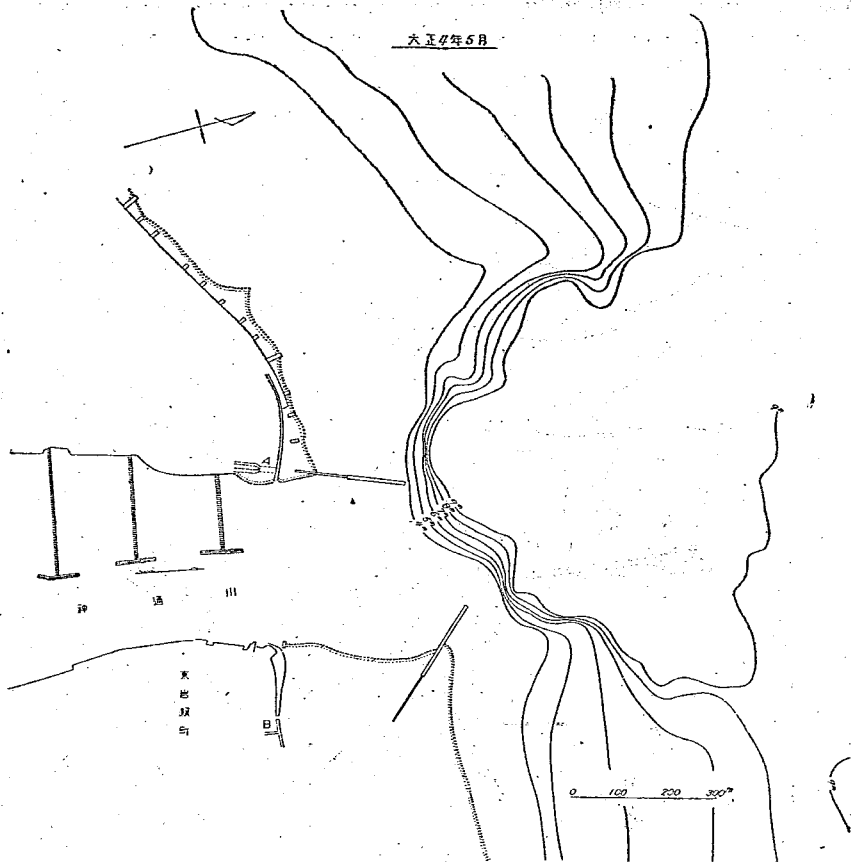
9. 江川河口 (圖-45 乃至 46)

江川は島根縣の中央部江津町に於て日本海に出てゐる。昭和12年及び13年に於ける江津の風向圖は圖-44 に示す。冬季の風は N, NW 及び NE が多いが、圖-46 中にある風速圖より見れば SW, W 等の風が大きい。

海岸線の形は圖-45 及び 46 に示す様に洲は左岸から東に向つて延びてゐる。即ち漂砂は西から東に動いてゐるものと見られるが、海岸線は新潟等の場合と同じく波浪の區に浸蝕を蒙りつつある様である。

昭和13年12月左岸から突出した洲の先端部にほゞ NNW の方向に出た短い試験導流堤を出したが(當時は洲の中央部が夏期の洪水の爲に流失してゐた), 14年1月から3月にかけての西風及び南西風の爲にこの導流堤附近にも流砂が相當に沈澱した。然し4月以降は波浪の爲に洲が流出し初め, 7月には導流堤も全部流失した。この様な試験から見ても漂砂は西から東に向つてゐるが, 洲が海側に向つて前進する事は殆ど出来ない様である。

圖-41 神通川河口變遷圖



10. 高津川河口 (圖-47)

高津川は江川の西方にある河川で, 風, 漂砂等の關係に於て江川と大差はない。河口の洲の形狀は圖-47に示す。

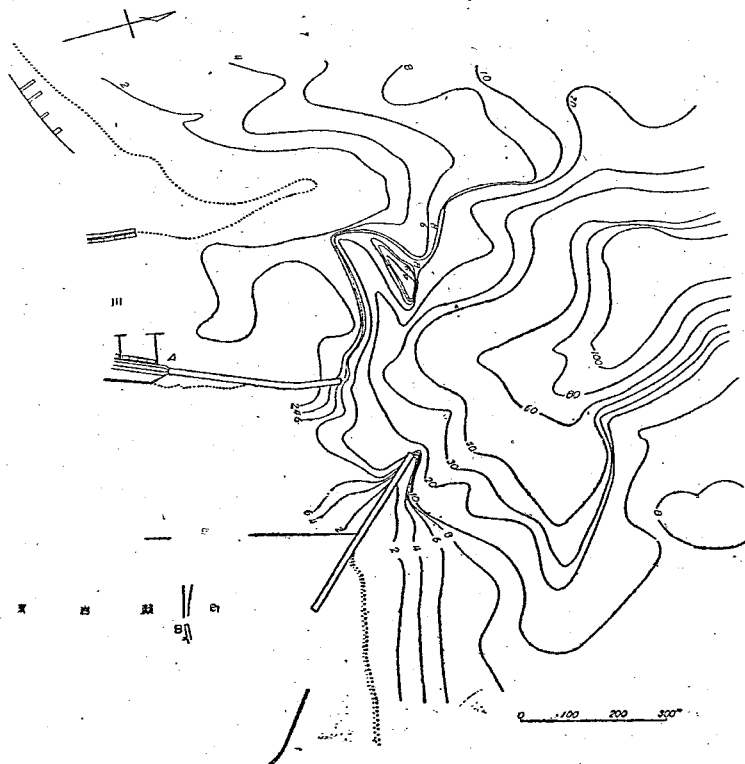
IV 結 論

全體として見れば日本海岸の漂砂は甚だ規則正しく、男鹿半島、能登半島、島根半島等の東又は東北側に當る部分以外は總て西から東に向つて動くものと考へて差支へなく、半島の東方では概して東から西に向つてゐる。漂砂の平均移動量は全體に於て海濱の勾配が緩な所で大きい。而して日本海岸は波浪の侵蝕が強い爲に、漂砂の沈澱以上に侵蝕されて海岸線が多少後退しつつある所が多い。

尙前節に述べた處は多年に亘る河口形状變化の記録であるから、時には短期間の風浪の爲に上に述べた漂砂方向とは反對方向に移動する事も少くはない。即ち長期間に亘つて平均すれば上述の様な方向に動いてゐるものと考へられるのである。

圖-42 神通川河口變遷圖

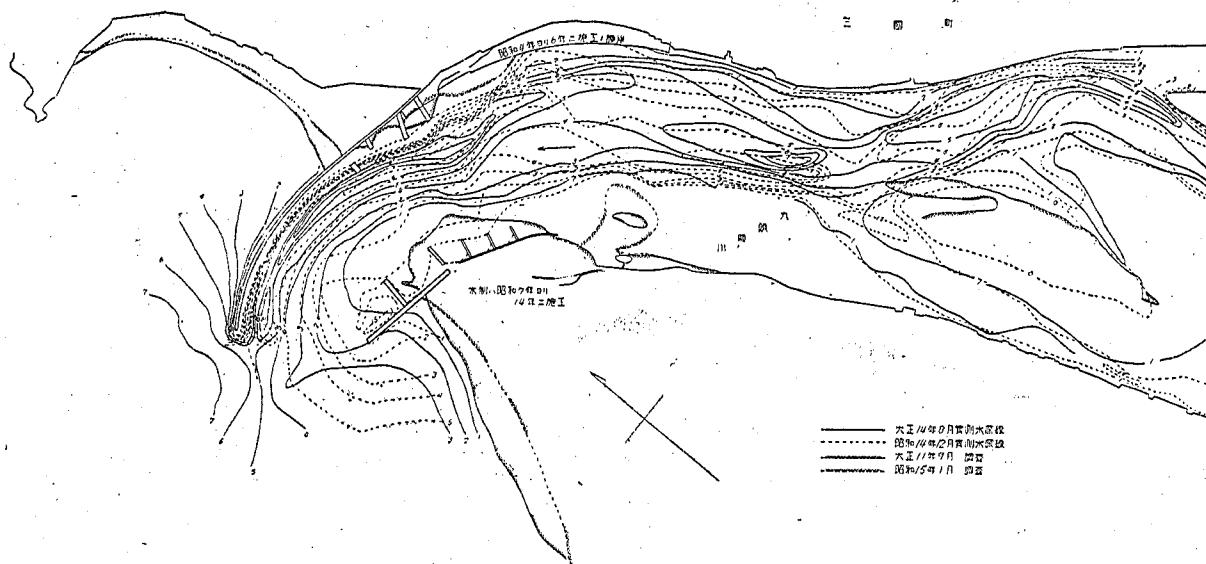
昭和7年6月



圖—43 九 頭 龍 川 河 口 (縮尺 1/12,000)

日本海岸の漂砂に就いて

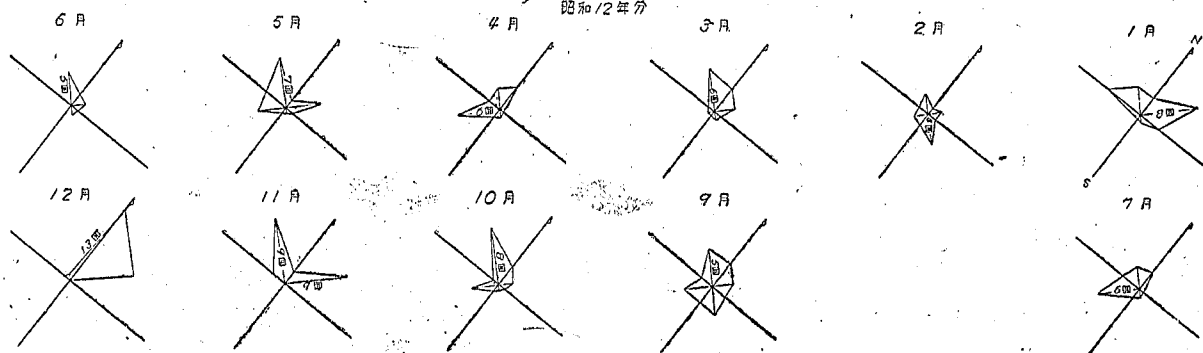
79



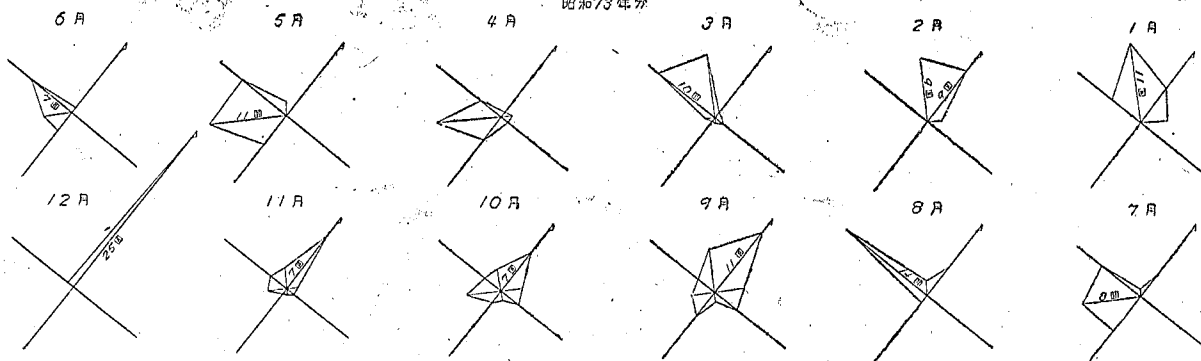
圖—44 江 津 港 風 向 圖

江津港風向圖 0 5 10m

昭和12年分



昭和13年分



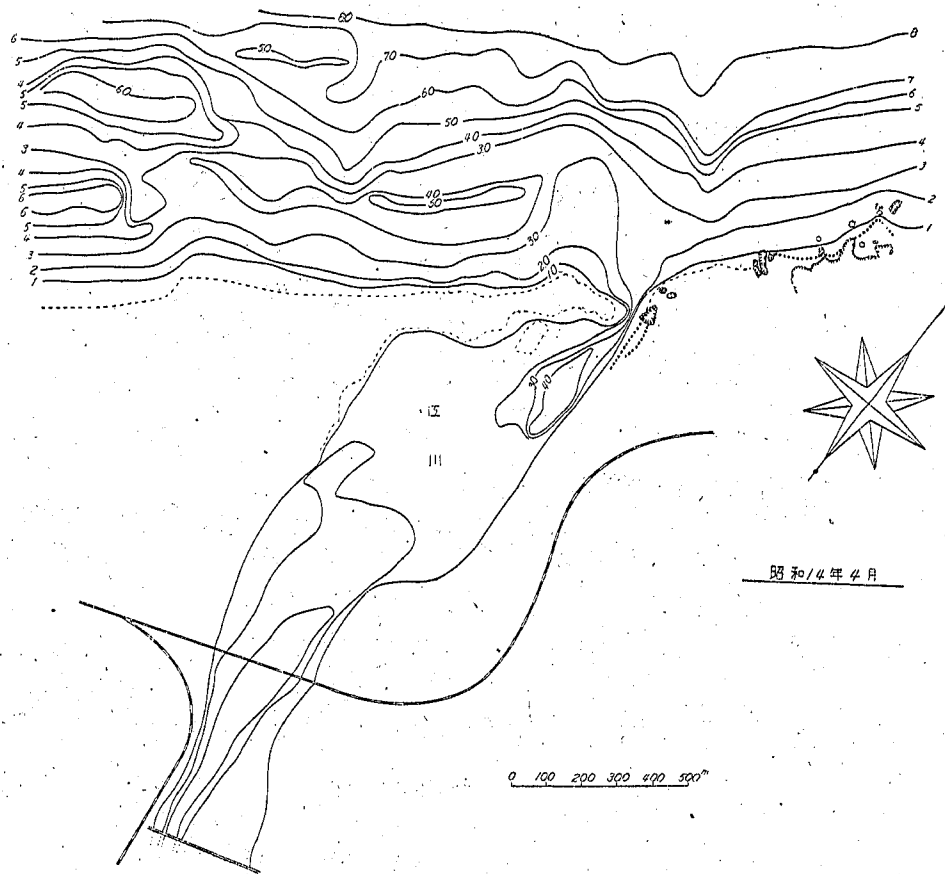
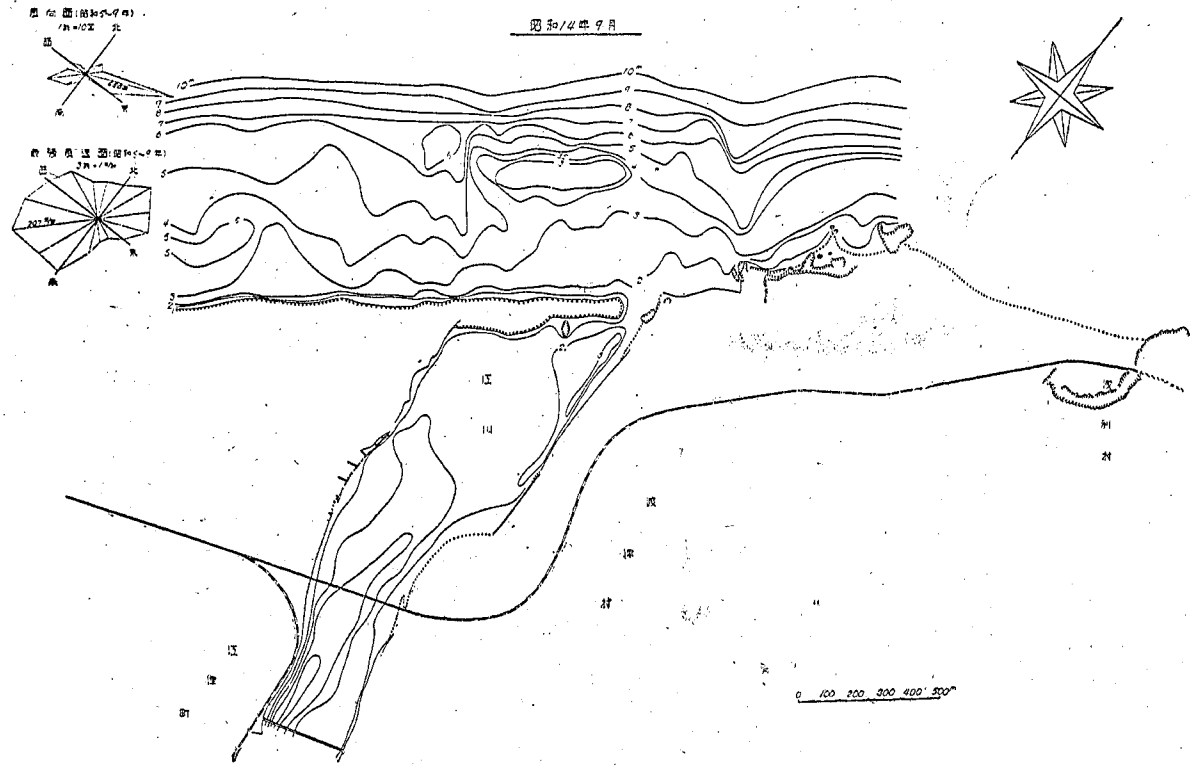
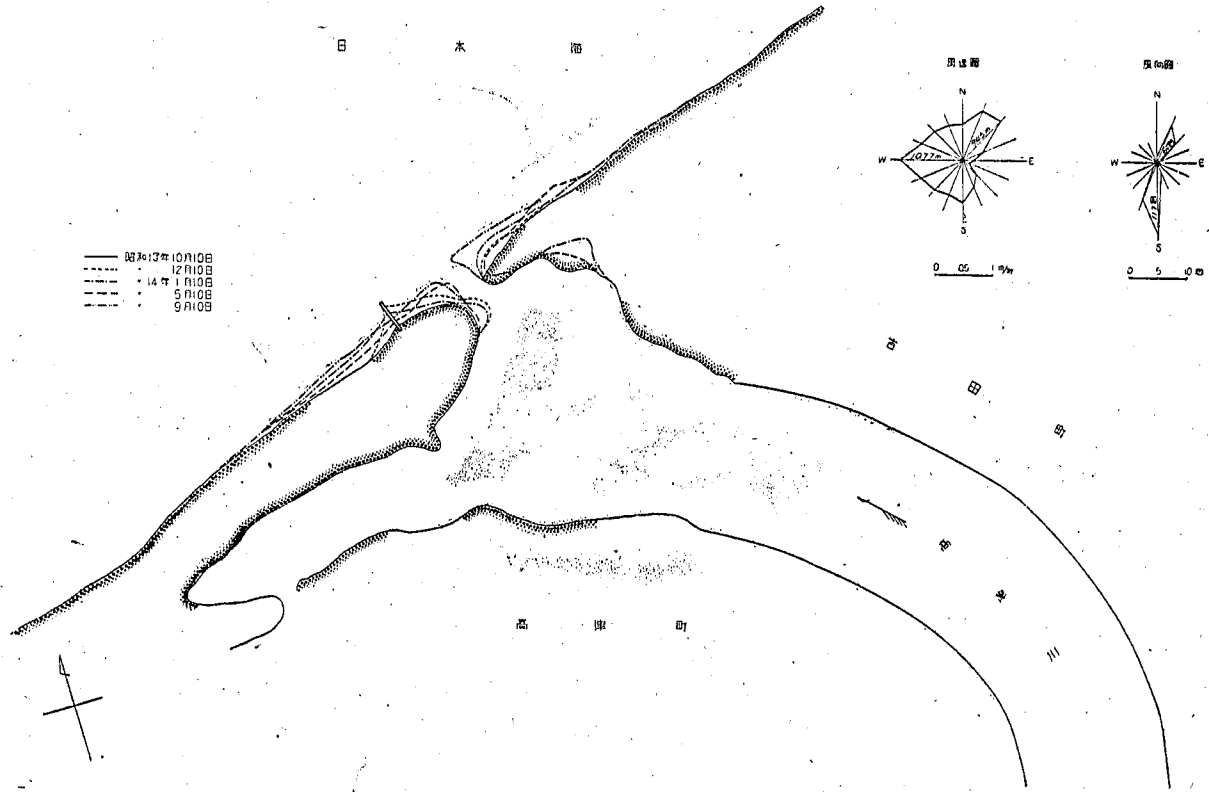


図45 江川河口図

圖-46 江 川 河 口 圖



圖—47 高 津 川 河 口 圖 (縮尺 1/9,500)



(25)