# 土木試驗所報告

第五十三號


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……內務技師 松尾春雄… 1

昭和 13 年の豪雨記錄により導きたる雨量强度式に就て……囑託 伊藤剛…15

橫開き門扉を時間のある函數にて開く時の水槽內水位の上昇に就て…… 佐藤清一…23

河床の自然勾配に關する理論的研究…… 佐藤清一…29



昭和十五年五月

內務省土木試驗所



建設省沼津支所圖書

分類 II-K 番号 1-44

購入年月日 年 月 日

# 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1報)

內務技師 松尾春雄

要約

港灣附近の在來の土地と新らしい埋立地との地震の震度及振動周期を比較研究する爲，清水港2ヶ所，横濱港4ヶ所で觀測した結果によれば岸壁附近地表面での震度は在來埋立地に比し2—2.5倍大であり，又その振動周期は新らしい埋立地に於て0.25秒，岸壁構造物上 0.4—0.5秒，在來埋立地 0.35—0.4 秒であつた.

目次

I. 緒言……(1)
II. 横濱港に於ける觀測……(2)
III. 清水港に於ける觀測……(7)
IV. 結言……(10)

## I. 緒言

港灣工事に於ける災害の最も著しいものは地震による岸壁の倒壞である．之は我國の在來の岸壁の設計には地震の事が餘り考へてなかつた事が大きな原因であるが，相當に之を考へたものが左程大きくない地震に被害を受けた例もある．之は岸壁に加はる地震による力が普通に考へてゐるものと異る事，即ち多く埋立地に設けられる關係上一般に都會地に於けるよりも震度が大になる事，又埋立地の端が 10m—15m 程度の高さに擁壁を以て支へられて切立つてゐる爲に，この地形の不連續點に於て地震波が變形する事等が考へられる．又地震動の周期が埋立地に於て如何なる程度であるか，又岸壁の擁壁夫自身の自己振動周期が何程かを知り周期の上から考へて構造を考へ直す爲の資料を得る事は，我國の如き地震國に於ては極めて必要の事と考へ調査を行つた.

調査は横濱及清水港の港內埋立地及在來市內に加速度地震計を据付けて行つた．横濱にて5ヶ所清水にて2ヶ所同時に測定した．初め清水港岸壁背後と清水市役所とに地震計を据付けて觀測した處，岸壁背後に於ける地震加速度は市役所に於ける値の約2倍であつた．之は埋立地による影響か或は岸壁の切立つてゐる爲の影響かの中一と考へたので，更に之を明にする爲，横濱港神奈川地元 10m 岸壁埋立地に岸壁背後2ヶ所埋立中央部及物揚場の3ヶ所に設置し，之を更に在來から觀測をつゞけてゐる濱埋立地表高島町に於ける觀測と比較し更に野毛山公園に設置したものと比較した.

地震計は地震研究所製作の石本式加速度地震計の水平二方向のものであつて横濱の埋立地のものはすべて岸壁法線と平行と直角の二成分を得る樣に据付けた．表高島町及野毛山は東西と南北との兩成分を得るやうにした．清水港岸壁法線は丁度南北であるから何れも東西南北の兩成分を得るやうにした．振子の自己振動周期は 0.08秒記錄には徑 20 cm 圓筒上に貼付けた煤煙紙を使用した．記錄紙の運行速度は 1.05 mm/秒 である．感度は普通 1.7 gal/mm 空氣ダンパーを使用したもの．普通1日に1回紙を取換へるのであるが，清水港のものは地震のある時だけ記錄する樣に記錄の針を幅 2 mm の金の薄板で支へたものを使用した．從つて振幅が上記の幅以上になれば針が常に回轉してゐる煤煙紙の上に落ちて記錄する.

記錄の整理は先づ地震計の水平の二方向別に地震毎の主要動の最大加速度を讀みとつて各地點のものを比較した．特に大なる地震に就ては主要動の中の極めて周期の延びた終の部分を除いた主要部に就いて周期を記錄から

讀みとつた．之は石本博士が嘗て東京横濱市内の地震の調査を行はれた場合[1]と同様の方法を用ひた．即ち各波の周期を讀みとり之を 0.025 秒毎の群に別け各群の回數を圖表に示した．此の際ある任意の一群の縦距は相隣る兩側の群の値3つを平均した値をとつた．例へば讀みとつた結果が 0.5 秒1回，0.525 秒4回，0.55 秒1回の場合，3つの平均回數2を 0.525 秒の縦距とした．

本報告各地震計の觀測開始期は下記の通りである．

清水港岸壁及市役所　昭和13年3月以後，　横濱港岸壁 No. 1, 2, 3　昭和13年12月以後，同 No.4 昭和14年8月15日以後，　同　表高島町　昭和7年6月以後繼續，　横濱市野毛山公園　昭和14年9月7日以後

本報告は觀測開始時より昭和14年7月末までの間のものであつて，No. 4 及野毛山公園のものを設置する以前迄である．この期間中地震計の故障等の爲記錄を得られなかつたものもある．

地震計による外清水港にては特に大なる地震の際にその最大水平加速度により倒れる様に直徑と高さとの比を種々にした12本の圓柱を立て，之に依つて，加速度記錄と倒れた圓柱との關係を見た．圓柱の高さはすべて一様に 30cm とし，太さは 0.75cm ～ 12cm の間に變化せしめた．即ち比幅は 0.025 ～ 0.4 の間12本であり，その中直徑の小なる9本は眞鍮その他は杉材を用ひた．

## II. 横濱港に於ける觀測

横濱港に於ける加速度地震計設置箇所は初め圖—1 の No. 1, No. 2, 及 No. 3 の3箇所であり後に No. 3 のものを No. 4 に移した．之は斷面（圖—2）に示す如く No. 1 は岸壁の潛函上，No. 3 は物揚場上，No. 2 はその丁度中央であつて，特に構造物附近の地震の狀態を知る事を目的とした．この觀測の結果 No. 1 と No. 2 に著しい差が認められたので，次には潛函より後方 約16m に於て直接潛函への土壓を支配する様な位置での觀測を行つた．之の外表高島町（圖—1及4）に於ては在來觀測を行つてゐたので，この外に野毛山公園内震災記念館内に据付けたものと合計6ヶ所の記錄を得た．

No. 1, 2, 3, 4 を据付けた埋立地の岸壁は，初め昭和2年に在來約 4m の水深の場所を岸壁構造物の基礎は—13.6 m まで浚渫し，その上に割栗石を厚さ約 3 m，幅約 15 m に入れた上に圖—2 に示す如き底幅 9.15 m，上部幅 6.00 m，高さ 13.20 m，1個の重量約 1000 t の鐵筋コンクリート潛函を据え中詰後上部場所詰を施して岸壁を作つた．この重量は 1 m 當り約 220 t（浮力を差引かない値）である．潛函1個長さ 18.75 m 毎に目地を設けた．No. 1 の地震計はその端から約 2 m の場所にあつた．岸壁背後は浚渫から生じた土丹岩を以て裏込を施し，その背後の埋立地大部分はポンプ浚渫により生ずる土砂を多量に含んだ水を汲入れ沈澱せしめて出來たものである．

物揚場は—4.0 m に均しその上に厚さ 1 m の基礎割栗を施し更にこの上に底幅 3.50 m，高 5.05 m，長 4.90 m 1個の重量約 46 t の異型擁壁を置き上部には場所詰コンクリートを打つた．土丹岩の裏込を施した上に斷面に於ける延長約 10 m の斜路を置いた構造であり壁體延長 1 m 當重量は裏込共約 37 t である．

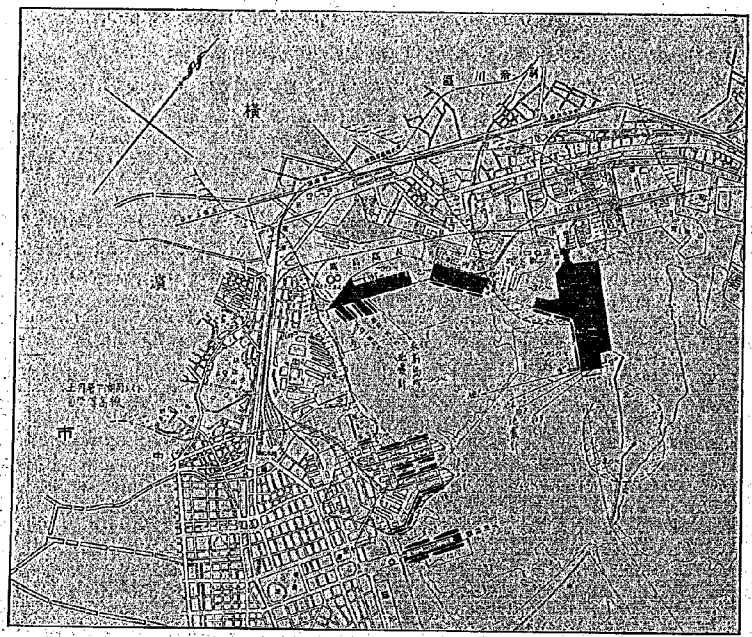
岸壁及物揚場壁體は昭和3年頃の施工，埋立竣工は昭和5年であるが，其の後岸壁の耐震度を增すために昭和8年に岸壁背後及前面に杭を打ち補强工事を行つた．

表高島町地震計位置は昭和6年頃埋立てられた幅 20 m の狹い埋立地の所にあり明治年間の埋立地との境界線から 7m の距離の處に設置してあつた．

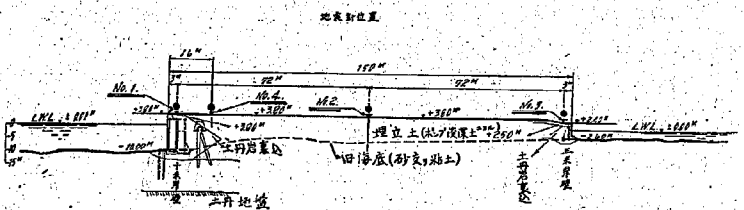
横濱港附近の地質は第3紀層の軟質砂岩たる土丹盤の上に相當の砂交り粘土層がある．干潮面以下土丹層表面

1) 地震研究所彙報第12號2册及13號册3 (1934 及 1935)

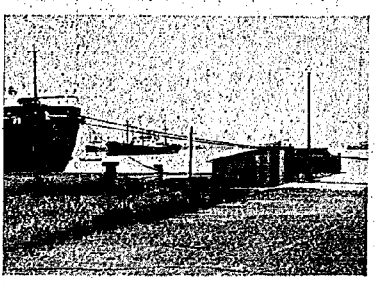
圖—1　横濱港附近平面圖



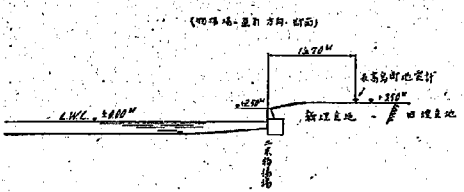
圖—2　横濱港神奈川地元外國貿易10m岸壁斷面．No. 1，No. 2 等は地震計設置位置を示す




圖—3　No. 1 及No. 4 設置箇所



圖—4　表高島町地震計設置場所斷面



までの深さが 10m の等高線は圖—1 に示した通りであつて，それと海底との間には上記の粘土層がある．

地震の觀測結果は表—1 に示す通りである．表中震央距離は中央氣象臺の氣象要覽に依つた．震源の深さの事は考へず地上の距離である．震央距離と各地點方向別の最大加速度との關係は圖—5 に示す通りである．

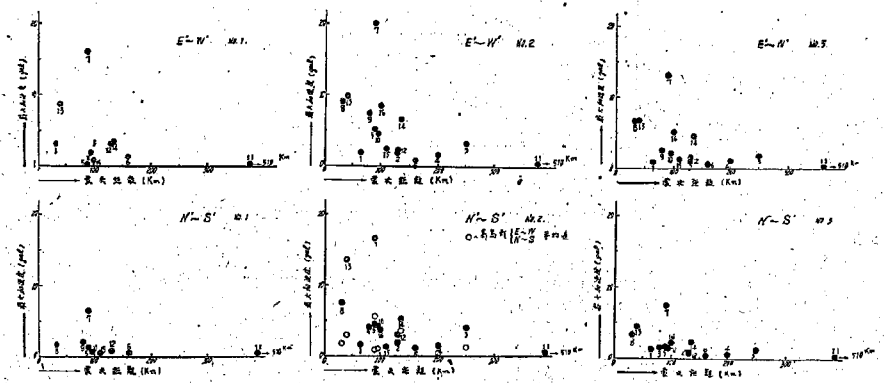
岸壁に直角な方向即 E'-W' の最大加速度は平行な方向のものと著しく異り表—1 から知られる樣に岸壁 No.1 では E'-W'/N'-S' の最大加速度の比は平均 2.5，物揚場 No. 3 では 1.7 となる．埋立地中央 No. 2 では 1 であつた．即ち埋立地中央では方向による差は殆どないが岸壁及物揚場では法線に直角な方向の最大加速度が平行なものゝ 1.7～2.5 倍ある．

表—1 橫濱港埋立地にて觀測した地震の最大加速度 (gal)　　昭和12年12月～昭和14年7月

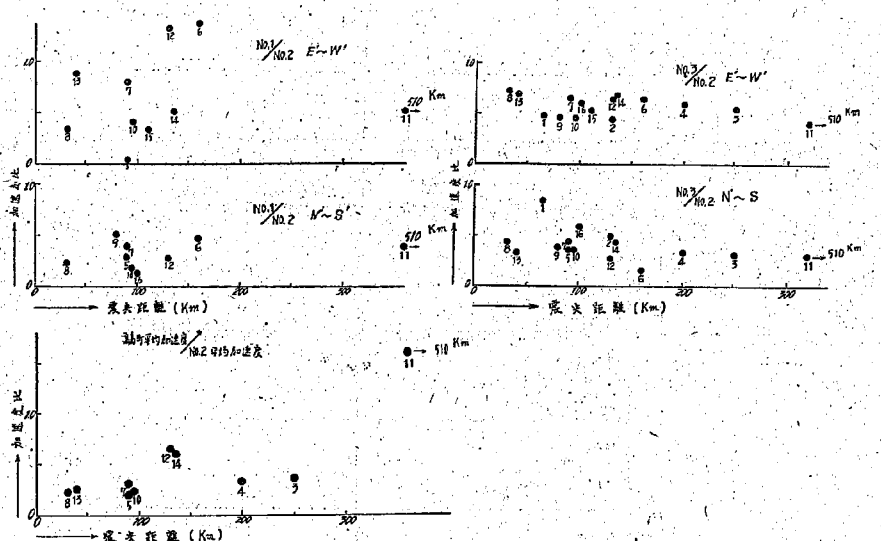
加速度觀測方向は表高島町は E～W 及 N～S であるが岸壁の No. 1，No. 2 及 No. 3 は何れも E'～W' 及 N'～S' 即ち岸壁法線に直角及平行の方向であつて之を夫々 E～W 及 N～S の欄に記入した．( ) 內の數字は最大振動周期を示す

| 地震番號 | 日時 昭和14年 月 日 時 分 | 加速度觀測方向 | 表高島町 | 神奈川岸壁 No. 1 | 神奈川岸壁 No. 2 | 神奈川岸壁 No. 3 | 震央及震央距離 位置 | 東經 | 北緯 | km |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Y—1 | 1 9 10 2 | E～W<br>N～S | | | 1.96<br>1.61 | 0.94<br>1.36 | | | | 65 |
| 2 | 1 10 21 9 | E～W<br>N～S | | | 2.21<br>1.91 | 0.98<br>0.94 | 伊豆神子元島沖 | 139.0 | 34.5 | 130 |
| 3 | 1 24 13 2 | E～W<br>N～S | 2.16<br>0.45 | | 3.23<br>4.00 | 1.78<br>1.23 | 福島縣鹽屋崎東方沖 | 141.4 | 37.0 | 250 |
| 4 | 1 25 3 8 | E～W<br>N～S | 1.06 | | 1.70<br>1.53 | 1.02<br>0.51 | 福島縣鹽屋崎南方沖 | 141.3 | 36.7 | 200 |
| 5 | 2 1 14 25 | E～W<br>N～S | 1.06<br>0.90 | 0.17<br>1.28 | 5.28<br>4.50 | 1.61 | 茨城縣結城附近 | 139.9 | 36.2 | 90 |
| 6 | 2 9 0 16 | E～W<br>N～S | | 1.28<br>0.51 | 0.94<br>1.10 | 0.60<br>0.17 | 鹿島灘 | 141.6 | 36.3 | 160 |
| 7 | 3 10 3 12 | E～W<br>N～S | 7.73<br>(0.40)<br>3.60<br>(0.25) | 16.00<br>(0.50)<br>6.46<br>(0.50) | 20.10<br>(0.25)<br>16.60<br>(0.25) | 13.10<br>(0.25)<br>7.40<br>(0.37) | 茨城縣下結城附近 | 139.85 | 36.15 | 90 |
| 8 | 3 25 10 40 | E～W<br>N～S | 3.29<br>0.45 | 3.10<br>1.70 | 9.17<br>7.56 | 6.63<br>3.31 | 八王子附近 | | | 32 |
| 9 | 3 26 9 51 | E～W<br>N～S | | 2.04 | 5.52<br>4.03 | 2.55<br>1.53 | 千葉99里ヶ濱南部 | 140.5 | 35.2 | 80 |
| 10 | 4 26 10 42 | E～W<br>N～S | 1.62<br>0.45 | 1.87<br>0.72 | 4.69<br>4.08 | 2.12<br>1.45 | 千葉勝浦南方沖 | | | 95 |
| 11 | 5 1 14 58 | E～W<br>N～S | 1.05<br>0.45 | 0.26<br>0.17 | 0.51<br>0.43 | 0.21<br>0.13 | 秩田縣男鹿半島 | 139.49 | 39.57 | 510 |
| 12 | 5 8 17 4 | E～W<br>N～S | 2.70<br>0.90 | 3.14<br>0.85 | 2.38<br>3.06 | 1.53<br>0.85 | 犬吠岬東南東沖 | 141.4 | 35.6 | 130 |
| 13 | 5 18 18 31 | E～W<br>N～S | 3.02<br>(0.32)<br>3.00<br>(0.35) | 8.68<br>(0.40) | 9.87<br>(0.20)<br>13.60<br>(0.25) | 6.75<br>(0.25)<br>4.50 | 東京灣北東部 | 140.0 | 35.6 | 40 |
| 14 | 5 19 21 10 | E～W<br>N～S | 2.92<br>(0.35)<br>4.30<br>(0.35) | 3.40<br>(0.40) | 6.63<br>(0.22)<br>5.27<br>(0.32) | 4.50<br>(0.25)<br>2.30<br>(0.21) | 千葉縣野島崎南東沖 | 140.5 | 34.3 | 135 |
| 15 | 6 14 20 9 | E～W<br>N～S | | 0.85 | 2.55<br>1.36 | 1.36 | 筑波山附近 | 140.1 | 34.3 | 110 |
| 16 | 7 30 21 55 | E～W<br>N～S | | 0.51 | 8.50<br>3.74 | 5.10<br>2.21 | 〃 | 140.1 | 36.2 | 100 |

圖—5 震央距離と各地點の震度



圖—6 各場所の震度比



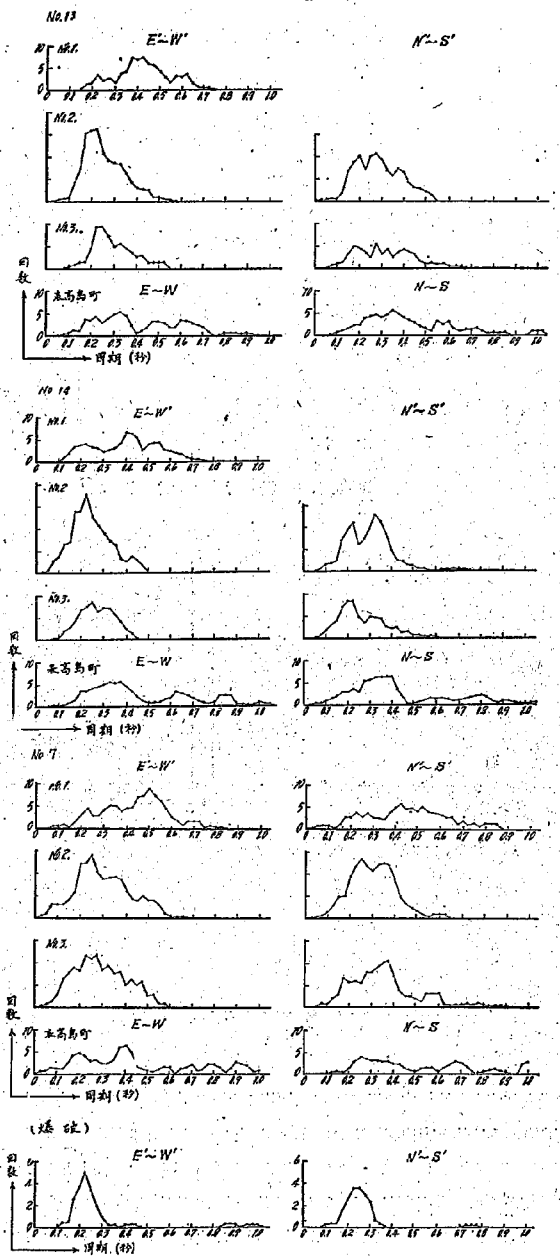
各場所毎の最大加速度を比較する爲何れも方向別に No. 2 の値との比をとり之と震央距離との關係を圖—6に示した. 表高島町のみは他と方向が異るから N—S と E—W との平均値を No. 2 の平均値と比較した.

之に依れば E'–W' 方向では No.1/No.2 は一定でなく震源が遠くなる程大となる傾向が見える. No.3/No.2 は常に一様であつて略 0.6, 表高島町 / No. 2 は 0.4 位であつて何れも No. 2 が大である.

次に各場所の震動の固有周期を見るために比較的大なる地震に就て I に述べた方法により地震 Y–13, 14 及 7

圖—7

各場所の周期



に就て主要動の周期を讀みとつた. その結果は圖—7 に示す通りであつて觀測箇所 No. 1 では 0.4～0.5 秒, No. 2 では 0.20～0.25 秒 No. 3 では 0.25 秒, 表高島町は 0.35～0.40 秒の周期のものが多いやうである.

別に港内棧橋先端附近にて海底浚渫のために約 8 kg 爆藥 3 個を同時に爆發せしめた際の記錄を見るに No. 2 及 No. 3 では殆ど讀みとれない位であるが No. 2 では最大 1.0mm (加速度 1.7 gal) の 半振幅の振動を記錄しその周期を讀みとつて圖—7 最下段に示した結果を得た. 0.225 秒の周期が多い.

以上の結果より見るに埋立地の地盤の振動周期は約 0.225 秒であるが岸壁の附近では構造物の固有周期の影響を受けて變つて來るやうである. 從つて震源が近い場合には比較的周期が小であるから No. 2 に最も大きい記錄が顯れ, 震源が遠くなるに從ひ, 岸壁附近の法線に直角な方向の震度が大となるやうに考へる. 地震 Y—11は上記の推論と一致しないがこの地震は横濱では極めて小さい地震であつたので——表—1 の中では最小——觀測の誤差もあり得べく餘り重視する必要はないと思ふ.

表高島町の震度が一般に小であるのは埋立材料の相違の外に埋立後の經過年數等が大きい影響を與へてゐると思ふ. 一般に地震計による觀測が行はれてゐるのは表高島町のやうな場所が多いから之に比較して, 新らしい埋立地に於ける震度は一般に大である. 壁に作用する震度は震源の近い場合には小であり, 震源の遠いもの又一般に大地震では周期が大であるが, この場合には埋立地の震度と略等しくなり, 表高島町の値に比し約2～3倍位大になるのが普通である.

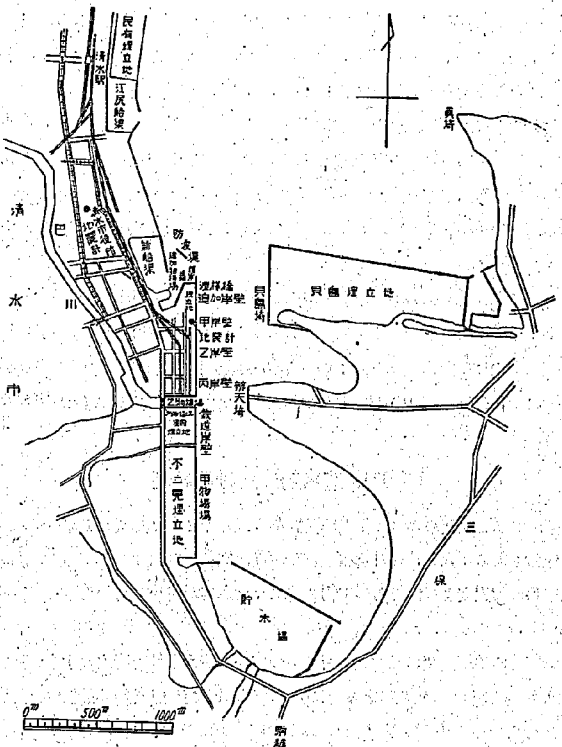
## III. 清水港に於ける觀測

清水港に於ける觀測は前記横濱港よりも早く地震計を設置し今日まで繼續してゐるが, 地震の數が横濱よりも尠く, 又大きさも適當なものがなく, 今日迄得られた記錄は表—2 に示すだけである. 初め之に依つて岸壁に於ける加速度が清水市内の加速度より大であつて約 2 倍にも及ぶ事が明かとなつたので後に前記の横濱に於ける觀測を行つたのであつた.

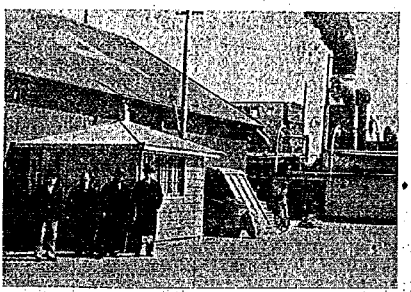
地震計設置箇所は圖—8 の平面圖に示す 2 ケ所であつて一は清水市役所構内の建物に接した所, 他は岸壁の埋立地であつて法線より 21.25 m の距離にある所に横濱の項に述べたと同樣の地震計を岸壁に平行な N—S 成分と直角な E—W 成分とを得るやうに設置した. 岸壁は圖—2 に示した如き構造を有し, 鐵筋コンクリート潛函 (底幅 9.60 m, 上幅 8.0 m, 長 14.0 m, 高 12.5 m) の岸壁であつて長さ 1m 當りの岸壁重量約 250 t である (浮力を差引かない値). 甲岸壁と稱するものであつて, 岸壁潛函は昭和 2 年頃据付け所謂清水砂利を以て裏込を施しその背後は構内のポンプ浚渫船の浚渫土を以て埋立てたので埋立完了は昭和 4 年である. 昭和 5 年 11 月 26 日の伊豆地震で港の他の部分に被害を受けたので補強の必要を感じ昭和 6 年に圖—9 に示す如き强い控杙控壁が設けられた. 此の附近の地質は干潮面下約 30m までは軟弱なる粘土であつてその下に玉石を混ずる砂利層がある.

清水市役所は尠くとも今から 320 年以前には出來てゐた砂洲の上にあり, 地表面より 3.5 m は砂混り砂利, それ以下は細砂交り青色粘土である. 地震計と別に圖—11 の寫眞に示す如き圓筒柱を並立した. 之は地震計の記錄震度と圓柱の比幅によつて推定する震度との關係を明かにするためと又非常に大なる地震では玆に用ひた地震計で完全な記錄を得られないからその際のために設けた. 比幅 (直徑と高さとの比) は 0.025, 0.05, 0.075, 0.10, 0.125, 0.15, 0.175, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40 の 12 本であつて高さは 30c m 直徑は 0.75c m～12c m の範圍内にある. 倒れた方向を見るために寫眞に見られる如き針金を側面に出した. 表—2 には加速度記錄の外に上記圓柱の倒れたものゝ比幅をも示した. 觀測の結果は岸壁では市役所よりも加速度が著しく大であり, 岸壁直角の

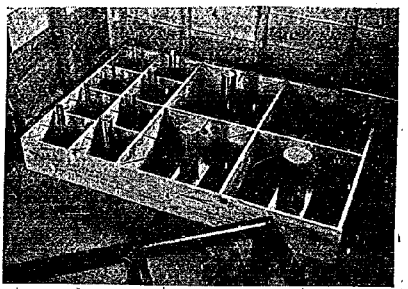
圖—8 清水港平面圖


清水川
巴
市
防波堤
第一船渠
第二船渠
第三船渠
第四船渠
第五船渠
第六船渠
第七船渠
第八船渠
第九船渠
第十船渠
第十一船渠
第十二船渠
第十三船渠
第十四船渠
第十五船渠
第十六船渠
第十七船渠
第十八船渠
第十九船渠
第二十船渠
第二十一船渠
第二十二船渠
第二十三船渠
第二十四船渠
第二十五船渠
第二十六船渠
第二十七船渠
第二十八船渠
第二十九船渠
第三十船渠
第三十一船渠
第三十二船渠
第三十三船渠
第三十四船渠
第三十五船渠
第三十六船渠
第三十七船渠
第三十八船渠
第三十九船渠
第四十船渠
第四十一船渠
第四十二船渠
第四十三船渠
第四十四船渠
第四十五船渠
第四十六船渠
第四十七船渠
第四十八船渠
第四十九船渠
第五十船渠
第五十一船渠
第五十二船渠
第五十三船渠
第五十四船渠
第五十五船渠
第五十六船渠
第五十七船渠
第五十八船渠
第五十九船渠
第六十船渠
第六十一船渠
第六十二船渠
第六十三船渠
第六十四船渠
第六十五船渠
第六十六船渠
第六十七船渠
第六十八船渠
第六十九船渠
第七十船渠
第七十一船渠
第七十二船渠
第七十三船渠
第七十四船渠
第七十五船渠
第七十六船渠
第七十七船渠
第七十八船渠
第七十九船渠
第八十船渠
第八十一船渠
第八十二船渠
第八十三船渠
第八十四船渠
第八十五船渠
第八十六船渠
第八十七船渠
第八十八船渠
第八十九船渠
第九十船渠
第九十一船渠
第九十二船渠
第九十三船渠
第九十四船渠
第九十五船渠
第九十六船渠
第九十七船渠
第九十八船渠
第九十九船渠
第一百船渠
第一百一船渠
第一百二船渠
第一百三船渠
第一百四船渠
第一百五船渠
第一百六船渠
第一百七船渠
第一百八船渠
第一百九船渠
第一百十船渠
第一百十一船渠
第一百十二船渠
第一百十三船渠
第一百十四船渠
第一百十五船渠
第一百十六船渠
第一百十七船渠
第一百十八船渠
第一百十九船渠
第一百二十船渠
第一百二十一船渠
第一百二十二船渠
第一百二十三船渠
第一百二十四船渠
第一百二十五船渠
第一百二十六船渠
第一百二十七船渠
第一百二十八船渠
第一百二十九船渠
第一百三十船渠
第一百三十一船渠
第一百三十二船渠
第一百三十三船渠
第一百三十四船渠
第一百三十五船渠
第一百三十六船渠
第一百三十七船渠
第一百三十八船渠
第一百三十九船渠
第一百四十船渠
第一百四十一船渠
第一百四十二船渠
第一百四十三船渠
第一百四十四船渠
第一百四十五船渠
第一百四十六船渠
第一百四十七船渠
第一百四十八船渠
第一百四十九船渠
第一百五十船渠
第一百五十一船渠
第一百五十二船渠
第一百五十三船渠
第一百五十四船渠
第一百五十五船渠
第一百五十六船渠
第一百五十七船渠
第一百五十八船渠
第一百五十九船渠
第一百六十船渠
第一百六十一船渠
第一百六十二船渠
第一百六十三船渠
第一百六十四船渠
第一百六十五船渠
第一百六十六船渠
第一百六十七船渠
第一百六十八船渠
第一百六十九船渠
第一百七十船渠
第一百七十一船渠
第一百七十二船渠
第一百七十三船渠
第一百七十四船渠
第一百七十五船渠
第一百七十六船渠
第一百七十七船渠
第一百七十八船渠
第一百七十九船渠
第一百八十船渠
第一百八十一船渠
第一百八十二船渠
第一百八十三船渠
第一百八十四船渠
第一百八十五船渠
第一百八十六船渠
第一百八十七船渠
第一百八十八船渠
第一百八十九船渠
第一百九十船渠
第一百九十一船渠
第一百九十二船渠
第一百九十三船渠
第一百九十四船渠
第一百九十五船渠
第一百九十六船渠
第一百九十七船渠
第一百九十八船渠
第一百九十九船渠
第二百船渠
第二百一船渠
第二百二船渠
第二百三船渠
第二百四船渠
第二百五船渠
第二百六船渠
第二百七船渠
第二百八船渠
第二百九船渠
第二百十船渠
第二百十一船渠
第二百十二船渠
第二百十三船渠
第二百十四船渠
第二百十五船渠
第二百十六船渠
第二百十七船渠
第二百十八船渠
第二百十九船渠
第二百二十船渠
第二百二十一船渠
第二百二十二船渠
第二百二十三船渠
第二百二十四船渠
第二百二十五船渠
第二百二十六船渠
第二百二十七船渠
第二百二十八船渠
第二百二十九船渠
第二百三十船渠
第二百三十一船渠
第二百三十二船渠
第二百三十三船渠
第二百三十四船渠
第二百三十五船渠
第二百三十六船渠
第二百三十七船渠
第二百三十八船渠
第二百三十九船渠
第二百四十船渠
第二百四十一船渠
第二百四十二船渠
第二百四十三船渠
第二百四十四船渠
第二百四十五船渠
第二百四十六船渠
第二百四十七船渠
第二百四十八船渠
第二百四十九船渠
第二百五十船渠
第二百五十一船渠
第二百五十二船渠
第二百五十三船渠
第二百五十四船渠
第二百五十五船渠
第二百五十六船渠
第二百五十七船渠
第二百五十八船渠
第二百五十九船渠
第二百六十船渠
第二百六十一船渠
第二百六十二船渠
第二百六十三船渠
第二百六十四船渠
第二百六十五船渠
第二百六十六船渠
第二百六十七船渠
第二百六十八船渠
第二百六十九船渠
第二百七十船渠
第二百七十一船渠
第二百七十二船渠
第二百七十三船渠
第二百七十四船渠
第二百七十五船渠
第二百七十六船渠
第二百七十七船渠
第二百七十八船渠
第二百七十九船渠
第二百八十船渠
第二百八十一船渠
第二百八十二船渠
第二百八十三船渠
第二百八十四船渠
第二百八十五船渠
第二百八十六船渠
第二百八十七船渠
第二百八十八船渠
第二百八十九船渠
第二百九十船渠
第二百九十一船渠
第二百九十二船渠
第二百九十三船渠
第二百九十四船渠
第二百九十五船渠
第二百九十六船渠
第二百九十七船渠
第二百九十八船渠
第二百九十九船渠
第三百船渠
第三百一船渠
第三百二船渠
第三百三船渠
第三百四船渠
第三百五船渠
第三百六船渠
第三百七船渠
第三百八船渠
第三百九船渠
第三百十船渠
第三百十一船渠
第三百十二船渠
第三百十三船渠
第三百十四船渠
第三百十五船渠
第三百十六船渠
第三百十七船渠
第三百十八船渠
第三百十九船渠
第三百二十船渠
第三百二十一船渠
第三百二十二船渠
第三百二十三船渠
第三百二十四船渠
第三百二十五船渠
第三百二十六船渠
第三百二十七船渠
第三百二十八船渠
第三百二十九船渠
第三百三十船渠
第三百三十一船渠
第三百三十二船渠
第三百三十三船渠
第三百三十四船渠
第三百三十五船渠
第三百三十六船渠
第三百三十七船渠
第三百三十八船渠
第三百三十九船渠
第三百四十船渠
第三百四十一船渠
第三百四十二船渠
第三百四十三船渠
第三百四十四船渠
第三百四十五船渠
第三百四十六船渠
第三百四十七船渠
第三百四十八船渠
第三百四十九船渠
第三百五十船渠
第三百五十一船渠
第三百五十二船渠
第三百五十三船渠
第三百五十四船渠
第三百五十五船渠
第三百五十六船渠
第三百五十七船渠
第三百五十八船渠
第三百五十九船渠
第三百六十船渠
第三百六十一船渠
第三百六十二船渠
第三百六十三船渠
第三百六十四船渠
第三百六十五船渠
第三百六十六船渠
第三百六十七船渠
第三百六十八船渠
第三百六十九船渠
第三百七十船渠
第三百七十一船渠
第三百七十二船渠
第三百七十三船渠
第三百七十四船渠
第三百七十五船渠
第三百七十六船渠
第三百七十七船渠
第三百七十八船渠
第三百七十九船渠
第三百八十船渠
第三百八十一船渠
第三百八十二船渠
第三百八十三船渠
第三百八十四船渠
第三百八十五船渠
第三百八十六船渠
第三百八十七船渠
第三百八十八船渠
第三百八十九船渠
第三百九十船渠
第三百九十一船渠
第三百九十二船渠
第三百九十三船渠
第三百九十四船渠
第三百九十五船渠
第三百九十六船渠
第三百九十七船渠
第三百九十八船渠
第三百九十九船渠
第四百船渠
第四百一船渠
第四百二船渠
第四百三船渠
第四百四船渠
第四百五船渠
第四百六船渠
第四百七船渠
第四百八船渠
第四百九船渠
第四百十船渠
第四百十一船渠
第四百十二船渠
第四百十三船渠
第四百十四船渠
第四百十五船渠
第四百十六船渠
第四百十七船渠
第四百十八船渠
第四百十九船渠
第四百二十船渠
第四百二十一船渠
第四百二十二船渠
第四百二十三船渠
第四百二十四船渠
第四百二十五船渠
第四百二十六船渠
第四百二十七船渠
第四百二十八船渠
第四百二十九船渠
第四百三十船渠
第四百三十一船渠
第四百三十二船渠
第四百三十三船渠
第四百三十四船渠
第四百三十五船渠
第四百三十六船渠
第四百三十七船渠
第四百三十八船渠
第四百三十九船渠
第四百四十船渠
第四百四十一船渠
第四百四十二船渠
第四百四十三船渠
第四百四十四船渠
第四百四十五船渠
第四百四十六船渠
第四百四十七船渠
第四百四十八船渠
第四百四十九船渠
第四百五十船渠
第四百五十一船渠
第四百五十二船渠
第四百五十三船渠
第四百五十四船渠
第四百五十五船渠
第四百五十六船渠
第四百五十七船渠
第四百五十八船渠
第四百五十九船渠
第四百六十船渠
第四百六十一船渠
第四百六十二船渠
第四百六十三船渠
第四百六十四船渠
第四百六十五船渠
第四百六十六船渠
第四百六十七船渠
第四百六十八船渠
第四百六十九船渠
第四百七十船渠
第四百七十一船渠
第四百七十二船渠
第四百七十三船渠
第四百七十四船渠
第四百七十五船渠
第四百七十六船渠
第四百七十七船渠
第四百七十八船渠
第四百七十九船渠
第四百八十船渠
第四百八十一船渠
第四百八十二船渠
第四百八十三船渠
第四百八十四船渠
第四百八十五船渠
第四百八十六船渠
第四百八十七船渠
第四百八十八船渠
第四百八十九船渠
第四百九十船渠
第四百九十一船渠
第四百九十二船渠
第四百九十三船渠
第四百九十四船渠
第四百九十五船渠
第四百九十六船渠
第四百九十七船渠
第四百九十八船渠
第四百九十九船渠
第五百船渠
第五百一船渠
第五百二船渠
第五百三船渠
第五百四船渠
第五百五船渠
第五百六船渠
第五百七船渠
第五百八船渠
第五百九船渠
第五百十船渠
第五百十一船渠
第五百十二船渠
第五百十三船渠
第五百十四船渠
第五百十五船渠
第五百十六船渠
第五百十七船渠
第五百十八船渠
第五百十九船渠
第五百二十船渠
第五百二十一船渠
第五百二十二船渠
第五百二十三船渠
第五百二十四船渠
第五百二十五船渠
第五百二十六船渠
第五百二十七船渠
第五百二十八船渠
第五百二十九船渠
第五百三十船渠
第五百三十一船渠
第五百三十二船渠
第五百三十三船渠
第五百三十四船渠
第五百三十五船渠
第五百三十六船渠
第五百三十七船渠
第五百三十八船渠
第五百三十九船渠
第五百四十船渠
第五百四十一船渠
第五百四十二船渠
第五百四十三船渠
第五百四十四船渠
第五百四十五船渠
第五百四十六船渠
第五百四十七船渠
第五百四十八船渠
第五百四十九船渠
第五百五十船渠
第五百五十一船渠
第五百五十二船渠
第五百五十三船渠
第五百五十四船渠
第五百五十五船渠
第五百五十六船渠
第五百五十七船渠
第五百五十八船渠
第五百五十九船渠
第五百六十船渠
第五百六十一船渠
第五百六十二船渠
第五百六十三船渠
第五百六十四船渠
第五百六十五船渠
第五百六十六船渠
第五百六十七船渠
第五百六十八船渠
第五百六十九船渠
第五百七十船渠
第五百七十一船渠
第五百七十二船渠
第五百七十三船渠
第五百七十四船渠
第五百七十五船渠
第五百七十六船渠
第五百七十七船渠
第五百七十八船渠
第五百七十九船渠
第五百八十船渠
第五百八十一船渠
第五百八十二船渠
第五百八十三船渠
第五百八十四船渠
第五百八十五船渠
第五百八十六船渠
第五百八十七船渠
第五百八十八船渠
第五百八十九船渠
第五百九十船渠
第五百九十一船渠
第五百九十二船渠
第五百九十三船渠
第五百九十四船渠
第五百九十五船渠
第五百九十六船渠
第五百九十七船渠
第五百九十八船渠
第五百九十九船渠
第六百船渠
第六百一船渠
第六百二船渠
第六百三船渠
第六百四船渠
第六百五船渠
第六百六船渠
第六百七船渠
第六百八船渠
第六百九船渠
第六百十船渠
第六百十一船渠
第六百十二船渠
第六百十三船渠
第六百十四船渠
第六百十五船渠
第六百十六船渠
第六百十七船渠
第六百十八船渠
第六百十九船渠
第六百二十船渠
第六百二十一船渠
第六百二十二船渠
第六百二十三船渠
第六百二十四船渠
第六百二十五船渠
第六百二十六船渠
第六百二十七船渠
第六百二十八船渠
第六百二十九船渠
第六百三十船渠
第六百三十一船渠
第六百三十二船渠
第六百三十三船渠
第六百三十四船渠
第六百三十五船渠
第六百三十六船渠
第六百三十七船渠
第六百三十八船渠
第六百三十九船渠
第六百四十船渠
第六百四十一船渠
第六百四十二船渠
第六百四十三船渠
第六百四十四船渠
第六百四十五船渠
第六百四十六船渠
第六百四十七船渠
第六百四十八船渠
第六百四十九船渠
第六百五十船渠
第六百五十一船渠
第六百五十二船渠
第六百五十三船渠
第六百五十四船渠
第六百五十五船渠
第六百五十六船渠
第六百五十七船渠
第六百五十八船渠
第六百五十九船渠
第六百六十船渠
第六百六十一船渠
第六百六十二船渠
第六百六十三船渠
第六百六十四船渠
第六百六十五船渠
第六百六十六船渠
第六百六十七船渠
第六百六十八船渠
第六百六十九船渠
第六百七十船渠
第六百七十一船渠
第六百七十二船渠
第六百七十三船渠
第六百七十四船渠
第六百七十五船渠
第六百七十六船渠
第六百七十七船渠
第六百七十八船渠
第六百七十九船渠
第六百八十船渠
第六百八十一船渠
第六百八十二船渠
第六百八十三船渠
第六百八十四船渠
第六百八十五船渠
第六百八十六船渠
第六百八十七船渠
第六百八十八船渠
第六百八十九船渠
第六百九十船渠
第六百九十一船渠
第六百九十二船渠
第六百九十三船渠
第六百九十四船渠
第六百九十五船渠
第六百九十六船渠
第六百九十七船渠
第六百九十八船渠
第六百九十九船渠
第七百船渠
第七百一船渠
第七百二船渠
第七百三船渠
第七百四船渠
第七百五船渠
第七百六船渠
第七百七船渠
第七百八船渠
第七百九船渠
第七百十船渠
第七百十一船渠
第七百十二船渠
第七百十三船渠
第七百十四船渠
第七百十五船渠
第七百十六船渠
第七百十七船渠
第七百十八船渠
第七百十九船渠
第七百二十船渠
第七百二十一船渠
第七百二十二船渠
第七百二十三船渠
第七百二十四船渠
第七百二十五船渠
第七百二十六船渠
第七百二十七船渠
第七百二十八船渠
第七百二十九船渠
第七百三十船渠
第七百三十一船渠
第七百三十二船渠
第七百三十三船渠
第七百三十四船渠
第七百三十五船渠
第七百三十六船渠
第七百三十七船渠
第七百三十八船渠
第七百三十九船渠
第七百四十船渠
第七百四十一船渠
第七百四十二船渠
第七百四十三船渠
第七百四十四船渠
第七百四十五船渠
第七百四十六船渠
第七百四十七船渠
第七百四十八船渠
第七百四十九船渠
第七百五十船渠
第七百五十一船渠
第七百五十二船渠
第七百五十三船渠
第七百五十四船渠
第七百五十五船渠
第七百五十六船渠
第七百五十七船渠
第七百五十八船渠
第七百五十九船渠
第七百六十船渠
第七百六十一船渠
第七百六十二船渠
第七百六十三船渠
第七百六十四船渠
第七百六十五船渠
第七百六十六船渠
第七百六十七船渠
第七百六十八船渠
第七百六十九船渠
第七百七十船渠
第七百七十一船渠
第七百七十二船渠
第七百七十三船渠
第七百七十四船渠
第七百七十五船渠
第七百七十六船渠
第七百七十七船渠
第七百七十八船渠
第七百七十九船渠
第七百八十船渠
第七百八十一船渠
第七百八十二船渠
第七百八十三船渠
第七百八十四船渠
第七百八十五船渠
第七百八十六船渠
第七百八十七船渠
第七百八十八船渠
第七百八十九船渠
第七百九十船渠
第七百九十一船渠
第七百九十二船渠
第七百九十三船渠
第七百九十四船渠
第七百九十五船渠
第七百九十六船渠
第七百九十七船渠
第七百九十八船渠
第七百九十九船渠
第八百船渠
第八百一船渠
第八百二船渠
第八百三船渠
第八百四船渠
第八百五船渠
第八百六船渠
第八百七船渠
第八百八船渠
第八百九船渠
第八百十船渠
第八百十一船渠
第八百十二船渠
第八百十三船渠
第八百十四船渠
第八百十五船渠
第八百十六船渠
第八百十七船渠
第八百十八船渠
第八百十九船渠
第八百二十船渠
第八百二十一船渠
第八百二十二船渠
第八百二十三船渠
第八百二十四船渠
第八百二十五船渠
第八百二十六船渠
第八百二十七船渠
第八百二十八船渠
第八百二十九船渠
第八百三十船渠
第八百三十一船渠
第八百三十二船渠
第八百三十三船渠
第八百三十四船渠
第八百三十五船渠
第八百三十六船渠
第八百三十七船渠
第八百三十八船渠
第八百三十九船渠
第八百四十船渠
第八百四十一船渠
第八百四十二船渠
第八百四十三船渠
第八百四十四船渠
第八百四十五船渠
第八百四十六船渠
第八百四十七船渠
第八百四十八船渠
第八百四十九船渠
第八百五十船渠
第八百五十一船渠
第八百五十二船渠
第八百五十三船渠
第八百五十四船渠
第八百五十五船渠
第八百五十六船渠
第八百五十七船渠
第八百五十八船渠
第八百五十九船渠
第八百六十船渠
第八百六十一船渠
第八百六十二船渠
第八百六十三船渠
第八百六十四船渠
第八百六十五船渠
第八百六十六船渠
第八百六十七船渠
第八百六十八船渠
第八百六十九船渠
第八百七十船渠
第八百七十一船渠
第八百七十二船渠
第八百七十三船渠
第八百七十四船渠
第八百七十五船渠
第八百七十六船渠
第八百七十七船渠
第八百七十八船渠
第八百七十九船渠
第八百八十船渠
第八百八十一船渠
第八百八十二船渠
第八百八十三船渠
第八百八十四船渠
第八百八十五船渠
第八百八十六船渠
第八百八十七船渠
第八百八十八船渠
第八百八十九船渠
第八百九十船渠
第八百九十一船渠
第八百九十二船渠
第八百九十三船渠
第八百九十四船渠
第八百九十五船渠
第八百九十六船渠
第八百九十七船渠
第八百九十八船渠
第八百九十九船渠
第九百船渠
第九百一船渠
第九百二船渠
第九百三船渠
第九百四船渠
第九百五船渠
第九百六船渠
第九百七船渠
第九百八船渠
第九百九船渠
第九百十船渠
第九百十一船渠
第九百十二船渠
第九百十三船渠
第九百十四船渠
第九百十五船渠
第九百十六船渠
第九百十七船渠
第九百十八船渠
第九百十九船渠
第九百二十船渠
第九百二十一船渠
第九百二十二船渠
第九百二十三船渠
第九百二十四船渠
第九百二十五船渠
第九百二十六船渠
第九百二十七船渠
第九百二十八船渠
第九百二十九船渠
第九百三十船渠
第九百三十一船渠
第九百三十二船渠
第九百三十三船渠
第九百三十四船渠
第九百三十五船渠
第九百三十六船渠
第九百三十七船渠
第九百三十八船渠
第九百三十九船渠
第九百四十船渠
第九百四十一船渠
第九百四十二船渠
第九百四十三船渠
第九百四十四船渠
第九百四十五船渠
第九百四十六船渠
第九百四十七船渠
第九百四十八船渠
第九百四十九船渠
第九百五十船渠
第九百五十一船渠
第九百五十二船渠
第九百五十三船渠
第九百五十四船渠
第九百五十五船渠
第九百五十六船渠
第九百五十七船渠
第九百五十八船渠
第九百五十九船渠
第九百六十船渠
第九百六十一船渠
第九百六十二船渠
第九百六十三船渠
第九百六十四船渠
第九百六十五船渠
第九百六十六船渠
第九百六十七船渠
第九百六十八船渠
第九百六十九船渠
第九百七十船渠
第九百七十一船渠
第九百七十二船渠
第九百七十三船渠
第九百七十四船渠
第九百七十五船渠
第九百七十六船渠
第九百七十七船渠
第九百七十八船渠
第九百七十九船渠
第九百八十船渠
第九百八十一船渠
第九百八十二船渠
第九百八十三船渠
第九百八十四船渠
第九百八十五船渠
第九百八十六船渠
第九百八十七船渠
第九百八十八船渠
第九百八十九船渠
第九百九十船渠
第九百九十一船渠
第九百九十二船渠
第九百九十三船渠
第九百九十四船渠
第九百九十五船渠
第九百九十六船渠
第九百九十七船渠
第九百九十八船渠
第九百九十九船渠
第一千船渠
第一千一船渠
第一千二船渠
第一千三船渠
第一千四船渠
第一千五船渠
第一千六船渠
第一千七船渠
第一千八船渠
第一千九船渠
第一千十船渠
第一千十一船渠
第一千十二船渠
第一千十三船渠
第一千十四船渠
第一千十五船渠
第一千十六船渠
第一千十七船渠
第一千十八船渠
第一千十九船渠
第一千二十船渠
第一千二十一船渠
第一千二十二船渠
第一千二十三船渠
第一千二十四船渠
第一千二十五船渠
第一千二十六船渠
第一千二十七船渠
第一千二十八船渠
第一千二十九船渠
第一千三十船渠
第一千三十一船渠
第一千三十二船渠
第一千三十三船渠
第一千三十四船渠
第一千三十五船渠
第一千三十六船渠
第一千三十七船渠
第一千三十八船渠
第一千三十九船渠
第一千四十船渠
第一千四十一船渠
第一千四十二船渠
第一千四十三船渠
第一千四十四船渠
第一千四十五船渠
第一千四十六船渠
第一千四十七船渠
第一千四十八船渠
第一千四十九船渠
第一千五十船渠
第一千五十一船渠
第一千五十二船渠
第一千五十三船渠
第一千五十四船渠
第一千五十五船渠
第一千五十六船渠
第一千五十七船渠
第一千五十八船渠
第一千五十九船渠
第一千六十船渠
第一千六十一船渠
第一千六十二船渠
第一千六十三船渠
第一千六十四船渠
第一千六十五船渠
第一千六十六船渠
第一千六十七船渠
第一千六十八船渠
第一千六十九船渠
第一千七十船渠
第一千七十一船渠
第一千七十二船渠
第一千七十三船渠
第一千七十四船渠
第一千七十五船渠
第一千七十六船渠
第一千七十七船渠
第一千七十八船渠
第一千七十九船渠
第一千八十船渠
第一千八十一船渠
第一千八十二船渠
第一千八十三船渠
第一千八十四船渠
第一千八十五船渠
第一千八十六船渠
第一千八十七船渠
第一千八十八船渠
第一千八十九船渠
第一千九十船渠
第一千九十一船渠
第一千九十二船渠
第一千九十三船渠
第一千九十四船渠
第一千九十五船渠
第一千九十六船渠
第一千九十七船渠
第一千九十八船渠
第一千九十九船渠
第一千一百船渠
第一千一百一船渠
第一千一百二船渠
第一千一百三船渠
第一千一百四船渠
第一千一百五船渠
第一千一百六船渠
第一千一百七船渠
第一千一百八船渠
第一千一百九船渠
第一千一百十船渠
第一千一百十一船渠
第一千一百十二船渠
第一千一百十三船渠
第一千一百十四船渠
第一千一百十五船渠
第一千一百十六船渠
第一千一百十七船渠
第一千一百十八船渠
第一千一百十九船渠
第一千一百二十船渠
第一千一百二十一船渠
第一千一百二十二船渠
第一千一百二十三船渠
第一千一百二十四船渠
第一千一百二十五船渠
第一千一百二十六船渠
第一千一百二十七船渠
第一千一百二十八船渠
第一千一百二十九船渠
第一千一百三十船渠
第一千一百三十一船渠
第一千一百三十二船渠
第一千一百三十三船渠
第一千一百三十四船渠
第一千一百三十五船渠
第一千一百三十六船渠
第一千一百三十七船渠
第一千一百三十八船渠
第一千一百三十九船渠
第一千一百四十船渠
第一千一百四十一船渠
第一千一百四十二船渠
第一千一百四十三船渠
第一千一百四十四船渠
第一千一百四十五船渠
第一千一百四十六船渠
第一千一百四十七船渠
第一千一百四十八船渠
第一千一百四十九船渠
第一千一百五十船渠
第一千一百五十一船渠
第一千一百五十二船渠
第一千一百五十三船渠
第一千一百五十四船渠
第一千一百五十五船渠
第一千一百五十六船渠
第一千一百五十七船渠
第一千一百五十八船渠
第一千一百五十九船渠
第一千一百六十船渠
第一千一百六十一船渠
第一千一百六十二船渠
第一千一百六十三船渠
第一千一百六十四船渠
第一千一百六十五船渠
第一千一百六十六船渠
第一千一百六十七船渠
第一千一百六十八船渠
第一千一百六十九船渠
第一千一百七十船渠
第一千一百七十一船渠
第一千一百七十二船渠
第一千一百七十三船渠
第一千一百七十四船渠
第一千一百七十五船渠
第一千一百七十六船渠
第一千一百七十七船渠
第一千一百七十八船渠
第一千一百七十九船渠
第一千一百八十船渠
第一千一百八十一船渠
第一千一百八十二船渠
第一千一百八十三船渠
第一千一百八十四船渠
第一千一百八十五船渠
第一千一百八十六船渠
第一千一百八十七船渠
第一千一百八十八船渠
第一千一百八十九船渠
第一千一百九十船渠
第一千一百九十一船渠
第一千一百九十二船渠
第一千一百九十三船渠
第一千一百九十四船渠
第一千一百九十五船渠
第一千一百九十六船渠
第一千一百九十七船渠
第一千一百九十八船渠
第一千一百九十九船渠
第一千二百船渠
第一千二百一船渠
第一千二百二船渠
第一千二百三船渠
第一千二百四船渠
第一千二百五船渠
第一千二百六船渠
第一千二百七船渠
第一千二百八船渠
第一千二百九船渠
第一千二百十船渠
第一千二百十一船渠
第一千二百十二船渠
第一千二百十三船渠
第一千二百十四船渠
第一千二百十五船渠
第一千二百十六船渠
第一千二百十七船渠
第一千二百十八船渠
第一千二百十九船渠
第一千二百二十船渠
第一千二百二十一船渠
第一千二百二十二船渠
第一千二百二十三船渠
第一千二百二十四船渠
第一千二百二十五船渠
第一千二百二十六船渠
第一千二百二十七船渠
第一千二百二十八船渠
第一千二百二十九船渠
第一千二百三十船渠
第一千二百三十一船渠
第一千二百三十二船渠
第一千二百三十三船渠
第一千二百三十四船渠
第一千二百三十五船渠
第一千二百三十六船渠
第一千二百三十七船渠
第一千二百三十八船渠
第一千二百三十九船渠
第一千二百四十船渠
第一千二百四十一船渠
第一千二百四十二船渠
第一千二百四十三船渠
第一千二百四十四船渠
第一千二百四十五船渠
第一千二百四十六船渠
第一千二百四十七船渠
第一千二百四十八船渠
第一千二百四十九船渠
第一千二百五十船渠
第一千二百五十一船渠
第一千二百五十二船渠
第一千二百五十三船渠
第一千二百五十四船渠
第一千二百五十五船渠
第一千二百五十六船渠
第一千二百五十七船渠
第一千二百五十八船渠
第一千二百五十九船渠
第一千二百六十船渠
第一千二百六十一船渠
第一千二百六十二船渠
第一千二百六十三船渠
第一千二百六十四船渠
第一千二百六十五船渠
第一千二百六十六船渠
第一千二百六十七船渠
第一千二百六十八船渠
第一千二百六十九船渠
第一千二百七十船渠
第一千二百七十一船渠
第一千二百七十二船渠
第一千二百七十三船渠
第一千二百七十四船渠
第一千二百七十五船渠
第一千二百七十六船渠
第一千二百七十七船渠
第一千二百七十八船渠
第一千二百七十九船渠
第一千二百八十船渠
第一千二百八十一船渠
第一千二百八十二船渠
第一千二百八十三船渠
第一千二百八十四船渠
第一千二百八十五船渠
第一千二百八十六船渠
第一千二百八十七船渠
第一千二百八十八船渠
第一千二百八十九船渠
第一千二百九十船渠
第一千二百九十一船渠
第一千二百九十二船渠
第一千二百九十三船渠
第一千二百九十四船渠
第一千二百九十五船渠
第一千二百九十六船渠
第一千二百九十七船渠
第一千二百九十八船渠
第一千二百九十九船渠
第一千三百船渠
第一千三百一船渠
第一千三百二船渠
第一千三百三船渠
第一千三百四船渠
第一千三百五船渠
第一千三百六船渠
第一千三百七船渠
第一千三百八船渠
第一千三百九船渠
第一千三百十船渠
第一千三百十一船渠
第一千三百十二船渠
第一千三百十三船渠
第一千三百十四船渠
第一千三百十五船渠
第一千三百十六船渠
第一千三百十七船渠
第一千三百十八船渠
第一千三百十九船渠
第一千三百二十船渠
第一千三百二十一船渠
第一千三百二十二船渠
第一千三百二十三船渠
第一千三百二十四船渠
第一千三百二十五船渠
第一千三百二十六船渠
第一千三百二十七船渠
第一千三百二十八船渠
第一千三百二十九船渠
第一千三百三十船渠
第一千三百三十一船渠
第一千三百三十二船渠
第一千三百三十三船渠
第一千三百三十四船渠
第一千三百三十五船渠
第一千三百三十六船渠
第一千三百三十七船渠
第一千三百三十八船渠
第一千三百三十九船渠
第一千三百四十船渠
第一千三百四十一船渠
第一千三百四十二船渠
第一千三百四十三船渠
第一千三百四十四船渠
第一千三百四十五船渠
第一千三百四十六船渠
第一千三百四十七船渠
第一千三百四十八船渠
第一千三百四十九船渠
第一千三百五十船渠
第一千三百五十一船渠
第一千三百五十二船渠
第一千三百五十三船渠
第一千三百五十四船渠
第一千三百五十五船渠
第一千三百五十六船渠
第一千三百五十七船渠
第一千三百五十八船渠
第一千三百五十九船渠
第一千三百六十船渠
第一千三百六十一船渠
第一千三百六十二船渠
第一千三百六十三船渠
第一千三百六十四船渠
第一千三百六十五船渠
第一千三百六十六船渠
第一千三百六十七船渠
第一千三百六十八船渠
第一千三百六十九船渠
第一千三百七十船渠
第一千三百七十一船渠
第一千三百七十二船渠
第一千三百七十三船渠
第一千三百七十四船渠
第一千三百七十五船渠
第一千三百七十六船渠
第一千三百七十七船渠
第一千三百七十八船渠
第一千三百七十九船渠
第一千三百八十船渠
第一千三百八十一船渠
第一千三百八十二船渠
第一千三百八十三船渠
第一千三百八十四船渠
第一千三百八十五船渠
第一千三百八十六船渠
第一千三百八十七船渠
第一千三百八十八船渠
第一千三百八十九船渠
第一千三百九十船渠
第一千三百九十一船渠
第一千三百九十二船渠
第一千三百九十三船渠
第一千三百九十四船渠
第一千三百九十五船渠
第一千三百九十六船渠
第一千三百九十七船渠
第一千三百九十八船渠
第一千三百九十九船渠
第一千四百船渠
第一千四百一船渠
第一千四百二船渠
第一千四百三船渠
第一千四百四船渠
第一千四百五船渠
第一千四百六船渠
第一千四百七船渠
第一千四百八船渠
第一千四百九船渠
第一千四百十船渠
第一千四百十一船渠
第一千四百十二船渠
第一千四百十三船渠
第一千四百十四船渠
第一千四百十五船渠
第一千四百十六船渠
第一千四百十七船渠
第一千四百十八船渠
第一千四百十九船渠
第一千四百二十船渠
第一千四百二十一船渠
第一千四百二十二船渠
第一千四百二十三船渠
第一千四百二十四船渠
第一千四百二十五船渠
第一千四百二十六船渠
第一千四百二十七船渠
第一千四百二十八船渠
第一千四百二十九船渠
第一千四百三十船渠
第一千四百三十一船渠
第一千四百三十二船渠
第一千四百三十三船渠
第一千四百三十四船渠
第一千四百三十五船渠
第一千四百三十六船渠
第一千四百三十七船渠
第一千四百三十八船渠
第一千四百三十九船渠
第一千四百四十船渠
第一千四百四十一船渠
第一千四百四十二船渠
第一千四百四十三船渠
第一千四百四十四船渠
第一千四百四十五船渠
第一千四百四十六船渠
第一千四百四十七船渠
第一千四百四十八船渠
第一千四百四十九船渠
第一千四百五十船渠
第一千四百五十一船渠
第一千四百五十二船渠
第一千四百五十三船渠
第一千四百五十四船渠
第一千四百五十五船渠
第一千四百五十六船渠
第一千四百五十七船渠
第一千四百五十八船渠
第一千四百五十九船渠
第一千四百六十船渠
第一千四百六十一船渠
第一千四百六十二船渠
第一千四百六十三船渠
第一千四百六十四船渠
第一千四百六十五船渠
第一千四百六十六船渠
第一千四百六十七船渠
第一千四百六十八船渠
第一千四百六十九船渠
第一千四百七十船渠
第一千四百七十一船渠
第一千四百七十二船渠
第一千四百七十三船渠
第一千四百七十四船渠
第一千四百七十五船渠
第一千四百七十六船渠
第一千四百七十七船渠
第一千四百七十八船渠
第一千四百七十九船渠
第一千四百八十船渠
第一千四百八十一船渠
第一千四百八十二船渠
第一千四百八十三船渠
第一千四百八十四船渠
第一千四百八十五船渠
第一千四百八十六船渠
第一千四百八十七船渠
第一千四百八十八船渠
第一千四百八十九船渠
第一千四百九十船渠
第一千四百九十一船渠
第一千四百九十二船渠
第一千四百九十三船渠
第一千四百九十四船渠
第一千四百九十五船渠
第一千四百九十六船渠
第一千四百九十七船渠
第一千四百九十八船渠
第一千四百九十九船渠
第一千五百船渠
第一千五百一船渠
第一千五百二船渠
第一千五百三船渠
第一千五百四船渠
第一千五百五船渠
第一千五百六船渠
第一千五百七船渠
第一千五百八船渠
第一千五百九船渠
第一千五百十船渠
第一千五百十一船渠
第一千五百十二船渠
第一千五百十三船渠
第一千五百十四船渠
第一千五百十五船渠
第一千五百十六船渠
第一千五百十七船渠
第一千五百十八船渠
第一千五百十九船渠
第一千五百二十船渠
第一千五百二十一船渠
第一千五百二十二船渠
第一千五百二十三船渠
第一千五百二十四船渠
第一千五百二十五船渠
第一千五百二十六船渠
第一千五百二十七船渠
第一千五百二十八船渠
第一千五百二十九船渠
第一千五百三十船渠
第一千五百三十一船渠
第一千五百三十二船渠
第一千五百三十三船渠
第一千五百三十四船渠
第一千五百三十五船渠
第一千五百三十六船渠
第一千五百三十七船渠
第一千五百三十八船渠
第一千五百三十九船渠
第一千五百四十船渠
第一千五百四十一船渠
第一千五百四十二船渠
第一千五百四十三船渠
第一千五百四十四船渠
第一千五百四十五船渠
第一千五百四十六船渠
第一千五百四十七船渠
第一千五百四十八船渠
第一千五百四十九船渠
第一千五百五十船渠
第一千五百五十一船渠
第一千五百五十二船渠
第一千五百五十三船渠
第一千五百五十四船渠
第一千五百五十五船渠
第一千五百五十六船渠
第一千五百五十七船渠
第一千五百五十八船渠
第一千五百五十九船渠
第一千五百六十船渠
第一千五百六十一船渠
第一千五百六十二船渠
第一千五百六十三船渠
第一千五百六十四船渠
第一千五百六十五船渠
第一千五百六十六船渠
第一千五百六十七船渠
第一千五百六十八船渠
第一千五百六十九船渠
第一千五百七十船渠
第一千五百七十一船渠
第一千五百七十二船渠
第一千五百七十三船渠
第一千五百七十四船渠
第一千五百七十五船渠
第一千五百七十六船渠
第一千

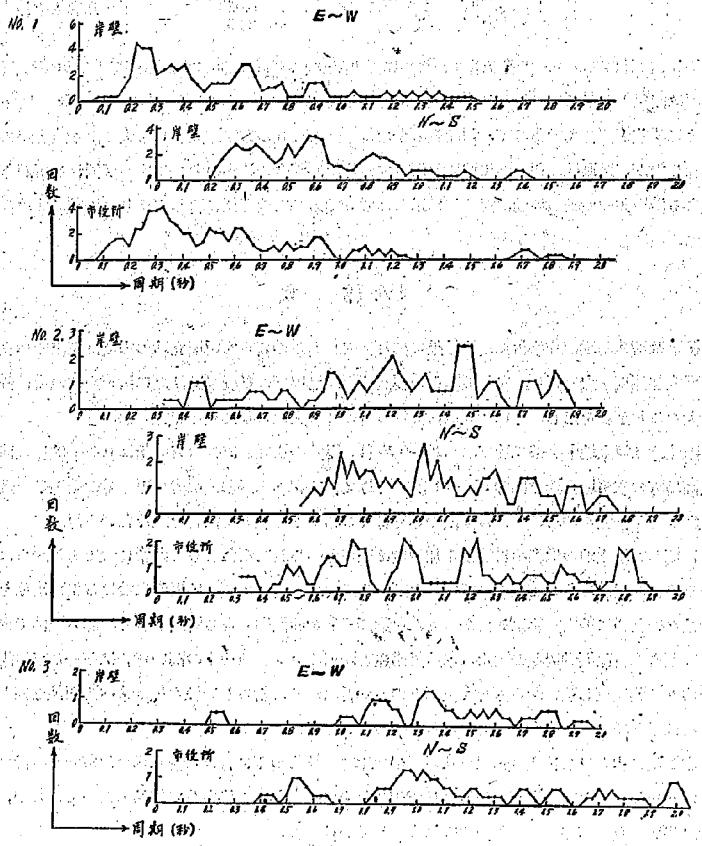
圖—10 地震設置小屋寫眞



圖—11 測 柱 寫 眞



圖—12 周 期



表—2 清水港附近にて觀測した地震の加速度

〔 〕内の數字はその地震によつて倒れた測柱の比幅；( ) 内の數字はその地震の最多振動周期

| 地震番號 | 日時 | 加速度觀測方向 | 清水市役所 | 岸壁 | 震央及震央距離 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 位置 | km |
| S—1 | 昭 13. 4. 15 | E～W | 12.4 〔0.025〕 (0.30秒及0.60秒) | 22.7 〔0.025〕 (0.25秒及0.65秒) | 山梨縣西身延山附近 | 40 |
| | | N～S | | 21.5 (0.6及0.3) | | |
| 2 | 5. 23 | E～W | 3.5 7.6 〔0.025〕 (0.75, 0.95, 1.20) | 10.3〔—〕 (1.2) 10.3 (0.7及1.03) | 福島縣壹屋崎東南東沖 | 350 |
| | | N～S | | | | |
| 3 | 11. 5 | E～W | 4.7 6.0 〔0.025及0.05〕 (0.54) | 5.2 〔0.025〕 (0.53) | 福島縣東方沖 | 380 |
| | | N～S | | | | |
| 4 | 12. 4 | E～W | 2.6 〔0.025〕 | 23.0 〔0.025及0.05〕 | 福島縣東方沖 | 400 |
| | | N～S | 6.0 | 22.5 | | |

E—W 方向では特に著しい．資料が尠ないために震央距離との關係は明にする事が出來なかつた．倒れた地震測柱の比幅は記錄した加速度に比し何れも大である．この柱は直徑の小なるものは重心の位置，底面の水平の程度等のために誤差が割合大であつて，加速度の小なる場合は圓柱の方が記錄よりも大に出る傾向がある事は認めなければならぬが，又測柱の踊りの周期に共振れする時には割合に比幅の大なるものが倒れる事があり得る．

記錄による地震動の振動の周期は圖—12に示した通りであつて地震毎に著しく異り各場所に於ける一定の周期を認め難い．

## IV. 結 言

以上の横濱及清水兩港の今迄得た觀測結果に依れば何れも港の新らしい埋立地の震度は在來の埋立地に比し2～2.5倍程度加速度が大である．岸壁ではその構造物の自己周期の影響を受け之に近い周期の時に法線に直角な方向では大なる加速度を示し，時に埋立地に於けるものより大なる加速度を記錄した．

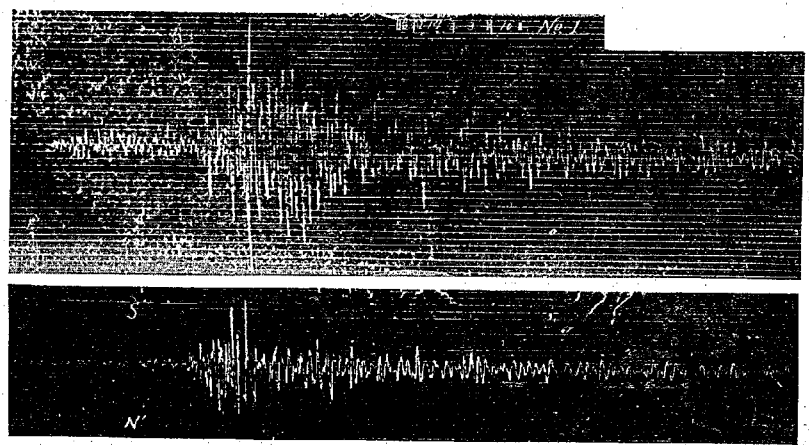
横濱の觀測では埋立地中央部に於ては 0.20～0.25 秒，岸壁の法線に直角な方向では 0.4～0.5 秒，同じく物揚場 0.25 秒表高島町の在來埋立地では 0.35～0.4 秒の振動周期が多い．周期では清水港岸壁の結果と一致しない點があるが，之は目下觀測をつづけてゐる横濱の岸壁背後の結果と比較して檢討を試みたいと思ふ．

要するに新しい埋立地の地表面に於ける加速度は在來考へられてゐたよりも非常に大であるから，岸壁の設計及埋立地の建物の設計に關して在來の考へ方を變へる必要があると思ふ．地表面に於ける振動周期を知れば最も震害を受けないために地上建物は如何なるものを選ぶべきかの問題も自ら解決される．即ち横濱で得た結果だけから言へば割合に自己振動周期の大なる木造數階建とか鐵筋コンクリートの高い建物は——基礎の問題は別にして——地盤とは共振れし難いから割合安全だとの事が言はれる．新らしい埋立地がすべて横濱と同じ周期を持つと考へる事は早計であつて尙調査をしなければならないと思ふ．

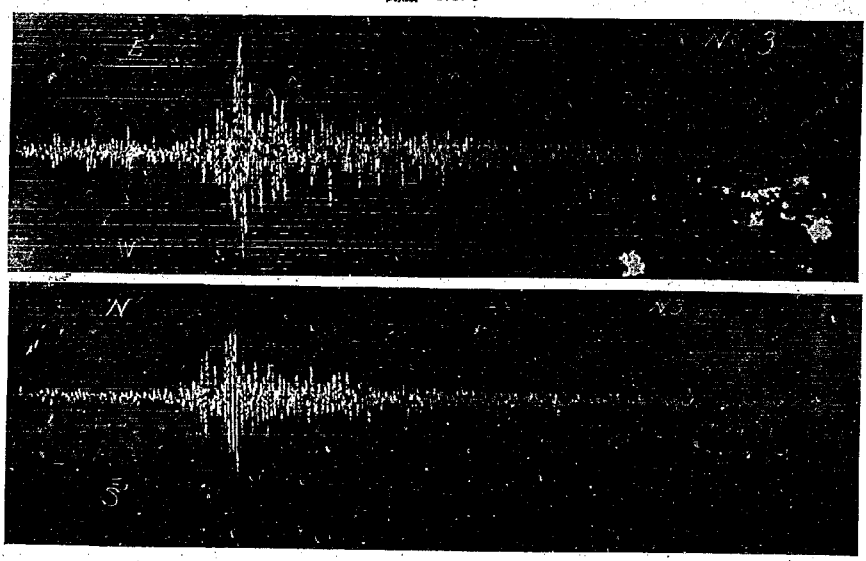
附記 本觀測は內務省横濱土木出張所及靜岡縣土木部と協力の下に行はれ清水港の地震計の設計には地震研究所萩原尊禮氏を煩はした．尙横濱の觀測は地震研究所齋田時太郎氏と協力して開始したのであるが，途中から同氏が南米に出張されて不在のためこの整理は專ら自分が行つた．

附圖—1 (a) 表—1地震Y—7 の記錄—昭和14年3月10日の地震の横濱に於けるもの. 實際記錄を 2.3 倍に擴大, 卽ち加速度は寫眞の振幅 (r) の 1.35mm が 1 gal に, 時間は圖の 2.4mm が 1 秒に相當する.

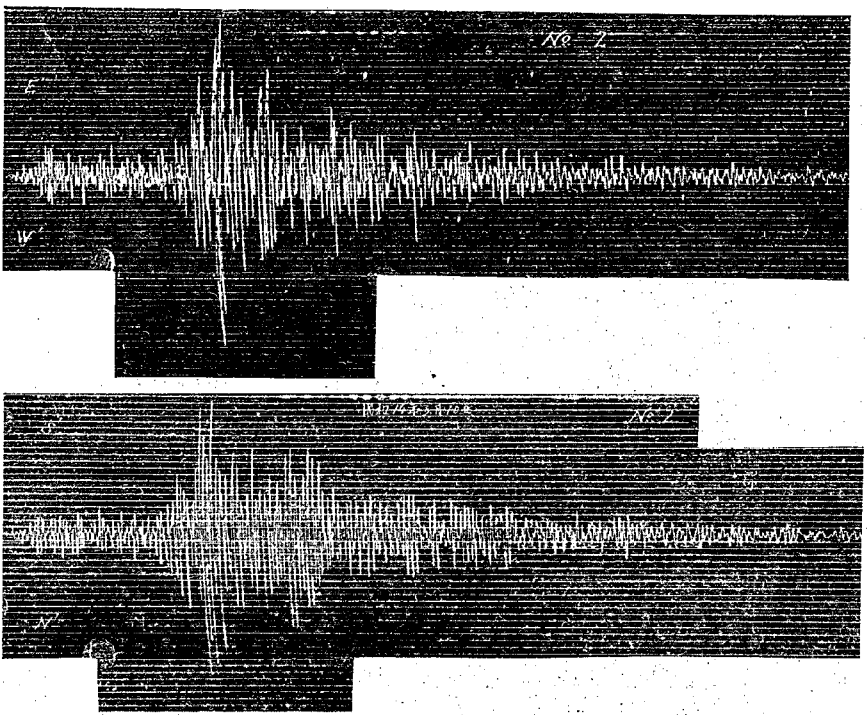
測點 No. 1



測點 No. 3

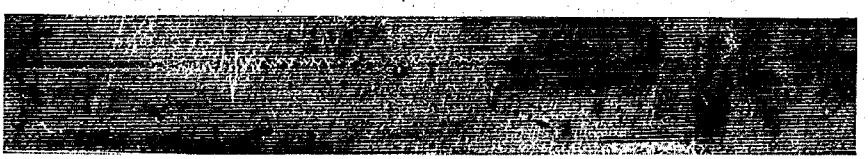


附圖—1 (b) 同前
測點 No. 2




E—W 表高島町

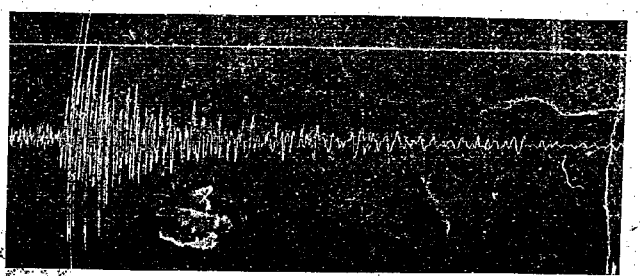
S—N



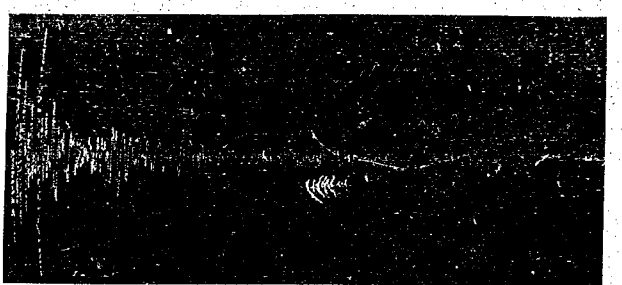
附圖—1 (C) 爆發の記錄
橫濱の神奈川岸壁 No. 2 に於ける

附圖—2 表—2 S—1 及 S—2 (14頁の3個) の記錄. 卽ち昭和13年4月15日及5月23日の淸水に於けるもの, 實際の記錄を約 1.55 倍に拡大, 卽ち加速度は振幅 (r) の 0.91mm が 1 gal に, 時間は圖の 61.3 mm が 1 秒に相當する

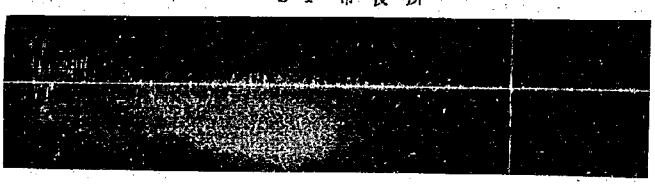
W—E S—1 岸 壁



S—N



W—E S—1 市 役 所

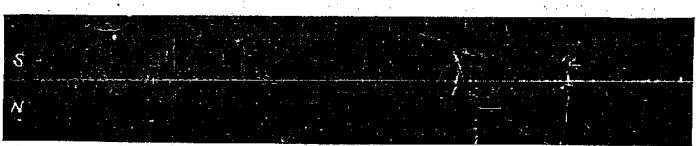


附圖—2

W—E S—2 岸壁

S—N

S—N S—2 市役所



# 昭和13年の豪雨記錄より導きたる雨量强度式に就て

囑託　伊藤　剛

## I. 昭和13年の豪雨

昭和13年には初夏から秋にかけて各地に豪雨が相次いで起り，河川の氾濫を來して貴重な人命を毀損し田畑を流失した地方が甚だ多い．大戰中の事とて新聞紙上に於ける之等の報告も甚だ内輪ではあつたが慘害の程度から云つても，出水記錄や雨量記錄から云つても明治以來の記錄を破つた所が多々ある．中でも最も甚だしかつたのは茨城縣下を始め關東の東南部から東海南部を襲つた6月末の豪雨，神戸の裏山に大崩壞を生ぜしめ同市内河川沿ひの人家を一朝にして押し流した7月上旬の豪雨，木曾川，天龍川の流域を襲つて之等の河川に數十年來の大出水を生ぜしめた同じく7月上旬の豪雨，更に又三重縣海岸沿ひ一帶を襲つて宮川を始め各河川を破堤缺壞せしめた8月上旬の豪雨，關東の鬼怒川，荒川，多摩川流域を襲ひ之等の河川に記錄破りの大出水，被害を生ぜしめた8月末の豪雨等である．その他9月上旬の德島地方の豪雨，8月中旬の鹿兒島大隅半島一帶の豪雨，7月中旬の岩手縣氷澤町附近及び秋田縣大館町附近の豪雨も雨域は餘り廣くなかつたが强度から云つても慘害から云つても稀に見る豪雨と云はれる程のものである．以上の中6月下旬から7月上旬にかけての豪雨は紀州沖に停滯した强い颱風による頑固な不連續線の低迷によるものであるに反し，9月上旬の關東地方の豪雨は全く不連續線を伴はぬ理想的颱風型の降雨であつて雨域も颱風進路の西側に甚だしく又颱風と共に移動した．

## II. 豪雨記錄に對する考察

私は之等の豪雨記錄を氣象臺，測候所關係，内務省各土木出張所，農林省森林測候所，森林治水試驗地その他水電，水道關係の中自記雨量計を具へてゐる所から集め之を分析して 1, 4, 8, 12, 24, 48 各時間内の最大雨量及び之等相互の關係，24時間雨量と1日雨量との比等を調べて見た．その分析方法は各所から自記された降雨記錄圖を集め之を30分單位の定時刻間に分け，その時間内の雨量强度を調べた．即ち例へば午後1時から1時30分，1時30分から2時迄の雨量と云ふ風に分けたのである．そしてこの資料から前記各時間雨量の最大のものを拾ひ上げた．故に例へば4時間雨量50mm と云つても午後1時から5時迄の如く1時間毎に分けず，午後1時30分から5時30分迄の間と云ふ樣に雨量を集計した時刻の區切りが30分單位になる樣にした．一般に最大1時間雨量を調べるのに自記雨量計の精度から云つて20分間より細かく讀むのも意味がないし，さりとて30分間隔では少し長すぎると思ふ．只私は24時間，48時間等長時間内の雨量强度も併せて調べる關係上煩瑣を恐れてかくしたのである．從つてこゝに揭げた中最大1時間雨量の記錄だけは餘り精確とは云へないかも知れぬ．例へば午後2時30分から午後3時30分間に最大時雨量が起り之が60mm だと揭げたのであるが實際2時38分から3時38分迄の雨量はもつと大きかつたかも知れぬ．只，今迄よく報告されてゐる最大時雨量は定時刻間のもの即ち例へば午後2時から3時迄の1時間雨量であつて之よりは私のやつた30分單位のものの方が精確であらう．

次に問題になるのは24時間雨量と日雨量との關係である．觀測設備の關係上現在我國で行はれてゐる雨量觀測は普通雨量計による定時刻觀測であつて即ち午前10時から翌午前10時迄の間の雨量を今日の日雨量としてゐ

る．この様に雨量の觀計を人爲的に區切つてやつたのでは治水等の如く雨量強度が第一に重要な方面には利用價値が少い．例へば或る河川流域の最大日雨量は或る年或る日に起り之が 200mm あつたとしても，その翌日の日雨量が僅か10mm であつたとすれば，別な年日の日雨量 185mm，翌日 100mm の時の方が雨量强度も大きく大出水を生ずる可能性が多いことは想像がつく．故に日雨量と24時間雨量との關係を究明することは無意味の様にも考へられるが又一面次の理由により甚だ重要だとも考へられる．即ち

（1）日雨量は資料が豊ねく且豊富である．

（2）豪雨の起時，終りは例へば日出，日沒等一定の時刻に生ずる可能性がある．この點は氣象學者によく調べて戴き度いと思ふ．

（3）最大24時間雨量が何時から始まるかは例へば針が或る度盛せられた直線上に落ちる場合，その度盛り線と針の頭との距離はどの位かと云ふ或る種の確率の問題になるのではあるまいか．

（4）以上の如くして日雨量と24時間雨量との關係がわかれば日雨量より各時間雨量も引り治水の計畫に甚だ有益なものとなる．我國の様に小河川の計畫には日雨量では利用する道がなく，どうしても8時間程度の雨量强度が欲しい．近頃の米國の雜誌を見ると彼の大河川の治水計畫にも矢張り時間雨量が必要だと云ふ意見が盛んに出てゐる．

以上の他近頃の様に利水問題がやかましくなるともう問題は別になつて時間雨量を知つて最大洪水量を知る許りでなく，洪水波の形狀が必要となつて來るから雨量から之を察する爲には自記雨量計による雨量强度變化の觀測が絶對に必要となつて來る許りでなく，第一雨量から洪水量を求めるよりもどうせ過去の記錄は使へないのだから直接水位や流量を觀測した方が簡明だと云ふことになる．話が少し横道にそれたが水源10箇所に自記雨量計を具へるよりも下流1箇所で水位や流量を觀測した方が經濟上も有利である．水源の雨量計は通信連絡が完備してやつと水防に役立つのみ，雨量から流量を察し様とするのはその間流出率とか水源の林情とか無限の要素が關係し之を一々究明するのは端鄕の斧に類するとも考へられる．其の不可能なるを知りても尙且つ之を爲さんとするの企圖，之を學問とは云ふのであるが．

## III. 雨量强度式

偖こゝに揭げる表は上記の如くして作つたものであるが時間と雨量との關係圖6葉は各記錄を地方別或は流域別により28箇所に別けて曲線を畫いたものである．又この中特に豪雨の甚だしかつた地方13箇所を選び

$$I=\frac{b}{T+a}$$

なる雨量强度式にあてはめた場合の a 及び b の値を最小自乘法によつて求めて表記した．

參考迄に在來の內外各地方の雨量强度式（Talbot 型）を擧げれば次の如くである．

東京地方（過去第4位の豪雨）：　$I=\frac{83.3}{t+0.67}$

仙臺附近（鷲見一之「下水道」）：　$I=\frac{42.2}{t+0.045}$

京城附近（上田公式，土木學會5卷1號）：　$I=\frac{131}{t+1}$

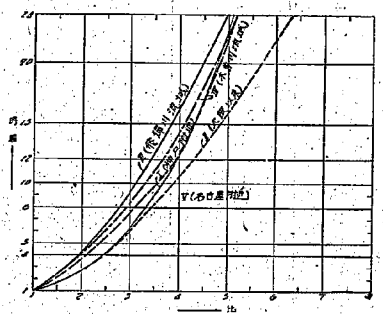
ニューヨーク市：　$I=\frac{63.5}{t+0.33}$

アメリカ，ロツキー山脈以東（Talbot 教授，1891年）：　$I=\frac{152.5}{t+0.5}$ ……記録的豪雨

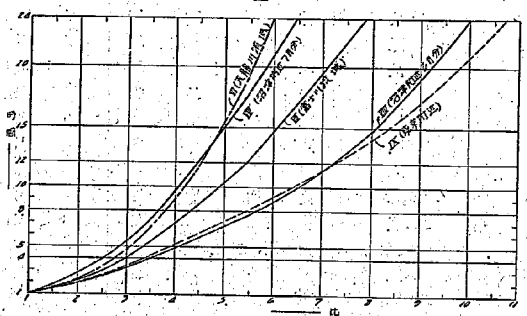
$\frac{44.5}{t+0.25}$ ……普通豪雨

## 雨量と時間との關係圖

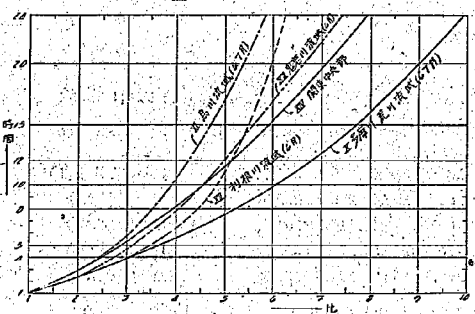
圖—1



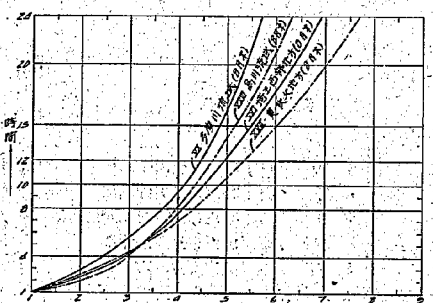
圖—2



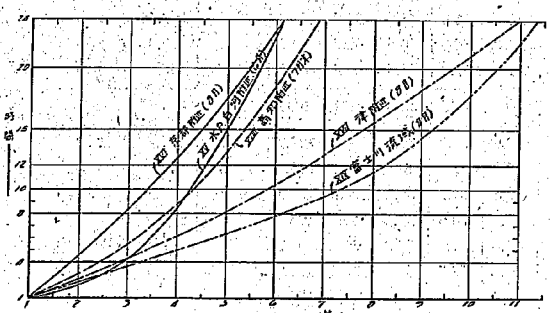
圖—3



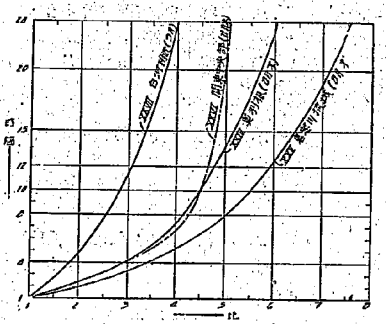
圖—5



圖—4



圖—6



表—1 雨量強度式 $I=\frac{b}{T+a}$ に於ける $a$, $b$ の値.

但し $a$, $b$ 常數, $T$=時間數, $I=T$ 時間内の雨量強度

| 番號 | 地方名 | 豪雨起日 | $a$ | $b$ |
|---|---|---|---|---|
| Ⅰ. | 神戸附近 | 7月4日 | 4.79 | 294 |
| Ⅲ. | 飛騨川流域 | 7月4日 | 3.90 | 115 |
| Ⅳ. | 木曾川流域 | 7月3日～5日 | 4.70 | 170 |
| Ⅷ | 伊豆地方 | 6月29日 | 37.4 | 1,140 |
| Ⅸ. | 東京附近 | 6月29日 | 18.1 | 430 |
| XIV. | 關東中部 | 6月29日 | 57.1 | 156 |
| XVI. | 三重海岸 | 8月1日 | 16.7 | 550 |
| XVIII. | 高知縣下 | 7月31日 | 7.70 | 259 |
| XX. | 相模川流域 | 8月31日 | 5.55 | 170 |
| XXI. | 荒川, 多摩川中流 | 8月31日 | 7.83 | 255 |
| XXII. | 荒川水源 | 8月31日 | 9.25 | 409 |
| XXV. | 鬼怒川水源 | 8月31日 | 8.96 | 423 |
| 白河 | 白河 | 9月1日 | 5.20 | 168 |

表—2

| 觀測所 | 位置 | 最大時間雨量 1時間 | 4時間 | 8時間 | 12時間 | 24時間 | 24時間雨量と日雨量との比 | 最大日雨量及起日 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 神戸 | 神戸市中山手通 | 47.6 | 166.2 | 216.4 | 269.7 | 341.4 | | 241.6 (7月4日) |
| 2 布引 | 神戸市布引貯水池 | 57.5 | 162.5 | 193.4 | 206.0 | 253.0 | | 182.1 (〃) |
| 3 千苅 | 有馬郡道場村千苅貯水池 | 26.3 | 65.5 | 96.4 | 117.7 | 161.0 | | 112.7 (〃) |
| 4 烏原 | 神戸市烏原貯水池 | 73.0 | 176.0 | 220.5 | 273.7 | 335.6 | | 210.3 (〃) |
| 5 洲本 | 兵庫縣洲本町 | 55.0 | 109.9 | 152.9 | 174.4 | 232.3 | | 223.5 (〃) |
| Ⅰ比 | | 1 | 2.63 | 3.21 | 4.01 | 5.10 | 1.36 | |
| 6 大阪 | 東成區勝力通 | 18.9 | 33.9 | 45.9 | 62.8 | 109.0 | | 83.5 (〃) |
| 7 京都 | 中京區西ノ京中合町 | 24.0 | 62.0 | 83.2 | 104.9 | 161.8 | | 108.5 (〃) |
| 8 彦根 | 彦根町, 測候所 | 13.1 | 36.0 | 50.5 | 60.7 | 82.3 | | 49.3 (〃) |
| 9 奉照 | 滋賀縣伊吹山麓 | 13.2 | 37.9 | 51.5 | 63.4 | 87.0 | | 56.7 (〃) |
| Ⅱ比 | | 1 | 2.45 | 3.34 | 4.21 | 6.35 | 1.48 | |
| 10 小坂 | 岐阜縣日竝小坂發電所 | 17.0 | 37.9 | 70.5 | 80.8 | 123.9 | | 97.7 (〃) |
| 11 小坂 | 〃 〃 取入口 | 16.5 | 37.5 | 49.5 | 71.1 | 113.0 | 189.7 | 88.0 (〃) |
| 12 瀨戸 | 〃 〃 瀨戸發電所 | 42.8 | 67.7 | 88.1 | 108.9 | 152.7 | 277.0 | 106.1 (7月3日) |
| 13 金山 | 〃 金山町 | 40.2 | 78.6 | 97.1 | 140.1 | 195.6 | | 151.9 (〃) |
| 14 上ヶ洞 | 〃 益田郡高根村 | 10.6 | 21.3 | 32.3 | 33.1 | 38.7 | | 35.3 (6月28日) |
| 15 高山 | 〃 高山市, 測候所 | 23.0 | 53.7 | 63.0 | 76.4 | 122.9 | | 75.9 (7月4日) |
| Ⅲ比 | | 1 | 1.98 | 2.67 | 3.40 | 4.98 | 1.35 | |

表—2（つゞき）

| 觀測所 | 位置 | 最大時間雨量 1時間 | 4時間 | 8時間 | 12時間 | 24時間 | 24時間雨量と日雨量との比 | 最大日雨量及起日 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 三浦 | 長野縣御嶽南麓 | 17.6 | 33.2 | 41.5 | 47.4 | 61.3 | | 56.6（6月28日） |
| 〃 | 〃 〃 | 34.2 | 76.9 | 125.7 | 193.3 | 273.3 | | 228.7（7月3日） |
| 17 讀書 | 長野縣木曾川沿岸 | 42.0 | 93.9 | 115.8 | 133.6 | 170.4 | 288.1 | 109.1（7月5日） |
| 18 桃山 | 〃 〃 | 34.5 | 65.4 | 90.8 | 125.2 | 159.1 | | 103.6（7月4日） |
| Ⅳ 比 | | 1 | 2.1 | 2.91 | 3.89 | 5.18 | 1.33 | |
| 19 愛知縣河川課 | 一ノ宮市 | 16.2 | 44.4 | 59.4 | 70.0 | 90.3 | | 81.9（7月3日） |
| 20 名古屋 | 東區田代町氣象臺支臺 | 25.1 | 44.6 | 51.8 | 60.4 | 86.0 | | 79.1（〃） |
| 21 濱松 | 鴨江町，測候所 | 22.4 | 38.0 | 54.8 | 77.6 | 152.8 | | 91.9（〃） |
| 〃 | 〃 〃 | 32.4 | 60.1 | 99.7 | 104.3 | 170.1 | | 115.9（6月29日） |
| Ⅴ 比 | | 1 | 1.95 | 2.76 | 3.25 | 5.19 | 1.35 | |
| 22 泰阜 | 天龍川沿岸 | 22.7 | 60.9 | 82.1 | 88.5 | 111.6 | | 110.1（6月28日） |
| 23 飯田 | 長野縣飯田市測候所 | 12.9 | 35.3 | 59.4 | 68.8 | 86.3 | | 62.8（〃） |
| 〃 | 〃 | 11.6 | 30.5 | 41.6 | 62.9 | 97.3 | | 83.5（7月3日） |
| 24 松本 | 桐町，測候所 | 11.2 | 30.1 | 37.7 | 42.9 | 53.1 | | 37.8（6月28日） |
| Ⅵ 比 | | 1 | 2.68 | 3.78 | 4.50 | 5.97 | 1.18 | |
| 25 小淵澤 | 山梨縣釜無川沿岸 | 9.0 | 27.2 | 44.4 | 60.7 | 79.7 | | 56.5（6月29日） |
| 〃 | 〃 | 8.4 | 25.7 | 34.3 | 38.9 | 53.1 | | 35.8（7月2日） |
| 26 三富 | 山梨縣笛吹川沿岸 | 13.0 | 37.5 | 52.4 | 75.1 | 102.4 | | 72.1（6月28日） |
| 27 市川大門 | 富士川改修事務所 | 13.0 | 41.1 | 65.6 | 85.6 | 131.2 | | 96.4（〃） |
| 28 鰍合 | 山梨縣富士川沿岸 | 25.0 | 69.7 | 99.3 | 111.3 | 169.6 | | 131.3（7月2日） |
| Ⅶ 比 | | 1 | 2.94 | 4.33 | 5.42 | 7.85 | 1.37 | |
| 29 沼津 | 本町，測候所 | 42.0 | 142.3 | 238.8 | 304.0 | 371.9 | | 363.5（6月29日） |
| 〃 | 〃 | 35.7 | 81.1 | 133.7 | 141.3 | 190.2 | | 142.3（7月1日） |
| 30 三島 | 三島，氣象臺支臺 | 28.5 | 68.8 | 124.3 | 131.5 | 192.2 | | 132.8（〃） |
| 31 箱根 | 三島町海平，測候所 | 29.7 | 91.5 | 153.7 | 189.9 | 257.3 | 318.5 | 234.8（6月29日） |
| 〃 | 〃 | 32.4 | 76.0 | 115.0 | 128.0 | 244.1 | 415.7 | 193.7（7月1日） |
| 32 湯ヶ島 | 靜岡縣湯ヶ島 | 42.2 | 147.4 | 245.5 | 317.5 | 447.3 | 527.0 | 412.4（6月29日） |
| 〃 | 〃 | 12.6 | 33.4 | 57.1 | 73.9 | 121.3 | | 105.3（7月2日） |
| 伊東 | 靜岡縣伊東町 | 28.3 | 96.4 | 160.1 | 214.5 | 354.7 | | 315.8（6月29日） |
| 〃 | 〃 | 20.3 | 47.8 | 64.8 | 67.6 | 90.3 | | 67.7（7月1日） |
| 羽田 | 羽田海岸 | 23.8 | 79.6 | 141.4 | 198.0 | 284.2 | 396.7 | 227.5（6月29日） |
| 品川 | 品川町氣象臺信號所 | 23.1 | 62.3 | 99.0 | 122.4 | 189.4 | 286.8 | 187.6（〃） |
| 大手町 | 中央氣象臺 | 23.8 | 79.6 | 141.4 | 198.0 | 284.2 | 396.3 | 278.3（〃） |
| Ⅷ 比 | （沼津～伊東6月分） | 1 | 3.35 | 5.60 | 7.21 | 10.01 | 1.08 | |
| Ⅷ' 比 | （沼津～伊東7月分） | 1 | 2.37 | 3.82 | 4.18 | 6.46 | 1.30 | |
| Ⅸ 比 | （羽田～東京大手町） | 1 | 3.13 | 5.40 | 7.33 | 10.71 | 1.09 | |
| 橫濱 | 橫濱市，測候所 | 26.6 | 84.0 | 133.8 | 189.5 | 283.0 | | 228.1（6月29日） |
| 〃 | 〃 | 22.8 | 49.0 | 80.3 | 87.9 | 116.8 | | 102.4（7月2日） |

表—2（つゞき）

| 觀測所 | 位置 | 最大時間雨量 1時間 | 4時間 | 8時間 | 12時間 | 24時間 | 24時間雨量と日雨量との比 | 最大日雨量及起日 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 御殿場 | | 12.7 | 42.0 | 59.3 | 64.3 | 91.6 | | 62.8（7月2日） |
| 船津 | 富士山麓，河口湖畔 | 19.6 | 55.0 | 75.4 | 106.8 | 155.5 | | 127.0（6月29日） |
| 落合 | 山梨縣，多摩川上流 | 12.1 | 36.1 | 50.5 | 75.5 | 117.3 | | 113.9（〃） |
| 拾原 | 多摩川支，秋川上流 | 13.2 | 35.0 | 69.0 | 100.4 | 134.2 | | 134.2（〃） |
| 羽村 | 多摩川沿岸 | 21.2 | 48.0 | 90.0 | 134.1 | 201.3 | | 165.5（〃） |
| 〃 | 〃 | 23.8 | 65.0 | 88.6 | 94.2 | 108.5 | | 102.7（7月1日） |
| 山口 | 埼玉縣，東京市水道 | 14.5 | 50.5 | 92.4 | 131.6 | 196.0 | | 169.7（6月29日） |
| 名栗 | 埼玉縣入間郡 | 11.5 | 33.8 | 66.0 | 96.6 | 149.0 | | 138.0（〃） |
| 古谷 | 埼玉縣內荒川改修事務所 | 15.6 | 47.2 | 88.2 | 132.0 | 207.6 | | 184.5（〃） |
| 熊谷 | 測候所 | 10.2 | 32.1 | 60.5 | 82.1 | 133.8 | | 130.0（〃） |
| 野上 | 埼玉縣秩父郡 | 11.3 | 34.4 | 57.2 | 85.6 | 125.2 | | 121.5（〃） |
| 秩父 | 荒川上流 | 10.9 | 28.1 | 55.3 | 82.3 | 126.8 | | 109.0（〃） |
| 三峯 | 〃 | 10.2 | 30.5 | 46.1 | 76.2 | 114.8 | | 101.8（〃） |
| 小鹿野 | 〃 | 11.9 | 34.0 | 50.4 | 78.2 | 114.0 | | 102.9（〃） |
| X比 | | 1 | 2.87 | 4.95 | 7.29 | 10.92 | 1.05 | |
| 萬場 | 群馬縣多野郡萬場 | 12.4 | 36.1 | 51.0 | 59.6 | 86.9 | | 85.5（6月29日） |
| 下仁田 | 〃 北甘樂郡下仁田 | 9.0 | 26.2 | 31.2 | 34.5 | 44.2 | | 40.1（7月2日） |
| 白井 | 〃 碓氷郡 | 10.0 | 31.4 | 47.3 | 57.4 | 82.0 | | 61.5（6月29日） |
| 三ノ倉 | 〃 群馬郡倉田村 | 12.7 | 36.8 | 57.1 | 63.0 | 86.4 | | 59.0（〃） |
| 追分 | 長野縣北佐久郡西長倉 | 15.0 | 41.5 | 55.2 | 64.3 | 78.8 | | 51.3（6月28日） |
| 新町 | 群馬縣新町內務省烏神流改修事務所 | 22.4 | 29.9 | 46.1 | 66.5 | 98.8 | | 83.9（6月29日） |
| XI比 | | 1 | 2.48 | 3.53 | 4.24 | 5.85 | 1.25 | |
| 前橋 | 岩神町，測候所 | 9.8 | 29.8 | 40.1 | 54.8 | 79.8 | | 73.0（6月29日） |
| 中之條 | 群馬縣吾妻郡 | 12.0 | 36.6 | 49.1 | 55.4 | 67.2 | | 45.1（〃） |
| 草津 | 〃 〃 | 11.2 | 28.5 | 43.6 | 48.6 | 56.0 | | 31.2（6月28日） |
| 湯原 | 群馬縣吾妻郡水上村 | 7.6 | 28.6 | 49.7 | 53.7 | 57.8 | | 43.6（6月29日） |
| 藤原 | 同上，實川森林治水試驗地 | 10.7 | 29.8 | 45.8 | 47.3 | 51.8 | | 40.4（〃） |
| 片品 | 群馬縣利根郡片品 | 8.1 | 27.1 | 41.0 | 45.5 | 58.2 | | 49.6（〃） |
| XII比 | | 1 | 3.04 | 4.53 | 5.14 | 6.25 | 1.31 | |
| 黑部 | 栃木縣鹽谷郡栗山村 | 15.8 | 43.0 | 58.3 | 70.2 | 112.8 | | 98.4（6月29日） |
| 湯西川 | 〃 〃 〃 | 11.5 | 32.6 | 47.4 | 52.4 | 78.5 | | 57.1（〃） |
| 三依 | 〃 〃 三依村 | 12.0 | 40.5 | 51.1 | 54.8 | 89.0 | | 76.6（〃） |
| 日光 | 內務省稻荷川工場 | 15.8 | 44.0 | 65.2 | 82.4 | 129.3 | | 113.8（〃） |
| XIII比 | | 1 | 2.91 | 4.03 | 4.71 | 7.43 | 1.18 | |
| 宇都宮 | 塙田町，測候所 | 29.2 | 65.7 | 94.1 | 129.3 | 215.5 | | 205.6（6月29日） |
| 祖母井 | 栃木縣芳賀郡 | 32.8 | 61.0 | 108.4 | 145.4 | 239.2 | 342.9 | 232.7（6月28日） |
| 栗橋 | 埼玉縣北葛飾郡 | 11.3 | 38.1 | 68.3 | 99.5 | 172.6 | | 162.3（6月29日） |
| 富崎 | 千葉縣安房郡，測候所 | 37.9 | 74.4 | 102.0 | 115.9 | 153.9 | | 116.2（6月28日） |
| 佐原 | 內務省佐原工場 | 21.0 | 71.9 | 108.1 | 157.0 | 208.9 | 282.4 | 130.4（6月29日） |
| * 〃 | 〃 | 15.7 | 42.0 | 81.2 | 89.1 | 114.1 | | 90.4（7月2日） |

表—2（つゞき）

| 觀測所 | 位置 | 最大時間雨量 1時間 | 4時間 | 8時間 | 12時間 | 24時間 | 24時間雨量と日雨量との比 | 最大日雨量 次起日 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 館野 | 茨城縣小野川氣象臺 | 27.8 | 82.4 | 138.0 | 173.4 | 278.5 | 415.3 | 426.2（6月29日） |
| * 〃 | 〃 | 13.6 | 39.7 | 53.5 | 70.0 | 82.9 | | 82.9（7月2日） |
| XIV 比 | | 1 | 2.46 | 3.87 | 5.13 | 7.92 | 1.16 | |
| * 氷戸 | | 23.0 | 71.5 | 124.2 | 161.9 | 251.8＋α(欠測) | | 314.2（6月29日） |
| 十日町 | 新潟縣十日町森林治水試驗地 | 15.6 | 35.4 | 42.0 | 43.0 | 43.6 | | 39.0（6月28日） |
| 白河 | 福島縣，白河町森林測候所 | 14.4 | 52.3 | 76.8 | 95.4 | 145.8 | | 145.8（6月29日） |
| 田島 | 福島縣，田島林林測候所 | 9.5 | 28.9 | 38.4 | 40.8 | 53.2 | | 53.2（6月30日） |
| XV 比 | | 1 | 2.95 | 3.98 | 4.54 | 6.15 | 1.02 | |
| 京都 | 中京區西京中合町，測候所 | 20.9 | 53.0 | 82.2 | 114.0 | 160.4 | | 154.4（8月1日） |
| 彦根 | 測候所 | 12.3 | 16.8 | 24.1 | 28.6 | 52.7 | | 41.4（〃） |
| 奈照 | 伊吹山麓 | 12.2 | 23.6 | 37.0 | 56.9 | 98.2 | | 77.3（〃） |
| 名古屋 | 氣象臺支臺 | 12.9 | 15.3 | 24.8 | 30.2 | 47.2 | | 39.4（8月2日） |
| XVI 比 | | 1 | 1.81 | 2.88 | 3.94 | 6.15 | 1.15 | |
| 龜山 | 測候所 | 25.4 | 79.1 | 149.7 | 205.0 | 344.5 | | 317.9（8月1日） |
| 津 | 〃 | 31.7 | 57.7 | 105.0 | 146.9 | 230.5 | | 210.1（〃） |
| 尾鷲 | 三重縣尾鷲町測候所 | 67.5 | 103.8 | 113.9 | 120.1 | 168.8 | | 142.1（7月28日） |
| 〃 | 〃 | 41.1 | 155.7 | 273.3 | 367.2 | 605.1 | | 592.3（8月1日） |
| 潮岬 | 和歌山縣潮岬村 | 35.5 | 80.9 | 145.7 | 175.6 | 285.3 | | 201.2（〃） |
| XVII 比 | | 1 | 2.79 | 5.04 | 6.70 | 10.97 | 1.11 | |
| 高知 | 追手筋町，測候所 | 26.8 | 84.0 | 136.8 | 194.3 | 252.7 | | 166.1（7月31日） |
| 室戸 | 室戸岬町荒畑，測候所 | 28.8 | 66.7 | 78.3 | 105.1 | 157.2 | | 90.8（〃） |
| 本山 | 高知縣本山森林治水試驗地 | 34.6 | 88.3 | 148.0 | 195.2 | 255.6 | | 152.2（〃） |
| 中村 | 中村町，縣支廳 | 37.6 | 75.0 | 103.1 | 161.0 | 214.3 | 275.6 | 210.7（〃） |
| XVIII 比 | | 1 | 2.46 | 3.65 | 5.13 | 6.89 | 1.42 | |
| 小淵澤 | 山梨縣，釜無川沿岸 | 8.5 | 28.2 | 53.6 | 76.2 | 107.4 | | 98.3（8月2日） |
| 市川大門 | 〃 富士川改修事務所 | 14.0 | 42.5 | 81.9 | 112.8 | 147.8 | | 146.0（〃） |
| XIX 比 | | 1 | 3.15 | 6.03 | 8.40 | 11.33 | 1.04 | |
| 銚布 | | 10.6 | 39.6 | 64.7 | 89.9 | 125.0 | | 121.8（8月31日） |
| 船津 | | 18.8 | 47.5 | 85.0 | 96.4 | 165.4 | | 139.5（〃） |
| 落合 | | 26.1 | 93.4 | 138.1 | 173.1 | 218.5 | | 204.3（〃） |
| 横濱 | | 34.5 | 60.3 | 82.6 | 95.1 | 99.3 | | 96.8（〃） |
| 芽ヶ崎 | 芽ヶ崎町南湖院 | 42.5 | 84.1 | 113.0 | 136.2 | 149.4 | | 145.7（〃） |
| XX 比 | | 1 | 2.45 | 3.65 | 4.46 | 5.72 | 1.07 | |
| 羽村 | | 41.3 | 129.4 | 164.5 | 174.9 | 289.6 | | 252.3（8月31日） |
| 山口 | | 21.7 | 45.6 | 50.1 | 60.8 | 112.5 | | 81.7（〃） |
| 名栗 | | 34.6 | 109.3 | 177.7 | 234.1 | 326.9 | | 282.0（〃） |
| 古谷 | | 26.8 | 72.1 | 101.1 | 116.0 | 136.7 | | 110.7（〃） |
| 熊谷 | | 24.7 | 81.3 | 122.7 | 128.2 | 168.8 | | 163.5（〃） |

表—2（つゞき）

| 觀測所 | 位置 | 最大時間雨量 1時間 | 4時間 | 8時間 | 12時間 | 24時間 | 24時間雨量と日雨量との比 | 最大日雨量及起日 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| XII 比 | | 1 | 2.93 | 4.13 | 4.79 | 6.93 | 1.16 | |
| 野上 | | 41.4 | 126.7 | 181.4 | 191.1 | 271.7 | | 271.7（8月31日） |
| 秩父 | | 26.8 | 98.3 | 173.6 | 200.6 | 294.6 | 363.0 | 262.4（〃） |
| 三峯 | | 45.7 | 104.3 | 178.8 | 283.1 | 399.4 | | 392.4（〃） |
| 小鹿野 | | 35.6 | 95.6 | 140.5 | 167.0 | 290.0 | | 257.9（〃） |
| 萬場 | | 60.0 | 166.0 | 216.2 | 265.1 | 353.8 | | 345.2（〃） |
| XIII 比 | | 1 | 2.83 | 4.30 | 5.28 | 7.69 | 1.05 | |
| 下仁田 | | 19.5 | 58.2 | 77.7 | 106.4 | 153.3 | | 149.7（8月31日） |
| 白井 | | 14.0 | 41.9 | 52.8 | 66.0 | 91.8 | | 91.4（〃） |
| 三ノ倉 | | 11.2 | 36.6 | 48.4 | 60.3 | 74.2 | | 71.6（〃） |
| 新町 | | 26.0 | 72.8 | 94.9 | 97.2 | 127.2 | | 125.2（〃） |
| XXIII 比 | | 1 | 2.96 | 3.87 | 4.66 | 6.31 | 1.02 | |
| 前橋 | | 17.0 | 47.0 | 61.8 | 66.6 | 79.1 | | 76.2（8月31日） |
| 草津 | | 2.7 | 7.2 | 9.4 | 12.2 | 15.4 | | 13.0（〃） |
| 湯原 | | 5.7 | 18.8 | 24.4 | 25.9 | 33.0 | | 31.5（〃） |
| 藤原 | | 6.6 | 22.9 | 30.2 | 36.3 | 47.6 | | 43.4（〃） |
| 片品 | | 13.9 | 47.6 | 65.6 | 72.4 | 101.8 | | 99.0（〃） |
| XXIV 比 | | 1 | 3.13 | 4.17 | 4.65 | 6.04 | 1.05 | |
| 黒部 | | 45.2 | 155.0 | 222.8 | 251.7 | 328.2 | | 315.7（8月31日） |
| 湯西川 | | 37.1 | 116.7 | 187.3 | 205.4 | 281.1 | | 197.5（9月1日） |
| 三依 | | 42.0 | 129.8 | 180.7 | 204.2 | 267.8 | | 267.8（8月31日） |
| 日光 | | 37.4 | 142.7 | 247.3 | 276.2 | 345.7 | | 345.7（〃） |
| XXV 比 | | 1 | 3.37 | 5.18 | 5.80 | 7.55 | 1.10 | |
| 祖母井 | 茨城縣内務省鬼怒川改良事務所 | 25.2 | 70.6 | 110.5 | 118.8 | 135.6 | | 135.6（8月31日） |
| 川島 | | 30.0 | 86.2 | 123.7 | 130.8 | 140.0 | | 140.0（〃） |
| 栗橋 | | 28.2 | 87.5 | 126.8 | 132.6 | 147.5 | | 147.5（〃） |
| 富崎 | | 34.9 | 97.5 | 129.7 | 151.2 | 168.5 | | 155.7（〃） |
| 佐原 | | 17.6 | 48.0 | 69.8 | 73.2 | 76.0 | | 73.2（〃） |
| 館野 | | 24.7 | 77.7 | 126.4 | 129.4 | 139.9 | | 139.6（〃） |
| 水戸 | | 16.1 | 47.7 | 73.2 | 82.2 | 87.9 | | 85.7（〃） |
| XXVI 比 | | 1 | 2.92 | 4.30 | 4.63 | 5.07 | 1.02 | |
| 十日町 | | 25.0 | 41.1 | 44.6 | 49.0 | 57.0 | | 41.4（9月1日） |
| 白河 | | 29.2 | 60.9 | 93.4 | 118.3 | 160.5 | | 108.3（〃） |
| XXVII 比 | | 1 | 1.88 | 2.55 | 3.09 | 4.00 | 1.45 | |

＊印は「比」欄の數値計算に算入せざるものを示す

# 横開き門扉を時間のある函數にて開く時の水槽內水位の上昇に就て

佐　藤　清　一

## 要　旨

本論文は横開き門扉に幅を $f(t)$ とした場合の水槽內水位 $h$ と時間 $t$ との關係を求めたものである.

## 目　次

I. 緒　言……(1)
II. 門扉を時間的に一樣なる速度で横開きにする場合……(1)
III. 門扉を時間的に一樣なる角速度で廻轉して開く場合……(5)

## I. 緒　言

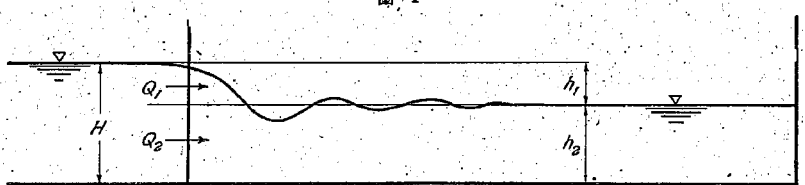
本論文は例へば貯水池の如き水槽に横開型（例へば mitre gate の如き）の門扉を t の函數にて開く場合の水槽內の水位と時間 $t$ との關係を求めたもので

（1）導水路水位は變化せぬもの
（2）水槽の面積は相當大にして門扉の開放による水槽面積の變化は小なるもの
（3）流出係數は水位竝びに開口幅に對して一定なるもの
（4）水位の變化に依りて水槽面積は變化せぬもの
（5）接近流速は無視し得るもの

との條件の下に水位の變化狀態を求めたものである.

## II. 門扉を時間的に一樣なる速度で横開きにする場合

圖—1




門扉の間を通りて流入する水量を單位時間に就て圖—1 の如く $Q_1$ 及び $Q_2$ に分けて考へる. 然る時 $dt$ 時間の流量は

$$(Q_1+Q_2)\,dt$$

にして, 之は水槽內に蓄はへられた水量 $(A\cdot dh_2)$ に等しくなければならい. 即ち

$$(Q_1+Q_2)\,dt=A\cdot dh_2 \qquad (1)$$

$Q_1$ に對する流出係數を $C_1$, $Q_2$ に對するそれを $C_2$ とせば, $Q_1$ $Q_2$ は夫々次の如くに表はしうる.

$Q_1$ の部を普通の溢流と考へて

$$Q_1 = \frac{2}{3}C_1\sqrt{2g}\cdot b\cdot h_1^{\frac{3}{2}}$$

$$= K_1\cdot b\cdot h_1^{\frac{3}{2}} \qquad (2)$$

但し $K_1=\frac{2}{3}C_1\sqrt{2g}$

$Q_2$ の部を潛孔と考へて

$$Q_2 = C_2\sqrt{2g}\cdot b\cdot h_2\cdot h_1^{\frac{1}{2}}$$

$$= C_2\sqrt{2g}\cdot b\cdot(H-h_1)\cdot h_1^{\frac{1}{2}}$$

$$= K_2\cdot b\cdot(H-h_1)h_1^{\frac{1}{2}} \qquad (3)$$

但し $K_2 = C_2\sqrt{2g}$

玆に $b$ は門扉の開放に依りて作られたる流入幅で

$$b = f(t) \qquad (4)$$

と考へる.

尙ほ $K_1$ 及び $K_2$ の中には side contraction の影響も入れて考へたるものとす.

圖—1 に依りて

$$dh_2 = d(H-h_1) = -dh_1$$

であるから (1) は

$$(Q_1+Q_2)\,dt = -dh_1 \qquad (5)$$

となる. 之に (2), (3) を代入すれば

$$\left[K_1 h_1^{\frac{3}{2}}+K_2(H-h_1)h_1^{\frac{1}{2}}\right]\cdot b\cdot dt = -A\cdot dh_1$$

或は (4) に依りて

$$f(t)\cdot dt = -\frac{A\cdot dh_1}{K_2 H\cdot h_1^{\frac{1}{2}}-(K_2-K_1)h_1^{\frac{3}{2}}}$$

となる. そこで

$$h_1^{\frac{1}{2}} = x \qquad dh_1 = 2x\cdot dx$$

とおいて積分すれば

$$\frac{K_2-K_1}{2A}\cdot\varphi(t)=-\frac{1}{B}\cdot tanh^{-1}\left(\frac{x}{B}\right)+C \qquad (6)$$

を得る.

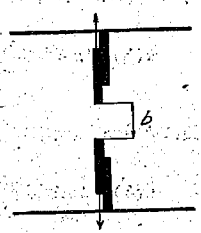
$$\left.\begin{aligned} &\text{茲に}\ \varphi(t)=\int f(t)\cdot dt \\ &B=\alpha\cdot H^{\frac{1}{2}} \\ &\alpha=\left(\frac{K_2}{K_2-K_1}\right)^{\frac{1}{2}} \\ &x=h_1^{\frac{1}{2}} \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

である.

門扉が一様なる速度で横開きになる場合は（圖—2 を参照）(4)式は

$$b=f(t)=kt \qquad (8)$$

圖—2




であるから（6）式に於ける $\varphi(t)$ は

$$\varphi(t)=\frac{k}{2}t^2 \qquad (9)$$

となるを以て（6）式は

$$\frac{k(K_2-K_1)}{4A}\cdot t^2=-\frac{1}{B}tanh^{-1}\left(\frac{x}{B}\right)+C \qquad (10)$$

となる.

$t=0$ の時に $h_1=h_0$ 從つて $x=x_0$ とすれば

$$C=\frac{1}{B}tanh^{-1}\left(\frac{x_0}{B}\right)$$

を得，從つて (10) は

$$\frac{k(K_2-K_1)}{4A}\cdot t^2=\frac{1}{B}\left[tanh^{-1}\left(\frac{x_0}{B}\right)-tanh^{-1}\left(\frac{x}{B}\right)\right]$$

$$=\frac{1}{B}\cdot tanh^{-1}\left(\frac{Bx_0-Bx}{B^2-x^2}\right)^*$$

---

* $tanh^{-1}\left(\frac{x_0}{B}\right)-tanh^{-1}\left(\frac{x}{B}\right)=\frac{1}{2}log\frac{1+\frac{x_0}{B}}{1-\frac{x_0}{B}}-\frac{1}{2}log\frac{1+\frac{x}{B}}{1-\frac{x}{B}}$

$$=\frac{1}{2}log\frac{(B+x_0)(B-x)}{(B-x_0)(B+x)}$$

$$=\frac{1}{2}log\frac{1+\frac{Bx_0-Bx}{B^2-x^2}}{1-\frac{Bx_0-Bx}{B^2-x^2}}$$

$$=tanh^{-1}\left(\frac{Bx_0-Bx}{B^2-x^2}\right)$$

$$\therefore\quad t=\frac{4A}{Bk\,(K_2-K_1)}\cdot tanh^{-1}\left(\frac{Bx_0-Bx}{B^2-x^2}\right)$$

或は

$$t=\gamma_1\cdot\varPhi(h_1)^{\frac{1}{2}} \tag{12}$$

玆に

$$\left.\begin{aligned}\gamma_1&=\left[\frac{4A}{Bk(K_2-K_1)}\right]^{\frac{1}{2}}\\ \varPhi(h_1)&=tanh^{-1}\left(\frac{Bx_0-Bx}{B^2-x^2}\right)\\ &=tanh^{-1}\frac{Bh_0^{\frac{1}{2}}-Bh_1^{\frac{1}{2}}}{B^2-h_1}\end{aligned}\right\} \tag{13}$$

$h_1=nh_0\,(n<1)$ とすれば

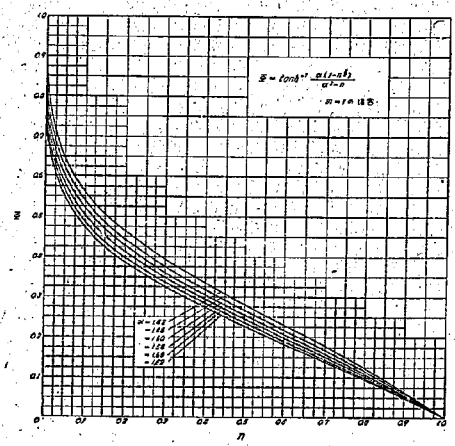
$$\varPhi(h_1)=tanh^{-1}\frac{Bh_0^{\frac{1}{2}}-Bn^{\frac{1}{2}}h_0^{\frac{1}{2}}}{B^2-h_0} \tag{14}$$

更に $h_0=mH$ $(m\leqq 1)$ とすれば $B=\alpha H^{\frac{1}{2}}$ であるから(14)は

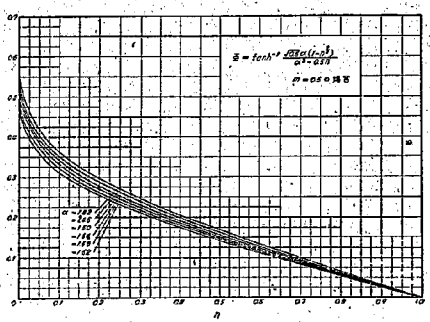
$$\varPhi(h_1)=tanh^{-1}\frac{\alpha m^{\frac{1}{2}}(1-n^{\frac{1}{2}})}{\alpha^2-mn} \tag{15}$$

$m=1$ 及び $m=0.5$ に對して $\varPhi(h_1)$ の曲線を作れば圖—3 (*a*) 及び (*b*) の如くである.

圖—3 (*a*)



圖—3 (*b*)

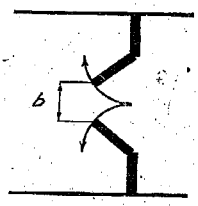


## III. 門扉を時間的に一樣なる角速度で廻轉して開く場合

之は丁度 mitre gate の如き場合で，之を開く時の角速度を一定とし，$\omega$ とすれば，

$$\theta=\omega t \tag{16}$$

圖—4




となり，門扉の長さを $l$ とすれば，

$$b=2l(1-\cos\omega t) \tag{17}$$

となる．之を $t$ について積分すれば

$$\varphi(t)=2l\left(t-\frac{\sin\omega t}{\omega}\right) \tag{18}$$

を得る．

扉の動きに依る水槽面積 $A$ の變化量を無視すれば，(18) を (6) に代入して

$$\frac{l(K_2-K_1)}{A}\left(t-\frac{\sin\omega t}{\omega}\right)=-\frac{1}{B}\tanh^{-1}\left(\frac{x}{B}\right)+C \tag{19}$$

を得る．

$t=0$ の時に $h_1=h_0$ 從つて $x=x_0$ とすれば，

$$C=\frac{1}{B}\tanh^{-1}\left(\frac{x_0}{B}\right)$$

となる，故に (19) は

$$\frac{l(K_2-K_1)}{A}\left(t-\frac{\sin\omega t}{\omega}\right)=\frac{1}{B}\tanh^{-1}\left(\frac{Bx_0-Bx}{B^2-x^2}\right)$$

或は

$$t-\frac{\sin\omega t}{\omega}=\gamma_2\cdot\Phi(h_1) \tag{20}$$

玆に

$$\left.\begin{aligned}
&\gamma_2=\frac{A}{Bl(K_2-K_1)}\\
&\Phi(h_1)=\tanh^{-1}\frac{B(h_0^{\frac{1}{2}}-h_1^{\frac{1}{2}})}{B^2-h_1}\\
&B=\alpha\cdot H^{\frac{1}{2}}\\
&\alpha=\left(\frac{K_2}{K_2-K_1}\right)^{\frac{1}{2}}\\
&K_1=\frac{2}{3}C_1\sqrt{2g}\\
&K_2=C_2\sqrt{2g}
\end{aligned}\right\} \tag{21}$$

# 河床の自然勾配に關する理論的研究

佐　藤　清　一

## 要　旨

流水が河床の自然勾配を形成する條件として

$$HI = k\frac{dv}{dx}$$

なる式を考へ，之によりて開水路の不等流の式を解きて河床の勾配 $i$ を求め，後之を實際の河川に就て確かめたものである．

## 目　次

I. 緒　論……（1）
II. 幅員一樣なる矩形開水路……（3）
［1］理論式の誘導……（3）
［2］理論曲線の性質……（7）
［3］實　例……（8）
III. 幅員が $e$ の exponential にて漸變する矩形開水路……（10）
IV. 幅員が $e$ の exponential にて漸變し自然斷面形を有する開水路……（14）
V. 結　論……（18）

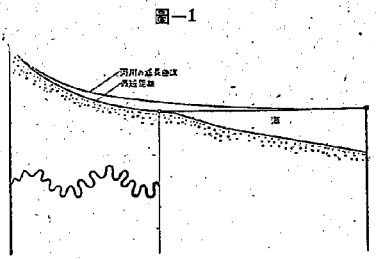
## I. 緒　論

河川の未だ手を着けざるものを仔細に觀察するにその河床の縱斷形が極めて美しい曲線をなして居る場合が少くない．

地形甚しく急峻なる山岳地に多く見うける如き幼年期にある河川は別として，幾年月かの永きに亙る營みに依りて旣に落着きを見せてゐる河川に於ては非常に美麗なる縱斷曲線をなしてゐるのである．

そしてその自然勾配をなさんが爲めに，その水源より海又はある河川までの最短距離よりも過長なる部分を紆りとしてその最短距離の中に收めてゐると考へられるのである（圖—1 參照）．

圖—1




此の自成自然勾配は其の勾配を支配する所の平均流量に依りて作られると考へ得る．以下之を平均支配流量と呼ぶ事とす．

ある自然河川に於て，此の平均支配流量が流れてゐる場合，河川延長上のある地點に $\Delta x$ なる小區間を考へる．此の小區間に於ては，その上流端の流速と下流端の流速とに差がある筈である．之は本質的に，河水が流れる時の抵抗に依つて生ずるものである．この抵抗あればこそ河川がある勾配をなすのである．從つてその小區間の兩端の流速の差が大であれば大である程その小區間に於ける抵抗が

大であると考へられる．即ち云ひ換へれば最も簡單なる場合としてその小區間に於ける抵抗はその上下兩端に於ける流速の差に比例すると云へる．そこでその $\Delta x$ なる區間の抵抗とそこに働く掃流力とは比例すると考へ，又速度差の代りに $\frac{dv}{dx}$ を考へれば，結局，ある地點の掃流力はその地點の速度勾配に比例すると云ふ事が考へられるのである：

從つて，Du Boys に從つて掃流力を $\gamma HI$ にて表はせば

$$HI = k\,\frac{dv}{dx} \qquad \cdots\cdots(1)$$

なる河床の自然勾配に對する條件式が得られるのである．

茲に $k$ は云ふ迄もなく負號を有するものである．

而して一般化して考へれば $k$ の値は河川の延長に從つて變化するもの即ち

$$k = f(x)$$

とも考へられるが，最も簡單に $k = \text{const.}$ なれば理想的である．

而して或る河川の落着の度合に從つて $k$ の値は異るであらうし又河そのものの大さに依りても異るであらう．（1）式より直ちに常識的にも知り得る如くこの $k$ の値は約 $-30$～$-50$ である事が想像される．後章に於て示すが，荒川の荒河川に就て之を調べてみるに $-50$ なる値を得たが，此の値のあたりが河川の落着きの限界ではないかと考へられる．之に關しては尙ほ續いて研究する積りである．今回はたゞ，後章に於て得られたるが如き式に依りて自然勾配を果して表はしうるや否やを實例に依りて確めた．換言すれば，（1）なる式が果して河床の自然勾配を表はすのに妥當なる條件式であつたかどうかを確かめるに留る事とした．

自然勾配の式を誘導するに先立つて，之に用ひられる記號を下に一覽しよう．

$i$ ＝河床の自然勾配
$I$ ＝水面勾配
$x$ ＝河川の延長距離
$z$ ＝河床高
$z_0$ ＝ $x = 0$ に於ける河床高
$H_0$ ＝ 〃 〃 水深
$B_0$ ＝ 〃 〃 水面幅
$v_0$ ＝ 〃 〃 流速
$Q_0$ ＝平均支配流量
$H$ ＝水深
$A$ ＝流積
$B$ ＝水面幅
$R$ ＝徑深
$v$ ＝一斷面全體に對する平均流速
$v_m$ ＝一斷面中，中央單位幅の平均流速
$\alpha$ ＝平均流速に對する補正係數
$\fallingdotseq 1.1$

$g$ ＝重力の加速度

次に章を追つて自然勾配式の誘導に移る事にする.

## II. 幅員一樣なる矩形開水路

### [1] 理論式の誘導

平均支配流量の流れてゐる自然河川を考へるに之は不等流の問題となる. 不等速定流の式は周知の如く

$$I = i - \frac{dH}{dx} = \alpha \frac{d}{dx}\left(\frac{v^2}{2g}\right) + \frac{v^2}{C^2 R^{2n}} \quad \cdots\cdots (2)$$

で, 之より $i$ を求めればよい.

(2)に(1)を代入すれば

$$\frac{k}{H}\frac{dv}{dx} = \frac{\alpha}{g} v \frac{dv}{dx} + \frac{v^2}{C^2 R^{2n}} \quad \cdots\cdots (3)$$

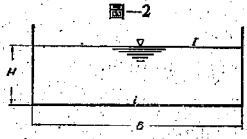
を得る.

河幅は一樣と考へるから

$$B = \text{const} = B_0$$

である(圖—2).

圖—2




之と連續の式

$$Q_0 = A \cdot v \quad \cdots\cdots (4)$$

とより

$$H = \frac{Q_0}{B_0 v} = \frac{q_0}{v} \quad \cdots\cdots (5)$$

但し $q_0 = \frac{Q_0}{B_0}$

を得る.

(5)を(3)に代入すれば

$$\frac{k}{q_0}\frac{dv}{dx} = \frac{\alpha}{g}\frac{dv}{dx} + \frac{v}{C^2 R^{2n}}$$

或は

$$\left(\frac{k}{q_0} - \frac{\alpha}{g}\right)\frac{dv}{dx} = \frac{v}{C^2 R^{2n}} \quad \cdots\cdots (6)$$

となる. 然るに斷面は矩形であるから

$$R = \frac{B_0 H}{B_0 + 2H} \quad \cdots\cdots (7)$$

更に(5)に依れば

$$R = \frac{B_0 q_0}{B_0 v + 2q_0} \quad \cdots\cdots (8)$$

である. 之を(6)に代入すれば

$$\left(\frac{k}{q_0} - \frac{\alpha}{g}\right)\frac{dv}{dx} = \frac{v(B_0 v + 2q_0)^{2n}}{C^2 B_0^{2n} q_0^{2n}}$$

或は

$$C^2 B_0^{2n} q_0^{2n-1}\left(kg-\alpha q_0\right)\frac{dv}{v\left(B_0v+2q_0\right)^{2n}}=g\cdot dx$$

或は

$$\frac{K_1\cdot dv}{v\left(B_0v+2q_0\right)^{2n}}=g\cdot ax$$

但し $K_1=C^2 B_0^{2n} q_0^{2n-1}(kg-\alpha q_0)$ ……(9)

玆に於て一般に $Bv>2q_0$ であるから $\left(\frac{2q_0}{Bv}\right)^2$ より以下の項を省略すれば

$$(B_0v+2q_0)^{-2n}\fallingdotseq(B_0v)^{-2n}-\frac{4nq_0B_0^{-2n}v^{-2n}}{B_0v}$$

とかけるから,

$$g\cdot dx=K_1B_0^{-2n}(v^{-2n-1}-4nq_0B_0^{-1}v^{-2n-2})\,dv$$

となる. 之を積分して

$$gx=-K_1B_0^{-2n}\left(\frac{v^{-2n}}{2n}-\frac{4nq_0}{(2n+1)B_0}v^{-2n-1}\right)+c$$

$x=0$ に於ては $v=v_0$ であるから

$$gx=K_1B_0^{-2n}\left[\frac{1}{2n}\left(v_0^{-2n}-v^{-2n}\right)-\frac{4nq_0}{(2n+1)B_0}\left(v_0^{-2n-1}-v^{-2n-1}\right)\right]\cdots(10)$$

を得る.

又 (8) の代りに

$$R=rH^{\beta}\quad\cdots\cdots(11)$$

として用ひれば

$$\frac{1}{R^{2n}}=\frac{v^{2n\beta}}{r^{2n}\cdot q_0^{2n\beta}}$$

であるから (6) 式は

$$\frac{(kg-\alpha q_0)}{g}\cdot\frac{dv}{dx}=\frac{v^{2n\beta+1}}{C^2\cdot r^{2n}\cdot q_0^{2n\beta-1}}$$

或は

$$K_2\cdot v^{-2n\beta-1}\cdot dv=g\cdot dx$$

但し $K_2=C^2\cdot r^{2n}\cdot q_0^{2n\beta-1}(kg-\alpha q_0)$……(12)

となるから, 之を積分して

$$-\frac{K_2}{2n\beta}v^{-2n\beta}=gx+c$$

$x=0$ にては $v=v_0$ であるから

$$v^{-2n\beta}=v_0^{-2n\beta}-\frac{2n\beta g}{K_2}x$$

$$\therefore\quad v=\left(v_0^{-2n\beta}-\frac{2n\beta g}{K_2}x\right)^{-\frac{1}{2n\beta}}\quad\cdots\cdots(13)$$

又 (5) 式より

$$H=q_0\cdot v^{-1}$$

$$=q_0\left(v_0^{-2n\beta}-\frac{2n\beta g}{K_2}x\right)^{\frac{1}{2n\beta}} \quad \cdots\cdots(14)$$

である.

次に (13) 式を $x$ に就て微分し

$$\frac{dv}{dx}=\frac{g}{K_2}\left(v_0^{-2n\beta}-\frac{2n\beta g}{K_2}x\right)^{-\frac{2n\beta+1}{2n\beta}} \quad \cdots\cdots(15)$$

又 (14) 式より

$$\frac{dH}{dx}=-\frac{gq_0}{K_2}\left(v_0^{-2n\beta}-\frac{2n\beta g}{K_2}x\right)^{\frac{1}{2n\beta}-1} \quad \cdots\cdots(16)$$

河床の勾配は (1) と (2) により

$$i=\frac{k}{H}\frac{dv}{dx}+\frac{dH}{dx}$$

$$=\frac{g}{K_2q_0}\left[\frac{k}{\left(v_0^{-2n\beta}-\frac{2n\beta g}{K_2}x\right)^{\frac{n\beta+1}{n\beta}}}-q_0^2\left(v_0^{-2n\beta}-\frac{2n\beta g}{K_2}x\right)^{\frac{1-2n\beta}{2n\beta}}\right]$$

$$\therefore\ i=\frac{g\left[k-q_0^2\left(v_0^{-2n\beta}-\frac{2n\beta g}{K_2}x\right)^{\frac{3}{2n\beta}}\right]}{K_2q_0\left(v_0^{-2n\beta}-\frac{2n\beta g}{K_2}x\right)^{\frac{n\beta+1}{n\beta}}} \quad \cdots\cdots(17)$$

を得る.

一般に河幅の相當大なる場合には

$$R\fallingdotseq H$$

として差支へない. 此の時には

$$r=1 \qquad \beta=1$$

となり (17) は

$$i=\frac{g\left[k-q_0^2\left(v_0^{-2n}-\frac{2ng}{K_2}x\right)^{\frac{3}{2n}}\right]}{K_2q_0\left(v_0^{-2n}-\frac{2ng}{K_2}x\right)^{\frac{n+1}{n}}} \quad \cdots\cdots(18)$$

となる.

考へる區間の小なる場合には $C$ の中の $R$ 及び $I$ の影響を neglect して一定と考へ $n=\frac{1}{2}$ とすれば,

$$i=\frac{g\left[k-q_0^2\left(v_0^{-1}-\frac{g}{K_2}x\right)^3\right]}{K_2q_0\left(v_0^{-1}-\frac{g}{K_2}x\right)^3} \quad \cdots\cdots(19)$$

である.

Manning の流速公式を考へる時は河床の勾配は

$$i=\frac{g\left[k-q_0^2\left(v_0^{-\frac{4}{3}}-\frac{4g}{3K_2}x\right)^{\frac{2}{3}}\right]}{K_2q_0\left(v_0^{-\frac{4}{3}}-\frac{4g}{3K_2}x\right)^{\frac{2}{3}}} \quad \cdots\cdots(20)$$

となる.

更に河床の縦断形を求めるには (19) 式又は (20) 式を積分すればよく，それには

$$i=-\frac{dz}{dx}$$

であるから $n=\frac{1}{2}$ の場合に就ては

$$\frac{dz}{dx}=-\frac{g\left[k-q_0^2\left(v_0^{-1}-\frac{g}{K_2}x\right)^3\right]}{K_2q_0\left(v_0^{-1}-\frac{g}{K_2}x\right)^3}$$

$$\therefore\ z=-\frac{k}{2q_0\left(\frac{1}{v_0}-\frac{g}{K_2}x\right)^2}+\frac{gq_0}{K_2}x+c$$

となる.

$x=0$ に於て $z=z_0$ であるから

$$z=z_0+\frac{kv_0^2}{2q_0}-\frac{k}{2q_0\left(\frac{1}{v_0}-\frac{g}{K_2}x\right)^2}+\frac{gq_0}{K_2}x \quad \cdots\cdots(21)$$

を得る.

而して此の時の水位は (14) 式により

$$H=q_0\left(\frac{1}{v_0}-\frac{g}{K_2}x\right) \quad \cdots\cdots(22)$$

によりて求めらる.

次に $n=\frac{2}{3}$ の場合に對しては

$$\frac{dz}{dx}=-\frac{g\left[k-q_0^2\left(v_0^{-\frac{4}{3}}-\frac{4g}{3K_2}x\right)^{\frac{2}{3}}\right]}{K_2q_0\left(v_0^{-\frac{4}{3}}-\frac{4g}{3K_2}x\right)^{\frac{2}{3}}}$$

であるから

$$z=-\left[\frac{k}{2q_0}\left(v_0^{-\frac{4}{3}}-\frac{4g}{3K_2}x\right)^{-\frac{2}{3}}+q_0\left(v_0^{-\frac{4}{3}}-\frac{4g}{3K_2}x\right)^{\frac{2}{3}}\right]+c$$

$x=0$ に於ては $z=z_0$ であるから

$$z=z_0+\left[\frac{kv_0^2}{2q_0}+\frac{q_0}{v_0}\right]-\left[\frac{k}{2q_0}\left(v_0^{-\frac{4}{3}}-\frac{4g}{3K_2}x\right)^{-\frac{2}{3}}+q_0\left(v_0^{-\frac{4}{3}}-\frac{4g}{3K_2}x\right)^{\frac{3}{2}}\right] \quad \cdots\cdots(23)$$

を得る.

而して此の場合の水位は

$$H=q_0\left(v_0^{-\frac{4}{3}}-\frac{4g}{3K_2}x\right)^{\frac{3}{4}} \quad \cdots\cdots(24)$$

に依りて求められる.

## [2] 理論曲線の性質

以上に依つて幅員一樣なる矩形開水路の底勾配が求められたのであるが, この中で最も一般性のある (23) 式に就て其の性質を具體的に例題に依つて調べてみよう.

先づ $k$ の增減は河床の勾配に如何なる影響を與へるものか, 之に就て調べてみよう.

今.

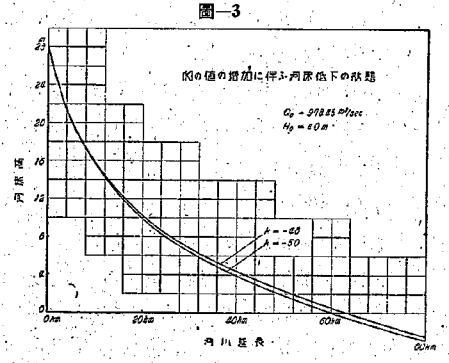
$$B_0 = 69.1\text{m}$$

$$Q_0 = 978.46\ \text{m}^3/\text{sec}$$

$$H_0 = 4.0\text{m}$$

なる河川があつたとする, 之に於て $k=-48$ と $k=-50$ とについて, (23) によつて河床の縱斷曲線を畫けば圖−3 の如くである. 之を見るに $x=0$ の近くでは二曲線は殆ど一致してゐるが聞も無く $k$ の絕對値の增すに從つて河床は低下の傾向を示してゐる. 而もこの低下の狀態は河床の延長について略一樣で $x=0$ 附近で二曲線の一致してゐるのは, 始 $Q_0=978.46\ \text{m}^3/\text{sec}$ $H_0=4.0\text{m}$ なる河川を考へた際, $Q_0$ と $H_0$ とを與へるといふ事は $B_0$ が與へられてゐるのであるから $I_0$ を與へた事に外ならぬからである, 因みに此の場合の $I_0$ は $\frac{1}{440}$ である. $k$ の絕對値が增せば河床の下る傾向のある事は, (1) 式に於て $(k)$ の增加といふ事は同一速度勾配に對してその箇處の掃流力の大なる事を示すといふ事に依りても考へられる事である.

圖−3




次に單位流量の影響を考へてみる.

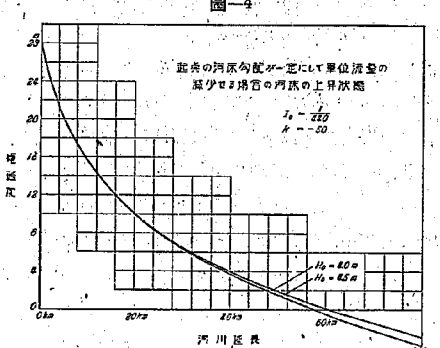
$$B_0 = 69.1\text{m}$$

$$I_0 = \frac{1}{440}$$

$$k = -50$$

なる河川に於て, $q_0$ 又は $Q_0$ が增減するといふ事は $H_0$ の增減を意味する. そこで $H_0=4.0\text{m}$ と $H_0=4.5\text{m}$ とについて河床の縱斷曲線を畫けば圖−4 の如くである. 之によつてみるに, 起點の勾配は與へられてゐるから暫くの間は曲線は殆ど一致してゐるが, $q_0$ の減少せる方は 20km のあたりより稍々直線的に河床の上つて來るのが分る. 之も常識的に考へられる事である.

圖−4




最後に同一 $H_0$, $k$ の値の場合に $Q_0$ の增減の影響を調べてみる.

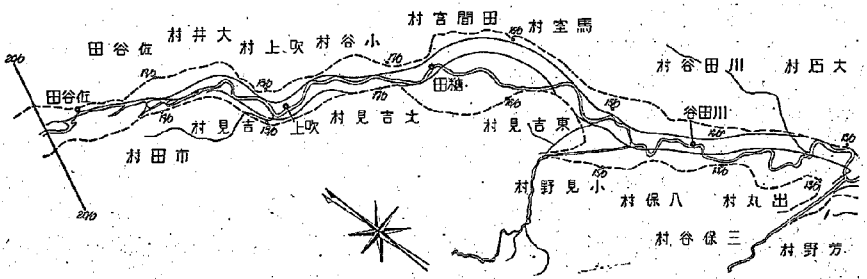
$$B_0 = 69.1\text{m}$$

$$H_0 = 3.5\ \text{m}$$

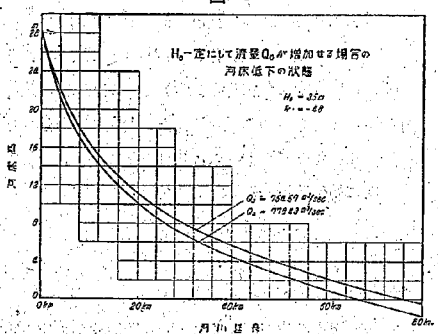
$$k = -48$$

なる河川に於て $Q_0=754.57\ \text{m}^3/\text{sec}$ 及び $Q_0=778.43\ \text{m}^3/\text{sec}$ の二種類について夫々の河床縱斷形を畫けば圖−5 の如くである.

圖—6




圖—5




之に依つてみるに二曲線は始めから互に離れ，後略々平行となる傾向がある．

之は，始めに $H_0$ と $B_0$ と與へて $Q_0$ を變へたといふ事は $I_0$ を變へたといふ事に外ならぬからである．

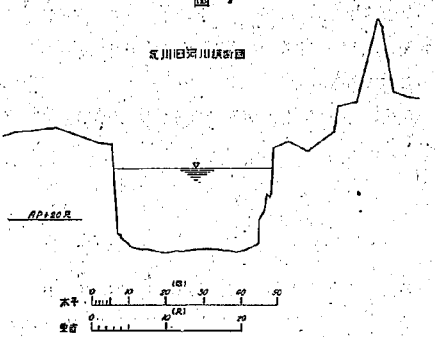
## [3] 實　例

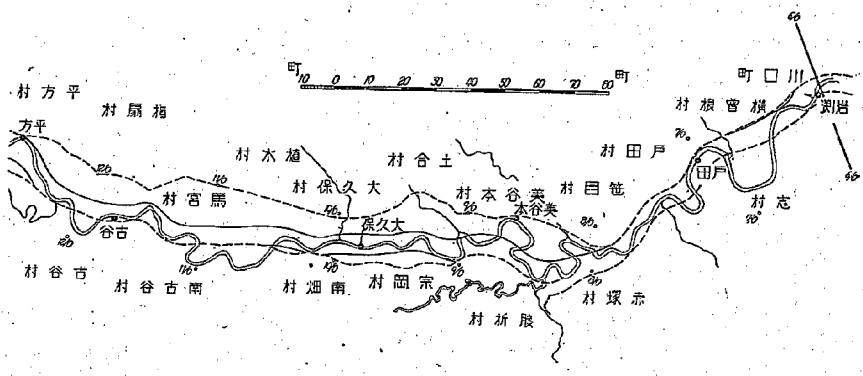
(23) 式に依つて表はされる自然河床曲線は以上の様な諸性質を有してゐるものであるが，之が果して實河川のそれを表はしうるや否やに就て荒川の舊河川について適用してみた．之に對してその河床縱斷形を最も忠實に表はしうる $k$ の値と平均支配流量とを求むれば次の通りである．

考へられたる實河川は圖—6 に見る如く上流は 20里/0町（熊谷）より下流は 6里/0町（岩淵）までに至る延長約 84km に亙る區間である．

而して採用せる河川中心線は，現在のごとくに short—cut 其の他に依つて改修せられたるものについては自然勾配を見る上には無意味であるから，未だ short-cut の行はれざる舊河川に就て調べてみたのである．從つて此の時の河幅は，此の廻りくねつた舊河川を支配して流れる所の流量の常に保持されてゐる河幅を取るべきで，結局舊の低水路の平均幅を取ることとした．その中間の一斷面を示せば圖—7 の如く，之等に依つて 20/0 にては $B_0$≒30間 6/0 にては $B$=42間 の平均 $B_0$=36間=69.1m

圖—7






を取つた.

又縱斷圖により適當なる起點の河床勾配として

$$I_0 = \frac{1}{480}$$

を採用した.

そこで $H_0 = 3.3\text{m}$ とすれば

$$A_0 = 228.03\text{m}^2$$

$$R_0 = \frac{228.03}{69.1+66} = 75.7\text{m}$$

$$v_0 = (31.62)(3.0123)^{\frac{2}{3}}(0.00208333)^{\frac{1}{2}} = 3.010\text{m/sec}$$

$$\therefore\ Q_0 = (30.1)(228.03) = 686.3703\ \text{m}^3/\text{sec}$$

$$q_0 = \frac{686.3703}{69.1} = 9.9330\ \text{m}^2/\text{sec}$$

$$\therefore\ K_2 = C^2 q_0^{\frac{1}{3}}(kg - \alpha q_0)$$

$$= 1000 \cdot 2.14961\,(9.8k - 9.933)$$

$$= 2149.61\,(9.8k - 9.933)$$

但し $\alpha \fallingdotseq 1$

又 $v_0^{-\frac{4}{3}} = 0.230097$　　$\frac{4g}{3K_2} = \frac{0.0060786}{9.8k-9.933}$　　$2q_0 = 19.966$

$$\therefore\ \frac{v_0^2}{2q_0} = 0.45606$$

又 $z_0 = 28.18\text{m}$ であるから (23) 式は

$$z = 31.48 + 0.45606\,k - \frac{k}{19.866}\left(0.23010 - \frac{0.0060786x}{9.8k-9.933}\right)^{-\frac{3}{2}} - 9.933\left(0.23010 - \frac{0.0060786x}{9.8k-9.933}\right)^{\frac{3}{2}}$$

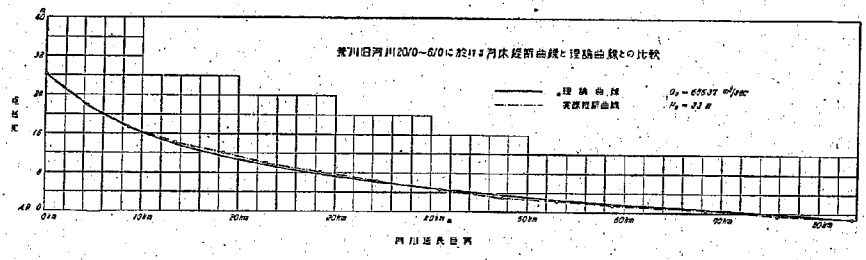
となる.

玆で $k=-50$ としてみれば

$$z=8.677+2.51686\,(0.23010+0.000012159x)^{\frac{3}{2}}-9.933\,(0.23010+0.000012159x)^{\frac{2}{3}}$$

となり，之に依りて理論曲線を畫きて實際のものと比較すれば圖—8 の如くで，極めて良く兩者一致し，荒川の舊河川にては $k=-50$ 及び平均支配流量は $Q_0=686.37\ \mathrm{m^3/sec}$ が適當である事が分ると共に，(23) なる曲線が實河床を表はしうる事の可能性も認明されるのである．

圖—8




## III. 幅員が e の exponential にて漸變する矩形開水路

開水路の幅員が e の exponential にて漸變してゐるものとし

$$B=B_0e^{ax} \qquad \cdots\cdots(25)$$

とす．

連續の條件から

$$H=\frac{Q_0}{Bv} \qquad \cdots\cdots(26)$$

であるから運動の方程式（3）は

$$\left(\frac{kB}{Q_0}-\frac{\alpha}{g}\right)\frac{dv}{dx}=\frac{V}{C^2R^{2n}} \qquad \cdots\cdots(27)$$

となる．そこで前章と同樣に

$$R=rH^{\beta}$$

とおけば

$$\frac{1}{R^{2n}}=\frac{B^{2n\beta}\cdot v^{2n\beta}}{r^{2n}\cdot Q_0^{2n\beta}}$$

とあるから (27) は

$$\frac{C^2r^{2n}\cdot Q_0^{2n\beta-1}}{g}v^{-2n\beta-1}\cdot dv=\frac{B^{2n\beta}}{kgB-\alpha Q_0}dx \qquad \cdots\cdots(28)$$

となる．

玆に於て一般に

$$|kgB|>|\alpha Q_0|$$

であるから * $\left(\frac{\alpha Q_0}{kgB}\right)^3$ 以下の項を省略すれば

$$B^{2n\beta}(kgB-\alpha Q_0)^{-1} \fallingdotseq \frac{B^{2n\beta-1}}{kg}\left[1+\frac{\alpha Q_0}{kgB}+\left(\frac{\alpha Q_0}{kgB}\right)^2\right]$$

とかける．從つて (28) は

$$(C^2\cdot i^{2n}\cdot {Q_0}^{2n\beta-1}\cdot k)\,v^{2n\beta-1}\cdot dv=\left[B^{2n\beta-1}+\frac{\alpha Q_0}{kg}B^{2n\beta-2}+\left(\frac{\alpha Q_0}{kg}\right)B^{2n\beta-3}\right]dx$$

となる．

更に又 (25) によりかき直せば

$$(C^2\cdot i^{2n}\cdot {Q_0}^{2n\beta-1}\cdot k)\,v^{-2n\beta-1}\cdot dv=\left[{B_0}^{2n\beta-1}\cdot e^{(2n\beta-1)\,ax}+\left(\frac{\alpha Q_0}{kg}\right){B_0}^{2n\beta-2}\cdot e^{(2n\beta-2)\,ax}+\left(\frac{\alpha Q_0}{kg}\right)^2{B_0}^{2n\beta-3}\cdot e^{(2n\beta-3)\,ax}\right]dx$$

積分して

$$-\frac{C^2\cdot i^{2n}\cdot {Q_0}^{2n\beta-1}\cdot k}{2n\beta}\,v^{-2n\beta}=\frac{{B_0}^{2n\beta-1}}{(2n\beta-1)\,a}\,e^{(2n\beta-1)\,ax}+\left(\frac{\alpha Q_0}{kg}\right)\frac{{B_0}^{2n\beta-2}}{(2n\beta-2)\,a}\,e^{(2n\beta-2)\,ax}+\left(\frac{\alpha Q_0}{kg}\right)^2\frac{{B_0}^{2n\beta-3}}{(2n\beta-3)\,a}\,e^{(2n\beta-3)\,ax}+c$$

を得る．玆で

$$K_3=\frac{C^2\cdot i^{2n}\cdot {Q_0}^{2n\beta-1}\cdot k}{2n\beta} \quad\cdots\cdots(29)$$

$$L_3=\frac{{B_0}^{2n\beta-1}}{(2n\beta-1)\,a} \quad\cdots\cdots(30)$$

$$M_3=\left(\frac{\alpha Q_0}{kg}\right)\frac{{B_0}^{2n\beta-2}}{(2n\beta-2)\,a} \quad\cdots\cdots(31)$$

$$N_3=\left(\frac{\alpha Q_0}{kg}\right)^2\frac{{B_0}^{2n\beta-3}}{(2n\beta-3)\,a} \quad\cdots\cdots(32)$$

とおけば

$$-K_3\cdot v^{-2n\beta}=L_3\cdot e^{(2n\beta-1)\,ax}+M_3\cdot e^{(2n\beta-2)ax}+N_3\cdot e^{(2n\beta-3)ax}+c$$

そこで $x=0$ に於ては $v=v_0$ であるから之によりて $c$ を定めれば

$$K_3v^{-2n\beta}=K_3{v_0}^{-2n\beta}+L_3-L_3\cdot e^{(2n\beta-1)ax}+M_3-M_3\cdot e^{(2n\beta-2)ax}+N_3-N_3\cdot e^{(2n\beta-3)ax}$$

$$\therefore\quad v=\left\{{v_0}^{-2n\beta}+\frac{L_3}{K_3}\left[1-e^{(2n\beta-1)ax}\right]+\frac{M_3}{K_3}\left[1-e^{(2n\beta-2)ax}\right]+\frac{N_3}{K_3}\left[1-e^{(2n\beta-3)ax}\right]\right\}^{-\frac{1}{2n\beta}} \quad\cdots\cdots(33)$$

---

* $|k| \fallingdotseq 50$　　$g \fallingdotseq 10$

$B \fallingdotseq 70$　　$\alpha \fallingdotseq 1$

$Q_0 \fallingdotseq 700$

とすれば

$$\left|\frac{\alpha Q_0}{kgB}\right| \fallingdotseq 0.02$$

を得る.

而して此の時の水位は (26) 式より

$$H=Q_0B^{-1}v^{-1}$$

$$=\frac{Q_0}{B_0}e^{-ax}\left\{v_0^{-2n\beta}+\frac{I_3}{K_3}\left[1-e^{(2n\beta-1)ax}\right]\right.$$

$$\left.+\frac{M_3}{K_3}\left[1-e^{(2n\beta-2)ax}\right]+\frac{N_3}{K_3}\left[1-e^{(2n\beta-3)ax}\right]\right\}^{\frac{1}{2n\beta}} \quad \cdots\cdots(34)$$

によりて求められる.

次に河床の勾配を求めんに, 先づ $\frac{dv}{dx}$ を作れば

$$\frac{dv}{dx}=\frac{1}{2n\beta}\left\{v_0^{-2n\beta}+\frac{I_3}{K_3}\left[1-e^{(2n\beta-1)ax}\right]+\frac{M_3}{K_3}\left[1-e^{(2n\beta-2)ax}\right]+\frac{N_3}{K_3}\left[1-e^{(2n\beta-3)ax}\right]\right\}^{-\frac{1}{2n\beta}-1}$$

$$\times\left\{\frac{I_3}{K_3}(2n\beta-1)a\cdot e^{(2n\beta-1)ax}+\frac{M_3}{K_3}(2n\beta-2)a\cdot e^{(2n\beta-2)ax}+\frac{N_3}{K_3}(2n\beta-3)a\cdot e^{(2n\beta-3)ax}\right\}$$

茲で

$$X_1=v_0^{-2n\beta}+\frac{I_3}{K_3}\left[1-e^{(2n\beta-1)ax}\right]+\frac{M_3}{K_3}\left[1-e^{(2n\beta-2)ax}\right]+\frac{N_3}{K_3}\left[1-e^{(2n\beta-3)ax}\right] \quad \cdots\cdots(35)$$

$$X_2=\frac{I_3}{K_3}(2n\beta-1)a\cdot e^{(2n\beta-1)ax}+\frac{M_3}{K_3}(2n\beta-2)a\cdot e^{(2n\beta-2)ax}+\frac{N_3}{K_3}(2n\beta-3)a\cdot e^{(2n\beta-3)ax} \quad \cdots\cdots(36)$$

とおけば

$$\frac{dv}{dx}=\frac{1}{2n\beta}X_1^{-\frac{2n\beta+1}{2n\beta}}\cdot X_2 \quad \cdots\cdots(37)$$

又

$$\frac{dH}{dx}=-\frac{Q_0a}{B_0}e^{-ax}\cdot X_1^{\frac{1}{2n\beta}}-\frac{Q_0}{2n\beta}e^{-ax}\cdot X_1^{\frac{1}{2n\beta}-1}\cdot X_2$$

$$=-q_0\cdot e^{-ax}\cdot X_1^{\frac{1}{2n\beta}}\left[\frac{1}{2n\beta}X_1^{-1}\cdot X_2+a\right] \quad \text{但し } q_0=\frac{Q_0}{B_0} \quad \cdots\cdots(38)$$

更に

$$\frac{1}{H}=\frac{e^{ax}}{q_0}X_1^{-\frac{1}{2n\beta}} \quad \cdots\cdots(39)$$

であるから之等 (37) (38) (39) によりて

$$i=\frac{k}{H}\frac{dv}{dx}+\frac{dH}{dx}$$

$$=\frac{k}{2n\beta q_0}e^{ax}\cdot X_1^{\frac{1}{2n\beta}-\frac{2n\beta+1}{2n\beta}}\cdot X_2-q_0e^{-ax}\cdot X_1^{\frac{1}{2n\beta}}\left[a+\frac{1}{2n\beta}\frac{X_2}{X_1}\right]$$

$$=\frac{k}{2n\beta q_0}e^{ax}\cdot X_1^{-\frac{n\beta+1}{n\beta}}\cdot X_2-q_0e^{-ax}\cdot X_1^{\frac{1}{2n\beta}-1}\left[aX_1+\frac{X_2}{2n\beta}\right]$$

$$=\frac{k}{2n\beta q_0}e^{ax}\cdot\frac{X_2}{X_1^{1+\frac{1}{n\beta}}}-q_0^2e^{-ax}\cdot\frac{X_1^{\frac{2}{2n\beta}}}{X_1^{1+\frac{1}{n\beta}}}\cdot\frac{X_2+2n\beta aX_1}{2n\beta q_0}$$

$$\therefore\quad i=\frac{ke^{ax}\cdot X_2-q_0^2e^{-ax}\cdot X_1^{\frac{2}{2n\beta}}(X_2+2n\beta aX_1)}{2n\beta q_0\cdot X_1^{1+\frac{1}{n\beta}}} \quad \cdots\cdots(40)$$

が得られる.

河幅の相當大なる時は $R \fallingdotseq H$ としてよいから $\beta = 1$ とすれば (40) は

$$i = \frac{ke^{ax} \cdot X_2 - q_0^2 \cdot e^{-ax} \cdot X_1^{-\frac{3}{2n}} (X_2 + 2naX_1)}{2nq_0 X_1^{1+\frac{2}{n}}} \quad \cdots\cdots(41)$$

となる.

又區間の小なる場合には $n = \frac{1}{2}$ として

$$i = \frac{ke^{ax} \cdot X_2 - q_0^2 \cdot e^{-ax} \cdot X_1^{-\frac{3}{\beta}} (X_2 + \beta aX_1)}{\beta q_0 X_1^{1+\frac{2}{\beta}}} \quad \cdots\cdots(42)$$

となる.

更に又一般に流速公式として Manning に依れば $n = \frac{2}{3}$ であるから

$$i = \frac{3ke^{ax} \cdot X_2 - q_0^2 e^{-ax} \cdot X_1^{-\frac{2}{4\beta}} (3X_2 + 4a\beta X_1)}{4\beta q_0 X_1^{1+\frac{2}{2\beta}}} \quad \cdots\cdots(43)$$

となる.

次に河床の縦斷曲線を求めんに

$$i = -\frac{dz}{dx}$$

であるから

$$-\frac{dz}{dx} = \frac{k}{H} \cdot \frac{dv}{dx} + \frac{dH}{dx}$$

である. 然るに

$$\frac{1}{H} \fallingdotseq \frac{Bv}{Q_0}$$

であるから上式は.

$$dz = -\frac{kBv}{Q_0} dv - dH$$

となる. 玆で $B$ は $x$ の函數であるからこのまゝでは積分が困難である. それで近似的に $B$ の代りに考へる河川延長區間に於ける平均の河幅 $B_m$ を以て代用すれば

$$z = -\frac{kB_m}{2Q_0} v^2 - H + c$$

を得る.

$x = 0$ に於ては $H = H_0$ $v = v_0$ であるから

$$z = z_0 + \frac{kB_m}{2Q_0}(v_0^2 - v^2) + (H_0 - H) \quad \cdots\cdots(44)$$

或は之に (33) (34) を代入して

$$z = z_0 + \frac{kB_m}{2Q_0}\left(v_0^2 - X_1^{-\frac{1}{n\beta}}\right) + H_0 - q_0 \cdot e^{-ax} X_1^{-\frac{1}{2n\beta}}$$

$$\therefore \quad z = z_0 + H_0 - q_0 e^{-ax} \cdot X_1^{-\frac{1}{2n\beta}} + \frac{kB_m}{2Q_0}\left(v_0^2 - X_1^{-\frac{1}{n\beta}}\right) \quad \cdots\cdots(45)$$

となり, 之に依つて近似的に河床の縦斷形は與へられる.

河幅大なる時は $R \fallingdotseq H$ にして $\beta = 1$

$$\therefore\ z = z_0 + H_0 - q_0 e^{-ax} \cdot X_1^{\frac{1}{2n}} + \frac{kB_m}{2Q_0}\left(v_0^2 - X_1^{-\frac{1}{n}}\right) \quad \cdots\cdots(46)$$

又區間の非常に小なる時は $n = \frac{1}{2}$ として

$$z = z_0 + H_0 - q_0 e^{-ax} \cdot X_1^{\frac{1}{\beta}} + \frac{kB_m}{2Q_0}\left(v_0^2 - X_1^{-\frac{2}{\beta}}\right) \quad \cdots\cdots(47)$$

一般に Manning 公式に依る時は $n = \frac{2}{3}$ であるから

$$z = z_0 + H_0 - q_0 e^{-ax} \cdot X_1^{\frac{3}{4\beta}} + \frac{kB_m}{2Q_0}\left(v_0^2 - X_1^{-\frac{3}{2\beta}}\right) \quad \cdots\cdots(48)$$

となる.

以上此の章に於て, $X_1$ $X_2$ はすべて (35) (36) によりて示されるものである.

## IV. 幅員が e の exponential にて漸變し自然斷面形を有する開水路

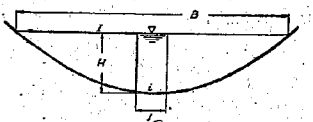
圖−9 に於て水面幅は $e$ の exponential にて變化するものとし

$$B = B_0 e^{ax}$$

とす.

又斷面は自然河川に多く見受ける如き抛物線形とす. 此の場合は河底面が一平面上に無いから中央の最深部のみに就いて調べれば充分である. それで此の斷面中, 中央部の單位幅を取りて考へ, 之を矩形と見做してその平均流速を $v_m$ とする. 然る時は不等流の式はこの $v_m$ について成立し

圖−9




$$I = i - \frac{dH}{dx} = \alpha \frac{d}{dx}\left(\frac{v_m^2}{2g}\right) + \frac{v_m^2}{C^2 R^{2n}} \quad \cdots\cdots(49)$$

である. 又自然勾配の條件式は

$$HI = k \frac{dv_m}{dx} \quad \cdots\cdots(50)$$

となる.

今 $v_m$ の, 斷面全體に就ての平均流速 $v$ に對する比を $\gamma$ とすれば

$$v_m = \gamma v \quad \cdots\cdots(51)$$

にして, $\gamma$ は constant と見做す. 又は平均をとればよい.

斷面を抛物線形とすれば

$$A = \frac{2}{3} BH$$

$$= \frac{2}{3} B_0 e^{ax} \cdot H$$

となる.

又連續の條件から

$$Q_0 = \frac{2}{3} B_0 e^{ax} \cdot Hv$$

であるから

$$H = \frac{3q_0}{2} e^{-ax} \cdot v^{-1} \qquad \text{但し} \quad q_0 = \frac{Q_0}{B_0} \cdots\cdots(52)$$

である.

單位幅に就て考へるので $R = H$ であり, (50), (51), (52) を夫々 (49) に代入すれば

$$\frac{2k}{3q_0} e^{ax} \cdot \frac{dv}{dx} = \frac{\alpha\gamma}{g} \cdot \frac{dv}{dx} + \frac{\gamma v}{C^2 H^{2n}}$$

或は

$$\frac{(3q_0)^{2n} \cdot C^2 (2kg \cdot e^{ax} - 3\alpha\gamma q_0)}{3gq_0} \cdot \frac{dv}{dx} = 2^{2n} \cdot \gamma \cdot e^{2nax} \cdot v^{2n+1}$$

或は $$\frac{(3q_0)^{2n} C^2}{3gq_0 \cdot 2^{2n}\gamma} v^{-2n-1} \cdot dv = (2kg \cdot e^{ax} - 3\alpha\gamma q_0)^{-1} e^{2nax} \cdot dx$$

玆に於て $\left(\frac{3\alpha\gamma q_0}{2kg\, e^{ax}}\right)^3$ 以上の微小項を省略すれば *

$$(2kge^{ax} - 3\alpha\gamma q_0)^{-1} e^{2nax} \fallingdotseq \frac{e^{2nax}}{2kg\, e^{ax}} \left[1 + \frac{3\alpha\gamma q_0}{2kg \cdot e^{ax}} + \left(\frac{3\alpha\gamma q_0}{2kg\, e^{ax}}\right)^2\right]$$

とかけるから

$$\frac{(1.5)^{2n-1} \cdot C^2 \cdot q_0^{2n-1} \cdot k}{\gamma} v^{-2n-1} \cdot dv = \left[e^{(2n-1)ax} + \left(\frac{3\alpha\gamma q_0}{2kg}\right) e^{(2n-2)ax} + \left(\frac{3\alpha\gamma q_0}{2kg}\right)^2 e^{(2n-3)ax}\right] dx$$

となり, 之を積分して

$$-\frac{C^2(1.5q_0)^{2n-1} \cdot k}{2n\gamma} v^{-2n} = \frac{1}{(2n-1)a} \cdot e^{(2n-1)ax} + \frac{1}{(2n-2)a}\left(\frac{3\alpha\gamma q_0}{2kg}\right) e^{(2n-2)ax} + \frac{1}{(2n-3)a}\left(\frac{3\alpha\gamma q_0}{2kg}\right)^2 e^{(2n-3)ax} + c$$

を得る. 玆で

$$K_4 = \frac{C^2(1.5q_0)^{2n-1} \cdot k}{2n\gamma} \cdots\cdots(53)$$

$$L_4 = \frac{1}{(2n-1)a} \cdots\cdots(54)$$

$$M_4 = \frac{1}{(2n-2)a}\left(\frac{3\alpha\gamma q_0}{2kg}\right) \cdots\cdots(55)$$

---

* 一般に

$$e^{ax} \fallingdotseq 1 \quad k \fallingdotseq -50 \quad g \fallingdotseq 10 \quad \alpha \fallingdotseq 1 \quad \gamma \fallingdotseq 1.2 \quad q_0 \fallingdotseq 2$$

であるから

$$\left(\frac{3\alpha\gamma q_0}{2kg\, e^{ax}}\right) \fallingdotseq 0.007$$

$$N_4=\frac{1}{(2n-3)a}\left(\frac{3\alpha\gamma q_0}{2kg}\right)^2 \quad\cdots\cdots(56)$$

とおけば

$$K_4v^{-2n}=-L_4e^{(2n-1)ax}-M_4e^{(2n-2)ax}-N_4e^{(2n-3)ax}+c \quad\cdots\cdots(57)$$

であつて，$x=0$ に於て $v=v_0$ であるから結局は (57) は

$$K_4v^{-2n}=K_4v_0^{-2n}+L_4\left[1-e^{(2n-1)ax}\right]+M_4\left[1-e^{(2n-2)ax}\right]+N_4\left[1-e^{(2n-3)ax}\right]$$

$$\therefore\quad v=\left\{v_0^{-2n}+\frac{L_4}{K_4}\left[1-e^{(2n-1)ax}\right]+\frac{M_4}{K_4}\left[1-e^{(2n-2)ax}\right]+\frac{N_4}{K_4}\left[1-e^{(2n-3)ax}\right]\right\}^{-\frac{1}{2n}} \quad\cdots\cdots(58)$$

を得る．

而して此の場合の水位は (52) によりて

$$H=\frac{2q_0}{3}e^{-ax}\left\{v_0^{-2n}+\frac{L_4}{K_4}\left[1-e^{(2n-1)ax}\right]+\frac{M_4}{K_4}\left[1-e^{(2n-2)ax}\right]+\frac{N_4}{K_4}\left[1-e^{(2n-3)ax}\right]\right\}^{\frac{1}{2n}} \quad\cdots\cdots(59)$$

により求められる：

次に河床の勾配を求めんに先づ $\frac{dv}{dx}$ を求めば

$$\frac{dv}{dx}=\frac{1}{2n}\left\{v_0^{-2n}+\frac{L_4}{K_4}\left[1-e^{(2n-1)ax}\right]+\frac{M_4}{K_4}\left[1-e^{(2n-2)ax}\right]+\frac{N_4}{K_4}\left[1-e^{(2n-3)ax}\right]\right\}^{-\frac{1}{2n}-1}$$
$$\times\left\{\frac{L_4}{K_4}(2n-1)a\cdot e^{(2n-1)ax}+\frac{M_4}{K_4}(2n-2)a\cdot e^{(2n-2)ax}+\frac{N_4}{K_4}(2n-3)a\cdot e^{(2n-3)ax}\right\}$$

茲で又

$$X_1=v_0^{-2n}+\frac{L_4}{K_4}\left[1-e^{(2n-1)ax}\right]+\frac{M_4}{K_4}\left[1-e^{(2n-2)ax}\right]+\frac{N_4}{K_4}\left[1-e^{(2n-3)ax}\right] \quad\cdots\cdots(60)$$

$$X_2=\frac{L_4}{K_4}(2n-1)a\cdot e^{(2n-1)ax}+\frac{M_4}{K_4}(2n-2)a\cdot e^{(2n-2)ax}+\frac{N_4}{K_4}(2n-3)a\cdot e^{(2n-3)ax} \quad\cdots\cdots(61)$$

とおけば

$$\frac{dv}{dx}=\frac{1}{2n}X_1^{-\frac{2n+1}{2n}}\cdot X_2 \quad\cdots\cdots(62)$$

次に (59) より $\frac{dH}{dx}$ を求めば

$$\frac{dH}{dx}=-\frac{2q_0a}{3}e^{-ax}\cdot X_1^{\frac{1}{2n}}-\frac{q_0}{3n}e^{-ax}\cdot X_1^{\frac{1}{2n}-1}\cdot X_2$$
$$=-\frac{q_0e^{-ax}}{3n}\cdot X_1^{\frac{1}{2n}-1}(2anX_1+X_2) \quad\cdots\cdots(63)$$

である．又

$$\frac{1}{H}=\frac{3}{2q_0}e^{ax}\cdot X_1^{-\frac{1}{2n}} \quad\cdots\cdots(64)$$

であるから河床の勾配 $i$ は

$$i=\frac{k\gamma}{H}\frac{dv}{dx}+\frac{dH}{dx}$$

$$=\frac{3k\gamma}{4nq_0}e^{ax}X_1^{-\frac{1}{2n}-\frac{2n+1}{2n}}\cdot X_2-\frac{q_0}{3n}e^{-ax}\cdot X_1^{\frac{1}{2n}-1}(2anX_1+X_2)$$

$$\therefore\quad i=\frac{9k\gamma e^{ax}\cdot X_2-4q_0^2e^{-ax}\cdot X_1^{-\frac{3}{2n}}(2naX_1+X_2)}{12nq_0X_1^{1+\frac{2}{n}}}\qquad\cdots\cdots(65)$$

となる

$n=\frac{1}{2}$ とみる時は

$$i=\frac{9k\gamma e^{ax}\cdot X_2-4q_0^2e^{-ax}\cdot X_1^3(aX_1+X_2)}{6q_0X_1^3}\qquad\cdots\cdots(66)$$

又 Manning 公式に依る時は $n=\frac{2}{3}$ とし

$$i=\frac{27k\gamma e^{ax}\cdot X_2-4q_0^2e^{-ax}\cdot X_1^2(4aX_1+3X_2)}{24q_0X_1^{\frac{5}{2}}}\qquad\cdots\cdots(67)$$

を用ふればよい.

さて次に河床の縦斷形を求めんに (49), (50), (51) によりて

$$\frac{dz}{dx}=-\frac{k\gamma}{H}\frac{dv}{dx}-\frac{dH}{dx}$$

であるが, 之も $B$ が $x$ の函數であるので考へる區間の $B$ の平均値 $B_m$ を以てそれに代用すれば

$$dz=-\frac{2k\gamma B_m}{3Q_0}vdv-dH$$

$$\therefore\quad z=-\frac{k\gamma B_m}{3Q_0}v^2-H+C$$

となる. $x=0$ に於ては $H=H_0$; $z=z_0$ であるから之によりて積分定數を定めれば

$$z=z_0+(H_0-H)+\frac{k\gamma B_m}{3Q_0}(v_0^2-v^2)\qquad\cdots\cdots(68)$$

を得る. 或は又之に (58), (59) を代入すれば

$$z=z_0+H_0-\frac{2q_0}{3}e^{-ax}\cdot X_1^{-\frac{1}{2n}}+\frac{k\gamma B_m}{3Q_0}\left(v_0^2-X_1^{-\frac{1}{n}}\right)\qquad\cdots\cdots(69)$$

によりて河床の縦斷形は近似的に與へられる.

又 (69) に於て $n=\frac{1}{2}$ とすれば

$$z=z_0+H_0-\frac{2q_0}{3}e^{-ax}\cdot X_1+\frac{k\gamma B_m}{3Q_0}(v_0^2-X_1^{-2})\qquad\cdots\cdots(70)$$

となり.

Manning 式による時は $n=\frac{2}{3}$ であるから

$$z=z_0+H_0-\frac{2q_0}{3}e^{-ax}X_1^{\frac{3}{2}}+\frac{k\gamma B_m}{3Q_0}\left(v_0^2-X_1^{-\frac{3}{2}}\right)\qquad\cdots\cdots(71)$$

によりて河床の形は近似的に與へられる.

尙ほ本章に於ける $X_1$ 及び $X_2$ は夫々 (60) 及 (61) を使用すべきである.

## V. 結　語

以上に於て河幅の一樣なる矩形開水路，河幅の $e^{ax}$ にて變化する矩形開水路，又河幅が $e^{ax}$ にて變化し而も斷面として抛物線形を有する開水路に就て夫々其の自然勾配從つて河床の縱斷形を求めたのであるが，之等の諸公式の誘導は，緒論に於て述べられたる自然勾配としての條件式（1）に基づくのであるから，此の（1）式が正當なるものなるや否やが根本の問題となる．

之は外に實驗に依りて確かめるか，又は實例によりて確かめねばならない．今回は第1章に於て述べてある如く，富荒川低水路なる實例に依りて之を確めたのであるが，之に依りて以上の如くして誘導せられたる式は河床の自然勾配を表はしうる可能性のある事を確かめ得た事により（1）式の妥當性が領かれる．

而して實際問題としては，河幅は殆ど一樣と考へてよい場合が多く，又多少の變化ある場合には考へる區間の平均値をとりて計算すればよいと思ふ．

殘るは唯 $k$ の性質の問題で，之に就ては尙ほ今後の研究に俟たねばならぬが，大體に於て之は河川の大さの函數になるのではないかと思ふ．尙ほ今の所 $k$ の標準値として −40〜−50 が適當かと考へられる．

更に又根本的に（1）式に於て

$$HI = f\left(\frac{dv}{dx}\right)$$

として考へ直してみる必要もあると考へてゐる．