

名古屋港の水位変動の特性について

樋口 明生*・吉田 幸三**

1. まえがき

昭和 34 年 9 月、伊勢湾台風によって名古屋周辺が大災害をうけて以来、木曾川河口左岸から対岸の知多半島古見地区に向い、名古屋港の港域線に沿って延長約 10km におよぶ大防波堤の建設が計画され、現在着々と工事も進められている。この計画が完成すれば、当然この海域における種々の水理現象が影響をうけると考えられ、そのうち潮流に関するものについては、予備実験程度であるが、すでに実験を行なって、二、三の興味ある結果を得ている¹⁾。ここでは、流れの問題ではなくて港内の水位変動に着目し、潮流の実験に用いた模型を使用して、その特性を調べたのでその結果について述べる。

一般に港湾が比較的せまい開口部をもった防波堤により囲まれているような場合には、2つの固有周期をもつと考えられる。その1つはいうまでもなく開口部がない場合の港湾の固有周期であって、いわゆる tank oscillation の周期である。これは実際には地形により、いろいろの方向の振動が考えられ、いくつかの周期に分けられるであろう。ほかの1つは開口部と港とで構成される系全体の固有周期であり、これもやはり地形により決定されるものであるが、前者と比較すればより複雑なものであろう。このような固有周期は、水深の深いほど、港の水面積の小さいほど、また開口部の断面積の大きいほど短くなると考えられる。

以上の事がらを実験的に検討したわけであるが、この実験では開口部の相似条件についての吟味が不十分であるので、以下の結果をただちに原型に適用するのは妥当ではないが、定性的には信頼できるであろう。

2. 相似性について

水理模型実験を行なうに際して、最も重要な問題は原型と模型との間に力学的相似性が成り立つことである。いま考えている名古屋港の場合のように、広い海域とせまい港口とをもつような場合、両方同時に満足するような相似則を見出すことは困難である。これを見出すことが、われわれの行なっている一連の研究の一つの課題であるが、ここでは広い海域においては前の実験で用いた相似則を適用したが、これについては昨年度の本講演集に述べたので、重複をさけるために省略する。開口部については、一応厳密な相似を考えずに直立壁矩形断面と

し、その港口幅を3種類に変えて、その間の相違を調べるとどめた。

3. 実験施設および装置

模型は宇治川水理実験所にある長さ 11 m、幅 5 m の小潮流実験水槽に設けられたものを使用した。ただし、防波堤開口部は必要に応じていろいろ変化させた。この模型は図-1 に示すようなもので、その諸元は表-1 に示す。これは現況に防波堤だけが完成した場合のもので、埋立地はふくまれておらず、また港内の海底地形も計画されているようにしゅんせつされたものではない。

図-1 模型一般図

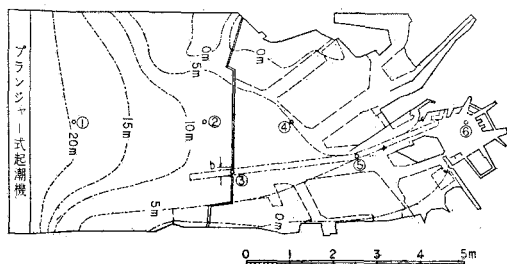


表-1 模型諸元

水平縮尺 $x_p/x_m=x_r=2000$ 鉛直縮尺 $h_p/h_m=h_r=667$
 時間縮尺 $t_p/t_m=t_r=77.5$ 流速縮尺 $u_p/u_m=u_r=25.8$
 ひずみ $x_r/h_r=3$

	模 型	原 型
開 口 部 幅 b	9 cm	180 m
	18	369
	36	720
水 深 d	1.56 cm	9+1.4 m
	2.01	12+1.4
	2.61	16+1.4
周 期 T	1.55 min	2 hr
	3.10	4
	9.61	12 hr 25 min

開口部は鉄板製の直立壁矩形断面であり、防波堤の断面形は計画どおりには忠実に再現されていない。

水位変動は付属のプランジャー式起潮機で与えた。これは変速モーターにより駆動させるので周期を変えることができ、偏心率を変えることによって振幅をも変えることができる。可能な周期は 1.1~16 min、全振幅は最大 1 cm である。

水位変化は図-1 の①、②、⑥および⑦の4地点で、電気抵抗式水位計により記録した。記録の一例を写真-1 に示す。

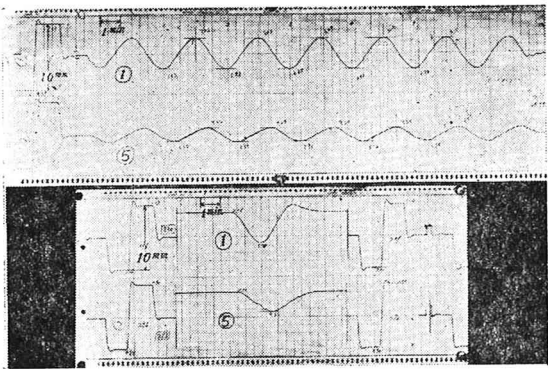
また一部の実験では、防波堤開口部の表面流速を測定

* 正員 京都大学助教授 防災研究所

** 正員 京都大学助手 防災研究所

写真-1 水位記録の一例

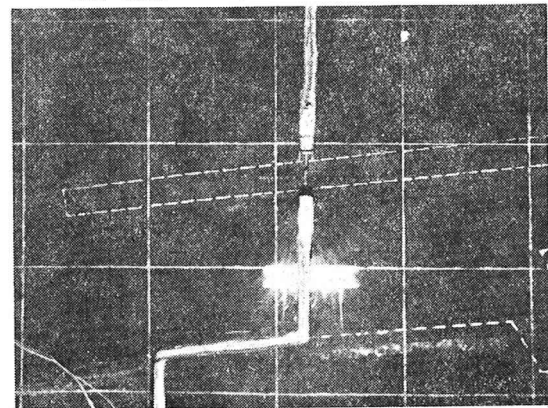
(上：振動，下：高潮，記録の都合で上下逆になっている)



した。すなわち、水面に白く塗装した直径約 2 cm、厚さ約 2 mm のコルク製浮子を浮べ、マルチストロボスコープによりこれを一定時間間隔で間歇的に照明し、真上から写真撮影して測定した。採用した時間間隔は 1/2 sec で、漲潮時および落潮時の最大流速時に測定した。一例を写真-2 に示す。白線の間隔は 50 cm、写真の右側が港内である。

写真-2 港口速度の記録の一例

(中央の白い点々がフロート、照明時間間隔 1/2 sec、白線の間隔は 50 cm)



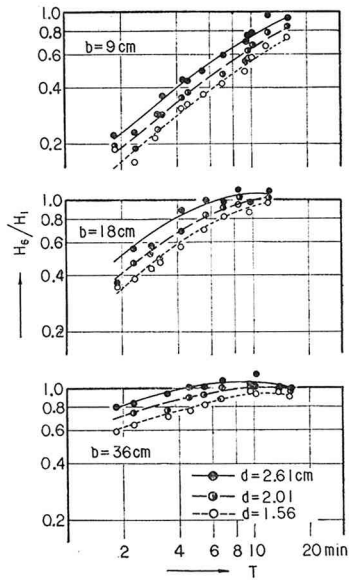
4. 実験の経過および結果とその考察

外海に種々の振幅および周期の正弦波を与え、その振幅が港内でどのように変化するかを調べた。さきにも述べたように、その様相は与える水位変動の周期、振幅、および港内の水深、水面積、さらに開口部の断面積などに強く影響をうけると考えられるので、これらの要素を順次変化させて実験を行なった。

(1) 周期特性

まず港口幅が $b=9, 18$ および 36 cm の 3 種類の場合について $1.8\sim 16$ min の周期の正弦波をくり返し与えて、港内における波の減衰状態を調べた。この減衰の状態は与える水位変動の振幅により異なるので、全振幅はできるだけ一定にした。実際には大潮の潮差に相当する値、すなわち約 4 mm とした。ただし、 $b=18$ cm の場

図-2 周期特性(振動)



合だけはこの制御があまりよくできなかった。

同じ港内でも ⑤ と ⑥ とでは多少その状態に相違があり、⑤の方が若干大きく現われる傾向があるが、港内の代表点として⑥を選び、港外の代表点①との全振幅の比 H_6/H_1 が周期によってどのように変化するかを調べた。これを図に示すと 図-2 のようになる。図中 3 種類の点はそれぞれ水深(航路水深)が $d=2.61, 2.01$ および 1.56 cm の場合に相当する。

この図によれば、一般に周期が短い場合には減衰が大きく、周期が長くなるにつれて減衰しにくくなり、その比は 1 に近づくことがわかる。また、減衰の傾向はいずれの場合にも水深が浅い方がいちじるしく、水深の深い場合にはそれほどでないことが示されている。これは水深が浅い場合には摩擦がより大きく働き、このために減衰がいちじるしくなるのか、あるいはこのような現象には港内の水面積と港口の断面積との比が重要な因子と考えられるが、この比がこの現象に支配的であるのか、さらに検討する必要がある。

港口幅の影響については、幅のせまいほど減衰がいちじるしく、広いほど減衰しにくいという結果が表われている。この事実も前述の面積比の効果を知るうえに重要な事からであり、たとえば $b=18$ cm, $d=2.61$ cm の場合と、 $b=36$ cm, $d=1.56$ cm の場合とは断面積がそれぞれ 52.9 cm² および 54.0 cm² であり(表-2)、ほぼ等

表-2 港口断面積(単位 cm²)

港口幅 b (cm)	9	18	36
水深 d (cm)			
2.61	26.2	52.9	84.5
2.01	20.9	42.0	67.0
1.56	16.8	33.8	54.0

しいけれども、この2つの曲線を重ねて見ると必ずしも一致するとはいにくく、これ以外のなんらかの原因、たとえば水深の違いによる摩擦の効果の違いなどが暗示される。

(2) 非線型効果

さきの実験では、できるだけ全振幅の等しい振動を与えて、周期が変わることによってどのように減衰状態が変化するかを調べたのであるが、減衰の仕方はたとえ周期が等しくても与える水位変動の振幅が異なると変わることが実験の結果明らかになった。一例を示すと周期 $T=9\text{ min } 27\text{ sec}$ とし、港口幅が前述の3通りの場合の振幅比は図-3のようである。これは与えた水位変動の全振幅 H_1 を横軸に、振幅比 H_0/H_1 を縦軸にとった図で、各丸印は3種の水深に相当するものである。

この図によると一般に H_1 が変化すると H_0/H_1 も変化することを示しており、現象が非線型であることを表わしている。

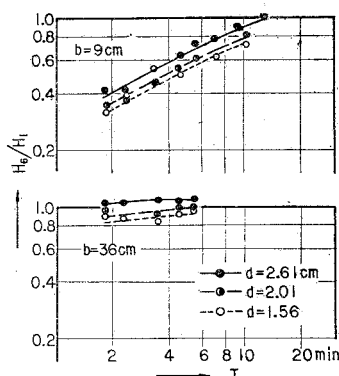
この効果は港口幅がせまいほど顕著であるといえる。いま代表的に $T=9\text{ min } 27\text{ sec}$ の場合をとりだしたが、このような現象はもちろん、ほかの周期の場合にも現われ、上に述べた傾向は一般的なものであるといえる。 $T=3\text{ min}$ の場合の例を図-5の左側に示す。また図-2に示した $b=18\text{ cm}$ の場合の点のばらつきが全振幅がそろっていないための結果であるとしてよく説明できるが、その原因についてはよくわからないので今後研究の余地がある。

(3) 高 潮

いわゆる高潮は、湾口から侵入する長波、低気圧による吸い上げ、および風による吹き寄せに起因するとされているが、これらを全部模型実験にとり入れることはとうてい不可能である。ここでは高潮に似たようなものという意味で、正弦波の谷から谷までの一周に相当する水位変動を与え、くり返し与えた場合とどのように異なるかを調べた。この場合にも周期特性の項で行なったように、いろいろの周期の水位変動について調べた。

結果は図-4に示すようである。これらも全振幅はほぼ 4 mm である。この場合にも周期特性の項で述べたように、港口幅のせまいほど、また、水深の浅いほど減衰

図-4 周期特性 (高潮)

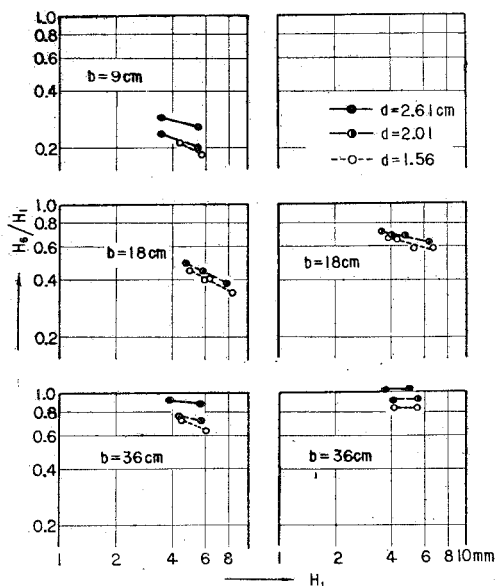


がいちじるしいけれども、これと図-2に示した振動の場合とを比較すればわかるように、その減衰の仕方は同じ水位変動をくり返し与えた場合(以下振動という)ほどいじるしくない。この場合の水深は初期水深を採用したため、振動の場合より時間的平均水深は深くなっている

ので、その影響もいくぶん入っているが、水深増加の程度から考えてそれ以外の原因があるように思われる。

図-5 非線型効果

($T=3\text{ min}$) 左: 振動, 右: 高潮

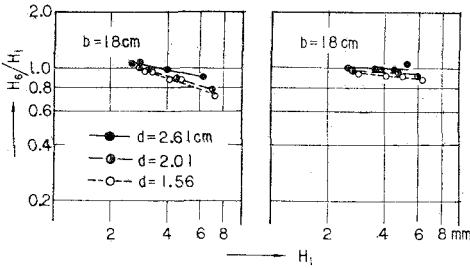


また高潮の場合にも(2)で述べたような非線型効果が表わることがわかった。周期(この場合は谷から谷までの時間)が3分前後の場合の結果を、振動の場合の結果と合わせて図-5に示す。各段階で周期は多少異なるけれども、一般に高潮の方が振動より減衰が少なく、それに応じて非線型効果も少ないことがわかる。極端な場合として周期が 3 min ぐらいでも $b=36\text{ cm}$ のときにはあまり減衰せず、非線型効果も現われないという結果が出ている。

(4) 港内水面積の影響

前述のように、いわゆる周期特性には開口部の断面積と同時に港内の水面積が大きく影響すると考えられるので、港内の水面積が約半分になった場合、すなわち埋立

図-6 非線型効果 ($T=3$ min) 埋立後
左: 振動, 右: 高潮



地が完成した場合の模型について若干調べた。これは図-1の破線の部分を埋立てた場合で港内の水面積は11.8 m^2 となり、いままでの約半分になる。

$b=18$ cm の場合の振幅比は図-6 のようである。図の左側は振動, 右側は高潮の場合である。この場合もこれまでと同様に高潮の方が減衰が少なく, 非線型効果も少ないことが表わされている。港内の水面積と港口の断面積との比は, この場合の $d=2.01$ cm と図-5の $b=36$ cm, $d=2.61$ cm の場合とがほぼ等しく, 両者を比較するとほぼ似たような値を示している。これはこの周期についてのみいえることであるかどうかは, さらに多くの周期について実験をして確かめて見なければ言明できない。

(5) 港口流速

これまでの実験は水位変動の振幅についてのみ考慮して進めてきたのであるが, 港口部の相似性を考える場合には当然その流速が問題にされなければならない。しかしながら実際に流速を測定することはかなり困難である。ここでは水深がせいぜい2 cm 程度であるから, 浮子を追跡してこれを求めた。半日潮の周期に相当する9 min 27 sec の場合の結果を図-7に示す。これは港内に埋立地がない場合の流速である。横軸は⑥における全振幅 H_0 , 縦軸は最大流速時の表面流速を表わす。実際には写真-2に示すような記録から, 浮子の間隔の最も長いものを取り出して求めた港口から20~30 cm はなれた地点の流速である。

港内の水面積を S , 港口の断面積を s , 港内の潮差を H , 水位変動の周期を T とし, 港内の水位はいたるところで同じであると仮定すれば, 港口の時間のおよび空間的平均流速 $\bar{u}$ は連続の条件から

$$\bar{u} = SH / (sT/2) \quad \dots\dots\dots (1)$$

となる。いま流速の時間的変化が正弦的であると仮定すれば, 最大平均流速 $\bar{u}_{\max}$ は

$$\bar{u}_{\max} = \frac{\pi}{2} \bar{u} \quad \dots\dots\dots (2)$$

で与えられる。

いま $S=21.25 m^2$ であり, s は表-2に示すようであるから, これらの値を用いて式(2)を計算した結果が

図-7 港口流速
($T=9$ min 27 sec)

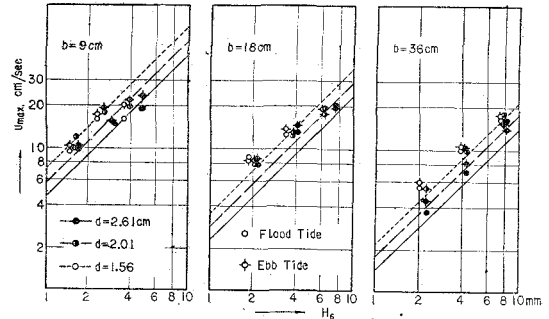


図-7に示す直線である。実線, 破線, 点線は前と同様それぞれ $d=2.61, 2.01, 1.56$ cm の場合のものである。

この図によると実測値は一般に理論値より若干大きいことがわかる。これは実測したものは断面の最大平均流速でなく, やや下流を測定したために縮流の効果が現われ, さらに表面流速を測ったために鉛直方向の流速分布の影響が加味されて大きく現われているのであろう。しかしながら, 大ざっぱに, この程度の周期の場合には, このような簡単な計算で推定できるといえる。

4. む す び

名古屋港の水位変動の特性について, 水平縮尺1/2000, 鉛直縮尺1/667の模型を用いて実験を行なった結果, つぎのことが明らかになった。

- ① 外海から1.8~16 minの周期の振動を与えた場合, 周期の短いほど港内における減衰がいちじるしい。
- ② 水深の浅いほど減衰がいちじるしい。
- ③ 港口幅のせまいほど減衰がいちじるしい。
- ④ この減衰の仕方は外海に与える振動の振幅により左右される。振幅の大きいほど減衰がいちじるしい。
- ⑤ 高潮の場合の方が振動の場合よりも減衰しにくい。

⑥ 減衰の仕方は港内水面積の大小に左右され, これが小さいほど減衰しにくい。

⑦ 比較的周期の長い振動の場合 ($T=9$ min 27 sec) には港口の最大平均流速は, はぼ式(1), (2)で表わせる。

以上はなほだ漠然とした表現しかできないけれども, 定性的にわかった結果を述べた。

最後に, この研究を遂行するにあたって終始適切なご指導を賜った岩垣雄一教授, ならびに実験に協力していただいた北川吉男, 平賀太郎の両氏に深甚なる謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 樋口明生・吉田幸三: 名古屋港の潮流に関する水理模型実験 (1), 第8回海岸工学講演会講演集 (昭36.9) pp. 114~118.