

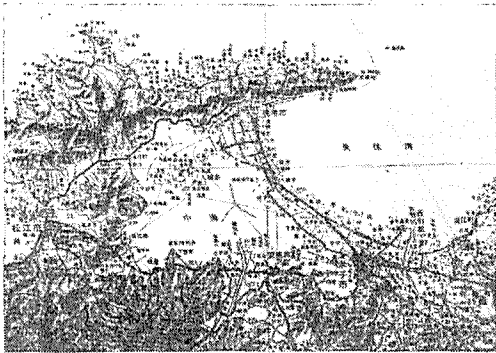
境水道の水位変動に関する模型実験について(2)

京都大学助教授 防災研究所 樋 口 明 生

1. 緒 言

中海は島根県東部に位置する周囲 96 km, 水面積 102 km², 平均水深 4.6 m の鹹水湖である。この東北隅から長さ 7.5 km, 巾 200~800 m, 平均水深 5.7 m の境水道が東に向い、日本海美保湾に通じている(図-1 参照)。中海干拓工事の第一段階として、中海を淡水化する計画があり、この計画実施前後の同水道内の水位変動に関する

図-1 地 図



模型実験を行なった。予備実験¹⁾の結果、水平縮尺 1/500, 鉛直縮尺 1/125 が適当であると認められているので、この縮尺の模型を製作し実験を行なった。境水道と中海とは一つの振動系を構成しており、主として中海の水面積に支配される固有周期をもつと考えられるので、この系をよく理解するために二、三の地形的条件の下における周波数特性をしらべた。

2. 原 型

現地ではこの干拓計画を実施するに先立ち、昭和 30 年度よりいろいろの調査が行なわれている^{2), 3), 4), 5), 6), 7), 8)}。まず水位に関しては、美保関をはじめ、境水道内に 4 カ所(境検潮所は大正 10 年より観測)、中海周辺 7 カ所に検潮儀が設置され記録がとられている。これによると、同水域の月平均潮位はいずれの検潮所においても 2~3 月が低く、7~8 月が高くて、その差は 35~40 cm でほぼ一定である。また各分潮は 境検潮所で $K_1=3.7$ cm, $O_1=3.5$ cm, $S_2=3.5$ cm, $M_2=1.1$ cm となっており、各地点における分潮の比は 図-2 のようである。これによると日周潮、半日周潮とも水道奥部に行くにしたがって減衰し、それぞれ美保関における値の約 70% および 50% になっている。これらの潮汐以外に、いわゆる風波やうねりにくらべると相当長周期の水位変動が各検

図-2 原型資料 I

(日周潮と半日周潮の減衰状態)

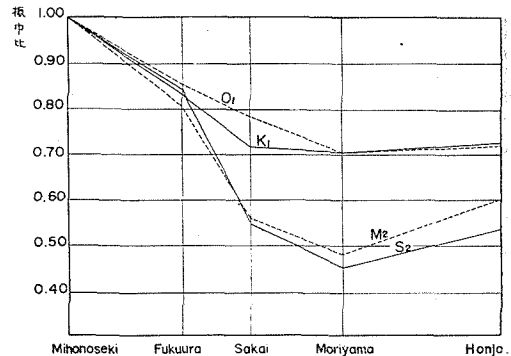
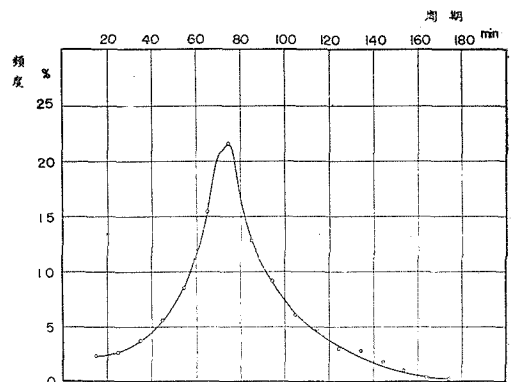


図-3 原型資料 II

(美保関検潮所における副振動の頻度分布)



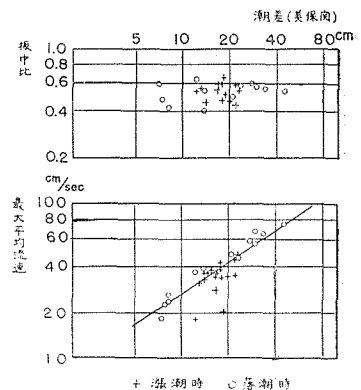
潮所で観測されており、その周期も広範囲にわたっている。一例として、昭和 32 年 1 月~12 月の美保関検潮所における周期別頻度分布を示すと図-3 のようである。

つぎに流速については、境水道西部の森山地

点において、昭和 29 年 9 月から同 32 年 7 月の間に合計 11 回の観測がなされている⁵⁾。この資料を解析して境水

図-4 原型資料 III

(振巾比・流速と潮差との関係)



+ 漲潮時 ○ 落潮時

道の Manning の粗度係数 $n=0.022$ が得られている⁶⁾。これらの資料より同地点の最大平均流速と美保関における潮差との関係を示すと 図-4 のようである。横軸は美保関における潮差であり、縦軸は上の図では森山における振巾比、下の図では最大平均流速である。これによると、森山における振巾比はこの範囲では振巾の大きさに無関係であり、最大平均流速は振巾の $2/3$ 乗に比例するように思われる。

3. 相似性の考察

考えられるすべての現象について原型と模型との間に完全な相似性を保たせることは不可能であるから、ここでは主として振巾の変化に着目して相似性を考えることにする。原型と模型において運動方程式および連続式としてつぎの2式が成立すると考える。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{\lambda}{2R} u^2 - g \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + h \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

ここに x は水道の長さ方向の距離、 t は時間、 u は流速、 λ は摩擦係数、 R は径深、 h は水深、 η は静水面から測った水面の変位、 g は重力の加速度である。両者が力学的に相似であるためには、原型と模型において各項の比が等しくなければならないから、原型の量と模型のそれとの比を添字 r で表わすことにすればつぎようになる。

$$\frac{u_r}{t_r} = \frac{u_r^2}{x_r} = \frac{\lambda_r}{R_r} u_r^2 = \frac{\eta_r}{x_r} \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\frac{t_r}{t_r} = h_r \frac{u_r}{x_r} \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

Manning の粗度係数 n を使い ($\lambda=2gn^2/R^{1/3}$)、水深にくらべて水路巾が広いため $R=h$ が許されるものとするれば、相似の条件としてつぎの式が得られる。

$$t_r = x_r h_r^{-1/2} \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

$$n_r = x_r^{-1/2} h_r^{3/2} \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

$$u_r = h_r^{1/2} \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

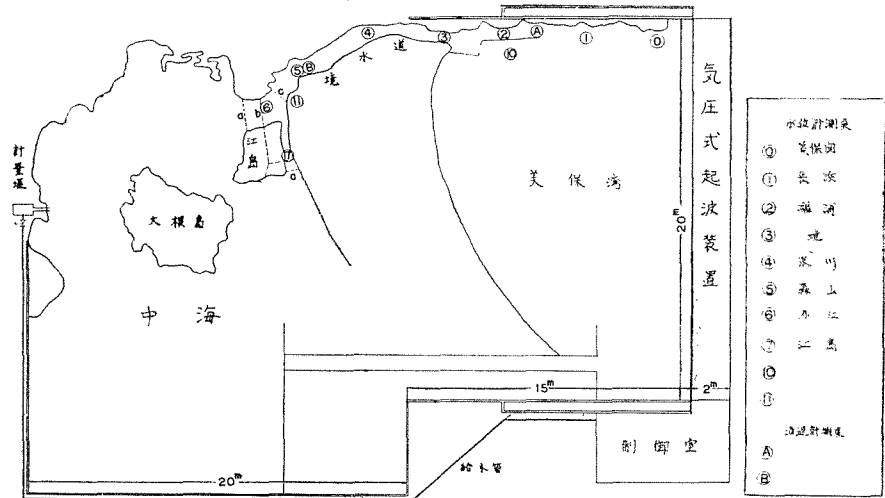
(3.5) 式はフルード数を含わせることに相当し、(3.6) 式は粗度係数に関する条件を与えるものである。

予備実験の結果、水平縮尺 $1/x_r=1/500$ 、鉛直縮尺 $1/h_r=1/125$ が適当であると認められたので、本実験もこの縮尺を採用することにした。(3.5)、(3.6) 式に x_r

$=500$ 、 $h_r=125$ を代入すれば時間縮尺 $1/t_r=1/44.7$ 、粗度係数の縮尺 $1/n_r=1/1.12$ が得られる。この縮尺によると模型における半日潮の周期は約 16 分となり、模型の粗度係数 $n_m=0.0196$ が要求される。この粗度係数の値は予備実験の結果から推察しても無理な値ではないので、これらの縮尺で模型を製作した。

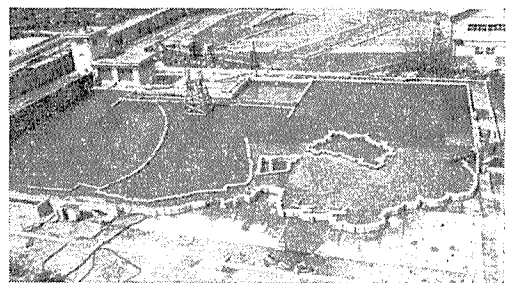
4. 実験施設

図-5 模型一般図



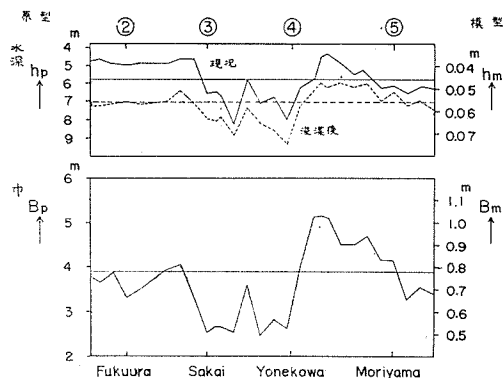
実験はこれまで予備実験に使用した京都大学防災研究所宇治川水理実験所の海洋水槽で行なった。施設の詳細については前に述べた¹⁾ ので重複をさけるために省略する。この水槽を拡張して 図-5 に示すような模型を製作した。これは水平縮尺 $1/500$ 、鉛直縮尺 $1/125$ の模型で、美保湾の一部、境水道、中海全域をふくんでいるが、中海はその水面積は規定の大きさをもっているが、その形は施設の関係上変形されている(写真-1 参照)。

写真-1 実験施設および模型



模型は予備実験のときと同じく、建築用コンクリートブロックとモルタルを用い、境水道および中海の一部は水平、鉛直両縮尺に応じた厳密な海底地形を製作した。境水道の巾 B および水深 h は 図-6 のようである。実線は現況の境水道を表わし、破線は断面改修後のものを表わしている。後半の実験は 図-5 の破線のところを

図-6 境水道の水深と巾



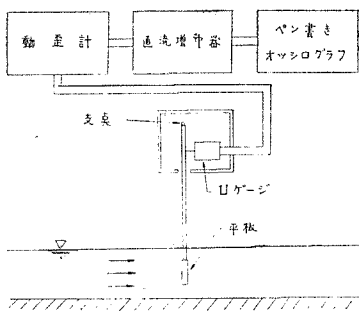
モルタルで締め切って行なった。なおこの実験施設は屋外にあり風の影響が大きいので、これを防ぐために実験中は水路の部分におおいをした。水位変動は、同施設付属の気圧式起波装置を用いて与えた。予備実験ではこれを手動で与えたが、本実験には自動制御装置を使用した。

水槽内の⑩～⑪の地点に銅管を埋めこみ、サイフォンによりピックアップ内に水を導き、電気抵抗式水位計により計測記録した。

流速は、実験

図-7 モーメント式流速計

に応じて 図-5 の④または⑧の地点にモーメント式流速計を設置して測定記録した。この流速計は 図-7 に示すように、ひずみ計を用いて流速を測るもので精度はよいとはいえないが、あらかじめ較正しておけばかなり小さい流速まで測定できる。



5. 実験内容および計測事項

実験内容は大略つぎのとおりである。

- (1) 模型の粗度に関する実験
- (2) 相似性の検討に関する実験
- (3) 周波数特性に関する実験Ⅰ。——境水道および中海が現況の場合
- (4) 周波数特性に関する実験Ⅱ。——境水道は現況のままで計画地点を締め切った場合
- (5) 周波数特性に関する実験Ⅲ。——境水道は現況のままで水道西端を締め切った場合
- (6) 周波数特性に関する実験Ⅳ。——境水道をしゅんせつし、計画地点を締め切った場合

計測事項はつぎの2つである。

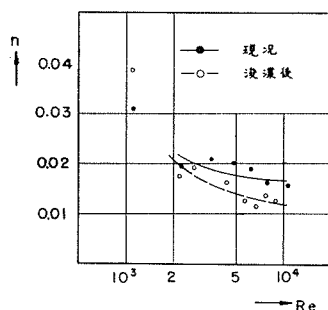
- (1) 水位、図-5 の⑩～⑪の各点における水位を電気抵抗式水位計で計測した。
- (2) 流速、実験に応じて④または⑧の地点における流速をモーメント式流速計で計測した。

6. 実験の経過と結果

(1) 模型の粗度に関する実験

まず相似性の検討をするために必要な、模型水道の粗度係数を求める実験を行なった。境水道の模型は防水モルタルこて仕上げである。ここに定常流を流して水面勾配を測定し、粗度係数を求めた。図-5 の起波装置の下部より水を取り入れ、給水管、計量ぜきを通して中海に

図-8 模型水道の粗度係数



給水し、境水道に流通して循環させた。この実験の場合だけは、ポイントゲージによって水道内の各水位計測点の水位を測った。流れは定常であり、水道の底面は水平、各測点間では一様断面であると考えると Manning の粗度係数 n は次式で与えられる。

$$n = R^{2/3} \frac{A}{Q} i_w^{1/2} \left(1 - \frac{1}{gh} \frac{Q^2}{A^3} \right)^{1/2} \dots \dots \dots (6.1)$$

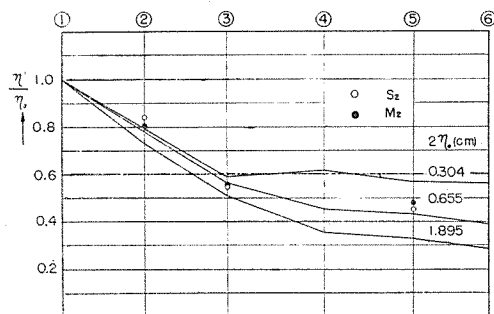
ここに A は流水の断面積、 Q は流量、 i_w は水面勾配である。この式を用いて求めた模型水道の粗度係数の値を 図-8 に示す。縦軸は Manning の粗度係数、横軸はレイノルズ数 $\left(Re = \frac{R}{\nu} \frac{Q}{A} \right)$ である。図中、黒丸および実線は現況に関する値であり、白丸および破線はしゅんせつ後に関するものである。

(2) 相似性の検討に関する実験

図-8 を見ると模型水道の粗度係数の値は、レイノルズ数によって相当変化することがわかる。いま一つの考え方として、(3.6) 式により要求される粗度係数 $n_m = 0.0196$ を与えるようなレイノルズ数が実現するとき現象は相似であると考えることができる。

このようなレイノルズ数をうるための手段として、与える振動の振巾をいろいろ変えて実験を行なった。原型の資料の豊富な半日潮について、このような実験を行ない、減衰状態をしらべた結果、図-9 のようであった。実験は8種類の振巾について行なったが、図が繁雑になるので、ここには代表的な3例のみが示してある。図中の数字は①における全振巾を表わしている。この図は振巾の大きさによって減衰状態が変ることを示しており、図-4 に示した原型の場合と比較すれば、どんな振巾に

図-9 半日潮の減衰におよぼす振巾の効果



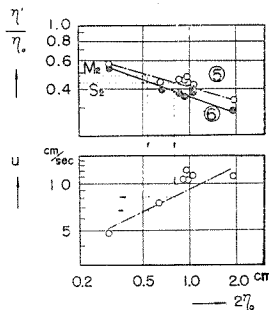
関しても相似であるとはいえないことを表わしている。原型の資料のある森山⑤と、境水道の全体的傾向を見るための代表点⑥における振巾比を 図-4 のように表示

すれば 図-10 のようになる。図-2 に示す原型の資料 M_2 , S_2 と比較すると全振巾 $2\eta_0$ が 0.5~0.8 cm のときに相似であるように認められる。この理由はつぎのように考えることができる。すなわち、このときの流速は 7~8 cm/sec であり、これを用いたレイノルズ数は $2.5 \sim 2.8 \times 10^3$ となる。

この場合にも定常流の値が適用できるものとする。図-8 よりこのレイノルズ数に対応する粗度係数は 0.019~0.02 となり、要求される値 $u_m = 0.0196$ に近い値になっている。いいかえると、このような振巾をもつ場合に粗度係数に関する相似の条件が満たされるために減衰状態が相似になったと考えられる。一方、流速について考えると、このような振巾に相当する原型は、鉛直縮尺 $1/h_r = 1/125$ であるから全振巾すなわち潮差は 62.5~100 cm となり、このときの流速は 図-4 の曲線から外そうすると $u_p = 90 \sim 120$ cm/sec と推定される。流速に関する縮尺は (3.7) 式であり、いまの場合は $1/u_r = 1/11.2$ であるから、 $u_p = 90 \sim 120$ cm に対応する模型の流速は $u_m = 8.0 \sim 10.7$ cm/sec となる。これは $2\eta_0 = 0.5 \sim 0.8$ cm の実験で得られた流速とかなりよく一致しており、流速に関する相似の条件も満たされていると考えてよさそうである。

以上のことから、原型における振巾比が振巾の大きさによって変わらないものと仮定し（この仮定の正しいことは、原型の全振巾が 7~45 cm の間では確かめられている）、また原型の粗度係数が振動の周期に無関係であると仮定すれば、このようなレイノルズ数あるいは流速が実現するときに現象は相似であると考えられる。

図-10 半日潮の振巾比・流速と振巾との関係

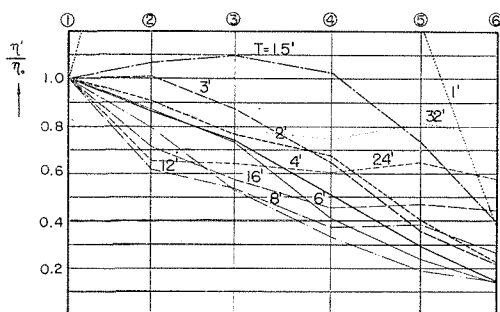


(3) 周波数特性に関する実験 I —— 境水道および中海が現況の場合

予備実験の結果、境水道と中海とで構成される系は一つの振動系をなしていると考えられることが明らかになったので、本実験でもこの系の周波数特性をしらべることに重点をおいて実験を行なった。

現況の模型において、美保湾に種々の周期の振動を与えて水道内の各点における振巾の変化をしらべた。すなわち、美保湾に 1~32 分の間の 11 種類の周期をもつ、いろいろの振巾の正弦振動を与えて水道内の振動の様相をしらべた。各地点における振巾を①を基準とした振巾比で表わすと 図-11 のようになる。これによると 1 分および 1.5 分周期のものは特殊な形をしているが、2 分より長い周期の振動は予備実験の結果と同様に、周期が長くなるにつれて漸次低下し、8 分前後のときに最も低くなり、それより周期が長くなるにつれてふたたび上昇している。この図を書きなおすと 図-12 のようになる。

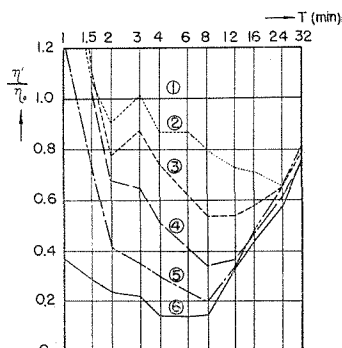
図-11 現況の減衰曲線



これは与えた振動の周期を横軸にとったものであり、おのおのの曲線は各地点における振巾比の周期による変化をしめしている。これによると水道奥部では振巾比は 8 分前後で極小値を示しており、極小

図-12 周波数特性 I

(境水道および中海が現況の場合)



値の表われる周期は水道の奥へ行くにつれて短くなっている。これらの曲線のもつ一般的な性質については前にのべたとおりであるが、要訳すると、1 分および 1.5 分周期の振動が水道の中央部で大きくなるのはこれらの周期が水道自身の固有周期（系全体の固有周期ではない）に近いためであり、図-12 の各曲線が周期が長くなるにつれて上昇しているのは、中海の貯溜効果による

ものである。

(4) 周波数特性に関する実験 II —— 境水道は現況のままて計画地点を締め切った場合

境水道は現況のままて 図-5 の a の地点を締め切って、前節と同様の実験を行なった。実験としては各周期について 0.14~1.8 cm の間の数種の全振巾の振動に関する実験を行ない、相似の条件により要求される流速が実現するような振動を実験的に求めた。結果を 図-13 に示す。縦軸は上の図では振巾比、下の図では水道内の最大平均流速であり、横軸はともに振巾である。図が複雑になるので代表的に⑥の地点の値のみを示してある。締め切りの前後において、原型の粗度係数が変わらず、かつ振巾の大きさが変わっても、振巾比が変わらないと仮定すれば、相似の条件が満たされている場合を求めるためには、この図から流速が一定の場合のみを選び出せばよいことになる。こうして図化したのが 図-14 であり、

図-13 振巾比・流速と振巾との関係

(境水道現況・計画地点締め切り)

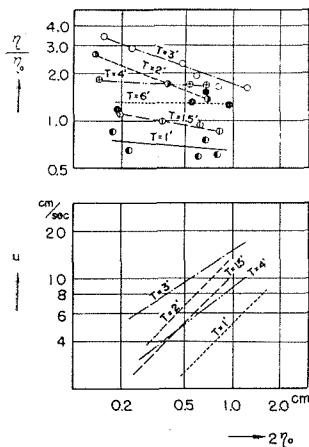
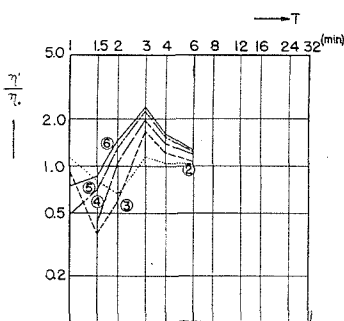


図-14 周波数特性 II
(境水道現況・計画地点締め切り)



前節の締め切り地点を 図-5 の c のところに移して周波数特性をしらべた。結果は 図-15 および 図-16 のようである。ただしこの場合は⑥の地点は領域外にある

図-15 振巾比・流速と振巾との関係

(境水道現況・水道西端締め切り)

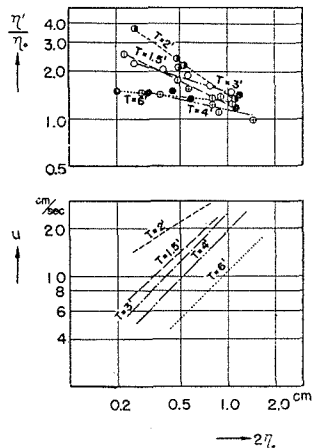


図-16 周波数特性 III

(境水道現況・水道西端締め切り)

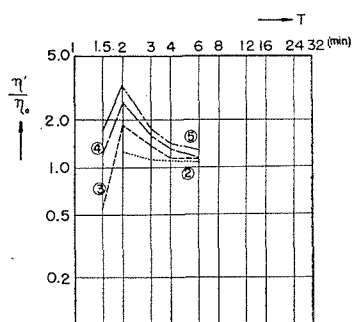
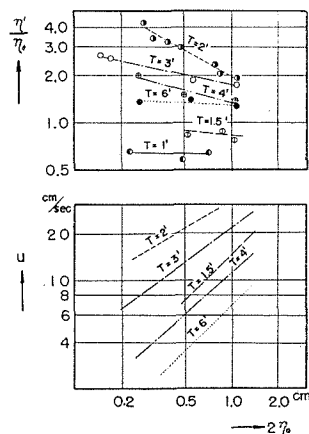


図-17 振巾比・流速と振巾との関係

(境水道しゅんせつ・計画地点締め切り)



ため 図-15 の曲線は⑤の値を示している。前節の結果と比較すると最大値の表われる周期は短くなり2分になっている。またその最大値はかなり大きくなっている。これは奥の遊水池がなくなったために、この系の固有周期が短くなったものと考えられる。

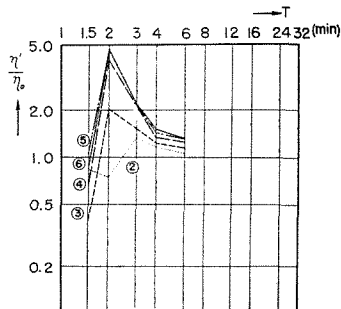
(6) 周波数特性に関する実験 IV —— 境水道をしゅんせつし、計画地点を締め切った場合

つぎに模型を改修して、しゅんせつ計画完成後の境水道について同様の実験を行なった。締め切り地点は 図-5 の b の位置である。結果は 図-17 と 図-18 のようである。

図-18 と 境水道が現況の場合の 図-14 とを比較すると、遊水池の大きさは同じであるにもかかわらず図の形は異なり、多分偶然の一致であろうが水道の西端を締め切った場合、すなわち 図-16 とときわめてよく似ている。この場合には奥の遊水池の面積は等しいけれども水道の水深が大きくな

ったために、この系の固有周期が短くなったと考えられる。

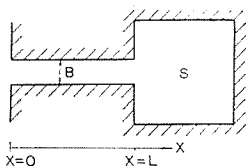
図-18 周波数特性 IV
(境界道しゅんせつ・計画地点締切り)



7. 考 察

以上の実験結果から、水道と遊水池とが接続している場合には水道自身の固有周期とは別に系全体の固有周期をもっており、これに一致した周期の振動が外海から与えられたときに共振現象がみられ、その振巾は非常に大きくなるものと考えられる。このような系のもつ固有周期は主として水道および遊水池の大きさによって決定されるものであろう。このことと、これまでの実験結果とを説明するために少し理論的な取扱いを試みることにする。これは予備実験の報告に記した式と同じものである。

図-19



および連続式はつぎのようである。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \alpha u + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (7.1)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + h \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (7.2)$$

ここに α は摩擦係数である。そして境界条件として

$$x=0 \text{ で } \eta = \eta_0 e^{i\omega t} \quad (7.3)$$

$$x=L \text{ で } \frac{d\eta}{dt} = \beta u \quad (7.4)$$

ただし

$$\beta = \frac{Bh}{S} \quad (7.5)$$

であって、 B は水路巾、 S は遊水池の面積である。すなわち、水道の入口 ($x=0$) では (7.3) 式で表わされるような振動を与え、出口 ($x=L$) では遊水池に入った水は、ただちに全域に一樣に拡がるという (7.4) 式のような条件を与える。この条件で (7.1), (7.2) 式を解くと振巾比および最大流速はつぎのようになる。

$$\begin{aligned} \left(\frac{\eta'}{\eta_0} \right)^2 = & \left[(p^2 + q^2) \{ \sinh^2 p(L-x) + \sin^2 q(L-x) \} \right. \\ & + \frac{\beta^2}{h^2} \{ \sinh^2 p(L-x) + \cos^2 q(L-x) \} \\ & + \frac{\beta}{h} \{ p \sinh 2p(L-x) - q \sin 2q(L-x) \} \left. \right] \\ & + \left[(p^2 + q^2) \{ \sinh^2 pL - \sin^2 qL \} \right. \\ & + \frac{\beta^2}{h^2} \{ \sinh^2 pL + \cos^2 qL \} \\ & + \frac{\beta}{h} \{ p \sinh 2pL - q \sin 2qL \} \left. \right] \dots \dots (7.6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{u}{\eta_0} \right)^2 = & \frac{g}{h\sqrt{1+\alpha^2/w^2}} \times \left[(p^2 + q^2) \{ \sinh^2 p(L-x) \} \right. \\ & + \cos^2 q(L-x) \left. \right] + \frac{\beta^2}{h^2} \{ \sinh^2 p(L-x) \\ & + \sin^2 q(L-x) \} + \frac{\beta}{h} \{ p \sinh 2p(L-x) \\ & + q \sin 2q(L-x) \} \left. \right] + \left[(p^2 + q^2) \{ \sinh^2 pL \right. \\ & + \sin^2 qL \} + \frac{\beta^2}{h^2} \{ \sinh^2 pL + \cos^2 qL \} \\ & + \frac{\beta}{h} \{ p \sinh 2pL - q \sin 2qL \} \left. \right] \dots \dots (7.7) \end{aligned}$$

ただし

$$p = \frac{w}{2c^2} \left\{ \sqrt{1 + \frac{\alpha^2}{w^2}} - 1 \right\}, \quad q = \frac{w}{2c^2} \left\{ \sqrt{1 + \frac{\alpha^2}{w^2}} + 1 \right\},$$

$$w = \frac{2\pi}{T}, \quad c = \sqrt{gh}$$

とする。もし実際には摩擦項が Manning の式で表わされるものとすれば摩擦係数 α はつぎのように書くことができる。

$$\alpha = \frac{gn^2}{h^{1/3}} u \quad (7.8)$$

いま水道の全体的傾向を知るための代表点である出口 ($x=L$) において、振巾比におよぼす遊水池の効果を考えてみよう。この場合は α, h, L および x は常数であるから、振巾比は $\beta/h (= B/S)$ と T との関数である。 T をパラメーターとしてこの関係を示すと 図-20 のようになる。これは $\alpha=0.02, h=0.0457$ m (模型水道の平均水深), $L=15.2$ m (模型水道の長さ), $x=L$ として計算した値である。この図で縦軸は振巾比、横軸は B/S である。後者は遊水池の面積に逆比例するから、図の右側ほど遊水池が小さい場合に相当する。この図の破線の位置 $\beta/h = 1.8 \times 10^{-3}$ が現況の場合、 $B/S = 1.5 \times 10^{-1}$ が水道は現況のままで計画地点を締め切った場合である。この図によると、どのような周期の振動に対して共振する遊水池の大きさが存在することがわかる。

この図を B/S をパラメーターとして書きなおすと 図-21 のようになる。たとえば遊水池が無限に大きい場合には $B/S=0$ であるから、出口での振巾比はつねに 0 であり、遊水池が小さくなるにつれて曲線は漸次上昇し、次第にこの周期の範囲内で極大値をもつようになる。こ

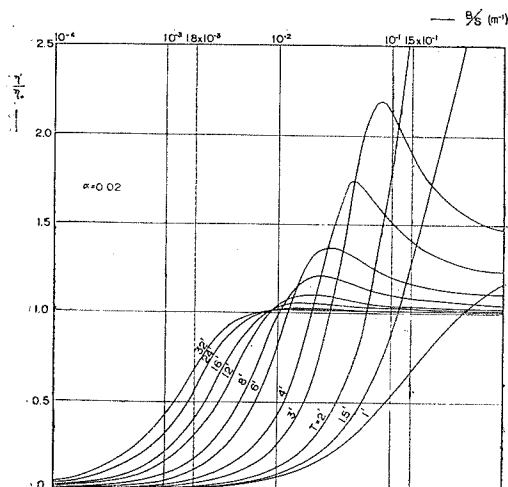
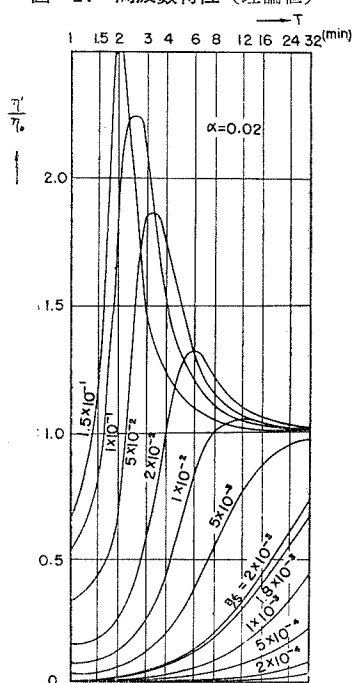
図-20 振巾比におよぼす遊水池の効果
(理論値)


図-21 周波数特性 (理論値)



の極大値は前図のそれに対応するものであり、この周期がこの系の固有周期と考えられる。この固有周期は遊水池が小さいほど短くなり、またその極大値は大きくなっている。 $B/S=1.8 \times 10^{-3}$ が現況の場合に相当するから図-12の⑥の曲線と比較さるべきものであり、実際かなりよく似ているといえよう。図-12の曲線が短周期の方で上っているのはこの地点が完全には遊水池の値を代表していないことを暗示している。 $B/S=1.5 \times 10^{-1}$ の場合が計画地点を締め切った場合に相当し、図-14の⑥の曲線と比較さるべきものであるが、この場合にはその形は類似しているが、極大値の表われる周期はよく一

致しているとはいいがたい。このことについては、1) 周期が短くなってくると慣性項の効果が大きくなりこれが無視できなくなるため、あるいは、2) 理論では考慮していないけれども、実際には水道の形の不規則性および入口や出口における摩擦損失などのために、見積ったより大きな摩擦力が働いているため、などの理由が考えられるが、これについては今後もう少し検討してみなければならない。さらに遊水池が小さくなると固有周期はますます短くなり、ついに湾振動になるであろう。図-14と図-16の相違はこのことから説明できそうに思われるが、定量的には不十分であるから詳細な議論はさしひかえたい。

8. 結 言

境界水道の振動特性をしらべるために、二、三の地形的条件のもとにおける周波数特性をしらべる実験を行ない若干の理論的考察を行なった。その結果つぎのことが明らかになった。

- 1) 周波数特性は締切りしゅんせつ前後でいちじるしく異なる。
- 2) 水道と遊水池が接続している場合には水道自身の固有周期以外に、その系全体の固有周期をもっている。
- 3) この固有周期は遊水池が小さいほど短い。
- 4) この固有周期に一致する振動が外海から与えられたときにこの系は共振し振巾は増大する。
- 5) 共振する周期が短いほど振巾は増大する。

さらに実験的事実として、振巾比におよぼす振巾の効果は共振点付近が最も顕著であることをとくに注意しておきたい。

実際に締切り計画を実施する場合には、以上の事柄を十分考慮することが必要であり、とくに固有周期付近の振動には十分注意を払わねばならない。

この研究を遂行するにあたって、終始適切な御指導を賜った京都大学理学部 速水頌一郎教授、国司秀明助教授、京都大学防災研究所 足立昭平助教授、ならびに実験に協力して頂いた谷 泰雄技官に深甚なる謝意を表する次第である。

なおこの研究は一部農林省の委託によって行なったものであることを付記する。

参 考 文 献

- 1) 樋口明生：境界水道の水位変動に関する模型実験について、第6回海岸工学講演会講演録、昭和34年11月。
- 2) 島根県：中海流入河川水位流量並びに潮位観測調査報告書、昭和32年3月。
- 3) 島根県：中海流入河川水位流量並びに潮位観測調査報告書、昭和33年3月。
- 4) 島根県・鳥取県：宍道湖・中海水理調査報告書、昭和33年3月。
- 5) 島根県：境界水道の交流について（Ⅰ）、昭和33年3月。
- 6) 島根県：境界水道の交流について（Ⅱ）、昭和33年9月。
- 7) 島根県：中海干拓調査報告書、昭和33年10月。
- 8) 島根県：美保湾、境界水道、中海の潮位について、境界水道の交流について（Ⅲ）、昭和35年2月。