今後この種の實驗に於て改良すべき點を列擧すると次の如くである。

(1) 模型は更に大なるものを用ひること。小さい模型は粘性、表面張力等の影響を受け易く又相似の原理を充し難い。

(2) フィルムの廻轉を一樣ならしめる事。之には強いバネの時計と軟いフィルムを用ひれば好い。

(3) image をフィルムの廻轉方向に直角に動く様にする事。之は技術上極めて難いがフィルムが靜止してゐる時 image の動きを記録せしめ之と比較すれば好い。

(4) 津波を起す板の運動をも記録させる事。之に依り津波の周期を色々に變へて波が如何様に異なるか實驗出来る。

(5) tank motion を避ける事。之は模型實驗では最も考慮すべき點であるが之を少なくする事も仲々難しい。tank motion の起る限り solitary wave となつて來る津波の實驗は難しい。此の實驗では津波の一例を示したに止る。

(6) image を小さく focus させる事。之も技術上極めて難しい問題であるが image の太いのは實驗の精密度を著しく害する。

最後に實驗上御助力下された東北帝國大學地球物理學研究室の方々に御禮申上げる。

昭和12年9月11日大阪地方の高潮*

金 家 鎮 汶

§1. 緒 言

昭和12年9月11日の暴風時に阪神地方の沿岸地には1米位潮位が常より高まり浸水に因る相當の被害があつたのであるが、本文は築港天保山の檢潮器の自記紙より當日の潮位を求め(讀取值より15厘減じたものが當時のOP上の潮位になるものとす)之と木津川尻出張所に於ける氣象要素並びに紀伊水道方面の風の南成分との關係を調査した結果である。

§2. 假定と基本式

昭和11年10月1日より3日に亘つて大阪市沿岸の低地には高潮等による浸水を見た(氣象要覽昭和11年10月號参照)のであるが、此の時の颱風は熊野灘沖を北東へ通過し大阪地方は北東寄りの風が疾風程度に吹き續いた。

和達技師は當時の浸水區域を踏査されてから大阪地方の高潮は颱風が大阪の北側を通過する場合

* T. Kinka: On the Abnormally High Water caused by the Typhoon of Sep. 11 th. 1937 at the Coast of Ōsaka. 災害科學研究所第一部に於ける研究である。

にのみ起り得ると云う今迄一般の考へに對して「相當の災害を齎らす風津波は颱風が大阪の北側を通る場合に限るかも知れぬが大阪市沿岸地に多少の被害を來たす高潮は颱風が大阪の南側を通過する場合でも外洋と大阪灣との潮位差に因る傾斜流やウネリ等の爲にあり得る」ことを唱へられ之に基づいて最近廣野、坂田兩氏⁽¹⁾は大阪港の異常潮位を時間と共に堆積される量の項を導入することによつて事實を説明された。著者も此の考へを以つて二時間前の潮岬の風の南南東成分と室戸の風の南南西成分との平均値 (W) が大阪港の潮位に關係深いものとして潮位に對する式に次式を採用した。

$$H = h_0 + 1.32(p_0 - p) + kv^2 + a \int_0^t W dt \dots\dots\dots (1)$$

$h_0 \dots$ 推算潮位, $H \dots$ 實測潮位,
 $p_0 \dots$ 760 mm とす, $v \dots$ 大阪の風の SW 方向の成分,
 $p \dots$ 當時の大阪の氣壓, $a, k \dots$ 求むる常數.

是の他に潮位に關係ある量は風速及び氣壓の時間的變化 $\frac{dv}{dt}$, $\frac{dp}{dt}$, 又 $\int_0^t v dt$ があるが此等は省いた。諸大阪の風 v は何時、何處の風の南西方向成分を取るべきは色々議論もあるが本調査では考へて居る時刻前 20 分間平均風速を取り大阪港門突堤 (高さ 10 米) に於ける値 V と木津川尻出

第 1 圖 (甲) 大阪港の異常潮位と大阪港の風の南西成分

第 1 圖 (乙) 大阪港異常潮位と紀伊水道の風の南成分

(1) 廣野、坂田：大阪灣の異常潮位に就いて (氣象集誌、第 2 輯、第 15 卷、第 9 號)。

張所 (高さ 16 米) に於け値 v とを使用し $\frac{V}{v}=R$ の R は昭和 8 年 9 月より昭和 9 年 9 月に至る一ケ年間の比較観測結果から得た平均値⁽¹⁾を用いた。時間の原點は 11 日 1 時の W が 0 であり 3 時は干潮時に近いから 3 時を取つた。

第 1 圖を見るに最高潮位時迄とそれ以後とは變化の仕方が異なつて居るから最高潮位時迄は (1) 式に依り最高潮位時以後の分は最高潮位時からの變化量を考へて次式に依つて係數を求めた。

$$\Delta h = h' + K \Delta v \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta h = (h_{\max} - h), \quad \Delta v = (v_{\max} - v), \quad h', K \text{ は求める常數.}$$

§3. 調査結果

$$H - h_0 = A, \quad A - 1.32(p_0 - p) \equiv h, \quad \int_0^t W dt \equiv C$$

とおけば (1) 式は $h = kv^2 + aC$ となり、更に之を次式に變へて第 1 表により係數を最小自乗法で求めた。

$$\left. \begin{aligned} h &= k_1 v^2 + a_1 C, \quad h = h' + k_2 v^2 + a_2 C, \\ h &= k_3 v^2 + a_3 \int_0^t W^2 dt, \\ h &= k_4 v + a_4 W, \quad h = k_5 v + a_5 C. \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

第 1 表 昭和 12 年 9 月 11 日の高潮

日 時	H	A	$13.2 \Delta p$	h	v	V	W_S	W_M	W	C	大阪の氣壓傾度
11 th 0 ^h	165	- 30	8.1	-38.1	- 5.2	-13.0	3.3	0.0	1.7		2.6 (27°)
" 1 ^h	152	- 22	9.9	-31.9	- 6.3	-15.8	0.0	0.0	0.0	0.0	
" 2 ^h	142	- 15	11.8	-26.8	- 5.7	-14.3	6.7	7.4	7.1	7.1	5.2 (31°)
" 3 ^h	133	- 9	12.9	-21.9	- 5.9	-14.8	7.4	9.6	8.5	14.8	5.8 (28°)
" 4 ^h	122	- 13	14.4	-27.4	- 7.4	-18.5	8.0	8.0	8.0	23.1	6.0 (25°)
" 5 ^h	131	- 4	17.3	-21.3	- 7.2	-18.0	10.1	6.4	8.3	31.2	6.1 (36°)
" 6 ^h	135	- 5	20.2	-25.2	- 8.7	-21.8	17.1	9.4	13.3	42.0	6.9 (44°)
" 7 ^h	147	- 2	22.7	-24.7	- 6.7	-16.9	18.3	20.7	19.5	58.0	4.9 (63°)
" 8 ^h	189	+ 26	25.1	+ 0.9	- 4.8	-12.0	20.9	31.8	26.4	81.3	5.1 (59°)
" 9 ^h	225	+ 50	26.4	+23.6	- 1.7	- 3.4	16.4	23.8	20.2	104.6	5.6 (88°)
" 10 ^h	260	+ 75	27.7	+47.3	0.0	0.0	16.5	19.7	18.1	123.8	7.6 (124°)
" 11 ^h	270	+ 80	26.7	+53.3	+ 9.4	+16.0	15.1	19.1	17.1	141.3	5.9 (131°)
" 12 ^h	283	+ 93	26.0	+67.0	+11.4	+15.9	11.8	15.1	13.4		4.6 (142°)
" 13 ^h	287	+101	25.2	+75.8	+15.1	+21.1	11.0	18.7	14.9		4.0 (155°)
" 14 ^h	253	+ 71	25.0	+46.0	+17.6	+24.6	5.9	20.6	13.3		3.8 (157°)
" 15 ^h	240	+ 59	24.7	+34.0	+15.8	+22.1	6.3	17.2	11.7		3.7 (159°)
" 16 ^h	247	+ 63	23.0	+40.0	+18.8	+26.4	6.5	12.2	9.3		2.7 (171°)
" 17 ^h	238	+ 47	20.6	+26.4	+12.2	+17.1	6.9	10.3	8.6		2.0 (193°)
" 18 ^h	230	+ 32	18.7	+13.3	+10.4	+14.6	5.2	8.3	6.7		1.9 (187°)
" 19 ^h	208	+ 4	17.4	-13.4	+ 9.2	+12.9	3.8	5.9	4.9		1.8 (265°)
" 20 ^h	203	- 8	15.8	-23.8	+ 8.4	+11.8	2.4	6.1	4.2		1.5 (250°)
" 21 ^h	209	- 6	15.4	-21.4	+ 6.3	+ 8.8	2.9	3.4	3.1		1.8 (265°)
" 22 ^h	213	- 2	14.4	-16.4	+ 4.2	+ 5.8	3.4	3.0	3.2		1.2 (268°)
" 23 ^h	212	+ 4	14.4	-10.4	+ 5.7	+ 8.0	3.3	3.8	3.5		
" 24 ^h	188	- 9	14.0	-23.0	+ 2.9	+ 4.0	3.2	3.3	3.2		

(1) 気象集誌. 第 2 輯, 第 15 卷, p. 386.

港門風速 V (推定) を用ひると最高潮位時迄は次式が成立する。(括弧内の数字は此の範囲にて潮位が求められることを表はす)

$$h = 0.0792V^2 + 0.353C \quad [\pm 6.2] \dots\dots\dots (4)$$

$$h = -7.74 + 0.0623V^2 + 0.457C \quad [\pm 5.3] \dots\dots\dots (5)$$

$$h = 0.0687V^2 + 0.0213 \int_0^t W^2 dt \quad [\pm 5.8] \dots\dots\dots (6)$$

$$h = 1.986V + 1.669W \quad [\pm 3.3] \dots\dots\dots (7)$$

(5) 式で分る如く最初から 7.7 cm だけ低かつたのであるが之は前夜から北東風が可成り強く吹き続いた爲であると考へられる。

木津川尻の風 v を用ひると次式を得る。

$$h = 0.2715v^2 + 0.2313C \quad [\pm 10.5] \dots\dots\dots (8)$$

$$h = 2.984v + 0.285C \quad [\pm 7.2] \dots\dots\dots (9)$$

堆積係数 a を (4), (5), (8), (9) 式のものと平均値 $a_m = \frac{1}{4}(0.353 + 0.457 + 0.231 + 0.285) = 0.33$ を用ひると紀伊水道附近に於ける吹送流による大阪灣の潮位の高まり δh (糎) は次式で與へられる。

$$\delta h = 0.33 W dt \dots\dots\dots (10)$$

之は明石海峡に於ける潮位差が小であつて此處の出入量を大阪港の潮位に對して無視し得る場合は由良海峡より大阪灣に流入する平均流速 $u_m = 0.00448 W$ (m/s) を與へるものであることは次の計算で分る。

大阪灣の表面積 $A = 1520 \text{ km}^2$, 由良海峡の斷面積 $S = 0.3108 \text{ km}^2$ (壺井氏: 大阪灣と津波, 海と空, 第 15 卷, 第 9 號, p. 318 参照) を用ひると

$$\frac{\delta h \cdot A}{S} = u_m dt, \quad u_m = 0.33 W \times \frac{1520}{0.3108} \quad (\text{cm/h})$$

$$u_m = 0.00448 W \quad (\text{m/s}) \dots\dots\dots (11)$$

諸風速 W m/s なる場合の表面流速⁽¹⁾ u_0 m/s は

$$u_0 = p \cdot W \dots\dots\dots (12)$$

我が近海で實測した結果 (須田氏 海洋科學參照) によると (12) 式の p は 0.02 から 0.05 の間にあるから $p = 0.033$ とすると $u_0 = 0.033 W$ となり (11) 式の u_m の約 10 倍となる。而して u を z に於ける流速とすれば $u = u_0 e^{-az}$ であるから, 深さ z_0 迄の平均流速は

$$u_m = \frac{1}{z_0} \int_0^{z_0} u dz = \frac{u_0}{z_0} \cdot \frac{1}{a} (1 - e^{-az_0})$$

(1) 須田氏: 海洋科學, p. 405.

由良海峡⁽¹⁾の平均の深さ $z_0=60$ m とすると (11) 式を代入して $a=1.3 \times 10^{-3}$ となる.

次に最高潮位時以後の場合は

港門の風を用ひると

$$\Delta h = -47.83 + 3.7 \Delta V \quad [\pm 6.3] \quad \dots\dots\dots (13)$$

木津川尻の風を用ひると

$$\Delta h = -47.60 + 4.74 \Delta v \quad [\pm 7.4] \quad \dots\dots\dots (14)$$

(13), (14) 式で分る様に最高潮位時より次の一時間迄に 40 厘餘り急に低落して居る. 尤も室戸颱風の時でも最高潮位時後一時間に 1 米位低落した. 是等は最高潮位時即後に局部的に非常な傾斜流が生じたのではないかと思はれる. 第 2 圖は (7), (13) 式で計算した潮位と實測値との比較を示すものである.

第 1 表に大阪地方の氣壓傾度があるが氣壓傾度が南乃至南西に向つて居る間は潮位は低い西から北へ向つて來ると潮位は高まつて來ることが分る.

第 2 圖 昭和 12 年 9 月 11 日大阪港の潮位

§ 4. 係数の比較

大阪港の潮位と風速との關係を調査されたのは少なくないがその採用された資料が同一でない關係等で係数は可成り區々である. 以下二三を比較して見る.

中村左衛門太郎博士⁽²⁾によると

$$H = h_0 + 3.025(p_m - p) + 1.048v + 0.1823v^2 \text{ (厘)} \quad \dots\dots\dots (15)$$

中野猿人博士⁽³⁾によると

$$H = h_0 + 1.36(p_0 - p) + 0.48v^2 \quad \dots\dots\dots (16)$$

尙廣野, 坂田兩氏⁽⁴⁾の結果は由良海峡に於ける潮位差に因る流入量に重きを置いたものだから今の比較には省くことにする.

昭和 12 年 9 月 11 日 13 時の最高潮位 (287 cm) を求めて見ると (15) 式では $H=301$ cm で 14 cm ばかり高過ぎるが元來 (15) 式は高波を伴ふ高潮即ち風津波の場合に適用すべきものだから割合

(1) 壺井氏: 大阪灣と津浪, 海と空. 第 15 卷, 第 9 號.

(2) 氣象集誌. 第 2 輯, 第 13 卷, 第 5 號, p. 222.

(3) 科學. 第 4 卷, 第 11 號, p. 461.

(4) 氣象集誌. 第 2 輯, 第 15 卷, 第 9 號, p. 348.

に合致するものと見られる。又 (16) 式では $H=237\text{ cm}$ となり西の鼻附近の最高潮位は長堀川又は道頓堀川附近の潮位に近似なものとすると 20 cm 餘り低く過ぎる。之は或は隔離された勝山通の風速を用いた爲ではないかと思はれる。(第 2 表参照)

第 2 表 昭和 12 年 9 月 11 日大阪市の最高水位

場 所	天保山	毛馬	今橋	堂島川	長堀川	道頓堀川	京町堀川	京町堀	丸一橋	城見橋
最高潮位 同上時刻	287 12 ^h 40 ^m	270 13 ^h 30 ^m	273 13 ^h 00 ^m	279 13 ^h 00 ^m	265 13 ^h 05 ^m	265 13 ^h 00 ^m	261 13 ^h 00 ^m	272 13 ^h 10 ^m	280 13 ^h 00 ^m	275 13 ^h 00 ^m

(4) 式から (9) 式迄は何れも今の場合に合致する様に定められたものであるが室戸颱風時の場合を取ると (4) では 60 cm ばかり低く過ぎ (8) 式では 60 cm 高過ぎる。即ち (4) 式から (9) 式迄は今回程度の高潮 (強風乃至烈風程度の暴風時に起り波高が著しくない場合) に適用されるものと思はれる。

§ 5. 結 尾

大阪地方は古來風害よりも水害の方が多く且つ、より悲惨なものであつたことは有名にて然も最近に殊に低地盤沈下現象のため浸水が頻繁で潮位が OP 上 2 米 位になると低地の浸水が見られ OP 上 2.5 米 になると可成り浸水に因る災害を蒙るのを見る。潮位が OP 上 2.7 米 以上になる高潮又は風津波を警戒すべきものとなし之を豫報する様な場合には大阪港附近の潮位を標準にしてそれより市内各浸水地の潮位⁽¹⁾を推算する限りは木津川尻の風又は之より推算し得る大阪港附近の風によつて豫報する方が適當だと思はれる。

大阪港の異常潮位は大體南西風速の 4 倍に標準氣壓からの偏差の 3 倍を加へたるもの (例へば南西風 15 m/s , 氣壓 740 mm に達する見込みの場合は $A=15\times 4+20\times 3=120\text{ (cm)}$) に近いものとして室戸颱風以後大阪支臺では時に高潮の豫報をした事があつた。將來更に簡單で且つ正確な方法が生れ出ることを希望する。強風乃至烈風時に伴ふ OP 上 3 米 程度の高潮⁽²⁾と室戸颱風の如き颶風に起る風津波とに分けると本調査は前者の場合に多少役に立ち後者の場合には關口博士⁽³⁾が調査された様に風や氣壓にしても其の變化速度を導入して調査を進めるべきだと思ふ。

終りに臨み始終御指導下さいました和達部長に感謝の意を表する次第である。

(昭和十二年十月 於中央氣象臺大阪支臺内災害科學研究所)

(1) 中央氣象臺室戸颱風調査報告. 20 頁, 第 41 圖.

(2) 堀口由巳:「再び高潮に就いて」海と空. 第 7 卷, 第 11 號, p. 185.

(3) R. Sekiguti:—Statistical investigation on the effect of winds and air pressure on the height of sea level at some tidal stations of Japan. The Geophysical Mag. Vol. VI. 1932, p. 123.