

伊勢湾の水理模型実験について (III)

中村 充*・白石英彦**・佐々木泰雄**・大西英夫***

1. まえがき

前報(II)に引き続き高潮時における高潮防波堤の影響をのべる。実験方法、実験条件、台風時波面応力に対する考慮などは(II), 2. において述べたのでそれを参照されたい。

2. 1次高潮波潮位について

潮汐実験にて検討したように発生高潮波と観測位置における高潮波との関係は実験結果の処理の方法に関係して来る。このためまず、発生波高と各観測位置波高の関係を図-1~4に示す。

図-1 発生潮高と名古屋港の潮高

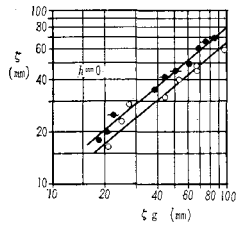


図-2 発生潮高と鍋田(内)の潮高

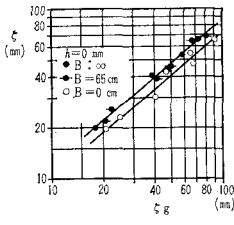


図-3 発生潮高と鍋田(外)の潮高

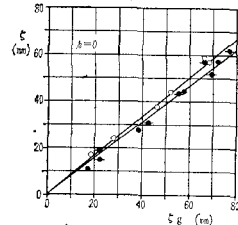


図-4 発生潮高と四日市港の潮高

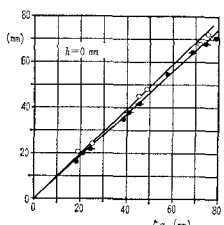


図-1~4は高潮防波堤の無い場合、開口幅の大なる場合(B=600m, b=100m)、開口幅の小なる場合(B=0, b=100m)について一例をあげたものであるが、これらの図より高潮防波堤外の1次高潮波に対しては発生波高と比例することがわかる。また同堤内の名古屋、鍋田などでは非線型関係となるが実験に使用した波高内では開口幅によってべき数はあまり変わらない。

よって

$$\zeta^i = f(T, h, B, i) \zeta_g^p$$

したがって

$$\frac{\zeta^i}{\zeta_g^p} = g(T, h, B, i) \dots \dots \dots (1)$$

ただし添字 i, B, ∞等は観測位置、開口幅、堤防無しの状態をそれぞれ示す。式(1)にしたがって実験値を整理したものが図-5~8である。この図の横軸は高潮曲線の立上り周期(高潮が起こるときから1次高潮の最高のおきまでの時間)をとってある。同図より高潮防波堤は1次潮波に対しては開口幅をきわめて小にとらぬかぎりその効果はほとんどないことがわかる。また同堤外部に対する潮高の変化も現われない。

つぎに1次高潮波高潮時の遅れについて調べるとこれまでわかるように、高潮防波堤の1次潮波高に対する効果、すなわち影響はほとんどないといえるから、このときの高潮時の遅れについて以下のように解析できる。第II報式(4), (8)より

$$\Delta T = \frac{T}{2g\pi\zeta C_v^2} V_{max}^2 = K \frac{\zeta A^2}{gT\zeta_m \{BD + bd\}^2} \dots \dots \dots (2)$$

$$K = \frac{\alpha^2}{\pi C_v^2}$$

Kの値の理論値はCv=0.8とすれば0.8程度の値である。これを実験値より求めると、名古屋、鍋田(堤防内)共にほぼ同じく

$$K = 2.3 \text{ である。}$$

式(2)の原型適用について調べておく。

$$\Delta T_m = K_m \frac{\zeta_m A_m^2}{g T_m \{B_m D_m + b_m d_m\}^2}$$

$$\Delta T_p = K_m \frac{\zeta_m A_m^2}{g T_m \{B_m D_m + b_m d_m\}^2} \left| \frac{L_r}{D_r} \right|^{1/2}$$

$$= K_m \frac{L_r^{1/2}}{B_r^{1/2}} \frac{\zeta_p A_p^2}{g T_p \{B_p D_p + b_p d_p\}^2}$$

$$K_p = K_m L_r^{1/2} / B_r^{1/2}$$

すなわち、この場合は開口幅縮尺を平面縮尺と別途に設定したための修正が必要である。この修正を行なって図をまとめ直してKpを求めれば

$$K_p = 1.8 \dots \dots \dots (3)$$

となる。

3. 2次高潮波潮位について

* 正員 農博 農林省農業土木試験場
 ** 正員 農林省農業土木試験場
 * 正員 農林省利根川水系農業水利調査事務所

図-5(a) 名古屋港における一次高潮位の無堤防時に対する割合

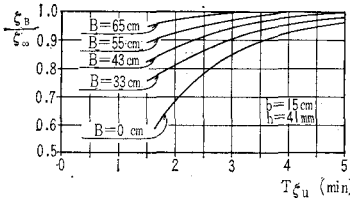


図-5(b) 名古屋港における一次高潮位の無堤防時に対する割合

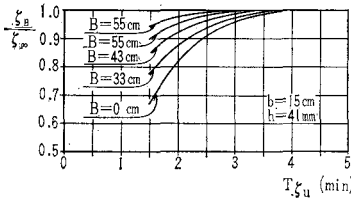


図-5(c) 名古屋港における一次高潮位の無堤防時に対する割合

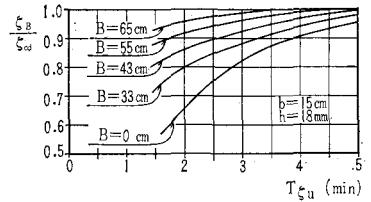


図-6(a) 鍋田(内)における一次高潮位の無堤防時に対する割合

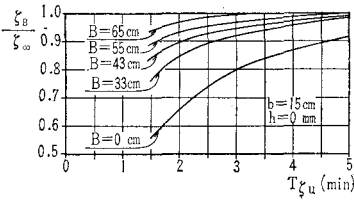


図-6(b) 鍋田(内)における一次高潮位の無堤防時に対する割合

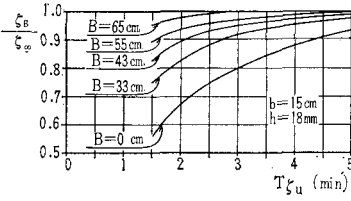


図-6(c) 鍋田(内)における一次高潮位の無堤防時に対する割合

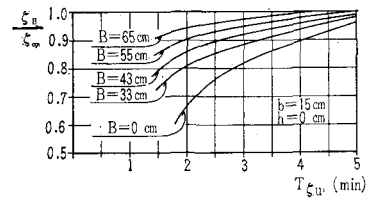


図-7(a) 鍋田(外)における一次高潮位の無堤防時に対する割合

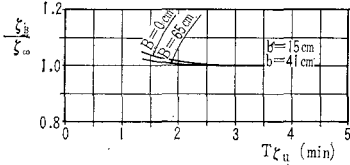


図-7(b) 鍋田(外)における一次高潮位の無堤防時に対する割合

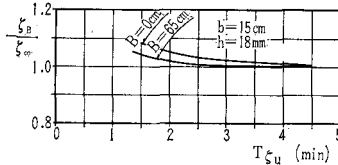


図-7(c) 鍋田(外)における一次高潮位の無堤防時に対する割合

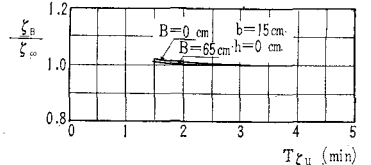


図-8(a) 四日市港と常滑港における一次高潮位の無堤防時に対する割合

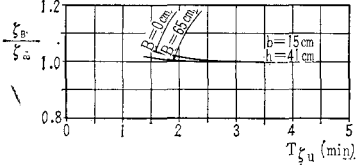


図-8(b) 四日市港と常滑港における一次高潮位の無堤防時に対する割合

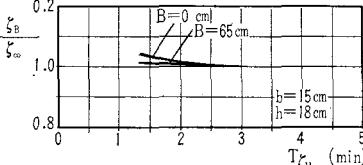
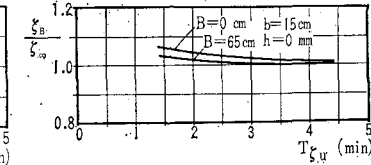


図-8(c) 四日市港と常滑港における一次高潮位の無堤防時に対する割合



2次高潮波は1次高潮波のときに、それに重なって起る場合について調べた。これの発生潮波と各観測位置潮波との関係を 図-10~13 に示す。これらは2次潮波形の中で立上り部のみを取出して求めたもので、高潮曲線の中の2次波形は孤立波傾向が強く実用上は立上り部について抽出して論じた方が重要である。

この意味で2次潮波高については立上り振幅 a_u および同立上り部の所要時間 T_{au} についての考察を中心におく。

堤防の効果に関する観測値の処理はつぎの2つの方法をとった。堤防の無い場合の潮波高に対する堤防設置後の同一地点における潮波高との比較。

堤防のない場合の名古屋港潮波高に対する堤防設置後の各観測点における潮波高との比較。

名古屋港、鍋田地区など伊勢湾の最奥の地点では2次潮波成分が比較的分離しやすいが、四日市港、常滑港などでは、2次潮波成分の分離が不明瞭である。したがって四日市港、常滑港については前者の処理とともに、後者の処理を補足して、2次波成分の分離しやすく、かつ過去の記録の最も整った名古屋港との関係を求めることとしたものである。

図-10~13 に示した例は $T_{au}=15\sim 20$ secの短周期のものについてであるが、周期が短くなると発生波高との間に直線性はなくなり、さらに、その関係する次数も周期、潮高、水深、位置によって、それぞれ異なった値をとる。したがって、潮汐、1次高潮波で行なったように、無堤防時に対する割合、あるいは基準点(名古屋港とする)に対する割合を考えても、発生波高が比の値

図-9 高潮防波堤内外の時差

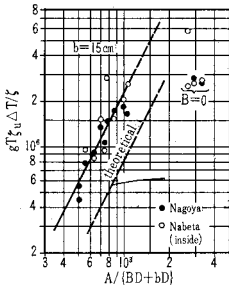


図-10 発生潮高と名古屋の潮高

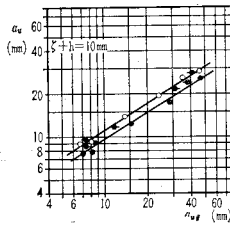


図-11 発生潮高と鍋田内の潮高

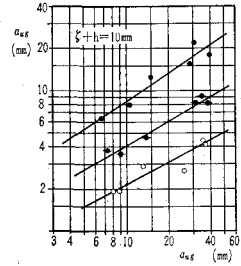


図-12 発生潮高と鍋田(外)の潮高

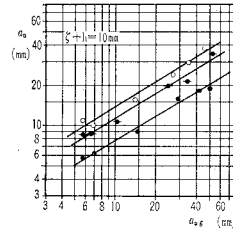
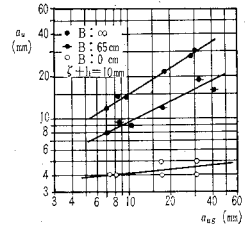


図-13 発生潮高と四日市の潮高



に関係して来る。すなわち

$$a_{uB}^i = f(T_{au}, h, B, i) a_{ug}^i \phi(T_{au}, h, B, i)$$

T_{au}, h の同一な場合の堤防の有無に関して

$$\frac{a_{uB}^i}{a_{u\infty}^i} = \frac{f(T_{au}, h, B, i)}{f(T_{au}, h, \infty, i)} a_{ug}^i \phi(T_{au}, h, B, i) - \phi(T_{au}, h, \infty, i)$$

a_{ug} は $a_{u\infty}$ で表現できるから

$$\frac{a_{uB}^i}{a_{u\infty}^i} = F(T_{au}, h, B, i, a_{u\infty}^i) \dots\dots\dots(4)$$

ただし i は位置を, B, ∞ はそれぞれ開口幅および無堤防の場合を示す。

同様の考察により名古屋港に対する i 点の潮波高の割合は

$$\frac{a_{uB}^i}{a_{N_{u\infty}}^i} = G(T_{au}, h, B, i, a_{u\infty}^i) \dots\dots\dots(5)$$

ここに $a_{N_{u\infty}}^i$ は名古屋港における無堤防時の2次潮波高である。以上式(4), (5)にしたがって観測値を整理すれば 図-19~20 のごとくなる。

4. 高潮の河川遡上

前項までの考察で高潮防波堤の建設によって鍋田(堤外)地区および木曾, 長良, 揖斐川河口付近の高潮潮位はその影響を受けて大きくなる。したがって, この影響がどの程度上流に影響するかを観測した。観測点は河口より約8km上流の尾張大橋地点として, これと河口潮位変動との関係を調べた。図-21~22は縦軸に木曾川および長良揖斐川の潮位をとってある。

5. 伊勢湾台風時に対する実験結果の適用

伊勢湾台風時に高潮防波堤が建設されていたならばどのような潮位になっていたかを求めて見る。図-23のように1次高潮波と2次高潮波をわけて適用する。名古屋港における無堤防時の値は 図-23より

$$\zeta_{\infty} = 1.70m$$

$$h = 0.35m$$

$$a_u = 1.85m$$

$$\text{最高潮位} = \zeta_{\infty} + h + a_u = 3.90m(T.P.)$$

$$= 5.31m(N.P.)$$

$$T_{su} = 7hr$$

$$T_{au} = 55min$$

高潮防波堤開口幅について本研究をまとめた時点において確立していなかったので一応 $b=100m, B=500m$ および $b=100m, B=600m$ の場合について前項までの実験結果を用いて各位置の高潮潮位を計算すると 表-1 のようになる。

6. 結語

以上高潮防波堤設置後に伊勢湾高潮が襲来した場合と想定して計算したが, この結果から高潮偏差の変化の状況を各位置において示すと 図-25 のようになる。

このように高潮防波堤の効果は防波堤内, すなわち, 図中の名古屋と防波堤内の干拓地付近においてはその効果がいちじるしいが, 防波堤外特に鍋田干拓地付近においては, 高潮潮位がなかったときよりも高くなる。しかも防波堤がなかったときの名古屋の高潮潮位よりも高くなり防波堤外に対しては逆効果をおよぼし, 堤防構造に検討を要する。このことは, つぎのように説明されよう。

図-25 にみるように伊勢湾に沿って台風が通過するにしたがって, 四日市, 鍋田, 名古屋において相対的に興味ある海面形をつくる。このことは低気圧により上昇した水面が, 台風の中心が湾軸に沿って通過するにしたがって, 大きな長波として進行し, さらに台風の進行速度

図-14(a) 名古屋港における二次高潮位の無堤防時に対する割合

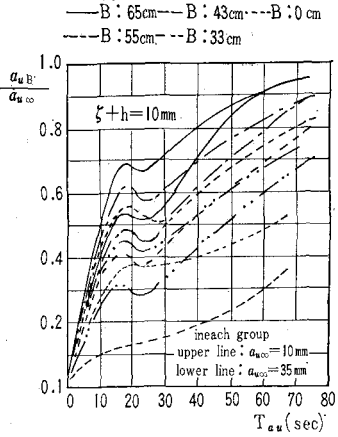


図-14(b) 名古屋港における二次高潮位の無堤防時に対する割合

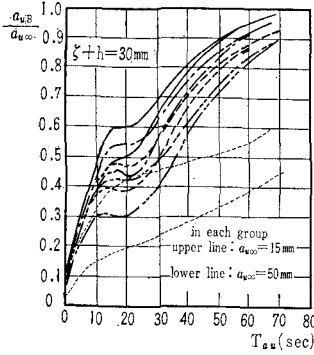


図-14(c) 名古屋港における二次高潮位の無堤防時に対する割合

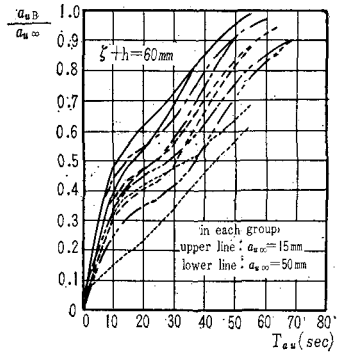


図-15(a) 鍋田(内)における二次高潮位の無堤防時に対する割合

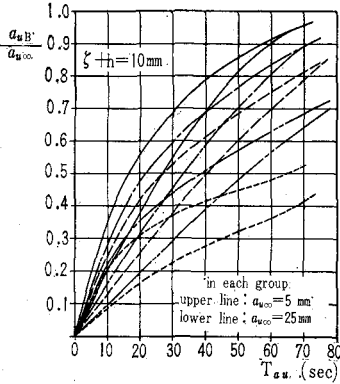


図-15(b) 鍋田(内)における二次高潮位の無堤防時に対する割合

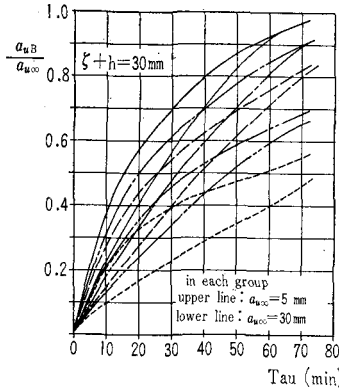


図-15(c) 鍋田(内)における二次高潮位の無堤防時に対する割合

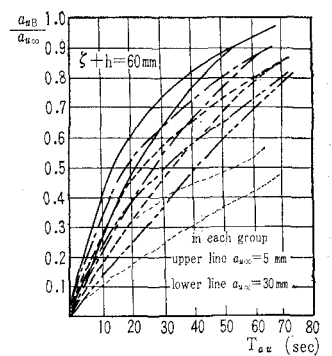


図-16(a) 鍋田(外)における二次高潮位の無堤防時に対する割合

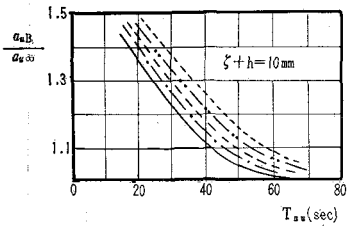


図-16(b) 鍋田(外)における二次高潮位の無堤防時に対する割合

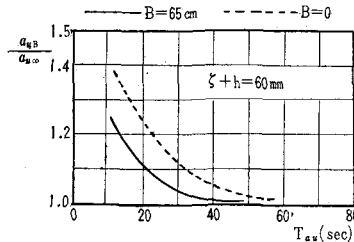


図-16(c) 鍋田(外)における二次高潮位の無堤防時に対する割合

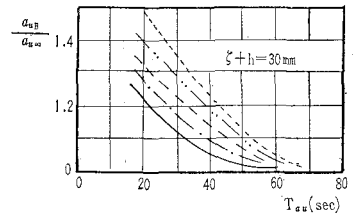


図-17(a) 四日市港における二次高潮位の無堤防時に対する割合

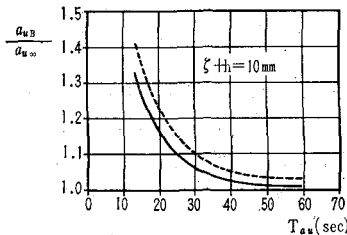


図-17(b) 四日市港における二次高潮位の無堤防時に対する割合

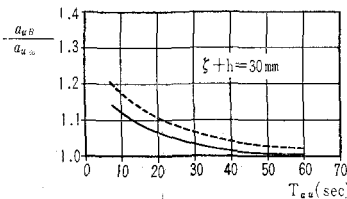


図-17(c) 四日市港における二次高潮位の無堤防時に対する割合

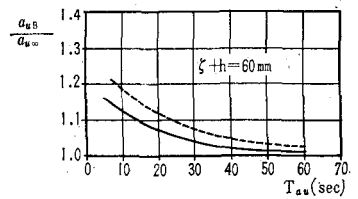


図-18(a) 常滑港における二次高潮位の無堤防時に対する割合

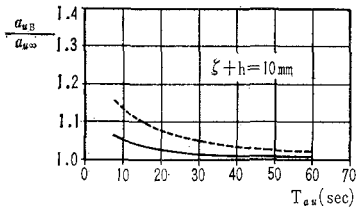


図-18(b) 常滑港における二次高潮位の無堤防時に対する割合

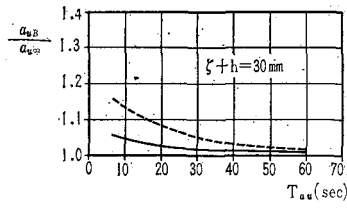


図-18(c) 常滑港における二次高潮位の無堤防時に対する割合

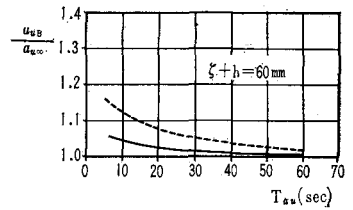


図-19(a) 四日市港における二次高潮位と名古屋港の無堤防時に対する割合

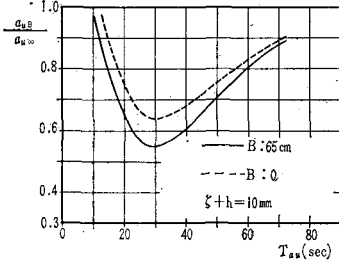


図-19(b) 四日市港における二次高潮位と名古屋港の無堤防時に対する割合

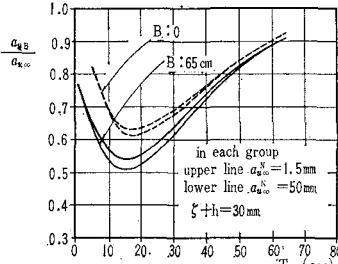


図-19(c) 四日市港における二次高潮位と名古屋港の無堤防時に対する割合

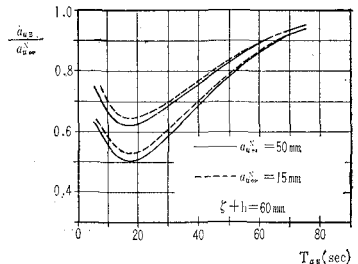


図-20(a) 常滑港における二次高潮位と名古屋港の無堤防時に対する割合

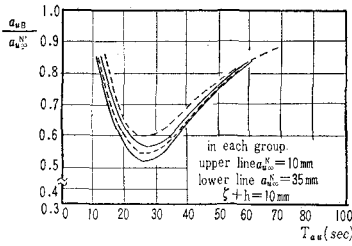


図-20(b) 常滑港における二次高潮位と名古屋港の無堤防時に対する割合

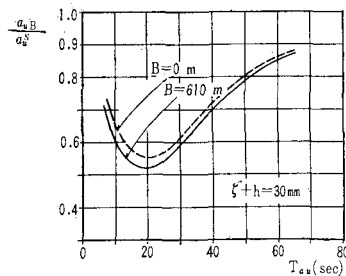


図-20(c) 常滑港における二次高潮位と名古屋港の無堤防時に対する割合

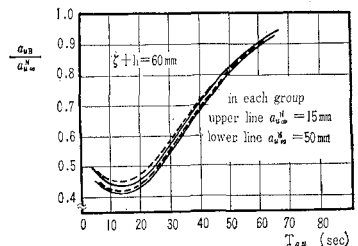


図-21(a) 河口潮位の河川内への遡上(木曾川)

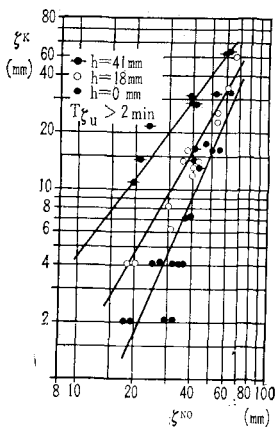


図-21(b) 河口潮位の河川内への遡上(木曾川)

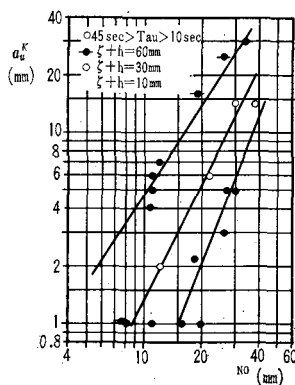


図-22(a) 河口潮位の河川内への遡上(長良川)

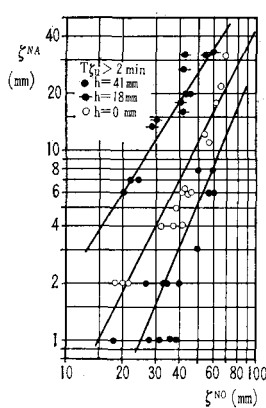
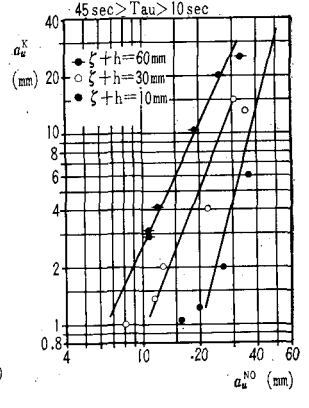


図-22(b) 河口潮位の河川内への遡上(長良川)



が 70km/hr 程度で長波の波速とほぼ等しく、長波のもつエネルギーを一層大にしている。さらに湾奥にゆくにしたがい、波速は減じ四日市、鍋田以奥で急に波速を減じて台風の進行速度の方が大となっている。このことは長波形が湾奥の側に steep な形に変形し、また風による吹寄せも、この傾向を助長するとともに、湾奥潮位を

全面的に高めている。この結果、図-25 の 20時 0分の現地記録にみるようにこの時点で鍋田に対し四日市の潮位は約 1.0m 高い。したがってつぎの時点では鍋田、名古屋は急速に潮位が上昇し、20時30分より、21時30分までの約 1時間に 2.0m の潮位上昇を起こして、いこのとき鍋田の潮位の挙動が、図-23, 24にみるように名古屋

表-1

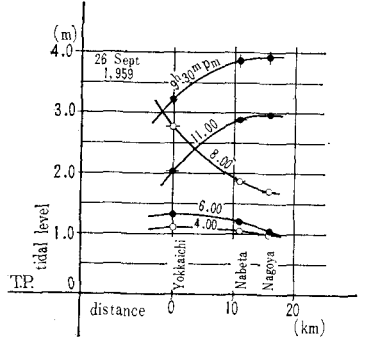
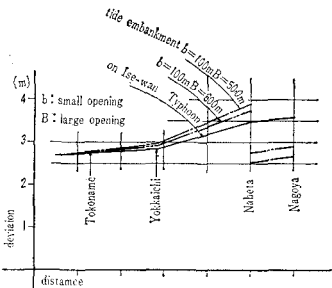
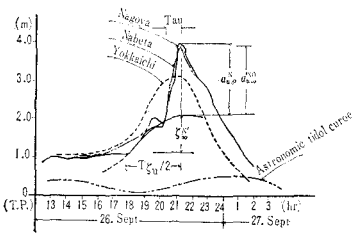
区分	伊勢湾高潮		計画基準		高潮防波堤開口幅 500m の場合				高潮防波堤開口幅 500m の場合				摘要
	偏差	潮位	偏差	潮位	偏差	偏差の变化	潮位	時差	偏差	偏差の变化	潮位	時差	
名古屋	m	m	m	m	m	cm	m	min	m	cm	m	min	
屋	3.55	3.90	3.05	4.02	2.65	-90	3.85	57	2.83	-72	4.03	43	
鍋田堤内	3.50	3.85	3.05	4.02	2.54	-96	3.74		2.65	-85	3.85		
鍋田堤外	3.50	3.85	3.55	4.52	3.90	+40	5.10		3.79	+29	4.99		
四日市	2.85	3.20	3.00	3.97	2.94	+9	4.14		2.89	+4	4.09		
常滑	2.76	2.96			2.79	+3	3.99		2.77	+1			

備考注：(1) 表中潮位とは伊勢湾高潮の場合には実測値計画基準は偏差に三省協議の値 T.P. 0.97m を加えたもので他は偏差に大潮の平均満潮位を加えたものである。この値は N.P. 2.61m T.P. 1.20m である。
 (2) 偏差の变化は伊勢湾高潮偏差を基準にしてその増減を+、-で表現した。
 (3) この表の潮位は全て T.P. で表現してある。T.P.0=N.P. 1.41m である。

図-23 伊勢湾高潮の潮位曲線

図-24 高潮防波堤設置による高潮偏差の変化

図-26 伊勢湾高潮の各時間の各港の潮位



とほとんど同じにあらわれているのは、湾軸に直角な横断面が鍋田以東では、ほぼ同じであるためであろう。また四日市付近のそれとくらべると鍋田付近で急に20%程度に狭くされており、鍋田、名古屋地区の潮位上昇を大きくする一因となっている。さて以上のような現象が高潮防波堤の設置によってどのようになるかを考察する。防波堤の設置によってこの位置での湾軸は幾分鍋田寄りとなる傾向をもち、湾軸に直角な断面の四日市付近に対する狭さくは大きく、加えて鍋田前面で急にならなっているための局部的鉛直狭さく効果があらわれる。図-24において高潮防波堤が設置された場合の鍋田堤外地区の潮位が、伊勢湾台風時の名古屋の潮位より大きくなるのは、このためであろう。気象庁でI. B. M. を用いて解析した計算結果が高潮防波堤の外側で、ほとんど潮位変化はなく、かえって数 cm 同堤の設置によって潮位が低下するごとく現われているのは慣性項を省略したことが大きな原因であろう。なお、この計算では伊勢湾台風時の潮位計算値が名古屋以外の鍋田(木曾川河口)四日市付近ではいちじるしく現地潮位よりも低い値となっている。また潮位の時間的変化がきわめてゆるやかに起こっており名古屋港記録に見るような潮位曲線と大きく異なっている点を考えれば数値解析の条件として与えられなかった種々の因子があるためにこのような結果になったと思われる。つぎに潮汐に関して考察する。高潮防波堤の設置によって平時潮汐位の変化が周辺耕地における用排水問題におよぼす影響を知る必要があったが、実験の結果は潮汐位に関する高潮防波堤の影響は現在予定され

ている開口幅 500~600m であればほとんどないという結論がえられる。

開口幅の流速は開口部通水断面と内部の埋立の状況によって変化するが、小開口部の流速は大開口部流速の約20~30%弱速くなるので小船の航路として、小開口部を利用することは、開口部流速の絶対値を小にする考慮が払われた後でなければならないであろう。

以上Ⅱ、Ⅲ報における実験結果についてここでは伊勢湾台風時の条件に関する適用、平時潮汐における大潮の場合に関する適用についてのべたが、その他の条件の場合にも適用することができる。伊勢湾における防災事業の一環として建設される高潮防波堤についてその影響を水利模型実験によって調べた結果をⅠ、Ⅱ、Ⅲ報に分けて以上に報告した。この問題については当初、気象庁において電子計算機による数値解析が行なわれ、また京大防災研においても運輸省の依頼で水利実験が行なわれている。

本実験は、まだ不備な点が多いと思われるが実用上必要な結論を得たので、これをとりまとめた次第である。

本文は昭和38年3月農林省農地局に提出した報告書の1部である。おわりに農林省農地局、名古屋農地事務所(現東海農政局)の関係各位、ならびに元実験研修室長福井芳郎氏、農業土木試験場水利部長山田茂喜氏に多くの御便宜を頂いた。また、同試験場奥山光雄、森川正雄、川崎宏直の各技官には実験実施にあたり御助力を頂いた。ここに深く感謝の意を表する。